

**1. Induktivnost kao akumulaciona komponenta**

1. Naponski izvor napona 10V je preko prekidača vezan za rednu vezu induktivnost 100 mH i otpornosti 1Ω. Prekidač se zatvori u trenutku  $t = 0$ . Nacrtati talasni oblik struje i napona na induktivnosti. Označiti vrednosti na osama.
2. Ako napon na induktivnosti 100 mH trenutno skoči sa 0 na 10 V, a posle 5ms ponovo padne na 0, kako će izgledati struja kroz induktivnost.
3. Objasniti relaciju napona na induktivnosti i struje kroz nju i definisati ulogu induktivnosti kao strujnog izvora (ponora).
4. Idealni naponski izvor napona 10V je preko prekidača vezan za idelnu induktivnost 100 mH. Prekidač se zatvori u trenutku  $t = 0$ . Nacrtati talasni oblik struje kroz induktivnost. Označiti vrednosti na osama.
5. Ako je induktivnost 100mH povezana na izvor sinusnog napona učestanosti 50Hz i efektivne vrednosti 10V. Kolika struja teče kroz nju? Skicirati talasni oblik struje i napona u stacionarnom stanju.
6. Naponski izvor napona 10V je preko prekidača vezan za rednu vezu kondenzatora kapacitivnosti 100 μF i otpornosti 1Ω. Prekidač se zatvori u trenutku  $t = 0$ . Nacrta i talasni oblik struje i napona na kondenzatoru. Označiti vrednosti na osama.

**2. Kapacitivnost kao akumulaciona komponenta**

7. Objasniti relaciju napona na kondenzatoru i struje kroz njega i definisati ulogu kondenzatora kao naponskog izvora.
8. Ako se prazan kondenzator kapacitivnosti 100 μF puni stalnom strujom 10 mA koliki će napon dostići posle 1s?
9. Ako je kondenzator kapacitivnosti 100 μF povezan na izvor sinusnog napona učestanosti 50Hz i efektivne vrednosti 32,26V. Kolika struja teče kroz kondenzator? Skicirati talasni oblik struje i napona u stacionarnom stanju.
10. Koje veličine su osnovne karakteristike kondenzatora?
11. Uporediti serijsku i paralelnu vezu kondenzatora sa gledišta maksimalnog napona i kapacitivnosti.

**3. Dioda kaoprekidač**

12. Opisati funkciju idealne diode i osnovne statičke karakteristike realne diode.
13. Poisati funkcionisanje idealne diode kao prekidačkog elementa (uslovi uključenja, isključenja i stanje posle uključenja i isključenja)
14. Od čega zavise gubici u toku provođenja kod diode?
15. Šta su osnovne dinamičke karakteristike diode?
16. Opisati proces isključenja diode.
17. Objasniti pojam strujnog repa kod isključenja diode i navesti na šta i kako utiče ova pojava.
18. Nacrtati vremenski dijagram struje pri isključivanju diode i naznačiti osnovne dinamičke karakteristike diode na dijagramu.
19. Kakve sve diode postoje po oblasti primene i koje karakteristike presudno određuju oblast primene?
20. Kakve sve diode postoje po tehnologiji izrade i koje su osnovne karakteristike svake ovih dioda?

21. Šta su prednosti, a šta nedostaci Šotki-dioda u odnosu na P-N diode?
22. Koje prednosti i nedostatke imaju diode na bazi silicijum-karbida u odnosu na diode od Si.
23. Koje karakteristike dioda mogu da se poboljšaju primenom SiC kao poluprovodnika umesto Si?
24. Šta se može okarakterisati kao glavni dobitak zamene silicijuma silicijum-karbidom kada su u pitanju karakteristike dioda.

#### **4. Neupravljeni ispravljači**

25. Nacrtati šemu i opisati rad punotalasnog i polutalasnog ispravljača.
26. Šta je prednost punotalasnog ispravljača u odnosu na polutalasnog?
27. Uporediti talasnost (amplitudu i učestanost) monofaznog polutalasnog i punotalasnog ispravljača.
28. Nacrtati kako izgleda napon napotrošaču kod punotalasnog i polutalasnog ispravljača i naznačiti intervala u kojima diode vode.
29. Nacrtati šemu i opisati rad jedne topologije udvostručivača napona i naznačiti koliki treba minimalno da bude probojni napon kondenzatora ako je vršna vrednost napona izvora 300V.
30. Nacrtati šemu i opisati rad polutalasnog neupravljanog trofaznog ispravljača.
31. Nacrtati šemu i opisati rad punotalasnog neupravljanog trofaznog ispravljača.
32. Uporediti talasnost (amplitudu i učestanost) trofaznog polutalasnog i punotalasnog ispravljača.
33. Zašto se masa punotalasnog trofaznog ispravljača ne sme uzemljiti?

