

ukupno vreme potrebno za startovanje agregata i uključenje izvora svetlosti ne sme da traje duže od 10s (eksperimenti su pokazali da posle 15s provedenih u mraku ljude hvata panika, usled čega počinju da se kreću iracionalno). Pošto je vreme ponovnog paljenja živinih izvora visokog pritiska reda 10min, jasno je da pomoćno osvetljenje sportske dvorane ne može da se izvede tako što će se izvestan broj strujnih kola osnovnog osvetljenja priključiti na dizel – električni agregat.

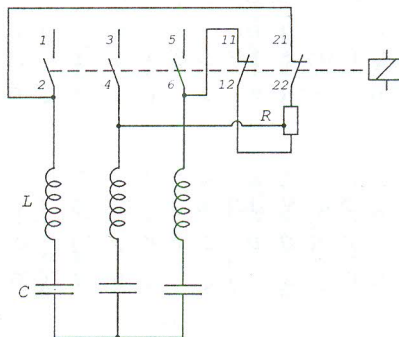
## II Kompensacija reaktivne energije

### Pitanja

39. Dati trofaznu električnu šemu preporučenog načina priključenja kondenzatora većih snaga na električnu instalaciju.
40. Kako se, u cilju eliminisanja problema koji se javljaju usled čestih uključenja i isključenja kondenzatora, u savremenim postrojenjima izvodi automatska centralna kompensacija reaktivne energije?
41. Za kompensaciju reaktivne energije trofaznog asinhronog motora sa kratkospojenim rotorom, čiji su podaci:  $P_n = 6.4\text{kW}$ ,  $\eta_n = 0.8$  i  $\cos\varphi_n = 0.8$ , upotrebljena je trofazna kondenzatorska baterija snage 2.5 kVAr. Da li postoji opasnost od pojave rezonancije?

### Odgovori

39. Induktiviteti bez magnetskog jezgra (tzv. vazdušne prigušnice, na slici označene sa L), ograničavaju veliku struju koja se uspostavlja prilikom uključenja kondenzatora. U cilju sprečavanja pojave prenapona, koji, kao posledica akumulisane električne energije u kondenzatorima, mogu da se jave prilikom njihovog isključenja, preporučuje se instaliranje tzv. rasteretnog otpornika (R), na kome bi se trošila električna energija koja je zaostala u kondenzatorima.



40. Automatska centralna kompenzacija se u savremenim postrojenjima izvodi na sledeći način: na odgovarajuće sabirnice se priključe kondenzatori čija je reaktivna snaga određena za najnepovoljniji slučaj (slučaj najveće induktivne reaktivne snage u postrojenju), a paralelno sa njima se priključe induktiviteti (obično sa magnetskim jezgrima), pomoću kojih je, kontinualnom regulacijom struje, moguće menjati reaktivnu snagu koja se oduzima od maksimalne i konstantne reaktivne snage kondenzatora.

41. Kompenzacija pojedinačnih prijemnika može dovesti do pojave rezonancije, odnosno do značajnog povećanja napona, koje je opasno kako za prijemnike, tako i za kondenzatore. Pri tome je kritičan režim praznog hoda asinhronog motora sa priključenom kondenzatorskom baterijom, jer tada motor uzima pretežno reaktivnu energiju iz mreže, odnosno njegovi namoti se ponašaju kao induktiviteti, koji sa kondenzatorima obrazuju oscilatorna kola. Da do rezonancije ne bi došlo, neophodno je da se reaktanse induktiviteta i kondenzatora razlikuju najmanje 10%, što se svodi na zahtev da nominalna snaga kondenzatorske baterije ne sme da pređe 90% prividne *snage kojom motor u praznom hodu uzima energiju iz mreže.*

Kako je prividna snaga motora u praznom hodu reda 30% nominalne prividne snage motora, u našem slučaju je

$$Q_k = 2.5(kVAr) < 0.9 \cdot 0.3 \cdot \frac{P_n}{\eta_n \cos \varphi_n} = 0.9 \cdot 0.3 \cdot \frac{6.4kW}{0.8 \cdot 0.8} = 2.7(kVA),$$

tako da ne postoji opasnost od pojave rezonancije.

### III Prijemnici električne energije i električne komponente

#### Pitanja

42. Definisati nominalnu snagu prijemnika električne energije.

43. Koje su četiri osnovne fizičke veličine koje opisuju prijemnik električne energije koji je izrađen za priključak na naizmenični napon ( $f=50\text{Hz}$ )?

44. Nabrojati sve fizičke veličine i parametre koji opisuju trofazni asinhroni motor sa kratkospojenim rotorom, čije je vrednosti neophodno poznavati da bi se pravilno izabrale sve električne komponente neophodne za njegov rad.



45. Preko svog vratila, trofazni asinhroni motor sa kratkospojenim rotorom "predaje" energiju radnoj mašini snagom od 2400W. Odnos aktivne i reaktivne energije koje motor uzima iz mreže je 4:3. Izračunati struju motora u opisanom radnom režimu, ako stepen korisnog dejstva motora tada iznosi 0.8 i ako je napon motora nominalan (380V).

46. Kako se iskazuje stepen zaštite električne komponente od prodora prašine i vlage?

47. Koja je prednost provodnika sa žilama čiji je presek u obliku sektora u odnosu na provodnike sa žilama kružnog preseka? Koliko iznosi ugao provodnika (žile) sektorskog oblika u kابلu kojim se napaja trofazni asinhroni motor priključen na napon 3x380V?

48. Detaljno opisati provodnike čije su oznake:

- a) PGP-Y 5x2.5mm<sup>2</sup>
- b) PP/O-AY 4x16mm<sup>2</sup>.

49. Dati oznaku samonosivog aluminijumskog provodnika druge kategorije, čiji su omotači od polivinil-hlorida i koji sadrže četiri provodnika preseka po 25mm<sup>2</sup>. Ovaj provodnik će se koristiti u delu mreže gde se zaštita od indirektnog dodira izvodi:

- a) nulovanjem
- b) zaštitnim uzemljenjem.

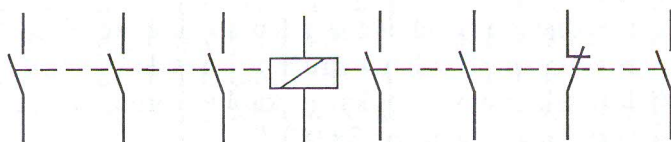
50. Koja je osnovna prednost zaštitnih Juvidur cevi nad kablovicama?

51. Navesti dva osnovna tipa kablovskih regala. Koji se od njih koristi za kablove većeg preseka?

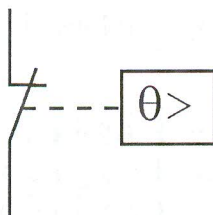
52. Od čega sve zavisi maksimalno trajno dozvoljeno strujno opterećenje kabla određenog preseka koji treba položiti u kablovski kanal sa ventilacijom, smešten u podu jednog industrijskog objekta? Kabl sadrži bakarne provodnike.

53. Pošto je presek kabla izabran na osnovu proverenog podatka da će biti položen u zemlji dobrih toplotnoprovodnih osobina (toplotne otpornosti reda 1K·m/W), on je u jednom delu (pri ukrštanju njegove trase sa putem) postavljen u kablovici. Da li se to smelo uraditi?

54. Prikazati strujno kolo sijalica kojima može da se komanduje sa dva mesta.
55. Dati šemu veza koja omogućava da se osvetljenje stepeništa jednog manjeg objekta uključuje i isključuje sa 4 mesta.
56. Označiti krajeve glavnih i pomoćnih kontakata kontaktora prikazanog na slici.



57. U razvodnoj kutiji koja se nalazi iznad jednog od naizmeničnih prekidača pomoću kojih se komanduje osvetljenjem (sijalicom) u jednoj prostoriji, nalazi se dvožilni provodnik. Krenuvši od ove kutije, nacrtati šemu veza koja pokazuje kako su povezani pojedini elementi ovog strujnog kola.
58. U serijskom prekidaču nalaze se dva provodnika žuto-zelene i jedan provodnik crne boje. U lusteru koji se uključuje pomoću ovog prekidača uočeni su provodnici crne, plave i žuto – zelene boje. Koje je boje fazni provodnik čije je prekidanje izvršeno u serijskom prekidaču?
59. Monofazna “kvarčna” grejalica sadrži 3 grejača (prikazati ih kao tri otpornika), od kojih se svaki uključuje pomoću posebnog prekidača. Postoji i termostat, koji treba prikazati pomoću simbola



(njegov kontakt je u stanju zatvoreno ako je temperatura u prostoriji u kojoj se grejalica nalazi manja od one koja je podešena na termostatu, a u stanju otvoreno ako je temperatura u prostoriji za  $2^{\circ}\text{C}$  veća od podešene). Nacrtati šemu veza elemenata ove grejalice, koja se napaja



trožilnim provodnikom, ako je snaga svakog grejača 600W i ako kontakt termostata može da podnese struju do 10A.

60. Izvesti formulu iz koje se vidi od čega sve zavisi nominalna struja topljivog umetka osigurača.

61. Navesti osnovne funkcije stubnog osigurača.

62. Koju zajedničku osobinu poseduju kontakt-zavrtnanj i signalna pločica topljivog umetka niskoučinskog topljivog osigurača?

63. Iz jednog razvodnog ormana napaja se trofazni asinhroni motor sa kratkospojenim rotorom, nominalne struje 10.8A. Kao zaštita od kratkog spoja upotrebljen je osigurač sa brzim topljivim umetkom nominalne struje 20A. Jednovremeno maksimalna snaga i jednovremeni faktor snage tog razvodnog ormana iznose 13.3kW i 0.9. Odrediti nominalnu struju osigurača u razvodnom vodu koji napaja ovaj razvodni orman.

64. Navesti dve značajne prednosti osigurača tipa D nad osiguračima tipa N.

65. Da li se pri određivanju nominalnih struja osigurača na priključnom mestu objekta uvažavaju otežani uslovi hlađenja usled zajedničkog vođenja kablova do merno-razvodnih mesta?

66. Ako je prema topljivom umetku osigurača od 63A (telo osigurača 100A) izabran provodnik kojim se napaja razvodni orman, da li se sme upotrebiti kontakt - zavrtnanj od 80A?

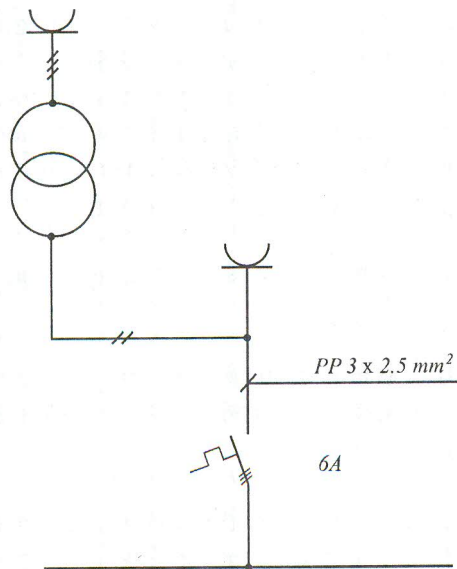
67. Koliko iznosi nominalna struja kontakt - zavrtnanja koje treba ugraditi u niskoučinske topljive osigurače sa kućištem od 63A, ako su oni postavljeni u merno - razvodnom ormanu iz koga se napajaju dva stana, pomoću usponskih vodova (provodnika I kategorije) preseka  $6\text{mm}^2$ , čiji je način polaganja B2, za koji maksimalna trajno dozvoljena struja iznosi 34A? Temperatura okoline ide do  $30^\circ\text{C}$ , a koeficijent zajedničkog vođenja usponskih vodova iznosi  $k(2)=0.8$ .

68. Čime je određena struja na koju se podešava prekostrujno rele koje je u sastavu automatskog prekidača? Kako je konstruktivno rešena mogućnost podešavanja ove struje?

69. Dati trolnu šemu motorno-zaštitnog prekidača, koji se sastoji od prekidača sa elektromagnetom, bimetalnog, prekostrujnog i podnaponskog relea.

