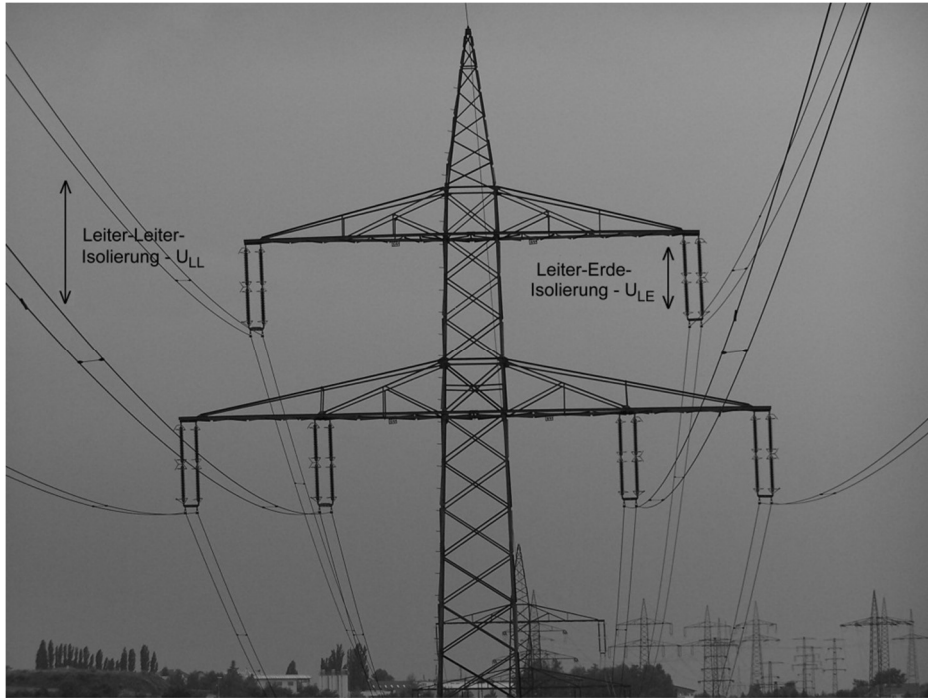


A.E: 4/5/4

A B C



220-kV-Freileitungsmast

1. Isolierung.



Die **Nennspannung** U_n ist "ein geeigneter, gerundeter Spannungswert zur Bezeichnung oder Identifizierung eines Netzes" (EN 60071-1).

Die **Betriebsspannung** U_b in einem Netz schwankt abhängig von Ort und Zeit um die Nennspannung, zulässig nach Standard (DIN EN 50160) ist für die Mittelspannungsebene:

$$U_b = U_n \pm 10\%$$

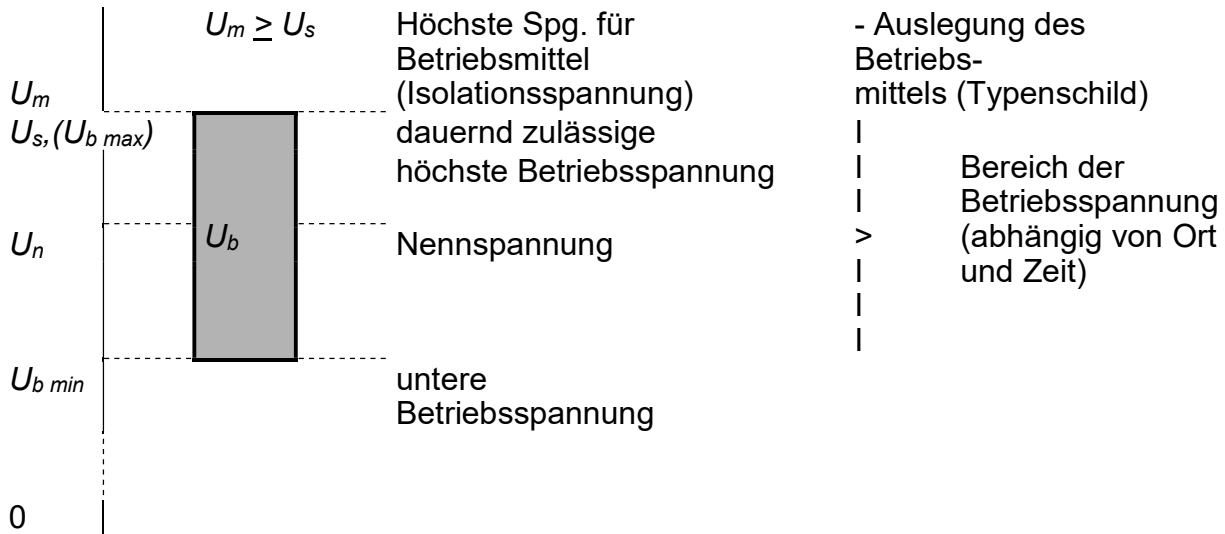
Die **höchste Betriebsspannung** eines Netzes U_s (U_b_{max}) ist der höchste Betriebsspannungswert, der bei Normalbetrieb zu einem beliebigen Zeitpunkt an einem beliebigen Punkt des Netzes auftreten kann (EN 60071-1).

Die **höchste Spannung für ein Betriebsmittel** U_m (früher: **Isolationsspannung**) ist der Effektivwert der Leiter-Leiter-Spannung, für die ein Betriebsmittel zu bemessen ist (EN 60071-1).

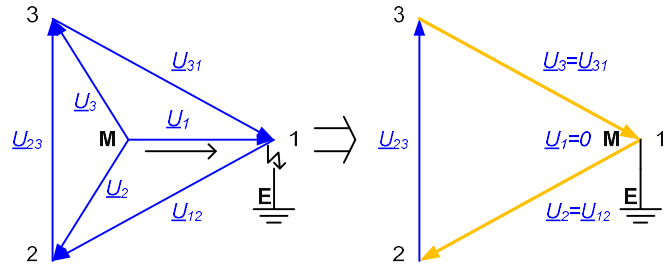
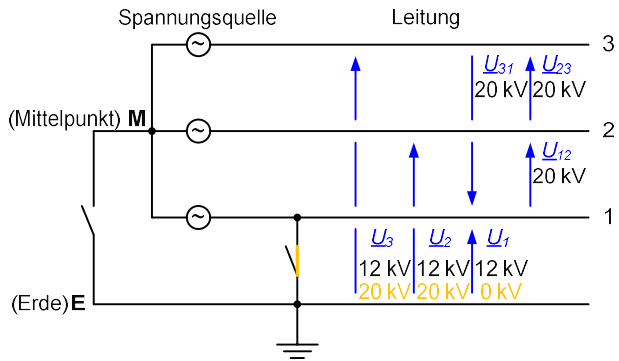
Spannungsdefinitionen

Nennspannung U_n	höchste Spannung für Betriebsmittel U_m	Bezeichnung	Spannungsbereich
400 V (230 V)	-	Niederspannung - NS (low-voltage - LV)	$U_n \leq 1\text{kV}$
10 kV	12 kV	Mittelspannung - MS (medium-voltage - MV)	$1\text{ kV} \leq U_n \leq 60\text{ kV}$
20 kV	24 kV		
30 kV	36 kV		
110 kV	123 kV	Hochspannung - HS (high-voltage - HV)	$60\text{ kV} \leq U_n \leq 150\text{ kV}$
220 kV	245 kV	Höchstspannung - HöS (extra-high-voltage - EHV)	$U_n > 150\text{ kV}$
380 kV	420 kV		

