

EMV-Projektbericht

Versuchsname

Windisch, 29. Mai 2019



Hochschule	Hochschule für Technik - FHNW
Studiengang	Elektro- und Informationstechnik
Autor/-en	Mischa Knupfer, Simon Hasler
Dozent	Pascal Schleuniger
Modul	EMV
Version	1.0

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Schaltung	2
3 Testarten	5
3.1 ESD	5
3.2 Burst	5
3.3 Surge	5
3.4 HF-Störfelder	6
3.5 Gestrahlte Emission	6
3.6 Auswahl der EMV-Tests und Kriterien	6
4 Schutzelemente	7
5 Testaufbau	8
6 Testprotokoll: Burst	9
7 Testprotokoll: Surge	11
8 Testauswertung	14
9 Schluss	15

1 Einleitung

Im Rahmen des Moduls EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit) der Fachhochschule Nordwestschweiz wird eine Schaltung auf EMV getestet. Um die Tests durchführen zu können, wurde von den Autoren eine Schaltung zur Strommessung mit an der Fachhochschule zur Verfügung stehenden Mitteln erstellt. Ausserdem musste eruiert werden, welche Tests für die Schaltung sinnvoll sind, worauf die Autoren auf Burst- und Surgetests kamen (siehe Kapitel 3). Da Strommessungen oft gemittelt werden ist ein kurzer Messausfall passabel. Die Schaltung muss sich im Falle einer Störung selbstständig erholen können, da solche Schaltungen oft unzugänglich verbaut sind.

Im folgenden Bericht werden die Schaltung (Kapitel 2), die durchgeführten Testarten und deren Normen (Kapitel 3) und die verwendeten Schutzelemente (Kapitel 4) erläutert. Ausserdem werden die Testaufbauten (Kapitel 5), die Testprotokolle (Kapitel 6 und 7) und die Testauswertung (Kapitel 8) implementiert.

Ergebnisse
zusammen-
gefasst zwi-
schen-
schie-
ben

2 Schaltung

In der Bachelor-Thesis von Simon Hasler ist eine Teilschaltung implementiert, welche den Strom eines Asynchronmotors misst. Diese Schaltung wurde von den Autoren ausgewählt, um im Modul EMV Tests durchführen zu können. Damit die Schaltung bei den Tests sicher nicht kaputt geht, sollte diese nachgebaut werden. Leider wurde bekannt, dass diese Teilschaltung, generiert von einer anderen, externen Schule, nicht funktionstüchtig ist. Aus diesem Grund haben die Autoren eine eigene Schaltung zur Strommessung mit an der Fachhochschule zur Verfügung stehenden Mitteln zusammengestellt. Bei der Schaltung handelt es sich um eine Strommessung über einen Widerstand (Shunt) mit Tiefpassfilterung und einem Operationsverstärker, zu sehen in Abbildung 2.1.

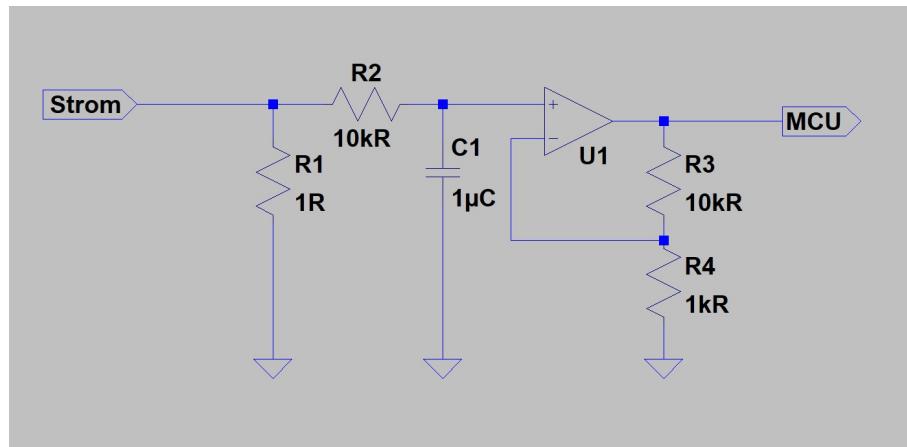


Abbildung 2.1: Schema der entworfenen Schaltung.

