
TEHNIKA VISOKOG NAPONA

3+0

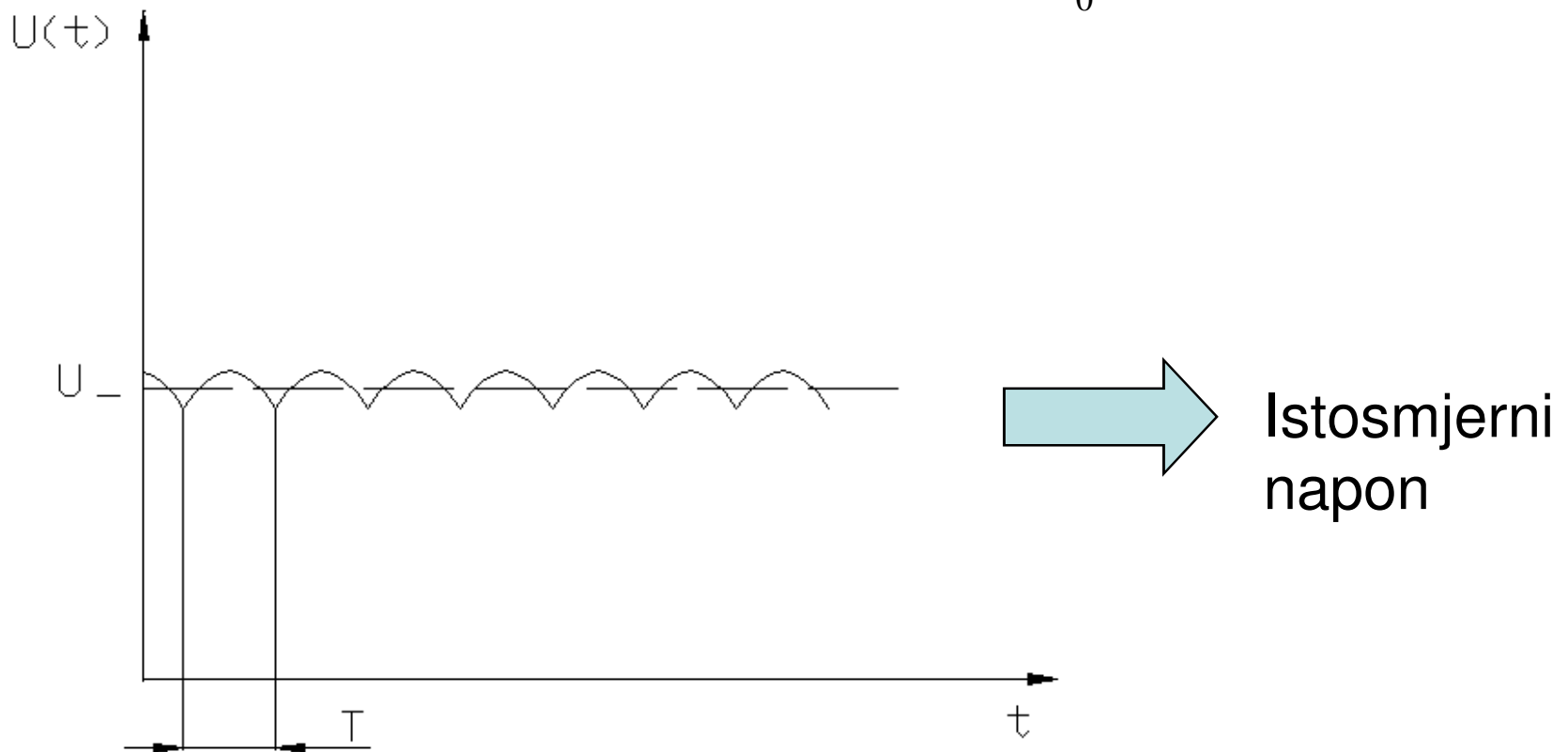
http://www.fer.hr/predmet/tvn_a

Nositelj:	Prof.dr.sc. Ivo Uglešić, dipl.ing.	D236
Suradnici:	Doc.dr.sc. Viktor Milardić, dipl.ing	D246
	Dr.sc. Milivoj Mandić, dipl.ing.	D206
	Božidar Filipović-Grčić, dipl.ing.	D206
	Boško Milešević, dipl.ing	D206

Proizvodnja visokog istosmjernog napona

□ Karakteristične veličine:

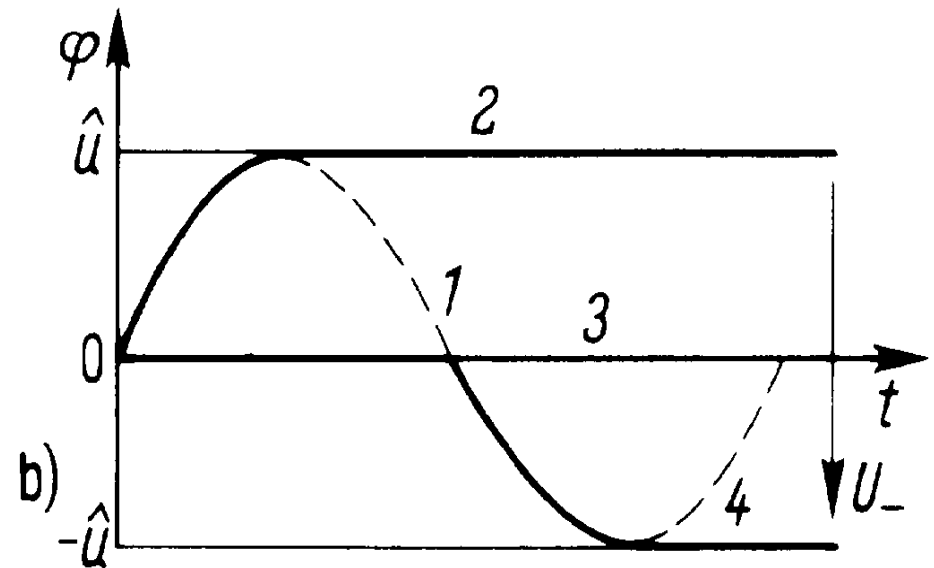
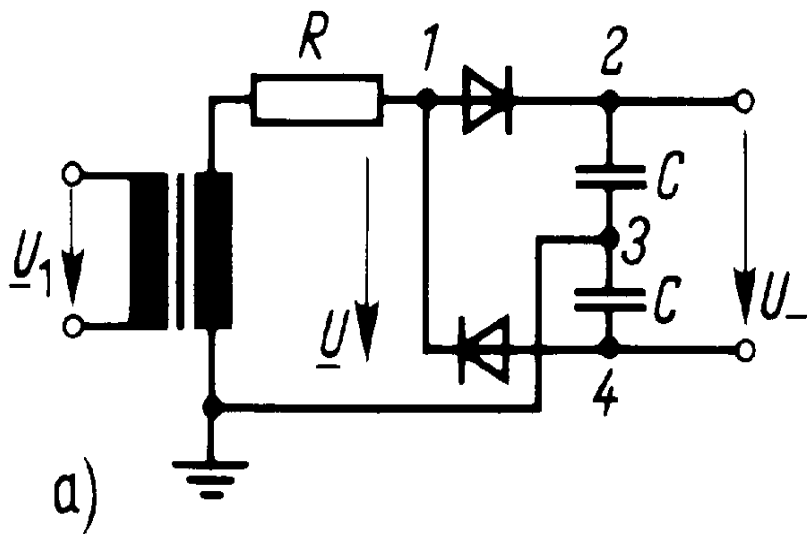
➤ Srednja vrijednost napona: $\bar{u} = U_{-} = \frac{1}{T} \int_0^T u dt$



