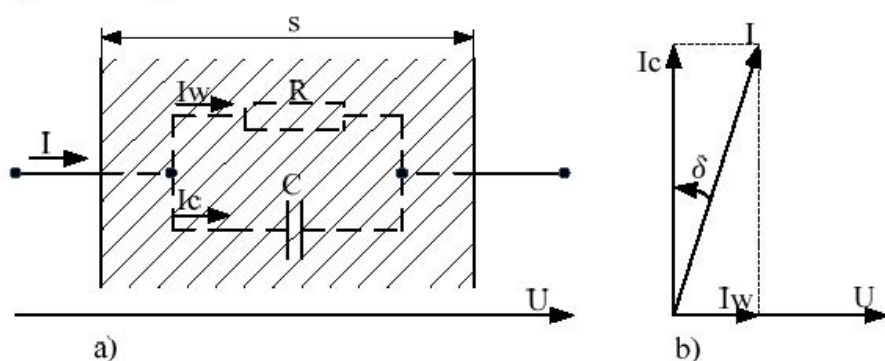


1. Objasnite pojavu dielektričnih gubitaka u dielektricima (shema, izvod formule za snagu gubitaka?)

Ako se dielektrik nalazi između ploča kondenzatora, tada osim kapacitivne komponente teče još i radna komponenta struje I_r . Struja I_r je uzrokovana malom električnom vodljivošću γ dielektrika ($\gamma \approx 10^{-16}$ do 10^{-10} S/cm) i potrošnjom energije potrebne za stalnu promjenu polarizacije dipola pri narinutom izmjeničnom naponu.



Slika 3.14 Pločasti kondenzator s nadomjesnom shemom

Kut gubitaka δ je kut između ukupne struje I i njene kapacitivne komponente.
Faktor gubitaka:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_w}{I_c} = \frac{U/R}{U\omega C} = \frac{1}{R\omega C} \quad (\text{Jed. 3.41})$$

$$\frac{1}{R} = \omega C \operatorname{tg} \delta \quad (\text{Jed. 3.42})$$

Snaga gubitaka:

$$P_d = \frac{U^2}{R} = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta \quad (\text{Jed. 3.43})$$

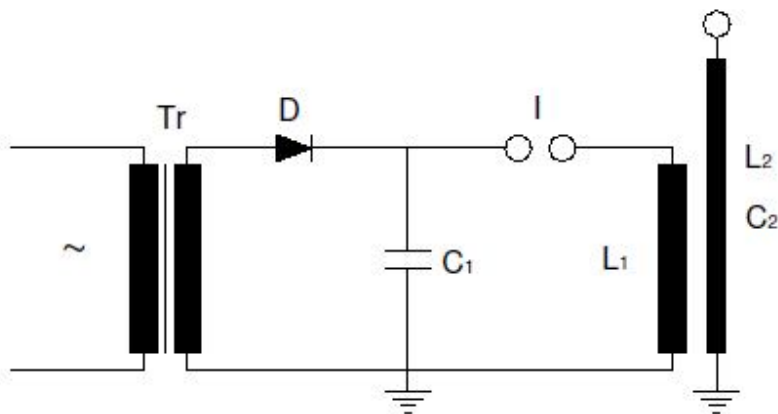
2. Kod Teslinog transformatora zadan je induktivitet i kapacitet primarnog namota 19.5 mikroH i 6 nano F. Ako je poznata vrijednost parazitnog kapaciteta 7.1 pF, odredite vrijednost induktiviteta sekundarnog namota?

$L_2 = 16.5 \text{ mH}$

Koliki je prijenosni omjer ovog Teslinog transformatora? 29

Kolika je rezonantna frekvencija sekundarnog namota? 465.3 kHz

Parazitski kapacite je C_2



Slika 13.1 Shema Teslinog transformatora priključenog na istosmjerni napon

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

$$f_1 \approx f_2$$

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

Tako je prijenosni omjer Teslinog transformatora:

$$\frac{U_2}{U_1} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \quad (\text{Jed. 13.6})$$

gdje su:

U_1 – napon na kondenzatoru C_1

U_2 – napon na vrhu sekundarne zavojnice

3. Što su to unutrašnja parcijalna izbijanja, zašto nastaju i koja im je mjerna jedinica?