In Abbildung 2.1 ist zu sehen, dass von Links der zu messende Strom in die Schaltung hinein und durch den Shunt (R1) strömt. Ein Tiefpassfilter (R2 parallel zu C1) schützt die nachfolgende Schaltung vor Schäden durch hohe Frequenzen. Der Operationsverstärker (U1) dient als nichtinvertierender Verstärker mit einem Verstärkungsfaktor von $1 + \frac{R3}{R4}$. Die Ausgangsspannung, welche im Verhältnis zum zu messenden Strom ist, wird an einen Mikrocontroller zur Datenverarbeitung weitergegeben (bzw. erst auf einen ADC). Der Operationsverstärker benötigt zudem eine Spannungsversorgung von +5V.

Das Schema wird umgesetzt mit Bauteilen, welche direkt an der Fachhochschule bezogen werden können. Ebenfalls wird nicht extra ein Print hergestellt, sondern eine Lochrasterplatine verwendet, auf welcher die Schaltung gelötet wird. Die Schaltung sieht umgesetzt aus wie in Abbildung 2.2 aus.

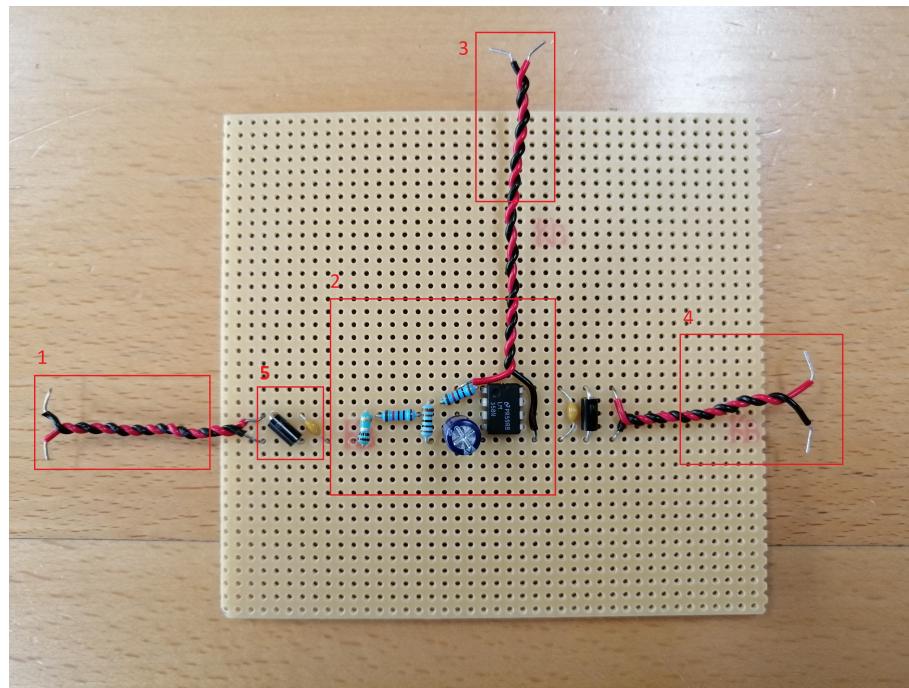


Abbildung 2.2: Die realisierte entworfene Schaltung.

In Abbildung 2.2 sind die Anschlüsse für eine Stromquelle (1), für den Ausgang zur MCU bzw. zum Oszilloskop (3) und für die Speisespannung des Operationsverstärkers (2) zu sehen. Die Schaltung selbst, wie in Abbildung 2.1 gezeichnet, ist ebenfalls zu sehen (4). Außerdem sind die Schutzelemente gegen die ausgewählten EMV-Störungen hier schon implementiert (5), was jedoch erst in Kapitel 4 näher besprochen wird.

Damit sichergestellt ist, dass die Schaltung ihre Aufgabe erfüllt, muss dies getestet werden. Dafür wird der Ausgang an ein Oszilloskop angeschlossen, der Operationsverstärker mit einer Spannungsquelle gespiesen (5V) und am Eingang eine Stromquelle angeschlossen. Nun sollen für verschiedene Ströme auch verschiedene Spannungslevel auftreten. Die Auswertung ist zu sehen in Abbildung 2.3.