Dozvoljeno je odstupanje od srednje vrijednosti do 5%.

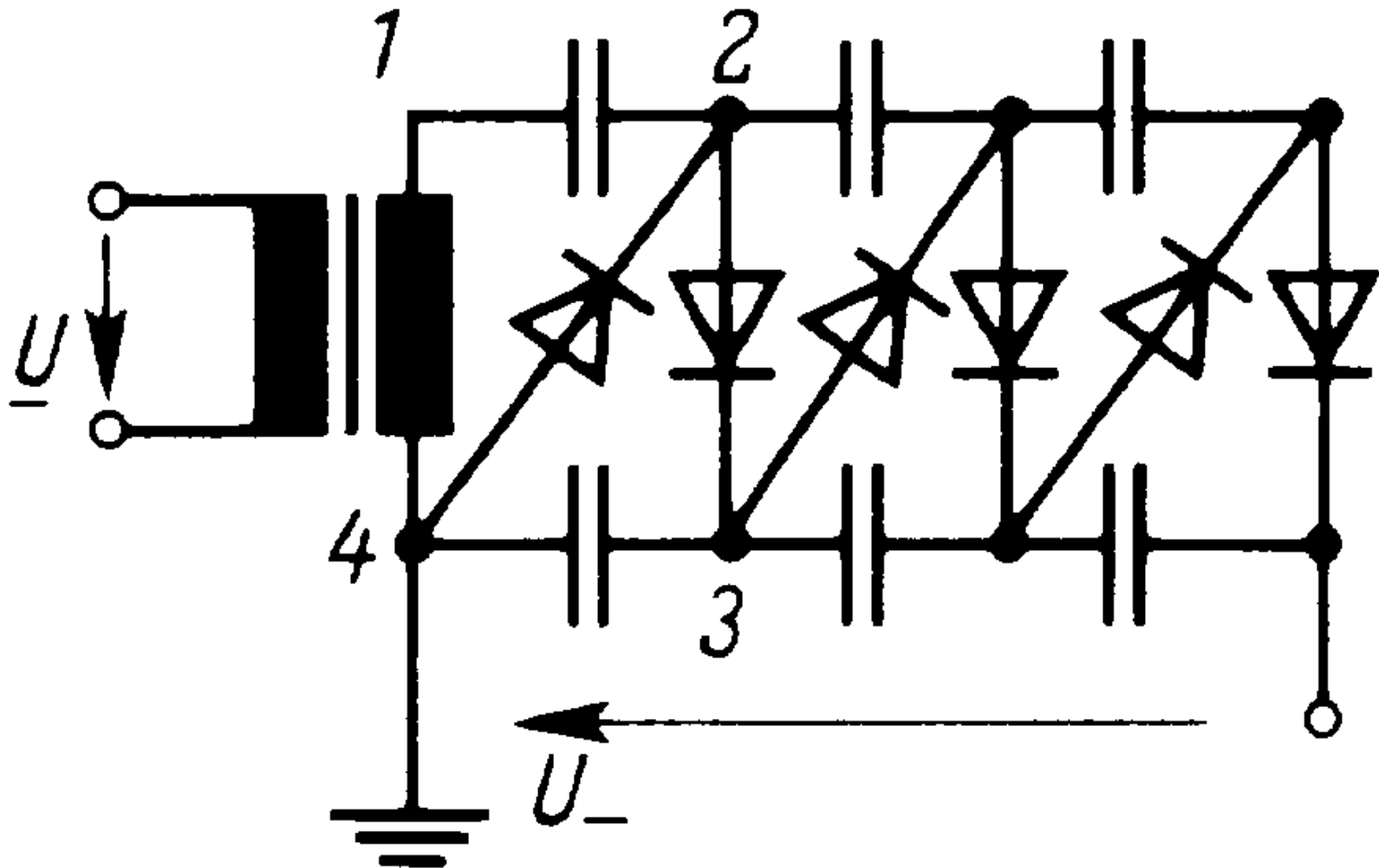
Proizvodnja visokog istosmjernog napona

➤ Višestruki istosmjerni napon



Spoj za proizvodnju istosmjernog napona

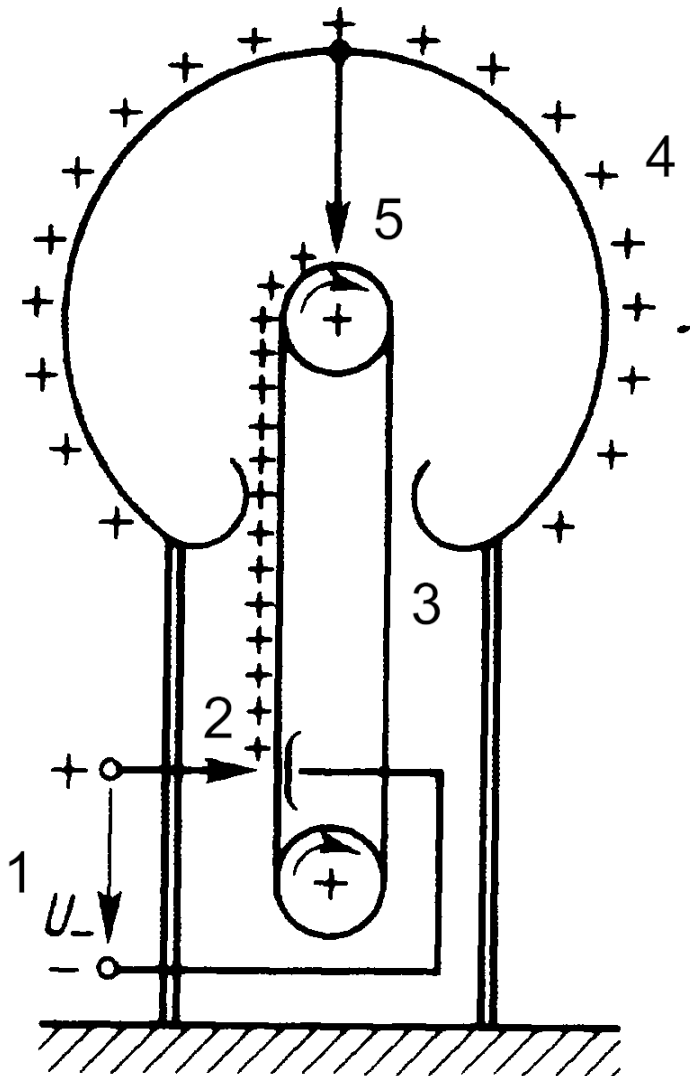
Proizvodnja visokog istosmjernog napona



Istosmjerne kaskade za višestruki istosmjerni napon

Proizvodnja visokog istosmjernog napona

➤ Elektrostatski generator



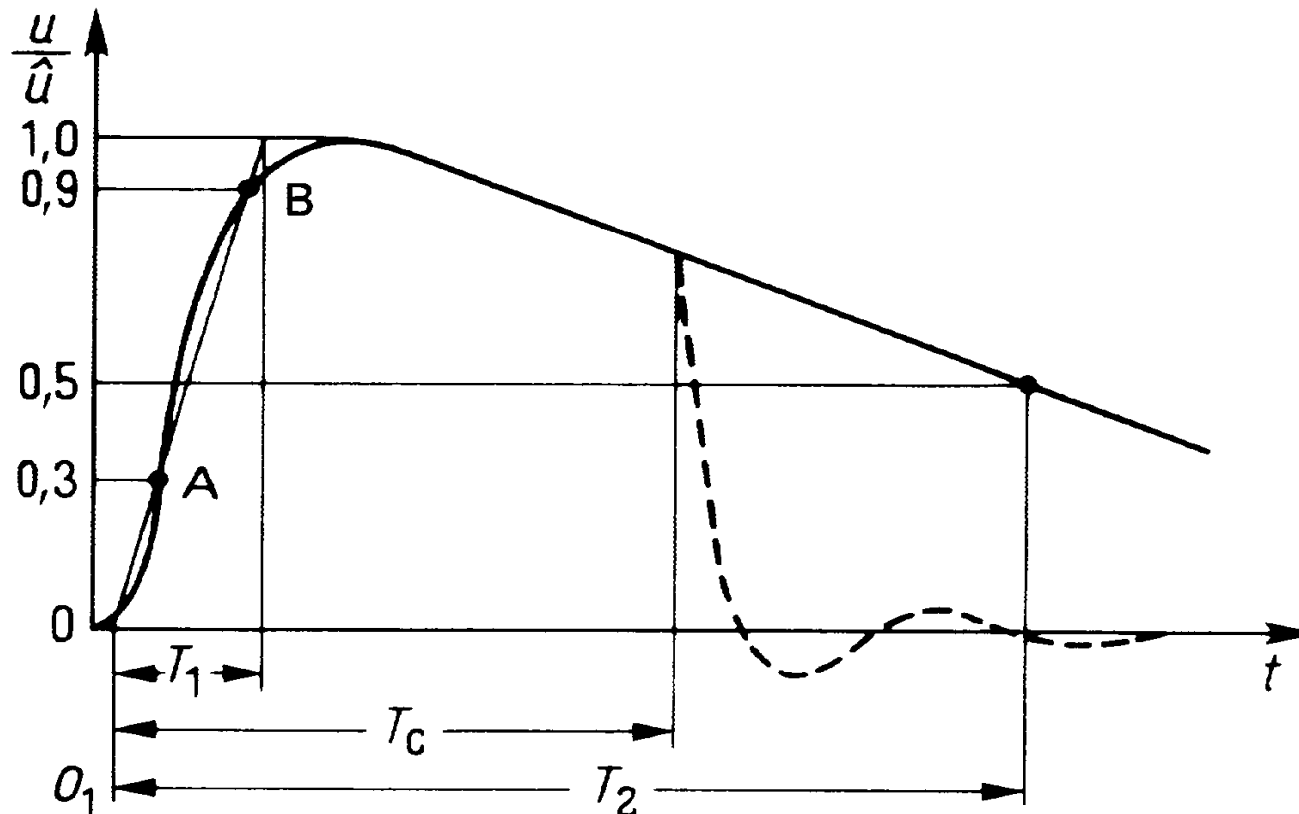
Van de Graaff-ov generator:

1. istosmjerni izvor
2. šiljci kojima se naboji dovode na izolacionu traku
3. izolacione trake koje se okreću na valjcima
4. kugle koje sakupljaju naboj
5. šiljci koji s trake prenose naboje na kugle

Udarni naponi

- Vrlo kratki visoki napon
 - Atmosferskog ili sklopnog podrijetla
- Višestruko prelazi vrijednost pogonskog napona
 - Može uzrokovati oštećenja na opremi
- Proizvodi se u VN laboratorijima u svrhu ispitivanja opreme
 - Standardiziranog oblika i trajanja

Udarni naponi – karakteristične veličine



- Karakteristične veličine:
- tjemena vrijednost: \hat{u}
 - vrijeme trajanja čela: T_1
 - vrijeme pada hrbata na 50 % \hat{u} : T_2