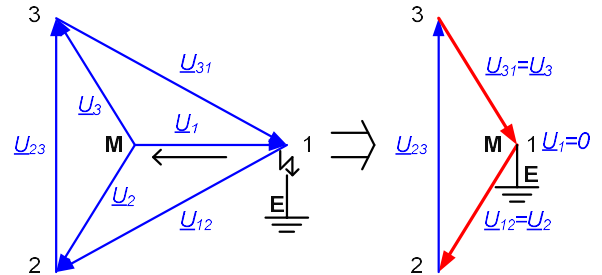
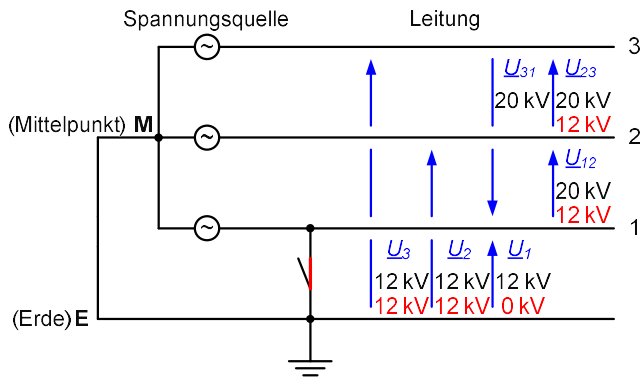
Nennspannungen U_n und höchste Spannungen für Betriebsmittel U_m in D



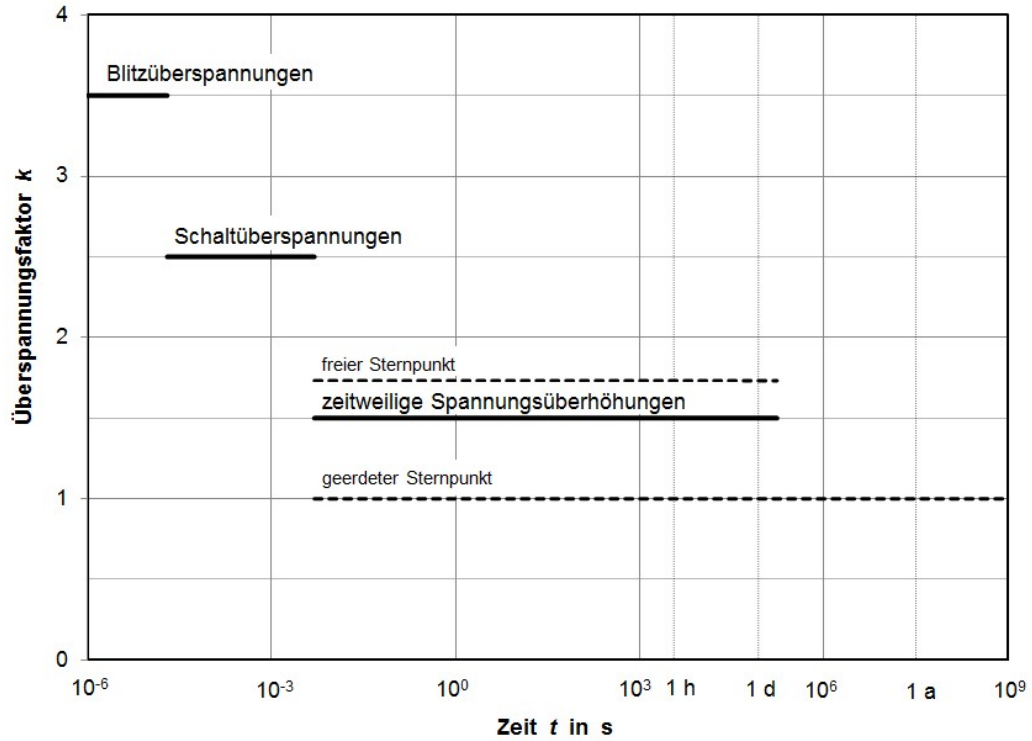
Definition der Betriebsspannung



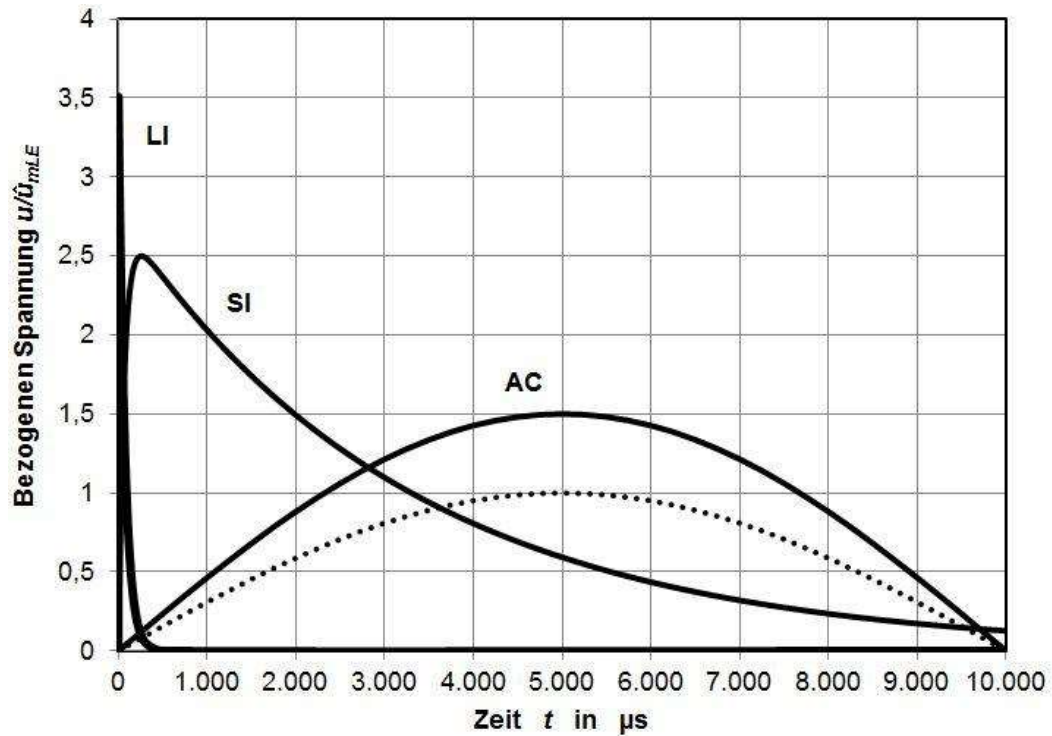
Einpoliger Erdschluss



Einpoliger Erdkurzschluss



Überspannungsfaktoren



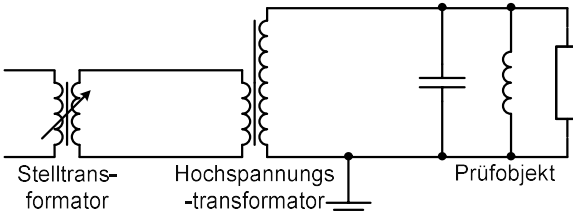
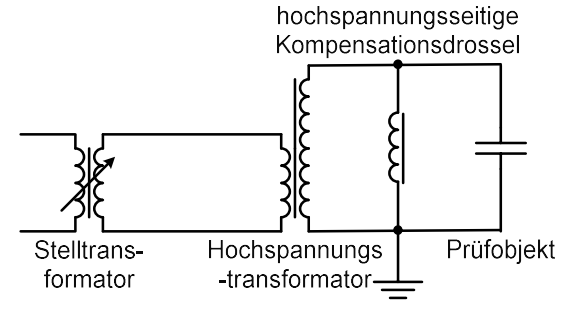
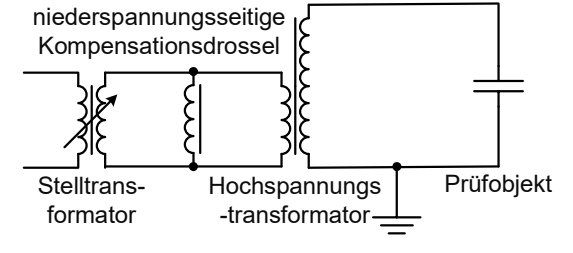
Vergleich der Spannungsformen bzgl. Zeitparameter und Überspannungsfaktoren bezogen auf \hat{u}_{mLE}

