

Vergleich von ESD-System-Level Testmethoden für Packaging und Handling

Friedrich zur Nieden^{#1}, Bastian Arndt^{#2}, Johannes Edenhofer^{#2}, Stephan Frei^{#1}

^{#1} TU-Dortmund, Friedrich-Wöhler-Weg 4, 44227 Dortmund, Germany

^{#2} Continental Automotive GmbH, Osterhofener Straße 014, 93055 Regensburg, Germany

Abstract

The pulse generator and the different grounding conditions during ESD-testing of a DUT are discussed to have an important impact on the results of packaging and handling tests. The waveforms of three IEC ESD-generators are compared at variable loads at first, to investigate a possible contribution of the pulse generator. The measurement results give evidence that the variance of the peak currents of the pulses is rising with increasing impedances of a DUT. As a second item the influence of different grounding paths on the testing result is investigated by simulation. A proposal to improve the reproducibility of ESD-testing on system level can be derived from the outcome of measurement and simulation.

Kurzfassung

Das Prüfmittel und Unterschiede in der Masseanbindung des DUT werden als wichtige Einflussfaktoren auf die Ergebnisse von Packaging- und Handlingtests diskutiert. Um die Zusammenhänge besser verstehen zu können, werden in diesem Beitrag zunächst verschiedene IEC ESD-Generatoren an verschiedenen Lasten messtechnisch miteinander verglichen. Es wird gezeigt, dass die Unterschiede zwischen den Simulatoren mit höherer Impedanz des Entladepfads deutlich zunehmen. Der Einfluss der Masseanbindung des Prüflings auf das Prüfergebnis wird durch Simulation untersucht. Auf Basis der Mess- und Simulationsergebnisse können Maßnahmen zur Verbesserung der Reproduzierbarkeit von ESD-Prüfungen abgeleitet werden.

1 Einleitung

Kfz-Steuergeräte müssen gegen Zerstörung durch ESD geschützt werden. Die Überprüfung der ESD-Festigkeit findet meist durch Anwendung der in IEC 61000-4-2 oder ISO 10605 beschriebenen ESD-Testmethoden statt [1, 2]. Als Prüfmittel wird dabei ein normengerechter ESD-Generator verwendet. Bei der Prüfung werden einzelne oder mehrere Pulse auf das Gehäuse und die Anschlusspins des Steuergeräts abgegeben, welches direkt oder durch eine isolierende Unterlage getrennt auf einer Massefläche positioniert wird. Die Prüfschärfe wird nach der Ladespannung des RC-Netzwerks des ESD-Generators bemessen. Somit kann – bei konstanten Parametern des RC-Netzwerks - die Festigkeit eines Prüfobjekts anhand der Ausfallspannung klassifiziert werden.

Die Ausfallgrenze ist jedoch auch abhängig von der verwendeten Prüfkonfiguration. Zwischen den Prüfergebnissen von ESD-Tests auf Modul- oder Systemebene können große Abweichungen auftreten. Untersuchungen zeigen, dass ICs und Steuergeräte bei Prüfungen mit unterschiedlichen IEC ESD-Prüfgeneratoren bei sehr unterschiedlichen Ladespannungen ausfallen können [3]. Die Kalibrierung von ESD-Generatoren erfolgt nach den erwähnten Standards immer nur an einem

niederohmigen Stromtarget. Bei hochohmigen Abschlüssen können die Stromverläufe stark voneinander abweichen. Dies wird in diesem Beitrag dargestellt.

In der Automobilindustrie gibt es vor diesem Hintergrund Überlegungen, Transmission Line Pulser (TLP) als alternative Prüfmittel einzusetzen. Durch die gut definierten Verhältnisse im Entladepfad aufgrund der Koaxialleitung könnte die Reproduzierbarkeit von ESD-Prüfungen gesteigert werden. Erste Untersuchungen zur Vergleichbarkeit von Kabelentladungen und IEC ESD-Generatorentladungen deuten auf die Eignung von TLP als Prüfmittel hin [4]. In Abbildung 1 ist ein möglicher Aufbau für eine ESD-Packaging- und Handling-Prüfung zu sehen, bei welcher der Prüfstromverlauf mittels eines Stromsensors direkt aufgezeichnet werden kann. Ein Monitoring während der Prüfung ist somit direkt möglich.

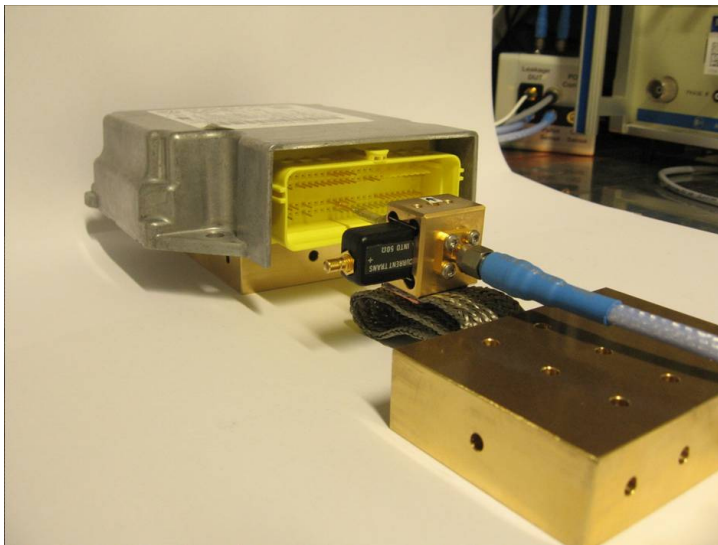


Abbildung 1: TLP-Anbindung für Packaging und Handling Tests

Bei der Art der Masseanbindung eines Prüflings lassen die Normen verschiedene Möglichkeiten zu. Je nach Anforderung kann der Massebezug direkt oder nur kapazitiv durch eine dielektrische Unterlage auf dem metallischen Prüftisch hergestellt werden. Das DUT wird jedoch abhängig vom Massebezug unterschiedlich stark belastet. Deshalb wird zunehmend eine direkte Anbindung der Massepins des Prüflings an den Metalltisch gefordert. Dabei muss im Massepfad eine zusätzliche Induktivität berücksichtigt werden. Der Einfluss der Art der Masseanbindung wird mit Hilfe eines IC-Modells simulatorisch untersucht. Ergebnisse werden hier vorgestellt.

