

Modellierung eines Überspannungsschutzsteckers mit PSpice

Johannes Grund
Helmut Schmidt Universität
 Hamburg, Deutschland
 johannes.grund@hsu-hh.de

Abstract—Dieses Paper beschreibt die Überführung eines realen Überspannungsschutzsteckers in ein Simulationsmodell anhand gemessener Impedanzverläufe und Stromantworten auf verschieden starke Spannungspulse. Unter anderem wird auch ein Simulationsmodell für Varistoren präsentiert. Für die Erstellung und Bewertung des Simulationsmodells wurde die Netzwerksimulations-Software PSpice verwendet.

Keywords: PSpice, Überspannungsschutzstecker, Varistor

I. EINLEITUNG

Ein Überspannungsschutz dient zum Schutz von elektronischen Geräten, indem er die Stromversorgung abschaltet oder den Ausgang abklemmt, wenn ein vorgegebener Spannungswert überschritten wird. Ein häufig verwendetes Bauelement in diesen Systemen ist der Varistor, welcher sich durch einen spannungsabhängigen Widerstand kennzeichnet. Erreicht die Spannung einen bestimmten Schwellenwert, so sinkt der Widerstand abrupt und der Strom steigt.

Damit wurde im Rahmen des IEEE Student Contests ein Simulationsmodell eines Überspannungsschutzsteckers entwickelt. Die zur Verfügung gestellten Daten bestehen zum einen aus vier Gegentaktimpedanzen und Phasengängen, die jeweils auf der Netz-/Lastseite mit Leerlauf oder Kurzschluss über einen Frequenzbereich von 20 Hz bis 120 MHz gemessen wurden. Zum anderen ist der gemessene Pulstrom und die Pulsspannung mit und ohne Überspannungsschutzstecker in einem Zeitbereich von $-20 \mu\text{s}$ bis $180 \mu\text{s}$ vorgegeben.

II. ENTWICKLUNGS EINES SIMULATIONSMODELLS

A. Ersatzschaltbild eines Varistors

Für die Benutzung eines Varistors wird ein PSpice-Simulationsmodell von EPCOS verwendet. Dieses ist durch das Ersatzschaltbild gemäß Abb. 1 gegeben mit dem Bahnwiderstand R_s , dem Leitungsinduktivität L_s und der Kapazität C_p , der ein idealer Varistor parallel geschaltet ist.

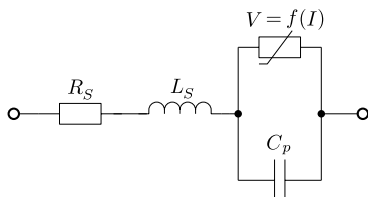


Abbildung 1: Ersatzschaltbild eines Varistors

Die charakteristische V/I-Kurve des Varistors ist implementiert durch eine stromgesteuerte Spannungsquelle $V = f(I)$. Diese kann mit folgender Formel (1) mathematisch angenähert werden:

$$\log_{10} \left(\frac{V}{1 \text{ V}} \right) = b_1 + b_2 \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{1 \text{ A}} \right) + b_3 \cdot e^{-\log_{10} \left(\frac{I}{1 \text{ A}} \right)} + b_4 \cdot e^{\log_{10} \left(\frac{I}{1 \text{ A}} \right)} \quad (1)$$

Da der Bahnwiderstand R_s mit $100 \mu\Omega$ gegeben ist, wurden in der weiteren Entwicklung die Werte L_s , C_p , b_1 , b_2 , b_3 und b_4 als variable Parameter benutzt.

B. Aufbau des Simulationsmodells

Der Aufbau des Simulationsmodell orientiert sich an der Schaltung von der EPCOS-AG gemäß Abb. 2. Diese realisiert einen Einphasenschutz einschließlich Erdungsschutz durch Verwendung von zwei thermischen Sicherungen F_1 und F_2 , sowie der Varistoren VDR_1 und VDR_2 . Als Vereinfachung wird bei der Umsetzung des Schaltkreises in PSpice die thermischen Sicherungen vernachlässigt.