70. Sa čime je povezana poluga bimetalnog zaštitnog relea u zavisnosti od tipa motorno-zaštitnog prekidača?

71. Prilikom crtanja strujnog kola na koje su priključene utičnica za mašinu za pranje veša i utičnica za priključak aparata za brijanje, napravljeno je čak 8 grešaka. Nacrtati isto strujno kolo bez ovih grešaka.

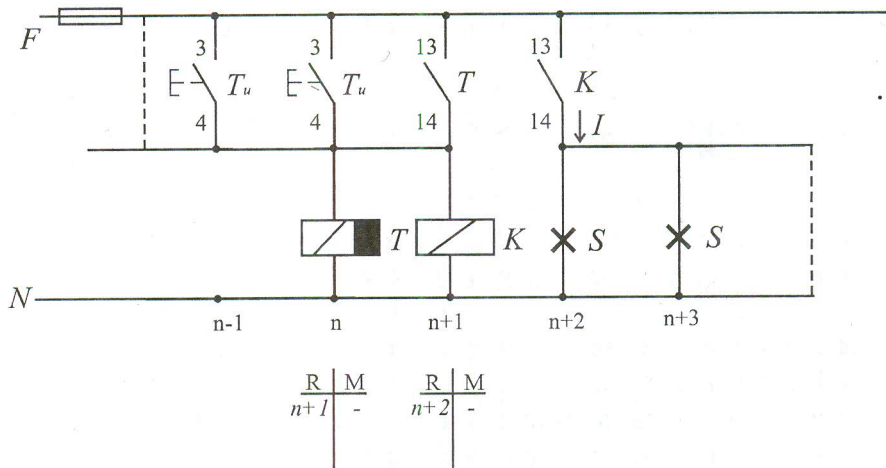


72. Dati kompletan dijagram delovanja vremenskog relea sa trenutnim dejstvom.

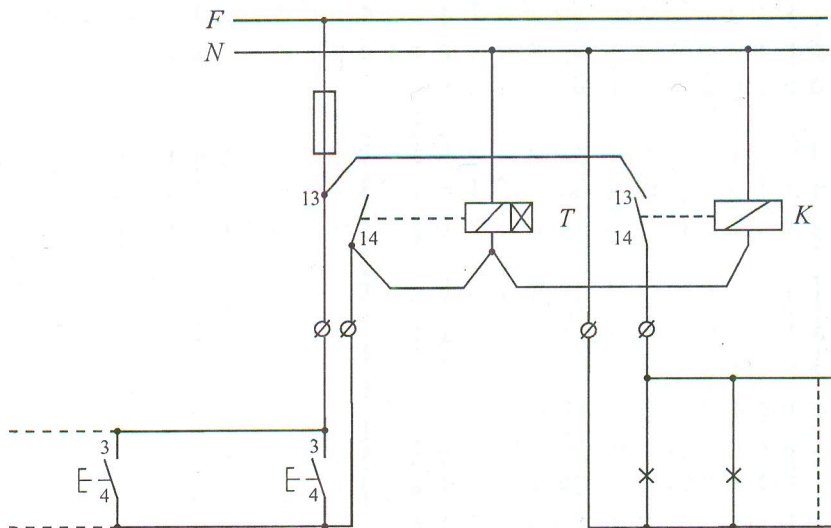
73. Dati kompletan dijagram delovanja vremenskog relea sa kašnjenjem.

74. Za stambenu zgradu sa 8 etaža (prizemlje i 7 spratova) kupljen je stepenišni automat koji jedino sadrži vremensko rele. Može li se on koristiti za stepenišno osvetljenje ove zgrade, ako se na svakoj etaži nalaze po dve svetiljke, svaka sa po dve fluo cevi snage 40W?

75. Koje dve ispravke treba izvršiti na priloženoj šemi, ako se zna da se ona odnosi na stambeni objekat kod koga struja stepenišnog osvetljenja iznosi 6.5A?



76. Prilikom crtanja spojne šeme stepenišnog osvetljenja, koje je realizovano pomoću 14 svetiljki sa sijalicama od po 100W, učinjene su dve suštinske greške. Izvršiti potrebne izmene na slici kojima će te greške biti otklonjene.

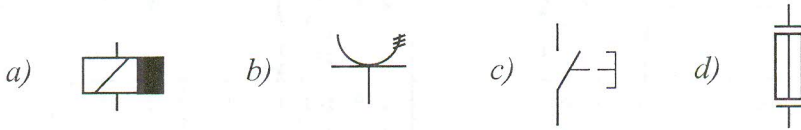


77. Dati simbol ZS prekidača. Za koje nominalne struje se izrađuju ZS prekidači?

78. Dati simbol ZN prekidača.



79. Na koje električne komponente se odnose sledeći simboli:



80. Prikazati grafičke simbole (po JUS-u):

- trofaznog bimetalnog zaštitnog relea,
- MTK uređaja,
- vremenskog relea sa kašnjenjem, i
- tropolnog motorno-zaštitnog prekidača.

### Odgovori

42. Snaga prijemnika pri kojoj ga toplotni gubici zagrevaju do temperature koja je jednaka granično dozvoljenoj za najkritičniji materijal koji taj prijemnik sadrži, naziva se nominalna snaga prijemnika.

43. Osnovne fizičke veličine koje opisuju prijemnik električne energije koji je izrađen za priključak na naizmenični napon su: napon, korisna snaga, stepen korisnog dejstva i faktor snage.

44. Fizičke veličine i parametri čije je vrednosti neophodno poznavati da bi se pravilno izabrale sve električne komponente neophodne za rad trofaznog asinhronog motora sa kratkospojenim rotorom su:

- korisna (mehanička) snaga motora ( $P_n$ ),
- faktor korisnog dejstva motora ( $\eta_n$ ),
- napon motora ( $U_n$ ),
- faktor snage motora ( $\cos \varphi_n$ ),
- odnos polazne i nominalne struje motora ( $I_p/I_n$ ),
- vreme polaska (zaletanja) motora ( $t_p$ ), i
- faktor snage pri polasku motora ( $\cos \varphi_p$ ).

45. Kako je

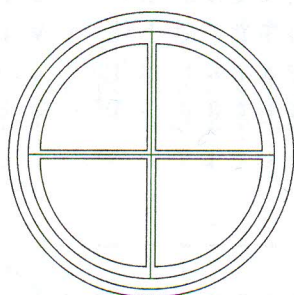
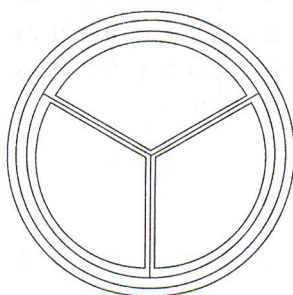
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P} = \frac{3}{4} = 0.75, \text{ to je } \cos \varphi = 0.8.$$

Dalje je

$$I = \frac{P_k / \eta}{\sqrt{3} U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{2400 / 0.8}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.8} = 5.7 \text{ A.}$$

46. Stepen zaštite električne komponente od prodora prašine i vlage iskazuje se pomoću slova IP, iza kojih dolaze dve cifre. Prva, koja može da ima vrednost od 0 do 6, odnosi se na stepen zaštite od prodora čvrstih čestica (počev od predmeta većih dimenzija, pa do čestica najfinije prašine), dok se druga, koja može da ima vrednost od 0 do 8, odnosi na stepen zaštite od prodora vlage (počev od kapljica kiše, pa do vode pod pritiskom). Pri tome se primenjuje sledeće pravilo: što veća cifra, to zaštita većeg stepena.

47. Sektorski oblik (oblik kružnog isečka) preseka žila omogućava bolje iskorišćenje (bolju popunjenost) preseka provodnika. Sektorski oblik se



koristi u slučaju provodnika sa tri ili četiri žile (kao na slici).

Stator trofaznog asinhronog motora priključenog na napon 3x380V vezan je u trougao, tako da napojni kabl sadrži 4 žile (sektorskog oblika), i to tri

fazne i jednu zaštitnu. Zbog toga ugao svake od ovih žila iznosi  $90^{\circ}$ .

48. a) Provodnik druge kategorije za napone do 1000V, bez posebnog područja primene, sa elektroizolacionim slojem svake žile od polivinilhlorida (PVC mase) i dva zajednička omotača (prvi je od gume, a drugi od PVC mase). Sadrži 5 okruglih bakarnih žila preseka po  $2.5\text{mm}^2$ , od kojih jedna predstavlja zaštitni provodnik.

b) Provodnik druge kategorije za napone do 1000V, bez posebnog područja primene, sa elektroizolacionim slojem svake žile i zajedničkim omotačem od PVC mase, ojačan čeličnim užetom za nošenje ("samonosivi"). Sadrži četiri okrugle aluminijumske žile po  $16\text{mm}^2$  (3 fazne i nultu, koja ima i zaštitnu ulogu).

49. a) PP/O-AY  $4 \times 25\text{mm}^2$  (nulti provodnik ima i zaštitnu ulogu)

b) PP/O-A  $4 \times 25\text{mm}^2$  (nulti provodnik ima samo radnu, ne i zaštitnu ulogu).

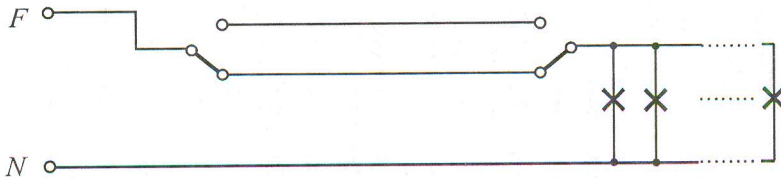
50. Plastične zaštitne cevi (tzv. Juvidur cevi) su glatke, pa se u njih kablovi lakše uvlače nego u betonske kablovice. Zbog toga su u prvom slučaju i šahтови na većem rastojanju, pa ih je manji broj.

51. Kablovski regali se najčešće izrađuju kao perforirani ili rešetkasti. Za kablove većeg preseka koriste se rešetkasti kablovski regali.

52. Maksimalno trajno dozvoljeno strujno opterećenje kabla određenog preseka (sa bakarnim žilama), koji treba položiti u kablovski kanal sa ventilacijom, smešten u podu jednog industrijskog objekta, zavisi od vrste izolacije kabla, broja opterećenih žila, broja zajednički vođenih strujnih kola i temperature vazduha u kanalu.

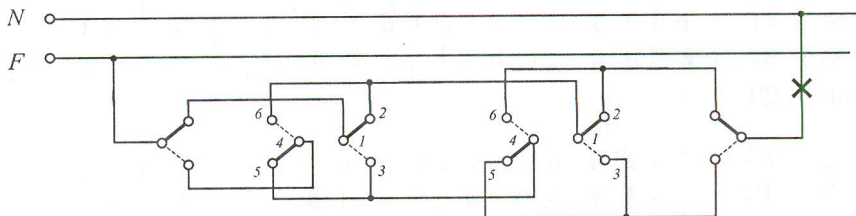
53. Saglasno važećem IEC standardu (br. 60364-5-523, od 1999. god.), polaganje kabla u kablovici ekvivalentno je njegovom direktnom polaganju u zemlji, nezavisno od njene toplotne otpornosti (način polaganja D). Činjenica da je toplotna otpornost tla različita od  $2.5K \cdot m/W$  u oba slučaja se uvažava pomoću istog faktora, odakle se može zaključiti da kabl u jednom delu (pri ukrštanju njegove trase sa putem) može biti položen u kablovici.

54.



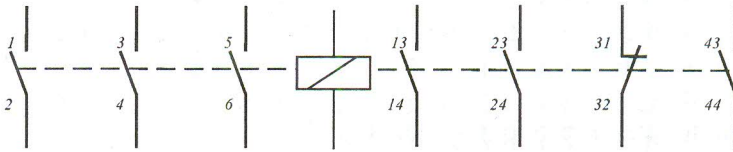
Upotrebljena je kombinacija dva naizmenična prekidača.

