

Uređaji za merenje pri ispitivanjima

Merenja pri ispitivnjima elektroenergetskih uređaja

- Veličine koje se najčešće mere pri ispitivanjima su:
 - naponi i struje različitih amplituda, oblika i polariteta
 - električna otpornost
 - induktivnost rasipanja
 - kapacitivnost i faktor dielektričnih gubitaka u kondenzatorima
 - jačina električnog polja i magnetske indukcije
 - temperatura
- Dijapazoni merenih veličina su različiti
 - naponi od reda μV do reda MV
 - struje od reda μA do reda stotine kA

Uređaji za merenje visokih napona

- Za merenje napona koristi se:
 - voltmetar
 - ampermetar sa rednim otporom
 - elektrostatički voltmetar
 - varničar (iskrište)
 - delilo napona
 - merni naponski transformator
 - kombinovani naponsko-strujni transformator

Voltmetar

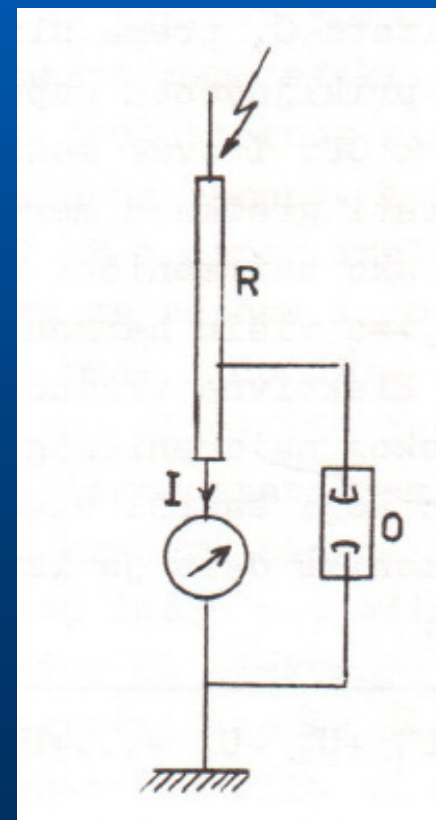
- Merenje napona običnim voltmetrom može se kod jednosmernog i naizmeničnog napona vršiti sve do njegovog najvišeg napona, odnosno opsega
- Proširenje opsega merenja može postići
 - korišćenjem delila napona
 - korišćenjem kapacitivnih ili induktivnih naponskih mernih transformatora
 - priključenjem voltmetra u primarno kolo visokonaponskog ispitnog transformatora

Merenja napona ampermetrom sa rednim otporom

- Može se primeniti za merenje jednosmernih i naizmeničnih napona:

$$U = R \cdot I$$

- Karakteristike metode:
 - veliki otpor R
 - velika osetljivost i mali otpor ampermetra
 - potreban odvodnik prenapona ili probojni osigurač radi zaštite instrumenta



- Greške pri merenju usled:
 - zanemarenja otpora instrumenta
 - promene otpora R sa temperaturom
 - pojave korone na visokoomskom otporu R
 - parazitnih kapacitivnosti prema zemlji i između delova samog otpornika
- Za merenje naizmeničnog napona se umesto rednog otpora R može koristiti kondenzator kapacitivnosti C

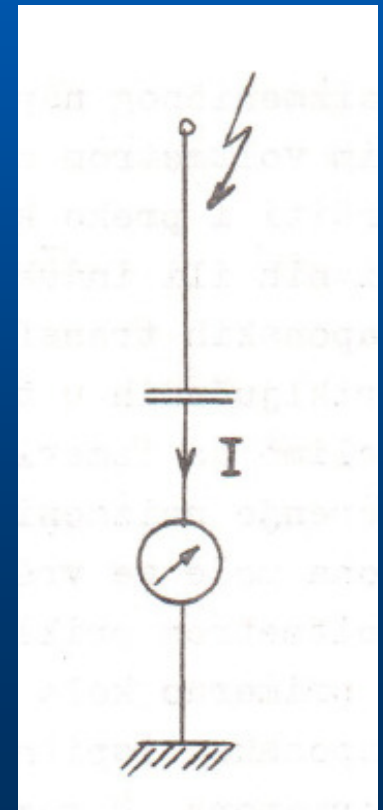
$$I = \omega C \cdot U$$

- Kod korišćenja kondenzatora C greška pri merenju može nastati ako naizmenični napon sadrži više harmonike:

$$U = \sqrt{U_1^2 + U_3^2 + U_5^2 + \dots + U_n^2}$$

$$I = \sqrt{(\omega C U_1)^2 + (3\omega C U_3)^2 + (5\omega C U_5)^2 + \dots + (n\omega C U_n)^2}$$

$$I = \omega C \sqrt{U_1^2 + 9U_3^2 + 25U_5^2 + \dots + n^2 U_n^2}$$

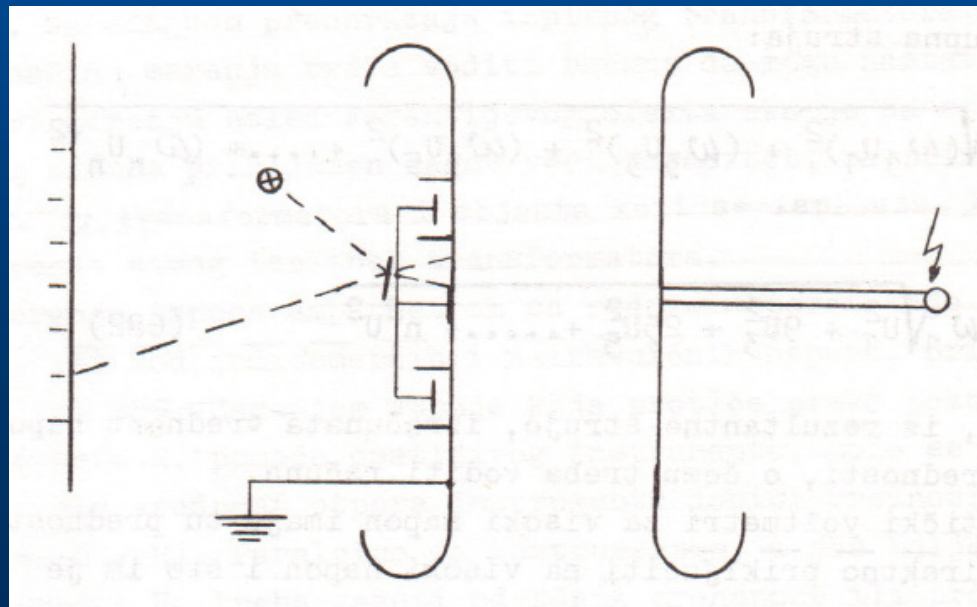


Elektrostatički voltmetar

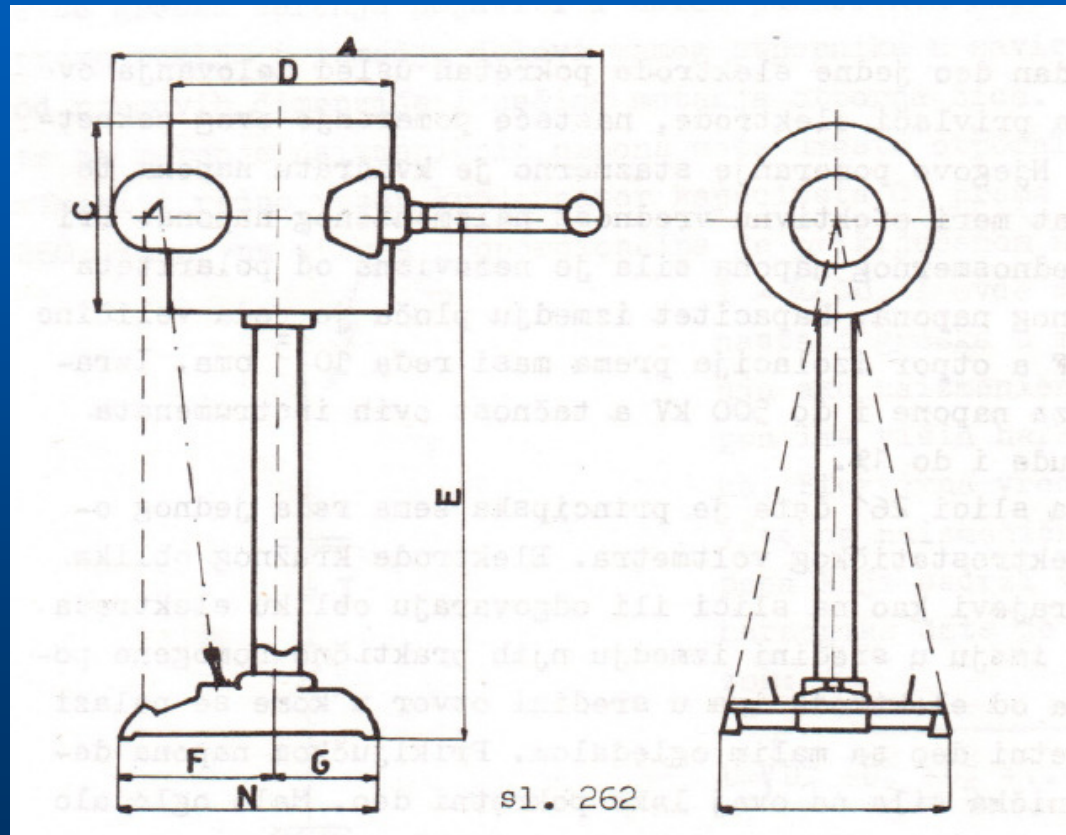
- Imaju prednost što se mogu direktno priključiti na visoki napon i što im je potrošnja vrlo mala
- Princip rada se zasniva na mehaničkoj sili u elektrostatičkom polju
 - za pločasti kondenzator površine S i za rastojanja između ploča d :