Unutarnja parcijalna izbijanja nastaju u šupljinama čvrstih dielektrika te uz narinuti izmjenični napon uzrokuju oštećenja površina u kojima je šupljina. Nastaju zbog onečišćenja ili "slabih mjesta", npr. šupljina koje nastaju u toku proizvodnog procesa ili tokom pogona.

Za razliku od vanjskih parcijalnih izbijanja, kod kojih se pojavljuju izbijanja pri kod kojih se pojavljuju izbijanja pri vršnim vrijednostima napona, unutrašnja parcijalna izbijanja su grupirana oko prolaska napona kroz nulu.

4. Koliki se maksimalni istosmjerni napon može dobiti punovalnim ispravljanjem izmjeničnog napona 75 kV uz zanemarive gubitke? **D**

$U_{max} = \underline{\hspace{2cm}}$

Zašto se dalekovodima s istosmjernim naponom može prenjeti veća snaga nego s dalekovodima s izmjeničnim naponom za istu naponsku razinu? Nema jalovih gubitaka kod istosmjernog prijenosa.

5. Kako probojni napon u slabo nehomogenom i jako nehomogenom polju ovisi o obliku elektroda? Nabrojite vrste izbijanja u jako nehomogenom polju. **D**

U jako nehomogenom polju probojni napon je jako ovisan o polaritetu napona.

Vrste izbijanja u jako nehomogenom polju:

1. bešumno, jedva vidljivo tinjavo izbijanje
2. čujno i vidljivo pramenasto izbijanje (pramenasto izbijanje ne dostiže drugu elektrodu)

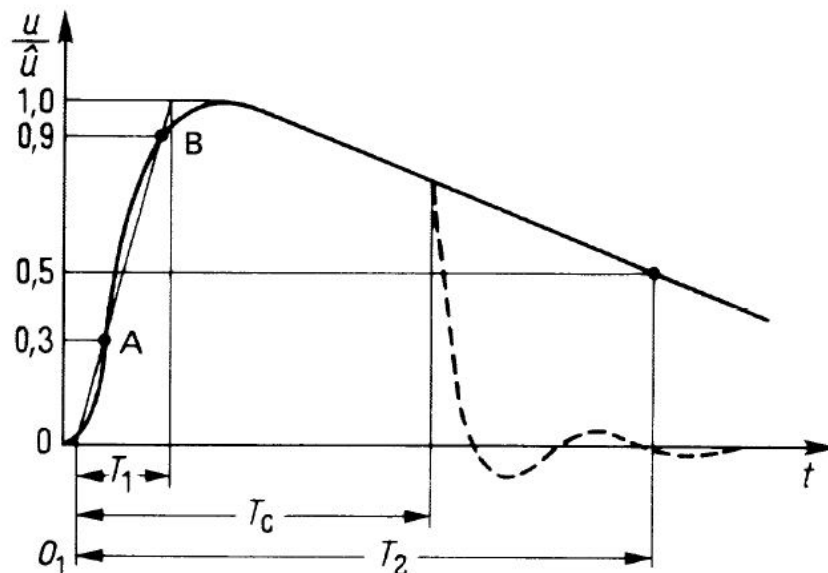
6. Napišite značenje brojeva u oznakama stupnjeva izolacije 123 Si 230/550 i 420 Si 1050/1425. Nacrtajte funkciju standardnog atmosferskog udarnog napona te na grafikonu obilježite veličine koje ga određuju.

Za oznaku stupnja izolacije 123 Si 230/550 brojevi imaju sljedeće značenje:

- 123 najviši napon opreme nazivnog napona 110 kV;
- 230 podnosivi jednominutni sinusoidalni napon industrijske frekvencije;
- 550 podnosivi udarni atmosferski napon.

Za oznaku stupnja izolacije 420 Si 1050/1425 brojevi imaju sljedeće značenje:

- 420 najviši napon opreme nazivnog napona 400 kV;
- 1050 podnosivi udarni sklopni napon;
- 1425 podnosivi udarni atmosferski napon.



Slika 14.2 Standardni udarni napon 1.2/50 μ s

7. Na koje se načine povećava otpor luka u prekidaču te gasi luk u prekidaču?

- Povećati razmak među kontaktima
- Smanjiti presjek luka kako bi se povećao njegov pad napona (važno za gašenje luka istosmjerne struje)
- Osigurati intezivno odvođenje topline

8. Što je termička ionizacija ? Kako porast temperature utječe na dielektrična svojstva izolacionog plina ?

