



Multi-Funktions-Testsystem

SMMU07

Source Measurement Multiplex Unit

Teil 1
Technische Beschreibung
Originalbetriebsanleitung

JOCHEN + GEORG FRANK
INGENIEURBÜRO FÜR
HARD & SOFTWARE
SOPHIENSTR. 32
D-70178 STUTTGART

D&B D-U-N-S® Nummer 551003866
TEL +49 711 290909
FAX +49 711 292924
info@jgfrank.de
jgfrank.de

Dokumentenstand

Doku-Version	Autor	Firma	Datum	Änderung / Erweiterung
A0	J. Frank	Ing. Büro	06.10.2004	Erstellung Doku Messbox04
A1	G. Frank	J.+G.Frank	26.10.2004	Update
A11	G. Frank		26.08.2005	SMMU05 neuer Produktname, Specs Umessung neu, neue Plausfehler: REF1V6, UZDAC, neu !lap, !pns,!pnr
V32B	G.Frank		07.06.2010	VER32, HMR7, Triggermessung + Wellengenerator + MUB mit neg. AP, !TYP, !KTA, !SAN, LED1B, Fehler#, Anwendungen, Potentialanbindung, Y-Störer, Messzeitoptimierung
V35D	G.Frank		26.09.2011	VER35, Triggermessung: Logger, Puls- & Periodenmessung addiert, schnelle Triggermessung, neuer Name Ausgang GUT>PASS, neue Befehle !TST11..14, !SAP, !COD9, !AIN99 ff..., MUX275 HMR11, Adapterkennung
V36B	G.Frank		08.05.2012	VER36, Hyperterminal auf XON/OFF, Terminalmodus druckt EOT, SMMU YVC-Anbindung: Kapazität erhöht auf 12nF, Stromregler ist induktivsicher (RLC-Last), Err15 bei AIN4...7+15
V51A	G.Frank		04.12.2012	SMMU07 erste Doku, VER51, Neue Befehle: !FVR, !SFV, !RFV, !SAN9, !COD7, !PUT, !DIN
V52A	G.Frank		30.04.2013	VER52, HMR24, BIA12, neue Anwendungsberichte, J1 initialisiert beide V24-Schnittstellen, ICT-Triggermessungen, AMP301, MUX342, !KTB
V53C	G.Frank		09.12.2013	VER53, HMR25, Doku Überarbeitung, bei Reset Front-LED aktiv, Front-LED steuern, BIA12, Messungen über SS- und SF-Matrix, alt !RSS>neu !SSR, neue TEMPEXT Sensorschaltung, Messbuszugriff !xwr, !xrd, V24-Monitorschaltung, !CNT0 Erweiterung, Kaskadierkabel, !ssv und !rsv mit FVG, ICT-Stimuli mit FVG, FET-RDson direkt messen, CpRp-Messung
V55A	G.Frank		21.03.2014	VER55, Scheitelfaktor, ICT-Triggermessung, Überspannungsschutz, Kelvin-Kontakttests, Softwaretreiber, EG-Erklärung
V56A	J.Frank		07.07.2014	VER56, AP-Erdung, Kelvin-Kontakttest, Testmatrix, Gehäuse G3, Kalibration, AMP354, Specs Spannungsbereich2, SMMU_Updater
V58A	G.Frank		31.03.2015	VER58, Brummfilter !hum, !mua mit neg. AP, Wave-Rechteckgenerator, C-Messung mit ICONST, Testpin TRIG Port107, Specs Triggermessung, Low-level-Ersatzbefehle
V60A	G.Frank		22.02.2016	VER60, CTL274 HMR10, SMU350 HMR26, SMMU_UpdaterV05, !ssv&rsv mit wave, !wai, !nul, Err57+58, Triggermessart -1 Phase, Doku Überarbeitung, Rauschstromfilter, neg. Triggeroffset, neue Anwendungen, C-Messung, L-Messung, Phasen- & Zeitmessung
V61A	G.Frank		14.04.2016	VER61, Schnellmessung mit Logger-Autoincrement, Vollduplex-Ansteuerung, MUX-Schnellabschaltung, MUX Option C, Err58 Definition erweitert, Kalibrierdatum !cal1, Reseterkennung, Specs !ain4..7 erweitert
V62E	J.Frank G.Frank		18.10.2018	VER62, SMU350C HMR36, Reseteingang, Err59 Optionsüberwachung, !drd190 last error, 1Q-Stromquelle mit hoher Leistung, WAVSYNCR, TRIGEXT, /GATETI, !wav ab 1Hz, !ssf ab 15Hz, Netzmessung u,i,φ, Phasen- & -abschnitt, !mia!/mib Err58 im I-Modus, Option HRADC !hra !cod8 Err18, Zeitstempel löschen !tsp0, SVGP-Tiefpassfilter unverändert nach !put & !wav0, Dauerüberwachung. Err16 @ !ain99, Zweipol CsRsRp, GTA,SHORTSF,Umschalterflugzeit, R-Würfel, Potmessung, neg. Messoffset erhöht in BUA1 & !mib, TDA7057AQ, Doku Teil1 & 2 Unterteilung, Begrenzung UShunt alt 1,5V neu 1V, Relais-applikation, mua/mub CMR-Specs neu

Inhaltsverzeichnis

TEIL 1 TECHNISCHE BESCHREIBUNG	1
1 EINLEITUNG	8
1.1 NAMENSgebung	9
1.2 MODELLHISTORIE	9
1.3 PRODUKTENTWICKLUNG	10
1.4 UPDATE	10
1.5 BEDIENKONZEPT	10
1.6 AUSMUSTERUNG	10
1.7 HAFTUNGSAUSSCHLUSS	10
1.8 COPYRIGHT	10
1.9 DOKUMENTATION	10
1.10 ABKÜRZUNGEN UND FACHBEGRIFFE	11

2	SMMU07	12
2.1	EINGRUPPIERUNG	13
2.2	EG-KONFORMITÄTSERKLÄRUNG	13
2.3	WICHTIGE HINWEISE	14
2.4	GARANTIE	14
2.5	WARTUNGSARBEITEN	14
2.6	KALIBRATION	14
2.7	MECHANIK	14
2.7.1	<i>Frontstecker</i>	14
2.8	PC-BEDIENOBERFLÄCHE	15
2.9	SITZ IM PRÜFSYSTEM	15
2.10	ÜBERSICHT	16
2.11	BLOCKSHEMA	17
2.12	PRINZIP	18
2.13	ANSCHLUSSPUNKT AP	18
2.13.1	<i>Geteilter Anschlusspunkt</i>	18
2.13.2	<i>Komplett verschalteter Anschlusspunkt</i>	19
2.14	DUT-KONTAKTIERUNG	19
2.15	EINSTIEGSTRAINING	19
2.16	SYSTEM INBETRIEBNAHME	20
2.16.1	<i>Externe Komponenten</i>	20
2.16.2	<i>SMMU</i>	20
2.17	BETRIEBSDATEN	21
3	SMU350C CONTROLLER	22
3.1	JUMPER J1	22
3.2	TESTPINS	23
3.3	RESET	23
3.3.1	<i>Eingang RESET</i>	23
3.3.2	<i>Reseterkennung</i>	23
3.4	MINIPORT	24
3.5	BLOCKSCHALTBILD	24
3.5.1	<i>Digitale Ausgänge</i>	26
3.5.2	<i>Digitale Eingänge</i>	26
3.6	DUT-VERSORGUNG (SOURCE)	27
3.6.1	<i>Spannungsmodus USUPPLY</i>	27
3.6.2	<i>Strommodus ICONST</i>	28
3.6.3	<i>Wechselspannung USUPPLY</i>	29
3.6.4	<i>AC-Stromquelle mit hoher Grenzfrequenz</i>	30
3.6.5	<i>AC-Stromquelle mit hoher Ausgangsspannung</i>	30
3.6.6	<i>Rauschstromfilter im Spannungsmodus USUPPLY</i>	31
3.6.7	<i>Pulsetrain USUPPLY</i>	32
3.6.8	<i>Messbuszustand MBSFP und MBSFN</i>	32
3.6.9	<i>Option V (FVG Floating Voltage Generator)</i>	33
3.7	SCHALTEN DER PRÜFLINGSVERSORGUNG (MULTIPLEXER)	33
3.7.1	<i>SVG extern geregelt</i>	33
3.7.2	<i>SVG intern geregelt</i>	33
3.7.3	<i>SVG ausschalten</i>	33
3.7.4	<i>Schalten vom FVG</i>	34
3.8	KELVIN-KONTAKTTESTS	34
3.8.1	<i>Anschlüsse SF und SS</i>	34
3.8.2	<i>Anschlüsse SS und S</i>	34
3.9	STECKERBELEGUNG	35
3.9.1	<i>350X1 und 350X2A POWER</i>	35
3.9.2	<i>350X3 MINIPORT SubD15female</i>	35
3.9.3	<i>350X5 V24.0 (Host) SubD9female</i>	35
3.9.4	<i>350X6 V24.1 (User) SubD9female</i>	35
4	AUXIO	36
4.1	STECKERBELEGUNG 350X4 AUXIO SUBD25FEMALE	36
4.2	SPANNUNGS AUSGÄNGE	36
4.3	DIV252 HF-VORTEILERMODUL	37
4.4	TEMPERATURSENSOR TEMPEXT	38
4.5	SENSOREINGANG AIN4...7	38

4.6	AB4-ZÄHLEREINGÄNGE SA UND SB.....	38
4.7	EINGANG QUIT.....	38
4.8	AUSGANG /PASS.....	39
4.9	NF-RECHTECKGENERATOR FRQ.....	39
5	FIRMWAREUPDATE.....	39
5.1	ABLAUF.....	39
5.2	SMMU_UPDATER.....	40
6	MUX275 MULTIPLEXER.....	41
6.1	PCB-LAGEPLAN.....	41
6.2	STECKERBELEGUNG 275X3 MUXA UND 275X4 MUXB SUBD37FEMALE.....	42
6.3	OKTALMULTIPLEXER.....	43
6.3.1	Ansteuerung.....	43
6.3.1.1	Schnellabschaltung.....	44
6.3.1.2	Front-LED.....	44
6.3.1.3	Modulkennung.....	44
6.3.2	Elektrische Eigenschaften.....	44
6.4	KAPAZITÄTSBELAG.....	45
6.4.1	Option C (LCE Low Capacity Extension).....	45
6.5	OPTION S (SPSIO).....	45
6.5.1	Steckerbelegung 275X7 SPSIO SubD25male.....	45
7	ADA309 DUT-ADAPTER.....	46
8	KUNDENSPEZIFISCHE ERWEITERUNGEN.....	47
8.1	MUX342 MULTIPLEXER.....	47
8.2	AMP354 MESSVERSTÄRKER.....	47
9	MESSSTRUKTUREN.....	48
9.1	BRUMMFILTER !HUM.....	48
10	ICT IN-CIRCUIT-TEST.....	49
10.1	ANSCHLUSS DES PRÜFLINGS.....	49
10.2	ABLAUF.....	49
10.2.1	ICT-Ablauf mit ausgeschaltetem FVG.....	49
10.2.2	ICT-Ablauf mit eingeschaltetem FVG.....	49
10.3	KELVIN-KONTAKT- UND DURCHGANGSTEST.....	50
10.4	SCHNELLER DURCHGANGSTEST.....	50
10.5	STANDARDMESSUNG DIODENSPERRWIDERSTAND.....	50
10.6	STANDARDMESSUNG DIODENDURCHGANGSSPANNUNG.....	50
10.7	STANDARDMESSUNG WIDERSTAND MIT THERMOSPANNUNGSKOMPENSATION.....	51
10.7.1	ICT-Triggermessung nach Schließen des Prüflings.....	51
10.8	STANDARDMESSUNG WIDERSTAND OHNE THERMOSPANNUNGSKOMPENSATION.....	52
10.8.1	ICT-Triggermessung nach Öffnen des Prüflings.....	52
10.9	PLAUSIBILITÄTSTEST.....	53
11	FKT FUNKTIONSTEST.....	54
12	STANDARDMESSUNG IM FUNKTIONSTEST.....	54
12.1	DIFFERENTIELLER MESSEINGANG.....	54
12.2	SPANNUNGSMESSUNG.....	54
12.3	SYSTEMSPANNUNGEN MESSEN.....	55
12.4	STROMMESSUNG.....	56
13	TRIGGERMESSUNG IM FUNKTIONSTEST.....	57
13.1	ABLAUF.....	57
13.1.1	Load&Arm.....	57
13.1.2	Logger.....	57
13.1.3	Sequenz.....	57
13.2	LOGGER- UND MESSPARAMETER.....	58
13.2.1	Loggerparameter.....	58
13.2.2	U-Messparameter.....	58
13.2.3	I-Messparameter.....	58
13.3	DATEN- UND LOGGERBLOCK.....	60
13.4	MESSGENAUIGKEIT.....	60
13.5	AC-KOPPELUNG.....	60
13.6	DARSTELLUNG DER MESSARTEN.....	61
13.6.1	Messart 0: Integrationszeitmessung.....	61
13.6.1.1	TRIGEXTpos.....	61
13.6.1.2	TRIGEXTneg.....	61
13.6.1.3	Externes Messzeitfenster.....	61

13.6.1.4	Externes Messzeitfenster mit Delay	61
13.6.1.5	Externes Messzeitfenster mit TRIGEXTneg	61
13.6.2	Messart 1: Pulsmessung	62
13.6.3	Messart 2: Periodenmessung	62
13.6.4	Messart -1: Phasenmessung	63
13.6.4.1	Inul Phasen-Nullabgleich	64
13.6.4.2	U-Phasenmessung	64
13.6.4.3	I-Phasenmessung	64
13.6.4.4	Phasenmessung intern	65
13.6.4.5	Phasenmessung extern	65
13.6.4.6	LCR-Messung	65
13.7	SCHNELLE TRIGGERMESSUNG	66
13.7.1	Spannung	66
13.7.2	Strom	66
14	OPTION H (HRADC HOCHAUFLÖSENDER WANDLER)	67
14.1	HOCHAUFLÖSENDE MANUELLE MESSUNG	67
14.2	HOCHAUFLÖSENDE STANDARDMESSUNG 16BIT	67
14.2.1	Hochauflösende Standardmessung 22bit	67
14.2.2	Schnelle hochauflösende Standardmessung 22bit	67
15	DATENVERKEHR SERIELLE SCHNITTSTELLE	68
15.1	V24-SCHNITTSTELLENPARAMETER	68
15.2	HOST-STEUERPROTOKOLL	68
15.3	SOFTWARETREIBER	68
15.3.1	Terminalmodus	68
15.3.2	Timeout beim Warten auf eine Antwort	68
15.3.3	Antwort mit Kennbuchstabe R (Return)	68
15.3.4	Antwort mit Kennbuchstabe F (Fehler)	69
15.3.4.1	Fehlertabelle	69
15.3.4.2	Beschreibung Err58	70
15.3.5	Antwort mit Kennbuchstabe W (Wert)	71
15.3.5.1	Einheitentabelle	71
15.3.6	Antwort mit Kennbuchstabe L (Logger)	71
16	BEFEHLE	72
16.1	ALLGEMEIN	72
16.2	TERMINALMODUS	73
16.3	AUXIO	73
16.4	SPSIO	73
16.5	FIRMWARE UPDATE	73
16.6	MULTIPLEXER UND MINIPORT	74
16.7	DUT-VERSORGUNG	75
16.8	ICT	75
16.8.1	Messbereiche	75
16.8.2	Messungen	76
16.8.3	Messungen vom Prüfling getriggert	76
16.9	FKT	77
16.9.1	Messbereiche, Datenblockzugriff und Logger	77
16.9.2	Messungen	77
16.10	ANSTEUERUNG NICHTVORHANDENER HARDWARE	78
17	INTEGRATION DER SMMU IN EIN PRÜFSYSTEM	79
17.1	Y-STÖRER	79
17.2	Y-ANBINDUNG	79
17.3	KOMPONENTEN IM PRÜFSYSTEM	80
17.4	ERDPOSITIONEN	81
17.4.1	AP-Erdung	81
17.4.2	DUT-Erdung	81
17.4.3	SMMU-Erdung	81
17.5	GLEICHTAKTANBINDUNG GTA	81
17.5.1	Gleichtakt Positionierung	82
17.5.2	Überprüfung	83
17.5.3	Praxiserfahrung	83
18	GEHÄUSE	84
18.1	KUNSTSTOFF	84
18.2	ALUMINIUM	84
19	GERÄTEDETAILS	85

19.1	BESTELNUMMERN FÜR KOMPLETTGERÄTE.....	85
19.2	BESTELNUMMERN FÜR EINZELTEILE.....	85
19.3	GERÄTESTAND.....	86
19.3.1	<i>Funktionsabdeckung</i>	86
TEIL 2	ANWENDUNGSBERICHTE.....	87
20	TIPPS & TRICKS.....	89
20.1	V24-SCHNITTSTELLEN.....	89
20.1.1	<i>Schnittstellenkaskadierung</i>	89
20.1.1.1	Schnittstellenkabel für Kaskadierung.....	89
20.1.1.2	Prüflingsansteuerung via V24.1.....	89
20.1.1.3	Schnittstellenkonverter.....	89
20.1.1.4	Digitalmultimeter 34401A.....	90
20.1.2	<i>Vollduplexbetrieb oder Time overlay-Ansteuerung</i>	90
20.1.3	<i>V24-Monitor für Halbduplexbetrieb</i>	90
20.2	WEGZÄHLER UND ZEITSTEMPEL.....	90
20.3	MULTIPLEXER.....	91
20.3.1	<i>Setzen von Kurzschlusskombinationen</i>	91
20.3.2	<i>AF-Schalter</i>	91
20.3.3	<i>Dummy AP</i>	91
20.3.4	<i>Maximalausnutzung eines Oktalmux</i>	91
20.3.5	<i>Adapterkennung</i>	91
20.3.6	<i>Matrix Fremdverwendung</i>	92
20.3.7	<i>Test-Matrix</i>	93
20.3.7.1	Testwiderstand aktivieren und messen.....	93
20.3.7.2	Verbindung zwischen SF und S herstellen.....	93
20.4	EXPERIMENTALADAPTER.....	93
20.5	VERSORGUNG DES PRÜFLINGS.....	94
20.5.1	<i>USUPPLY intern geregelt</i>	94
20.5.2	<i>USUPPLY extern geregelt</i>	94
20.5.3	<i>USUPPLY intern geregelt mit FVG</i>	94
20.5.4	<i>USUPPLY und Prüfling mit Massebezug</i>	95
20.5.5	<i>Tongenerator mit Lautsprecheranschluss</i>	95
20.5.6	<i>Konstantstrom ICONST</i>	95
20.5.7	<i>ICONST und Prüfling mit Massebezug</i>	95
20.5.8	<i>1Q-Stromsenke mit hoher Leistung</i>	96
20.5.9	<i>Unterschied ICONST und ILIMIT</i>	96
20.5.10	<i>Rückspeisung in USUPPLY</i>	96
20.5.11	<i>Prüfen mit Spannungen über 34V</i>	97
20.5.12	<i>Heizung mit einer SMMU</i>	97
20.5.13	<i>Low-level-Ersatzbefehle für Issv und Irsv</i>	97
20.6	FVG (FLOATING VOLTAGE GENERATOR).....	98
20.6.1	<i>Kennwerte messen</i>	98
20.6.2	<i>Spannungsaddition</i>	98
20.6.3	<i>Wellengenerator mit verschobenem Nullpunkt</i>	98
20.7	KELVIN-KONTAKTTTESTS.....	99
20.7.1	<i>Singular-AP</i>	99
20.7.2	<i>Dual-AP</i>	99
20.8	MESSSIGNALE AM OSZILLOGRAFEN MITSCHREIBEN.....	100
21	MESSEN & PRÜFEN.....	101
21.1	ALLGEMEIN.....	101
21.1.1	<i>AC-Koppelung</i>	101
21.1.2	<i>Negativer Triggeroffset</i>	101
21.2	SPANNUNG.....	102
21.2.1	<i>Spannung gegen Masse messen</i>	102
21.2.2	<i>Spannungsabfall in DUT-Speiseleitung messen</i>	102
21.2.3	<i>Quellspannung über SF-Matrix messen</i>	102
21.2.4	<i>Spannung über SS-Matrix messen</i>	102
21.2.5	<i>Spannung zwischen Matrixarten messen</i>	103
21.2.6	<i>Übersteuerung</i>	103
21.2.7	<i>Externes DVM</i>	103
21.2.8	<i>U-Messung mit Stromkompensation</i>	104

21.2.9	U-Triggermessung Integrationszeit mit Trigger.....	104
21.2.10	Umschalter Flugzeitmessung.....	104
21.2.11	U-Triggermessung Puls- / Periodenmessung	105
21.2.12	Schnelle Triggermessung, Spannung, Trigger und Logger.....	106
21.2.13	Schnelle Matrixabtastung.....	106
21.2.14	Logger als Oszillograf	107
21.2.15	TRIGEXT Externe Triggerung.....	107
21.2.16	Schwellspannung und Hysterese eines Komparators messen.....	107
21.2.17	Integrationszeitmessung mit externem Messfenster.....	108
21.2.18	Hochauflösende Standardmessung (16bit).....	108
21.2.19	Hochauflösende Standardmessung (22bit).....	108
21.2.20	Schnelle hochauflösende Standardmessung (22bit).....	108
21.3	STROM	109
21.3.1	Strommessung am SVGP mit externem Shunt und Shuntkompensation	109
21.3.2	Strommessung mit externem Shunt.....	109
21.3.3	I-Messung mit Stromkompensation.....	109
21.3.4	Strommessung am SVGP mit AF-Schalter und Shuntkompensation.....	110
21.3.5	Externes DAM.....	110
21.3.6	Leitfaden für stabile Messungen im nA-Bereich.....	110
21.3.7	I-Triggermessung Periode	111
21.3.8	Schaltstrom und Hysterese Optokoppler H11L1.....	111
21.4	WIDERSTAND.....	112
21.4.1	2-Leitermessung.....	112
21.4.2	4-Leitermessung.....	112
21.4.3	Cu-Schichtdicke einer LP ermitteln	112
21.4.4	Getriggerte Widerstandsmessung !irg.....	112
21.4.5	Getriggerte Widerstandsmessung !iro.....	112
21.4.6	Messung mit Ersatzkompensation	113
21.4.6.1	Widerstandswürfel	113
21.4.7	DC-Widerstandsmessung an RpCp-Last.....	113
21.4.8	Hochohmmessung Rp mit Konstanzspannung.....	114
21.4.9	Potentiometer.....	114
21.5	KAPAZITÄT	115
21.5.1	MAC1 C-Standardmessung UAC-Speisung ohne Phase.....	115
21.5.2	MAC2 C-Standardmessung UACDC-Speisung ohne Phase.....	115
21.5.3	MAC3 CsRs-Standardmessung UAC-Speisung mit Phasenmessung.....	116
21.5.4	MAC4 CsRs-Standardmessung UACDC-Speisung mit Phasenmessung.....	116
21.5.5	MAC5 CpRp-Messung UACDC-Speisung mit Phasenberechnung	117
21.5.6	MAC6 C-Messung IDC-Speisung.....	118
21.5.7	MAC7 C-Messung UDC-Speisung über Vorwiderstand.....	119
21.5.8	Entladung.....	119
21.5.9	Umrechnung CsRs und CpRp.....	120
21.5.10	Zweipolmessung CsRsRp.....	120
21.6	INDUKTIVITÄT.....	121
21.6.1	MAL1 L-Standardmessung, Rs dann IAC-Speisung mit Phasenberechnung	121
21.6.2	MAL2 L-Standardmessung, Rs dann UAC-Speisung mit Phasenberechnung.....	122
21.6.3	MAL4 UACDC-Speisung mit Phasenberechnung.....	123
21.6.4	MAL6 UAC-Speisung mit Phasenmessung	123
21.6.5	HF-Dämpfungsperle überprüfen.....	124
21.7	RELAIS.....	124
21.8	TRANSFORMATOR	125
21.8.1	Allgemein	125
21.8.2	Sekundärphase mit I-Speisung	126
21.8.3	Sekundärphase mit U-Speisung.....	126
21.9	OPTOKOPPLER	127
21.9.1	Optorelais mit Vorwiderstand.....	127
21.9.2	Optorelais AQV252G	128
21.10	DIODE.....	128
21.11	TRANSISTOR.....	128
21.11.1	Bipolar.....	128
21.11.2	FET selbstsperrend, einfacher Test	129
21.11.3	FET selbstsperrend, Kapazitäten	129

21.11.4 FET selbstsperrend, *RDSon* 129
 21.12 TDA7057AQ 130
 21.13 AKKU 131
 21.13.1 Lade- und Entladeprinzip 131
 21.13.2 Zellstapel 131
 21.13.3 Impedanz- und Innenwiderstandsmessung 132
 21.14 WANDLER 133
 21.14.1 DCDC 133
 21.14.2 POL 134
 21.15 NETZMESSUNGEN 134
 21.15.1 *u, i* 134
 21.15.2 *u, i, φ* 135
 21.15.3 Phasenanschnitt & Phasenabschnitt 136
 21.16 MOTOREN 137
 21.16.1 DC 137
 21.16.2 Schrittmotor 137

1 Einleitung

Die SMMU ist ein kompaktes multifunktionales Testgerät (ATE) zur Funktionsprüfung von elektronischen Geräten, Baugruppen, Bauteilen, Schaltmodulen und Kabelsätzen.

Sie wurde entwickelt für den harten Dauereinsatz in Produktion und Labor. Eine SMMU vereint die Speisung (source), die Messung (measurement) und den Prüflingsmultiplexer (multiplex) in einem Gerät (unit). Dadurch werden Störeinflüsse reduziert und hochempfindliche Messungen arbeiten präzise. Bei getrennten Geräten ist das nur mit viel Aufwand möglich.

Auch die Handhabung und Programmierung ist komfortabler als die aufwändige Verkabelung und Ansteuerung von Einzelgeräten.

Die Versorgung und Vermessung des Prüflings erfolgt über ACDC-Quellen und leistungsfähige Messstrukturen. Speisungen und Messungen sind frei programmierbar. Der integrierte Multiplexer mit bis zu 64 Anschlusspunkten realisiert die Anbindung des Prüflings.

Prüfungen erfolgen als In-Circuit-Test (ICT) oder Funktionstest (FKT).

Angesteuert wird die SMMU über eine serielle Schnittstelle von einem PC oder einer SPS. Prüfabläufe werden dort programmiert.

Durch das modulare Konzept sind bei Bedarf Systemerweiterungen mit kundenspezifischen Modulen problemlos möglich.



1.1 Namensgebung

Bald nach Fertigstellung der ersten Seriengeräte in 2004 wurde deutlich, dass die anfängliche Bezeichnung „Messbox 04“ der Leistungsfähigkeit dieser Geräteklasse nicht gerecht wird. Ausgehend von der bekannten **SMU** (Source Measure Unit), haben wir 2005 eine neue Geräteklasse definiert:

SMMU (Source Measurement Multiplex Unit)

Der Prüflingsmultiplexer ist vollständig integriert und Bestandteil des Systems. Der Begriff SMMU wurde von uns bewusst nicht mit Schutzrechten belegt, damit diese sinnvolle Bezeichnung allen Herstellern weltweit frei zur Verfügung steht. Seit dem 26.08.2005 (Doku_SMMU05_A11) verwenden wir die Bezeichnung SMMU.

Der Begriff SMMU wurde im Januar 2007 bei Wikipedia eingetragen:

<http://de.wikipedia.org/wiki/SMMU> und http://en.wikipedia.org/wiki/Source%E2%80%93measurement_unit

Eine SMU ist ein Multifunktionsgerät, das sowohl im Elektronik-Labor, als auch in der Produktion (als Automatic Test Equipment (ATE)) eingesetzt wird. Je nach Hersteller steht die Abkürzung für Source-Measure-Unit oder Source-Meter-Unit. SMUs sind seit etwa 2005 erhältlich und stehen als integrierte Systeme neben den bisher bekannten hochmodularen Testsystemen. Eine SMU besteht aus 2 wesentlichen Komponenten:


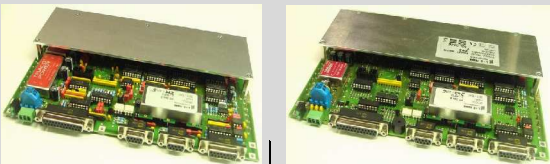
1. elektronisch gesteuertes Labornetzteil mit geregelten Versorgungsgeneratoren für Strom und Spannung
2. elektronisches Multimeter

Verfügbar sind auch SMMU (Source-Measurement-Multiplex-Units) mit zusätzlichem Multiplexer, der sowohl die Spannungen / Ströme des Netzteils in den Prüfling einspeist, als auch die Verbindung zwischen Prüfling und Mess-System herstellt. Eingesetzt werden SMMUs für den Funktionstest (FKT) und In-Circuit-Test (ICT).

1.2 Modellhistorie

Unsere bewährte SMMU05 (Controller CTL274 und Multiplexer MUX275) erhält mit der SMMU07 ein kompatibles Nachfolgemodell. Das System SMMU07 besteht aus dem Controller SMU350 und den Prüflingsmultiplexern MUX275. Die Firmware ist kompatibel, d.h. Funktionserweiterungen sind, abhängig vom Hardwarestand, lauffähig in bestehenden Anlagen mit SMMU05, siehe 16.10.

Die Tabelle zeigt den Funktionsumfang des Controllermoduls über 3 Generationen.

System	SMMU05		SMMU07	
				
	CTL274A, B		SMU350A, B	SMU350C
Modul				
Ausstattungsdetail				
Verschraubung Stecker X1 POWER	nein	nein	ja	
Stecker X2A POWER intern	nein		Option X	
Primärschutz POWER	nein		ja	
Messbusfreischaltung	partiell (ohne MBSFP)		komplett	
MINIPOINT Abschaltung	partiell (ohne SFP0)		komplett	
MINIPOINT kapazitätsreduziert	nein		ja	
SVGN Ausgangsspannung	0 / -8V schaltbar		0...-8V variabel mit DAC	
SVGN Biasstrom auf SSN	~180nA		0nA	
SVGP Freischaltung Port140	nein		ja	
SVGP Tiefpassfilter Port144	LO fix		LO/HI schaltbar	
Messverstärker Eingangswiderstand	1GΩ		<=10GΩ	~20GΩ
Messverstärker Bandbreite Port145	3KHz fix		3/30KHz schaltbar	
Messverstärker AC/DC-Koppelung	DC		AC/DC	
Überwachung Gleichtaktspannung der Messverstärker CMV Err16	nein		ja	
CMV Tiefpass Grenzfrequenz	-		1KHz	10KHz
Testpins	Basis		Basis	Basis + MEASAMP + PHASE
SupplySense Kelvin-Kontakttests (Issv, Itst13, Itst14)	nacheilende Prüfung, Überspannung möglich		voreilende Prüfung, keine Überspannung an den SVG möglich	
Sensoreingang AIN4...7	0...4.8V		0...10.5V	
FVG Floating Voltage Generator	nein		Option V	
HRADC Hochauflösender Wandler	nein		Option H	
V24-Schnittstelle Controlsignale	passiv		aktiv 5V	
Eingang FDUTDIV Frequenzmessg.	10KΩ pulldown an GND		10KΩ pullup an 5V	
Phasenmessung	>50Hz		>=1Hz	
Reseteingang 5V	nein		nein	ja

1.3 Produktentwicklung

Die SMMU05 und das Folgemodell SMMU07 werden von Frank in der Bundesrepublik Deutschland entwickelt, gebaut, getestet, gewartet und bei Bedarf funktionell erweitert. Eine Analyse oder Kopie von Fremdprodukten fand und findet nicht statt. Jede Soft- und Hardwarekomponente entsteht aus unserem eigenen Fundus. Unser Konzept steht für Nachhaltigkeit und Funktionssicherheit im weltweiten und problemlosen Dauereinsatz. Die SMMU existiert seit 2004 und bewährt sich in über 250 Prüfsystemen. Die Module sind frei von lebensdauerbegrenzenden Sollbruchstellen oder Verschleißpositionen. Sie enthalten keine störanfälligen mechanischen Relais oder Trimmer und sind auf Langlebigkeit ausgelegt. Die SMMU ist CE-zertifiziert. Darüber hinaus entwickeln und verwenden wir seit über 25 Jahren unsere eigenen hochwertigen Qualitätsprozesse für Industriegeräte im harten Dauereinsatz.

1.4 Update

Ein Update der Firmware in der Zielanlage ist problemlos möglich.

1.5 Bedienkonzept

Das Bedienkonzept der SMMU folgt transparenten Strukturen. Die Funktionen können u.a. mit dem Hyperterminal (PC-Programm) von Hand erprobt werden, siehe 2.15 Einstiegstraining. Diese Methode eignet sich zum Kennenlernen und Austesten von Steuersequenzen. Unsere Kunden erhalten bestmögliche Unterstützung bei Testsequenzen und Fragen zum System SMMU.

1.6 Ausmusterung

Die SMMU-Module sind wertvolle Bausteine unserer Testerfamilie. Eine Reparatur ist in fast allen Fällen möglich, die Wiederverwendbarkeit ist dann garantiert. Im Falle einer Ausmusterung können die Module kostenfrei an uns zurückgesendet werden. Wir unterstützen damit Hochschulen und Universitäten.

1.7 Haftungsausschluss

Alle Angaben in diesem Dokument wurden von uns mit größter Sorgfalt erstellt und auf Richtigkeit überprüft. Für unvollständige oder fehlerhafte Angaben wird keine Haftung übernommen. Änderungen und Erweiterungen, die der technischen Weiterentwicklung dienen, können von uns jederzeit vorgenommen werden, Anregungen sind willkommen. Verwendung, Einbau und Gebrauch der beschriebenen Teile liegen im Verantwortungsbereich des Anwenders. Für wiedergegebene Schaltungen, Beschreibungen und Tabellen wird keine Gewähr bezüglich der Freiheit von Rechten Dritter übernommen. Wir übernehmen keine Haftung für die Übereinstimmung des Inhalts mit geltenden Vorschriften. Dieses Dokument ersetzt alle bisherigen Ausgaben.

1.8 Copyright

Diese Dokumentation dient als Arbeitsreferenz und kann jederzeit betriebsintern vervielfältigt werden. Externer Nachdruck, Vervielfältigung, Übersetzung oder Distribution im Internet, auch auszugsweise, ist nur mit unserer vorherigen schriftlichen Zustimmung und mit Quellenangabe gestattet. Ein Nachbau der Komponenten sowie Disassemblierung und Reengineering unserer Soft- und Hardware ist unzulässig.

1.9 Dokumentation

Teil 1 der Dokumentation enthält die technische Beschreibung des Testers. Sie wurde erstellt für Fachleute und Systemintegratoren, die vertraut sind mit analoger Messtechnik. Vorteilhaft ist Basiswissen über Operationsverstärker, Regelungstechnik, Spannungs- und Stromregler. Begleitend zur Beschreibung des Testers sind allgemeingültige detaillierte Abhandlungen über wichtige Bereiche der Messtechnik integriert:

Erdstrukturen, Erdströme, Brummschleifen, Potentialverhältnisse, Ableitverfahren, Y-Anbindung, Gleichtaktspannung, Gleichtaktanbindung, Ausgleichströme, Störströme, Kelvin-Messtechnik, Kelvin-Kontakttests, Überwachungsstrukturen, Messverfahren, Filtereinstellungen, Rauschprobleme, Abschirmungen und Kompensationstechniken.

Teil 2 der Dokumentation enthält erprobte Anwendungsberichte für viele Einsatzbereiche. Sie können verwendet werden als Basis für die Erstellung von eigenen Prüf- und Messroutinen.

1.10 Abkürzungen und Fachbegriffe

#	Abbreviation for number	Abkürzung für Nummer
0, 1	Logical zero, one on a digital in- / output	logische Null, Eins an einem Digitaleingang / -ausgang
1Q, 4Q	1-Quadrantenstromregler bzw. 4-Quadrantenstromspannungsregelung an den SVG	
350X1, 350P1, S1	connector reference, Steckerreferenz: fix	X montiert auf Leiterplatte, Gegenstecker Portabel, ver
@	indicates a condition, steht für das englische „at“, bezeichnet eine Bedingung „bei“ z.B. einer bestimmten Temperatur	
AF	Auxiliary force freier MUX275 Anschluss, das AF-Relais verbindet den AF- mit dem SF-Anschluss	
AP	Access Point for DUT, consists of:	Anschlusspunkt für DUT, besteht aus: SF, SS und S
ASCII	American standard code for information interchange	
ATE	Automatic test equipment	Automatisches Testsystem
BW, BB	bandwidth	Bandbreite
CAL	Calibration record	Herstellereintrag, Firmwareversion & -datum bei Kalibrierung
CASE	case, case potential	Gehäuse, Gehäusepotential
CLAMPSFN	Diodeclamp MBSFN on GND	Klemmt Anschluss MBSFN über eine Diode an Systemmasse
CMR	common mode rejection	Gleichtaktunterdrückung
CMV	common mode voltage violation	Überschreitung der Gleichtaktspannungsgrenze
COM, RS232, V24	Serial asynchronous interface	Serielle asynchrone Schnittstelle
DMM, DVM, DAM	Digital multi-, volt-, ammeter	Digitales Multi-, Volt-, Amperemeter
Dummy AP		komplett verschalteter AP als Stützpunkt oder zur Adressierung
DUT, UUT	Device, unit under test, test item	Prüfling
EMC, EMV	Electromagnetic compatibility	Elektromagnetische Verträglichkeit
ENDMF	EnableDutMiniportForce	Schalten von SSP, SSN, SFP und SFN vom MINIPORT an den Messbus
ENDMS	EnableDutMiniportSense	Schalten der Senseleitungen SP und SN vom MINIPORT an den Messbus
ESD	Electrostatic discharge	Elektrostatische Entladung
FCT, FKT	Functional test	Funktionstest
FVG	Floating voltage generator	Fliegende Quelle ohne GND-Anbindung
GND, GNDA	Ground digital, analog	Digitalmasse, Analogmasse
GTA, CMC	common mode connection	Gleichtaktanbindung
HiZ	Three state condition	Ausgang hochohmig
HMR, MR	Hardware modification record	Hardwarestand
ICONST	Constant current from IREG	Konstantstrom vom Stromregler IREG
IO	Input / Output	Eingang / Ausgang
ICT	In-Circuit-Test	
IREG	Current reg. IREG generates ICONST	Stromregler IREG erzeugt Konstantstrom ICONST
ISFP, ISFN	Current in connection SFP, SFN	Strom im Anschluss SFP, SFN
Kelvinanschluss	4-Leiteranschluss technik: Separate Anschlüsse am DUT von SF/SS/S zur Vermeidung von Messfehlern	
LED	Light emitting diode	Lichtemissionsdiode
LPF, HPF	Low / High pass filter	Tiefpassfilter, Hochpassfilter
MB, MBUS	measuring bus, consisting of:	Messbus, besteht aus: MBSFP, MBSSP, MBSP, MBSN, MBSSN, MBSFN
min, max	minimum, maximum	minimal, maximal
MINIPORT	DUT connection 2 APs with fixed polarity	DUT-Anschluss 2 AP mit fester Polarität
MUX275	multiplexer module, DUT switch unit	Multiplexermodul der SMMU
NC, nc, dnc	not connected, do not connect	nicht angeschlossen, nicht kontaktieren
neg, pos	negative, positive	negativ, positiv
NF, HF	Low / High frequency	Niederfrequenz, Hochfrequenz
Oktalmux	8x multiplexer unit on MUX manages 8 DUT APs	8fach Multiplexereinheit auf MUX, verwaltet 8 DUT-AP
OpAmp, OPA	Operational Amplifier	Operationsverstärker
PAC	Programmable Automation Controller	
PC	Personalcomputer	Steuerrechner
PE	Protective earth	Schutzerde
PGA	Programmable gain amplifier	programmierbarer Verstärker
Plausitest	Device self-test incl. needle adapter	Plausibilitätstest incl. Nadeladapter
RealAP	existing AP	Anzahl der real vorhandenen MUX-AP in einem Prüfsystem
S	Sense input for voltage measurement, prog. as SP or SN	Eingang für Spannungsmessung
SF	Supply force, load output for DUT supply, prog. as SFP or SFN	Lastausgang für DUT-Versorgung
SFP, SFN	SupplyForcePos., SupplyForceNeg.	Ausgang Spannungsversorgung
SH	electrical shield	elektrische Schirmung
SHORTSF	switch from MBSFP to MBSFN	Schalter von MBSFP nach MBSFN
SMD	Surface mounted device	Bauteil für Oberflächenmontage
SMMU	Source measurement multiplex unit	Bezeichnung des Gesamtsystems
SMU350	Source measurement unit 350	Zentraleinheit/Controller der SMMU07
SP, SN	Sense pos., neg., measurement input	Messeingang
SPS, PLC, SPSIO, PLCIO	Programmable logic controller	Speicherprogrammierbare Steuerung, SPS, PLC Input Output
SS	Supply sense	Fühlerleitung zur Regelung des DUT-Lastausgangs SF, prog. als SSP oder SSN
SSP, SSN	SupplySensePos., SupplySenseNeg.	Spannungsversorgung
SVG, SVGP, SVGN	Supply voltage generator, Pos, Neg	SpannungsVersorgungsGenerator, Pos, Neg am Messbus MBSFP, MBSFN
Tbd, tbd	To be defined	noch festzulegen
TDOK, TDOK	Technical description	Technische Dokumentation
THD	Thru-hole device	Bauteil in Durchstecktechnik
TU, TL To, Tu	Tolerance upper, Tolerance lower	Toleranz Oben, Toleranz Unten
TP	Test pin	Testpin
ULIMIT, ILIMIT	Voltage and current limit in the SVG	Spannungsgrenz- und Stromgrenzwert im SVG
V, VER	Firmware version	Firmwareversion, Softwareversion
wc	Worst case	der schlechteste Fall
Y-Störer, Y-interferer	Device with common-mode interference to PE	Gerät mit Gleichtaktstörung gegen PE (asymmetrischer Störer)
Y-Anbindung	Ableitnetzwerk nach PE, reduziert die Y-Störspannung	
Y-discharger	Discharge network of a device to PE, reduces Y-interference voltage	
Y-Reststörspng.	verbleibende Gleichtaktstörspannung einer Komponente nach Anschluss einer Y-Anbindung an PE	
Y-residual interference voltage	Remaining common-mode interference from a device after connecting a Y-discharger to PE	
Σ	sum	Summe

2 SMMU07

Technik

- Versorgung mit 24VDC 30W, Leerlauf <4Watt
- erdfreies Testsystem
- Kurze Bootzeit <1s
- Multiplexer in 6-Leitertechnik
- Prüflingskontaktierung in 2-, 4- oder 6-Leiter-Technik
- In-Circuit-Test und Funktionstest
- MINIPORT für Prüflinge mit 2 Anschlusspunkten und modulare Multiplexer MUX bis 64AP
- Jeder AP am MUX kann softwaregesteuert mit einem externen Gerät verbunden werden
- Bis zu 64 SPS kompatible digitale 24V Ein- und Ausgänge zur Ablaufsteuerung (Option)
- 2 potentialfreie V24-Schnittstellen, eine davon frei verwendbar
- Firmwareupdate über Schnittstelle

Prüflingsversorgung

- 4Q-Konstantspannung 0...-8V 480mA
- 4Q-Konstantspannung -2,3...+26V 30...400mA oder
- 4Q-Wechselspannung Sinus/Rechteck 1...3000Hz
- 1Q-Konstantstrom 1µA...400mAdc mit Spannungsbegrenzung 1...26V
- 4Q-Konstantstrom bis 400mAacdc
- Option FVG, Floating Voltage Generator 0,2...9,8V mit Innenwiderstand 3...103KΩ
- externe Netzteile bis 38V, 1A

Prüflingsstimulation

- Schalten von USUPPLY, ISUPPLY, FVG, Masse, HiZ, AF-Schalter, Testmatrix
- Pulsetraingenerator, Wellengenerator, Rechteckgenerator

Messmöglichkeiten

- ICT- Kelvin- und Durchgangstest
- ICT-Diodendurchlassspannung
- ICT-Widerstand mit und ohne Thermospannungskompensation / Triggerfunktion
- U-Messungen sind möglich über und zwischen den 3 Matrixarten des MUX
- 7 U-Bereiche 120mV...34V, Auflösung bis 10µV
- 8 I-Bereiche 200nA...400mA, Auflösung bis 100pA, Option HRADC bis 10pA
- 2 Zeitstempel (1ms und 100µs)
- UI-Standardmessung, Triggermessung, schnelle Triggermessung
 - AC- / DC-Koppelung
 - interner Analogtrigger, externer Digitaltrigger, externes Messfenster
 - Triggerpegel, Triggerpolarität, Triggerwiederholung zur Mittelwertbildung
 - Spannung / Strom als DCavg, DCrms, ACrms, MIN, MAX
 - Warte- und Integrationszeiteinstellung
 - Puls-, Perioden-, Phasen-, Schalt-, Verzögerungs- und Wiederholzeit, Tastverhältnis
 - Datenlogger mit 64 Blöcken mit Zeit- und AB4-Zählerstempel
- Option HRADC für DC-Messungen (22bit)
- Ext. Strom mit DAM / Shunt direkt oder über MUX
- Ext. Spannung mit DVM über MUX
- Sensormessungen 0...10V
- Temperatursensor intern und extern
- Frequenz bis 7MHz über HF-Vorteiler DIV252
- Weg mit digitalem AB4-Zähler
- Impedanz X mit Phase
- Spannung, Strom und Phase an int. und ext. Quellen, Lichtnetz, Phasenanschnitt, -abschnitt

Funktionsüberwachung

- Plausibilitätstest:
 - Betriebsspannungs- und Funktionskontrolle wichtiger Komponenten
 - Überprüfung der Messmultiplexer mit Hilfe integrierter Prüfzeilen
 - Überprüfung vom Nadeladapter auf Kurzschluss durch Metallabrieb
- Prüflingsversorgung mit voreilender Überwachung der SupplySenseleitungen
- Kontakttests der Kelvinanschlüsse
- Überwachung Gleichtaktspannungsbereich der Messverstärker
- Reseterkennung

2.1 Eingruppierung

Geräteklasse Die SMMU ist ein ISM-Gerät (Industrial Scientific Medical) der Gruppe 1 Klasse A, vorgesehen für den industriellen Einsatz in geschützter Umgebung in Messkategorie CAT I-42V. Wegen der auftretenden Störgrößen sind in seltenen Fällen Funkstörungen im Wohnbereich möglich. In diesem Fall kann vom Betreiber verlangt werden, angemessene Maßnahmen durchzuführen.

REACH/POP Nach heutigem Stand entfällt die Registrierungspflicht für dieses Produkt, da es keine Stoffe enthält, die unter normalen, vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen zur Freisetzung bestimmt sind.

ErP Die SMMU ist ein Ökodesign mit geringer Leistungsaufnahme.

RoHS Die Module werden bleifrei gefertigt.

WEEE Typschild mit durchkreuzter Abfalltonne: Die wiederverwendbaren B2B-Module (business to business) können kostenfrei an den Hersteller zurückgeschickt werden.

Made in Germany Alle Module werden in der Bundesrepublik Deutschland gefertigt.

long life Geplante Lebensdauer 30 Jahre, 14 Jahre sind nachweisbar problemlos.

Zolltarifnummern (statistische Warennummer):

SMU350 und Komplettsysteme: 9030 3330
 Einzelne Multiplexer MUX275: 9030 9000

J. + G. FRANK
 www.jgfrank.de

SYSTEM - MODUL:	SMMU07 - SMU350
SERIENNUMMER:	202
PROJEKT:	P 4824
DATUM:	01.2014

Made in Germany | long life | CE | Pb | RoHS

2.2 EG-Konformitätserklärung

EG-Konformitätserklärung

Der Hersteller: Ingenieurbüro Jochen + Georg Frank * Sophienstr. 32 * D-70178 Stuttgart
 bescheinigt die Konformität für das Produkt

Typ: SMMU07
 Bezeichnung: Source Measurement Multiplex Unit
 Module: SMU350, MUX342, MUX275, DIV252
 Ausbaustufe: 0...64 Anschlusspunkte
 mit den folgenden Bestimmungen: EMV Richtlinie 2004/108/EG

Angewandte harmonisierte Normen: Sicherheitsbestimmungen für elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte EN 61010-1:2010
 Messkategorie CAT I-42V
 Verschmutzungsgrad 2

Elektromagnetische Verträglichkeit: Fachgrundnorm Störaussendung Industriebereich EN61000-6-4:2011-09
 Fachgrundnorm Störfestigkeit Industriebereich EN61000-6-2:2006-3
 Berichtigung1:2011-06

Ort, Datum: Stuttgart, 14.02.2014

Unterschrift:
 G. Frank
 Hardwareentwicklung

2.3 Wichtige Hinweise

1. Das Gerät ist vorgesehen zur bestimmungsgemäßen Anwendung in ESD geschützten Bereichen wie Messfeld und Labor.
2. Nicht zulässig ist eine Verwendung in medizinischen, militärischen und sicherheitskritischen Bereichen.
3. Die Kabel der SMMU dürfen den geschützten Bereich nicht verlassen.
4. Die Kabel der SMMU müssen kürzer sein als 10m (short distance bus, SDB).
5. Die Kabel der SMMU sollen geschirmt sein, der Schirm ist an BODY / CASE = PE zu legen.
6. Metallgehäuse und Montageplatten sind zu erden.
7. Der Gehäuseanschluss am Stecker POWER ist zu erden.
8. Die Versorgungsmasse GND24V soll geerdet werden.
9. Die SPS-Schnittstellenmasse GNDSPTS soll geerdet werden.
10. Die V24-Schnittstellenmasse GNDIO / GNDI1 kann geerdet werden.
11. Bei externen Komponenten ist Y-Anbindung zu beachten, siehe 2.16.1.
12. Module am Messbus dürfen nur spannungsfrei gesteckt werden.
13. Wird ein Anschlusspunkt an MINIPORT oder MUX in einer Anwendung nicht verwendet, soll eine Brücke eingelötet werden zwischen den Anschlüssen SF und SS. Dann kann der Plausibilitätstest (siehe 10.9) korrekt ablaufen.

2.4 Garantie

Unsere Garantie bezieht sich auf die Funktion bei bestimmungsgemäßem Gebrauch und fachgerechter Verwendung. Sie ist gültig in der Bundesrepublik Deutschland. Die Garantiezeit beträgt 2 Jahre ab Lieferdatum. Beanstandungen sind schriftlich, zusammen mit dem Gerät, beim Hersteller einzureichen.

2.5 Wartungsarbeiten

Die Module sollen sauber und staubfrei gehalten werden. Eine partielle Reinigung kann erfolgen mit Isopropanol, Pinsel, Staubtuch und antistatischer Pressluft. Nach 15 Jahren Dauerlauf empfehlen wir den Austausch der 105°C Elkos. Bei Multiplexer MUX275 und SMU350C ab HMR35 können ICs im Stecksocket jederzeit gleichwertig getauscht werden, die Gerätekalibration bleibt stabil. Bei weitergehenden Modifikationen an den Modulen erlischt die Garantie. Alle Arbeiten sollen in ESD-geschützter Umgebung erfolgen.

2.6 Kalibration

Eine Kalibration der SMMU erfolgt ab Werk beim Endtest des Systems oder im Kundenauftrag. Kalibrierdaten und -datum werden im Gerät und in unseren Datenbanken gespeichert. Die beim Abgleich vorhandene Firmwareversion wird in Parameter !cal0 abgelegt, !cal1 enthält das Kalibrierdatum.

Bei Bedarf unterstützen wir Kunden bei der Eigenkalibration der Systeme. Einige Kunden kalibrieren ihre kompletten Testsysteme; die SMMU wird dabei als Bestandteil des Komplettsystems mitkalibriert. Die Standzeit der verwendeten Referenzen erreicht problemlos 50000h.

2.7 Mechanik

Maße SMU350 ohne Stecker	LP L233,35 B160 H30mm	Optionale Teilfrontplatte 6H6T
Maße MUX275 ohne Stecker	LP L233,35 B160 H20mm	Optionale Teilfrontplatte 6H4T

Die Doppeleuropaplatten sind 19" kompatibel. Im Baugruppenträger werden die Gegenstecker mit Z-Schienen nach EN60603-2 (DIN41612) befestigt. Die alternative Befestigung der LP mit 4 elektrisch leitenden Abstandsbolzen M3x20 (Innen-/Außengewinde) im Raster 225x130mm symmetrisch zur LP ist vorgesehen. Die 4 untersten Bolzen des Leiterplattenstapels sind an der elektrisch leitfähigen und geerdeten Montageplatte aufgeschraubt. SMU350 wird mit Abstandsbolzen in Stapeltechnik über den MUX275 montiert. Die durchkontaktierten 3,2mm Befestigungsbohrungen auf der LP haben elektrische Verbindung zu Bauteilen und dürfen nicht aufgebohrt werden, da sonst die Erdableitung zerstört wird!

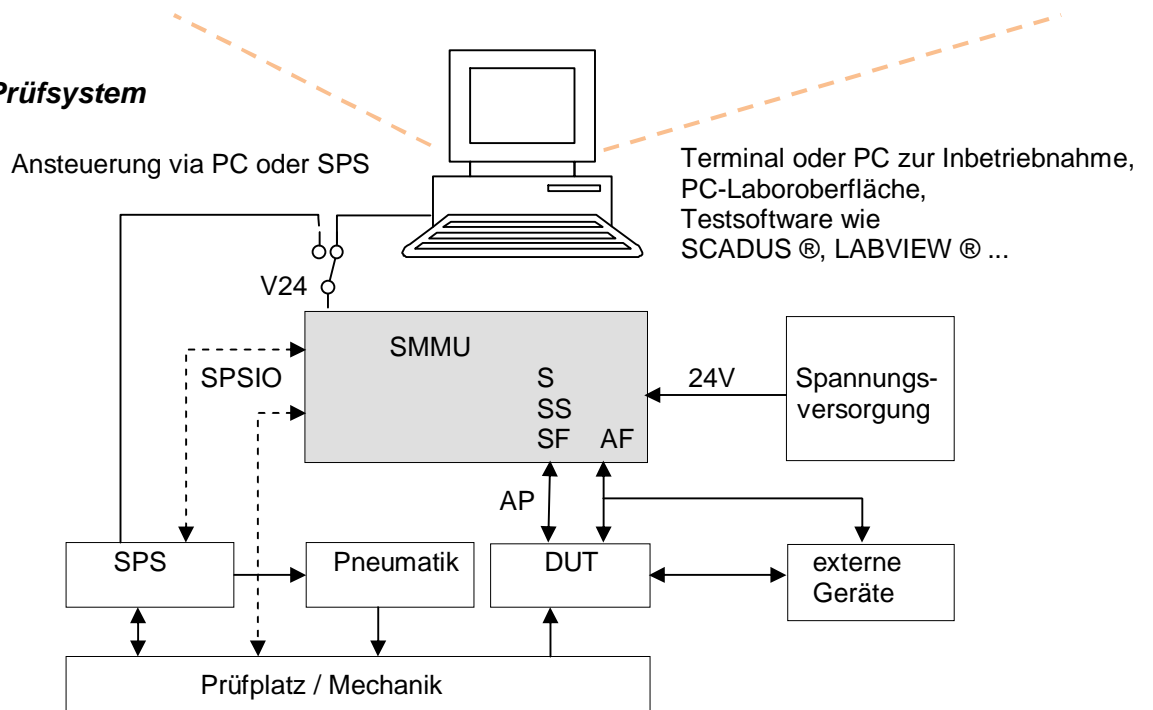
2.7.1 Frontstecker

Zur Verriegelung sind alle SubD-Stecker ausgerüstet mit Schraubbolzen 4-40UNC. Die Stecker sind ausgelegt für 50 Steckzyklen, Güteklasse G3. Werden Stecker häufig gesteckt, sollen zur Schonung austauschbare Zwischenstecker vorgesehen werden.

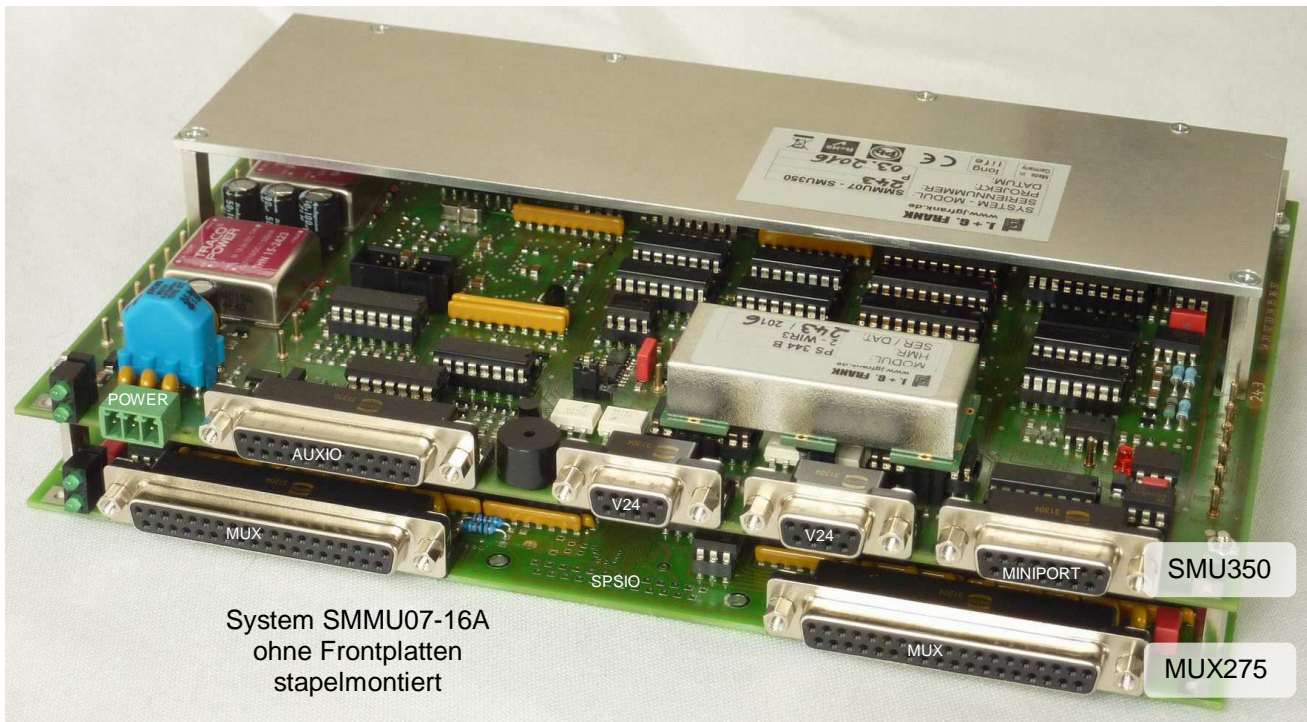
2.8 PC-Bedienoberfläche

Eine PC-Bedienoberfläche ist aktuell nicht verfügbar.

2.9 Sitz im Prüfsystem



2.10 Übersicht



System SMMU07-16A
ohne Frontplatten
stapelmontiert

Die vollelektronische SMMU07 besteht aus der Source Measurement Unit SMU350 (Controller) und bis zu 8 Prüflingsmultiplexer MUX275. Alle Module sind über den steckbaren Messbus miteinander verbunden. Nach PowerUp ist das System innerhalb von 1s voll betriebsbereit. Der Hardwarestand jedes Moduls ist ablesbar am Hardware Modification Record HMR auf der LP. Das Controllermodul ist zusätzlich mit Befehl !hmr abfragbar. Die Steckverbinder an den Frontplatten sind verschraubbar.

Das System hat folgende Anwenderschnittstellen:

- 1 Stecker POWER zur Spannungsversorgung
- 1 Stecker AUXIO für den Anschluss von Sensoren, Bedienelementen und Sonderfunktionen
- 2 Stecker V24 mit potentialfreien COM-Schnittstellen
- 1 Stecker MINIPOINT mit 2 AP zum Prüflingsanschluss
- Bis zu 8 Stecker MUX a 8 AP zum Prüflingsanschluss
- Bis zu 4 Stecker SPSIO a 8xIO

Stecker AUXIO bietet vier analoge Sensoreingänge, einen externen Temperatureingang und einen Trigger- / Gate- / Synchron Eingang. Ein AB4-Incrementalzählereingang verarbeitet Drehgebersignale, HF-Frequenzmessungen erfolgen über den optionalen externen Vorteiler DIV252.

Zur Verfügung steht ein Rechteckgenerator mit HCMOS-Ausgang, 5 Speisespannungen für externe Elektronikmodule, ein Tasteneingang QUIT und ein Ausgang /PASS für eine Signallampe.

Das System verwaltet 2 Zeitstempel, die bei Analogmessungen aktualisiert werden. Gleichzeitig wird der AB4-Zähler zwischengespeichert. Die Zwischenspeicher können gelesen werden.

Am MINIPOINT können Prüflinge mit 2 Anschlusspunkten angeschlossen werden. Anschliessbar sind auch externe Messgeräte, Messerfassungskarten, Pufferelkos etc.

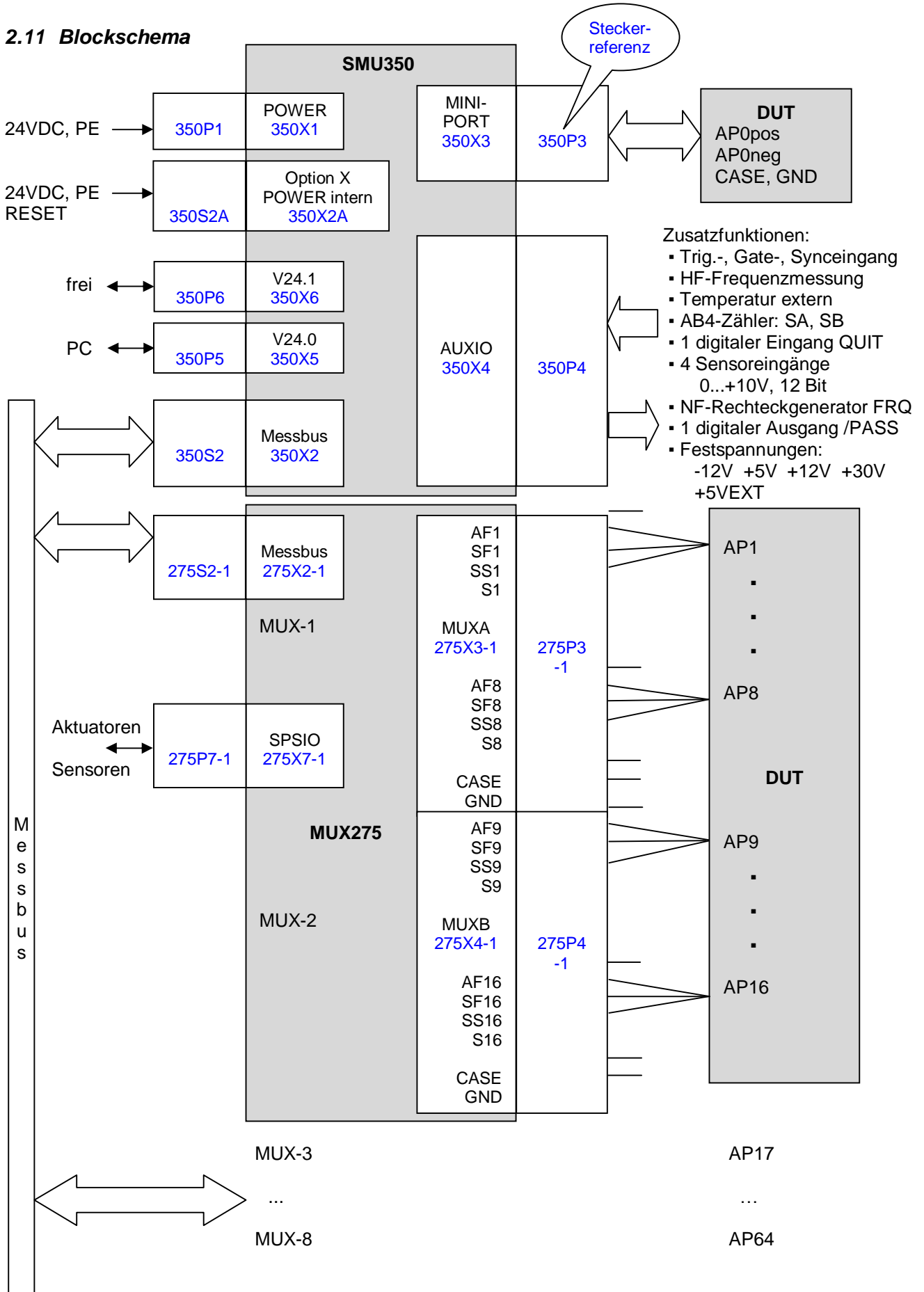
Am Multiplexer MUX275 werden vielpolige Prüflinge angeschlossen. Über AF-Anschlüsse können externe Komponenten unter Softwarekontrolle mit dem Prüfling verbunden werden: Busconverter, Programmiergerät, Stromshunts, Entladungswiderstände, Netzteile etc.

Optional verfügt jede MUX275 über potentialfreie SPS-kompatible 24V Ein- und Ausgänge.

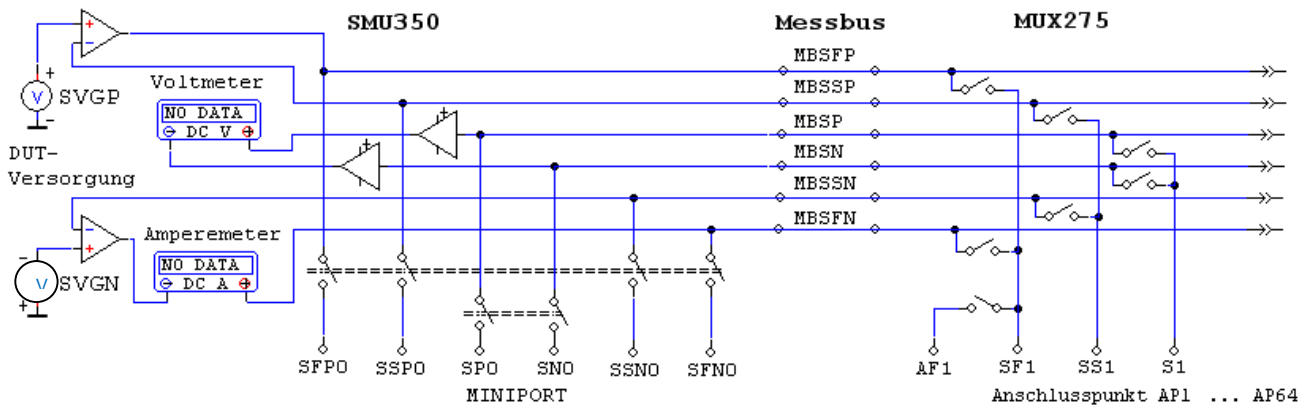
Die Module können (Bild oben) mit Hilfe von M3x20mm Distanzbolzen stapelmontiert werden. Der Stapel wird auf eine elektrisch leitende und geerdete Trägerplatte aufgeschraubt.

Module mit Frontplatten passen perfekt in 19"-Gehäuse oder Baugruppenträger mit 6HE/180mm Einbautiefe. Lieferbar sind Tischgehäuse mit Aufstellfüßen oder Befestigungswinkeln zur Wandmontage.

2.11 Blockschaema



2.12 Prinzip



Das Grundprinzip der SMMU zeigt die 3 Komponenten:

- a) SMU350 mit MINIPORT
- b) Messbus
- c) MUX275 mit bis zu 64 Anschlusspunkten

Die Versorgung des Prüflings besteht aus dem Regler SVGP für den positiven und SVGN für den negativen Anschlusspunkt. Jeder Regler hat eine Ausgangsleitung SF und eine Fühlerleitung SS zur Spannungsregelung am externen Knotenpunkt. In Betriebsart Konstantstrom wird dem SVGN intern der Stromregler IREG nachgeschaltet. Das Amperemeter befindet sich im Pfad des SVGN.

Das Voltmeter mit hochohmigen Eingangsverstärkern misst Spannungen differentiell zwischen den Senseanschlüssen S (auch SS, SF, gemischt und massebezogen möglich).

Über die Schalter von MINIPORT und MUX kann jeder Anschlusspunkt mit dem angeschlossenen Prüfling versorgt und gemessen werden.

2.13 Anschlusspunkt AP

Prüflinge werden über Anschlusspunkte angeschlossen, sie bestehen aus den Anschlüssen SF, SS und S.

In Ausgabe- und Messbefehlen repräsentiert p und n die Nummer des gewünschten Anschlusspunktes:

- p (Polarität +) definiert den vom SVGP angesteuerten APp (bestehend aus SFp, SSp und Sp)
- n (Polarität -) definiert den vom SVGN / IREG angesteuerten APn (bestehend aus SFn, SSn und Sn)

Am MINIPORT ist die Polarität p:n der AP fest verdrahtet, am MUX frei programmierbar.

Die Wertebereiche von p und n:

- 1. >0 (1...RealAP) externe AP am MUX verwendbar bei FKT/ICT
- 2. =0 (0:0) externe AP am MINIPORT FKT/ICT
- 3. <0 interne AP am Controller bei FKT

Interne AP haben negative Vorzeichen. Sie bestehen aus Sense-Anschlüssen wie GND und Messbuswurzeln, die am MainMux (siehe 3.5) mit fester Messpolarität angeschlossen sind.

Anwendungen siehe 3.6.6, 21.2.1 ff und schnelle Triggermessung 13.7.

Interne AP			
APp am MainMuxPos		APn am MainMuxNeg	
GND	-1	GND	-1
MBSSN	-4 (n)	MBSFP	-24 (n)
MBSSP	-5 (n)	MBSSN (ab HMR35)	-32 (n)
MBSFN	-8	MBSFN	-48
MBSN	-64	MBSP	-64

(n) nicht verfügbar im Modul CTL274

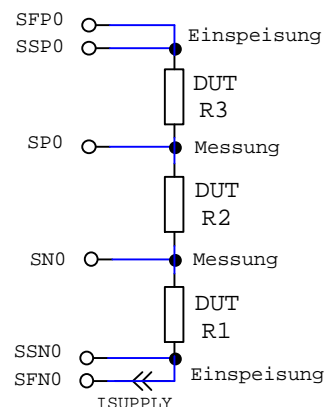
2.13.1 Geteilter Anschlusspunkt

Bei geteilten AP werden die Anschlüsse SF (SupplyForce), SS (SupplySense) und S (Sense) separat nach Bedarf verschaltet. Das Bild zeigt einen Prüfling mit 4 Anschlüssen, der mit geteilten AP am MINIPORT angeschlossen ist.

Vorteil: Der Prüftechnik-Hardwareaufwand ist minimiert, nur 2 AP.

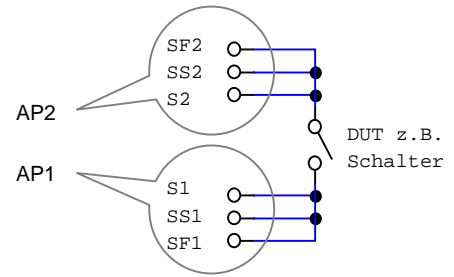
Nachteil: Die Einspeisung ist nur möglich an SFPO und SFNO.
Strom ISUPPLY und alle Spannungen können gemessen werden.
Kelvin-Kontakttests und ICT sind nicht möglich.

Beispiel am MUX siehe 20.3.4.



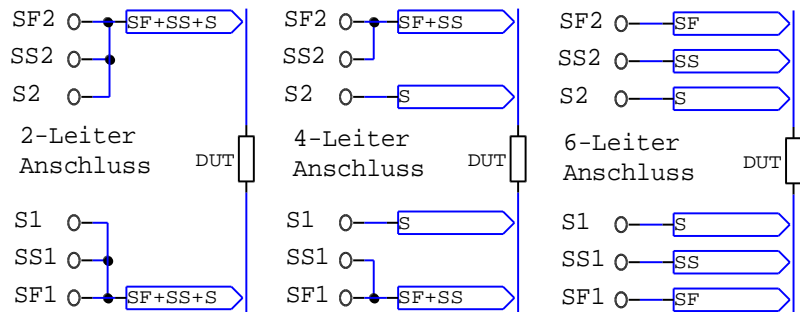
2.13.2 Komplett verschalteter Anschlusspunkt

Komplett verschaltete AP bestehen aus den 3 gemeinsam an einem Prüflingsanschluss kontaktierten Anschlüssen SF, SS und S. Diese empfohlene Standardbeschaltung ermöglicht die uneingeschränkte Anwendung von ICT und FKT. Komplett verschaltete AP werden in 2-, 4- oder 6-Leitertechnik realisiert, siehe 2.14.



2.14 DUT-Kontaktierung

Das Schema zeigt komplett verschaltete Anschlusspunkte. Die DUT-Kontaktierung erfolgt mit Kontaktnadeln in 2-, 4- oder 6-Leitertechnik. Die Anschlusstechnik bestimmt die Messgenauigkeit und die Qualität der Kelvin-Kontakttests zur Erkennung korrekter Nadelkontaktierung. Die Knotenpunkte sollen sich an den Testnadeln befinden.



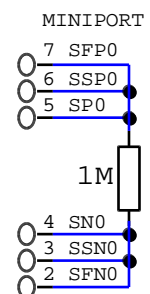
Anschlusstechnik	Messgenauigkeit	Kontakttest	Kommentar	Bewertung
2-Leiter	Befriedigend	diffus	Messfehler im Vorfeld kalkulieren	Einfachste Lösung
4-Leiter	Gut	100%	Sehr geringe Messfehler	Bester Kompromiss
6-Leiter	Sehr gut	100%	Keine Messfehler durch Kontaktnadeln	Aufwändig

- 2-Leitertechnik ist die einfachste Kontaktierung und wird auch bei Platzmangel im Nadeladapter verwendet. Korrekte Nadelkontaktierung kann nicht in allen Fällen automatisch (siehe 3.8) erkannt werden. Bei Prüfstrecken mit $R_i < 1M\Omega$ manuell mit !kta!/ktb testen. Bei Prüfstrecken $> 1M\Omega$ ist korrekter Nadelkontakt u.U. mit einem FKT überprüfbar. Übergangswiderstände der Kontaktnadeln stören und können nicht ausgeregelt werden. Messungen sind abhängig von der Kontaktqualität. Geteilte Anschlusspunkte sind möglich.
- 4-Leitertechnik wird bevorzugt verwendet. Korrekte Nadelkontaktierung kann zu 100% erkannt werden. Automatische Kelvin-Kontakttests sind aussagefähig, manuell wird mit !kta!/ktb geprüft. Bei der Speisung des Prüflings entsteht ein geringer Spannungsabfall an den Kontaktnadeln. Spannungsmessungen am Prüfling erfolgen optimal. Geteilte Anschlusspunkte sind möglich.
- 6-Leitertechnik ist messtechnisch optimal, im Normalfall aber für SMMU-Anwendungen überqualifiziert. Tests auf korrekte Nadelkontaktierung erfolgen wie bei 4-Leitertechnik. Die Spannung am Prüfling wird korrekt ausgeregelt, Spannungsmessungen erfolgen optimal. Die 6-Leitertechnik wird vom Plautest (10.9) nicht unterstützt.

2.15 Einstiegstraining

Dieses Kapitel ist hilfreich zum Kennenlernen der SMMU.

1. Benötigt wird ein Controller SMU350 oder CTL274.
2. An einen Stecker SubD15male einen $1M\Omega$ Widerstand löten und am Stecker X3 MINIPORT einstecken. Die Anschlüsse siehe 3.9.2 oder Schema rechts.
3. SMMU Jumper J1 auf Position 2-3 (115200Baud)
4. SMMU über Stecker X1 mit 24V versorgen, eine grüne LED an der Frontseite blinkt.
5. PC Schnittstelle COM1 über Kabel 1:1 verbinden mit SMMU Stecker X5. Bei Rechnern mit USB-Schnittstelle einen externen Schnittstellenkonverter USB-COM verwenden.
6. Das Hyperterminal im PC suchen, starten und einstellen:
COM1, 115200Baud , 1Startbit, 8Databit, 1Stoppbit, no parity, XON/XOFF-Handshake
7. Befehle laut folgender Tabelle eintippen (Klein- oder Großbuchstaben) und mit der Leertaste (blank) oder CR abschließen.



Befehl	Antwort der SMMU / Kommentar
!cod5;1	<F=+00000 (Terminalmodus einschalten)
!hlp	SMMU07: (c)2017 J.+G.Frank jgfrank.de SER: 243 SW-Vers 6.2 SW-Rev 55 HMR: 36 CAL: 62 AP: 0
<i>Diese Infos können auch einzeln abgefragt werden</i>	
!typ	<R=+00350 (Controllermodul ist SMU350)
!lsn	<R=+00243 (Seriennummer)
!ver	<R=+00062 (Firmwareversion)
!hmr	<R=+00036 (Hardwarestand)
!cal0	<R=+00062 (Calibration record)
!cal1	<R=+01710 (Kalibrierdatum Okt. 2017)
!lap	<R=+00000 (Anschlusspunkte an MUX275)
<i>Plauertest durchführen, im Terminalmodus werden alle Messwerte angezeigt, Fehler werden mit * markiert.</i>	
!pla	29866 mV (Versorgung P30V) 14927 mV (Versorgung P15V) 12058 mV (Versorgung P12V) 5048 mV (Logikspannung P5V) 3267 mV (Rechnerspannung P3V3) 0 mV (Analogmasse) -9006 mV (Versorgung M9V) -12055 mV (Versorgung M12V) 31 GradC (Rechnertemperatur) 1627 mV (Transferreferenz P1V6) 342 mV (Test ZDACLo) 1636 mV (Test ZDACMi) 2949 mV (Test ZDACHi) 5 mV (Plauertest MINIPORT) -10 mV (Plauertest MINIPORT) <F=+00000 (Ergebnis = fehlerfrei)

Befehl	Antwort der SMMU / Kommentar
<i>Die Quellen können auch einzeln gemessen werden</i>	
!hum50	<F=+00000 (Messbrummfiter auf 50Hz)
!muv2	<W=+03267;03 (Rechnerspannung in mV)
!ain9	<W=+00031;30 (Rechnertemperatur in °C)
!xxx	<F=+00001 (Befehl unbekannt, Beeper ertönt)
<i>Im Terminalmodus: Blanktaste=Befehlswiederholung</i>	
!tsp0	<F=+00000 (Zeitähler löschen)
!tsp1	<W=+00554;43 (Zeitstempel1 lesen, Zeit in ms)
blanktaste	<W=+01473;43 (Wiederholung...)
!cod5;0	<F=+00000 (Terminalmodus ausschalten)
<i>ICT-Widerstandsmessung am MINIPORT</i>	
!bro12	<F=+00000 (Messbereich 1MΩ wählen)
!mro;0	<W=+09993;25 (Messung 999,3KΩ)
<i>0:0 (MINIPORT) ist default, kann auch weggelassen werden</i>	
!mro	<W=+09993;25 (Messung 999,3KΩ)
<i>Konstantspannung vorgeben und am MINIPORT geregelt ausgeben</i>	
!sup10000;50	<F=+00000 (10V mit Stromgrenze 50mA)
!ssv	<F=+00000 (Ausgabe MINIPORT)
<i>Spannungsmessung am MINIPORT</i>	
!bua5	<F=+00000 (Messbereich ±12V wählen)
!mua;0:0	<W=+09990;03 (Messung +9990mV)
<i>Strommessung</i>	
!bia2	<F=+00000 (Messbereich ±20µA wählen)
!mia	<W=+00999;11 (Messung +9,99µA)
<i>Spannungsversorgung wieder abschalten</i>	
!rsv	<F=+00000
<i>Stecker am MINIPORT abziehen, Spannungsausgabe versuchen</i>	
!ssv	<F=+00013 (SupplySense Err13 detektiert, da SupplySense SSN0 nicht angeschlossen ist...)
<i>LED einschalten</i>	
!set1 17	<F=+00000 (LEDB am Controller leuchtet)
<i>Trainingsabschluss mit Befehl: Alles An den Anfang (Softreset)</i>	
!aaa	<F=+00000

2.16 System Inbetriebnahme

2.16.1 Externe Komponenten

Alle Stecker zur SMMU sind ausgesteckt. Aktive Komponenten wie Netzteile etc. werden eingeschaltet. An jeder aktiven und passiven Komponente (auch Prüfling) wird am Masseanschluss die Spannung gegen PE gemessen. Verwendet werden soll ein geerdeter Oszillograf mit Tastkopf 10MΩ//10pF. Wenn der überlagerte Wechselspannungsanteil **±4Vp** überschreitet, ist eine Y-Anbindung einzubauen, siehe 17.

[Netzbetriebene Geräte in beiden Steckpositionen des Netzsteckers testen!](#)

Danach werden die Verbindungen zur SMMU hergestellt.

2.16.2 SMMU

Modul SMU350 Erdung der SMMU an Steckerpin 350P1.2. Leitfähige Montageplatten / Gehäuse sind zu erden. Jumper 1 auf Position 2-3 stecken (Baudrate 115,2Kbaud). PC mit 1:1 Kabel anschließen an X5 V24.0. Am MINIPORT wird zur Inbetriebnahme oder bei Nichtverwendung ein Dummy-Kurzschlussstecker aufgesteckt. Folgende Anschlüsse brücken: SFP0+SSP0+SP0 sowie SFN0+SSN0+SN0

Module MUX275

Aufsteigende Adressvergabe aller Multiplexer durch Stecken der Adressjumper, siehe 6.

Jumper J2 bei MUX275C auf Position 1-2 (Adressoffset=0). An jedem Stecker 275X3, X4 wird ein Dummy-Kurzschlussstecker aufgesteckt mit 8 Brücken: Anschlüsse SF1+SS1 bis SF8+SS8.

Test Alle Leiterplatten spannungsfrei auf den Messbus stecken. Dann Spannungsversorgung 24V an Stecker X1 POWER anschließen, die grünen Front-LED auf SMU und MUX blinken mit 1Hz.