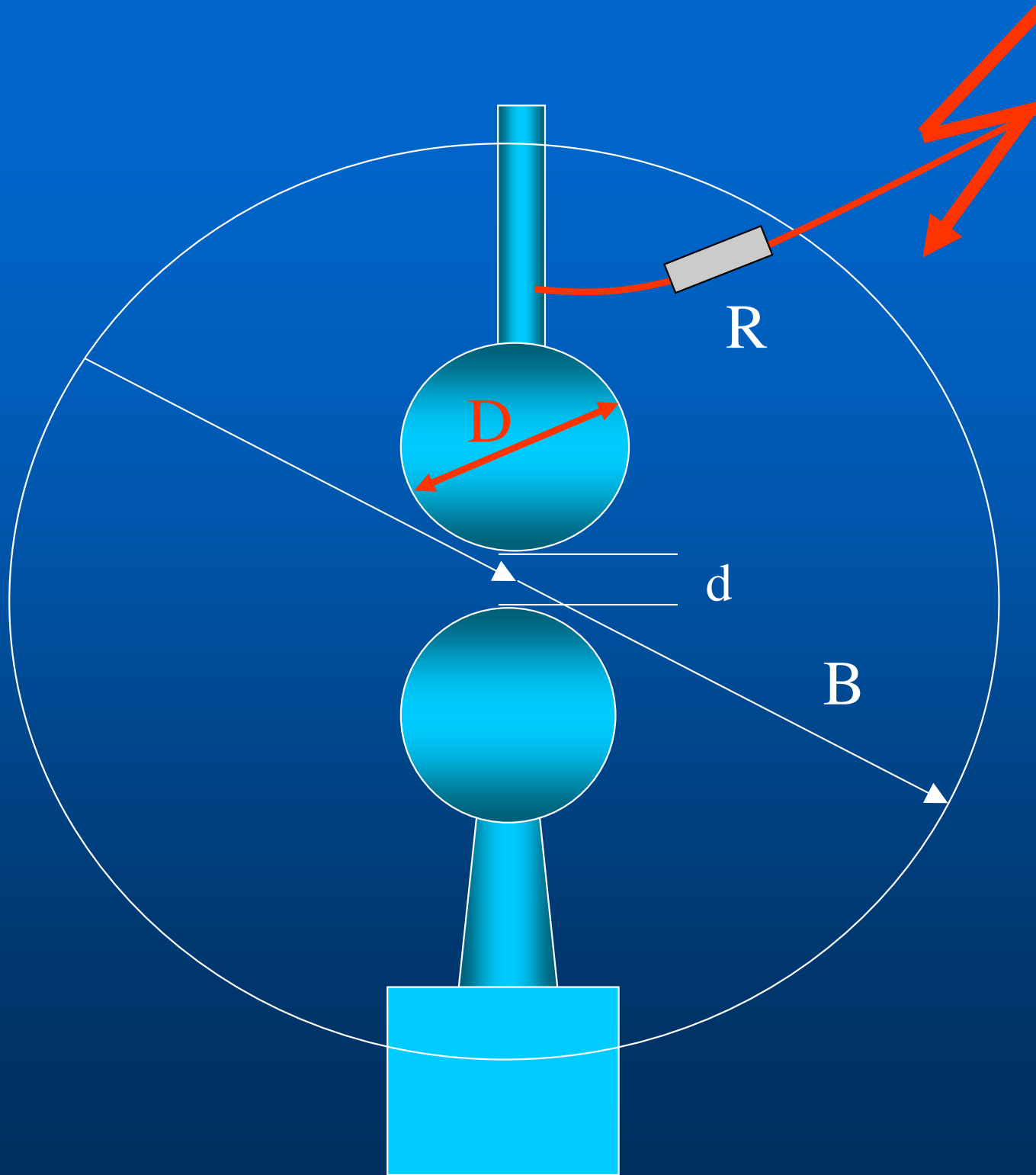
$$F = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \frac{S}{d^2} U^2$$

- ako je deo jedne ploče pokretan, usled delovanja sile nastaje kretanje tog dela koje je srazmerno kvadratu napona, zbog toga instrument meri efektivnu vrednost napona

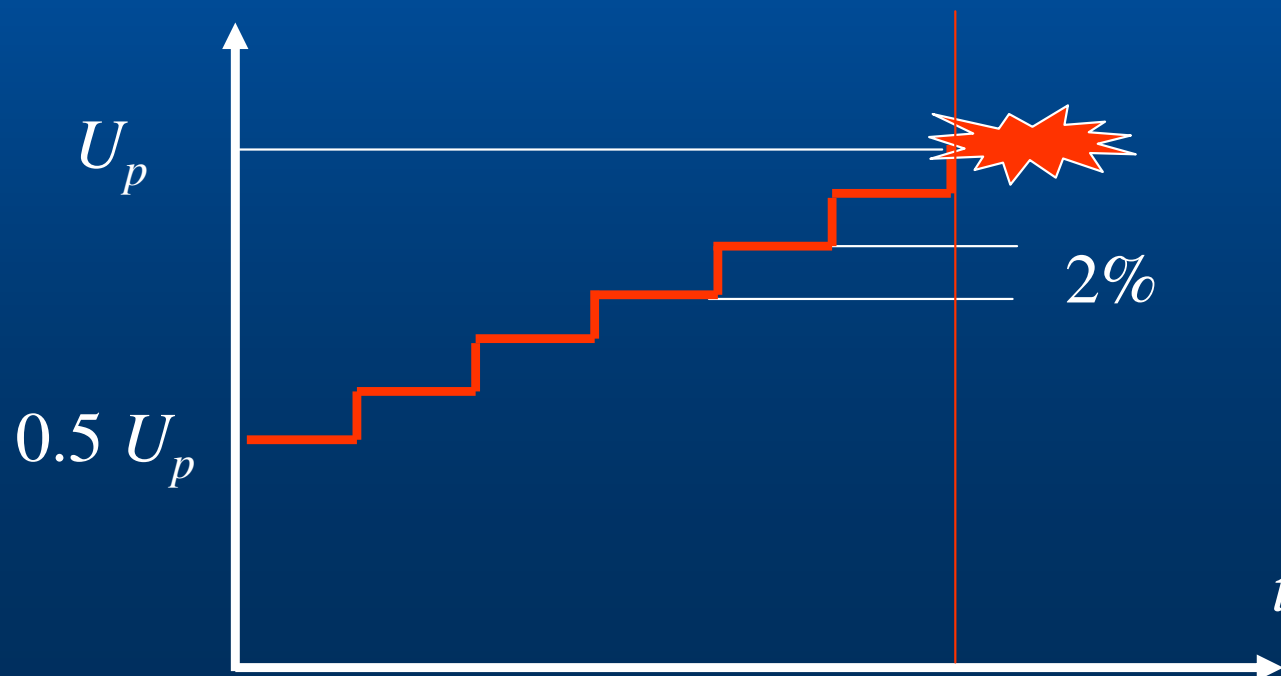


- Promena opsega merenja se postiže promenom rastojanja između elektroda
- Elektrostatički voltmetar do 100 kV sa elektrodama Rogovskog





- Merenje jednosmernih i naizmeničnih napona:
 - razmak između elektroda se postepeno smanjuje dok ne nastupi preskok
 - napon se postepeno povećava dok ne nastupi preskok
- Kao izmerena vrednost napona smatra se srednja vrednost od najmanje tri uzastopna merenja čija se vrednosti razlikuju najmanje za 3%
- Postupak baždarenja iskrišta: utvrđivanje odnosa između visokog napona merenog iskrištem i voltmetrom

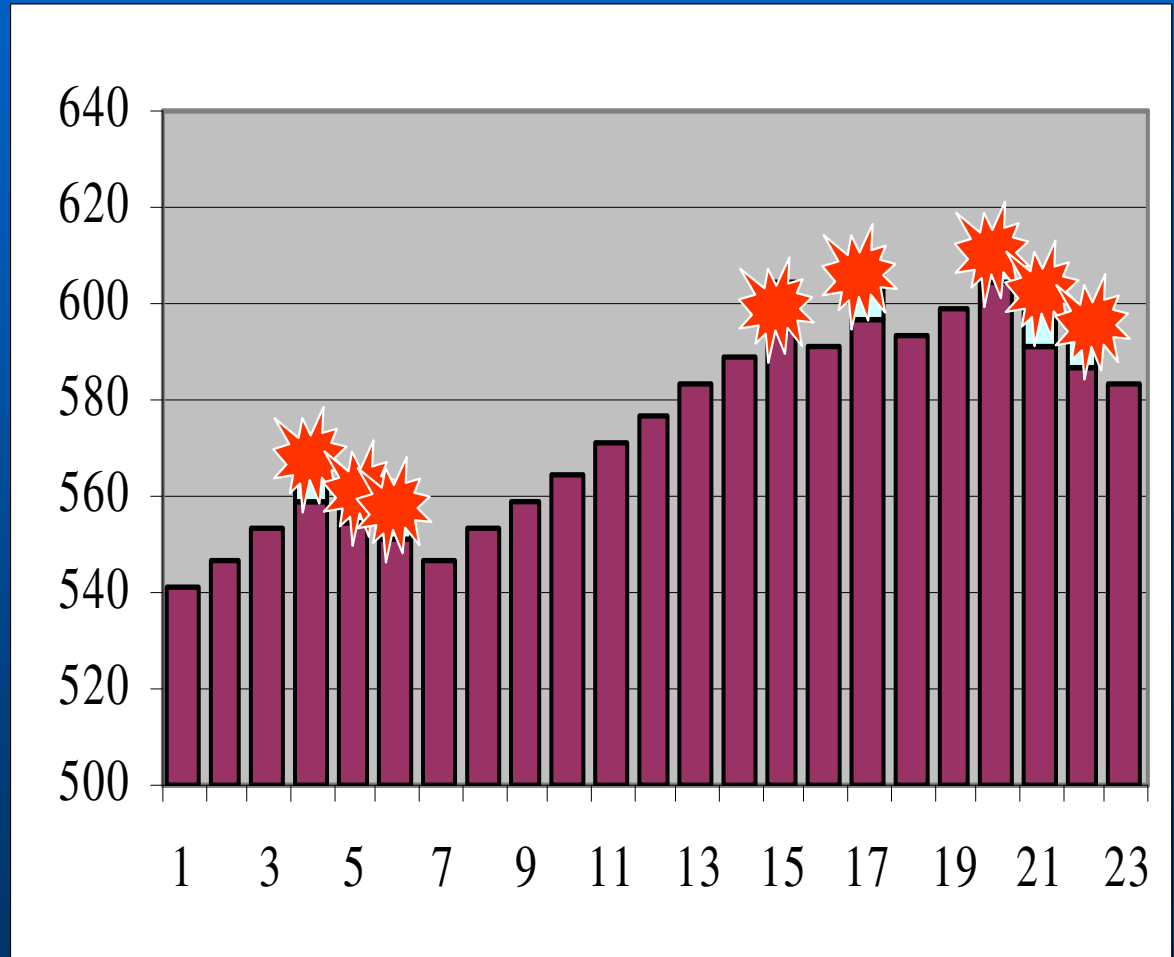


- Merenje udarnog napona sfernim iskrištem: određivanje 50% udarnog napona
 - napon se povećava sa korakom od najviše 2% očekivanog preskočnog napona, u svakom koraku se izvode 10 udara, traži se koraci sa 4 do 6 preskoka u nizu
 - rastojanje se povećava sa korakom od najviše 2% od vrednosti koja se očekuje za preskočni napon, u svakom koraku se izvode 10 udara, traži se susedni koraci sa 4 i 6 preskoka u nizu

Napon (kV)	Broj preskoka	Broj udara
540	0	10
550	1	10
560	3	10
570	5	10
580	7	10
590	9	10
600	10	10

