

METROLOŠKO ISPITIVANJE
BIOMEDICINSKE INSTRUMENTACIJE

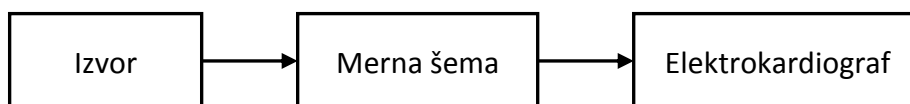
Metrološka verifikacija elektrokardiografa

Elektrokardiograf je uređaj koji se sastoji od elektronskih i mehaničkih elemenata i komponenti čiji kvalitet vremenom opada. Ovo može dovesti do nepravilnosti u radu elektrokardiografa, pa je u preventivne svrhe potrebno vršiti periodičnu verifikaciju metroloških karakteristika elektrokardiografa. Međunarodna organizacija za legalnu metrologiju (OIML) je objavila preporuku OIML R 90 (E) u kojoj su dati postupci za pomenutu verifikaciju i to za jednokanalne i višekanalne elektrokardiografe sa analognim kolima koja linearno pojačavaju i prikazuju signale.

Pomoćni uređaj za metrološku verifikaciju elektrokardiografa

U ovom potpoglavlju je prikazan uređaj koji pojednostavljuje i olakšava metrološku verifikaciju elektrokardiografa.

Uobičajeni koncept verifikacije neke metrološke karakteristike je takav da se na ulaz merne šeme, pomoću eksternog izvora, dovede električni napon određene vrednosti i oblika, dok se na izlazu priključi elektrokardiograf nad kojim se obavlja verifikacija (slika 1). Rezultati zabeleženi elektrokardiografom se potom obrađuju i upoređuju sa rezultatima koji su očekivani za datu metrološku karakteristiku.

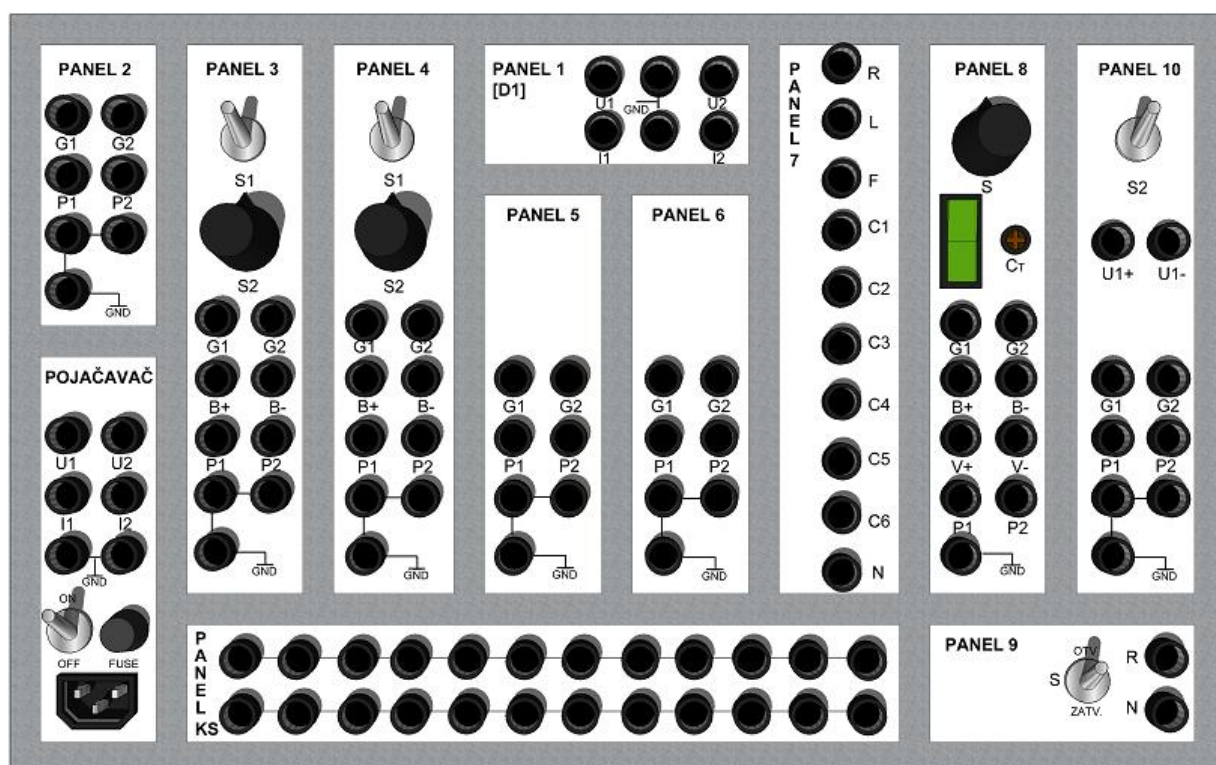


Slika 1. Koncept verifikacije.