9. U konfiguraciji elektroda šiljak-ploča na šiljak je priključen istosmjerni napon. Za koji polaritet istosmjernog napona će doći do proboja pri nižoj vrijednosti napona uz istu udaljenost između elektroda. Objasnite pojavu.

10. Kako nastaje te kako se može utjecati na smanjenje tranzijentnog porasta potencijala oklopa metalom oklopljenog postrojenja ?

Tranzijentni porast potencijala oklopa (engl. TEVR - Transient Enclosure Voltage Rise) uzrokovan je prenaponima vrlo visoke frekvencije (više MHz), za koje i mali induktiviteti predstavljaju vrlo visoke impedancije, pa je stoga najviše zavisao o induktivitetima uzemljivačkih veza. Uzemljivačke trake dovoljno efikasno sprečavaju porast potencijala kod nižih frekvencija, tako da niske frekvencije nemaju udjela u porastu potencijala oklopa. Međutim kod viših frekvencija i duljih uzemljivačkih traka, one predstavljaju veliki induktivni otpor. U cilju smanjenja amplituda TEVR potrebno je čim više smanjiti induktivitete uzemljivačkih veza. Razina TEVR jako zavisi o načinu i izvedbi uzemljivačkog sustava.

11. Transformator se ispituje 70 kV jednogminutnim izmjeničnim naponom pogonske frekvencije te 145 kV udarnim atmosferskim prenaponom. Napišite izraz za stupanj izolacije ovog transformatora.

38 Si 70/145

Tablica 14.2 Stupnjevi izolacije za nazivne napone ispod 400 kV

Najviši napon opreme(efektivna vrijednost) kV	Nazivni kratkotrajni podnosivi napon industrijske frekvencije (efektivna vrijednost) kV	Nazivni podnosivi atmosferski udarni napon (tjemena vrijednost) kV
38	70	145 170

12. Objasnite nastanak prenapona kod isklapanja malih induktivnih struja te napišite izraz za vršnu vrijednost prenapona.

Prekidači su dimenzionirani za brzo i sigurno prekidanje velikih induktivnih struja, bez apsorpcije prevelikih energija u prekidnim komorama. Uslijed izraženog svojstva gašenja luka, do prekidanja malih induktivnih struja može doći prije njihovog prirodnog prolaska kroz nulu. Ovaj se slučaj događa pri isklapanju transformatora ili prigušnica u praznom hodu, koji uzimaju struju magnetiziranja. Poslije prekidanja struje akumulirana magnetska energija na induktivitetu pretvara se u električnu energiju na kapacitetu transformatora. Kapacitet transformatora sastoji se od kapaciteta između namotaja i kapaciteta između namotaja i zemlje:

$$\frac{1}{2}Cu^2 = \frac{1}{2}Li^2 \quad (\text{Jed. 14.3})$$

pa slijedi da je:

$$u = \sqrt{\frac{L}{C}} i \quad (\text{Jed. 14.4})$$

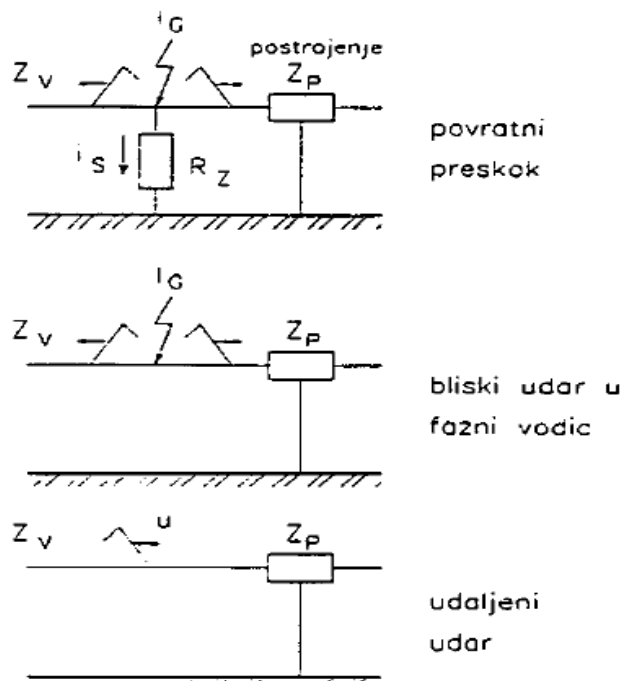
Vršna vrijednost prenapona U_m na induktivitetu koji se isklapa može se izračunati kao funkcija omjera rezonantne frekvencije kruga f_r i pogonske frekvencije f :

$$\frac{U_m}{\sqrt{2}U} \leq \frac{1}{2\pi f \sqrt{LC}} = \frac{f_r}{f} \quad (\text{Jed. 14.6})$$