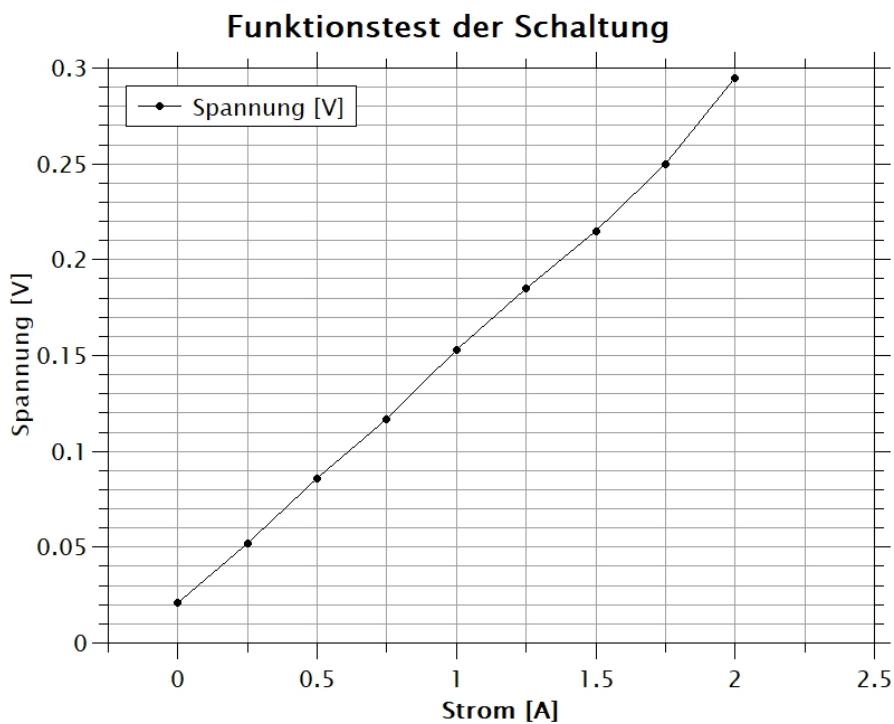


Abbildung 2.3: Das Ergebnis des Funktionstest, geplottet mit QtiPlot.

Abbildung 2.3 zeigt die am Oszilloskop gemessene Spannung für verschiedene Eingangsströme. Es fällt ein linearer Zusammenhang auf, wobei es zu kleineren Abweichung (Messfehler, Ablesefehler...) kommt. Die Schaltung gibt also für jeden Eingangsstrom einen anderen Spannungspegel aus, weshalb gesagt werden kann, dass die Schaltung funktioniert.

Die Schaltung wurde aufgebaut und auf ihre Funktionalität getestet. Als nächstes folgen die ausgewählten EMV-Testarten und deren Normen, auf diese hin die Schaltung getestet wird.

3 Testarten

Im EMV-Unterricht haben wir gelernt, dass es fünf sehr wichtige Normstörungen gibt, auf welche wir die Schaltung testen könnten. Da wären ESD (Electrostatic Discharge bzw.), Burst, Surge, HF-Störfelder und die gestrahlte Emission. Im nachfolgenden werden die einzelnen Normstörungen kurz erläutert und die Wahl der gewählten Normstörungen begründet.

3.1 ESD

3.2 Burst

Der Burst ist eine HF-Störung, welche Leitungsgebunden ist. HF-Störungen können häufig durch Schaltvorgänge (z.B. prellen eines Tasters, einstecken eines Adapters...) in das System eingekoppelt werden. Dieses Prüf- und Messverfahren zur Prüfung der Störfestigkeit gegen schnelle transiente elektrische Störgrößen (Burst) unterliegt der Norm EN 61000-4-4.

Über eine kapazitive Koppelzange werden schnelle transiente Störgrößen (Bursts) auf Leitungen gegeben. Diese Bursts verfügen mit bis zu 400MHz über ein weites Störspektrum und können Amplituden bis zu einigen kV haben.

Burst Standard test routines		
F1 : IEC 61000-4-4	Level 1	500V
F2 : IEC 61000-4-4	Level 2	1000V
F3 : IEC 61000-4-4	Level 3	2000V
F4 : IEC 61000-4-4	Level 4	4000V
F5 : EN 61000-6-1	Generic	1000V
F6 : EN 61000-6-2	Generic	2000V
F7 : Manual test routine		

Abbildung 3.1: Die Burst-Programme für die verschiedenen Testlevel.

Abbildung 3.1 zeigt die verschiedenen Burst Standart Test Routinen an. Deutlich zu erkennen ist, dass es verschiedene Level mit verschiedenen Amplituden gibt.

3.3 Surge

Die Surge-Impulse werden bei EMV-Tests verwendet um die Verträglichkeit gegen Stossspannungen (Impulse) zu testen. Solche Stossspannungen können bei Blitzeinschlägen oder Schaltvorgängen in der Versorgungsleitung auftreten. Dieses Prüf- und Messverfahren zur Prüfung der Störfestigkeit gegen Stossspannungen (Surge) unterliegt der Norm EN 61000-4-5.