Nennspannung eines Netzes U_n , z.B.	20 kV	110 kV
Höchste Betriebsspg. eines Netzes U_s ; $U_s \leq U_m$	24 kV	123 kV
Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m	24 kV	123 kV
Stationärer Bezugswert der Leiter-Leiter-Spg.:		
Effektivwert $U_{LL} = U_m$	24 kV	123 kV
Scheitelwert $\hat{u}_{LL} = U_m \sqrt{2}$	34 kV	174 kV
Stationärer Bezugswert der Leiter-Erde-Spg.:		
Effektivwert $U_{LE} = U_m / \sqrt{3}$	14 kV	71 kV
Scheitelwert $\hat{u}_{LE} = U_m \sqrt{2} / \sqrt{3}$	20 kV	100 kV
Bemessungs-Kurzzeit-Wechselspannung:		
(Leiter-Erde-)Effektivwert U_{rW}	50 kV	(185 kV) 230 kV
(Leiter-Erde-)Scheitelwert $\hat{u}_{rW} = U_{rW} \sqrt{2}$	71 kV	(262 kV) 325 kV
Bemessungs-Blitzstoßspannung U_{rB} (Leiter-Erde-Scheitelwert)	95 kV 125 kV 145 kV	450 kV 550 kV

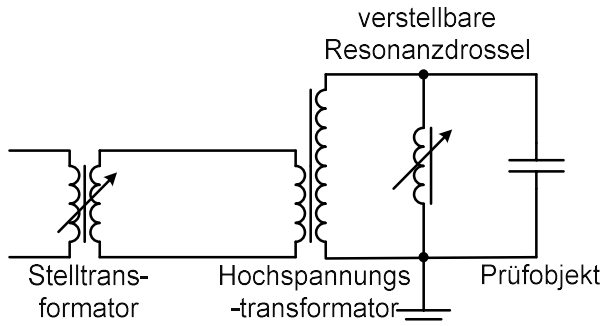
Bemessungsspannungen (Beispiele)

Höchste Spannung für Betriebsmittel (Effektivwert)	Bezugs- spannung (Scheitelwert)	Bemessungs- Kurzzeit- Wechselspg. (Effektivwert)	Bemessungs- Schaltstoßspg. (Scheitelwert)	Bemessungs- Blitzstoßspg. (Scheitelwert)
U_m	\hat{u}_{mLE}	U_{rW}	U_{rS}	U_{rB}
kV	kV	kV	kV	kV
50 Hz			250/2500	1,2/50
24	20	50	-	125
300	245	-	750	850

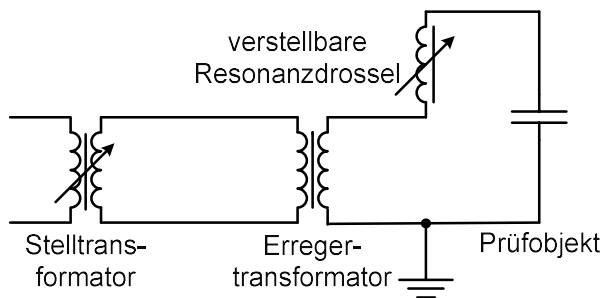
Leiter-Erde-Prüfspannungen für elektrische Betriebsmittel nach DIN EN 60071-1

Wechselspannungs-Prüfsystem	Anwendung
 <p>Stelltransformator Hochspannungs-transformator Prüfobjekt</p>	universelle Prüfungen Koronaprüfungen Regenprüfungen Verschmutzungsprüfungen
 <p>Stelltransformator Hochspannungs-transformator Prüfobjekt</p> <p>hochspannungsseitige Kompensationsdrossel</p>	kapazitive Prüfobjekte Kabel Kondensatoren Schaltanlagen
 <p>Stelltransformator Hochspannungs-transformator Prüfobjekt</p> <p>niederspannungsseitige Kompensationsdrossel</p>	

Wechselspannungs-Prüfsysteme mit Transformatoren



Parallelresonanzkreis



Reihenresonanzkreis

**Kabel
Kondensatoren
Schaltanlagen
kapazitive Prüfobjekte**

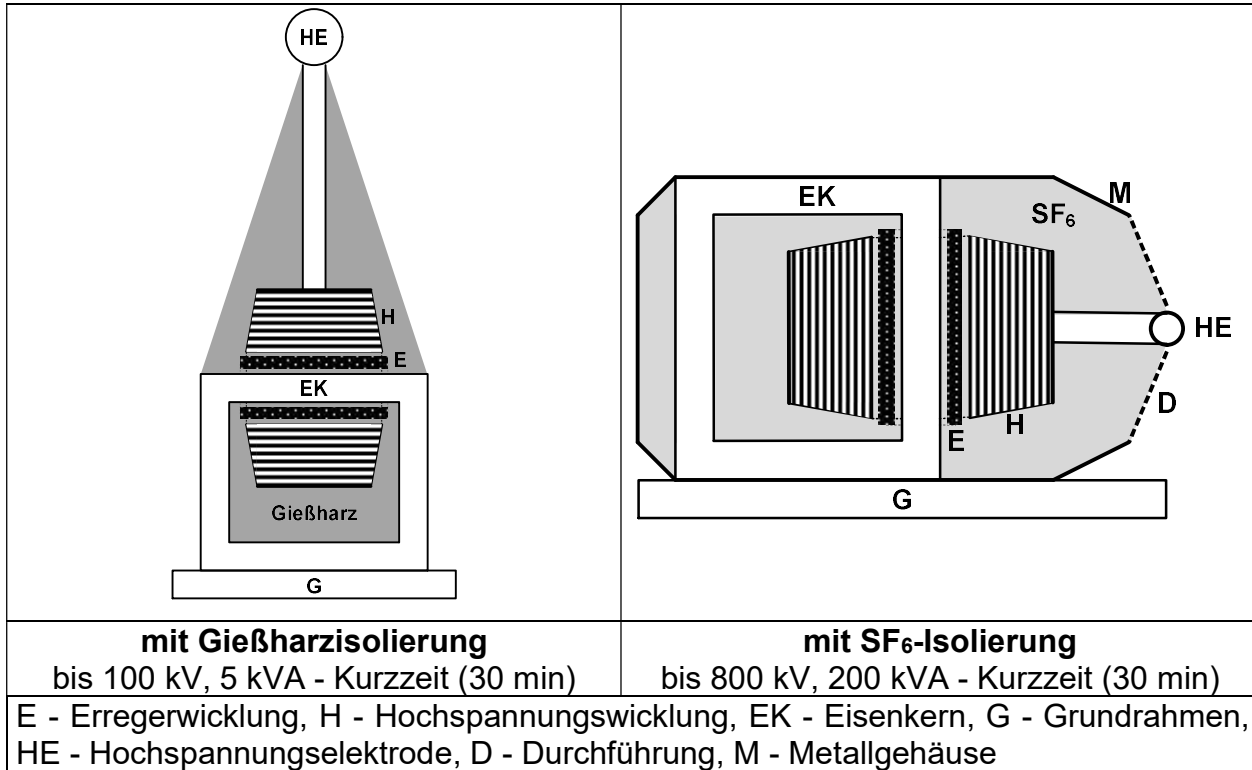
Resonanzbedingung:

$$2 \pi f L = \frac{1}{2 \pi f C}$$

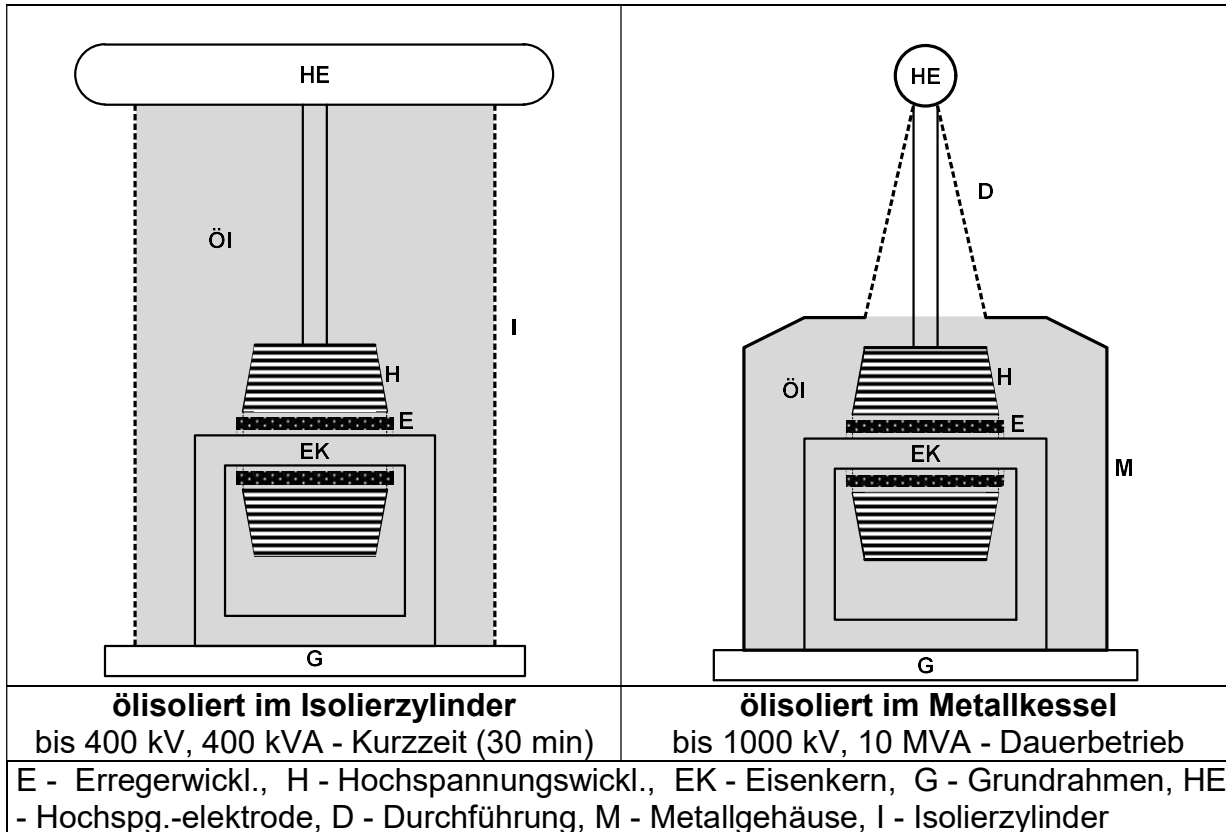
Abstimmbedingung:

$$L = \frac{1}{(2 \pi f)^2} \cdot \frac{1}{C}$$

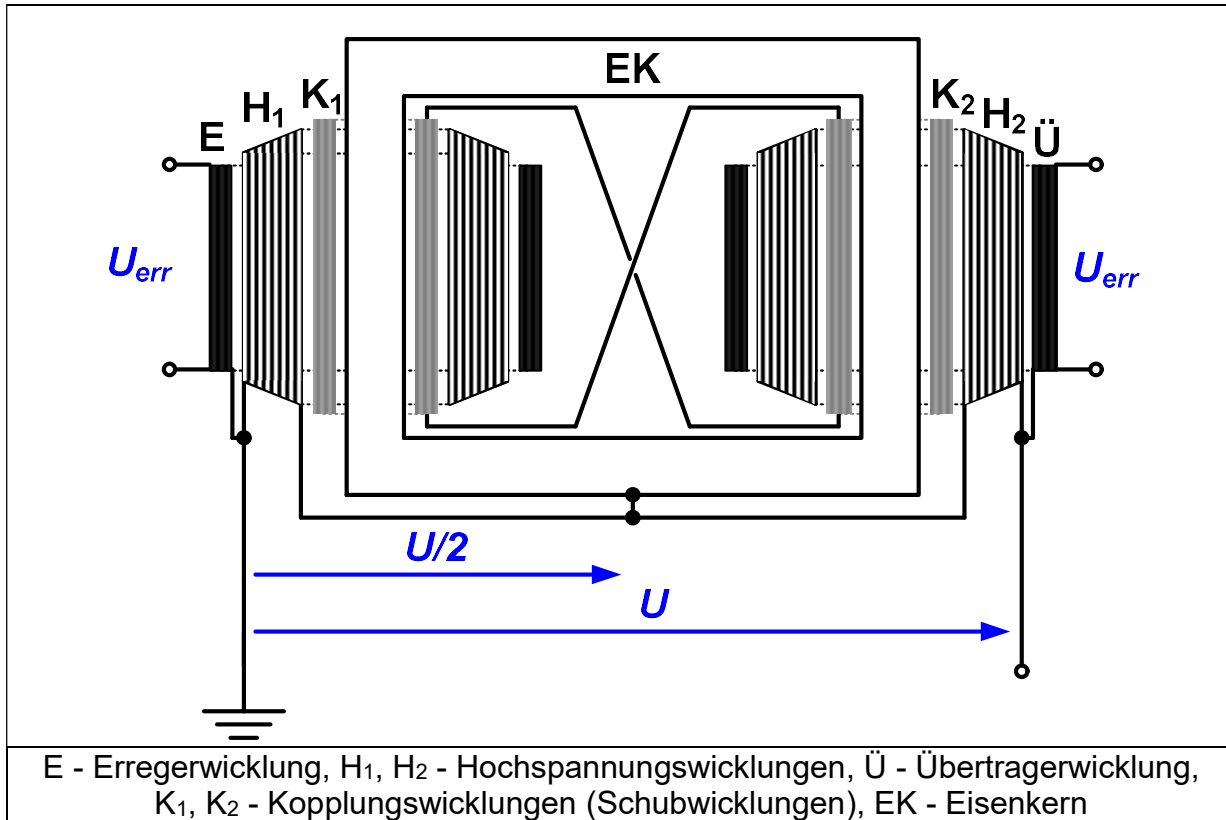
Wechselspannungs-Prüfsysteme als Resonanzkreise