Udarni naponi – karakteristične veličine

Atmosferski udarni napon

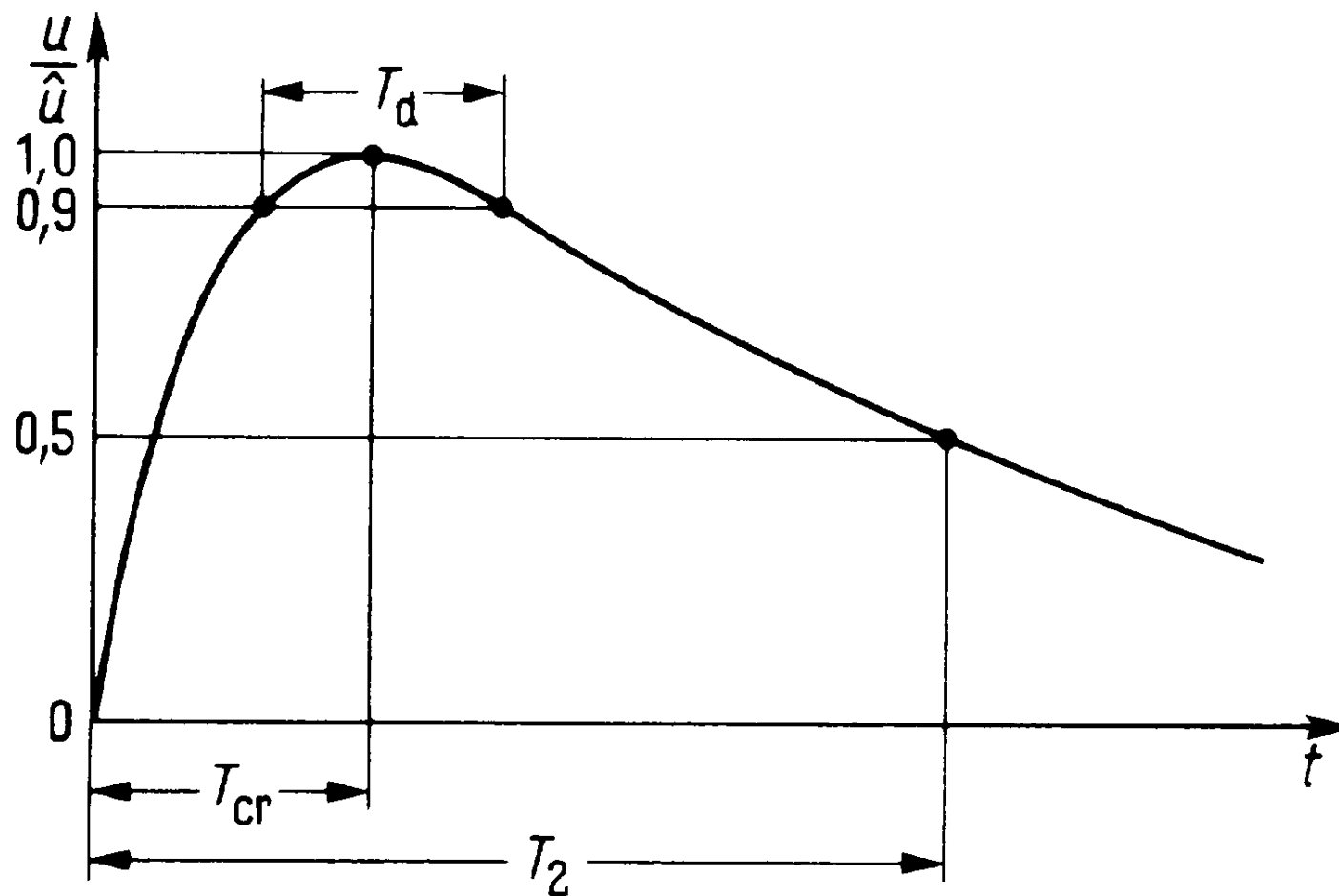
- Uobičajeni udarni napon $1.2/50$, vrijeme trajanja čela $T_1 = 1.2 \mu s (\pm 30\%)$ i polovice hrbata $T_2 = 50 \mu s (\pm 20\%)$.

Sklopni udarni napon

- Vrijeme do maksimuma napona T_{cr} (time to crest)
- Polovica vremena trajanja hrbata T_2
- Vrijeme trajanja maksimuma T_d

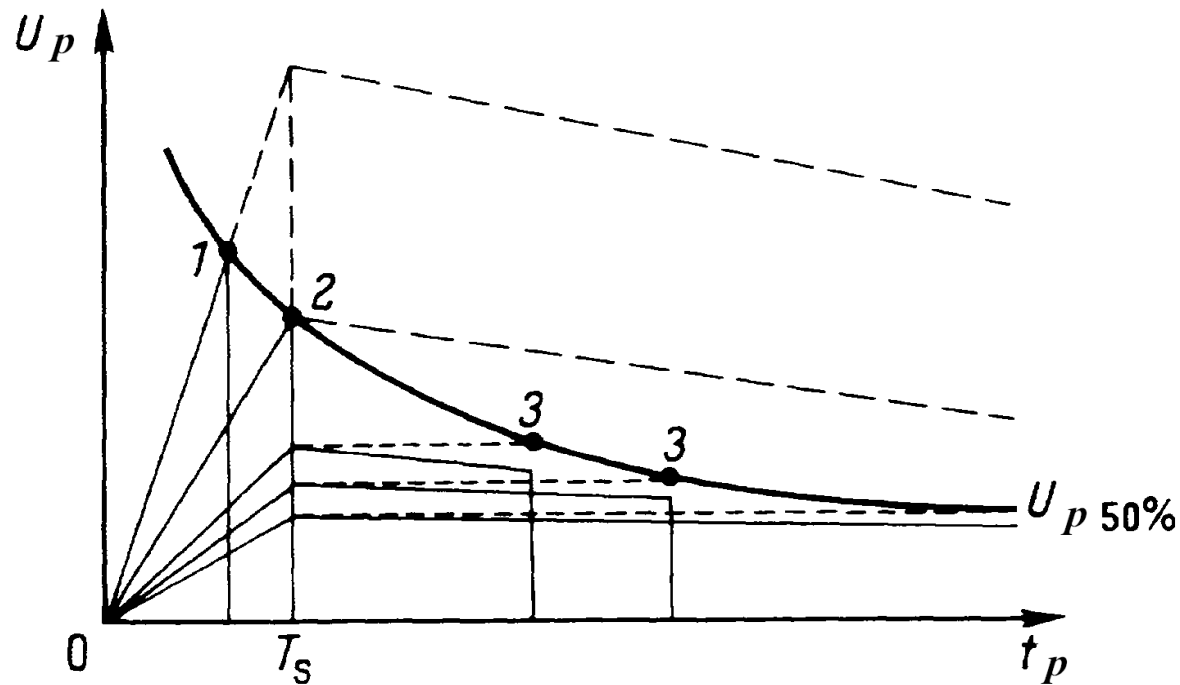
Ispitni sklopni udarni napon $250/2500$ ima karakteristična vremena: $T_{cr} = 250 \mu s (\pm 20\%)$ i $T_2 = 2500 \mu s (\pm 60\%)$