Über ein Surge-Generator werden Impulse mit hoher Spannung auf eine Leitung gegeben. Dabei ist wichtig, dass ein Entkopplungsnetzwerk verwendet wird. Dies verhindert, dass die Impulse statt auf das Testobjekt auf das Stromnetz gegeben werden.

Standard test routines		
F1 : IEC 61000-4-5	Level 1	500V
F2 : IEC 61000-4-5	Level 2	1000V
F3 : IEC 61000-4-5	Level 3	2000V
F4 : IEC 61000-4-5	Level 4	4000V
F5 : EN 61000-6-1	Generic	2000V
F6 : EN 61000-6-2	Generic	2000V
F7 : Manual test routine		

Abbildung 3.2: Die Surge-Programme für die verschiedenen Testlevel.

Abbildung 3.2 zeigt die verschiedenen Surge Standart Test Routinen an. Auch hier ist deutlich zu erkennen, dass es wiederum vier verschiedene Level gibt, mit verschiedenen Amplituden, welche der Norm entsprechen.

3.4 HF-Störfelder

3.5 Gestrahlte Emission

3.6 Auswahl der EMV-Tests und Kriterien

Verschiedene Systeme werden in den verschiedensten Gebieten eingesetzt, weshalb es auch immer wichtig ist zu spezifizieren welche EMV-Tests sinnvoll sind und welche Kriterien diese erfüllen sollen.

Die gewählte Schaltung soll stellvertretend für eine in einem System integrierte Schaltung sein. Erwähntes System hat eine hohe Bauteildichte und wird mit einem Gehäuse geschützt, weshalb ein direkter Zugriff auf die Schaltung während des Betriebs nicht erfolgen kann. Aus diesem Grund wird kein ESD-Test durchgeführt. Außerdem sind die EMV-Tests für Störfelder und gestrahlte Emission ebenso weniger interessant. Jedoch sind die Burst- und Surge-Tests interessant, da der Strom eines Motors angehängt wird und dieser allenfalls über längere Leitungen verbunden wird.

Die Erfüllungskriterien der EMV-Tests können in Funktionslevel eingestuft werden. Bei Funktionslevel A muss das Gerät auch während des Tests weiterhin wie beabsichtigt funktionieren. Bei Funktionslevel B muss das Gerät nach dem Test weiterhin wie beabsichtigt funktionieren. Bei Funktionslevel C ist ein vorübergehender Funktionsverlust zulässig, vorausgesetzt, das System kann seine Funktionalität selbst wiederherstellen.

Da Strommessungen oft gemittelt werden, ist ein kurzer Ausfall annehmbar, weshalb ein Funktionslevel B angestrebt wird.

Die Schaltung wird somit auf die Normstörungen Burst und Surge getestet und ein Funktionslevel B wird für alle Tests angestrebt.

Nun wurde die Schaltung vorgestellt und die EMV-Tests ausgewählt. Bevor es zu den Testprotokollen kommt, muss im nächsten Kapitel auf die verwendeten Schutzelemente eingegangen werden.

4 Schutzelemente

Um eine Schaltung vor EMV-Störgrößen zu schützen, gibt es verschiedene Schutzelemente. Nachfolgend werden Schutzelemente für Burst und Surge, die Testarten welche im vorhergehenden Kapitel ausgewählt wurden, vorgestellt.

Wie im vorhergehenden Kapitel erwähnt, ist der Burst eine HF-Störung, welche Leitungsgebunden ist. Der hohne Frequenz kann mit einem Entkopplungskondensator oder einem Tiefpassfilter entgegnet werden.

Der Surge gibt Stossspannungen ab, welche einen zu hohen Spannungspegel und eine erhöhte Frequenz aufweisen. Der erhöhte Spannungspegel kann mit verschiedenen Schutzelementen entgegnet werden.

Varistor: Ein Varistor ist ein Widerstand, welcher einen Leitwert besitzt der sich mit steigender Spannung erhöht. Die Erhöhung des Leitwertes erfolgt über den Aufbau eines E-Feldes, das die Sperrsichten überwindet. Ab einer bestimmten Spannung wird der Varistor stark leitend und verhindert so einen weiteren Spannungsanstieg.

Thermistor: Der Thermistor ist ein temperaturabhängiger Widerstand. Es gibt PTC (Kaltleiter), welche bei einem hohen Strom, was einen hohen Temperaturanstieg zur Folge hat, hochohmig werden und so den Strom verringern. Ebenso gibt es NTC (Heissleiter), welche bei einem hohen Strom niederohmig werden und somit mehr Strom durchlassen. Thermistoren werden auch rückstellbare Sicherung genannt, da diese ihren ursprünglichen Widerstandswert wieder einnehmen, sobald sich der Strom (und somit auch die Temperatur) wieder gelegt hat.