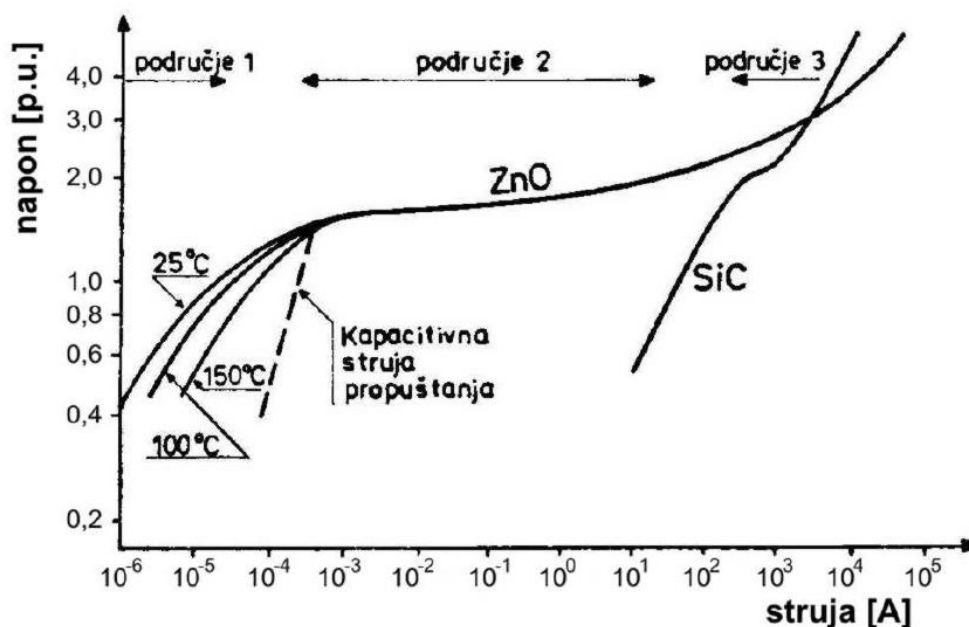
13. Koje vrste atmosferskih pražnjenja prema zemlji su češće po polaritetu ?

Najčešća su pražnjenja negativnog polariteta

Navedite sve vrste atmosferskih pražnjenja



14. Nacrtajte strujno-naponsku karakteristiku metal-oksidnog odvodnika prenapona te označite karakteristična područja na grafikonu. Kako temperatura utječe na karakteristiku ?



Slika 14.43 Strujno-naponska karakteristika MO odvodnika

Područje 1 –karakteristika je jako osjetljiva na temperaturu (mala struja, a velik $\varepsilon = 700$)

Područje 2- temperaturna ovisnost je zanemariva (zbog jake nelinearnosti)

Područje 3- temperaturna ovisnost je zanemariva

15. O čemu ovisi probojni napon prema Pashenovoj formuli ?

Probojni napon ovisi isključivo o produktu ps

Probojni napona je:

$$U' = E' s$$

gdje je: s udaljenost među elektrodama,

p tlak plina,

A, B konstante koje su određene za normalnu temperaturu $T_0 = 293 \text{ K}$.

Za probojni napon vrijedi:

$$U' = \frac{Bps}{\ln\left(\frac{Aps}{K}\right)} = f(p, s)$$

Ovo predstavlja **P a s c h e n o v z a k o n** (prikazan Slikom 9.1).

16. Načini mjerenja i popravka bez isključenja ?

1. Rad na potencijalu-vodovi visokog napona

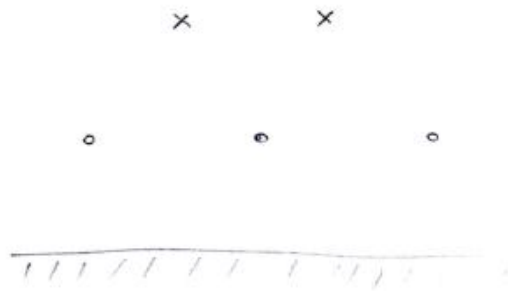
2. Rad sa zemlje-vodovi niskog i srednjeg napona¹

17. Faktor dielektričnih gubitaka- definirati, napisati kako ovisi o temperaturi dielektrika ?
Nacrtati graf ovisnosti $\text{tg}\epsilon_T$ o T za porculanski izolator.