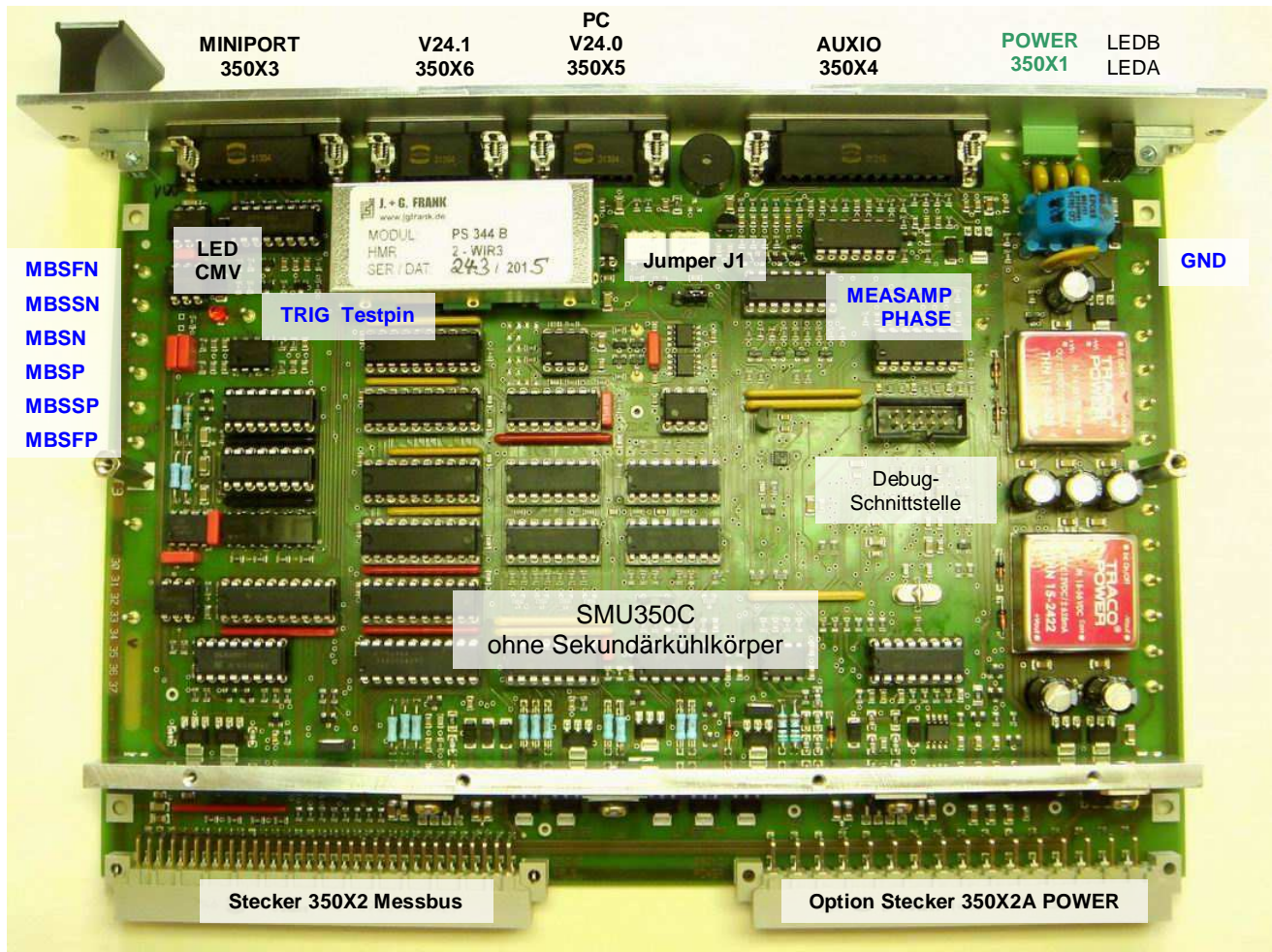
Das HyperTerminal am PC starten. Die Parameter der Schnittstelle: 115,2Kbaud, 1Startbit, 8Data, NoParity, 1Stoppbit, XON/XOFF-Handshake. Plauertest durchführen mit den Befehlen !cod5;1, !sit2 und !pla, jeweils mit Entertaste (CarriageReturn). Bei korrektem System wird ein Plausibilitätstest (10.9) mit allen Zwischenergebnissen fehlerfrei angezeigt. Das System ist jetzt vorbereitet zur spezifischen Verdrahtung mit den externen Komponenten.

2.17 Betriebsdaten

Merkmal	Min.	Max.	Bemerkung
Bootzeit und WarmUpTime		1s	Zeit von PowerUp bis 100%-Betriebsbereit
Versorgungsspannung P24V:GND24V	22V	32V	typ. 24V, <=30Watt, verpolgeschützt, potentialgetrennt
Gleichtaktbereich GND24V:PE	±8V		Spannung gegen PE
Strom / Leistung im Leerlauf typ.	CTL274 SMU350A/B SMU350C	180mA / 4,4W 160mA / 3,9W 135mA / 3,3W	+15mA je MUX275-08A, +20mA je MUX275-16A
Gleichtaktbereich GND:PE GNDCOM:PE GNDSPS:PE	±42V		GND gegen PE, begrenzt durch Varistor 47V@1mA COM-Schnittstelle gegen PE Spannung gegen PE, Versorgung mit externem Primärschutz
Kapazitätsbelag GND:PE GNDCOM:PE GND24V:PE FVG:GND	15nF 150nF 100nF 0,6nF		pro Modul MUX275 zusätzlich 1nF
Y-Störspannung externer Geräte		±4Vp	Spannung AP gegen PE an SMMU / DUT / externes Gerät
Spannung an AP im Messbetrieb	-8V	+26V	Spannung MINIPORT, MUX-AP gegen GND
Spannung an ausgeschaltetem AP	-11V	+29V	
Spannung an eingeschaltetem AF-Anschluss Spannung an ausgeschaltetem AF-Anschluss	wie bei AP ±42V		Die Spannung an AF gegen GND wird begrenzt durch Varistor 47V@1mA.
Optorelais SF und AF: Strombelastung Widerstand Schaltzeit Grenzfrequenz	-1,5Ap 75Hz	+1,5Ap 400mΩ 4ms	Spitzenstrom für 1s, Dauerstrom 1A
USUPPLY Spannungsquelle für DUT	-2300mV 0,1V	+2300mV 34V	Bereich bipolar Bereich unipolar RLC-Last, dauerkurzschlussfest
Innenwiderstand		600mΩ 400mΩ 60mΩ	ungeregelt, SVGP an APp ungeregelt, SVGN an APn geregelt an AP
SVGP-Anstiegs-/ Abfallzeit SVGP-Tiefpass Grenzfrequenz	1V/μs 4,7KHz 4,7KHz	22KHz 52KHz	Bereich unipolar / bipolar Tiefpassfilter BWHISVGP aus Bereich unipolar Tiefpassfilter ein/aus Bereich bipolar Tiefpassfilter ein/aus
ILIMIT-Einstellbereich ILIMIT-Toleranz	±30mA	±400mA ±10mA	Strombegrenzung am SVGP
ICONST Stromquelle Innenwiderstand	0μA 10MΩ	400mA	Konstantstromsenke (SVGN/IREG)
ULIMIT-Einstellbereich ULIMIT-Toleranz	1V 0V	26V +0,8V	Spannung am SVGP
Messverstärker Ri SMU350C SMU350A/B CTL274	2x ~20GΩ 2x <10GΩ 2x 1GΩ		Bereich -8V<Ui<+26V Ui <±10V gegen GND, @20V 3GΩ, @26V 1GΩ Bereich -8V<Ui<+26V
Eingangswiderstand bei AC-Koppelung	1MΩdiff		Triggermessung
Grenzfrequenz Tiefpass Grenzfrequenz Hochpass	3 / 30KHz 0 / 5Hz		DC-Koppelung / AC-Koppelung bei Triggermessung
Gleichtaktunterdrückung CMR	70...100dB		abhängig von Messbefehl & Messbereich
Messbereich Voltmeter	±120mV	±34V	Auflösung 10μV...10mV
Messbereich Amperemeter	±200nA	±400mA	Auflösung 0,1nA...100μA
Messshunts (0R5, 5, 50, 500, 5K, 50K, 500KΩ)	0,1%		
ICT-Messbereich Ohmmeter	1Ω	2MΩ	Auflösung 100μΩ...600Ω, Messstrom 10μA...400mA
ICT-Messbereich Diodentest	26V		Auflösung 10mV, Messstrom 100μA...400mA
!tst14 Kelvin-Kontakttest an SFP:SSP !tst13 SFN:SSN !tst12 SSP:SP !tst11 SSN:SN	-0,6V	+0,6V 10KΩ	Tolerierte Spannung zwischen den Anschlüssen oder Widerstand zwischen den Anschlüssen
CMV-Ansprechschwelle positiv CMV-Ansprechschwelle negativ CMV-Tiefpassfilter Grenzfrequenz	+27,5V -10,0V 10KHz		Testpin MMPB, UMMPB:GND, Err16 falls Spannung größer Testpin MMNB, UMMNB:GND, Err16 falls Spannung kleiner 1KHz @ SMU350A/B
Betriebstemperatur Lagertemperatur Feuchte Druck Atmosphäre	0°C -20°C 0% 500hPa	50°C 70°C 60% 1200hPa	25 ±25°C nichtkondensierend Höhe bis ~5km Luft
Gewicht SMU350 Gewicht MUX275-08A Gewicht MUX275-16A	600g 250g 350g		
Primärreferenz 10V	20ppm/K		für Messungen !mua, !mub, !mia, !mib, !muv und ICT
Sekundärreferenz 2,4V	20ppm/K typ.		für USUPPLY, ICONST und Sensormessungen
Prüflast	RLC		gemischte Real- und Blindlasten

Weitergehende Spezifikationen sind in den entsprechenden Kapiteln zu finden.

3 SMU350C Controller



Das komplette System wird versorgt über Stecker POWER an der Gerätefront oder optional intern über Stecker 350X2A POWER. Der Eingang ist verpolgeschützt und potentialfrei. Da die internen Spannungen max. +30V/-12V betragen, kann keine Personengefährdung auftreten. SMU350 verwendet keine störanfälligen mechanischen Relais oder Trimmer. Alle erforderlichen Abgleichwerte sind im internen Speicher abgelegt. Der ansteuernde Rechner wird an Schnittstelle V24.0 angeschlossen. Schnittstelle V24.1 ist frei verwendbar.

Wenn die Gleichtaktspannungsgrenzen der Messverstärker überschritten werden, blitzt bei Messungen die rote Led CMV (Common Mode Voltage Violation) und Err16 wird ausgelöst.

LED1A (gn unten) an der Frontseite blinkt (Rechneraktivität) oder ist frei verwendbar (!cod7;0 !clr137).

LED1B (gn oben) ist frei verwendbar (!set117). Bei PowerUp / Reset sind beide LED aktiv für etwa 800ms. Über den Messbus werden Erweiterungskarten wie MUX275 und MUX342 angeschlossen.

3.1 Jumper J1

Position J1	Schnittstellen Baudrate	V24-Schnittstellenparameter
1-2	9600	1Startbit, 8Data, NoParity, 1Stopbit XON/XOFF empfängerseitig
2-3 oder nc	115200	

J1 definiert die Parameter der zwei V24-Schnittstellen beim Hardreset. Anwenderschnittstelle V24.1 wird angesteuert mit !com und !pas.

3.2 Testpins

Diverse 1,3mm Testpins ermöglichen Kontrollmessungen, siehe Blockschaltbild 3.5. Kurzschluß oder Fremdspeisung kann das System beschädigen.

GND Das ist der Masseanschluss. Auch der Kühlkörper der SMU liegt an GND, teilweise sind die Oberflächen nichtleitend eloxiert.

7 Betriebsspannungen und **2 Referenzspannungen** können extern kontrolliert werden.

MMNB & MMPB (Main Multiplexer Neg./Pos. Buffered) Die Anschlüsse am Ausgang der Messverstärker ermöglichen gepufferte Messungen an hochohmigen Strukturen.

TRIG liefert ein 5V-Aktivsignal und kann auch manuell bedient werden mit **!set / !clr107** (Port107). Zur Ablaufkontrolle kann ein Oszilloskop angeschlossen werden. Bei Standard- und Triggermessung wird die Messzeit dargestellt. Bei ICT sind auch die Kelvin-Kontakttests erkennbar.

MEASAMP Das ist der Ausgang der Messverstärkerkette mit Messbereichsumschalter und Messfilter. Anwendung siehe 20.8. Der Testpin existiert ab SMU350C.

PHASE In Triggermessart -1 werden die Phasenzustände abgebildet, siehe 13.6.4. Der Testpin existiert ab SMU350C.

MB Messbuswurzel mit 6 Testpins: MBSFN, MBSSN, MBSN, MBSP, MBSSP und MBSFP.

3.3 Reset

Reset bezeichnet einen Hard- oder Softreset des Systems. Alle Multiplexer werden hochohmig.

Ein Hardreset erfolgt automatisch beim Einschalten des Systems oder manuell über Eingang RESET, alle Komponenten werden neu initialisiert.

Ein Softreset erfolgt mit Befehl !aaa, viele Komponenten werden neu initialisiert. Die Programmierung der Schnittstellenparameter bleibt u.a. bestehen.

3.3.1 Eingang RESET

Eingang RESET wirkt als externer Hardreset des Systems. Der Eingang existiert ab SMU350C. Er ist 5V-HCMOS kompatibel, der Eingangswiderstand ist 50K Ω , die Schaltschwelle liegt bei $\sim 2,1V$. Bei Nichtverwendung bleibt er unbeschaltet oder wird an GND gelegt.

Die Systemspannung P5V kann bis 50mA belastet werden.

Die Signale liegen am Stecker 350X2A POWER intern (Option X).

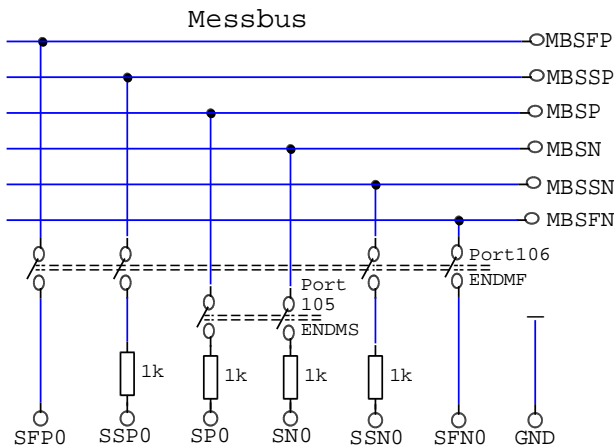
350X2A POWER		
Reihe c	Pin	Reihe a
RESET	30	GND
P5V	32	GND

3.3.2 Reseterkennung

Prüferechner und SMMU können von verschiedenen Stromkreisen gespeist werden. Synchronprobleme entstehen, wenn die SMMU durch einen kurzen Stromausfall unerkannt neu gestartet wird. Der ansteuernde Prüferechner kann diesen Zustand über eine zyklische Routine erkennen. Für diesen Zweck reserviert ist Datenblock Speicheradresse 188 (Datenbereich ± 32000). Ein Reset der SMMU löscht den Speicher. Nach jedem regulären Hard- und Softreset schreibt der ansteuernde Prüferechner `!dwr188;{r#0}`. Die zyklische Abfrage `!drd188` zeigt die Vorgeschichte:

1. $r \neq 0$, die SMMU arbeitet normal
2. $r = 0$, die SMMU wurde neu initialisiert

3.4 MINIPOINT



MINIPOINT Stecker 350X3

Am MINIPOINT mit 2 AP können einfache Prüflinge mit fester Polarität angeschlossen werden. Die Schalter am MINIPOINT sind kapazitätsarm (vergleiche MUX Option C, 6.4.1). Die Adressierung erfolgt durch Befehlseingabe mit Index 0:0 oder ohne Index. MINIPOINT wird aktiv, wenn die Schalter zum Messbus geschlossen werden. Bei ICT werden die Schalter ENDMS Port105 und ENDMF Port106 automatisch bedient. Bei FKT wird mit !set / !clr, !ssv und !rsv manuell bedient. Steckerbelegung siehe 3.9.2.

Überspannungsschutz:

SS+S: Zulässig sind Spannungen von -11...+29V. Darüber erfolgt eine Stromableitung über die 1KΩ Serienwiderstände und Begrenzerdioden. Eine Ableitung soll nur kurzfristig auftreten, Messungen werden dabei gestört. Der Summenableitstrom im System darf ±10mA Dauerstrom nicht überschreiten.

SF: Die Anschlüsse haben Überspannungsschutz durch Varistor 47V@1mA nach GND.

3.5 Blockschaltbild

Source: Das Blockschaltbild zeigt die Stromversorgung des Prüflings, oben den **SVGP**, dessen variabler Spannungswert von einem DAC mit schaltbarem Tiefpassfilter erzeugt wird. Die Ansteuerung erfolgt statisch oder dynamisch vom Wellen- / Pulsetraingenerator. Der Stromgrenzwert ILIMIT ist variabel. Zur Begrenzung der Verlustleistung, verfügt der Analogregler über eine mit SAVEPOWER schaltbare Versorgungsspannung. Der SVGP arbeitet im Bipolarbereich (±2,3V) oder im Unipolarbereich (0..26V). Der Eingang für den Istwert hat einen Eingangswiderstand RISSP von etwa 100KΩ und ist mit SSINTERN umschaltbar zwischen interner und externer Regelung. Wenn der Reglerausgang mit Schalter SVGPEN abgetrennt wird, ist die Messbuswurzel MBSFP mit dem Multiplexer MUX275 fremdverwendbar. Die Kontaktierkomparatoren für Err14 extern und Err34 intern, überprüfen den Kontakt der Fühlerleitung MBSSP zum Spannungsausgang MBSFP.

Unten links folgt der **SVGN**, dessen variabler und statischer Spannungswert (0...-9V) von einem DAC erzeugt wird. Schalter REGGND erzeugt exakte 0V. Der Stromgrenzwert beträgt fix etwa 480mA. In der Ausgangsleitung liegt der zuschaltbare Stromregler IREG zur Erzeugung des Konstantstroms ICONST, gefolgt von sieben schaltbaren Messshunts zur Strommessung ISUPPLY. Wenn alle FET-Schalter der Messshunts geöffnet sind, wird die Messbuswurzel MBSFN hochohmig und kann fremdverwendet werden. Der Eingang für den Spannungswert ist sehr hochohmig. Mit SSNLOCAL und SSINTERN kann lokale, interne oder externe Regelung geschaltet werden. Die Kontaktierkomparatoren für Err13 extern und Err33 intern, überprüfen den Kontakt der Fühlerleitung MBSSN zur Ausgangsleitung MBSFN.

Bei Stromquellenbetrieb wird Stromregler IREG und die Clampdiode an MBSFN aktiviert. Die Clampdiode ermöglicht bei unterbrochener Last einen kontinuierlichen Stromfluss und verhindert eine Übersteuerung des Stromreglers.

Die optionale Quelle **FVG** ist massiefrei innerhalb der Gleichtaktspannungsgrenzen des Systems. Erzeugt wird eine variable Spannung mit programmierbarem Innenwiderstand. FVG kann über die Messbuswurzeln von MBSSP und MBSSN ausgegeben werden.

Schalter SHORTSF realisiert bei ICT u.a. eine Entladung des Prüflings, um Thermospannungen schnell erfassen zu können.

Measurement: Die Kontaktierkomparatoren für Err12 und Err11 sind zuständig für die Kelvin-Kontaktüberwachung der Kontaktpaare MBSSP/MBSP und MBSSN/MBSN.

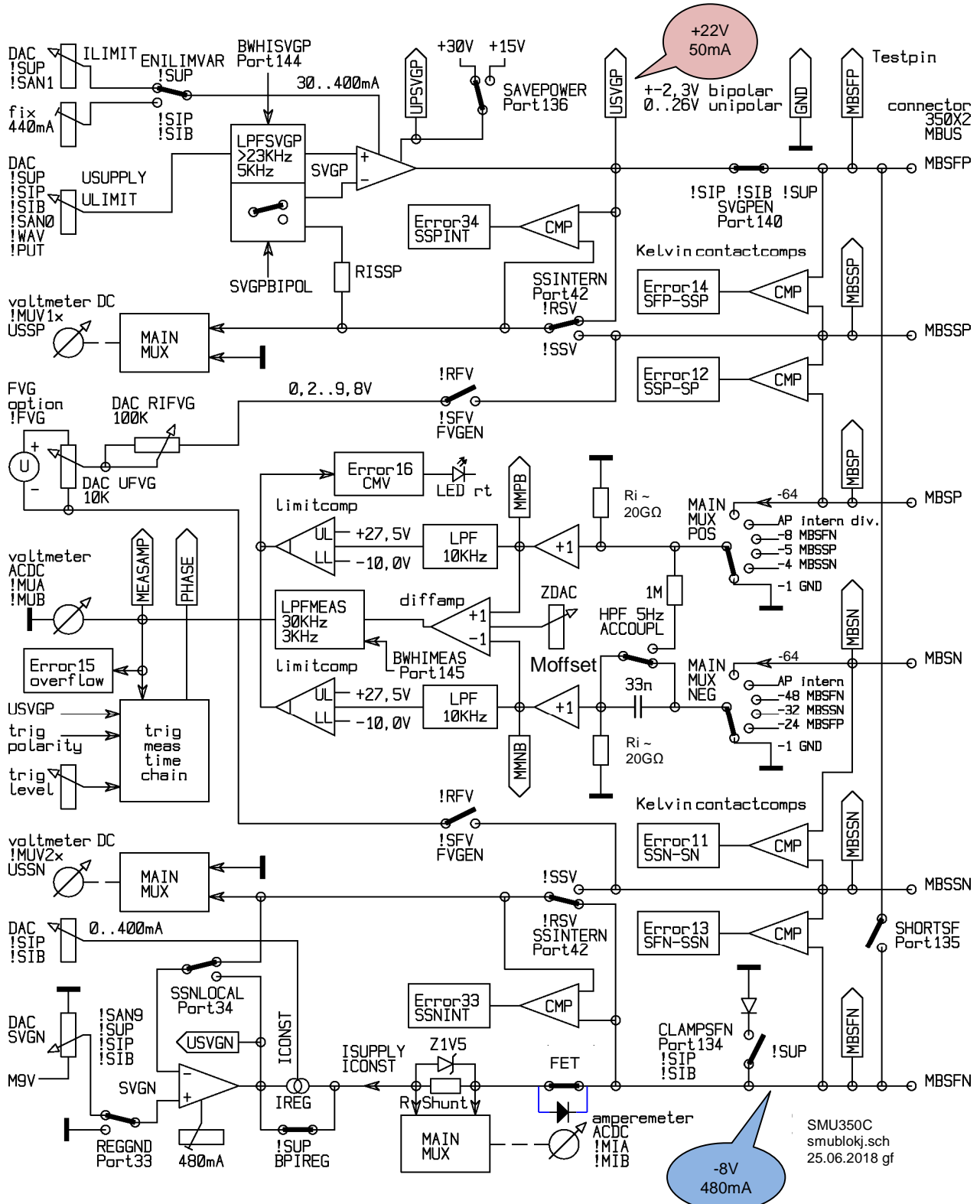
Die differentielle **Spannungsmessung** erfolgt hauptsächlich über die Messbuswurzeln von MBSP und MBSN. Der analoge Hauptmultiplexer MAINMUX realisiert die Umschaltung zwischen externen und internen AP. Über interne AP erfolgt die Spannungsmessung an weiteren Messbuswurzeln sowie die **Strommessung** ISUPPLY.

Zwei Pufferverstärker mit Elektrometereingängen (~20GΩ) und schaltbarem Hochpassfilter für die separate Messung von AC-Anteilen sorgen für eine minimale Belastung der zu messenden Quelle.

Vier Grenzwertkomparatoren überwachen den zulässigen Gleichtaktbereich der Messverstärker. Bei Bereichsüberschreitung wird Err16 ausgelöst, zusätzlich wird der Alarm mit einer roten LED signalisiert.

Es folgt der Differenzverstärker mit variablem Offset für eine stufenlose Umschaltung zwischen unipolaren Widerstandsmessbereichen und bipolaren UI-Messbereichen. Vor dem ADC-Eingang mit schaltbarem Messtiefpassfilter liegt der komplette Steuerpfad der Triggermessung zur Verarbeitung von Triggerpegel, Triggerpolarität und Generatorsynchronisation mit dem Wellengenerator zur Phasenmessung. Diverse Testpins ermöglichen eine transparente Nachverfolgung der frei schaltbaren Messstrukturen.

Die im Blockschaltbild gezeigten Schalterstellungen und Spannungen sind vorhanden nach !aaa und !sup30000;50 (Spannungsmodus USUPPLY).



3.5.1 Digitale Ausgänge

Analoge Funktionsblöcke der SMMU werden über elektronische Schalter programmiert. Jeder Schalter wird von einem digitalen Ausgang angesteuert, besitzt eine Portnummer x und kann mit !set/clr{x} bedient werden. Funktionen, die eine koordinierte Ansteuerung kompletter Schaltergruppen benötigen, werden mit Makrobefehlen angesteuert; manuelles Schalten ist nur partiell sinnvoll.

Zusammenstellung der manuell bedienbaren Schalter im Controllermodul:

Schalter	Port	Zustand nach Reset	Legende
REGGND	33	0	SVGN Sollwert auf GND
SSNLOCAL	34	1	SVGN Regelung lokal (Rauschstromfilter)
SSINTERN	42	1	SVGN und SVGP Regelung intern
ENDIV	56	0	AUXIO Ausgang
FRQ	57	0	AUXIO Ausgang
DISMUX	60	0	AF-Schalter und AP an MUX275 werden hochohmig
ENDMS	105	0	MINIPOINT Sense
ENDMF	106	0	MINIPOINT SupplyForce (Schaltzeit ~3ms) und SupplySense
TRIG	107	0	Testpin
LED1B	117	0	LED gn an Frontplatte
/PASS	127	0	AUXIO Ausgang
CLAMPSPFN	134	0	IREG Stromregler Clampdiode nach GND
SHORTSF	135	0	Kurzschlusschalter MBSFP:MBSFN (Ri~2,2Ω)
Hinweis: Bei SHORTSF=1 wird eingespeist in MBSFP und MBSFN: U=6V mit Ri=11KΩ.			
SAVEPOWER	136	1	Wahl der SVGP Betriebsspannung
LED1A	137	Blinker	LED gn an Frontplatte
SVGPEN	140	1	SVGP treibt MBSFP (Schaltzeit ~3ms)
BWHISVGP	144	0	SVGP Bandbreite
BWHIMEAS	145	0	Messverstärker Bandbreite

Hinweis: Manuelle Einstellungen der Schalter können durch Makrobefehle überschrieben werden! Nicht notierte Schalter dürfen nur nach Freigabe durch den Hersteller angesteuert werden.

3.5.2 Digitale Eingänge

Digitaleingänge am Controllermodul besitzen eine Portnummer x und können mit !din{x} direkt abgefragt werden.

Eingang	Port	Legende
SA	6	AUXIO AB4-Zähler
SB	7	AUXIO AB4-Zähler
CMV	23	Gleichtaktverletzung Messverstärker, Err16
FDUTDIV	24	AUXIO Multifunktionseingang: FDUTDIV, WAVSYNC, TRIGEXT, /GATETI

3.6 DUT-Versorgung (Source)

3.6.1 Spannungsmodus USUPPLY

!sup{USUPPLY in mV};{ILIMIT in mA} schaltet die Prüflingsversorgung in den Spannungsmodus mit Konstanzspannung, deaktiviert SSNLOCAL (!clr34, Rauschstromfilter aus), aktiviert SVGPEN (!set140) und das Tiefpassfilter am SVGP (!clr144), siehe Blockschaltbild 3.5.

USUPPLY=USVGP-USVGN wird erzeugt von zwei 4Q-Generatoren:

1. SVGP erzeugt USVGP -2300mV...+26000mV mit variabler Strombegrenzung ILIMIT
2. SVGN erzeugt USVGN 0...-8V mit fester Strombegrenzung 480mA

Der SVGP besitzt 2 Arbeitsbereiche: Unipolar (0...26V) und Bipolar (±2,3V). Bei !sup erfolgt die Bereichswahl automatisch. Bei 2,3V wird der Bereich (bipolar/unipolar) umgeschaltet, dabei entstehen Verzögerungen und geringe nichtmonotone Spannungsschwankungen. Wenn eine Anwendung eine monotone Spannungsausgabe im Unipolarbereich erfordert (z.B. Ermittlung der Resetschwelle eines Prüflings), soll der Low-Level-Befehl !san0 verwendet werden, der im Unipolarbereich ohne Umschaltung arbeitet.

Im Normalfall wird der Prüfling differentiell gespeist. USUPPLY ist dauerkurzschlussfest und kann komplexe Lasten RLC versorgen. Bei Massebezug des Prüflings können die Generatoren auch separat verwendet werden. Der Spannungsmodus ist kompatibel mit Rauschstromfilter und FVG.

Spannungsbereich	USUPPLY in mV	Toleranz ± mV	SAVE-POWER	SVGP			SVGN	
				Spannung Auflösung	Rauschen mVeff	Bereich	Spannung	Rauschen mVeff
1	-2300...+2300 (overdrive -2500)	7,5	ein	-2,3..+2,3V Δ 1,2mV	1	Bipolar	0V	1
2	~0...2300 mit !san0 verwendbar	150		~0...10V Δ 6,8mV	2	Unipolar		
3	2301...10000	25	aus	10,001..26V Δ 6,8mV			-8V	
4	10001...26000	40		18..26V Δ 6,8mV				
5	26001...34000 (overdrive 36000)	60						

Overdrive-Einstellungen ohne Funktionsgarantie.

Einstellung BWHISVGP=L reduziert SVGP-Rauschen.

Kennwerte der Strombegrenzung:

Strombegrenzung ILIMIT in mA	Abweichung	Bemerkung
30...400mA (overdrive 430mA)	±10mA	min. Stromgrenzwert 30mA, auch bei Vorgabe von 0

Jeder SVG verfügt am Ausgang über Stützkondensatoren 100nF mit 22Ω Serienwiderstand gegen GND. Bei einem Kurzschluss am Ausgang ist die Entladestromspitze gering, der Dauerstrom entspricht der Strombegrenzung. Ein Lastsprung von 370mA wird in 20µs ausgeregelt, die Regelabweichung liegt kurzzeitig bei etwa 1V. Mit externen Stützkondensatoren wird die Regelabweichung kleiner, die Ausregelzeit höher.

Zusammenstellung der Befehle zur Ansteuerung der SVG:

Makrobefehl zur Spannungsausgabe an SVGP und SVGN	
!sup	Spannungsmodus aktivieren, verwendet wird Spannungsbereich 1, 3, 4, 5 (setzt BWHISVGP=L)
Low-Level-Befehle für den SVGP	
!san0;xa	schalte SVGP in den Unipolarbereich, Spannungsbereich 2, 3, 4 (setzt BWHISVGP=L) xa=0..26000mV USVGP (overdrive 28V)
!set136 !clr136	SAVEPOWER muss bei !san0 manuell geschaltet werden: Ist USVGP <=10V, soll SAVEPOWER gesetzt werden, um die Verlustleistung zu begrenzen Ist USVGP >10V, muss SAVEPOWER gelöscht werden, sonst begrenzt die Ausgangsspannung
!wav100;0;xa;1 !wav	automatische Umschaltung SVGP unipol/bipol, SVGP arbeitet im Spannungsbereich 1, 3, 4 xa=-2300...+26000 USVGP, SAVEPOWER wird bedient, ILIMIT separat einstellen, SVGN Spannung und Modus wird nicht verändert. Wellengenerator danach wieder stoppen, da Amplitude = 0 (Rechnerbelastung reduzieren).
!san1;ya	ya=30...400mA (overdrive 0...430mA) ILIMIT separat einstellen in Betriebsart USUPPLY
!set144 !clr144	BWHISVGP: Tiefpassfilter ein (Zustand nach Reset) Tiefpassfilter aus
Low-Level-Befehle für den SVGN (siehe 16.10 SVGN Ausgangsspannung)	
!set / !clr33	Schalter REGGND: !set33 = 0mV, !clr33 = USVGN negativ (bei SMMU05 fix -8V)
!san9;za	za=0...-8000mV (overdrive -9,2V) USVGN ist variabel bei SMU350, die DAC-Auflösung ist ~36mV/Bit.

3.6.2 Strommodus ICONST

!sib oder **!sip** schaltet die DUT-Versorgung in den DC-Strommodus, aktiviert SSSLOCAL, SVGPEN und das Tiefpassfilter am SVGP. Die Konstantstromversorgung wird erzeugt von 2 Generatoren:

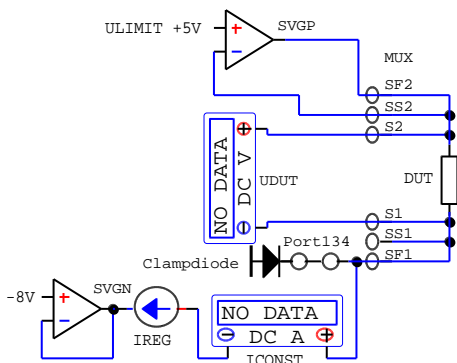
1. SVGP erzeugt ULIMIT im Unipolarbereich, ILIMIT ist fix ~440mA
2. SVGN mit IREG SVGN erzeugt intern -8V als Stromquellenbasisspannung, die nachgeschaltete 1Q-Konstantstromsenke IREG erzeugt ICONST.

Im Normalfall wird der Prüfling differentiell gespeist. Die Maximalspannung am Prüfling beträgt ULIMIT+0,7V.

ICONST ist dauerkurzschlussfest und kann komplexe Lasten RLC versorgen. Bei Massebezug des Prüflings können die Ausgänge von SVGP und IREG auch separat verwendet werden. Der Befehl kann kombiniert werden mit dem Wellengenerator am SVGP. Der Strommodus ist kompatibel mit dem FVG.

Befehl	IREG-Strombereich	Konstantstrom ICONST	DAC-Auflösung	Toleranz	Spannungsbegrenzung ULIMIT (SVGP)
!sib{ICONST µA};{ULIMIT mV}	1	0...100µA	0,03µA	5%	1...26V (overdrive 28V)
	2	101...1000µA	0,3µA		
	3	1001...10000µA	3µA		
!sip{ICONST mA};{ULIMIT mV}	4	0...400mA (overdrive 430mA)	0,1mA	1,2mA	

Der IREG-Strombereich wird automatisch gewählt. Overdrive-Einstellungen ohne Funktionsgarantie. Beispiel:



- !kta2:1 (Kelvintests an AP2:1)
- !sip100;5000 (Stromquelle ICONST=100mA, ULIMIT=5V)
- !ssv2:1 (DUT ein)
- !muv14 (messe Absolutspannung USS2:GND)
- !muv24 (messe Absolutspannung USS1:GND)
- !bua4 (Messbereich ±6V)
- !mua2:1 (messe UDUT, identisch USS2-USS1)
- !bia6 (passenden Messbereich wählen ±200mA)
- Bei unpassenden Messbereichen kann Err58 ausgelöst werden!
- !mia (messe ICONST)
- !rsv (AP aus)
- !sib0;5000 (Stromquelle 0mA, 5V)

Spannung ULIMIT an SFP2 wird erzeugt vom SVGP, mit externer Regelung über SSP2. An SFN1 folgt das Strommessgerät, die 1Quadranten-Konstantstromsenke IREG mit ICONST sowie der SVGN mit lokaler Regelung auf die Stromquellenbasisspannung -8V.

Bei Lastunterbrechung übernimmt die interne Clampdiode den Konstantstrom. Damit wird eine Übersteuerung des Stromreglers verhindert. Die Spannung UDUT steigt auf ULIMIT+0,7V. Bei einer Strommessung !mia oder !mib, wird der über die Clampdiode fließende Konstantstrom gemessen, der Strom IDUT ist real aber NULL. Dieser Zustand kann über UDUT erkannt werden:

- wenn UDUT > ULIMIT dann ist IDUT = 0,
- wenn UDUT <= ULIMIT dann ist IDUT = ICONST

Auch beim Abschalten der Last mit !rsv fließt der Konstantstrom weiter über die interne Clampdiode. Um Verlustleistung zu sparen, soll mit !sib oder !sip der Strom auf 0 programmiert werden.

Mit !san9;0 oder !set33 wird die Stromquellenbasisspannung zu 0V. Die Clampdiode kann nicht mehr leitend werden. Bei Lastunterbrechung steigt UDUT auf den programmierten Wert ULIMIT, der Stromregler wird aber übersteuert. Strommessung !mia oder !mib liefert jetzt den realen Laststrom.

Eine Laststrommessung am SVGP nach 21.3.1 liefert immer den korrekten Wert IDUT.

Mit Overdrive kann Ausgangsstrom und Ausgangsspannung der Stromquelle erhöht werden.

!sip430;28000 (overdrive ICONST und ULIMIT)

Wenn die Clampdiode mit !clr134 abgeschaltet wird, steigt die Ausgangsspannung des Stromreglers. Die Strommessung !mia oder !mib zeigt jetzt immer den DUT-Strom. Bei Lastunterbrechung zu berücksichtigen sind kurze Stromspitzen beim Einschalten des DUT während der Übersteuerungserholzeit des Stromreglers.

!clr134 (Clampdiode abschalten für overdrive mit UDUTmax=ULIMIT+8V)

Die Stromquellenbasisspannung kann variiert werden von 0...~-9V.

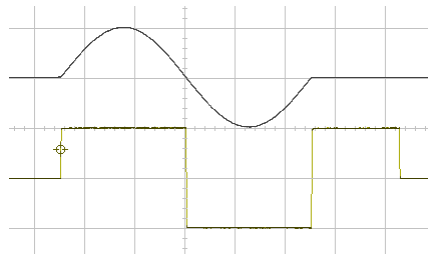
!san9;-9200 (Stromquellenbasisspannung max. negativ bei SMU350 UDUTmax=ULIMIT+9V)

3.6.3 Wechselspannung USUPPLY

Zur Wechselspannungserzeugung wird am SVGP der Wellengenerator aktiviert. Er arbeitet im Hintergrund, Funktionstests können unabhängig durchgeführt werden. Die Programmierung erfolgt zweistufig:

- 1a. `!sup{usupply};{ilimit}` (im Spannungsmodus USUPPLY und ILIMIT einstellen, siehe 3.6.1) oder
- 1b. `!sib/sip{iconst};{ulimit}` (im Strommodus ICONST und ULIMIT einstellen, siehe 3.6.2)
- 2. `!wav{frq};{ampl};{offs};{form}` (Wellengenerator aktivieren)
 - Frequenz 1...3000Hz ($\pm 0,5\%$) (overdrive 32767Hz)
 - Amplitude Spitzenspannung Up in mV bis 26000 (overdrive 28V)
 - offset Wellenoffsetspannung in mV
 - Form 1=Sinus, 150=Rechteck mit Tastverhältnis v=0,5

Identische Werte von USUPPLY / ULIMIT und Wellenoffsetspannung bei `!wav` ermöglichen das nahtlose Zuschalten des Wellengenerators auf die zuvor eingestellte Gleichspannung.



Ein Generatorstopp erfolgt mit `!wav` oder `!wav0`. Sinus stoppt am Periodenende, Rechteck sofort.

Der dem Wellengenerator nachgeschaltete SVGP arbeitet entweder im Bipolarbereich ($\pm 2,3V$) oder im Unipolarbereich (0...26V). Anhand der Parameterwerte wird der Bereich automatisch gewählt und SAVEPOWER bedient. Im Bipolarbereich können gleichspannungsfreie Wechselspannungen erzeugt werden. Die spektrale Reinheit bei 1KHz 2Vp Sinus Bipolarbereich: Grundwelle 0dB, Oberwellen typ. -60dB. Im Unipolarbereich können (ohne Nullpunktverschiebung) nur positive Spannungen erzeugt werden. Anstelle von neg. Spannungen wird 0V ausgegeben. Lückende positive Sinushalbwellen (Halbwellengleichrichter) können erzeugt werden. Mit Hilfe des FVG kann der Nullpunkt verschoben werden, siehe 20.6.3

Der `!wav`-Befehl benötigt 50...200ms Rechenzeit bis zum Start des Wellengenerators.

Bei Sinusbetrieb wird das SVGP-Tiefpassfilter eingeschaltet (`!clr144`), bei Rechteck ausgeschaltet (`!set144`). Steile Flanken im Rechteckbetrieb erfordern hohen Spitzenstrom ILIMIT.

Bei Generatorstopp wird die Einstellung von SVGP-Tiefpassfilter und SAVEPOWER nicht verändert.

Befehl `!wav` kann kombiniert werden mit Rauschstromfilter, Stromquellenmodus und FVG.

Die Befehle `!aaa`, `!wav0`, `!put`, `!sup`, `!sib`, `!sip`, `!san0` und ein ICT schalten den Wellengenerator aus.

- `!sup500;400` (Preset USUPPLY 500mV mit Stromgrenze ILIMIT 400mA)
- `!wav1000;1414;500;150` (Generator 1000Hz, 1414mVp, offset 500mV, Rechteck, Bipolarbereich)
- `!ssv3:2` (Spannungsausgabe an AP3pos und AP2neg)
- `!wav50;13000;13000;1` (50Hz, 13Vp, offset 13V, Sinus, Unipolarbereich)

`!wav50;26000;0;1` (50Hz Sinushalbwelle 26Vp, offset 0V, Unipolarbereich)

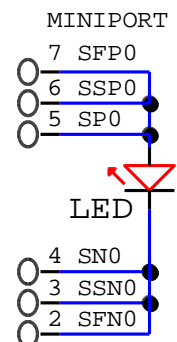


- `!wav100;0;500;1` (Amplitude 0 vermeiden, da unnötig Rechnerleistung gebunden wird, der Befehl ermöglicht die Veränderung der SVGP-Spannung, ohne den SVGN zu beeinflussen, siehe 3.6.1.)
- `!wav` (Generatorstopp)
- `!aaa` (Generatorstopp asynchron)

Betrieb mit Wellengenerator am SVGP und Stromsenke am SVGN, die LED am MINIPORT blinkt:

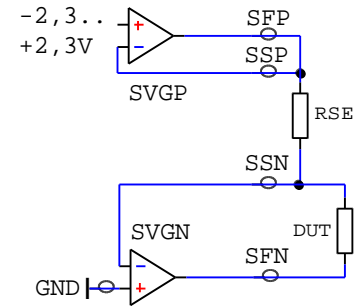
- `!sip20;5000` (20mA Stromsenke, ULIMIT 5V)
- `!ssv0:0` (Ausgabe am MINIPORT, die LED leuchtet)
- `!wav3;2500;2500;150` (3Hz, 2,5Vp, offset 2,5V, Rechteck, die LED blinkt)

Beispiel mit LED Sinusbestromung unipolar, siehe 21.3.8.



3.6.4 AC-Stromquelle mit hoher Grenzfrequenz

Niederohmige komplexe Lasten ($Z < 1\Omega$) werden vorteilhaft mit AC-Konstantstrom gespeist. Die Spannung am DUT ist aussteuerbar bis $\pm 1V$. Der Frequenzgang ist 0...3KHz (!clr144) und 0...10KHz (!set144). Die Grundschaltung von SVGP, SVGN und dem externen Shunt RSE versorgt eine Last, die am Anschluss SSN virtuell an GND liegt. Der SVGP arbeitet im Bipolarbereich, erzeugt werden Ströme bis $\pm 400mA$. Die Übertragungsfunktion: $IDUT = USVGP / RSE$. Bei Lastunterbrechung steigt die Spannung am DUT bis an den SVGN-Anschlag¹. Am MINIPORT kann RSE und DUT mit geteilten AP fest verdrahtet werden. Die nicht eingezeichneten S-Anschlüsse sind am DUT angeschlossen. U- und I-Messungen sind möglich, andere Tests sind blockiert.

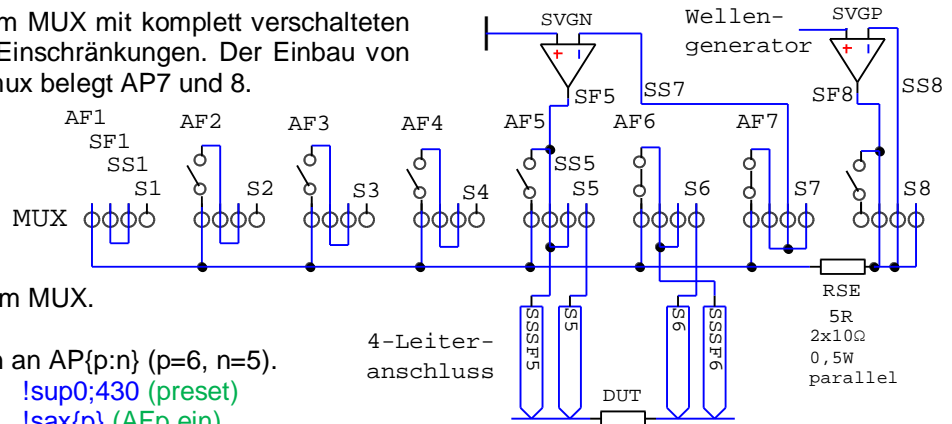


Wird das Schaltungsprinzip am MUX mit komplett verschalteten AP realisiert, entfallen diese Einschränkungen. Der Einbau von RSE am Stecker eines Oktalmux belegt AP7 und 8.

An den restlichen 6AP des Ports können Prüflinge angeschlossen werden.

Beispiel siehe 21.6.5.

Die spezifische Verschaltung der Stromquelle erfolgt soft-konfiguriert über die Schalter im MUX.

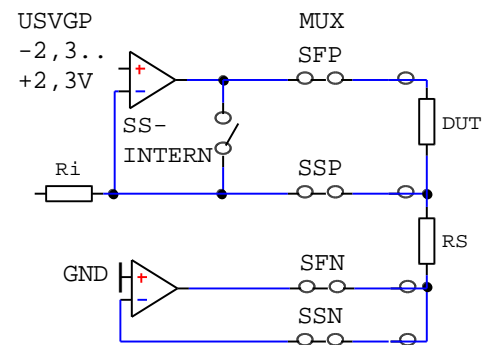


Der Prüfling ist angeschlossen an AP{p:n} (p=6, n=5).

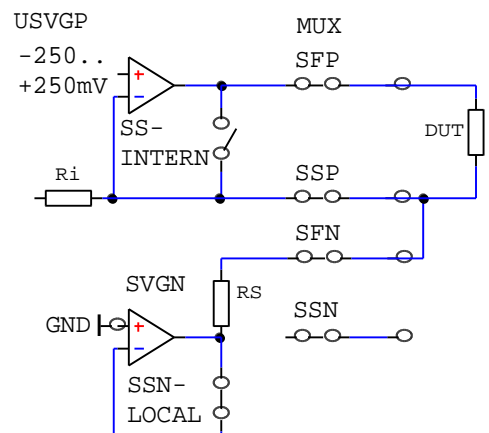
- !kta{p:n} (DUT-Kelvintest) !sup0;430 (preset)
- !sax7 (AF7 ein) !sax{p} (AFp ein)
- !spp8 (SFP8 ein) !spn{n} (SFNn ein)
- !sss8:7 (SS-MUX) !clr42 (externe Regelung über SS, die Stromquelle wird aktiv)
- !wav300;2000;0;1 (300Hzsin, 400mApk, Offset 0mA) jetzt folgt die Prüfung mit AC-Konstantstrom...
- !wav (Wave aus) !rsv (MUX aus) !rax7 (AF aus) !rax{p} (AFp aus)

3.6.5 AC-Stromquelle mit hoher Ausgangsspannung

Die Alternative zu 3.6.4 hat einen hohen DUT-Aussteerbereich von -8...+26V mit einem Frequenzgang von 0...500Hz. Der SVGP erzeugt mit dem externen Shunt RS den 4Q-Konstantstrom für den schwebenden Prüfling DUT. RS wird ohne störende Kabel direkt am Stecker von MINIPORT oder MUX angeschlossen. Die Übertragungsfunktion: $IDUT = USVGP / RS$. Die Ansteuerung erfolgt im Bipolarbereich des SVGP ($\pm 2,3V$). Die Genauigkeit der Stromquelle wird begrenzt durch den Eingangswiderstand Ri der SSP-Leitung (~100KΩ). Bei Lastunterbrechung steigt die Spannung am DUT bis an den SVGP-Anschlag². Der SVGN erzeugt 0V extern geregelt, vergleiche 21.13.3.



Weiterhin kann der externe RS ersetzt werden durch den internen Stromshunt im SVGN, siehe Schaltbild rechts. Der mit !bia gewählte RS wird aktiviert mit !set34, identisch wie beim Rauschstromfilter 3.6.6. Der SVGN erzeugt 0V lokal geregelt. Die Ansteuerung vom SVGP ist hier begrenzt auf Amplituden bis $\pm 250mV$.

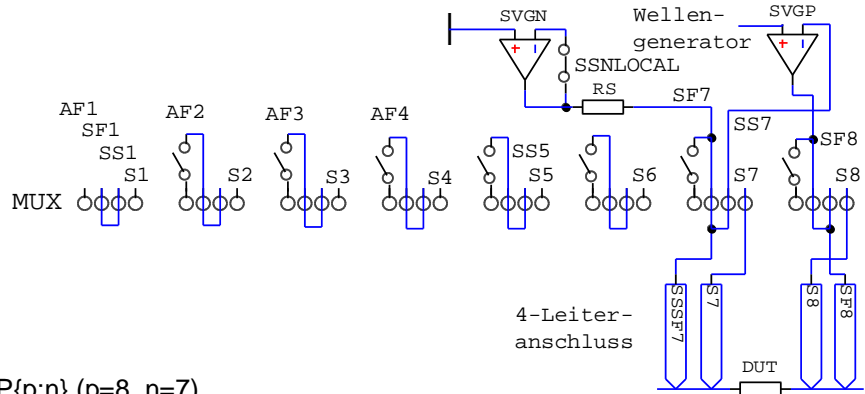


Vorteil: Am Stecker muss kein Bauteil montiert werden und RS ist standardisiert schaltbar.

Am MINIPORT kann die Schaltung mit geteilten AP fest verdrahtet werden. Die S-Anschlüsse sind am Prüfling angeschlossen. U- und I-Messungen sind möglich, andere Tests sind blockiert.

¹ Bei SAVEPOWER=1 (!set136) ist SVGP-Anschlag ~ -11V und +13V.
² Bei SAVEPOWER=0 (!clr136) ist SVGP-Anschlag ~ -11V und +28V.

Wird das Schaltungsprinzip am MUX mit komplett verschalteten AP realisiert, entfallen diese Einschränkungen. Die spezifische Verschaltung der Stromquelle erfolgt softkonfiguriert über die Schalter im MUX. Die Verbindungen zwischen SF und SS sind direkt am MUX-Stecker einzulöten. Beispiel siehe 21.3.8 und 21.8.2.



Der Prüfling ist angeschlossen an AP{p:n} (p=8, n=7).

```

!kta{p:n} (DUT-Kelvintest)      !sup0;430 (Supply preset)      !bia5 (RS 500Ω)      !set34 (SSNLOCAL)
!spp{p} (SFPp ein)            !spn{n} (SFNn ein)            !sss{n:p} (SS-MUX, p ist dummy)
!clr42 (externe Regelung SVGP über SS7, die AC-Stromquelle wird aktiv)
!wav50;200;0;1 (50Hzsin, 0,4mA, Offset 0mA)
!wav (Wave aus)                !rsv (MUX aus, SSINTERN ein) !clr34 (SSNLOCAL aus)
    
```

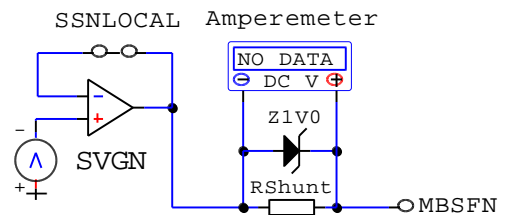
jetzt folgt die Prüfung mit AC-Konstantstrom...

Hinweis: !wav aktiviert im Beispiel den Bipolarbereich, SAVEPOWER wird automatisch gesetzt. Soll die Stromquelle Ausgangsspannungen >10V erreichen, muss SAVEPOWER gelöscht werden (!clr136).

3.6.6 Rauschstromfilter im Spannungsmodus USUPPLY

Das Rauschstromfilter wird verwendet bei Strommessungen an Prüflingen mit Bypasskondensator >10nF oder niederohmigen differentiellen Widerständen im Spannungsmodus USUPPLY (z.B. Ladestromendmessung an geladenem Akku). Grund: Die DUT-Spannungsquelle hat im Spannungsmodus USUPPLY einen sehr geringen Innenwiderstand. Bereits geringe Rauschanteile der Quelle führen bei kapazitiven / niederohmigen Lasten zu erheblichen Rauschströmen, die empfindliche Strommessungen verfälschen oder Err15 (overload) auslösen. Das Rauschstromfilter erhöht den Innenwiderstand des SVGN, Rauschströme werden wirkungsvoll unterdrückt. Das Rauschstromfilter ist nur im Spannungsmodus USUPPLY (!sup) möglich. Es wird aktiviert mit 2 Befehlen: !bia (Strombereich setzen) und !set34 (SSNLOCAL). Bei aktivem Rauschstromfilter arbeitet der SVGN mit lokaler Regelung³; der Shunt des Strommesssystems in der Leitung MBSFN wird aktiv. Dessen Widerstand ist dem gewählten Strommessbereich !bia fest zugeordnet:

!bia	7	6	5	4	3	2	1	12
RShunt	0,5Ω	5Ω	50Ω	500Ω	5KΩ	50KΩ	500KΩ	



Der Widerstand der internen Struktur an MBSFN (~0,6Ω) wirkt zusätzlich. Die Spannung am Shunt wird limitiert durch eine Begrenzerdiode⁴.

Der lineare Aussteuerbereich am Shunt ist ±0,2V (vergleiche 12.4).

In Funktionstests mit Spannungs-, Strom- und Phasenmessungen, Kelvin-Kontakttests usw. bleibt das Rauschstromfilter aktiv. Es wird ausgeschaltet mit !clr34 sowie von !aaa, !sup, !sib, !sip und allen ICT.

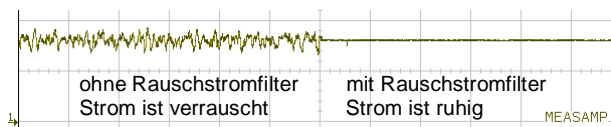
Der gewählte Shuntwiderstand kann gemessen werden:

```

!rsv (alle AP aus, SSINTERN ein)      !sup100;400 (USUPPLY)      !hum50 (Brummfilter)
!bua1 (120mV)                          !bia3 (RShunt 500Ω)        !set34 (Rauschstromfilter ein)
!set135 (SHORTSF ein)                   !mua-8;-1 (UMBSFN:GND)    !mia (Strom I)          !clr135 (SHORTSF aus)
    
```

Rechne $R_{Shunt} \sim U_{MBSFN} / I$

Bei aktivem Rauschstromfilter sind Messwerte lastbezogen. Damit UDUT und IDUT zusammenpassen, wird jedesmal mit aktivem Filter gemessen.



Das Oszillogramm zeigt die Shuntspannung an Testpin MEASAMP (Stromsignal) bei einer Elko Reststrommessung.

Anwendungen siehe u.a. 21.4.8 und 21.5.3.

³ Lokale Regelung ist die Minimalform der internen Regelung: Spannungs Konstanz lokal am SVG.

⁴ SMU350 bis HMR35, Shuntspannungsbegrenzung mit Zenerdiode 1,5V. Ab HMR36, Begrenzung mit Zenerdiode 1V.

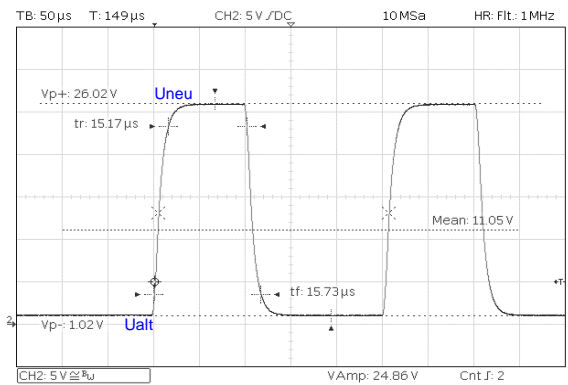
3.6.7 Pulsetrain USUPPLY

!PUT erzeugt mit dem Pulsetraingenerator am SVGP einen Rechteck-Pulszug, die Anzahl der Pulse ist einstellbar. USVGP wechselt zwischen Ualt / Uneu / Ualt. Verwendet wird der SVGP-Unipolarbereich. Das SVGP-Tiefpassfilter wird ausgeschaltet (!set144). Nach Ende der Pulsausgabe sind weitere Befehle möglich. Der Befehl kann kombiniert werden mit Rauschstromfilter, Stromquellenmodus und FVG.

Protokoll Name	Befehl	Bemerkung
Pulsetrain, Ausgabe von Rechteckpulsen am SVGP	!put{un; tn; ta; w}	un = 0...26000 [mV], Spannung Uneu, (overdrive 28V) tn = 1...32000 [µs], Spannung Uneu wird für die Zeit tneu ausgegeben ta = 1...32000 [µs], Spannung Ualt wird für die Zeit talt ausgegeben w = 1...32000, Anzahl der Puls Wiederholungen f = x, siehe Fehlertabelle 15.3.4.1

Beispiel Pulsetrain

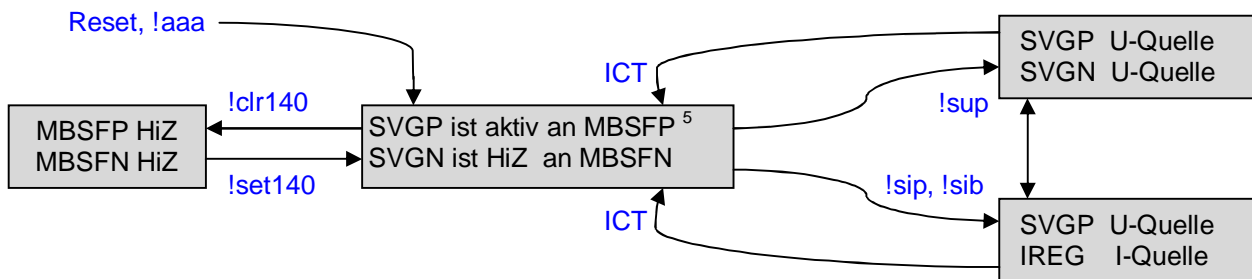
!sup5000;430 (Aktiviere Spannungsmodus, ILIMIT maximal für minimale Pulsanstiegszeiten)
 oder
!sip / !sib100;5000 (!san0 schaltet in Unipolarbereich, Ualt einstellen)
!san0;1000 (Ist Ualt oder Uneu >10V, muss SAVEPOWER gelöscht werden. Ist Ualt und Uneu <=10V, SAVEPOWER setzen, !set136)
!clr136 (Ausgabe MINIPORT)
!ssv0:0 (auch unterschiedliche PUT in Folge...)
!put26000;100;150;2 (Tiefpassfilter wieder einschalten)
!clr144



3.6.8 Messbuszustand MBSFP und MBSFN

Die stromtragfähige SF-Multiplexerstruktur der SMMU kann fremdverwendet werden, wenn die treibenden SVG an den Messbuswurzeln MBSFP und MBSFN hochohmig geschaltet werden, siehe 20.3.6.

Das Schaubild zeigt die Zustände der Generatoren (SVG) und Messbuswurzeln (MBSF) mit den Übergängen:



⁵ Der SVGP befindet sich im Spannungsmodus (3.6.1) Spannungsbereich 2 (unipolar) mit ~0V, ILIMIT ~100mA.

3.6.9 Option V (FVG Floating Voltage Generator)

SMU350 ist lieferbar mit Option V, als Steuerquelle für Transistoren, Optokoppler, Verstärker, auch verwendbar für ICT-Stimuli. Die Parameter werden definiert mit `!fvg{UFVG};{RIFVG}`.

Erzeugt wird UFVG = 0,2...9,8V (Auflösung 8bit) mit Innenwiderstand RIFVG = ~3...103KΩ (Toleranz 10KΩ). Kurzschlüsse mit USUPPLY werden toleriert. Anwendungen siehe 20.6.

Die Existenz des optionalen FVG wird überprüft mit `!fvg`. Bei Antwort Err0 ist ein FVG vorhanden, bei Err59 fehlt er. Ein fehlender FVG ist hochohmig (HiZ).

Der FVG kann im Gleichtaktbereich der SMMU (-8...+26V) durch Anschalten an ein Systempotential frei verschoben werden. Zur korrekten Spannungsmessung an der fliegenden Quelle FVG mit der SMMU ist eine Gleichtaktanbindung erforderlich.

In Vorfeld von Spannungs- und Strommessungen (Load&Arm) wird der FVG kurzzeitig hochohmig, da gemeinsam verwendete Schaltungspfade benötigt werden. Wenn ein Prüfling (z.B. Transistor) schnell wieder einschwingt, wirkt sich die Unterbrechung nicht auf das Messergebnis aus. Bei sensiblem Prüfling kann die schnelle Triggermessung `!ain99` verwendet werden, sie arbeitet ohne FVG-Unterbrechung.

3.7 Schalten der Prüflingsversorgung (Multiplexer)

Die im Vorfeld definierte Prüflingsversorgung kann auf MINIPORT geschaltet werden oder auf vorhandene AP am MUX (1...RealAP). Die Hauptversorgung (SVGP und SVGN) nach Bedarf mit interner oder externer Regelung. Schalter SSINTERN (SupplySenseIntern, Port42) definiert die Art der Regelung. Er wird automatisch, bei Bedarf manuell bedient. Beispiele siehe 20.5.1 ff.

3.7.1 SVG extern geregelt

Externe Regelung der SVG am Prüfling wird realisiert mit `!ssv{p:n}`. Alle zuvor bestehenden SF-Einspeisepunkte werden ausgeschaltet, SVGPEN wird aktiviert. `!ssv` soll nur ausgeführt werden, wenn im Vorfeld eine Versorgung (`!sup / !sip / !sib`) definiert wurde. Für die automatischen Kelvin-Kontakttests (3.8.1) ist dann eine Gleichtaktanbindung GTA vorhanden. `!ssv` kann verwendet werden mit aktivem Wellengenerator.

Der Ablauf:

1. Bei eingeschaltetem FVG (`!sfv`), egal ob diese Option eingebaut ist oder nicht, ist die SS-Matrix belegt. `!ssv` schaltet nur eine intern geregelte Versorgung und Kelvin-Kontakttests (`!tst14/13`) entfallen.
2. Bei ausgeschaltetem FVG (`!rfv`) werden Kelvin-Kontakttests `!tst14/13` durchgeführt. Die voreilenden Kelvin-Kontakttests erzeugen auch bei SS-Fühlerunterbrechung keine Überspannung am Prüfling.
 - a) **Bei Fehlerfreiheit** wird die gewünschte externe Regelung (SSINTERN=0) aktiv an SFSS{p:n}. Über die SS-Matrix erfolgt die Rückmeldung der Istwerte:
 - Der SVGP regelt Ausgangsspannung USVGP an SFp über die SupplySenseleitung SSp.
 - Der SVGN regelt Ausgangsspannung USVGN an SFn über die SupplySenseleitung SSn.
 An den externen Knotenpunkten von SF und SS (am Prüfling) werden die Ausgangsspannungen geregelt. Spannungsabfall im Multiplexer und den Prüflingszuleitungen wird ausgeregelt.
 - b) **Im Fehlerfall** trennt das System die Aufschaltung (`!rsv`) und meldet Err14/13.

3.7.2 SVG intern geregelt

Intern geregelt, auch bezeichnet als ungeregelt oder parallel zu einer bestehenden extern geregelten Ausgabe, kann die Prüflingsversorgung auf beliebige AP an MUX oder MINIPORT geschaltet werden. Die interne Regelung (SSINTERN=1) findet statt an der Messbuswurzel. Spannungsabfall im Multiplexer und den Prüflingszuleitungen wird nicht ausgeregelt. Die SS-Matrix wird bei interner Regelung nicht benötigt und ist bei SMU350 frei verwendbar.

Befehle für SVGP an MUX: `!spp{p}` zum Ein- und `!rpp{p}` zum Ausschalten eines AP (Anschluss SFp)
 SVGN an MUX: `!spn{n}` zum Ein- und `!rpn{n}` zum Ausschalten eines AP (Anschluss SFn)
 MINIPORT: `!set106` einschalten `!clr106` ausschalten

3.7.3 SVG ausschalten

Ausschalten der SVG DUT-Versorgung erfolgt mit `!rsv`. Der Befehl aktiviert die interne Regelung (SSINTERN=1), löscht alle SF-Schalter, löscht (bei ausgeschaltetem FVG) die SS-Matrix und testet auf korrekte interne Regelung (Err33/34). Schalter SSNLOCAL und SVGPEN werden nicht verändert. Spannung / Strom der DUT-Versorgung wird nicht verändert. `!rsv` kann verwendet werden mit aktivem Wellengenerator.

3.7.4 Schalten vom FVG

Mit **!sfv{p:n}** wird der FVG über die SS-Matrix auf genau zwei AP geschaltet (SSp:SSn). Die SS-Matrix wird dadurch belegt und steht nicht mehr für eine externe Regelung der DUT-Hauptversorgung zur Verfügung. Bestehende extern geregelte DUT-Versorgungen werden in den intern geregelten Zustand umgeschaltet.

Mit **!rfv** wird der FVG und die SS-Matrix ausgeschaltet (HiZ). Eine parallel dazu bestehende Versorgung USUPPLY verbleibt im Zustand „intern geregelt“. Der Zustand „extern geregelt“ kann mit **!ssv** erneut geschaltet werden.

Unabhängig von Option V werden automatische Kelvin-Kontakttests mit **!sfv** ausgeschaltet und mit **!rfv** eingeschaltet. Automatische Kelvin-Kontakttests erfolgen bei:

1. ICT (siehe 10.2)
2. **!ssv** (siehe 3.7.1)

Hinweis: Bei Verwendung des FVG immer komplett am MUX oder komplett am MINIPORT testen, gemischten Betrieb vermeiden. Beim Aufschalten des FVG am MINIPORT mit komplett verschalteten AP erfolgen Querschlüsse zu den dort gleichzeitig aktivierten SF-Anschlüssen. Querschlüsse werden vermieden, wenn die SS-Anschlüsse spezifisch verdrahtet oder die SF-Anschlüsse hochohmig geschaltet werden:

!ktb (SVGN=HiZ, USVGP~0V, vergleiche 20.3.6) **!fvg5000** (UFVG=5V)
!sfv (UFVG am MINIPORT mit GTA am SVGP) **!bua5** (Messbereich 12V) **!mua** (messe UFVG~5V)

3.8 Kelvin-Kontakttests

Mit Kelvin-Kontakttests an den AP von MINIPORT und MUX erfolgt die Überprüfung der Nadelkontaktierung am Prüfling. Zur Verfügung stehen automatische und manuelle Tests.

1. Automatische Kelvin-Kontakttests erfolgen bei **!ssv** (3.7.1), **!rsv** (3.7.3) und ICT (10.2).
2. Manuelle Kontaktprüfsequenzen können individuell zusammengestellt werden, um beliebig gemischte Anschlussarten (2-, 4-, 6-Leitertechnik) überprüfen zu können. Verwendet werden die Befehle **!kta** / **!ktb** und **!tst11...14**.

Unterschieden werden die Tests nach der Anzahl der dabei geprüften AP:

- a. Singular-AP, ein Anschlusspunkt wird getestet, siehe 20.7.1.
Das ist die einfachste Methode für manuelle Tests am MUX.
- b. Dual-AP, zwei Anschlusspunkte werden gemeinsam getestet, siehe 20.7.2.
Mit dieser Methode erfolgen automatische und manuelle Tests an MINIPORT und MUX.

3.8.1 Anschlüsse SF und SS

1. **!tst14** überprüft den Kontakt der Anschlussleitungen SFp und SSp (Err14).
Zuvor muss am AP eine GTA geschaltet, sowie Schalter SFp und SSp gesetzt werden.
2. **!tst13** überprüft den Kontakt der Anschlussleitungen SFn und SSn (Err13).
Zuvor muss am AP eine GTA geschaltet, sowie Schalter SFn und SSn gesetzt werden.

Übersteigt die Spannung zwischen SF:SS den Maximalwert ($\pm 600\text{mV}$), wird Kontaktfehler ausgelöst. Dieser Fall tritt auf, bei zu hohem Widerstand der SF-Leitungen und aktivem Laststrom.

Übersteigt der Widerstand zwischen SF:SS den Maximalwert ($10\text{K}\Omega$), wird Kontaktfehler ausgelöst.

3.8.2 Anschlüsse SS und S

1. **!tst12** überprüft den Kontakt der Anschlussleitungen SSp und Sp (Err12).
Zuvor muss am AP eine GTA geschaltet, sowie Schalter SSp und Sp gesetzt werden.
Damit **!tst12** korrekt gemessen werden kann, soll zuvor **!tst14** geprüft werden. Wenn 14 ok (korrekte GTA über die SFp-Zuleitung) ist **!tst12** aussagefähig.
2. **!tst11** überprüft den Kontakt der Anschlussleitungen SSn und Sn (Err11).
Zuvor muss am AP eine GTA geschaltet, sowie Schalter SSn und Sn gesetzt werden.
Damit **!tst11** korrekt gemessen werden kann, soll zuvor **!tst13** geprüft werden. Wenn 13 ok (korrekte GTA über die SFn-Zuleitung) ist **!tst11** aussagefähig.

Übersteigt der Widerstand zwischen SS:S den Maximalwert ($10\text{K}\Omega$), wird Kontaktfehler ausgelöst.

3.9 Steckerbelegung

3.9.1 350X1 und 350X2A POWER

Signal	Stecker Pin	Bemerkung
GND24V	1	Versorgungsspannung
CASE	2	Gehäuse, Schirmung
P24V	3	Versorgungsspannung

Option X
350X2A

c2
a2, a4
c4



Ext. Gegenstecker 350P1
MC1,5/3-STF-3,81
Phoenix #1827716
mit Verschraubung
an Frontplatte

350X2A Power intern VG-D32 Messer 90° EN60603-2 (DIN41612)



Ext. Gegenstecker 350P1
MC1,5/3-ST-3,81
Phoenix #1803581
ohne Verschraubung

3.9.2 350X3 MINIPORT SubD15female

Signal	Flachkabel Draht#	Stecker Pin	Bemerkung	
CASE	-	BODY	Kabelschirm	
CASE	1	1	Gehäuse	gn
GND	2	9	Systemmasse	sw
SFN0	3	2	SupplyForceNegative 0	bl
	4	10	reserved	
SSN0	5	3	SupplySenseNegative 0	bl
	6	11	reserved	
SN0	7	4	SenseNegative 0	bl
	8	12	reserved	
SP0	9	5	SensePositive 0	rt
	10	13	reserved	
SSP0	11	6	SupplySensePositive 0	rt
	12	14	reserved	
SFP0	13	7	SupplyForcePositive 0	rt
	14	15	reserved	
	15	8	reserved	

3.9.3 350X5 V24.0 (Host) SubD9female

Signal	Flachkabel Draht#	Stecker Pin	Bemerkung
CASE	-	BODY	Gehäuse, Kabelschirm
NC	1	1	
P5VI06	2	6	Ausgang +5V mit Ri=220Ω, extern DSR
TXD0	3	2	Ausgang Sender
NC	4	7	
RXD0	5	3	Eingang Empfänger
P5VI08	6	8	Ausgang +5V mit Ri=220Ω, extern CTS
NC	7	4	Extern DTR
NC	8	9	
GNDI0	9	5	V24Ground0 isolated mit YRC-Anbindung (2,2MΩ//100nF an CASE)

3.9.4 350X6 V24.1 (User) SubD9female

Signal	Flachkabel Draht#	Stecker Pin	Bemerkung
CASE	-	BODY	Gehäuse, Kabelschirm
NC	1	1	
P5VI16	2	6	Ausgang +5V mit Ri=220Ω, extern DSR
TXD1	3	2	Ausgang Sender
NC	4	7	
RXD1	5	3	Eingang Empfänger
P5VI18	6	8	Ausgang +5V mit Ri=220Ω, extern CTS
NC	7	4	Extern DTR
NC	8	9	
GNDI1	9	5	V24Ground1 isolated mit YRC- Anbindung (2,2MΩ//100nF an CASE)

4 AUXIO

Am Stecker AUXIO 350X4 stehen massebezogene Ein- und Ausgänge zur Verfügung. Die spezifische Verdrahtung und Weiterverarbeitung erfolgt durch den Anwender. Angegebene Befehlslaufzeiten gelten bei der Schnittstellenbaudrate 115,2Kbaud.

4.1 Steckerbelegung 350X4 AUXIO SubD25female

Signal	Flachkabel Draht#	Stecker Pin	Bemerkung		
CASE	-	BODY	Kabelschirm		
CASE	1	1	Gehäuse		
P5VEXT	2	14	Ausgang 5V / 50mA für z.B. Speisung Temperatursensor extern		
TEMPEXT	3	2	Analogeingang 8bit, externer Temperatursensor 2...+115°C, Ri=100KΩ		
GND	4	15	Masse		
AIN4	5	3	Analogeingang 12bit, 0...~ +10500mV, Ri=43KΩ		
AIN5	6	16	Analogeingang 12bit, 0...~ +10500mV, Ri=43KΩ		
AIN6	7	4	Analogeingang 12bit, 0...~ +10500mV, Ri=43KΩ		
AIN7	8	17	Analogeingang 12bit, 0...~ +10500mV, Ri=43KΩ		
P5VEXT	9	5	Ausgang +5V für Versorgung DIV252	6pol. Flachkabel an DIV252	
GND	10	18	Masse, Frequenzteiler DIV252 Masse		Draht #1
ENDIV	11	6	Freigabeausgang DIV252, 5V PushPull, Ri=1KΩ		#2
GND	12	19	Frequenzteiler DIV252 Masse		#3
FDUTDIV WAVSYNC TRIGEXT /GATETI	13	7	Multifunktionseingang: FDUTDIV gesteuert von DIV252 oder Sonderfunktion WAVSYNC, TRIGEXT, /GATETI, 5V HCMOS 1KΩ Serie + PullUpR 10KΩ an +5V		#4
GND	14	20	Masse, Frequenzteiler DIV252 Masse		Draht #6
FRQ	15	8	NF-Rechteckgenerator Digitalausgang, 5V HCMOS PushPull, Ri=50...200Ω		
/PASS	16	21	Digitalausgang /PASS, 30V/20mA Opendrain, active low		
QUIT	17	9	Digitaleingang QUIT, 10...30V active high, Ri=68KΩ		
SA	18	22	AB4-Zählereingang SA, 5V HCMOS mit PullUpR 10KΩ an +5V		
SB	19	10	AB4-Zählereingang SB, 5V HCMOS mit PullUpR 10KΩ an +5V		
GND	20	23	Masse		
M12V	21	11	Ausgang -12V 50mA		
GND	22	24	Masse		
P5V	23	12	Ausgang +5V 50mA		
P12V	24	25	Ausgang +12V 50mA		
P30V	25	13	Ausgang +30V 50mA		

4.2 Spannungsausgänge

Fünf Spannungen stehen zur Versorgung von externer Elektronik zur Verfügung. Die Ausgänge sind stabil mit einem externen Blockkondensator bis 47µF. Im Ruhezustand der SMU kann ein einzelner Ausgang (P30V, P12V oder M12V) mit bis zu 0,4A belastet werden. Ein Kurzschluss gegen Fremdspannung oder Rückspeisung kann das System beschädigen.

Signal	Spannung	Laststrom	Bemerkung
P30V	+30V	<50mA	SMMU-Betriebsspannung, bei Kurzschluss DCDC-Wandlerabschaltung
P12V	+12V	<50mA	SMMU-Betriebsspannung, bei Kurzschluss DCDC-Wandlerabschaltung
P5V	+5V	<50mA	SMMU-Betriebsspannung, bei Kurzschluss DCDC-Wandlerabschaltung
P5VEXT	+5V	<50mA	Kurzschlussfester Ausgang (100mA) mit separatem Linearregler 78L05
GND	Masse	-	Systemmasse SMMU
M12V	-12V	<50mA	SMMU-Betriebsspannung, bei Kurzschluss DCDC-Wandlerabschaltung

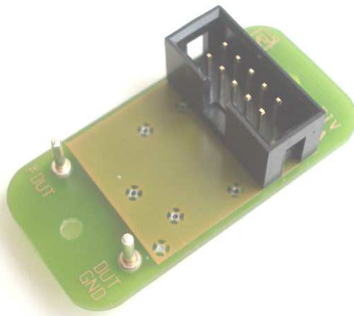
4.3 DIV252 HF-Vorteilermodul

Der optionale HF-Vorteiler DIV252 enthält einen Komparator mit Frequenteiler Faktor 16. HF-Frequenzmessungen bis 7MHz sind möglich. Der Messbefehl lautet **!mhf**, siehe 21.14.1. Die Montage des Vorteilers erfolgt direkt am Prüfling, damit die Belastung so gering wie möglich wird. Messeingang FDUT belastet die Quelle mit ~5pF. Ein schwaches HF-Signal kann z.B. direkt an einem Quarz abgegriffen werden. Signal DUTGND ist mit 1nF an den Vorteiler angebunden. Durch die kapazitive Ankoppelung ist das Massepotential des Prüflings zur SMMU frei, begrenzt durch die Eingangskondensatoren auf etwa ±42V.

Die Versorgung des Moduls mit P5VEXT erfolgt über 2,54mm Flachkabel von Stecker AUXIO.

CMOS-Ausgang ENDIV hat einen Ri=1KΩ und kann bei Fremdverwendung mit **!set!/clr56** manuell geschaltet werden.

Multifunktionseingang FDUTDIV mit Schmitt-Trigger-Funktion hat einen internen Serienwiderstand 1KΩ mit PullUpR von 10KΩ an +5V (bei CTL274 an GND). Der logische Zustand wird gelesen mit **!din24**. Er kann von einem masseschaltenden Optosensor (z.B. Drehzahlmesser) oder Optokoppler direkt angesteuert werden. Alternativ kann der Eingang verwendet werden (Triggermessung) als externer Trigger TRIGEXT, zur Phasensynchronisierung WAVSYNC oder als /GATETI zur Vorgabe eines externen Messzeitmessfensters.



<i>Maße der Leiterplatte</i>	45mm Länge 22mm Breite 22mm Höhe mit Stecker
<i>Befestigung</i>	2 Bohrungen 3,2mm zentral im Abstand von 35mm
<i>Notwendiger Stecker 252P9 für Kabel DIV252-SMU350</i>	Pfostenstecker 10pol Raster 2,54mm mit angepresstem Flachbandkabel AWG28, max. Länge 3m

Stecker 252X8 Messeingang Steckstift 1,3mm

Signal	Stecker Pin	Name	Hardwareverschaltung
FDUT	1	Messeingang Frequenz	4,7pF//10MΩ an GNDDUT
GNDDUT	2	Masse des Prüflings	1nF an Systemmasse GND

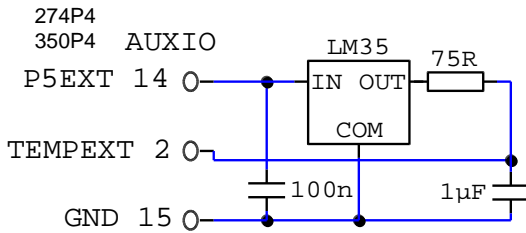
Spezifikation Messeingang FDUT

Frequenz	Rechteckspannung Vp	Sinusspannung Vp	Messgenauigkeit	Bemerkung
2KHz... 49KHz	>0,4	undefiniert	1KHz	Umax ±42V
50KHz... 99KHz		>2,5		
100KHz... 999KHz		>1,5		
1MHz... 7MHz		>1,0	3KHz	

Pfostenstecker 252X9 10pol Flachkabel

Signal	Steckerpin Kabelader	Bemerkung	System IO-Port	Steckerpin AUXIO 350X4
P5V	1	Versorgung des Moduls +5V über P5VEXT		5
GND	2	Masse		18
ENDIV	3	5V Messfreigabe (enable divider)	Output Port56	6
GND	4	Masse		19
FDUTDIV	5	5V frequency DUT divided (Faktor 16)	Input Port24	7
WAVSYNC		3 alternative Funktionen, Triggermessung		
TRIGEXT /GATETI				
GND	6	Masse		20
-	7	Frei		NC
GND	8	Masse		20 oder NC
-	9	Frei		NC
GND	10	Masse		20 oder NC

4.4 Temperatursensor TEMPEXT



Sensoreingang TEMPEXT dient zur Erfassung einer externen Temperatur (z.B. Kühlkörper). Der vorgesehene Temperatursensor LM35 (Texas Instruments) hat eine Steilheit von 10mV/K. Die Versorgung erfolgt über die kurzschluss sichere Spannung P5VEXT. Positionierung, Verdrahtung und Anschluss des Sensors erfolgt vom Anwender. Die Sensormessung !ain15 (Laufzeit 2,5ms) erfolgt über einen 8bit ADC, dabei wird Zeitstempel1 (Auflösung 1ms) aktualisiert. Bei Überspannung wird Err15 ausgelöst.

Messbereich	Spannung an TEMPEXT	Abweichung	Bemerkung
2...115°C	20...1150mV	1°C±1,5%	Eingangswiderstand TEMPEXT 100KΩ/100pF mit Tiefpassfilter 15KHz

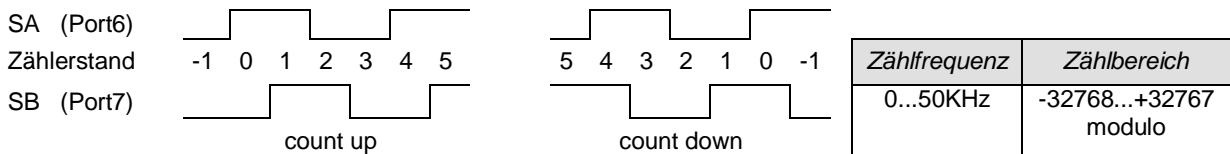
4.5 Sensoreingang AIN4...7

Zur Verfügung stehen 4 analoge Eingänge zur Erfassung von Helligkeit, Kraft, Weg analog, Temperatur etc. Die Sensormessungen !ain4, !ain5, !ain6, !ain7 (Laufzeit 2,5ms) erfolgen über einen 12bit ADC, dabei wird Zeitstempel1 (Auflösung 1ms) aktualisiert. Bei Überspannung wird Err15 ausgelöst.