55. Šema veza koja treba da ispuni navedeni zahtev sadrži dva naizmenična i dva unakrsna prekidača, koji su povezani kao na slici.

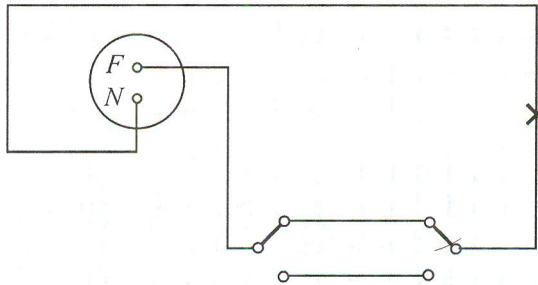




56.

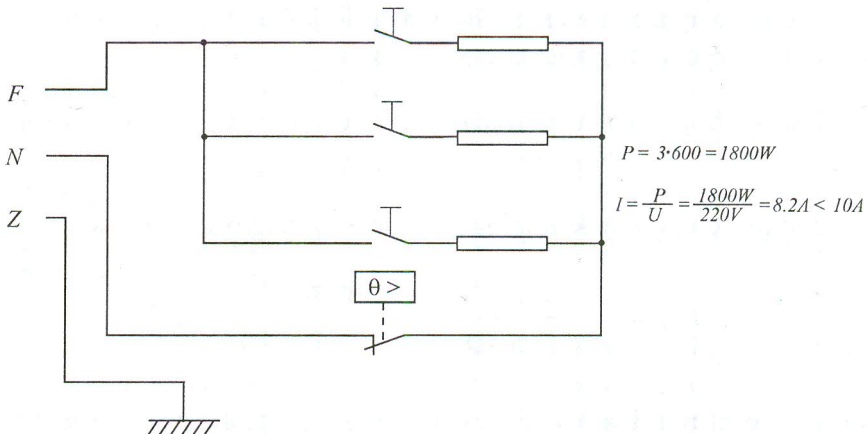


57.



58. Pošto dva provodnika povezuju serijski prekidač i luster, jasno je da jedan od njih mora biti crne, a drugi žuto-zelene boje. Prema tome, fazni provodnik čije je prekidanje izvršeno u serijskom prekidaču je žuto-zelene boje.

59.



60. Ustaljeno toplotno stanje u topljivom umetku osigurača nastaje kada snaga Džulovih gubitaka elektroprovodnog dela ( $P_g=RI^2$ ) bude jednaka snazi odvođenja toplote (hlađenja), koja je određena relacijom

$$q_h = \frac{T - T_0}{\tau R},$$

u kojoj su:

$T$  -temperatura elektroprovodnog dela umetka,

$T_0$  -temperatura okoline, i

$\tau R$  -toplotna otpornost između tačaka temperature  $T$  i tačaka temperature  $T_0$ .

Uslov da se elektroprovodni deo umetka ne prekine glasi

$$T \leq T_{doz},$$

gde je  $T_{doz}$  temperatura koja je nešto manja od temperature topljenja materijala od koga je izrađen elektroprovodni deo umetka.

Na osnovu napred rečenog, dobija se da trajna struja koja neće istopiti elektroprovodni deo umetka mora da zadovolji sledeći uslov

$$I \leq \sqrt{\frac{T_{doz} - T_0}{R \cdot \tau R}}$$

(desna strana nejednakosti ustvari predstavlja nominalnu struju topljivog umetka).

61. Stubni osigurač ne samo što štiti priključni vod od preopterećenja i kratkog spoja, nego služi i kao zatezni izolator.

62. Iste su boje za istu nominalnu struju kontakt – zavrtnja i topljivog umetka.

63. Jednovremeno maksimalna struja razvodnog ormana iznosi

$$I_{jm} = \frac{P_{jm}}{\sqrt{3} U_l \cdot \cos \varphi_{jm}} = \frac{13300}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.9} = 22.5 \text{ A.}$$

Na osnovu nje bi nominalna struja osigurača u razvodnom vodu koji napaja ovaj razvodni orman iznosila 25A. Međutim, vodeći računa o selektivnosti, usvojiće se osigurač od 35A (osigurač motora je od 20A, a osigurači različitih hijerarhijskih nivoa moraju da se razlikuju za bar dva stepena).

64. Pošto se pretpostavlja da će njima rukovati profesionalno obučena lica, visokoučinski osigurači (osigurači tipa N) nisu zaštićeni od dodira delova pod naponom, a ne poseduju ni deo koji bi sprečio postavljanje umetka čija je nominalna struja veća od željene (definisane projektom). Ovi problemi ne postoje kod niskoučinskih osigurača (osigurača tipa D) – način zamene umetka onemogućava nenamerni dodir delova pod naponom, a poseduju i kontakt - zavrtnanj, koji sprečava postavljanje umetaka čije su nominalne struje veće od one koja je definisana projektom (jednovremeno maksimalnim opterećenjem).

65. Nominalne struje osigurača na priključnom mestu objekta određuju se samo na osnovu jednovremeno maksimalnih struja pojedinih merno-razvodnih mesta. Uvažavanje otežanih uslova hlađenja usled zajedničkog vođenja kablova koji povezuju priključno i merno-razvodna mesta vrši se prilikom određivanja preseka ovih kablova.

66. Pošto je provodnik kojim se napaja razvodni orman izabran na osnovu topljivog umetka osigurača od 63A, on bezbedno i trajno može da podnese sve struje koje nisu veće od 63A (možda i malo veće struje). Upotreba kontakt - zavrtnja od 80A omogućava postavljanje topljivog umetka od 80A, koji dopušta trajno uspostavljanje struja koje ne prelaze 80A, odnosno i onih koje su značajno veće od 63A. Zbog toga upotreba kontakt - zavrtnja od 80A nije dozvoljena u ovom slučaju.

67. Pošto temperatura okoline iznosi do 30°C, temperaturni koeficijent je jednak jedinici. Zbog toga je maksimalna trajno dozvoljena struja u svakom od usponskih vodova jednaka

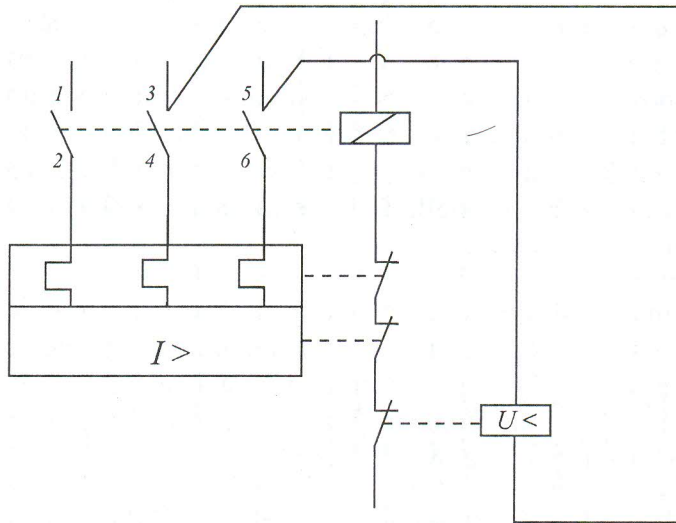
$$I_{td} = k(2) \cdot I_{td_{tab}} = 0.8 \cdot 34 A = 27.2 A,$$

pa nominalna struja topljivih umetaka, a samim tim i kontakt - zavrtnanja, iznosi 25A (prva vrednost manja od 27.2A).

68. Struja na koju je podešeno prekostrujno rele koje je u sastavu automatskog prekidača ne sme da bude veća od maksimalne struje koju može da podnese bimetalno zaštitno rele, koje je takođe u njegovom sastavu (obično je nešto manja od vrednosti ove struje). Podešavanje ove struje vrši se promenom sile zatezanja opruge prekostrujnog relea.

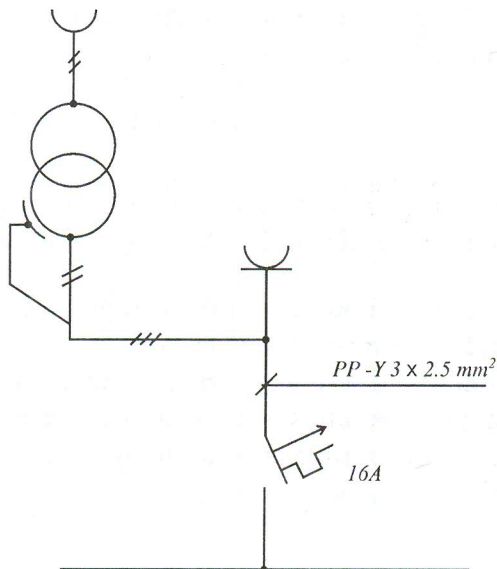


69.

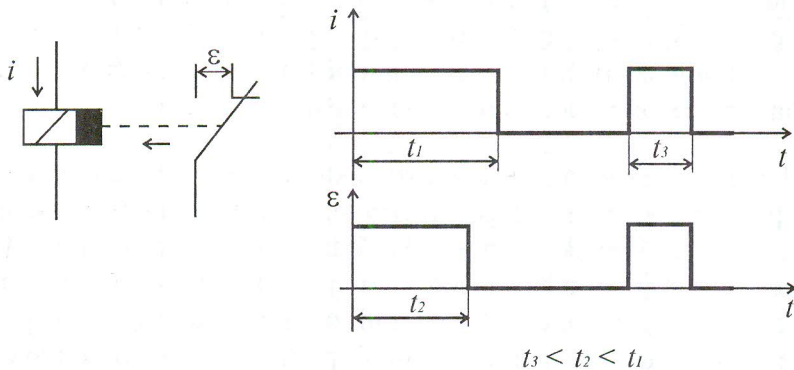


70. Poluga bimetalnog zaštitnog relea povezana je ili sa okidačkim delom opruge (ako se radi o motorno-zaštitnom prekidaču sa oprugom), ili sa mikroprekidačem koji se postavlja u upravljačko kolo, odnosno kolo elektromagneta (ako se radi o motorno-zaštitnom prekidaču sa elektromagnetom).

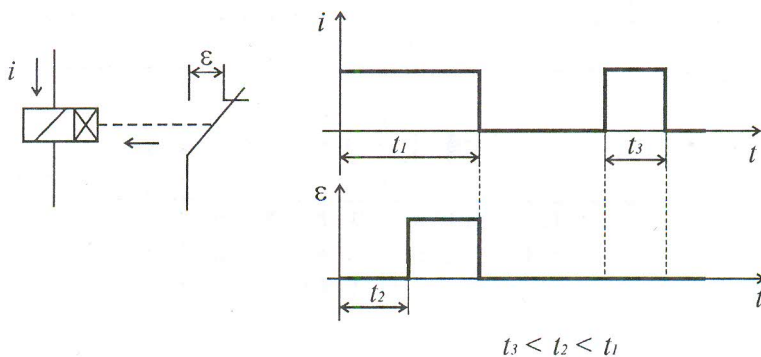
71.



72.



73.



