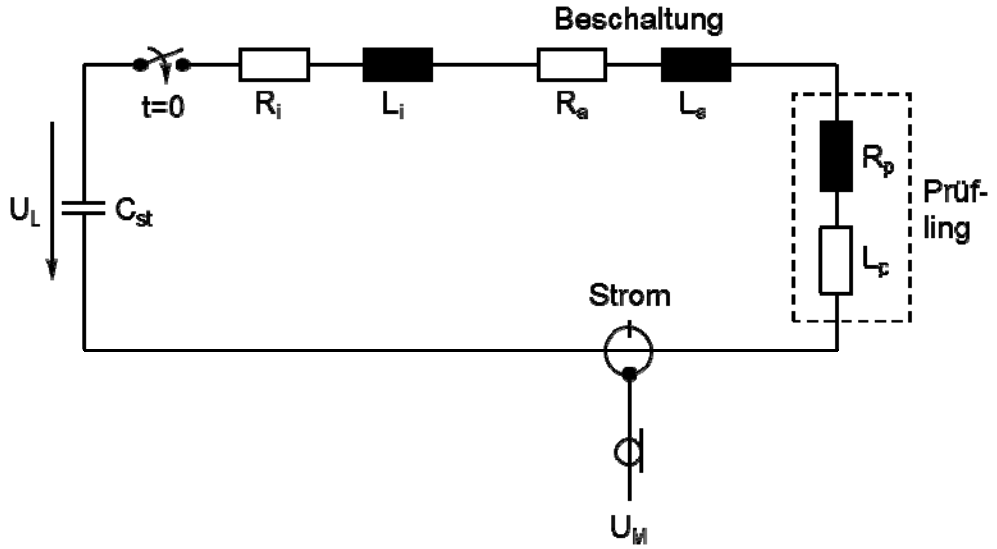
| Universität der Bundeswehr München<br>Professur für Hochspannungstechnik und Blitzforschung | |
|---|---|
| **Hochspannungstechnisches Praktikum 2** | **Stoßstrom-Untersuchungen an Überspannungs-Schutzelementen** |
| **Versuch 4** | |

# 1. Grundlagen

## 1.1 Stoßstromkreis

Zur Simulation von direkten und indirekten Blitzeinwirkungen werden häufig Stoßstrom-Generatoren verwendet, bei denen ein zuvor geladener Kondensator (Stoßkapazität) $C_{st}$ über einen Prüfling entladen wird. Der zeitliche Verlauf der Entladung wird bestimmt durch den Widerstand R (mΩ ... Ω) und die Induktivität L (µH) des Stoßstromkreises. Der zeitliche Verlauf des Stoßstroms wird mit Hilfe eines Strommonitors in ein stromproportionales Spannungssignal $u_M$ umgesetzt.

Ersatzschaltbild eines Stoßstromkreises:




| | | | |
|---|---|---|---|
| Ri: | innerer Kreiswiderstand | Li: | innere Kreisinduktivität |
| $R_a$: | äußerer Kreiswiderstand | $L_a$: | äußere Kreisinduktivität |
| $R_p$: | Widerstand des Prüflings | $L_p$: | Induktivität des Prüflings |