2 Lastabhängiger Stromverlauf bei IEC ESD-Generatoren

Um die Lastabhängigkeit des Stromverlaufs von IEC ESD-Generatoren zu untersuchen, werden Entladeströme von drei normkonformen Generatoren an unterschiedlichen Lasten miteinander verglichen. Dabei wird ein Messaufbau verwendet, der ähnlich zu dem Normaufbau für die Pulsverifikation ist. Auf einer zusätzlichen Platine, welche mit dem Stromtarget verschraubt ist, können weitere Bauelemente in den Entladepfad eingefügt werden. In Abbildung 2 wird der Messaufbau schematisch dargestellt. Der um 20 dB gedämpfte Stromverlauf wurde mit einem 6-GHz Oszilloskop aufgezeichnet. Abbildung 3 zeigt die mit dem Target verschraubte Platine.

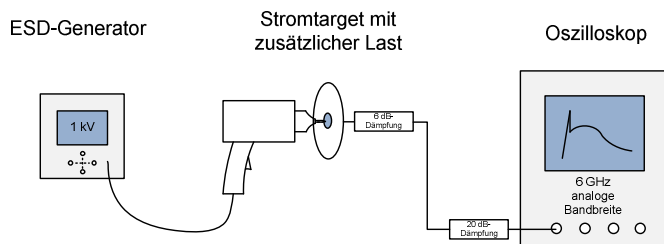


Abbildung 2: Messaufbau zur Untersuchung verschiedener Lastfälle



Abbildung 3: Stromtarget mit verschraubter Testplatine

Bei allen Messungen wurde am Generator eine Ladespannung von 1 kV eingestellt. Folgende Generatoren wurden bei den Messungen verwendet:

- Schaffner NSG 438
- Schlöder SESD 30000
- NoiseKen TC-815 R (Entladeeinheit) mit ESS 2000 (Hauptgerät)

Das Entladenetzwirk wurde mit 150 pF und 330 Ω konfiguriert. Die folgenden Lasten wurden in den Strompfad eingebracht:

- 0 Ω
- 47 Ω
- 470 Ω
- 4,7 k Ω
- Sonderfall: 47 Ω , 470 Ω und 4,7 k Ω parallel zu 6,8 nF

Dazu wurden ausschließlich SMD-Bauelemente verwendet. Die Untersuchungen wurden im Kontaktentlademodus durchgeführt.

2.1 Messergebnisse

Vor Aufnahme der Messreihe wurde der Einfluss der zusätzlichen Platine untersucht. Bei einem Vergleich der Kurven, welche mit und ohne Platine aufgenommen wurden, konnten keine signifikanten Unterschiede im Stromverlauf festgestellt werden. Die Normkonformität aller Puls-Generatoren wurde vorab ebenfalls mit und ohne Platine überprüft

In Abbildung 4 bis Abbildung 7 werden die gemessenen Kurven für 470 Ω und 4,7 k Ω Lastfälle dargestellt. Die Messungen zeigen, dass mit größer werdender Impedanz die Maximalamplitude sinkt und das Schwingverhalten verstärkt wird. Im Vergleich zum Schaffner- und Schlöder-Generator wird der erste Stromanstieg des Noiseken-Generators deutlich gedämpft.

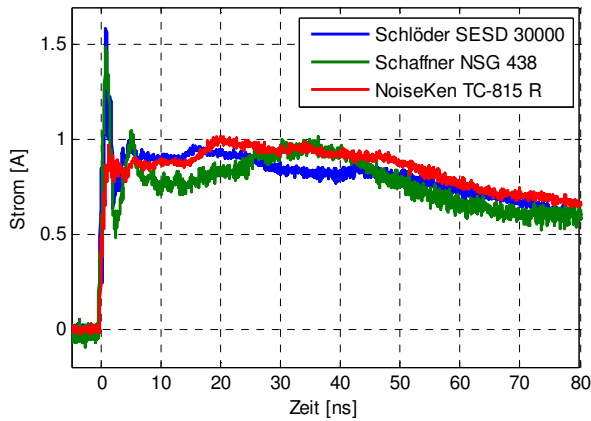


Abbildung 4: Gemessene Stromverläufe an 470 Ω bei 1 kV Ladespannung

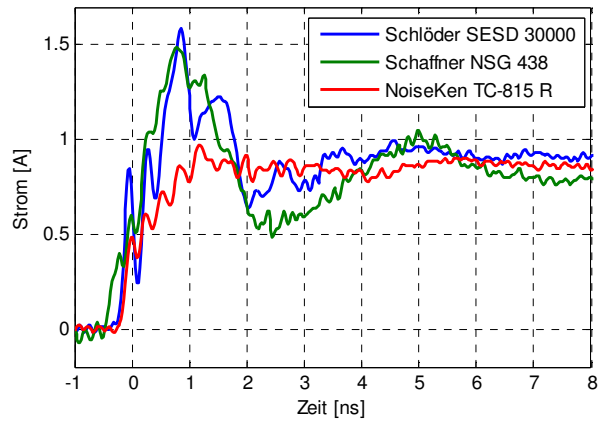


Abbildung 5: Gemessene Stromverläufe an 470 Ω bei 1 kV Ladespannung (Darstellung der ersten 8 ns)

Das Ausmaß der Schwingneigung wird besonders bei hochohmigen Lasten sichtbar. Mit einem zusätzlichen Widerstand von 4,7 kΩ im Strompfad können für zwei der drei Generatoren auch negative Amplituden gemessen werden.