18. Vrijeme do proboja-komponente, o čemu ovise, koje su karakteristične dužine trajanja ?

19. Elektrogeometrijski model-nacrtati zonu udara na vod, zadan je samo opći I_A

¹ Pretpostavka je da se pitanje odnosi na rad pod naponom



20. Navedite svojstva SF₆ plina i usporedite s zrakom kao medije za gašenje električnog luka ?

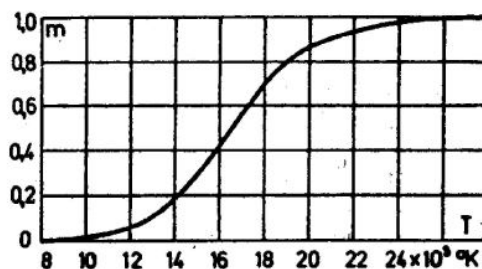
Odvođenje topline osnovni je uvjet za gašenje luka jer o tome ovisi temperatura, a o temperaturi vodljivost medija. Termička vodljivost za zrak doseže maksimum pri temperaturi 6000 °C dok se kod plina SF₆ taj maksimum doseže pri 2000 °C (Slika 6.19).

D

21. Što je termička ionizacija ? Nacrtajte dijagram stupnja ionizacije ovisno o temperaturu.

Nastaje pri povišenim temperaturama plina. Uslijed visoke temperature dolazi do kaotičnog kretanja molekula u plinu, a uslijed sudara do oslobađanja novih elektrona, te su moguće pojave fotoionizacije. Raste broj elektrona pa je plin sve više ioniziran. Stupanj ionizacije plina predstavlja odnos ioniziranih molekula N_i prema ukupnom broju molekula N u promatranom volumenu plina: $m = N_i/N$. Može se

Dijagram stupnja ionizacije zraka o temperaturi. Preko temperature 24 000 K sve su molekule plina ionizirane.



Slika 6.4 Dijagram stupnja ionizacije zraka o temperaturi

22. Koji su najvažniji parametri struje groma (napisati i tipične vrijednosti tih parametara) ?

23. Što je to koordinacija izolacije ? Koja naponska ispitivanja se provode na 110 kV opremi (napisati vrste ispitivanja i amplitude ispitnih napona)

Osnovna načela koordinacije izolacije su sadržana u IEC 60071. Prema tamo utvrđenim formulacijama koordinacija izolacije predstavlja korelaciju izolacionih svojstava opreme s karakteristikama zaštitnih sredstava na takav način da oprema bude zaštićena od prenapona. To se postiže usklađivanjem izolacijske otpornosti postrojenja i visine prenapona uz korištenje karakterističnih zaštitnih aparate. Da bi neka izolacija izdržala prenapone ona mora prije izdržati ispitivanje udarnim standardnim naponom $1.2/50 \mu s$.

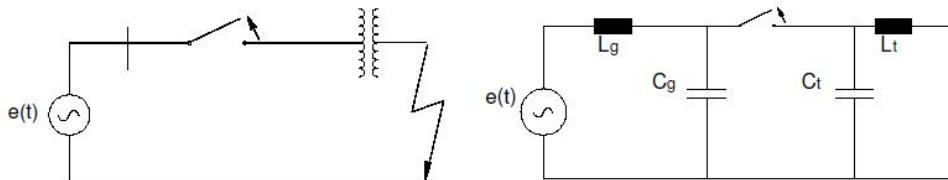
Za oznaku stupnja izolacije 123 Si 230/550 brojevi imaju sljedeće značenje:

- 123 najviši napon opreme nazivnog napona 110 kV;
- 230 podnosivi jednominutni sinusoidalni napon industrijske frekvencije;
- 550 podnosivi udarni atmosferski napon.

24. Što je to povratni napon na prekidaču ? Nacrtajte shemu kruga u kojem se javlja povratni napon s dvjema frekvencijama i oscilogram povratnog napona ?