$R = R_i + R_a + R_p$

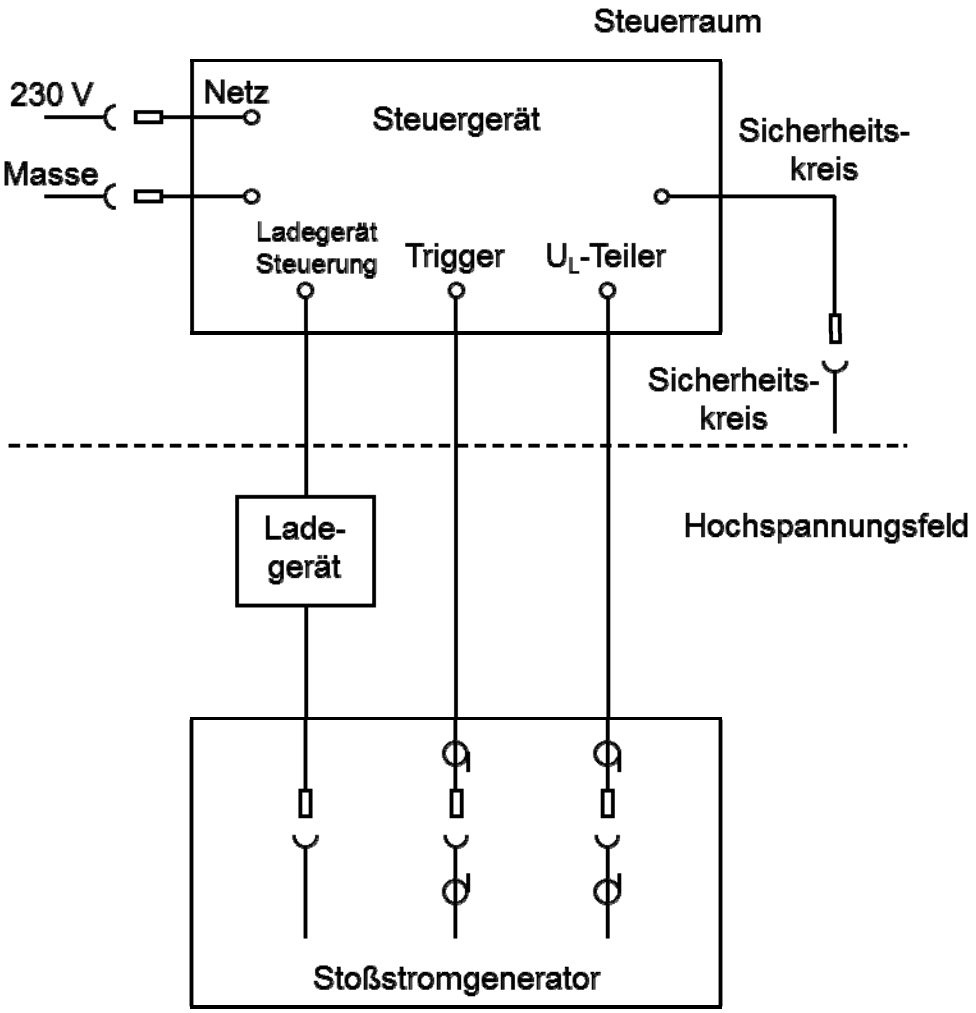
$L = L_i + L_a + L_p$

Um den inneren Kreiswiderstand $R_i$ und die innere Kreisinduktivität $L_i$ des Stoßkreises klein zu halten und um eine hohe Stromtragfähigkeit sicherzustellen, ist der Stoßkreis mit Kupferleitern großen Querschnitts und mit massiven Schraubverbindungen aufgebaut.

Abhängig von R lassen sich unterscheiden:

- periodisch gedämpfter Stromverlauf $R < 2\sqrt{L/C}$
- Stromverlauf im aperiodischen Grenzfall $R = 2\sqrt{L/C}$
- aperiodisch gedämpfter Stromverlauf $R > 2\sqrt{L/C}$

Steuerung des Stoßstromkreises:



## 2. Stoßstromprüfung

Bei Bauelementen zur Überspannungsbegrenzung ist neben der Ansprechspannung auch die Stromtragfähigkeit von großer Bedeutung. Typische Bauelemente sind:

- **Hochleistungsfunkenstrecken**
  Die typische Ansprechspannung beträgt 1 kV bis einige kV bei einer sehr hohen Stromtragfähigkeit, die auch Schutz bei direkter Blitzeinwirkung bietet.

- **edelgasgefüllte Überspannungsableiter (ÜsAg)**
  Die Füllung des Elektrodenzwischenraumes mit Edelgas (z.B. Argon) ergibt eine niedrige Ansprechspannung (z.B. ÜsAgC90: 90 V bei Gleichspannung), die aufgrund der Entladeverzugszeit bei größeren Spannungssteilheiten stark ansteigt (z.B. ÜsAgC90: 1,4 kV bei 100 kV/µs). ÜsAg werden beispielsweise in Fernmeldeanlagen eingesetzt, wobei die Stromtragfähigkeit nur Schutz gegen indirekte Blitzeinwirkungen bietet.

- **Varistoren**
  Varistoren (**Var**iable Res**istor**) sind spannungsabhängige Widerstände mit symmetrischer U/I-Kennlinie, deren Widerstand mit steigender Spannung U stark abnimmt. Die Spannungsabhängigkeit wird durch den Nichtlinearitätsexponenten $\alpha$ ausgedrückt

  $$I \sim U^{\alpha}$$

  mit $\alpha \approx 30$ für Metalloxidvaristoren. Ihre Stromtragfähigkeit bietet nur Schutz gegen-indirekte Blitzeinwirkungen.

Für die Wirkung von Stoßströmen auf Bauelemente sind insbesondere maßgebend:

- der Stromscheitelwert $\hat{\imath}$ in A
- die Ladung $\int |i|\, dt$ in As oder C
- der Stromquadratimpuls $\int i^2 dt$ in $A^2s$ oder J/Ω
- die maximale Stromsteilheit $(di/dt)_{max}$ in A/s.