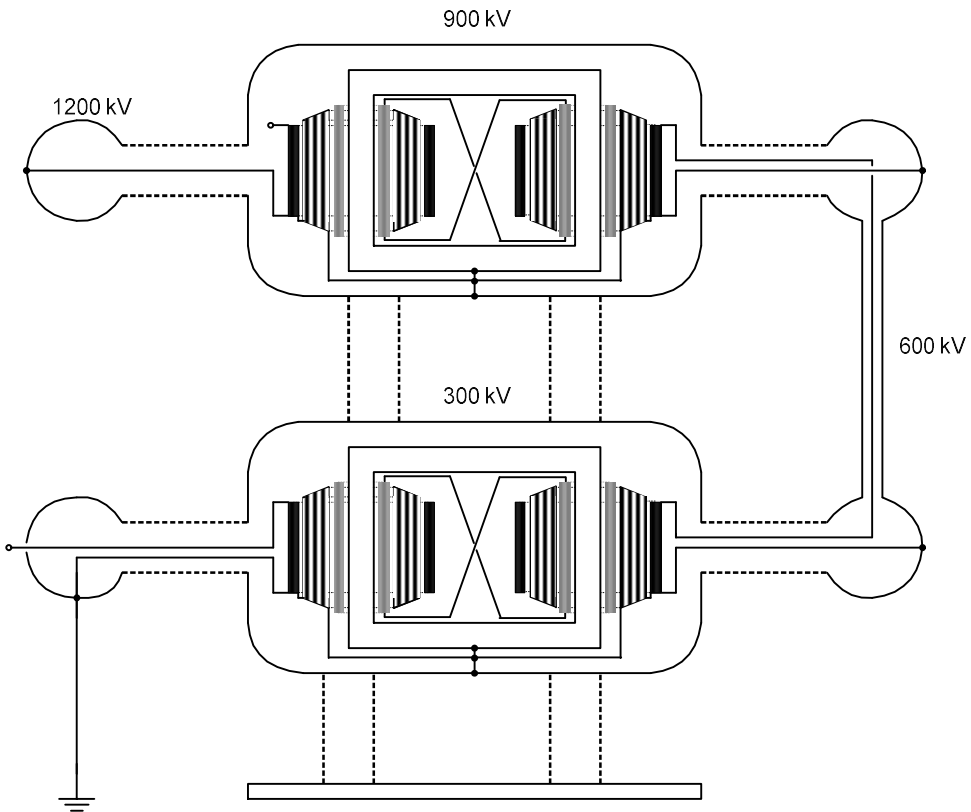
Bauformen von Hochspannungstransformatoren mit Feststoff- und SF₆-Isolierung



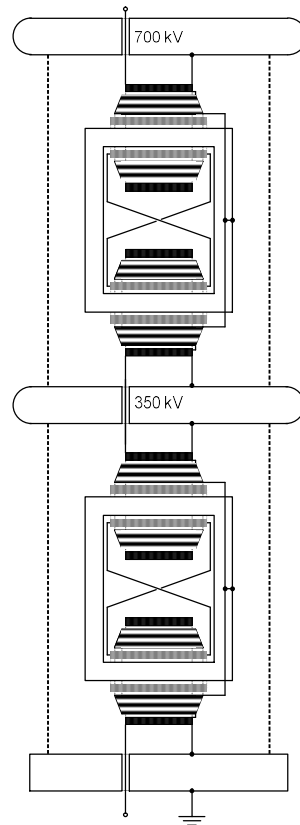
Bauformen von Hochspannungstransformatoren mit Ölisolierung



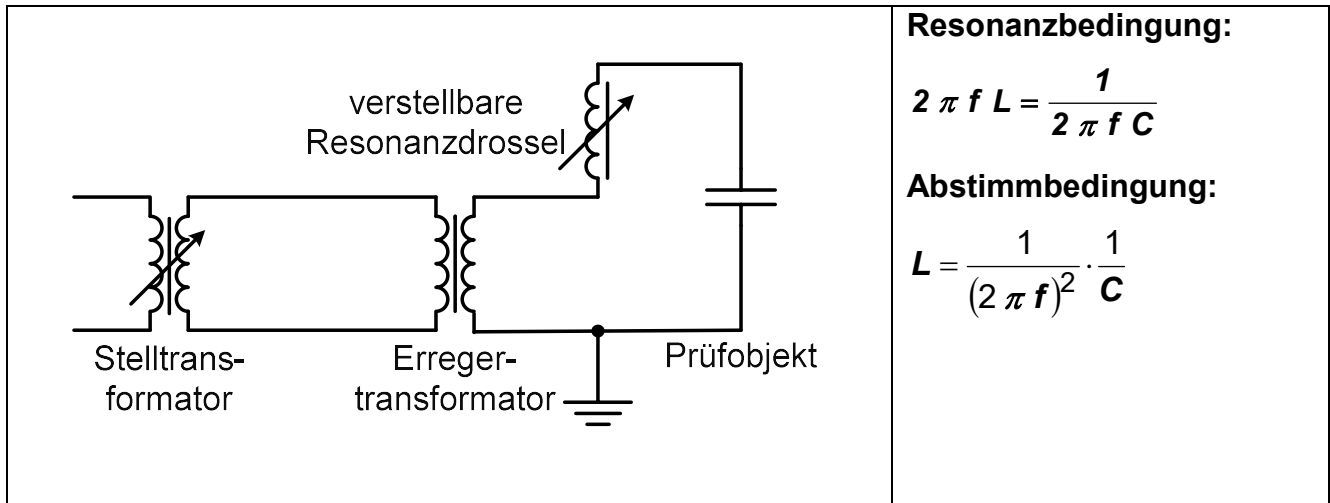
Hochspannungstransformator für Kaskadenschaltung (zwei Durchführungen)



1,2-MV-Wechselspannungs-Prüfkaskade



700-kV-Wechselspannungs-Prüfkaskade



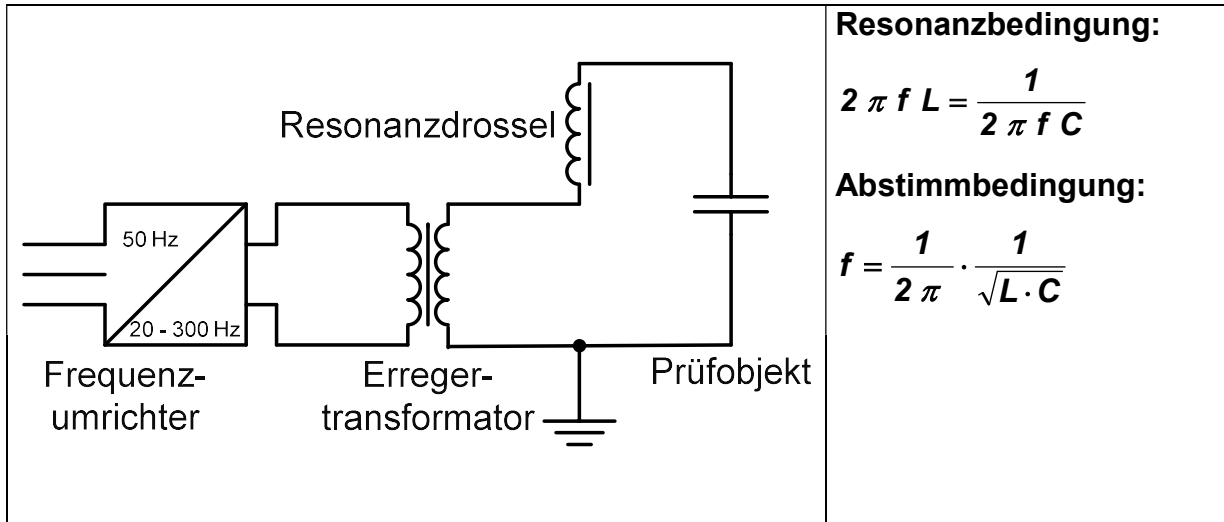
Resonanzbedingung:

$$2 \pi f L = \frac{1}{2 \pi f C}$$

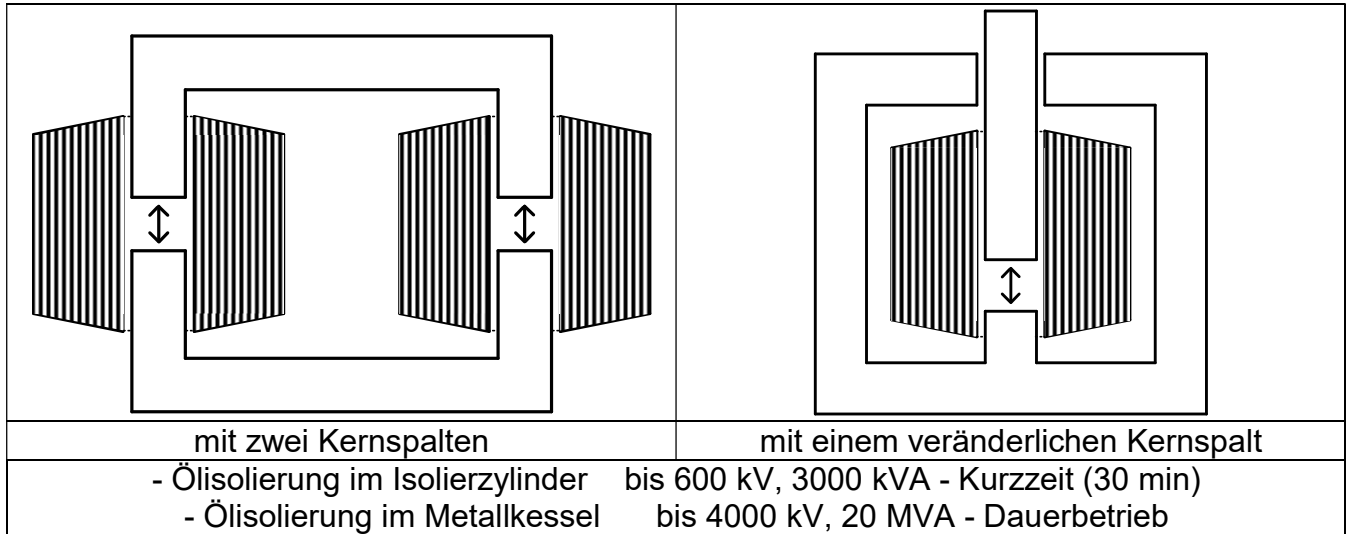
Abstimmbedingung:

$$L = \frac{1}{(2 \pi f)^2} \cdot \frac{1}{C}$$

Reihenresonanzkreis mit verstellbarer Resonanzdrossel



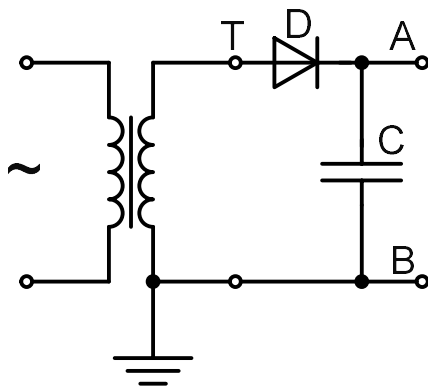
Reihenresonanzkreis mit Frequenzabstimmung



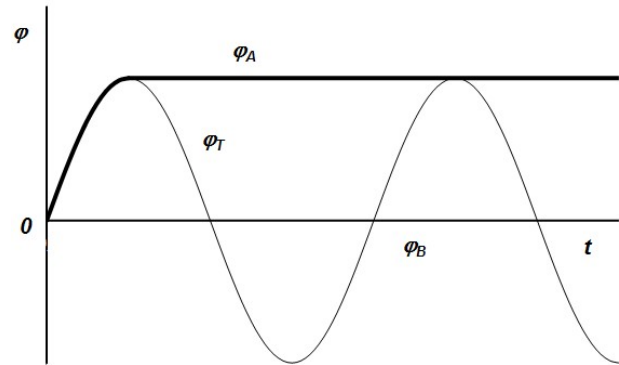
Bauformen von Resonanzdrosseln mit verstellbarer Induktivität

<p>Hochspannungselektrode Durchführung Stahlkessel Eisenkern Öl</p>	<p>Hochspannungselektrode Isolierzylinder Stabkern Öl</p>	<p>Scheibendurchführung Druckgefäß Isolierrohr SF₆</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Mantelkern mit Ölisolierung im Metallkessel - bis 400 kV, 20 MVA - Dauerbetrieb 	<ul style="list-style-type: none"> - Stabkern mit Ölisolierung im Isolierzylinder - bis 200 kV, 1000 kVA - Kurzzeitbetrieb (30 min) 	<ul style="list-style-type: none"> - Luftspulen mit SF₆- Isolierung - bis 700 kV, 1000 kVA - Kurzzeitbetrieb

Bauformen von Resonanzdrosseln mit fester Induktivität

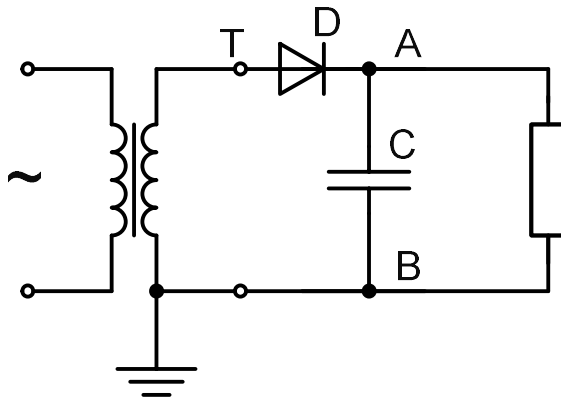


Schaltung

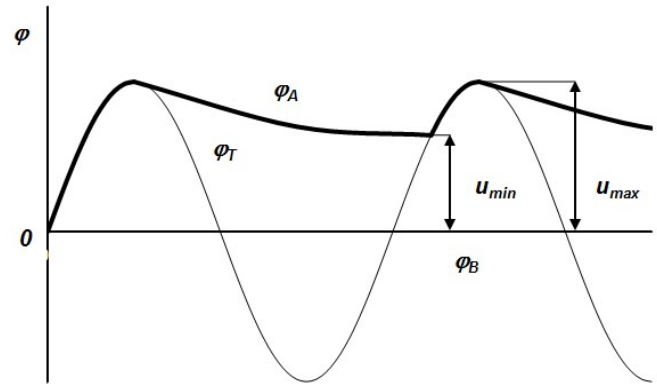


Potentialdiagramm

Einweggleichrichterschaltung (leerlaufend)