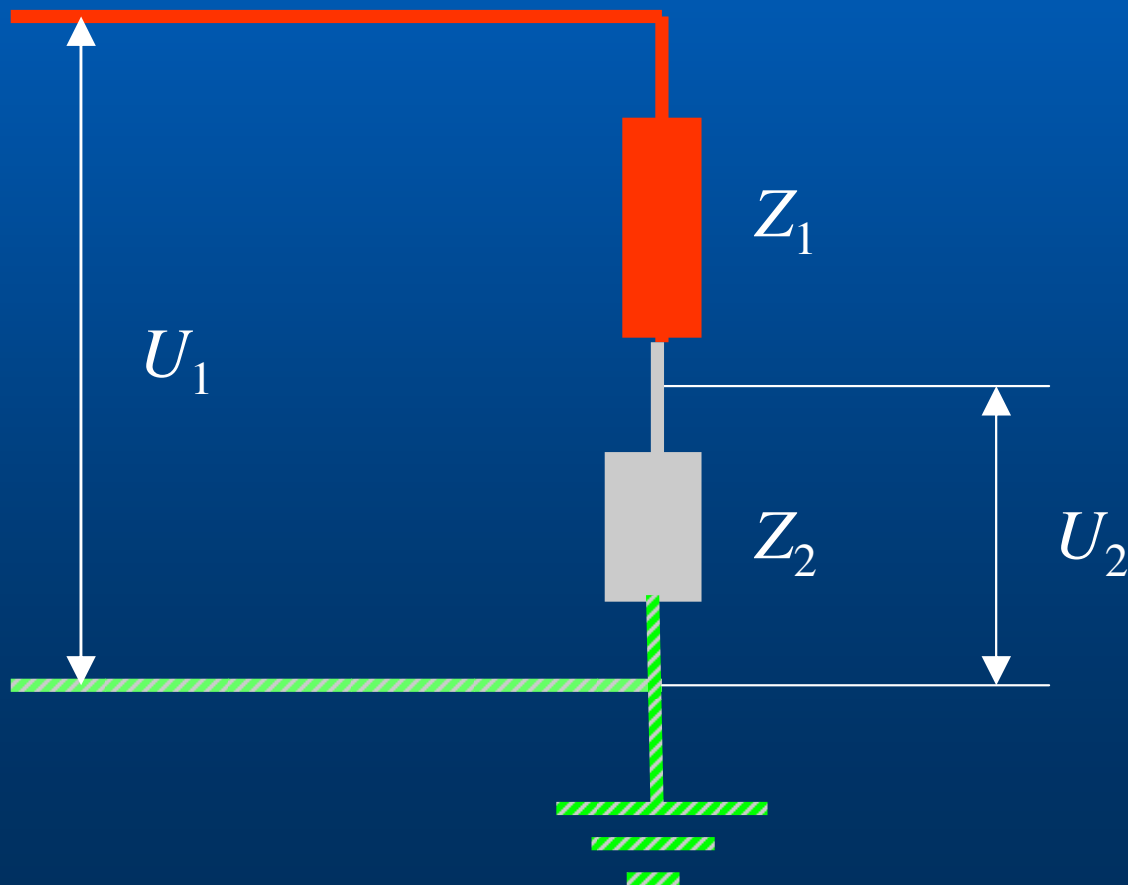
- Metoda gore-dole (up and down)

br.	Napon (kV)	Ishod
1	540	0
2	545	0
3	550	0
4	555	1
5	550	1
6	545	1
7	540	0
8	545	0
9	550	0
10	555	0
11	560	0
12	565	0
13	570	0
14	575	0
15	580	1
16	575	0
17	580	1
18	575	0
19	580	0
20	585	1
21	570	1
22	565	1
23	560	0



Delila napona

- Delila napona služe da visoke napone, koje treba izmeriti, podele odnosno svedu na niže vrednosti i omoguće priključenje mernog instrumenta
- Sastoje se od dve nejednake impedanse vezane na red



$$m = \frac{U_1}{U_2} = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2} = 1 + \frac{Z_1}{Z_2}$$

- Odnos deljenja delila napona

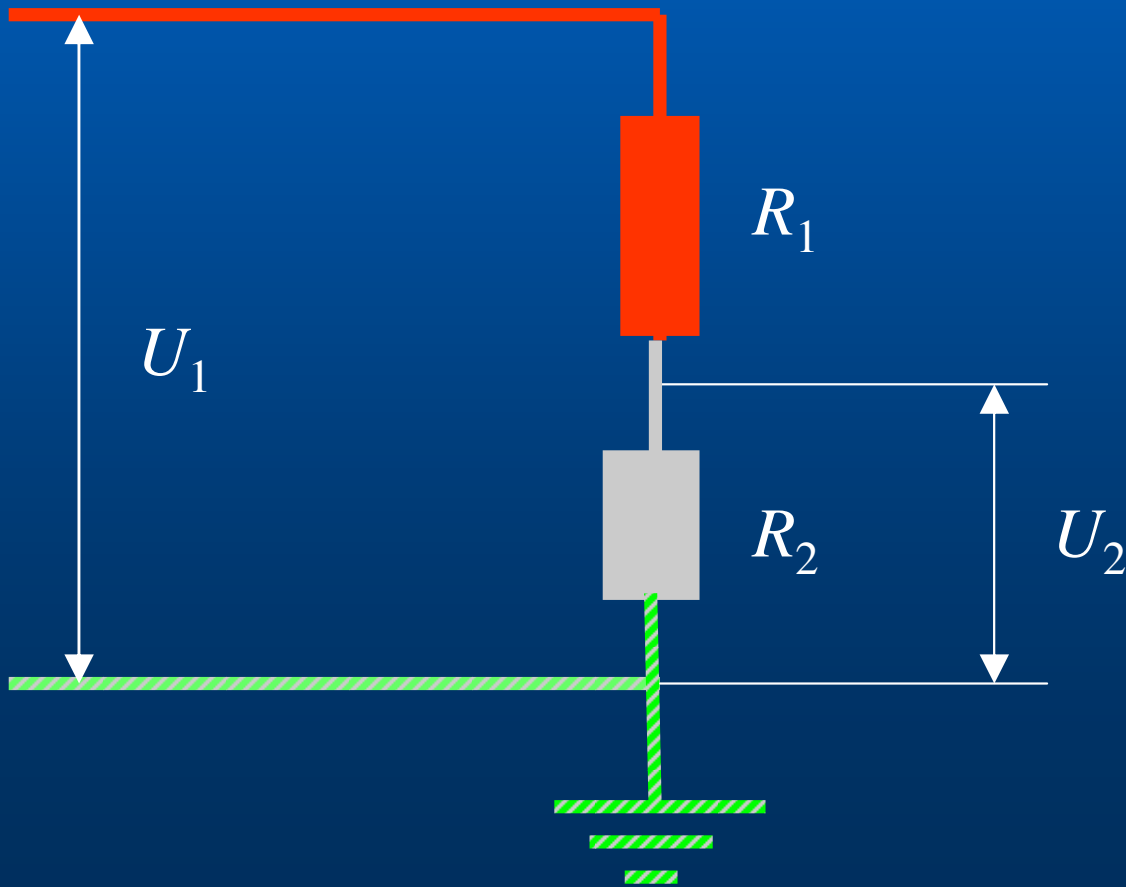
$$m = \frac{U_1}{U_2} = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2}$$

- Vrste delila napona:
 - omska (otporna) delila
 - kapacitivna delila
 - mešovita delila
 - kompenzovana delila
- Zahtevi koje moraju zadovoljavati delila napona
 - odnos deljenja nezavistan od oblika talasa
 - odnos deljenja nezavistan od temperature
 - odnos deljenja nezavistan od frekvencije
 - odnos deljenja nezavistan od polariteta

Omsko delilo napona

- Mogu se meriti jednosmerni i brzopromenljivi naponi
- Pri merenju naizmeničnih napona odnos deljenja zavisi od učestanosti
- Odnos deljenja:

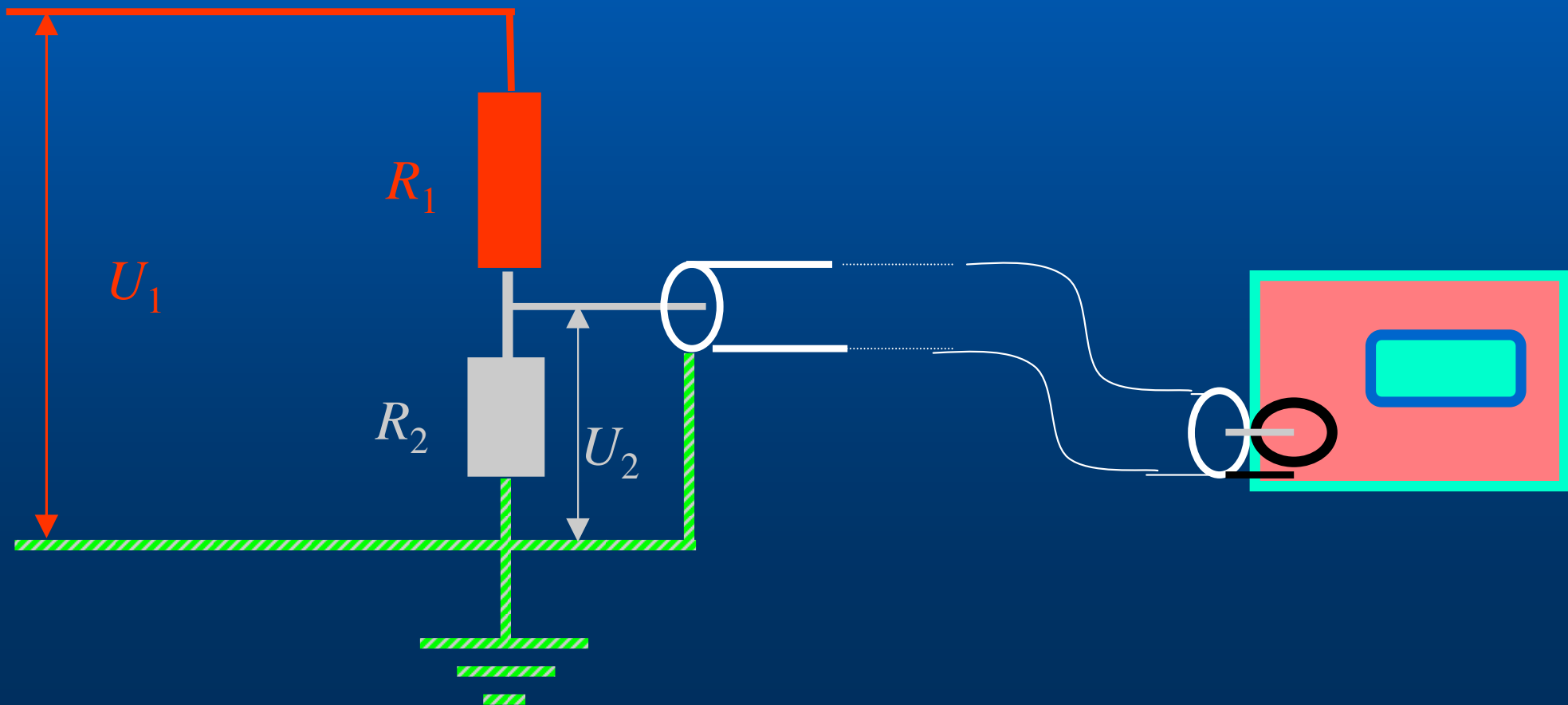
$$m = \frac{U_1}{U_2} = \frac{(R_1 + R_2)I}{R_2 I} = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$



