

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
Fakultet elektrotehnike i računarstva  
Zavod za elektroničke sustave i obradbu informacija

## **Biomedicinska instrumentacija**

### **Ispitna pitanja i zadaci za vježbu**

2. dio

Autori teksta:  
dr.sc. Siniša Sovilj  
prof.dr.sc. Ratko Magjarević

Zagreb, 2010.

## **Ispitna pitanja i zadaci iz predmeta Biomedicinska instrumentacija (2. dio)**

### ***Teorijska pitanja***

1. Opisati načelo rada bioničkog oka? Koji su izazovi njegove konstrukcije i izvedbe?
2. Nabrojati koji su osnovni uzroci neželjenih posljedica u primijeni medicinske tehnologije, te kojim su opasnostima izloženi pacijenti u kliničkom okruženju?
3. Nabrojati što podrazumijevamo i razmatramo pod pojmom električne sigurnosti medicinskih uređaja?
4. Koje su posljedice protoka električne struje kroz tijelo ili tkivo? O čemu ovisi iznos (amplituda) struje? Opisati I-t krivulju za senzorske i motoričke reakcije.
5. Koje su neželjene posljedice kontakta čovjeka i elektroenergetske mreže? Opisati odnos napona i struje. Opisati posljedice opasnih napona u najgorem slučaju: za neoštećenu kožu i za oštećenu kožu.
6. Opisati ovisnost podražljivosti o valnom obliku impulsa (bipolarni, monopolarni impulsi, sinusne struje).
7. Koliki su iznosi sigurnih izmjeničnih, a koliko istosmjernih napona pri projektiranju medicinskih uređaja i kako ih definiramo?
8. Opisati što se dešava u fibrilaciji ventrikula i kako može do nje doći. Opisati razliku između makroudara i mikroudara? Koja se sigurna granica iznosa struje uzima za sprječavanje mikroudara?
9. Što je to zaštitno uzemljenje u kliničkim sredinama i kolike su razlike potencijala dozvoljene između vodljivih dijelova? Skicirajte shemu sustava za automatsko praćenje impedancije uzemljenja.
10. Kako se na sigurnost medicinskih uređaja primjenjuje načelo opreme sigurne na prvi kvar?
11. Što su to struje curenja, gdje se pojavljuju i kakvog su im karaktera? Skicirajte kojim putem se zatvaraju struje curenja.
12. Kako se najčešće uzrokuju mikroudari na srcu?
13. Kako definiramo propise, norme i preporuke? Koja je temeljna norma za sigurnost medicinskih uređaja u Europi? Kako se ustanovljuje da je medicinski uređaj siguran?
14. Opišite načela rada elektrokirurškog noža, navedite koje su opasnosti, a koje su prednosti primijene? Skicirajte napone za pojedine primjene i blok shemu uređaja.
15. Opišite izvedbu elektrokirurškog noža s konstantnom snagom.
16. Koji su sigurnosni zahtjevi u primijeni elektrokirurškog noža?
17. Opišite model toplinskog djelovanja elektrokirurškog noža na tkivo.
18. Što je to ablacija, kada se primjenjuje i kako se modelira? Opišite ablaciju miokarda i elektrode koje se primjenjuju.
19. Opišite ultrazvučni elektrokirurški nož.
20. Opišite primjenu lasera kao elektrokirurškog noža.
21. Nabrojite koje vrste elektrostimulatora srca razlikujemo, navesti koje načine električne stimulacije razlikujemo, te nabrojati osnovne dijelove elektrostimulatora.
22. Koji su načini rada elektrostimulatora srca? Nacrtati blok shemu. Opisati razliku između unipolarne i bipolarne stimulacije.

