
OSNOVE ELEKTROTEHNIKE I ELEKTROSTATIKA-TEORIJSKA PRIPREMA

MNOGO JAK PREDGOVOR:

Ova skripta je napravljena kao pomoć studentima prve godine Fakulteta elektrotehnike pri savladavanju teorije iz Osnova elektrotehnike I. Pitanja smo pokupili sa stranice ovog predmeta a odgovori su napravljeni na osnovu predavanja dr.sc.Majde Tešanović i knjige "Knjiga prva" autora Ejup Hot. Tačnost ne garantujemo mada nije nimalo loše urađeno, ako nađete na grešku u ovoj skripti ispravite sebi!!! Ovaj mukotrpan posao su odradili Mekić Nusmir i Džanan Kušljagić, a za izgled dokumenta se pobrinuo Ermin Katadžić...

1. ZA KOJA RASTOJANJA IZMEĐU NAELEKTRISANIH TIJELA VAŽI KULONOV ZAKON?

Na osnovu provedenih istraživanja pokazano je da se Kulonov zakon može primjetiti za rastojanja između tačkastih naelektrisanja od 10^{-18} m pa do nekoliko desetina km.

2. KULONOV ZAKON !

Za sistem od dva nepokretna tačkasta naelektrisanja (čije su dimenzije zanemarljive u odnosu na njihovu udaljenost) može se primjeniti Kulonov zakon koji glasi: "Mehanička sila uzajamnog djelovanja dva nepokretna tačkasta naelektrisanja Q_1 i Q_2 u homogenoj sredini direktno je proporcionalna njihovom proizvodu a obrnuto proporcionalna kvadratu njihovog međusobnog rastojanja." Matematički izraz za Kulonov zakon je :

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon r^2}$$

gdje je ϵ dielektrična konstanta (permitivnost dielektrika).

3. DA LI SREDINA U KOJOJ SE NALAZE NAELEKTRISANA TIJELA UTIČE NA KULONOVU SILU?

Sredina u kojoj se nalaze naelektrisana tijela ima uticaj na Kulonovu silu, taj uticaj je izražen preko dielektrične konstante ϵ koja je obrnuto proporcionalna Kulonovoj sili. Dielektrična konstanta pokazuje svojstva sredine, te je matematički prikazana izrazom $\epsilon = \epsilon_0 * \epsilon_r$ gdje je $\epsilon_0 = 8,856 * 10^{-12} F/m$ i predstavlja dielektričnu konstantu vakuuma, a ϵ_r je relativna dielektrična konstanta koja je različita za svaku sredinu i $\epsilon_r > 1$ (za vakuum $\epsilon_r = 1$).

4. U KOM PRAVCU DJELUJE KULONOVA SILA?

S obzirom da je Kulonova sila vektor, zapisujemo je kao

$$\vec{F}_{12} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon r^2} * \vec{r}_{12}$$

gdje je \vec{F}_{12} vektor sile djelovanja prvog naelektrisanja na drugo a \vec{r}_{12} je jedinični vektor koji je usmjeren od naelektrisanja Q_1 ka naelektrisanju Q_2 . Ovo znači da Kulonova sila djeluje samo duž pravca tačkastih naelektrisanja, njen smjer definišu vrste naelektrisanja, tj. ako su oba naelektrisanja istog predznaka sila će biti odbojnog karaktera, a ako su različitog predznaka onda je Kulonova sila među naelektrisanjima privlačnog karaktera.

5. ŠTA JE ENERGIJA JONIZACIJE?

Energija jonizacije predstavlja energiju koja se utroši prilikom nastajanja jona. Ukoliko elektron napusti atom ili atom primi dodatni elektron on postaje pozitivan ili negativan jon, a energija utrošena u tom procesu zavisi od vrste materije kao i od ljuske na kojoj se atom nalazi, dakle od energetskog nivoa atoma.

6. KAKVE SU TO ČESTICE ELEKTRON I PROTON?

Elektron predstavlja elementarnu česticu koja je osnovni nosilac negativnog naelektrisanja u prirodi i čija je vrijednost konstantna i iznosi $Q_e = e = -1,602 * 10^{-19} C$. Elektroni se nalaze u ljuskama atoma, tj u njegovom omotaču i kreću se po određenim putanjama. Masa elektrona iznosi $m_e = 9,109 * 10^{-31} kg$. Proton predstavlja elementarnu česticu koja je osnovni nosilac pozitivnog naelektrisanja u prirodi, u atomu je broj protona jednak broju elektrona (u suprotnom je to jon), te nosi istu količinu naelektrisanja kao elektron ali suprotnog predznaka, tj. $Q_p = -e = 1,602 * 10^{-19} C$. Protoni su smješteni u jezgru atoma i masa svakog pojedinačnog protona iznosi $m_p = 1,672 * 10^{-27} kg$.

7. KAKO NASTAJU JONI?

Ako jedan ili više elektrona dobiju dovoljnu količinu energije da napuste atom, tada jedan ili više elektrona napušta atom te atom postaje pozitivan jon, tj. prelazi u stanje pozitivnog jona, odnosno ako atom primi jedan ili više elektrona on postaje negativan jon tj. prelazu u stanje negativnog jona.

8. DA LI VELIKI BROJ VRSTA MATERIJJE UTIČE NA VELIKI BROJ VRSTA NAELEKTRISANJA?

Bez obzira na veliku složenost i broj vrsta materije, u prirodi možemo naći samo dvije vrste naelektrisanja, tj. pozitivno i negativno koja potiču od elementarnih čestica, od kojih je i izgrađena materija.

9. KOLIKE SE KOLIČINE NAELEKTRISANJA MOGU SRESTI U PRIRODI?

Količina naelektrisanja može se odrediti u odnosu na silu međudjelovanja naelektrisanih tijela i uvijek se javlja u obliku cjelobrojnog umnoška elementarnog naelektrisanja, bilo da je ono negativno ili pozitivno tj $Q = \pm Ne$ gdje je N cijeli broj i predstavlja broj elementarnih naelektrisanja.

10. KAKVE VRSTE RASPODJELA NAELEKTRISANJA SE KORISTE U ELEKTROSTATICI?

U elektrostatici se koriste četiri vrste raspodjele naelektrisanja: tačkasto, linijsko, površinsko i zapreminsko. Tačkasto naelektrisanje predstavlja naelektrisanje tijelo (ili skup elementarnih naelektrisanja) čije su dimenzije male i mogu se zanemariti u odnosu na sistem u kom se nalaze. Površinsko naelektrisanje predstavlja opterećenja raspoređena na nekoj površini male debljine koja se može zanemariti. Linijsko naelektrisanje predstavlja opterećenja raspoređena duž linije ili provodnika čije se dimenzije poprečnog presjeka mogu zanemariti u odnosu na dužinu provodnika. Zapreminsko naelektrisanje predstavlja opterećenja raspoređena u prostoru, čije dimenzije ne zanemarujemo i samo zapreminsko naelektrisanje zapravo ima fizikalnog smisla.