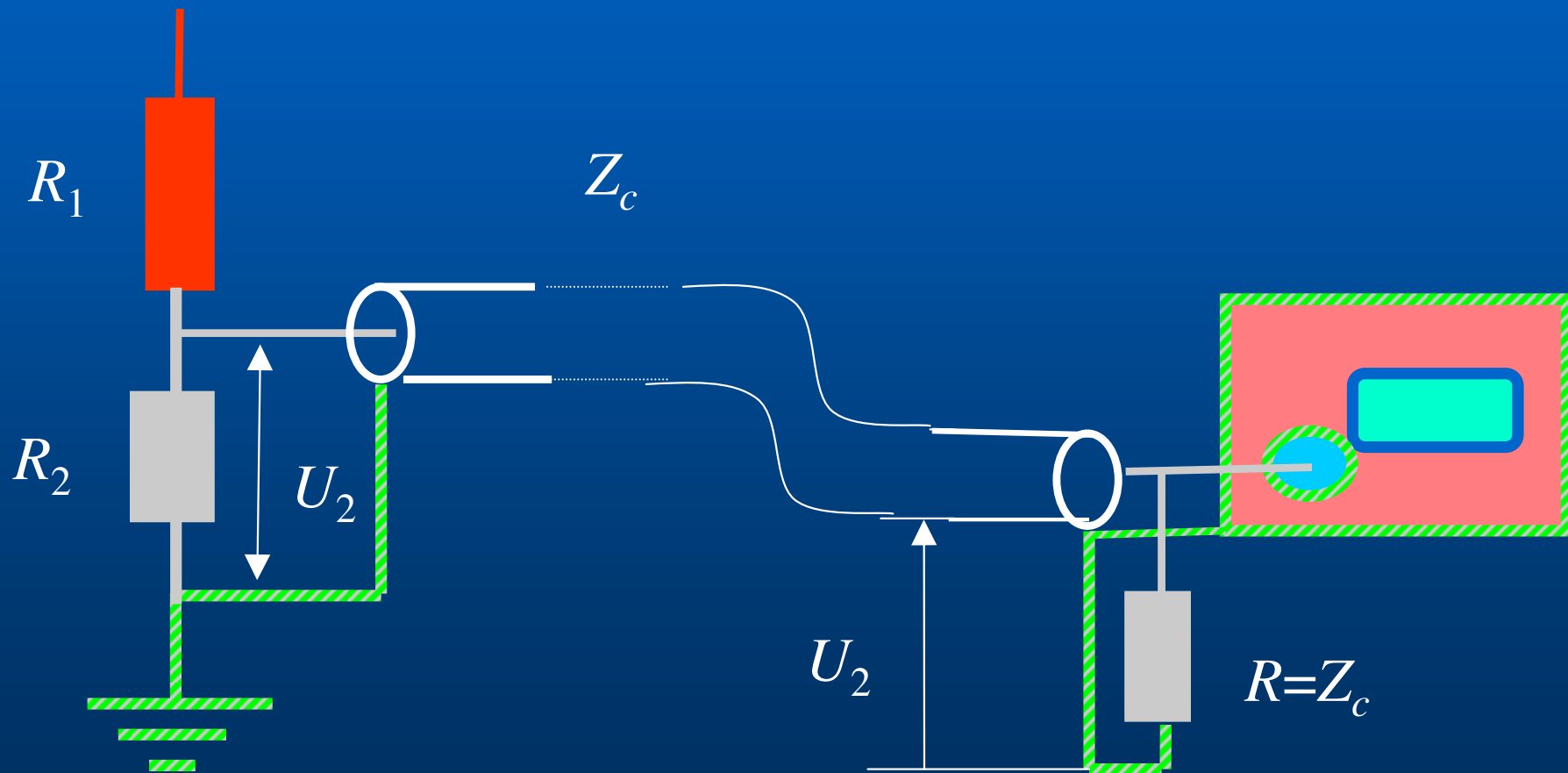
- Kao merni instrument obično se koristi osciloskop, teži se da njegova kapacitivnost bude manja
- Merni instrument se priključuje preko koaksijalnog kabla
- Odnos deljenja delila napona

$$m = \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1 + R_{2e}}{R_{2e}}$$

$$R_{2e} = \frac{R_2 Z_c}{R_2 + Z_c}$$

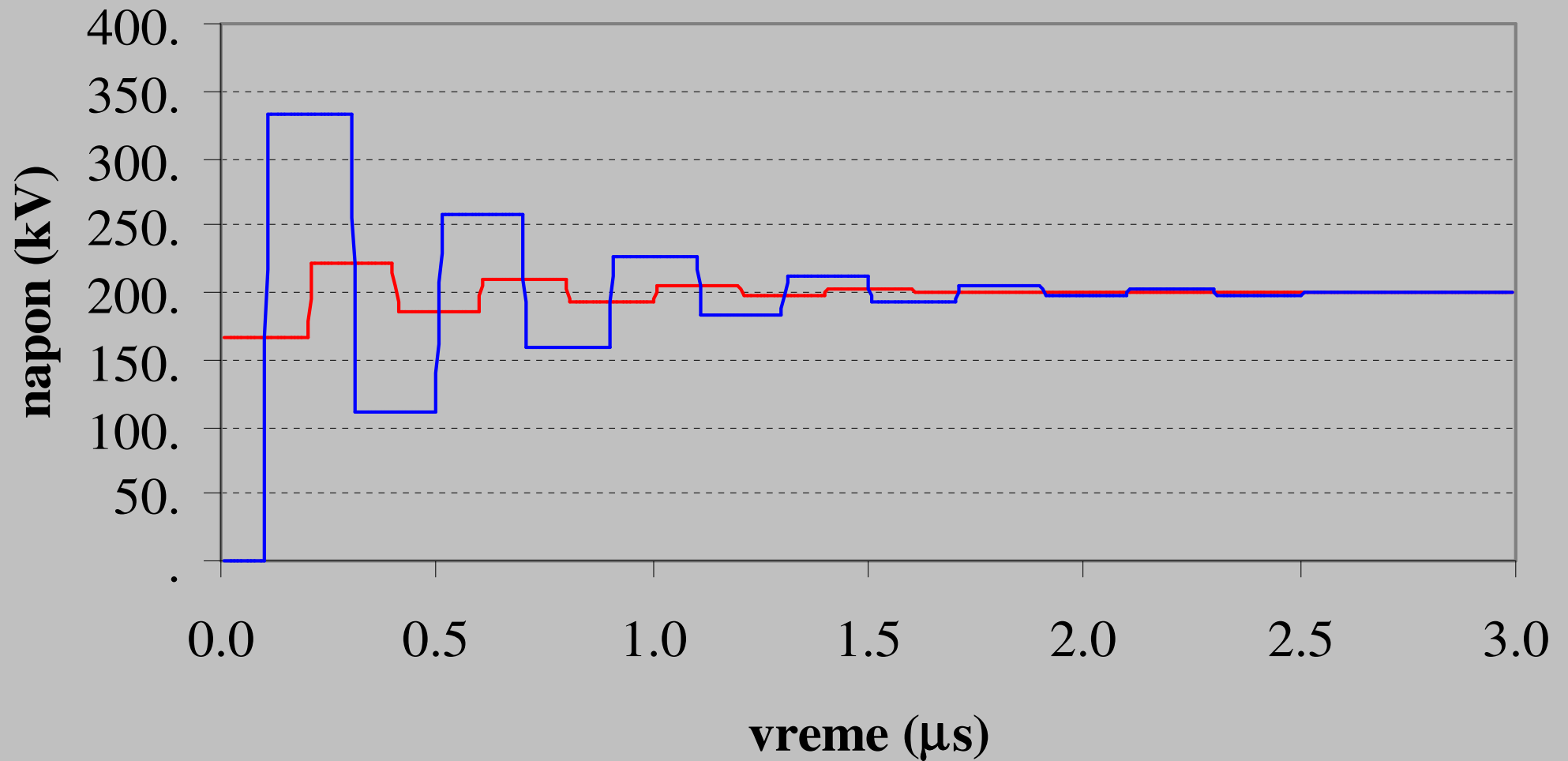


- Da bi izobličenje merenog signala bilo što manje potrebno je da kapacitivnost osciloskopa bude što manja ali se onda javljaju višestruke refleksije po kablu
- Korišćenje prilagodnog otpornika $R=Z_c$



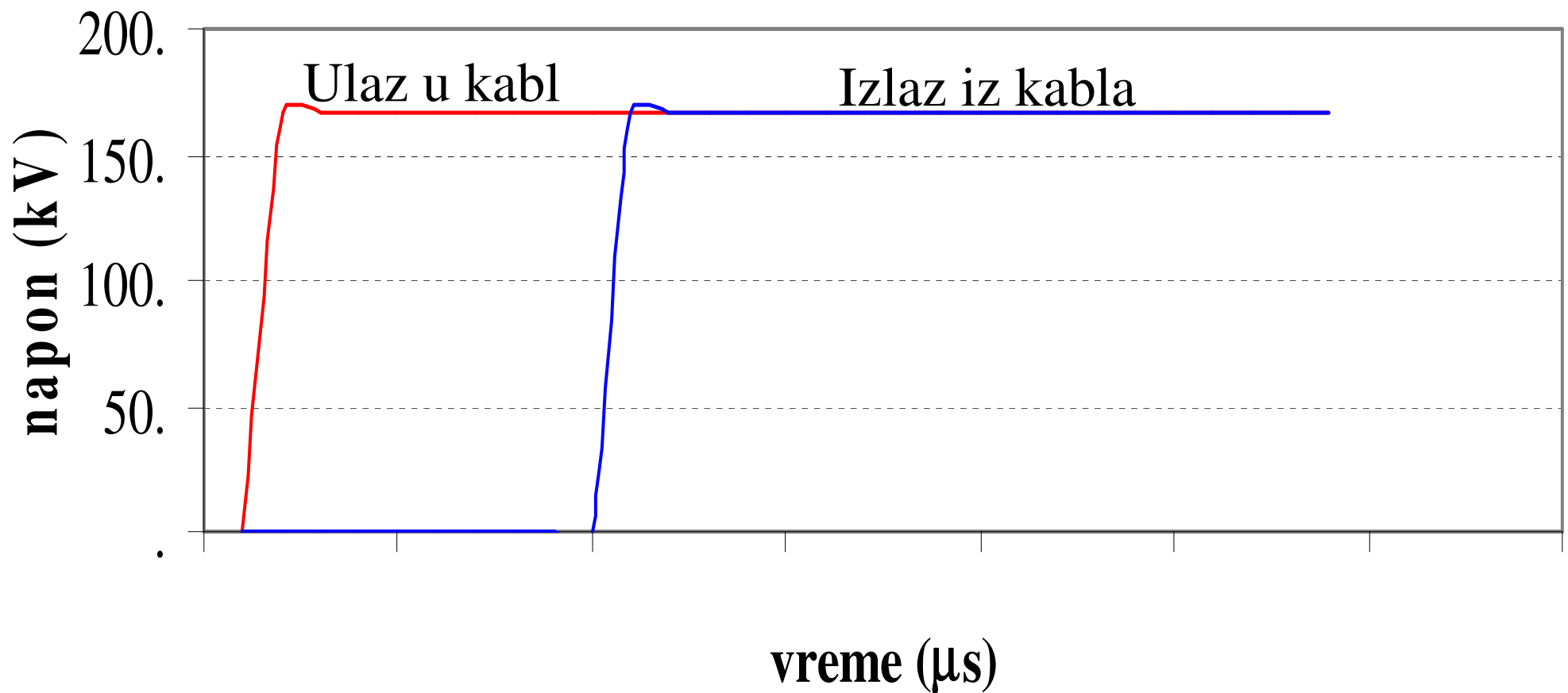
- Odziv omskog delila bez prilagodnog otpornika

