

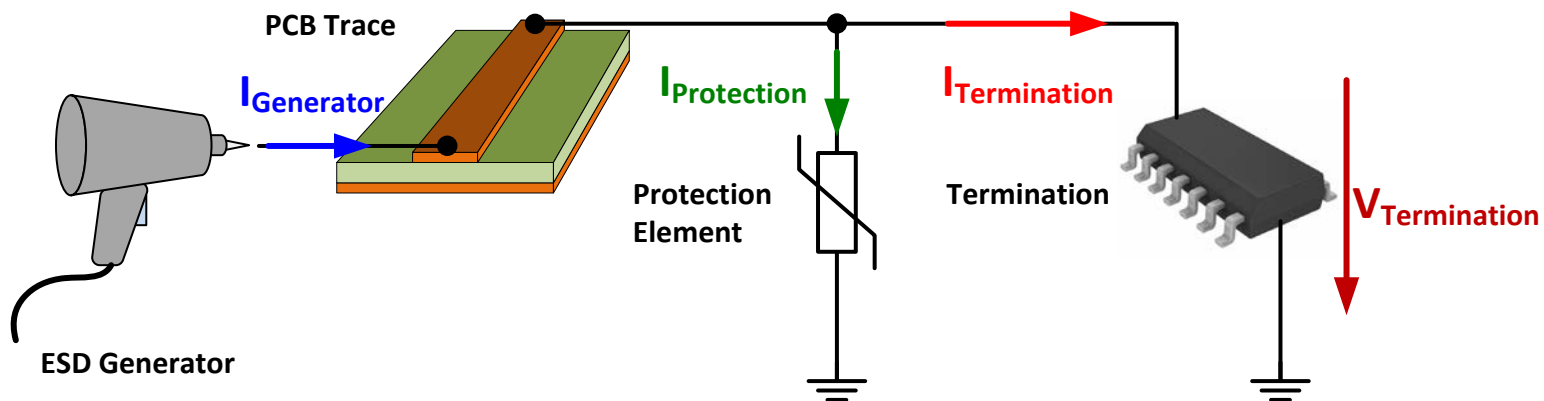
Simulationsbasierte Optimierung von ESD- Schutzkonzepten für Integrierte Schaltungen

Dipl.-Ing. Stanislav Scheier, Dipl.-Ing. Ali Razavi, Prof. Dr.-Ing. Stephan Frei
Arbeitsgebiet Bordsysteme

- **Einleitung**
- Modellierung
- ESD-Online-Simulator
- Zusammenfassung und Ausblick

Motivation

- Elektrostatische Entladungen (engl. **ElectroStatic Discharge ESD**) stellen eine ernstzunehmende Bedrohung in der Elektronik-Industrie dar.
- Ein Mensch oder eine Maschine können sich bis auf mehrere kV aufladen und empfindliche Elektronik schädigen. Aufladungen bis ~3 kV nicht spürbar!
- Die ESD-Zerstörfestigkeit vieler Systeme wird durch den Strompfad über die einzelnen Komponenten vom Stecker bis zum Elektronik-IC-Pin bestimmt.
- Durch Simulationen können Bedrohung und Wirksamkeit von Schutzstrategien bereits im Vorfeld untersucht und optimiert werden.



Ziele und Anforderungen

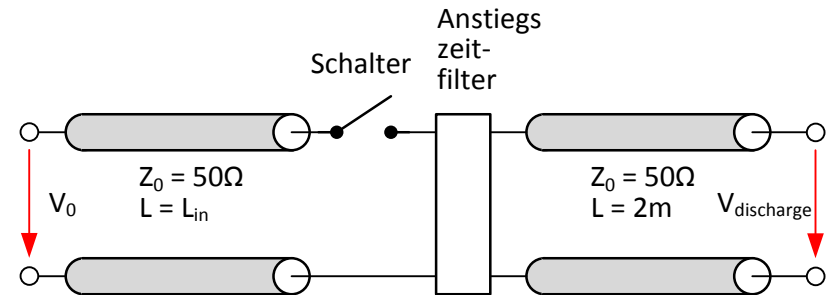
- Elektronikentwickler sind meist mit Modellierungs- und Simulationsverfahren nicht vertraut.
- Einfaches Tool zur Simulation von der Belastung in Elektroniksystemen notwendig.
- Geeigneten Modelle notwendig, die mit Messungen verifiziert und parametrisiert wurden.
- Einfache Erweiterbarkeit mit neuen Modellen
- Implementierung in einem Open-Source Simulator (Qucs)
- Hervorhebung fundamentaler Effekte bei ESD