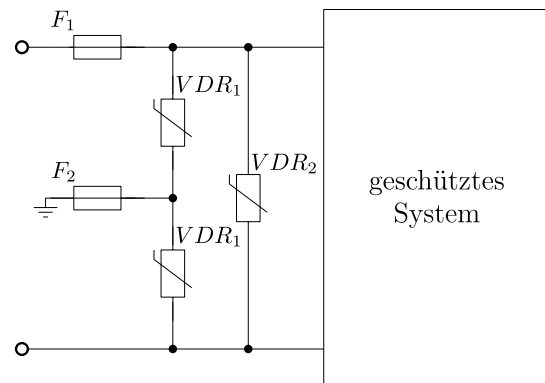


Abbildung 2: Einphasenschutz einschließlich Erdungsschutz

Als nächster Schritt in der Entwicklung werden die Impedanzmessungen näher betrachtet. Aus diesen lässt sich ein symmetrischer Schaltkreis schließen, da die Gegentaktmessungen mit Leerlauf und Kurzschluss miteinander fast identisch sind.

Folglich werden als erstes die Impedanzmessungen mit Leerlauf betrachtet. Die Parameter der Varistoren VDR_1 und VDR_2 werden mit dem PSpice Model Editor angepasst, sodass ein ähnlicher Impedanzverlauf entsteht. Hierbei ist die erste Resonanzfrequenz bei 24.77 MHz abhängig von den

beiden Varistoren VDR_1 und die zweite Resonanzfrequenz bei 94.9 MHz von VDR_2 . Mit Hilfe einer Parametervariation lassen sich dadurch die Kapazitäten und Induktivitäten der Varistoren bestimmen, woraus eine hohe Übereinstimmung der Gegentaktmessungen (Abb. 4) und Phasengängen (Abb. 5) resultiert. Die berechneten Werte sind in Tabelle I aufgelistet. Zudem lässt sich durch den Tiefpunkt der ersten Resonanz bei 466 mΩ schließen, dass ein Widerstand mit der gleichen Impedanz ($R_2 = 466 \text{ m}\Omega$) beiden Varistoren gemäß Abb. 3 in Serie geschaltet ist.

Bei der Analyse der Impedanzmessungen mit Kurzschluss ist auffällig, dass diese bei 14.45 mΩ starten und ab 10 kHz steigen. Daraus lässt sich ein Widerstand, der in Serie zu einer Induktivität verschaltet ist, schließen. Aufgrund des symmetrischen Designs des Simulationsmodells muss der Widerstand R_1 und die Induktivität gemäß Abb. 3 aufgeteilt werden. Dabei lässt sich der Widerstand berechnen mit

$$R_1 = \frac{14.45 \text{ m}\Omega}{2} = 7.225 \text{ m}\Omega \quad (2)$$

Der Wert der Induktivität kann mit einem Parameterdurchlauf bestimmt werden, womit eine gute Annäherung an die Gegentaktmessungen (Abb. 6) und Phasengänge (7) mit Kurzschluss an der Netz- bzw. Lastseite möglich ist. Leichte Abweichungen könnten aufgrund parasitärer Effekte des Kurzschlusses bei der Messung entstanden sein. Zusammenfassend wurde ein Simulationsmodell entsprechend der Abb. 3 mit den Werten aus Tabelle I entwickelt.

Tabelle I: Werte der Bauteile des kompletten Simulationsmodelles

$L_{s,VDR1/VDR2}$	$C_{p,VDR1/VDR2}$	R_1	R_2	L_1
35 nH/3 mH	350 pF/1 pF	7.225 mΩ	466 mΩ	95 nH

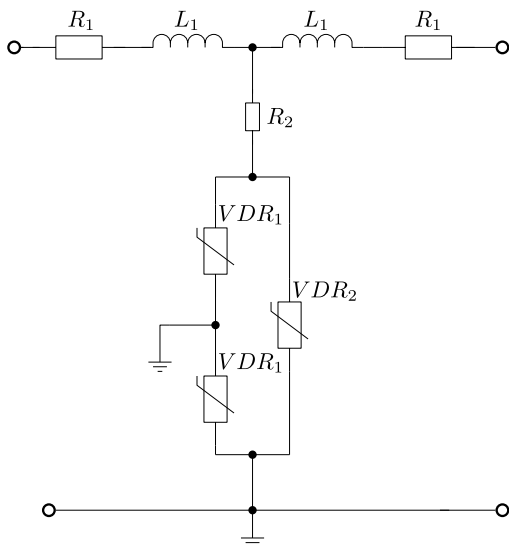


Abbildung 3: Simulationsmodell des Überspannungsschutzsteckers

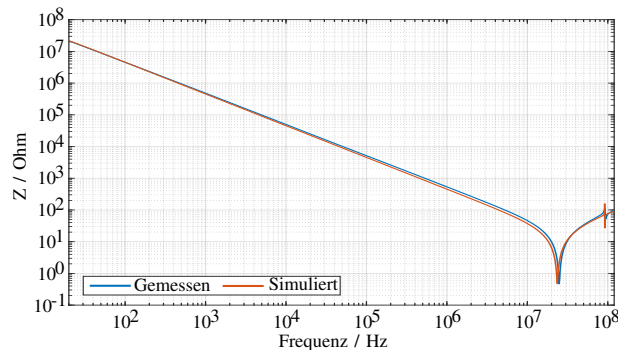


Abbildung 4: Impedanzverlauf (Leerlauf an Netz-/Lastseite)