U slučaju da se nakon otvaranja prekidača formiraju dva odvojena kruga povratni napon na prekidaču će sadržavati dvije frekvencije. Na Slici 14.18 je prikazan slučaj kada se otvara prekidač između generatora i transformatora, poslije nastanka kratkog spoja na vodu. Sa L_g i C_g označen je induktivitet i kapacitet s generatorske strane, a sa L_t i C_t induktivitet i kapacitet s transformatorske strane prekidača. Odgovarajuće frekvencije oscilacija su:

$$f_g = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_g C_g}} \quad \text{i} \quad f_t = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_t C_t}} \quad (\text{Jed. 14.12})$$



25. Što je to korona, gdje se javlja i kako se očituje ?

"Korona" doslovno predstavlja svjetlosni disk koji se pojavljuje oko Sunca. Termin su preuzeli fizičari i inženjeri kako bi općenito opisali parcijalna izbijanja koja nastaju u područjima jako koncentriranih električnih polja, na primjer na površini šiljaste ili cilindrične elektrode, koja se nalazi nasuprot i na nekoj udaljenosti od druge elektrode. Ovakav parcijalni proboj zraka se po prirodi prilično razlikuje od totalnog proboja u prostoru zraka između elektroda. Također, to se odnosi i na sve ostale plinove.

Korona se javlja na jako zaobljenim (šiljatim) površinama elektroda u plinu. Korona je nepoželjna jer uzrokuje gubitke, ometa bežični prijenos, izaziva kemijske reakcije u plinu (npr. stvaranje ozona u zraku). Zato se kod elektroda u plinu nastoji postići pogodan oblik elektroda kojim se izbjegavaju rubni efekti (npr. snop vodiča kod visokonaponskih vodova).

Korona se razlikuje i od pražnjenja koja nastaju unutar mjehurića plina u čvrstim ili tekućim izolatorima, iako su spomenuti fenomeni pražnjenja u plinovima isti. Korona je popraćena brojnim vidljivim efektima, kao što su vidljivo svjetlo, karakteristični zvuk, električna struja, gubitak energije, radijske smetnje, mehaničke vibracije i kemijske reakcije. Kemijske reakcije stvaraju miris ozona i dušikovih oksida.

Proces pražnjenja ovisi o polaritetu narinutog napona, pa je tako i mehanizam nastanka korone zavisao o polaritetu kao i obliku napona.

Kod istosmjernog statičkog napona razlikuje se pozitivna i negativna korona.

Kod izmjeničnog napona radi se o izmjeničnoj koroni.

Kod impulsnih napona razlikuje se pozitivna i negativna impulsna korona.

Na dugim visokonaponskim prienosnim vodovima, korona koja nastaje uslijed vrlo visokog prenaponskog vala, ima pozitivni učinak na smanjenje vršne vrijednosti i strmine prenaponskog vala, te se tako ublažava dielektrično naprezanje izolacije elektroenergetskog sustava.

26. Kako se mjeri visoki napon u visokonaponskim rasklopnim postrojenjima ?

Mjerenje visokog izmjeničnog napona u visokonaponskom laboratoriju provodi se pomoću:

- Naponskog djelitelja napona i voltmetra;
- Velike impedancije i ampermetra;
- Kuglastih iskrišta.

27. Ukratko objasnite zašto je raspodjela napona duž izolatorskog lanca nelinearna ?

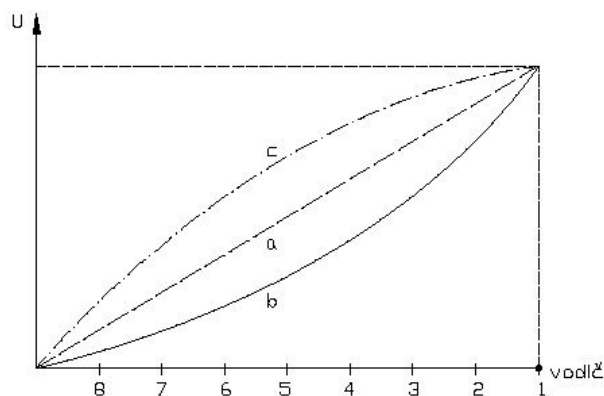
Lanac izolatora može se predstaviti kao lanac kapaciteta (Slika 4.3) u kojem je C – vlastiti kapacitet članka, C_1 – kapacitet pojedinih članaka prema zemlji te C_2 – kapacitet izolatora prema vodiču. Pošto su kapaciteti C_1 znatno veći od kapaciteta C_2 , to će raspodjela napona duž izolatora biti neravnomjerna. Da

Struje koje teku kroz rasipne kapacitete uzrokuju neravnomjernu raspodjelu potencijala.