11. PRORAČUN ELEKTRIČNOG POLJA PRI POVRŠINSKOJ I ZAPREMINSKOJ RASPODJELI NAELEKTRISANJA ?!

Pri površinskoj raspodjeli naelektrisanja potrebno je razdijeliti površinu na beskonačno male elemente dS a koji će imati istu količinu naelektrisanja dQ . Električno polje koje stvaraju ti mali elementarni djelovi površine je

$$dE = \frac{dQ}{4\pi\epsilon r^2}$$

odnosno

$$dE = \frac{\sigma}{4\pi\epsilon r^2} * dS$$

a ukupno električno polje te cijele površine bi bilo

$$E = \frac{\sigma}{4\pi\epsilon} \int \frac{dS}{r^2}$$

Analogno površinskom računa se i električno polje pri zapreminskoj raspodjeli naelektrisanja gdje je mali, elementarni dio te zapremine sa količinom naelektrisanja dQ a $\rho = \frac{dQ}{dV}$ pa je

$$dE = \frac{dQ}{4\pi\epsilon r^2}$$

ili

$$dE = \frac{\rho}{4\pi\epsilon r^2} * dV$$

a ukupno polje je dato relacijom

$$E = \frac{\rho}{4\pi\epsilon} \int \frac{dV}{r^2}$$

12. KOJA VRSTA RASPODJELE NAELEKTRISANJA JE FIZIKALNO OPRAVDANA?

Jedino je zapreminska vrsta raspodjele naelektrisanja fizikalno opravdana jer čak i mala tačkasta naelektrisanja zauzimaju jedan mali dio prostora, koji mi inače zanemarujemo radi pojednostavljenja problema.

13. ŠTA JE TO ELEKTRIČNO POLJE?

Električno polje predstavlja fizičko stanje materijalne sredine u prostoru oko električnih naelektrisanja, dok elektrostatičko polje predstavlja električno polje sistema naelektrisanih tijela koja miruju i čije se naelektrisanje ne mijenja u funkciji od vremena. Električno polje je ujedno i prostor u kojem djeluje električna sila. Mjerna jedinica za jačinu električnog polja u Međunarodnom sistemu (SI) je volt po metru (V/m).

14. KOJI PARAMETRI DEFINIRAJU ELEKTROSTATIČKO POLJE?

Osnovni parametri koji definiraju elektrostatičko polje su: vektor jačine električnog polja \vec{E} koji je kvantitativna karakteristika polja, i električni potencijal V (φ) koji na odgovarajući način definiše raspodjelu energije u električnom polju. Elektrostatičko polje predstavlja el. polje sistema naelektrisanih tijela koja miruju, naelektrisanja u funkciji vremena se ne mijenjaju. Znači definira ga konstantnost u vremenu (ne mijenja se količina naelektrisanja).

15. KAKO SE DEFINIRA PROBNO NAELEKTRISANJE?

Pod probnim naelektrisanjem podrazumijeva se takvo naelektrisanje koje je po dimenzijama vrlo malo, te time ne remeti fizičku stranu procesa u prostoru, a količina elektriciteta na njemu je takođe malog iznosa, koja

nije u stanju da elektrostatičkom indukcijom poremeti raspodjelu naelektrisanja na tijelu čiji se uticaj na prostor proučava. Konvencijom je prihvaćeno da je probno naelektrisanje pozitivno.

16. KAKO SE DEFINIRA JAČINA ELEKTRIČNOG POLJA?

Jačina električnog polja se definira pomoću probnog naelektrisanja. Ako se probno el. naelektrisanje Q_p unese u el. polje punktualnog naelektrisanja Q , na probno opterećenje Q_p će djelovati mehanička sila F različito u raznim tačkama polja, koja je, u skladu sa Kulonovim zakonom srazmjerna probnom el. naelektrisanju Q_p . Prema tome, količnik te sile i probnog naelektrisanja, koje ne zavisi od izbora probnog naelektrisanja, definiše el. polje u tački u kojoj se nalazi probno naelektrisanje naziva se jačinom el. polja što bi se matematički moglo predstaviti izrazom

$$E = \frac{F}{Q_p} \implies E = \frac{\frac{Q Q_p}{4\pi\epsilon r^2}}{Q_p} \implies \frac{Q}{4\pi\epsilon r^2}$$

gdje je r rastojanje između tačkastog naelektrisanja Q i probnog naelektrisanja Q_p .

17. KOJA JE JEDINICA ZA JAČINU ELEKTRIČNOG POLJA?

$$E = \frac{F}{Q} \left[\frac{N}{C} = \frac{J}{m \cdot C} = \frac{J \cdot C}{m \cdot C} = \frac{V}{m} \right]$$

18. KOJI PRINCIP SE KORISTI KOD IZRAČUNAVANJA POLJA OD VIŠE NAELEKTRISANIH TIJELA?

Kod više naelektrisanih tijela za izračunavanje polja koristi se tzv. princip superpozicije. Prema principu superpozicije stanje koje nastane zbog istovremenog djelovanja istorodnih uzroka predstavlja sumu posljedica koje nasatnu djelovanjem tih uzroka pojedinačno. Za izračunavanje električnog polja to bi značilo da je rezultatni vektor jačine električnog polja \vec{E}_r od više naelektrisanja jednak sumi vektora električnih polja tih naelektrisanja tj

$$\vec{E}_r = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$$

19. ŠTA SU TO LINIJE ELEKTRIČNOG POLJA?

Linije električnog polja ili linije polja koje se podudaraju sa linijama sila polja predstavlja liniju u električnom polju u kojoj je vektor jačine električnog polja u svakoj njenoj tački tangenta. Mogu se odrediti eksperimentalno (putanja probnog naelektrisanja je linija polja) ili analitički iz sistema diferencijalnih jednačina

$$\frac{dx}{E_x} = \frac{dy}{E_y} = \frac{dz}{E_z}$$

20. DA LI SE LINIJE ELEKTRIČNOG POLJA MOGU SIJEĆI?

Osobina vektora jačine električnog polja da je jednoznačna funkcija, te da u jednoj tački može imati samo jedno rješenje znači da se linije polja ne mogu ni u kom slučaju sjeći.

21. KAKVA JE KARAKTERISTIKA LINIJA POLJA KOD HOMOGENOG EL. POLJA?

U homogenom električnom polju vektor jačine električnog polja ima isti intenzitet, pravac i smjer u svim tačkama polja i linije u homogenom polju su paralelni pravci na istom međusobnom rastojanju.

22. POJAM FLUKSA VEKTORA!

Fluks je fizička veličina koja iskazuje mjeru broja linija vektora električnog polja koje prožimaju neku površinu a definisan je proizvodom vektora jačine električnog polja i elementarnog djela površine dS kroz koju vektor jačine električnog polja ima konstantan iznos:

- za homogeno polje: $\Phi = \vec{E} * \vec{s} = E * s * \cos \angle(\vec{E}, \vec{n})$

- za nehomogeno polje: $d\Phi = \vec{E} * d\vec{s} = E * ds * \cos \angle(\vec{E}, \vec{n}) \implies \Phi = \int_s d\Phi = \int_s \vec{E}_n * d\vec{s}$