Messspannung	Abweichung	Bemerkung
0...~ +10500mV	±25mV	Eingangswiderstand 40KΩ mit Tiefpassfilter 20KHz

4.6 AB4-Zählereingänge SA und SB

Incrementalgeber können direkt angeschlossen werden, um z.B. Wegstrecken zu erfassen. Die 5V-HCMOS Zählereingänge haben interne 10KΩ PullUp Widerstände an +5V. Der AB4-Zähler (16bit-Up/Down) arbeitet mit 4fach-Flankenauswertung. Ein AB4-Zählerstempel wird bei Analogmessungen gespeichert. Die Erfassung von Hallgenerator- und Potentiometerkennlinien wird dadurch ermöglicht. Das Setzen oder Abfragen von Zähler und Zählerstempel erfolgt mit !cnt{x} (Laufzeit 2ms). Ein Zählfehler (Err17) wird nach Abfrage gelöscht. Der Zustand der Eingänge kann zusätzlich mit !din6 (SA) und !din7 (SB) abgefragt werden.



4.7 Eingang QUIT

Der Eingang ist vorgesehen zum Anschluss eines externen Tasters zur Steuerung des Prüfablaufs. Soll z.B. ein Trimmer manuell abgeglichen werden, kann das System bis zur Betätigung des QUIT-Tasters warten. Die Ansteuerung erfolgt mit einem HIGH-Signal, das intern um 100ms verlängert wird. Das erleichtert das Abfragen einer kurzen Tastenbetätigung im Pollingbetrieb. Der Eingang ist frei verwendbar. Der Abfragebefehl ist !qtk (Laufzeit 2ms).

Zustand	Spannung	Bemerkung
0	0...3V	Eingangswiderstand 68KΩ gegen Systemmasse
1	10...30V	Überspannungsfest bis ± 42V

4.8 Ausgang /PASS

Ausgang /PASS liegt an Port127 und ist gedacht als Lampenanschluss zur Signalisierung einer GUT-Prüfung. Er ist masseschaltend, dauerkurzschlussfest und besitzt zur Spannungsbegrenzung eine 36V-Zenerdiode nach Masse. Der Ausgang kann frei verwendet werden.

Zustand	Ausgangsstrom	Bemerkung	Bedienbefehl
0 (Reset)	0...100µA	Maximalspannung +30V	!clr127
1	<40mA	Restspannung am Ausgang <2V	!set127

4.9 NF-Rechteckgenerator FRQ

Der 5V-HCMOS-Ausgang hat einen Innenwiderstand 50...200Ω. Er liegt an Port57 und kann auch manuell bedient werden. Der Befehl zur Frequenzabgabe lautet **!ssf{x}** (x=0 und 15...12543Hz). Die 1Hz-Auflösung bei kleinen Frequenzen steigt mit der Ausgabefrequenz bis auf etwa 180Hz.

Log. Zustand	Ausgangsspannung	Bemerkung	manuelle Bedienung
0	0...0,5V	Default nach PowerUp oder !ssf0 (Frequenz aus)	!clr57
1 (Reset)	4,5...5.5V	Iload <= ±1mA	!set57

Der Generator ist geeignet zur Auslösung externer Triggerungen TRIGEXT, siehe 21.2.15.

Bei Bedarf wird mit Hilfe einer externen Interfaceschaltung Pegel und Hub des Signals angepasst. Die Aufschaltung auf den Prüfling kann erfolgen über einen AF-Schalter von MUX275.

5 Firmwareupdate

Neue Firmware wird über die serielle Schnittstelle V24.0 übertragen. Die Übertragung erfolgt wahlweise über:

1. PC-Programm *SMMU_Updater.exe*
2. Bedienoberfläche *SMMU-USR001*
3. eigene Software

Für die Übertragung der Firmware werden 2 Hexadezimal-Dateien benötigt.

Zuerst wird das Ladeprogramm **Lader_V01.hex** und danach die Firmware **MB04_Vxx.hex** übertragen (Intel-Hex-Format). Dateinamen beginnen mit der ursprünglichen Projektbezeichnung MB04 (Messbox04), Vxx kennzeichnet die Version.

5.1 Ablauf

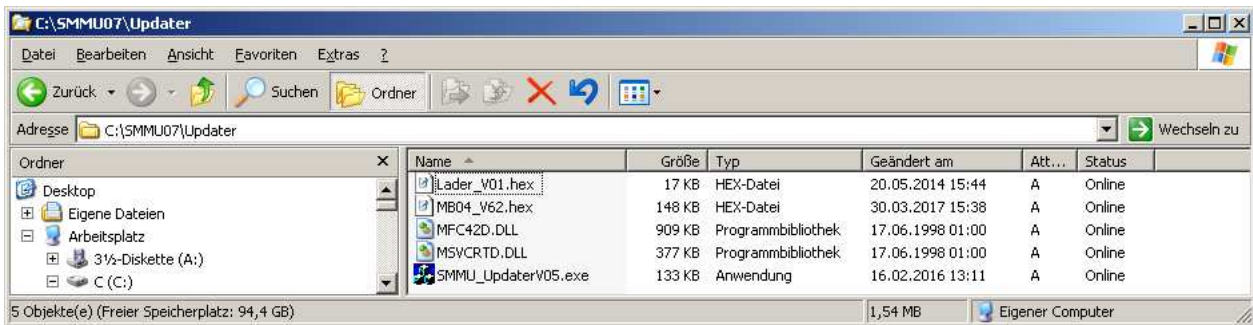
Schritt	Aktion
1	SMMU ist eingeschaltet, LED blinkt langsam mit 1Hz. PC leitet den Download vom Ladeprogramm ein: !DLF2
2	SMMU löscht den Speicherbereich für den Lader und sendet eine Fehlerantwort: <F=+00000 (korrekt = kein Fehler).
3	Der PC sendet das Ladeprogramm Byte für Byte an die SMMU. Zur Empfangspuffersteuerung verwendet die SMMU einen XON/XOFF-Handshake. Ein Checksummenvergleich wird zeilenweise durchgeführt.
4	Wurde alles transferiert (das letzte EOF-Byte \$FF wird nicht abgeschickt), sendet PC: !DLF5
5	Bei einem Checksummenfehler sendet SMMU <F=+00009 , dann muss wieder bei Schritt 1 gestartet werden. War alles korrekt, erfolgt keine Antwort , das Ladeprogramm wird programmiert. Während der Programmierzeit (3...4s) sind andere Aktivitäten und alle Interrupts gesperrt. Während der Programmierzeit darf die Spannungsversorgung nicht unterbrochen werden, sonst ist das Ladeprogramm unvollständig und funktioniert nicht. Die SMMU muss dann zum Hersteller zurückgesendet werden. Danach startet das Ladeprogramm, die LED blinkt schnell mit 2Hz. Das Ladeprogramm versteht nur die Befehle !VER und !DLFx .
6	Der PC wartet nach dem Senden von !DLF5 ca. 5 Sekunden und pollt danach SMMU mit dem Befehl !VER . Meldet sich das Ladeprogramm mit dessen Versionsnummer, so kann der Download der Firmware gestartet werden.
7	SMMU schleift im Ladeprogramm, die LED blinkt schnell mit 2Hz. PC leitet den Download der Firmware ein: !DLF3
8	SMMU löscht den Speicherbereich für die Firmware und sendet eine Fehlerantwort: <F=+00000 (korrekt = kein Fehler).
9	Der PC sendet die Firmware Byte für Byte an die SMMU. Zur Empfangspuffersteuerung verwendet die SMMU einen XON/XOFF-Handshake. Ein Checksummenvergleich wird zeilenweise durchgeführt.
10	Wurde alles transferiert (das letzte EOF-Byte \$FF wird nicht abgeschickt), sendet PC: !DLF5
11	Bei einem Checksummenfehler sendet SMMU <F=+00009 , dann muss wieder bei Schritt 7 gestartet werden. War alles korrekt, erfolgt keine Antwort , die Firmware wird programmiert. Während der Programmierzeit (4...5s) sind andere Aktivitäten und alle Interrupts gesperrt. Während der Programmierzeit darf die Spannungsversorgung nicht unterbrochen werden, sonst ist die Firmware unvollständig und funktioniert nicht. Die SMMU muss dann zum Hersteller zurückgesendet werden. Wenn die LED langsam blinkt, 1 Mal pro Sekunde, ist die SMMU mit neuer Firmware betriebsbereit.
12	Zur Kontrolle kann mit !aaa ein Softreset ausgeführt werden, die LED muss danach langsam blinken. Die Version der Firmware kann mit !VER abgefragt werden.

5.2 SMMU_Updater

Ein Update der SMMU Firmware kann mit unserem kostenfreien SMMU_Updater erfolgen. Das PC-Programm ist ohne Installation lauffähig auf einem Windows-PC (XP, 2000...WIN10). Der Quellcode ist viren- und trojanerfrei, hat keinen Internetzugang und installiert nichts, weder cookies noch anderweitige Merker. Erforderlich ist eine V24-Verbindung zwischen PC und SMMU mit einem Kabel SMMU-KABPC (siehe 19.2). Besitzt der PC keine V24-Schnittstelle, wird eine USB-Schnittstelle mit Umsetzerkabel (USB auf V24) verwendet. Im Installationsmenü muss der Umsetzer beim Betriebssystem angemeldet und eine freie COM-Schnittstelle zugeteilt werden.

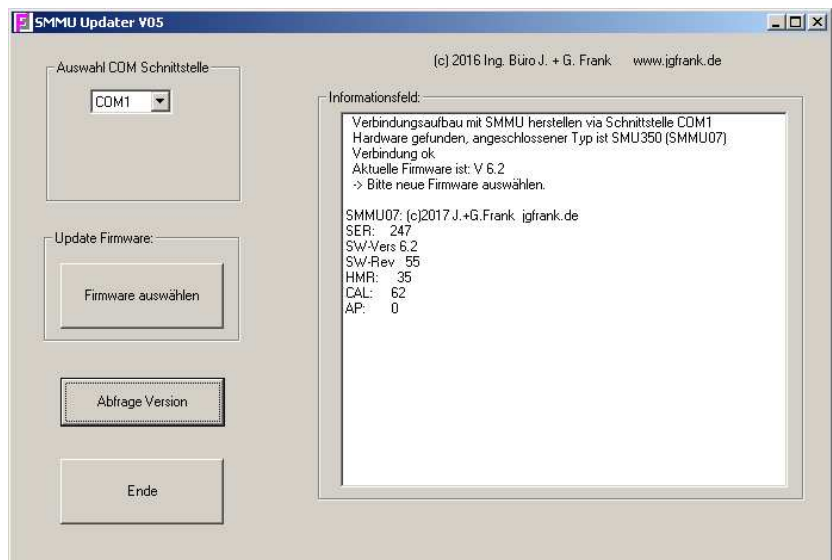
Folgende Dateien im gleichen Verzeichnispfad sind notwendig:

1. SMMU_UpdaterV05.exe (Anwendung, 133KB)
2. MFC42D.DLL (Bibliothek, 909KB)
3. MSVCRTD.DLL (Bibliothek, 377KB)
4. Lader_V01.hex (SMMU-Ladeprogramm, 17KB)
5. MB04_Vxx.hex (SMMU-Firmware mit Versionsnummer xx)

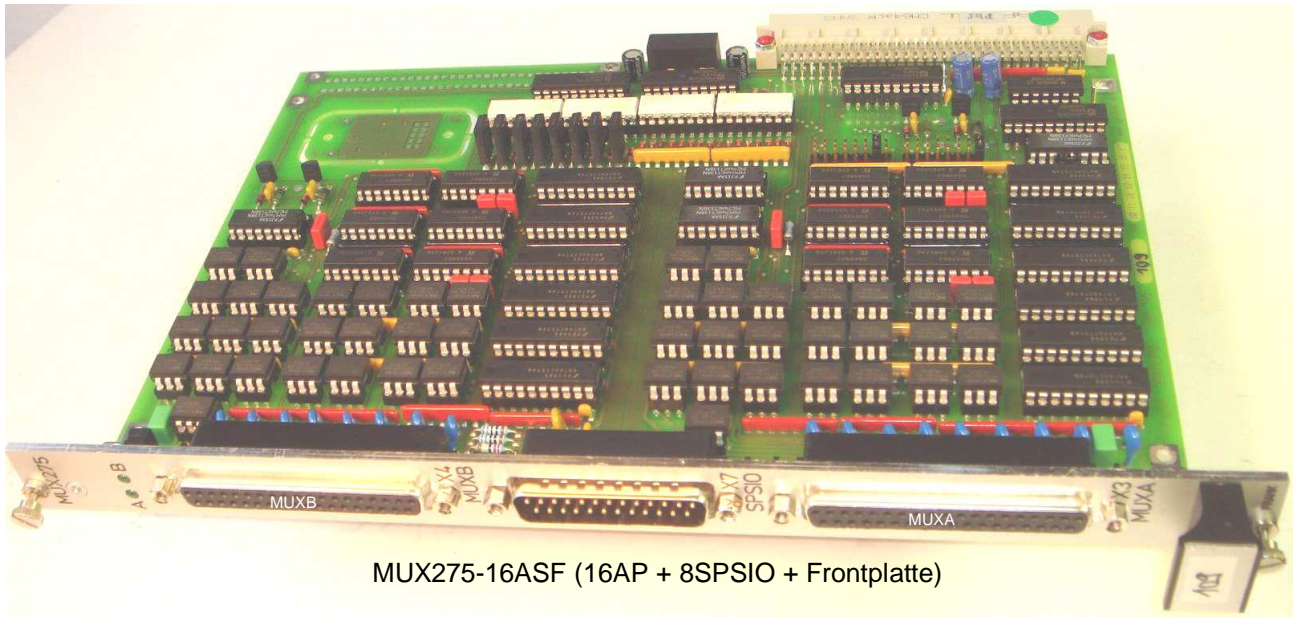


Nach dem Start von SMMU_Updater.exe erscheint folgende Oberfläche:

Zuerst erfolgt die **Auswahl der COM-Schnittstelle**. Sobald das Programm an der gewählten Schnittstelle eine SMMU gefunden hat, erscheint im Informationsfeld rechts eine entsprechende Meldung. Mit „**Firmware auswählen**“ wird die neu zu programmierende Firmware ausgewählt und übertragen. Die Übertragung erfolgt zweistufig, zuerst das Ladeprogramm, dann die Firmware. Die Übertragungszeit bei 115200baud beträgt etwa 20 Sekunden. Am Ende zeigt das Informationsfeld die aktuelle Versionsnummer, Seriennummer... Eine manuelle Versionsabfrage erfolgt mit „**Abfrage Version**“.



6 MUX275 Multiplexer



MUX275-16ASF (16AP + 8SPSIO + Frontplatte)

Multiplexer MUX275 verwaltet externe AP zum Anschluss von Prüflingen. Er ist lieferbar mit ein oder zwei OktalMultiplexern, also 8 oder 16 Anschlusspunkten.

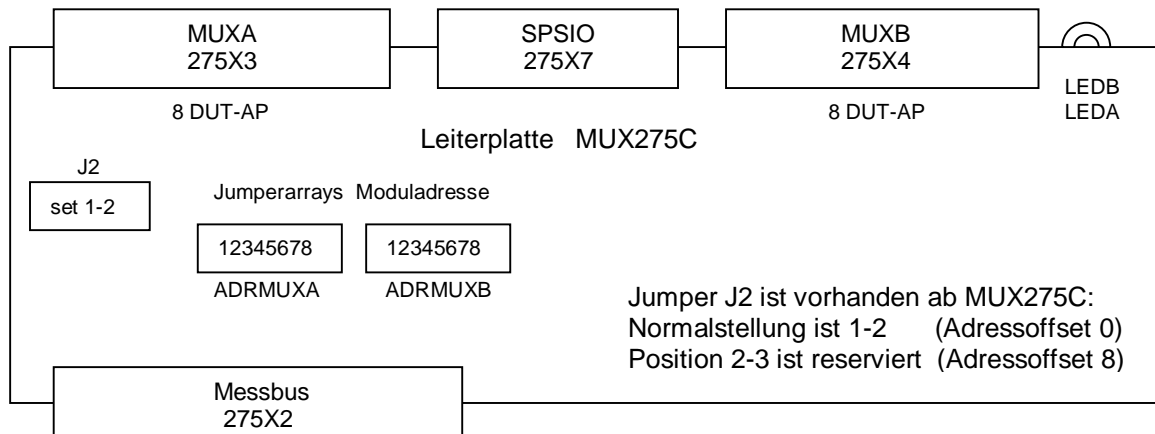
Multiplexer werden über den Messbus vom Controller versorgt. Der Messbus darf nur spannungsfrei gesteckt werden. Jeder Oktalmux im System benötigt eine Adresszuweisung durch Setzen einer Steckbrücke (Jumper) am zugehörigen 8fach Jumperarray ADRMUX auf der Leiterplatte.

DUT-AP am Stecker MUX	Adresse ADMUX	Jumperstellung J 1 2 3 4 5 6 7 8	Multiplexer- name
AP1 ... 8	1	1 0 0 0 0 0 0 0	MUX-1
AP9 ... 16	2	0 1 0 0 0 0 0 0	MUX-2
AP17 ... 24	3	0 0 1 0 0 0 0 0	MUX-3
AP25 ... 32	4	0 0 0 1 0 0 0 0	MUX-4
AP33 ... 40	5	0 0 0 0 1 0 0 0	MUX-5
AP41 ... 48	6	0 0 0 0 0 1 0 0	MUX-6
AP49 ... 56	7	0 0 0 0 0 0 1 0	MUX-7
AP57 ... 64	8	0 0 0 0 0 0 0 1	MUX-8

Moduladressen ADMUX im System beginnen immer bei 1. Eine identische Adressierung verhindert die korrekte Funktion des Systems und kann visualisiert werden mit !cod5;1 (Terminalmodus) und !pla, der 50KΩ Testwiderstand ist halbiert, gedrittelt...

Nach einem Reset ermittelt das System alle AP (RealAP) an zusammenhängend adressierten Multiplexern. Die Abfrage erfolgt mit !lap. !sap erlaubt Modifikationen von Hand für Sonderanwendungen.

6.1 PCB-Lageplan



6.2 Steckerbelegung 275X3 MUXA und 275X4 MUXB SubD37female

Prüfsystem SMMU

Multiplexeradresse ADRMUX

MUXA

MUXB

Blatt von

Signal	Flachkabel Draht#	Stecker Pin	Legende	AP	externe Aderfarbe	DUT-Anschluss
CASE	-	BODY	Kabelschirm			
CASE	1	1	Gehäuse			
GND	2	20	Masse SMMU			
-	3	2	reserved			
-	4	21	reserved			
-	5	3	reserved			
S1	6	22	Sense			
AF1	7	4	AuxiliaryForce			
SF1	8	23	SupplyForce			
SS1	9	5	SupplySense			
S2	10	24	Sense			
AF2	11	6	AuxiliaryForce			
SF2	12	25	SupplyForce			
SS2	13	7	SupplySense			
S3	14	26	Sense			
AF3	15	8	AuxiliaryForce			
SF3	16	27	SupplyForce			
SS3	17	9	SupplySense			
S4	18	28	Sense			
AF4	19	10	AuxiliaryForce			
SF4	20	29	SupplyForce			
SS4	21	11	SupplySense			
S5	22	30	Sense			
AF5	23	12	AuxiliaryForce			
SF5	24	31	SupplyForce			
SS5	25	13	SupplySense			
S6	26	32	Sense			
AF6	27	14	AuxiliaryForce			
SF6	28	33	SupplyForce			
SS6	29	15	SupplySense			
S7	30	34	Sense			
AF7	31	16	AuxiliaryForce			
SF7	32	35	SupplyForce			
SS7	33	17	SupplySense			
S8	34	36	Sense			
AF8	35	18	AuxiliaryForce			
SF8	36	37	SupplyForce			
SS8	37	19	SupplySense			

Firma

Abteilung

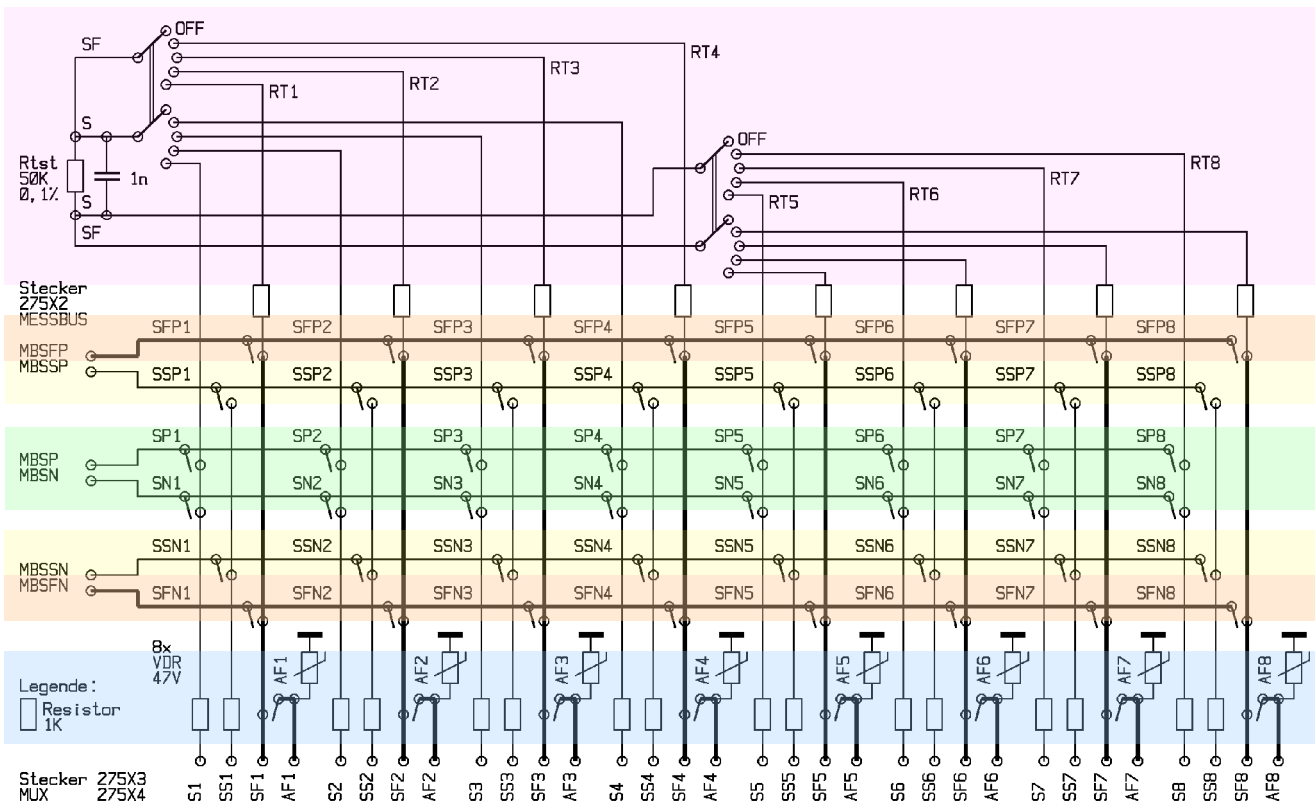
Projekt

Name

Datum

Dieses Blatt ist Kopiervorlage und kann zur Notierung der DUT-Anschlüsse verwendet werden!

6.3 OktalMultiplexer



Stromtragfähige Strukturen sind **fett** gezeichnet.

Integriert sind fünf Matrixarten und Schalterstrukturen, die auch frei verwendet werden können:

Matrix / Schalter	Abkürzung	Schaltzeit	Verwendung
Test-Matrix	RT	100µs	Plauertest mit Testwiderstand R _{test}
SupplyForce-Matrix	SF	~3ms	DUT-Speisung / U-Messung
SupplySense-Matrix	SS	100µs	DUT-Speisung / U-Messung / FVG-Ausgang
Sense-Matrix	S	100µs	U-Messung
freie Schalter	AF	~3ms	AuxiliaryForce Optorelais von AF an SF

Mit AF-Schaltern und Testmatrix RT können ICT Stimuli geschaltet werden. Die restlichen Schalter werden bei einem ICT vom System verwaltet. Bei FKT werden alle Schalter manuell bedient.

6.3.1 Ansteuerung

Für jeden Schalter existieren Lösch- und Setzbefehle. Paarweise organisierte Strukturen {p:n} werden gemeinsam angesteuert. Befehle mit Messtellenindex {p:n} >=1 adressieren einen externen AP auf MUX275. Der Indexbereich der Anschlussnummern variiert je nach Befehl.

Matrix / Schalter	Löschbefehl	Setzbefehl	bedient Schalter	Wertebereich
SF und SS	!rsv (1,3)	!ssv{p:n} (1,2,3,4)	SFP _p , SFN _n SSP _p , SSN _n	{p:n}=0...RealAP
SS	!ssr (3)	!sss{p:n} (3,4)	SSP _p , SSN _n	{p:n}=0...RealAP
S	!pnr (5)	!pns{p:n} (5,6,10)	SP _p , SN _n	{p:n}=negativ, 0...RealAP
RT	!rrt (7)	!srt{x} (8)	RT _x	x=1...RealAP
SF	!rpp{p} (9)	!spp{p} (9)	SFP _p	p,n=1...RealAP
	!rpn{n} (9)	!spn{n} (9)	SFN _n	
AF	!rax{x} (9)	!sax{x} (9)	AF _x	x=1...RealAP

Legende: (1) = löscht SF-Matrix & MINIPORT ENDMF (2) = setzt 1 Paar der SF-Matrix / MINIPORT ENDMF
 (3) = löscht SS-Matrix & MINIPORT ENDMF (4) = setzt 1 Paar der SS-Matrix / MINIPORT ENDMF
 (5) = löscht S-Matrix & MINIPORT ENDMS (6) = setzt 1 Paar der S-Matrix / MINIPORT ENDMS
 (7) = löscht RT-Matrix (8) = bis zu 2AP pro Oktalmux
 (9) = bedient Schalter auf MUX
 (10) = Mit **!pns** werden auch interne AP (negativ) im Controllermodul aktiviert.

Die SF- und AF-Optorelais können mit den Standardbefehlen einzeln gesteuert werden. Gemeinsames Schalten ist möglich bei direkter Ansteuerung des MUX mit `!xwr`. Die Ansteuerung erfolgt mit negativer Logik.

Matrix Schalter	Adresse	D7 128	D6 64	D5 32	D4 16	D3 8	D2 4	D1 2	D0 1
SFN	0	/SFN8	/SFN7	/SFN6	/SFN5	/SFN4	/SFN3	/SFN2	/SFN1
SFP	2	/SFP8	/SFP7	/SFP6	/SFP5	/SFP4	/SFP3	/SFP2	/SFP1
AF	4	/AF8	/AF7	/AF6	/AF5	/AF4	/AF3	/AF2	/AF1
LED	5	0	/LED1B	0	0	0	/LED1A	0	0

MUX-1 bedienen: `!xwr1;4;255` (alle AF aus) `!xwr1;4;0` (alle AF ein)
`!xwr1;2;255` (alle SFP aus) `!xwr1;2;252` (SFP1 und SFP2 ein)

Die Schaltzeit der SF- und AF-Optorelais beträgt ~3ms. Die Ansteuerbefehle `!spp`, `!spn`, `!spn`, `!rpn`, `!sax` und `!rax` berücksichtigen die Schaltzeit nicht. Bei zu schnellen Ansteuerfolgen kann mit `!wai` eine Pause eingefügt werden.

6.3.1.1 Schnellabschaltung

Die Sequenz trennt sofort alle Strompfade, alle MUX275 werden hochohmig.
`!set60` (DISMUX) `!aaa` (Softreset)

6.3.1.2 Front-LED

Wenn Multiplexer vom Controller bei einem Reset korrekt gefunden werden, blinken die LED an der Frontseite. Der Blinkbetrieb des Systems kann mit `!cod7;0` abgeschaltet werden.

- MUX275-08A hat eine Blink-LED mit Bezeichnung A und die LEDB, sie kann vom Nutzer angesteuert werden.
- MUX275-16A hat zwei Blink-LED mit Bezeichnung A und B

LED am MUX werden manuell bedient mit `!xwr{muxadr};5;{w}`. Die Test-Matrix wird dabei gelöscht. Bei MUX275-08A ist w=0 (LEDA+B ein), 4 (LEDB ein), 64 (LEDA ein) oder 68 (alles aus). Bei MUX275-16A existiert pro Oktalmux nur eine LED, w=0 (LED ein) oder 4 (aus).

6.3.1.3 Modulkennung

Jeder Oktalmux besitzt eine lesbare Modulkennung: `!xrd{muxadr};4`

Beschreibung	Adresse	Kennung bei MUX275B	Kennung bei Modul MUX275C und MUX342
Modulkennung	4	255 (MUXA+B)	127 (MUXA+B)

6.3.2 Elektrische Eigenschaften

AF-Anschluss: Überspannungsschutz durch Varistor 47V@1mA nach GND. AF-Anschlüsse haben bei ausgeschaltetem AF-Schalter einen erhöhten Gleichtaktspannungsbereich von ±42V. Bei eingeschaltetem AF-Schalter ist der zulässige Gleichtaktspannungsbereich identisch wie am AP, siehe Betriebsdaten 2.17. AF-Anschlüsse sind nicht Bestandteil eines Anschlusspunkts. Wird der Tester ausgeschaltet, werden AF-Anschlüsse hochohmig. AF-Anschlüsse sind vielseitig einsetzbar, in den Anwendungsberichten sind interessante Beispiele zu finden.

AP-Anschlüsse (SF, SS, S): Hier werden normalerweise potentialfreie Prüflinge angeschlossen, bei geerdeten Prüflingen siehe 17.4.2. Prüflinge müssen Y-störm sein, siehe 2.16.1.

Systempotentiale dürfen nur geschaltet (z.B. über AF-Schalter) mit einem Anschlusspunkt verbunden werden, sonst gibt es die Möglichkeit von Kurzschlüssen bei Reset, `!aaa`, und ICT.

Bei abgeschaltetem AP sind Spannungen von -11...+29V zulässig. Darüber erfolgt eine Stromableitung über 1KΩ Serienwiderstände und Begrenzerdioden. Der Summenableitstrom im System darf ±10mA Dauerstrom nicht überschreiten. Eine Ableitung soll nur kurzzeitig auftreten, Messungen werden dabei gestört. Wird der Tester ausgeschaltet, belastet jede AP-Leitung den Prüfling mit 1KΩ, ein komplett verschalteter AP belastet mit ~330Ω. Im aktiven Messbetrieb ist der Gleichtaktbereich -8...+26V, siehe Betriebsdaten 2.17.

SF-Multiplexer und AF-Schalter schalten innerhalb von 3ms. Sie sind Laststrom tragfähig und haben einem Innenwiderstand <400mΩ.

Spannungsschaltende Multiplexer (S, SS, RT) schalten innerhalb von 100µs. Sie haben einem Innenwiderstand von etwa 100Ω, eine Strombelastung bis 5mA ist zulässig. Jeder Anschluss besitzt zur Strombegrenzung einen Serienwiderstand von 1KΩ. Von Ein- zu Ausgang (MUX-MINIPOINT) ist der Gesamtwiderstand etwa 2,2KΩ. Der DC-Reststrom eines komplett verschalteten AP liegt typ. bei 1nA.

6.4 Kapazitätsbelag

Generell muss ein Prüfling beim Test die kapazitive Zusatzlast des Testsystems tragen. Bei labilen Prüflingen muss die Stabilität überprüft werden. Der Kapazitätsbelag eines Prüfanschlusses ist in erster Linie abhängig vom DUT-Kabel, der Länge, der Anschlussart, dem Schaltzustand des Multiplexers, von der Anzahl MUX275 im System (multipliziert mit der Oktalmux-Kapazität), dem Messbus und der Controllerlast.

Der Kapazitätsbelag an einem aktiven Anschluss wird berechnet: $C_{ges} = C_c + C_m + (RealAP/8 * C_o) + C_s + C_k$

Die Tabellenwerte wurden ermittelt bei freigeschaltetem Messbus (HiZ) und aktiven DUT-Anschlüssen.

!aaa !clr140 (SVGP aus) !spp2 (SFP-Matrix) !sfn1 (SFN-Matrix) !ss2:1(SS-Matrix) !pns2:1(S-Matrix)

Kapazität gegen Masse					
Anschluss	Controller Cc	Messbus Cm	Oktalmux Co	Stecker Cs	Kabel Ck
SFP, SFN	2nF	20pF	600pF	40pF	abhängig vom Kabel
SSP, SSN	200pF		40pF		
SP, SN	200pF		40pF		

Die differentielle Kapazität eines Standard Oktalmux zwischen MBSFP:MBSFN beträgt typ. 800pF. Sie ist spannungs- und zeitinstabil, die Werte wandern.

6.4.1 Option C (LCE Low Capacity Extension)

Für Kapazitätsmessungen über MUX im pF-Bereich sind Multiplexer MUX275 mit Option C erhältlich. Sie sorgt für eine um ~ Faktor 30 reduzierte und stabile Grundlastkapazität Co der stromtragfähigen SF- und AF-Optorelais. Verringert wird auch die differentielle Kapazität zwischen MBSFP:MBSFN sowie die kapazitive Koppelung zwischen Messbus und Anschlusspunkt.

6.5 Option S (SPSIO)

Zustand	SPSIN	SPSOUT	
Aktiv	+9..30V	+24V	Laststrom <=100mA
Passiv	-30..+4V	0V	22KΩ gegen Masse

MUX275 mit Option S enthält ein SPS-Port (8 SPSIO) an Stecker 275X7. Bis zu 8 Ports können beliebig und lückend im System verteilt werden.

Die Adresse x des SPS-Ports ist fest OktalmuxA zugeordnet:

SPS-1 auf MUX-1

allgemein:

SPS-x auf MUX-x

SPS-Ports haben einen Verpolschutz und sind potentialfrei ausgeführt. Der Gleichtaktbereich gegen PE beträgt ±42V. Die Versorgung erfolgt mit 24VDC (12..30V). Ein externer Primärschutz soll vorgesehen werden! Anschluss GNDSPS soll geerdet werden.

Die Ausgänge sind plusschaltend und enthalten Freilaufdioden. Der Gesamtstrom der 8 Ausgänge wird durch eine Polyfuse auf ca. 300mA begrenzt.

Die Eingänge besitzen einen Innenwiderstand von 4,7KΩ und sinken auf Potential GNDSPS.

Über die Befehle **!xpo, !xpi, !xso** und **!xsi** erfolgt der Zugriff.

Lesen und Schreiben von nicht vorhandenen Ports ist möglich, das System erzeugt keine Fehlermeldung. Nicht vorhandene Eingänge liefern beim Lesen den Zustand Passiv.

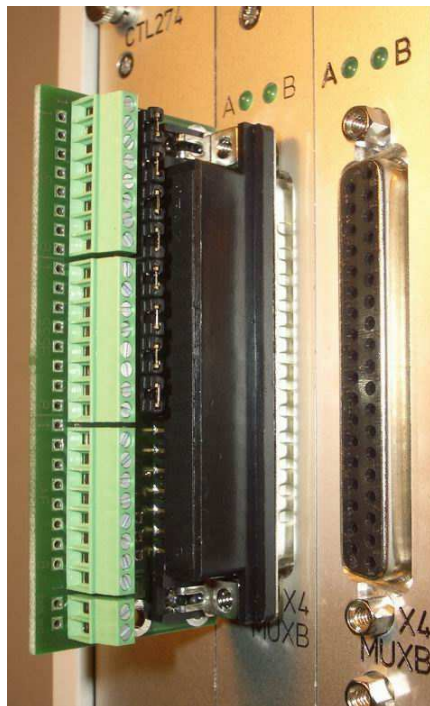
6.5.1 Steckerbelegung 275X7 SPSIO SubD25male

Signal	Flachkabel Draht#	Stecker Pin	Stecker 275X7 Legende
CASE	-	BODY	Gehäuse, Kabelschirm
CASE	1	1	Gehäuse, Kabelschirm
	2	14	nc
	3	2	nc
SPSQ1	4	15	Out1
SPSI1	5	3	In1
SPSQ2	6	16	Out2
SPSI2	7	4	In2
SPSQ3	8	17	Out3
SPSI3	9	5	In3
SPSQ4	10	18	Out4
SPSI4	11	6	In4
SPSQ5	12	19	Out5
SPSI5	13	7	In5
SPSQ6	14	20	Out6
SPSI6	15	8	In6
SPSQ7	16	21	Out7
SPSI7	17	9	In7
SPSQ8	18	22	Out8
SPSI8	19	10	In8
	20	23	nc
GNDSPS	21	11	Masse SPS
P24VSPS	22	24	Versorgung SPSOUT, nom. 24V (12..30V) polyfused 300mA
	23	12	nc
	24	25	nc
	25	13	nc

7 ADA309 DUT-Adapter

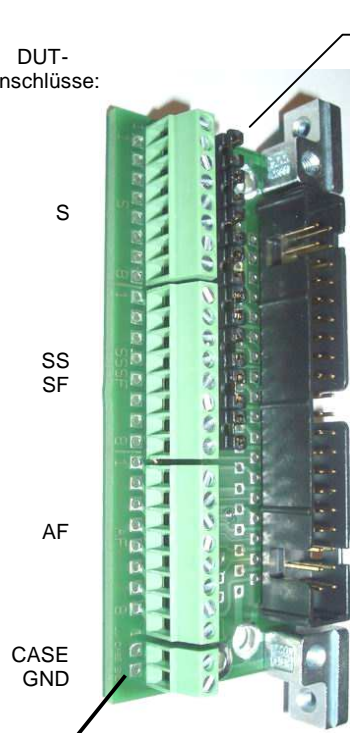
ADA309 DUT-Adapter ermöglicht schnelles und einfaches Ankleben eines Prüflings an MUX275 in 2- oder 4-Leitertechnik. Der Schraubanschluss erfolgt über Mikroklemmen MPT0,5 von Phoenix im Raster 2,54mm, der Klemmquerschnitt beträgt 0,5qmm. Alternativ ist ein Anschluss über separate Lötanschlüsse möglich. Die Leiterplatte ADA309 hat die Abmessungen 73,7 x 31,5mm. Die Montage erfolgt bevorzugt auf einer geerdeten leitfähigen Trägerplatte. Eine horizontale Montage erfolgt mit 2 Schrauben M2,5 und Abstandshaltern, der Lochabstand beträgt 68mm. Option -W, mit 2 Stück 19" kompatiblen Winkelhaltern, ist gedacht zur Hochkant-Montage mit 2 Schrauben M2,5. Der Befestigungslochabstand beträgt dann 82mm. Ausführungen:

1. ADA309-SUBD ADA309 mit Stecker SubD37m zum direkten Aufstecken auf MUX275 oder mit zwischengeschaltetem Kabel xx cm lang: **KABxx-S37M-S37F**
2. ADA309-PFO-W ADA309 mit Pfostenleiste 40pol, zur Montage am DUT dazu steckbares Kabel xx cm lang: **KABxx-S37M-P40F**
Option -W: 2x Alu-Winkelhalter für ADA309
3. ADA309-LPVxx-W (ohne Bild) Wie 2. zur Montage am DUT, aber mit Leiterplattenverbinder mit festem Kabel xx cm lang mit Stecker SubD37m an MUX275
Option -W: 2x Alu-Winkelhalter für ADA309



ADA309-SUBD

DUT-Anschlüsse:



ADA309-PFO-W



KABxx-S37M-P40F

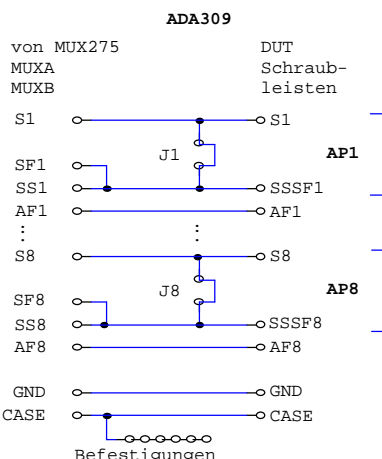
Lötanschlüsse im Raster 2,54mm für Pfostenleiste 0,6x0,6mm

Die Signale von MUX werden an 4 Schraubleisten rangiert:

1. S1 – S8 309X3
2. SSSF1 – SSSF8 309X4
3. AF1 – AF8 309X5
4. CASE und GND 309X6

Die Anschlüsse SS und SF sind auf ADA309 miteinander verbunden und stehen als Kombisignal SSSF zur Verfügung. Eine SupplySense-Funktion direkt am Prüfling ist deshalb nicht möglich. Um den Spannungsabfall in den Zuleitungen zu begrenzen, soll ADA309 nah am Prüfling montiert werden.

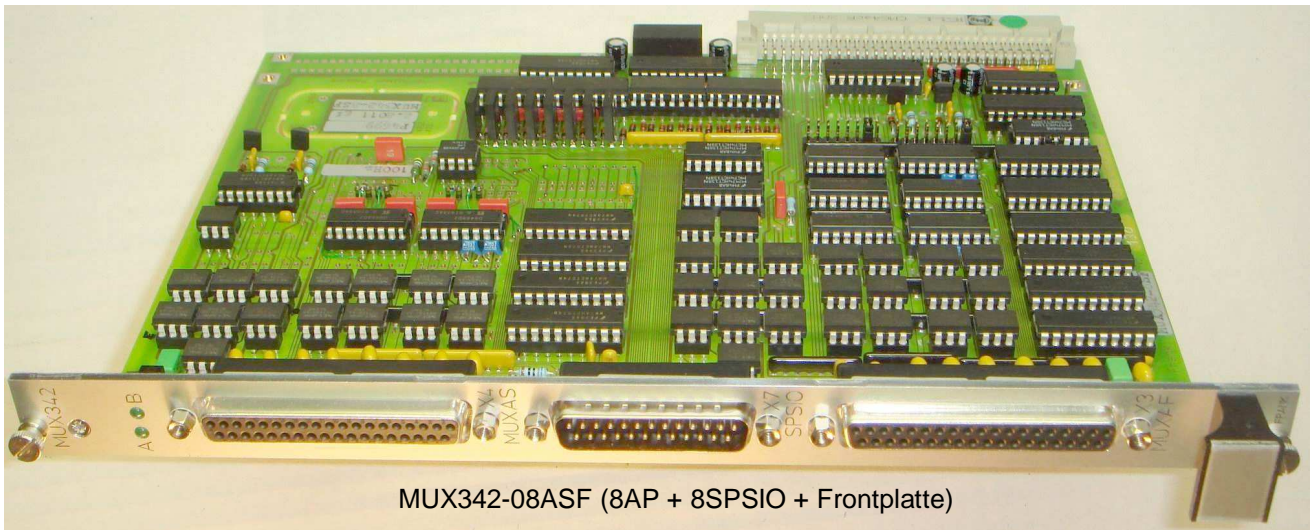
Gesetzte Jumper J1–J8 ermöglichen eine Spannungsmessung in 2-Leitertechnik ohne extra Verdrahtung der Senseleitungen S. Soll in 4-Leitertechnik gemessen werden, werden die Jumper gezogen und die Senseanschlüsse verdrahtet. AF-Anschlüsse sind 1:1 durchgeschleift. Schraubanschlüsse für CASE und GND sind vorhanden.



8 Kundenspezifische Erweiterungen

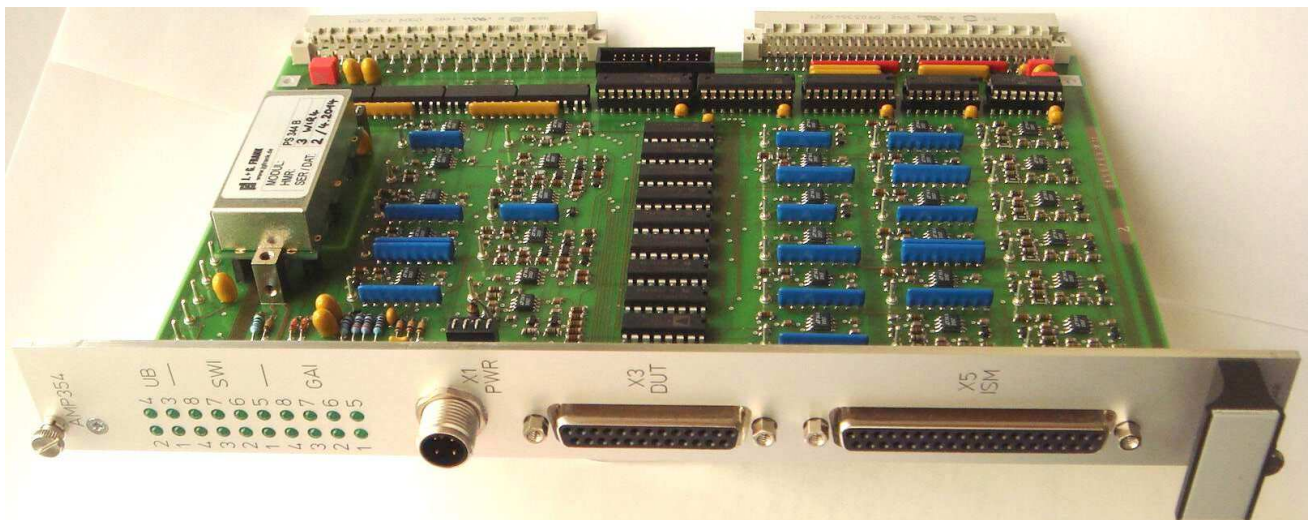
Wenn eine Messaufgabe mit den beschriebenen Strukturen nicht komplett realisiert werden kann, erarbeiten wir nach Möglichkeit einen Lösungsweg. Wir prüfen dabei auch den Einsatz von partiell oder nicht offengelegten Schaltstrukturen der SMMU.

8.1 MUX342 Multiplexer



MUX342 ist ein Sondermultiplexer zum Test von Magnetspulen mit integrierten Clampdioden. Clampspannungen bis $\pm 44V$ können gemessen werden. MUX342 besteht aus einer MUX275-08A mit Schaltungserweiterungen.

8.2 AMP354 Messverstärker



AMP354 ist ein hochgenauer Messverstärker mit chopperstabilisierten OpAmps und $10G\Omega$ -Eingängen, konzipiert für ein kundenspezifisches Automotive-Testsystem für Luftmassensensoren HFM8. Er ist komplett integriert in das System SMMU. Die Ansteuerung erfolgt über den Messbus.

9 Messstrukturen

Die SMMU verfügt über 8 leistungsfähige programmierbare analoge Messstrukturen. Für die Skalierung der Messgeschwindigkeit gilt: Abtastrate > Wandlerrate > Messrate. Eine Messung kann aus mehreren Wandlungen mit jeweils mehreren Abtastungen bestehen. Schnittstellenverkehr benötigt Übertragungszeit, die Messrate steigt, wenn der Logger verwendet wird.

- 1) **Sensormessung** (4.4ff) als low-level-Messung für DC mit 100KHz Abtastrate ist auf Schnelligkeit ausgelegt: Messrate bis 620Hz. Ein Brummfilter fehlt. Der Messbereich ist fix. Die ADC-Auflösung variiert, 8 oder 12bit. Die Sensormessung wird verwendet bei !kta, !ktb, !pla, !tst, !ain4..7, !ain9, !ain16. Prinzipieller Aufruf: **!ain4**

Die folgenden high-level-Messstrukturen bestehen aus einer vorgelagerten Load&Arm Sequenz, gefolgt von der eigentlichen Hauptmessung. Load&Arm realisiert die Nullpunkteinstellung des Messsystems mit automatischem Verstärkungsabgleich (Autokalibration). Streuung und Temperaturgang der Signalaufbereitungskette werden neutralisiert.

- 2a) **Standardmessung** 13bit für DC, Abtastrate bis 100KHz, Brummfilter !hum wird verwendet, Messrate bis 38Hz. Die Gleichtaktunterdrückung des Messsystems wird in den Bereichen bua1 & 2 erhöht. Wird verwendet bei ICT (siehe 10.5ff) und den FKT-Befehlen !mua, !mia, !muv (siehe 12). Prinzipieller Aufruf: **!cod8;0 !mua**
- 2b) **Hochauflösende Standardmessung** 16bit, Messrate bis 4Hz, (siehe 14.2). Prinzipieller Aufruf: **!cod8;1 !mua**
- 2c) **Hochauflösende Standardmessung** 22bit, Messrate bis 4Hz, (siehe 14.2.1). Prinzipieller Aufruf: **!cod8;1 !mua !lrd**
- 2d) **Schnelle hochaufl. Standardmessung** 22bit (ohne Load&Arm), Messrate bis 13Hz, (siehe 14.2.2). Prinzipieller Aufruf: **!cod8;1 !mua !pns !hra !lrd**
- 3a) **Triggermessung** 13bit für ACDC, Abtastrate 10KHz, Messrate bis 42Hz, Loggerrate bis 1,6KHz. FKT-Befehle !nul, !mub, !mib, (siehe 13). Prinzipieller Aufruf: **!cod9;0 !mub !lrd**
- 3b) **Schnelle Triggermessung** (ohne Load&Arm), Messrate bis 450Hz, Logger bis 1,6KHz, (siehe 13.7). Prinzipieller Aufruf: **!cod9;1 !mub !ain99 !lrd**

Überblick:

!cod8;h	ADC-Auflösung	
0	Standardmessung	13bit
1	Hochaufl. Standardmessung	16bit
	Hochaufl. Standardmessung	22bit
	Schnelle hochaufl. Standardmessung	22bit

!cod9;s	ADC-Auflösung	
0	Triggermessung	13bit
1	Schnelle Triggermessung	13bit

- 4) **Hochauflösende manuelle Messung**, siehe 14.1.

9.1 Brummfilter !hum

Das Brummfilter !hum wird verwendet bei Standardmessungen (13bit). Es realisiert eine programmierbare Netzfrequenzunterdrückung. Die Messung erfolgt mit der definierten Integrationszeit ti.

- 1. **!hum200** ti~5ms Einstellung nach Reset, kurze Messzeit
- 2. **!hum60** ti=16,7ms für Netzfrequenz 60Hz
- 3. **!hum50** ti=20ms für Netzfrequenz 50Hz

Die Integrationszeit ist optimal eingestellt bei DC-Betrieb des Messrechners. Sie erhöht sich geringfügig bei zusätzlicher Interruptbelastung des Rechnerkerns durch Generatorbefehle !ssf und !wav oder bei Ansteuerung des AB4-Incrementalzählers. Eine Verlängerung der Integrationszeit reduziert die Brummfilterwirkung. Eine Kontrolle der Integrationszeit erfolgt über Testpin TRIG.

10 ICT In-Circuit-Test

Ein ICT ist ein automatischer Test zur Messung von Durchgangsspannung oder Widerstand als Mittelwert DCavg. Zeitstempel1 und AB4-Zählerstempel zu Beginn der Messung werden gespeichert, die Stempel können gelesen werden mit !tsp2 und !cnt2.

Ein ICT-Messbefehl mit Index 0:0 oder ohne Index (default=0:0) adressiert MINIPORT, alle AP am MUX275 haben Index >=1. MINIPORT- und MUX-AP können nicht gemischt werden.

DUT-Stimuli sind möglich über AF-Schalter, die Option FVG und die Test-Matrix, deren Zustand durch einen ICT nicht verändert wird (Ausnahme Plaustest, hier wird alles ausgeschaltet).

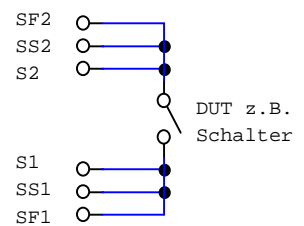
Die korrekte Gleichtaktanbindung GTA erfolgt bei ICT automatisch über die DUT-Speisung. Werden aktive Netzteile, geladene Batterien oder Kondensatoren geprüft, sollte eine externe Strombegrenzung vorhanden sein, um das Testsystem zu schützen. Die Tiefpassfilter im SVGP und Messverstärker werden eingeschaltet. Prüflinge sollen potentialfrei sein. Bei geerdeten Teststrukturen siehe 17.4.2.

➤ ICTs verwenden Spannungen bis 26,7V (ULIMIT) und Ströme bis 400mA (ICONST), der Prüfling muss dafür ausgelegt sein. ULIMIT und ICONST sind in den ICT-Beschreibungen angegeben.

10.1 Anschluss des Prüflings

Ein ICT wird bevorzugt mit komplett verschalteten Anschlusspunkten betrieben, siehe Bild. Der Anwender hat damit maximale Flexibilität. Die ICT-Messung mit Kelvin-Kontaktüberprüfung verwendet alle 6 Anschlüsse.

Geteilte AP sind möglich bei Tests mit Befehl !ktb, gemessen wird dabei nur über die 2 Anschlüsse SFP:SFN. Geteilte AP sind auch möglich bei aktivem FVG, die Messung erfolgt dabei über die 4 Anschlüsse SFP+SP:SFN+SN.



10.2 Ablauf

Zu Beginn wird die Prüflingsversorgung ausgeschaltet. Kelvin-Kontakttests am Prüfling erfolgen abhängig vom Schaltzustand des FVG (!sfv, !rfv), unabhängig davon, ob die Option FVG eingebaut ist oder nicht. Bei einem Kelvin-Kontaktfehler wird mit Fehlermeldung abgebrochen.

Die ICT-Hauptmessung legt Konstantstrom an den Prüfling, zwischen den positiven APp (kalt) und den negativen APn (heiß, siehe 17.4.1). Bei der Messung wird Zeitstempel1 und AB4-Zählerstempel gespeichert. Am ICT-Ende ist USVGP~0V 100mA, SVGN=HIZ, die AP werden fallbezogen ausgeschaltet.

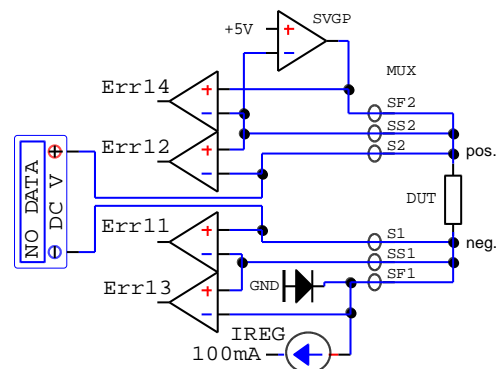
10.2.1 ICT-Ablauf mit ausgeschaltetem FVG

Die Prinzipschaltung zeigt eine ICT-Widerstandsmessung mit ausgeschaltetem FVG (!rfv). Der SVGP erzeugt die extern geregelte Maximalspannung ULIMIT, die Stromsenke IREG liefert den Prüfstrom. An den Senseanschlüssen S wird UDUT differentiell gemessen. Die Clampediode an IREG stellt sicher, dass UDUT in diesem Beispiel 5,7V nicht überschreiten kann.

Der ICT-Ablauf:

Stufe 1..4 prüft die Kelvin-Kontaktierung am DUT. Es wird

1. mit !tst13 geprüft, ob SFn mit SSn verbunden ist
2. mit !tst14 geprüft, ob SFp mit SSp verbunden ist
3. mit !tst11 geprüft, ob SSn mit Sn verbunden ist
4. mit !tst12 geprüft, ob SSp mit Sp verbunden ist
5. die ICT-Hauptmessung wird ausgeführt
6. alle AP werden komplett ausgeschaltet



10.2.2 ICT-Ablauf mit eingeschaltetem FVG

Der FVG wurde im Vorfeld mit !sfv aktiviert. Der ICT-Ablauf:

1. Kelvin-Kontakttests entfallen, da die SS-Matrix vom FVG verwendet wird, die ICT-Laufzeit wird geringer.
2. Die ICT-Hauptmessung wird sofort ausgeführt, der SVGP arbeitet dabei mit interner Regelung.
3. Am ICT-Ende werden die AP partiell ausgeschaltet, die SS-Matrix wird nicht verändert. Damit bleibt die FVG-Ausgabe bestehen bis zur manuellen Abschaltung mit !rfv.

Korrekte Nadelkontaktierung muss manuell geprüft werden, siehe 20.7.

10.3 Kelvin-Kontakt- und Durchgangstest

Mit !KTA{APp:APn} soll zu Beginn einer FKT-Sequenz die Nadelkontaktierung an komplett verschalteten AP überprüft werden. Jeder Pfad ist einzeln zu prüfen. Nur bei gutem Nadelkontakt sind FKT-Messungen aussagefähig. Alternativ kann bei schlechtem Prüfergebnis der Test am FKT-Ende erfolgen. Die Prüfstrecke wird mit 2µA ICONST belastet, die Maximalspannung ULIMIT ist 2,7V. Parallelkapazitäten im Prüfling stören nicht, Diodenstrecken in Durchlassrichtung werden als Durchgang erkannt. Die Laufzeit beträgt ~50/20ms (FVG aus/ein). Im Ablauf wird die Sensormessung verwendet:

- Bei 2-Leitertechnik kann korrekte Kontaktierung nur über einen elektrischen Durchgang im Prüfling erkannt werden. Daraus wird die Information „Korrekte Nadelkontaktierung“ abgeleitet. Err11..14 kommen normalerweise nicht vor, da die Zuleitungen an den Kontaktnadeln statisch verbunden sind. Ist RDUT <~1MΩ, wird Err0 gemeldet, es ist Durchgang zwischen den AP, der Nadelkontakt ist gut. Ist RDUT >~1MΩ, wird Err10 gemeldet, kein Durchgang zwischen den AP. Korrekter Nadelkontakt ist mit !kta nicht überprüfbar. Eventuell hilft eine separate FKT-Hochohmmessung.
- Bei 4- und 6-Leitertechnik beträgt die Kelvin-Kontaktprüftiefe 100%, die Durchgangsprüfung ist nicht relevant. Err0 oder 10 ist guter Nadelkontakt, Err11...14 sind Nadelkontaktfehler.

10.4 Schneller Durchgangstest

!KTB{SFp:SFn} ist ein schneller Durchgangstest zwischen 2 Anschlusspunkten ohne Kelvin-Kontakttests. Der ICT benötigt keine komplett verschalteten AP, geteilte AP sind möglich. Geprüft wird über die Anschlüsse SFp:SFn mit interner Regelung des SVGP. Die Prüfstrecke wird mit 2µA ICONST belastet, die Maximalspannung ULIMIT ist 2,7V. Parallelkapazitäten im Prüfling stören nicht, Diodenstrecken in Durchlassrichtung werden als Durchgang erkannt. Im Vollduplexbetrieb (20.1.2) kann die Testzeit reduziert werden. Die Laufzeit beträgt 18ms. Im Ablauf wird die Sensormessung verwendet:

- Ist RDUT <~1MΩ, wird Err0 gemeldet, es ist Durchgang zwischen SFp und SFn.
- Ist RDUT >~1MΩ, wird Err10 gemeldet, kein Durchgang zwischen SFp und SFn.

10.5 Standardmessung Diodensperrwiderstand

Das Brummfilter wird mit !HUM{y} programmiert, der Messbereich mit !BDS{x} angewählt und die Messung mit !MDS{p:n} ausgelöst. Der Prüfling wird mit ICONST gespeist und mit der Maximalspannung ULIMIT belastet. Parallelgeschaltete kapazitive Lasten bis zum Tabellenwert CDUT stören nicht.

Angeg. Laufzeiten gelten bei FVG aus und !hum200. Hochauflösende Messungen nach 14.2 sind möglich.

Bereichs-name	RDUT Messbereich	ICONST Messstrom	U LIMIT	Auflösung	Messunsicherheit ±	übertragene Einheit	Messgrenze %	CDUT max. F	Laufzeit ms
BDS1 (*)	200KΩ	100µA	24,7V	60Ω	2KΩ	10Ω	+110	50n	110
BDS2	2MΩ	10µA	24,7V	600Ω	15KΩ	100Ω	+110	10n	230

(*) nach Reset Übersteuerung der Messgrenze wird mit Err15 (Overflow) signalisiert.

10.6 Standardmessung Diodendurchgangsspannung

Das Brummfilter wird mit !HUM{y} programmiert, der Messbereich mit !BDD{x} angewählt und die Messung mit !MDD{p:n} ausgelöst. Der Prüfling wird mit ICONST gespeist und mit der Maximalspannung ULIMIT belastet. Dioden / Zenerdioden / Varistoren können in beiden Richtungen gemessen werden.

Parallelgeschaltete kapazitive Lasten bis zum Tabellenwert CDUT stören nicht.

Angeg. Laufzeiten gelten bei FVG aus und !hum200. Hochauflösende Messungen nach 14.2 sind möglich.

Bereichs-name	UDUT Messbereich	ICONST Messstrom	U LIMIT	Auflösung	Messunsicherheit ±	übertragene Einheit	Messgrenze %	CDUT max. F	Laufzeit ms
BDD1	26V	100µA	26,7V	10mV	50mV	10mV	+100	100n	150
BDD2		500µA						200n	85
BDD3		1mA						500n	68
BDD4		5mA						2µ	
BDD5 (*)		10mA						4µ	
BDD6		20mA						8µ	
BDD7		50mA						20µ	
BDD8		100mA						40µ	
BDD9		200mA						80µ	
BDD10		400mA						160µ	

(*) nach Reset Ist die Messspannung >26,1V, wird Err15 (Overflow) signalisiert.

10.7 Standardmessung Widerstand mit Thermospannungskompensation

Das Brummfilter wird mit !HUM{y} programmiert, der Messbereich mit !BRG{x} angewählt und die Messung mit !MRG{p;n} ausgelöst. Der Prüfling wird mit ICONST gespeist und mit der Maximalspannung ULIMIT belastet. Messungen mit Thermospannungskompensation sind sinnvoll bei z.B. Schaltern, die direkt aus dem Lötbad kommen und deren Durchgangswiderstand noch warm vermessen werden muss.

Parallelgeschaltete kapazitive Lasten bis zum Tabellenwert CDUT stören nicht. Der Serienwiderstand Rs von Induktivlasten ist messbar, hohe kapazitive Anteile können die Messung stören.

Die angegebenen Laufzeiten gelten bei ausgeschaltetem FVG und Brummfilter !hum200.

Hochauflösende Messungen nach 14.2 sind möglich.

Bereichs-name	RDUT Messbereich	ICONST Messstrom	U LIMIT	Auflösung	Messunsicherheit ±	übertragene Einheit	Messgrenze %	CDUT max. F	Laufzeit ms
BRG1	1Ω	400mA	5V	0,4mΩ	4mΩ	100uΩ	+130	50μ	77
BRG2	1Ω	200mA		0,3mΩ	3mΩ	100uΩ	+110		
BRG3	1Ω	100mA		0,3mΩ	3mΩ	1mΩ	+110		
BRG4	1Ω	50mA		0,3mΩ	3mΩ	1mΩ	+110		
BRG5 (*)	2Ω	20mA		0,8mΩ	8mΩ	1mΩ	+130	25μ	
BRG6	5Ω	10mA		1,5mΩ	15mΩ	1mΩ	+110	10μ	
BRG7	10Ω	10mA		3mΩ	30mΩ	1mΩ	+110	5μ	
BRG8	100Ω	10mA		30mΩ	300mΩ	10mΩ	+110	2μ	
BRG9	1KΩ	10mA	12V	300mΩ	3Ω	100mΩ	+110	1μ	97
BRG10	10KΩ	1mA		3Ω	30Ω	1Ω	+110	100n	101
BRG11	100KΩ	100μA		30Ω	1KΩ	10Ω	+110	10n	115
BRG12	1000KΩ	10μA		300Ω	15KΩ	100Ω	+110	10n	290

(*) nach Reset Übersteuerung der Messgrenze wird mit Err15 (Overflow) signalisiert.

10.7.1 ICT-Triggermessung nach Schließen des Prüflings

Das System triggert das Unterschreiten der Triggerschwelle s (Schließen des Schalters).

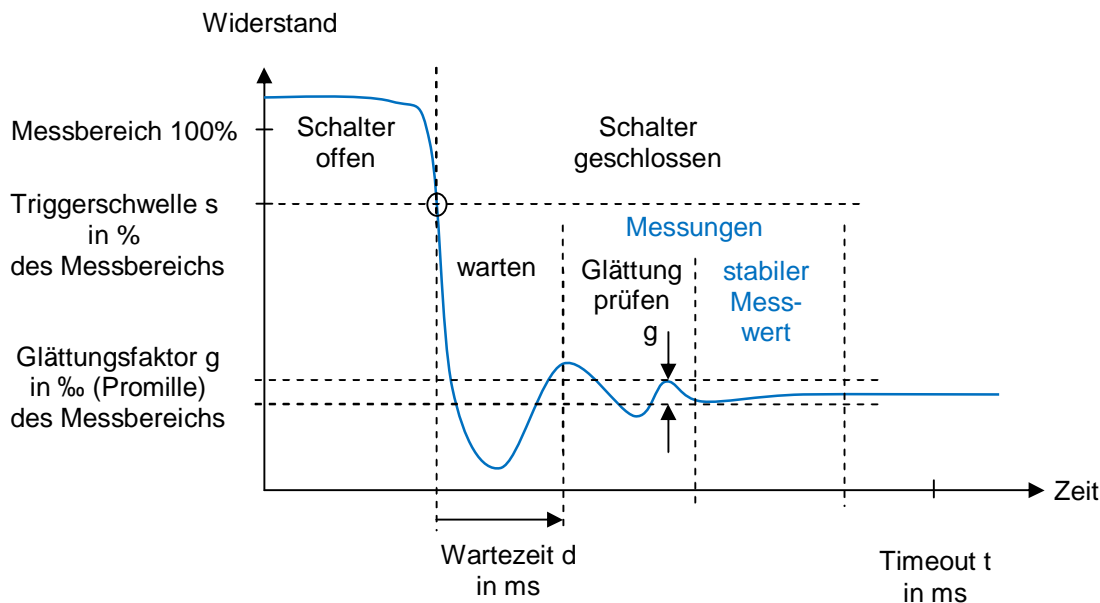
Nach Ablauf der Wartezeit d prüft das System auf Messwertschwankungen kleiner Glättungsfaktor g.

Der erste stabile Messwert wird ausgegeben als Durchgangswiderstand mit Thermospannungskompensation.

Die Messparameter werden gesetzt mit !HUM{y}, !BRG{x} und !IVG{t};{s};{d};{g},

die Messung startet mit !IRG{p};{n}, siehe 16.8.3 und 21.4.4.

Hochauflösende Messungen nach 14.2 sind möglich.



10.8 Standardmessung Widerstand ohne Thermospannungskompensation

Das Brummfilter wird mit !HUM{y} programmiert, der Messbereich mit !BRO{x} angewählt und die Messung mit !MRO{p:n} ausgelöst. Der Prüfling wird mit ICONST gespeist und mit der Maximalspannung ULIMIT belastet. Parallelgeschaltete kapazitive Lasten bis zum Tabellenwert CDUT stören nicht. Der Serienwiderstand Rs von Induktivlasten ist messbar, hohe kapazitive Anteile können die Messung stören. Die angegebenen Laufzeiten gelten bei ausgeschaltetem FVG und Brummfilter !hum200. Hochauflösende Messungen nach 14.2 sind möglich.

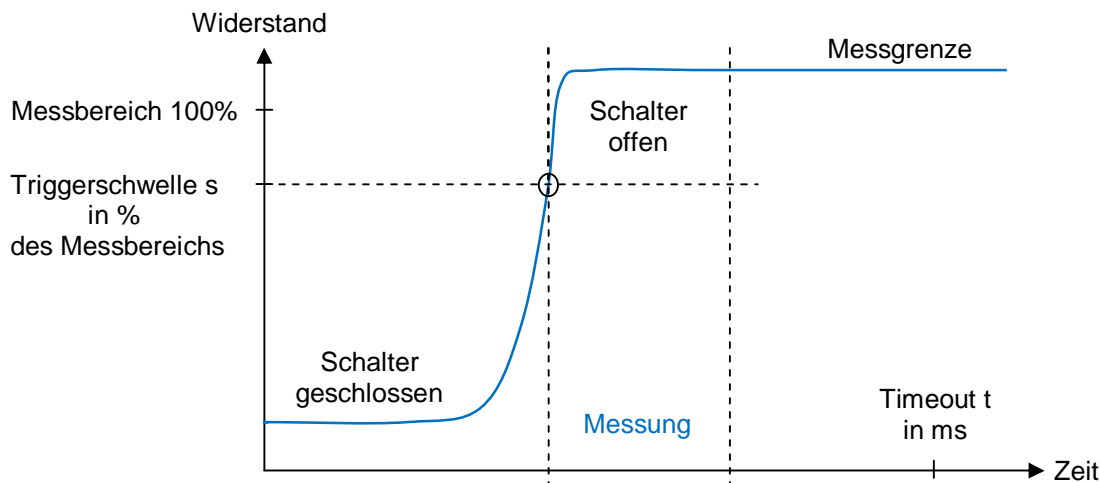
Bereichs-name	RDUT Messbereich	ICONST Messstrom	U LIMIT	Auflösung	Messunsicherheit ±	übertragene Einheit	Messgrenze %	CDUT max. F	Laufzeit ms
BRO1	1Ω	400mA	5V	0,4mΩ	4mΩ	100uΩ	+130	50μ	70
BRO2	1Ω	200mA		0,3mΩ	3mΩ	100uΩ	+110		
BRO3	1Ω	100mA		0,3mΩ	3mΩ	1mΩ	+110		
BRO4	1Ω	50mA		0,3mΩ	3mΩ	1mΩ	+110		
BRO5	2Ω	20mA		0,8mΩ	8mΩ	1mΩ	+130	25μ	
BRO6	5Ω	10mA		1,5mΩ	15mΩ	1mΩ	+110	10μ	
BRO7	10Ω	10mA		3mΩ	30mΩ	1mΩ	+110	5μ	
BRO8 (*)	100Ω	10mA		30mΩ	300mΩ	10mΩ	+110	2μ	
BRO9	1KΩ	10mA	12V	300mΩ	3Ω	100mΩ	+110	1μ	80
BRO10	10KΩ	1mA		3Ω	30Ω	1Ω	+110	100n	82
BRO11	100KΩ	100μA		30Ω	500Ω	10Ω	+110	10n	90
BRO12	1000KΩ	10μA		300Ω	10KΩ	100Ω	+110	10n	178

(*) nach Reset

Hinweis: Bei !mro wird kein Overflow (Err15) generiert. Liegt ein Messwert über der Messgrenze, wird der maximale Wert des Messbereichs angezeigt. Err15 kann künstlich erzeugt werden, wenn der Messwert den Messbereich übersteigt.

10.8.1 ICT-Triggermessung nach Öffnen des Prüflings

Das System triggert das Überschreiten der Triggerschwelle s (Öffnen des Schalters). Danach wird der Widerstand gemessen ohne Thermospannungskompensation. Die Messparameter werden gesetzt mit !HUM{y}, !BRO{x} und !IVO{t};{s}, die Messung startet mit !IRO{p:n}, siehe 16.8.3 und 21.4.5. Hochauflösende Messungen nach 14.2 sind möglich.



10.9 Plausibilitätstest

Der Plausibilitätstest **!PLA** (Abkürzung Plaustest) ist ein komplexer ICT zur Sicherstellung der Systemfunktion vor einem Testablauf. Die Prüfaufnahme mit Nadeladapter ist angeschlossen, der Prüfling ist nicht kontaktiert. Der Test überprüft weitgehend die flexible und empfindliche Verdrahtung zum Nadeladapter und erkennt, ob sich am Nadelbett oder in Kelvin-Kontaktzangen Metallabrieb festgesetzt hat. Verbindungen zwischen den Anschlusspunkten eines Oktalmux werden als Fehler erkannt, Verbindungen zwischen unterschiedlichen Oktalmux werden nicht geprüft. Wichtige Teile der Systemhardware werden mitgeprüft. Getestet werden alle MUX-Ports bis RealAP und die daran angeschlossenen Nadeladapter. RealAP wird bei Reset und !aaa automatisch ermittelt oder manuell mit !sap definiert. Bei geerdeten Teststrukturen siehe 17.4.1.

Im Plaustest abgeschaltet wird die DUT-Versorgung, der FVG, alle AF-Schalter, der Wellengenerator, sowie die SF-, SS-, S- und Test-Matrix. Die Messbandbreite wird auf 3KHz eingestellt.

Der Ablauf ist abhängig von der Einstellung !slt (2- oder 4-Leitertechnik). Einstellung !slt2 ermöglicht gemischte Anschlusstechnik des Prüflings in 2- und 4-Leitertechnik. Einstellung !slt4 prüft komplett auf 4-Leitertechnik. Die 6-Leitertechnik wird nicht unterstützt.

Damit der Plaustest ordnungsgemäß funktionieren kann, benötigen die zu testenden AP am MUX eine Verbindung zwischen den Anschlüssen SF-SS, am MINIPORT zwischen SFP0-SSP0 und SFN0-SSN0.

Im Ablauf werden Sensormessungen verwendet:

- | | |
|--|-------------------------------|
| 1. Das System prüft alle Systemspannungen auf der Controllerplatine (!jjj2) | 8 Tests |
| !muv6 (30V) !muv5 (15V) !muv4 (12V) !muv3 (5V) | |
| !muv2 (3,3V) !muv1 (0V) !muv7 (-9V) !muv8 (-12V) | |
| 2. Temperatur der CPU !ain9 (0...70°C ist ok) | 1 Test |
| 3. Transferreferenzspannung !ain16 P1V6 ~1600mV intern | 1 Test |
| 4. ZeroDAC Positionen 10/50/90% | ~320 / ~1600 / ~2880mV intern |
| 5. MINIPORT auf Verbindung der Anschlusspaare SFP0 / SSP0 sowie SFN0 / SSN0 | 2 Tests |

Geprüft wird jetzt von AP1...RealAP mit den Einzelbefehlen für Oktalmultiplexer !jjj110 ... !jjj180:

- | | |
|---|----------|
| 6. Alle SupplySense ok: Stecker DUT, Verbindung der Anschlüsse SF+SS | 8 Tests |
| 7. 4-Leitertechnik checken: Stecker DUT, R>10KΩ von Anschluss S nach SS | 8 Tests |
| a. Diese Prüfung erfolgt nur bei Anwahl der 4-Leitertechnik !slt4, da die Kontakte S und SS keine Verbindung haben dürfen. | |
| b. Diese Prüfung entfällt bei Anwahl der 2-Leitertechnik !slt2, da die Anschlüsse S+SS direkt an der Kontaktnadel verbunden sind. | |
| 8. Alle AP offen: Stecker DUT jedes Paar SF+SS auf R>10KΩ gegen andere Paare | 28 Tests |
| 9. partielle Multiplexerüberprüfung mit Hilfe der integrierten Testzeile | |
| Messung von Rtst, jeweils 50KΩ von AP1:AP5, 2:6, 3:7 und 4:8 | 4 Tests |
| (Gutbereich 49700...51500Ω) | |
| 10. Bei einem Fehler wird der Test abgebrochen und der Fehlercode ausgegeben. | |

Ausdruckbeispiele:

```
!cod5;0           (Terminalmodus aus)
<F=+00000
!pla           (Plaustest)
<F=+00000       (Plaustest fehlerfrei)
```

Im Terminalmodus werden zusätzlich die Messergebnisse ausgedruckt. Fehlerhafte Messungen werden mit einem Stern * am Zeilenanfang markiert.

```
!cod5;1           (Terminalmodus ein)
<F=+00000
!pla           (Plaustest)
29869 mV
14927 mV
12171 mV
5046 mV
3274 mV
0 mV
* -51 mV
<F=+00025       (Plaustest mit Err25)
```

```
!cod5;1           (Terminalmodus ein)
<F=+00000
!pla           (Plaustest)
29894 mV
14941 mV
12074 mV
5049 mV
3271 mV
0 mV
-9010 mV
-12051 mV
31 GradC
1627 mV
361 mV
1636 mV
2949 mV
13 mV
-10 mV
Rtst 50010   Rtst 50000   Rtst 50000   Rtst 50000
Rtst 50030   Rtst 50030   Rtst 50030   Rtst 50030
Rtst 50000   Rtst 50010   Rtst 50000   Rtst 50000
Rtst 50020   Rtst 50020   Rtst 50020   Rtst 50010
<F=+00000       (Plaustest fehlerfrei)
```

11 FKT Funktionstest

Beim FKT wird der Prüfling realitätsbezogen getestet, mit interner oder externer Speisung. Gemessen werden können Spannungen, Ströme, Widerstände, Temperaturen, Wege, Frequenzen, Phasen, Zeiten...
 Schalter und Funktionsblöcke der SMMU werden applikationsbezogen bedient. Die Grenzwerte der SMMU können ohne Funktionsgarantie bis zu den Overdrive-Werten überfahren werden, die Hardware begrenzt in diesem Bereich. Eine Voraussetzung für korrekte Messungen sind Nadelkontaktprüfungen an den verwendeten AP mit Kelvin-Kontakttests nach 3.8. Bei geerdeten Teststrukturen siehe 17.4.2.

12 Standardmessung im Funktionstest

Die Standardmessungen !mua, !mia und !muv messen den DC-Mittelwert (DCavg). Die Abtastrate beträgt 100KHz mit Einstellung !cod8;0. Das programmierbare Brummfiter !hum unterdrückt Störungen der Netzfrequenz. Zeitstempel1 und AB4-Zählerstempel zu Beginn der Messung werden gespeichert, die Stempel können gelesen werden mit !tsp2 und !cnt2. Das Tiefpassfilter im Messverstärker wird nach Bedarf geschaltet (!set!/clr145). Mit !cod8;1 werden hochauflösende Messungen nach 14.2 aktiviert.

12.1 Differentieller Messeingang

Die zwei hochohmigen Messverstärkereingänge haben einen Gleichtaktbereich von -8V...+26V gegen Systemmasse. Vor einer Spannungsmessung an externen Komponenten wie Batterien, Netzteilen, Shunts etc., ist eine separate niederohmige Gleichtaktanbindung GTA zur SMMU herzustellen, über die Y-Ausgleichströme fließen können, siehe 17.5. Wenn der Prüfling galvanisch von der SMMU versorgt wird, ist die korrekte GTA automatisch hergestellt. In SMU350 wird bei Gleichtaktübersteuerung Err16 ausgelöst, die rote LED CMV blitzt.

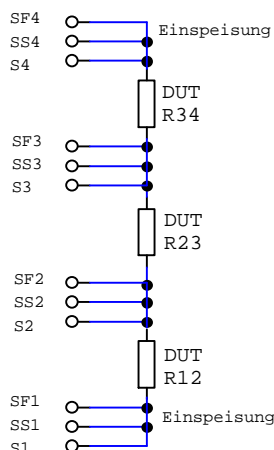
12.2 Spannungsmessung

Differentielle Messungen an externen AP erfolgen einfach über die S-Matrix. Das Brummfiter wird mit !HUM{y} programmiert, der Messbereich mit !BUA{x} angewählt und die Messung mit !MUA{p:n} ausgelöst. Messbefehle mit Index 0:0 oder ohne Index (default=0:0) adressieren MINIPORT. AP am MUX275 haben Index >=1. Massebezogene Messungen oder Messungen zwischen den Matrixarten verwenden interne AP, siehe 21.2.1 ff. Hochauflösende Messungen nach 14.2 sind möglich.

Bereichsname	Messbereich ±	Auflösung	Messunsicherheit ±	übertragene Einheit	neg. Offset % (2)	Messgrenze %	DC-Gleichtaktunterdrückung CMR in dB min.	Laufzeit @ !HUM200
BUA1	120mV	60µV	0,6mV	10µV	-15	100	100 (3) 80 (4)	26ms
BUA2	1,2V	600µV	3mV	100µV	-5			
BUA3	3V	1,5mV	5mV	1mV	-20			
BUA4 (1)	6V	3mV	10mV	1mV	-60			
BUA5	12V	6mV	20mV	1mV	-15			
BUA6	24V	12mV	40mV	1mV	-55			
BUA7	34V	20mV	70mV	10mV	-75	105		

Übersteuerung der Messgrenze ist Err15 (Overflow). Übersteuerung des Messverstärkers ist Err16 (CMV).

- (1) nach Reset
- (2) Grenzwert für negativen Messoffset bei !mub (Triggermessung, siehe 13)
- (3) Erhöhte Gleichtaktunterdrückung bei !mua
- (4) Gleichtaktunterdrückung bei !mub



FKT-Ablaufbeispiel mit 4 komplett verschalteten AP:

- !sup30000;50 (30V mit 50mA Strombegrenzung erzeugen)
- !ssv4:1 (Spannung ext. geregelt ausgeben an AP4:1 (pos:neg), gleichzeitig wird die GTA zum DUT hergestellt)
- !hum50 (Brummfiter 50Hz)
- !bua7 (Messbereich ±34V)
- !mua4:1 (Gesamtspannung messen polaritätsrichtig, 30V)
- !mua1:4 (Gesamtspannung messen invertiert, -30V)
- !mua4:-1 (Spannung messen AP4:GND, 22V)
- !mua-1:1 (Spannung messen GND:AP1, 8V)
- !mua4:3 (Spannung messen an R34)
- !mua3:2 (Spannung messen an R23)
- !mua2:1 (Spannung messen an R12)
- !rsv (Versorgung und GTA aus)

12.3 Systemspannungen messen

Folgende Spannungen werden massebezogen gemessen:

1. Alle Betriebsspannungen im Controllermodul
2. Spannung USSP und USSN, siehe Blockschaltbild 3.5.
Schalter SSINTERN entscheidet über den Ort der Regelung und Messung:
 - SSINTERN=1 (!rsv) USSP = Spannung am Ausgang des SVGP
 USSN = Spannung am Messbusanschluss MBSFN
 - SSINTERN=0 (!ssv) Spannung am Prüfling, gemessen über MUX-Anschluss SS

Das Brummfilter wird mit !HUM{y} programmiert, Messungen mit !MUV{x} ausgelöst. Der Messbereich ist fest zugeordnet. Die Laufzeit beträgt ~26ms bei Einstellung Brummfilter !hum200.