- Einleitung
- **Modellierung**
- ESD-Online-Simulator
- Zusammenfassung und Ausblick

ESD Generator

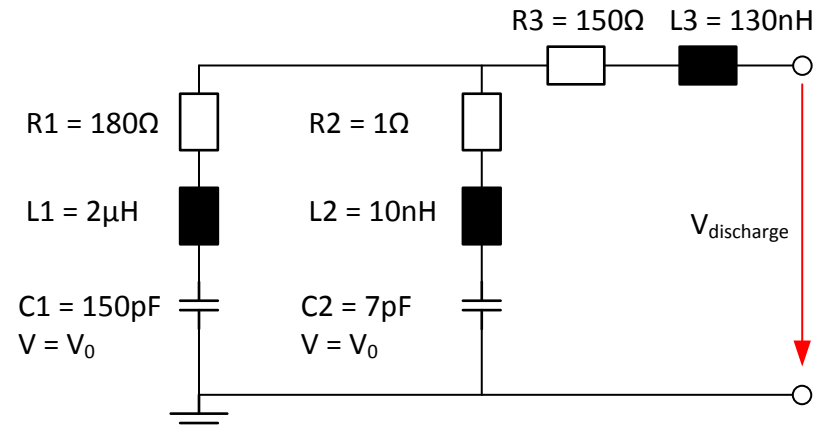
■ Transmission Line Pulsar (TLP)

- Erzeugt einen Rechteckspannungspuls mit variabler Pulshöhe, -breite und Anstiegszeit.
- Gängiges Messsystem, um die IV-Kurve eines nichtlinearen Bauelements auch bei hohen Spannungen zu messen
- Prüfmittel / ESD-Nachbildung



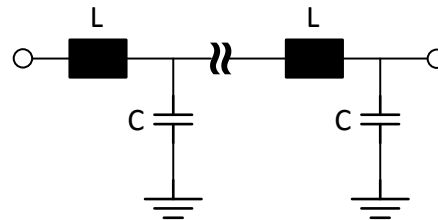
■ ESD Generator nach IEC61000-4-2 Standard

- Prüfstandard für elektronische Systeme
- In EU ist die Prüfung Pflicht für nahezu alle elektronischen Geräte.
- Simuliert eine menschliche Entladung über einen metallischen Gegenstand.



Platinenleiterbahnen (PCB)

- Platinenleiterbahnen können aufgrund von Reflexionen die Pulsform stark beeinflussen.
- Aufgrund der meist geringen Leiterbahnlänge können die entstehenden Verluste vernachlässigt werden.
- Geringe Leiterbahnlängen können bei den Qucs-Leitungsmodellen zu Instabilitäten führen.
- Approximation mit kaskadierten LC-Netzwerken numerisch günstiger.
- Für jede Länge kann ein entsprechendes LC-Netzwerk erstellt werden.