23. ELEKTROSTATIČKA INDUKCIJA!

Usamljeno provodno tijelo, u odsustvu stranog el. polja, karakteriše ravnoteža pozitivnog i negativnog elektriciteta, koji ima za posljedicu da je el. polje u unurašnjosti i izvan tijela jednako nuli, tijelo je električki neutralno. Unošenjem provodnog tijela u strano električno polje ostvaruje se usmjereno kretanje slobodnih

elektrona duž provodnog tijela. U toku trajanja ovog procesa na jednom kraju provodnog tijela pojavljuje se višak elektrona, a na drugom njihov manjak, odnosno dolazi do preraspodjele opterećenja, i to tako da se na krajevima provodnog tijela pojavljuju opterećenja istog iznosa ali suprotnog znaka. U provodnom tijelu je na taj način narušena električna neutralnost, jer su se na njegovim krajevima pojavila ista ali suprotno polarizovana električna opterećenja. Pod uticajem ovih opterećenja unutar provodnika se uspostavlja električno polje koje je usmjereno od pozitivnih ka negativnim naelektrisanjima koje se naziva unutrašnjim električnim poljem. Na taj način došlo je do pojave unutrašnjeg polja koje je suprotnog smjera od smjera stranog polja. Ako su sile stranog polja vremenski postojane, polje unutar provodnika će rasti, sve dok se po iznosu ne izjednači sa stranim poljem. Na kraju se uspostavlja stanje u kome su sile unutrašnjeg polja jednake ali suprotne u odnosu na sile stranog polja. U ovom stanju rezultatna sila koja djeluje na slobodne elektrone je jednaka nuli, prestaje kretanje elektrona i provodnik se nalazi u stanju tzv. elektrostatičke ravnoteže. Dakle, pojava razdajanja pozitivnih i negativnih električnih opterećenja na krajevima provodnog tijela u prisustvu stranog polja naziva se elektrostatička indukcija, a opterećenja na krajevima provodnika indukovana opterećenja.

24. OSOBINE ELEKTROSTATIČKOG POLJA U PRISUSTVU PROVODNIH TIJELA!

Unošenjem provodnog tijela u električno polje dolazi do elektrostatičke indukcije u tom tijelu, tj. javljaju se sile polja koje su istog intenziteta ali suprotnog smjera. Nakon završenog procesa razdvajanja naelektrisanja na provodnom tijelu (elektrostatičke indukcije) doći će do tzv. elektrostatičke ravnoteže. Za ovako uspostavljenu ravnotežu vrijedi da je električno polje u provodnom tijelu jednako nuli, te da je došlo do podjele naelektrisanja i da je narušena neutralnost provodnog tijela za okolni prostor, tako da će doći do promjene linija polja koje je prvobitno bilo.

25. RASPODJELA OPTEREĆENJA NA USAMLJENIM PROVODNIM TIJELIMA RAZNIH OBLIKA !

U provodnim tijelima u stanju elektrostatičke ravnoteže u skladu sa Kulonovim zakonom, električno naelektrisanje se raspoređuje po površini tijela. U slučaju osno simetričnih tijela, npr. kugle, onda je opterećenje raspoređeno ravnomjerno pa je gustina naelektrisanja na površini konstantna. U slučaju nesimetričnih tijela, dolazi do neravnomjerne raspodjele opterećenja i do tzv. efekta šiljka, što znači da površine sa malim radijusom zakrivljenosti nose najviše naelektrisanja, tako da na šiljku može doći do ogromnih gomilanja naelektrisanja pa čak i do jonizacije okolnog prostora. Joni istog znaka kreću se od šiljka dok joni suprotnog znaka se kreću ka njemu. Nastaje strujanje zraka od šiljka što predstavlja tzv. električni vjetar.

26. KAKO JE DEFINIRAN FLUKS VEKTORA JAČINE ELEKTRIČNOG POLJA?

Ako se u el. polju uoči ravna elementarna površina dS može se pretpostaviti da vektor jačine el. polja ima konstantan iznos i pravac u svim njenim tačkama, odnosno da je polje u svim tačkama elementarne površine homogeno, pa je

$$d\Phi = \vec{E} * d\vec{s} = E * ds * \cos \angle(\vec{E}, \vec{n}) \implies \Phi = \int_s d\Phi = \int_s \vec{E}_n * d\vec{s}$$

gdje dS predstavlja vektorski izraz elementarne površine intenziteta dS čiji se pravac i smjer podudaraju sa pravcem i smjerom pozitivne normale \vec{n} . E_n predstavlja projekciju vektora \vec{E} na pravac normale.

27. KOJA JE JEDINICA ZA ELEKTRIČNI FLUKS?

$$\Phi = E * s = \left[\frac{V}{m} m^2 = Vm \right]$$

28. KAKO GLASI GAUSOV ZAKON U ELEKTROSTATICI?

Izlazni fluks jačine električnog polja kroz zatvorenu površinu jednak je količniku ukupnog električnog opterećenja obuhvaćenog tom površinom i dielektrične konstante u homogenoj i izotropnoj sredini. Gausov zakon uspostavlja relaciju između jačine električnog polja i zadate raspodjele naelektrisanja na sljedeći način

$$\Psi = \oint_S \vec{E} * d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon} \sum_{i=1}^n Q_i$$

29. KOJA MATEMATIČKA RELACIJA GOVORI O IZVORNOSTI ELEKTROSTATIČKOG POLJA?

Gausov zakon odnosno matematička relacija

$$\Psi = \oint_S \vec{E} * d\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon} \sum_{i=1}^n Q_i$$

nam govori o izvornosti elektrostatičkog polja tj. da kroz određenu površinu izvire neki fluks (elektrostatičko polje) što vrijedi za pozitivno naelektrisanje, dok za negativno imamo slučaj da je smjer fluksa (elektrostatičkog polja) suprotnog smjera od vektora normale n te da to polje "ponire" u izvor.

30. KAKO JE DEFINIRAN ELEKTRIČNI POTENCIJAL?

Električni potencijal je energetska parametar koji na odgovarajući način definiše raspodjelu energije u električnom polju. Električni potencijal neke tačke električnog polja predstavlja odnos potencijalne energije u toj tački i probnog naelektrisanja Q_p . Potencijal je skalarna veličina pa je sa matematičkog aspekta pogodnija za određivanje raspodjele električnog polja. Jedinica za električni potencijal je volt [V].

$$\varphi = V = \frac{W}{Q_p} = \frac{E * Q_p * l}{Q_p} = E * l[V]$$

31. ŠTA ODSLIKAVA VRIJEDNOST POTENCIJALA U NEKOJ TAČKI ELEKTROSTATIČKOG POLJA?

Razlika potencijala dvije tačke na veoma maloj udaljenosti $\varphi_A - \varphi_B = \varphi_A - (\varphi_A + \alpha\varphi) = -\alpha\varphi$. Ovu razliku možemo napisati kao

$$-d\varphi = \vec{E}d\vec{l} \implies d\varphi = -\vec{E}d\vec{l} \implies -\int \vec{E}d\vec{l} + c$$

. Ovaj integral pokazuje vrijednost potencijala u nekoj tački, dok "-" ispred njega pokazuje da se odmicanjem tačke od izvora potencijal smanjuje, integralna konstanta C pokazuje mnogoznačnost potencijala.

32. ŠTA JE REFERENTNA TAČKA? DA LI JE POTENCIJAL U ELEKTROSTATIČKOM POLJU JEDNOZNAČNO ODREĐEN?

Izraz za potencijal

$$-d\varphi = \vec{E}d\vec{l} \implies d\varphi = -\vec{E}d\vec{l} \implies -\int \vec{E}d\vec{l} + c$$

, tj. integralna konstanta C pokazuje da je potencijal mnogoznačna funkcija, određuje se uvođenjem uslova ili referentne tačke. Referentna tačka je tačka nultog potencijala. Uzima se proizvoljno, a za sisteme konačnih dimenzija uzimamo je u beskonačnosti, dok za sisteme sa tijelima neodređenih dimenzija uzimamo tačku u konačnom dijelu prostora i to najčešće u prostoru gdje sve tačke imaju isti potencijal.

33. ŠTA JE TO REFERENTNA TAČKA I KAKO SE ODABIRE ?