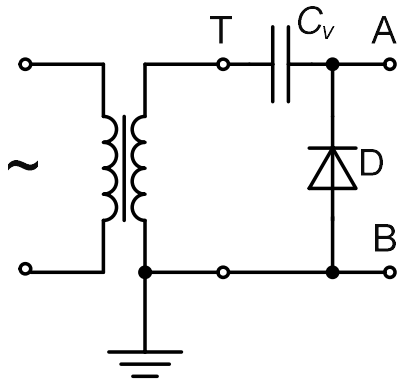


Schaltung

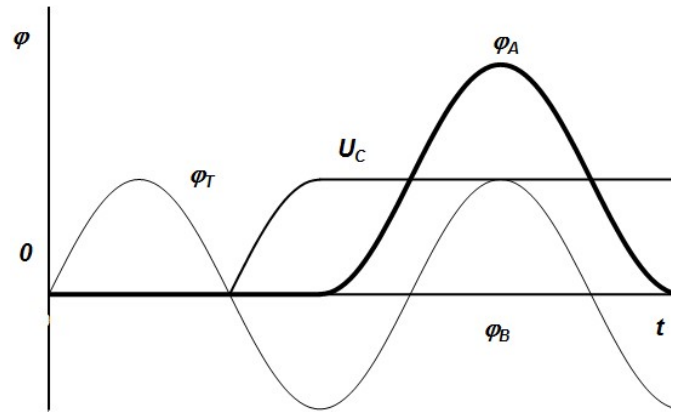


Potentialdiagramm

Einweggleichrichterschaltung mit Last

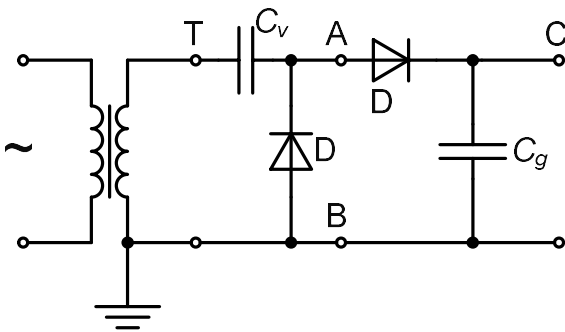


Schaltung

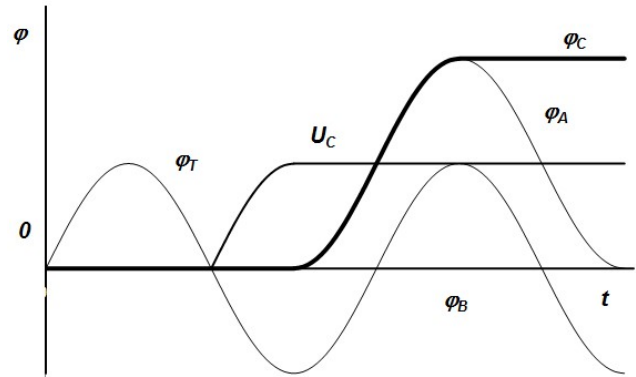


Potentialdiagramm

Villard-Schaltung

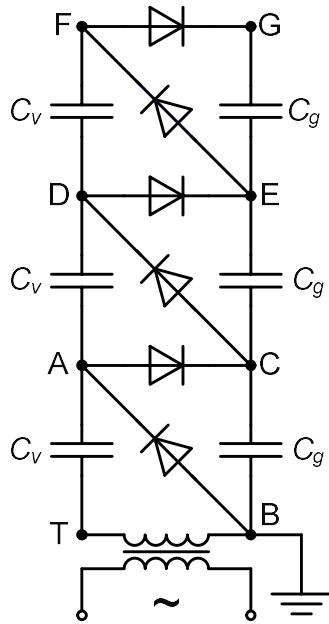


Schaltung

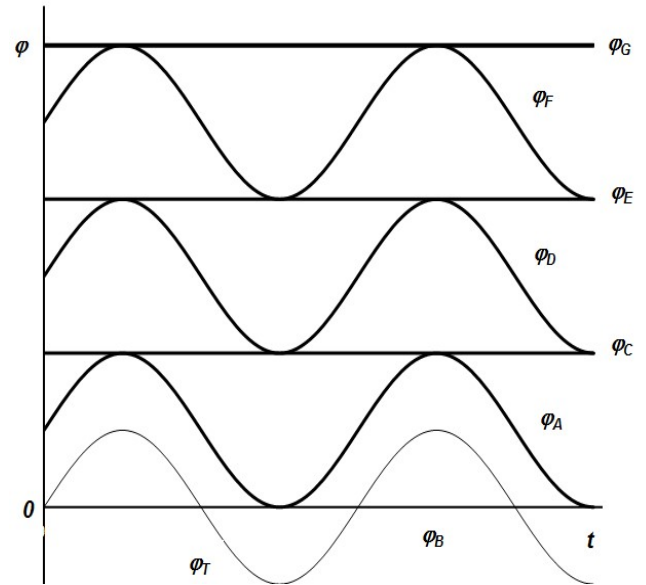


Potentialdiagramm

Greinacher-Schaltung



Schaltung



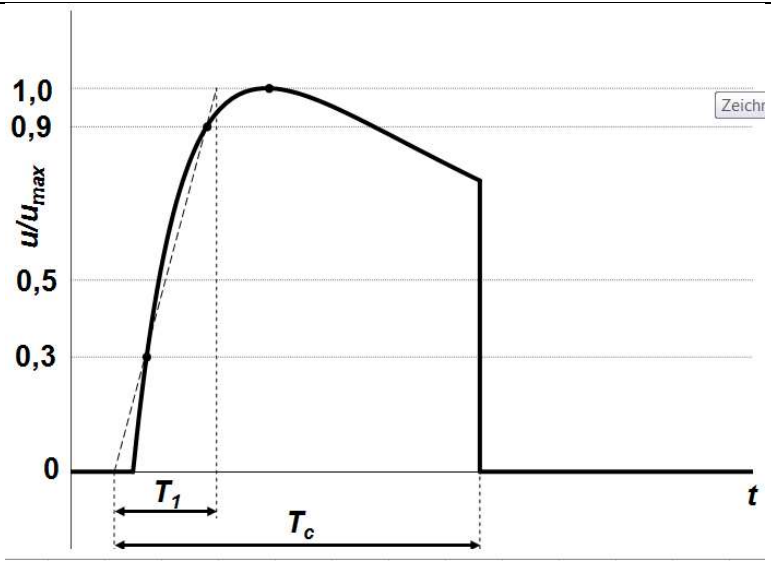
Potentialdiagramm

Greinacher-Villard-Kaskadenschaltungen (Cockcroft-Walton-Circuitry)

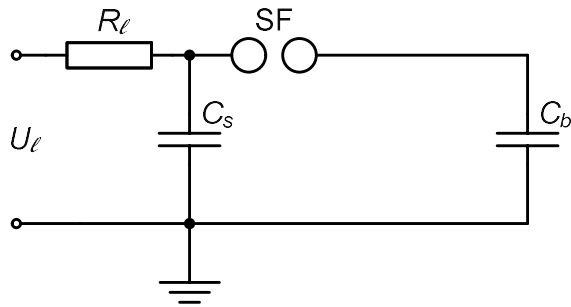
	Blitz-Stoßspannung Lightning Impulse Voltage, LI Anstiegszeit < 20 μs	Schalt-Stoßspannung Switching Impulse Voltage, SI Anstiegszeit > 20 μs
Standard	IEC 60060-1	
	LI 1,2/50	SI 250/2500
Stirnzeit T_1 Front time	1,2 $\mu\text{s} \pm 30\%$	
Scheitelzeit T_1 Time to peak		250 $\mu\text{s} \pm 20\%$
Rückenhalfwertzeit T_2, Time to half value	50 $\mu\text{s} \pm 20\%$	2500 $\mu\text{s} \pm 60\%$

Standardisierte Stoßspannungen (Impulsspannungen; Impulse voltages)

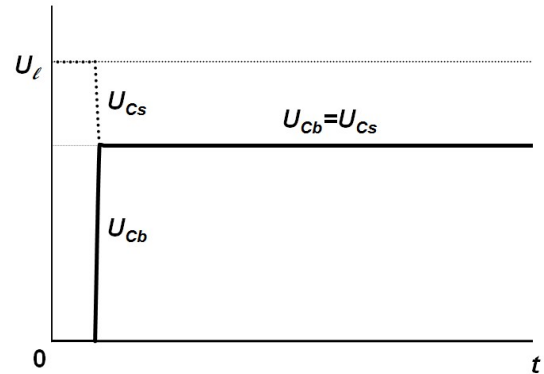
Erfolgt ein Durchschlag der Isolierung oder einer speziell dafür vorgesehenen **Abschneideeinrichtung**, erhält man eine abgeschnittene Blitzspannung. Man bezeichnet die Zeit vom Nennbeginn der Blitzprüfspannung bis zum Durchschlag als **Abschneidezeit T_c** .