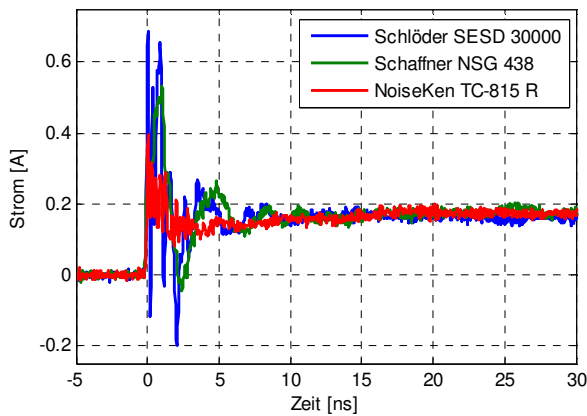


Abbildung 6: Gemessene Stromverläufe an 4,7 kΩ bei 1 kV Ladespannung

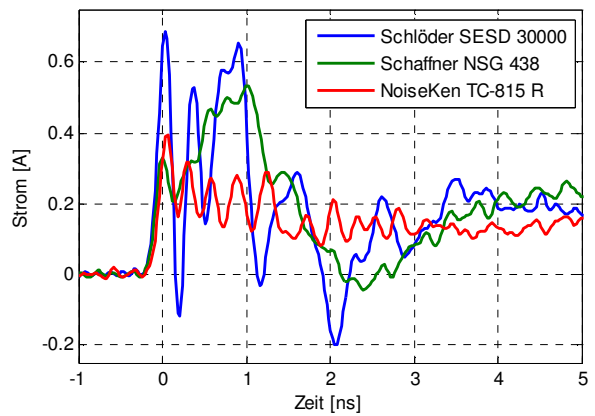


Abbildung 7: Gemessene Stromverläufe an 4,7 kΩ bei 1 kV Ladespannung (Darstellung der ersten 8 ns)

Bei einer zum Widerstand parallel eingebrachten Kapazität im Strompfad verhält sich die Last wie ein Kurzschluss. In dieser Konfiguration können ähnliche Kurven wie bei dem Lastfall 0 Ω gemessen werden. Wichtige Messergebnisse werden in Tabelle 1 zusammengefasst.

Generator	0 Ω	47 Ω	470 Ω	4,7 kΩ	47 Ω 6,8 nF	470 Ω 6,8 nF	4,7 kΩ 6,8 nF
Schaffner	3,9 A	3,41 A	1,47 A	0,53 A	3,92 A	4 A	4 A
Schlöder	4,1 A	3,5 A	1,59 A	0,69 A	4,27 A	4,28 A	4,41 A
NoiseKen	3,62 A	2,7 A	0,97 A	0,4 A	3,56 A	3,53 A	3,53 A

Tabelle 1: Gemessene Spitzenströme bei 1 kV Ladespannung

Je nach Impedanz eines Prüflings können die Amplituden deutlich reduziert sein und sind nur noch durch parasitäre Eigenschaften der Messplatine bestimmt. In Abbildung 8 ist die prozentuale Abweichung des Normwertes von 3,75 A pro 1 kV Ladespannung dargestellt. Schon bei einer Last von 47 Ω wurde für einen Generator eine Abweichung von 25 % gemessen, während die Werte von zwei Generatoren noch innerhalb eines Toleranzschlauchs von ±10 % liegen.

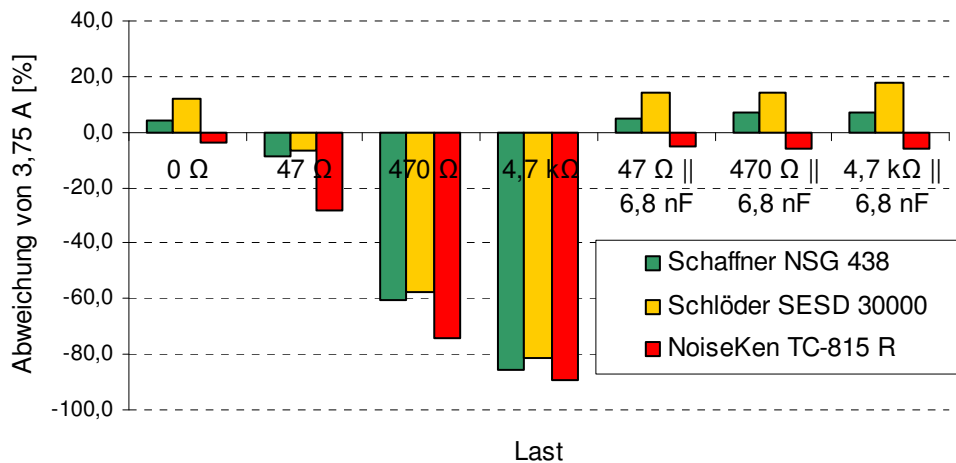


Abbildung 8:
Abweichung von 3,75 A (Normwert bei 1 kV) bei verschiedenen Lasten

Die prozentualen Abweichungen vom geringsten gemessenen Strom für einen Lastfall werden in Abbildung 9 dargestellt. Dabei werden signifikante Abweichungen von über 70 % sichtbar.

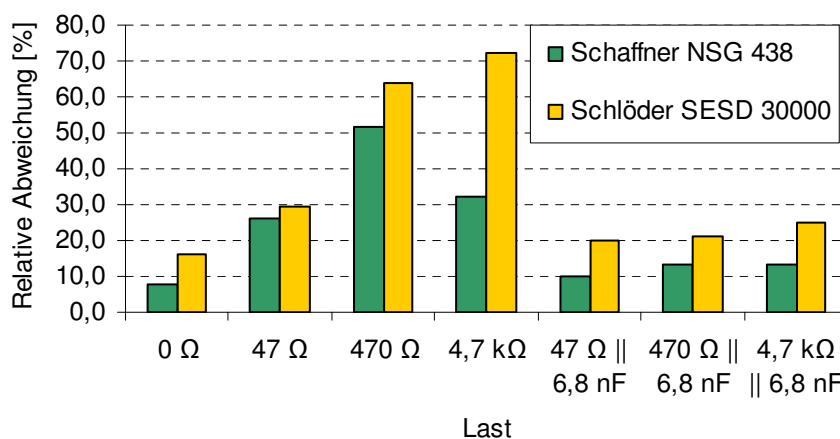


Abbildung 9:
Lastabhängige Abweichung des Stroms vom NoiseKen ESD-Generator

3 Vergleich von IEC ESD-Generatoren und TLP

Mit Hilfe von Simulationen können weitere Erkenntnisse über die Vergleichbarkeit von IEC-Generatoren und TLP gewonnen werden. Die dafür eingesetzten VHDL-AMS Simulationsmodelle der Puls-Generatoren werden vorgestellt.