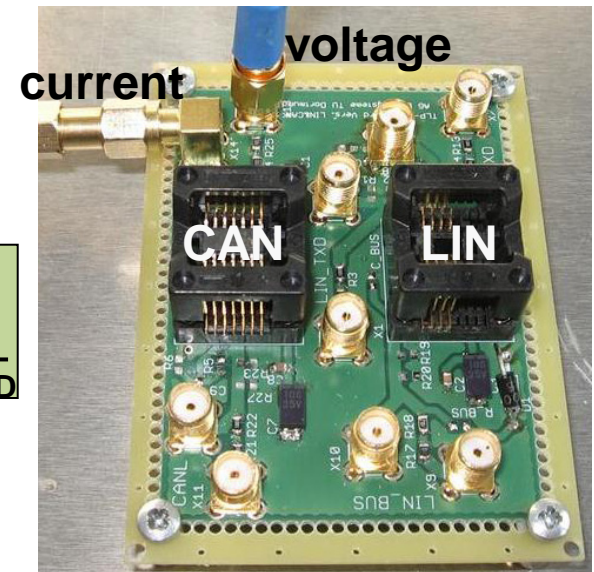
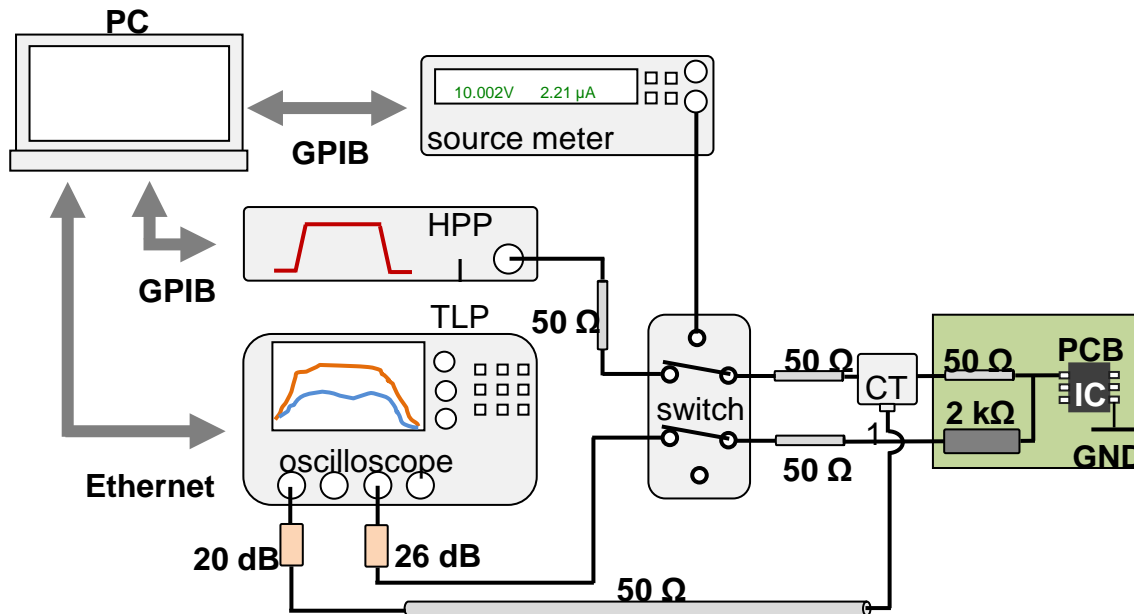
Lineare Schutzelemente und Terminierungen

- Kondensatoren
 - Bevorzugte Schutzstrategie aufgrund der geringeren Kosten und der guten Eignung für den EMV-Schutz.
 - Beeinflussen negativ die Signalübertragungsrate aufgrund des Tiefpassverhaltens.

- Widerstände
 - Lineare Widerstände veranschaulichen die Funktionsweise verschiedener Strukturen.
 - Können als einfache Approximation für unbekannte Elektronik-ICs verwendet werden.