Gasableiter: Ähnlich wie die vorhergehenden Schutzelemente wird auch der Gasableiter bei Überspannung stark leitend. Dieser ist jedoch nicht geeignet für Gleichstrom, da im Nulldurchgang der Strom gelöscht wird.

Suppresserdiode: Auch TVS-Diode genannt, leiten den Spannungsüberschuss ab. Sie verfügen über ein schnelles Reaktionsvermögen und besitzen jedoch eine Durchbruchspannungsstreuung.

Die Schaltung besitzt bereits eine Tiefpassfilterung. Trotzdem wird noch ein Entkopplungskondensator von 100nF hinzugefügt. Um dem Surge zu entgegnen wird eine Suppresserdiode (P6KE6.8) verwendet, welche eine Sperrspannung von 5.5 Volt besitzt. Diese zwei Elemente werden parallel vor dem Shunt hinzugefügt, wie in Abbildung 4.1 zu sehen ist.

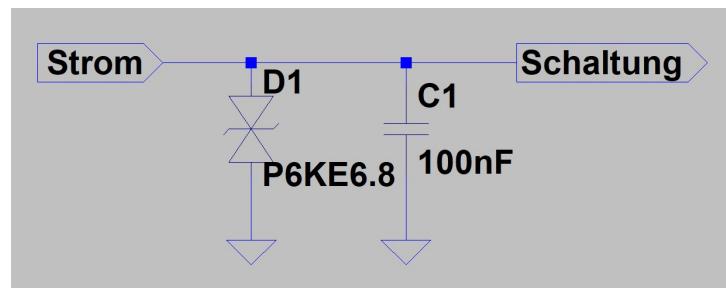


Abbildung 4.1: Ergänzung des Schemas.

Abbildung 4.1 zeigt den ergänzten Teil des Schemas, welches in Abbildung 2.1 zu sehen ist. Abbildung 2.2 zeigt bereits die gesamte Schaltung mit den Schutzelementen (5). Die geschützte Schaltung soll nun getestet werden, dafür wird im nächsten Kapitel auf den Testaufbau eingegangen.

5 Testaufbau

6 Testprotokoll: Burst

Wie in Kapitel 3 erwähnt, werden Burst-Tests durchgeführt. Zur Auswahl stehen gemäß Kapitel 3 vier verschiedene Normprogramme. Es wurden alle Normprogramme durchgeführt, deren Ergebnisse werden nachfolgend dokumentiert. Der Testaufbau und die verwendeten Geräte werden in Kapitel 5 erläutert.

Die Auswirkungen der Tests wurden mit einem Oszilloskop gemessen. Die Messungen ergaben alle ein ähnliches Bild, weshalb der Einfachheit halber nur Bilder von einem Ergebnis gezeigt werden.

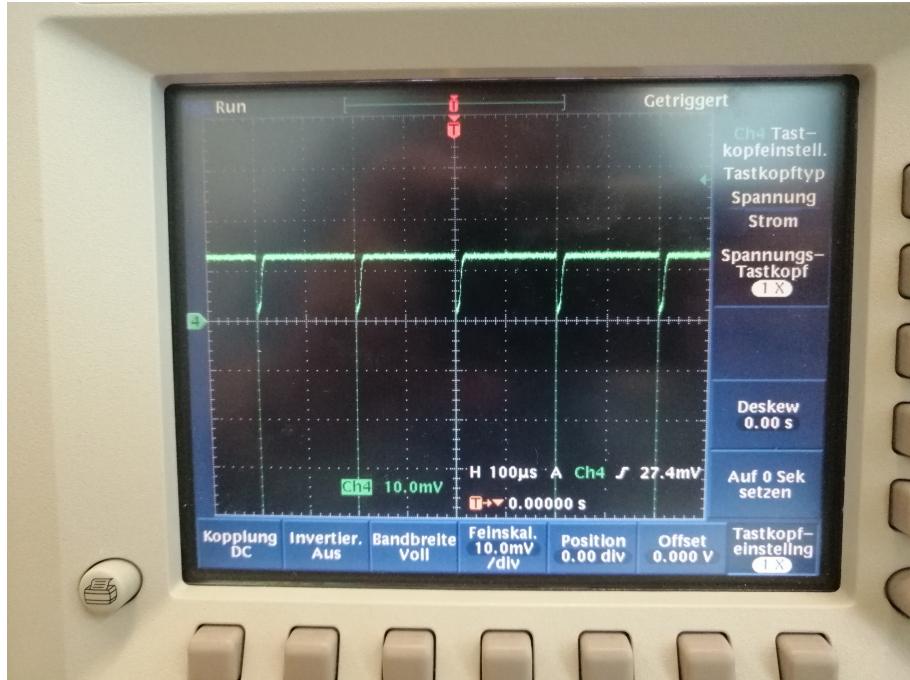


Abbildung 6.1: Signalmessung während Burst-Tests.