3.1 Simulationsmodell für den Messaufbau zur Pulsverifikation

Der in Abschnitt 2 vorgestellte Messaufbau wird in der Simulation nachgebildet. Wie in Abbildung 10 dargestellt wird, werden die Generatormodelle über die zusätzlichen Lasten mit dem Stromtarget verbunden. Der Stromverlauf wird an einem 50 Ω Widerstand gemessen, welcher parallel zur Targetimpedanz von 2 Ω geschaltet ist.

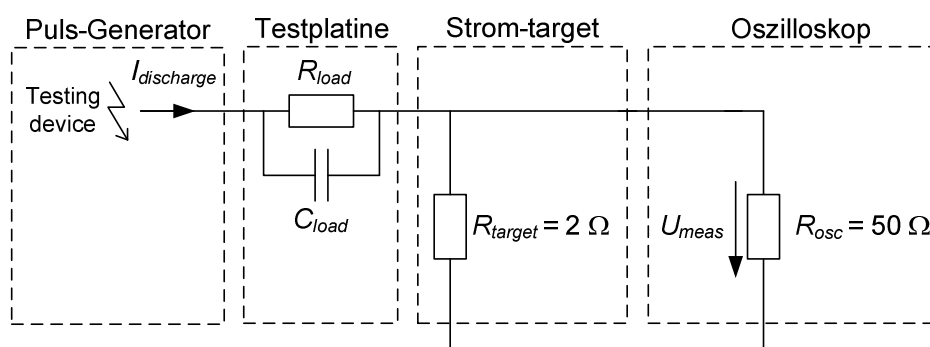


Abbildung 10:
Modellierung des Messaufbaus

3.1.1 Simulationsmodelle für IEC-ESD-Generatoren

In Abbildung 11 ist ein Simulationsmodell für den NoiseKen ESD-Generator TC 815 R dargestellt. Das Modell besteht aus konzentrierten R, L und C Elementen und kann in drei Teile gegliedert werden. Neben den Elementen, die das Entladenetzwerk und das Massekabel abbilden, werden das Relais und der Bereich um die Entladespitze modelliert. Die Anfangsspannung der Kapazität des Netzwerks und der Kapazitäten über dem Relais werden auf den Wert der Ladespannung gesetzt. Der Lichtbogenwiderstand wird vereinfachend als konstant angenommen.

Der charakteristische erste Stromanstieg wird maßgeblich durch die Generatorgeometrie und durch Ferrite geformt.

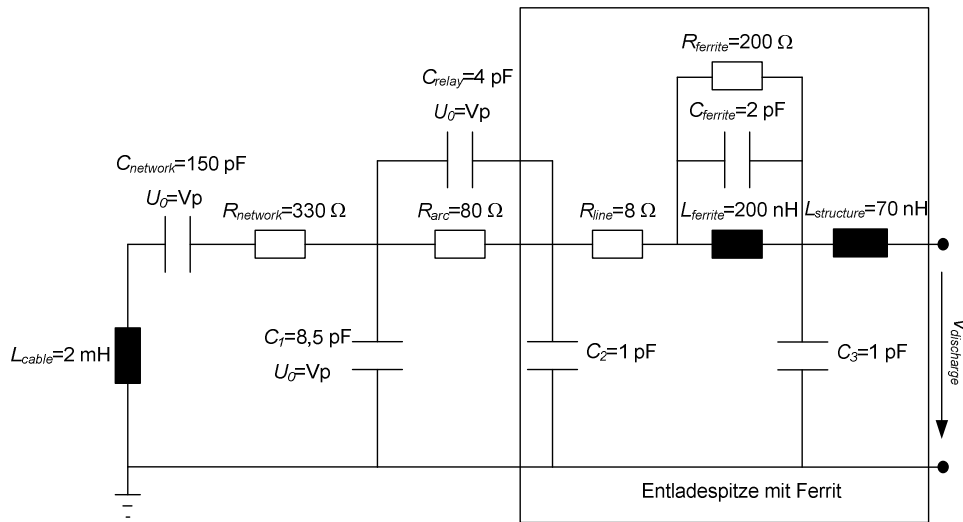


Abbildung 11:
Simulationsmodell des NoiseKen ESD-Generators

3.1.2 Simulationsmodell für TLP

Das VHDL-AMS Modell für einen verwendeten TLP [5] wurde ebenfalls messtechnisch an verschiedenen Lasten verifiziert. Der Puls wird durch eine verlustfreie, vorgeladene 50Ω Leitung realisiert, welche über einen Schalter entladen wird. Die Pulslänge kann über die Länge der Leitung eingestellt werden. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen auf der Leitung beträgt $1,95 \cdot 10^8$ m/s. Verschiedene Anstiegszeiten können über zusätzliche Filter eingestellt werden [6]. Um das Verhalten des Generators möglichst genau zu modellieren, wird ein verlustbehaftetes 50Ω Leitungsmodell verwendet, welches den Skin-Effekt berücksichtigt [7]. Das Schaltbild des TLP-Modells ist in Abbildung 12 zu sehen.

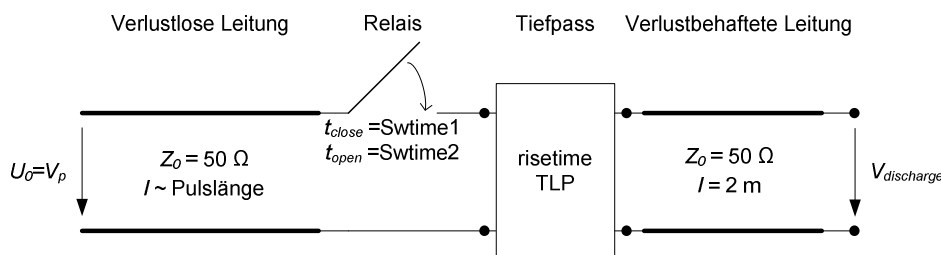


Abbildung 12:
Simulationsmodell eines TLP

3.2 Simulation der Lastabhängigkeit von IEC-Generatoren

Zunächst werden Messungen zur Verifikation des Simulationsmodells gezeigt. Abbildung 13 stellt den gemessenen und simulierten Stromverlauf des NoiseKen ESD-Generators an $2\ \Omega$ dar. Der besonders wichtige erste Anstieg wird durch das Modell gut abgebildet. Für spätere Zeiten weicht die Simulation von der Messung ab.