Referentna tačka predstavlja tačku nultog potencijala. Ona se može odabrati proizvoljno, međutim iz praktičnih razloga referentna tačka odabire se prema prirodi problema koji se proučava. Tako, npr., referentna tačka, tj. tačka nultog potencijala se za slučaj tijela konačnih dimenzija obično uzima u beskonačnosti. Dok za tijela neograničenih dimenzija, kao što su, npr., veoma dugi pravolinijski vodovi, referentna tačka se odabira u konačnom dijelu prostora, i to obično na nekoj površini koju karakteriše osobina da su sve tačke na njoj istog potencijala.

34. KOJA JE JEDINICA ZA ELEKTRIČNI POTENCIJAL?

$$\varphi = E * l \left[\frac{V}{m} * m = V \right]$$

ili

$$\varphi = \frac{W}{Q} \left[\frac{J}{C} = \frac{N * m}{C} = V \right]$$

35. KAKO SE DEFINIRA ELEKTRIČNI NAPON?

Napon između dvije tačke u el. polju jednak je razlici potencijala između tih tačaka. Ako tačke u el. polju imaju jednake potencijale, tada je napon između tih tačaka jednak nuli. To znači da se kretanje el. opterećenja između ovih tačaka odvija bez utroška energije. $U_{ab} = V_a - V_b$.

36. DA LI JE ELEKTRIČNI NAPON JEDNOZNAČNO ODREĐEN U ELEKTROSTAT. POLJU?

Iz relacije od nejednoznačnosti potencijala $\varphi = - \int \vec{E} d\vec{l} + c$ slijedi

$$U = \varphi_A - \varphi_B = - \int \vec{E}_A d\vec{l}_A + c + \int \vec{E}_B d\vec{l}_B - c$$

gdje možemo kratiti integralne konstante, što znači da bez obzira na izbor referentne tačke, napon će biti uvijek isti između dvije tačke, tako da je električni napon u elektrostatičkom polju jednoznačno određen.

37. KOJA MATEMATIČKA RELACIJA GOVORI O VEZVRTLOŽNOSTI ELEKTRIČNOG POLJA?

Linijski integral po zatvorenoj konturi matematički označava cirkulaciju za električno polje i vrijedi

$$\oint \vec{E} d\vec{l} = 0$$

što znači da je električno polje bezvrtložno tj. necirkularno.

38. DA LI POZNAVANJE RASPODJELE POTENCIJALA OMOGUĆAVA POZNAVANJE ELEKTRIČNOG POLJA?

Potencijal električnog polja se može odrediti na osnovu raspodjele jačine polja, inverznim putem možemo izračunati jačinu polja u nekoj tački ako poznamo potencijal, veza između potencijala i jačine električnog polja je

$$d\varphi = -\vec{E} d\vec{l} \implies \vec{E} = -\frac{d\varphi}{d\vec{l}}$$

39. ŠTA SU TO EKVIPOTENCIJALNE LINIJE, ODNOSNO POVRŠINE?

S obzirom da se potencijal mijenja sa udaljenosti, skup tačaka koje imaju isti potencijal nazivaju se ekvipotencijalne linije (površine). Za ekvipotencijalne linije karakteristično je da je vektor jačine električnog polja okomit vektoru pomjeraja tj $d\varphi = \vec{E} d\vec{l} \implies d\varphi = E * dl * \cos \angle(\vec{E}, \vec{l})$ i za $\vec{E} \perp \vec{l} \implies d\varphi = 0 \implies d\varphi = \text{const.}$ Jedna od bitnih karakteristika je ta da je površina prvodnika ekvipotencijalna površina, tj. da su linije polja okomite na nju.

40. U KAKVOM MEĐUSOBNOM POLOŽAJU STOJE LINIJE POLJA I EKVIPOTENCIJALNE LINIJE?

Ekvipotencijalne linije električnog polja su linije čije sve tačke imaju isti potencijal. Po definiciji, odnosno da bi $d\varphi$ bilo konstantno, mora da važi uslov da su vektor jačine električnog polja i vektor pomjeraja dl okomiti, iz čega slijedi da su linije polja uvijek okomite na ekvipotencijalne linije.

41. NEKA SE PRAVAC POMJERANJA dl PODUDARA SA PRAVCEM VEKTORA JAČINE ELEKTRIČNOG POLJA. KADA JE PRIRAŠTAJ POTENCIJALA NAJVEĆI I KAKO SE ZOVE?

Priraštaj potencijala je najveći kada je vektor jačine električnog polja paralelan vektoru pomjeraja tj. kada je vektor pomjeraja okomit na ekvipotencijalne linije ali usmjeren u suprotnom smjeru, i to pokazujemo relacijom $d\varphi = -\vec{E} * d\vec{l} \implies d\varphi = E * dl * \cos \angle(\vec{E}, d\vec{l})$ i ako je $\vec{E} \parallel d\vec{l}$ i suprotnog smjera tako da je ugao $\angle(\vec{E}, d\vec{l}) = 180^\circ \implies \cos 180^\circ = -1 \implies d\varphi = E dl$ što predstavlja najveći priraštaj potencijala i naziva se GRADIJENT potencijala.

42. KAKO SE RAČUNA POTENCIJAL ZA RAZLIČITE ZADATE RASPODJELE NAELEKTRISANJA?

- za linijsku raspodjelu opterećenja gdje je $dQ = q * dl$ potencijal računamo relacijom

$$\varphi = \frac{dQ}{4\pi\epsilon r} = \frac{q}{4\pi\epsilon r} * dl = \frac{q}{4\pi\epsilon} \int \frac{dl}{r}$$

- za površinsku raspodjelu naelektrisanja gdje je $dQ = \sigma * ds$ potencijal se računa po relaciji

$$\varphi = \frac{dQ}{4\pi\epsilon r} = \frac{\sigma}{4\pi\epsilon r} * ds = \frac{\sigma}{4\pi\epsilon} \int \frac{ds}{r}$$

- za zapreminsku raspodjelu naelektrisanja gdje je $dQ = \rho * dV$ potencijal se računa kao

$$\varphi = \frac{dQ}{4\pi\epsilon r} = \frac{\rho}{4\pi\epsilon r} * dV = \frac{\rho}{4\pi\epsilon} \int \frac{dV}{r}$$

43. KAKO SE PONAŠA PROVODNA SREDINA U ELEKTROSTATIČKOM POLJU?

U stanju elektrostatičke ravnoteže osobine provodnih tijela su: površina se nalazi na konstantnom potencijalu (ekvipotencijalna površina), naelektrisanje se raspoređuje po površini, polje unutar provodnika je jednako, dok izvan površine posjeduje samo normalnu (a ne tangencijalnu) komponentu vektora jačine električnog polja.

44. KAKO SE PRIMJENJUJE METOD OGLEDANJA PRI RJEŠAVANJU ELEKTROSTATIČKOG POLJA?

U slučaju kada postoji neko naelektrisano tijelo u blizini provodne ravni tada korisimo metod ogledanja koji se sastoji u sljedećem(slika) : Uklanjajući provodnu ravan, formirano onoliko preslikavanja naelektrisanja koliko diktira ugao koji zaklapaju provodne ravni $n = 2\pi/\alpha$, gdje je α ugao između tih ravni (u slučaju jedne ravni postoji samo jedno preslikavanje). Preslikana naelektrisanja su simetrična u odnosu na posmatrano naelektrisanje i suprotnog su znaka. Kada formiramo sistem od n naelektrisanja tada primjenjujemo princip superpozicije i rješavamo elektrostatičko polje.