In Abbildung 6.1 ist zusehen, dass die Bursts das Signal zusammenreissen. Jedoch erholt sich das System schnell wieder nach ca $20\mu\text{s}$.

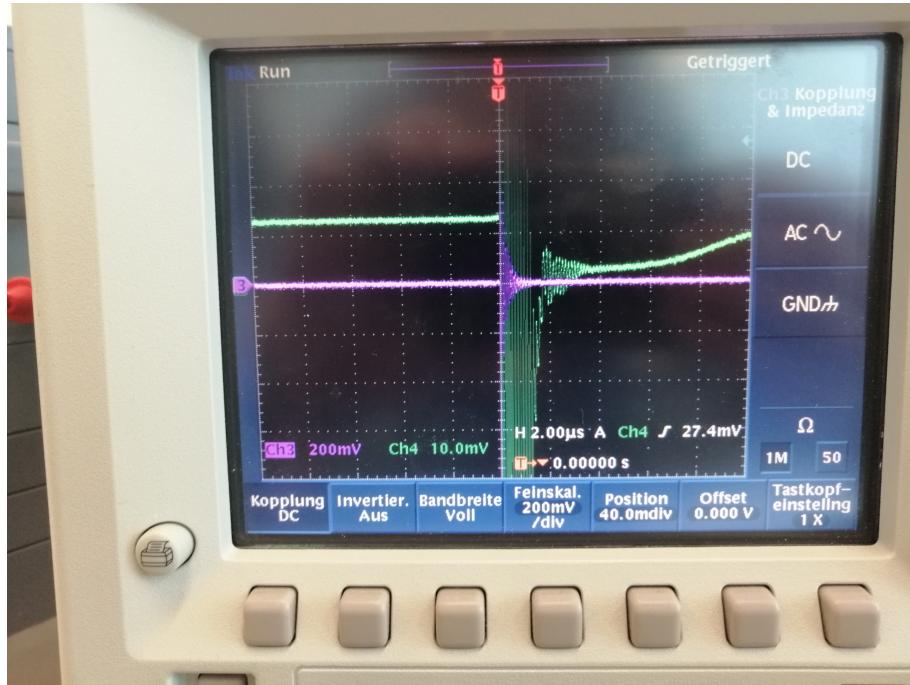


Abbildung 6.2: Signal- und Burst-Messung.

In Abbildung 6.2 sind das Signal (Grün) und der Burst (Lila) gegenübergestellt und auf die Flanke hineingezoomt. Man kann leicht erkennen, dass es durch den Burst zu einem Fehler kommt, welcher sich wieder einpendelt.

Prüfspannung	Prüflevel	Prüfdauer pro Polarität	Auswirkung
500 V	1	60 s	Verlust der Messfähigkeit bei aktivem Burst. Wieder funktionsfähig unmittelbar nach dem Burst.
1000 V	2	60 s	Verlust der Messfähigkeit bei aktivem Burst. Wieder funktionsfähig unmittelbar nach dem Burst.
2000 V	3	60 s	Verlust der Messfähigkeit bei aktivem Burst. Wieder funktionsfähig unmittelbar nach dem Burst.
4000 V	4	60 s	Verlust der Messfähigkeit bei aktivem Burst. Wieder funktionsfähig unmittelbar nach dem Burst.

Tabelle 6.1: Prüfungsergebnis Burst-Tests.

Tabelle 6.1 listet die Ergebnisse der Burst-Normprogramme auf. Es ist zu erkennen, dass bei jedem Burst-Test die gleichen Auswirkungen zu sehen waren. Die Gesamtauswertung der Tests wird in einem separaten Kapitel (Kapitel 8) behandelt.

7 Testprotokoll: Surge

Wie in Kapitel 3 erwähnt, werden Surge-Tests durchgeführt. Zur Auswahl stehen gemäss Kapitel 3 vier verschiedene Normprogramme. Es wurden das erste (Level 1) und das letzte (Level 4) Normprogramm durchgeführt, deren Ergebnisse werden nachfolgend dokumentiert. Der Testaufbau und die verwendeten Geräte werden in Kapitel 5 erläutert.