Abgeschnittene Blitzstoßspannung



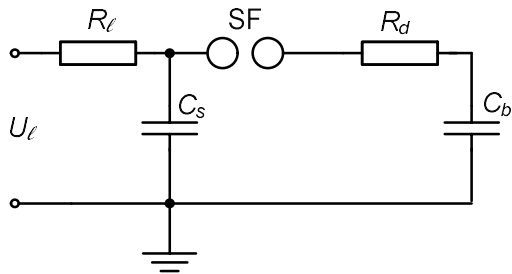
Schaltung



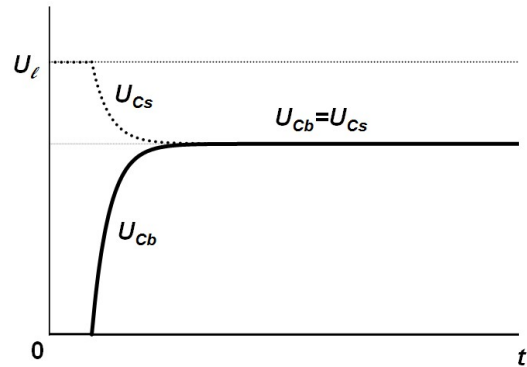
Potentialdiagramm

- R_ℓ - **Ladewiderstand**, charging resistor
- C_s - **Stoßkapazität**, impulse capacitance
- C_b - **Belastungskapazität**, load capacitance
- U_ℓ - **Ladespannung** der Stoßkapazität, charging voltage
- SF - **Schalt-(Kugel -)Funkenstrecke**, switching sphere gap

Erzeugung von Blitzstoßspannung I



Schaltung



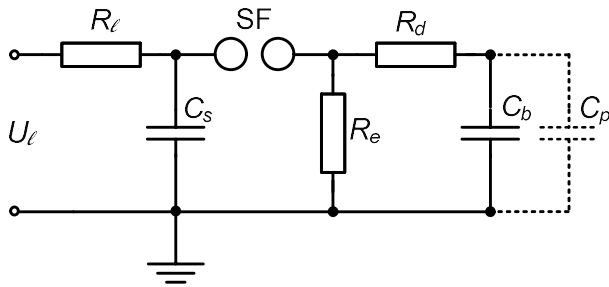
Potentialdiagramm

R_d - Dämpfungswiderstand, Front resistor, series resistor

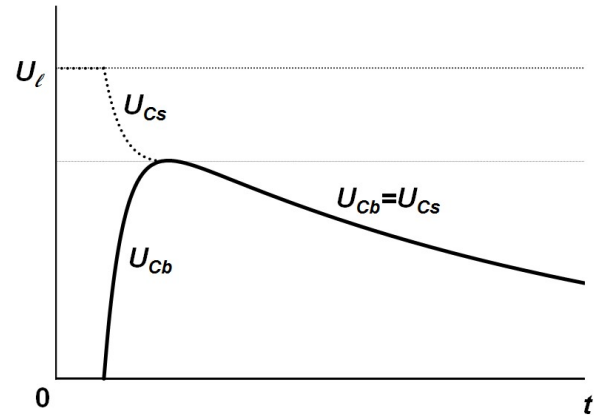
Stirnzeitkonstante

$$\tau_s \approx R_d \cdot C_b$$

Erzeugung von Blitzstoßspannung II



Schaltung



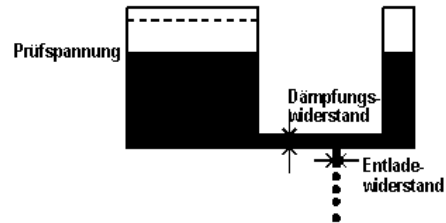
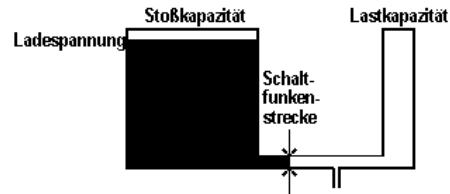
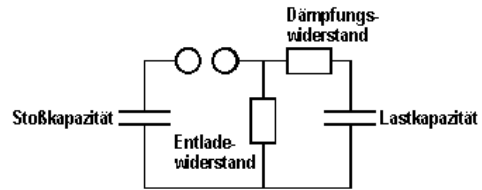
Potentialdiagramm

R_e - Entladewiderstand, tail resistor, parallel resistor

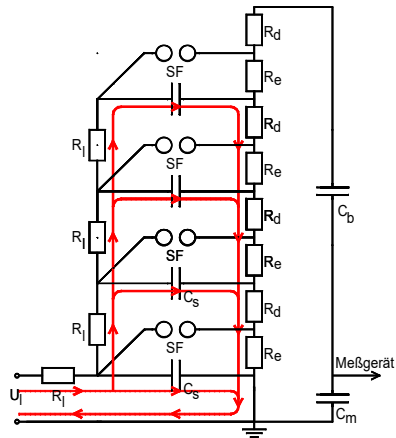
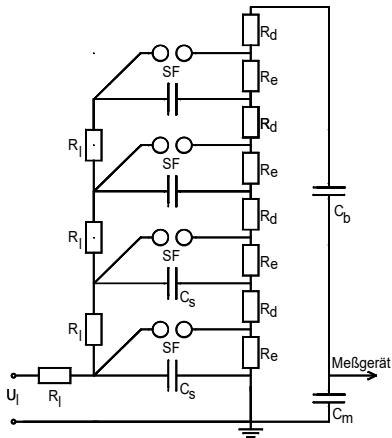
Rückzeitkonstante $\tau_r \approx R_e \cdot C_s$

C_p - Kapazität des Prüfobjekts, test object capacitance

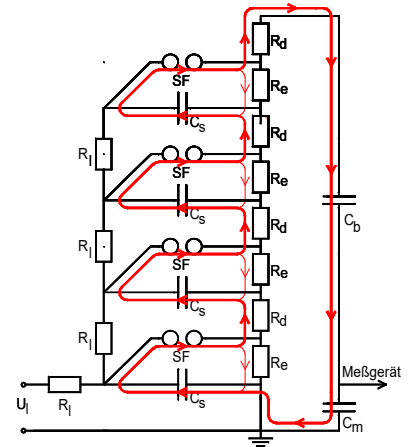
Erzeugung von Blitzstoßspannung III



Modell für Stoßkreis

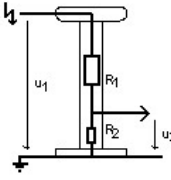
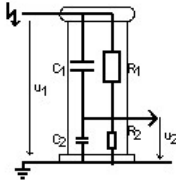
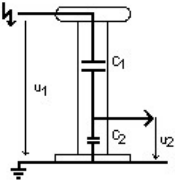
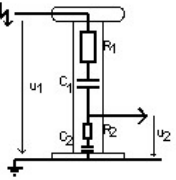
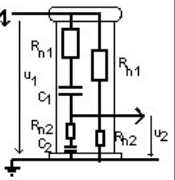
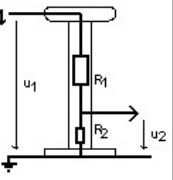


parallele Aufladung



serielle Entladung

MARX'sche Vervielfacherschaltung

		Spannungsteilerart					
							
Spannungsart	Ohmscher Gleichspannungsteiler	Gemischter ohmsch-kapazitiver Spannungsteiler	Kapazitiver Spannungsteiler	Gedämpfter kapazitiver Spannungsteiler	Universalteiler	Ohmscher Impulsspannungsteiler	
	Richtwerte für den Hochspannungswiderstand R_1 / die Hochspannungskapazität C_1 für 1 MV-Teiler						
	$R_1 - 1 \text{ G}\Omega$	$R_1 - 1 \text{ G}\Omega$, $C_1 - 200 \text{ pF}$	$C_1 - 200 \text{ pF}$	$R_1 - 500 \text{ }\Omega$ $C_1 - 200 \text{ pF}$	$R_{1h} - 1 \text{ G}\Omega$, $R_{1n} - 500 \text{ }\Omega$ $C_1 - 200 \text{ pF}$	$R_1 - 10 \text{ k}\Omega$	
DC	X	X			X		
AC (50 Hz)		X	X	X	X		
SI (250/2500)		(X)	(X)	X	X		
LI 1,2/50				X	X	X	
Chopped LI				(X)	(X)	X	

X – geeignet, (X) – begrenzt geeignet

Systematisierung der Spannungsteiler