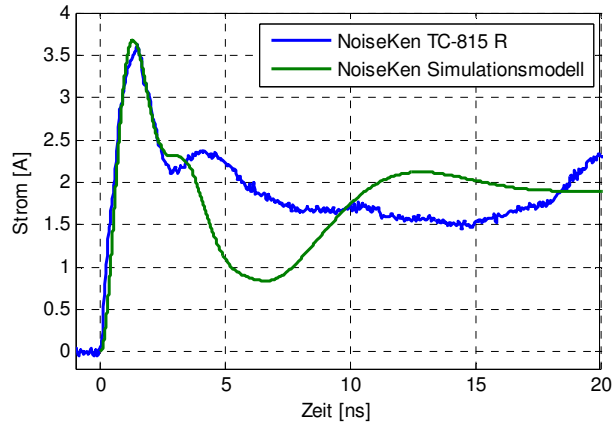


Abbildung 13: Vergleich zwischen Simulation und Messung ohne zusätzliche Last

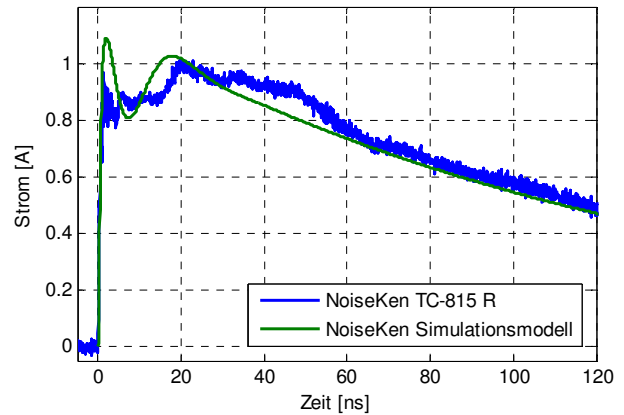


Abbildung 14: Vergleich zwischen Simulation und Messung an $470\ \Omega$

In Abbildung 14 werden die gemessene und simulierte Kurve für einen $470\ \Omega$ Widerstand im Strompfad verglichen. Der gemessene Kurvenverlauf kann mit dem Generatormodell gut abgebildet werden.

3.3 Vergleich von IEC-Generatoren und TLP

In diesem Abschnitt werden die Entladung eines IEC ESD-Generators, eines TLP und eines an den IEC Stromverlauf angeglichenen TLP [8, 9] durch Simulation miteinander verglichen. Beim Standard TLP-Modell wurde die Länge der aufgeladenen Leitung so gewählt, dass die Pulslänge $40\ \text{ns}$ beträgt. Durch das Filter wird eine Anstiegszeit von $1,2\ \text{ns}$ realisiert. Der Kurvenverlauf kann durch zusätzliche Bauelemente beeinflusst werden, sodass die Pulsform mit dem IEC Puls übereinstimmt.

Die zu erwartenden Kurvenverläufe wurden für die drei Pulsmodelle jeweils für den Messaufbau aus Abschnitt 2 simuliert. In Abbildung 15 und Abbildung 16 werden die zwei Lastfälle an $2\ \Omega$ und $4,7\ \text{k}\Omega$ gezeigt.

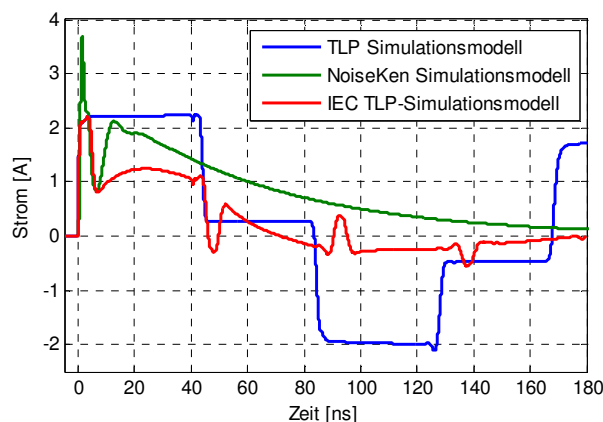


Abbildung 15: Simulatorischer Vergleich zwischen TLP und IEC ESD-Generator an $2\ \Omega$

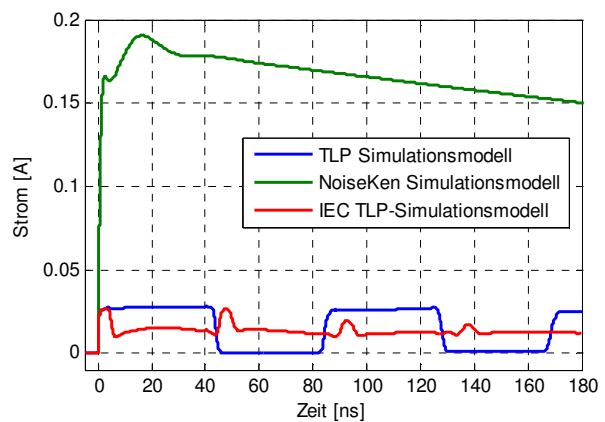


Abbildung 16: Simulatorischer Vergleich zwischen TLP und IEC ESD-Generator an $4,7\ \text{k}\Omega$

In beiden Abbildungen sind die nur gering gedämpften Reflexionen des TL-Pulses zu erkennen. Der Reflektionsfaktor ist von der Impedanz, in die entladen wird, abhängig. Negative Pulse können auftreten. Mit größer werdender ohmscher Last nimmt die simulierte Maximalamplitude des TLP im Vergleich zum ESD-Generator Modell ab.

Zum besseren Vergleich des an den IEC Puls angepassten TLP mit dem IEC ESD-Generator kann das Verhältnis zwischen den Spitzenamplituden durch einen Zahlenwert beschrieben werden. Die IEC TLP-Parameter wurden an eine Entladung eines Koaxialkabels mit einer Impedanz von $50\ \Omega$ angepasst. Abbildung 17 zeigt den Vergleich der simulierten Kurven für den $50\ \Omega$ Lastfall. Die Kurve des IEC TLP wurde zur Anpassung mit 2,4 multipliziert. Bei einer direkten Entladung in den $50\ \Omega$ Widerstand treten keine Reflexionen auf.