74. Snaga strujnog kola stepenišnog osvetljenja ove stambene zgrade iznosi

$$P_s = 8 \cdot 2 \cdot 2 \cdot (40 + 9)W = 1568W$$

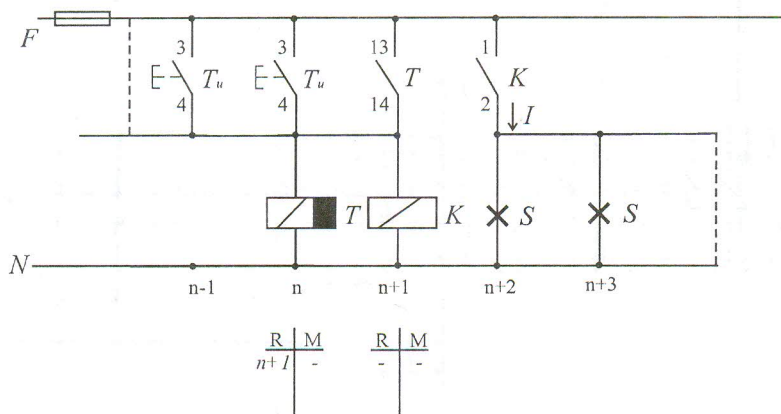
(snaga balasta fluo cevi od 40W je 9W). Struja ovog strujnog kola nije manja od

$$I_s = \frac{P_s}{U_f} = \frac{1568W}{220V} = 7.13A$$

(toliko bi iznosila kada bi kompenzacija reaktivne energije ovog strujnog kola bila idealna, sa faktorom snage jednakim jedinici). Kako je struja u ovom strujnom kolu svakako veća od 6A, stepenišni automat koji jedino

sadrži vremensko rele ne može da se koristi za potrebe stepenišnog osvetljenja ove stambene zgrade (napajanje svih fluo cevi vršilo bi se preko pomoćnog kontakta vremenskog relea, koji ne može da podnese struje veće od 6A). Napomena: pošto na vek trajanja fluo cevi odlučujuće utiče broj uključenja, one se ne preporučuju za stepenišno osvetljenje.

75. Umesto pomoćnog kontakta kontaktora K (čiji su krajevi označeni sa 13 i 14), potrebno je staviti njegov glavni kontakt (čiji su krajevi označeni sa 1 i 2), jer pomoćni kontakt ne može da podnese struju veću od 6A. Uz to, R kolona tablice koja se nalazi ispod pozicije n+1 treba da je prazna (iz nje treba izbaciti n+2), jer ona treba da sadrži samo redne brojeve pozicija u kojima se nalaze radni (normalno otvoreni) pomoćni kontakti kontaktora K. Posle opisanih ispravki, priložena šema treba da ima sledeći izgled:



76. Suštinske greške:

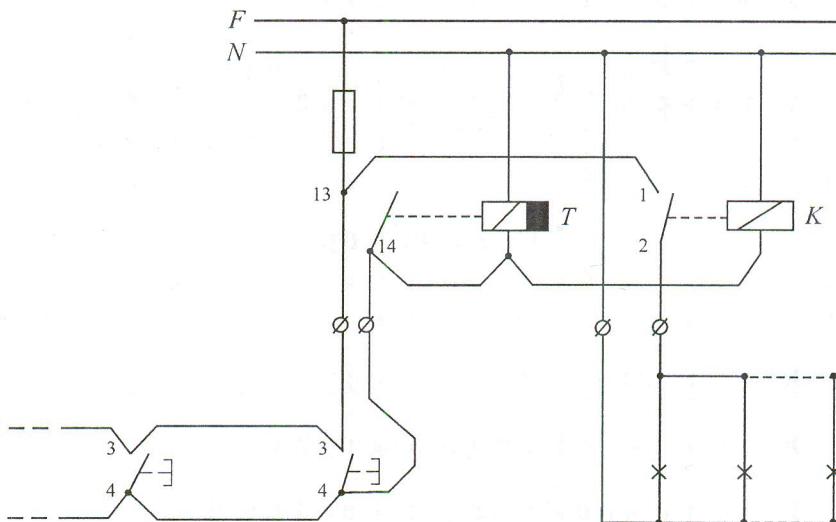
1. vremensko rele treba da je sa trenutnim dejstvom, a ne sa kašnjenjem, i
2. pošto je

$$I = \frac{14 \cdot 100W}{220V} > 6A,$$

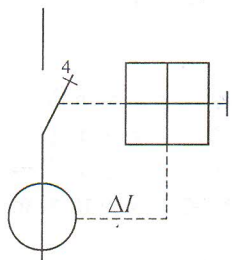
kontakt kontaktora K treba da je glavni (sa oznakama krajeva 1 i 2), a ne pomoćni (sa oznakama krajeva 13 i 14).



Posle opisanih izmena, priložena spojna šema ima sledeći izgled:

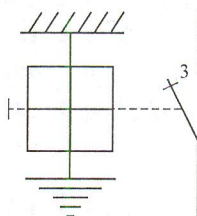


77.



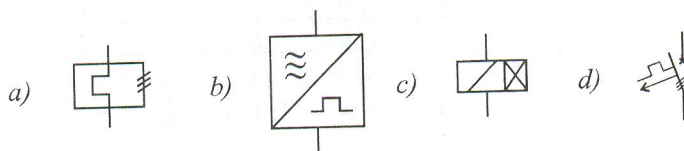
Zaštitni uređaji diferencijalne struje (zaštitni strujni (ZS) prekidači) izrađuju se za sledeće nominalne struje: 16A, 25A, 40A, 63A, 80A, 100A i 125A.

78.



- 79.
- a) vremensko rele sa trenutnim dejstvom
  - b) trofazna petopolna utičnica (sa kontaktom za uzemljenje)
  - c) normalno otvoreni taster
  - d) visokoučinski topljivi osigurač

80.



## IV Uzemljenje

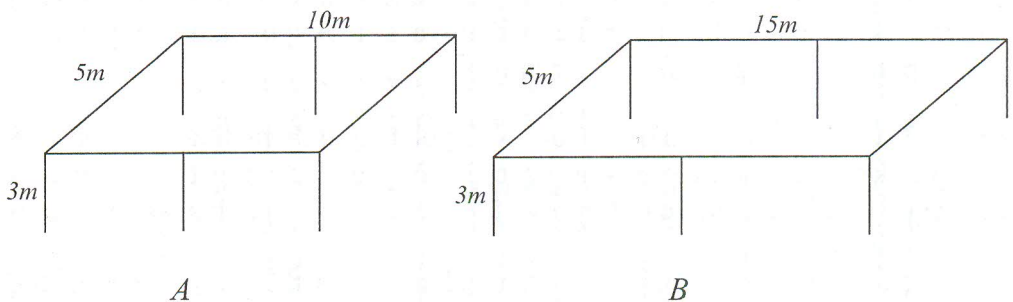
### Pitanja

81. Definisati radno i zaštitno uzemljenje.
82. *Definisati otpornost uzemljenja uzemljivača.*
83. Definisati napon dodira i napon koraka uzemljivača.
84. Dve od tri osnovne električne karakteristike uzemljivača zavise samo od oblika, dimenzija i načina polaganja uzemljivača, kao i od karakteristika okolnog zemljišta. Koje? Šta još utiče na treću?
85. Navesti dve osnovne prednosti dubinskih nad površinskim uzemljivačima.
86. Navesti tri glavne prednosti temeljnih nad konvencionalnim uzemljivačima?
87. Kao materijal ispune kanala u kojima se polažu konturni uzemljivači ponekad se koristi suspenzija bentonita. Ona poseduje odlična elektroprovodna svojstva ( $\rho \approx 2.5 \Omega \text{m}$ ), koja se zadržavaju i u sušnom periodu. Međutim, pozitivni efekti primene suspenzije bentonita, koji se pre svega ogledaju u značajnom smanjenju otpornosti uzemljenja, u najvećoj meri su rezultat jednog drugog dragocenog svojstva suspenzije bentonita. Kog?
88. Gornji bazis cevnog uzemljivača nalazi se na 0.5m ispod površine tla. Ako se površinski sloj zemljišta smrzne do dubine od 0.3m, šta će se desiti sa otpornošću uzemljenja ovog uzemljivača? Da li se to može zaključiti na osnovu Kohove formule?

89. S obzirom da otpornost uzemljenja trakastog uzemljivača ne zavisi bitno od dubine njegovog ukopavanja, zašto se zahteva da ta dubina bude bar 0.5m?

90. Šta je veće: otpornost uzemljenja trake Fe/Zn 25mmx4mm, koja je položena na dubini od 0.5m, ili otpornost uzemljenja cevi  $\phi 50\text{mm}$ , koja je iste dužine kao i traka, a položena je u zemljištu duplo veće specifične otpornosti?

91. Na slici su prikazani složeni uzemljivači A i B. Koji od njih karakteriše veća vrednost faktora međusobnog uticaja cevi ( $\eta_c$ )?



92. U jednom priručniku data je sledeća formula za izračunavanje otpornosti uzemljenja ( $R_e$ ) složenog uzemljivača sačinjenog od horizontalne pravougaone konture (otpornosti uzemljenja  $R_k$ ) i  $n$  vertikalno ukopanih cevi (svaka otpornosti uzemljenja  $R_c$ ), raspoređenih po obimu konture:

$$R_e = \frac{R_k R_c \eta_{k-c}}{R_c + n R_k \eta_c}$$

U priloženom komentaru stoji da je  $\eta_c$  koeficijent međusobnog uticaja cevni uzemljivača, a  $\eta_{k-c}$  koeficijent međusobnog uticaja konture kao jedne i svih cevi kao druge celine. Takođe se tvrdi da je svaki od ovih koeficijenata manji od jedinice. Da li je ovo tvrđenje korektno?

93. Betonski temelj objekta ( $\rho_b = 250\Omega\text{m}$ ) nalazi se u homogenom zemljištu specifične električne otpornosti  $\rho_z = 100\Omega\text{m}$ . U temelju se, na dubini 0.8m, nalazi uzemljivač u obliku pravougaone konture, dimenzija 20mx10m, izrađene od Fe/Zn traka preseka 30mmx4mm. Projektant je izračunao da otpornost uzemljenja ovog uzemljivača iznosi 8.6 $\Omega$ . Da li je negde pogrešio?



## Odgovori

81. Radno uzemljenje je uzemljenje koje obezbeđuje da se neka tačka električnih instalacija, koja se nalazi na nekom potencijalu u odnosu na zemlju, dovede na nepromenljivi potencijal zemlje, kako bi se potencijali svih ostalih tačaka određivali u odnosu na nju kao referentnu (nultu).

Zaštitno uzemljenje je uzemljenje koje obezbeđuje da se neka tačka električnih instalacija, koja u normalnom pogonu nije pod naponom, a u slučaju greške može doći na neki potencijal u odnosu na zemlju, poveže sa njom u cilju zaštite.

82. Otpornost uzemljenja uzemljivača predstavlja otpornost sredine (tla) između ekvipotencijalne površine uzemljivača i ekvipotencijalne površine nultog potencijala (tzv. referentne zemlje).

83. Napon dodira je najveća od svih potencijalnih razlika koje postoje između ekvipotencijalne površine uzemljivača i onih stajnih tačaka koje su udaljene 1m od izloženih elektroprovodnih delova koji su galvanski povezani sa uzemljivačem.

Napon koraka je najveća potencijalna razlika tačaka na površini tla, koja se može premostiti korakom dužine 1m.

84. Iz definicija otpornosti uzemljenja i napona koraka uzemljivača jednostavno se zaključuje da ove karakteristike zavise samo od oblika, dimenzija i načina polaganja uzemljivača, kao i od elektroprovodnih karakteristika okolnog zemljišta. Sem ovih uticajnih faktora, na napon dodira utiče i raspored opreme u objektu (postrojenju).

85. Dubinski uzemljivači zahtevaju mnogo manje prostora za svoje izvođenje, a manje su osetljivi i na promene elektroprovodnih osobina površinskih slojeva zemljišta do kojih dolazi usled njihovog smrzavanja ili isušivanja.

86. Glavne prednosti temeljnih nad konvencionalnim uzemljivačima su:

- ne zahtevaju poseban prostor za svoje izvođenje,
- gvozdene šipke su u betonu, koji ih štiti od korozije, i
- s obzirom da sadrže mreže gvozdenih šipki ukopanih na većoj dubini (pri dnu temelja), raspodela potencijala na površini tla je veoma ravnomerna, tako da ih karakterišu male vrednosti napona koraka.

87. Žitka masa suspenzije bentonita odlično naleže (prianja) uz okolni medijum, obezbeđujući mnogo bolji kontakt između površine uzemljivača i okolnog zemljišta (pogotovo u sušnom periodu).