23. Opišite vremenski dijagram sinkrone stimulacije. Što su to ispitni period i period pripravnosti? Što se će se desiti ako se pojavi spontani QRS tijekom ispitnog perioda?
24. Što je to multiprogramabilni stimulator? Na koji način se vrši programiranje parametara pacemakera?
25. Nabrojati i opisati načine pričvršćenja elektrode. Koji materijali se koriste za izradu elektroda? Kako se izvode površine elektroda? Zašto?
26. Što se događa u neposrednoj okolini elektrode u periodu nakon implantacije? Opišite elektrode s izlučivanjem steroida?
27. Što je to prag podražljivosti i o čemu ovisi? Opišite modeliranje krivulje podražljivosti elektrostimulatora. Što je ekscitacijski volumen?
28. Što su to elektrodni kateteri, kako se izvode i kolika im je pouzdanost? Koje su prednosti, a koje mane monopolarnih / bipolarnih katetera?
29. Kako se određuju parametri stimulacije? Koji je rad veličine parametara stimulacije za srčani mišić klijetke?
30. Kako je izvedeno napajanje za implantabilne stimulatore? Koliko prosječno iznose kapaciteti baterija? Kada stimulator zamjenjuje? Koji je red veličine srednje potrošnje elektrostimulatora, a koje svakog pojedinog impulsa?
31. Opišite međunarodno obilježavanje načina rada stimulatora.
32. Koji su programabilni parametri elektrostimulatora, a koje su mjereni parametri u telemetriji elektrostimulatora? Nabrojite barem pet i objasnite ih.
33. Opišite blok shemu frekvencijski adaptibilnih pacemakera. Koji se senzori koriste u frekvencijski adaptabilnim pacemakerima?
34. Što je to ventrikulska fibrilacija i kako se prekida?
35. Što je defibrilator i kako se koristi? Nacrtajte nadomjesnu i blok shemu i valni oblik izlaznog impulsa. Čemu služe releji A i B? Opišite postupak sinkronizacije.
36. Skicirajte valne oblike različitih izvedbi defibrilatora i objasnite ih. Koje su prednosti bifazičnih defibrilatora?
37. Koje izvedbe elektroda razlikujemo kod defibrilatora? Kolika je tipična snaga izlaznog stupnja defibrilatora 1, 10 ili 100 kW? Zašto je u projektiranju defibrilatora važno da izlazni impuls vrati čim prije na nultu razinu nakon naponskog šiljka? Zašto se defibrilator ne okida više puta uzastopce?
38. Što su automatski vanjski defibrilatori?
39. Što su implantabilni kardioverteri-defibrilatori, čemu služe i koja im je razlika u usporedbi sa elektrostimulatorima srca? Skicirajte kvalitativno elektrokardiogram.
40. Koje su mogućnosti terapije ICD-a? Kako se detektiraju tahikardije? Kakva je izvedba elektroda i koja je razlika u usporedbi sa elektrodama namijenjenim elektrostimulatorima srca.

## Zadaci

1. Implantabilni elektrostimulator srca daje pravokutne impulse širine 2 ms, vršne vrijednosti 5 V elektrodama implantiranim u srce kojima se vrši bipolarna elektrostimulacija. Elektrode za elektrostimulator predstavljaju radni teret od 2 kΩ. Prosječna repeticija stimulusa je 70 min<sup>-1</sup>. Stimulusi predstavljaju 25% ukupne potrošnje elektrostimulatora. Kao izvor energije u elektrostimulatoru se koriste dvije serijski spojene litijeve baterije svaka napona 2,8 V. Izračunajte ukupnu potrošnju energije elektrostimulatora tijekom 10 godina rada. Koliki je minimalni kapacitet svake od baterija da bi elektrostimulator mogao raditi 10 godina, znajući da se elektrostimulator mora zamijeniti kad preostali kapacitet baterije padne na 10%.

---

Rješenje:

$$t_i = 2ms$$

$$U_0 = 5V$$

$$R_T = 2k\Omega$$

$$r = 70 \text{ min}^{-1}$$

25 % stimulus +75% ostalo

$$U_B = 2 \times 2,8V = 5,6V$$

$$t = 10 \text{ god}$$

---

$$\text{energija po stimulusu: } E_{1s} = \frac{U_0^2}{R_T} \cdot t_i = 25 \mu J$$

$$\text{tijekom 10 godina: } E_s = N \cdot E_{1s} = r \cdot t \cdot E_{1s} = 3,6817 \cdot 10^8 \cdot 25 \mu J = 9,2 kJ$$

$$\text{ukupna potrošnja: } E_{uk10god.} = E_{stimulus} + E_{ostalo} = 4E_s = 36,8 kJ$$

kapacitet baterije:

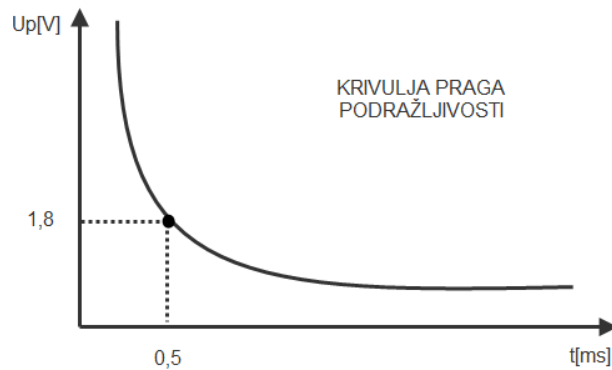
$$Q_{BAT,nazivni} = Q_{BAT,iskoristiv} + Q_{BAT,neiskoristen}$$