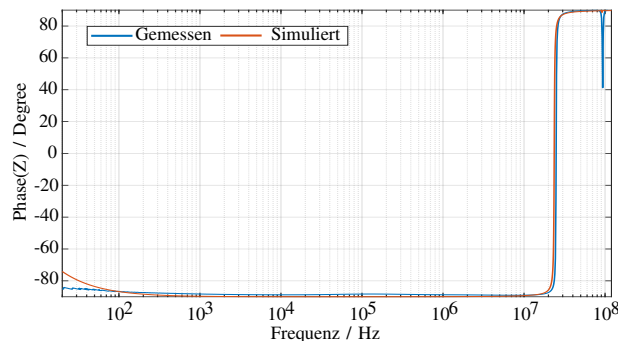


Abbildung 5: Phasengang (Leerlauf an Netz-/Lastseite)

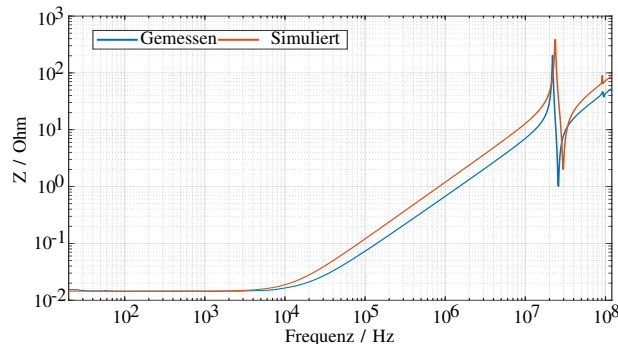


Abbildung 6: Impedanzverlauf (Kurzschluss an Netz-/Lastseite)

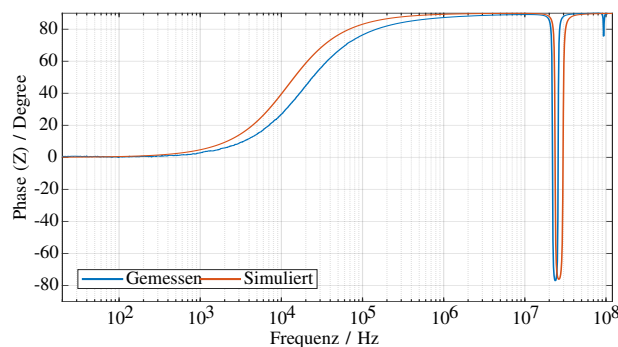


Abbildung 7: Phasengang (Kurzschluss an Netz-/Lastseite)

C. Simulation im Zeitbereich

Die Messungen im Zeitbereich wurden mit einem $1.2\ \mu\text{s}$ / $50\ \mu\text{s}$ -Puls nach IEC 60060-1 durchgeführt. In der Simulation mit PSpice wird diese Annahme vereinfacht, indem Pulse mit linearen Flanken entsprechend Abbildung 8 verwendet werden. Weiterhin werden folgende Werte der Pulse in Tabelle II festgelegt:

Tabelle II: Werte des Pulses

V_{Off}	t_{Delay}	t_{Rise}	t_{Fall}	Pulsewidth	Periode
0 V	0 s	$1.2\ \mu\text{s}$	$120\ \mu\text{s}$	$2\ \mu\text{s}$	1 s

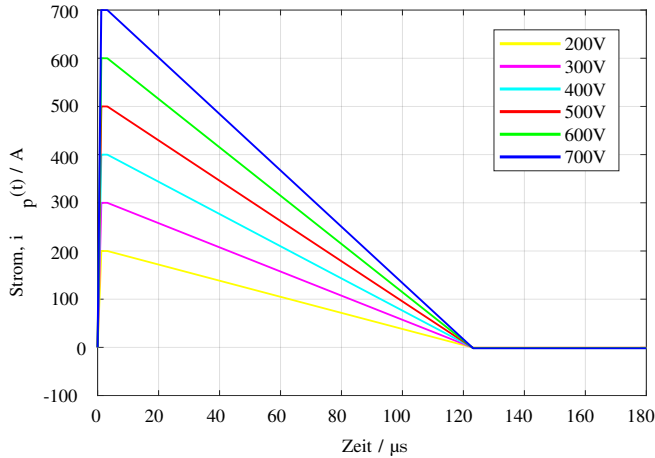


Abbildung 8: Vereinfachter Puls mit versch. Pulsnennspannungen

Vor der Simulation des Pulsstromes mit dem Überspannungsstecker ist es notwendig, die Last R_{Last} zu bestimmen. Diese lässt sich berechnen mit