#### **5. Tiristor kaoprekidač**

34. Opisati kako radi tiristor.
35. Opisati rad tiristora kao prekidača (uslovi uključenja i isključenja i karakteristike realnog tiristora kada je uključen i isključen)
36. Koje veličine predstavljaju osnovne statičke karakteristike tiristora? Definirati svaku od njih.
37. Navesti i opisati uslove neželjenog uključenja tiristora.
38. Koje dinamičke karakteristike tiristora se obično navode u katalozima? Definisati veličine.
39. Zašto i kako prebrz porast struje pri uključenju može da šteti tiristora.
40. Kako se tiristor štiti od prebrzog porasta struje pri uključenju? Navesti koje komponente se koriste.
41. Kako se izbegava neželjeno uključenje tiristora.

#### **6. Druge komponente na bazi tiristora**

42. Po čemu se GTO tiristor kao prekidač razlikuje od klasičnog tiristora?
43. Koje su osnovne karakteristike GTO tiristora?
44. Koja je razlika simetričnih i asimetričnih GTO tiristora?
45. Šta je IGCT (ili GCT)
46. Uporediti funkciju IGCT, GTO i klasični tiristor.
47. Opisati karakteristike četvoroslojne (Šokli) diode.
48. Opisati karakteristike i funkciju dijak.
49. Opisati karakteristike i funkciju trijaka.

#### **7. Bipolarni i tranzistori tipa MOSFET**

50. Opisati funkciju bipolarnog tranzistora kao prekidača.

51. Šta je uslov da bipolarni tranzistor kao prekidač bude isključen, šta da bude uključen, a šta da radi u linearnom režimu.
52. Zašto se linearni režim rada bipolarnog tranzistora praktično ne koristi u digitalnoj energetskej elektronici?
53. Zašto se PNP bipolarni tranzistor veoma retko koristi u energetskej elektronici?
54. Koji je osnovni razlog što su bipolarni tranzistori potisnuti i koja ih je tehnologija potisnula?
55. Opisati funkciju MOSFETa kao prekidača.
56. Šta je uslov da MOSFET kao prekidač bude isključen, šta da bude uključen, a šta da radi u linearnom režimu.
57. Opisati karakteristike MOSFETa kada je uključen kao prekidač.
58. Uporediti karakteristike bipolarnog tranzistora i MOSFETa kao uključenog prekidača.
59. Uporediti način uključenja bipolarnog tranzistora i MOSFETa i hrdver za uključenje i isključenje.
60. Zašto se P-kanalni MOSFET veoma retko koristi u energetskej elektronici?

## 8. Tranzistori tipa IGBT

61. Koje su osnovne karakteristike IGBT?
62. Opisati rad IGBT kao prekidača (koji su uslovi uključenja i isključenja i kako se ponaša kad je uključen, a kako kad je isključen).
63. Uporediti karakteristike IGBT i MOSFET kada rade kao uključeni prekidači.
64. Uporediti IGBT i MOSFET sa gledišta maksimalne prekidačke učestanosti.
65. Zašto se MOSFET više koristi u niskonaponskim primenama nego IGBT.
66. Šta su komutacioni gubici, zašto nastaju i od čega zavise?
67. Zašto nastaju i od čega zavise gubici provođenja kod IGBT?
68. Nacrtati i opisati talasni oblik napona i struje prekidača realizovanog pomoću IGBTa prilikom isključenja.
69. Od čega najviše zavisi prenapon prilikom isključenja IGBT i kako se bori protiv ovog prenapona?
70. Šta su prigušivači-snaberi (*snubber*) čemu služe i kakose primenjuju?
71. Šta su sendvič-vodovi, kada i zašto se primenjuju?

## 9. PWM

72. Opisati princip rada impulsno-širinske modulacije (PWM).
73. Šta je prednost, a šta nedostatak PWM u odnosu na analogno smanjivanje napona.
74. Ako je učestanost PWM-a 10kHz, koliko treba da iznosi impuls, a koliko pauza da bi se od napona 100V na ulazu dobio napon 30V na izlazu?
75. Od čega zavisi talasnost (*ripple*) struje kod PWMa i na šta utiče ova talasnost?
76. Kako se pomoću PWM-a može generisati promenljiv napon?
77. Koliki je korak i koliko različitih nivoa srednjeg napona se može generisati ako je minimalna širina impulsa  $1\mu s$  a učestanost PWM-a 10kHz i ulazni napon 100V?
78. Nacrtati i opisati jednu granu PWM-a sa IGBT i opisati ulogu tranzistora i dioda.
79. Opisati čemu prvenstveno služe i zašto su nužni upaljači (drajveri) za prekidače na bazi IGBT ili MOSFET-a.
80. Po čemu se suštinski razlikuju upaljači (drajveri) gornjeg i donjeg tranzistora u jednoj grani PWM-a?