48.KAKO JE DEFINIRAN ELEKTRIČNI KAPACITET?

Jedna od brojnih osobina elektrostatičkog polja da je potencijal na svim tačkama provodnog tijela konstantan. Iz uspostavljenih odnosa potencijala tijela i količine elektriciteta na njemu može se zaključiti da između ove dvije veličine postoji linearna zavisnost. To znači da se potencijal tijela mijenja proporcionalno promjeni količine elektriciteta na njemu. Sposobnost provodnog tijela da nagomilava električna opterećenja, povećavajući pri tome svoj potencijal dovodi se u vezu sa jednom karakterističnom veličinom koja se naziva el. kapacitivnost tijela. Za usamljenu provodno tijelo može se uspostaviti direktna zavisnost između potencijala tijela (V) i količine elektriciteta na tijelu (Q) : $Q=CV$ Koeficijent proporcionalnosti (C) naziva se električnom kapacitivnošću. Dakle, sa matematičkog stanovišta, električna kapacitivnost određena je odnosom količine elektriciteta na usamljenom provodnom tijelu i potencijala tijela. $C=Q/V$

49. KOJA JE JEDINICA ZA ELEKTRIČNI KAPACITET?

$$C = \left[\frac{C}{V} \right] = F$$

50. OD ČEGA OVISI KAPACITET? Kapacitet usamljene metalne kugle koja je naelektrisana sa Q iznosi

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{Q}{4\pi\epsilon r}}$$

Iz ovog primjera se može zaključiti da kapacitet zavisi od dimenzija i oblika tijela kao i od sredine u kojoj se tijelo nalazi, a da ne zavisi od materijala od kojeg je tijelo napravljeno.

51.KAKO JE DEFINIRAN ELEKTRIČNI KONDENZATOR?

Električni kondenzator čini sistem od dva bliska provodna tijela (koja se nazivaju elektrode ili obloge kondenzatora) koja su naelektrisana istom količinom naelektrisanja ali različitog predznaka, razdvojeni dielektrikom, koji može biti od raznih neprovodnih materijala, a najčešće je to vazduh. Površine elektroda predstavljaju dvije ekvipotencijalne površine sa potencijalima V_1 i V_2 .

52. OD ČEGA OVISI KAPACITET ELEKTRIČNOG KONDENZATORA?

Odnos količine opterećenja pozitivno naelektrisane elektrode i napona između elektroda definira kapacitet kondenzatora. Kapacitet električnog kondenzatora ovisi od oblika, dimenzija i međusobne udaljenosti elektroda. Pored toga ovisi i od dielektričnih osobina sredine između elektroda.

53. KAKO SE MOGU VEZIVATI ELEKTRIČNI KONDENZATORI?

Kondenzatori se u električno kolko mogu vezivati srijski, paralelno i mješovito što predstavlja kombinaciju serijske i paralelne veze.

54. PARALELNA, SERIJSKA I MJEŠOVITA VEZA KONDENZATORA?

Paralelnu vezu kondenzatora karakteriše to da su počeci kondenzatora spojeni u jednu tačku a krajevi također u jednu tačku. Prilikom spajanja na izvor naponi na ovim kondenzatorima će biti jednaki izvornom naponu tj $U = U_1 = U_2$, ali će biti različite količine naelektrisanja kondenzatora tj. $Q = Q_1 + Q_2$. Ako ovu jednačinu zamjenimo sa $C_e U = C_1 U_1 + C_2 U_2$ zbog uslova da je $U = U_1 = U_2$ dobijamo da je ekvivalentna kapacitivnost ovakve veze jednaka sumi pojedinačnih kapacitivnosti svakog kondenzatora, tj. $C_e = C_1 + C_2$

Kod serijske veze karakteristično je da se početak jednog kondenzatora vezuje za kraj drugog. Kod ovakve veze karakteristično je da se prilikom spajanja na izvor prva ploča naelektriše te se redom, elektrostatičkom indukcijom, elektrišu ostale ploče što dovodi do toga da je naelektrisanje svakog kondenzatora jednako naelektrisanju samog izvora. $Q = Q_1 = Q_2$. Kondenzatori će se elektrisati sve dok suma njihovih napona ne bude jednaka naponu izvora, tj. $U = U_1 + U_2$. Ovu relaciju možemo napisati kao $Q/C_e = Q_1/C_1 + Q_2/C_2$ a iz uslova da je $Q = Q_1 = Q_2$ dobivamo izraz za ekvivalentnu kapacitivnost ove veze $1/C_e = 1/C_1 + 1/C_2$ odnosno dobivamo da je recipročna vrijednost ekvivalentne kapacitivnosti jednaka zbiru recipročnih vrijednosti kapacitivnosti pojedinih kondenzatora. Mješovitu vezu karakteriše kombinacija serijske i paralelne veze i to sa najmanje 3 kondenzatora i rješava postupkom svodenja na dvije osnovne veze, tj. serijsku i paralelnu.

55. KAKO PORAST NAPONA NA KONDENZATORU UTIČE NA KAPACITET I KOLIČINU NAELEKTRISANJA?

Količina naelektrisanja je u linearnoj zavisnosti sa naponom, tj. $Q = CU$ što znači da će se povećati količina naelektrisanja koliko se puta poveća i napon. Pošto su Q i U direktno proporcionalni tj. koliko puta se poveća jedna veličina toliko puta se poveća i druga, a kapacitet će ostati isti, on ne zavisi od porasta napona odnosno naelektrisanja.

56. KAKO PORAST NAPONA NA KONDENZATORU UTIČE NA JAČINU ELEKTRIČNOG POLJA I ENERGIJU?

Pošto su napon i jačina električnog polja proporcionalni tj. $U = E/d$ ($d = const.$) zaključujemo da će se sa porastom napona povećati i jačina električnog polja. Energija kondenzatora je direktno proporcionalna količini naelektrisanja i naponu tj $W = QU/2$ i pošto će sa porastom napona doći i do porasta naelektrisanja zaključujemo da će se energija povećati.

57. KAKO PORAST NAPONA NA KONDENZATORU UTIČE NA ELEKTROSTATIČKU SILU NA OBLOGU?

Iz izraza za silu na oblogama kondenzatora ($F = (QU)/d$), povećanjem napona povećava se količina naelektrisanja, a razmak između obloga ostaje nepromijenjen možemo zaključiti da će se elektrostatička sila na oblogama povećati.

58. KAKO PORAST KOLIČINE NAELEKTRISANJA NA KONDENZATORU UTIČE NA KAPACITET I NAPON?

Pošto napon direktno zavisi od količine naelektrisanja, a kapacitet ne zavisi od količine naelektrisanja i veličine napona na elektrodama (zbog toga što se proporcionalno povećavaju Q i U , te $C = Q/U$, pa se kapacitet ne mijenja), doći će do povećanja napona, ali kapacitet će ostati nepromijenjen.

59. KAKO PORAST KOLIČINE NAELEKTRISANJA NA KONDENZATORU UTIČE NA ENERGIJU I SLIKU?

Energija kondenzatora direktno je proporcionalna količini naelektrisanja i napona (koji također raste sa porastom naelektrisanja) znači da će se i energija povećati jer je $W = QU/2$. Isto vrijedi i za elektrostatičku silu $F = QU/d$ koja će se povećati sa povećanjem naelektrisanja.