Slika 2. Idejno rešenje pomoćnog uređaja sa integrisanim mernim šemama.

Prednja ploča uređaja je izdvojena na takozvane panele (slika 3), od kojih svaki panel predstavlja set priključaka i prekidača za po jednu mernu šemu, na kome se vrši jedna ili više verifikacija (tabela 1). U zavisnosti od vrste, elektrokardiograf može da ima do dvanaest kanala i prilikom testiranja u određenim merenjima koriste se svih dvanest kanala, dok u se u nekim testiranjima koriste samo neki kanali. U većini provera elektrokardiograma, kanali se međusobno kratko spajaju, zavisno od primenjenog postupka merenja, tako da prednja ploča sadrži i dodatni panel koji ima funkciju kratkospojnika, čime se smanjuje broj kontakata na panelima. Razmak između priključaka je standardizovan i iznosi 19 mm (od centra do centra priključka). Realizacija uređaja je prikazana na slici 4.



Slika 3. Prikaz panela prednje ploče uređaja.

| Metrološka karakteristika | Panel |
|---|-------------|
| Relativna greška postavljanja osetljivosti | 1 |
| Relativna greška brzine zapisivanja | |
| Karakteristika amplitudno-frekvencijskog odziva | |
| Histerezis zapisivanja | 2 |
| Relativna greška merenja električnog napona | 3 |
| Relativna greška merenja vremenskih intervala | |
| Relativne greške unutrašnjeg kalibratora i vremenskog markera | |
| Premeštaj | |
| Vremenska konstanta | 4 |
| Ulazna impedansa | |
| Greška zapisivanja električnog napona usled uticaja kola spajanja - za Goldberger-ove i Vilson-ove odvode - za Frank-ove odvode | 5 |
| Koeficijent preslušavanja između kanala | 6 |
| Unutrašnji nivo šuma u odnosu na ulaz | 7 |
| Faktor potiskivanja zajedničke smetnje | 8 |
| Jačina električne struje u kolu pacijenta | 9 |
| Zaštita elektrokardiografa od efekta defibrilatora | 10 |
| Širina bazne linije | Mimo panela |
| Pomeraj bazne linije | |
| Kratkospojnik | KS |
| Pojačavač $\pm 5V$ na $\pm 20 V$ | Pjačavač |

Tabela 1. Metrološke karakteristike i paneli.



Slika 4. Realizacija uređaja.

Postupak

Pregled elektrokardiografa obuhvata:

- Spoljašnji pregled
- Ispunjavanje osnovnih uslova navedenih od strane proizvođača
- Ispitivanje metroloških karakteristika prema tabeli 2.

Ispunjenost osnovnih uslova navedenih od strane proizvođača zavisi od konkretnog tipa elektrokardiografa, a način proveravanja je dat u uputstvu proizvođača.

Pregled elektrokardiografa počinje nakon perioda prethodnog zagrevanja specificiranog od strane proizvođača. Pregled mora obuhvatiti proveru postojanja i mogućnosti otklona traga zapisivanja, mogućnosti postavljanja brzine zapisivanja, da li je dostupan ugrađeni signal za kalibraciju, kao i funkcionisanje prekidača za osetljivost. Ukoliko elektrokardiograf poseduje pomoćnu memoriju za memorisanje informacija o narednom zapisivanju na istoj ili različitoj brzini, koristi se termin „vremenska baza“ umesto brzina zapisivanja. Za sva ispitivanja koja se vrše, mora se koristiti kabl koji preporučuje proizvođač.

Prilikom određivanja metroloških karakteristika elektrokardiografa svako merenje se ponavlja najmanje tri puta i svaka merna vrednost mora biti unutar dozvoljenih granica OIML-ove preporuke. Merenja se ponavljaju za svaki kanal elektrokardiografa. Ako nije drugačije naglašeno, birač odvoda ili program za izbor odvoda moraju biti postavljeni tako da se ulazni test signal električnog napona dovodi na sve kanale istovremeno. Merenja na zapisu se vrše tako što se eliminiše širina linije traga.

U slučaju elektrokardiografa za koji je proizvođač deklarirao strože uslove od onih propisanih u preporuci, ispitivanje se vrši prema uslovima datim od strane proizvođača.

Uz pomoćni uređaj, ceo postupak merenja je grupisan u nekoliko celina kojima na uređaju odgovaraju paneli od 1 do 10. Osim panela za merenje, na uređaju se nalazi i takozvani kratkospojni panel, koji u sebi ima dva čvorišta, radi lakšeg prevezivanja kablova. U nastavku će biti dato detaljno objašnjenje o svakom panelu, mernoj šemi kao i načinu povezivanja, merenjima vrednosti i daljim proračunima.