Odziv omskog delila

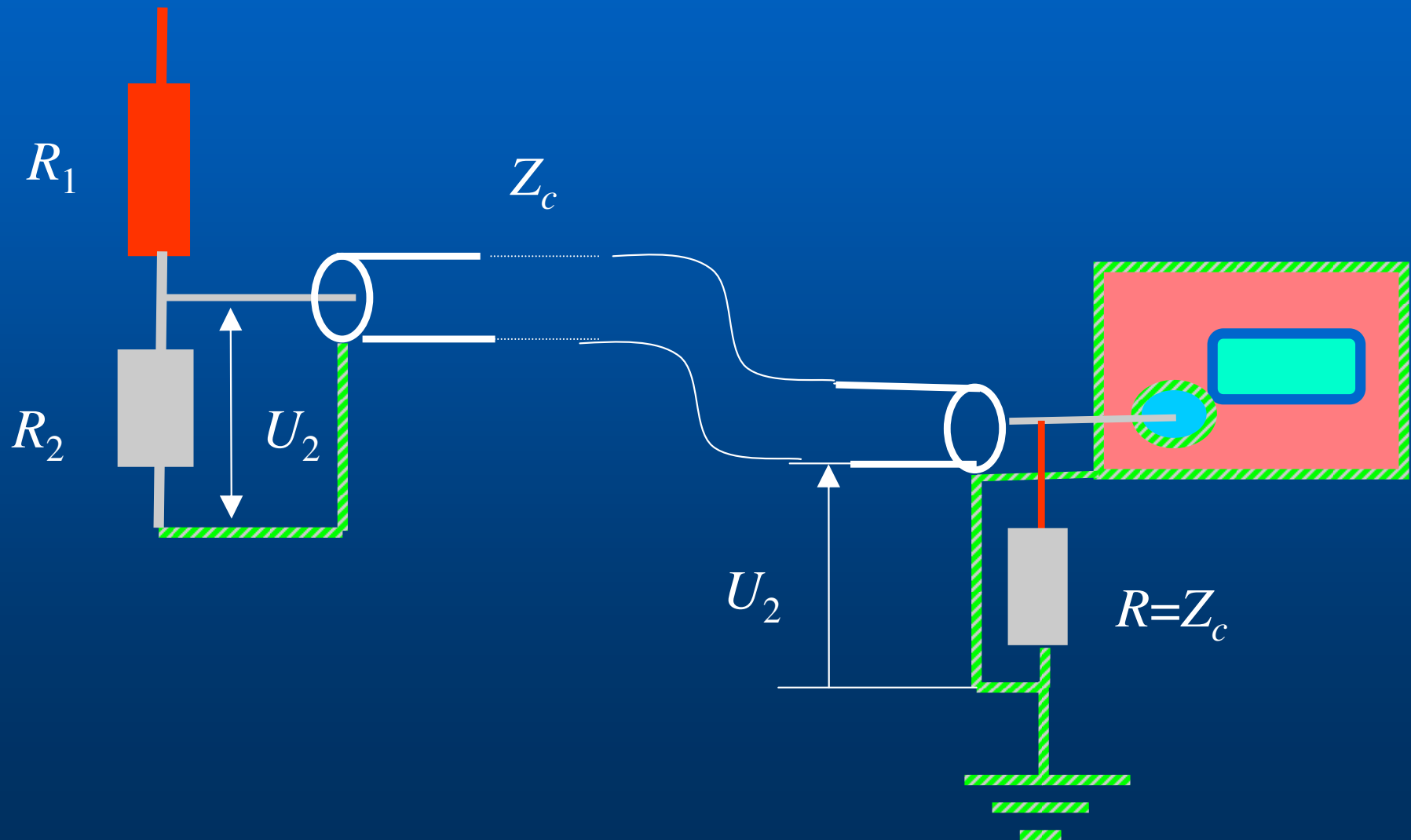


- Odziv omskog delila sa prilagodnim otpornikom

Odziv omskog delila

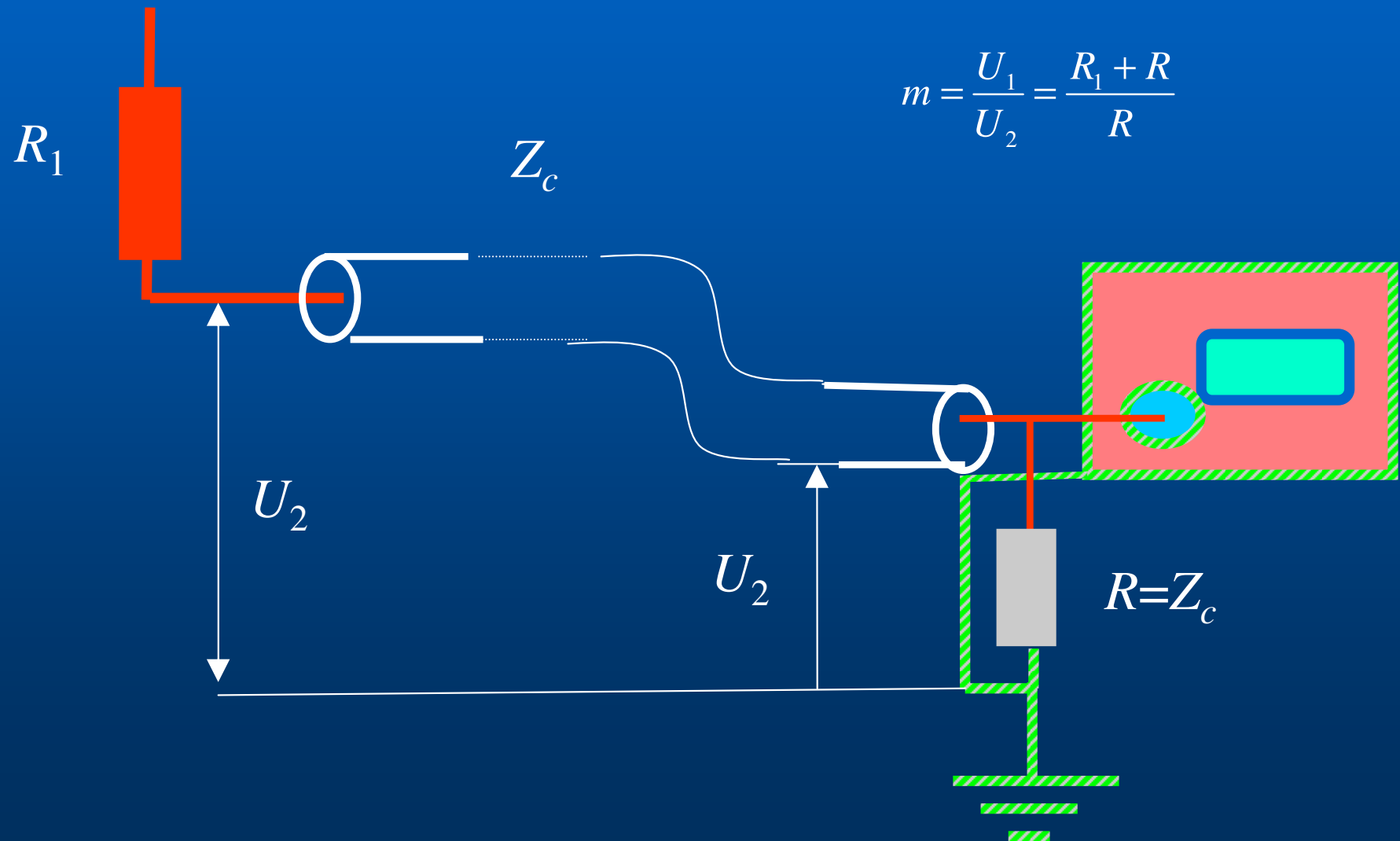


- Kada se vrše merenja, ne smeju postojati 2 mesta uzemljenja da ne bi postojala 2 povratna puta struje. Uzemljuje se ili niskonaponska grana delila ili merni instrument