$$Q_{BAT,nazivni} = \frac{Q_{BAT,iskoristen}}{0,9}$$

$$Q_{BAT,iskoristen} = I \cdot t = \frac{E_{uk}}{U_B \cdot t} \cdot t = \frac{E_{uk}}{U_B} = \frac{36,8 \cdot 10^3 J}{5,6V} = 6571 As = 1,825 Ah$$

$$Q_{BAT,nazivno} = \frac{1,825 Ah}{0,9} = 2,03 Ah$$

2. Odredite minimalnu energiju koju stimulator srčanog ritma mora dati po impulsu ako je krivulja praga podražljivosti srčanog mišića izmjerena za tog pacijenta zadana krivuljom, a srce pacijenta se stimulira impulsima trajanja 0,5 ms. Otpor elektrode implantirane u srce nakon višednevne stabilizacije iznosi 200  $\Omega$ . Odrediti životni vijek baterije (1,8V / 1Ah) ako je potrošnja stimulatora (bez izlaznog stupnja) 10  $\mu$ A. U asinkronom modu stimulator radi frekvencijom 70 imp / min.



---

Rješenje:

energija po impulsu:

$$E_{izl} = \frac{U_p^2}{R} \cdot t_i = \frac{1,8^2}{200} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 8,1 \cdot 10^{-6} J / imp$$

energija koju potroši elektronika:

$$E_{el} = U_p \cdot I_{pot} \cdot T_{stim} = 1,8 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \frac{60}{70} = 15,4 \cdot 10^{-6} J / imp$$

$$E_{uk} = E_{izl} + E_{el} = 23,53 \cdot 10^{-6} J / imp$$

ukupna energija baterije:

$$E_{BAT} = Q_{BAT} \cdot U_{BAT} = 3600 As \cdot 1,8V = 6480 J$$

$$\text{broj impulsa: } N_i = \frac{E_{BAT}}{E_{uk}} = 275,4 \cdot 10^6 \text{ impulsa}$$

$$T_{BAT} = N_i \cdot T_{stim} = 275,4 \cdot 10^6 \cdot \frac{60}{70} = 7,48 \text{ god.}$$

3. Kolika je razina pouzdanosti baterije nakon 1500 sati ispravnog rada:
- ako joj je intenziteta kvara 0,15 % mjesečno?
  - ako se korištenje baterije produži na 3537 sati, kolika je razina pouzdanosti ako je intenzitet kvara isti, ali se u međuvremenu desila dva kvara.
- 

Rješenje:

a)

broj neispravnih:  $r = 0$

intenzitet kvara:  $p = 0.0015$

broj sati:  $n=1500$

gustoća vjerojatnosti kvara:

$$f(r | n, p) = P(r | n, p) = \binom{n}{r} p^r (1-p)^{n-r} \approx \frac{(pn)^r}{r!} (1-p)^{n-r}$$

$$P(r = 0 | n, p) = 0.10522$$

pouzdanost:

$$C = 1 - P(r | n, p) = 0.8947 = 89.47\%$$

b)  $R = 2$

$$C = 1 - \sum_{r=0}^{r=R} \binom{n}{r} p^r (1-p)^{n-r} \approx 1 - \sum_{r=0}^{r=R} \frac{(pn)^r}{r!} (1-p)^{n-r}$$

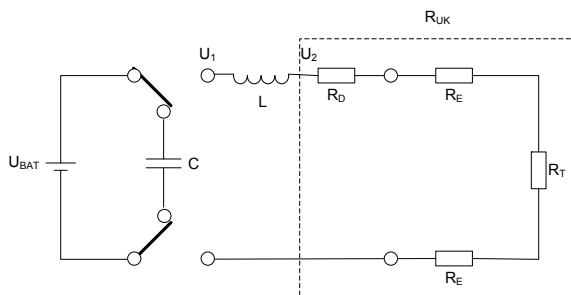
$$C \approx 90,0\%$$

Razina pouzdanosti da je intenzitet kvara doista 0.15% mjesečno

(1 kvar na 100 baterija svakih 7 mjeseci) iznosi 90%

4. Defibrilator treba predati energiju od 200 J. Na izlazu je zavojnica  $L = 100 \text{ mA}$ , kondenzator  $C = 16 \text{ } \mu\text{F}$ , a izlazni serijski otpor je  $R_D = 20 \text{ } \Omega$ . Otpor toraksa može se pretpostaviti da je iznosa  $20 \text{ } \Omega$ . Skicirajte shemu te izračunajte:
- na koliki je napon potrebno nabiti kondenzator?
  - odredite izraz za napon defibrilacije uz pretpostavku da se prilikom defibrilacije izlazni naboj potpuno isprazni, a otpor svake elektrode iznosi  $10 \text{ } \Omega$  i u drugom slučaju:
  - $70 \text{ } \Omega$

Rješenje:

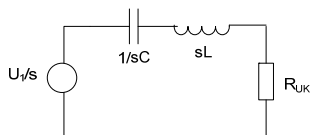


a)

$$E = \frac{C \cdot U_1^2}{2}$$

$$U_1 = \sqrt{\frac{2E}{C}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 200}{16 \cdot 10^{-6}}} = 5000 \text{ V}$$

b)



$$U_2 = \frac{R_{UK}}{R_{UK} + sL + \frac{1}{sC}} \cdot U_1 = \frac{\frac{R_{UK}}{L}}{s^2 + \frac{R_{UK}}{L}s + \frac{1}{LC}} \cdot U_1$$

$$= \frac{\frac{R_{UK}}{L}}{\left[ s^2 + \frac{R_{UK}}{L}s + \left( \frac{R_{UK}}{2L} \right)^2 \right] - \left( \frac{R_{UK}}{2L} \right)^2 + \frac{1}{LC}} \cdot U_1$$

$$= \frac{\frac{R_{UK}}{L}}{\left( s + \frac{R_{UK}}{2L} \right)^2 + \frac{1}{LC} - \left( \frac{R_{UK}}{2L} \right)^2} \cdot U_1$$

$$\frac{1}{LC} = \left(\frac{R_{UK}}{2L}\right)^2 \quad \text{kritično prigušenje}$$

$$\frac{1}{LC} > \left(\frac{R_{UK}}{2L}\right)^2 \quad \text{neprigušeno, oscilatorno}$$

$$\frac{1}{LC} < \left(\frac{R_{UK}}{2L}\right)^2 \quad \text{natkritično prigušenje}$$

b)

$$R_E = 10\Omega$$

$$R_{UK} = R_D + 2R_E + R_T = 20 + 20 + 20 = 60\Omega$$

$$\frac{1}{LC} = 625000 > \left(\frac{R_{UK}}{2L}\right)^2 = 90000$$

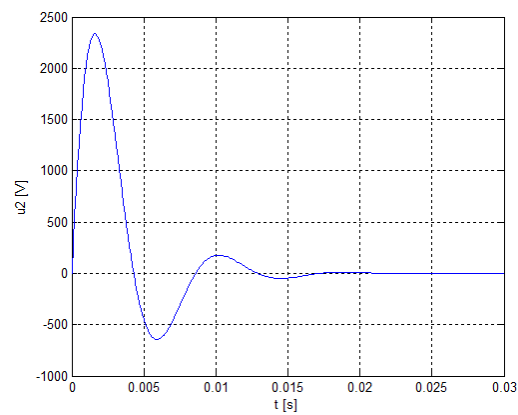
$$\alpha = \frac{R_{UK}}{2L} = \frac{60}{2 \cdot 0.1} = 300$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{0.1 \cdot 16 \cdot 10^{-6}} - 300^2} = 731.4$$

$$\kappa = \frac{U_1 \cdot R_{UK}}{L} = \frac{5000 \cdot 60}{0.1} = 3 \cdot 10^6$$

$$u_2(t) = \frac{\kappa}{\omega} e^{-\alpha t} \sin \omega t = \frac{3 \cdot 10^6}{731.4} e^{-300t} \sin 731.4t$$
$$= 4.1 \cdot 10^3 \cdot e^{-300t} \sin 731.4t$$

bifazičan valni oblik!



c)

$$R_E = 70\Omega$$

$$R_{UK} = 20 + 140 + 20 = 180\Omega$$

$$U_2 = \frac{\frac{R_{UK}}{L}}{\left[ s + \left( \frac{R_{UK}}{2L} + \sqrt{\left( \frac{R_{UK}}{2L} \right)^2 - \frac{1}{LC}} \right) \right]} \cdot \left[ s + \left( \frac{R_{UK}}{2L} - \sqrt{\left( \frac{R_{UK}}{2L} \right)^2 - \frac{1}{LC}} \right) \right] \cdot U_1$$

$$\alpha = \frac{R_{UK}}{2L} + \sqrt{\left( \frac{R_{UK}}{2L} \right)^2 - \frac{1}{LC}} = \frac{180}{0.2} + \sqrt{\left( \frac{180}{0.2} \right)^2 - \frac{1}{0.1 \cdot 16 \cdot 10^{-6}}} = 900 + 430 = 1330$$

$$\beta = 900 - 430 = 470$$

$$\kappa = \frac{R_{UK} U_1}{L} = \frac{180 \cdot 5000}{0.1} = 9 \cdot 10^6$$

$$u_2(t) = \frac{\kappa}{\beta - \alpha} (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) = \frac{9 \cdot 10^6}{470 - 1330} (e^{-1330t} - e^{-470t})$$

$$= -10.465 \cdot 10^3 (e^{-1330t} - e^{-470t})$$

monofazičan valni oblik!