Bei dem zur Verifizierung des ESD-Generators an einem niederohmigen Stromtarget spezifizierten Lastfall beträgt der Anpassungsfaktor 1,7 (Abbildung 18). Im Vergleich ist die Stromamplitude des IEC ESD-Generators weniger lastabhängig. Bei einer Impedanz von $1\ \text{k}\Omega$ wäre die Amplitude des Spitzenstroms des IEC ESD-Generators über 500 % größer.

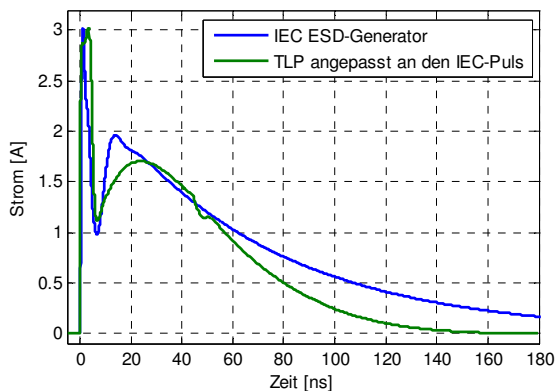


Abbildung 17: Direkter Vergleich zwischen IEC ESD-Generator und IEC TLP an $50\ \Omega$, TLP Anpassungsfaktor 2,4

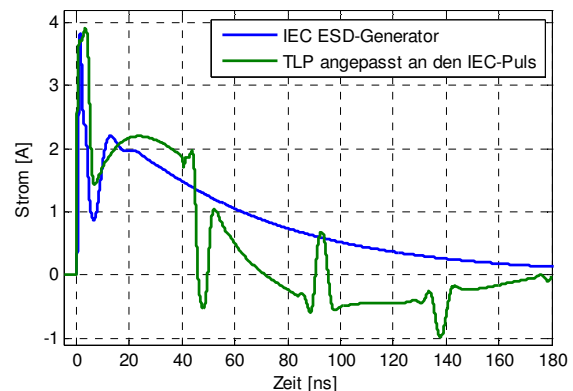


Abbildung 18: Direkter Vergleich zwischen IEC ESD-Generator und IEC TLP an $2\ \Omega$, TLP Anpassungsfaktor 1,7

4 Simulatorische Untersuchung der Masseanbindung des Prüflings

Zur Klärung des Einflusses unterschiedlicher Masseanbindungen in verschiedenen Testspezifikationen für Packaging und Handling wurden Untersuchungen mit unterschiedlichen Induktivitäten im Massepfad durchgeführt. Ein spezielles ESD-IC-Modell wurde verwendet, um die Unterschiede deutlich zu machen.

4.1 Simulationsaufbau

Die Anordnung der simulierten Komponenten ist in Abbildung 19 dargestellt. Das Modell für den Prüfgenerator wird direkt mit einem IC-Modell verbunden, welches mit dem Massepin induktiv an das Massepotential der HCP angebunden wird.

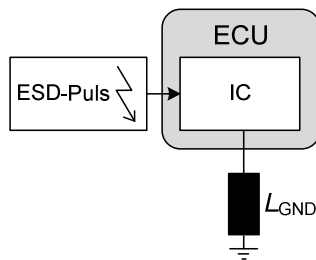


Abbildung 19:
Simulationskonfiguration zur
Untersuchung des Einflusses
der Masseinduktivität

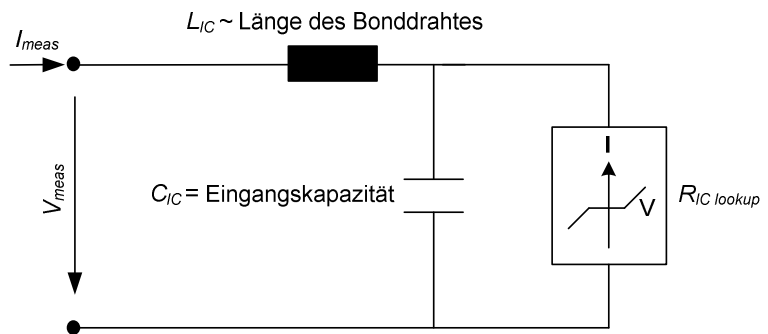


Abbildung 20: Schaltbild des IC-Modells

4.1.1 IC-Modell

In Abbildung 20 ist das Schaltbild des für die Simulation verwendeten IC-Modells dargestellt. Hierbei handelt es sich um ein fiktives einfaches Modell, das für Vergleichsuntersuchungen an verschiedenen Testkonfigurationen entwickelt wurde. Der ohmsche Anteil der Impedanz des ICs wird durch eine UI-Kennlinie abgebildet, welche in VHDL-AMS als „lookup-table“ implementiert ist. Die Kennlinie bildet bis zu einer wählbaren Durchbruchspannung die Impedanz des ICs ab. Oberhalb der Durchbruchspannung verhält sich der IC niederohmig. Der Übergang zwischen Arbeitsbereich und Durchbruch kann durch einen einstellbaren Faktor geglättet werden. Durch die Einstellung der Kennlinie können interne ESD-Schutzstrukturen des ICs simuliert werden, welche oberhalb der Durchbruchspannung aktiv werden.

Der induktive Anteil der Anschlussdrähte wird durch eine Längsinduktivität abgebildet. Die Eingangskapazität wird durch einen Kondensator nachgebildet.

Die Parameter des IC-Simulationsmodells wurden so angepasst, dass die am IC-Modell simulierte Eingangsspannung bei einer HBM-Entladung nach dem JEDEC Standard mit 2 kV Ladespannung den Wert von 25 V übersteigt, es wird angenommen, dass der IC dann ausfällt [10]. Durch die gewählte Kennlinie beträgt die Impedanz im Arbeitsbereich des IC-Modells 10 kΩ und oberhalb der Durchbruchspannung nur noch 1 Ω. Die Werte sind sehr niedrig, für relative Vergleiche ist dies jedoch nicht relevant. Als Eingangskapazität werden 5 pF gewählt. Die angenommene Induktivität des Bonddrahtes ist 2 nH.