60. KAKO PORAST NAELEKTRISANJA NA KONDENZATORU UTIČE NA JAČINU ELEKTRIČNOG POLJA?

Iz relacije $E = U/d$ vrijedi da je jačina električnog polja proporcionalna naponu, koji je proporcionalan količini naelektrisanja. Pošto se rastojanje između ploča d ne mijenja, zaključujemo da će se jačina električnog polja povećati.

61. ŠTA JE TO PLOČASTI KONDENZATOR? Pločasti kondenzator je sistem od dvije povodne, paralelne ploče, koje se nalaze na nekoj udaljenosti d i između kojih se nalazi dielektrik. Najčešći dielektrik koji se nalazi između ploča je vazduh, papir, porculan i sl. Ploče kondenzatora su naelektrisane istom količinom elektriciteta ali suprotnog znaka. Ploče kondenzatora su ekvipotencijalne površine, na različitim potencijalima čija je razlika

napon tog kondenzatora tj $U = V_1 - V_2$. Kapacitet pločastog kondenzatora se računa po formuli

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

što znači da kapacitet zavisi od dielektrika, veličine ploča i udaljenosti na kojoj se one nalaze.

62. KAKO SMANJENJE RASTOJANJA IZMEĐU PLOČA PLOČASTOG KONDENZATORA UTIČE NA: NAPON, KOLIČINU NAELEKTRISANJA, JAČINU POLJA, ENERGIJU I SILU?

Kapacitet pločastog kondenzatora je obrnuto proporcionalan rastojanju ploča tj.

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

pa ako se to rastojanje smanji kapacitet kondenzatora će se povećati. U direktnoj zavisnosti sa kapacitetom je naelektrisanje Q tj $Q = CU$, pa ako se kapacitet povećao povećat će se i naelektrisanje. Napon je obrnuto proporcionalan kapacitetu i direktno proporcionalan naelektrisanju pa neće doći do promjene jer su Q i C linearno zavisni. Jačina polja računa se po formuli $E = U/d$, što znači da će se smanjenjem rastojanja jačina polja povećati. Energija je u direktnoj zavisnosti sa količinom naelektrisanja $W = QU/2$ pa povećanjem naelektrisanja dolazi do povećanja energije. Sila je proporcionalna naelektrisanju ali i obrnuto proporcionalna udaljenosti ploča odnosno $F = QU/d$ pa će doći do njenog povećanja usljed smanjenja razmaka između ploča.

63. KAKO PROMJENA DIELEKTRIKA PLOČASTOG KONDENZATORA UTIČE NA NAPON, KOLIČINU NAELEKTRISANJA, JAČINU POLJA, ENERGIJU I SILU?

Kod pločastog kondenzatora kapacitet je u direktnoj zavisnosti sa dielektričnom konstantom

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$

stoga ako se poveća (smanji) dielektrična konstanta i kapacitet će da se poveća (smanji). Pošto su kapacitet i Q direktno srazmjerni povećanjem (smanjenjem) jednog doći će do povećanja (smanjenja) drugog. Napon $U = Q/C$ će ostati isti jer su Q i C linearno zavisni jedan u odnosu na drugog. Pošto jačina električnog polja zavisi od napona i rastojanja $E = U/d$ a oni se ne mijenjaju, neće doći ni do promjene jačine električnog polja. Energija kondenzatora $W = QU/2$ i sila $F = QU/d$ su također proporcionalne naelektrisanju koje se mijenja i naponu (udaljenosti kod F) koji se ne mijenjaju pa zaključujemo da se energija i sila usljed promjene dielektrika pločastog kondenzatora mijenjaju.

64. KAKO SE DIJELE DIELEKTRICI U ODNOSU NA ATOMSKU I MOLEKULARNU STRUKTURU?

Dielektrike možemo podijeliti u odnosu na raspored njihovih molekula na polarne i nepolarne dielektrike. Kod nepolarnih dielektrika opterećenja unutar molekula za vanjski prostor stvaraju polje jednako nuli tj. centri djelovanja opterećenja se poklapaju. Kod polarnih dielektrika centri djelovanja opterećenja se ne poklapaju. Na taj način se ovi dielektrici ponašaju kao dipoli, tj. razdvojena su djelovanja pozitivnih i negativnih elementarnih naelektrisanja. Ovi dipoli (atomi polarnih dielektrika) nisu električni neutralni i stvaraju polje izvan molekula.

65. ŠTA JE TO PROCES POLARIZACIJE DIELEKTRIKA?

Proces polarizacije dielektrika je proces usmjeravanja električnih dipola, odnosno zakretanje ose dipola u smjeru djelovanja polja pod kojim je nastala polarizacija.

66. VEKTOR ELEKTRIČNE POLARIZACIJE!

Prilikom djelovanja polja na dipol dolazi do njegovog pomjeraja a električni moment tog dipola se računa kao $\vec{p} = \vec{d}q$. Vektor polarizacije se određuje pomoću gustine električnih momenata dipola, odnosno kao

$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}}{dV}$$

gdje je $\sum \vec{p}$ suma svih elementarnih dipola na nekoj zapremini dV . Pravac i smjer vektora polarizacije podudara se sa pravcem i smjerom pomjeraja pozitivno naelektrisanih elementarnih čestica.

67. KOJA KVANTITATIVNA VELIČINA KARAKTERIZIRA JAČINU POLARIZACIJE?

Jačinu polarizacije odnosno vektor jačine polarizacije, možemo odrediti kao proizvod koeficijenta polarizacije i jačine električnog polja koje nastane u toku polarizacije, tj $\vec{p} = \alpha \vec{E}$. Za izotropne dielektrike vrijedi $\vec{p} = \epsilon_0 \xi \vec{E}$ gdje je ξ suscetibilnost sredine. Jačina vektora polarizacije u homogenom električnom polju je brojno jednaka površinskoj gustini vezanih opterećenja tj $P = \sigma_v$.

68. ŠTA JE TO ELEKTRIČNI DIPOL?

Električni dipol je sistem od dva mala, tačkasta naelektrisanja koji nose istu količinu elektriciteta ali suprotnog znaka na nekoj maloj udaljenosti.

69. VEZANA ELEKTRIČNA NAELEKTRISANJA!

Kod procesa polarizacije doći će do orijentacije dipola unutar dielektrika na način da se unutar dielektrika stvori polje jednako nuli, a na krajevima dielektrika javit će se jako tanki sloj tzv. vezanih naelektrisanja. Ona su orijentisana u pravcu polja, tj. negativna naelektrisanja će biti na strani pozitivno naelektrisanog tijela (tj. izvora). Vezana naelektrisanja se povezana unutrašnjim intermolekularnim silama te se ne mogu kretati, za razliku od naelektrisanja koja nastaju na provodnim tijelima.

70. ELEKTRIČNO POLJE U HOMOGENOM DIELEKTRIKU!

Homogeni dielektrik je dielektrik kod kojeg je dielektrična konstanta u svakoj njegovoj tački ista. Nakon djelovanja električnog polja izvršit će se proces polarizacije, tj. doći će do pomjeranja dipola unutar dielektrika i to na način da je dielektrik električno neutralan po cijeloj površini osim na krajnjim djelovima gdje nastaju vezana naelektrisanja i koja će stvarati polje suprotno onom koje djeluje na dielektrik (pokušat će da se suprotstavi).

71. RELATIVNA I APSOLUTNA DIELEKTRIČNA KONSTANTA!

Pošto je vrsta sredine u kojoj se nalaze naelektrisane čestice jako bitna uvedena je tzv. dielektrična permitivnost (propustljivost) sredine. To je konstanta koja opisuje dielektričnu sredinu. Apsolutna dielektrična konstanta je napisana kao $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ i predstavlja glavnu karakteristiku dielektrika. Relativna dielektrična konstanta predstavlja odnos apsolutne dielektrične konstante i permitivnosti vakuuma tj.