Hochauflösende Messungen nach 14.2 sind möglich.

Mess-befehl !	Messobjekt	Mess-bereich	Auflösung	Mess-unsicherheit ±	übertragene Einheit	Mess-Grenze %	Bemerkung
MUV1	GNDA	±3V		5mV	1mV		Analogmasse
MUV2	P3V3	+5,5..-0,5V	1,5mV	1%	1mV		System 3,3V
MUV3	P5V	±6V	1,5mV	1%	1mV		System 5V
MUV4	P12V	+20...-4V	6mV	1%	1mV		System 12V
MUV5	P15V	+20...-4V	6mV	1%	1mV		System 15V
MUV6	P30V	+40...-8V	12mV	3%	1mV		System 30V
MUV7	M8V M9V	±12V	6mV	1%	1mV		-8V bei CTL274 -9V bei SMU350
MUV8	M12V	±24V	12mV	3%	1mV		System -12V

MUV11	USSP	±100mV	60µV	2%	10µV	100	
MUV12		±1,2V	600µV	1%	100µV		
MUV13		±3V	1,5mV	1%	1mV		
MUV14		±6V	3mV	1%	1mV		
MUV15		±12V	6mV	1%	1mV		
MUV16		±24V	12mV	1%	1mV		
MUV17		±34V	20mV	1%	10mV		

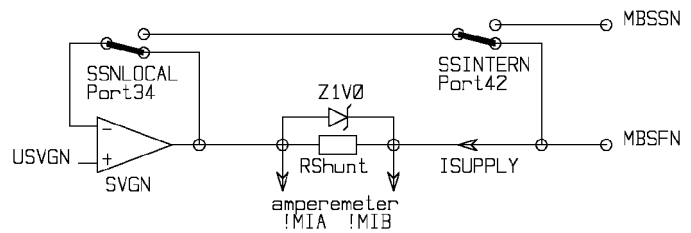
MUV21	USSN	±120mV	60µV	0,6mV	10µV	100	
MUV22		±1,2V	600µV	6mV	100µV		
MUV23		±3V	1,5mV	15mV	1mV		
MUV24		±6V	3mV	30mV	1mV		
MUV25		±12V	6mV	60mV	1mV		
MUV26		±24V	12mV	120mV	1mV		
MUV27		±34V	20mV	200mV	10mV		

Übersteuerung der Messgrenze wird mit Err15 (Overflow) signalisiert.

Übersteuerung des Messverstärkers wird mit Err16 (CMV) signalisiert.

12.4 Strommessung

Das Strommessgerät für ISUPPLY befindet sich in der Ausgangsleitung des SVGN (Anschluss MBSFN, vergleiche Blockschaltbild 3.5). Zur Strommessung wird das Brummfilter mit !HUM{y} programmiert, der Messbereich mit !BIA{x} angewählt und die Messung mit !MIA ausgelöst.



Bereichs-name	Bereich	Auflösung	Mess-unsicherheit ±	Über-tragene Einheit	Mess-Grenze %	Messshunt RShunt Ω	Laufzeit ms @ !HUM200
BIA12	±200nA	0,12nA	(2) 1,2nA	100pA	120	500K	77
BIA1	±2µA	1,2nA	12nA	1nA	120	50K	36
BIA2	±20µA	12nA	120nA	10nA	120	5K	29
BIA3	±200µA	120nA	1,2µA	100nA	120	500	27
BIA4	±2mA	1,2µA	12µA	1µA	120	50	
BIA5	±20mA	12µA	120µA	10µA	120	5	
BIA6 (1)	±200mA	120µA	1,2mA	100µA	120	0,5	
BIA7	±400mA	240µA	2,4mA	100µA	120		

Übersteuerung des Messbereichs wird mit Err15 (Overflow) signalisiert.

- (1) nach Reset
- (2) In den empfindlichen Strombereichen wird die Messunsicherheit nicht allein vom Messsystem definiert, sondern ist von weiteren Faktoren abhängig, siehe 21.3.6. Sensible Messungen in bia12 erfordern Hardwarestand HMR>=25.

Alle Messbereiche sind überlastsicher bis 0,45A durch die Begrenzerdiode. Bei unpassenden Strommessbereichen im Strommodus kann Err58 ausgelöst werden, siehe 15.3.4.2. Hochauflösende Messungen nach 14.2 sind möglich.

Wirkung der Schalter SSNLOCAL und SSINTERN:

SSNLOCAL	SSINTERN	Legende
1	X	Lokale Regelung am SVGN-Ausgang (!set34 SSNLOCAL), wie im Bild oben. Der Spannungsabfall an RShunt wird vom SVGN nicht ausgeregelt. RShunt wirkt als Serienwiderstand im Stromkreis. Im Spannungsmodus wäre das Rauschstromfilter (3.6.6) aktiv.
0	0	Externe Regelung am Prüfling, Knotenpunkt der Anschlüsse SS und SF (3.7.1). Der Spannungsabfall an RShunt wird vom SVGN ausgeregelt.
0	1	Interne Regelung an der Messbuswurzel MBSFN (3.7.2). Der Spannungsabfall an RShunt wird vom SVGN ausgeregelt.

Hinweis zur I-Triggermessung

Bereichs-name	Linearer Shunt-Aussteuerbereich bei !mib	maximaler negativer Messoffset bei !mib
BIA12	-120...+220%	-15%
BIA1		
BIA2		
BIA3		
BIA4		
BIA5		
BIA6		
BIA7	-120...+120%	-60%

Die Tabelle listet Parameter der Strom-Triggermessung, siehe 13.

Bei AC-Koppelung mit DC-Grundlast den linearen Shunt-Aussteuerbereich beachten. AC- und DC-Stromwerte zusammen müssen im Linearbereich liegen, bei nennenswerter Überschreitung entstehen Messfehler, wenn die Shunt-Schutzdiode zu leiten beginnt.

Die bei AC-Koppelung geblockten DC-Anteile lösen keinen Wandlerüberlauf aus.

13 Triggermessung im Funktionstest

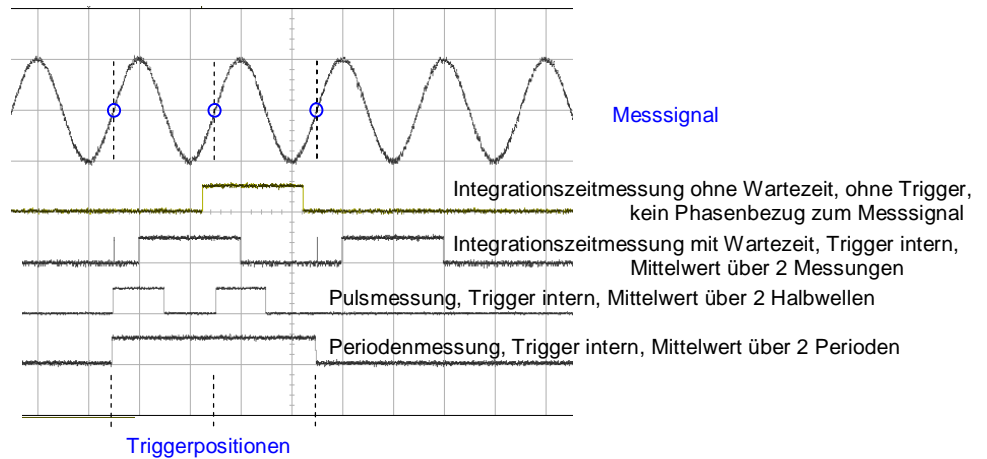
Die leistungsstarken Triggermessungen !mub und !mib mit einer Abtastrate von 10KHz ermöglichen programmierbare komplexe ACDC-Messungen, auch ausführbar als schnelle Triggermessung. Messergebnisse werden abgelegt im integrierten Datenlogger mit 64 Loggerblöcken. ACDC-Koppelung ist wählbar. Das Tiefpassfilter im Messverstärker kann nach Bedarf geschaltet werden. Die Messauslösung erfolgt statisch oder intern getriggert durch das Mess- / Generatorsignal mit variabler Triggerpolarität und Triggerschwelle. Mittelwertbildung über n-Messungen ist einstellbar. Die Messbereiche können mit Messoffset bis zu 100% verschoben werden. Externe Triggerung und Messfenstervorgabe ist möglich. Eine Zeitüberwachung mit Timeout steht zur Verfügung. Das Messfenster wird an Testpin TRIG ausgegeben.

Folgende Werte können erfasst werden:

1. DCavg DC-Mittelwert (average)
2. DCrms DC-Effektivwert (TRMS)
3. ACrms AC-Effektivwert
4. Scheitelfaktor (crest factor)
5. Minimalwert
6. Maximalwert
7. Pulszeit⁶
8. Periodenzeit
9. Phasenzeit
10. Zeitstempel2
11. AB4-Zählerstempel

Vier Messarten stehen zur Verfügung:

1. Integrationszeitmessung
2. Pulsmessung
3. Periodenmessung
4. Phasenmessung



13.1 Ablauf

Nach Setzen von Messbereich, Logger- und Messkonfiguration wird die Triggermessung mit !MUB{p:n}, !NUL{p:n} oder !MIB aufgerufen. Es werden drei Funktionsblöcke durchlaufen: Load&Arm, Logger und Sequenzer. Danach antwortet die SMMU mit dem Fehlertelegramm, das den Loggerstatus des zuletzt beschriebenen Loggerblocks enthält. Der interne Messpfad wird abgebaut. Aus dem Logger werden die Messergebnisse gelesen.

13.1.1 Load&Arm

Der Funktionsblock Load&Arm benötigt bis zu 50ms zur Verarbeitung der Parameter BUA / BIA und OFFSET. Bei Globalfehlern (Err2, 3, 58-64, siehe 15.3.4.1) wird vor der Messung abgebrochen und das Fehlertelegramm ausgegeben, die Loggerblöcke bleiben unberührt. Bei Fehlerfreiheit wird die Ablaufkontrolle an den Funktionsblock Logger übergeben.

13.1.2 Logger

Der Funktionsblock Logger startet Triggermessungen über den Sequenzer und speichert die Ergebnisse in aufsteigenden Loggerblöcken. Die Loggersteuerung erfolgt über die Parameter LogStrt, LogAkt, LogAnz und LogDly. Das gezielte Löschen aller Loggerblöcke bei Messstart ist möglich. Eine Wartezeit zwischen den Loggerblöcken wird mit der Loggerverzögerung realisiert. Der Loggerstatus wird in den aktuellen Loggerblock kopiert, bei Fehlern wird abgebrochen und das Fehlertelegramm ausgegeben.

13.1.3 Sequenzer

Der Funktionsblock Sequenzer wird vom Logger aktiviert. Er steuert den Ablauf einer Triggermessung in Abhängigkeit der Parameter: MESSART, DELAY, INTEGRAT, TRIGGER, TIMEOUT, und TACPRECH. Die Messergebnisse im Datenblock (siehe 13.3, Parameter 56...76) und der Loggerstatus werden an den Funktionsblock Logger übergeben.

⁶ Wir verwenden den Begriff „Pulszeit“ für einen kontinuierlichen Puls (pulsetrain) wie auch für einzelne Impulse oder Impulsgruppen. Ein Impuls ist ein einzelner zeitlich begrenzter Vorgang. Eine sich periodisch wiederholende Impulsfolge sollte Puls genannt werden, wird in der Praxis oft auch als Impuls bezeichnet. Der Begriff Impulszeit ist unüblich und wird nicht verwendet. Ein Puls hat eine Puls- und eine Pausenzeit, die Summe ist die Periodenzeit. Ein Impuls hat eine Pulszeit, die Periode ist nicht definiert.

13.2 Logger- und Messparameter

Logger- und Messparameter werden im Datenblock abgelegt. Mit **!drd{a}** wird der Datenblock gelesen, mit **!dwr{a};{x}** geschrieben. Die Messbereiche BUA & BIA der Standardmessungen sind gültig. Bei Reset wird 100ms Integrationszeitmessung mit 100ms Wartezeit initialisiert.

13.2.1 Loggerparameter

Parameter-Adresse a	Name	Wertebereich x schreiben / lesen	Bemerkung	Funktions-block
32	LogStrt{x}	0...63	Hier startet der Logger bei der ersten Messung. x=0: Alle Loggerblöcke werden bei Load&Arm gelöscht.	Logger
34	LogAkt{x}	0...63 rotierend	Zeigt auf den aktuellen Loggerblock. Der zuletzt beschriebene Block ist x-1.	
36	LogAnz{x}	1...32000	Anzahl der nacheinander durchzuführenden automatischen Triggermessungen	
38	LogDly{x}	0...32000 [100µs]	Loggerverzögerung zwischen den automatischen Triggermessungen, bei LogAnz > 1	

Die höchste Loggerrate von ~1,6KHz wird erreicht bei Messart=0, Wartezeit=0, Integrationszeit=0, Trigger=0, LogDly=0 und LogAnz>1. Abweichende Einstellungen benötigen zwischen den Loggerblöcken ~6,8ms für Effektivwertberechnung und Normierung der Messdaten.

13.2.2 U-Messparameter

Parameter-Adresse a	Name	Wertebereich	Bemerkung	Bei Messart	Funktions-block
-	IBUA	1...7	Messbereich	alle	Load&Arm
18	U_OFFSET	0...±100 [%]	Mess- / Triggeroffset im Messbereich BUA	alle	
20	U_INTEGRAT	0...32000 [100µs] -32001	Integrationszeit 0,1...3200,0ms /GATETI, externes Messzeitfenster	0	Sequenzer
22	U_TRIGGER	g= 0..±15000	g = Anzahl der Triggerwiederholungen für die Mittelwertbildung der Messergebnisse g=0: Trigger intern aus +g: Messstart bei positiver Flanke -g: Messstart bei negativer Flanke	0 alle alle	
24	U_MESSART	-1 0 1 2	Phasenmessung mit Wartezeit Integrationszeitmessung mit Wartezeit Pulsmessung Periodenmessung	-1 0 1 2	
26	U_TIMEOUT	1...32000 [ms]	Timeout der Triggermessung	alle	
28	U_DELAY	0...32000 [100µs] ±32001 ±32001	Wartezeit 0...3200,0ms WAVSYNC für ext. Phasenmessung TRIGEXT bei Integrationszeitmessung	-1, 0 -1 0	
30	U_TACPRECH	0 1...32000 [ms]	DC-Koppelung AC-Koppelung Einschwingzeit (SMU350)	alle	

13.2.3 I-Messparameter

Parameter-Adresse a	Name	Wertebereich	Bemerkung	Bei Messart	Funktions-block
-	IBIA	1...7, 12	Messbereich	alle	Load&Arm
2	I_OFFSET	0...±100 [%]	Mess- / Triggeroffset im Messbereich BIA	alle	
4	I_INTEGRAT	0...32000 [100µs] -32001	Integrationszeit 0,1...3200,0ms /GATETI, externes Messzeitfenster	0	Sequenzer
6	I_TRIGGER	g= 0.. ±15000	g = Anzahl der Triggerwiederholungen für die Mittelwertbildung der Messergebnisse g=0: Trigger intern aus +g: Messstart bei positiver Flanke -g: Messstart bei negativer Flanke	0 alle alle	
8	I_MESSART	-1 0 1 2	Phasenmessung mit Wartezeit Integrationszeitmessung mit Wartezeit Pulsmessung Periodenmessung	-1 0 1 2	
10	I_TIMEOUT	1...32000 [ms]	Timeout der Triggermessung	alle	
12	I_DELAY	0...32000 [100µs] ±32001 ±32001	Wartezeit 0...3200,0ms WAVSYNC für ext. Phasenmessung TRIGEXT bei Integrationszeitmessung	-1, 0 -1 0	
14	I_TACPRECH	0 1...32000 [ms]	DC-Koppelung AC-Koppelung Einschwingzeit (SMU350)	alle	

Messart: Zur Verfügung stehen die vier Messarten Integrationszeitmessung, Puls-, Perioden- und Phasenmessung. Analogwerte werden immer erfasst, Zeitmessungen variieren nach Messart.

Trigger: Die analoge Triggerfunktion am zu messenden Signal ist schaltbar mit Parameter $\pm g$, die Messung startet beim Über- oder Unterschreiten der Triggerschwelle (dynamisch). Mit g wird die Anzahl der Messwiederholungen definiert, die zur Mittelwertbildung verwendet werden. Um eine einwandfreie Triggerfunktion sicherzustellen, soll die Amplitude des Messsignals $>10\%$ vom Messbereich betragen. Die Messarten Puls, Periode und Phase benötigen einen Triggerparameter $g \neq 0$.

Messoffset: Bei Trigger=aus ($g=0$) definiert Parameter Messoffset allein die Nullpunktverschiebung. Möglich ist das Verschieben der bipolar symmetrischen Messgrenzen im Bereich: Neg.Messoffset...+100%. Normaleinstellung ist 0%. Der maximal mögliche negative Messoffset ist definiert in den Tabellen von 12.2 und 12.4, darüber erzeugt Load&Arm einen Überlauf (Err64).

Mit Messoffset +100% kann z.B. eine Spannung von 24V im Messbereich $\pm 12V$ gemessen werden.

Messoffset %	Messgrenzen V	Triggerschwelle V	Messbereich
0	-12... +12	-	bipolar symmetrisch
+50	-6... +18	-	verschoben um +50%
+100	0... +24	-	verschoben um +100%

Hinweis: In Messbereich bua6 kann bis 32,7V gemessen werden.

Triggeroffset: Bei Trigger=ein ($g \neq 0$) wird Messoffset zum Triggeroffset. Er definiert jetzt gleichzeitig Nullpunktverschiebung und Triggerschwelle der analogen internen Triggerung.

Triggeroffset %	Messgrenzen V	Triggerschwelle V	Messbereich
0	-12... +12	0	bipolar symmetrisch
+50	-6... +18	+6	verschoben um +50%
+100	0... +24	+12	verschoben um +100%

Der Zusammenhang zwischen Triggerschwelle und Triggeroffset:

$$\text{Triggerschwelle} = \frac{\text{Messbereich}}{100} * \text{Triggeroffset}$$

Die Triggerschwelle liegt in der Mitte der verschiebbaren Messgrenzen.

Für die Triggerung von neg. Spannungen kann Triggeroffset auch positiv definiert werden. Der Messaufwurf erfolgt mit vertauschten Anschlusspunkten, die zu messende Spannung wird invertiert.

Für neg. Stromtriggerung ist neg. Triggeroffset notwendig.

Delay: In Messart Integrationszeit und Phase startet die Messung nach Ablauf der Wartezeit. Signalprellen oder Einschwingen wird von der Messung ferngehalten.

Die Wartezeit hat eine Abweichung von -2% (100ms entspricht Parameter $tw=1002$).

Zwei digitale Sonderfunktionen am Stecker AUIXIO.FDUTDIV.7 können programmiert werden:

- TRIGEXT** ermöglicht eine externe pos/neg Triggerung bei Integrationszeitmessung, siehe 13.6.1 ff. Kombitrigger: Der interne Trigger (primär) kann mit TRIGEXT (sekundär) kombiniert werden.
- WAVSYNC** ermöglicht Phasenmessung an extern gespeisten Prüflingen. Anstelle einer Wartezeit erfolgt eine pos/neg Phasensynchronisierung des WAVE-Generators an die ext. Synchronquelle, siehe 13.6.4.5.

Integrationszeit t_i für Messart 0. Während t_i erfolgt die Messung. Bei $t_i=0$ wird kürzestmöglich gemessen.

Die Integrationszeit t_i hat eine Abweichung von -2% (100ms entspricht Parameter $t_i=1002$).

Eine digitale Sonderfunktion am Stecker AUIXIO.FDUTDIV.7 kann programmiert werden:

- /GATETI**, die Vorgabe eines externen Integrationszeitfensters, siehe 13.6.1 ff.

TACPRECH: AC-Einschwingzeit im ms; vor der Messung wird der Gleichanteil im Messsignal von einem RC-Hochpass (5Hz) abgetrennt. Die Einschwingwartezeit auf Gleichanteil ~ 0 wird hier eingestellt.

AC-Koppelung, Wert typ. 300: Gemessen wird $AC_{avg} - 0V$ und AC_{rms} .

DC-Koppelung, Wert=0: Gemessen wird DC_{avg} und DC_{rms} . AC_{rms} kann berechnet werden.

Timeout: Wenn eine Messung nicht getriggert wird oder länger dauert als definiert, erfolgt ein Abbruch mit Err06 (Timeout). Der zuletzt beschriebene Loggerblock enthält den Fehlereintrag.

Ein Timeout in z.B. Messart 0 muss größer sein als die Summe von:

(Wartezeit + Integrationszeit) x Anzahl der Triggerwiederholungen.

Die AC-Einschwingzeit (TACPRECH) ist im Timeout nicht enthalten.

13.3 Daten- und Loggerblock

Messwerte werden im Datenblock und im aktuellen Loggerblock abgelegt.

Parameter #	a ⁷	Name	Wertebereich	Legende	Inhalt				
					nach Reset	bei Messart			
					0	1	2	-1	
1	-	Loggerblock	0...63	Nummer des Loggerblocks	✓				
2	-	Loggerstatus	0...255	0 = Messwerte sind vorhanden 98 = Block ist leer Notierung laut Fehlertabelle 15.3.4.1	98	0			
3	56	AVG (1)	-32768...+32767	Mittelwert DCavg oder ACavg	0	✓			
4	58	RMS (1)	-32768...+32767	Effektivwert DCrms oder ACrms		✓			
5	60	MIN	-32768...+32767	Spitzenwert min.		✓			
6	62	MAX	-32768...+32767	Spitzenwert max.		✓			
7	64	Einheit 36	Einheitentabelle	Einheit der Parameter 3...6, abhängig vom Messbereich		✓			
8	66	Parameter 8 (1)	0...+32767	Pulszeit 100µs...3260ms in Messart 1 & 2 Phasenzeit 0...±470ms in Messart -1		0	✓		
9	68	Einheit 8	Einheitentabelle	Einheit von Parameter 8, automatische Wahl		98	✓		
10	70	Param. 10 (1)	0...+32767	Periodenzeit 100µs...3260ms (0,307Hz)		0	✓		
11	72	Einheit 10	Einheitentabelle	Einheit von Parameter10, automatische Wahl		98	✓		
12	74	Timestamp2	0...65535 [100µs]	Zeitstempel2 zu Beginn der Messung, 16 Bit unsigned, rotierend		✓			
13	76	AB4-Zähler	-32768...+32767	AB4-Zählerstempel zu Beginn der Messung	✓				

(1) Messergebnis als Mittelwert aus g-Triggerwiederholungen. Der Logger wird gelesen mit !lrd, siehe 15.3.6.

DCrms enthält AC- und DC-Anteile, ACrms kann berechnet werden: $ACRMS = \sqrt{DCRMS^2 - DCAVG^2}$

Crest- oder Scheitelfaktor: $K_s = \frac{|Spitzenwert t|}{DCRMS}$

13.4 Messgenauigkeit

Für Messungen bis 300Hz gelten die Tabellen von !mua und !mia, siehe 12. Alle Angaben gelten für Signale mit Crestfaktor <4.

Systeminterne Parasitärkapazitäten reduzieren die obere Grenzfrequenz in den kleinen Strommessbereichen. Messungen bei höheren Frequenzen benötigen einen Korrekturfaktor.

Strombereich bia2 ist spezifiziert bis 150Hz
 bia1 bis 30Hz
 bia12 ist vorgesehen für Gleichstrommessungen

13.5 AC-Koppelung

Bei AC-Koppelung ist zu berücksichtigen:

1. Die Grenzfrequenz der AC-Koppelung beträgt 5Hz. Bei Messfrequenzen unter 40Hzsin wird die Amplitude abgeschwächt. Bei Rechteckbetrieb entstehen Dachschrägen am internen Messsignal.
2. Den linearen Aussteuerbereich am Stromshunt beachten, siehe 12.4.
3. Der differentielle Messverstärker-Eingangswiderstand von 1MΩ liegt parallel zum Stromshunt. In den empfindlichen I-Messbereichen wird die Genauigkeit reduziert. Die Messfehler sind frequenzabhängig und experimentell abzuklären.
4. Bei Phasenmessung mit AC-Koppelung muss AC-Koppelung in U- und I-Parametern aktiviert werden, sonst Phasenabweichungen.

SMU350A/B: Bei AC-Koppelung, U-Messung und vollem Gleichtakthub am Messeingang SP kann eine zusätzliche Offsetspannung bis 25mV entstehen. Durch Vertauschen der Messanschlüsse (Masse am Eingang SP) wird die Offsetspannung zu 0.

⁷ Die Messdaten der letzten Messung können mit !drd aus dem Datenblock gelesen werden. Tabellenspalte a enthält die zugehörigen Parameteradressen.

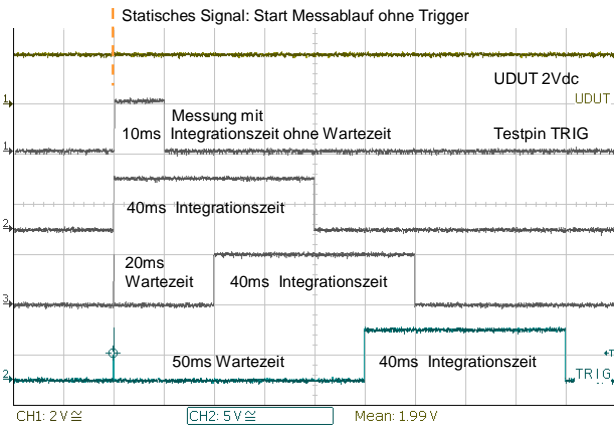
13.6 Darstellung der Messarten

Alle Beispiele verwenden einen Loggerblock (LogAnz=1). Der Begriff "Trigger" ist die interne analoge Triggerfunktion. TRIGEXT ist der externe Digitaltrigger. Kontrollmessungen erfolgen über Testpins, siehe 3.2.

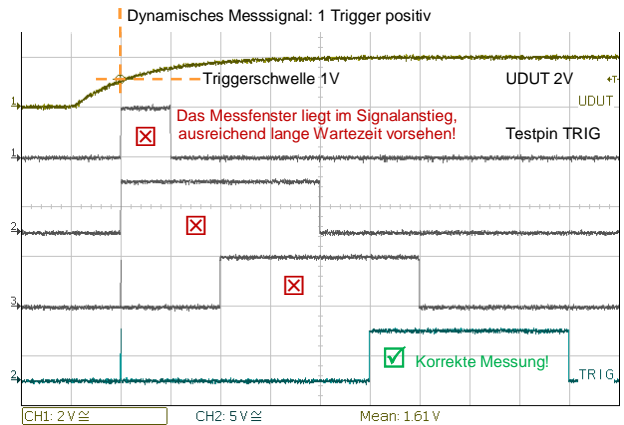
13.6.1 Messart 0: Integrationszeitmessung

statischen Signalen (ohne Trigger, g=0) oder

Diese Betriebsart dient zur Erfassung von dynamischen Signalen (mit Trigger, g≠0).



Alle 4 Messeinstellungen liefern korrekte Messwerte.



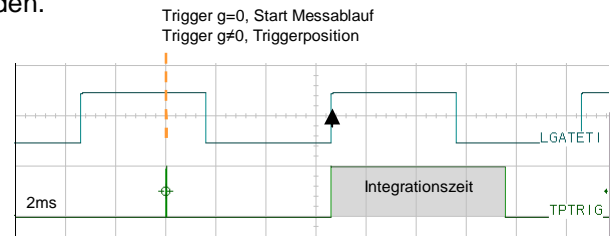
Nur die untere Messeinstellung liefert einen korrekten Messwert, das Messsignal ist nach ausreichend langer Wartezeit stabil.

Es folgen Sonderfunktionen mit dem Multifunktionseingang AUXIO.7: TRIGEXT und /GATETI. Die analoge Triggerfunktion g kann zusätzlich aktiviert werden.

13.6.1.1 TRIGEXTpos

Die Messung startet mit der pos. Flanke von TRIGEXT und endet nach Ablauf der Integrationszeit, siehe 21.3.8.

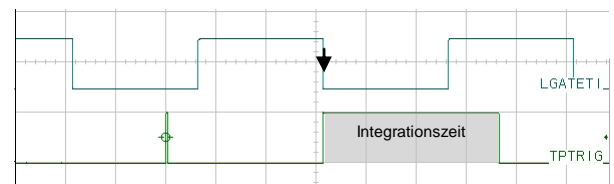
!dwr20;Integrat	!dwr22;Trigger g	!dwr28;Delay
70 (7ms)	g	32001



13.6.1.2 TRIGEXTneg

Die Messung startet mit der neg. Flanke von TRIGEXT und endet nach Ablauf der Integrationszeit, siehe 21.3.8.

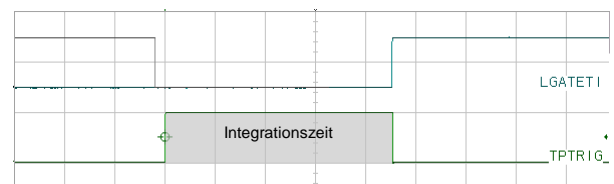
!dwr20;Integrat	!dwr22;Trigger g	!dwr28;Delay
70 (7ms)	g	-32001



13.6.1.3 Externes Messzeitfenster

Die Messung startet sofort und endet bei /GATETI=1, siehe 21.2.17.

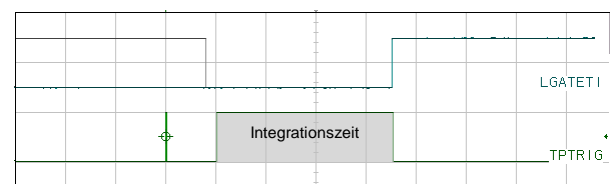
!dwr20;Integrat	!dwr22;Trigger g	!dwr28;Delay
-32001	g	0



13.6.1.4 Externes Messzeitfenster mit Delay

Die Messung startet nach tDelay und endet mit /GATETI=1

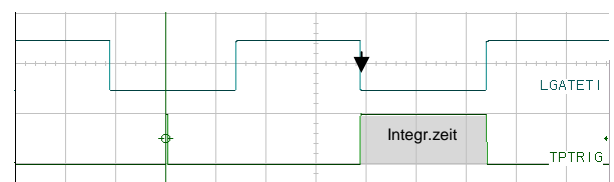
!dwr20;Integrat	!dwr22;Trigger g	!dwr28;Delay
-32001	g	20 (2ms)



13.6.1.5 Externes Messzeitfenster mit TRIGEXTneg

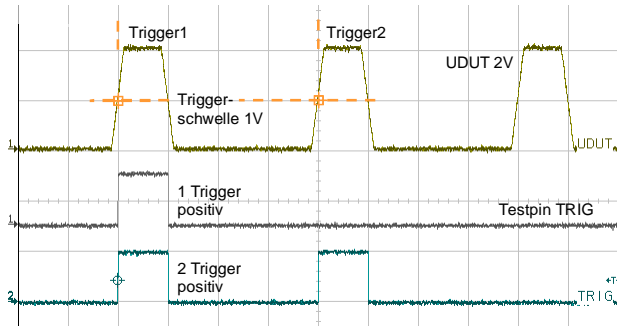
Die Messung startet mit der neg. Flanke von TRIGEXT und endet bei /GATETI=1.

!dwr20;Integrat	!dwr22;Trigger g	!dwr28;Delay
-32001	g	-32001

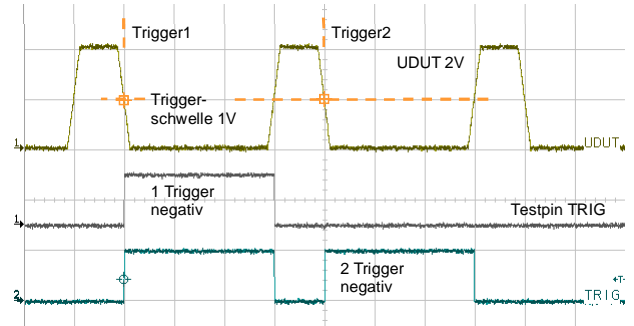


13.6.2 Messart 1: Pulsmessung

In dieser Betriebsart werden Pulse getriggert und gemessen (Trigger g≠0).



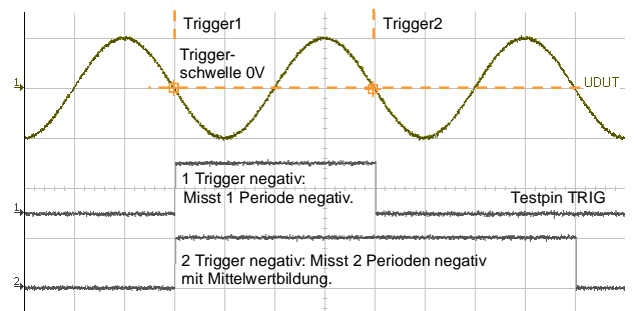
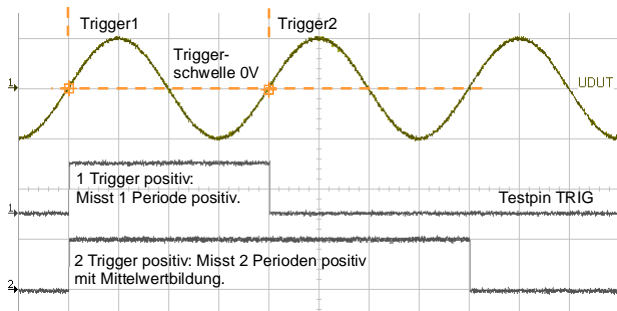
Messeinstellungen:
 1 Trigger positiv: Die Messung erfasst 1 positiven Puls mit 2V Plateauspannung.
 2 Trigger positiv: Die Messung erfasst 2 positive Pulse mit Mittelwertbildung.



Messeinstellungen:
 1 Trigger negativ: Die Messung erfasst 1 negativen Puls mit 0V Plateauspannung.
 2 Trigger negativ: Die Messung erfasst 2 negative Pulse mit Mittelwertbildung.

13.6.3 Messart 2: Periodenmessung

In dieser Betriebsart werden komplette Perioden getriggert und gemessen (Trigger g≠0).
 Effektivwerte können damit schnell und genau erfasst werden.



13.6.4 Messart -1: Phasenmessung

Triggerparameter $g \neq 0$ definiert die Anzahl der Perioden des Wellengenerators, die zur Messung mit Mittelwertbildung verwendet werden. In der Periodenmitte erfolgt die Phasenmessung, von der aktiven Generatorflanke zur aktiven Messflanke (pos:pos oder neg:neg).

DUT-Spannung oder -Strom wird gemessen, zusätzlich

1. t_{Phase} (Phasenzeit)
2. $t_{Periode}$ (Wellengenerator)

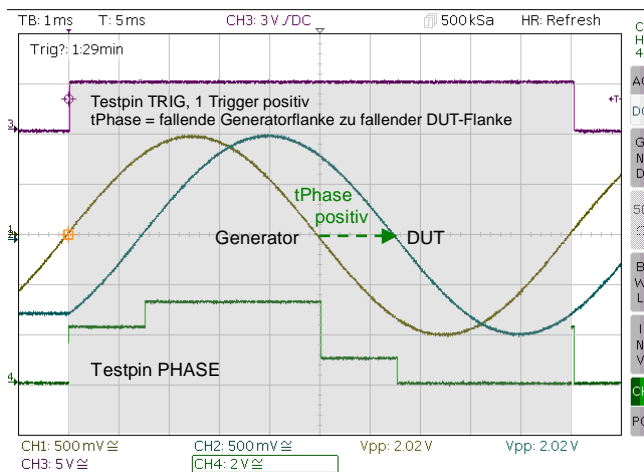
Phasenmessungen sollen bevorzugt im Nulldurchgang getriggert werden, da dort die Phase eindeutig definiert ist und die Triggerposition weitgehend unabhängig von der Messamplitude ist.

Eine Aussteuerung der Messbereiche im Bereich von 100...10% ist anzustreben. Gute Aussteuerung erhöht die Messkonstanz. Die Auflösung der Phasenzeit beträgt etwa 540ns.

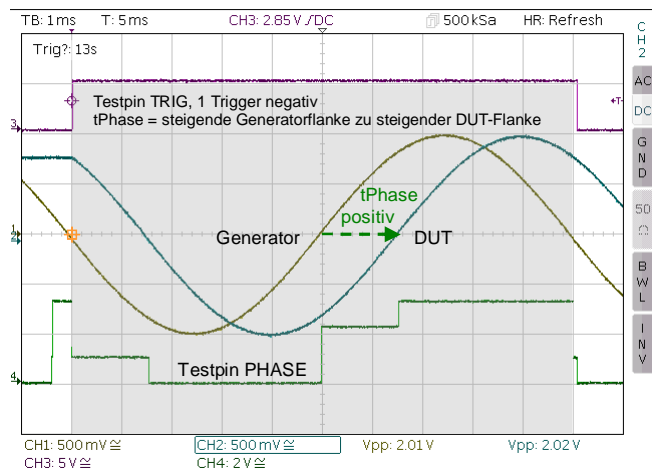
Bei Phasenmessungen kann der Prüfling intern vom Wellengenerator oder von externen AC-Quellen gespeist werden. Bei Phasenmessungen an externen Stromkreisen muss der Wellengenerator mit WAVSYNC auf die externe Systemphase synchronisiert werden, siehe 13.6.4.5.

Phasenmessungen können erfolgen im Spannungsmodus 3.6.1 oder mit den AC-Stromquellen 3.6.4 und 3.6.5. Der Strommodus 3.6.2 ist nicht kompatibel.

Trigger pos. misst die aktiven neg. Flanken.



Trigger neg. misst die aktiven pos. Flanken.

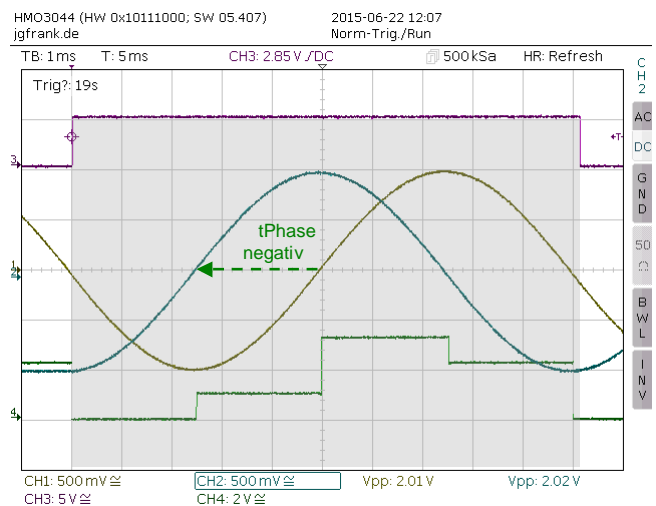


An Testpin PHASE (MUX350C) erzeugt ein 2bit DAC zur Kontrolle Spannungen von 0 / 1,1 / 2,2 und 3,3V. 1,1V und 2.2V markiert die Phasenzeit t_{Phase} .

LCR-Phasenmessungen erfolgen mit Sinus des Wellengenerators. Laufzeit- / Schaltzeitmessungen erfolgen mit Rechteck.

Die gemessene Phasenzeit kann direkt als Lauf- / Schaltzeit verwendet werden oder bei LCR-Messungen in Phasenwinkel φ umgerechnet werden:

$$\varphi = \frac{360 * t_{Phase}}{t_{Periode}} \quad \text{Phasenmessbereich } \pm 170^\circ$$



13.6.4.1 Inul Phasen-Nullabgleich

Im Vorfeld von U- oder I-Phasenmessungen muss der Wellengenerator im Spannungsmodus USUPPLY aktiviert, Messart -1 und die restlichen Messparameter eingestellt werden. Bei falscher Konfiguration wird Err58 ausgelöst (siehe 15.3.4). Triggerparameter $g \neq 0$ definiert die Anzahl der Perioden, die zur Mittelwertbildung gemessen werden, das Vorzeichen definiert die zur Messung verwendete inverse Generatorflanke. Die Triggerschwelle der DUT-Spannung wird mit Parameter Triggeroffset definiert.

Mit `!nul{p:n}` erfolgt der Nullabgleich des Phasensystems, üblicherweise an der DUT-Spannung mit Phase 0°. Der Wertebereich von {p:n} ist: Negativ, 0...RealAP.

Die interne Ablaufsequenz bei !nul:

1. Die Triggerschwelle des Generatorcomparators wird eingestellt auf UOffset des Wellengenerators
2. ILIMIT wird gesetzt auf den Maximalwert (~430mA). Die Befehle !sup und !san1 dürfen bis zum Ende einer Phasenmessung nicht verwendet werden, da sie die Triggerschwelle des Generatorcomparators verändern.
3. Gemessen wird **DUT-Spannung, -Nullphasenzeit und Wellengeneratorperiode**
4. Die Nullphasenzeit wird automatisch im System abgespeichert

Alle Messwerte stehen im programmierten Loggerblock informativ zur Verfügung. Alle ab jetzt erfolgenden Phasenmessungen !mub und !mib werden automatisch mit der Nullphasenzeit korrigiert.

Im Rechteckbetrieb beeinflussen geringe Spannungsabweichungen der Triggerschwelle den Phasenmesswert so gut wie nicht. Bei Triggerflankenwechsel ist im Normalfall kein neuer Phasen-Nullabgleich nötig.

Im Sinusbetrieb ist der Einfluss höher durch die endliche Steigung des Signals. Bei Triggerflankenwechsel ist ein neuer Phasen-Nullabgleich sinnvoll.

Bei aktivem Rauschstromfilter sind alle Messwerte lastbezogen, bei Lastwechsel ist ein neuer Phasen-Nullabgleich notwendig.

Die schnelle Triggermessung 13.7 ist beim Phasen-Nullabgleich nicht anwendbar, Err2 wird ausgelöst.

13.6.4.2 U-Phasenmessung

Die U-Phasenmessung `!mub` misst die Phase von U-Generator zu UDUT. Gemessen wird von der aktiven Generatorflanke zur aktiven DUT-Flanke (pos:pos oder neg:neg).

Reine Phasenmessungen funktionieren an jeder Flanke. Ein- und Ausschaltzeiten werden unterschieden durch das Vorzeichen von

Trigger g	aktive Generatorflanke	aktive DUT-Flanke	DUT-Messpolarität
<0			true
			invert
>0			true
			invert

Triggerparameter g, das die aktive Generatorflanke definiert. Zu beachten ist, dass Trigger g die inverse aktive Generatorflanke definiert, auch die zur Messung verwendete aktive DUT-Flanke ist invers.

Eine Phaseninversion am Prüfling erfolgt durch Vertauschen der Messpolarität am MUX. Ein DUT-Spannungshub von 0/5V wird systemintern zu 0/-5V. Die Phasenmessung erfolgt mit DC-Koppelung und negativer Triggerschwelle. Alternativ ist AC-Koppelung mit Triggeroffset 0 verwendbar, siehe 21.1.2.

Die schnelle Triggermessung 13.7 ist anwendbar.

Messabweichung bis 300Hz Sinus, 100% Aussteuerung des Messbereichs < ±0,5°, Rechteck < ±0,5°
 10% Aussteuerung < ±2,5°, Rechteck < ±1°

13.6.4.3 I-Phasenmessung

Die I-Phasenmessung `!mib` misst die Phase von U-Generator zu IDUT. Die aktive DUT-Flanke ist identisch der aktiven Generatorflanke (true), ein Vertauschen der Messpolarität ist nicht möglich.

Die schnelle Triggermessung 13.7 ist anwendbar.

Messabweichung bis 300Hz Sinus, 100% Aussteuerung des Messbereichs < ±0,5°, Rechteck < ±0,5°
 10% Aussteuerung < ±3,5°, Rechteck < ±1,5°

13.6.4.4 Phasenmessung intern

Bei interner Phasenmessung wird der Prüfling vom Wellengenerator der SMMU gespeist. Die interne Phasenmessung erfolgt in einer zu programmierenden Ablaufsequenz:

1. DC-Startwerte setzen im Spannungsmodus (!sup)
2. Wellengenerator aktivieren (!wav)
3. Nach Bedarf Rauschstromfilter setzen (!bia, !set34), FVG (!fvg, !sfv), Messbandbreite (!clr/set145)
4. DUT-Speisung einschalten !ssv{p:n}
5. Loggerparameter setzen
6. U-Messparameter setzen für !nul Phasen-Nullabgleich und !mub,
7. I- Messparameter setzen für !mib
8. !nul{p:n} Phasen-Nullabgleich an der Generatorspannung
9. DUT-Phasenmessungen: Spannung !mub{p:n} oder Strom !mib
10. DUT-Speisung aus (!rsv), Wellengenerator aus (!wav), FVG aus (!rfv), Rauschstromfilter aus (!clr34), Messbandbreite 3KHz (!clr145)

Die programmierbare Wartezeit DELAY vor der Messung ermöglicht das Ausblenden von Einschwingvorgängen. Die Phasenmessung ist kombinierbar mit FVG und Rauschstromfilter.

13.6.4.5 Phasenmessung extern

Bei externer Phasenmessung wird der Prüfling von einer externen Quelle gespeist. Der Wellengenerator muss mit WAVSYNC auf die externe Systemphase synchronisiert werden. Die Synchronisation erfolgt über Eingang WAVSYNC (FDUTDIV) an Stecker AUXIO, siehe 21.15.2. Der 5V CMOS-Triggereingang mit 10KΩ Pullup-Widerstand an +5V ist in Grenzen übersteuerbar (-1V...+6V). Er kann über einen Vorwiderstand mit Zenerdiode z.B. direkt von der Sekundärwicklung eines Hilfsrafos gegen GND der SMMU gespeist werden.

Die externe Phasenmessung erfolgt in einer zu programmierenden Ablaufsequenz:

1. DC-Startwerte setzen für den Wellengenerator im Spannungsmodus (!sup0;400)
2. Wellengenerator aktivieren mit !wav50;2500;2500;150, dabei die Frequenz des externen Systems einstellen. Weiterhin 2,5Vp Rechteck mit Wellenoffset 2,5V (5V-CMOS für Kontrollzwecke, auch andere Werte möglich). Der Wellengenerator erzeugt intern die Referenzphase der Phasenmessung.
3. Nach Bedarf FVG (!fvg, !sfv), Messbandbreite (!clr/set145)
4. Externe DUT-Speisung über ein geeignetes Relais einschalten und
5. am Eingang FDUTDIV das Synchronsignal des ext. Systems WAVSYNC einspeisen
6. Loggerparameter setzen
7. U-Messparameter setzen für !nul Phasen-Nullabgleich und !mub
8. I- Messparameter setzen für !mib
9. U- und I-Messparameter identisch programmieren mit Messart -1 (Phase) und Sonderfunktion Wartezeit DELAY=±32001. Anstelle Wartezeit wird die Phase synchronisiert. Für Phasenmessungen ist ein ausreichend genauer Synchronlauf der beiden Generatoren gegeben.
10. U- und I-Messparameter identisch programmieren in Triggeranzahl und Triggerpolarität. Messabweichungen durch Phasenverzug werden durch identische Mittelwertbildung kompensiert.
11. Die Phasen-Nullmessung !nul{p:n} erfolgt an der externen DUT-Speisespannung. Die noch vorhandene geringe Phasenabweichung zwischen externem und internem Generator (Nullphasenzeit) wird von der SMMU rechnerisch kompensiert.
12. DUT-Phasenmessungen: Spannung !mub{p:n} und Strom !mib
13. DUT-Speisung und WAVSYNC ausschalten
14. Wellengenerator aus (!wav), FVG aus (!rfv), Messbandbreite 3KHz (!clr145)
15. HF-Frequenzmessungen sind möglich, wenn Eingang FDUTDIV z.B. mit einem Relais wieder mit dem HF-Vorteiler DIV252 verbunden wird.

Die externe Phasenmessung (siehe 21.15.2) ist kombinierbar mit dem FVG.

13.6.4.6 LCR-Messung

Mit Hilfe des Phasenwinkels können Widerstände, Kapazitäten und Induktivitäten unterschieden werden. LCR-Messungen erfolgen im Normalfall mit 3KHz Messbandbreite bei Frequenzen von 30...300Hz Sinus. Induktivitäten <20µH werden im Modus overdrive mit 3600Hz vermessen.

Bei C-Messungen <10nF muss die Grundlastkapazität der Multiplexer MUX275 geeignet gemessen und in Abzug gebracht werden. Am MINIPORT ohne MUX275 Module sind Kapazitäten im pF-Bereich gut messbar. Für Kapazitätsmessungen über MUX im pF-Bereich siehe 6.4.1.

13.7 Schnelle Triggermessung

Die schnelle Triggermessung !ain99 enthält die komplette Struktur der Triggermessung und ermöglicht U/I-Messungen mit Laufzeiten bis 2,4ms. Bei Verwendung des Loggers sind Messraten bis ~1,6KHz möglich. !ain99 antwortet mit dem Mittelwert DCavg und Messeinheit. Der Messwert entstammt dem zuletzt beschriebenen Loggerblock.

Die normale Triggermessung besteht aus einer vorgelagerten Load&Arm Sequenz, gefolgt von der Hauptmessung. Load&Arm realisiert die Nullpunkteinstellung des Messsystems mit automatischem Verstärkungsabgleich. Störungen und Temperaturgang der Signalaufbereitungskette werden neutralisiert.

Eine Schnellmesssequenz startet mit einer Dummymessung als high-level-Messung mit Load&Arm. Danach bleibt der analoge Messpfad aktiv. Die folgenden schnellen Triggermessungen !ain99 realisieren eine Hauptmessung (ohne Load&Arm) unter Verwendung von Load&Arm der Dummymessung. Eine Dummymessung kann auch zur Triggerung nachfolgender Messungen verwendet werden, siehe 21.2.14.

Weiterhin erfolgen Schnellmessungen mit Autoincrement des Loggerzählers LogAkt. Die Dummymessung startet mit LogStrt. Die erste Schnellmessung überschreibt die Loggerdaten der Dummymessung, wenn LogStrt nicht verändert wird. Danach wird immer in LogAkt geloggt mit Autoincrement. Durch Verändern von LogAkt kann der Logger gesteuert werden.

Während der schnellen Triggermesssequenz ist die CMV-Überwachung (Err16) permanent aktiv (siehe 21.4.9). Die schnelle Triggermessung erfolgt in einer Ablaufsequenz:

1. Setzen der Loggerparameter (13.2.1), U-Messparameter (13.2.2) oder I-Messparameter (13.2.3)
Für eine schnelle Dummymessung ist vorteilhaft: Messart=0, Trigger=0, Wartezeit=0, Integrationszeit=0, LogAnz=0 nur einen Loggerblock beschreiben.
2. !cod9;1 (Schnellmessung ein)
3. !mub, !mib (Dummymessung für Load&Arm, setzt den Messpfad statisch und speichert die Art der Messung: U/I für kommende Schnellmessungen. Logger=LogStrt)
4. !ain99 (Schnellmessung, wiederholbar und gemischt mit Low-Level-Befehlen für DUT-Stimulis, Messstellen-, Logger- und Messparameterumschaltung. Logger=LogStrt)
5. !cod9;0 (Schnellmessung aus, Messpfad löschen)

Schnellmessungen enden mit !cod9;0, bei Fehlern, Messbereichswechsel, Änderung vom Speisemodus USUPPLY / ICONST und ICT. Befehle mit Messfunktion beenden oder dejustieren die Schnellmessung. Die Dauer einer Sequenz soll auf ~1 Minute begrenzt werden, um die Messkonstanz zu gewährleisten.

13.7.1 Spannung

1. Setzen der Loggerparameter (13.2.1) und U-Messparameter (13.2.2)
2. !cod9;1 (Schnellmessung ein)
3. !mub-1;-1 (Dummymessung Spannung, Logger=LogStrt)
4. !pns{p:n} (neue Messquelle wählen)
5. Parameter im Funktionsblock Logger und Sequencer können neu definiert werden.
6. !ain99 (Schnellmessung, Logger=LogStrt, ab jetzt Logger Autoincrement)
7. DUT-Stimuli sind möglich mit Neuwahl der Messquelle und Loggerposition
8. !pns{p:n} (neue Messquelle wählen an MINIPORT / MUX)
9. !ain99 (Schnellmessung)
10. !dwr34;x (bei Bedarf mit LogAkt neuen Loggerblock x anwählen)
11. !ain99 (Schnellmessung)
12. !cod9;0 (Schnellmessung aus, Messpfad löschen)
13. Nur hier sind Parameterwechsel im Funktionsblock Load&Arm möglich, goto 1.

13.7.2 Strom

1. Setzen der Loggerparameter (13.2.1) und I-Messparameter (13.2.3)
2. !cod9;1 (Schnellmessung ein)
3. !mib (Dummymessung Strom, Logger=LogStrt)
4. Parameter im Funktionsblock Logger und Sequencer können neu definiert werden.
5. !ain99 (Schnellmessung, Logger=LogStrt, ab jetzt Logger Autoincrement)
6. DUT-Stimuli sind möglich...
7. !dwr34;x (bei Bedarf mit LogAkt neuen Loggerblock x anwählen)
8. !ain99 (Schnellmessung)
9. !cod9;0 (Schnellmessung aus, Messpfad löschen)
10. Nur hier sind Parameterwechsel im Funktionsblock Load&Arm möglich, goto 1.

Im Strommodus ICONST ist die Strom-Schnellmessung nicht möglich, Err58 wird ausgelöst.

14 Option H (HRADC Hochauflösender Wandler)

Option H besteht aus einem high resolution analog digital converter mit 50 und 60Hz Brummunterdrückung. Er ist im System SMMU07 jederzeit nachrüstbar. Fehlt Option H, wird bei Ansteuerung Err59 ausgelöst. Standardmessungen können mit Option H im 16bit Modus erfolgen. Mit einem externen Treiber können Messwerte mit 22,5bit Auflösung verarbeitet und der 12% Übersteuerungsbereich des HRADC (extended range) verwendet werden. Messungen verwenden den Logger und werden gesteuert mit den Loggerparametern. Das Parameterhandling erfolgt mit `!dwr{a};{x}` und `!drd{a}`.

Parameter-Adresse a	Name	Wertebereich x schreiben / lesen	Bemerkung	Funktionsblock
32	LogStrt{x}	0...63	Loggerstart bei hochauflösenden Messungen x=0: Alle Loggerblöcke werden bei Load&Arm gelöscht.	Logger
34	LogAkt{x}	0...63 rotierend	Zeigt auf den aktuellen Loggerblock. Der zuletzt beschriebene Block ist x-1.	
36	LogAnz{x}	1...64	Anzahl der hochauflösenden Messungen	
42	LogEinh{x}	200...299	Messkennung Eh bei hochauflösenden Messungen	

HRADC-Messungen werden im Bitformat im Daten- und Loggerblock (13.3) abgelegt. LogEinh definiert das Bitformat und dient gleichzeitig zur Nummerierung von Messungen. Der Logger wird gelesen mit `!lrd`.

Parameter # a	Name	Wertebereich	Logger HRADC-Bitformat	Inhalt nach Reset	
1	-	Loggerblock	0...63	Nummer des Loggerblocks	
2	-	Loggerstatus	0...255	0, 16, 17, 18, 59, 98, siehe Fehlertabelle 15.3.4.1	
3	56	HIB	0...127 (*65536)	HRADC Format: 22,5bit unsigned binary normaler Bereich: 2097152...4194304...6291455 12% Übersteuerung: 1845494... 4194304...6543113	
4	58	MIB	0...255 (*256)		
5	60	LOB	0...255 (*1)		
6	62	Messbereich	0...255		
7	64	LogEinh	200...299		Parameter 42, siehe Einheitentabelle Eh 15.3.5.1
8	66	-	0		
9	68	-	98		
10	70	-	0	0	
11	72	-	98		
12	74	Timestamp2	0...65535 [100µs]		Zeitstempel2, 16 Bit unsigned, rotierend
13	76	AB4-Zähler	-32768...+32767		AB4-Zählerstempel zu Beginn der Messung

14.1 Hochauflösende manuelle Messung

Die hochauflösende manuelle Messung erfolgt mit `!hra`. Mit `!hra` können individuelle high-level-Messabläufe zusammengestellt werden. Warte- und Einschwingzeiten sind flexibel, Offsetsteuerung, Load&Arm Sondersequenzen, oversampling, Messwertglättung und Schnellmesssequenzen sind möglich, siehe separate Dokumentation HRADC. Der Wandler arbeitet mit 22,5bit, bei Übersteuerung wird Err18 ausgegeben. Übersteuerungen bis ±12% sind möglich. Die Wandelzeit beträgt ~80ms. Messdaten werden in LogAkt abgelegt, danach wird LogAkt incrementiert.

14.2 Hochauflösende Standardmessung 16bit

Die hochauflösende Standardmessung wird aktiviert mit `!cod8;1`. Controller SMU350 verwendet 16bit der HRADC-Messdaten, die Messauflösung steigt von 13 auf 16bit. Brummfilter `!hum` wird nicht verwendet. Die Sequenz wird beendet mit `cod8;0`. Die Messzeit beträgt ~270ms. Mögliche Messungen sind: `!mua` (siehe 21.2.18), `!mia`, `!mds`, `!mdd`, `!mrg`, `!mro` und `!muv`.

14.2.1 Hochauflösende Standardmessung 22bit

Die Loggerdaten der hochauflösenden Standardmessung nach 14.2 werden mit einem externen Treiber ausgewertet. Der Logger startet bei LogStrt. Er enthält fest definierte Messkennungen Eh=201...204 (Load&Arm Untermessung 1...4) und Eh=205 (Hauptmessung). Mit Hilfe von Bitwert, Messeinheit und Messbereich erfolgt im Treiber die Normierung. Die Messzeit beträgt ~270ms. Beispiel siehe 21.2.19.

14.2.2 Schnelle hochauflösende Standardmessung 22bit

Die hochauflösende Standardmessung 14.2.1 kann in Verbindung mit der manuellen Messung 14.1 ausgebaut werden zur schnellen hochauflösenden Standardmessung (ohne Load&Arm), siehe 21.2.20. Schnellmessungen können im Logger mit Parameter LogEinh (206...299) nummeriert werden. Die Messzeit beträgt ~80ms.

15 Datenverkehr serielle Schnittstelle

15.1 V24-Schnittstellenparameter

Die Einstellung von Sender und Empfänger: 8 Daten-, 1 Start-, 1 Stoppbit, no parity.
 Jumper J1 definiert die Baudrate der zwei V24-Schnittstellen bei Reset.

Jumperstellung 1-2: 9600 Baud 2-3: 115200 Baud

Die Parameter der Anwenderschnittstelle V24.1 können mit !com neu definiert werden.

15.2 Host-Steuerprotokoll

Die SMMU ist ein zeichenorientiertes Gerät (tty, teletypewriter). Befehle werden vom Hostgerät (PC / SPS) über die serielle Schnittstelle gesendet. Sie werden von der SMMU interpretiert, ausgeführt und beantwortet. Die Nutzdaten bestehen aus lesbaren ASCII-Zeichen. Steuerzeichen sind CR carriage return (\$0D), LF line feed (\$0A), BEL bell (\$07), ETX end of text (\$03), XON transmitter on (\$11) und XOFF transmitter off (\$13). Ein XON/XOFF-handshake im 64Byte Empfangspuffer der SMMU ist realisiert. XOFF wird gesendet, wenn noch Platz für 10Byte ist. XON wird gesendet, wenn der Empfangspuffer wieder leer ist.

Befehl: Jeder Befehl vom Host startet mit einem '!' Zeichen. Es folgen 3 Buchstaben in Groß- oder Kleinschreibung, die den Befehl codieren. Bei bestimmten Befehlen folgen noch Parameter, getrennt durch Semikolon oder Doppelpunkt. Beide Trennzeichen werden akzeptiert. Zur besseren Lesbarkeit werden Anschlusspunkte {p:n} mit Doppelpunkt getrennt. Alle restlichen Parameter werden durch Semikolon getrennt. Parameter können ohne Führungsnullen angegeben werden. Fehlenden Parametern wird Wert 0 zugewiesen. Ausgeführt wird ein Befehl durch CR, LF oder ein blank.

Antwort: Jede Antwort startet mit dem '<' Zeichen, gefolgt vom Kennbuchstaben (R, W, F oder L), einem '=' Zeichen, Vorzeichen, Messwerten, CR und LF. Um die Zeichen auch mit einer SPS leicht einlesen zu können, wird der Wert (n5...n1) einer Antwort mit Führungsnullen gesendet. Eine Ausnahme besteht beim Lesen des Datenloggers, hier werden führende Nullen unterdrückt.

15.3 Softwaretreiber

Ein Softwaretreiber soll die allererste Kommunikation mit der SMMU einleiten mit !pas-99 !aaa. Diese Sequenz erzwingt den PowerUp-Zustand der SMMU unabhängig von der Vorgeschichte. Softwaretreiber sollen grundsätzlich bei jedem Befehl alle Fehlerarten zulassen und weiterleiten. Der Vollduplexbetrieb bringt Geschwindigkeitsvorteile in zeitkritischen Anwendungen, siehe 20.1.2.

15.3.1 Terminalmodus

Zur Inbetriebnahme und zu Testzwecken kann die SMMU mit !cod5;1 in den Terminalmodus geschaltet werden. Bestimmte Befehle funktionieren nur im Terminalmodus. Zur Formatierung auf dem Bildschirm werden LineFeeds gesendet, zusätzlich erfolgt die Ausgabe lesbarer Texte.

Bei Antworten mit Fehlern wird mit BEL kurzzeitig der Beeper aktiviert.

Im Terminalmodus sendet die SMMU im Antwortstring ganz am Ende zusätzlich ein ETX.

Zur Bedienungsvereinfachung kann mit der Blank-Taste der zuletzt ausgeführte Befehl wiederholt werden.

Der Terminalmodus wird beendet mit !cod5;0 oder !aaa.

15.3.2 Timeout beim Warten auf eine Antwort

Die SMMU antwortet auf einfache Befehle innerhalb von 300ms.

Ein Plaustest dauert bis zu 3 Sekunden, abhängig von der Anzahl der Multiplexer.

Bei der Triggermessung sind, abhängig von den Messparametern, Antwortzeiten bis zu 30 Sekunden pro Loggerblock möglich. Der Hostrechner benötigt eine angepasste Struktur zur Timeoutüberwachung.

15.3.3 Antwort mit Kennbuchstabe R (Return)

Ist der Kennbuchstabe ein 'R', wird in n5...n1 der Wert (-32768 ... +32767) übertragen.

Das Telegramm endet mit CR und LF.

<	R	=	±	n5	n4	n3	n2	n1	{cr}	{lf}
---	---	---	---	----	----	----	----	----	------	------

15.3.4 Antwort mit Kennbuchstabe F (Fehler)

Ist der Kennbuchstabe ein 'F', wird in f5...f1 die Fehlernummer (0 ... +32767) übermittelt. Das Telegramm endet mit CR und LF.

<	F	=	+	f5	f4	f3	f2	f1	{cr}	{lf}
---	---	---	---	----	----	----	----	----	------	------

15.3.4.1 Fehlertabelle

Fehlernummer f5...f1	Bedeutung
00000	Kein Fehler! Bei Triggermessung: Der Loggerblock enthält gültige Messwerte
00001	Befehl unbekannt
00002	Parameter nicht erlaubt (außerhalb Bereich, doppelt verwendet) Sequenzfehler bei der schnellen Triggermessung
00003	Anschlusspunkt nicht konfiguriert oder Kombination nicht möglich
00004	Befehl nur im Terminalmodus möglich
00005	Befehl nur für Hersteller erlaubt
00006	Timeout
00009	Firmupdate nicht korrekt durchgeführt
00010	Bei !kta oder !ktb ist Widerstand RDUT>1MΩ
00011	Kelvin-Kontaktfehler am Signalpaar SSn / Sn
00012	Kelvin-Kontaktfehler am Signalpaar SSp / Sp
00013	Kelvin-Kontaktfehler am Signalpaar SFn / SSn (SVGn SupplySense)
00014	Kelvin-Kontaktfehler am Signalpaar SSp / SSp (SVGP SupplySense)
00015	Messwertüberlauf (Overflow)
00016	Bei SMU350: CMV (CommonModeVoltageViolation), Messverstärker übersteuert, Gleichtaktspannungsbereich überschritten, fehlende oder falsche GTA
00017	Negativer Widerstand, defekte Hardware, AB4-Zählfehler
00018	HRADC overdrive bei hochauflösender Messung (±12% ist zulässig)
00019	Plausfehler: MINIPORT Kelvin-Kontaktfehler an SFP0/SSP0 oder SFN0/SSN0
00020	Plausfehler: +30V Spannungsversorgung außerhalb Toleranz
00021	Plausfehler: +15V Spannungsversorgung außerhalb Toleranz
00022	Plausfehler: +12V Spannungsversorgung außerhalb Toleranz
00023	Plausfehler: +5V Spannungsversorgung außerhalb Toleranz
00024	Plausfehler: +3,3V Spannungsversorgung außerhalb Toleranz
00025	Plausfehler: -9V Spannungsversorgung außerhalb Toleranz
00026	Plausfehler: -12V Spannungsversorgung außerhalb Toleranz
00027	Plausfehler: GND-Level außerhalb Toleranz
00028	Plausfehler: REF1V6 außerhalb Toleranz
00029	Plausfehler: ZDAC außerhalb Toleranz
00030	DAC0 außerhalb Toleranz
00031	DAC1 außerhalb Toleranz
00033	SVGN SupplySenseError SSN-INTERN, Hardwarefehler
00034	SVGP SupplySenseError SSP-INTERN, Hardwarefehler
00040	Temperatur im Mikrocontroller > 70°C
00042	Kurzschluss zwischen MBSFP und MBSFN, Hardwarefehler
00050	Triggermessung: Messdaten konnten nicht ausgewertet werden
00051	Triggermessung: Anzahl der Messungen ist > 32767
00052	Triggermessung: Überlauf bei DCavg-Addition
00053	Triggermessung: Kein Analogwert gemessen, Messpuls <100us
00056	Triggermessung: Phasenmessung zu geringer U- oder I-Amplitudenhub oder Störungen durch hohe Messbandbreite oder fehlendes Rauschstromfilter, Die Err56 Fehlererkennung benötigt Triggereinstellung >1 oder <-1, die Analogwerte der Messung werden unabhängig von Err56 gemessen.
00057	Triggermessung: Trigger ≠0 erforderlich bei Messart 1, 2, -1
00058	Befehl nicht möglich mit aktueller Systemeinstellung, siehe 15.3.4.2
00059	Die angesteuerte Hardwareoption V oder H fehlt
00061	Triggermessung: Load&Arm, ADC-Überlauf bei Referenzmessung 1
00062	Triggermessung: Load&Arm, ADC-Überlauf bei Referenzmessung 2
00063	Triggermessung: Load&Arm, ADC-Überlauf bei Referenzmessung 3
00064	Triggermessung: Load&Arm, ADC-Überlauf bei Referenzmessung 4 Der negative Offset ist zu hoch und kann nicht verarbeitet werden.
00098	Triggermessung, Statureintrag im Logger: Loggerblock / Loggerzelle ist leer,

<i>Fehler f5...f1</i>	<i>Bedeutung</i>
00110	MUX275 Adr. 1 Plausfehler allgemein
00111...00118	MUX275 Adr. 1 Plausfehler an AP Nr. 1...8 (lokal)
00120	MUX275 Adr. 2 Plausfehler allgemein
00121...00128	MUX275 Adr. 2 Plausfehler an AP Nr. 1...8 (lokal)
00130	MUX275 Adr. 3 Plausfehler allgemein
00131...00138	MUX275 Adr. 3 Plausfehler an AP Nr. 1...8 (lokal)
00140	MUX275 Adr. 4 Plausfehler allgemein
00141...00148	MUX275 Adr. 4 Plausfehler an AP Nr. 1...8 (lokal)
00150	MUX275 Adr. 5 Plausfehler allgemein
00151...00158	MUX275 Adr. 5 Plausfehler an AP Nr. 1...8 (lokal)
00160	MUX275 Adr. 6 Plausfehler allgemein
00161...00168	MUX275 Adr. 6 Plausfehler an AP Nr. 1...8 (lokal)
00170	MUX275 Adr. 7 Plausfehler allgemein
00171...00178	MUX275 Adr. 7 Plausfehler an AP Nr. 1...8 (lokal)
00180	MUX275 Adr. 8 Plausfehler allgemein
00181...00188	MUX275 Adr. 8 Plausfehler an AP Nr. 1...8 (lokal)
00240...00255	Reserviert für Hersteller

15.3.4.2 Beschreibung Err58

Bei unpassenden Einstellungen reagiert das Betriebssystem mit Err58. Dieser Absatz gibt Hinweise, welche Einstellungen oder Parameter angepasst werden müssen.

!mia und !mib

Im Strommodus !sip können Systemkomponenten bei langandauernden Strommessungen im unpassenden Messbereich überlastet werden. Bei Auslösung von Err58, den Messbereich !bia anpassen an den eingestellten Konstantstrom oder eine andere Messung wählen.

1. Die Standardmessung !mia kann im Strommodus uneingeschränkt verwendet werden.
2. Bei der hochauflösenden Standardmessung !mia wird gegebenenfalls Err58 ausgelöst.
3. Bei der Triggermessung !mib wird gegebenenfalls Err58 ausgelöst.
4. Die schnelle Stromtriggermessung !cod9;1 !mib !ain99 ist im Strommodus generell gesperrt, Err58 wird ausgelöst.

!san1

ILIMIT kann nur im Spannungsmodus !sup eingestellt werden. Im Strommodus wird Err58 ausgelöst.

!nul

Der Phasennullabgleich benötigt grundlegende Voreinstellungen.

1. Triggermessparameter U_MESSART=-1 wählen
2. Wellengenerator muss aktiv sein
3. Strommodus !sib!/sip ist nicht möglich, Spannungsmodus !sup wählen

15.3.5 Antwort mit Kennbuchstabe W (Wert)

Ist der Kennbuchstabe ein 'W', enthalten die Zellen n5...n1 die Mantisse (Ma) des Messwerts (-32768 ... +32767). Durch ein Semikolon getrennt, wird in den Zellen Eh2 und Eh1 die zugehörige Einheit übertragen. Das Telegramm endet mit CR und LF.

<	W	=	±	n5	n4	n3	n2	n1	;	Eh2	Eh1	{cr}	{lf}
---	---	---	---	----	----	----	----	----	---	-----	-----	------	------

15.3.5.1 Einheitentabelle

Die übertragene Maßeinheit ist codiert in den Zellen Eh2 und Eh1. Die Messwertberechnung kann mit den angegebenen Umrechnungsformeln erfolgen. Folgende Werte sind definiert:

Code (Eh)	Einheit
00	1 µV
01	10 µV
02	100 µV
03	1 mV
04	10 mV
05	100 mV
06	1 V
Messwertberechnung: Ma * 10 ^(Eh-6) Volt	
09	100 pA
10	1 nA
11	10 nA
12	100 nA
13	1 µA
14	10 µA
15	100 µA

Code (Eh)	Einheit
16	1 mA
17	10 mA
Messwertberechnung: Ma * 10 ^(Eh-19) Ampere	
19	100 µΩ
20	1 mΩ
21	10 mΩ
22	100 mΩ
23	1 Ω
24	10 Ω
25	100 Ω
26	1 KΩ
Messwertberechnung: Ma * 10 ^(Eh-23) Ohm	
30	1 °C

Code (Eh)	Einheit
39	100 ns
40	1 µs
41	10 µs
42	100 µs
43	1 ms
44	10 ms
Messwertberechnung: Ma * 10 ^(Eh-46) Sekunden	
61	1 KHz
98	Bei Triggermessung: Kein Wert gemessen
99	Ohne Einheit
200...	Messkennungen der
299	HRADC Messung

15.3.6 Antwort mit Kennbuchstabe L (Logger)

Messergebnisse der Triggermessung werden aus den Loggerblöcken gelesen. Die Reihenfolge ist identisch wie im Loggerblock 13.3. Die Maßeinheiten orientieren sich an der Einheitentabelle. Führende Nullen werden unterdrückt.

Beispiel: !lrd0;2

Lese Loggerblock 0 bis 2

Antwort: <L=0;98;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0#1;98;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0#2;98;0;0;0;0;0;0;0;0;0;0{cr}{lf}

16 Befehle

Die Funktionsansteuerung der SMMU erfolgt mit 2 Befehlssorten:

1. Low-level-Befehle, hier wird das ausgewählte Detail angesteuert und
2. Makrobefehle, hier wird eine Ablaufsequenz gesteuert, bestehend aus Low-level-Befehlen.

Für viele Sequenzen existieren Setz- und Löschbefehle; sie sind in den Tabellen **fett** eingerahmt. Bei asymmetrischer Verwendung bleiben Zwischenzustände im System stehen, die zu unerwünschten Resultaten führen können. Mit !aaa (Softreset) kann der stabile Grundzustand des Systems wiederhergestellt werden.

16.1 Allgemein

Protokoll Name	Befehl vom Host	Antwort SMMU	Beschreibung
Softreset, Einstellungen in den Grundzustand setzen: „Alles An den Anfang“	!AAA	<F={f}	MINIPOINT & MUX & Test-Matrix=HiZ, SVGN=HiZ, USVGP=0V, Löschen=0: AF-Schalter & SHORTSF & CLAMPSFN & FVGEN & BWHISVGP & BWHIMEAS sowie interne Ausgänge, Setzen=1: SSINTERN & SVGPEN & SAVEPOWER; Strommodus mit I=0, !cod5;0 Terminalmodus aus, !cod7;1 Blinker ein, !cod8;0 hochauflösende Messung aus, !cod9;0 schnelle Triggermessung aus, Ausgänge+Zähler löschen, FRQ+Wave Stopp, Parameterblöcke preset, V24-Schnittstellen bleiben unverändert, ermittelte RealAP = Anzahl der verfügbaren MUX275 DUT-AP im System. f = Fehlernummer siehe 15.3.4.1
Lesen RealAP	!LAP	<R={n}	n= 0, 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64 (wird ermittelt bei Reset und !aaa)
Setzen RealAP	!SAP	<F={f}	n= 0, 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64
Lesen Typ des Controller-Moduls	!TYP	<R={n}	<R=+00274 n=274: CTL274 (System SMMU05) oder <R=+00350 n=350: SMU350 (System SMMU07)
Lesen Seriennummer vom Controller-Modul	!LSN	<R={SER}	<R=+00243 Seriennummer 243
Lesen Hardware Modification Record, Controller-Modul	!HMR	<R={HMR}	<R=+00036 Hardwarebestückung Stand 36
Lesen Firmwareversion vom Controller-Modul	!VER	<R={VER}	<R=+00062 Firmwareversion 62
Calibration record lesen Controller-Modul	!CAL{x}	<R={CAL}	x=0: CAL=62 Die beim Abgleich vorhandene Firmwareversion VER x=1: CAL=1710 Das Kalibrierdatum im Format JJMM (2017 10)
Daten lesen aus Datenblock	!DRD188 !DRD190 !DRD192	<R={x} <R={y} <R={z}	x= Reseterkennung, siehe 3.3.2 y= Fehlercode vom letzten Befehl (Last error) z= Anzahl aufgetretener Fehler, löscherbar mit !DWR192;0
Daten schreiben in Datenblock	!DWR{x};{y}	<F={f}	Schreibe in Datenblockadresse x das Datum y f = Fehlernummer
Setzen digitalen Ausgang	!SET{x}	<F={f}	x=Portnummer, f = Fehlernummer 107=TRIG Testpin auf der Leiterplatte 117=LEDB grün Controller Front 137=LEDA grün Controller Front Blink-LED
Lösche digitalen Ausgang	!CLR{x}		
Zeitähler1&2 löschen, Zeitähler1 lesen, Zeitstempel1 lesen	!TSP{x} siehe 20.2	<F={f} <W={n};{e} <W={n};{e}	x=0: Zeitähler1 [1ms] und Zeitähler2 [100µs] auf 0 setzen x=1: Zeitähler1 lesen x=2: Zeitstempel1 lesen, wird bei Sensor- und Standardmessungen aktualisiert n=0...32767, e= Einheit [1ms] siehe 15.3.5.1 f = Fehlernummer
Definition der Anwenderschnittstelle V24.1 (default wie V24.0)	!COM{x};{y} siehe 20.1.1	<F={f}	x= 3: 300 Baud x= 6: 600 Baud x= 12: 1200 Baud x= 24: 2400 Baud x= 48: 4800 Baud x= 96: 9600 Baud x= 192: 19200 Baud x= 1152: 115200 Baud y= 1 oder 2 Stoppbit im Sender, Empfänger hat immer 1 Stoppbit, 8 Databit fix, no parity fix, f = Fehlernummer
Wartezeit	!WAI{x}	<F={f}	x= Wartezeit in ms (0...32767) f = Fehlernummer
V24.1-Schnittstelle wird von V24.0 angesteuert, eine Kaskadierung über mehrere SMMU ist möglich	!PAS{x} siehe 20.1.1	Keine Antwort	x = Zielnummer der kaskadierten V24-Schnittstelle (1, 2, 3, 4...) + / - = Aufbau / Abbau der V24-Kaskadierung x=+1 SMU350 Modul 1 Schnittstelle V24.1 wird aktiv/passiv x=+2 SMU350 Modul 2 Schnittstelle V24.1 wird aktiv/passiv ...