81. Kako se napajaju drajveri gornjih i donjih tranzistora u jednoj grani PWM-a? U čemu je problem sa ovim napajanjima i kako se problem može rešiti?
82. Opisati rešenje napajanja gornjeg drajvera pomoću pomoćnog kondenzatora (*bootstrap*).
83. Kada i zašto je nužna galvanska izolacija upravljačkog i energetskog dela?
84. Kako rade optički izolatori (optokapleri), kakvi postoje i gde se koriste?
85. Opisati ograničenja učestanosti PWM-a sa gornje strane.
86. Od čega zavisi minimalna učestanost PWM-a.
87. Šta je mrtvo vreme pri uključivanju tranzistora u jednoj grani PWM-a, zašto je nužno i od čega zavisi.
88. Zašto mrtvo vreme smeta pri generisanju promenljivog napona pomoću PWM-a.
89. Koje prednosti donosi silicijum-karbid kao polovodnik umesto silicijuma za realizaciju prekidačkih komponenti.
90. Uporediti karakteristike MOSFET na bazi silicijuma, silicijum-karbida (SiC) i galijum-nitrida (GaN).
91. Kakva sve pakovanja IGBT-a postoje na tržištu?

## Primeri ispitnih pitanja iz energetske elektronike (II deo)

2017/2018

### 10. Čoperi

92. Šta znači kada se kaže da je pretvarač dvokvadrantni ?
93. Šta znači kada se kaže da je pretvarač četvorokvadrantni ?
94. Nacrtati principsku šemu čopera spuštača napona (*buck converter*).
95. Opisati princip rada čopera spuštača napona (*buck converter*).
96. Ako je maksimalna struja potrošača  $I$ , a napon izvora  $E$  koliku struju i napon treba da izdrže prekidači kod čopera spuštača? Pretpostaviti da je talasnost mnogo manja od srednje struje potrošača.
97. Da li čoper spuštač radi u jednom, dva ili četiri kvadranta? Obrazložiti odgovor
98. U čemu je razlika čopera spuštača i polumosta (jedne grane PWM)?
99. Uporediti mogućnosti čopera spuštača s jedne, i polumosta (jedne grane PWM) s druge strane.
100. Nacrtati principsku šemu čopera podizača napona (*boost converter*).
101. Opisati princip rada čopera podizača napona (*boost converter*).
102. Ako je maksimalna struja potrošača  $I$ , a napon izvora  $E$  koliku struju i napon treba da izdrže prekidači (tranzistor i dioda) kod čopera podizača? Pretpostaviti da je talasnost mnogo manja od srednje struje potrošača.
103. Koje su tri osnovne konfiguracije čopera ? Ako je napon izvora 10V koliki napon potrošača se može dobiti sa ovim konfiguracijama čopera
104. Ako je napon izvora  $E$ , napon potrošača čopera spuštača je  $DE$ , a podizača  $E/(1-D)$ . Šta ovo znači, šta predstavlja koeficijent  $D$ , šta utiče na njega i koliko može da iznosi?
105. Nacrtati principsku šemu kombinovanog čopera (*buck-boost converter*)

### 11. Polumost

106. Da li je polumost jednokvadrantni, dvokvadrantni ili četvorokvadrantni pretvarač i zašto.
107. Pokazati da je polumost (jedna grana PWM) dvokvadrantni pretvarač
108. Pod kojim uslovima polumost radi u prvom kvadrantu?
109. Pod kojim uslovima polumost radi u drugom kvadrantu?

- 110. Opisati rad polumosta u prvom kvadrantu.
- 111. Opisati rad polumosta u drugom kvadrantu.
- 112. Koliko iznosi i od čega zavisi srednji napon na potrošaču kod polumosta?
- 113. Čime se menja srednji napon na potrošaču kod polumosta?
- 114. Koji su uslovi za postizanje ravnoteže (stacionarnog stanja) kod polumosta?
- 115. Koji je odnos kontra elektromotorne sile motora i srednjeg napona pretvarača?