4.2 Simulationsergebnisse

Der Wert der Induktivität des Massepfads des ICs wird in der Simulation zwischen 1 nH und 50 nH variiert. Abbildung 21 zeigt die überlagerten Spannungskurven bei verschiedenen Induktivitäten für eine IEC ESD-Generator Entladung. Die Maximalamplituden verändern sich nur geringfügig. Eine große Induktivität wirkt sich lediglich verlängernd auf die Anstiegszeit des Pulses aus.

Die simulierten Kurven mit dem TLP als Pulsgenerator und variiertes Induktivität werden in Abbildung 22 gezeigt. Neben dem Einfluss auf die Anstiegszeit werden bei 50 nH im Massepfad deutliche Spannungsspitzen in den reflektierten Pulsen sichtbar.

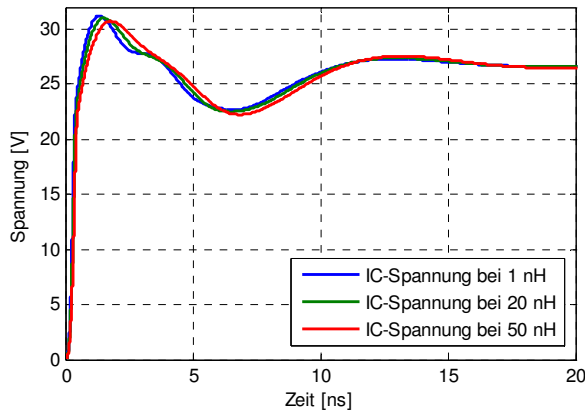


Abbildung 21: IEC Spannung über dem IC bei verschiedener induktiver Anbindung

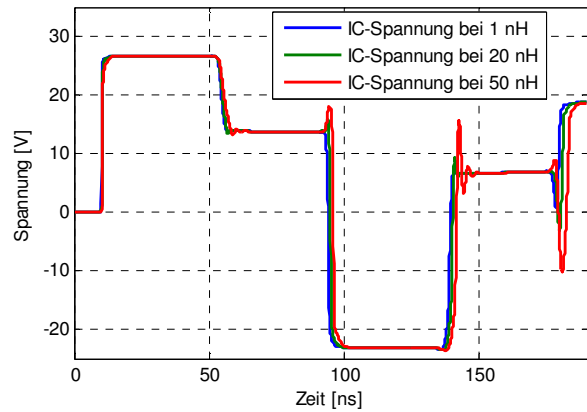


Abbildung 22: TLP Spannung über dem IC bei verschiedener induktiver Anbindung

Der Stromverlauf verändert sich unter Berücksichtigung aller Pulsmodelle ebenfalls nur gering, wie in Abbildung 23 erkennbar ist.

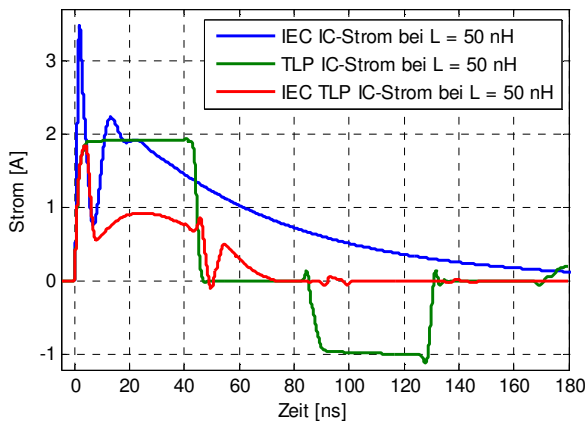


Abbildung 23: Simulatorischer Vergleich des Stromverlaufs zwischen IEC ESD-Generator und TLP bei 50 nH

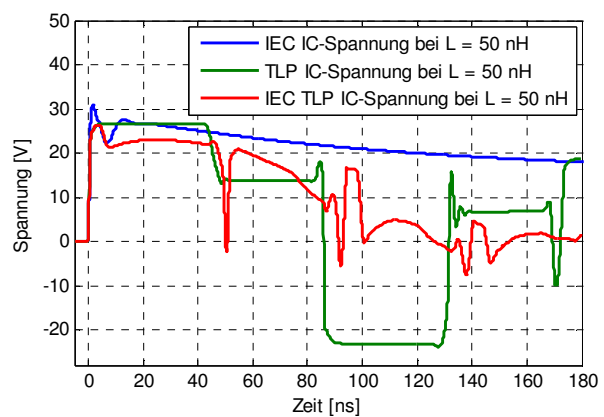


Abbildung 24: Simulatorischer Vergleich des Spannungsverlaufs zwischen IEC ESD-Generator und TLP bei 50 nH

Die Spannungsamplituden am IC werden in Abbildung 24 miteinander verglichen. Die Maximalspannung von etwa 25 V wird durch das IC-Modell bedingt nur geringfügig überschritten. Die Ausbildung des ersten Anstiegs des IEC ESD-Generator-Pulses wird gedämpft. Der Abfall der Spannungsamplitude weist eine große Zeitkonstante auf.

5 Diskussion

Das Ergebnis von Packaging- und Handling-Tests kann durch den verwendeten Pulsgenerator und die Masseanbindung des DUT beeinflusst werden.

Durch Simulationen konnte nur ein geringer Einfluss einer Induktivität im Massepfad des DUT nachgewiesen werden. Lediglich die Anstiegszeit der eingepprägten Pulse wird verändert. Dieses könnte sich bei Systemen, die auf kurze Anstiegszeiten besonders empfindlich reagieren, in einem Ausfallverhalten mit höheren Ladespannungen niederschlagen.

Die Messungen an verschiedenen Lasten zeigen, dass verschiedene normenkonforme IEC ESD-Generatoren zu deutlich unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Dieses ist vor allem auf die unterschiedlichen konstruktiven Ausführungen der Prüfmittel zurückzuführen, welche im Zusammenspiel mit dem DUT

unterschiedliche Pulse erzeugen. Abbildung 5 zeigt, dass die Ausbildung des für manche Systeme gefährlichen ersten Stromanstiegs des NoiseKen Generators bei hohen Impedanzen stark abgeschwächt ist. Für 4,7 k Ω im Strompfad konnte bei der Entladung des Schläder ESD-Generators hingegen eine stark schwingende Kurve mit negativen Amplituden im Bereich des ersten Anstiegs gemessen werden (Abbildung 7). Die zuverlässige Ansprache von ESD-Schutzstrukturen des DUT könnte dadurch gefährdet werden.