Nichtlineare Schutzelemente und Terminierungen, Messaufbau

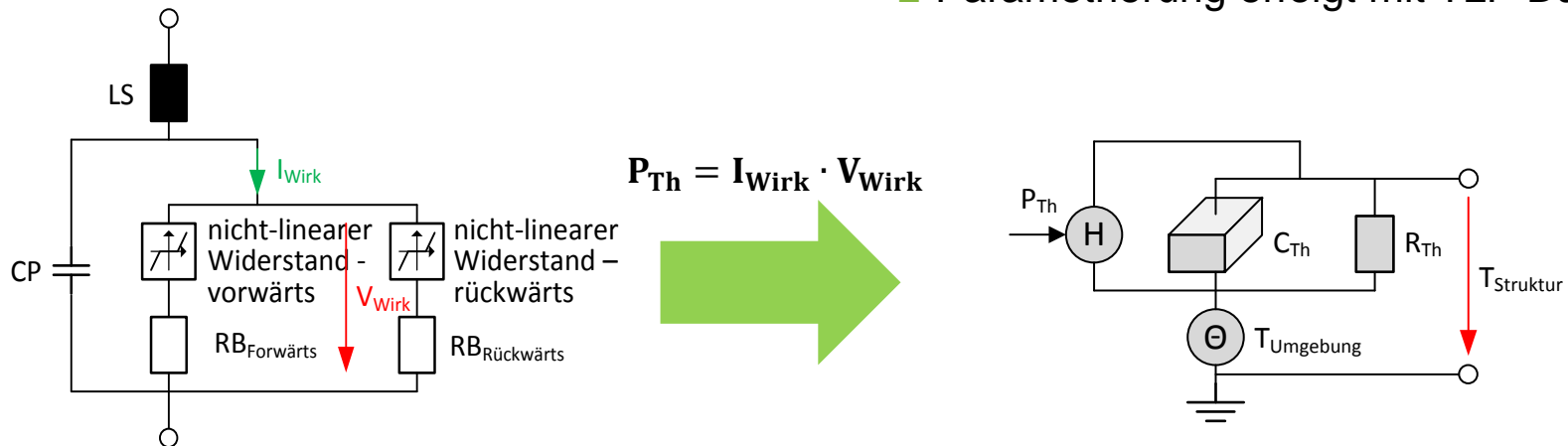
- Statisches Verhalten wird mit Kennlinienschreiber gemessen
- Verhalten bei höheren Spannungen wird mit TLP gemessen
- IC-Zerstörung wird über eine Veränderung der statischen Kennlinie detektiert
- Parasitäre Elemente werden mit NWA bestimmt.



Elektronik-IC

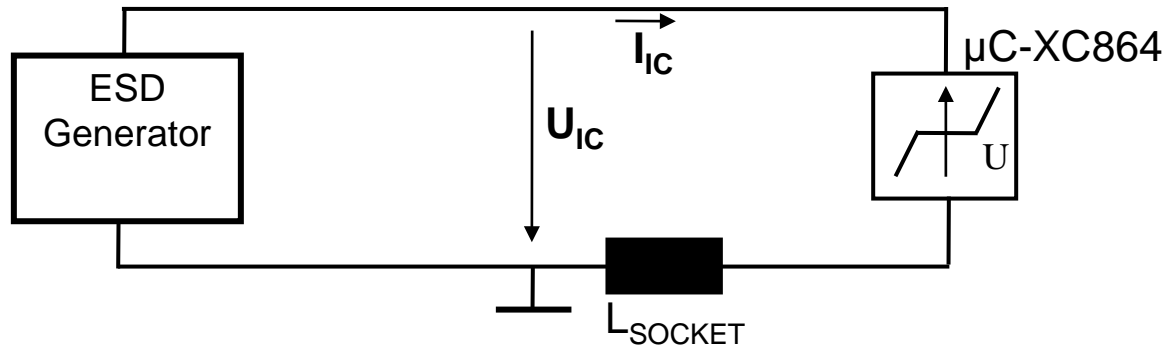
- Verschiedene IC-pins wurden bisher untersucht und modelliert
- IC elektrische Domäne
 - Das elektrische Ersatzschaltbild entspricht einem nicht-linearen Widerstand.

- IC thermische Domäne
 - Unter hoher Spannung wird ein Teil des Siliziums leitfähig, die eingeprägte Leistung/Energie wird in diesem Teilvolumen umgesetzt
 - Thermische Ersatzschaltung besteht aus RC Element und gesteuerter Wärmequelle.
 - Schmelztemperatur von Silizium wird als kritischer Grenzwert gesetzt.
 - Parametrierung erfolgt mit TLP Daten