Die Auswirkungen der Tests wurden mit einem Oszilloskop gemessen. Nachfolgend werden die Abbildungen davon aufgezeigt und kurz erläutert.



Abbildung 7.1: Signalmessung während Surge-Test, Level 1, positive Polarität.

Abbildung 7.1 zeigt die verschiedenen Messsignale. Die Stoßspannung des Surge-Tests (Lila) ist deutlich zu sehen mit einer steilen Flanke und einem Abklingen über $200\mu\text{s}$. Der zur Stoßspannung zugehöriger Strom (Blau) ist ebenfalls zu sehen mit einem kleinen, steilen Abfall, gefolgt von einer Erhöhung welche sich dann wieder senkt. Das Messsignal (Gelb) zeigt eine Überhöhung mit gefolgtem Einschwingen über ebenfalls etwa $200\mu\text{s}$.

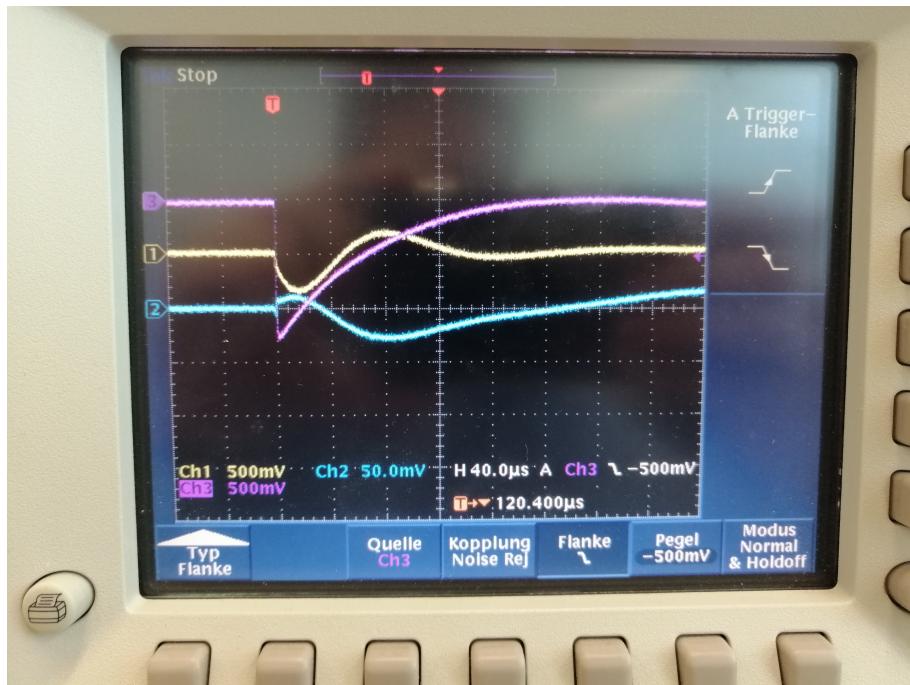


Abbildung 7.2: Signalmessung während Surge-Test, Level 1, negative Polarität.

Abbildung 7.2 zeigt das gespiegelte Verhalten von Abbildung 7.1.