C_a – vlastiti kapacitet izolatorskih članaka (međusobno su svi isti)

$C_{b1} - C_{b5}$ – dozemni kapacitet članaka prema armaturi stupa (nisu svi isti)

$C_{c1} - C_{c5}$ – kapacitet članaka prema vodiču (nisu svi isti)



Slika 4.6. Raspodjela potencijala po pojedinim člancima

Da li je problem nelinearnosti raspodjele izraženiji za 110 kV ili 400 kV izolatorske lance ?

Što je broj članaka u izolatorskom lancu veći to će biti više izražena neravnomjerna raspodjela potencijala. Radi neravnomjerne raspodjele potencijala ugrađuju se prsteni na izolatorske lance.

60 kV – 4 članka, 110 kV- 7 članaka, 220 kV- 14 članaka, 400 kV- ?

28. Ukratko opisati mjerenje probojne čvrstoće krutih dielektrika.

29. Kojim zakonom se opisuje električni potencijal u polju s prostornim nabojem ?

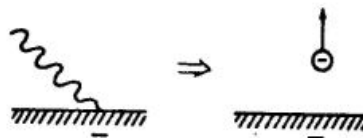
(napisati i jednadžbu).

Odavde slijedi Poissonova jednadžba potencijala:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon} \quad (\text{Jed. 3.39})$$

30. Što je površinska fotoionizacija ?

Nastaje kada na katodu padne foton dovoljno velike energije da je u stanju izbiti iz katode jedan elektron koji se uslijed polja udaljava od katode.



Slika 6.6 Površinska fotoionizacija

(Foton koji udari drugu pobuđenu molekulu i izazove njenu ionizaciju naziva se fotoionizacija)

31. Gdje može nastati ferorezonancija (u kakvom krugu) ?

Ferorezonancija nastaje u električnim krugovima koji sadrže kapacitet i nelinearni induktivitet. U praksi ferorezonanciju mogu izazvati kapaciteti vodova i nelinearni induktiviteti transformatora ili prigušnica.

32. Na laboratorijskim vježbama smo proizvodili visoki istosmjerni napon.... (kako i pomoću čega) ?

Pomoću ispravljača s mehaničkom iglom i VN diode.

33. Pri proizvodnji udarnog napona na laboratorijskim vježbama, trajanje čela vala smo efikasno regulirali promjenom vrijednosti jednog parametra. Kojega ? Kako smo regulirali amplitudu udarnog vala ?

34. Za što se koristi istosmjerna kaskada ?

Za proizvodnju visokog istosmjernog napona (nekoliko MV)

35. Zašto pri zemljospoju nastaju prenaponi ?

36. Ako prenaponski val stiže dalekovodom u transformatorsku stanicu, da li je povoljnije ako je (zaokruži točan odgovor):

a) na sabirnicam osim ovoga dalekovoda priključen transformator i jedan dalekovod;

b) na sabirnicama osim ovoga dalekovoda priključen transformator i još tri dalekovoda;

Zašto ?

Faktor prolaza prenaponskog vala je $p=2/n$ (n -ukupan broj vodiča) , dok je $U_{stanica}=U \cdot p$, zbog toga će u slučaju b) faktor prolaza biti znatno manji nego kod a) ($p=2/4=0.5$ za b), $p=2/2=1$ za a))

37. U kojim postrojenjima dolazi do porasta potencijala oklopa ?

GIS -visokonaponska metalom oklopljena, plinom SF_6 izolirana rasklopna postrojenja

Do porasta potencijala oklopa dolazi zbog prelaska unutarnjih prenapona na vanjske dijelove oklopa. To se događa na diskontinuitetima kao što su provodni izolator SF_6 /zrak i priključak energetskog kabela. Želimo li si predočiti kako poremećaj izlazi iz oklopa na sekundarne uređaje, promotrimo mehanizam na Slici 14.37.

38. Nabrojati prijenosne omjere energetskih transformatora u TS Žerjavinec ?

39. Razlike u mjerenju visokog naponu u VN postrojenju i VN laboratoriju (mjerni instrumenti) ?

40. Kolika je granična jakost E i H polja, kako se možemo zaštititi od E polja ?

41. Koji je najbolji/cesci tekuci dielektrik, kolika mu je specifična vodljivost, o čemu ovisi i kako se ponaša kod porasta temp. dali raste ili pada ?

42. napisati razine (granicne vrijednosti) za magnetsko i električno polje ?