## **12. H-most**

- 116. Nacrtati principsku šemu H-mosta
- 117. Da li je most jednokvadrantni, dvokvadrantni ili četvorokvadrantni pretvarač i zašto.
- 118. Pokazati da je most četvorokvadrantni pretvarač.
- 119. Kako se (pod kojim uslovima) na potrošaču vezanom u H most dobija pozitivan, kako negativan a kako nulti napon pri pozitivnoj struji?
- 120. Kako se (pod kojim uslovima) na potrošaču vezanom u H most dobija pozitivan, kako negativan a kako nulti napon pri negativnoj struji
- 121. Ako je napon izvora 10V koliki napon na potrošaču se može dobiti pomoću H-mosta?

## **13. Upravljanje H-mostom sa MOSFET-ovima, nesimetrični režim**

- 122. Koje su moguće kombinacije stanja prekidača u mostu upotrebljive za upravljanje?
- 123. Zašto su neke od kombinacija stanja prekidača neupotrebljive?
- 124. Koje kombinacije stanja prekidača u mostu su aktivne (prosleđuju napon izvora motoru)?
- 125. Koje kombinacije stanja prekidača u mostu su pasivne (dovode napon 0 motoru)?
- 126. Ako se u toku rada, u jednom trenutku uključi samo jedan od četiri prekidača u mostu (a ostali isključe), analizirati koliki može da bude napon na motoru u tom trenutku i od čega to zavisi.
- 127. Ako se u toku rada, u jednom trenutku sviprekidači u mostu isključe, analizirati koliki može da bude napon na motoru u tom trenutku i od čega to zavisi.
- 128. Koje od kombinacija stanja prekidača u mostu se mogu koristiti u aktivnom delu periode PWM, a koje u ostatku periode?
- 129. Koja je razlika simetričnog nesimetričnog upravljanja sa gledišta kombinacija stanja prekidača koje se koriste u aktivnom delu i u ostatku periode PWM?
- 130. Na šta se odnose termini sporog (*slow decay*) i brzog (*fast decay*) opadanja struje?
- 131. Nacrtati talasni oblik upravljačkih signala kod nesimetričnog upravljanja H-mostom za dobijanje pozitivnog napona na potrošaču.
- 132. Nacrtati talasni oblik upravljačkih signala kod nesimetričnog upravljanja H-mostom za dobijanje negativnog napona na potrošaču.
- 133. Nacrtati talasni oblik struje potrošača (u stacionarnom stanju) kod nesimetričnog upravljanja H-mostom ako je srednja vrednost struje veće od polovine talasnosti.
- 134. Za koliko se promeni struja u aktivnom delu periode PWM kod nesimetričnog upravljanja H-mostom?
- 135. Za koliko se promeni struja u neaktivnom delu periode PWM kod nesimetričnog upravljanja H-mostom?
- 136. Od čega zavisi talasnost struje kod nesimetričnog upravljanja H-mostom?
- 137. Šta je povratna (rekuperativna) struja i pod kojim uslovima se javlja kod nesimetričnog upravljanja H-mostom?

138. Pod kojim uslovima se kod nesimetričnog upravljanja H-mostom i u motornom režimu ( $V_{aSR} > V_b$ ) pojavljuje negativna struja (ka izvoru)? Nacrtati i objasniti oblik struje potrošača u tom slučaju.

#### **14. Upravljanje H-mostom sa MOSFET-ovima, modifikovani nesimetrični režimi**

139. Šta je osnovni razlog modifikovanja standardnog nesimetričnog upravljanja.  
140. Šta je prekidna struja i kod kakvog upravljanja H-mostom sa MOSFETovima se može pojaviti?  
141. Opisati oblik upravljačkih signala kod režima upravljanja H-mostom koji u jednoj periodi PWM ima dva aktivna i dva pasivna dela.  
142. Šta su prednosti nesimetričnog upravljanja H-mostom koji u jednoj periodi PWM ima dva aktivna i dva pasivna dela, nad klasičnim nesimetričnim?  
143. Kako zavisi izlazni napon od procenta PWM kod nesimetričnog upravljanja H-mostom koji u jednoj periodi PWM ima dva aktivna i dva pasivna dela?

#### **15. Upravljanje H-mostom sa MOSFET-ovima, simetrični režim**

144. Nacrtati talasni oblik upravljačkih signala kod simetričnog upravljanja H-mostom za dobijanje pozitivnog napona na potrošaču.  
145. Nacrtati talasni oblik upravljačkih signala kod simetričnog upravljanja H-mostom za dobijanje negativnog napona na potrošaču.  
146. Nacrtati talasni oblik struje potrošača (u stacionarnom stanju) kod simetričnog upravljanja H-mostom ako je srednja vrednost struje veće od polovine talasnosti.  
147. Nacrtati talasni oblik struje izvora (u stacionarnom stanju) kod simetričnog upravljanja H-mostom ako je srednja vrednost struje veće od polovine talasnosti.  
148. Zašto struja kroz izvor svakako menja znak pri simetričnom upravljanju H-mostom?  
149. Uporediti talasnost struje potrošača nesimetričnog i simetričnog režima upravljanja i navesti razloge razlika.