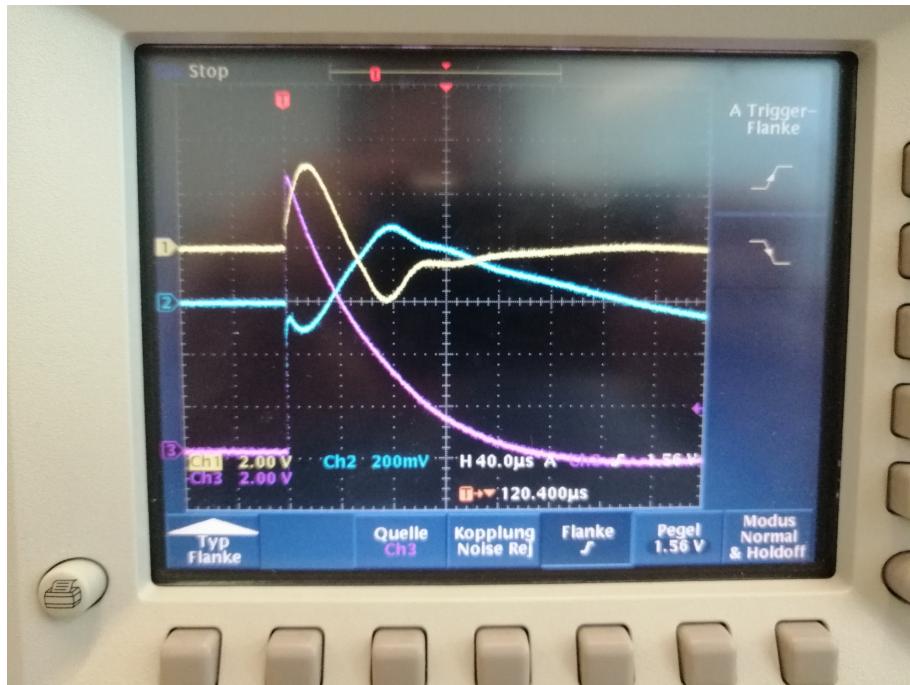


Abbildung 7.3: Signalmessung während Surge-Test, Level 4, positive Polarität.

Abbildung 7.3 zeigt die verschiedenen Messsignale. Die Stoßspannung des Surge-Tests (Lila) ist deutlich zu sehen mit einer steilen Flanke und einem Abklingen über 240μs. Der zur Stoßspannung zugehöriger Strom (Blau) ist ebenfalls zu sehen mit einem kleinen, steilen Abfall, gefolgt von einer Erhöhung welche sich dann wieder senkt. Das Messsignal (Gelb) zeigt eine Überhöhung mit gefolgtem Einschwingen über ebenfalls etwa 240μs.

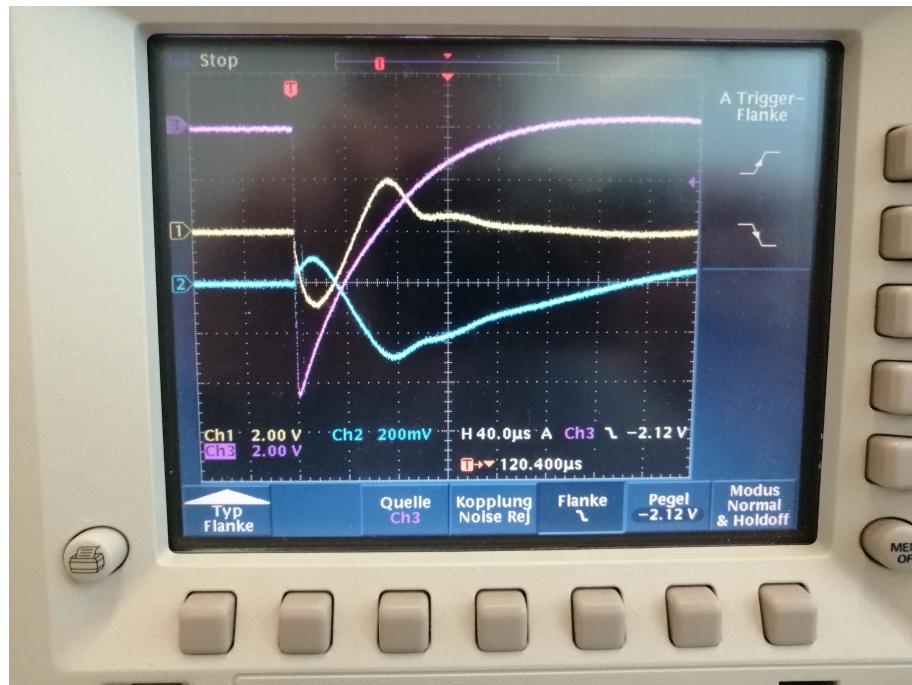


Abbildung 7.4: Signalmessung während Surge-Test, Level 4, negative Polarität.

Abbildung 7.4 zeigt das gespiegelte Verhalten von Abbildung 7.3.

Prüfspannung	Prüflevel	Anzahl Surges pro Polarität	Auswirkung
500 V	1	Bis mindestens 1 Surge mit dem Oszilloskop gut eingefangen werden konnte	Verlust der Messfähigkeit bei aktivem Surge. Wieder funktionsfähig unmittelbar nach dem Surge.
4000 V	4	Bis mindestens 1 Surge mit dem Oszilloskop gut eingefangen werden konnte	Verlust der Messfähigkeit bei aktivem Surge. Wieder funktionsfähig unmittelbar nach dem Surge.

Tabelle 7.1: Prüfungsergebnis Surge-Tests.

Tabelle 7.1 listet die Ergebnisse der durchgeführten Surge-Normprogramme auf. Es ist zu erkennen, dass bei jedem Surge-Test die gleichen Auswirkungen zu sehen waren. Die Gesamtauswertung der Tests wird in einem separaten Kapitel (Kapitel 8) behandelt.

8 Testauswertung

9 Schluss