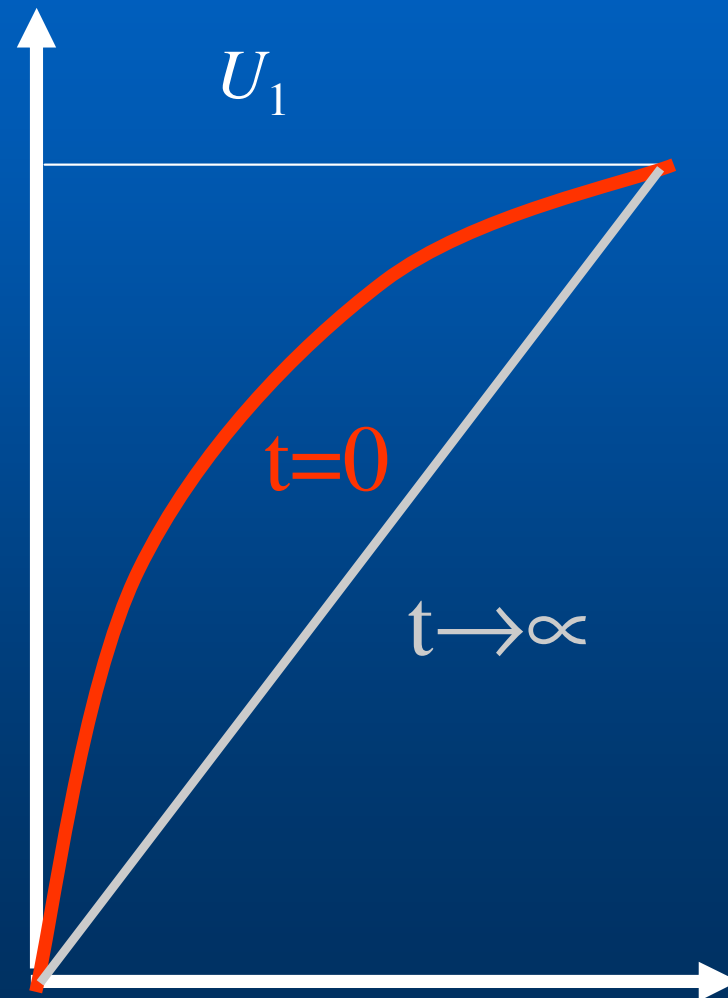
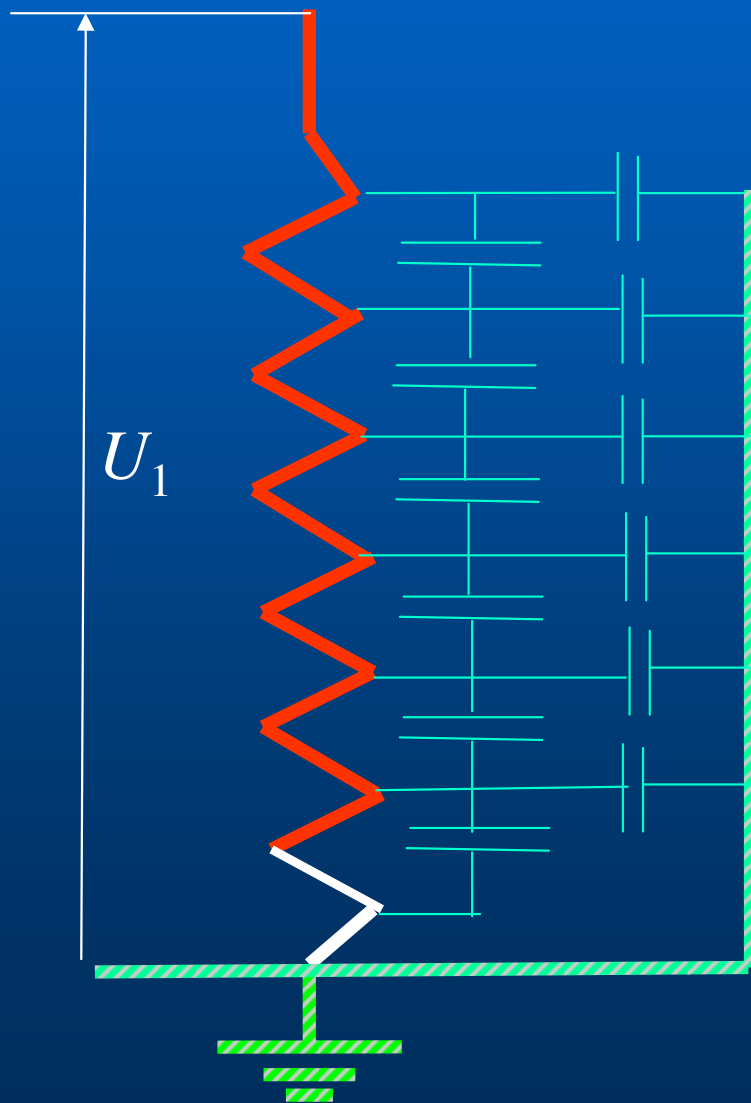


- Gaborovo delilo

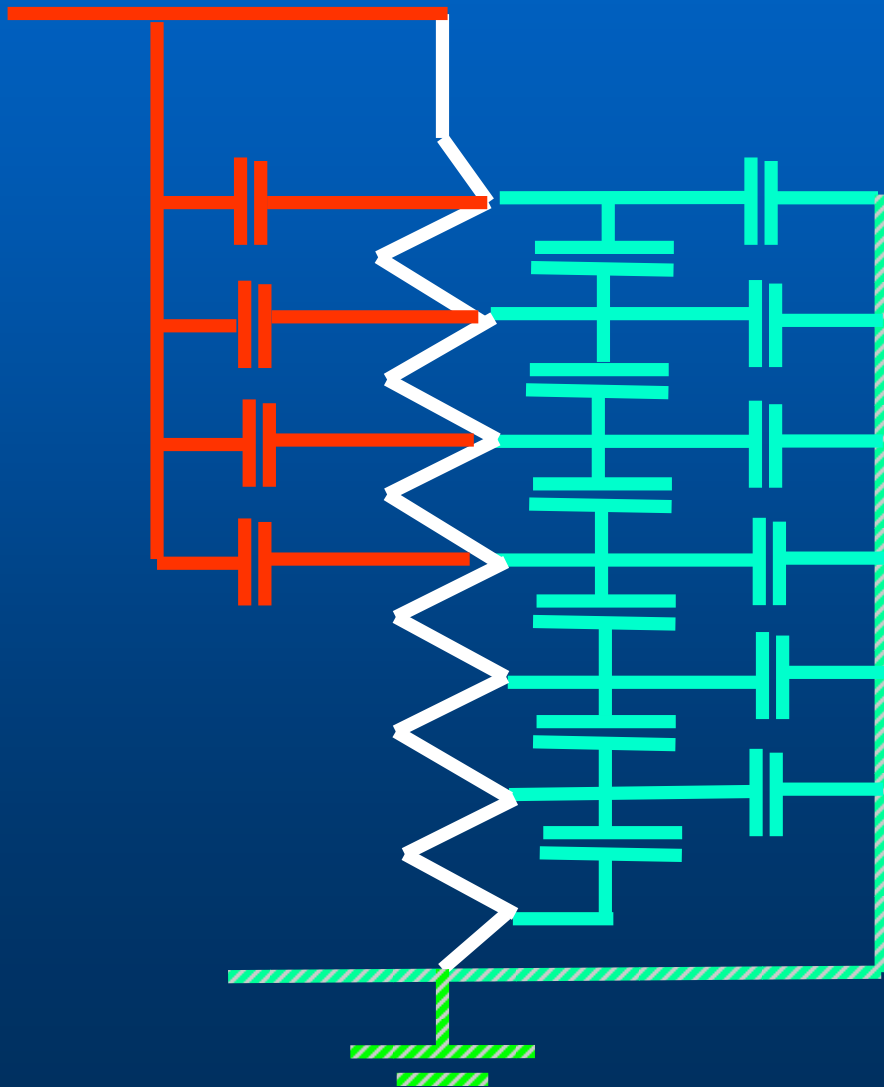
- dobija se kada je otpor niskonaponske grane beskonačan
- završni otpornik se namotava bifilarno zbog smanjenja induktivnosti
- ređe se koristi zbog parazitnih kapacitivnosti u završnom otporniku



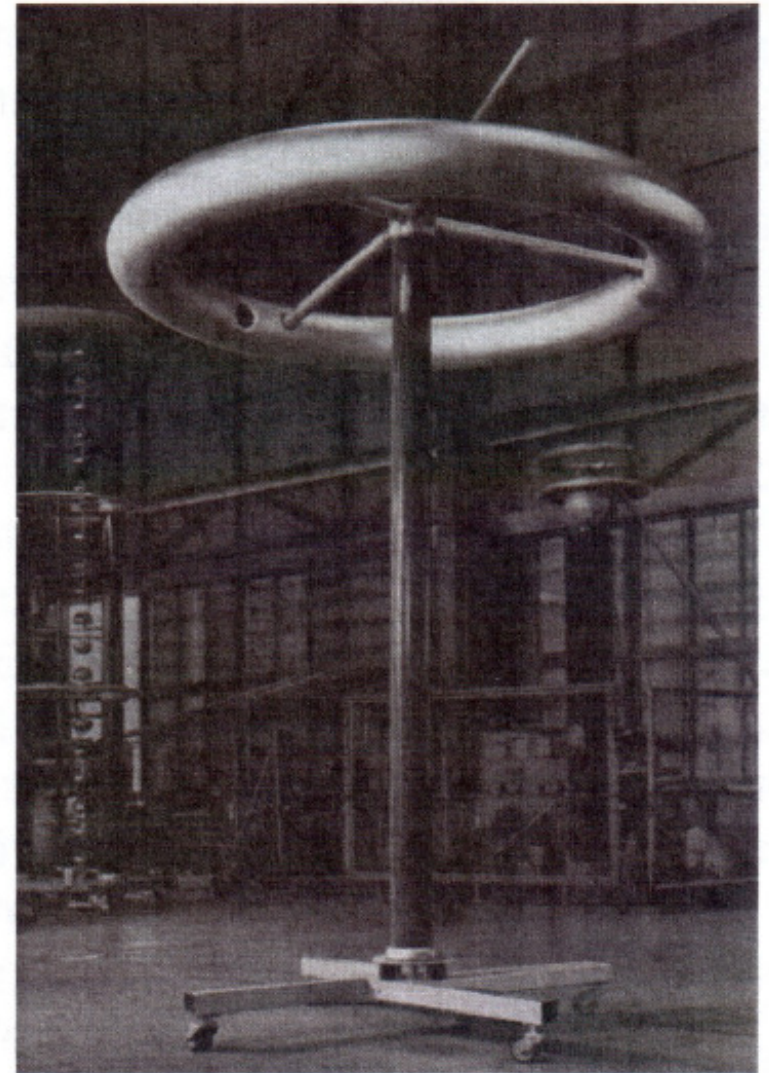
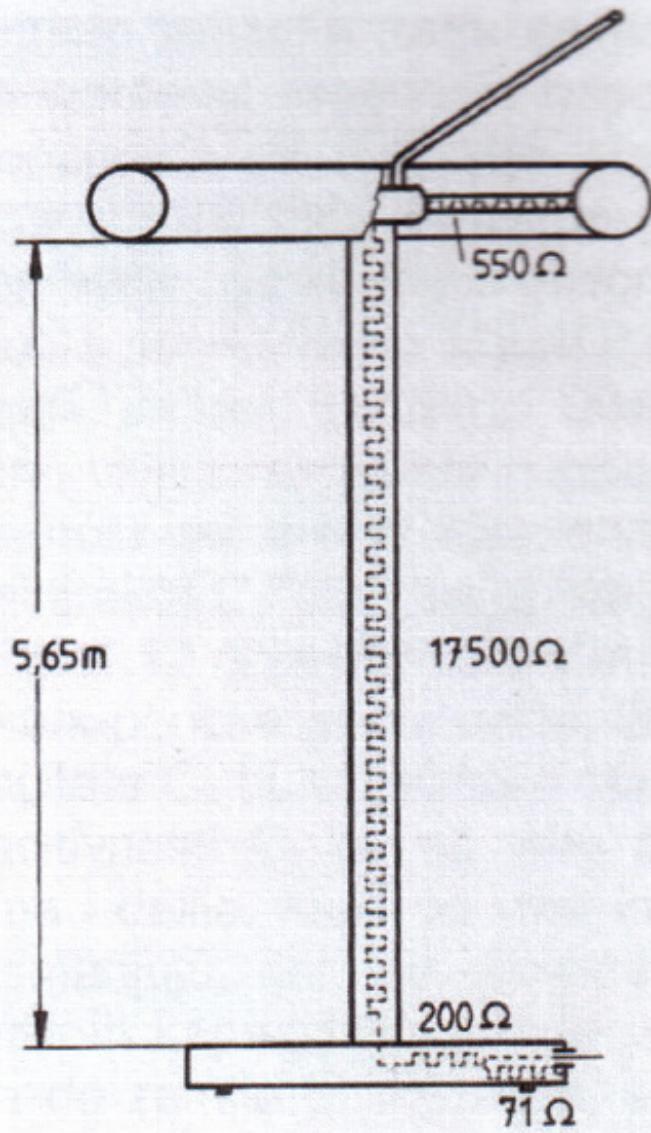
- Uticaj parazitnih induktivnosti
 - javljaju se kao posledica motanih kalemova
- Uticaj parazitnih kapacitivnosti
 - parazitne kapacitivnosti se javljaju između namotaja i prema zemlji