16.2 Terminalmodus

Protokoll Name	Befehl vom Host	Antwort SMMU	Beschreibung
Terminalmodus	!COD5;{x} siehe 15.3.1	<F={f}	x=0/1: Terminalmodus aus/ein (diverse zusätzliche Textausgaben) default=0
Hilfe	!HLP siehe 2.15	Daten in ASCII	Anzeige von Systemtyp und Hersteller, Controller Seriennummer, Firmwareversion+Rev, CAL, HMR und RealAP Befehl funktioniert nur im Terminalmodus.
Anzeige Plauswerte Contoller-Modul	!JJJ2 siehe 10.9	Daten in ASCII	Überprüfung: Betriebsspannungen Controller-Modul, CPU-Temperatur, ZDAC, MINIPORT SupplySense-Status, erster Teil des Plauustests, Befehl funktioniert nur im Terminalmodus.
Plausibilitätstest am MUX-x	!JJJ1x0 siehe 10.9	Daten in ASCII	Einzeltest Oktalmultiplexer auf MUX275 mit Adresse x = 1...8 Zugehörige AF-Schalter müssen vorher manuell gelöscht werden. Befehl funktioniert nur im Terminalmodus.
Schnittstellentest V24.1	!JJJ24	Daten in ASCII	Brücke an Schnittstelle V24.1 TXD-RXD wird geprüft, Befehl funktioniert nur im Terminalmodus.
Softreset	!AAA	<F={f}	Softreset, u. a. Terminalmodus ausschalten f = Fehlernummer siehe 15.3.4.1

16.3 AUXIO

NF-Frequenzausgabe an FRQ	!SSF{x} siehe 4.9	<F={f}	x=15...12543Hz (x= 0, Frequenzausgabe aus) f = Fehlernummer
HF-Frequenzmessung	!MHF siehe 4.3	<W={n};{e}	Messe DUT-Hochfrequenz über Vorteiler DIV252 n=0...7000, e= Einheit [KHz]
Sensormessung	!AIN{x} siehe 4.4 und 4.5	<W={n};{e} bei Fehler: <F={f}	x=4...7 Sensoreingang AINx x=15 Sensoreingang TEMPEXT Temperatur extern n = Messwert; e = Einheit nach Tabelle [mV], [°C] f = Fehlernummer Befehl mit Zeitstempel und AB4-Zählerstempel
AB4-Zähler setzen, AB4-Zähler lesen, AB4-Zählerstempel lesen	!CNT{x};{n} siehe 4.6	<F={f} <R={n} <R={n}	x=0: Zähler auf Wert n setzen, Zählfehler löschen x=1: Zähler direkt lesen, Zählfehler löschen x=2: Zählerstempel lesen, wird bei Sensor- und Standardmessungen aktualisiert n= -32768...0...+32767 f = Fehlernummer (17=Zählfehler)
Abfrage QUIT-Eingang	!QTK siehe 4.7	<R={n}	n=0: QUIT-Eingang nicht aktiv n=1: QUIT-Eingang aktiv Das Signal wird für den Abfragebetrieb um 100ms verlängert.
Abfrage -Digitaleingang	!DIN{x} siehe 4.3 und 4.6	<R={n}	x = Portnummer x = 6: SA x = 7: SB x = 24: FDUTDIV n=0: Eingang ist 0 n=1: Eingang ist 1 f = Fehlernummer
Setze digitalen Ausgang	!SET{x}	<F={f}	x = Portnummer x= 56: ENDIV, siehe 4.3 x= 57: FRQ, siehe 4.9 x= 127: PASS, siehe 4.8 f = Fehlernummer
Lösche digitalen Ausgang	!CLR{x}		

16.4 SPSIO

Schreibe SPS-Port x mit Wert y	!XPO{x};{y} siehe 6.5	<F={f}	x=1...8 je MUX-Karte ist 1 Output-Port mit 8 Bit möglich y=0...255 8-Bit Wert des Ausgangsports f = Fehlernummer
Lese SPS-Port x	!XPI{x} siehe 6.5	<R={n}	x=1...8 je MUX-Karte ist 1 Input-Port mit 8 Bit möglich n=0...255 8-Bit Wert des Eingangsports
Schreibe SPS-Ausgang x mit Wert y	!XSO{x};{y} siehe 6.5	<F={f}	x=1...64 pro MUX-Karte sind 8 Outputs möglich y=1 Ausgang aktiv y=0 Ausgang passiv f = Fehlernummer
Lese SPS-Eingang x	!XSI{x} siehe 6.5	<R={n}	x=1...64 pro MUX-Karte sind 8 Inputs möglich n=1 Eingang aktiv (stromführend) n=0 Eingang passiv

16.5 Firmware update

Download bootloader Controller-Modul	!DLF2 siehe 5	<F={f}	f=0 (kein Fehler) oder keine Antwort
Download firmware Controller-Modul	!DLF3 siehe 5	<F={f}	f=0 (kein Fehler) oder keine Antwort
Programmieranweisung Controller-Modul	!DLF5 siehe 5	<F={f}	f=9 (Wiederholen) oder keine Antwort

16.6 Multiplexer und MINIPORT

Protokoll Name	Befehl vom Host	Antwort SMMU	Beschreibung
geregelt DUT-Versorgung einschalten (SF- und SS-Matrix)	!SSV{p:n} siehe 3.7 siehe 6.2	<F={f}	Schaltet die DUT-Versorgung geregelt auf AP{p:n} an MINIPORT / MUX. Alle zuvor mit !SSV, !SPP oder !SPN aktivierten AP werden ausgeschaltet. Prüfungen auf korrekte SupplySenseExtern-Funktion !TST13 und !TST14 werden voreilend durchgeführt. p/n=0...RealAP f = Fehlernummer, f=0,13,14
geregelt DUT-Versorgung ausschalten	!RSV siehe 3.7 und 6.3		Schaltet die DUT-Versorgung aus durch Abschalten der Matrix. Aktiviert SSINTERN. Zwei Prüfungen auf korrekte Funktion von SupplySenseIntern werden durchgeführt. f = Fehlernummer, f=0,33,34...
Set Point Positive (SF-Matrix)	!SPP{p} siehe 6.3	<F={f}	Einschalten Optorelais SFPP auf MUX, p=1...RealAP f = Fehlernummer, f=0,3
Reset Point Positive	!RPP{p} siehe 6.3		Ausschalten Optorelais SFPP am MUX, p=1...RealAP f = Fehlernummer, f=0,3
Set Point Negative (SF-Matrix)	!SPN{n} siehe 6.3	<F={f}	Einschalten Optorelais SFNn auf MUX, n=1...RealAP f = Fehlernummer f=0,3
Reset Point Negative	!RPN{n} siehe 6.3		Ausschalten Optorelais SFNn am MUX, n=1...RealAP f = Fehlernummer, f=0,3
AF-Schalter auf MUX einschalten	!SAX{x} siehe 6.3	<F={f}	Einschalten Optorelais AFx auf MUX, x=1...RealAP f = Fehlernummer
AF-Schalter auf MUX ausschalten	!RAX{x} siehe 6.3		Ausschalten Optorelais AFx auf MUX, x=1...RealAP f = Fehlernummer
FVG einschalten, bei SMU350 (SS-Matrix)	!SFV{p:n} siehe 3.7.4	<F={f}	Der FVG wird verbunden mit MINIPORT/MUX SS{p:n}. Am MINIPORT werden auch die SF-Anschlüsse aktiviert. p/n=0...RealAP f = Fehlernummer
FVG ausschalten, bei SMU350	!RFV siehe 3.7.4		FVG intern trennen und SS-Matrix ausschalten. Beim MINIPORT werden auch die SF-Anschlüsse ausgeschaltet. f = Fehlernummer
Schalte ein Sensepaar auf den Messbus (S-Matrix) und auf den ADC	!PNS{p:n} siehe 6.3	<F={f}	Die Anschlüsse S{p:n} (MINIPORT / MUX) werden statisch aktiviert und im Controller bis zum ADC durchgeschaltet. Auch interne AP (negativ) sind aktivierbar. p/n=negativ, 0...RealAP f = Fehlernummer
Lösche Senseauf- schaltung	!PNR siehe 6.3		Beenden der !PNS Aufschaltung durch Abschalten der S-Matrix, Messverstärker auf GND. f = Fehlernummer
Schalte ein SupplySensepaar auf den Messbus (SS-Matrix)	!SSS{p:n} siehe 6.3	<F={f}	Die Anschlüsse SS{p:n} (MINIPORT / MUX) werden statisch aktiviert. Beim MINIPORT werden auch die SF-Anschlüsse eingeschaltet. p/n=0...RealAP f = Fehlernummer
Lösche SupplySense- aufschaltung	!SSR siehe 6.3		Beenden der !SSS Aufschaltung durch Abschalten der SS-Matrix, f = Fehlernummer
Setze digitalen Ausgang	!SET{x}	<F={f}	x=Portnummer, f = Fehlernummer x=105 (ENDMS), verbinde MINIPORT mit MBSP/N
Lösche digitalen Ausgang	!CLR{x}		x=106 (ENDMF), verbinde MINIPORT mit MBSFP/N & MBSSP/N x=60 (DISMUX) !set60, alle Schalter auf MUX275 werden hochohmig
Aktiviere Testmatrix (RT-Matrix)	!SRT{x} siehe 6.3	<F={f}	Aktiviere Test-Matrix an APx, max. 2AP pro Oktalmux, x=1...RealAP f = Fehlernummer
Lösche Testmatrix	!RRT siehe 6.3		Lösche Test-Matrix auf allen MUX275 f = Fehlernummer
Schreibe Messbus	!XWR{x};{y};{w} siehe 6.3.1	<F={f}	x= Moduladresse ADR (1..8) y= Adressoffset (0..15) y=5 Front-LED bei MUX275 w= Schreibdatum (0..255), f=0: ok; f#0: Fehlernummer 15.3.4.1
Lese Messbus	!XRD{x};{y}	<R={w}	x= Moduladresse ADR (1..8) y= Adressoffset (0..15) w= Lesedatum (0..255) f#0: Fehlernummer
MUX-Kartenkennung lesen, ab MUX275C	!XRD{x};4 siehe 6.3.1.3		w=255 Steckplatz leer, auch bei MUX275A und MUX275B w=127 bei MUX275C

16.7 DUT-Versorgung

Protokoll Name	Befehl vom Host	Antwort SMMU	Beschreibung
Aktivieren der DUT-Spannungsversorgung USUPPLY, Low-Level-Befehle für USVGP und ILIMIT sind anschließend möglich.	!SUP{x};{y} siehe 3.6.1	<F={f}	Versorgung des Prüflings mit Konstanzspannung x=-2300...+34000mV USUPPLY, (overdrive -2,5V...+36V) y=30...400mA Stromgrenze ILIMIT, wenn y<30, dann 30mA (overdrive 430mA)
	!SAN0;{xa} siehe 3.6.1	<F={f}	xa=0...26000mV schaltet in Bereich unipolar, (overdrive 28V), SAVEPOWER Port136 muss manuell gesetzt werden.
	!SAN1;{ya} siehe 3.6.1	<F={f}	ya=30...400mA Stromgrenze ILIMIT, Werte < 30mA vermeiden, da nichtlinear und der SVGP nicht mehr korrekt regeln kann, (overdrive 0...430mA). f = Fehlernummer siehe 15.3.4.1
USVGN variabel, bei SMU350	!SAN9 ;{za} siehe 3.6.1	<F={f}	za = 0...-8000 [mV], Spannung USVGN, (overdrive -9,2V) f=0 ok, n<>0: siehe Fehlermeldung
Aktivieren der DUT-Konstantstromversorgung ICONST im µA-Bereich	!SIB{x};{y} siehe 3.6.2	<F={f}	Versorgung des Prüflings mit Konstantstrom µA x=0...+10000µA Konstantstrom ICONST y=+1000...+26000mV Spannung bei offener Last, (overdrive 28V), wenn y<1000, dann wird 1000mV ausgegeben f = Fehlernummer
Aktivieren der DUT-Konstantstromversorgung ICONST im mA-Bereich	!SIP{x};{y} siehe 3.6.2	<F={f}	Versorgung des Prüflings mit Konstantstrom mA x=0...+400mA Konstantstrom ICONST, (overdrive 430mA) y=+1000...+26000mV Spannung bei offener Last, (overdrive 28V), wenn y<1000, dann wird 1000mV ausgegeben f = Fehlernummer
Start und Stop des Wellengenerators	!WAV{frq};{ampl};{offs};{form} siehe 3.6.3	<F={f}	frq = 1...3000, Frequenz in Hz, (overdrive 32767Hz) frq = 0, Generatorstop (bei Sinus am Periodenende) ampl = 1...26000, Amplitude Up in mV (overdrive 28V) offs = -2300...+26000 Wellenoffset in mV (overdrive -2,5...28V) form: 1 = Sinus, 150 = Rechteck f = Fehlernummer
Pulsetrain Rechteckpulsausgabe am SVGP	!PUT{un;tn;ta;w} siehe 3.6.7	<F={f}	un = 0...26000 [mV], Spannung Uneu, (overdrive 28V) tn = 1...32000 [µs], Spannungsausgabe Uneu für die Zeit tneu ta = 1...32000 [µs], Spannungsausgabe Ualt für die Zeit talt w = 1...32000, Anzahl der Puls Wiederholungen f=0 ok, n<>0: siehe Fehlermeldung
FVG einstellen, bei SMU350 (Option FVG)	!FVG{x};{y} siehe 3.6.9	<F={f}	Floating Voltage Generator einstellen x=0...9800mV, Spannung UFGV y=0...103KΩ, Innenwiderstand RIFVG f = Fehlernummer, 0: Option FVG vorhanden, 59: FVG fehlt

Setze digitalen Ausgang	!SET{x} siehe 3.5	<F={f}	x=Portnummer, f = Fehlernummer 33=REGGND (SVGN) 34=SSNLOCAL (SVGN) Rauschstromfilter, 42=SSINTERN 134=CLAMPFN (IREG), 135=SHORTSF 136=SAVEPOWER (SVGP) 140=SVGPEN, bei SMU350, nach Reset gesetzt 144=BWHISVGP, bei SMU350, nach Reset gelöscht
Lösche digitalen Ausgang	!CLR{x} siehe 3.5		

16.8 ICT

16.8.1 Messbereiche

Brummfiltreinstellung für Standardmessung	!HUM{y} siehe 9.1	<F={f}	y= 50, 60, 200Hz, d.h. Integrationszeit 20,00 / 16,67 / ~5ms Die Einstellung nach Reset ist 200Hz. f = Fehlernummer siehe 15.3.4.1
Bereich Diodensperrwiderstand	!BDS{x} siehe 10.5	<F={f}	Setze Messbereich für Messung Diodensperrwiderstand x=1...2, Messbereich BDS, f = Fehlernummer
Bereich Diodendurchlassspannung	!BDD{x} siehe 10.6	<F={f}	Setze Messbereich für Messung Diodendurchlassspannung x=1...10, Messbereich BDD, f = Fehlernummer
Bereich Widerstand geschlossen	!BRG{x} siehe 10.7	<F={f}	Setze Messbereich für Widerstandsmessung mit Thermospannungskompensation (Widerstand geschlossen) x=1...12, Messbereich BRG, f = Fehlernummer
Bereich Widerstand offen	!BRO{x} siehe 10.8	<F={f}	Setze Messbereich für Widerstandsmessung ohne Thermospannungskompensation (Widerstand offen) x=1...12, Messbereich BRO, f = Fehlernummer
Setze DUT-Anschlussart	!SLT{n} siehe 10.9	<F={f}	n=2 oder 4-Leiter Technik, steuert den Plaustest-Ablauf, 2=default f = Fehlernummer
Lese DUT-Anschlussart	!LLT	<R={n}	n=2 oder 4-Leiter Technik

16.8.2 Messungen

Protokoll Name	Befehl vom Host	Antwort SMMU	Beschreibung
Kelvin-Kontakttest mit Durchgangstest, Sensormessung	!KTA{p:n} siehe 10.3	<F={f}	f=0: Durchgang vorhanden zwischen AP{p:n} f=10: Unterbrechung (RD>~1MΩ) f=11, 12, 13, 14: Unterbrechungen der Kelvin-Kontaktierung Befehl mit Zeitstempel1 und AB4-Zählerstempel
Schneller Durchgangstest, Sensormessung	!KTB{p:n} siehe 10.4	<F={f}	f=0: Durchgang vorhanden zwischen SF{p:n} f=10: Unterbrechung (RD>~1MΩ) Befehl ohne Kelvin-Kontakttests Befehl mit Zeitstempel1 und AB4-Zählerstempel
Standardmessung Diodensperrwiderstand	!MDS{p:n} siehe 10.5	<W={n};{e} bei Fehler: <F={f}	Messe Widerstand zwischen AP{p:n im Bereich !BDS n = Messwert; e = Einheit siehe 15.3.5.1 f = Fehlernummer siehe 15.3.4.1 Befehl mit Zeitstempel1 und AB4-Zählerstempel
Standardmessung Diodendurchlassspannung	!MDD{p:n} siehe 10.6	<W={n};{e} bei Fehler: <F={f}	Messe Spannung zwischen AP{p:n} im Bereich !BDD n = Messwert; e = Einheit, f = Fehlernummer Befehl mit Zeitstempel1 und AB4-Zählerstempel
Standardmessung Widerstand mit Thermo- spannungskompensation	!MRG{p:n} siehe 10.7	<W={n};{e} bei Fehler: <F={f}	Messe Widerstand zwischen AP{p:n} im Bereich !BRG n = Messwert; e = Einheit, f = Fehlernummer Befehl mit Zeitstempel1 und AB4-Zählerstempel
Standardmessung Widerstand ohne Thermo- spannungskompensation	!MRO{p:n} siehe 10.8	<W={n};{e} bei Fehler: <F={f}	Messe Widerstand zwischen AP{p:n} im Bereich !BRO n = Messwert; e = Einheit, f = Fehlernummer Befehl mit Zeitstempel1 und AB4-Zählerstempel
Plausibilitätstest mit Sensormessungen	!PLA siehe 10.9	<F={f}	Es werden u.a. alle MUX275 DUT-AP bis RealAP überprüft. f = Fehlernummer

16.8.3 Messungen vom Prüfling getriggert

IVG-Parameter für Widerstandsmessung nach dem Schließen des DUT (Schalter)	!IVG{t};{s}; {d};{g} siehe 10.7.1	<F={f}	t: timeout (0...32000 ms) s: Triggerschwelle in Prozent des eingestellten Messbereichs, ab dem ein Schalter als offen deklariert wird (0...99%). d: Delay: (0...32000 ms) Nachdem der Messwert erstmalig die Triggerschwelle unterschritten hat, wird diese Zeit gewartet (Schalterprellen) g: Glättungsvorgabe in Promille vom eingestellten Messbereich (1...999 ‰). Nach Ablauf der Delayzeit werden die letzten beiden Messungen verglichen. Ist die Differenz kleiner als der Glättungswert g, wird der letzte Messwert ausgegeben, sonst wird bis timeout weitergemessen. f = Fehlernummer Befehl mit Zeitstempel1 und AB4-Zählerstempel
Standardmessung Widerstand nach dem Schließen des DUT zwischen den Anschluss- punkten {p} und {n} mit den IVG-Parametern	!IRG{p:n} siehe 10.7.1	<W={n};{e} bei Fehler: <F={f}	Der Befehl triggert auf das Schließen eines Schalters. Messe Widerstand des geschlossenen Schalters mit Parametern laut Befehl IVG zwischen den Anschlusspunkten {p:n} im Widerstandsbereich BRG mit Thermospannungskompensation n = Messwert; e = Einheit f = Fehlernummer (6 = Timeout) Befehl mit Zeitstempel1 und AB4-Zählerstempel
IVO-Parameter für Widerstandsmessung nach dem Öffnen des DUT (Schalter)	!IVO{t};{s} siehe 10.8.1	<F={f}	t: timeout (0...32000 ms) s: Triggerschwelle in Prozent des eingestellten Messbereichs, ab dem ein Schalter als offen deklariert wird (0...99%). f = Fehlernummer Befehl mit Zeitstempel1 und AB4-Zählerstempel
Standardmessung Widerstand nach dem Öffnen des DUT zwischen den Anschluss- punkten {p} und {n} mit den IVO-Parametern	!IRO{p:n} siehe 10.8.1	<W={n};{e} bei Fehler: <F={f}	Der Befehl triggert auf das Öffnen eines Schalters. Messe Widerstand des offenen Schalters mit Parametern laut Befehl IVO zwischen den Anschlusspunkten {p:n} im Widerstandsbereich BRO ohne Thermospannungskompensation n = Messwert; e = Einheit f = Fehlernummer (6 = Timeout) Befehl mit Zeitstempel und AB4-Zählerstempel

16.9 FKT

16.9.1 Messbereiche, Datenblockzugriff und Logger

Protokoll Name	Befehl vom Host	Antwort SMMU	Beschreibung
Brummfiltreinstellung für Standardmessung	!HUM{y} siehe 9.1	<F={f}	y= 50, 60, 200Hz, d.h. Integrationszeit 20 / 16,7 / ~5ms Die Einstellung nach Reset ist 200Hz. f = Fehlernummer siehe 15.3.4.1
Setze Messbereich Spannung	!BUA{x} siehe 12.2	<F={f}	Setze Messbereich für U-Messung !MUA und !MUB x= Messbereich BUA, f = Fehlernummer
Setze Messbereich Strom	!BIA{x} siehe 12.4	<F={f}	Setze Messbereich für Strommessung !MIA und !MIB x= Messbereich BIA, f = Fehlernummer
Data Read	!DRD{x} siehe 13.2	<R={n} bei Fehler: <F={f}	Lese aus Datenblockadresse x das Datum n f = Fehlernummer
Data Write	!DWR{x};{y} siehe 13.2	<F={f}	Schreibe in Datenblockadresse x das Datum y f = Fehlernummer
Logger lesen	!LRD{x};{y} siehe 13.3	bei Fehler: <F={f}	x: 0..63 Start mit Loggerblock y: 1..63 Ende mit Loggerblock y: x Ausgabe Loggerblock x # = Loggerblocktrennzeichen Einheit siehe 15.3.5.1 , f = Fehlernummer
<L={Logg.block x};{Status};{avg};{rms};{min};{max};{Einheit36}; {P8};{EinheitP8};{P10};{EinheitP10};{Timestmp2};{AB4Count} #{Log.block x+1}.....weitere Loggerblöcke ... {cr}{lf}			

16.9.2 Messungen

Standardmessung UDCavg zwischen S{p:n}, auch neg. AP	!MUA{p:n} siehe 12.2	<W={n};{e} bei Fehler: <F={f}	Messe Spannung im Spannungsbereich !BUA mit Brummfiter !HUM, n = Messwert, e = Einheit, f = Fehlernummer Zeitstempel1 und AB4-Zählerstempel
Standardmessung Systemspannungen massebezogen UDCavg	!MUV{n} siehe 12.3	<W={n};{e} bei Fehler: <F={f}	n=1 (GND), 2 (+3,3V), 3 (+5V), 4 (+12V), 5 (+15V), 6 (+30V), n=7 (-8V bei CTL274, -9V bei SMU350), 8 (-12V) USSP (SVGp): n=11..17 USSN (SVGN): n=21..27 mit Brummfiter !hum, n = Messwert; e = Einheit, f = Fehlernummer Zeitstempel1 und AB4-Zählerstempel
Standardmessung DUT- Versorgungsstrom IDCavg	!MIA siehe 12.4	<W={n};{e} bei Fehler: <F={f}	Messe DUT-Strom im Strombereich !BIA mit Brummfiter !hum, f = Fehlernummer Zeitstempel1 und AB4-Zählerstempel
Hochauflösende manuelle Messung	!HRA siehe 14.1	<F={f}	f = Fehlernummer Im Logger: Bitwerte HRADC, Zeitstempel1 und AB4-Zählerstempel
Triggermessung Spannung zwischen S{p:n}, auch neg. AP	!MUB{p:n} siehe 13.2.2	<F={f}	Triggermessung im Spannungsbereich !BUA f = Fehlernummer Im Logger: Zeitstempel2 und AB4-Zählerstempel
Triggermessung Versorgungsstrom ISUPPLY des DUT	!MIB siehe 13.2.3	<F={f}	Triggermessung ISUPPLY im Strombereich !BIA, f = Fehlernummer Im Logger: Zeitstempel2 und AB4-Zählerstempel
Triggermessung Phasen-Nullabgleich	!NUL{p:n} siehe 13.6.4.1	<F={f}	Phasen-Nullabgleich mit Messung der Generatorspannung f = Fehlernummer Im Logger: Zeitstempel2 und AB4-Zählerstempel
Hochauflösende Standard- messung aktivieren	!COD8;{h} siehe 14.2	<F={f}	h=0/1, Hochauflösende Standardmessung aus/ein, default=0 benötigt Option H, f = Fehlernummer
Schnelle Triggermessung	!COD9;{s} siehe 13.7		s=0/1, Schnelle Triggermessung aus/ein, default=0
Schnelle Triggermessung Messaufruf	!AIN99 siehe 13.7	<W={n};{e} bei Fehler: <F={f}	Schnelle Triggermessung U / I durchführen n = Messwert DCavg; e = Einheit, f = Fehlernummer Im Logger: Zeitstempel2 und AB4-Zählerstempel
CPU-Temperatur, Transferreferenz Sensormessung	!AIN9 !AIN16 siehe 10.9	<W={n};{e} <F={f}	n = Messwert; e = Einheit nach Tabelle siehe 15.3.5.1 Messe Transferreferenz P1V6 ~1600mV Zeitstempel1 und AB4-Zählerstempel
Einzelbefehle zum Test der Kelvin-Kontaktierung, Sensormessung	!TST{x} siehe 3.8	<F={f}	x=14, prüfe auf Kontakt SSp-SFp ok >> F=0 sonst F=14 x=13, prüfe auf Kontakt SSn-SFn ok >> F=0 sonst F=13 x=12, prüfe auf Kontakt SSp-Sp ok >> F=0 sonst F=12 x=11, prüfe auf Kontakt SSn-Sn ok >> F=0 sonst F=11
Setze digitalen Ausgang	!SET{x}	<F={f}	x=Portnummer, f = Fehlernummer SMU350 : 145=BWHIMEAS, Tiefpassfilter Messverstärker, siehe 3.5
Lösche digitalen Ausgang	!CLR{x}		!set145: 30KHz Grenzfrequenz !clr145 : 3KHz, Einstellung nach Reset

16.10 Ansteuerung nichtvorhandener Hardware

Die Firmware der SMMU ist abwärtskompatibel, d.h. auch eine SMMU05 (Baujahr 2004...2012) erhält durch ein Update neue Funktionen und Möglichkeiten im Rahmen der vorhandenen Hardware, siehe 1.2.

Die Tabelle zeigt die Reaktion des Systems bei Ansteuerung historischer oder nichtvorhandener Hardware.

System		SMMU05	SMMU07
<i>Modul</i>		<i>CTL274</i>	<i>SMU350</i>
<i>Ansteuerung</i>			
SVGN Ausgangsspannung		0V / 8V schaltbar !set33, !san9;0 USVGN=0V !clr33; !san9;<0 USVGN=-8V	0...-8V variabel mit !san9;za !set33 USVGN=0V !clr33 USVGN=-8V
Triggermessung !mub oder !mib mit AC-Koppelung, Messparameter TACPRECH#0		DC-Koppelung bleibt bestehen, keine Fehlermeldung	ja
SVGPEN SVGP Freischaltung	Port140	!clr140, keine Freischaltung Antwort F=0	!clr140, Freischaltung !set140, Normalbetrieb
BWHISVGP SVGP Tiefpassfilter	Port144	!set144, Tiefpass bleibt LO Antwort F=0	!clr144 LO !set144 HI
Die !wav und !put Rechteckausgabe		arbeitet immer mit Tiefpassfilter Stellung LO	arbeitet mit passend eingestelltem Tiefpassfilter
BWHIMEAS Messverstärker Bandbreite	Port145	!set145, Tiefpass bleibt bei 3KHz Antwort F=0	!clr145 3KHz !set145 30KHz
Err16, CMV Gleichtaktverletzung Messverstärker		keine Überwachung auf Err16	ja
Phasenmessung		Messfrequenz <50Hz, Phasenmessgenauigkeit nicht spezifiziert	>=1Hz
Option V Floating Voltage Generator FVG		nicht möglich, Err59	ja wenn nicht vorhanden, Err59
Option H Hochauflösender Wandler HRADC		nicht möglich, Err59	ja wenn nicht vorhanden, Err59

17 Integration der SMMU in ein Prüfsystem

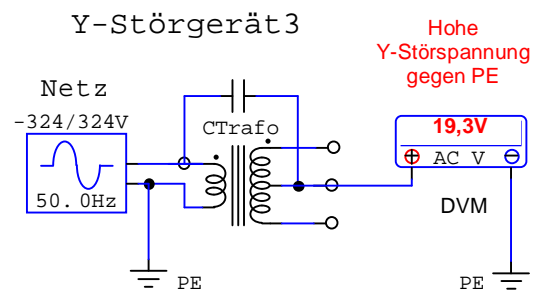
Dieser Abschnitt ist wichtig zur Sicherstellung einer korrekten Funktion der Gesamtsystems. Wir beschreiben ein zweistufiges Konzept zur Potentialanbindung der verschiedenen Komponenten im Prüfsystem:

1. **Y-Anbindung:** Über das Y-Ableitnetzwerk wird die Y-Reststörspannung einer Komponente auf <math><4V</math> gegen PE reduziert. Die Spannungen am offenen Multiplexer liegen jetzt im zulässigen Gleichaktbereich.
2. **Gleichtaktanbindung** im Prüfbetrieb: Erdspannungsdifferenzen zwischen den Komponenten werden Null. Die Biasstromableitung der Messverstärker wird realisiert.

17.1 Y-Störer

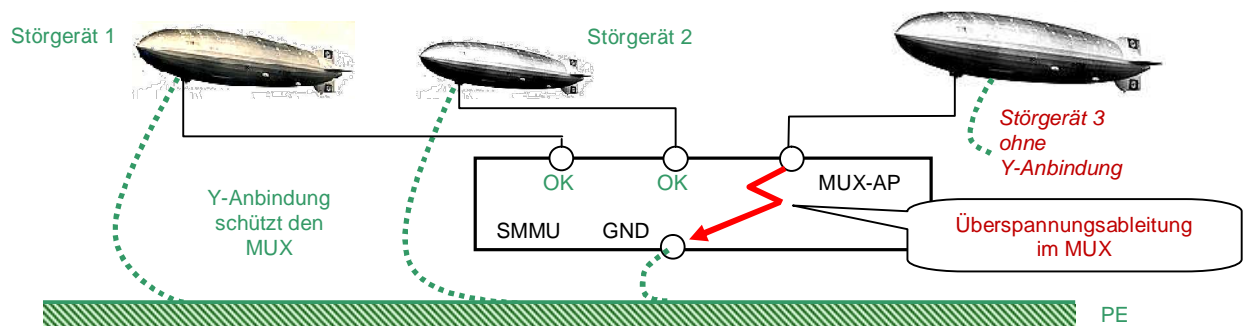
Das Potential (Gleichtaktspannung) einer elektrisch schwebenden Komponente gegen PE ist immer ungleich Null. Es besteht aus DC-Anteilen (Sammeln von vagabundierenden Elektronen) und AC-Anteilen (NF- und HF-Antennenwirkung). Wir sprechen von Gleichakttrauschen, asymmetrischen Störungen oder Y-Störungen, von Y-Störspannung und Y-Ableitstrom, der bei Kontakt in andere Komponenten fließt. Der AC-Anteil wird höher, wenn Komponenten fremdversorgt werden. Die Art der Störung ist abhängig von der Netzteilbauart: Trafonetzteile erzeugen niederfrequente Y-Störungen, Schaltnetzteile zusätzlich hochfrequente Y-Störungen. Die Höhe der Störung ist abhängig vom Schaltungsprinzip, der kapazitiven Koppelung und abhängig von der Einsteckrichtung des Netzsteckers in die Netzsteckdose. Störgerät 3 im Beispiel hat hohe Y-Störspannung:

Kleine passive Komponenten mit geringer Antennenwirkung, am besten abgeschirmt durch geerdete Bleche, sind so gut wie Y-störfrei. Der Übergang zur Störkomponente ist fließend. Auch der menschliche Körper ist durch seine Ausdehnung mit Antennenwirkung ein passiver Y-Störer, nachprüfbar durch Berühren des heißen Eingangs eines asymmetrischen NF-Verstärkers mit dem Finger; jetzt brummt es im Lautsprecher. Fehlmessungen durch Berühren von „heißen“ Messstellen sind bekannte Auswirkungen.



17.2 Y-Anbindung

Ein Luftschiff ist das ideale Beispiel einer schwebenden Störkomponente. Um die Gefahr einer statischen Entladung beim Landen zu verhindern, muss vorher das Hüllenpotential dem Erdpotential PE angeglichen werden. Das erfolgt durch eine hochohmige Schleppleine zur Erde. Das ist Y-Anbindung: Sie erzwingt eine geringe Y-Reststörspannung der Komponente gegen PE. Die Masse der SMMU liegt nahe am Erdpotential PE, die externen Störgeräte sind sozusagen landende Zeppeline, die am Multiplexer andocken und dabei keine Überspannungsableitaktion auslösen dürfen. Im Beispiel macht Störgerät 3 Ärger:



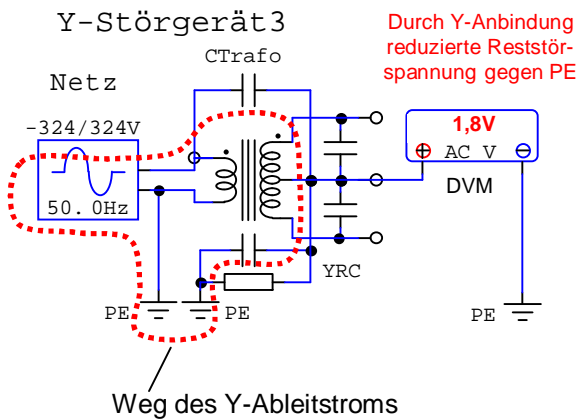
Offene Schalter des Multiplexers sind hochohmig und ohne Y-Anbindung dem vollen Potential des Störgeräts ausgesetzt. Enthält ein Multiplexer mechanische Relaiskontakte, sind Spannungen bis 200V meist kein Problem. Der vollelektronische Multiplexer der SMMU arbeitet dagegen nur im Bereich von $-12...+30V$ gegen Masse, höhere Spannungen werden durch Ableitdioden begrenzt. Werden im Ableitfall gleichzeitig Messungen an anderen MUX-AP durchgeführt, sind Querbeeinflussungen möglich.

Um das zu verhindern, muss jede Störkomponente mit einer geeigneten Y-Anbindung ausgestattet sein. Um Erdschleifen zu vermeiden, darf nur eine Komponente direkt geerdet werden. Deren Y-Reststörspannung ist so gut wie Null. Bei mehreren Komponenten sind hochohmige Anbindungen nötig. Das führt zu geringen Y-Reststörspannungen gegen PE, die der MUX verkraften muss.

Die zu wählende Variante der Y-Anbindung ist abhängig von der Verschaltung während des Prüfens, wenn die Komponenten über den MUX galvanisch verbunden werden (17.5 Gleichaktanbindung): Strommessungen am Prüfling können u.U. Y-Ausgleichströme enthalten und Messknoten durch Y-Ableitströme belastet werden. Durch gute Wahl der Anbindung können Störeffekte minimiert werden.

Variante	Y-Anbindung
YD	Direkte galvanische PE-Anbindung für Y-Reststörspannung ~ NULL, siehe 17.4.
YRC	Anbindung an PE über Widerstand mit Parallelkondensator (z.B. 10MΩ/1nF 100V), für mehrere Komponenten im System mit gleichem DUT-Spannungsbezug.
YVC	Fliegende Anbindung an PE über Varistor etwa 47V@1mA mit Parallelkondensator, für Komponenten, die im Betrieb auf unterschiedlichen DUT-Potentialen arbeiten müssen, z.B. DVM, DAM, Netzteil...
YF	Floating, Keine PE-Anbindung, für Y-störrarme Komponenten wie: Elko, Widerstand, DVM mit Akku, passiver (abgeschirmter) DUT...

Störgerät 3 mit korrekter Y-Anbindung:



Das YRC-Ableitnetzwerk sorgt für die DC-Entladung des schwebenden Störgeräts gegen PE und reduziert die AC-Anteile auf den zulässigen Wert der Y-Reststörspannung. Bei hohem Entstörbedarf sind auch mehrere symmetrisch angeordnete Ableitungen sinnvoll, z.B. von jedem Anschluss der Trafosekundärwicklung nach PE. Die Bauteile der Y-Anbindung sind möglichst direkt am Ort der Einkoppelung anzulöten (Trafoanzapfung) oder am Potential mit dem größten Kapazitätsbelag (Schaltungsmasse). Bei ungünstig gewähltem Anschlussort der Y-Anbindung fließen Ableitströme u.U. durch störepfindliche Elektronik und bewirken Fehlfunktion.

An die Anschlusspunkte der SMMU dürfen nur Y-störrarme Komponenten angeschlossen werden: Mit einer Y-Störwechselspannung gegen PE < ±4Vp, siehe 2.16.1.

Die AF-Anschlüsse am MUX sind mit Varistoren gegen Systemmasse ausgerüstet. Daran angeschlossene externe Geräte erhalten so automatisch die Funktionalität einer YVC-Anbindung. Eine zusätzliche Y-Anbindung von externen Komponenten an den AF-Schaltern ist deshalb meist nicht erforderlich.

17.3 Komponenten im Prüfsystem

Testergehäuse und Testadapter: Zur Abschirmung soll das Gehäuse elektrisch leitfähig sein, es wird zusätzlich direkt geerdet. Metallteile des Testadapters sollen geerdet werden.

SMMU-Netzteil: Das Gehäuse soll geerdet werden. Der Minuspol der Versorgungsspannung soll mit PE verbunden werden, das sorgt für die komplette Ableitung des Y-Störstroms an PE. Eine alternative Erdung des Pluspols wird nicht empfohlen, um Materialwanderung bei Feuchtigkeit zu vermeiden.

SMMU: Die SMMU enthält Y-störende DCDC-Converter und ist mit einer fliegenden Anbindung YVC ausgestattet. Damit die Y-Anbindung funktioniert, ist der PE-Anschluss extern zu erden.

Externe DVM und DAM: Häufig besteht die Forderung, dass sie beim Messen am DUT auf unterschiedlichen Potentialen eingesetzt werden sollen. Bei Y-Störern ist dann eine Varistoranbindung YVC korrekt. Für sensible Messungen müssen Y-störrarme Geräte mit Schirmwicklung im Netzteil oder Akkugeräte verwendet werden; die Y-Anbindung ist dabei immer YF (floating).

Externer Oszillograf: Die Y-gestörte Oszillografenmasse ist meistens geräteseitig mit PE verbunden. Das ist die direkte Anbindung YD, die einmal im System vorkommen darf.

Externe Netzteile, Generatoren und Kraftmessverstärker: Gehören meist zu den Y-Störern und benötigen eine Y-Anbindung. Die Analog erfassung erfolgt über Sensoreingänge an AUXIO oder über MUX.

Motion controller sind nach Möglichkeit galvanisch von der SMMU zu trennen. Digitalsignale über Optokoppler isolieren.

Prüflinge: Y-störrarme Komponenten können angeschlossen werden: Passive und abgeschirmte Teile, wie Widerstand, Kondensator, Spule, Trafo mit geerdetem Kern, Schalter, LED, Batterie, Akkusatz, Elektronikteil... Besteht die Gefahr einer statischen DUT-Aufladung oder gehört der Prüfling zu den Y-Störern, ist eine Entstörung durch YD-, YRC- oder YVC-Anbindung nötig.

Prüflinge sind bevorzugt potentialfrei! Bei geerdeten Prüflingen siehe 17.4.2.

17.4 Erdpositionen

Die direkte Erdung (YD-Anbindung) realisiert die geringsten Y-Störspannungen, erzeugt gleichzeitig aber auch die höchsten Erdströme (Y-Ableitstrom). Eine direkte Erdung erfolgt z.B. durch zwingend geerdete Fremdgeräte, die dem Prüfsystem parallelgeschaltet sind. Wir unterscheiden drei verschiedene Erdpositionen, von denen jeweils nur eine realisiert werden darf.

17.4.1 AP-Erdung

In manchen Anlagen existiert eine Erdung am Masseanschluss des Nadeladapters. Prinzipiell kann ein beliebiger AP geerdet werden. In Verbindung mit dem Plaustest (siehe 10.9) ist aber nur der jeweils erste AP eines OktalMultiplexers freigegeben zur Erdung. Das ist AP1, 9, 17, 25, 33, 41, 49 und AP57. Der Plaustest ist ausgelegt auf Immunität gegen System-Erdströme nur an diesen AP.

Bei der Erstellung der Messrezepte ist Sorgfalt notwendig, um den evtl. störenden Einfluss der Erdströme bei Messungen zu minimieren:

ICT an geerdeten AP müssen speziell programmiert werden. Als Beispiel dient !cta{APp:APn}:

- APp ist der unempfindliche, KALTE Anschluss am SVGP. Er soll am geerdeten AP liegen. Erdströme über diesen AP stören nicht.
- APn ist der sensible, HEISSE Anschluss am SVGN. Er soll am nicht geerdeten AP liegen.

Auch beim FKT sollen die Prüfsequenzen so arrangiert werden, dass störende Y-Ableitströme über die AP-Erdverbindung nicht mitgemessen werden.

17.4.2 DUT-Erdung

Bei Prüflingerdung kann ein beliebiger AP geerdet werden. Für ICT und FKT gelten die Regeln nach 17.4.1.

Bei großen Transformatoren wird z.B. über den hohen Kapazitätsbelag von Wicklung gegen Kern eine Y-Ableitung hergestellt, die einer Prüflingerdung nahekommen kann.

Beim Plaustest gibt es keine Einschränkungen, da er nur im dekontaktierten Zustand erfolgt. Dabei ist auch die Erdverbindung zum Prüfsystem abgetrennt.

17.4.3 SMMU-Erdung

Wenn ein Prüfling erdfrei ist, kann die Masse der SMMU geerdet werden. Die Erdströme stören nicht, da über die Prüflingsanschlüsse kein Erdstrom fließt. Die Erdung kann erfolgen am MINIPORT oder an AUXIO durch eine Brücke von GND nach CASE (PE). Eine Erdung an mehreren Stellen ist zu vermeiden, da störende Erdschleifströme entstehen können.

17.5 Gleichtaktanbindung GTA

Für korrekte Messungen muss zwischen Prüfsystem und Prüfling immer ein Massebezug bestehen. Diese Gleichtaktanbindung (GTA) sorgt für die Fixierung der Gleichtaktspannung am Messverstärker. Bei ICT-Messungen wird der Prüfling von der SMMU gespeist, die GTA ist dadurch automatisch hergestellt und Messungen funktionieren einwandfrei. Bei Funktionstests muss die GTA vom Anwender manuell geschaltet werden. Speziell bei Spannungsmessung wird eine fehlende GTA leicht übersehen!

Hintergrund: Ein normales asymmetrisches Messsystem für Spannungsmessung hat 2 Messanschlüsse: Masse und den aktiven Eingang. Werden beide Anschlüsse kontaktiert, kann korrekt gemessen werden.

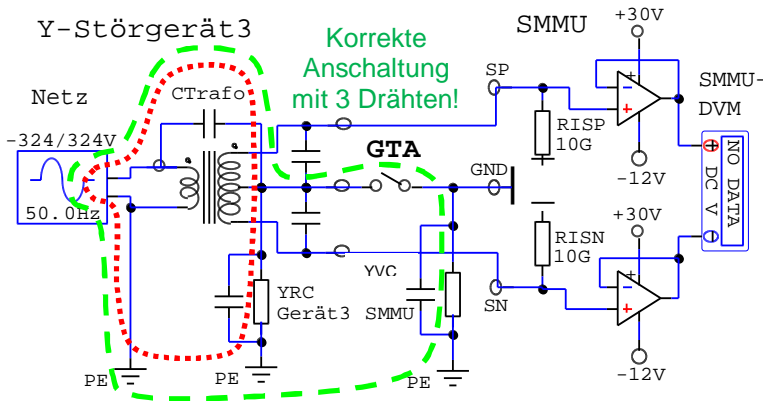
Die SMMU verwendet ein hochwertiges differentielles Spannungsmesssystem mit 3 Anschlüssen: Masse und zwei hochohmige aktive Eingänge. Gemessen wird die Differenz zwischen den zwei aktiven Eingängen.

Über den wichtigen Masseanschluss wird die GTA zum Prüfling hergestellt.

Äquivalent verhält sich eine Stereoanlage mit 2 Cinch-Steckern für den linken und den rechten Audiokanal. Wird die Masse unterbrochen, brummt es in beiden Lautsprechern. Die Differenzspannung (Uli-Ure) enthält wenig Brumm, die Verstärker können aber übersteuern und das Nutzsignal verfälschen.

Wichtig: Differentiell arbeitende Messsysteme erfordern eine 3-Draht Anschaltung.

Für die Gleichtaktanbindung gibt es nur eine Variante: Die möglichst niederohmige Anbindung der externen Komponente an ein geeignetes Potential des Prüfsystems, fest verdrahtet oder geschaltet über MUX. Über die GTA können sich die unterschiedlichen Y-Reststörspannungen der Komponenten niederohmig ausgleichen. Die Gleichtaktpositionierung des Prüflings muss so gewählt werden, dass die Spannung an jedem AP im Gleichtaktbereich von -8...+26V liegt, siehe 17.5.1.



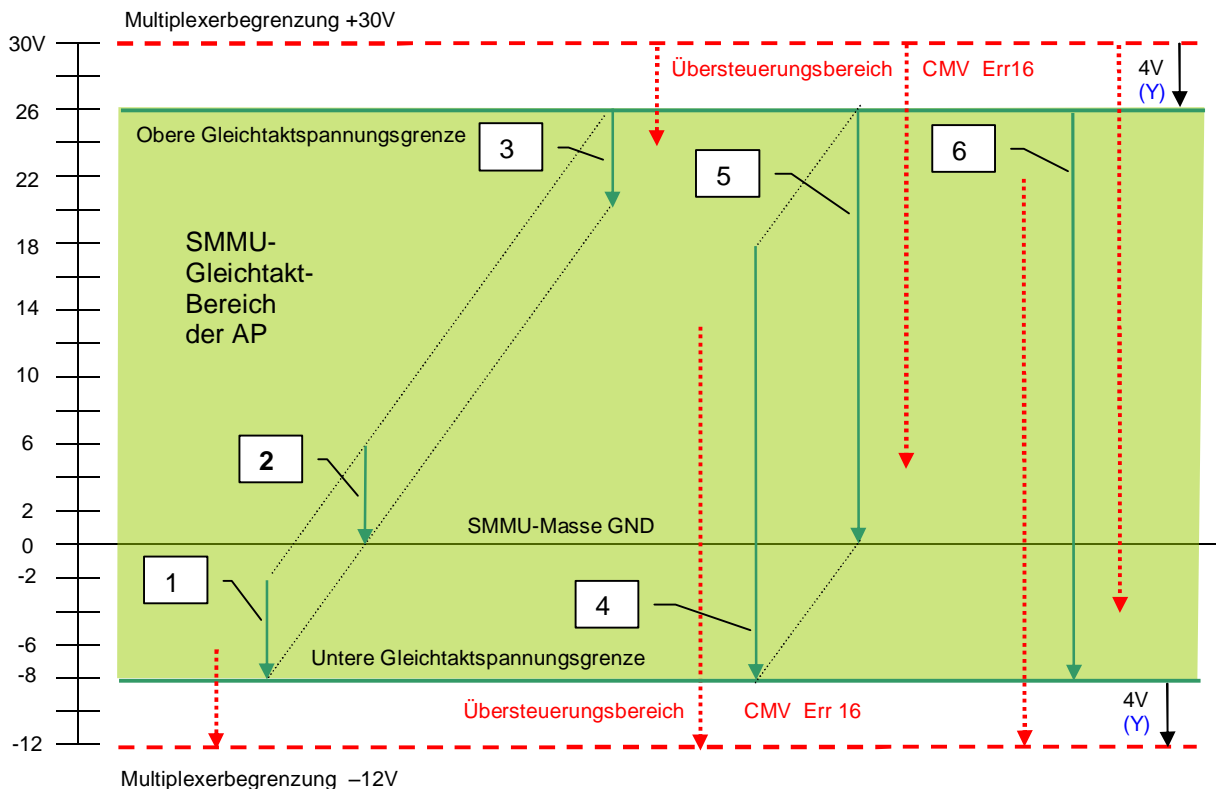
Im Beispiel wird DUT (Y-Störgerät 3) über Schalter GTA mit GND der SMMU verbunden. Dadurch wird die Gleichtaktspannung zwischen den Komponenten zu Null. Erst jetzt kann der Gleichtaktbereich der Messverstärkereingänge S komplett für die U-Messung verwendet werden. Ohne GTA floatet Störgerät3 gegen die SMMU und sorgt für Brumm am Messverstärker. Das ergibt u.U. unerkannte Fehlmessungen. Controller SMU350 hat Gleichtaktübersteuerungskomparatoren, bei grober Gleichtaktübersteuerung wird Err16 ausgelöst.

Der Y-Ableitstrom von Störgerät3 ist rot gepunktet dargestellt, der Y-Ausgleichstrom grün gestrichelt.

17.5.1 Gleichtakt Positionierung

Eine Spannungsquelle mit einer Y-Störrestspannung <4Vp (korrekte YRC-Anbindung) ist angeschlossen am MUX. Das Schaubild zeigt mögliche Positionierungen im Gleichtaktbereich der SMMU. Rote Messobjekte sind falsch positioniert und ergeben Fehlmessungen.

1	Quelle 6V mit Anbindung	MBAT an -8V	oder	PBAT an -2V	siehe nächstes Blatt
2	Quelle 6V mit Anbindung	MBAT an 0V	oder	PBAT an +6V	
3	Quelle 6V mit Anbindung	MBAT an +20V	oder	PBAT an +26V	
4	Quelle 26V mit Anbindung	MBAT an -8V	oder	PBAT an +18V	
5	Quelle 26V mit Anbindung	MBAT an 0V	oder	PBAT an +26V	
6	Quelle 34V mit Anbindung	MBAT an -8V	oder	PBAT an +26V	



Legende: (Y) Y-Reststörspannung

Messprogramm Beispiel 2

Ein externes Netzteil liegt am MUX: Pluspol an AF2, Minuspol an AF1. AP2:1 sind komplett verschaltet.

- !bua5 (Messbereich ±12V)
- !hum50 (Brummfilter 50Hz)
- !sup0;30 (SVGN 0V zur Gleichaktanbindung)
- !spn1 (SVGN über MUX Schalter SFN1 an AP1)
- !sax1 (AF1 schließen = Minuspol an AP1, das ist Gleichaktanbindung)
- !sax2 (AF2 schließen = Pluspol an AP2)
- !mua2:1 (Jetzt kann UDUT (+6V) korrekt gemessen werden, auch !mua1:2 (-6V) ist möglich)
- !rax2 (AP2 aus)
- !rax1 (AP1 aus, GTA zuletzt abschalten)
- !rpn1 (AP1 hochohmig)

Bei Gleichaktanbindung von externen Komponenten an die SMMU muss die geeignete Anbindespannung und die Art der Anbindung, fest oder geschaltet, an SVGP, SVGN oder GND, für jeden Fall definiert und im Testablauf programmiert werden. Vorteilhaft ist eine GTA am SVGP oder an GND, der störende Y-Ausgleichstrom wird nicht mitgemessen, da in diesen Anschlüssen kein Strommessgerät existiert. Bei Gleichaktanbindung über den SVGN wird bei Strommessungen der Y-Ausgleichsstrom zwischen den Komponenten mitgemessen, siehe 21.15.1.

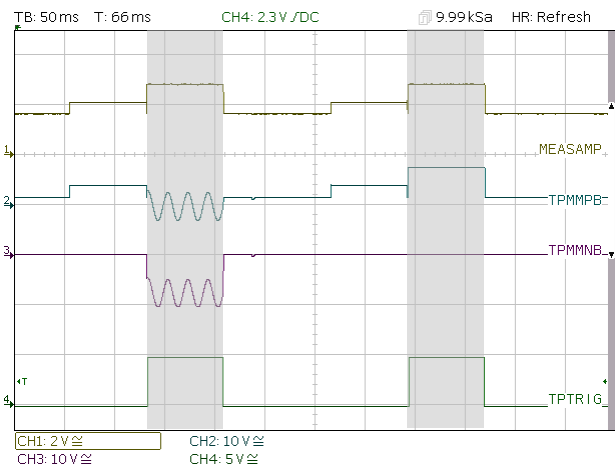
Bei Stromquellenbetrieb ist eine GTA am SVGP (kalt) vorteilhaft, da am SVGN (heiß) die hochohmige Stromquelle aktiv ist.

17.5.2 Überprüfung

Korrekte Gleichaktanbindung wird überprüft mit einer Oszillografenmessung an den Testpins MMPB und MMNB gegen Systemmasse. Getriggert wird über Testpin TRIG. MEASAMP ist das Eingangssignal des ADC.

Das Oszillogramm zeigt links eine U-Messung mit fehlender Gleichaktanbindung. Die Signale MMPB und MMNB brummen, bei Berührung der Messanschlüsse verschieben sich die DC-Pegel. MEASAMP ist die Differenz und brummt nicht, gemessen wird deshalb scheinbar korrekt. Die Messung ist generell instabil; wenn der Brumm zunimmt, wird Err16 ausgelöst.

Das Oszillogramm zeigt rechts eine U-Messung mit korrekter Gleichaktanbindung, hier an Systemmasse. MMPB und MMNB liegen stabil und brummfrei innerhalb des Gleichaktbereichs von -8V...+26V. Bei Berührung der Messanschlüsse verschieben sich die DC-Pegel nicht.



17.5.3 Praxiserfahrung

In der Praxis kann eine fehlende Y-Anbindung oder eine fehlende Gleichaktanbindung leicht übersehen werden, da das System bei ersten Tests korrekt zu funktionieren scheint.

Eine fehlende Y-Anbindung in Systemen mit herkömmlichen Relaismultiplexern ist bedingt tolerabel. Wird eine GTA geschaltet, fließen Y-Ausgleichströme quer durch das Prüfsystem. Beim Einschalten sind Relaiskontakte und Prüfelektronik elektrostatischen Entladungen ausgesetzt, der Verschleiß ist überproportional.

Eine nicht programmierte oder fehlende GTA bei differentiellen Spannungsmessungen kann sich in der Praxis durch rätselhafte sporadische Messfehler oder Prüfversager bemerkbar machen. Dabei gilt, je höher der Eingangswiderstand des differentiellen Systemvoltmeters (also hochwertiges System) und je höher die Y-Störungen, desto mehr Prüfversager. Bei einem Messsystem mit kleinerem DVM-Eingangswiderstand ist die Anzahl der Prüfversager geringer, da der Y-Ausgleichstrom durch den kleinerem DVM-Eingangswiderstand fließt und dadurch die resultierende Gleichaktstörspannung geringer wird.

18 Gehäuse

18.1 Kunststoff



Die Aufstellfüße sind ausklappbar und können auch an den Seitenflächen des Gehäuses montiert werden; damit steht das Gehäuse senkrecht, 90° gedreht. Die Wandbefestigung erfolgt an den Wandlaschen mit 4 Schrauben M4 im Raster 305 x 150mm. Wandlaschen haben 15mm Überstand und können am Unter- oder Oberteil des Gehäuses angebracht werden.

18.2 Aluminium



Version G1 und G2 sind 19“-Kunststoffgehäuse ULTRAMAS19 von BOPLA in Schutzart IP30, rückseitig sind sie mit einer Aluplatte abgedeckt. **G1** hat die Abmessungen 290 x 210 x 110mm, Einbauraum 6H, 18T, 160mm tief. Es ist bestückt mit einem Messbus für 4 Steckpositionen = 48AP. Leere MUX275 Steckplätze werden mit Blindfrontplatten 6H 4T abgedeckt. Gehäuse **G2** (ohne Bild) hat Einbauraum 6H, 27T und wird für Systeme mit mehr als 48AP verwendet. Wandlaschen, Stell-/Klappfüße und Verbindungsstege zu weiteren Gehäusen können jederzeit unkompliziert ausgetauscht werden. Sie können an beliebigen Seiten montiert werden. Sie müssen bei einer Bestellung extra angegeben werden.



Gehäuse **G3** ist ein kundenspezifisches 19“-Aluminiumgehäuse Typ 267 von apranorm in Schutzart IP20. Es ist allseitig geschirmt. Die Rückfront besteht aus einer Aluminium-Teilfrontplatte mit leitfähiger Innenseite, die den leitfähigen Einbaurahmen vollflächig kontaktiert.

G3 hat die Abmessungen
H=268 B=164 T=232mm,
Einbauraum 6H, 28T, 160mm tief.

G3 wird bestückt mit einem Messbus nach Anforderung mit 2...6 Steckpositionen.

Die Klappfüße sind Standard, bei Nichtverwendung können sie einfach abgeschraubt werden. Die freiwerdenden Befestigungsbohrungen werden alternativ für Befestigungswinkel zur Wandmontage o.ä. verwendet. Bei dieser Montageart wird die obere Abdeckplatte mit identischen Bohrungen wie Bodenplatte ausgeliefert.

Die Belüftung erfolgt nach Anforderung über die schlitzgelochte Boden- / Deckplatte.

19 Gerätedetails

19.1 Bestellnummern für Kompletogeräte

Bestellnummer	aaA AP an MUX	ssS SPSIO	Anzahl der Module	Lieferumfang
SMMU07-00A	00A	00S	1	Leiterplatte SMU350 einzeln ohne Frontplatte
SMMU07-00AFXVH	00A	00S	1	Leiterplatte SMU350 einzeln mit Option F, X, V, H
SMMU07-aaAssSCXVH	siehe ↓	siehe ↓		Module ohne Frontplatten, Optionen, Messbus
SMMU07-aaAssSCFXVH				Module, Optionen, Messbus
SMMU07-aaAssSCFXVH-Gx				Module, Optionen, Messbus, Tischgehäuse Gx

aa = 08	08A	08S	2	
aa = 16	16A	08S	2	
aa = 24	24A	16S	3	
aa = 32	32A	16S	3	
aa = 40	40A	24S	4	
aa = 48	48A	24S	4	
aa = 56	56A	32S	5	32S möglich mit 4 Modulen MUX275-16AS
aa = 64	64A	32S	5	64S möglich mit 8 Modulen MUX275-08AS

Optionen: S (SPSIO), F (Frontplatte), X (Stecker POWER intern), V (Floating Voltage Generator), H (Hochauflösender Wandler HRADC), C (MUX275 Low Capacity Extension), G (Gehäuse)
 Lieferumfang: Stecker 350P1 POWER wird mitgeliefert, bei Option X auch Federleiste 350S2A.
 Netzteile sind separat zu disponieren.

19.2 Bestellnummern für Einzelteile

Teil	Lieferant	Bestellnummer	Bemerkung
Controller	jgfrank.de	SMU350 SMU350-FXVH	SMU350 einzeln mit separatem Stecker 350P1 POWER Optionen: F =19"-Teilfrontplatte 6H6T, X =Stecker X2A, V =FVG, H =HRADC
Multiplexer	jgfrank.de	MUX275-xxA MUX275-xxASCF	MUX275 einzeln mit xx= 08, 16 (Anzahl der DUT-AP) Optionen: F =19"-Teilfrontplatte 6H4T, S =SPSIO 8 In / 8 Out, C = Low Capacity Extension
Messbus	jgfrank.de	SMMU-BUSz	z=2...9 (Steckeranzahl) Flachkabel mit VG64ac-Federleisten im Raster 30mm
Zubehör Opt. X	distrelec.com	14372819	350S2A VG-D32 Federleiste Lötanschluss zum Einbau in Baugruppenträger
Netzteil 24V 1,3A	distrelec.com	16996505	PULS MiniLine ML30.100 24..28V 30W für 35mm Hutschienen-Montage zur Versorgung der SMMU
Primärschutz für 24V SPS	distrelec.com	13657283 13657284	Phoenix PT-BE/FM Basiselement für Hutschiene 35mm Phoenix PT2-PE/S-24AC-ST Schutzmodul steckbar 24V Typ3
HF-Vorteiler	jgfrank.de	DIV252	HF-Vorteiler für Frequenzmessung bis 7MHz
Stecker für HF-Vorteiler	distrelec.com	14312171	Pfostenbuchse 10pol für Flachbandkabel Raster 2,54mm Zum Bau eines Verbindungskabels SMU350 AUXIO an DIV252
LM35DZ	distrelec.com	17309057	Externer Temperatursensor von TI zum Anschluss an Stecker AUXIO
V24 Kabel PC-SMMU	jgfrank.de rs-online.com	SMMU-KABPC 777-621	V24 Standardkabel SubD9pol (1:1) female-male, vom PC an SMMU Schnittstelle V24.0, Länge 1,8m
DUT-Adapter mit sep. Kabel	jgfrank.de jgfrank.de	ADA309-SUBD KABxx-S37M-S37F	ADA309 mit Stecker SubD37male u.a. zum direkten Aufstecken auf MUX275 separates Kabel xxcm mit Stecker SubD37female + SubD37male an MUX275
DUT-Adapter mit sep. Kabel	jgfrank.de jgfrank.de	ADA309-PFO- W KABxx-S37M-P40F	ADA309 mit 40pol Pfostenstecker separates Kabel xx cm mit 40 pol Pfosten + SubD37m an MUX275
DUT-Adapter	jgfrank.de	ADA309-LPVxx- W	Mit LPverbinder & festem Kabel, Länge xxcm mit Stecker an MUX275
Winkelhalter	distrelec.com	15218472	Option - W : 10x Aluwinkel VERO173-253258D für ADA309 Hochkantmontage
PC-Programm	jgfrank.de	SMMU-Updater	SMMU_UpdaterVxx.exe für PC mit Windows 2000, XP, 7, 8, 10
Dokumentation	jgfrank.de	SMMU07-Datenblatt	SMMU07-Datenblatt
Dokumentation	jgfrank.de	SMMU07-TDOK-DEU	Technische Beschreibung in Deutsch Teil1 Originalbetriebsanleitung, Teil 2 Anwendungsberichte
Dokumentation	jgfrank.de	SMMU07-TDOC-ENG	Technical description in English, partial available
Dokumentation	jgfrank.de	SMMU07-HRADC	Ansteuerung und externe Auswertung HRADC (in Vorbereitung)

19.3 Gerätestand

Modul	Datum	Firmware Version VER	Hardware-stand HMR	Änderung / Erweiterung
CTL274A CTL274B	2004	01	-	SMMU-Ladeprogramm <i>Lader_V01.hex</i>
	20.05.2005	06	3	Serienstart System SMMU05
	18.07.2006		4	Boucheroffilter SVG optimiert
	28.08.2007		5	Stromreglerdämpfung erhöht
	04.02.2009		6	SVG-Filter optimiert
	30.07.2009		7	Triggermessung aktiviert
	19.12.2011		8	Stromregler treibt RLC-Lasten
	18.01.2013		9	Entstörung Kreis M12L
	11.11.2015		10	Phasenmessung
13.03.2017		11	SAVEPOWER langsames Schalten	
SMU350A SMU350B	2004	01	-	SMMU-Ladeprogramm <i>Lader_V01.hex</i>
	02.10.2012	51	22	Serienstart System SMMU07
	08.11.2012		23	Tiefpassfilter LPFCMV für Err16 hat Grenzfrequenz 1KHz
	25.01.2013		24	Entstörung Kreis M11L
	30.04.2013	52		Softwareanpassung
	12.07.2013		25	neuer Messbereich BIA12 ±200nA, Hardwareanpassung
	12.11.2013	53		Option V (FVG)
	31.01.2014	54		Offsetkorrektur 8Bit ADC Eingang TEMPEXT
	21.03.2014	55		Kelvin-Kontakttests bei !ssv erweitert
	28.05.2014	56		Ansteuerung der Test-Matrix mit !srt, !rrt
	31.03.2015	58		Brummfilter !hum, !mua mit neg. AP, Wellengenerator mit Rechteck
	01.06.2015		26	Masserausachen reduziert
	19.02.2016	60		Phasenmessung, Err57+58, Rauschstromfilter, Wartezeit !wai
	13.04.2016	61		Logger Autoincrement bei Schnellmessung, Kalibrierdatum
	13.03.2017		27	SAVEPOWER langsames Schalten
	30.03.2017	62		WAVSYNC, TRIGEXT, /GATETI, !wav ab 1Hz, !ssf ab 15Hz, tsp0, Option H (HRADC), !hra, !cod8, Err18, Err59
24.10.2017		28	Shuntspannungsbegrenzung reduziert von 1,5V auf 1V	
SMU350C	23.03.2017		35	Alle Frontstecker mit Verschraubung Messverstärker mit Eingangswiderstand ~20GΩ Tiefpassfilter LPFCMV für Error16 hat Grenzfrequenz 10KHz 2 neue Testpins: PHASE und MEASAMP Reseteingang an Stecker X2A neg. Messoffset erhöht bei !mib und !mub in BUA1
	24.10.2017		36	Shuntspannungsbegrenzung reduziert von 1,5V auf 1V
PC	2014	04		Updatemanager <i>SMMU_UpdaterV04.exe</i>
	16.02.2016	05	-	Updatemanager <i>SMMU_UpdaterV05.exe</i>
MUX275A MUX275B	08.06.2005	-	2	Serienstart Multiplexer
	29.08.2011	-	3	KS1 (Entstörung DCDC-Converter)
MUX275C	29.08.2011	-	11	KS1 (Entstörung DCDC-Converter)

19.3.1 Funktionsabdeckung

Im Rahmen der freigegebenen Strukturen sind keine Funktionseinschränkungen der SMMU bekannt.



Multi-Funktions-Testsystem

SMMU07

Source Measurement Multiplex Unit

Teil 2
Anwendungsberichte

JOCHEN + GEORG FRANK
INGENIEURBÜRO FÜR
HARD & SOFTWARE
SOPHIENSTR. 32
D-70178 STUTTGART

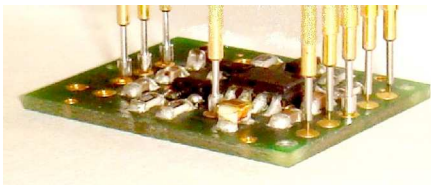
D&B D-U-N-S® Nummer 551003866
TEL +49 711 290909
FAX +49 711 292924
info@jgfrank.de
jgfrank.de

Teil 2 der Dokumentation enthält erprobte Anwendungsberichte der SMMU für viele Einsatzbereiche.

Das Beispiel zeigt den Test und den Einbau einer Kleinserie von Elektronikmodulen Frank ZWI360A.



Kontaktierung des Moduls mit Nadeladapter zum Test mit einer SMMU07-16AC.

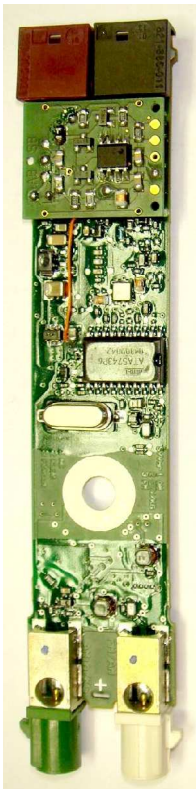


Messprotokoll ZWI360A HMR1 V02 Seriennr. 54

Testsystem SMMU07 SMU 350 SER 159 VER 62
 Multiplexer MUX275-16AC SER 82 AP 16

Bauteil	Messwert	tu	to
V1 Varistor	18,53 V bei 1 mA	17	21
	5,66 µA bei 12 V	1	10
L1 Spule Widerstand	7,3 Ω	4	10
P5VR Betriebsspannung	5,009 V	4,8	5,2
Modul Ruhestrom	18,6 µA	10	25
Modulstrom@RESET	0,6 mA	0,3	0,8
Modulstrom aktiv	0,889 mA	0,5	1,2
URA3 Rechnerpin /MCLR	5,009 V	4,8	5,2
IRA3 Resetstrom	0,36 mA	0,2	0,5
URA1 Rechnerpin	5,009 V	4,8	5,2
URA0 Rechnerpin DAC	0,000 V	-0,01	0,1
R1 Widerstand	22,16 KΩ	20	25
R2 Widerstand	227 Ω	200	250
ABUS Spannung passiv	5,009 V	4,8	5,2
ABUS Spannung aktiv	0,053 V	0,01	0,1
Rsbuipu extern	3,82 KΩ	3,5	4
SBUS Spannung passiv	12,027 V	11	13
SBUS Treiber aktiv	0,724 V bei 3,15 mA	0,5	0,9
SBUS Treiberstom max.	9,931 mA	9	12
SBUS Empfängerschwelle	3,66 V	3,4	3,9
K1+C1 Kapazität	109 nF	80	120
C3+V1 Kapazität	1,82 nF	1,5	2

Einbau des geprüften Moduls



geprüft am 12.2016 von G.Frank

Ingenieurbüro Jochen + Georg Frank * Sophienstr. 32 * 70178 Stuttgart

Mercedes-Benz Originalteil / Original Equipment

VERSTÄRKER Stück
 AMPLIFIER unit
 AMPLIFICATEUR unité
 AMPLIFICADOR unidad

1 1 1

A 166 820 15 89 X
 jgfrank.de Germany
 ZWI 360 000 054
 HMR01 V02 13.12.16
 e Parts

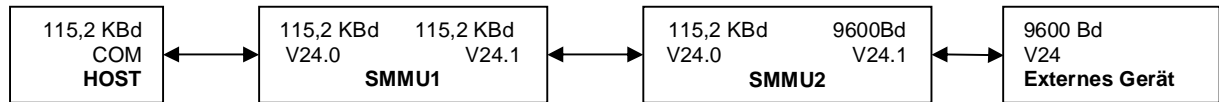
More information on <http://www.mercedes-benz.com>

Fertiges Kundengerät

20 Tipps & Tricks

20.1 V24-Schnittstellen

20.1.1 Schnittstellenkaskadierung



Mit Hilfe der Schnittstellenkaskadierung **!pas** kann der Host jedes Gerät in der V24-Kette anwählen und bedienen. Mit **!com** wird Schnittstelle V24.1 parametrisiert und mit **!pas1** aktiviert. Ist dort eine zweite SMMU angeschlossen, kann die Kaskadierung weitergehen. Die Baudrate eines kaskadierten Gerätes darf nicht höher sein, sonst entsteht Datenverlust. PAS-Befehle erzeugen keinen Antwortstring. PAS muss am Ende immer komplett abgebaut werden, bevor ein neuer PAS-Aufbau erfolgen kann. Der Abbau einer PAS-Kombination ist immer möglich mit PAS-x, wobei x auch größer sein kann als die Anzahl der real kaskadierten Systeme.

Wichtig: Um PAS-Strukturen zu beenden, muss **!pas-x** gesendet werden, ein **!aaa** wirkt nur lokal am angewählten Gerät.

- !com1152;1** (Schnittstelle V24.1 in SMMU1 programmieren auf 115,2KBaud 1Stoppbit)
- !pas1** (alle danach gesendeten Zeichen **PAS**sieren SMMU1 und erreichen SMMU2)
- !com96;1** (Schnittstelle V24.1 in SMMU2 programmieren auf 9600 Baud 1Stoppbit)
- !pas-1** (**pas1** komplett abbauen für Kommunikation PC mit SMMU1)
- !pas2** (die Befehle **PAS**sieren SMMU1 und SMMU2 erreichen das externe Gerät)
- ... (beliebige Befehle an das externe Gerät)
- !pas-2** (**pas2** komplett abbauen für Kommunikation PC mit SMMU1)

20.1.1.1 Schnittstellenkabel für Kaskadierung

Das Spezialkabel zur Schnittstellenkaskadierung zwischen 2 SMMU benötigt 3 Adern und soll als Beispiel für anderweitige Zielmodule dienen. Sende- und Empfangsleitungen sind vertauscht. Eine Kabelschirmung ist empfehlenswert aber nicht funktionsnotwendig.

Steckerpin	Steckerpin	Legende
BODY	BODY	Kabelschirm
2 (TXD)	3 (RXD)	Ser. Daten
3 (RXD)	2 (TXD)	Ser. Daten
5	5	Masse

In unserem Dauerlaufprüfstand bedienen wir mit solchen Kabeln bis zu 12 SMMU gemeinsam über eine zentrale Schnittstelle.



20.1.1.2 Prüflingsansteuerung via V24.1

Prüflinge mit serieller Schnittstelle können direkt von V24.1 mit der Schnittstellenkaskadierung angesteuert werden. Schnittstelle V24.1 ist potentialfrei mit hochohmiger YRC-Anbindung.

20.1.1.3 Schnittstellenkonverter

Nötige Pegelwandler oder Konverter können über die am Stecker V24.1 verfügbare 5V-Versorgung mit $R_i=110\Omega$ versorgt werden (Steckerpins 350X6.6 und .8 parallelschalten). Wird mehr Leistung benötigt, ist eine separate Speisung erforderlich.

20.1.1.4 Digitalmultimeter 34401A

Das 6½ stellige DMM (Hersteller: hp / Agilent / Keysight Technologies) verfügt über eine V24-Schnittstelle und wird mit einem 1:1 Kabel an SMU350 V24.1 angeschlossen. !com96;2 initialisiert die SMU-Schnittstelle, die auch im DMM mit aktivierter RS232-Schnittstelle eingestellt werden muss. Befehle zum DMM müssen vom Sender mit Pausen generiert werden, weil das DMM nach jedem Befehl eine Totzeit von bis zu 50ms benötigt. Es sperrt dazu die Schnittstelle über die Handshakeleitung, die SMU350 nicht abfragen kann. Kommt innerhalb der Totzeit ein neuer Befehl, reagiert das DMM mit ERROR, der Befehl wird nicht ausgeführt.

20.1.2 Vollduplexbetrieb oder Time overlay-Ansteuerung

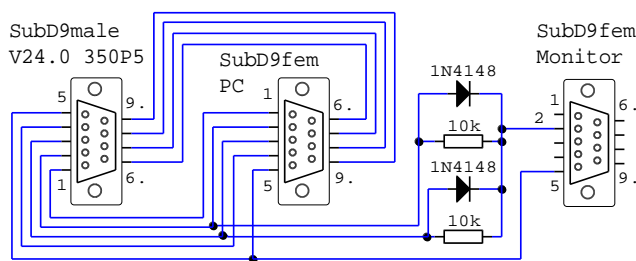
Die Kommunikation mit der SMMU folgt der Struktur: Befehl, Antwort (Halbduplexbetrieb). Es gibt nur wenige Befehle ohne Antwortstring.

Um Übertragungszeit zu sparen, können weitere Befehle schon vor oder während einer Antwort übertragen werden (Vollduplexbetrieb). Im Grenzfall wird der SMMU-Empfangsspeicher geflutet, die SMMU sendet handshake XOFF. Wenn wieder Speicherplatz zur Verfügung steht, wird XON gesendet. Befehle sind getrennt durch Blanks, CR oder LF. Dieses Verfahren wird auch bezeichnet als Time overlay-Ansteuerung.

Anpassungen im Ansteuer- und Treiberprogramm sind nötig. Befehle an die SMMU zwischen den Anweisungen *begin time overlay* und *end time overlay* werden im Vollduplexbetrieb ausgeführt. Auch die schnelle Matrixabtastung profitiert von diesem Verfahren, siehe 21.2.13.

Beispiel einer schnellen Befehlskette: *begin time overlay !ktb1:2 !ktb3:4 !ktb5:6 ... {CR} end time overlay*
 Die Ansteuerbefehle *!spp, !spn, !spn, !rpn, !sax* und *!rax* berücksichtigen die Schaltzeit der Optorelais nicht. Bei schnellen Ansteuerfolgen kann künstlich eine Pause mit *!wai* eingefügt werden.

20.1.3 V24-Monitor für Halbduplexbetrieb



Zur Aufzeichnung oder Kontrolle des Datenverkehrs auf der Befehlschnittstelle V24.0, wird diese Schaltung zwischen PC und SMMU gesteckt. Bei Vollduplexbetrieb entstehen fehlerhafte Zeichen, deshalb muss Halbduplex angesteuert werden (Neuen Befehl erst nach Antwort senden).

Am Monitorstecker wird aufgezeichnet:

```
!sup5000;50
<F=+00000
!ssv0;0
<F=+00000
!mua0;0
<W=+05003;03
!ain9
<W=+00034;30
...
```

20.2 Wegzähler und Zeitstempel

Bei ICT und den Messungen !ain4, 5, 6, 7, 9, 15, !mua und !mia wird der AB4-Wegzähler und Zeitzähler1 zwischengespeichert. Zeitstempel1 wird gelesen mit !tsp2.

Der AB4-Zählerstempel wird gelesen mit !cnt2.

Bei Triggermessungen !mub, !nul, !mib und !ain99 wird Zeitstempel2 und der AB4-Wegstempel im aktuellen Loggerblock gespeichert.

Überlauf von	Wegzähler:	...32766, 32767, -32768, -32767...	
	Zeitstempel1:	...32766, 32767, 0, 1, 2...	Auflösung 1ms, Überlauf nach 32s
	Zeitstempel2:	...65534, 65535, 0, 1, 2...	Auflösung 100µs, Überlauf nach 6,5s

Beispiel für die Differenzbildung von Zeitstempel2 mit max. einem Überlauf siehe 21.5.6.

Überlaufprobleme der Zeitstempel können entfallen, wenn die Zeitzähler mit !tsp0 gelöscht werden, siehe 21.5.7. Bei Zeitmessungen bis 30s ist eine Auflösung von 100µs möglich: Timestamp1 dient als Richtwert zur Berechnung der Anzahl Überläufe von Timestamp2. Die Auswertung von Timestamp2 liefert die Auflösung 100µs.

20.3 Multiplexer

20.3.1 Setzen von Kurzschlusskombinationen

Im FKT können Kurzschlüsse programmiert werden durch Befehlsfolgen wie `!spp1`, `!snp1`. Es fließt dann der programmierte Kurzschlussstrom, das System bleibt stabil. Vorsicht ist geboten beim Schalten von aktiven Komponenten. Hier sind die Kurzschlusspfade und die zu erwartenden Ströme oder induktiven Störspitzen unbedingt im Vorfeld zu klären und gegebenenfalls extern zu begrenzen.

20.3.2 AF-Schalter

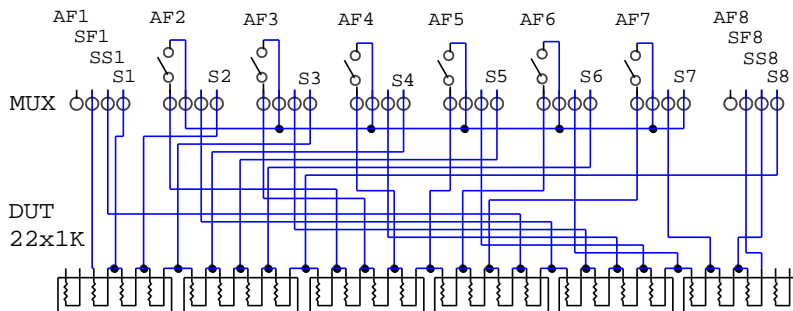
Über AF-Schalter können externe Geräte, Systempotentiale und Bauteile auf die AP des Prüflings geschaltet werden: Programmiergeräte, Stromversorgungen, Buskonverter, Messgeräte, Shuntwiderstände, Masse etc. Bei Bedarf können Kondensatoren über externe Widerstände schnellentladen werden, um die Prüfzeit zu verkürzen. AF-Schalter können verwendet werden, um den Prüfling digital zu stimulieren. Die Spannung an offenen AF-Schaltern darf bis zu $\pm 42V$ gegen Systemmasse betragen.

20.3.3 Dummy AP

Die Befehle `!sss` und `!pns` benötigen die Angabe von 2 Messstellen `{p:n}`. In bestimmten Programmiersituationen wird nur ein Parameter benötigt, der andere Parameter ist dann ein dummy AP. Als dummy AP eignet sich ein freier AP. Wenn alle AP belegt sind, kann ein dummy AP simuliert werden:

- `!lap` (Antwort ist z.B. `x=8`; AP1...8 sind RealAP)
- `!sap{x+8}` (dummy AP9...16 stehen zur Verfügung)
- `!sap{x}` (wieder korrigieren)

20.3.4 Maximalausnutzung eines Oktalmux



Das Schema zeigt die maximale Ausnutzung eines MUX mit 8 geteilten AP. Die DUT-Speisung erfolgt unregelmäßig über SF8 und SF1. Die Spannung an allen 23 DUT-Anschlüssen kann gemessen werden. An S1..S6+S8 erfolgt die U-Messung direkt. S7 funktioniert als Wurzel des manuell verschalteten Zusatzmultiplexers mit den Eingängen AF2..7. Über SS1..SS8 erfolgt die Messung der restlichen DUT-Anschlüsse.

Das Messrezept orientiert sich an 21.2.5.

DUT versorgen	<code>!sup22000;50</code>	<code>!snp1</code>	<code>!spp8</code>
Versorgung messen	<code>!hum50</code>	<code>!muv21 (0V)</code>	<code>!muv16 (+22V)</code> <code>!bia4 ($\pm 2mA$)</code> <code>!mia (+1mA)</code>
U-Messbereich definieren	<code>!bua6 ($\pm 24V$)</code>		
U-Messung an 21 DUT-Abgriffen gegen Bezugspotential MBSFN am Anschluss SF1:			
Messe S1:MBSFN bis S6:MBSFN	<code>!mua1:-48 (+1V)</code>	bis	<code>!mua6:-48 (+6V)</code>
Messe S8:MBSFN	<code>!mua8:-48 (+7V)</code>		
Messe AF2:MBSFN bis AF7:MBSFN	<code>!sax2</code> <code>!mua7:-48</code> <code>!rax2</code>	bis	<code>!sax7</code> <code>!mua7:-48</code> <code>!rax7</code>
Messe SS1:MBSFN bis SS7:MBSFN	<code>!sss1:8</code> <code>!mua-5;-48 (+14V)</code>	bis	<code>!sss7:8</code> <code>!mua-5;-48 (+20V)</code>
Messe SS8:MBSFN	<code>!sss8:1</code> <code>!mua-5;-48 (+21V)</code>		<i>(Kursiv: dummy AP)</i>

20.3.5 Adapterkennung

Beim Einsatz von mehreren Messadaptern im Prüffeld ist eine elektronisch lesbare Adapterkennung sinnvoll. Das Prüfsystem kann den Einbau des korrekten Messadapters überprüfen. Denkbar ist eine Widerstandskennung: 1; 2; 3K Ω ... Der Adapterkennwiderstand kann z.B. erfasst werden über MINIPORT; dort stört auch ein stationärer Anschluss den Plautest nicht. Ein Zweileiteranschluss ist ausreichend.

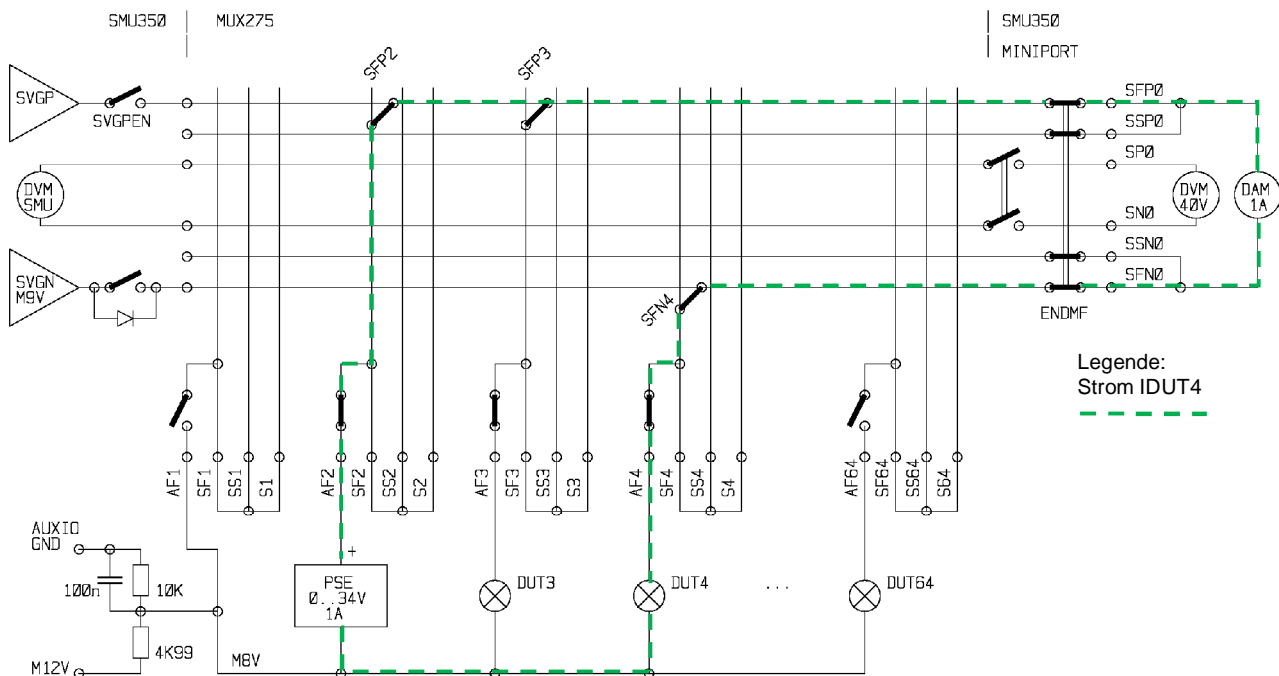
20.3.6 Matrix Fremdverwendung

Die Multiplexer der SMMU samt AF-Schalter können komplett oder partiell fremdverwendet werden, wenn die benötigten Messbuswurzeln im Controller freigeschaltet werden. Alle angeschlossenen Geräte müssen die Y-Störspannung der SMMU ($\pm 4V_p$) und die Gleichtaktspannungsgrenzen ($-8\dots+26V$) einhalten. Externe Quellen am MUX über AF-Schalter anschließen, dann ist das System plauertestkonform. Am MINIPORT dürfen nur potentialfreie Senken angeschlossen werden.