Udarni naponi – karakteristične veličine



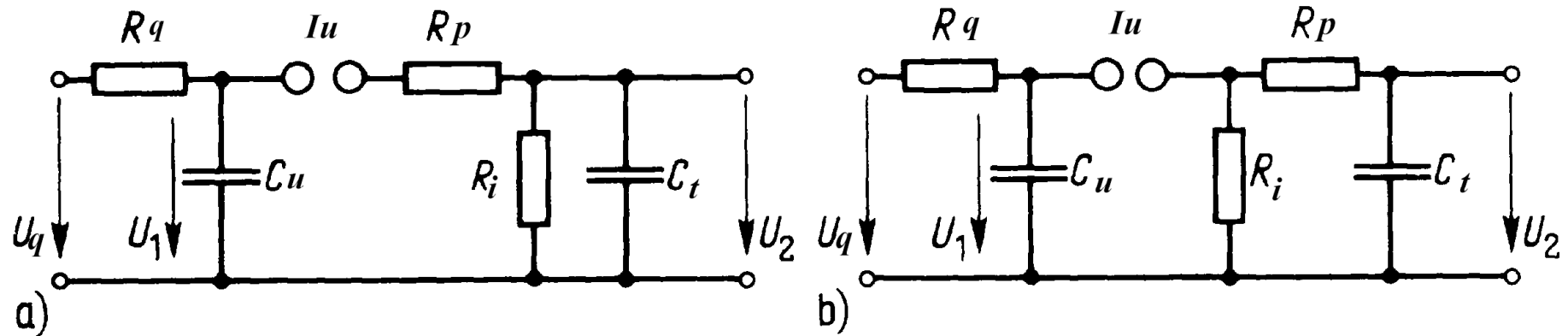
Udarni naponi – 50% preskočnog udarnog napona

Udarna karakteristika: Funkcija preskočnog udarnog napona U_p u zavisnosti o vremenu potrebnom da dođe do preskoka t_p .



- 50% preskočni udarni napona

Udarni naponi – proizvodnja



- C_u - udarni kapacitet
- R_q - nabojni otpornik
- U_q - napon nabijanja
- C_t - kapacitet ispitnog objekta
- R_p - prigušni otpornik
- R_i - izbojni otpornik

Udarni naponi – proizvodnja

Za krug na slici (a) vrijedi diferencijalna jednačba:

$$C_u C_t R_i R_p \frac{d^2 u_2}{dt^2} + (C_t R_i + C_u R_i + C_u R_p) \frac{du_2}{dt} + u_2 = 0$$

$$u_2 = \frac{U_q T_m T_n}{R_p C_t (T_m - T_n)} \left(e^{-\frac{t}{T_m}} - e^{-\frac{t}{T_n}} \right)$$

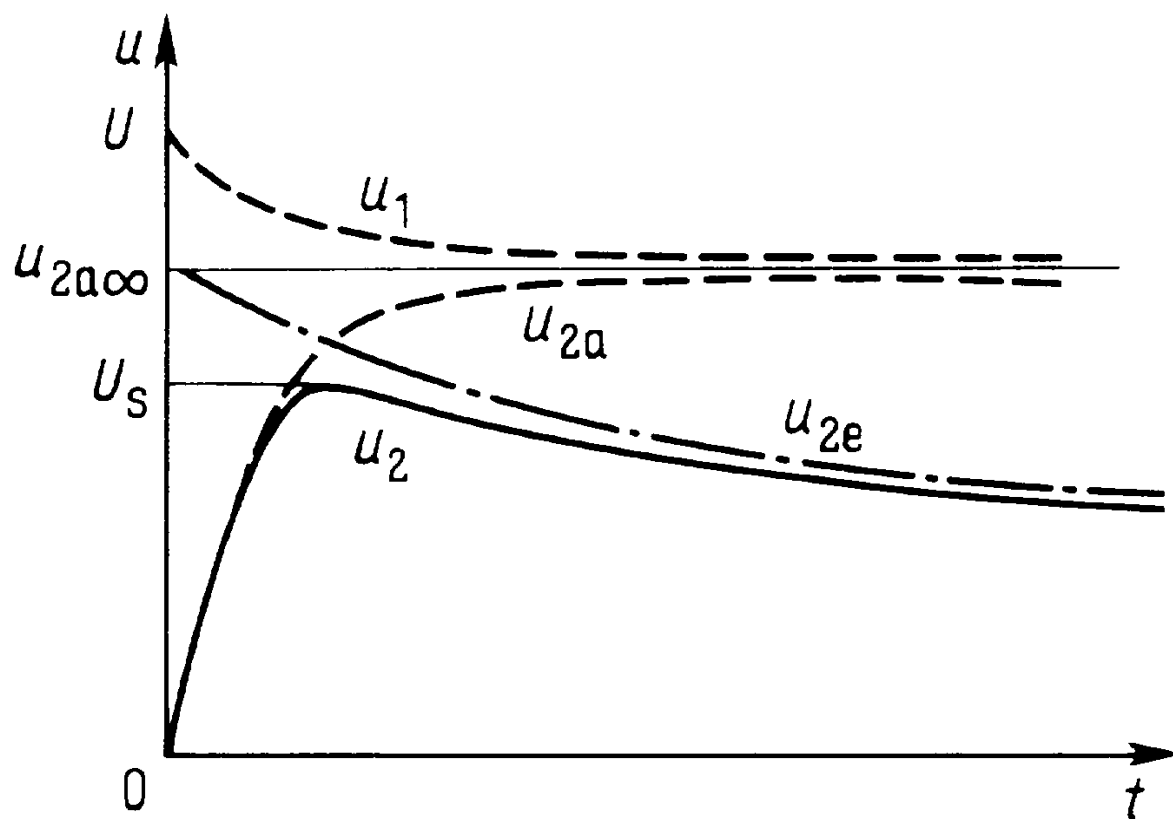
Uz $T_m \gg T_n$; $T_m, T_n = f(R_i, R_p, C_t, C_u)$:

T_m - vremenska konstanta nabijanja

T_n - vremenska konstanta izbijanja

Udarni naponi – proizvodnja

Napon u_2 se razlaže na vremenski razdvojeni nabojni i izbojni dio.