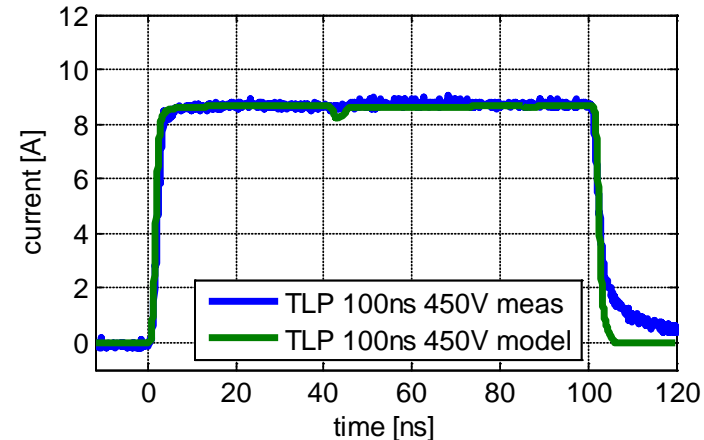
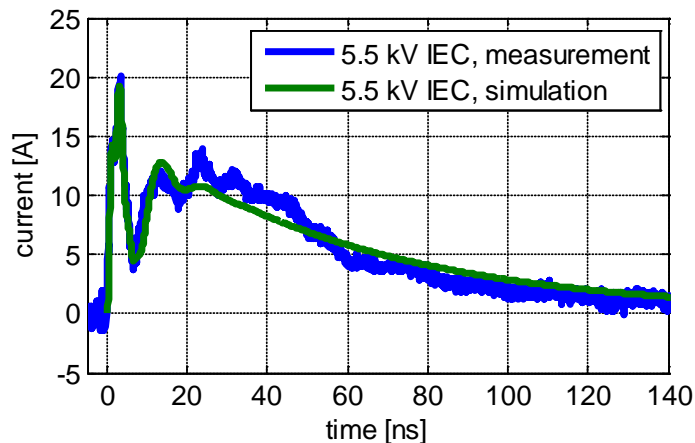


Elektronik-IC

- Verifikation von einem Mikrokontroller $\mu\text{C-XC864}$ Modell



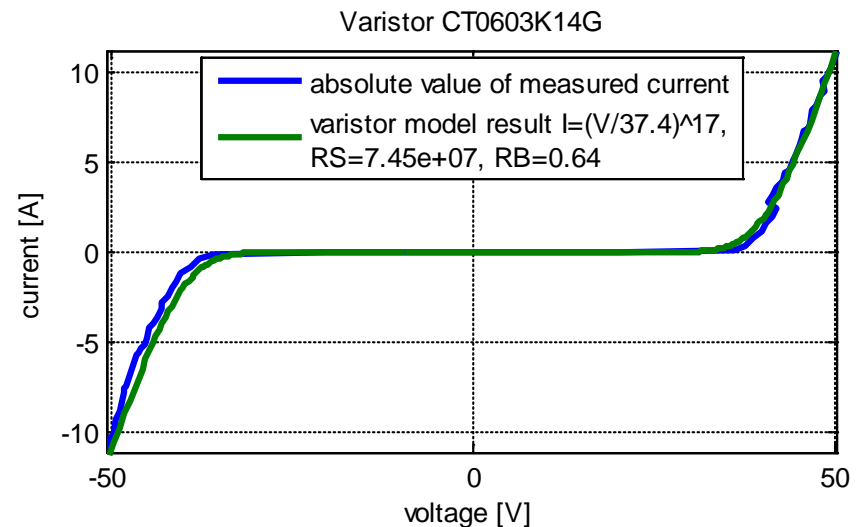
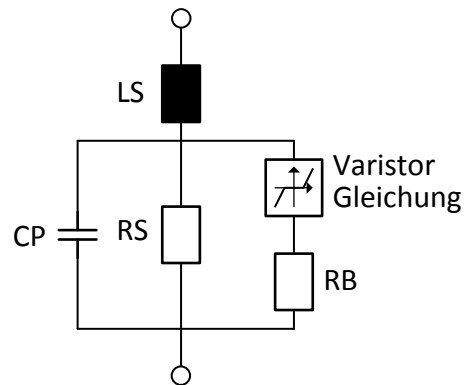
ESD pulse	V_{charge} [V]	$V_{IC, \text{max}}$ [V]	$I_{IC, \text{max}}$ [A]	E_{fail} [μJ]
IEC NoiseKen	5500	53.42	27.07	11.30 (0%)
TLP 100 ns	450	95.4	9.0	12.3 (9%)



Nichtlineares Schutzelement, Varistor

- Spezielle nichtlineare Komponenten
- Weisen eine geringe parasitäre Kapazität auf
- Varistor Gleichung:

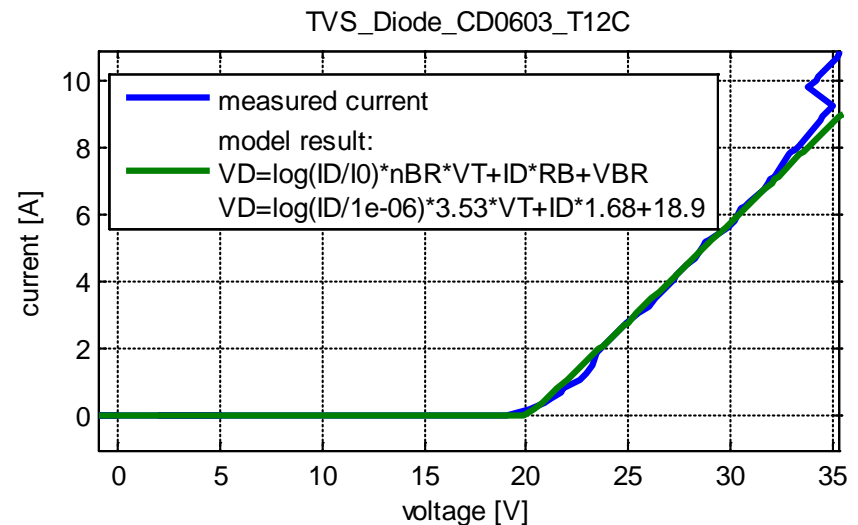
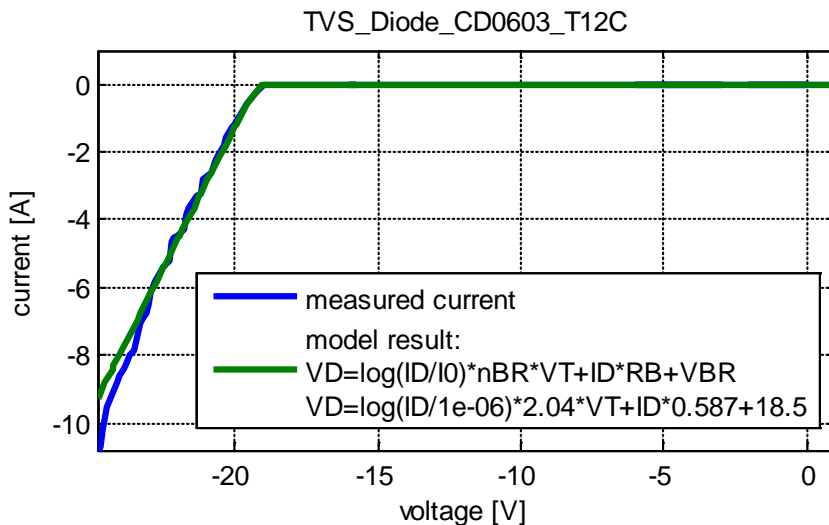
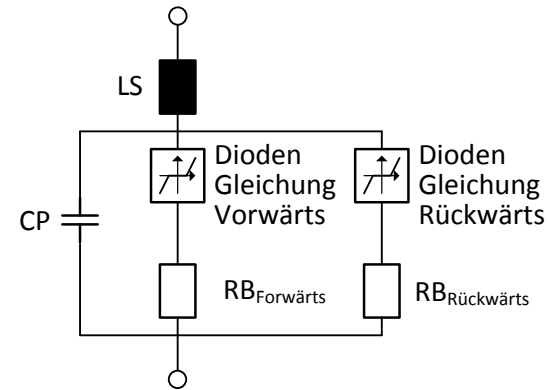
$$I_{var} = \left(\frac{V_{var}}{V_{1A}} \right)^n$$