Matrix	Messbus-wurzel	SMMU-Verwendung	Hinweis	max. Strom	Innen-widerstand	Freischaltung (1)	Nutzung
SFP	MBSFP	SVGP		1A	$<1\Omega$!aaa !clr140 oder !ktb !clr140 (2)	!spp / !rpp und !set / !clr106
SFN	MBSFN	SVGN		1A	$<1\Omega$!aaa oder !ktb (2)	!spn / !rpn und !set / !clr106
SSP SSN	MBSSP MBSSN	SupplySense/ U-Messung/ FVG	paarweise schaltbar	5mA 5mA	2,2K Ω 2,2K Ω	!aaa oder !rfv !set42 !ssr	!ssr / !sss und !set / !clr106 (3)
SP SN	MBSN MBSN	U-Messung	paarweise schaltbar	5mA 5mA	2,2K Ω 2,2K Ω	!aaa oder !pnr	!pnr / !pns und !set / !clr105 (3)

- (1) Bei Reset und !aaa muss jeder erste AP eines Oktalmux hochohmig sein ($>3K\Omega$).
- (2) Bei !ktb{p:n} müssen die Anschlusspunkte {p:n} hochohmig sein gegen Systempotentiale ($>3K\Omega$).
- (3) Reihenfolge beachten, MINIPORT (!set/!clr105/106) zuletzt ansteuern.

Im Beispiel speist das externe Netzteil PSE 0...34V 1A die Verbraucher DUT3...64. Diese Einheiten sind am MUX angeschlossen. Am MINIPORT befindet sich ein externes DAM mit 1A Messbereich und ein DVM. Spannungsmessungen können alternativ auch mit dem DVM der SMU erfolgen. Die Gleichtaktanbindung von PSE erfolgt an -8V Systempotential über einen Spannungsteiler, der von AUXIO versorgt wird.



- Messbuswurzeln freischalten !aaa (SVGN,MUX,AF aus) !clr140 (SVGP aus) !san9;-9200 (USVGN -9,2V)
- DUT3 einschalten ohne DAM !sax2 (AF2 ein) !sax3 (AF3 ein) !spp2 (SFP2 ein) !spp3 (SFP3 ein)
- UDUT3 messen via SMU !sax1 (AF1 ein) !bua7 (34V) !hum50 (Brumm) !mua3:1 (UDUT3)
- DUT4 einschalten mit DAM !sax4 (AF4 ein) !set106 (ENDMF) !spn4 (SFN4 ein) IDUT4 messen
- UDUT4 messen via DVM !pns4:1 (Kanalwahl) !set105 (ENDMS) UDUT4 messen
- Alles ausschalten !rax4 (AF4 aus) !rax3 (AF3 aus) !rax2 (AF2 aus) !rax1 (AF1 aus)
- !rpn4 (SFN4 aus) !rpp3 (SFP3 aus) !rpp2 (SFP2 aus)

Die Messbusfreischaltung bleibt erhalten beim Schalten der Multiplexer und bei Spannungsmessungen mit der SMU. Weitergehende Befehle sind unzulässig, sie können die Freischaltung aufheben; unkontrollierte Kurzschlüsse und Überspannungen durch PSE am Messbus können das System beschädigen!

20.3.7 Test-Matrix

An jedem OktalMultiplexer kann über die Test-Matrix (!srt) der potentialfreie 50KΩ Testwiderstand Rtst aktiviert werden. Rtst liegt parallel zu den DUT-Anschlüssen und ist schaltbar von AP1..4 an AP5..8. Angeschlossen ist die SF- und S-Matrix, die SS-Matrix wird nicht verwendet, siehe MUX-Blockschaltbild 6.3.

20.3.7.1 Testwiderstand aktivieren und messen

Der 50KΩ Testwiderstand Rtst im MUX wird gemessen mit einem ICT an offenen MUX-Anschlüssen.

!srt1 (Rtst aktivieren z.B. an SF1:SF5, der Widerstand zwischen den SF-Anschlüssen beträgt

!srt5 etwa 52KΩ und kann extern als Last oder Vorwiderstand verwendet werden)

Da die SS-Matrix von Rtst nicht kontaktiert wird, entsteht bei den Kelvintests des ICT ein Abbruch mit Err13. Damit ICT ohne Kelvin-Kontakttests arbeiten, einen dummy FVG aktivieren an unbenutzten AP.

!sfv4:2 (dummy Floating Voltage Generator aktivieren)

!hum50 (Brummfilter auf 50Hz)

!bro11 (Messbereich 100KΩ)

!mro5:1 (messe Rtst 50KΩ)

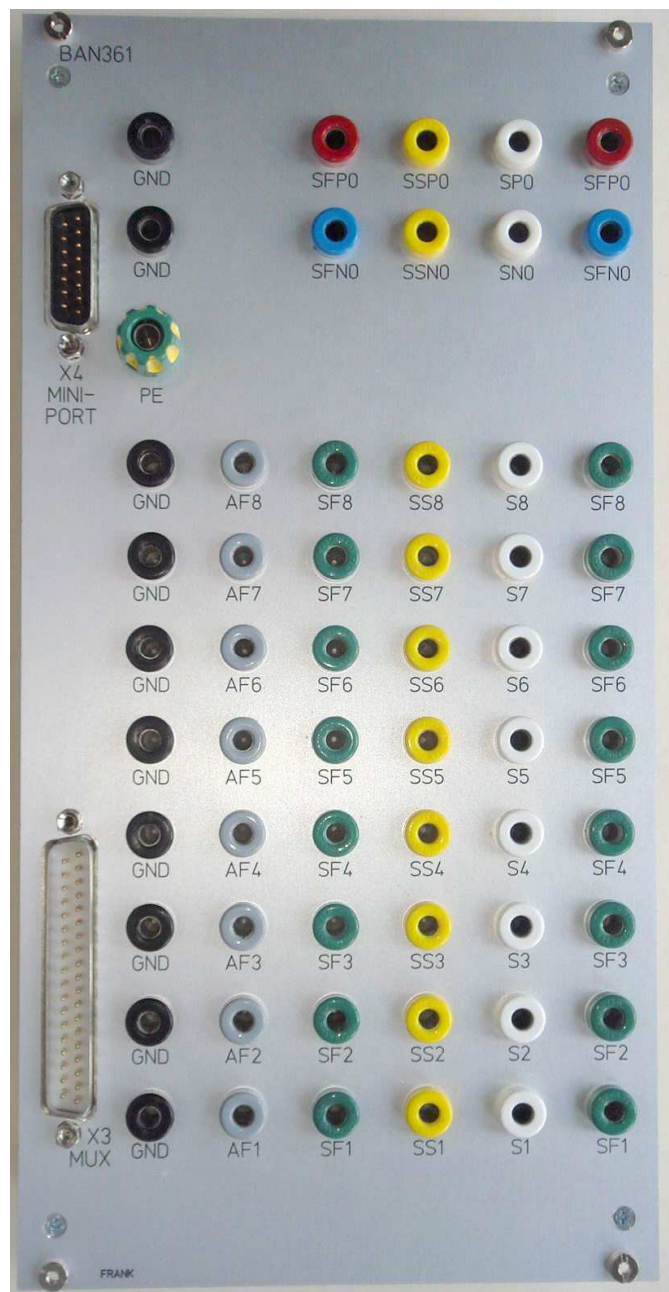
20.3.7.2 Verbindung zwischen SF und S herstellen

An einer offenen 4-Leiterkontaktierung besteht kein Kontakt zwischen den Anschlüssen SSSFx und Sx. Soll die Spannung von SSSFx an den Anschluss Sx übergeben werden, kann mit **!srt{x}** eine Verbindung (etwa 2KΩ) hergestellt werden. Der 50KΩ-Testwiderstand stört nicht, da !srt{x} den Widerstand nur einseitig kontaktiert. Damit kann z.B. ein externer Messverstärker, der an Sx angeschlossen ist, die Spannung an SSSFx messen.

20.4 Experimentaladapter

An MINIPORT und MUX können Experimente und Versuche im Labor und Prüffeld realisiert werden. Gut geeignet ist ein Testadapter mit 4mm Bananenbuchsen im Raster 19,05mm (¾ Zoll) für alle Anschlüsse.

Das Bild rechts zeigt unseren Laboradapter BAN361 für MINIPORT und einen Oktalmux, realisiert als 19"-Aluf frontplatte mit 6H 26T. Die Anschlüsse an die SMMU erfolgen über SubD-Flachdrahtsteckverbinder. Handelsübliche Kurzschlussbrücken können verwendet werden, um die Basisverdrahtung der Anschlusspunkte in 2- oder 4-Leitertechnik herzustellen. Der Prüflingsanschluss erfolgt über Kabel oder Klemmen.



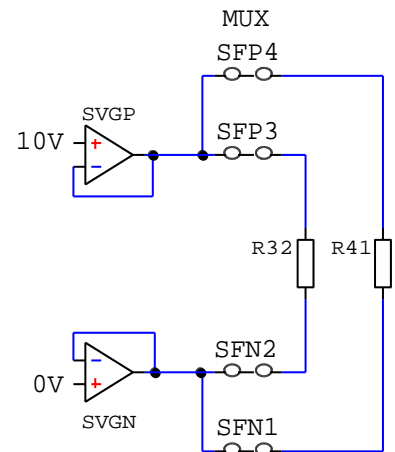
20.5 Versorgung des Prüflings

20.5.1 USUPPLY intern geregelt

Die Last wird von 4Q-Quellen differentiell versorgt:
 Positiv vom SVGP (-2,3..26V) und negativ vom SVGN (0...-8V).
 Die Strombegrenzung ILIMIT am SVGP ist einstellbar von 30...400mA,
 am SVGN ist die Strombegrenzung fest eingestellt auf ~480mA.

R41 und R32 intern geregelt versorgen:

- !sup10000;200 (SVGP 10V 200mA ILIMIT, SVGN 0V)
- !spn1 (MUX Schalter SFN1 ein, „DUT-Masse“ zuerst schalten)
- !spp4 (MUX SFP4 ein, R41 wird intern geregelt versorgt)
- !spn2 (MUX SFN2 ein)
- !spp3 (MUX SFP3 ein, R32 wird intern geregelt versorgt)
- !rsv (MUX SF- und SS-Schalter aus, R41 und R32 aus)

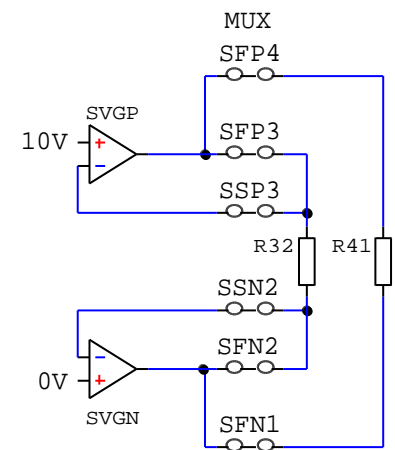


20.5.2 USUPPLY extern geregelt

R32 extern geregelt versorgen:
 !sup10000;200 (SVGP 10V 200mA, SVGN 0V)
 !ssv3:2 (R32 wird extern geregelt versorgt)

Parallel zur extern geregelten Versorgung von R32
 wird R41 unregelt versorgt:

- !spp4 (MUX Schalter SFP4 ein)
- !spn1 (MUX SFN1 ein, R41 wird intern geregelt versorgt)
- !rsv (MUX, SF- und SS-Schalter aus, R41 und R32 aus)



20.5.3 USUPPLY intern geregelt mit FVG

Der Floating Voltage Generator FVG ist optional lieferbar. Er wird beispielsweise verwendet zur Ansteuerung von Transistoren oder zur Speisung von Optokopplern. SVGP und SVGN werden ergänzt durch den FVG, es stehen dann 3 Versorgungen zur Verfügung.
 Der FVG wird über die SS-Matrix an die Last geschaltet. Die SVG können in diesem Fall nur intern geregelt verwendet werden.

R41 intern geregelt versorgen:

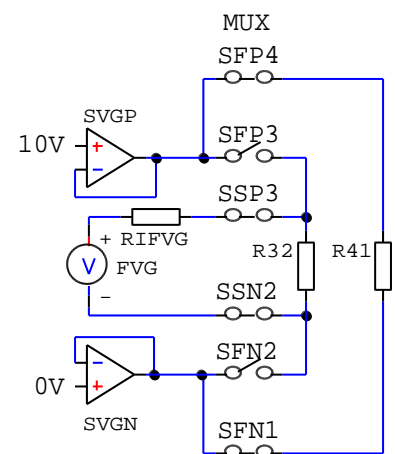
- !sup10000;200 (SVGP 10V 200mA, SVGN 0V)
- !spp4 (MUX Schalter SFP4 ein)
- !spn1 (MUX SFN1 ein, R41 wird intern geregelt versorgt)

R32 zusätzlich versorgen vom FVG:

- !fvg5000;3 (UFVG 5V RIFVG 3KΩ)
- !sfv3:2 (R32 wird vom FVG versorgt)
- !rfv (FVG aus, R32 aus)
- !rsv (R41 aus)

Diese Sequenz zeigt die Automatik von !ssv, !sfv und !rsv:

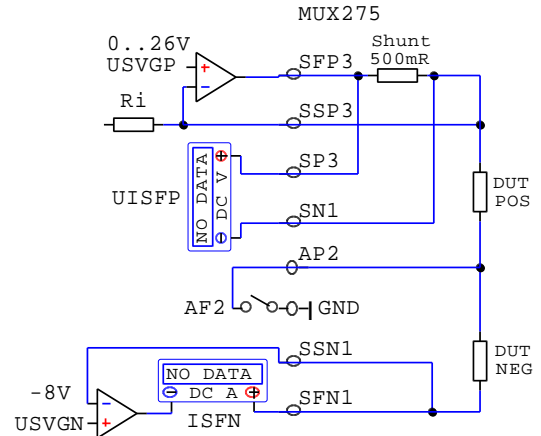
- !ssv4:1 (!ssv erkennt, dass FVG aus ist und schaltet eine extern geregelte Versorgung an R41)
- !sfv3:2 (Versorgung R41 wird autom. umgeschaltet auf intern geregelt, R32 wird vom FVG versorgt)
- !rsv (da FVG aktiv ist, schalten nur die SF-Schalter aus, R41 aus; die SS-Schalter bleiben aktiv)
- !ssv4:1 (!ssv erkennt, dass FVG aktiv ist und schaltet eine intern geregelte Versorgung an R41)
- !rfv (FVG aus, R32 aus)
- !rsv (R41 aus)



20.5.4 USUPPLY und Prüfling mit Massebezug

Wird die Prüflingsmasse (über Schalter AF2) an Systemmasse GND gelegt, kann der Prüfling mit pos. und neg. Spannungen versorgt werden. Der SVGP liefert -2,3...26V mit Stromgrenze ILIMIT, der SVGN liefert 0...-8V mit fixer Stromgrenze 480mA. Der Strom von DUTPOS wird erfasst über den externen Shunt zwischen SFP3 und SSP3, der vom SVGP kompensiert wird, siehe 21.3.1. Der Strom von DUTNEG wird gemessen mit !mia, das Vorzeichen ist zu invertieren.

- !sup8000;400 (SVGP 8V 400mA, SVGN 0V 480mA fix)
- !san9;-8000 (SVGN -8V)
- !sax2 (Masse verbinden)
- !ssv3:1 (±8V ausgeben an AP3:1)



20.5.5 Tongenerator mit Lautsprecheranschluss

Die Tonleiterfrequenzen, auf 1Hz gerundet:

Ton	c1	d1	e1	f1	g1	a1	h1	c2
Frequenz / Hz	262	294	330	349	392	440	494	523

Ein Lautsprecher am MINIPORT wird mit dem Wellengenerator angesteuert. Die Anschlusspunkte sind komplett verschaltet. 4Ω-Lautsprecher können im Spannungsmodus bipolar mit 1,3W getrieben werden.

- !sup0;400 (preset USUPPLY 0V, 400mA, Bipolarbereich)
- !wav262;160;0;1 (c1 Sinus)
- !wav330;160;0;1 (e1 Sinus)
- !wav392;160;0;1 (g1 Sinus)
- !wav523;50;0;150 (c2 Rechteck)
- !wai80 (warten)
- !wai80
- !wai80
- !wai80
- !wai180
- !ssv (MINIPORT ein)
- !wav (Wave aus im Nulldurchgang, knackfrei)
- !wav
- !wav
- !wav
- !rsv (alle AP aus)

20.5.6 Konstantstrom ICONST

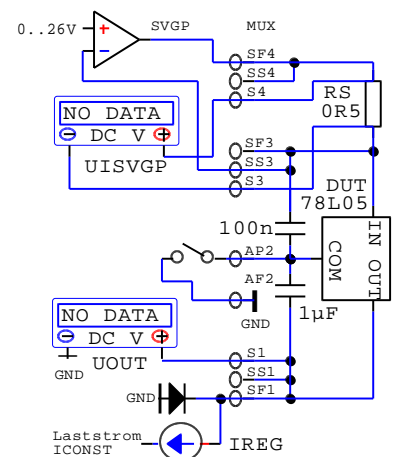
Der Prüfling liegt differentiell zwischen SFp und SFn. Die Spannung am Anschluss SFp wird vom SVGP geregelt auf 1...26V. Das Potential der Stromsenke IREG am Anschluss SFn schwankt je nach Belastung und Einstellung von +26V...-0,7V gegen Systemmasse. Wenn alternativ die Prüflingsmasse über einen AF-Schalter mit Systemmasse GND verbunden wird, kann die Ausgangsspannung vom SVGP und die Konstantstromsenke IREG am SVGN separat benutzt werden, siehe 20.5.7.

20.5.7 ICONST und Prüfling mit Massebezug

Ein positiver Spannungsregler wie 78L05 soll getestet werden. Die Prüflingsmasse liegt über Schalter AF2 an Systemmasse. Der Prüfling wird vom SVGP versorgt, über RS wird der Strom erfasst, siehe 21.3.1. RS ist angeschlossen in 4-Leitertechnik und kann vom System exakt gemessen werden. Der Prüflingsausgang wird mit Strom ICONST belastet.

- !bro2 (10hm Messbereich für RS)
- !mro3:4 (RS messen)
- !sip10;10000 (ICONST=10mA, USVGP=10V)
- !sax2 (Masse an DUT)
- !ssv4:1 (am MUX ausgeben)
- !sss3:1 (Regelung des SVGP umschalten auf AP3)
- !bua6 !mua3:-1 (DUT UIN messen) oder !muv15
- !bua1 !mua4:3 (URS messen) rechnen IIN=URS/RS
- !bua6 !mua1:-1 (DUT UOUT messen) oder !muv24

Zusätzlich kann der Wellengenerator am SVGP aktiviert werden, um die AC-Unterdrückung des Reglers zu messen. Mit der Triggermessung werden AC- und DC-Werte gemessen.



20.5.8 1Q-Stromsenke mit hoher Leistung

Stromsenken mit Spannungen >34V und Strömen >400mA übersteigen die Spezifikation der SMMU, sind aber mit externem Zusatz am MUX einfach zu realisieren.

Das Beispiel ist ausgeführt als 1Q-Stromsenke mit 20V 2A. Leistungstransistor Q1 muss gekühlt werden. R5 ist der Prüfling DUT.

Die Anschlusspunkte AP1..3 des MUX sind voll verschaltet. Als Stromregler verwendet wird der SVGP der SMMU, geregelt wird die Spannung an AP2 gegen Massepotential. Die Regelung arbeitet stabil mit RLC-Lasten, wobei der L-Anteil der Last kleiner als 50µH sein muss.

R6 sperrt die Endstufe wenn AP3 hochohmig ist. R2 ist ein Stromshunt in 4-Leitertechnik. Das externe Netzteil VS1 bekommt eine Y-Anbindung an PE über R1 und C1.

Über AP1 erfolgt die stromlose Gleichtaktanbindung GTA der Zusatzschaltung an das Referenzpotential des Testers, entweder geregelt auf 0V am SVGN, alternativ auch geschaltet an Masse GND über Schalter AF1.

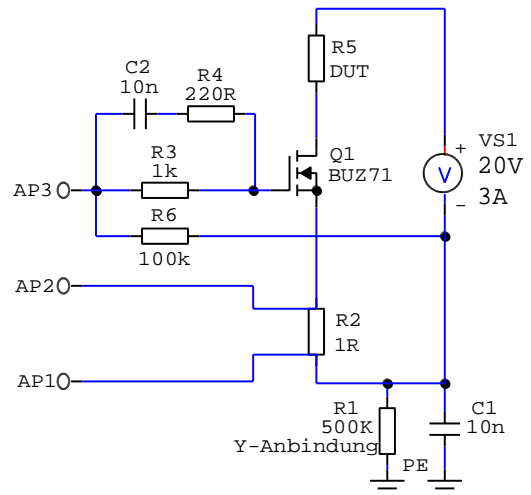
Die Ansteuerung erfolgt über AP3:1 mit Sollwertvorgabe am SVGP von 0...2,3V (Bipolarbereich), statisch oder dynamisch mit dem Wellengenerator. Der Konstantstrom: $I = USVGP / R2$.

Bei Sollwertvorgabe 0V fließt kein Strom. Bei dynamischer Ansteuerung mit dem Wellengenerator sind Sollwerte von ~0,01...2,3V möglich. Sollwert 0V kann zu Unstetigkeiten in der 4Q-Regelung führen, da die Endstufe nur im 1Q-Betrieb arbeitet. Die Messung des geregelten Stroms erfolgt über eine U-Messung an AP2:1 (Stromshunt R2).

- !sup0;100 (Sollwert 0V, 100mA)
- !spp3 (SVGp an AP3)
- Gleichstrom
- oder 1Q-Sinus
- oder 1Q-Rechteck
- !snp1 (GTA des ext. Netzteils VS1 an den SVGN mit 0V an AP1)
- !sss3:1 (SupplySenses an AP3:1)
- !clr42 (externe Regelung aktiv)
- !sup1000;100 (Sollwert 1V, entspricht Konstantstrom 1A)
- !wav50;900;1000;1 (Wellengenerator 50Hzsin, 900mA, 1A Mittelwert)
- !wav50;900;1000;150 (Wellengenerator 50Hzsqr, 900mA, 1A Mittelwert)
- !clr144 (Anstiegszeit begrenzen, bei induktiver Last bis 50µH kein Überschwinger)

Die Stromerfassung erfolgt über eine Spannungsmessung an AP2:1

- !bua2 (±1,2V)
- Bei Betrieb mit Wellengenerator
- !dwr18;83 (Triggeroffs. 83%=1V entspr. 1A)
- !dwr24;2 (U-Messart Periode)
- !dwr30;0 (DC-Koppelung)
- !mub2:1 (U-Messung)
- !sup0;100 (Sollwert 0V)
- !clr145 (Messbandbreite 3KHz)
- !mua2:1 (U-Messung bei Gleichstrom)
- !dwr22;3 (Trigger, 3 Perioden)
- !dwr26;1500 (Timeout)
- !dwr32;0 (Logstart)
- !lrd0 (Logger lesen)
- !rsv (alle AP aus)



20.5.9 Unterschied ICONST und ILIMIT

Bei Konstantstromausgabe ICONST arbeitet der Stromregler IREG sehr präzise mit hohem Innenwiderstand.

Bei Spannungsausgabe USUPPLY liefert auch die Strombegrenzung ILIMIT „Konstantströme“. ILIMIT besitzt Temperaturgang, Nichtlinearitäten und pos/neg Differenzen. ILIMIT ist gedacht als Prüflings-Überstromschutz und ist für Messzwecke nur eingeschränkt geeignet. Der untere Wert von ILIMIT wurde auf 30mA begrenzt, damit der SVGP die Sollwerte im Leerlauf korrekt regeln kann.

20.5.10 Rückspeisung in USUPPLY

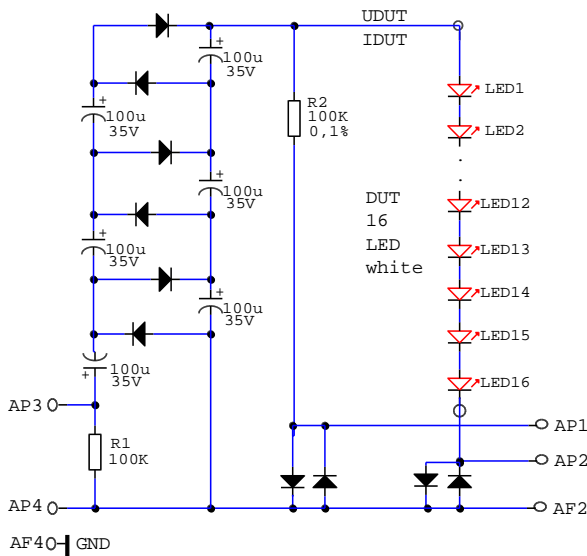
Rückspeisung in USUPPLY kann auftreten bei Anschluss einer

1. polaritätsgleichen externen Quelle mit einer Spannung >34V an USUPPLY
2. polaritätsgedrehten Quelle mit einer Spannung >12V an USUPPLY
3. Servo / Motorkombination an USUPPLY

Kombination 3 wirkt beim aktiven Bremsen des Motors über den Servo als rückspeisende Stromquelle.

Alle Positionen führen zu Spannungsüberhöhungen an internen Knoten, die das System beschädigen können.

20.5.11 Prüfen mit Spannungen über 34V



Mit Hilfe des Wellengenerators und einer externen Gleichrichter-kaskade können Spannungen über 34V erzeugt werden. Mit der Anzahl der Kaskadenstufen steigt die Spannung, so können z.B. Varistoren mit 100V getestet werden. Die Prüfstruktur verwendet die Systemmasse GND, die an jedem MUX-Stecker zur Verfügung steht. GND wird über Schalter AF4 zugeschaltet. Diese elegante Methode ermöglicht die getrennte Verwendung des SVGP (Sinusgenerator zur Erzeugung von UDUT gegen GND) und des SVGN (Stromkompensation nach GND). Damit kann IDUT ohne externen Shunt und die hohe Spannung UDUT ohne Spannungsteiler erfasst werden.

Der Prüfling im Beispiel besteht aus 16 weißen LEDs in Serie (52V, 20mA). Der Innenwiderstand der Kaskade (~1,1KΩ) wird als Vorwiderstand zur Strombegrenzung der LEDKette verwendet. Die Leerlaufspannung beträgt ~74V. Die Erzeugung von UDUT erfolgt über den SVGP mit Sinus 250Hz, 13Vp Amplitude und 13V Wellenoffset mit `!sup13000;400` und `!wav250;13000;13000;1` und `!sax4` und `!ssv3:2`. Der SVGP mit Sinusgenerator an AP3

erzeugt UDUT über die Gleichrichter-kaskade gegen Systemmasse GND. Der SVGN an AP2 hat geregelte 0V Ausgangsspannung (AP2-Kompensation), d.h. IDUT fließt nicht über die Schutzdiode nach GND, sondern komplett durch die Stromerfassung der SMMU. `!bia6` und `!mia` liefert IDUT=20mA. Die indirekte Messung von UDUT erfolgt nach Befehl `!ssv3:1`. AP1 liegt jetzt am SVGN geregelt auf 0V (AP1-Kompensation). Mit `!bia4` und `!mia` wird ein Kompensationsstrom ICOMP von ~520µA gemessen. Die Rechnung UDUT = ICOMP x R2 liefert ► UDUT=52V. Da die AP2-Kompensation jetzt abgeschaltet ist, fließt der LED-Strom durch die sich im Lastkreis befindende Schutzdiode nach GND und produziert einen störenden Spannungsabfall am DUT. Mit `!sax2` (AF2) kann die Diode überbrückt werden.

20.5.12 Heizung mit einer SMMU

Im Labor haben wir die typische Reaktion der SMMU auf Temperaturänderungen ausgemessen. Ein Gerät wurde mit einem Ventilator in eine Isolierzelle gepackt. Die SMMU heizt mit dem Kühlkörper. Ein externer PC regelt die Zellentemperatur über die Messung der CPU-Temperatur und Vorgabe des Stromsollwertes. Folgende Anweisungen sorgen für Wärmeentwicklung in der Zelle:

- `!sip400;26000` (volle Heizleistung vorbereiten: ICONST 400mA bei maximal 26V)
- Ohne Last (ICONST fließt über CLAMPSFN) wird intern nur 12V x 0,4A = 4,8Watt Verlustleistung erzeugt
- `!set135` (Kurzschluss der Stromquelle mit Schalter SHORTSF, damit wird die volle Heizleistung am Kühlkörper aktiv: 42V x 400mA = 16,8Watt)
- `!ain9` (Abfrage CPU-Temperatur)

20.5.13 Low-level-Ersatzbefehle für !ssv und !rsv

Makrobefehle wie `!ssv` und `!rsv` führen Kelvin-Kontakttests durch. Eine evtl. bestehende Schnellmessequenz wird dadurch abgebrochen. Mit Hilfe von Low-Level-Ersatzbefehlen kann die gewünschte Funktion ohne Kelvin-Kontakttests und ohne Abbruch der Schnellmessequenz realisiert werden.

Makrobefehl	Low-level-Ersatzbefehle	Kommentar
<code>!ssv0:0</code>	<code>!set106 !clr42</code>	geregelt Ausgabe an MINIPORT
<code>!ssv{p:n}</code>	<code>!spp{p} !spn{n} !sss{p:n} !clr42</code>	geregelt Ausgabe an MUX
<code>!rsv</code>	<code>!set42 !clr106</code>	löscht Ausgabe an MINIPORT
	<code>!set42 !ssr !rpp{p} !rpn{n}</code>	löscht Ausgabe an MUX, p und n vom vorausgegangenen <code>!ssv{p:n}</code> verwenden

20.6 FVG (Floating Voltage Generator)

Der FVG ermöglicht interessante Messungen, siehe auch 21.9.1, 21.11.1, 21.11.3, 21.11.4 und 21.12.

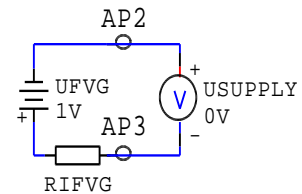
20.6.1 Kennwerte messen

Messung am MUX	
!fvg1000;50	(UFVG=1000mV, RIFVG~50KΩ)
!sfv3:2	(FVG an MUX ausgeben: AP3 ist Pluspol, AP2 ist Minuspol)
Leerlaufspannung UFVG messen	
!sup0;30	(FVG-Gleichtaktanbindung an USUPPLY vorbereiten)
!spp2	(GTA: Pluspol SUPPLY mit Minuspol FVG verbinden) (*)
!bua2	(Messbereich ±1,2V)
!mua3:2	<W=+10062;02 (also 1006,2mV)
Kurzschlussstrom IKFVG messen	
!spn3	(Minuspol SUPPLY mit Pluspol FVG verbinden, Kurzschluss)
!bia2	(Messbereich ±20μA)
!mia	<W=01824;11 (also 18,24μA)
Innenwiderstand berechnen: RIFVG=UFVG/ IKFVG also 55,16KΩ	
Alternativ Innenwiderstand direkt messen	
!brg11	(Messbereich wählen mit Thermospannungskompensation)
!mrg3:2	<W=+05508 ;24 (also 55,08KΩ)
!rfv	(FVG aus = HiZ)

Messung am MINIPORT	
!fvg1000;50	(UFVG=1000mV, RIFVG~50KΩ)
!sfv0:0	(FVG an MINIPORT, gleichztg. werden die SF-Anschlüsse aktiv)
Leerlaufspannung UFVG messen	
!sup0;30	(USUPPLY setzen für FVG-Gleichtaktanbindung intern geregelt am MINIPORT)
!clr140	(SVGP trennen, die GTA vom FVG erfolgt über SVGN 0V)
!bua2	(Messbereich ±1,2V)
!mua0:0	<W=+10057;02 (UFVG=1005,7mV)
Kurzschlussstrom IKFVG messen	
!set140	(SVGP zuschalten, Kurzschluss USUPPLY mit UFVG)
!bia2	(Messbereich ±20μA)
!mia	<W=-01833;11 (negativ, invertieren also +18,33μA)
Innenwiderstand berechnen: RIFVG=UFVG/ IKFVG also 54,86KΩ	
Alternativ Innenwiderstand direkt messen	
!brg11	(Messbereich wählen mit Thermospannungskompensation)
!mrg0:0	<W=+05501;24 (also 55,01KΩ)
!rfv	(FVG aus = HiZ)

Leerlaufspannung UFVG, Kurzschlussstrom IKFVG und Innenwiderstand RIFVG werden bestimmt.

MUX-AP2 und AP3 sind komplett verschaltet und NC. (*): Zur Spannungsmessung an der fliegenden Quelle FVG wird manuell eine Gleichtaktanbindung geschaltet. IKFVG messen:



Die AP am MINIPORT sind komplett verschaltet und NC.

Bei der Kurzschlussstrommessung am MINIPORT das Vorzeichen invertieren.

20.6.2 Spannungsaddition

Die Spannung des FVG kann auf vorhandene Systemspannungen addiert werden. Die Grenzspannungen gegen Masse sind: -8...+29V. Das Beispiel addiert USUPPLY und UFVG.

!sup34000;30 (USUPPLY) !ssv2:1 (MUX-Ausgabe, AP2=26V, AP1=-8V)

!fvg3000;3 (UFVG 3V 3KΩ) !sfv3:2 (MUX-Ausgabe, AP3=29V, AP1=-8V)

An AP3:1 liegen 37V. Der Gleichtaktbereich des SMMU-Messsystems ist überschritten, die Spannung kann mit einem ext. DVM gemessen werden. Eine Anwendung wäre: Leckstrommessung mit maximaler Spannung.

20.6.3 Wellengenerator mit verschobenem Nullpunkt

Die Spannung des Wellengenerators kann mit dem FVG in Bereiche verschoben werden, die die Firmware nicht ansteuern kann, hier von Uwave 0/16V auf -8/8V. Alle Anschlusspunkte sind komplett verschaltet.

!sup8000;400 (USUPPLY) !bia7 (SVGN RShunt 0R5)

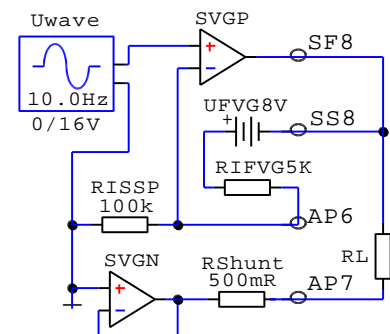
!set34 (SVGN Regelung SSNLOCAL) !spp8 (SVGP an AP8)

!spn7 (SVGN an AP7) !wav1;8000;8000,1 (Sinus 0/16V)

!sfv8000;0 (UFVG 8V, Ri~5K) !sfv6:8 (FVG an AP6:8)

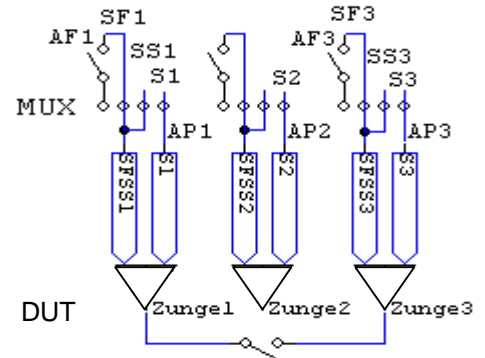
!set136 (Savepower ein) !set42 (SVGP ext. Regelung ein)

Der SVGP im Unipolarmodus wird geregelt an SS6. Der FVG liegt zwischen SS6:8. Das verschiebt die Ausgangsspannung des SVGP um UFVG. Der Strom durch RIFVG und RISSP ist abhängig von UFVG und URL: Der Sinus wird leicht verzerrt (~5%).



20.7 Kelvin-Kontakttests

Mit Kelvin-Kontakttests wird die korrekte Kontaktierung des DUT überprüft, im Beispiel ein Schalter, kontaktiert in 4-Leitertechnik. Auch die Existenz der optional bestückten Kontaktzunge2 kann mit Kelvin-Kontakttests überprüft werden. Kontaktfehler und fehlende Kontaktzungen sind nicht unterscheidbar. Kelvin-Kontakttests erfolgen mit 2-, 4- und 6-Leitertechnik.



Getestet wird an jedem AP auf Kontakt der Anschlüsse:

1. SS mit SF (!tst13 und 14), danach
2. SS mit S (!tst11 und 12)

Kelvin-Kontakttests bei !ssv, !rsv und !tst11...14 benötigen eine Gleichaktanbindung GTA, die im Vorfeld als Spannungs- oder Stromversorgung (!sup, !sip, !sib) programmiert wird. Bei Bedarf können automatische Tests (!ssv, !rsv und ICT durch manuelle Tests !tst11...14 ergänzt werden. Manuelle Tests werden folgend beschrieben, der Wellengenerator muss ausgeschaltet sein, bei !tst13 & !tst14 muss SSINTERN gesetzt sein (!set42).

Hinweis: Im System SMMU05 benötigt !tst13 und 14 eine abweichende Ansteuerung:

- !sup5000;30 (U-Modus), danach SF- und SS-Schalter setzen !clr42 (SSINTERN=0)
- !wai50 (warten) !tst13 oder !tst14 (Kelvin-Kontakttest) !set42 (SSINTERN=1)

20.7.1 Singular-AP

Nur ein aktiv geschalteter AP wird überprüft. Das ist die einfachste Methode für manuelle Kelvin-Tests am MUX. Da die Befehle !sss und !pns nur paarweise funktionieren, muss ein dummy AP programmiert werden.

Im Beispiel erfolgen die Tests an AP2 mit neg. Polarität.

Gleichberechtigt kann auch mit pos. Polarität geprüft werden:

- !sup0;30 !spp2 !sss2:8 !tst14
- !pns2:8 !tst12 !rsv !pnr

manuelle Kelvin-Tests am MUX AP2	
!sup0;30	GTA bereitstellen
!spp2	SVGn an SF2 schalten, das ist die GTA
!sss2:8	SS-Matrix setzen, SS8 ist dummy Polarität+, SS2 ist Polarität-
!tst13	Kelvin-Kontakttest SSn:SFn (benötigt SSINTERN=1) Err0: SS2 hat Kontakt mit SF2, test ok Err13: Unterbrechung von SS2 zu SF2
!pns2:8	S-Matrix setzen, S8 ist dummy Polarität+, S2 ist Polarität-
!tst11	Kelvin-Kontakttest SSn:Sn Err0: SS2 mit S2 verbunden, Zunge2 vorhanden Err11: Kontaktierfehler oder Zunge2 fehlt
!rsv	SF- und SS-Matrix aus
!pnr	S-Matrix aus

20.7.2 Dual-AP

Zwei aktive AP werden gemeinsam überprüft.

Das Beispiel zeigt manuelle Testsequenzen mit Low-level-Befehlen am MUX (AP2:1) und am MINIPORT.

Hinweise:

Bei manuellen Dual-AP Tests muss die Gleichtaktspannung USUPPLY auf >=+1,5V programmiert werden.

manuelle Kelvin-Tests am MUX		manuelle Kelvin-Tests MINIPORT	
Befehl	Kommentar	Befehl	Kommentar
Gleichtaktanbindung für Kelvin-Kontakttests bereitstellen			
!sup1500;30	U-Modus mit Konstansspannung für GTA		
oder			
!sip1;1000	I-Modus mit Konstantstrom #0 für GTA		
zuerst SupplySense-Anschlüsse überprüfen			
!spp2	SFP2 und GTA ein	!set106	ENDMF ein:
!spp1	SFN1 und GTA ein		SFP0 & SFN0 ein und
!sss2:1	SSP2 & SSN1 ein		SSP0 & SSN0 ein
!tst13	Kelvin-Kontakttest SSn:SFn (benötigt SSINTERN=1) Err0: SSN1 hat Kontakt mit SFN1, Test ok Err13: Unterbrechung, Abbruch mit !rsv		
!tst14	Kelvin-Kontakttest SSP:SFp (benötigt SSINTERN=1) Err0: SSP2 hat Kontakt zu SFP2, Test ok Err14: Unterbrechung, Abbruch mit !rsv		
danach Sense-Anschlüsse überprüfen			
!pns2:1	Senseaufschaltung SP2 & SN1 ein	!pns0:0	ENDMS Senseaufschaltung SP0 & SN0 ein
!tst11	Kelvin-Kontakttest SSn:Sn Err0: SSN1 hat Kontakt mit SN1, Zunge1 ist vorhanden Err11: SSN1 hat Unterbrechung oder Zunge1 fehlt		
!tst12	Kelvin-Kontakttest SSP:Sp Err0: SSP2 hat Kontakt zu SP2, Zunge2 ist vorhanden Err12: SSP2 hat Unterbrechung oder Zunge2 fehlt		
!rsv	SFSS aus		
!pnr	Senseaufschaltung aus		

20.8 Messsignale am Oszillografen mitschreiben

Zu Kontrollzwecken können Signale am Oszillografen verfolgt werden. Die komplette Infrastruktur der SMMU steht zur Verfügung: Multiplexer, Stromshunts, Pufferverstärker mit den Ausgängen an Testpin MMPB und MMNB, Differenzverstärker, PGA, Tiefpassfilter und Messverstärker. Den Oszillografen anschließen an Testpin GND und den Ausgang des Messverstärkers:

- Bei Controller CTL274 am IC KA324A/LM324A.1
- Bei SMU350A/B am IC MCP6294.8
- Bei CTL350C am Testpin MEASAMP

Der Ausgang des Messverstärkers hat eine Offsetspannung von ~1,6V. Die Verstärkung der Signalkette ist auf Systembedarf normiert. Über Testpin TRIG kann der Oszillograf getriggert werden.

Spannungen:

1. Passenden Spannungsbereich wählen mit **!bua{x}**
2. Um den PGA zu laden, eine Dummy-Spannungsmessung auslösen mit **!mua**
3. Grenzfrequenz Tiefpassfilter 3KHz mit **!clr145** oder 30KHz mit **!set145**
4. Die Messquelle statisch anwählen mit **!pns{p:n}**. Die 2 Messstellen erscheinen an MMPB und MMNB, das Differenzsignal am Ausgang des Messverstärkers.

Ströme:

1. Passenden Strombereich wählen mit **!bia{x}**
2. Schnelle Triggermessung Strom mit **!cod9;1** und **!mib** ausführen, das Stromsignal erscheint statisch am Ausgang des Messverstärkers.
3. Das Monitoring beenden mit **!cod9;0**

21 Messen & Prüfen

Alle Anwendungen basieren auf aktuellem Hard- und Firmwarestand der SMMU. Die Abläufe starten mit dem Systemzustand nach Reset oder !aaa, wenn nicht speziell angegeben. Die Baudrate der Schnittstelle beträgt 115,2KBd. Kelvin-Kontakttests zur Überprüfung korrekter Nadelkontaktierung sind nur partiell aufgeführt. Empfohlen wird eine ESD geschützte Testumgebung, wobei die SMMU auch in ungeschützten Bereichen zuverlässig arbeitet.

21.1 Allgemein

21.1.1 AC-Koppelung

Der Wechselanteil einer Kombispannung (26Vdc+10mVacrms) soll gemessen werden. Die AC-Koppelung der SMU350 blockt den DC-Anteil, jetzt kann der AC-Anteil im empfindlichsten Messbereich gemessen werden.

<i>ACDC-Kombispannung erzeugen</i>	
!sup26000;50	(USUPPLY auf 26V mit 50mA Stromgrenze, USVGP = 26V, USVGN = 0V)
!ssv2;1	(Ausgabe an MUX: AP2 = SVGP, AP1 = SVGN)
!wav100;14;26000;1	(SVGP-Sinusgenerator mit 100Hz, Amplitude 14mVp (~10mVeff), Wellenoffsetspannung 26V)
<i>Loggerparameter setzen</i>	
!dwr32;20	(LogStrt=20, Ergebnisse ab Loggerblock 20 eintragen)
!dwr36;1	(LogAnz=1, ein Messaufruf)
<i>Messbereich setzen</i>	
!bua1	(Messbereich ±120mV)
<i>Triggermesskonfiguration setzen für Periodenmessung</i>	
!dwr18;0	(U_Triggeroffset=0)
!dwr22;10	(U_Trigger+=10: Messstart mit positivem Trigger, zehn Messungen zur Mittelwertbildung)
!dwr24;2	(U_Messart=2: Periodenmessung)
!dwr26;4000	(U_Timeout=4000ms)
!dwr30;400	(U_Tacprech=400ms)
<i>Messung am MUX starten, Messung mit Ri=1MΩ und AC-Koppelung mit 5Hz Grenzfrequenz</i>	
!mub1;2	(Triggermessung starten mit vertauschten AP)
<i>Messergebnis aus dem Loggerblock lesen</i>	
!lrd20	<L=20;0;-19;950;-1590;1467;1;4531;40;10002;40;60834;0

Auswertung: Wechselspannung 9,50mVeff mit Periode 10002µs (100Hz). Der Gleichanteil nach dem Tiefpass beträgt -0,19mV. Um Messfehler durch hohe Gleichtaktspannungen zu minimieren wird die Messung mit vertauschten AP aufgerufen. AP2 (Polarität neg) mit dem hohen Gleichanteil liegt am DC-Trennfilter, die Gleichtaktspannung am Differenzverstärker wird von AP1 (Polarität pos) definiert, der optimal nahe am Massepotential liegt, siehe 3.5 Blockschaltbild.

21.1.2 Negativer Triggeroffset

Bei der Triggermessung steht negativer Offset/Triggeroffset nicht in allen Messbereichen in ausreichender Höhe zur Verfügung. Die Alternativmethode 2. verwendet AC-Koppelung.

1. Normale Phasen-Nullmessung mit DC-Koppelung und negativem Triggeroffset:

```
!sup0;400 (Supply 0V, 400mA)      !wav300;1000;-1000;150 (Wellengenerator 300Hz, 0/-2V Rechteck)
!ssv0;0 (MINIPOINT ein)          !bua4 (±6V)                !set145 (Messbandbreite hoch)
!dwr24;-1 (U-Messart Phase)      !dwr22;100 (Trigger)      !dwr18;-17 (Triggeroffset -17%= -1,02V)
!dwr26;3000 (Timeout)           !dwr28;0 (Wartezeit)      !dwr30;0 (DC-Koppelung)
!dwr32;0 (Logstart)             !dwr36;1 (LogAnz)        !nul0;0 (Phasen-Nullabgleich neg.)
!lrd0 <L=0;0;-994;1404;-2022;43;3;-1085;38;3333;40;34770;0 (Nullphasenzeit -11µs)
```

2. Alternative Phasen-Nullmessung mit AC-Koppelung und Triggeroffset 0:

```
!dwr30;300 (AC-Koppelung) !dwr18;0 (Triggeroffset 0) !nul0;0 (Phasen-Nullabgleich neg.)
!lrd0 <L=0;0;0;991;-1039;1044;3;-1085;38;3333;40;44627;0 (Nullphasenzeit -11µs)
```

Die Messergebnisse sind identisch. Bei AC-Koppelung können Zeitmessfehler entstehen durch DC-Verschiebung des AC-gekoppelten Messsignals. Je höher die Messfrequenz (>100Hz) und je steiler die Flanke des Messsignals, desto geringer die Abweichung.

21.2 Spannung

Die Triggermessung benötigt im Konstantstrommodus bei Strömen unter 100µA eine Wartezeit von min. 40ms. Die Standardmessung macht das automatisch.

Zusätzliche Messfehler können entstehen bei Quellwiderständen >100KΩ und Multiplexbetrieb des Messsystems, da Kapazitäten umgeladen werden müssen. Der Kapazitätsbelag ist abhängig von der Anzahl MUX275. Die Standardmessung kann dann durch die Triggermessung mit erhöhter Wartezeit ersetzt werden.

Bei Spannungsmessung !mua wird in den empfindlichen Messbereichen bua1 & 2 durch ein spezielles Verfahren die Gleichtaktunterdrückung CMR erhöht. Die kapazitive Belastung des Prüflings ist dabei etwas höher als in den Messbereichen bua3...7. Die Triggermessung !mub wendet das Verfahren zur Erhöhung der Gleichtaktunterdrückung nicht an, die kapazitive Belastung des Prüflings ist geringer.

SMU350C: Die zwei Messverstärker haben einen Eingangswiderstand Ri von ~20GΩ gegen Masse. Damit kann auch an hochohmigen Quellen ohne nennenswerte Belastung gemessen werden.

SMU350A/B: Die Eingänge der Messverstärker haben im Bereich ±10V einen Eingangswiderstand von 10GΩ gegen Masse. Bei Gleichtaktspannungen bis 26V sinkt Ri auf etwa 1GΩ.

CTL274: Die Messverstärker haben einen Eingangswiderstand von 1GΩ gegen Masse.

21.2.1 Spannung gegen Masse messen

Messungen erfolgen mit !mua oder !mub. Die Systemmasse wird adressiert mit -1, siehe Tabelle in 2.13.

!mua0:-1 (MINIPOINT SP0:GND)
 !mub-1:0 (MINIPOINT GND:SN0)
 !mua64:-1 (MUX SP64:GND)
 !mub-1:5 (MUX GND:SN5)

Hauptspeisung: !muv misst die Spannung gegen GND am aktiven SS-Anschluss, siehe 12.3.

21.2.2 Spannungsabfall in DUT-Speiseleitung messen

Gemessen werden kann der Spannungsabfall in der positiven und negativen Prüflingszuleitung.

Messungen erfolgen mit !mua oder !mub über interne AP, siehe 2.13.

!ssv{p:n} (geregelt Ausgabe auf APp:n, die SS-Matrix schaltet identisch !sss{p:n})
 !set42 (SSINTERN=1, interne Regelung: Die Messung der pos. Leitung benötigt den intern geregelten Zustand, da dann der SSP-Eingangsstrom des SVGP nicht störend über die SS-Matrix fließt.)
 !mua-5:-24 (Spannungsabfall pos. Leitung Differenzspannung MBSSP:MBSFP Polarität neg.)
 !mua-4:-48 (Spannungsabfall neg. Leitung Differenzspannung MBSSN:MBSFN Polarität pos.)

21.2.3 Quellspannung über SF-Matrix messen

Gemessen werden kann die von den SVG erzeugte Quellspannung für die DUT-Speisung. Bei extern geregelten Ausgaben werden Kabelwiderstände ausgeregelt, deshalb ist die Quellspannung immer höher als die Spannung am Prüfling. Messungen erfolgen mit !mua oder !mub über interne AP, siehe 2.13.

!mua-8:-24 (Quellspannung SVG MBSFN:MBSFP Polarität neg.)
 !mua-8:-1 (Quellspannung SVGN MBSFN:GND Polarität pos.)
 !mua-1:-24 (Quellspannung SVGP GND:MBSFP Polarität neg.)

21.2.4 Spannung über SS-Matrix messen

Die Freischaltung der SS-Messbuswurzeln erfolgt nach 20.3.6.

Messungen erfolgen mit !mua oder !mub über interne AP, siehe 2.13.

!set42 (aktiviere interne Regelung, SSINTERN=1)
 !sss{SSp}:{SSn} (Anwahl der Messquelle über die SS-Matrix)
 !mua-5:-1 (Differenzspannung MBSSP:GND Polarität pos.)
 !mua-4:-1 (Differenzspannung MBSSN:GND Polarität pos.)
 !mua-5:-32 (Differenzspannung MBSSP:MBSSN Polarität pos., ab HMR35)

21.2.5 Spannung zwischen Matrixarten messen

Eine begrenzte Anzahl der theoretisch möglichen Kombinationen zwischen S-, SS- und SF-Matrix kann gemessen werden, teilweise mit negativer Polarität. Die Freischaltung der benötigten Messbuswurzeln erfolgt nach 20.3.6. Messungen erfolgen mit !mua oder !mub. Bei Adressierung eines externen AP (>=0) wird die S-Matrix automatisch bedient. Das Setzen der SFP-, SFN- und SS-Matrix erfolgt manuell, zur Messung wird der interne AP (siehe 2.13) der zugehörigen Messbuswurzel adressiert.

Spannung zwischen SS6:S2 messen

!sss6:16 (SS-Matrix ansteuern, MUX-Schalter SSP6 setzen 16 ist dummy)
!mua-5:2 (Messung SS6:S2 (MBSSP:SN2) Polarität pos)

Spannung zwischen S6:SF1 messen

!spn1 (SFN-Matrix ansteuern, MUX-Schalter SFN1 setzen)
!mua6:-48 (Messung S6:SF1 (SP6:MBSFN)) Polarität pos)

Spannung zwischen SS6:SF1 messen

!sss6:16 (SS-Matrix ansteuern, MUX-Schalter SSP6 setzen 16 ist dummy)
!spn1 (SFN-Matrix ansteuern, MUX-Schalter SFN1 setzen)
!mua-5:-48 (Messung SS6:SF1 (MBSSP:MBSFN)) Polarität pos)

21.2.6 Übersteuerung

SMU350 besitzt Schaltkreise um Gleichtaktübersteuerung von Übersteuerung der Messgrenze unterscheiden zu können. Das erleichtert die Analyse bei Messproblemen.

1. Err16 CMV wird ausgelöst bei Gleichtaktüberspannung der Messeingänge gegen GND, bei Messungen blitzt die rote LED CMV.
2. Err15 OVERFLOW wird ausgelöst, wenn die Differenzspannung der Messeingänge die eingestellte Messgrenze überschreitet.
3. Err16 ist dominant über Err15.

Das Beispiel zeigt die Reaktion auf zunehmende Übersteuerung von Messeingang SP0:

MINIPOINT verschalten: SN0 mit Testpin GND der SMU350 verbinden

!cod5;1 (Terminalmodus aktivieren)
!bua5 (wähle Spannungsmessbereich ±12V)

MINIPOINT SP0 mit Testpin P12V der SMU350 verbinden

!mua0:0 <W=+12067;03 (das System misst normal, 12V Systemspannung)

MINIPOINT SP0 auf Testpin P15V der SMU350 umklemmen

!mua0:0 oder Blanktaste <F=+00015 (das System meldet Err15 OVERFLOW des 12V-Messbereichs)

MINIPOINT SP0 auf Testpin P30V oder M12V der SMU350 umklemmen

!mua0:0 oder Blanktaste <F=+00016 (das System meldet Err16 CMV, Übersteuerung des Gleichtaktbereichs)
!mua0:0 oder Blanktaste <F=+00016 (LED CMV blitzt)

21.2.7 Externes DVM

Sollen Spannungen hochgenau gemessen werden, kann ein externes DVM mit V24-Schnittstelle (z.B. 34401A) in das System integriert werden, siehe 20.1.1.4. Die Messeingänge werden angeschlossen an MINIPOINT SP0:SN0. Die komplette S-Matrix der SMMU (bei SMU350 auch die SS-Matrix) kann für das DMM verwendet werden, siehe 20.3.6. Der MUX-Innenwiderstand beträgt ~2KΩ pro Zuleitung, der Messfehler durch den Innenwiderstand des DMM (10MΩ / 10GΩ) kann rechnerisch ausgeglichen werden. Auch die niederohmige SF-Matrix kann verwendet werden.

!pns{p:n} (zu messende Spannung am MUX-Eingang S{p:n} auf den Messbus schalten)
!set105 (setze MINIPOINT-Schalter ENDMS, EnableDUTMiniportSense)
!com96;2 (Parameter V24.1: Baudrate 9600Baud, 2Stoppbit, muss auch im DMM eingestellt sein)
!pas1 (aktiviere Schnittstelle V24.1 zum DMM)

:SYST:REM (jetzt erfolgt die DMM-Messung gesteuert über den PC)

:CONF:VOLT:DC

:SENS:VOLT:DC:RES MIN

:INP:IMP:AUTO ON

READ?

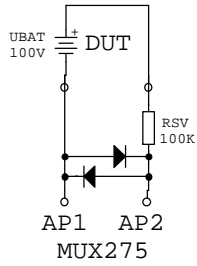
+5.00001780E+00

!pas-1 (V24-Schnittstellenkaskadierung abbauen)
!clr105 (MINIPOINT-Senseleitungen hochohmig schalten)
!pnr (Sensepins MUX275 abschalten)

Eine Y-Anbindung der Masse des netzbetriebenen DMM mit 1nF gegen PE ist erfahrungsgemäß ausreichend. Bei einer Messung wird die Gleichaktanbindung automatisch über den Anschluss SN0 hergestellt. Das DMM hat dort den Masseanschluss, arbeitet also pseudo-differentiell wie ein nicht geerdeter Oszillograf.

21.2.8 U-Messung mit Stromkompensation

DUT= Batterie 100V

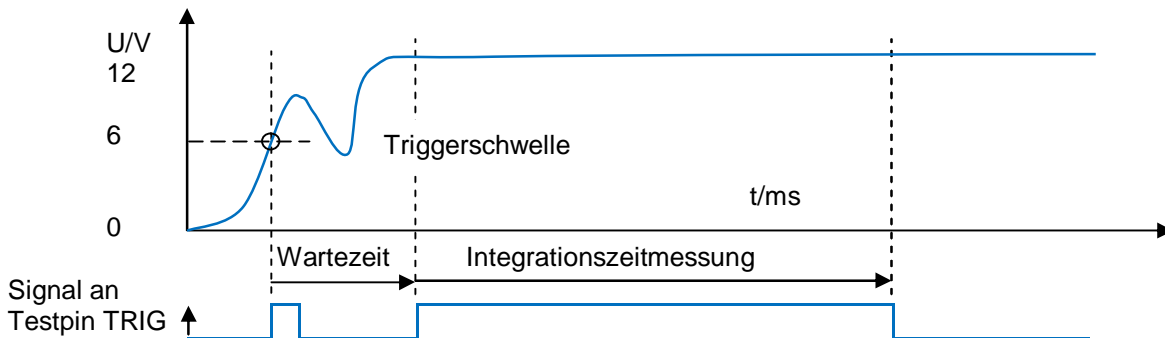


Sollen höhere Spannungen als 34V gemessen werden, scheidet eine direkte Messung aus. Die Verwendung eines externen Teilers mit 2 Widerständen kann das Problem lösen, schafft aber Eichprobleme. Die Messung durch Stromkompensation mit nebenstehender Schaltung ist einfach; ein genauer Widerstand und 2 Dioden sind nötig. AF-Schalter können bei Spannungen bis ±42V eingeschleift werden. Die Messung von UBAT erfolgt mit:

- !sup0;50 (0V Kompensationsspannung mit ILIMIT 50mA)
- !bia4 (Messbereich ±2mA)
- !ssv1:2 (Kompensation ein: AP1 pos und AP2 neg)
- !mia (Strommessung ICOMP=+1mA)
- !rsv (Kompensation aus, Rechnung: UBAT=ICOMP x RSV)

21.2.9 U-Triggermessung Integrationszeit mit Trigger

Die Spannung an AP5:3 (pos:neg) steigt von 0 auf 12V. Bei 6V soll der Positivtrigger auslösen, es folgt eine Wartezeit von 15ms, dann startet die Messung mit 100ms Integrationszeit.

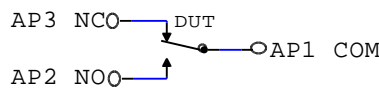


- !dwr32;0 (LogStrt)
- !dwr18;50 (offset 50%, UTrig 6V)
- !dwr24;0 (Messart 0)
- !dwr30;0 (DC-Koppelung)
- <L=0;0;12001;12001;11992;12010;3;0;98;0;98;13915;0 also UDCavg=12001mV
- !dwr36;1 (LogAnz)
- !dwr20;1002 (ti 100ms)
- !dwr26;3000 (Timeout 3s)
- !mub5;3 (Messung)
- !bua5 (12V)
- !dwr22;1 (Trigger)
- !dwr28;150 (Wartezeit 15ms)
- !lrd0 (Loggerblock 0 lesen)

21.2.10 Umschalter Flugzeitmessung

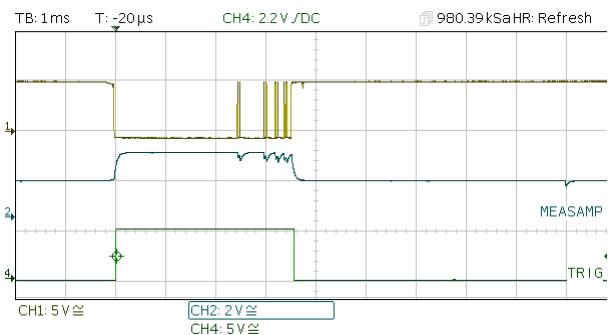
Ein Umschalter (Mikroschalter) ist angeschlossen am MUX:

- AP1=Common
- AP2=NormallyOpen
- AP3=NormallyClosed



Zur Messung werden die Anschlüsse NO und NC gebrückt. Die Flugzeit des Umschalters im Vor- und Rücklauf wird gemessen (manuelle Schalterbetätigung).

Die Messbandbreite von 3KHz unterdrückt Schalterprellen. Zwischen Vor- & Rücklauf befindet sich die programmierbare Verzögerung LogDly. Das Oszillogramm zeigt die Spannung am Schalter, am Messverstärker MEASAMP und das Messfenster an Testpin TRIG.



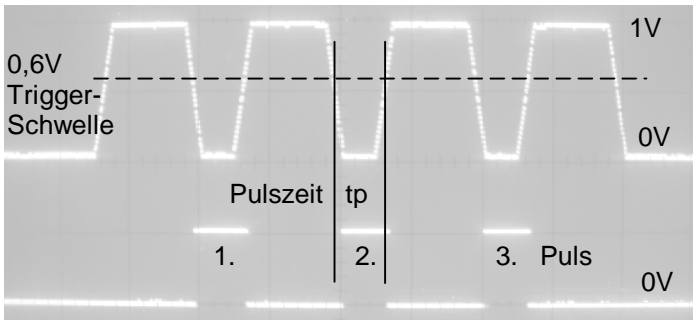
- !kta1:2 (Err10 ist ok)
- !spp1 (COM)
- !dwr32;0 (LogStrt)
- !dwr18;40 (offset 40%, UTrig 2,4V)
- !dwr26;3000 (Timeout 3s)
- !sip (Strom aus)
- <L=0;0;5381;5410;3259;5636;3;3156;40;0;98;21006;0#1;0;5410;5436;3256;5636;3;3554;40;0;98;27169;0
- !kta1:3 (Kelvintest Err0 ist ok)
- !spn2 (NOpen)
- !dwr36;2 (LogAnz)
- !dwr38;50 (LogDly 5ms)
- !rsv (Mux aus)
- !lrd0;1 (Logger lesen)
- !sip10;5000 (Stromquelle 10mA, 5V)
- !clr145 (Messbandbreite 3KHz)
- !bua4 (6V)
- !dwr24;1 (Messart Puls)
- !mub1:2 (messen, Vor- & Rücklauf)

Flugzeit Vorlauf 3156µs

Flugzeit Rücklauf 3554µs

21.2.11 U-Triggermessung Puls- / Periodenmessung

Pulsmessung:



An dieser Impulsgruppe, die wiederholt wird, soll jeweils die neg. Pulszeit t_p mit **dreifacher** Mittelwertbildung und die Wiederholzeit gemessen werden.

Die Triggermessung erfasst drei **Pulse** und liefert gemittelte Messergebnisse.

Das Oszillogramm am Testpin TRIG zeigt die Messaktivität der SMMU über 3 Pulse.

Loggerparameter setzen

ldwr32;5 (LogStrt=5, Ergebnisse ab Loggerblock 5 eintragen)
 ldwr36;2 (LogAnz=2, zwei Impulsgruppen, 2 Loggerblöcke beschreiben)
 ldwr38;0 (LogDly=0, Loggerdelay=0, muss definiert werden bei LogAnz>1)

Messbereich setzen

lbua2 (Spannungsmessbereich ±1,2V)

Messkonfiguration setzen für Pulsmessung

ldwr24;1 (U_Messart=1: Pulsmessung)
 ldwr22;-3 (U_Trigger= -3: Messstart mit negativem Trigger, **drei** Messungen für Mittelwertbildung)
 ldwr18;50 (U_Triggeroffset=50%: Verschiebung Messbereich 1,2V auf +0,6V Triggerschwelle, die Messgrenzen sind jetzt -0,6...+1,8V)
 ldwr26;4000 (U_Timeout=4000ms)
 ldwr30;0 (U_TACPRECH=0, DC-Koppelung)

Messung am MINIPORT starten

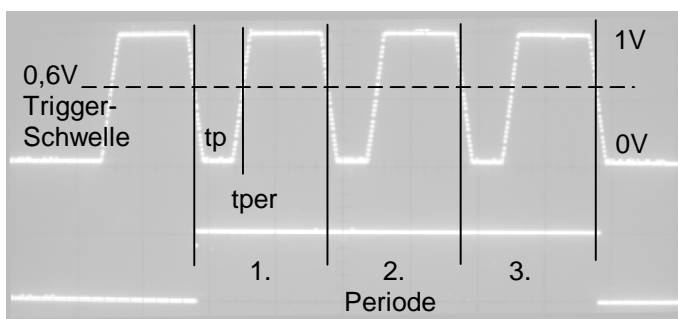
lset145 (Messverstärker Grenzfrequenz auf 30KHz setzen, Funktion nur bei SMU350)
 lmub0;0 (Im Normalfall antwortet die SMMU mit Fehler 0: <F=+00000)

Messergebnisse aus den 2 Loggerblöcken lesen

llrd5;6 <L= 5;0;1047;1948;-12;5554;2;14767;39;0;98;17396;0
 #6;0;971;1860;-12;5554;2;14767;39;0;98;37432;0

Auswertung: Die dreifach gemittelte Zeitlückenpulswerte wurde in jedem Loggerblock mit $t_p=1,4767ms$ gemessen. Umin der Lücke beträgt $-1,2mV$. Aus der Zeitstempeldifferenz der 2 Loggerblöcke (3,7432s-1,7396s) ergibt sich die Wiederholzeit der Impulsgruppe = 2,0036s.

Periodenmessung:



Die Triggermessung erfasst jetzt drei **Perioden** und liefert gemittelte Messergebnisse.

Das Oszillogramm am Testpin TRIG zeigt die Messaktivität der SMMU über drei Perioden.

ldwr24;2 (U_Messart = 2: Periodenmessung *Neue Messkonfiguration setzen für Periodenmessung*)
 lmub0;0 (*Triggermessung am MINIPORT starten*)

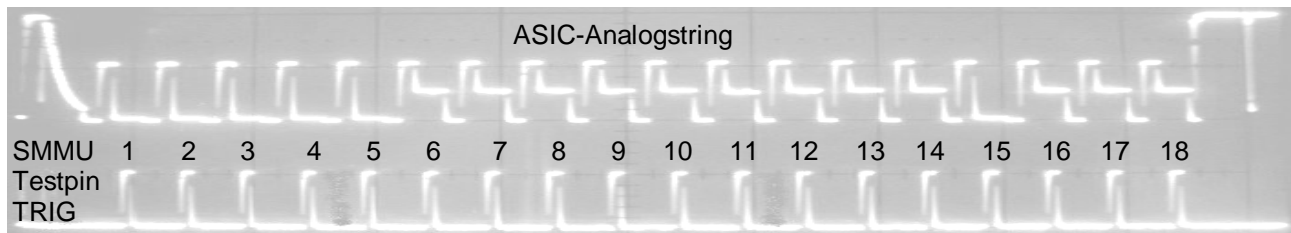
Messergebnisse aus den 2 Loggerblöcken lesen

llrd5;6 <L=5;0;6529;7799;-12;10001;2;14767;39;3999;40;35216;0
 #6;0;6529;7799;-12;10001;2;14767;39;3999;40;55252;0
 lclr145 (Messverstärker Grenzfrequenz wieder auf 3KHz setzen)

Auswertung: Die dreifach gemittelte Zeitlückenpulswerte wurde in jedem Loggerblock mit $t_p=1,4767ms$ gemessen. Umin der Lücke beträgt $-1,2mV$. Bei Periodenmessung wird zusätzlich $U_{max}=1000,1mV$ und die Periodenzeit $t_{per}=3,999ms$ gemessen. Das berechnete Tastverhältnis ist 0,63. Die Spannungen in der Messzeit sind $U_{DCavg}=652,9mV$ und $U_{DCrms}=779,9mV$. Aus der Zeitstempeldifferenz der 2 Loggerblöcke (5,5252s-3,5216s) ergibt sich die Wiederholzeit der Impulsgruppe = 2,0036s.

21.2.12 Schnelle Triggermessung, Spannung, Trigger und Logger

Das zu messende Signal am MINIPORT stammt von einem MONICA-ASIC. Der Inhalt von 18 analogen Speicherzellen wird in einem seriellen String ausgegeben. Nach jedem der 18 Vortrabanten mit einer Amplitude von 5V, folgt mit festem Zeitraster die zugehörige Analogzelle mit einer Spannung von 0...3V. Nach dem Befehl an den ASIC zum Senden des Analogstrings, wird die schnelle Triggermessung gestartet, die mit positiver Flanke bei 3V triggert, 10ms wartet und 4ms misst. Mit dem Logger werden 18 Messungen aufgezeichnet.



```

!dwr32;1 (LogStrt)                !dwr36;1 (LogAnz=1, für Dummymessung)  !dwr38;0 (LogDly=0)
!bua5 (Messbereich ±12V)          !dwr18;25 (Offset=25%, Trigger=3V)
!dwr20;40 (Integrationszeit=4ms) !dwr22;0 (Trigger=0, für Dummymessung)
!dwr24;0 (Messart=0)             !dwr26;3000 (Timeout=3s)
!dwr28;100 (Wartezeit=10ms)     !dwr30;0 (DC-Koppelung)
!cod9;1 (Schnellmessung ein)     !mub (Dummymessung ohne Trigger, 1 Loggerblock)
!dwr36;18 (LogAnz=18)           !dwr22;1 (Trigger=1)
ASIC Analogstring auslösen      !ain99 (Schnellmessung starten)
!cod9;0 (Schnellmessung aus)    !lrd1;18 (Loggerblock 1..18 lesen)

<L=1;0;152;152;149;162;3;0;98;0;98;55706;0 #2;0;152;152;143;162;3;0;98;0;98;55954;0
#3;0;157;157;155;162;3;0;98;0;98;56203;0 4;0;157... 5;0;165... 6;0;2625... 7;0;2612... 8;0;2649... 9;0;2604... 10;0;2639...
11;0;2576... 12;0;2595... 13;0;2659... 14;0;2610... 15;0;160... 16;0;2640;... 17;0;2645... 18;0;2628...
    
```

Aus dem Loggerstring können die **Zellspannungen** UDCavg in mV direkt entnommen werden. Aus der Differenz der **Zeitstempel** [100µs] wird der Abstand der Messungen berechnet, etwa 24,8ms.

21.2.13 Schnelle Matrixabtastung

Die schnelle Triggermessung im Vollduplexbetrieb (20.1.2) ermöglicht eine Matrix-Messrate >200Hz.

```

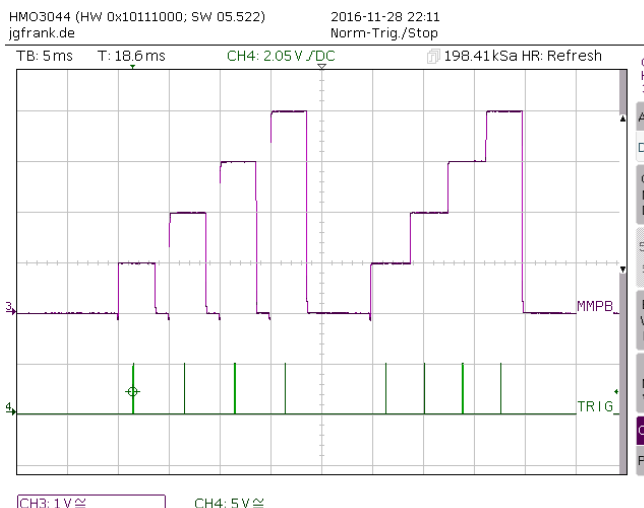
!dwr18;x (Offset)                !dwr20;0 (Integrat)  !dwr22;0 (Trigger)                !dwr24;0 (Messart)
!dwr26;1000 (Timeout)           !dwr28;0 (Delay)   !dwr30;0 (DC-Koppelung)
!dwr32;0 (LogStrt)              !dwr36;1 (LogAnz) !cod9;1 (Schnellmessung ein) !mub (Dummymessung)
begin time overlay
!pns !pns2;1 !ain99 !pns !pns3;1 !ain99 !pns !pns4;1 !ain99 !pns !pns5;1 !ain99 (S2:1...S5:1 mit Entladung)
end time overlay
!cod9;0 (Schnellmessg. aus) !lrd0;3 (Logger lesen)
    
```

Mit !pns (Kurzform von !pns0;0) wird die S-Matrix zwischen den Kanalumschaltungen entladen (inter channel discharge), danach wird der neue Kanal gewählt. Die Entladung erfolgt über MINIPORT SP0 und SN0, die Anschlüsse werden dazu mit GND verbunden. Der Logger arbeitet bei der schnellen Triggermessung mit Autoincrement.

Ohne Entladung steigt die Messrate auf ~250Hz. Bedingt durch die Matrixkapazität erfolgt ein geringer Ladungstransfer zwischen den Sense-Eingängen von etwa 0,5nC/V Differenzspannung.

```

begin time overlay
!pns2;1 !ain99 !pns3;1 !ain99 !pns4;1 !ain99 !pns5;1...
(Abtastung der S-Matrix S2:1...S5:1 ohne Entladung)
end time overlay
    
```



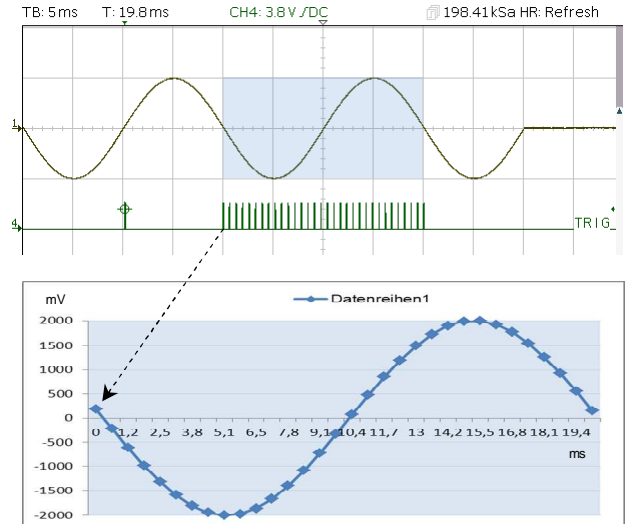
21.2.14 Logger als Oszillograf

Im Beispiel erfolgen 32 Messungen in 1 Signalperiode.

```

!sup0;400 (SUPPLY) !wav50;2000;0;1 (50Hzsin 2Vp)
!set106 (MINIPOINT) !bua3 (3V)
!dwr32;0 (LogStrt) !dwr36;1 (LogAnz)
!dwr38;0 (LogDly) !dwr18;0 (Offset)
!dwr20;0 (Integrat) !dwr22;1 (Trigger)
!dwr24;0 (Messart) !dwr26;1000 (Timeout)
!dwr28;0 (Delay) !dwr30;0 (DC)
!cod9;1 (Schnellmessung ein)
begin time overlay (Start trig. & Abtastung positionieren)
!mub !dwr22;0 !dwr36;32 !wai4 !ain99 (Abtastbetrieb)
Nach dummysmessung !mub wird Trigger ausgeschaltet,
LogAnz auf 32 erhöht, der Beginn des Abtastbetriebs
mit !wai4 positioniert und die Schnellmessung gestartet.
end time overlay
!wav (aus) !clr106 (MINIPOINT aus)
!cod9;0 (aus) !lrd0;31 (Logger lesen)
    
```

Die Aufbereitung der Loggerdaten erfolgte mit Excel.



21.2.15 TRIGEXT Externe Triggerung

NF-Rechteckgenerator FRQ am Stecker AUXIO dient im Beispiel als Triggerquelle mit 100Hz (10ms).

Ausgang AUXIO.FRQ.8 wird verbunden mit Eingang AUXIO.TRIGEXT.7.

Die Messung triggert bei einer pos. Flanke an TRIGEXT und füllt 4 Loggerblöcke im Abstand von 10ms.

```

!sup1000;50 (1V) !ssv (MINIPOINT) !ssf100 (FRQ=100Hz) !bua2 (1,2V)
!dwr18;0 (Offset) !dwr20;10 (ti=1ms) !dwr22;0 (Trigger) !dwr24;0 (Messart ti)
!dwr26;1000 (Timeout) !dwr28;+32001 (Sonderfunktion TRIGEXT pos, auch neg möglich)
!dwr30;0 (DC-Koppl.) !dwr32;0 (LogStrt) !dwr36;4 (LogAnz) !dwr38;0 (LogDly)
!mub (Messung MINIPOINT) !lrd0;3 (Logger lesen)
    
```

21.2.16 Schwellspannung und Hysterese eines Komparators messen

Der DUT-Komparator wird versorgt von AUXIO.P5VEXT.14 und AUXIO.GND.15, jeweils geschaltet über einen AF-Schalter. Damit wird der SVGP frei für die Ansteuerung des Komparatoreingangs. Schwellspannungsmessungen können mit unterschiedlichen Methoden erfolgen.

1. Die Eingangsspannung des Komparators wird mit !san0 variiert, bis der Ausgang schaltet.
2. Der Komparatoreingang wird mit Sinus angesteuert. Am Komparatorausgang wird die Schaltflanke mit der Triggermessung erfasst und schnellstmöglich die zugehörige Eingangsspannung gemessen. Gearbeitet wird mit der schnellen Triggermessung im Voll duplexbetrieb (20.1.2).

```

!sup3500;50 (3,5V) !wav5;800;3500;1 (Sinus 5Hz) !spp3 (SVGP an Kompeing. AP3)
!bua4 (6V) !dwr18;40 (Trigger 2,5V) !dwr20;0 (ti=min) !dwr22;1 (Trigger pos)
!dwr24;0 (Messart ti) !dwr26;2000 (Tout) !dwr28;0 (Wartezeit) !dwr30;0 (DC)
!dwr38;0 (LogDly) !dwr36;1 (LogAnz) !dwr32;0 (LogStrt)
    
```

Trigger auf AP2:GND Flanke hi, dann Trigger aus und ~4,4ms nach Flanke Uschalt messen an AP3:GND

```

!cod9;1 (Schnellmessg.) begin time overlay !mub2;-1 !dwr22 !pns3;-1 !ain99 end time overlay
!cod9;0 (Schnellmessg. aus) !dwr32;1 (LogStrt) !dwr22;-1 (Trigger neg)
    
```

Trigger auf AP2:GND Flanke lo, dann Trigger aus und ~4,4ms nach Flanke Uschalt messen an AP3:GND

```

!cod9;1 (Schnellmessg.) begin time overlay !mub2;-1 !dwr22 !pns3;-1 !ain99 end time overlay
!cod9;0 (Schnellmessg. aus) !rsv (MUX aus) !wav (Wave aus) !lrd0;1 (Logger lesen)
    
```

```

<L=0;0;3750;3750;3750;3750;3;0;98;0;98;3992;0#1;0;3525;3525;3525;3525;3;0;98;0;98;6882;0
    
```

Einschaltsschwelle 3750mV Ausschaltsschwelle 3525mV

3. Der Eingang des Komparators wird angesteuert vom Wellengenerator mit Sinus. Der DUT-Komparator steuert den ext. Triggereingang TRIGEXT an AUXIO. Anschlüsse an AUXIO sind massebezogen. Um Verkoppelungen zwischen den SVG und GND sicher zu vermeiden, erfolgt dies am besten über einen schnellen Optokoppler. Die Triggermessung mit ext. Triggerung liefert die zugehörige Eingangsschwellspannung. 21.3.8 zeigt diese Methode mit Stromsteuerung eines Optokopplers.

21.2.17 Integrationszeitmessung mit externem Messfenster

Im Beispiel wird ein mechanischer Umschalter vermessen. Die Umschaltkraft der Schalterwippe von Stellung a nach b wird von einem Kraftsensor erfasst. Die maximale Umschaltkraft F_{ab} ist gesucht. Der Vorgang wird von einem motion controller gesteuert.

1. Im Schaltzustand a wird gemessen R_{ag} (geschlossen an AP1:2) und R_{bo} (offen an AP2:3)
2. Während Umschaltvorgang, messe F_{ab} , Triggermessung: Integrationszeit mit externem GATETI
3. Im Schaltzustand b wird gemessen R_{ao} (offen an AP1:2) und R_{bg} (geschlossen an AP2:3)

Die Kraftmessdose ist angeschlossen am MUX über AF5 (F) und AF4 (GNDF), gemessen wird an AP5:4. /GATETI an AUXIO wird gesteuert vom motion controller über einen Optokoppler.

!brg3 (1 Ω) !bro12 (1M Ω) !mrg1:2 (Öffner) !mro2:3 (Schliesser)
 !bua5 (12V) !dwr18;0 (trigger) !dwr20;-32001 (/GATETI) !dwr22;0 (trigger)
 !dwr24;0 (Messart ti) !dwr26;2000 (Tout) !dwr28;0 (Wartezeit) !dwr30;0 (DC)
 !dwr32;0 (LogStrt) !dwr36;1 (LogAnz) !sup0;30 (Vorbereitung für GTA Kraftmessdose)

Es folgt der Umschaltvorgang: Der motion controller setzt /GATETI=0 und gibt Kraftmessdose frei

!sax 4 !sax5 !spn4 (GTA der Kraftmessdose am SVGN mit 0V) !mub5:4 (Kraftmessung starten)
 Motorstart nach Position b, wenn fertig /GATETI=1 (Kraftmessung Ende) und Sperren der Kraftmessdose
 !rax5 !rax4 !mro1:2 (Öffner) !mrg2:3 (Schliesser) !lrd0 (Loggerblock 0) Kraftmaximum F_{ab} auslesen

21.2.18 Hochauflösende Standardmessung (16bit)

Eine 20V Referenz am MINIPORT wird erfasst mit der hochauflösenden Standardmessung nach 14.2. Alle AP sind komplett verschaltet. Die Gleichaktanbindung der ext. Referenz erfolgt an 0V vom SVGN.

!rsv (MUX SSSF aus) !sup0;30 (0V, GTA) !clr140 (SVGPEN aus) !set106 (GTA ein)
 !bua6 (24V) !cod8;1 (hochauflösende Standardmessung ein)
 !mua0:0 (messen) !cod8;0 (hochauflösende Standardmessung aus)

Die SMMU arbeitet mit 16bit ADC-Auflösung: $W=+20000mV$. Eine Messung dauert ~270ms.

21.2.19 Hochauflösende Standardmessung (22bit)

Eine 20V Referenz an AP2:1 wird erfasst mit der hochauflösenden Standardmessung nach 14.2.1. Alle AP sind komplett verschaltet. Die Gleichaktanbindung der ext. Referenz erfolgt an 0V vom SVGN.