Udarni naponi – proizvodnja

Kod nabijanja kapaciteta tereta na napon u_{2a} s otpornikom $R_i = \infty$ vremenska konstanta nabijanja je:

$$T_a = R_p \frac{C_u C_t}{C_u + C_t}$$

Diferencijalna jednačba glasi:

$$T_a \frac{du_{2a}}{dt} + u_{2a} = U_q \frac{C_u}{C_u + C_t}$$

Udarni naponi – proizvodnja

Rješenje za u_{2a} :

$$u_{2a} = \frac{C_u}{C_u + C_t} U_q \left(1 - e^{-\frac{t}{T_a}} \right)$$

$$\text{za } t = \infty : \quad u_{2a} = \frac{C_u}{C_u + C_t} \cdot U_q$$

Vremenska konstanta izbijanja (uz $R_p \cong 0$):

$$T_i = R_i (C_u + C_t)$$

Stupanj iskorištenja:

$$\eta_i = \frac{\hat{u}}{U_q} \cong \frac{u_{2a\infty}}{U_q} = \frac{C_u}{C_u + C_t}$$

Udarni naponi – proizvodnja

Za $R_i \gg R_p$ i $C_u \gg C_t$ može se uzeti:

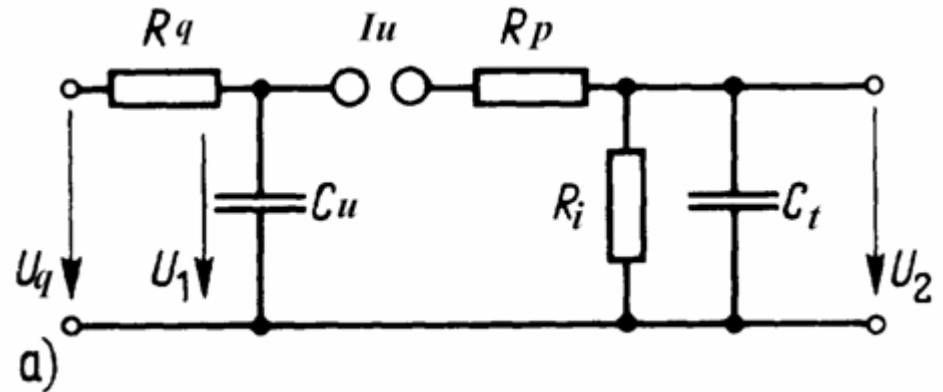
$$T_1 \cong T_a \quad T_2 \cong T_i$$

Približne formule za krug na slici (a):

$$T_1 = k_1 \frac{R_p R_i C_u C_t}{(R_p + R_i)(C_u + C_t)}$$

$$T_2 = k_2 (R_p + R_i)(C_u + C_t)$$

$$\eta_1 = \frac{R_i C_u}{(R_p + R_i)(C_u + C_t)}$$



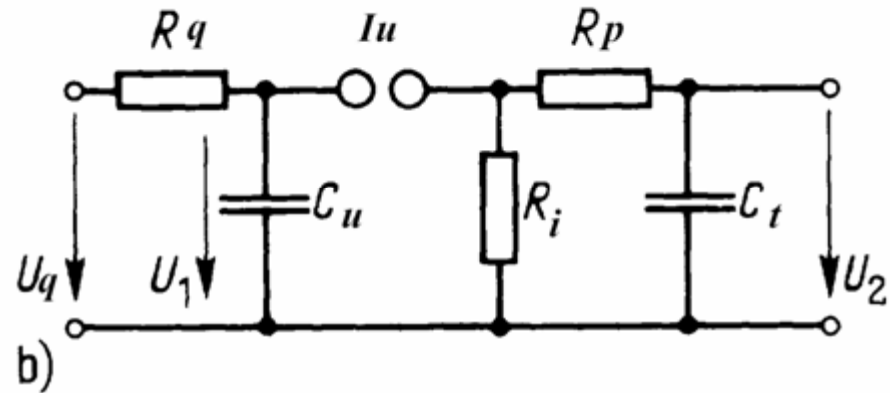
Udarni naponi – proizvodnja

Približne formule za krug na slici (b):

$$T_1 = k_1 R_p \frac{C_u C_t}{(C_u + C_t)}$$

$$T_2 = k_2 R_i (C_u + C_t)$$

$$\eta_1 = \frac{C_u}{(C_u + C_t)}$$



Vremenski faktori k_1 i k_2

Udarni napon	1.2/5	1.2/50	1.2/200
k_1	1.49	2.96	315
k_2	1.44	0.73	0.70

Udarni naponi – proizvodnja

Za krug na slici (a) je (iz izraza za T_1 i T_2):

$$R_{p,i} = \frac{T_2}{2k_2(C_u + C_t)} \pm \sqrt{\left(\frac{T_2}{2k_2(C_u + C_t)} \right)^2 - \frac{T_1 T_2}{k_1 k_2 C_u C_t}}$$

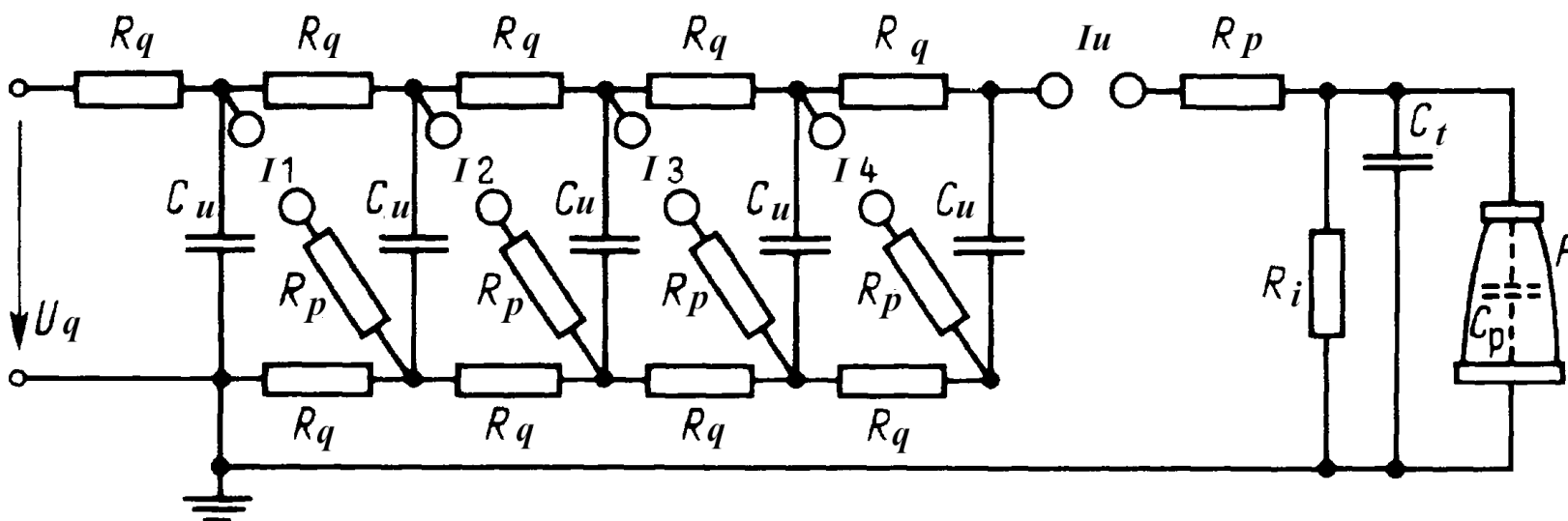
Zahtjev za prigušni otpornik:

$$R_p \geq 2 \sqrt{L \frac{(C_u + C_t)}{C_u C_t}}$$

L – induktivitet priključnih vodova

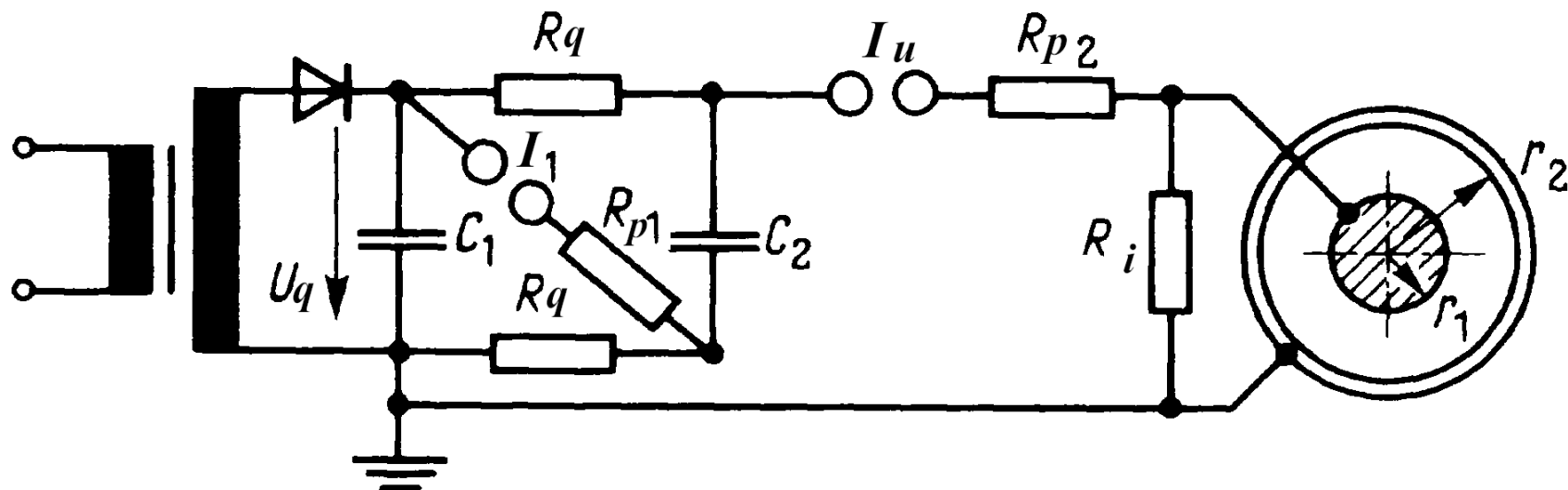
Udarni naponi – proizvodnja

- Za udarne napone iznad 300 kV koriste se spojevi prema Marxu
- Najprije se nabiju svi paralelno spojeni kapaciteti C_u
- Nakon propale iskrišta oni se spajaju serijski, pri čemu se pojedini naponi kratkotrajno zbrajaju
- Naponi na ispitnom objektu dosežu vrijednosti od 300 kV do 10 MV



Udarni naponi – proizvodnja

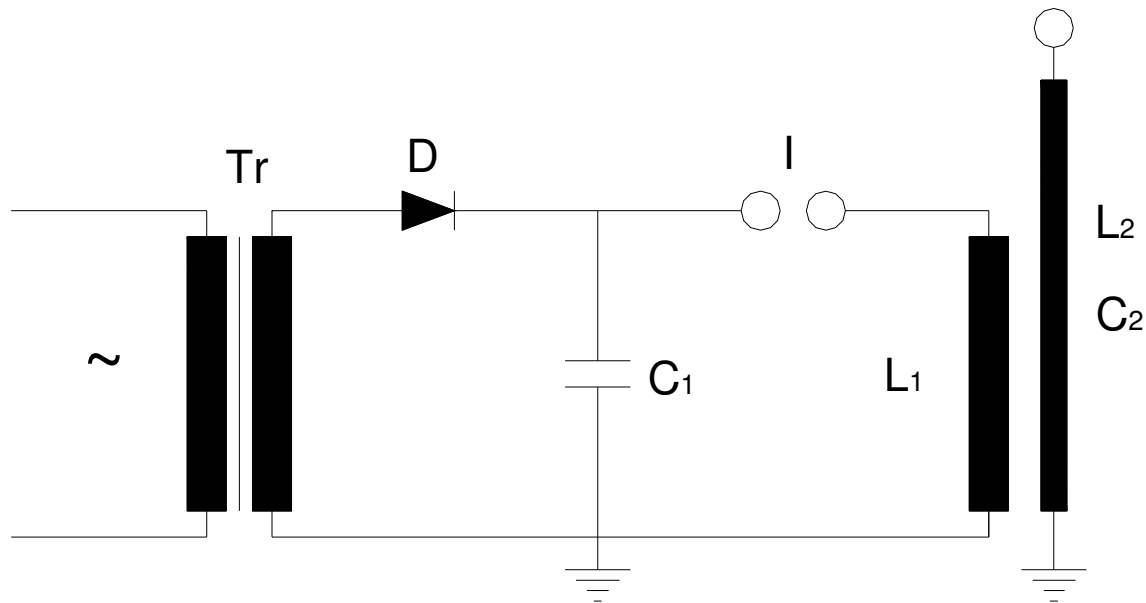
Primjer: Generator udarnog napona koji se sastoji od dva stupnja služi za ispitivanje koaksijalne sabirnice SF₆, čiji su radijusi $r_1=7\text{ cm}$ i $r_2=15\text{ cm}$, a duljina $l=5\text{ m}$. Sabirnica djeluje kao kapacitet svojim teretom. Poznati su kapaciteti $C_1=C_2=10\text{ nF}$. Treba odrediti prigušni i izbojni otpor kao i stupanj iskorištenja (odnos vršne vrijednosti udarnog napona i napona nabijanja), ako vršna vrijednost udarnog napona treba iznositi $U=200\text{ kV}$, za udarni napon 1.2/50.