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

gdje je $\epsilon_0 = 8,856 \cdot 10^{-12}$, relativna dielektrična konstanta pokazuje koliko je neka sredina propusnija od vakuuma i uvijek je $\epsilon_r > 1$.

72. UOPŠTENI GAUSOVA TEOREMA !

Direktnom primjenom principa superpozicije može se pokazati da teorema važi i u slučaju proizvoljne raspodjele električnih opterećenja koja je obuhvaćena proizvoljnom zatvorenim površinom. Ako se proizvoljna raspodjela opterećenja razloži na elementarna punktualna opterećenja, za bilo koje takvo opterećenje važi izvedeni oblik Gausove teoreme: Algebarska suma elementarnih flukseva jednaka je ukupnom fluksu, koja se prema naznačenoj proceduri, prevodi na sumu punktualnih naelektrisanja, takva da je

$$\Psi = \oint_s \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon} \sum_{i=1}^n Q_i$$

73. VEKTOR ELEKTRIČNOG POMJERAJA!

Prilikom uspostavljanja električnog polja kroz dielektrik npr. kod pločastog kondenzatora, protekne određena količina naelektrisanja. Proticanje tog naelektrisanja kroz neki poprečni presjek okomit na prlazak naelektrisanja naziva se vektorom električnog pomjeraja, te ga za homogenu sredinu možemo izračunati kao

$$D_0 = \frac{Q}{S}$$

, dok za nehomogena polja vrijedi

$$D_0 = \frac{dQ}{dS}$$

tj. moramo posmatrati svako naelektrisanje dQ kroz površinu dS na koju je normalno.

74. ELEKTRIČNE OSOBINE DIELEKTRIKA !

Dielektrici imaju mogućnost da se naelektrišu i da ostanu u tom stanju veoma dugo. Glavna električna osobina dielektrika je njihova dielektrična konstanta ε . Ona se računa kao proizvod dielektrične konstante vakuuma i relativne diel. konstante neke sredine, odnosno pokazuje koliko je puta neka sredina propustljivija od vakuuma. Na osnovu dielektrične konstante dielektrici su podjeljeni na homogene, linearne i vremenski zavisne. Idealni dielektrik ne sadrži slobodne elektrone i jone, međutim takav provodnik ne postoji, odsutpanje realnih od idealnog označava se pomoću specifične električne otpornosti koja zavisi od temperature, pritiska, čvrstoće i td. Također jako bitna osobina dielektrika je njihova čvrstoća koju računamo pomoću kritičnog napona dielektrika, odnosno anpona pri kojem dolazi do probijanja dielektrika i prolaska el. struje kroz njega.

75. GDJE SE JAVLJAJU VEZANE KOLIČINE NAELEKTRISANJA?

Prilikom djelovanja električnog polja na dielektrik dolazi do procesa polarizacije dielektrika tj. dipoli koji se nalaze unutar tog dielektrika orijentišu se pod uticajem tog električnog polja, tako da pozitivni dio dipola bude zakrenut u smjeru polja. Dielektrik će biti električno neutralan, osim tankih vanjskih slojeva gdje nastaju vezana naelektrisanja. Ona su vezana jakim intramolekularnim silama i ne mogu se slobodno kretati.

76. KOJA VELIČINA KARAKTERIZIRA DIELEKTRIKE I IZOLATORE?

...

77. KAKO GLASI MAXWELLOV POSTULAT?

Krenuvši od Gausove teoreme

$$\oint_s \vec{E} d\vec{s} = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

Maxwell je zaključio da se prilikom djelovanja električnog polja na neki dielektrik javljaju vezana naelektrisanja koja također stvaraju električno polje tj

$$\oint_s \vec{E} d\vec{s} = \frac{Q - Q_v}{\varepsilon_0}$$

pošto su to naelektrisanja nastala djelovanjem polarizacije imamo da je

$$\oint_s \vec{E} d\vec{s} + \oint_s \vec{P} d\vec{s} = Q$$

Dobijeni izraz poslužio je Maxwellu da uvede novi vektor koga je nazvao vektorom električne indukcije i definisao ga izrazom

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

Za linearne i izotropne sredine formulacija vektora električne indukcije se pojednostavljuje i dobija se

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E}$$

te Maxwellov izraz za fluks vektora električne indukcije zapisan je kao

$$\oint_s \vec{D} d\vec{s} = Q$$

a glasi: "Izlazni fluks vektora električne indukcije kroz zatvorenu površinu S , u bilo kojoj dielektričnoj površini, jednak je algebarskoj sumi slobodnih električnih opterećenja koja su obuhvaćena tom površinom."

78. KAKO JE DEFINISAN VEKTOR ELEKTRIČNE INDUKCIJE?

Posmatrajući Gausovu teoremu, Maxwell je definisao vektor električne indukcije te došao do zaključka da je $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$ tj. vektor električne indukcije je jednak zbiru vektora električnog pomjeraja i vektora polarizacije. Za izotropnu i linearnu sredinu vrijedi da je

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \varepsilon_0 \vec{E} + \alpha \vec{E} \implies \vec{D} = \varepsilon \vec{E}$$

79. KAKVA JE RAZLIKA U PRIMJENI GAUSOVE TEOREME I MAXWELLOVOG POSTULATA?

Gausova teorema važi za zatvorene površine i za homogenu sredinu, jer se u polju E izvori i ponori, i slobodna i vezana količina naelektrisanja obuhvaćena tom površinom. Maxwellov postulat također vrijedi samo za zatvorene površine ali važi za sve sredine bilo da su one homogene, nehomogene, izotropne, te su izvori i ponori vektora električne indukcije samo slobodna naelektrisanja.

80. KOJI UVJETI MORAJU BITI ISPUNJENI NA GRANIČNOJ POVRŠINI DVA DIELEKTRIKA ?

Ukoliko imam dvije dielektrične površine, gdje postoji električno polje, onda se pretpostavlja da postoji neka količina slobodnog naelektrisanja, pa mora da vrijedi

$$\oint_s \vec{D} d\vec{s} = \sum Q$$

Ukoliko izdvojimo jedan mali, cilindrični dio koji zahvata oba dielektrika onda vrijedi

$$\oint_s \vec{D} d\vec{s} = \int_{\Delta s} D_1 ds \angle(\vec{D}_1, \vec{n}_1) + \int_{\Delta s} D_2 ds \angle(\vec{D}_2, \vec{n}_2) = Q$$

Ovi integrali predstavljaju normalne komponente vektora električne indukcije pa vrijedi

$$-D_{n1}\Delta s + D_{n2}\Delta s = \sigma * \Delta s \implies -D_{n1} + D_{n2} = \sigma$$

što znači da će normalna komponenta vektora električne indukcije prilikom prelaska iz jednog dielektrika u drugi dobiti skok jednak površinskoj gustini slobodnog naelektrisanja, a ako je ona nula tj. $\sigma = 0$ onda je $D_{n1} = D_{n2}$. Drugi uvjet koji mora biti ispunjen je o neprekidnosti tangenčnih komponenti vektora jačine električnog polja. To se pokazuje zatvorenim konturom pravougaonog oblika. S obzirom da su oba dielektrika u jednom polju važi

$$\oint_C \vec{E} d\vec{l} = 0$$

odnosno da je

$$\oint_C \vec{E} d\vec{l} = \oint_{\Delta l} \vec{E}_1 d\vec{l} + \oint_{\Delta l} \vec{E}_2 d\vec{l}$$

i pošto su jako mali dijelovi Δl može se pretpostaviti da je tangencijalna komponenta vektora jačine električnog polja jednaka na njima pa se to može zapisati kao $E_{t1}\Delta l - E_{t2}\Delta l = 0$ iz čega se može zaključiti da je $E_{t1} = E_{t2}$. Ovo znači da su tangente vektora jačine električnog polja neprekidne i jednake u oba dielektrika.