!dwr32;0 (LogStrt) !dwr36;1 (LogAnz)
 !sup0;30 (0V, GTA) !spn1 (GTA an SVGN am AP1) !bua6 (24V) !cod8;1 (hochaufl. Standardm. ein)
 !mua2:1 (die SMMU antwortet mit $\langle W=+20000;03$, !mua1:2 würde messen -20000mV)
 !cod8;0 (hochauflösende Standardmessung aus) !lrd0;2 (22bit HRADC-Daten stehen im Logger)

<L=0;0;63;254;35;86;201;0;98;0;98;17775;0 (Block 0 enthält Load&Arm Untermessung 1 mit LogEinh 201)

#1;0;77;12;217;86;202;0;98;0;98;18541;0 (Block 1 enthält Load&Arm Untermessung 2 mit LogEinh 202)

#2;0;90;27;200;86;205;0;98;0;98;19310;0 (Loggerblock 2 enthält Hauptmessung mit LogEinh 205)

Der externe HRADC-Treiber übernimmt die Normierung mit Hilfe von Messbereichscode 86 und den Daten mit den fixen Messkennungen (LogEinh oder Eh) 201, 202 & 205. Siehe separate Dokumentation HRADC.

21.2.20 Schnelle hochauflösende Standardmessung (22bit)

Eine 20V Referenz an AP2:1 wird erfasst mit der schnellen hochauflösenden Standardmessung nach 14.2.2. Alle AP sind komplett verschaltet. Die Gleichaktanbindung der ext. Referenz erfolgt an 0V vom SVGN.

!dwr32;0 (LogStrt) !dwr36;1 (LogAnz)
 !sup0;50 (0V, GTA) !spn1 (GTA an SVGN am AP1) !bua6 (24V) !cod8;1 (hochaufl. Standardmessg. ein)
 !mua2:1 (die SMMU antwortet nach ~270ms mit $\langle W=+20000;03$) !pns2:1 (Messpfad neu setzen)

Jede Schnellmessung (ohne Load&Arm) benötigt ~80ms...

!dwr42;206 (LogEinh) !hra (erste HRADC-Messung mit wählbarer Messkennung LogEinh)

!dwr42;207 (LogEinh) !hra (zweite HRADC-Messung mit wählbarer Messkennung LogEinh)

!cod8;0 (hochauflösende Standardmessung aus) !lrd0;4 (22bit HRADC-Daten stehen im Logger)

<L=0;0;63;253;254;86;201;0;98;0;98;33833;0 (Block 0 enthält Load&Arm Untermessung 1 mit LogEinh 201)

#1;0;77;12;185;86;202;0;98;0;98;34598;0 (Block 1 enthält Load&Arm Untermessung 2 mit LogEinh 202)

#2;0;90;27;117;86;205;0;98;0;98;35366;0 (Loggerblock 2 enthält Hauptmessung mit LogEinh 205)

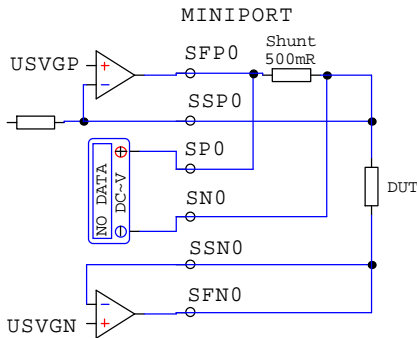
#3;0;90;43;135;86;206;0;98;0;98;36232;0 (Loggerblock 3 enthält 1. Schnellmessung mit LogEinh 206)

#4;0;90;43;169;86;207;0;98;0;98;37001;0 (Loggerblock 4 enthält 2. Schnellmessung mit LogEinh 207)

Der HRADC-Treiber übernimmt die Normierung: Die Hauptmessung mit Hilfe von Messbereichscode 86 und den Daten mit Messkennung 201, 202 & 205. Die 1. Schnellmessung wird berechnet aus Messkennung 201, 202 & 206, die 2. Schnellmessung aus 201, 202 & 207... Siehe separate Dokumentation HRADC.

21.3 Strom

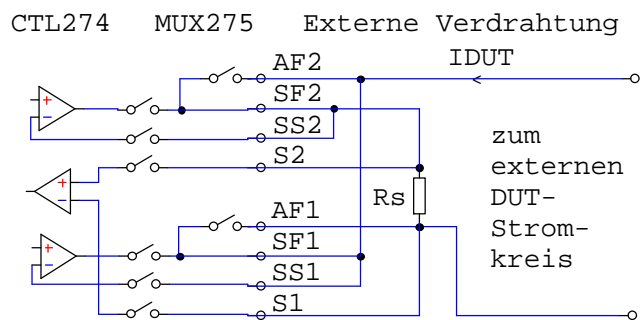
21.3.1 Strommessung am SVGP mit externem Shunt und Shuntkompensation



Der SVGP verfügt über kein Strommessgerät. Ein externer Stromshunt kann durch den SVGP kompensiert werden, dadurch entsteht am DUT kein Spannungsfehler, siehe Schaltung links. Zu beachten ist der spannungs- und bereichsabhängige Eingangsstrom ($\leq 240\mu A$) am Anschluss SSP. Bei konstanter Spannung ist der Eingangsstrom konstant, der Messfehler kann rechnerisch korrigiert werden. Überschreitet der Spannungsabfall am Shunt bei Befehl !ssv etwa $\pm 600mV$ wird SupplySensefehler Err14 ausgelöst. Im Beispiel am MINIPORT wird über den externen Shunt zwischen SFP0 und SSP0 der Laststrom ISFP erfasst. Wenn bei Messungen am Shunt der Gleichtaktspannungsbereich der SMMU überschritten wird ($-8..+26V$), wird Err16 ausgelöst.

21.3.2 Strommessung mit externem Shunt

Bei dieser Schaltart sind im Shunt keine Schalterstrecken enthalten, der effektive Shuntwiderstand ist R_s . Er kann vom Tester ausgemessen werden. $IDUT$ kann parallel zur Widerstandsmessung von R_s ungestört weiterfließen. Nach dem unterbrechungsfreien Einschleifen von R_s in den DUT-Stromkreis und Herstellung einer geeigneten GTA wird URs gemessen und $IDUT$ berechnet: $IDUT = URs / R_s$

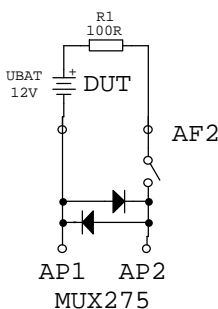


AF2	AF1	Kommentar
aus !rax2	aus !rax1	PowerUp Zustand und Zustand im Plauertest: DUT-Stromkreis offen
	ein !sax1	AF1 schließt den externen DUT-Stromkreis AF2 trennt R_s einseitig vom DUT-Stromkreis R_s kann vom Prüfsystem ausgemessen werden mit !mro1:2 oder !mrg1:2
ein !sax2	aus !rax1	AF2 leitet $IDUT$ über R_s AF1 hebt den Kurzschluss vom DUT-Stromkreis auf Bei Fremdspeisung des DUT muss vor der SMMU-Spannungsmessung am floatenden Shunt (URs) manuell eine GTA geschaltet werden: !sax2 !rax1 !sup0;100 !bua1 !spp2 !mua2:1 !rpp2
	ein !sax1	In diesem Zustand können Funktionstests erfolgen, R_s ist kurzgeschlossen und der DUT-Stromkreis optimal niederohmig.

Der DUT-Stromkreis kann mit dieser Methode komplett geschaltet werden. Für einen Plauertest ist mit !slt2 die 2-Leitertechnik anzuwählen. Die Messeingänge S1 und S2 sowie die stromführenden Zuleitungen an R_s sind zur Erzielung hoher Genauigkeit in 4-Leitertechnik anzuschließen. Die Methode ist einsetzbar bei Spannungen von $-8..+26V$.

21.3.3 I-Messung mit Stromkompensation

DUT= Batterie mit Widerstand 100Ω

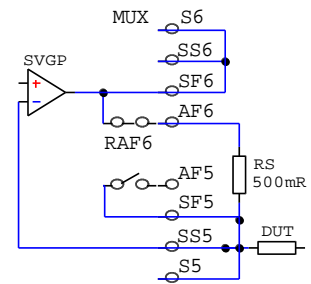


Diese Anschaltung erlaubt externe Strommessungen bis $\pm 400mA$ ohne Shunt an einem Prüfling mit Netzteil, Akku oder Supercap bis $+26V$. Mit Schalter AF2 kann der Prüfling geschaltet werden. Die 2 Schutzdioden sind als Teil des Prüfsystems einzubauen. Der Innenwiderstand der SMMU-Spannungsquelle ist $NULL\ \Omega$; er steigt erst, wenn der ILIMIT-Grenzwert überschritten wird. Das System misst extern eingepreßte Ströme durch Stromkompensation zwischen 2 beliebigen DUT-AP mit folgendem Befehlsablauf:

- !sup0;400 (0V Kompensationsspannung mit ILIMIT 400mA)
- !bia7 (Messbereich $\pm 400mA$)
- !ssv1:2 (Kompensation ein: AP1 pos und AP2 neg)
- !sax2 (Schalter AF2 schließen, DUT einschalten)
- !mia (Strommessung $IDUT = +120mA$)

21.3.4 Strommessung am SVGP mit AF-Schalter und Shuntkompensation

Statt am MINIPORT wird die Schaltung von 21.3.1 vorteilhaft am MUX realisiert. Shunt RS wird zwischen 2AP eingebaut, schaltbar über einen AF-Schalter, damit wird die Schaltung plauertestkompatibel. Damit RS vom SVGP auskompensiert wird, muss die SVGP-Fühlerleitung an SS5 geschaltet werden. Das erfolgt über den MUX unter Softwarekontrolle, Der effektive Shuntwiderstand besteht im Beispiel aus RAF6 und RS. Der exakte Wert wird gemessen, auch ungenaue Shunts liefern korrekte Strommesswerte. RS kann auch überbrückt werden (0Ω), es wirkt dann allein der Widerstand des AF-Schalters, etwa 0,25Ω. Ströme von 10...400mA sind damit gut messbar. Beispiel siehe 21.14.1.



RSAF6 messen	!hum50 (Brummfilter)	!sax6 (AF6 ein)	!bro1 (1Ω)	!mro5:6 (RSAF6)
DUT versorgen	!sup10000;400 (10V)	!ssv6:2 (DUT an AP5:2 wird versorgt über AP6)		
	!set42 (SSINTERN)	!sss5:2 (SVGP-Fühlerumschaltung an SS5)		
	!clr42 (SSINTERN, RS wird auskompensiert)			
URSAF6 messen	!bua1 (±120mV)	!mua6:5 (URSAF6)	Rechnen IDUT=URSAF6/RSAF6	

21.3.5 Externes DAM

Ein externes DAM mit V24-Schnittstelle kann an V24.1 angeschlossen werden. Die digitale Ansteuerung erfolgt mit der Schnittstellenkaskadierung !pas. Der analoge Eingang des DAM kann angeschlossen werden an MINIPORT SFP0:SFN0, siehe 20.3.6.

21.3.6 Leitfaden für stabile Messungen im nA-Bereich

1. **Leiterplatten** sauber und staubfrei halten, u.U. Lötseite mit Isopropanol reinigen.
2. **Betriebstemperatur** der SMMU reduzieren, das sorgt für geringe Leckströme.
3. **Leckströme** können mit einer Nullstrommessung IZERO ermittelt und verrechnet werden.
4. **Messspannung** wählen mit USVGN=0V (Spannung am Stromshunt), das sorgt für geringsten Stromoffset, da die Eingangsströme der Messverstärker minimal sind.
5. **Brummstörungen** durch geerdete Abschirmungen an SMMU, DUT und den Messkabeln minimieren.
6. **Einstreuungen** von abgeschalteten AP sind möglich über kapazitive Koppelungen im MUX. Diese Einflüsse können bei Bedarf reduziert werden mit MUX275 Option C.
7. **Fotospannungen** von Dioden im DUT und den Modulen müssen durch Abdunkelung verhindert werden.
8. **Systemrauschen** muss berücksichtigt werden. Der von der SMMU erzeugte Störteppich besteht aus:
 - a. Schaltstörungen (Übersprechen), sie entstehen parallel und synchron zum Befehlsablauf und
 - b. Rauschstörungen, die statisch vorhanden sind (Digitalrauschen), Blinker ausschalten mit !cod7;0

Jeder Messablauf erzeugt am Anfang und am Ende geringe Schaltstörungen mit Übersprechen in die SVG und Messverstärker. Während der Messung sind nur die weit kleineren Rauschstörungen vorhanden. Strommessungen sind sensibler als Spannungsmessungen.

Folgende Bedingungen erfordern Sorgfalt beim Erstellen des Messrezepts:

- C-Last, im Prüfling befindet sich ein Kondensator (Cp) parallel zur Speisung
- Speisung des Prüflings mit geregelter Spannung und Strommessung im µA- oder nA-Bereich

Schon geringe Rauschanteile der Speisung führen über die C-Last zu erheblichen AC-Rauschströmen, die den geringen zu messende Nutzstrom komplett überlagern.

Schaltstörungen erzeugen zusätzlich störende Umladeströme, die Abklingzeit ist abhängig von Cp.

Option HRADC mit hochaufl. Messung 22bit und externer Auswertung hat ein Grundrauschen von ±10pA.

Schaltstörungen reduzieren durch gute Messparameter

Standardmessung !mia, mit minimaler Wartezeit, ist optimiert auf Geschwindigkeit. Bei reiner R-Last, korrekter Brummfiltereinstellung !hum und aktiven Tiefpassfiltern (!clr144 / 145) sind nA-Ströme gut messbar. Bei RpCp-Last fällt aber die Abklingzeit der Schaltstörung in die Messzeit, Messungen im nA-Bereich werden unbrauchbar.

Triggermessung !mib kann die Folgen von Schaltstörungen eliminieren. Die Wartezeit so einstellen (im Messbereich bia12 bis zu 2s), dass die Messung erst beginnt, wenn die Störungen abgeklungen sind. Die Integrationszeit soll ein Vielfaches der Netzperiode betragen, das unterdrückt Brumm.

Rauschstörungen reduzieren mit dem Rauschstromfilter

Im Spannungsmodus mit kapazitiver Last >10nF soll das Rauschstromfilter (3.6.6) aktiviert werden. Beispiel siehe 21.4.8. Auch bei Reststrommessungen an geladenen Akkuzellen das Rauschstromfilter aktivieren.

21.3.7 I-Triggermessung Periode

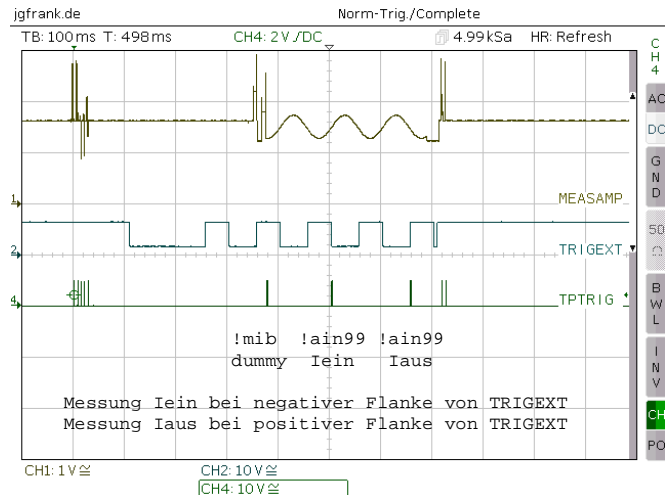
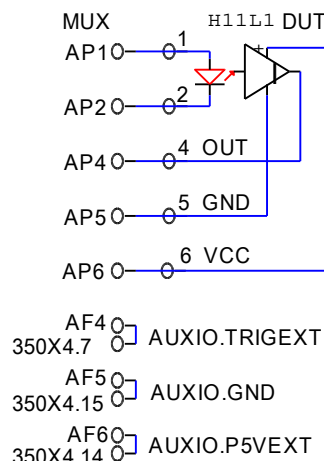
Ein 12V Blinkgeber mit 2 Anschlüssen ist am MINIPORT angeschlossen mit komplett verschalteten AP. Über die Stromerfassung wird Blinkfrequenz und Tastverhältnis bestimmt, als Mittelwert über 3 Blinkperioden.

Versorgung !sup12000;400 (Supply=12000mV, ILIMIT=400mA) !ssv0:0 (Supply ein)
 Loggerparameter !dwr32;1 (LogStrt=1) !dwr36;1 (LogAnz=1)
 I-Parameter !bia6 (Messbereich=200mA) !dwr2;50 (Triggeroffset=50%, 100mA, Messber. -0,1..+0,3A)
 !dwr6;3 (Trigger=+3) !dwr8;2 (Messart=2, Periode) !dwr10;3000 (Timeout=3s)
 !dwr14;0 (Strommessung mit DC-Koppelung)
 U-Parameter !bua6 (Messbereich=±24V) !hum50 (Brummfilter auf 50Hz)
 Messungen !mua0:0 (Spannung messen) <W=+11998;03
 !mib (Strom Triggermessung) <F=+00000
 Logger lesen !lrd1 (Loggerblock 1) <L=1;0;947;1229;52;1646;15;3808;42;6775;42;8564;0
 Messende !rsv (Supply aus) IDCAVG;IDCRMS;IMIN;IMAX;E100µA;tpuls;E100µs;tper;E100µs

Auswertung:	Spannung = 11998mV	Minimalstrom = 5,2mA	Maximalstrom = 164,6mA
	Periodenzeit = 677,5ms	berechnet wird	Blinkfrequenz = 1,48Hz
	Pulszeit = 380,8ms	berechnet wird	Tastverhältnis = 0,562

21.3.8 Schaltstrom und Hysterese Optokoppler H11L1

Optokoppler H11L1 ist angeschlossen am MUX über AP1...6. Zum Test notwendige alternative Funktionen von Stecker AUXIO werden über AF-Schalter zugeschaltet: Masse, 5V Versorgung und Triggereingang TRIGEXT. Anschlüsse an AUXIO sind generell massebezogen. TRIGEXT hat einen Pullup-Widerstand von 10KΩ an 5V, damit kann der Ausgang von H11L1 (open collector) direkt angeschlossen werden. Die Ansteuerung der Optodiode erfolgt mit unipolarem Sinus von der Stromquelle nach 3.6.5 mit internem Shunt RS. Stromwerte >0 vorgeben, sonst kann der Stromregler den Strom nicht einregeln, da die Optodiode rückwärts sperrt. Die Triggermessung mit externem Messtrigger TRIGEXT misst Ein- und Ausschaltstrom. Die Differenz der Ströme ist die Hysterese des Optokopplers. Das Oszillogramm zeigt die Testpins MEASAMP und TRIG sowie Optoausgang TRIGEXT.



Die Ansteuerung der Optodiode erfolgt mit unipolarem Sinus von der Stromquelle nach 3.6.5 mit internem Shunt RS. Stromwerte >0 vorgeben, sonst kann der Stromregler den Strom nicht einregeln, da die Optodiode rückwärts sperrt. Die Triggermessung mit externem Messtrigger TRIGEXT misst Ein- und Ausschaltstrom. Die Differenz der Ströme ist die Hysterese des Optokopplers. Das Oszillogramm zeigt die Testpins MEASAMP und TRIG sowie Optoausgang TRIGEXT.

!kta1:2 (Optodiode-Kelvintest) !sup60;100 (60mV 100mA) !bia4 (2mA, Rs=50Ω) !set34 (SSNLOCAL)
 !spn2 (SFN2 ein) !spp1 (SFP1 ein) !sss2:1 (SS-MUX, 2=I-Regelung, 1=dummy)
 !wav10;50;60;1 (Optostrom 10Hzsin, 1mA_p, Offset 1,2mA) !clr42 (SVGP Stromregelung ein an RS=50Ω)
 !sax5 (Optomasse an GND) !sax6 (P5VEXT ein) !sax4 (schalte Optoausgang an TRIGEXT)
 !dwr2;80 (-0,4..+3,6mA) !dwr4;2 (ti 0,2ms) !dwr6;0 (Trigger) !dwr8;0 (Messart 0)
 !dwr10;1000 (timeout 1s) !dwr12;0 (Wartezeit) !dwr14;0 (DC) !dwr36;1 (LogAnz)
 !dwr32;0 (LogStrt) !cod9;1 (Schnellmessung ein) !mib (Dummymessung)
 !dwr32;1 (LogStrt) !dwr12;-32001 (TRIGEXT neg) !ain99 (messe Strom Iein)
 !cod9;0 (Schnellmessung aus) !dwr12;32001 (TRIGEXT pos) !ain99 (messe Strom Iaus)
 !rax4 (TRIGEXT trennen) !rax6 (P5VEXT trennen) !rsv (aus, SSINT ein) !clr34 (SSNLOCAL)
 !rax5 (GND trennen) !lrd0;1 (Logger lesen)
 <L=0;0;1125;1125;1125;1125;13;0;98;0;98;22593;0#1;0;919;919;917;920;13;0;98;0;98;24133;0
Iein Iaus

Auswertung:	Einschaltstrom=1125µA	Ausschaltstrom=919µA	Hysterese=206µA
-------------	-----------------------	----------------------	-----------------

21.4 Widerstand

Messbar sind allgemein Widerstände, Schalter, Potentiometer, Varistoren, NTC, PTC, LDR, Glühlampen... Die ICT-Widerstandsmessungen !mrg, !mro und !mds arbeiten mit DC-Konstantstrom. Korrekter Kelvinanschluss wird bei ICT-Widerstandsmessungen automatisch überprüft, siehe 10.2.

FKT-Messungen können realisiert werden mit ACDC-Konstantstrom oder ACDC-Konstantspannung.

Ist der Prüfling ein Schalter mit Prüfbetätigung, kann mit den getriggerten ICT-Messungen !irg und !iro der Widerstand automatisch nach dem Schaltvorgang gemessen werden. Die Messungen !mrg und !irg kompensieren Thermospannungen am Prüfling. Hochauflösende Messungen sind möglich mit Option HRADC.

21.4.1 2-Leitermessung

Widerstandsmessungen >~10Ω erfolgen einfach mit 2-Leitertechnik. Der Knotenpunkt der komplett verdrahteten AP befindet sich bevorzugt direkt an den Prüfnadeln.

!kta3:4 (Isoliertest >1MΩ zwischen AP3:4, das ist Err10)

!hum50 (Brummfilter 50Hz)

!bro9 (Messbereich 1KΩ)

!bro10 (Messbereich 10KΩ)

!bro11 (Messbereich 100KΩ)

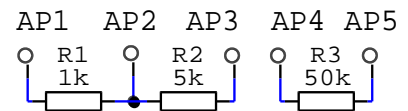
!mro1:2 (messe R1)

!mro2:3 (messe R2)

!mro4:5 (messe R3)

Details der möglichen Messarten siehe 10.7 und 10.8.

Widerstandsnetzwerk:



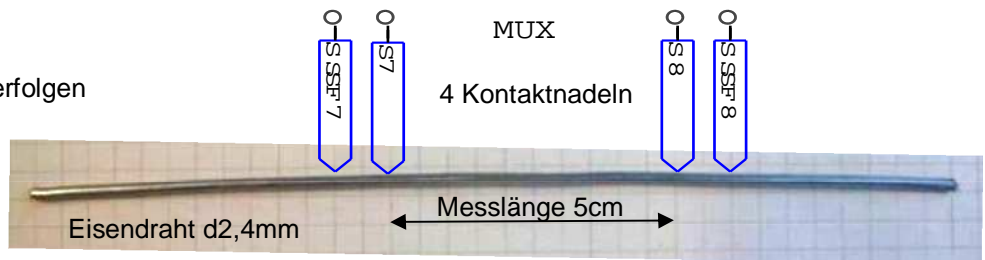
21.4.2 4-Leitermessung

Widerstandsmessungen <~10Ω erfolgen präzise mit 4-Leitertechnik.

!hum50 (Brummfilter 50Hz)

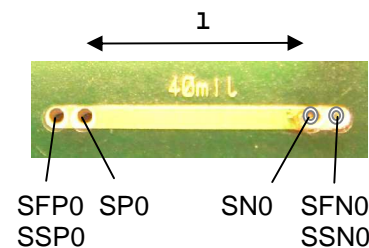
!brg1 (Messbereich 1Ω 400mA)

!mrg8:7 <W=+00021;19 (2,1mΩ)



21.4.3 Cu-Schichtdicke einer LP ermitteln

Mit Hilfe der Kupfer-Teststrukturen auf der Leiterplatte SMU350 kann der Bahnwiderstand und damit die Dicke d der Kupferschicht bestimmt werden. Die Teststruktur besteht aus einer B = 1mm (~40mil) breiten Leiterbahn der Länge l = 10,16mm (400mil) mit 4 Bohrungen 0,8mm. Zur Widerstandsmessung wird die Teststruktur z.B. am MINIPORT mit 4-Leitertechnik angeschlossen. Die Messung erfolgt mit !hum50, !brg2 und !mrg0:0.



Die SMMU misst den Widerstand R = 4,7mΩ der Strecke l.

Der spezifische Widerstand von Cu beträgt etwa ρ = 0,017μΩm.

Die Dicke der Kupferschicht beträgt $d = (l * \rho) / (R * B)$

$d = 36\mu\text{m}$

21.4.4 Getriggerte Widerstandsmessung !irg

Die Messung triggert den Schliessvorgang des Prüflings (Schaltmatte) und misst den Durchgangswiderstand.

!hum50 (Brummfilter) !brg9 (Messbereich 1KΩ)

!ivg2000;50;70;100 (2s timeout, 50% Triggerschwelle = 500Ω; Wartezeit 70ms; Glättung 100%)

!irg2:1 (R-Messung nach dem Schliessen des Prüflings an AP2:1 mit Thermospannungskompensation)

21.4.5 Getriggerte Widerstandsmessung !iro

Die ICT-Messung triggert den Öffnungsvorgang des Prüflings (Schalter) und misst den Offenwiderstand.

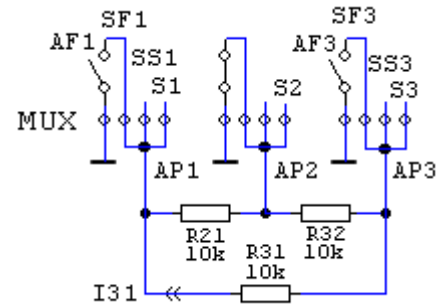
!hum50 (Brummfilter) !bro8 (Messbereich 100Ω) !ivo2000;50 (2s timeout, 50% Triggerschw. = 50Ω)

!iro2:1 (R-Messung nach dem Öffnen des Prüflings an AP2:1)

In den Messbereichen bro wird kein Messwertüberlauf erzeugt, er kann künstlich erzeugt werden, siehe 10.8.

21.4.6 Messung mit Ersatzkompensation

Zur Messung von Einzelkomponenten in verschachtelten Bauteilstrukturen werden üblicherweise Kompensationstreiber eingesetzt, die in der SMMU nicht vorhanden sind. Die hier gezeigte Ersatzmethode liefert bei Prüflingen >1KΩ gute Ergebnisse. Als festes Kompensationsersatzpotential wird GND verwendet, das über AF-Schalter zugeschaltet wird. Alle Komponenten des Netzwerks können bestimmt werden. Messungen erfolgen mit Konstanzspannung bei geregelterm SVGN mit U=0V. Bei AC-Speisung können auch Blindwiderstände gemessen werden.



!kta3:1 (Err0&10=DUT-Kontakt. ok)
 !sup10000;100 (10V 100mA)
 Messen von R31
 !bia4 (Messbereich 2mA)
 Aufräumen

!kta2:1 (Err0&10=DUT-Kontakt. ok)
 !ssv3:1 (MUX ein, AP1=0V)
 !mua3:1 (U31) !sax2 (GND an AP2, I32 ist egal, I21 wird NULL)
 !mia (I31)
 !rax2 (Ersatzkompensation aus)

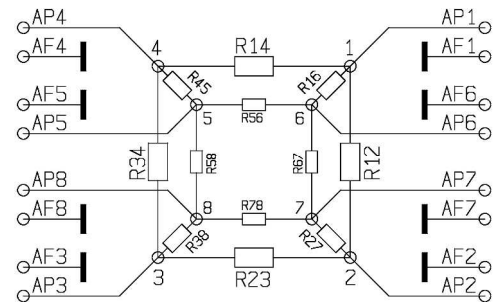
!hum50 (Brummfilter)
 !bua5 (Messbereich 12V)
 Rechnen $R31=U31/I31$
 !rsv (MUX aus)

21.4.6.1 Widerstandswürfel

Im klassischen Widerstandswürfel sind einzelne Widerstände nur mit Hilfe von Kompensationstechnik messbar.



Das Beispiel mit einem Würfel 12x 1KΩ verwendet Methode 21.4.6 zur Messung von R12:



!sup1000;100 (1V 100mA)
 !sax7 (GND an AP7)
 !mua2:1 (U12=1000, 5mV)
 Rechnen $R12=U12/I12$
 Aufräumen !rsv !rax3 !rax7

!ssv1:2 (1V:0V)
 !hum50 (Brummfilter)
 !bia4 (Messbereich 2mA)
 !sax3 (GND an AP3)
 !bua2 (Messbereich 1,2V)
 !mia (I12=1,002mA)
 $R12=998,5m\Omega$ (Der Realwert beträgt 1000,4mΩ)

Obwohl das Massepotential an den AF-Schaltern unregelt ist, kann R12 auf ~2mΩ genau bestimmt werden.

21.4.7 DC-Widerstandsmessung an RpCp-Last

Bei RpCp-Lasten ist das Messverfahren sorgfältig auszuwählen, sonst entstehen Messfehler. ICT-Messungen spezifizieren die maximale Lastkapazität CDUT. Bei Überschreitung muss mit FKT getestet werden mit Konstanzstrom oder Konstanzspannung mit Rauschstromfilter. Bei Konstanzstrom ist die RC-Zeitkonstante maßgebend für den richtigen Zeitpunkt der Spannungsmessung. Reine Widerstandslasten können problemlos gemessen werden. Brummfilter !hum auf Netzfrequenz setzen.

Bis 1MΩ	Widerstandsbereich 1MΩ, UDUT bis 12V	!bro12	!mro{p:n}
Bis 2MΩ	Diodensperrbereich 2MΩ, UDUT bis 24V	!bds2	!mds{p:n}
Bis 25MΩ	Konstanzstrom anlegen und Spannung messen	!sib1;26000	!ssv !mua
Bis 5GΩ	Konstanzspannung bis 34V anlegen und Strom messen, siehe 21.4.8		

21.4.8 Hochohmmessung Rp mit Konstanzspannung

Widerstand Rp der RpCp-Kombination 1GΩ/100nF wird mit Konstanzspannung bestmöglich bestimmt. Strommessungen erfolgen im empfindlichsten Messbereich bia12 mit aktivem Rauschstromfilter und langer Integrationszeit 500ms. Bei SMMU-Systemen mit >16AP kann zur Sicherheit der geringe Multiplexer-Leckstrom IZERO gemessen und korrigiert werden. Im Beispiel wird gemessen am MINIPORT.

```

!kta0:0 (Err0&10=DUT-Kontakt. ok)      !sup10000;30 (USUPPLY 10V 30mA)      !ssv0:0 (MINIPORT ein)
!clr145 (Messbandbreite 3KHz)           !bia12 (Messbereich 200nA)           !set34 (Rauschstromfilter)
!hum50 (Brummfilter)                    !bua5 (Bereich 12V)                 !mua0:0 (UDUT=10,035V)
!dwr2;50 (Messber. -100...+300nA)       !dwr4;5010 (I-Integrationszeit 500ms) !dwr6;0 (I-Trigger)
!dwr8;0 (I-Messart)                     !dwr10;3000 (I-Timeout)            !dwr12;5000 (I-Wartezeit)
!dwr14;0 (IDC-Koppelung)               !dwr36;1 (LogAnzahl)               !mib (messe IREAL)
Realstrommessung IREAL                  !dwr32;0 (LogStart)
Leckstrommessung IZERO                  !dwr32;1 (LogStart)                !mib (messe IZERO)
!rsv (MINIPORT aus)                    !sup0;30 (0V, Rauschstromfilter aus) !lrd0;1 (Logger lesen)
Aufräumen
<L=0;0;100;100;76;123;9;0;98;0;98;46588;0#1;0;0;5;-10;9;9;0;98;0;98;58006;0
      IREAL=10,0nA      Einheit 0,1nA      IZERO=0nA      Einheit 0,1nA

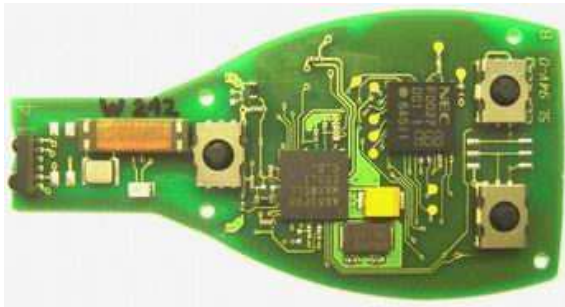
```

```

Rechnen      IDUT=IREAL-IZERO      RDUT=UDUT/IDUT      RDUT=1,003GΩ

```

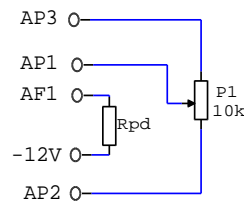
Die Methode eignet sich sehr gut zum Messen von Standbyströmen.



Im Beispiel der elektronische Autoschlüssel W212, links im Bild die Version ohne keyless go: Die Strommessung erfolgt mit aktivem Rauschstromfilter in Messbereich bia12. Bei 3V Speisung liegt der Leerlaufstrom bei 100 Messungen innerhalb von 8,7...9,5nA. Die Messwerte streuen sehr gering. Bei der Version keyless go streut der Leerlaufstrom bei 100 Messungen von 945...948nA.

21.4.9 Potentiometer

Potentiometer P1 soll geprüft werden. Die Erfassung des Drehwinkels β erfolgt über einen parallel angeflanschten Drehgeber, der angeschlossen ist am Stecker AUXIO, Anschlüsse GND, P5VEXT und AB4-Zählereingänge SA und SB.



Die Potibahn wird gespeist von einer Festspannung. Die Messung der Schleiferspannung erfolgt mit schnellen Triggermessungen. Messungen enthalten im Loggerblock die Schleiferspannung U und die zugehörige Potiposition β. Durch Drehen der Potiachse und messen wird die Potikennlinie U=f(β) erfasst.

Die Detektion von Schleiferunterbrechungen erfolgt mit Widerstand Rpd vom Potischleifer an -12V (AUXIO.M12V.11). Rpd wird über Schalter AF1 mit dem Schleifer verbunden. Bei Schleiferunterbrechungen überschreitet die Spannung an AP1 die Schwelle von -10V, das CMV-FlipFlop wird gesetzt und Err16 ausgelöst. Das CMV-FlipFlop ist aktiv während der kompletten Schnellmesssequenz, also auch zwischen den Schnellmessungen. Übliche Werte von Rpd liegen im Bereich von 100KΩ...1MΩ. Ein Wert von 330KΩ ermöglicht die Detektion von Schleiferunterbrechungen >~1ms.

```

!kta3:2 (Poti Kelvintest)      !kta1:2 (Schleifer Kelvintest)      !sax1 (Rpd aktivieren)      !sup0;50 (preset)
!san9;-8000 (Potispannung)     !ssv3:2 (Poti bestromen)            !clr145 (Messbandbreite 3KHz)
!cnt0;0 (AB4-Zähler auf 0)     !dwr32;0 (LogStart)                 !dwr36;1 (LogAnzahl)      !bua5 (Bereich 12V)
!dwr18;0 (trigger)            !dwr20;50 (Integrationszeit)        !dwr22;0 (trigger)        !dwr24;0 (Messart ti)
!dwr26;2000 (Tout)           !dwr28;0 (Wartezeit)               !dwr30;0 (DC)
!cod9;1 (Schnellmessg. ein)    !mub1:3 (Dummymessung)
Messschleife: for j=1 to x     !dwr34;1 (LogAkt)                  !ain99 (messen)           !lrd1 (Loggerblock 1)
Bei Err16 und Messende        !cod9;0 (Schnellmessg. aus)        !rax1 (AF1 aus)          !rsv (Poti aus)

```

Loggerblock 1 wird immer sofort ausgewertet: Loggerstatus, Spannung Uavg, AB4-Zählerstempel.

21.5 Kapazität

Vorgestellt werden 7 Messabläufe für Kapazitätsmessungen:

1. MAC1 C-Standardmessung UAC-Speisung
2. MAC2 C-Standardmessung UACDC-Speisung
3. MAC3 CsRs-Standardmessung UAC-Speisung mit Phasenmessung
4. MAC4 CsRs-Standardmessung UACDC-Speisung mit Phasenmessung
5. MAC5 CpRp-Messung UACDC-Speisung mit Phasenberechnung
6. MAC6 C-Messung IDC-Speisung
7. MAC7 C-Messung UDC-Speisung über Vorwiderstand

Abweichend vom bereichsorientierten Standard können individuell angepasste Messrezepte realisiert werden, die den Nennwert in die Mitte des Messbereichs schieben. Kondensatoren sollen vor dem Anschluss an das Prüfsystem entladen sein, um Beschädigungen des Testers durch unbekannte Spannungen zu vermeiden.

Hinweis: Die Grundlastkapazität des Prüfsystems steigt mit der Anzahl der verwendeten Standardmultiplexer. Die Grundlastkapazität ist zeitinstabil, die Messwertstreuung liegt im unteren einstelligen nF-Bereich. Die Stabilisierung der Grundlastkapazität im MUX275 erfolgt auf Anfrage ab Werk mit Option C. Stabile Messungen ab 0pF sind möglich.

Standardmessung MAC1...5: Eine Messzeit von 100ms ist optimal für 50/60Hz-Netzfrequenzunterdrückung. Die vorgegebenen Messfrequenzen passen in dieses Raster. Die spezifischen Einstellungen jedes Messbereichs sind in der Tabelle fettgedruckt und müssen in den Messablauf übernommen werden:

Strombereich **bia**, Generatorfrequenz **frq**, Generatoramplitude **ampl**, Anzahl Tigger **TRIG** und Verstärkungskorrektur **GCOR**. Der Prüfling wird an den Anschlusspunkten AP{p:n} kontaktiert.

Bei Kapazitäten ist Phasenzeit (tPhase) und Phasenwinkel Theta (φ) negativ.

21.5.1 MAC1 C-Standardmessung UAC-Speisung ohne Phase

MAC1, ohne Phasenmessung, ohne Rauschstromfilter, mit Nullpunkt- / Verstärkungskorrektur. Berechnet wird die Kapazität C, Realanteile werden nicht berücksichtigt. Die Grundlastkapazität muss kompensiert werden. Im empfindlichsten Bereich erfolgt eine Gainkorrektur.

Mess-ablauf	C-Messbereich	Rs	Phasen-messung	Rausch-stromfilter	frq Hz	ampl mVp	bia	GCOR	trig
MAC1.1	0 - 1	nF	-	nein	300	1000	1	1,05...1,1	-30
MAC1.2	0 - 10						2	1	

!kta{p:n} (Kontaktiertest, Err0 und Err10 ist ok)

!sup0;100 (Supply 0V 0,1A) !wav**300;1000;0;1** (Sinus 0Voffset)

!ssv{p:n} (DUT ein)

!bua2 (±1,2V U-Bereich) !dwr18;0 (U-Triggeroffset)

!dwr22;-30 (Trigger)

!dwr24;2 (U-Periodenmessg.) !dwr26;1500 (U-Timeout)

!dwr30;0 (DC-Koppelung)

!bia{bia} (I-Bereich) !dwr2;0 (I-Messoffset) !dwr4;1002 (ti=0,1s)

!dwr6;0 (Trigger)

!dwr8;0 (I-Integrat.messg.) !dwr10;1500 (I-Timeout) !dwr12;0 (Wartezeit)

!dwr14;0 (DC-Koppelung)

!dwr36;1 (Loganz) !clr145 (3KHz Messbandbreite)

!dwr32;0 (Logstart) !mub{p:n} (u-Messung)

!dwr32;1 (Logstart) !mib (i-Messung) !wav (wave aus) !rsv (mux aus)

!lrd0;1 (Logger lesen) <L=0;0;udcavg;udcrms;-1947;1948;3;0;98;tPERIODE;40;20040;0

#1;0;idcavg;idcrms;-1338;1340;13;0;98;0;98;21843;0

Die Grundlastkapazität des Systems wird separat gemessen und als Nullpunktkorrektur **ZCOR** hinterlegt. Sie ist abhängig von der Anzahl MUX275 sowie der DUT-Verdrahtung und wird berechnet: ZCOR=C.

Auswertung: $u = \sqrt{UDCRMS^2 - UDCAVG^2}$

$i = \sqrt>IDCRMS^2 - IDCAVG^2$

$Z = u/i$

$C = tPERIODE/(2\pi * Z)$

$Cdut = (C - ZKOR) * GKOR$

21.5.2 MAC2 C-Standardmessung UACDC-Speisung ohne Phase

Sperrschichtkapazitäten von Dioden, Zenerdioden, Kapazitätsdioden etc. können gemessen werden mit MAC1 und zusätzlicher DC-Vorspannung bis 33V. Transistorkapazitäten zusätzlich mit Gatespannung bis 9V (Sperrspannung), die Gateansteuerung erfolgt mit dem FVG, siehe 21.11.3. DC-offsets werden in Messungen kompensiert durch AC-Koppelung mit Messoffset 0% oder exakt eingestelltem DC-Messoffset.

21.5.3 MAC3 CsRs-Standardmessung UAC-Speisung mit Phasenmessung

MAC3, mit Phasenmessung, ohne Nullpunkt/Verstärkungskorrektur, der Prüflingsstrom wird stabilisiert mit dem Rauschstromfilter. Berechnet wird Kapazität Cs und Realanteil Rs. Die 1:10 Teilung der Messbereiche berücksichtigt die bei Phasenmessungen nötige Stromaussteuerung von 10...100% des Messbereichs. Bei geringer Aussteuerung steigen die Messfehler der Phasenmessung, im Grenzfall wird Err56 ausgelöst.

Mess-ablauf	C-Messbereich	Rs	Phasen-messung	Rausch-stromfilter	frq Hz	ampl mVp	bia	GCOR	trig						
MAC3.3	10 - 100	nF	<10KΩ	ja	300	1100	3	1	-30						
MAC3.4	100 - 1000	nF	<1KΩ												
MAC3.5	1 - 10	μF	<100Ω												
MAC3.6	10 - 100		<10Ω												
MAC3.7	100 - 1000		mF							<1Ω					
MAC3.8	1 - 10														
											50		6		-5
											30	500	7		-3

```
!kta{p:n} (Kontaktiertest, Err0 und Err10 ist ok)
!sup0;400 (Supply 0V 0,4A) !wav{frq};{ampl};0;1 (Sinus) !ssv{p:n} (DUT ein)
!bua2 (±1,2V U-Bereich) !dwr18;0 (U-Triggeroffset) !dwr22;{trig}
!dwr24;-1 (U-Phasenmessg.) !dwr26;1500 (U-Timeout) !dwr28;0 (Wartezeit) !dwr30;0 (DC-Koppelung)
!bia{bia} (I-Bereich) !dwr2;0 (I-Triggeroffset) !dwr6;{trig}
!dwr8;-1 (I-Phasenmessung) !dwr10;1500 (I-Timeout) !dwr12;0 (Wartezeit) !dwr14;0 (DC-Koppelung)
!dwr36;1 (Loganz ) !clr145 (3KHz Messbandbreite) !set34 (Rauschstromfilter ein)
!dwr32;0 (Logstart) !nul{p:n} (Phasen-Nullabgleich und u-Messung)
!dwr32;1 (Logstart) !mib (i-Messung) !wav !rsv !clr34 (wave, mux, Rauschstromfilter aus)
!lrd0;1 (Logger lesen) <L=0;0;udcavg;udcrms;umin;umax;3;tNULLPHASE;tPERIODE;40;20040;0
#1;0;idcavg;idcrms;imin;imax;13;tPHASE;39;tPERIODE;40;21843;0
```

Auswertung: $u = \sqrt{UDCRMS^2 - UDCAVG^2}$ $i = \sqrt>IDCRMS^2 - IDCavg^2$ $Z = u/i$
 $\varphi = 360 * tPHASE / tPERIODE$ $Cs = tPERIODE / (2\pi * Z * |\sin \varphi|)$ $Rs = Z * |\cos \varphi|$

21.5.4 MAC4 CsRs-Standardmessung UACDC-Speisung mit Phasenmessung

DC-Vorspannung wird verwendet für Messungen an gepolten Kondensatoren (Elko/Tantal). Eine Vorspannung von 900mV entspricht im 3V-Messbereich einem Triggeroffset von 30%. Am MINIPORT mit komplett verschalteten AP ist Cs+Rs (100μF+10Ω) angeschlossen.

```
!sup900;400 (0,9V 0,4A) !wav150;1200;900;1 (150Hzsin 1,2Vp 0,9Vdc) !ssv0;0 (MINIPORT ein)
!bua3 (±3V) !dwr18;30 (U-Triggeroffset)!dwr22;-15 (U-Trigger, 100ms)
!dwr24;-1 (U-Phasenmessg.) !dwr26;1500 (U-Timeout) !dwr28;0 (Wartezeit) !dwr30;0 (DC-Koppelung)
!bia6 (±200mA) !dwr2;0 (I-Triggeroffset) !dwr6;-15 (I-Trigger, 100ms)
!dwr8;-1 (I-Phasenmessung) !dwr10;1500 (I-Timeout) !dwr12;0 (Wartezeit) !dwr14;0 (DC-Koppelung)
!dwr36;1 (Loganz ) !set34 (Rauschstromfilter) !clr145 (3KHz Messbandbreite)
!dwr32;0 (Logstart) !nul0;0 (Phasen-Nullabgleich und u-Messung)
!dwr32;1 (Logstart) !mib (i-Messung) !lrd0;1 (Logger lesen)
!wav (Wave aus) !rsv (Mux aus) !clr34 (Rauschstromfilter aus)
```

Alternativ mit AC-Koppelung und Triggeroffset 0 sowie DC-Vorspannung 10V im Messbereich bua2.

```
!sup10000;400 (10V 0,4A) !wav150;1200;10000;1 (150Hzsin 1,2Vp 10Vdc) !ssv0;0 (MINIPORT ein)
!bua2 (±1,2V) !dwr18;0 (U-Triggeroffset) !dwr22;-15 (U-Trigger, 100ms)
!dwr24;-1 (U-Phasenmessg.) !dwr26;1500 (U-Timeout) !dwr28;0 (Wartezeit) !dwr30;300 (UAC-Koppelung)
!bia6 (±200mA) !dwr2;0 (I-Triggeroffset) !dwr6;-15 (I-Trigger, 100ms)
!dwr8;-1 (I-Phasenmessung) !dwr10;1500 (I-Timeout) !dwr12;0 (Wartezeit) !dwr14;300 (IAC-Koppelung)
!dwr36;1 (Loganz ) !set34 (Rauschstromfilter) !clr145 (3KHz Messbandbreite)
!dwr32;0 (Logstart) !nul0;0 (Phasen-Nullabgleich und u-Messung)
!dwr32;1 (Logstart) !mib (i-Messung) !lrd0;1 (Logger lesen)
!wav (Wave aus) !rsv (Mux aus) !clr34 (Rauschstromfilter aus)
```

Die Auswertung erfolgt wie im Messablauf MAC3. Siehe auch Messbeispiel 21.5.10.

Die Messfrequenz nach Möglichkeit so wählen, dass der Phasenwinkel bei etwa -45° liegt. In diesem Bereich ist die sin/cos-Zerlegung am genauesten.

21.5.5 MAC5 CpRp-Messung UACDC-Speisung mit Phasenberechnung

Das Beispiel zeigt einen vollvergossenen elektronischen Sensor mit integriertem Blockkondensator Cp, der bestimmt werden soll. Das Messrezept rückt den Nennwert in die Mitte des Messbereichs und verwendet angepasste Messspannungen. Gemessen wird mit einer ACDC-Kombispannung. Die parallelgeschalteten Halbleiterstrukturen erzeugen durch die AC-Anteile der Messspannung störende Stromverzerrungen. Durch geschickte Wahl der Messspannung (unterhalb der PowerOn-Resetspannung des Sensors) können Störeffekte minimiert werden. Diese einmaligen experimentellen Vorarbeiten erfolgen mit dem Oszillografen nach 20.8. Der ermittelte optimale Arbeitspunkt liegt bei 1V DC-Vorspannung mit überlagertem Sinus 1Vp. Bei kapazitiver Last >10nF das Rauschstromfilter aktivieren, um störende Rauschteile im Messstrom zu reduzieren, siehe 3.6.6. Der Sensor ist angeschlossen am MINIPORT mit komplett verschalteten AP. Das Beispiel verwendet DC-Koppelung und ist deshalb auch lauffähig auf einer SMMU05 mit CTL274.

```

DC-Startwerte !sup1000;100 (USUPPLY=1000mV, ILIMIT=100mA)           !ssv0:0 (Supply aktiv)
Generator      !wav1500;1000;1000;1 (f=1500Hz, 1000mVp, 1000mV Wellenoffset, Sinus)
U-Parameter    !bua3 (Messbereich ±3V)           !dwr24;0 (Messart=0)           !dwr22;0 (Trigger=0)
               !dwr18;0 (Messoffset=0%)         !dwr28;0 (Wartezeit=0)       !dwr30;0 (DC-Koppelung)
               !dwr20;1002 (Integrationszeit=100ms) !dwr26;1500 (Timeout=1,5s)
I-Parameter    !bia5 (Messbereich ±20mA)         !dwr8;0 (Messart=0)          !dwr6;0 (Trigger=0)
               !dwr2;0 (Messoffset=0%)         !dwr12;0 (Wartezeit=0)      !dwr14;0 (DC-Koppelung)
               !dwr4;1002 (Integrationszeit=100ms) !dwr10;1500 (Timeout=1,5s)
Messsystem     !clr145 (Messbandbreite 3KHz)
Logger         !dwr36;1 (LogAnz=1)               !dwr32;0 (LogStrt=0)
Messung        !mub0:0 (Spannung)               !dwr32;1 (LogStrt=1)        !mib (Strom)
Messende       !wav (Generator aus)             !rsv (Supply trennen)      !clr34 (Rauschstromfilter aus)
Ergebnis      !lrd0;1 (Loggerblock 0..1 lesen)
<L=0;0;1001;1175;131;1872;3;0;98;0;98;22113;0#1;0;62;153;-142;255;14;0;98;0;98;61925;0
              UDCAVG UDCRMS           Einheit 1mV           IDCAVG IDC RMS           Einheit 10µA
    
```

Der 20mA Messbereich hat Reserve, falls der Prüfling höhere Kapazität hätte / fehlbestückt wäre.

Auswertung:

Gleichspannung	$UDCAVG = 1001mV$	Diese zwei Messergebnisse können direkt	
Gleichstrom	$IDCAVG = 620µA$	den Loggerdaten entnommen werden.	
Wechselspannung	$UACRMS = \sqrt{UDCRMS^2 - UDCAVG^2}$	$UACRMS = \sqrt{1,175V^2 - 1,001V^2}$	$UACRMS = 615mV$
Wechselstrom	$IACRMS = \sqrt{IDCRMS^2 - IDCAVG^2}$	$IACRMS = \sqrt{1530µA^2 - 620µA^2}$	$IACRMS = 1,4mA$

Scheinwiderstand Z	$Z = \frac{UACRMS}{IACRMS}$	$Z = \frac{615mV}{1,4mA}$	Z=440Ω	(Impedanz)
Scheinleitwert Y	$Y = \frac{1}{Z}$	$Y = \frac{1}{440Ω}$	Y=2,27mS	(Admittanz)
Widerstand R	$R = \frac{UDCAVG}{IDCAVG}$	$R = \frac{1001mV}{620µA}$	Rp=1615Ω	(Resistanz)
Leitwert G	$G = \frac{1}{R}$	$G = \frac{1}{1615Ω}$	G=0,62mS	(Konduktanz)
Blindleitwert B	$B = \sqrt{Y^2 - G^2}$	$B = \sqrt{2,27mS^2 - 0,62mS^2}$	B=2,2mS	(Suszeptanz)
Blindwiderstand X	$XC = \frac{1}{B}$	$XC = \frac{1}{2,2mS}$	XC=454Ω	(Reaktanz)

Kapazität C	$C = \frac{1}{2 * \pi * f * Xc}$	$C = \frac{1}{2 * \pi * 1500Hz * 454Ω}$	Cp=234nF
Güte Q	$Q = B / G$	$Q = \frac{2,2mS}{0,62mS}$	Q=3,57
Verlustfaktor d	$d = \frac{1}{Q}$		d=0,28
Phasenwinkel φ	$φ = \arctan Q$	$φ = \arctan 3,57$	φ = -74,2° (kapazitiv)

Bei Verwendung einer SMMU07 kann der Prüfling auch mit Nennspannung vermessen werden, siehe 21.5.10.

21.5.6 MAC6 C-Messung IDC-Speisung

Kondensatoren bis 1F können mit Konstantstrom gemessen werden. Realanteile werden nicht erfasst. In zwei Messungen im Abstand Δt wird die Spannung erfasst und die Kapazität berechnet. Im Beispiel ist ein Kondensator angeschlossen an den komplett verschalteten AP2:1.

```

!sup0;400 (0V)           !spn1 (GTA an 0V)           !bua7 (34V)           !hum50 (Brummfilter)
!mua2:1 (Spannung am Kondensator soll sein <1V, sonst Entladen, bei >8V Abbruch)
!kta2:1 (Kelvintest)     !dwr32;1 (LogStrt)         !dwr36;2 (LogAnz)     !dwr38;10000 (LogDelay)
!bua4 (6V)              !dwr18;0 (offset)         !dwr20;400 (ti)       !dwr22;0 (trigger)
!dwr24;0 (art)          !dwr26;2000 (timeout)     !dwr28;0 (delay)     !dwr30;0 (DC)
!sup0;400 (0V)          !ssv2:1 (MUX ein)         !bia6 (200mA)         !sip200;8000 (0,2A Strom, 8V ULIMIT)
!mia (Ladestrom I)      !mub2:1 (Start Triggermessung)
!ird1;2 (Logger lesen)

<L=1;0;3878;3878;3833;3923;3;0;98;0;98;60578;0#2;0;5912;5912;5879;5951;3;0;98;0;98;6182;0
      U1                               Einheit 1mV      Zeitstempel ts1      U2                               Einheit 1mV      Zeitstempel ts2

!sup0;400 (0V)           !mua2:1 (entladen)         !wai20 (warten)       !rsv (trennen)
    
```

Die Berechnung von Δt erfolgt anhand der Zeitstempel der Messungen. Die Formeln gelten für Zeitstempel2 mit maximal 1 Überlauf, also $\Delta t < 6s$:

Ohne Überlauf ($ts1 < ts2$): $\Delta t = (ts2 - ts1) * 100\mu s$ Mit 1 Überlauf ($ts1 > ts2$): $\Delta t = (65536 - ts1 + ts2) * 100\mu s$

Realwerte: $\Delta t = (65536 - 60578 + 6182) * 100\mu s$ $\Delta t = 1,114s$

Aus der Grundgleichung $I * \Delta t = C * \Delta U$ mit $\Delta U = U2 - U1$ folgt die Kapazität $C = \frac{I * \Delta t}{U2 - U1}$

Für die Berechnung wird der gemessene Ladestrom I verwendet.

$$C = \frac{0,1999A * 1,114s}{5,912V - 3,878V}$$

C = 110mF

Wird am Anfang mit !tsp0 der Zeitzähler gelöscht, können Zeitstempel Überlaufprobleme vermieden werden. Parameter I , ULIMIT und Δt sind für guten Störabstand so einzustellen, dass $\Delta U > 1,5V$ wird. Tests können mit allen Einstellungen der Konstantstromquelle erfolgen (ICONST=1 μ A...430mA; ULIMIT=1V...26V). Die Ladezielspannung des Prüflings beträgt etwa ULIMIT+0,7V. Das ist wichtig bei Supercaps, deren Maximalspannung nicht überschritten werden darf.

Die erste Messung kann entfallen, wenn mit Kondensatorspannung=0V und Zeit=0s gestartet wird. Die Sequenz arbeitet mit der schnellen Triggermessung und einer time overlay Struktur. Im Beispiel wird die Messung ausgelöst, wenn die Kondensatorspannung die Triggerschwelle überschreitet.

```

!rsv (mux aus)           !sib300;10000 (300µA)       !ssv2:1 (C ein)       !set135 (C kurzschliessen mit SHORTSF)
!wai20 (warten)         !bia4 (2mA)                 !hum50 (Brummfilter)   !mia (Ladestrom I=308µA)
!bua5 (12V)             !dwr18;80 (9,6V triggeroffset) !dwr20;0 (ti)         !dwr22;0 (trigger=0)
!dwr24;0 (art)          !dwr26;1000 (timeout)       !dwr28;0 (delay)      !dwr30;0 (DC)
!dwr32;0 (LogStrt)     !dwr36;1 (LogAnz)
!cod9;1 (Schnellmessung ein) !mub2:1 (dummymessung)     !dwr22;1 (trigger=1)
begin time overlay !clr135 !tsp !ain99 end time overlay !cod9;0 (Schnellmessung aus)
!sup0;100 (Entladespannung 0V, 100mA) !wai20 (entladen)
!mua2:1 (U<0,1V ist ok) !rsv (aus) !ird0 (Loggerblock 0 lesen)
<L=0;0;9706;9706;9706;9706;3;0;98;0;98;3156;0
      Ut=9706mV                               Einheit 1mV      Zeitstempel t=315,6ms
    
```

Rechnen: $C = \frac{I * t}{U_t}$

C = 10,01µF

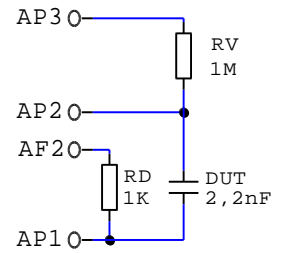
Für Kontrollzwecke kann der lineare Anstieg der Kondensatorspannung über die hochohmigen Messverstärker der SMU am Oszillografen aufgezeichnet werden, siehe 20.8. Ein direkter Anschluss des Tastkopfs am hochohmigen Stromquellenausgang bei kleinen Konstantströmen verfälscht die Messung.

21.5.7 MAC7 C-Messung UDC-Speisung über Vorwiderstand

Der Prüfling wird entladen und über den Vorwiderstand RV mit 10V Konstantspannung versorgt; gleich danach wird der Systemzeitähler genullt. Die Triggermessung triggert bei 63% Hub (Parameter Triggeroffset = 6,3V*100/12V), das ist die Zeitkonstante $t=RV*C$. Der Zeitstempel der Messung liefert t.

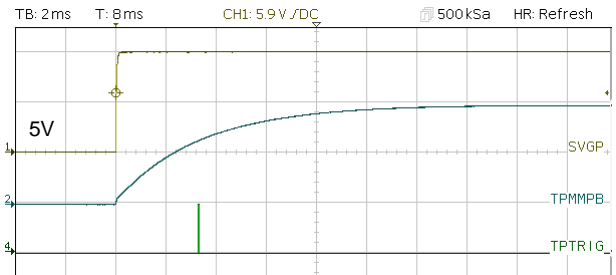
```

!sax2 (entladen) !sup5000;100 (unipolar) !san0;0 (0V) !ssv3;1 (versorgen)
!bua5 (12V) !dwr18;52 (triggeroffset) !dwr20;0 (ti) !dwr22;0 (trigger=0)
!dwr24;0 (art=0) !dwr26;1000 (timeout 1s) !dwr28;0 (delay) !dwr30;0 (DC)
!dwr32;0 (LogStrt) !dwr36;1 (LogAnz) !rax2 (Entladung aus)
!cod9;1 (Schnellmessung ein) !mub2;1 (dummymessung) !dwr22;1 (trigger=1)
begin time overlay !san0;10000 !tsp !ain99 end time overlay
!cod9;0 (Schnellmessung aus) !rsv (aus) !lrd0 (Loggerblock 0 lesen)
<L=0;0;6350;6350;6350;6350;3;0;98;0;98;22;0
    Ut=6350mV Einheit 1mV Zeitstempel t=2,2ms
    rechnen C = t / RV
    
```



C = 2,2nF

Nach Ablauf der Zeitkonstanten ist Spannung $U_t \sim 6,3V$. Die Sequenz arbeitet mit der schnellen Triggermessung und einer time overlay Struktur. Das Oszillogramm zeigt die Spannung an Testpunkt MMPB, das ist UDUT gepuffert über den Messverstärker. Kapazitäten von $\sim 2,2nF \dots 1000nF$ können ohne Bereichsumschaltung gemessen werden. Bereichsumschaltungen erfolgen durch Ändern von RV und ICONST.



21.5.8 Entladung

Kondensatoren sollen vor Teststart entladen sein und bei Testende entladen werden. Eine Entladung über den Tester erfolgt am einfachsten mit polaritätsgleichem Anschluss: Pluspol des Kondensators wird verbunden mit dem SVGP, Minuspol mit dem SVGN. Ein Elko ist folgend angeschlossen an AP2:1 (pos:neg).

- a) Entladesequenz mit Quellspannung von -10...+10V, die Anschlusspolarität ist egal:
 - !rsv (MUX aus) !sup0;400 (SVGP 0V 400mA, SVGN 0V 480mA, SAVEPOWER ein)
 - !ssv2;1 (MUX ein, die Entladung beginnt)
 - !muv17 (USSP messen und schleifen bis Spannung <|1V|, dann weiter) !rsv (MUX aus)
- b) Entladesequenz mit Quellspannung von +10...+34V, polaritätsgleicher Anschluss ist nötig:
 - !rsv (MUX aus) !sup34000;400 (SVGP 26V 400mA, SVGN -8V 480mA, SAVEPOWER aus)
 - !san0;0 (SVGP 0V, SAVEPOWER aus) !ssv2;1 (MUX ein, die Entladung beginnt)
 - !muv17 (USSP messen und schleifen bis Spannung <1V, dann weiter)
 - !set33 (setze SVGN auf 0V)
 - !muv17 (USSP messen und schleifen bis Spannung <1V, dann weiter)
 - !sup0;30 (USUPPLY 0V) !rsv (MUX aus)

Die Entladung von Quellen mit unbekannter Polarität im Bereich 10...34V erfolgt über einen per AF-Schalter zuschaltbaren externen Widerstand. Höhere Spannungen sind nicht zulässig.

21.5.9 Umrechnung CsRs und CpRp

Bei definierter Frequenz ist Serienschaltung CsRs und Parallelschaltung CpRp umrechenbar.

$Q = 2\pi f * C_p * R_p$ $D = \frac{1}{Q}$ $C_s = C_p(1 + D^2)$ $R_s = \frac{R_p}{1 + Q^2}$	$D = 2\pi f * C_s * R_s$ $Q = \frac{1}{D}$ $C_p = \frac{C_s}{1 + D^2}$ $R_p = R_s(1 + Q^2)$
---	---

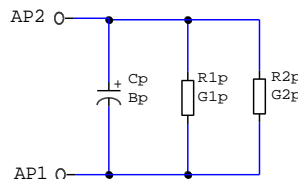
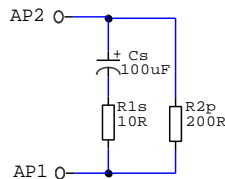
Cs=100µF, Rs=10Ω entspricht bei 150Hz:

Cp=52,9µF, Rp=21,2Ω.

21.5.10 Zweipolmessung CsRsRp

Diese Methode bestimmt Kapazität und ESR (Serienwiderstand) des Siebkondensators am Eingang einer Schaltung, die störende Belastung mit R2p wird rechnerisch kompensiert. Der Ablauf ist angelehnt an MAC4. Die Messparameter wurden angepasst an den Prüfling. Das ermöglicht beste Aussteuerung der Messbereiche bei optimalem Phasenwinkel (-45°).

Der zu messende Zweipol besteht aus Cs, R1s und R2p. Alle 3 Komponenten werden bestimmt.



Zur Berechnung wird das parallele Ersatzschaltbild verwendet. Blindleitwert Bp und Summenleitwert Gp=G1p+G2p

1. DC-Messungen liefern U und I

DC-Speisung !sup12000;400 (12V 0,4A) !ssv2:1 (einschalten) !hum50 (Brummfilter)

U messen !bua6 (24V) !mua2:1 (U=11,988V)

I messen !bia6 (200mA) !mia (I=59,6mA)

2. Lastwiderstand

R2p=U/I

R2p=201,1Ω

3. Leitwert

G2p=1/R2p

G2p=4,97mS

4. AC-Messungen liefern u, i, Phasenzeit tphas und Messperiode tper

AC-Speisung !wav150;1200;12000;1 (150Hzsin 1,2Vp 12Vdc)

U-Parameter !dwr18;0 (Offset) !dwr20;0 () !dwr22;5 (Trigger) !dwr24;-1 (Phase)
 !dwr26;1000 (Timeout) !dwr28;0 (Delay) !dwr30;300 (AC-Koppelung)
 !bua2 (1,2V) !clr145 (Messbandbreite 3KHz) !set34 (Rauschstromfilter ein)

I-Parameter !dwr2;0 (Offset) !dwr4;0 () !dwr6;5 (Trigger) !dwr8;-1 (Phase)
 !dwr10;1000 (Timeout) !dwr12;0 (Delay) !dwr14;300 (AC-Koppelung)
 !bia6 (200mA) !dwr36;1 (LogAnz) !dwr37;0 (LogDly)

u messen !dwr32;1 (LogStrt) !nul2:1 (Phasen-Nullmessung und Spannung)

i messen !dwr32;2 (LogStrt) !mib (Strom)

Ende !wav (aus) !rsv (MUX aus) !clr34 (Rauschstromfilter aus)

Logger !lrd1;2 (Logger lesen)

<L=1;0;7;7875;-11139;11171;2;-1036;39;6665;40;29502;0#2;0;0;567;-804;804;15;-7866;39;6666;40;35445;0
uDCRMS=787,5mV iDCRMS=56,7mA tphas=-786,6µs tper=6666µs

5. Messfrequenz

f=1/tper

f= 150,02Hz

6. Phasenwinkel i

φ=360/tper*tphas

φ= -42,5°

5. Scheinleitwert

Y=i/u

Y= 72mS

6. Blindleitwert

Bp=Y*sin|φ|

Bp= 48,6mS

7. Summenleitwert

Gp=Y*cos|φ|

Gp= 53,1mS

8. Leitwert

G1p=Gp-G2p

G1p= 48,1mS

9. Bp umrechnen in

Cp=Bp/2πf

Cp= 51,58µF

10. G1p umrechnen in

R1p=1/G1p

R1p= 20,7Ω

11. Güte

Q=2πf*Cp*R1p

Q= 1,01

12. Verlustfaktor

D=1/Q

D= 0,99

13. Cp umrechnen in

Cs=Cp(1+D²)

**Cs= 102,13µF
R1s= 10,28Ω**

14. R1p umrechnen in

R1s=R1p/(1+Q²)

Zur Erhöhung der Genauigkeit kann mit ACRMS-Werten gerechnet werden ($ACRMS = \sqrt{DCRMS^2 - DCAVG^2}$).

21.6 Induktivität

Vorgestellt werden 6 Messabläufe für Induktivitätsmessungen:

1. MAL1 L-Standardmessung, Rs dann IAC-Speisung mit Phasenberechnung
2. MAL2 L-Standardmessung, Rs dann UAC-Speisung mit Phasenberechnung
3. MAL3 IACDC-Speisung mit Phasenberechnung, ohne Beispiel
4. MAL4 UACDC-Speisung mit Phasenberechnung
5. MAL5 IAC-Speisung mit Phasenmessung, ohne Beispiel
6. MAL6 UAC-Speisung mit Phasenmessung

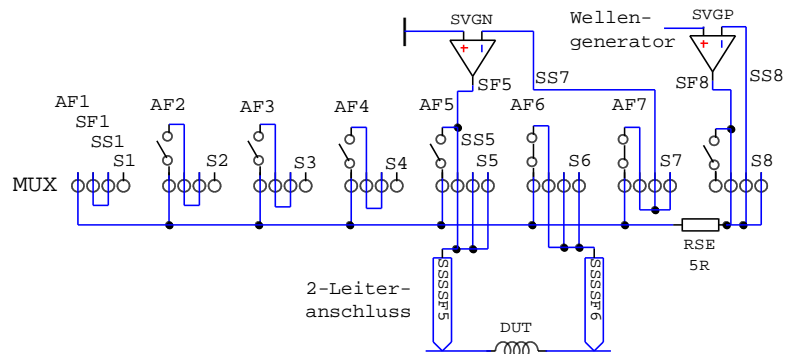
Standardmessung MAL1 und 2: Der Serienwiderstand Rs wird separat mit einem ICT gemessen. Der Scheinwiderstand Z wird bei MAL1 mit AC-Konstantstrom, bei MAL2 mit AC-Konstantspannung erfasst.

Eine Messzeit von 100ms ist optimal für 50/60Hz-Netzfrequenzunterdrückung. Die spezifischen Einstellungen jedes Messbereichs sind in den Tabellen fettgedruckt und müssen in den Messablauf übernommen werden: Generatorfrequenz **frq**, Generatoramplitude **ampl**, Strombereich **bia**, Trigger **trig** und Messbereich **brg**. Der Prüfling wird an den Anschlusspunkten AP{p:n} kontaktiert. Die Messfrequenz soll kleiner sein als 3% der Resonanzfrequenz des Prüflings. Bei Induktivitäten ist Phasenzeit (tPhase) und Phasenwinkel (φ) positiv.

Abweichend vom bereichsorientierten Standard können individuell angepasste Messrezepte realisiert werden, die den Nennwert in die Mitte des Messbereichs schieben.

21.6.1 MAL1 L-Standardmessung, Rs dann IAC-Speisung mit Phasenberechnung

Standardmessung MAL1 erfasst den Serienwiderstand Rs mit einem ICT. Die Sonderverdrahtung ermöglicht Speisung AP1...6 mit Konstantstrom nach 3.6.4 zur Messung von Scheinwiderstand Z. Der Prüfling ist angeschlossen in 2- oder 4-Leitertechnik an AP{p:n}, im Beispiel p=6, n=5. Berechnet wird Blindwiderstand X, Phasenwinkel φ, Güte Q und Induktivität Ls. Bei hohem Serienwiderstand Rs muss Messbereich brg angepasst werden.



Messablauf	L-Messbereich		Strom mApk	frq Hz	ampl mVp	bia	trig	brg
MAL1.1	0 - 20	μH	<400	3600	2000	7	360	1
MAL1.2	0 - 200		200	300	1000	6	30	2
MAL1.3	0 - 2000		20	300	100	5	30	7

- Rs-Messung !hum50 (Brummfilter)
- !brg{brg} (R-Bereich)
- !mrg{p:n} (Kelvin-Kontakttest & Rs-Messung)
- Stromquelle !sup0;430 (0V 430mA)
- !sax7 (preset SS7 Stromquelle)
- !sax{p} (RSE an DUTpos)
- !spp8 (SVGP an RSE)
- !spn{n} (SVGN an DUTneg)
- !sss8:7 (SS preset)
- Sinusgenerat. !clr42 (Stromquelle aktiv)
- !wav{frq};{ampl};0;1 (Wave sinus)
- U-Parameter !bua1 (U-Bereich)
- !dwr18;0 (U-Messoffset)
- !dwr20;1002 (U-Integrationszeit)
- !dwr22;0 (U-Trigger)
- !dwr24;0 (U-Messart)
- !dwr26;1500 (U-Timeout)
- !dwr28;0 (U-Wartezeit)
- !dwr30;0 (UDC-Koppelung)
- I-Parameter !bia{bia} (I-Bereich)
- !dwr2;0 (I-Messoffset)
- !dwr4;0 (ti wird nicht verwendet)
- !dwr6;{trig} (I-Trigger)
- !dwr8;2 (I-Messart)
- !dwr10;1500 (I-Timeout)
- !dwr12;0 (I-Wartezeit)
- !dwr14;0 (IDC-Koppelung)
- !clr145 (Messbandbreite 3KHz)
- Logger !dwr36;1 (LogAnzahl)
- !dwr32;0 (LogStart)
- !mub{p:n} (U-Triggermessung)
- Messung !dwr32;1 (LogStart)
- !mib (I-Triggermessung)
- Messende !wav (Wave aus)
- !rsv (MUX aus)
- !rax{p} (DUTpos aus)
- !rax7 (AF7 aus)
- !lrd0;1 (Logger lesen)

<L=0;0;1;7283;-10323;10347;1;0;98;0;98;47384;0#1;0;2;1516;-2133;2141;15;1421;39;2777;39;49487;0

UDCAVG;UDCRMS
U-Einheit
IDCAVG;IDCRMS
I-Einheit
tPeriode; t-Einheit

Serienwiderstand Rs=R wird direkt gemessen. Die Messfrequenz aus Logger1 Periodenzeit entnehmen. Die weitere Auswertung erfolgt wie MAL4.

21.6.2 MAL2 L-Standardmessung, Rs dann UAC-Speisung mit Phasenberechnung

Standardmessung MAL2 erfasst den Serienwiderstand Rs mit einer separaten DC-Messung, danach wird Scheinwiderstand Z mit AC-Konstantspannung gemessen. Der Prüfling ist angeschlossen in 2- oder 4-Leitertechnik an den komplett verschalteten AP{p:n}. Die bei MAL1 eingesetzte Sonderverdrahtung für Konstantstromspeisung ist kompatibel. Berechnet wird Blindwiderstand X, Phasenwinkel φ, Güte Q und Induktivität Ls. Bei hohem Serienwiderstand Rs muss Messbereich brg angepasst werden, auch die AC-Amplitude ampl kann erhöht werden, bis der Strombereich gut angesteuert ist.

Mess-ablauf	L-Messbereich		frq Hz	ampl mVp	bia	trig	brg
MAL2.4	1 - 10	mH	300	500	6	30	7, 8
MAL2.5	10 - 100		300	500	5	30	8, 9
MAL2.6	100 - 1000		300	500	4	30	8, 9
MAL2.7	1 - 10	H	300	500	3	30	9, 10

Rs-Messung !hum50 (Brummfilter)
 !brg{brg} (R-Bereich)
 Speisung !sup0;400 (0V 400mA) !wav{frq};{ampl};0;1 (Wave sinus)
 U-Parameter !bua2 (U-Bereich) !dwr18;0 (U-Messoffset) !dwr20;0 (U-Integrationszeit)
 !dwr22;{trig} (U-Trigger) !dwr24;2 (U-Messart) !dwr26;1500 (U-Timeout)
 !dwr28;0 (U-Wartezeit) !dwr30;0 (UDC-Koppelung)
 I-Parameter !bia{bia} (I-Bereich) !dwr2;0 (I-Messoffset) !dwr4;1002(I-Integrationszeit)
 !dwr6;0 (I-Trigger) !dwr8;0 (I-Messart) !dwr10;1500 (I-Timeout)
 !dwr12;0 (I-Wartezeit) !dwr14;0 (IDC-Koppelung) !clr145 (Messbandbreite 3KHz)
 Messung !dwr36;1 (LogAnz) !dwr32;0 (LogStart) !mub{p:n} (U-Triggermessung)
 !dwr32;1 (LogStart) !mib (I-Triggermessung)
 Messende !wav (Wave aus) !rsv (MUX aus) !lrd0;1 (Logger lesen)
 <L=0;0;4;3447;-4874;4898;2;1673;40;3333;40;62370;0#1;0;5;1299;-1838;1846;15;0;98;0;98;106;0
UDCAVG;UDCRMS U-Einheit tPeriode; t-Einheit IDCAVG;IDCRMS I-Einheit

Serienwiderstand Rs=R wird direkt gemessen. Die Messfrequenz aus Logger0 Periodenzeit entnehmen. Die weitere Auswertung erfolgt wie MAL4.

21.6.3 MAL4 UACDC-Speisung mit Phasenberechnung

Induktivitäten mit Luftspalt, die nicht in Sättigung gehen, können gleichzeitig mit AC und DC gespeist werden, um mit zwei Triggermessungen die Serieninduktivität Ls und den Serienwiderstand Rs bestimmen zu können. Im Beispiel ist die Spule angeschlossen an AP2:1, jeweils komplett verschaltet.

DC-Startwerte !sup200;400 (USUPPLY=200mV, ILIMIT=400mA) !ssv2:1 (Supply aktiv)
 Sinusgenerat. !wav300;200;200;1 (f=300Hz, 200mVp, 200mV Wellenoffset)
 U-Parameter !bua2 (Messbereich ±1,2V) !dwr24;0 (Messart=0) !dwr22;0 (Trigger=0)
 !dwr18;0 (Messoffset=0%) !dwr28;0 (Wartezeit=0) !dwr30;0 (Tacprech=0)
 !dwr20;1000 (Integrationszeit=100ms) !dwr26;1500 (Timeout=1,5s)
 I-Parameter !bia5 (Messbereich ±20mA) !dwr8;0 (Messart=0) !dwr6;0 (Trigger=0)
 !dwr2;50 (Messoffset=50%) !dwr12;0 (Wartezeit=0) !dwr14;0 (Tacprech=0)
 !dwr4;1000 (Integrationszeit=100ms) !dwr10;1500 (Timeout=1,5s)
 Logger !dwr36;1 (LogAnz=1) !dwr32;1 (LogStrt=1)
 Messung !mub2:1 (Spannung) !dwr32;2 (LogStrt=2) !mib (Strom)
 Messende !wav (Generator aus) !rsv (MUX aus) !lrd1;2 (Logger lesen)
 <L=1;0;1999;2441;13;3992;2;0;98;0;98;26686;0#2;0;1069;1212;258;1878;14;0;98;0;98;46603;0
UDCAVG;UDCRMS U-Einheit 100µV IDCAVG;IDCRMS I-Einheit 10µA

Auswertung:

Gleichspannung $UDCAVG = 199,9mV$ Diese zwei Messergebnisse können direkt
 Gleichstrom $IDCAVG = 10,69mA$ den Loggerdaten entnommen werden.
 Wechselspannung $UACRMS = \sqrt{UDCRMS^2 - UDCAVG^2}$ $UACRMS = \sqrt{0,2441V^2 - 0,1999V^2}$ $UACRMS = 140mV$
 Wechselstrom $IACRMS = \sqrt{IDCRMS^2 - IDCAVG^2}$ $IACRMS = \sqrt{0,01212A^2 - 0,01069A^2}$ $IACRMS = 5,71mA$

Scheinwiderstand $Z = \frac{UACRMS}{IACRMS}$ $Z = \frac{0,14V}{0,0057A}$
 Widerstand $R = \frac{UDCAVG}{IDCAVG}$ $R = \frac{0,1999V}{0,01069A}$
 Blindwiderstand $XL = \sqrt{Z^2 - R^2}$ $XL = \sqrt{24,5\Omega^2 - 18,7\Omega^2}$
 Induktivität $L = \frac{XL}{2 * \pi * f}$ $L = \frac{15,8\Omega}{2 * \pi * 301Hz}$
 Güte $Q = \frac{XL}{R}$ $Q = \frac{15,8\Omega}{18,7\Omega}$
 Verlustfaktor $d = \frac{1}{Q}$ $d = \frac{1}{0,845}$
 Phasenwinkel $\varphi = \arctan Q$ $\varphi = \arctan 0,845$

Z=24,5Ω Spulendaten @ 300Hz

Rs=18,7Ω

XL=15,8Ω

Ls=8,35mH

Q=0,845

d=1,18

φ = +40,2° (induktiv)



21.6.4 MAL6 UAC-Speisung mit Phasenmessung

Das Beispiel verwendet die gleiche Spule wie MAL4.

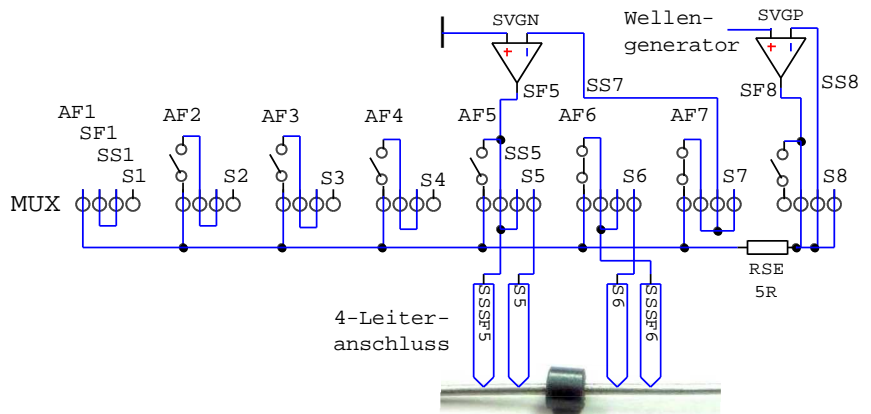
Generator !sup0;400 (USUPPLY) !wav300;500;0;1 (Generator) !clr145 (Bandbreite3KHz)
 !ssv2:1 (Supply aktiv) !bua2 (Messbereich ±1,2V) !bia5 (Messbereich ±20mA)
 U-Parameter !dwr18;0 (Triggeroffset) !dwr22;30 (30Trigger, 100ms) !dwr24;-1 (Messart=Phase)
 !dwr26;1500 (Timeout) !dwr28;0 (Wartezeit) !dwr30;0 (Tacprech)
 I-Parameter !dwr2;0 (Triggeroffset) !dwr6;30 (30Trigger, 100ms) !dwr8;-1 (Messart=Phase)
 !dwr10;1500 (Timeout) !dwr12;0 (Wartezeit) !dwr14;0 (Tacprech)
 !dwr36;1 (LogAnz) !dwr32;1 (LogStrt)
 Messungen !nul2:1 (Phasen-Nullabgleich) !dwr32;2 (LogStrt) !mib (Strom)
 !wav (Generator aus) !rsv (MUX aus) !lrd1;2 (Logger lesen)
 <L=1;0;7;2941;-4155;4176;2;-1627;38;3332;40;30516;0#2;0;3;1214;-1713;1726;14;3791;39;3333;40;32219;0
UDCAVG;UDCRMS=294,1mV IDCAVG;IDCRMS=12,14mA tPhase=379,1µs tPeriode=3333µs

Auswertung: $Z = \frac{UACRMS}{IACRMS}$ **Z=24,2Ω** $\varphi = \frac{360 * tPhase}{tPeriode}$ **φ=+40,9°**
 $Rs = Z * \cos \varphi$ **Rs=18,3Ω** $XL = Z * \sin \varphi$ **XL= 15,9Ω** $Ls = \frac{XL * tPeriode}{2\pi}$ **Ls=8,42mH**

Eventuelle DC-Stromoffsetfehler von CTL274 verschwinden, wenn mit ACrms-Werten gerechnet wird.