88. Posle smrzavanja površinskog sloja zemljišta do dubine od 0.3m, otpornost uzemljenja posmatranog cevnog uzemljivača jednaka je onoj koju poseduje cevni uzemljivač čiji je gornji bazis na 0.2m ispod površine nesmrznutog tla istih elektroprovodnih osobina. Iako je jasno da se na ovaj način povećala njegova otpornost uzemljenja, to ne može da se zaključi na osnovu Kohove formule

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d}$$

( $\rho$  je specifična otpornost zemljišta,  $L$  dužina, a  $d$  spoljni prečnik poprečnog preseka cevi), jer u njoj ne figuriše dubina ukopavanja cevnog uzemljivača.

89. Smrzavanjem (u zimskom periodu) ili isušivanjem (u periodu letnjih suša) površinski sloj tla gubi provodna, a dobija izolaciona svojstva. Kako na našem geografskom prostoru smrzavanje ili isušivanje tla može da ide i do dubine od 0.5m, propisi zahtevaju da dubina ukopavanja trakastih uzemljivača bude 0.5-0.8m.

90.

$$R_t - R_c = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{2L^2}{ah} - \frac{2\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d} = \frac{\rho}{\pi L} \left( \ln \frac{\sqrt{2}L}{\sqrt{ah}} - \ln \frac{4L}{d} \right) = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{\sqrt{2}d}{4\sqrt{ah}}$$

Kako je

$$\frac{\sqrt{2}d}{4\sqrt{ah}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 0.05m}{4\sqrt{0.025m \cdot 0.5m}} = 0.16 < 1,$$

to je  $R_t < R_c$  (sa  $a$  je označena veća dimenzija poprečnog preseka trake, a sa  $h$  dubina njenog ukopavanja).

91. Vrednost faktora međusobnog uticaja cevi ( $\eta_c$ ) je utoliko veća (bliža jedinici) ukoliko je veći odnos srednjeg (prosečnog) rastojanja između susednih cevi ( $s$ ) i dužine cevi ( $L$ ).

Kako je u slučaju složenog uzemljivača  $A$  odnos  $s/L$  za pojedine kombinacije cevi jednak, a za ostale manji nego u slučaju složenog

uzemljivača B, to je (prosečni) faktor međusobnog uticaja cevi ( $\eta_c$ ) manji u slučaju uzemljivača A.

92. Kako je

$$R_e = \eta_{k-c}^{-1} \left( \frac{1}{R_k} + \frac{n}{R_c} \eta_c \right)^{-1} = \frac{1}{\eta_{k-c}} \left( \frac{R_c + nR_k \eta_c}{R_k R_c} \right)^{-1} = \frac{R_k R_c}{(R_c + nR_k \eta_c) \eta_{k-c}},$$

može da se zaključi da je navedeno tvrđenje korektno za  $\eta_c$ , ali ne i za  $\eta_{k-c}$  (koje je, prema formuli iz priručnika, veće od 1).

93. Pošto je  $\rho_z < \rho_b$ , jasno je da je otpornost uzemljenja opisanog uzemljivača manja od one koja bi se imala kada bi se uzemljivač nalazio u homogenoj sredini specifične električne otpornosti  $\rho_b$ . Tada bi njegova otpornost iznosila

$$R = \frac{\rho_b}{2\pi L} \ln \frac{8L^2}{\pi a h} = \frac{250 \Omega m}{2\pi \cdot 60m} \ln \frac{8 \cdot (60m)^2}{\pi \cdot 0.03m \cdot 0.8m} = 8.5 \Omega$$

(sa  $L$  je označen obim konture, sa  $h$  dubina njenog ukopavanja, a sa  $a$  veća dimenzija poprečnog preseka Fe/Zn traka).

Pošto je

$$R = 8.5 \Omega < 8.6 \Omega,$$

jasno je da je projektant napravio grešku prilikom izračunavanja otpornosti uzemljenja opisanog temeljnog uzemljivača.

## V Padovi napona

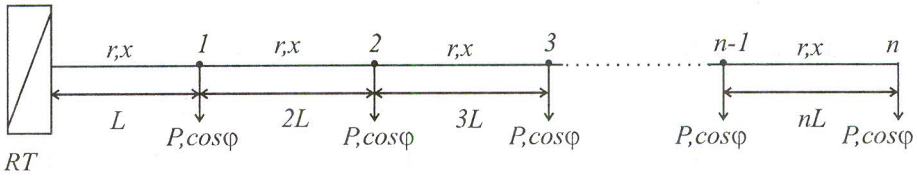
### Pitanja

94. Projektant je izračunao da pad napona na provodniku preseka  $6\text{mm}^2$  kojim je trofazni asinhroni motor priključen na razvodni orman, pri nominalnom opterećenju motora, iznosi 0.8%. Raspoložujući kataloškim podatkom o motoru  $I_p/I_n=7$ , zaključio je da na istoj deonici pad napona pri polasku motora iznosi 5.6%. Projektant je:

- izveo pravilan zaključak,
- dobio vrednost koja je veća od stvarne,
- dobio vrednost koja je manja od stvarne?



95. Izvesti formulu za procentualni pad napona od RT do najudaljenijeg od  $n$  istih prijemnika za monofazno strujno kolo prikazano na slici.



96. Pad napona na kablju između distributivne transformatorske stanice i prolaznog kablovskog ormarića jednog stambenog objekta iznosi 2.8%, a na provodnicima između njega i razvodnog ormara u jednom stanu 1.6%. Da li se na ovaj razvodni ormar sme priključiti strujno kolo osvetljenja, ako pad napona na tom strujnom kolu iznosi 1.2%?

97. Efektivne vrednosti napona na početku i kraju jednog kablovskog voda, koji predstavlja deo niskonaponske instalacije jednog industrijskog objekta, redom iznose 216V i 218V. Kako ovo objašnjavate?

### Odgovori

94. Procentualni pad napona se u posmatranom slučaju određuje primenom formule

$$\Delta u = \frac{100 \cdot \sqrt{3} I l \cos \varphi (r + x \operatorname{tg} \varphi)}{U_n}$$

u kojoj su:

I-struja,

l-dužina provodnika,

$\cos \varphi$  -faktor snage,

$r, x$ -redom podužna aktivna i reaktivna otpornost provodnika, i

$U_n$ -nominalan linijski napon.

Pošto se radi o provodniku preseka  $6 \text{ mm}^2$  ( $< 25 \text{ mm}^2$ ), njegova reaktansa se može zanemariti [referenca 8], tako da gornja formula postaje

$$\Delta u = \frac{100 \cdot \sqrt{3} I l r \cos \varphi}{U_n}$$

Dakle, odnos padova napona pri polasku i u toku nominalnog radnog režima motora iznosi

$$\frac{\Delta u_p}{\Delta u_n} = \frac{I_p \cos \varphi_p}{I_n \cos \varphi_n} = 7 \cdot \frac{\cos \varphi_p}{\cos \varphi_n}.$$

Kako je  $\cos \varphi_p < \cos \varphi_n$ , to je

$$\Delta u_p < 7 \cdot \Delta u_n = 7 \cdot 0.8\% = 5.6\%,$$

odakle zaključujemo da je vrednost pada napona pri polasku motora koju je dobio projektant veća od stvarne.

95.

$$\begin{aligned} \Delta u(\%) &= 200 \cdot \frac{r + x \operatorname{tg} \varphi}{U^2} (P \cdot nL + 2P(n-1)L + \dots + (n-1)P \cdot 2L + nP \cdot L) = \\ &= 200 \frac{PL(r + x \operatorname{tg} \varphi)}{U^2} (1 \cdot n + 2 \cdot (n-1) + \dots + (n-1) \cdot 2 + n \cdot 1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_n &= 1 \cdot n + 2 \cdot (n-1) + \dots + (n-1) \cdot 2 + n \cdot 1 = \sum_{k=1}^n k(n+1-k) = (n+1) \sum_{k=1}^n k - \sum_{k=1}^n k^2 = \\ &= (n+1) \frac{n(n+1)}{2} - \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} = \frac{n(n+1)}{6} (3(n+1) - (2n+1)) = \frac{n(n+1)(n+2)}{6} \end{aligned}$$

$$\Delta u(\%) = 100 \frac{n(n+1)(n+2)PL(r + x \operatorname{tg} \varphi)}{3U^2}$$

96. Pad napona od priključnog mesta (prolaznog kablovskog ormarića) do najudaljenijeg izvora svetlosti iznosi  $1.6\% + 1.2\% = 2.8\%$ , što je manje od maksimalno dozvoljenih  $3\%$ . Međutim, pad napona od TS do najudaljenijeg izvora svetlosti iznosi  $2.8\% + 2.8\% = 5.6\%$ , što je veće od maksimalno dozvoljenih  $5\%$ , tako da predmetno strujno kolo osvetljenja ne bi smelo da se priključi na posmatrani razvodni orman.

97. Pošto je

$$\Delta u = \sqrt{3}Il \cos \varphi (r + x \operatorname{tg} \varphi) = U_1 - U_2 = 216V - 218V = -2V < 0,$$

to je

$$r + x \operatorname{tg} \varphi < 0 \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi < 0,$$

odakle zaključujemo da je na posmatrani vod priključeno pretežno kapacitivno opterećenje.

## VI Zaštita od strujnog udara

### Pitanja

98. Kako se izvodi dopunska zaštita od direktnog dodira? Koji uslov pri tome mora da bude zadovoljen?
99. Pri proveru efikasnosti zaštite od indirektnog dodira proverava se samo efikasnost zaštite od napona dodira. Navesti dva razloga zbog kojih se ne vrši provera efikasnosti zaštite od napona koraka.
100. Vreme reagovanja zaštitne komponente iznosilo je 120ms, a napon dodira kome je bio izložen čovek u suvoj prostoriji 195V. Da li je, prema propisima, ovaj napon predstavljao opasan napon dodira?
101. Šta znači svako slovo u oznaci TN-C-S (hibridni sistem nulovanja)?
102. Koje je boje izolacioni sloj zaštitnog provodnika i kojim se slovima on označava na crtežima ako je sistem zaštite od indirektnog dodira:
- TN-C
  - TN-S?
103. Da li je za izračunavanje napona dodira u sistemu zaštite nulovanjem neophodno poznavanje otpornosti uzemljenja uzemljivača transformatorske stanice? Kako se po pravilu postupa u slučaju kada je potrebno poznavati ovu otpornost, a njena vrednost nije dostupna? Šta je opravdanje za ovakav postupak?
104. Distributivni kabl PPOO-Y 4x95mm<sup>2</sup> napaja priključno mesto jednog stambenog objekta, od koga je do merno-razvodnog mesta položen kabl PPOO 4x50mm<sup>2</sup> + PPOO-Y 1x50mm<sup>2</sup>. Napajanje razvodne table u jednom stanu ovog objekta vrši se provodnikom (4xP1x4mm<sup>2</sup>+P-Y 1x4mm<sup>2</sup>)/φ23mm, a protočnog bojlera u njemu provodnikom PP-Y 3x2.5mm<sup>2</sup>. Znajući da objekat nema svoj uzemljivač i da je otpornost uzemljenja uzemljivača distributivne transformatorske stanice 1.25Ω, izračunati napon dodira za slučaj proboja izolacije faznog provodnika u
- protočnom bojleru,
  - razvodnom ormanu u stanu koji ima metalno kućište.

Napomena: primenjen sistem zaštite od indirektnog dodira je nulovanje.



105. Distributivni kabl

- a) PPOO-Y 4x95mm<sup>2</sup>,
- b) PPOO-Y 3x95+50mm<sup>2</sup>

napaja priključno mesto jednog stambenog objekta, od koga je do merno-razvodnog mesta položen kabl PPOO 4x50mm<sup>2</sup> + PPOO-Y 1x50mm<sup>2</sup>. Napajanje razvodne table u jednom stanu ovog objekta vrši se provodnikom (4xP1x4mm<sup>2</sup> + P-Y1x4mm<sup>2</sup>) /  $\phi$ 23mm, a protočnog bojlera provodnikom PP-Y 3x2.5mm<sup>2</sup>. Objekat nema svoj uzemljivač, a otpornost uzemljenja uzemljivača distributivne transformatorske stanice iznosi 1.22 $\Omega$ . Ako dodje do proboja izolacije faznog provodnika u protočnom bojleru, da li je napon dodira veći u slučaju a) ili u slučaju b)?