$$R_{\text{Last}} = \frac{U^2}{P} = 1.26\ \text{k}\Omega \quad (3)$$

wobei die Betriebsspannung U mit $230\ \text{V}$ und die Leistung P mit $42\ \text{W}$ gegeben sind. Der letzte Schritt der Entwicklung besteht in der Anpassung der Parameter b_1 , b_2 , b_3 und b_4 mittels Parametervariation, sodass eine ähnliche Stromantwort verglichen mit der Messung bei verschiedenen Pulsen erzielt wird. Die Ergebnisse sind in Tabelle III und in Abb. 9 dargestellt. Dabei ist die simulierte Stromantwort gestrichelt und die gemessene Stromantwort durchgezogen dargestellt. Auffällig ist, dass der simulierte Überspannungsschutzstecker seinen Spitzenstrom früher erreicht, er aber etwas länger benötigt um wieder $0\ \text{A}$ zu erreichen. Die Abweichungen lassen sich auf den vereinfachten Puls zurückführen, da dieser im Vergleich nur linear nach dem Spitzenstrom fällt.

Tabelle III: Werte für b_1 , b_2 , b_3 und b_4 der Varistoren

	VDR ₁	VDR ₂
b_1	2.7	2.49
b_2	0.12	0.1002495
b_3	-0.0005325	-0.005908
b_4	0.0045448	0.02

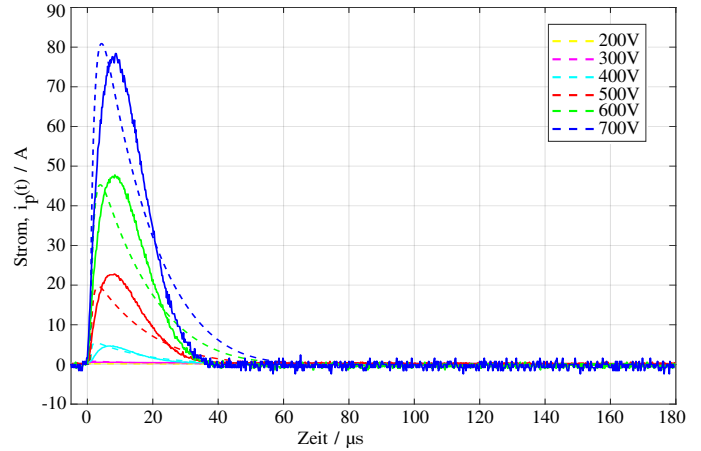


Abbildung 9: Simulierte (gestrichelt) und gemessene (durchgezogen) Pulsströme

D. Zusammenfassung

In diesem Paper wurde ein Simulationsmodell eines Überspannungsschutzsteckers mit PSpice erstellt, welcher ein System primär durch Varistoren schützt. Die gegebenen Hilfsmittel bestanden aus Messungen der Gegentaktimpedanz auf der Netz- oder Lastseite mit last- bzw. netzseitigem Leerlauf oder Kurzschluss. Es wurde zuerst ein geeignetes Varistormodell für die Simulation erstellt, welches in einem vorläufigen Simulationsmodell benutzt wurde. Nach Betrachtung der Impedanzverläufe und durch Parametervariationen wurden die Parameter der Varistoren angepasst und andere Bauteile dem Modell hinzugefügt. Mit Hilfe der simulierten Pulsströme konnten die restlichen Parameter des Varistors bestimmt werden. Es konnte eine große Übereinstimmung der Gegentaktimpedanzen und deren Phasengänge mit den Messungen erreicht werden. Lediglich die simulierten Pulsströme weichen leicht von den Messungen ab, was an der Vereinfachung der Pulse liegen könnte.

LITERATUR

- [1] EPCOS AG, "SIOV metal oxide varistors: Application notes", TDK Electronics, January 2018.
- [2] EPCOS, "SIOV metal oxide varistors: General technical information", TDK Electronics, January 2018.