81. RAD SILA ELEKTRIČNOG POLJA !

Pod radom sila električnog polja podrazumijeva se djelovanje električne (Kulonove) sile na neko probno naelektrisanje koje se nalazi u tom polju. Ukoliko se probno naelektrisanje pomjera u tom električnom polju onda se rad koji je izvrila električna sila definira kao proizvod intenziteta te sile i pređeno puta odnosno

$$A = \int_A^B \vec{F} d\vec{l}$$

i pošto je $\vec{F} = Q_p * \vec{E}$ slijedi da je

$$A = Q_p \int_A^B \vec{E} d\vec{l}$$

Integral zapravo predstavlja napon, odnosno potencijalnu razliku krajnje i početne tačke položaja tijela pa to možemo napisati kao $A = Q_p(V_b - V_a)$.

82. ZAKON OD ODRŽANJU ENERGIJE I NJEGOVA PRIMJENA NA ELEKTRIČNO POLJE!

Prema zakonu o održanju energije, slijedi da rad koji ulažu spoljne sile zavisi samo od konačnog iznosa naelektrisanja, a ne načina i redoslijeda kojem su ovi iznosi uspostavljeni. Ova konstatacija pruža mogućnost da se, iz

praktičnih razloga pretpostavi takav proces naelektrisanja gdje sva naelektrisanja istovremeno proporcionalno rastu do svojih konačnih iznosa $Q_1, Q_2, \dots, Q_i, \dots, Q_n$.

Ovo pruža mogućnost da se u izrazu $V_i = \alpha_{i1}q_1 + \alpha_{i2}q_2 + \dots + \alpha_{ii}q_i + \dots + \alpha_{in}q_n$ sva opterećenja pretpostave proporcionalna sopstvenom opterećenju i-tog ($q_n = q_{in}a_{in}$) tijela te se izraz za potencijal i-tog tijela može predstaviti u obliku : $V_i = (\alpha_{i1}a_{i1} + \alpha_{i2}a_{i2} + \dots + \alpha_{in}a_{in}) = b_iq_i$

Uvođenjem ovog izraza u jednačinu $dA_i = V_i dq_i$ dobićemo izraz : $dA_i = b_i q_i dq_i$

$$A_i = \int_0^{Q_i} b_i * q_i * dq_i = \frac{b_i Q_i^2}{2} = \frac{V_i Q_i}{2}$$

$$A = \sum_{i=1}^n A_i$$

$$W_e = A$$

$$W_e = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n V_i * Q_i$$

83. ENERGIJA NAELEKTRISANOG KONDENZATORA!

Pošto je kondenzator sistem od dvije naelektrisane ploče, koje su naelektrisane istom količinom naelektrisanja ali suprotnog znaka tj $Q_1 = -Q_2$ i pošto se one nalaze na različitim potencijalima kondenzator možemo posmatrati kao sistem od dva naelektrisana tijela pa vrijedi $W = 1/2(Q_1V_1 + Q_2V_2)$ iz uslova naelektrisanosti ploča $W = 1/2(QV_1 - QV_2)$ iz toga slijedi da je $W = 1/2Q(V_1 - V_2)$ pošto je razlika potencijala ploča kondenzatora njegov napon, imamo da je energija $W = QU/2$ daljim izvođenjem za $Q = CU$ imamo $W = CU^2/2$ ili za $U = Q/C$ imamo da je $W = Q^2/2C$.

84. GUSTINA ENERGIJE U ELEKTROSTATIČKOM POLJU!

U sredini u kojoj postoji električno polje, postoje i energetski procesi, što znači da svaki dio tog prostora nosi određenu količinu energije. Gustinu te energije možemo izračunati kao količnik energije i zapremine tog prostora (za homogeno polje) tj $W' = W/V$. Za nehomogena polja vrijedi da svaki elementarni dio zapremine nosi određenu energiju pa je gustina takvog polja $W' = dW/dV$. Za proračun energije homogenog polja (električni kondenzator) koristimo se formulacijom $W = QU/2$. Ako naelektrisanje izrazimo preko električne indukcije i površine ploča, a napon preko jačine polja i razmaka između plča, tada ćemo imati da je

$$W = \frac{1}{2} DSE * d$$

Proizvod razmaka i površine ploča je zapravo zapremina našeg polja pa je energija

$$W = \frac{1}{2} DEV$$

a gustina te energije je

$$W' = \frac{W}{V} = \frac{\frac{1}{2} DSE * d}{V} = \frac{1}{2} DE$$

daljim uvođenjem da je $D = \epsilon E$ imamo da je

$$W' = \frac{1}{2} \epsilon E^2$$

ili

$$W' = \frac{D^2}{2\epsilon}$$

Analogno homogenom električnom polju, za nehomogeno bi dobili

$$dW' = \frac{1}{2} \vec{D} \vec{E} dV$$

odnosno ukupna energija bil bila

$$W = \int dW = \int \vec{E} \vec{D} dV$$

a gustina te energije

$$W' = \frac{dW}{dV} = \frac{1}{2} \vec{E} \vec{D}$$

85. SILE U ELEKTRIČNOM POLJU !

Svako tijelo tj. njegov položaj u prostoru je određen sa 6 stepeni slobode: 3 linijske i 3 ugaone, tj. 6 generalisanih koordinata. Ako je koordinata generalisana linijska onda se radi o mehaničkoj sili a ako je ugaona onda se radi o momentu sile. U principu, ako naelektrisanja mijenjaju položaj u prostoru, mijenja se i njihova elektrostatička energija pod dejstvom ovih sila.

86. KAKO SE RAČUNA ELEKTROSTATIČKA SILA NA OSNOVU PRORAČUNA ENERGIJE POLJA?

U opštem slučaju mehanička sila u elektrostatičkom polju se može izračunati preko ZOE. Ako posmatramo pomjeranje tijela duž generalisane koordinate, i njegov pomjeraj pri tome se izvrši rad predstavljen relacijom $A = F dg$ i dođe do promjene energije elektrostatičkog polja za dW . Iz ZOE imamo da je

$$F dg + dW = \sum_{i=1}^n \varphi_i dQ_i$$

Ukoliko se količina naelektrisanja nije promjenila dakle $Q = const.$ onda je $dQ = 0$ pa imamo da je

$$F dg + dW = 0 \implies F = -\frac{dW}{dg}$$

Ukoliko je potencijal konstantan $\varphi = const.$ dolazi do promjene naelektrisanja pa je promjena energija polja u tom slučaju

$$dW = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \varphi_i dQ_i$$

Formulacija

$$F dg + dW = \sum_{i=1}^n \varphi_i dQ_i$$

će preći u

$$F dg + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \varphi_i dQ_i = \sum_{i=1}^n \varphi_i dQ_i \implies F dg = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \varphi_i dQ_i$$

što je jednako promjeni energije polja pa imamo $F dg = dW$ odnosno $F = dW/dg$.