#### **16. Prirodna sinusna modulacija**

150. Kako se pomoću PWM može dobiti promenljivi napon sinusnog oblika?  
151. Opisati način dobijanja signala za uključenje prekidača da bi se pomoću PWM dobio promenljivi napon sinusnog oblika.  
152. Definisati pojam indeksa modulacije  $m_a$ .  
153. Ilustrovati nosilac učestanosti 200Hz i referentnu sinusoidu učestanosti 50Hz sa koeficijentom modulacije 0,5.  
154. Ilustrovati spektar signala modulisanog prirodnom sinusnom modulacijom ako je učestanost sinusoide 100Hz, a učestanost PWM - 1 kHz.  
155. Opisati razliku sinhronog i asinhronog PWM, kada se koristi jedan, kada drugi?  
156. Kakav je odnos amplitude prvog harmonika i koeficijenta modulacije  $m_a$ ?  
157. Šta je premodulacija, kako se ostvaruje i kada se koristi?  
158. Pri kakvoj modulaciji se dobija najveća amplituda prvog harmonika?  
159. Kako izgleda spektar signala pri modulaciji četvrtkama.

#### **17. Prirodna sinusna modulacija, trofazni sistem**

160. Opisati kako se generiše trofazni sistem prirodnom sinusnom modulacijom.

161. Ako je napon izvora 300V koje nivoe imaju fazni naponi trofaznog sistema pri prirodnoj sinusnoj modulaciji?
162. Ako je napon izvora 300V koje nivoe imaju međufazni naponi trofaznog sistema pri prirodnoj sinusnoj modulaciji? Obrazložiti.
163. Nacrtati talasni oblik jedne periode međufaznog napona trofaznog sistema pri modulaciji četvrtkama. Označiti vrednosti napona i vremensku osu ako se generiše 100Hz, a napon izvora je 300V
164. Nacrtati talasni oblik jedne periode faznog napona trofaznog sistema pri modulaciji četvrtkama. Označiti vrednosti napona i vremensku osu ako se generiše 100Hz, a napon izvora je 300V
165. Šta je prednost, a šta nedostatak modulacije četvrtkama i kada se ova modulacija može koristiti?

## 18. Potiskivanje harmonika

166. Koji harmonici postoje u spektru međufaznog napona?
167. Opisati princip rada tehnike potiskivanja harmonika.
168. Koliko harmonika je moguće potisnuti sa 5 uglova komutacije do  $\pi/2$  i koji bi harmonici to bili.
169. Zašto se za potiskivanje po pravilu biraju harmonici najnižeg reda i da li je moguć drugačiji princip?

## 19. Prostorno-vektorska modulacija

170. Koliko se aktivnih naponskih vektora može dobiti i pod kojim uglovima su ti vektori?
171. Nacrtati položaje prekidača da bi se dobio vektor pod uglom od  $60^\circ$  u odnosu na  $\alpha$  osu.
172. Ako treba dobiti obrtno polje koje se obrće 100 obrta u sekundi samo pomoću osnovnih aktivnih vektora kojim redom bi bili generisani vektori i koliko bi svaki trajao?
173. Ako treba dobiti naponski vektor pod uglom  $30^\circ$  maksimalne amplitude, kako bi se dobio ovaj vektor?
174. Ako treba dobiti naponski vektor pod uglom  $90^\circ$  maksimalne amplitude, kako bi se dobio ovaj vektor?
175. Kako se dobija naponski vektor pod uglom  $15^\circ$  ako je osnovna perioda generisanja vektora  $T_0=60\mu s$ ?
176. Koliki je potencijal zvezdišta kada je uključen vektor  $V_3 [0 \ 1 \ 0]$ . Obrazložiti.
177. Kako se dobijaju vektori manjeg intenziteta od maksimalnog?
178. Kako bi se dobio vektor intenziteta 50% pod uglom od  $30^\circ$  ako je osnovna perioda generisanja vektora  $T_0=60\mu s$ ?

Na ispitu :      jedno do dva pitanja iz poglavlja 8,9, 13 i 16,  
                       najviše po jedno pitanje iz svakog od ostalih poglavlja.