Nichtlineares Schutzelement, TVS Diode

- Spezielle nichtlineare Komponenten
- Weisen eine geringe parasitäre Kapazität auf
- Dioden Gleichung:

$$I_{Diode} = I_S \left(e^{\frac{V_{Diode}}{nV_T}} - 1 \right)$$




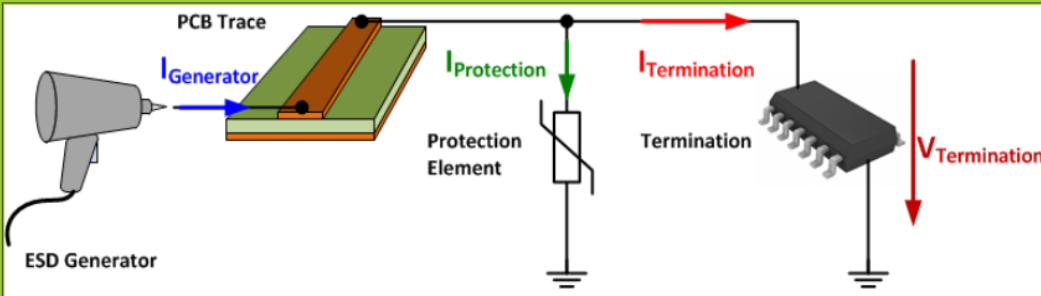
- Einleitung
- Modellierung
- **ESD-Online-Simulator**
- Zusammenfassung und Ausblick

Startansicht

- Benutzerfreundliches Tool basierend auf dem Open-Source Simulator Qucs
- Zu finden unter http://web-bs/esd_tool.html oder über die AG Bordsysteme Homepage <http://www.bordsysteme.tu-dortmund.de>
- Simulationstopologie:
 - Starke Vereinfachung eines Steuergerätes
 - Berücksichtigung relevanter Bauelemente
- Alle Modelle sowie Qucs-Simulator können heruntergeladen werden
 - Komplexere Simulationen sind möglich

tu technische universität dortmund

Arbeitsgebiet Bordsysteme 



ESD Generator
IEC <input type="text"/>
Charge Voltage 1000 <input type="text"/> V
PCB Trace Length 0 m <input type="text"/>
Protection Element No Protection <input type="text"/>
Termination Resistor 10 Ω <input type="text"/>