106. Prilikom primene TN-C-S sistema zaštite u stambenim objektima, nulta i zaštitna šina se, po propisima, ne smeju spajati u razvodnim ormanima. Zašto? Šta poštovanje ovog propisa omogućava distributivnim preduzećima?

107. Šta znači svako slovo T u oznaci TT sistema zaštite?

108. Koje je boje elektroizolacioni omotač nultog provodnika u kabl:

- a) PPOO-Y 3x50+25mm<sup>2</sup>
- b) PPOO-Y 4x50mm<sup>2</sup>
- c) PPOO-Y 5x16mm<sup>2</sup>
- d) PP41 3x95+50mm<sup>2</sup>

109. Koliko iznosi najveća vrednost specifične električne otpornosti zemljišta u kome se metalni oklop starog protočnog bojlera (L=0.65m, d = 0.2m) može koristiti kao uzemljivač objekta, ako se kao dopunska mera zaštite koristi ZS prekidač ( $I_g^*=0.5A$ )? Osnovna mera zaštite je zaštitno uzemljenje.

110. U jednoj električnoj instalaciji u kojoj je primenjen TT sistem zaštite od indirektnog dodira, zbog velike vrednosti otpornosti uzemljenja uzemljivača objekta, na ulazu razvodnog voda u razvodni orman postavljen je zaštitni uređaj diferencijalne struje (ZS prekidač). Prilikom zamene jedne utičnice sa zaštitnim kontaktom, greškom je na zaštitni kontakt vezan nulti provodnik, a na kontakt nultog provodnika zaštitni provodnik. Šta će se desiti kada se na takvu utičnicu priključi, na primer, izvor svetlosti sa užarenom niti?

111. U jednom stambenom naselju distributivno preduzeće je primenilo TN-C-S sistem zaštite od indirektnog dodira. Pri tome je spoj nulte i zaštitne šine u merno-razvodnom ormanu jednog objekta povezan sa uzemljivačem otpornosti uzemljenja  $5\Omega$ , koji se koristi i kao uzemljivač gromobranskog zaštitnog postrojenja tog objekta.

a) U slučaju prekida nultog provodnika priključnog voda objekta, na koji se sistem zaštite praktično prelazi?

b) Dok traje prekid nultog provodnika priključnog voda, došlo je do pojave kratkog spoja nastalog usled proboja izolacije na faznom provodniku kabla koji napaja motor lifta. Da li će zaštitna komponenta (topljivi osigurač B35A) efikasno reagovati, ako je otpornost uzemljenja uzemljivača transformatorske stanice  $2\Omega$ ?

112. Sa čime se povezuje svaki od krajeva elektromagneta ZN prekidača? Da li ZN prekidač, koji se koristi kao dopunska mera zaštite od indirektnog dodira za motor lifta, u slučaju greške samostalno prekida napajanje motora, ili to radi uz pomoć neke druge komponente?

113. U instalaciji jednog objekta primenjen je TT sistem zaštite, uz upotrebu ZN prekidača kao dodatne mere zaštite. Referentno uzemljenje ZN prekidača izvedeno je 8m od najbliže tačke konturnog uzemljivača objekta. Ako postoji mogućnost podešavanja napona reagovanja elektromagneta ZN prekidača, koju od ponuđenih vrednosti napona treba izabrati:

- a) 45V
- b) 50V
- c) 55V?

114. Objasniti zbog čega se vrednost impedanse od oko  $1000\Omega$  smatra optimalnom za IT sistem zaštite kod koga je zvezdište uzemljeno preko velike impedanse.

115. Zašto se kod sistema zaštitnog voda (IT sistema zaštite) ponekad instalira i ZN prekidač?

116. Šta su izolovani prostori? O čemu se sve mora voditi računa da bi osobe koje u njima borave bile zaštićene od strujnog udara?

117. Ako je između primarnog i sekundarnog namota transformatora za dobijanje malog napona postavljen metalni "ekran", šta svakako treba uraditi s njim?



## Odgovori

98. Dopunska zaštita od direktnog dodira izvodi se instaliranjem zaštitnog uređaja diferencijalne struje, čija struja reagovanja treba da zadovolji uslov  $I_g^* \leq 30\text{mA}$ .

99. Napon dodira je ne samo veći, nego i opasniji od napona koraka, tako da instalacija koja zadovoljava sa aspekta napona dodira po pravilu zadovoljava i sa aspekta napona koraka.

100. Pošto dozvoljeno trajanje napona dodira od 220V u suvoj prostoriji iznosi 150ms, jasno je da se napon dodira od 195V koji traje kraće od 150ms ne smatra opasnim naponom dodira.

101. Slovo T znači da je zvezdište sekundara transformatora iz koga se napaja posmatrana električna instalacija direktno uzemljeno, dok slovo N znači da su svi izloženi elektroprovodni delovi koji u normalnom pogonu nisu pod naponom, a u slučaju greške mogu doći pod napon, povezani sa tim zvezdištem (neutralnom tačkom sekundara transformatora). Slovo C znači da je u delu električne instalacije izveden četvoroprovodnički sistem (sa zajedničkim nultim i zaštitnim provodnikom), dok slovo S znači da je u preostalom delu električne instalacije izveden petoprovodnički sistem, u kome su nulti i zaštitni provodnik izvedeni kao odvojeni provodnici.

102. a) Izolacioni sloj nultog provodnika, koji u ovom slučaju istovremeno predstavlja i zaštitni provodnik (oznaka PEN na crtežima) je žuto-zelene boje.

b) Izolacioni sloj odvojeno položenog zaštitnog provodnika (na crtežima označenog sa PE) je i u ovom slučaju žuto-zelene boje.

103. Ukoliko je zaštitna sabirnica u nekom razvodnom ormanu povezana sa uzemljivačem objekta, za izračunavanje napona dodira neophodno je poznavanje otpornosti uzemljenja uzemljivača TS (napon dodira je tada praktično jednak proizvodu otpornosti uzemljenja uzemljivača objekta i struje koja se uspostavlja kroz zemlju kao povratni vod, paralelno vezan sa povratnim vodom koji čine zaštitni (nulti) provodnici – ova struja zavisi i od otpornosti uzemljenja uzemljivača TS). Ako nijedan deo električne instalacije nije povezan sa uzemljivačem objekta, jasno je da napon dodira ne zavisi od otpornosti uzemljenja uzemljivača TS (on je tada jednak padu napona na zaštitnim (nultim) provodnicima od mesta kvara do neutralne tačke TS).



Kako je u prvom slučaju napon dodira obrnuto srazmeran sa vrednošću otpornosti uzemljenja ( $R_B$ ) uzemljivača TS, razmatra se teorijski najkritičniji slučaj  $R_B=0$  (tada je napon dodira najveći).

104. Pošto nije izveden uzemljivač objekta, napon dodira je jednak razlici potencijala mesta kvara i neutralne tačke sekundara transformatora. Pošto su fazni i nulti (zaštitni) provodnik istog preseka u svakom od vodova, to je pad napona na zaštitnim (nultim) provodnicima od mesta kvara (protočnog bojlera ili razvodnog ormana) do neutralne tačke sekundara TS, koji je jednak naponu dodira, jednak sa padom napona na faznim provodnicima od TS do mesta kvara. Kako fazni napon iznosi 220V, jasno je da svaki od ovih napona, a samim tim i napon dodira, iznosi 110V. Takođe je jasno da napon dodira u ovom slučaju ne zavisi od otpornosti uzemljenja uzemljivača TS.

105. U ovom slučaju (objekat nema svoj uzemljivač) napon dodira je određen sledećom formulom:

$$U_d = I_k \cdot (R_{n.d.k.} + R_{z.uk.}) = \frac{U_f (R_{n.d.k.} + R_{z.uk.})}{R_{n.d.k.} + R_{z.uk.} + R_{f.uk.}} = \frac{U_f}{1 + \frac{R_{f.uk.}}{R_{n.d.k.} + R_{z.uk.}}}$$

(sa  $R_{n.d.k.}$  je označena otpornost nultog provodnika distributivnog kabla, sa  $R_{z.uk.}$  ukupna otpornost svih zaštitnih provodnika koji učestvuju u petlji kvara, a sa  $R_{f.uk.}$  ukupna otpornost svih faznih provodnika petlje kvara).

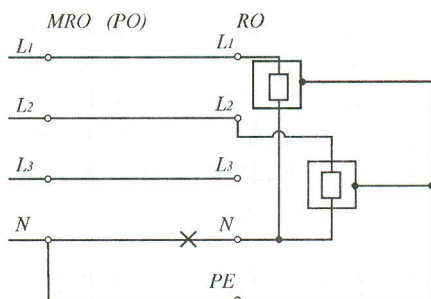
Kako je u slučaju pod b) presek nultog provodnika distributivnog kabla manji nego u slučaju pod a), odnosno kako je  $R_{n.d.k.}$  veće u slučaju pod b), i kako otpornosti  $R_{f.uk.}$  i  $R_{z.uk.}$  imaju iste vrednosti u oba slučaja, iz gornje formule jasno proizilazi da je napon dodira veći u slučaju pod b) nego u slučaju pod a).

Primitimo da napon dodira ne zavisi od otpornosti uzemljenja uzemljivača TS.

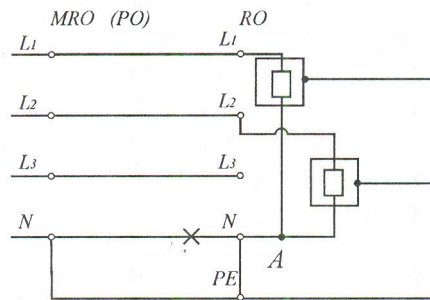
106. Na slikama a) i b) redom su prikazane tropolne šeme varijante bez i varijante sa spojem nulte i zaštitne šine u razvodnom ormanu. Za obe varijante će se analizirati posledice koje nastaju usled prekida nultog provodnika usponskog voda.

U varijanti (a), prekid nultog provodnika dovodi do obrazovanja međufaznih strujnih kola, u kojima će napon na pojedinim prijemnicima zavisiti od njihovih karakteristika (impedansi). Pri tome, naponi na nekim prijemnicima mogu biti značajno veći od nominalnog, što može dovesti i do

njihovog oštećenja. U svakom slučaju, neregularan rad prijemnika signaliziraće nastanak kvara u električnoj instalaciji, koji se posle toga može relativno jednostavno otkloniti (do prekida nultog provodnika po pravilu dolazi zbog lošeg spoja u razvodnom ormanu). Ono što treba istaći je da u toku trajanja kvara izloženi elektroprovodni delovi prijemnika (i razvodnog ormana) neće doći ni na kakav opasan napon.



(a)



(b)

U varijanti (b) ulogu prekinutog nultog provodnika preuzima zaštitni provodnik usponskog voda i svi prijemnici nastavljaju regularno da rade. Međutim, nema nikakve signalizacije da je došlo do kvara. Ako bi se kasnije prekinuo i zaštitni provodnik usponskog voda, došlo bi do obrazovanja međufaznih strujnih kola (situacija slična onoj koja je opisana prilikom analize varijante (a)), ali bi se pored mogućnosti oštećenja pojedinih prijemnika, pojavila i sledeća opasnost: izloženi elektroprovodni delovi svih prijemnika (i razvodnog ormana) došli bi na opasan potencijal (potencijal tačke A na slici (b)), koji može da iznosi i preko 220V, a trajaće sve dok traje kvar.

Poštovanje ovog propisa, odnosno zabrane spajanja nulte i zaštitne šine u razvodnim ormanima u stanovima, omogućava distributivnim preduzećima da krajnje jednostavno (prekidom veze nulte i zaštitne šine u merno-razvodnom (ili priključnom) ormanu) sa nulovanja pređu na zaštitno uzemljenje.