Generator udarnog napona s ispitnim objektom

Teslin transformator

- Koristi se za proizvodnju visokih napona i visokih frekvencija
- Sačinjen od dva titrajna kruga bliskih titrajnih frekvencija



Teslin transformator

- Preko transformatora Tr i VN diode puni se kondenzator C_1 istosmjernim naponom
- Prilikom reagiranja iskrišta C_1 se prazni i predaje energiju:

$$W_{el} = \frac{C_1 \cdot U_1^2}{2}$$

primarnoj zračnoj zavojnici L_1 te pri tome nastaju prigušeni titraji čija frekvencija je:

$$f_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_1}}$$

Teslin transformator

- U sekundarnoj zavojnici pojavit će se jaki titraji ako je frekvencija sekundara, koja ovisi o iduktivitetu sekundarne zavojnice L_2 i o parazitskom kapacitetu između zavoja C_2

$$f_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_2 \cdot C_2}}$$

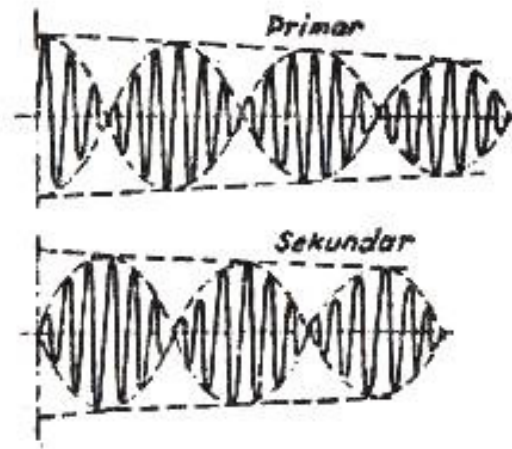
približno jednaka frekvenciji primara

- Frekvencija sekundara ovisi o faktoru magnetskog vezanja K koji ovisi o međuiduktivitetu M :

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

Teslin transformator

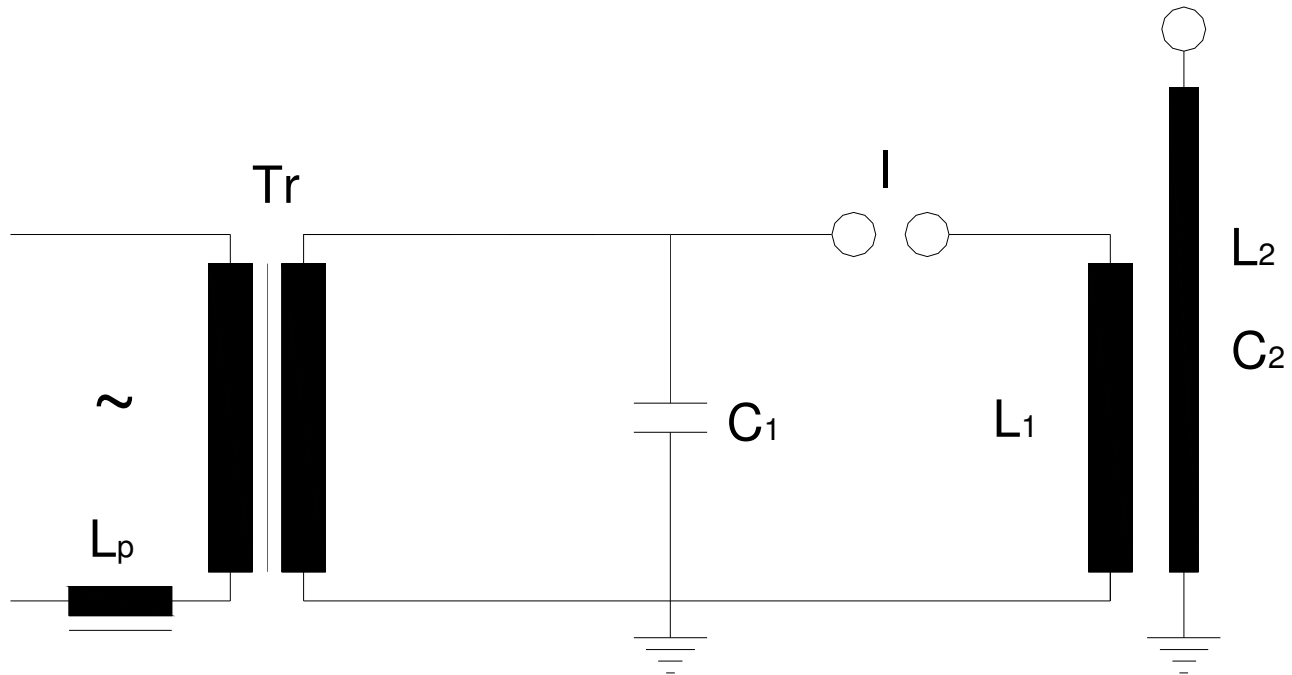
- Ako je koeficijent sprege K velik energija se s primara prenosi na sekundar dok se luk u primaru ne ugasi
- Uslijed induktivnog djelovanja sekundara, luk se u primaru ponovno pali te se energija sa sekundara vraća na primar
- Energija oscilira između primara i sekundara dok se ne utroši na toplinu u oba kruga
- Izgled oscilacija na primaru i sekundaru:



- Prijenosni omjer Teslinog transformatora:
$$\frac{U_2}{U_1} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$$

Teslin transformator

- Izvedba bez VN diode



L_p – prigušnica za “peglanje” visokih strujnih harmonika

TEHNIKA VISOKOG NAPONA

3+0

http://www.fer.hr/predmet/tvn_a

Nositelj:	Prof.dr.sc. Ivo Uglešić, dipl.ing.	D236
Suradnici:	Doc.dr.sc. Viktor Milardić, dipl.ing	D246
	Dr.sc. Milivoj Mandić, dipl.ing.	D206
	Božidar Filipović-Grčić, dipl.ing.	D206
	Boško Milešević, dipl.ing	D206