## 3. Versuchsdurchführung

Bei Stoßstrom-Untersuchungen sind unbedingt die folgenden Sicherheits- und Schutzmaßnahmen zu befolgen:

- Alle Schraubverbindungen des Stoßkreises sind gut anzuziehen, um Ausschmelzungen an den Kontaktstellen zu vermeiden.

- Alle Prüflinge sind mit einer Plexiglashaube abzudecken, um eine Personengefährdung bei der Zerstörung des Prüflings auszuschließen.

- In $C_{st}$ ist eine hohe Energie gespeichert. Das Hochspannungsfeld darf erst betreten werden, wenn $C_{st}$ über dem Erdungsschalter ES entladen ist (Kontrolle der Ladespannung am Steuergerät). Nach dem Betreten des Hochspannungsfeldes sind ***beide Pole*** des Stoßkondensators $C_{st}$ mit der Erdungsstange zu berühren und anschließend kurzzuschließen.

- Die Ladespannung $U_L$ des Stoßkondensators wird (von Null aus) auf einen Wert gesteigert, der geringfügig über dem geforderten Wert liegt (z.B.: gefordert $U_L$ = 6 kV, laden bis $U_L$ = 6,1 kV). Nach Erreichen dieses Wertes wird der Ladevorgang mit der Taste "$U_L$ aus" beendet. Danach klingt die Spannung am Stoßkondensator langsam ab. Bei Erreichen der geforderten Ladespannung ($U_L$ = 6 kV) wird die Zündfunkenstrecke mit der Taste "Trig." ausgelöst.

### 3.1 Zeitlicher Verlauf des Stoßstroms ohne Prüfling

Die Klemmen zum Anschluss des Prüflings sind kurzzuschließen. Der zeitliche Verlauf des Stoßstroms ist für folgende Beschaltungen aufzuzeichnen ($C_{st}$ = 10 µF):

| **Beschaltung** | **$U_L$ (kV)** | **$R_a$ (Ω)** | **$L_a$** |
|---|---|---|---|
| 1 | 6 | 1,5 + 0,47 | Zusatzinduktivität |
| 2 | 6 | 0,47 | Zusatzinduktivität |
| 3 | 6 | 0 (Kurzschluss) | Zusatzinduktivität |
| 4 | 6 | 0 (Kurzschluss) | 0 (Kurzschluss) |

Der Stoßstrom wird mit einem Strommonitor "Pearson Model 101" gemessen. Am Ende des Messkabels ist ein "20 dB Attenuator" (Übersetzungsverhältnis 10:1) einzufügen. Der "20 dB Attenuator" muss mit einem 50 Ω Widerstand abgeschlossen werden. Für die Gesamt-Messstrecke gilt folgendes Übersetzungsverhältnis:

$u_M = i / 2000.$

## 3.2 Prüfung von Bauelementen

Mit einem Stoßstrom 8/20 (VDE 0432 Teil 1) ist die Stromtragfähigkeit von Bauelementen zur Überspannungsbegrenzung zu prüfen. Hierzu wird der Generator in Beschaltung 2 verwendet. Die Ladespannung $U_L$ so einzustellen, dass sich im Prüfling ein Stoßstrom mit einem Scheitelwert $\hat{i}$ = 5 kA ergibt. Der zeitliche Verlauf des Stoßstroms ist jeweils aufzuzeichnen.

**1. Prüfling:** Gleitentladungsableiter
**2. Prüfling:** edelgasgefüllter Überspannungsableiter ÜsAgC90
**3. Prüfling:** Varistor B 32 K 230
**4. Prüfling:** Zenerdiode ZPD 10
**5. Prüfling:** Veroboard-Leiterplatte mit ÜsAgC90

# 4. Auswertung

4.1 Für die unter 3.1 gemessenen Stromverläufe sind $\hat{i}$, $\int |i|dt$, $\int i^2 dt$ und $(di/dt)_{max}$ aus den Diagrammen zu ermitteln und tabellarisch zusammenzustellen.

Warum werden Stoßkreise mit aperiodischem Stromverlauf in der Praxis selten verwendet?

4.2 Für die Beschaltung 4 unter 3.1 sind $R_i$ und $L_i$, für die Beschaltung 3 unter 3.1 $L_a$ und der Widerstand der Zusatzinduktivität $R_{La}$ zu ermitteln.

4.3 Für die Beschaltung 2 unter 3.1 ist nachzuprüfen, ob der Stromverlauf einen Stoßstrom 8/20 nach VDE 0432 Teil 1 entspricht.

4.4 Die Ergebnisse unter 3.2 sind hinsichtlich der Stromtragfähigkeit der Prüflinge zu beschreiben und zu diskutieren.