Start Simulation

Download Simulation Package

Download Manual for Simulation

Download Qucs-Simulator

Auswahlbereich

ESD Generator

IEC age

HBM V

CDM length

TLP 1ns

TLP 5ns

Protection Element

No Protection

Termination

Resistor 10 Ω

ESD Generator

IEC

Charge Voltage

1000 V

PCB Trace Length

0 m

0 m Element

0.03 m tion

0.1 m n

0.15 m

Resistor 10 Ω

ESD Generator

IEC

Charge Voltage

1000 V

PCB Trace Length

0 m

Protection Element

No Protection

No Protection

Capacitor 100pF

Capacitor 1nF

Capacitor 10nF

Capacitor 100nF

Varistor_VC080514A300

Varistor_VC060330A650

Varistor_VC060326A580

Varistor_VC060318A400

Varistor_VC060314A300

Varistor_VC060309A200

Varistor_MLV0603E31103T

Varistor_MLV0603E30403T

Varistor_CT0603S5ARFG

ESD Generator

IEC

Charge Voltage

1000 V

PCB Trace Length

0 m

Protection Element

No Protection

Termination

Resistor 10 Ω

Resistor 10 Ω

Resistor 100 Ω

Resistor 1 k Ω

Resistor 10 k Ω

CAN_TJA1041T CANH-pin

LIN_ATA6662C TXD-pin

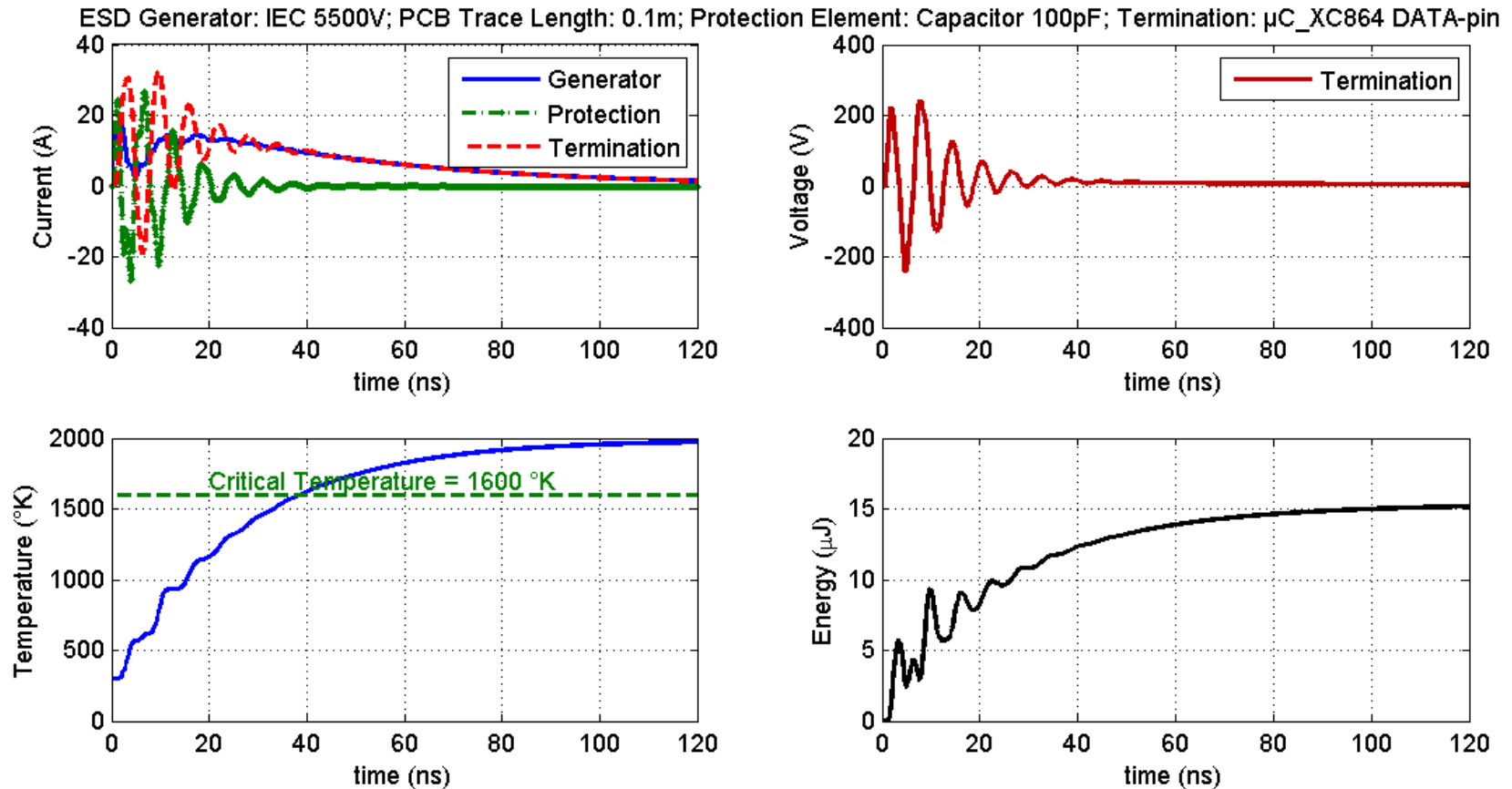
μ C_XC864 DATA-pin

Ablauf



Ergebnisse

- Wenn die kritische Temperatur von ca. 1600° C überschritten wird, gilt der IC-Pins als beschädigt



- Einleitung
- Modellierung
- ESD-Online-Simulator
- **Zusammenfassung und Ausblick**

- Ein benutzerfreundlicher ESD-Simulator wurde entwickelt.
- Abschätzung des realen ESD-Verhaltens von Elektroniksystemen ist möglich.
- Umfangreiche Modellbibliothek verfügbar.
- Erweiterung mit neuen Modellen ist geplant, z.B. spannungsabhängige Kondensatoren



Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
Arbeitsgebiet Bordsysteme

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Acknowledgements:

“The reported R+D work was carried out within the CATRENE project CA310 EM4EM (Electromagnetic Reliability and Electronic Systems for Electro Mobility). This particular research is supported by the BMBF (Bundesministerium fuer Bildung und Forschung) of the Federal Republic of Germany under grant 16 M3092 I”

Dipl.-Ing. Stanislav Scheier
stanislav.scheier@tu-dortmund.de
<http://www.bordsysteme.tu-dortmund.de>