21.6.5 HF-Dämpfungsperte überprüfen

Die Existenz einer HF-Dämpfungsperte auf einem Draht soll überprüft werden. Die Perleninduktivität beträgt ~0,2µH. Die Sonderverdrahtung ermöglicht Speisung der niederohmigen Messstrecke mit Konstantstrom nach 3.6.4. Gemessen wird der Spannungsabfall an der Perlenstrecke, die in 4-Leitertechnik kontaktiert wird. Der Prüfling im Beispiel ist angeschlossen am MUX AP{p:n} (p=6, n=5).



!kta{p:n} (DUT-Kelvintest)

!sup0;430 (Supply 0V 430mA)

!spp8 (SVGP an RSE)

!clr42 (Stromquelle aktiv)

!bua1 (Messbereich 120mV)

!dwr22;0 (U-Trigger)

!dwr28;0 (U-Wartezeit)

!dwr36;1 (LogAnzahl)

!wav (Wave aus)

!rax7 (AF7 aus)

!sax7 (preset SS7 Stromquelle)

!spn{n} (SVGN an DUTneg)

!wav4900;2000;0;1 (4900Hzsin)

!dwr18;0 (U-Messoffset)

!dwr24;0 (U-Messart)

!dwr30;0 (UDC-Koppelung)

!dwr32;0 (LogStart)

!rsv (MUX aus)

!clr145 (Messbandbreite 3KHz)

!sax{p} (RSE an DUTpos)

!sss8;7 (SS preset)

!set144 (SVGP Bandbreite hi)

!dwr20;1000 (U-Integrationszeit)

!dwr26;1500 (U-Timeout)

!set145 (Messbandbreite 30KHz)

!mub{p:n} (U-Triggermessung)

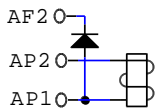
!rax6 (AF6 aus)

!lrd0 (Loggerblock0 lesen)

Im Logger das Messergebnis urms auslesen. Spannung ohne HF-Perle <3mV, mit HF-Perle ~10...18mV.

21.7 Relais

Der Spulenstrom soll gemessen werden. Eine externe Freilaufdiode unterdrückt Induktionsspitzen beim Ausschalten. Die Diode wird über einen AF-Schalter geschleift, um Plaustests nicht zu stören.



!sup12000;300 (12V 0,3A)

!sax2 (Freilaufdiode ein)

!ssv2;1 (Relais ein)

!bua6 !mia (Spulenstrom messen)

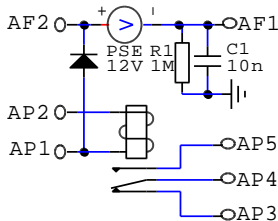
!rsv (Relais aus)

!rax2 (Freilaufdiode aus)

Bei aktiver Ansteuerung ist eine Freilaufdiode unnötig:

!sup12000;300 !ssv2;1 !bua6 !mia (Spulenstrom messen)

!san0;0 (USpule 0V im Unipol.bereich) !wai5 (warten bis Spule entladen) !rsv (MUX aus)



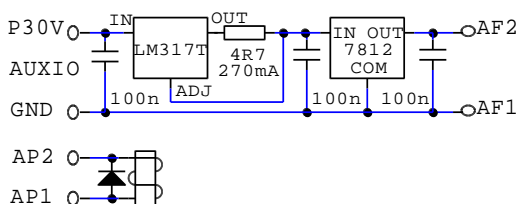
Der Widerstand der Schaltkontakte soll gemessen werden. Die Spule wird von einem externen Netzteil PSE (0...26V über AF-Schalter) versorgt. PSE besitzt eine Y-Anbindung an Erde über R1C1.

!brg1 !mrg4;3 (Kontakt NC in Ruhe) !bro12 !mro4;5 (Kontakt NO in Ruhe)

!sax1 !sax2 (Relais ein)

!mro4;3 (Kontakt NC messen) !mrg4;5 (Kontakt NO messen)

!rax1 (Relais aus, Freilaufkreis bleibt aktiv) !wai5 !rax2 (Freilaufdiode aus)



Relaisspulen mit Freilaufdiode können von AUXIO über AF-Schalter versorgt werden. Die externe Kombination mit Strombegrenzg. LM317T und Stabi (5...24V) wird empfohlen.

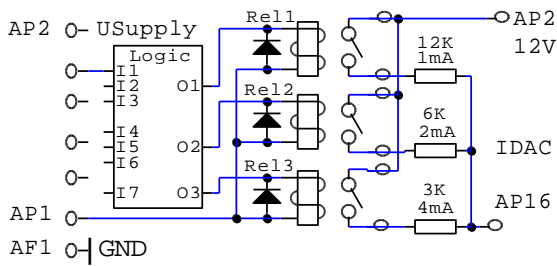
!sax1 !sax2 (Relais ein) !rax2 !rax1 (Relais aus)

Alternative Ansteuerung an AP1 mit 0V vom SVGN:

!sup12000 (0V am SVGN, SVGP wird nicht verwendet)

!spn1 !sax2 (Relais ein) !bua6 !mia (Spulenstrom)

!rax2 !rpn1 (Relais aus)



Beim Test von Relaiskarten mit bis zu 6 Relais, die über eine integrierte Logik verknüpft sind, ist es vorteilhaft, den Schaltzustand aller Relais mit einer einzigen Messung erfassen zu können. Über im Vorfeld bereits GUT-geprüfte Schliesserkontakte der Relais wird ein extern aufgebauter Strom-DAC (IDAC) angesteuert, der im Beispiel aus 3 Widerständen besteht. In den IDAC-Stromknoten an AP16 wird je nach Schaltzustand der Relais eine beliebige Binärkombination von 1, 2 und 4mA eingeprägt. Über eine auf 0V geregelte Kompensationsstrommessung am SVGN, wird die Binärkombination erfasst.

Zur Überprüfung der Stromaufnahme wird die Relaiskarte versorgt über AP2 (SVGP) und AP1 (SVGN).

!sup12000;200 (SVGP 12V 200mA, SVGN 0V) **!ssv2:1 (Relaiskarte ein)** **!bia6 (Strombereich 200mA)**
!mia (Leerlaufstrom) Relais schalten, Stromaufnahme überprüfen... **!rsv (Relaiskarte aus)**

Beim Logiktest wird versorgt über AP2 (SVGP) und AF1 (GND). Der SVGN wird mit AP16 verbunden (IDAC).

!sax1 (Relaiskarte an GND) **!spp2 (AP2 an 12V)** **!sbn16 (AP16 IDAC an SVGN)**

!bia5 (Strombereich 20mA) Logiktest mit IDAC lesen... **!mia (IDAC lesen 0...7mA)**

Alles ausschalten **!rsv (MUX-AP aus)** **!rax1 (AF1 aus)**

21.8 Transformator

Die Primärwicklung hat Index=1, die Sekundärwicklung hat Index=2.

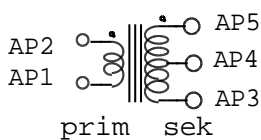
Gemessen und berechnet werden können prinzipiell folgende Werte / Näherungswerte:

- | | | |
|-----------------------------|-------------------|--|
| 1. Leerlauf | U, I, u1, u2 | DC-Messung, AC-Messung |
| 2. Strom | i1, i1k, i2, i2k | Messung mit offener / kurzgeschlossener Gegenwicklung |
| 3. Widerstand | R1, R2 | DC-Messung R=U/I |
| 4. Leerlaufinduktivität | L1, L2 | AC-Messung mit offener Gegenwicklung, siehe MAL2 |
| 5. Kurzschlussinduktivität | L1k, L2k | AC-Messung mit kurzgeschlossener Gegenwicklung, MAL2 |
| | Dabei ist jeweils | $L = \sqrt{(u^2 - (i \cdot R)^2) / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot i)^2}$ |
| 6. Streugrad sigma | σ | $\sigma = L1k/L1$ oder $\sigma = L2k/L2$ |
| 7. Koppelfaktor | k | $k = \sqrt{1 - \sigma}$ |
| 8. Gegeninduktivität | M | $M = k \cdot \sqrt{L1 \cdot L2}$ |
| 9. Winkel Leerlaufstrom phi | ϕ_1 | $\phi_1 = \arctan(2 \cdot \pi \cdot f \cdot L1/R1)$ |
| 10. Winkel Leerlaufspannung | ϕ_2 | $\phi_2 = 90^\circ - \phi_1$ |
| 11. Übersetzungsverhältnis | \ddot{u} | $\ddot{u} = \sqrt{L1/L2}$ oder $\ddot{u} = u2/u1$ |
| 12. Isolationswiderstand | Riso | DC-Messung mit U bis 37V Riso=U/I |
| 13. Koppelkapazität | Ciso | AC-Messung Ciso=i/2*PI*f*u |
| 14. Sekundärphase | | Phasenmessung ~0°/~180° |

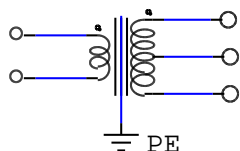
21.8.1 Allgemein

Der Trafo wird primärseitig mit Sinus vom SVGP versorgt. Die Sekundärseite benötigt zur Spannungsmessung eine Gleichaktanbindung z.B. an den SVGN oder geschaltet über einen AF-Schalter an das Systempotential GND. Die Spannung zwischen AP4:3 oder AP4:5 darf ±8Vp nicht überschreiten (negative Maximalspannung des Messsystems). Primärwicklung gleichspannungsfrei versorgen, damit keine Kernsättigung auftritt.

Kleiner Trafo



Grosser Trafo



Kleine Trafos, die keinen Einstreuungen ausgesetzt sind, können ohne Y-Anbindung an den MUX-AP angeschlossen werden.

Bei großen Trafos den Kern erden (siehe 17.4.2), wirkt wie eine YC-Anbindung.

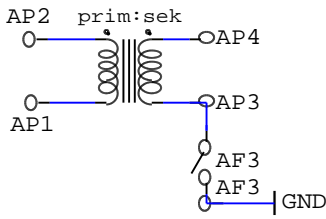
Primärspeisung

!sup0;400 (USUPPLY 0V 400mA)
!wav100;1414;0;1 (100Hzsin, 1414mVp, 0mV offset)
!ssv2:1 (SVGP an AP2, SVGN an AP1 mit 0V)

Triggermessung Preset...

!mub2:1 (Urmsprim messen)
!mib (Irmsprim messen)
!sbn4 (verbinde AP4 mit SVGN, sekundäre GTA)
!mub4:3 (Urmssek4:3 messen)
!mub4:5 (Urmssek4:5 messen)

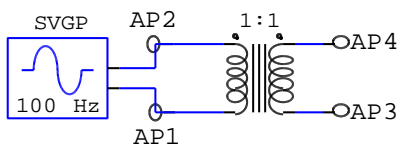
21.8.2 Sekundärphase mit I-Speisung



Das Phasenmesssystem der SMMU misst im Bereich $\pm 170^\circ$, d.h. die 180° -Sekundärphase eines Trafos kann nicht direkt gemessen werden. Bei Speisung mit der AC-Konstantstromquelle nach 3.6.5 hat die Primärspannung eine Nullphase α von $\sim -90^\circ$. Sekundärwicklungen haben aus Sicht des Systems jetzt Phasen von -90° und $+90^\circ$ und können gemessen werden. Der Nullabgleich !nul korrigiert alle Phasenmesswerte. Die Gleichtaktanbindung der Sekundärwicklung erfolgt über Schalter AF3 an GND. Die Primärspeisung mit der Stromquelle floatet gegen GND und soll deswegen nicht für eine GTA verwendet werden. Die Kontaktierung erfolgt in 2-Leitertechnik.

- !kta1:2 (Kelvintest prim.)
- !sup0;100 (Supply 0V 100mA)
- !spn1 (SVGN an AP1)
- !wav300;200;0;1 (300Hzsin 0,2Vp, Strom 0,4mApk)
- !dwr18;0 (Triggeroffset)
- !dwr26;1500 (Timeout)
- !dwr36;1 (Loganz)
- !sax3 (GTA ein)
- !rsv (Stromquelle, MUX aus)
- !rax3 (GTA aus)
- <L=0;0;-13;4175;-6023;6232;1;-7242;39;3333;40;151;0
- #1;0;0;4148;-5993;6082;1;-554;39;3333;40;3156;0
- #2;0;-7;4151;-6076;5981;1;15960;39;3333;40;5059;0
- !kta3:4 (Kelvin-Kontakttest sek.)
- !bia3 (RShunt 500Ω)
- !ss1:2 (SS1 verdrahten)
- !dwr20;0 (ti)
- !dwr28;0 (Delay)
- !dwr32;0 (Logstart)
- !dwr32;1 (Logstart)
- !dwr32;2 (Logstart)
- !w (Wave aus)
- !lrd0;2 (Loggerblock 0...2 lesen)
- !set34 (SSNLOCAL)
- !sp2 (SVGP an AP2)
- !lcr42 (AC-Stromregler aktiv)
- !lcr145 (Bandbreite 3KHz)
- !dwr22;30 (Trigger)
- !dwr24;-1 (Phase)
- !dwr30;0 (DC-Koppelung)
- !nul2:1 (Nullphasenabgleich prim. 0°)
- !mub4:3 (Gleichphase sek. 0°)
- !mub3:4 (Gegenphase sek. 180°)
- !clr34 (SSNLOCAL aus)
- !sp2 (SVGP an AP2)
- !lcr42 (AC-Stromregler aktiv)
- !lcr145 (Bandbreite 3KHz)
- !dwr24;-1 (Phase)
- (Nullphase α an Prim.wicklung $-724\mu\text{s}/3333\mu\text{s} = -78^\circ$)
- (Sek. Gleichphase $-55\mu\text{s}/3333\mu\text{s} = -6^\circ$)
- (Sek. Gegenphase $1596\mu\text{s}/3333\mu\text{s} = +172^\circ$)

21.8.3 Sekundärphase mit U-Speisung



Bei Speisung mit AC-Konstantspannung soll die Sekundärphase eines Trafos gemessen werden. Damit auch die 180° Gegenphase mit dem $\pm 170^\circ$ -Messsystem gemessen werden kann, wird die Nullphase α des Systems um $\sim 30^\circ$ verstellt. Mit Sinus 1Vp und Messbereich 3V folgt:

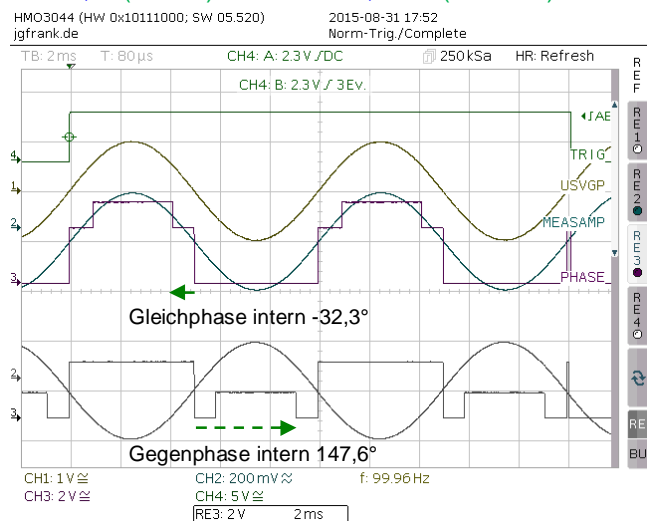
$$\text{Triggeroffset} = \frac{100 * U_{GENpk} * |\sin \alpha|}{\text{Messbereich}} \quad \text{Triggeroffset} = 17\%$$

Der modifizierte Phasenmessbereich umfasst $-140^\circ \dots +200^\circ$. Diese Methode gilt für einen 1:1 Trafo. Andere Übersetzungsverhältnisse erfordern eine Anpassung von !bua und Triggeroffset.

- !sup0;400 (Supply 0V 400mA)
- !spn3 (GTA, AP3 an SVGN)
- !dwr18;17 (Triggeroffset 0,5V)
- !dwr28;0 (Wartezeit)
- !dwr32;0 (Logstart)
- !dwr32;1 (Logstart)
- !dwr32;2 (Logstart)
- !wav (Wave aus)
- !lrd0;2 (Loggerblock 0...2 lesen)
- !wav100;1000;0;1 (Sinus 100Hz 1Vp)
- !bua3 ($\pm 3V$)
- !dwr22;2 (Trigger)
- !dwr30;0 (DC-Koppelung)
- !nul2:1 (Phasen-Nullabgleich α)
- !mub4:3 (Messung Gleichphase)
- !mub3:4 (Messung Gegenphase)
- !rsv (MUX, GTA aus)
- !ssv2:1 (AP aktivieren)
- !lcr145 (Bandbreite 3KHz)
- !dwr26;1500 (Timeout)

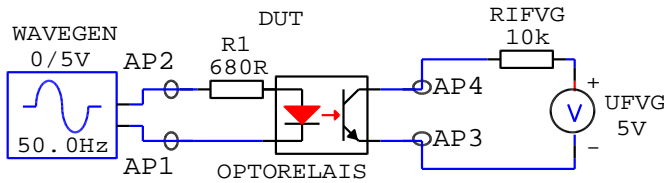
- <L=0;0;-1;699;-992;989;3;-8533;39;9999;40;47007;0
- (Nullphase α an Prim.wicklung $-853\mu\text{s}/9999\mu\text{s} = -30^\circ$)
- #1;0;0;696;-986;985;3;-641;39;9999;40;48710;0
- (Sek. Gleichphase $-64\mu\text{s}/9999\mu\text{s} = -2,3^\circ$)
- #2;0;0;696;-985;986;3;4932;40;9999;40;50012;0
- (Sek. Gegenphase $4932\mu\text{s}/9999\mu\text{s} = +177,6^\circ$)

Das Oszillogramm zeigt die Messungen der Trafo-Sekundärwicklung in Gleichphase und Gegenphase. An Testpin PHASE erscheint das DUT-Signal (Hub $\sim 1,1V$) um α verschoben.



21.9 Optokoppler

21.9.1 Optorelais mit Vorwiderstand



Das Optorelais mit R1 ist angeschlossen am MUX mit komplett verschalteten AP. Ein- und Ausschaltzeit wird erfasst über U-Phasenmessungen. Der SVGP mit Wellengenerator erzeugt das Schaltsignal. Das Messrezept verwendet den FVG (Option V). Der Empfängerteil des Optokopplers wird vom FVG mit Innenwiderstand versorgt. Die

Gleichtaktanbindung des Empfängerteils erfolgt über AP3 an den SVGN.

!kta1:2 (Test der DUT-Kontaktierung, Err10 ist ok)

!kta3:4 (Err10 ist ok)

!sup5000;400 (Supply 5V 400mA)

!ssv2:1 (Optodiode bestromen)

!bia5 (±20mA)

!set145 (Messbandbreite 30KHz)

!hum50 (Brumfilter 50Hz)

!mia (Optostrom=5,62mA)

!wav50;2500;2500;150 (Wellengenerator 50Hz Rechteck 0/5V)

Es folgt der Phasen-Nullabgleich für die Einschaltflanke. Der Opto wird von pos. Generatorspannung aktiviert, also muss Trigger negativ sein. Der Nullabgleich erfolgt mit U-Generator an AP2:1, mit Trigger bei ~+2,5V.

!bua4 (±6V)

!dwr18;42 (Triggeroffset 42%, 2,52V)

!dwr22;-2 (Trigger)

!dwr24;-1 (U-Messart Phase)

!dwr26;3000 (Timeout)

!dwr28;0 (Wartezeit)

!dwr30;0 (DC-Koppelung)

!dwr36;1 (LogAnz)

!dwr32;1 (Logstart)

!nul2:1 (Phasen-Nullabgleich pos. Gen.flanke)

Empfängerteil des Optos versorgen:

!fvg5000;10 (UFGV=5V Ri=10KΩ)

!sfv4:3 (FVG aktiv)

!snp3 (GTA an SVGN)

Opto-Einschaltzeit ist pos. Generatorflanke zu neg. DUT-Flanke, nach Tabelle 13.6.4.2 muss die DUT-Flanke invertiert werden. Das erfolgt im Messaufruf mit !mub3:4 (true wäre !mub4:3). Die systeminterne Triggerspannung wird neg. -2,52V. Also Triggeroffset -42%, im Messbereich !bua4 ist das möglich:

!dwr18;-42 (Triggeroffset -2,52V)

!dwr32;2 (Logstart)

!mub3:4 (Einschaltzeit messen)

Es folgt der Phasen-Nullabgleich für die Ausschaltflanke. Trigger muss positiv sein bei ~+2,5V:

!dwr18;42 (Triggeroffset 42%=2,52V)

!drd22;2 (Trigger, Messzeit zwei Perioden)

!dwr32;3 (Logstart)

!nul2:1 (Phasen-Nullabgleich neg. Gen.flanke)

Ausschaltzeit ist neg. Generatorflanke zu pos. DUT-Flanke, also DUT-Flanke invertieren:

!dwr18;-42 (Triggeroffset -2,52V)

!dwr32;4 (Logstart)

!mub3:4 (Ausschaltzeit messen)

Aufräumen: !wav (Wave aus)

!rfv (FVG aus)

!rsv (Supply & GTA aus)

!lrd1;4 (Messwerte stehen in Loggerblock 1...4)

<L=1;0;2529;3507;94;4993;3;-651;38;1999;41;58332;0

(Nullphasenzeit pos. Flanke -6µs)

#2;0;-2700;3653;-5095;18;3;10215;39;1999;41;60335;0

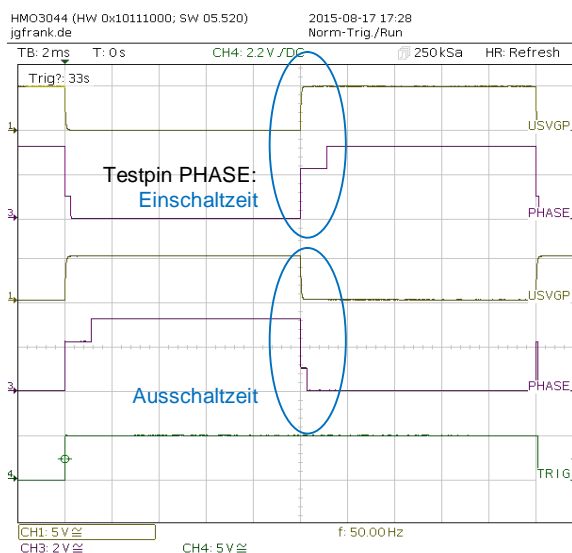
(Einschaltzeit 1,02ms)

#3;0;2551;3524;96;4993;3;-1139;38;1999;41;62935;0

(Nullphasenzeit neg. Flanke -11µs)

#4;0;-2711;3662;-5154;22;3;21320;38;1999;41;64338;0

(Ausschaltzeit 213µs)



Die pos. und neg. Nullphasenzeit bei Rechteckbetrieb ist fast identisch. Die zweite Nullmessung kann entfallen.

Das Bild zeigt die Schaltzeitmessungen. Der Oszillograf wird getriggert mit Testpin TRIG. Gemessen wird über eine Generatorperiode. Testpin PHASE zeigt die Schaltzeiten in der Periodenmitte. Das Phasensignal im Oszillogramm eignet sind nur eingeschränkt für Kontrollmessungen, da die Flanken von internen Filtern verzögert werden und die Nullphasenzeit nicht enthalten ist. Genaue Kontrollmessungen müssen direkt am Prüfling erfolgen.

21.9.2 Optorelais AQV252G

Die SMMU verwendet Optorelais Panasonic AQV252G. Die Schaltzeit als Funktion der Schaltfrequenz nach 21.9.1 liefert interessante Details. Über 90Hz wird Ausschaltzeit > Einschaltzeit, das ist sozusagen die „Transitfrequenz“ des Relais. Schnelleres Schalten unter Strom vermieden, da die Chipverluste stark ansteigen. Das Einschalten erfolgt analog, das Ausschalten digital.

Schaltfrequenz Hz	Einschaltzeit µs	Ausschaltzeit µs
25	1008	195
50	992	203
75	980	332
90	983	950

Messung wie 21.9.1, zusätzlich Schaltwiderstand R_{DoFF} und R_{DoN} messen:

- !fvg0;0 (LED Treiberspannung auf 0) !sfv2:1 (LED aus) !bro12 (Bereich 1MΩ)
- !mro4:3 (R_{DoFF}>1MΩ) !mro3:4 (R_{DoFF}>1MΩ) !fvg5000;0 (LED ein) !wai10 (warten)
- !brg1 (Bereich 1Ω) !mrg4:3 (R_{DoN}<1Ω) !mrg3:4 (R_{DoN}<1Ω) !rfv (FVG aus)

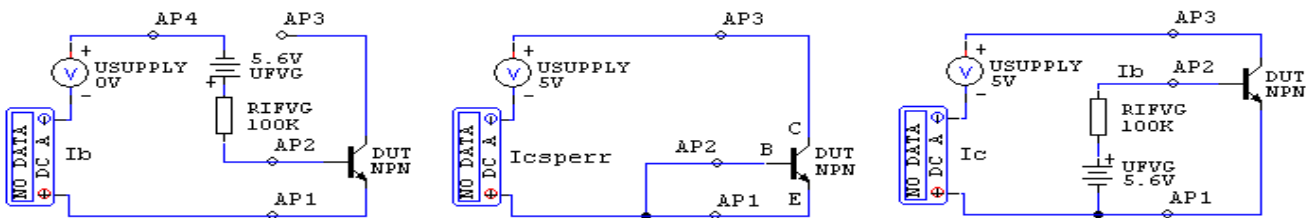
Die gemessenen Einschaltwiderstände R_{DoN} (2 Richtungen) liegen bei etwa 130mΩ.

21.10 Diode

Mit !mdd können Dioden, Brückengleichrichter und Zenerdioden in beiden Richtungen geprüft werden. Die Prüfung ist auch als FKT möglich. Diodensperrschichtkapazitäten werden gemessen wie MAC2 (mit DC-Vorspannung).

21.11 Transistor

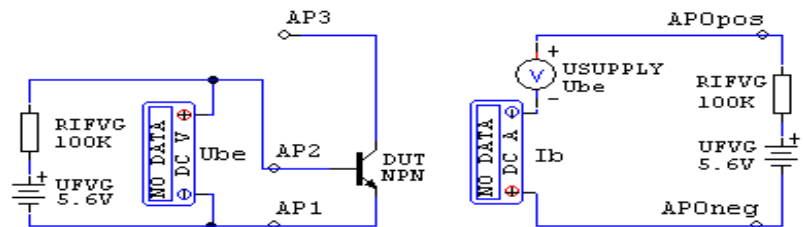
21.11.1 Bipolar



1. Basisstrom messen über dummy AP4	2. Sperrstrom prüfen	3. Collectorstrom messen
!fvg5600;100 (UFVG=5,6V RI~100KΩ)	!sup5000;50 (U _{ce} einstellen)	!bua4 (Messbereich ±6V)
!sfv2:4 (FVG an AP2pos:AP4neg)	!spn1 (Emitter an Minus)	!mua3:1 (Spannung U _{ce} =5V)
!sup0;30 (SUPPLY auf 0V/30mA)	!spn2 (Basis an Minus)	!rpn2 (Basis freischalten)
!spp4 (SUPPLY an AP4pos)	!spp3 (Collector an Plus)	!sfv2:1 (FVG an AP2pos:AP1neg)
!spn1 (SUPPLY an AP1neg)	!bia2 (Strombereich ±20µA)	!bia5 (Strombereich ±20mA)
!bia3 (Messbereich ±200µA)	!mia (Sperrstrom I _{csperr})	!mia (Collectorstrom I _c)
!mia (Basisstrom I _b)		!rsv (SUPPLY aus)
!rsv (SUPPLY aus)		!rfv (FVG aus)
!rfv (FVG aus)		

4. Gleichstromverstärkung B = I_c / I_b

Der oben gezeigte Ablauf benötigt zur Basisstrommessung den Dummy-AP4 am MUX. Alternativ kann eine I_b-Ersatzmessung am MINIPORT verwendet werden. Dazu die AP am MINIPORT komplett verschalten:



- 1.1 U_{be} messen
- 1.2 I_b-Ersatzmessung MINIPORT
- 2. Sperrstrom prüfen und
- 3. Collectorstrom messen
- 4. Zur Berechnung der Gleichstromverstärkung, den gemessenen Basisstrom invertieren.

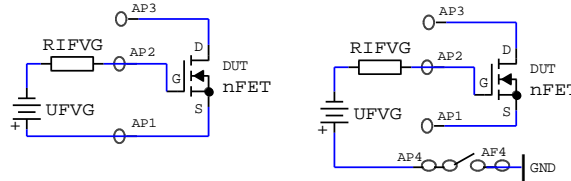
1.1 U _{be} messen	1.2 I _b -Ersatzmessung MINIPORT
!fvg5600;100 (FVG: U=5,6V RI~100KΩ)	!sup{U _{be} };30 (U _{be} von 1.1 einstellen)
!sfv2:1 (FVG an AP2pos:AP1neg)	!ssv0:0 (Ausgabe am MINIPORT)
!sup0;30 (USUPPLY für GTA-FVG)	!sfv0:0 (FVR Ausgabe dazu)
!spp1 (Gleichtaktanbindung)	!bia3 (Strombereich ±200µA)
!bua2 (Messbereich ±1,2V)	!mia (Basisstrom I _b , negativ)
!mua2:1 (Spannung U _{be})	!rsv (SUPPLY aus)
!rfv (FVG aus)	!rfv (FVG aus)

21.11.2 FET selbstsperrend, einfacher Test

Sperrzustand: Eine Spannungsquelle mit Strombegrenzung an Drain-Source anlegen, Gate-Source kurzschließen und den Sperrstrom prüfen.
 Leitzustand: Eine Stromquelle an Drain-Source anlegen, Gate-Drain kurzschließen und die Spannung messen (Schwellspannung des FET).

21.11.3 FET selbstsperrend, Kapazitäten

Gemessen wird CDS+CDG (Millerkapazität) als Funktion von Gatespannung UGS und UDS.



CDS wird gemessen als Funktion von Gatespannung UGS und UDS. Die Millerkapazität wird nach GND abgeleitet und nicht erfasst.

Das Messbeispiel zeigt die CDS Kapazitätsmessung (Schema rechts) mit Messrezept MAC1.1:

UDrain (USVGP) an AP3 hat 25Voffset und 1Vpsinus mit 300Hz.
 UGate (UFVG) an AP2 hat -7V.
 USource (USVGN) an AP1 hat -5V.

Die DUT-Spannungen: $U_{GS} = U_G - U_S$ $\frac{U_{GS} = -2V}{U_{GS} = -2V}$
 $U_{DS} = U_D - U_S$ $\frac{U_{DS} = 30V}{U_{DS} = 30V}$

AF4 muss extern mit GND verbunden werden.

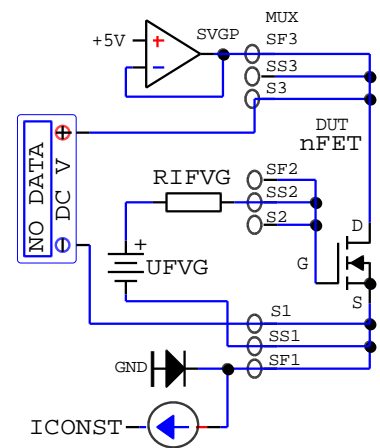
- | | | |
|---|--|----------------------------|
| !kta3:1 (Kontaktiertest, Err0 und Err10 ist ok) | !kta2:1 | !sax4 (AF4 ein) |
| !sup0;100 (Supply 0V 0,1A) | !wav300;1000;25000;1 (1Vsin, 25V offset) | !san9;-5000 (USVGN=-5V) |
| !ssv3:1 (UDS ein) | !fvg7000;3 (UFVG 7V;Ri 3KΩ) | !sfv4:2 (FVG ein) |
| !bua2 (±1,2V U-Bereich) | !dwr18;0 (U-Triggeroffset) | !dwr20;-30 (Trigger) |
| !dwr24;2 (U-Periodenmessg.) | !dwr26;1500 (U-Timeout) | !dwr30;100 (UAC-Koppelung) |
| !bia1 (I-Bereich) | !dwr2;0 (I-Messoffset) | !dwr6;0 (Trigger) |
| !dwr8;0 (I-Integrat.messg.) | !dwr10;1500 (I-Timeout) | !dwr12;0 (Wartezeit) |
| !dwr36;1 (Loganz) | !clr145 (3KHz Messbandbreite) | !dwr14;100 (IAC-Koppelung) |
| !dwr32;0 (Logstart) | !mub3:1 (u-Messung) | !dwr32;1 (Logstart) |
| !wav (wave aus) | !rsv (svg aus) | !rfv (fvg aus) |
| !ird0;1 (Logger lesen) | Auswertung, siehe 21.5.1 MAC1. | !rsv (fvg aus) |

Die Messung von CDS+CDG (Schema links) erfolgt mit entsprechender Anpassung des Messablaufs.

21.11.4 FET selbstsperrend, RDSon

Die Gateansteuerung erfolgt mit dem FVG. RDSon wird direkt gemessen.

- !kta2:1 (Kelvin-Kontakttest an Strecke GS, Err10 ist ok)
- !kta3:2 (Kelvin-Kontakttest an Strecke DG, Err10 ist ok)
- !fvg0;0 (Vorwahl FVG-Gateansteuerung ~0,2V/~3kΩ)
- !sfv2:1 (FVG aktiv an Strecke GS, Transistor gesperrt)
- !bro12 (RD-Messbereich 1MΩ)
- !mro3:1 (messe RDSoff, maximaler Messwert ~1MΩ)
- !bdd9 (Vorwahl Diodentest mit Prüfstrom 200mA)
- !mdd1:3 (messe Bodydiode Flussspannung ~0,7V)
- !fvg5000;10 (Vorwahl FVG-Gateansteuerung 5V/~10kΩ)
- !brg2 (RD-Messbereich 1Ω mit Prüfstrom 200mA)
- !mrg3:1 (messe RDSon, auch !mro1:3)
- !rfv (FVG aus)

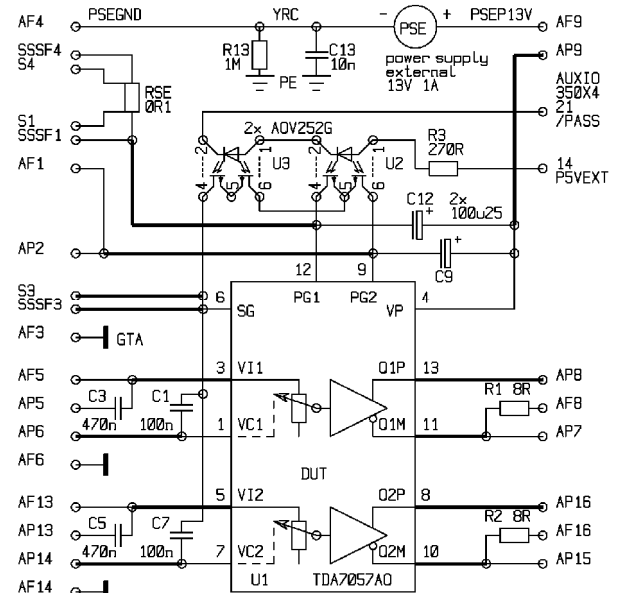


Die komplette DS-Kennlinie kann erfasst werden. Von Stufe 4. bis 12. ist der FVG aktiv: ICT erfolgen ohne Kelvin-Kontakttests, die Gleichaktanbindung des FVG erfolgt über AP1. Für die präzise Messung von RDSon, muss die DS-Strecke in 4-Leitertechnik angeschlossen werden.

Am MINIPORT kann auch gemessen werden: Source=SFN0+SSN0+SN0, Gate=SSP0, Drain=SFP0+SP0
 Da der Transistor mit geteilten AP angeschlossen ist, sind Kelvin-Kontakttests nicht möglich.

21.12 TDA7057AQ

TDA7057AQ von Philips mit zwei 8W Audioendstufen, Brückenausgang und Lautstärksteller wird getestet mit einer SMMU07-16AV (Option FVG zur Steuerung von UVC). Die Kontaktierung des Prüflings erfolgt mit 12 Testnadeln in 2-Leitertechnik. Direkt an den Testnadeln montiert werden Blockkondensatoren C1, C7, C9, C12 und Relais U2, U3 mit R3. Damit wird eine schaltbare lokale Analogmasse realisiert, die erst nach den Nadelkontakttests über Ausgang /PASS von AUXIO aktiviert wird. Durch die Kondensatoren sind Plautests nicht möglich. Die dick eingezeichneten Drähte sind lang (im Test 80cm) und führen zum MUX des Testsystems. Direkt am MUX-Stecker angelötet ist Lastwiderst. R1, R2, Koppelko. C3, C5 und Shunt RSE. RSE dient zur Strommessung des externen 13V Netzteils PSE. RSE wird vom Testsystem ausgemessen, Toleranzen stören nicht. R13 und C13 realisieren die Y-Anbindung von PSE an Erdpotential. Über AF3 erfolgt die Gleichtaktanbindung zum Prüfsystem bei Betrieb mit PSE. S3 ist Referenzmasse für Analogmessungen. AF1 verbindet PG1 mit PG2 am MUX zur besseren Zentrierung von Signalmasse SG bei asymmetrischer Bestromung von Kanal 1 und 2. Wichtig: Das IC zerstört sich selbst bei Unterbrechung der Massepins unter Spannung! Bei SG-Unterbrechung sterben die Lautstärksteller, der Leerlaufstrom ist korrekt, die Eingangsbiasströme & -spannungen sind erhöht. Bei PG-Unterbrechungen steigt der Leerlaufstrom irreversibel auf ~170mA@12V, das IC ist dann tot. Es folgt der Prüfablauf (~2,5s) für Kanal 1:



```

!sfv1:4 (dummy FVG: Autokelvintests aus)      !spn9 !spn1 !spn2 !wai5 (entladen C9 & C12) !rsv
!clr127 !bua2 !sib10000;1000 (10mA 1V)      !ssv1:2 !mua1:2 (10mA Nadeltest PG1:PG2, Err15=Fehler)
!ssv1:9 !mua1:9 (10mA Nadeltest PG1:VP)     !sib1000;1000 !ssv1:3 !mua1:3 (1mA Nadeltest PG1:SP)
!ssv1:6 !mua1:6 (1mA Nadeltest PG1:VC1)     !ssv1:14 !mua1:14 (1mA Nadeltest PG1:VC2) !rsv
!sax5 !ktb1:5 (Nadeltest PG1:VI1) !rax5 !ktb1:7 (Nadeltest PG1:Q1M) !ktb1:8 (Nadeltest PG1:Q1P)
!sax13 !ktb1:13 (Nadeltest PG1:VI2) !rax13 !ktb1:15 (Nadeltest PG1:Q2M) !ktb1:16 (Nadeltest PG1:Q2P)
Das war der globale Nadeltest an allen 12 IC-Anschlüssen. Bei Fehler, goto EXIT. Ist alles ok, geht es weiter:
!set127 (Lokalmasse ein) !rfv (dummy FVG aus) !hum50 !brg1 !mrg1:4 (messe RSE ~100mΩ)
!sup12000;100 (12V 100mA) !spn1 (0V vom SVGN an AP1) !sax1 (Zentrierung Signalmasse ein)
!spn6 !spn14 (VC-Eingänge an 0V) !spn5 !spn13 (VI-Eingänge über 470nF an 0V)
!spp9 (Speisung 12V vom SVGP an AP9) !bua5 !mua9:3 (messe Versorgungsspannung ~12V)
!bia6 !mia (messe Leerlaufstrom 20mA) !sax3 !rpn1 (ersetze 0V SVGN durch GND an Lokalmasse)
An VC1 & VI1, Leerlaufspannung Ubias & Strom gegen Masse Ibias messen, dto. Ubias an den Ausgängen...
!sax14 !rpn14 (dto. an AP14) !rpn6 (AP6=HiZ) !mua6:3 (messe Ubias an VC1 ~1V)
!spn6 !bia3 !mia (messe Ibias an VC1 ~25µA) !sax5 !rpn5 (schalte DC-Pfad an AP5=HiZ)
!sax6 !rpn6 (dto. an AP6) !mua5:3 (messe Ubias an VI1 ~2,3V)
!spn5 !bia5 !mia (messe Ibias an VI1 ~0,5mA) !rax5 (VI1 über C3 an SVGN 0V)
!fvg0;0 !sfv6:3 !rax6 (FVG 0V=MUTE an VC1) !mua8:3 (messe UQ1P:GND Ubias~6V)
!mua7:3 (messe UQ1M:GND Ubias~6V) !bua1 !mua8:7 (messe UQ1P:UQ1M Uoffset am Ausgang)
!dwr18;0 !dwr20;400 !dwr22;0 !dwr24;0 !dwr26;1000 !dwr28;0 !dwr30;0 (Init Triggermessung mit ti=40ms)
!dwr36;1 (LogAnz=1) !sax4 (PSEGND an AP4) !rpp9 (SVGP aus) !sax9 (PSEP13V an AP9)
!bua6 !mua9:3 (messe Spannung des externen Netzteils UPSE ~13V)
Test mit Verstärkung vu~0 (MUTE), der Chip liefert mit AC-Eingangssignal keine Leistung an die Last R1...
!sax8 (Lastwiderstand R1 ein) !fvg300 !bua3 !mua6:3 (messe UVC1 ~400mV für vu~0)
!sup0;200 !rpn5 !spp5 !wav200;142;0;1 (Wellengenerator über C3 an VI1 mit 200Hzsin 100mVrms)
!dwr32;1 !bua2 !mub5:3 (messe UVI1) !lrd1 <L=1;0;0;996;-1411;1411;2;0;98;0;98;57735;0 (uin=99,6mV)
!dwr32;2 !bua5 !mub8:7 (messe Uout1) !lrd2 <L=2;0;0;2;-8;8;3;0;98;0;... (uout=2mV, Uoffset=0mV)
vu=uout/uin (~0) !bua1 !mua1:4 (messe URSE) IPSE=URSE/RSE (~20mA)
Test mit Verstärkung vu~40, der Chip liefert jetzt Leistung an die Last R1...
!fvg980 !bua3 !mua6:3 (messe UVC1 ~1V für vu~40)
!dwr32;3 !bua5 !mub8:7 (messe Uout1) !lrd3 <L=3;0;-201;3847;-5805;... (uout=3,842V, Uoffset=-201mV)
vu=uout/uin (~38) !bua1 !mua1:4 (messe URSE) IPSE=URSE/RSE (~470mA)
EXIT: !wav !fvg !rax9 !rfv !rsv !xwr2;4;255 (AF9..16 aus) !xwr1;4;255 (AF1..8 aus) !clr127
    
```

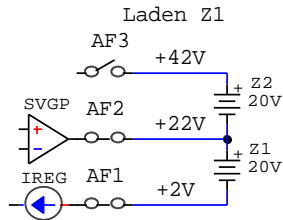
21.13 Akku

Zur Berechnung von Lade- / Entlademengen DCAVG-Messwerte verwenden. Bei Ladestrommessungen im Konstanspannungsmodus ist es sinnvoll, das Rauschstromfilter zu aktivieren.

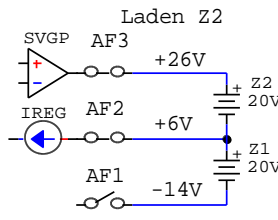
21.13.1 Lade- und Entladeprinzip

Das Beispiel zeigt Lade- und Entladeprinzip an einem Akkublock 2x20V mit den sich einstellenden Gleichtaktspannungen an den Anschlüssen. Nur AF-Schalter der behandelten Zelle werden geschlossen, alle anderen sind geöffnet und sperren die teilweise hohe Gleichtaktspannung. An offenen AF-Schaltern ist zulässig ±42V. Bei eingeschalteter Clampdiode am Stromregler IREG ist am zugehörigen AP die Spannung 0V...26V zulässig, bei ausgeschalteter Clampdiode -8...+26V. Alle AP sind komplett verschaltet.

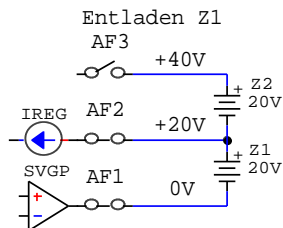
Laden von Z1
 !sip400;22000 (0,4A 22V)
 !ssv2:1 (AP ein)
 !sax2 (AF ein + GTA)
 !sax1 (AF ein)



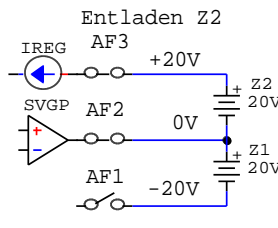
Laden von Z2
 !sip400;26000 (0,4A 26V)
 !ssv3:2 (AP ein)
 !sax3 (AF ein + GTA)
 !sax2 (AF ein)



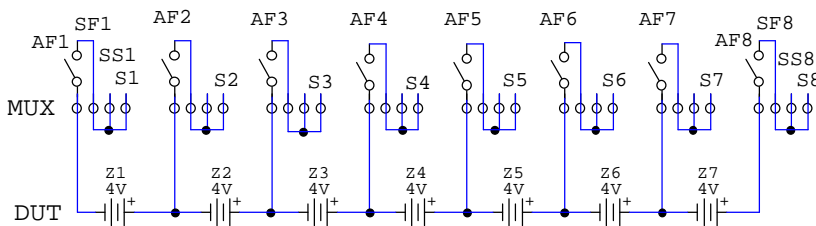
Entladen von Z1
 !sip400;1000 (0,4A 1V)
 !san0;0 (SVGP 0V)
 !ssv1:2 (AP ein)
 !sax1 (AF ein + GTA)
 !sax2 (AF ein)



Entladen von Z2
 !sip400;1000 (0,4A 1V)
 !san0;0 (SVGP 0V)
 !ssv2:3 (AP ein)
 !sax2 (AF ein + GTA)
 !sax3 (AF ein)



21.13.2 Zellstapel

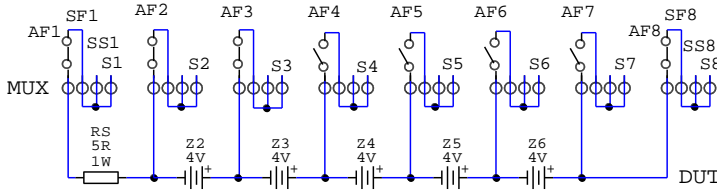


Akku-, Batterie-, Kondensator- und Fotozellenstapel können geladen, entladen, gemessen und balanciert werden. Die Anschaltung erfolgt allpolig über AF-Anschlüsse. Die Handhabung erstreckt sich auf einzelne Zellen oder zusammenhängende Zellcluster. Zum Laden auf $U > 26V$ muss die Clampdiode der

Stromquelle manuell abgeschaltet werden, eine Ladeendspannung (Anschlag der Stromquelle) bis ~34V ist möglich. Zellspannungsmessungen benötigen immer eine geeignete Gleichaktanbindung GTA, bei Stromquellenbetrieb ist das der niederohmige SVGP. Der Test aller Befehlssequenzen erfolgt zur Sicherheit mit geeigneten Begrenzungswiderständen zum Akkupack!

Laden Z1..7 ($\Sigma U=28V$) mit 400mA, da Summenspannung $>26V$, Clampdiode der Stromquelle abschalten			
!sip400;28000 !clr134 !ssv8:1 !sax1 !sax8	Sequenz beenden mit	!xwr1;4;255	!rsv !sip
Partielles Laden von Z2..5 ($\Sigma U=16V$) mit 400mA	!sip400;16000 (ΣU)	!ssv6:2 !sax2 !sax6	
Ladestrom aus, Zellspannung UZ3 messen	!sip0;16000 (ΣU)	!sax3 !sax4 !bua7 !mua4:3	
bei Sequenzende alle AF-Schalter aus, Stromquelle trennen und Strom auf 0	!xwr1;4;255	!rsv !sip	
Partielles Entladen von Z3..4 mit 100mA, Summenspannungen bis 26V sind möglich, die Entladeschlussspannung manuell überwachen	!sip100;1000	!san0;0 !ssv3:5 !sax3 !sax5	
Zellspannung UZ3 und UZ4 messen	!sax4	!mua4:3 !mua5:4	
bei Entladeschluss die Sequenz beenden	!xwr1;4;255	!rsv !sip	
UZ1+UZ2+...+UZ7 im Leerlauf messen (GTA 26V)	!sip0;26000	!spp8 !sax8 !sax1 !mua8:1	
Sequenzende	!xwr1;4;255	!rsv !sip	
UZm im Leerlauf messen (GTA 26V)	!sip0;26000	!spp{m+1} !sax{m+1} !sax{m} !mua{m+1}:{m}	
Sequenzende	!xwr1;4;255	!rsv !sip	

21.13.3 Impedanz- und Innenwiderstandsmessung



Zellstapel bis 24V Gesamtspannung sind möglich, angeschlossen über AF-Anschlüsse. Für die Impedanzmessung werden alle Zellen gespeist über AF8:1 von der AC-Stromquelle nach 3.6.5. Gemessen wird der Gesamtstrom irms und die Zellspannungen urms über AF2...7.

Mit DC-Strom die softkonfigurierte Stromquelle starten

- !sup2000;420 (2V 420mA)
- !clr136 (SAVEPOWER)
- !spn1 (SVGN AP1)
- !sax1 (SVGN 0V)
- !sax2 (für SSense)
- !sss2:1 (SSense)
- !spp8 (SVGP AP8)
- !sax8 (für SVGP)
- !clr42 (SSINTERN, jetzt wird Stromquelle mit 400mA Gleichstromladung aktiv)
- !bua7 (±34V)
- !bia7 (±400mA)
- !hum50 (Brummfilter)
- !mua8:2 (messe Ugesamt)
- !mia (messe I)
- AC-Strom aktivieren
- !wav50;1000;1 (50Hzsin, 1V/5R=200mApk, 200mA Stromoffset)

!clr136 (SAVEPOWER aus, die Stromquelle hat Ausgangsspannungen >10V)

AC-Triggermessung U und I vorbereiten

- !dwr36;1 (LogAnz)
- !bua2 (±1,2V)
- !dwr18;0 (U-Triggeroffset)
- !dwr20;0 (U-ti)
- !dwr22;10 (U-Trigger)
- !dwr24;2 (U-Periode)
- !dwr26;3000 (U-Timeout)
- !dwr28;0 (U-tw)
- !dwr30;300 (UAC-Koppelung)
- !dwr2;50 (I-Triggeroffset)
- !dwr4;0 (I-ti)
- !dwr6;10 (I-Trigger)
- !dwr8;2 (I-Periode)
- !dwr10;3000 (I-Timeout)
- !dwr12;0 (I-tw)
- !dwr14;0 (IDC-Koppelung)

u-Messung

!dwr32;0 (Logstart)

!sax3 (AP3 aktiv)

!mub3:2 (urms Z2)

i-Messung

!dwr32;1 (Logstart)

!mib (irms)

Aufräumen

!xwr1;4;255 (AF aus)

!rsv (MUX aus, SSINTERN)

!sup0;30 (0V 30mA)

!lrd0;1 (Logger lesen)

Spannung: Aus Uavg und Urms wird Uacrms berechnet.

Strom: Aus Iavg und Irms wird Iacrms berechnet, ein DC-Stromoffset wird ausgeblendet.

Impedanz: **Z=Uacrms/Iacrms** (im Beispiel wird Z2 bestimmt)

Ridc wird bestimmt durch Messung des Spannungsabfalls ΔU bei Belastung mit Konstantstrom ICONST.

GTA realisieren

!sup0;30 (0V 30mA)

!spn1 (SVGN an SFN1)

!sax1 (GTA aktiv)

Uleer messen

!sax2 !sax3 !bua6 !bia7 !mua3:2 (Uleer Zelle2 messen)

Akku belasten

!sip400;1000 (ICONST=0,4A)

!ssv1:8 (ausgeben)

!sax8 (ICONST ein)

Belastung messen

!mia (messe ICONST)

!mua3:2 (Ulast Zelle2 messen)

Aufräumen

!xwr1;4;255 (alle AF aus)

!rsv (MUX aus, SSINTERN)

!sup (Strom aus)

Spannungsabfall: ΔU=Uleer-Ulast

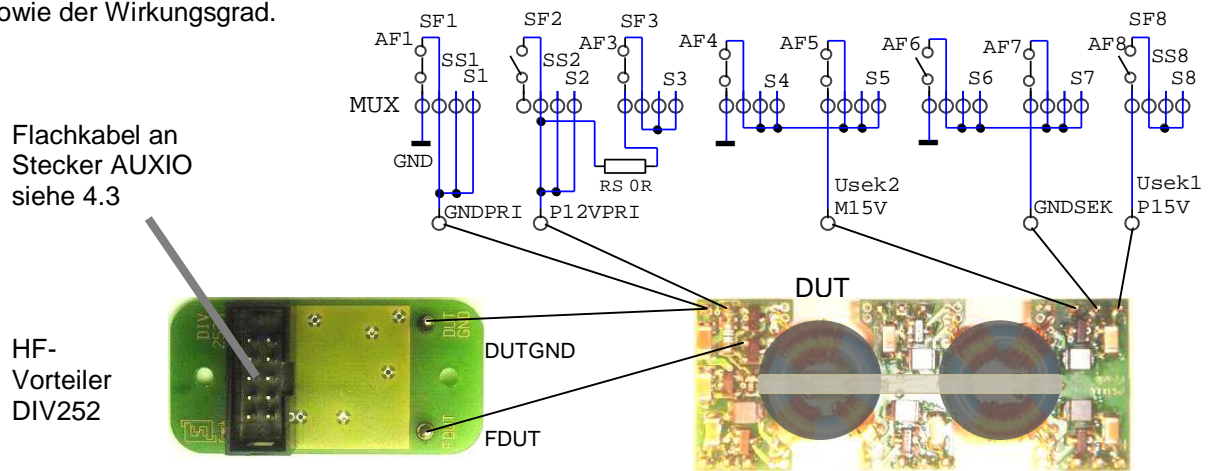
Innenwiderstand: **Ridc=ΔU/ICONST**. Normal ist Ridc > Z, die Werte wandern mit der Zellenalterung.

21.14 Wandler

21.14.1 DCDC

Der isolierende 1W-Wandler im Beispiel wandelt 12V U_{pri} in ±15V U_{sek}. Die Primärspeisung erfolgt ähnlich 20.5.7 mit SVGP und Systemmasse. Der Primärstrom wird mit dem externen Shunt RS erfasst. Damit Plauustests möglich sind, wird RS über AF3 geschleift. Der reale Shuntwiderstand besteht jetzt aus RS+AF3 und wird vom System ausgemessen. Im Beispiel ist RS=0Ω, der Shunt besteht allein aus dem Schalterwiderstand von AF3, etwa 0,25Ω. Er wird vom System ausgemessen, die genaue Messung des Primärstroms ist dadurch sichergestellt. Die Systemmasse wird über AF1 geschaltet. Mit der DC-Stromsenke IREG werden die Konverterausgänge mit Strömen bis 400mA belastet.

Die Spannung von AF gegen GND soll ±42V nicht überschreiten, d.h. Dualausgänge bis ±21V oder Einfachausgänge bis 26V im Leerlauf können direkt geprüft werden. Höhere Spannungen mit Methode 21.2.8 messen. Wandlerausgänge mit Y-Störspannung >4V_p werden immer über AF-Schalter am MUX angeschlossen, wie auch Ausgänge mit Spannungen >±10V. Bei Tests werden nur die AF-Schalter der zu messenden Ausgänge aktiviert, alle anderen AF-Schalter bleiben getrennt, siehe 21.13.1. Damit wird sichergestellt, dass die zulässige Gleichtaktspannung an den AP des MUX nicht überschritten wird. Störarme Wandlerausgänge mit Spannungen <±10V im Leerlauf können direkt am AP des MUX angeschlossen werden. Gemessen wird Primärspannung, -strom, Sekundärspannung, -strom, Foldbackstrom, Schwingfrequenz mit HF-Vorteilermodul DIV252, Isolation und bei Bedarf die Koppelkapazität. Berechnet wird Leistung P_{pri} und P_{sek} sowie der Wirkungsgrad.



RSAF3 messen	!hum50 (Brummfilter)	!sax3 (RS ein)	!bro1 (10hm)	!mro2:3 (RSAF3)
Upri+Ilast aktivieren	!sip100;12000 (12V)	!ssv3:1 (SVGP an AP3)		!set42 (SSINTERN)
	!sss2:1 (SVGP-Regelung umschalten an AP2)	!sax1 (Systemmasse an AP1 Wandler)	!rpn1 (Ilast wegschalten von AP1)	!clr42 (SSINTERN)
Uprileer messen	!bua6 (24V)	!mua2:1 (Uprimleer)		
Iprileer messen	!bua1 (0,12V)	!mua3:2 (URSAF3leer)	Iprileer=URSAF3leer/RSAF3	
Usek1 belasten	!sax6 (GND)	!sax7 (GNDSEK)	!sax8 (Usek1)	!spn8 (Ilast 0,1A ein)
Uprilast messen	!bua6 (24V)	!mua2:1 (Uprimlast)		
Iprilast messen	!bua1 (0,12V)	!mua3:2 (URSAF3last)	Iprilast=URSAF3last/RSAF3	
Usek1 messen	!bua6 (24V)	!mua8:7 (Usek1)	Pprilast=Uprilast*Iprilast	
Isek1 messen	!bia7 (0,4A)	!mia (0,1A Isek1)	Pseklast1=Usek1*Isek1	
Usek1 entlasten	!rax8 (Usek1)	!rax6 (GND)	!rpn8 (Ilast 0,1A aus)	
Usek2 belasten	!sax4 (GND)	!sax5 (Usek2)	!spn7 (Ilast 0,1A ein)	
U+Isek2 messen	!bua6 (24V)	!mua7:5 (-Usek2)	!mia (0,1A -Isek2)	
Rechnen	Wirkungsgrad=100*Pseklast1/Pprimlast		Pseklast2=Usek2*Isek2	
Frequenz messen	!mfh (Wandlerfrequenz)			
Überstrom Isek2	sip150;12000 (150mA an sek2 erzwingt Foldback des Wandlers)			
Iprifold messen	!bua1 (0,12V)	!mua3:2 (URSAF3fold)	Iprifold=URSAF3fold/RSAF3	
Abschalten	!xwr1;4;255 (alle AF aus)	!rsv ()	!sup ()	
Isolation pri:sek	!sax7 (GNDSEK)	!sup26000 (Uiso)	!ssv7:1 (GNDSEK:GNDPRI)	
Uiso messen	!bua7 (34V)	!mua7:1 (Uiso Isolationstestspannung)		
Iiso messen	!bia1 (2µA)	!mia (Iiso Isolationsstrom)		
Abschalten	!xwr1;4;255 (alle AF aus)	!rsv (trennen)	!sup (Supply auf 0)	

21.14.2 POL

Point of Load Konverter mit Spannungen bis +26V werden direkt mit den AP des MUX verbunden. Die Speisung erfolgt wie beim DCDC-Wandler mit SVGP und Systemmasse. Mit der DC-Stromsenke IREG werden Konverterausgänge mit Strömen bis 400mA belastet. Gemessen wird Eingangsspannung, -strom, Ausgangsspannung, -strom, Foldbackstrom und Schwingfrequenz mit HF-Vorteilermodul DIV252. Berechnet wird Leistung Pein und Paus sowie der Wirkungsgrad.

21.15 Netzmessungen

Die Beispiele beschreiben allein den Messablauf. Sicherheitseinrichtungen wie Schutzkäfig, Not-Aus Funktion und das Ein- und Ausschalten der Netzquelle müssen zusätzlich realisiert werden. Bei Netzspeisung des Prüflings ist der Einsatz eines Netzkonstanters sinnvoll, der ideale Sinusspannung liefert. Das normale Netz hat unkalkulierbare Oberwellen, Phasenmessungen können beeinflusst werden.

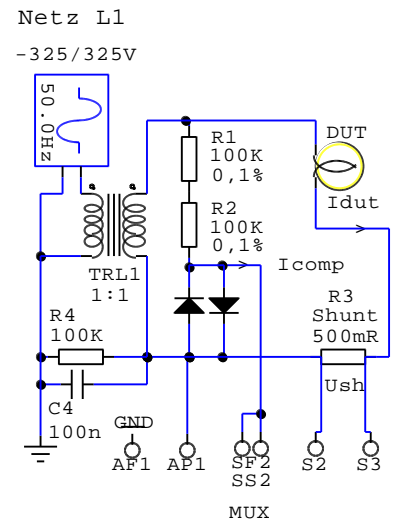
Eine Messzeit von 100ms ist ideal für 50/60Hz Integrationszeitmessung. Entsprechendes gilt für Perioden- und Phasenmessung: Parameter TRIGGER=±5 bei 50Hz, TRIGGER=±6 bei 60Hz Netzfrequenz.

21.15.1 u, i

Das Schema zeigt Spannungs- und Strommessung an netzgespeisten Prüflingen (u, i). Sicherheitstrenntrafo TRL1 erzeugt U_{dut}. Die sekundäre Y-Anbindung des Trenntrafos gegen PE erfolgt mit R4//C4. Shuntwiderstand R3 ist angeschlossen in 4-Leitertechnik. Geteilte AP können vorteilhaft verwendet werden.

Spannungsmessung u_{dut} erfolgt über R1+R2 mit Stromkompensation I_{comp} gegen GND. Strom i_{dut} wird über Spannungsmessung an Shuntwiderstand R3 bestimmt.

Die Gleichtaktanbindung des Fußpunktes AP1 erfolgt über Schalter AF1 an GND der SMMU. Bei einer GTA von AP1 an den SVGN mit 0V kann der Y-Ausgleichstrom zwischen TRL1 und SMMU gemessen werden.



Aus den Messergebnissen kann berechnet werden:
U_{dut}, I_{dut}, Scheinleistung S und Scheitelfaktor k_s.

```

Vorbereitung !xwr1;4;255 (AF1...8 aus) !rsv (MUX aus + SSINTERN ein)
!dwr36;1 (LogAnz) !dwr38;0 (LogDly) !sup0;100 (Kompensationsspannung 0V SVGN)
!sax1 (GTA an GND) !clr145 (Bandbreite 3KHz)
!spn2 (SVGN-Kompensation ein)
I-Parameter !bia4 (2mA) !dwr2;0 (Offset) !dwr4;0 () !dwr6;5 (Trigger)
!dwr8;2 (Periode) !dwr10;1000 (TO) !dwr12;0 (Delay) !dwr14;0 (DC-Koppelung)
Udut !dwr32;0 (LogStrt) !mib (messe Icomp zur Berechnung von Udut)
!rpn2 (Kompensation aus)
U-Parameter !bua2 (1,2V) !dwr18;0 (Offset) !dwr20;1002 (ti) !dwr22;0 (Trigger)
!dwr24;0 (Integr.) !dwr26;1000 (TO) !dwr28;0 (Delay) !dwr30;0 (DC)
Idut !dwr32;1 (LogStrt) !mub3;2 (messe Ush zur Berechnung von Idut)
abschalten !rsv (MUX aus) !rax1 (Gleichtaktanbindung GTA aus)
Logger !lrd0;1 (lesen)
<L=0;0;0;1156;-1623;1626;13;9934;40;2000;41;33572;0#1;0;-25;2651;-3758;3708;2;0;98;0;98;36969;0
    Icomp=1,156mArms Ush=265,1mVrms
    
```

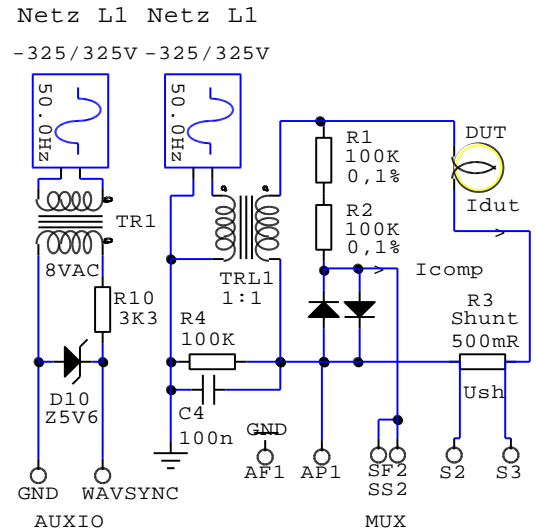
Auswertung:

1. U_{dut} U_{dut}=I_{comp}*(R1+R2) U_{dut}=231,2V
2. I_{dut} I_{dut}=U_{sh}/R3 I_{dut}=530,2mA
3. Scheinleistung S S=U_{dut}*I_{dut} S=122,58W
4. Scheitelfaktor k_s=|Spitzenwert|/DCr_{ms} k_{su}=1,407 (Spannung)
k_{si}=1,399 (Strom)

Der Scheitelfaktor von Sinus ist ~1,41, gemessen wurde ein fast reiner Sinus

21.15.2 u, i, φ

Das Schema zeigt Spannungs-, Strom und Phasenmessung an netzgespeisten Prüflingen (u, i, φ). Das Prinzip der Strom- und Spannungsmessung ist identisch 21.15.1. Sicherheitstrenntrafo TRL1 erzeugt U_{dut}. Die sekundäre Y-Anbindung des Trenntrafos gegen PE erfolgt mit R4//C4. Shuntwiderstand R3 ist angeschlossen in 4-Leitertechnik. Geteilte AP können vorteilhaft verwendet werden. Die Gleichaktanbindung des Fußpunktes AP1 erfolgt über Schalter AF1 an GND der SMMU. Die SMMU benötigt für Phasenmessungen an fremdgespeisten Komponenten das Synchronsignal WAVSYNC. Es wird erzeugt mit dem kleinen Hilfsrafo TR1, R10 und D10. Die Phasenlage der Trafos nach Schema gilt für die Parametereinstellung WAVESYNC positiv. Aus den Messergebnissen kann berechnet werden: Scheinleistung S, Wirkleistung P, Blindleistung Q, bei Sinuslast Wirkfaktor cosφ, Real- und Blindanteil der Last. Scheitelfaktor ks=|Spitzenwert|/DCrms und Leistungsfaktor λ=|P|/S



```
Vorbereitung !xwr1;4;255 (AF1...8 aus) !rsv (MUX aus + SSINTERN ein)
!dwr36;1 (LogAnz) !dwr38;0 (LogDly) !sup0;100 (Kompensationsspannung 0V SVGN)
!sax1 (GTA an GND) !clr145 (Bandbreite 3KHz)

Der Wellengenerator am SVGP wird nur intern benötigt und kann abgetrennt werden.
Wellengen. !clr140 (SVGP trennen) !wav50;2500;2500;150 (50Hzrechteck 2,5Vp 2,5Vdc)
U-Parameter !bua2 (1,2V) !dwr18;0 (Offset) !dwr20;0 () !dwr22;5 (Trigger)
!dwr24;-1 (Phase) !dwr26;1000 (TO) !dwr28;32001 (WAVSYNC pos) !dwr30;0 (DC)

Der Phasen-Nullabgleich erfolgt an SSSF2:GND. In der Hardware wird die Spannung durch Dioden begrenzt (±0,6V), die Phase entspricht Udut.
Nullabgleich !sss2:1 (SS-MUX) !dwr32;0 (LogStrt) !nul-5;-1 (Phasen-Nullabgleich SS2:GND)
Die Messung Udut erfolgt mit Stromkompensation an SSSF2 gegen GND.
I-Parameter !bia4 (2mA) !dwr2;0 (Offset) !dwr4;0 () !dwr6;5 (Trigger)
!dwr8;-1 (Phase) !dwr10;1000 (TO) !dwr12;32001 (WAVSYNC pos) !dwr14;0 (DC)

Die Stromkompensation an SSSF2 gegen GND erfolgt mit dem SVGN mit interner Regelung.
Udut !spn2 (Icomp ein) !dwr32;1 (LogStrt) !mib (messe Icomp zur Berechnung von Udut)
Bei zu kleinen Spannungen Ush wird keine Phase gemessen (Err56), der Betrag wird jedoch erfasst.
Idut !rpn2 (Icomp aus) !dwr32;2 (LogStrt) !mub3;2 (messe Ush zur Berechnung von Idut)
abschalten !wav (aus) !rsv (MUX aus) !rax1 (Gleichtaktanbindung GTA aus)
Logger !lrd0;2 (lesen)
<L=0;0;8;5881;-6207;6222;2;-2278;39;1999;41;49768;0 der Phasen-Nullabgleich, nur zur Information
Nullphasenzeit tphas=-227,8µs tper=19,99ms zur Berechnung Nullphasenwinkel α
#1;0;0;1156;-1617;1617;13;38;39;1999;41;54376;0#2;0;-52;2660;-3806;3725;2;1778;40;1999;41;58183;0
Icomp=1,156mArms Udut tphas=3,8µs tper=19,99ms Ush=266,0mVrms Idut tphas=1778µs tper=19,99ms
```

Auswertung:

1. U_{dut} U_{dut}=I_{comp}*(R1+R2)
2. I_{dut} I_{dut}=U_{sh}/R3
3. Nullphasenwinkel α=360/tper*tphas
4. Phase U_{dut} φ=360/tper*tphas
5. Phase I_{dut} φ=360/tper*tphas

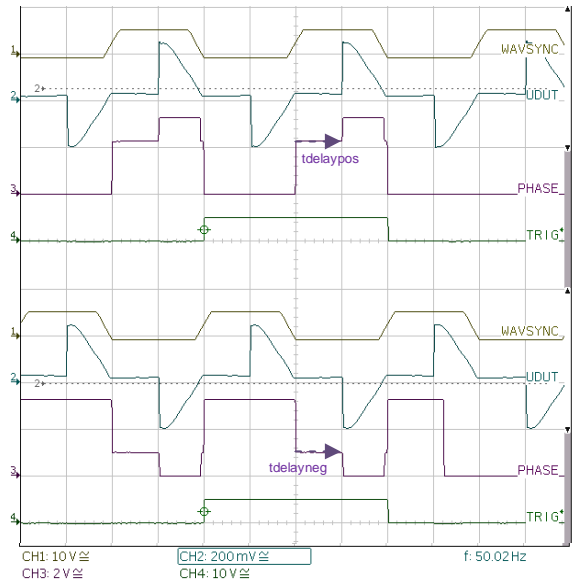
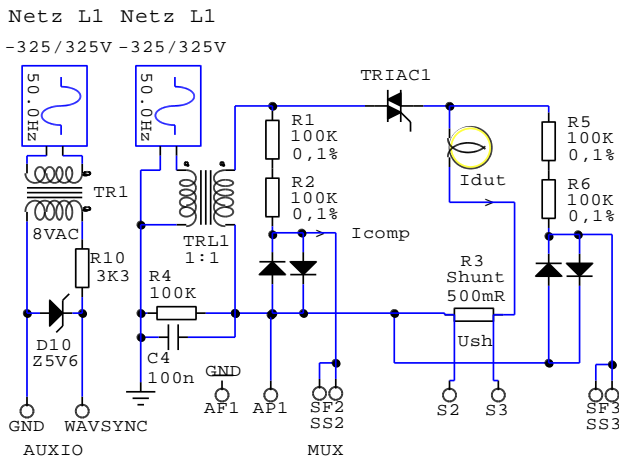
U_{dut}=231,2V
I_{dut}=532,0mA

α=-4,1° Kontrollwert Bereich ±10°
φ=0,07° Kontrollwert Bereich ±3°
φ=32,02°

6. Scheinleistung S S=U_{dut}*I_{dut}
7. Wirkleistung P P=U_{dut}*I_{dut}*cosφ
8. Blindleistung Q Q=U_{dut}*I_{dut}*sinφ
9. Wirkfaktor cosφ

S=122,6W
P=104,0W
Q=64,9W
cosφ=0,85 ind.

21.15.3 Phasenanschnitt & Phasenabschnitt



Phasenanschnitt- und Phasenabschnittdimmer mit hochliegendem und tiefliegendem Lastschalter können vermessen werden. Das Schema ist eine Erweiterung von 21.15.2. Positive und negative Halbwellen werden getrennt vermessen. Die Schwellspannung zur Erkennung aktiver Last ist mit OFFSET programmierbar. Berechnet wird: U_{dut}, I_{dut}, P_{dut}, Scheitelfaktor k_s, Stromflusszeit und Stromflusswinkel pos/neg.

Die Oszillogramme zeigen die Vermessung vom Phasenanschnitt, oben die positive Halbwellen, unten die negative. Signal TRIG zeigt die Messzeit; eine Netzperiode. Triggerschwellen sind gepunktet dargestellt. Die Messung der positiven UDUT-Halbwellen benötigt eine pos. Triggerschwelle, die negative Halbwellen eine neg. Triggerschwelle. Die Pfeile an Signal PHASE zeigen die gemessene Phasenanschnittzeit t_{delay}.

Vorbereitung !xwr1;4;255 (AF1..8 aus) !rsv (MUX aus + SSINTERN ein) !sup0;100 (UKomp 0V SVGN) !dwr36;1 (LogAnz) !dwr38;0 (LogDly) !clr145 (BB 3KHz) !sax1 (GTA an GND)

Der Wellengenerator am SVGP wird nur intern benötigt und kann abgetrennt werden.

Wellengen. !clr140 (SVGP trennen) !wav50;2500;2500;150 (50Hzrechteck 2,5Vp 2,5Vdc)

Der Phasen-Nullabgleich erfolgt an SSSF2:GND. In der Hardware wird die Spannung durch Dioden begrenzt (±0,6V), die Phase entspricht U_{dut}.

U-Parameter !bua2 (1,2V) !dwr18;0 (Offset) !dwr20;0 () !dwr22;5 (Trigger) !dwr24;-1 (Phase) !dwr26;1000 (TO) !dwr28;32001 (WAVSYNC pos) !dwr30;0 (DC)

Nullabgleich !sss2:1 (SS-MUX) !dwr32;0 (LogStrt) !nul-5;-1 (Phasen-Nullabgleich SS2:GND)

Die Shuntspannungsmessung U_{sh} erfolgt mit 100ms Integrationszeit.

U-Parameter !dwr20;1002 (ti) !dwr22;0 (Trigger) !dwr24;0 (Integrationszeitmessung) I_{dut} !dwr32;1 (Trigger) !mub3:2 (messe U_{sh} zur Berechnung von I_{dut})

Die Netzspannungsmessung U_{line} erfolgt mit Stromkompensation an SSSF2 gegen GND.

I-Parameter !bia4 (2mA) !dwr2;0 (Offset) !dwr4;0 () !dwr6;5 (Trigger) !dwr8;-1 (Phase) !dwr10;1000 (TO) !dwr12;32001 (WAVSYNC pos) !dwr14;0 (DC)

Die Stromkompensation an SSSF2 gegen GND erfolgt mit dem SVGN mit interner Regelung.

U_{line} !spn2 (I_{comp} ein) !dwr32;2 (LogStrt) !mib (messe I_{comp} zur Berechnung von U_{line}) !rpn2 (I_{comp} aus) !spn3 (I_{comp} ein)

Die Vermessung des negativen Phasenanschnitts & U_{dut} erfolgt mit Stromkompensation an SSSF3

!dwr2;-5 (Offset) !dwr6;5 (Trigger) !dwr32;3 (LogStrt) !mib (messe I_{comp})

Die Vermessung des positiven Phasenanschnitts & U_{dut} erfolgt mit Stromkompensation an SSSF3

!dwr2;5 (Offset) !dwr6;-5 (Trigger) !dwr32;4 (LogStrt) !mib (messe I_{comp})

abschalten !rpn3 (I_{comp} aus) !wav (aus) !rsv (MUX aus) !rax1 (GTA aus)

Logger !lrd0;4 (lesen)

<L=0;0;13;5880;-6213;6228;2;-2707;39;1999;41;25378;0 der Phasen-Nullabgleich, nur zur Information

Nullphasenzeit t_{phas}=-270,7µs t_{per}=19,99ms zur Berechnung Nullphasenwinkel α

#1;0;13;713;-2131;2241;2;0;98;0;98;28580;0#2;0;0;1140;-1608;1609;13;-211;39;1999;41;32385;0 U_{sh}=71,3mVrms U_{sh}=224,1mVp U_{line} I_{comp}=1,14mArms U_{line} t_{phas}=-21,1µs t_{per}=19,99ms

#3;0;8;358;-1052;1108;13;7349;40;1999;41;36189;0#4;0;8;359;-1056;1109;13;7226;40;1999;41;39893;0 U_{dut} I_{comp}=0,358mArms U_{dut} t_{delayneg}=7349µs t_{per}=19,99ms U_{dut} I_{comp}=0,359mArms U_{dut} t_{delaypos}=7226µs t_{per}=19,99ms

Auswertung Phasenanschnittdimmer:

- 1. Nullphasenwinkel $\alpha=360/tper*tphas$ $\alpha=-4,88^\circ$ Kontrollwert Bereich $\pm 10^\circ$
- 2. Idut $Idut=Ush/R3$
- 3. Uline $Uline=Icomp*(R1+R2)$
- 4. Phase Udut $\varphi=360/tper*tphas$ $\varphi=-0,38^\circ$ Kontrollwert Bereich $\pm 3^\circ$
- 5. Udut $Udut=Icomp*(R5+R6)$
- 6. Pdut $Pdut=Udut*Idut$
- 7. Stromflusszeit neg $tifn=tper/2-tdelayneg$ $tifn=7,35ms$
- 8. Stromflusswinkel neg $\varphi n=360/tper*tifn$
- 9. Stromflusszeit pos $tifp=tper/2-tdelaypos$ $tifp=7,27ms$
- 10. Stromflusswinkel pos $\varphi p=360/tper*tifp$

Idut=143mA
Uline=228,0V

Udut=71,6V
Pdut=10,2W

$\varphi n=47,7^\circ$

$\varphi p=49,9^\circ$

Phasenanschnitt- und -abschnittdimmer mit hochliegendem Lastschalter unterscheiden sich im Messablauf:

	Messung der positiven Halbwelle	Messung der negativen Halbwelle
Phasenanschnittdimmer gemessen wird	TRIG=neg, OFFSET=pos tdelaypos (Messwert positiv)	TRIG=pos, OFFSET=neg tdelayneg (Messwert positiv)
Phasenabschnittdimmer gemessen wird	TRIG=pos, OFFSET=pos toffpos (Messwert negativ)	TRIG=neg, OFFSET=neg toffneg (Messwert negativ)

Bei tiefliegendem Lastschalter gilt: Anstelle von Udut die Spannung Uschalter gemessen.

	Messung der positiven Halbwelle	Messung der negativen Halbwelle
Phasenanschnittdimmer gemessen wird	TRIG=pos, OFFSET=pos tdelaypos (Messwert negativ)	TRIG=neg, OFFSET=neg tdelayneg (Messwert negativ)
Phasenabschnittdimmer gemessen wird	TRIG=neg, OFFSET=pos toffpos (Messwert positiv)	TRIG=pos, OFFSET=neg toffneg (Messwert positiv)

21.16 Motoren

Das Motorgehäuse zur Schirmung erden. Die Geschwindigkeit und Position kann mit einem angeflanschten Drehgeber bestimmt werden. Die Signale werden mit dem AB4-Zähler des Testers erfasst. Der Zähler wird mit !cnt bedient. Bei Analogmessungen wird die Zeit im Zeitstempel und die Motorposition im AB4-Zählerstempel abgelegt. Alternativ kann die Drehgeschwindigkeit mit einer einkanaligen Lichtschranke direkt am Stecker AUXIO.FDUTDIV erfasst werden. Messung !mhf liefert die 16fache Frequenz, da der Vorteiler DIV252 fehlt.

21.16.1 DC

Bürstenbehaltete DC-Motoren können mit Konstantspannung oder -strom versorgt werden. Maximales Haltemoment entsteht bei Konstantspannung mit maximaler Stromgrenze.

Eine Geschwindigkeitsregelung von DC-Servomotoren mit Analogtacho über den SVGP / SVGN ist möglich. Motor an AP2:1, AF1 an GND, Tacho an AP4:3. Die Phasenkompensation des im Beispiel zur Motoransteuerung verwendeten SVGP erfolgt extern über einen ~10K Widerstand zwischen Tachoplus und AP4 und einen Kondensator mit auszustehender Kapazität zwischen AP2 und AP4. Die Kapazität solange erhöhen, bis der Motor ohne Schwingen des SVGP läuft. Eine Kontrolle mit dem Oszillografen ist sinnvoll.

!sup0;430 (USUPPLY) !sax1 (MOTM an GND) !spp2 (MOTP an SVGP) !sbn3 (TACHM an SVGN)
 !sss4:3 (TACHP an AP4, TACHM an SVGN) !clr43 (SSINTERN aus, Motor läuft jetzt tachogeregelt)
 !wav1;500;0;1 (Motor Sinusregelung...) !wav (Motorstop) !rsv !rax1 (MUX & AF1 aus)

21.16.2 Schrittmotor

Schrittmotoren am MUX können über die Befehlsfolgen !sup, !spp, !rpp, !sbn und !rpn mit Taktraten bis zu 75Hz angesteuert werden. 75Hz ist die obere Grenzfrequenz der Halbleiterrelais. Reicht der Spitzenstrom von 400mA nicht aus, um den Motor zu takten, am MINIPORT einen Stützelko an die SF-Pins anschliessen, der mit Schalter ENDMF (!set106) zugeschaltet wird. In Endposition (Stillstand ohne Versorgung) die Wicklungen z.B. mit den AF-Schaltern kurzschließen, dann wird das niedrige Haltemoment verbessert. USUPPLY ist jetzt wieder frei für anderweitige Tests. Wicklungen mit Mittenanzapfung können über SPS-Ausgänge geschaltet werden, hier ist immer das volle Haltemoment vorhanden.