- Kompenzovanje kapacitivnosti prema zemlji korišćenjem ekrana



- Izgled kompenzovanog delila



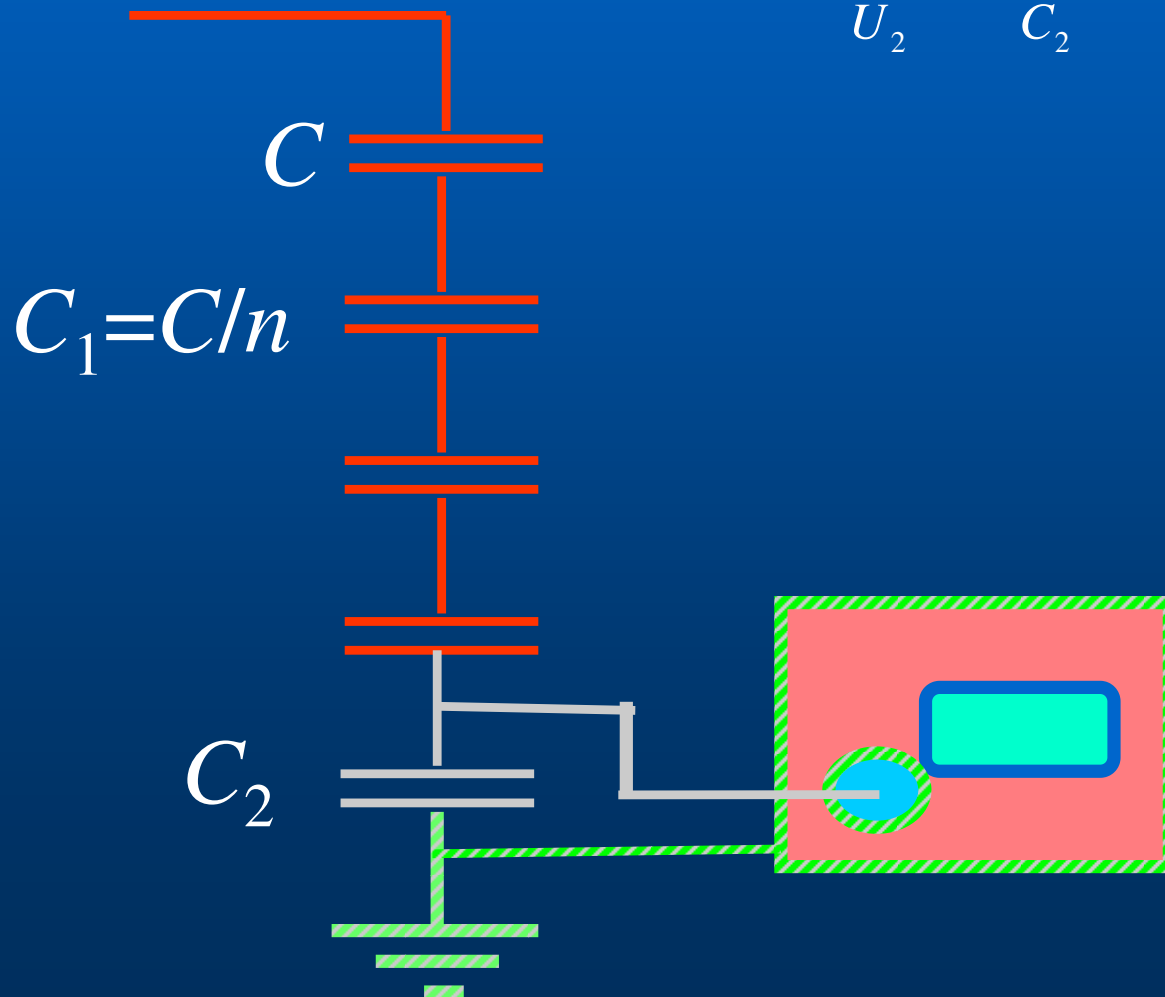
- Odziv delila napona



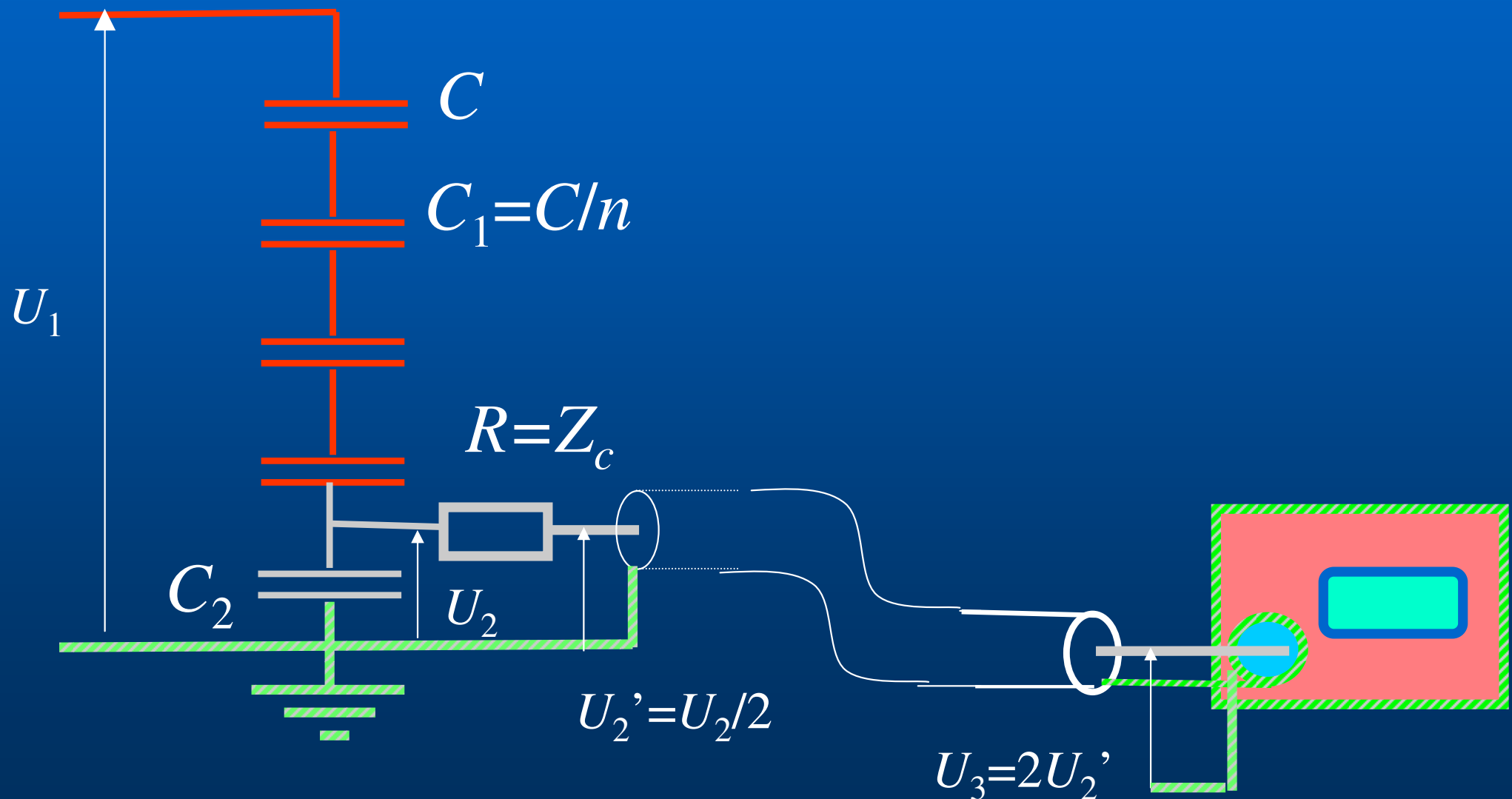
Kapacitivno delilo napona

- Mogu se meriti naizmenični i brzopromenljivi naponi
- Nisu pogodna za merenje jednosmenih napona, pokazivanje instrumenta nije adekvatno
- Odnos deljenja:

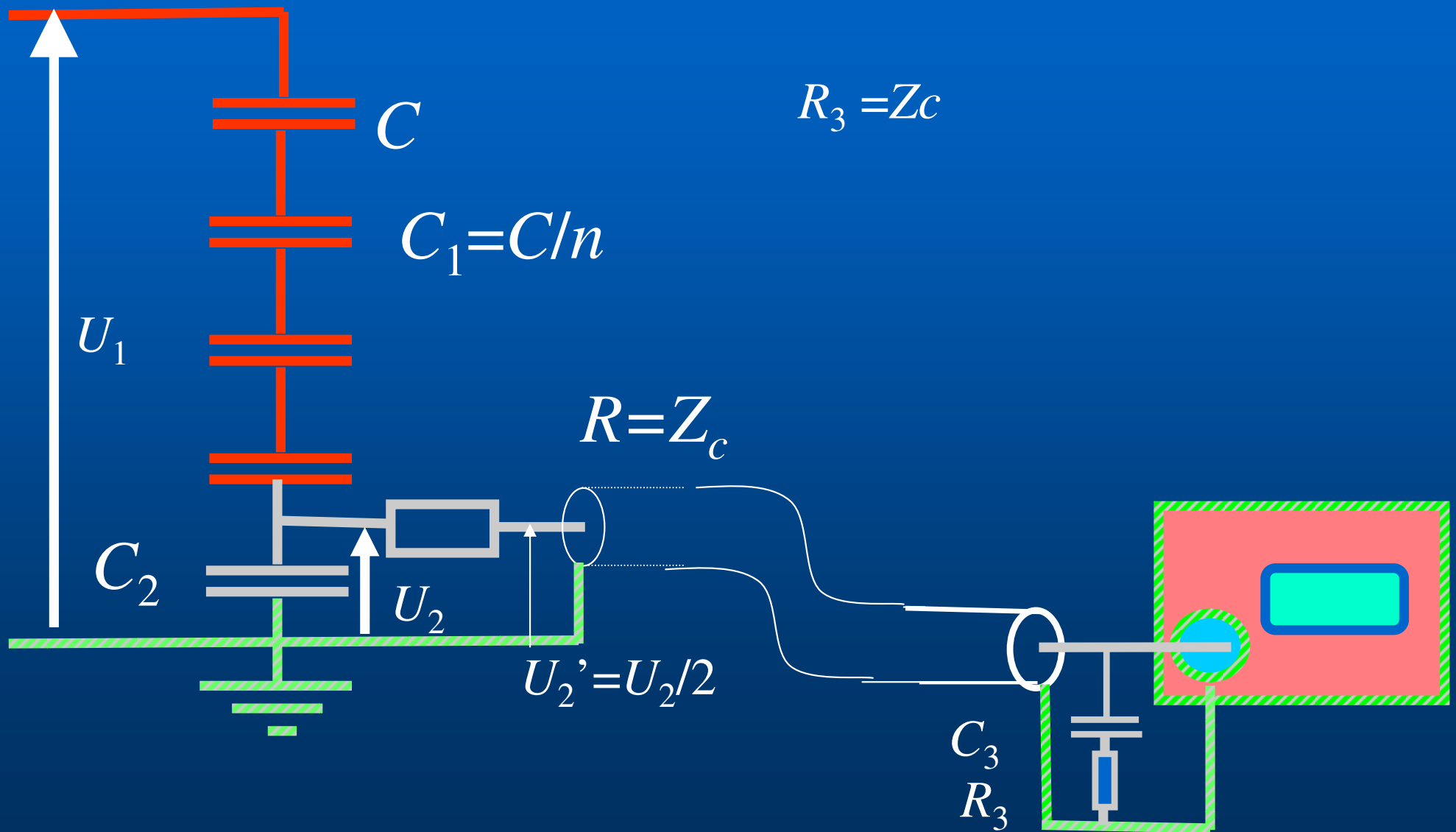
$$m = \frac{U_1}{U_2} = \frac{C_1 + C_2}{C_2}$$



- Kapacitivno delilo napona sa koaksijalnim kablom
 - najčešće se između delila i kabela koristi redno vezan otpornik čija je otpornost jednaka karakterističnoj impedansi kabela
 - zbog otvorenog kraja kabela napon: $U_3=2U_2'=U_2$



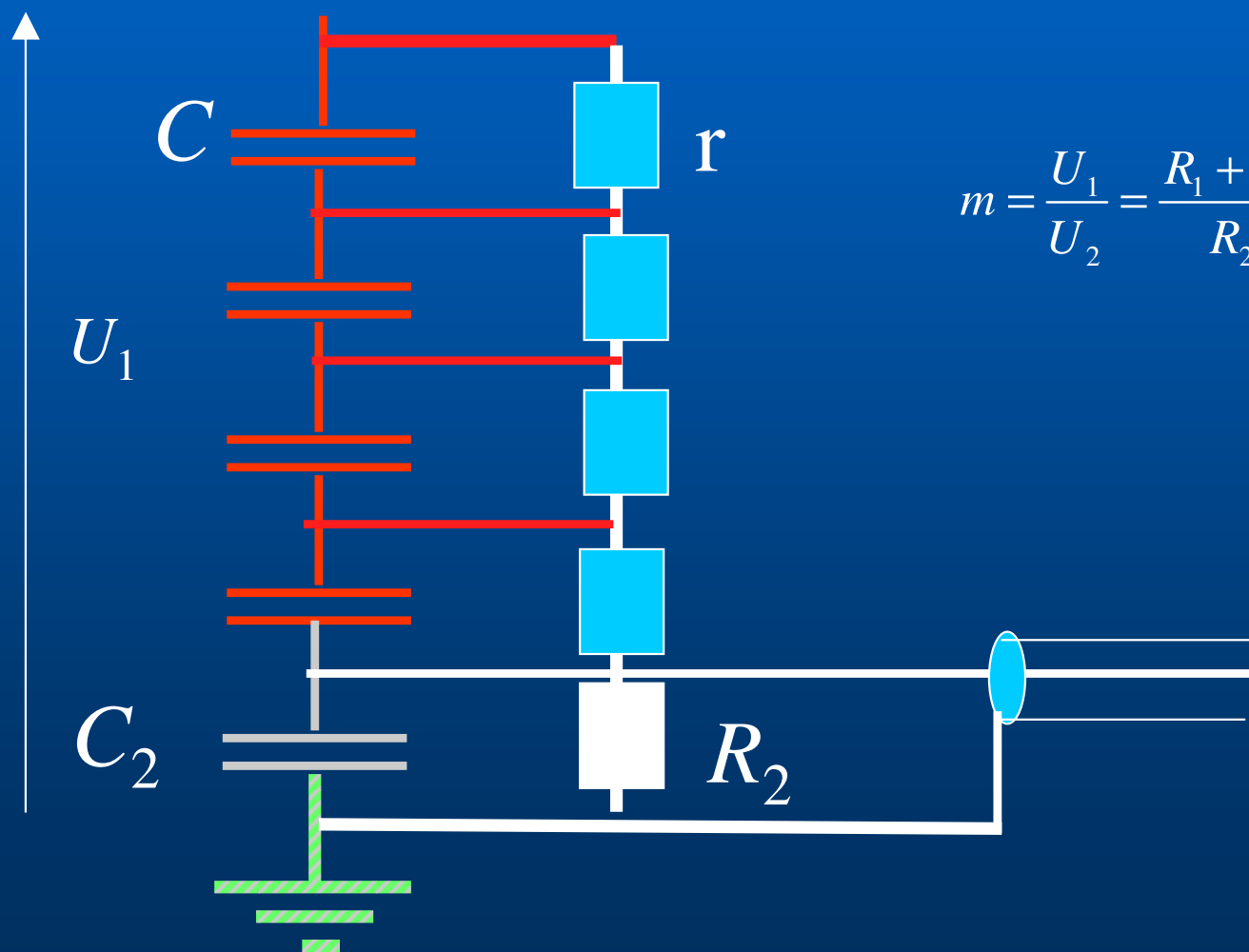
- Kapacitivno delilo napona za širi opseg uĉestanosti (Burch)



Paralelno mešovito delilo napona

- Uslov da odnos deljenja ne zavisi ni od vremena ni od učestanosti:

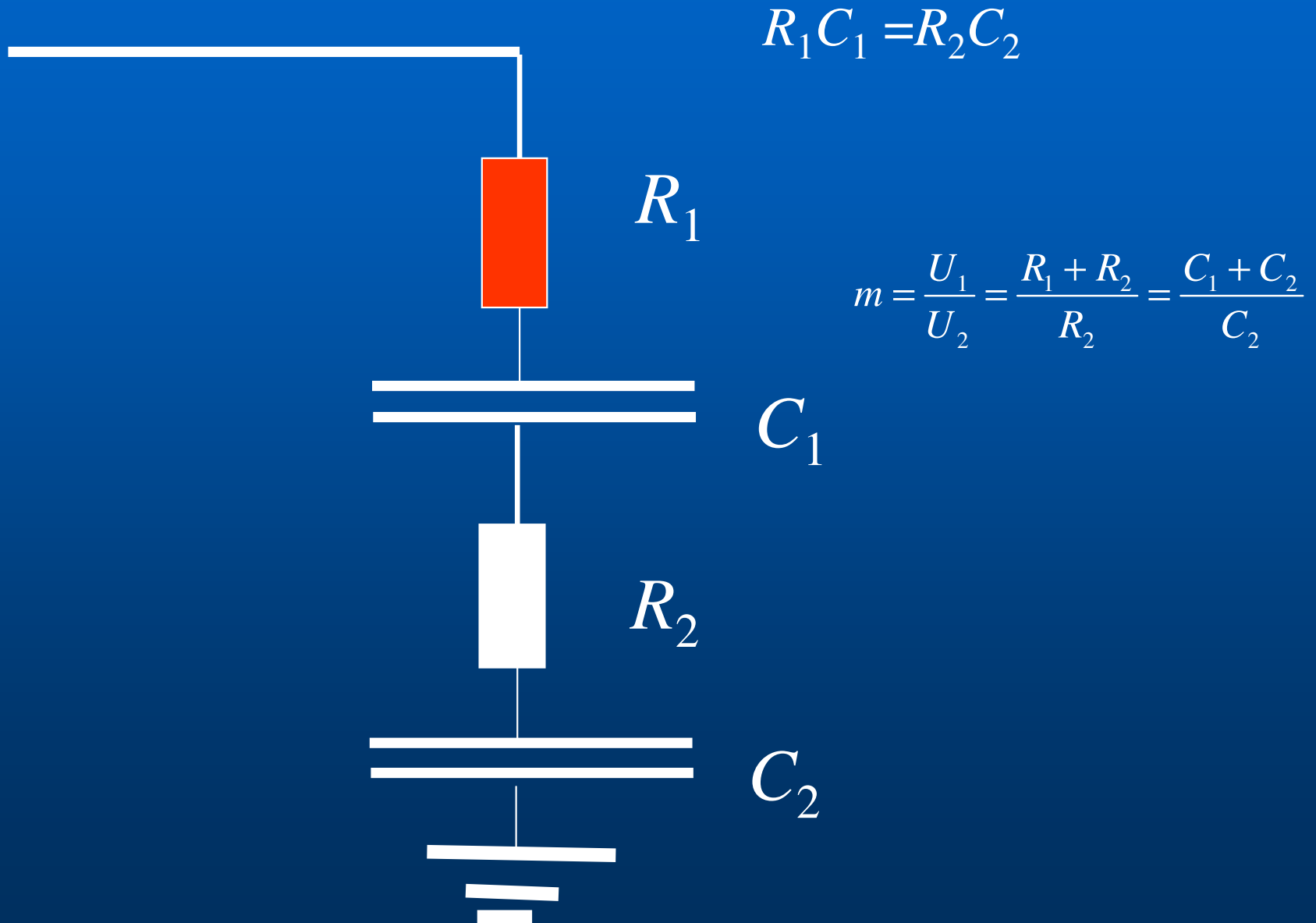
$$R_1 C_1 = R_2 C_2$$



$$m = \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} = \frac{C_1 + C_2}{C_2}$$

Redno mešovito delilo napona

- Uslov da odnos deljenja ne zavisi ni od vremena ni od učestanosti:



Registrowanje temene vrednosti napona

- Kondenzator C_3 treba brzo da se napuni i sporo da se prazni nakon smanjenja napona
 - vremenska konstanta opterećenja kondenzatora C_4