5.1 Vergleichbarkeit von IEC-Generatoren und TLP

Der Energiegehalt des Ausgangspulses kann durch die Leitungslänge des TLP beeinflusst werden, sodass ein vergleichbares Ausfallverhalten von Systemen in diesem Punkt erreicht werden könnte.

Die maximalen Stromamplituden eines ESD-Generators und eines TLP sind bei einem DUT mit hoher Impedanz nicht vergleichbar. Der durch hohe Amplituden bedingte Ausfall eines Systems ist bei einer Prüfung mit dem TLP erst bei höheren Ladespannungen zu erwarten. Die niedrigere Impedanz des TLP könnte jedoch zu einer erhöhten thermischen Belastung des DUT führen

Der als alternatives Prüfmittel zur Diskussion stehende TLP kann durch eine schaltungstechnische Modifizierung an den Stromverlauf eines IEC-Generators angeglichen werden. Die Simulationen in Abschnitt 3 zeigen, dass hier ebenfalls negative Amplituden durch Reflektionen auftreten können.

5.2 TLP als alternatives Prüfmittel

Um die ESD-Festigkeit in der Automobilindustrie zu steigern, werden alternative Testmethoden untersucht. Heute werden die in einem System verbauten ICs auf Waver-Ebene oft nach dem HBM-Standard geprüft [10]. Auf dieser Ebene ist der Test mit einem IEC ESD-Generator aufgrund von Kontaktierungsproblemen nur in einem speziellen Modulaufbau möglich. Für Prüfungen auf Systemebene werden die Aufbauten nach ISO 10605 oder IEC 61000-4-2 verwendet. Die Vergleichbarkeit zwischen den ESD-Tests auf verschiedenen Ebenen ist aufgrund der unterschiedlichen Prüfmittel und Aufbauten kaum gegeben. TLPs könnten als reproduzierbares und robustes Prüfmittel auf allen Ebenen in Betracht gezogen werden. Die notwendige Masseanbindung des DUT scheint nur einen geringen Einfluss zu haben und sollte somit die Reproduzierbarkeit nicht wesentlich beeinflussen. Ein wichtiger Vorteil von TLPs wäre die einfache und dennoch eindeutige Definition der Quellenimpedanz über den Leitungswellenwiderstand. Dieser entspricht zwar nicht der Impedanz von IEC-Generatoren, diese ist jedoch auch nicht eindeutig definiert und variiert von Generatormodell zu Generatormodell, was zu den bekannten Problemen mit der Vergleichbarkeit führt.

6 Zusammenfassung

In diesem Beitrag werden verschiedene Methoden für Packaging- und Handling-ESD-Tests untersucht. Die Prüfergebnisse hängen zu einem großen Teil vom verwendeten ESD-Pulsgenerator ab. Die durchgeführten Messungen zeigen, dass Abweichungen von über 70 % zwischen den gemessenen Spitzenströmen verschiedener IEC ESD-Generatoren an verschiedenen Lasten auftreten können. Diese Reproduzierbarkeitsprobleme könnten durch Einsatz von TLPs als alternatives Prüfmittel vermutlich gelöst werden. Die dabei unbedingt notwendige Massenbindung hat, wie durchgeführte Simulationen zeigen, einen nur geringen Einfluss.

Danksagung

Diese Arbeit wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Projekts MEDEA+ 2T205, SPOT-2, gefördert.

Literatur

- [1] IEC International Electrotechnical Commission, "Reference number IEC 61000-4-2," *Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-2: Testing and measurement techniques - Electrostatic discharge immunity test*, 2001.
- [2] ISO International Organization for Standardization, "Reference number ISO 10605," *Road vehicles - Test methods for electrical disturbances from electrostatic discharge*, 2001.
- [3] S. Frei, W. Wu, U. Hilger, D. Johnsson, and M. Stecher, "Packaging- und Handling-Prüfungen nach ISO10605: Wie vergleichbar sind Prüfungen mit unterschiedlichen ESD-Generatoren?" *ESD-Forum e.V.*, 2007.
- [4] B. Arndt, F. zur Nieden, R. Pöhmerer, J. Edenhofer, and S. Frei, "Comparing Cable Discharge Events to IEC 61000-4-2 or ISO 10605 Discharges," *Proceedings, 20th Int. Zurich Symposium on EMC, Zurich*, 2009.
- [5] Y. Cao, B. Arndt, F. zur Nieden, F. Kremer, and S. Frei, "Charakterisierung und systematische Bewertung von externen ESD Schutzelementen," *Proceedings, EMV2010 International Exhibition and Conference on Electromagnetic Compatibility, Düsseldorf*, will be published 2010.
- [6] Y. Cao, D. Simbürger, and D. Johnsson, "Rise-Time Filter for Transmission-Line Pulse Measurement Systems," *German Microwave Conference*, pp. 1 - 5, 2009.
- [7] K. Siebert, H. Günther, S. Frei, and W. Mickisch, "Modeling of Frequency Dependent Losses of Transmission Lines with VHDL-AMS in Time Domain," *Proceedings, 20th Int. Zurich Symposium on EMC, Zurich*, 2009.
- [8] Y. Cao, D. Johnsson, B. Arndt, M. Stecher, and S. Frei, "A TLP-based Human Metal Model ESD-generator for device qualification according to IEC 61000-4-2," *Abstract eingereicht für APEMC 2010 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility & Technical Exhibition on EMC RF/Microwave Measurement & Instrumentation, Beijing*, 2010.
- [9] H. P. P. I. G. (HPPI), "Product datasheet tlp-3010c/3011c," October 2009, <http://www.hppi.de/>.
- [10] JEDEC Solid State Technology Association, "Reference number JESD22-A114F," *Electrostatic Discharge (ESD) Sensitivity Testing Human Body Model (HBM)*, 2008.