107. Prvo slovo T znači da je zvezdište sekundara transformatora iz koga se napaja posmatrana električna instalacija direktno uzemljeno, dok drugo slovo T znači da su svi izloženi elektroprovodni delovi koji u normalnom pogonu nisu pod naponom, a u slučaju greške mogu doći pod napon, galvanski povezani sa zemljom.

108. a) žuto-zelene boje (nulti provodnik ima i zaštitnu ulogu)  
 b) žuto-zelene boje (iz istog razloga kao pod a) )  
 c) svetlo-plave boje (nulti i zaštitni provodnik su dva odvojena provodnika)  
 d) svetlo-plave boje (ne postoji zaštitni provodnik)
109. Da bi delovanje ZS prekidača bilo efikasno, neophodno je da je ispunjen uslov

$$R \leq \frac{50V}{I_g^*}$$

(R je otpornost uzemljenja uzemljivača objekta).

Pošto oklop protočnog bojlera predstavlja vid cilindričnog uzemljivača, to prethodna nejednakost postaje

$$\frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d} \leq \frac{50V}{I_g^*},$$

odakle se dobija

$$\rho \leq \frac{50V \cdot 2\pi L}{I_g^* \cdot \ln \frac{4L}{d}} = \frac{50V \cdot 2\pi \cdot 0.65m}{0.5A \cdot \ln \frac{4 \cdot 0.65m}{0.2m}} = 159.2\Omega m = \rho_{\max.}$$

110. Kao posledica opisane greške, obrazovaće se zatvoreno strujno kolo čiji su elementi: fazni namot sekundara transformatora 10kV/0.4kV, fazni provodnici vodova od TS do utičnice, fazni provodnik voda kojim je izvor svetlosti priključen na utičnicu, sam izvor svetlosti, nulti provodnik ovog voda, zaštitni provodnici vodova od utičnice do uzemljivača objekta i zemlja (između uzemljivača objekta i uzemljivača TS) kao povratni vod. Zbog toga je struja ovog kola određena formulom

$$I_g = \frac{U_f}{\Sigma R + R_p + R_A + R_B},$$

u kojoj je sa  $\Sigma R$  označena ukupna otpornost svih provodnika opisanog strujnog kola, sa  $R_p$  otpornost volframovog vlakna izvora svetlosti, a sa  $R_A$  i  $R_B$  redom otpornosti uzemljenja uzemljivača objekta i TS.



Ako je  $I_g \geq I_g^*$  ( $I_g^*$  je struja reagovanja ZS prekidača), ovaj zaštitni uređaj će reagovati i prekinuti napajanje ovog i svih ostalih strujnih kola razvodnog ormana (struja se "vraća" kroz zaštitni provodnik, koji nije priključen na kleme ZS prekidača).

Ako je  $I_g < I_g^*$ , izvor svetlosti će nastaviti da radi, ali sa smanjenom snagom koja je određena formulom

$$P = \left( \frac{U_f}{\Sigma R + R_p + R_A + R_B} \right)^2 \cdot R_p.$$

111. a) U slučaju prekida nultog provodnika priključnog voda objekta prelazi se na TT sistem zaštite (umesto nultih provodnika priključnog voda i distributivnog kabla povratni vod petlje kvara predstavlja zemlja između uzemljivača objekta i TS).

b) U opisanom slučaju je struja kvara manja od struje

$$I = \frac{U_f}{R_A + R_B}$$

( $R_A$  i  $R_B$  su redom otpornosti uzemljenja uzemljivača objekta i TS), koja iznosi

$$I = \frac{220V}{(5+2)\Omega} = 31.4A.$$

Kako je ova struja manja od nominalne struje topljivog umetka osigurača (35A), jasno je da osigurač neće reagovati.

112. Jedan kraj elektromagneta ZN prekidača povezuje se sa zaštitnom šinom u odgovarajućem razvodnom ormanu, a drugi sa posebno izvedenim uzemljivačem ZN prekidača (rastojanje najbližih tačaka ovog uzemljivača i uzemljivača objekta treba da bude bar 10m). U slučaju greške, ZN prekidač prekida napajanje motora uz pomoć kontaktora (kontakt ZN prekidača postavlja se kao mirni, normalno zatvoreni kontakt u upravljačko kolo (kolo elektromagneta) kontaktora). Na ovaj način primena ZN prekidača nije ograničena vrednošću njegove nominalne struje (koja obično iznosi 25A).

113. Pošto je uzemljivač referentnog uzemljenja ZN prekidača izveden na samo 8m od najbliže tačke konturnog uzemljivača, on se nalazi u tzv. potencijalnom levku konturnog uzemljivača, odnosno njegov potencijal  $V_r$

može značajnije da odstupa od nultog potencijala. Pošto ZN prekidač reaguje kada razlika potencijala mesta kvara i referentnog uzemljenja bude veća od podešene vrednosti, jasno je da napon reagovanja treba podesiti na 45V. Tada će ZN prekidač reagovati na napone dodira veće od  $V_r+45V$ . Na taj način se najviše povećava verovatnoća da će ZN prekidač reagovati na sve napone dodira veće od 50V (napon od 50V smatra se maksimalnim bezbednim naponom).

114. Vrednost impedanse od  $1000\Omega$  se smatra optimalnom, jer s jedne strane omogućava registrovanje (male) struje prvog kvara u IT sistemu zaštite, a s druge strane sprečava pojavu struja kvara koje bi (pošto se ne isključuju) previše zagrevale zaštitne provodnike i elemente uzemljiivača.

115. Kod IT sistema zaštite ponekad se, kao dopunska mera, instalira i ZN prekidač. Pošto kod ovog sistema zaštite u slučaju nastanka prvog kvara ne dolazi do isključenja napajanja mesta kvara, i pošto izloženi elektroprovodni delovi dolaze na potencijal mesta kvara, instaliranjem ZN prekidača obezbeđuje se delovanje zaštite ako taj potencijal, iz bilo kog razloga, bude veći od 50V.

116. Izolovani (neprovodni) prostori su prostori sa izolacionim podom i izolacionim zidovima, pri čemu u svakoj njihovoj tački otpornost prema zemlji mora da iznosi bar  $50k\Omega$ . U njima ne sme da bude zaštitnih provodnika (povezanih sa zemljom). Da bi se sprečio istovremeni dodir dva izložena elektroprovodna dela, ili izloženog i stranog elektroprovodnog dela, moraju da budu sprovedene sledeće mere:

- međusobna rastojanja izloženih, kao i izloženih i stranih elektroprovodnih delova, treba da budu veća od 2.5m,
- treba postaviti prepreke (izrađene od izolacionog ili provodnog materijala), koje bi sprečile istovremeni dodir izloženih, ili izloženog i stranog elektroprovodnog dela čije je rastojanje manje od 2.5m (ako je prepreka izrađena od metala, ona ne sme da bude povezana niti sa izloženim, niti sa stranim provodnim delovima), i
- ako su rastojanja između nekih izloženih i stranih elektroprovodnih delova manja od 2.5m, umesto postavljanja prepreka može se primeniti mera izolovanja stranih elektroprovodnih delova.

117. Ako je između primarnog i sekundarnog namota transformatora za dobijanje malog napona postavljen metalni "ekran", na njega treba primeniti onu meru zaštite od indirektnog dodira koja je primenjena na primarnoj strani tog transformatora.



## VII Merenje utrošene električne energije i određivanje jednovremeno maksimalnih opterećenja

### Pitanja

118. Dati jednopolnu šemu prolaznog priključnog mesta u slučaju kablovske distributivne mreže.

119. Dati jednopolnu šemu završnog priključnog mesta u slučaju vazdušne distributivne mreže i kablovskog priključnog voda.

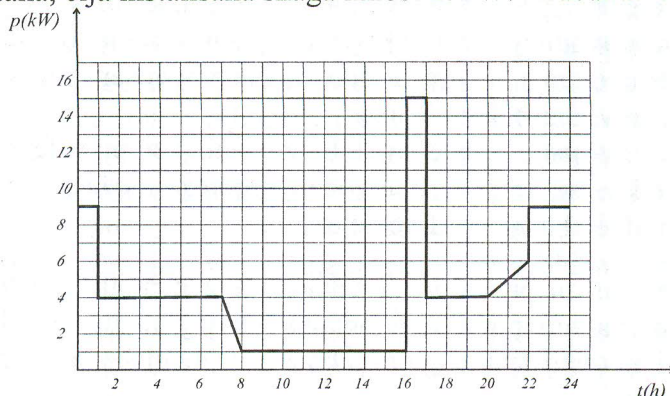
120. Prikazati kompletnu jednopolnu šemu merne grupe, ako se ona sastoji od dvotarifnog brojila aktivne električne energije sa maksigrafom, dvotarifnog brojila reaktivne električne energije i MTK uređaja. Brojila su za trofazni četvoroprovodnički sistem i za struje do 63A.

121. Definisati jednovremeno maksimalnu snagu objekta i faktor  $k_{\infty}$ .

122. Napisati formulu na osnovu koje se pri poznatom naponu, poznatoj trofaznoj jednovremeno maksimalnoj snazi ( $P_{jm}$ ) i poznatom faktoru snage ( $\cos\varphi_{jm}$ ) koji odgovara snazi  $P_{jm}$ , izračunava jednovremeno maksimalna struja ( $I_{jm}$ ). Da li je izračunavanje jednovremeno maksimalne struje na ovaj način tehnički ispravan postupak? Zašto?

123. Merno-razvodna mesta MRM1 i MRM2 imaju iste jednovremeno maksimalne snage. MRM1 napaja 16 jednakih stanova, svaki instalisane snage 22kW, a MRM2 – 25 jednakih stanova, svaki instalisane snage 16kW. Koliko iznosi  $k_{\infty}$ ?

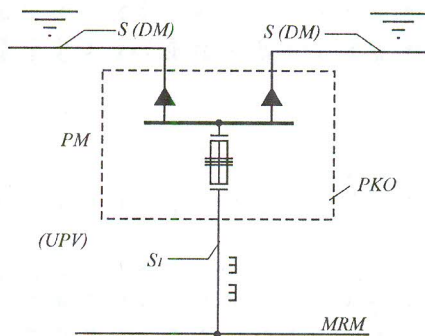
124. Na slici je dat srednji dnevni dijagram aktivne snage jednog prosečnog stana, čija instalisana snaga iznosi 25kW. Izračunati faktor  $k_{\infty}$ .





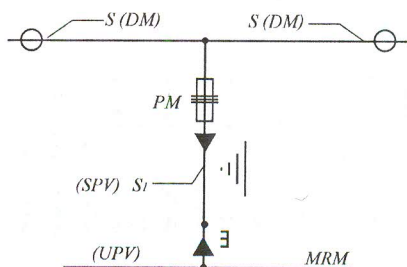
**Odgovori**

118.



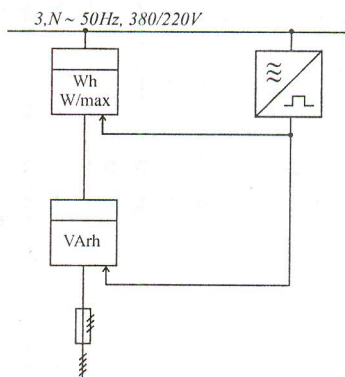
Napomena: skraćenica UPV označava unutrašnji priključni vod, a PKO prolazni kablovski ormarić.

119.



Napomena: skraćenice UPV i SPV redom označavaju unutrašnji i spoljni priključni vod.

120.



121. Maksimalna aktivna snaga u objektu koja traje ne manje od unapred određenog vremena (obično 15min ili pola sata) naziva se jednovremeno maksimalna snaga objekta. Faktor  $k_{\infty}$  je faktor jednovremenosti za veoma veliki (teorijski: beskonačno veliki) broj stanova približno jednakih jednovremeno maksimalnih snaga.

122.

$$I_{jm} = \frac{P_{jm}}{\sqrt{3}U_l \cdot \cos \varphi_{jm}}$$

Očigledno je da jednovremeno maksimalna struja ne mora da odgovara jednovremeno maksimalnoj snazi (na primer, imaće se veća struja od one koja je određena gornjom formulom ako se u toku rada snaga smanji za 5%, a faktor snage za 10%). Iz rečenog proizilazi da je izračunavanje  $I_{jm}$  na osnovu navedene formule, iako uobičajen, tehnički neispravan postupak.

123.

$$P_{jm1} = P_{jm2}$$

$$\left(k_{\infty} + \frac{1-k_{\infty}}{\sqrt{n_1}}\right) \cdot n_1 \cdot k_{js} \cdot P_{in1} = \left(k_{\infty} + \frac{1-k_{\infty}}{\sqrt{n_2}}\right) \cdot n_2 \cdot k_{js} \cdot P_{in2}$$

(sa  $k_{js}$  je označen koeficijent jednovremenog uključenja prijemnika u stanu).

$$\left(k_{\infty} + \frac{1-k_{\infty}}{\sqrt{16}}\right) \cdot 16 \cdot 22kW = \left(k_{\infty} + \frac{1-k_{\infty}}{\sqrt{25}}\right) \cdot 25 \cdot 16kW$$

Rešavanjem ove elementarne linearne jednačine, dobija se da je

$$k_{\infty} = 1/7 \approx 0.143.$$

124. Kako se faktor  $k_{\infty}$  izračunava kao odnos srednje aktivne snage stana u toku jednog dana ( $P_{sr}$ ) i jednovremeno maksimalne snage tog stana ( $P'_{jm}$ ), to je

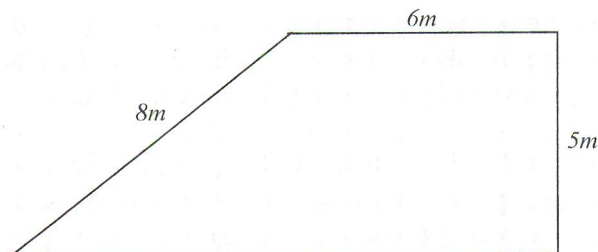
$$k_{\infty} = \frac{P_{sr}}{P'_{jm}} = \frac{(9 \cdot 1 + 4 \cdot 6 + 2.5 \cdot 1 + 1 \cdot 8 + 15 \cdot 1 + 4 \cdot 3 + 5 \cdot 2 + 9 \cdot 2) kWh / 24h}{15kW} = 0.273$$

(iz srednjeg dnevnog dijagrama aktivne snage vidi se da maksimalna aktivna snaga u toku dana, koja iznosi 15kW, traje  $1h > 30min$ , tako da ona predstavlja jednovremeno maksimalnu snagu posmatranog stana).

## VIII Gromobranska instalacija

### Pitanja

125. Kod koje vrste gromova se definiše impulsno naelektrisanje i zašto?
126. Definisati udarno rastojanje atmosferskog pražnjenja.
127. Definisati usvojenu učestalost udara groma ( $N_c$ ). Od čega sve ona zavisi?
128. Ako se manji objekat u potpunosti nalazi u štićenom prostoru susednog većeg objekta, čemu je jednaka ekvivalentna prihvatna površina manjeg objekta?
129. Svakom nivou zaštite gromobranske instalacije odgovaraju određena računaska efikasnost ( $E_r$ ) i određeno udarno rastojanje ( $R$ ). Da li prvom nivou zaštite, kod koga je  $0.95 < E_r \leq 0.98$ , odgovara najveće ili najmanje udarno rastojanje? Prilikom obrazlaganja odgovora objasniti šta predstavlja računaska efikasnost gromobranske instalacije.
130. Koji su osnovni faktori koji se uzimaju u obzir prilikom određivanja nivoa zaštite gromobranske instalacije?
131. Učestalost direktnog udara groma u jedan objekat iznosi 0.025 udara/god., dok je usvojena učestalost udara groma u taj objekat 0.0005 udara/god. Ako jedno okce prihvatnog sistema ima oblik pravouglog trapeza, čije su dimenzije prikazane na slici, da li je ono pravilno projektovano?





132. Da li se oluci mogu koristiti kao hvataljke i odvodni? Ako mogu, pod kojim uslovima?

133. Od čega zavisi minimalna potrebna dužina uzemljivača ( $l_1$ ), kao elementa gromobranskog zaštitnog postrojenja, za svaki od četiri usvojena nivoa zaštite?

134. Uzemljenje jedne transformatorske stanice 10kV/0.4kV izvedeno je pomoću konturnog uzemljivača u obliku kvadrata stranice 5m. Da li se on može koristiti kao uzemljivač gromobranskog zaštitnog postrojenja ove TS? Ako ne može, šta treba učiniti, odnosno kolika treba da je minimalna dužina gvozdene pocinkovane cevi  $\phi 50\text{mm}$  koju treba vertikalno ukopati i galvanski povezati sa postojećim konturnim uzemljivačem ( $\rho = 300\Omega\text{m}$ )?

135. Izračunati za koliko je poluprečnik osnove štice prostora koji stvara štapna hvataljka sa uređajem za rano startovanje veći od poluprečnika osnove štice prostora koji stvara obična štapna hvataljka iste visine ( $h=6\text{m}$ ), ako udarno rastojanje iznosi  $R=30\text{m}$ , vreme prednjačenja  $\Delta t = 20\mu\text{s}$  i ako je brzina uzlaznog trasera  $v=1\text{m}/\mu\text{s}$ .

### Odgovori

125. Impulsno naelektrisanje, koje predstavlja naelektrisanje jednog impulsa pražnjenja, definiše se kod negativnih gromova, jer jedino njih karakterišu višestruki udari (impulsi).

126. Udarno rastojanje atmosferskog pražnjenja predstavlja rastojanje između dna silaznog trasera i dela objekta sa koga je krenuo uzlazni traser sa kojim je uspostavljen kontakt, određeno u trenutku njegovog formiranja.

127. Usvojena učestalost udara groma u posmatrani objekat ( $N_e$ ) predstavlja maksimalni usvojeni srednji godišnji broj udara groma za koje se dopušta da mogu prouzrokovati oštećenje štice objekta. Ona zavisi od konstrukcije objekta i njegovog krova, od sadržaja objekta (u smislu njegove vrednosti i zapaljivosti), od namene objekta (u smislu njegove zaposednutosti) i od posledica udara groma u objekat (u smislu potrebe za neprekidnošću pogona i posledica po neposrednu okolinu).

128. Prema standardu JUS IEC 1024-1-1 iz 1996. god., najmanja ekvivalentna prihvatna površina objekta jednaka je projekciji samog objekta na tle. Prema tome, iako se u potpunosti nalazi u štice prostoru susednog

većeg objekta, ekvivalentna prihvatna površina manjeg objekta jednaka je projekciji tog objekta na tle.

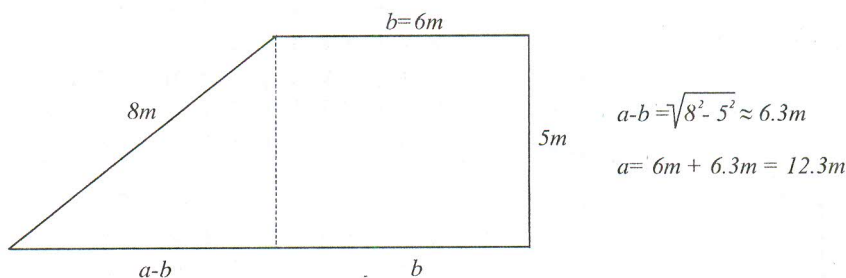
129. Računska efikasnost gromobranske instalacije predstavlja verovatnoću njenog efikasnog delovanja. Pošto je za prvi nivo zaštite ona najveća ( $0.95 < E_r \leq 0.98$ ), odgovarajuća gromobranska instalacija treba da predstavlja efikasnu zaštitu i u slučaju pojave najopasnijih gromova, odnosno onih koji imaju najmanja udarna rastojanja.

130. Pored faktora koji utiču na određivanje usvojene učestalosti udara groma ( $N_c$ ), pobrojanih u odgovoru na pitanje br. 127, na izbor nivoa zaštite gromobranske instalacije utiču i broj dana sa grmljavinom u toku godine ( $T_d$ ), koji može da se očita iz izokerauničke karte Jugoslavije, i ekvivalentna prihvatna površina objekta ( $A_e$ ).

131. Kako je

$$E_r = 1 - \frac{N_c}{N_d} = 1 - \frac{0.0005}{0.025} = 0.98,$$

gromobranska instalacija treba da obezbedi prvi nivo zaštite, koji podrazumeva ne samo da širina okca ne sme da bude veća od 5m (što je ispunjeno), nego i da najveća dimenzija okca ne sme da bude veća od  $2 \cdot 5m = 10m$ . Ovaj zahtev nije ispunjen (videti sliku), tako da posmatrano okce nije pravilno projektovano.



132. Da bi oluci mogli da se koriste kao hvataljke, odnosno kao elementi prihvatnog sistema, ili kao odvodi (spusni provodnici), neophodno je da debljina olučnog lima bude bar 0.5mm i da njegov poprečni presek bude bar:

-50mm<sup>2</sup>, ako su oluci izrađeni od pocinkovanog gvožđa (nezavisno od toga da li se koriste kao hvataljke ili odvodi),

-16mm<sup>2</sup>, ako su izrađeni od bakra i koriste se kao odvodi, i

-35mm<sup>2</sup>, ako su izrađeni od bakra i koriste se kao hvataljke.

Pošto oluci izrađeni od pocinkovanog gvožđa ili bakra zadovoljavaju svaki od navedenih zahteva, mogu da se koriste kao prirodne komponente kako prihvatnog sistema, tako i spusnih provodnika.

133. Za prvi nivo zaštite,  $l_1$  zavisi od specifične električne otpornosti tla ( $\rho$ ). Ako je  $\rho \leq 500 \Omega m$ ,  $l_1 = \text{const} = 5m$ , a ako je  $\rho > 500 \Omega m$ ,  $l_1$  se linearno povećava sa povećanjem  $\rho$ . Za drugi, treći i četvrti nivo zaštite  $l_1 = \text{const} = 5m$  (ne zavisi od  $\rho$ ).

134. Pošto je  $\rho = 300 \Omega m$ , nezavisno od usvojenog nivoa zaštite (videti odgovor na pitanje br. 133) minimalna potrebna dužina uzemljivača iznosi  $l_1 = 5m$ . Kako je ekvivalentni poluprečnik izvedenog konturnog uzemljivača

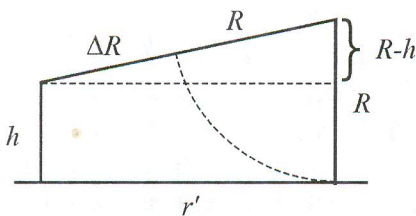
$$r_e = \frac{\rho}{2\pi} = \frac{4 \cdot 5m}{2\pi} \approx 3.2m$$

(sa o je označen obim konture), jasno je da se on, kao jedini, ne može koristiti kao uzemljivač gromobranskog zaštitnog postrojenja posmatrane TS. To će biti moguće ako se izvede (i galvanski poveže sa postojećim konturnim uzemljivačem) i cevni uzemljivač  $\phi 50mm$ , čija je dužina

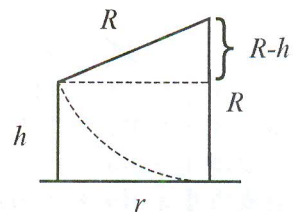
$$l_c = \frac{l_1 - r_e}{2} = \frac{(5 - 3.2)m}{2} = 0.9m \approx 1m.$$

135.

$$R = 30m, h = 6m, v = 1m/\mu s, \Delta t = 20\mu s \Rightarrow \Delta R = v\Delta t = 20m$$



$$r' = \sqrt{(R + \Delta R)^2 - (R - h)^2} = \sqrt{50^2 - 24^2} = 43.9m$$



$$r = \sqrt{R^2 - (R - h)^2} = \sqrt{30^2 - 24^2} = 18m$$

$$\Delta r = r' - r = 43.9m - 18m = 25.9m$$