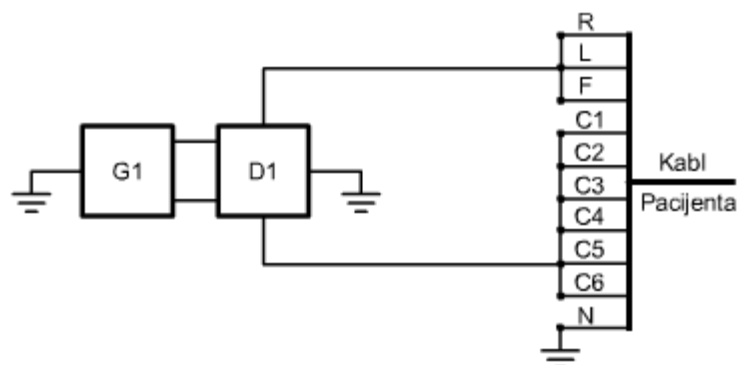
Slika 5. Povezivanje instrumenata, uređaja i elektrokardiografa

| Merni instrument | Simbol | Osnovne karakteristike |
|---|--------------|--|
| Generator električnog napona sinusoidnog oblika (*) | G1 | Opseg frekvencije: 0,01 Hz do 150 Hz Maksimalna greška frekvencije: $\pm 1\%$ Opseg efektivne vrednosti električnog napona: 50 mV do 20 V Maksimalna greška električnog napona: $\pm 2\%$ Simetrični izlaz |
| Generator električnog napona pravougaonog oblika (*) | G2 | Opseg frekvencije: 0,01 Hz do 150 Hz Maksimalna greška frekvencije: $\pm 1\%$ Opseg električnog napona: 50 mV do 5 V Maksimalna greška električnog napona: $\pm 2\%$ Simetrični izlaz |
| Delitelj električnog napona (**) | D1 | Faktor deljenja: 1000 $R2 = 100\text{ k}\Omega$; $R3 = 100\text{ }\Omega$ Maksimalna greška deljenja: $\pm 5\%$ |
| Simulator ulazne impedanse kožne elektrode (***) | Z1 | R1 i C1 u paraleli $R1 = 51\text{ k}\Omega$; maksimalna greška: $\pm 5\%$; $C1 = 47\text{ nF}$; maksimalna greška: $\pm 10\%$ |
| Izvor jednosmernog električnog napona | U1 | Električni napon: 1,5 V Maksimalna greška: $\pm 5\%$ |
| Merilo dužine | | Opseg merenja: 0 mm do 100 mm Maksimalna greška: $\pm 0,1\text{ mm}$ za dužine od 0 mm do 10 mm; $\pm 1\%$ za dužine od 10 mm do 100 mm |
| Lupa | | Uvećanje: x 5 |
| Otpornici | R4 do R12 | $R4 = 50\text{ }\Omega$; $R5 = 200\text{ }\Omega$; $R6 = 100\text{ }\Omega$; $R7 = 620\text{ }\Omega$; $R8 = 10\text{ }\Omega$; $R9 = 470\text{ }\Omega$; $R10 = 50\text{ }\Omega$; $R11 = 50\text{ }\Omega$; $R12 = 10\text{ }\Omega$; Maksimalna greška: $\pm 5\%$ |
| Kondenzatori | C2 do C5, CT | $C2 = 0,5\text{ }\mu\text{F}$; $C3 = 4,7\text{ nF}$; $C4 = 100\text{ pF}$; $C5 = 32\text{ }\mu\text{F}$; Maksimalna greška: $\pm 10\%$ CT promenljivo: 0 pF do 200 pF |
| Induktivnost | L | $L = 25\text{ mH} \pm 2,5\text{ mH}$ |
| Voltmetar za merenje naizmeničnog električnog napona | V | Opseg efektivne vrednosti električnog napona: 0 V do 20 V $R_{ul} \geq 300\text{ M}\Omega$ Maksimalna greška: $\pm 10\%$ Frekvencija: 10 Hz do 100 Hz |
| Izvor jednosmernog električnog napona | U2 | Električni napon: 5 kV Maksimalna greška: $\pm 5\%$ |
| (*) Ukoliko električni napon ili frekvencija generatora G1 ili G2 nemaju specifikacije navedene u tabeli potrebno je obezbediti voltmetar i frekvencometar čije su tačnosti specificirane za izlazni napon i frekvenciju generatora (**) Pogledati sliku 6. (***) Impedansa Z1 (impedansa kožne elektrode pacijenta) je namenjena da simulira električne karakteristike spoja elektroda-koža. | | |

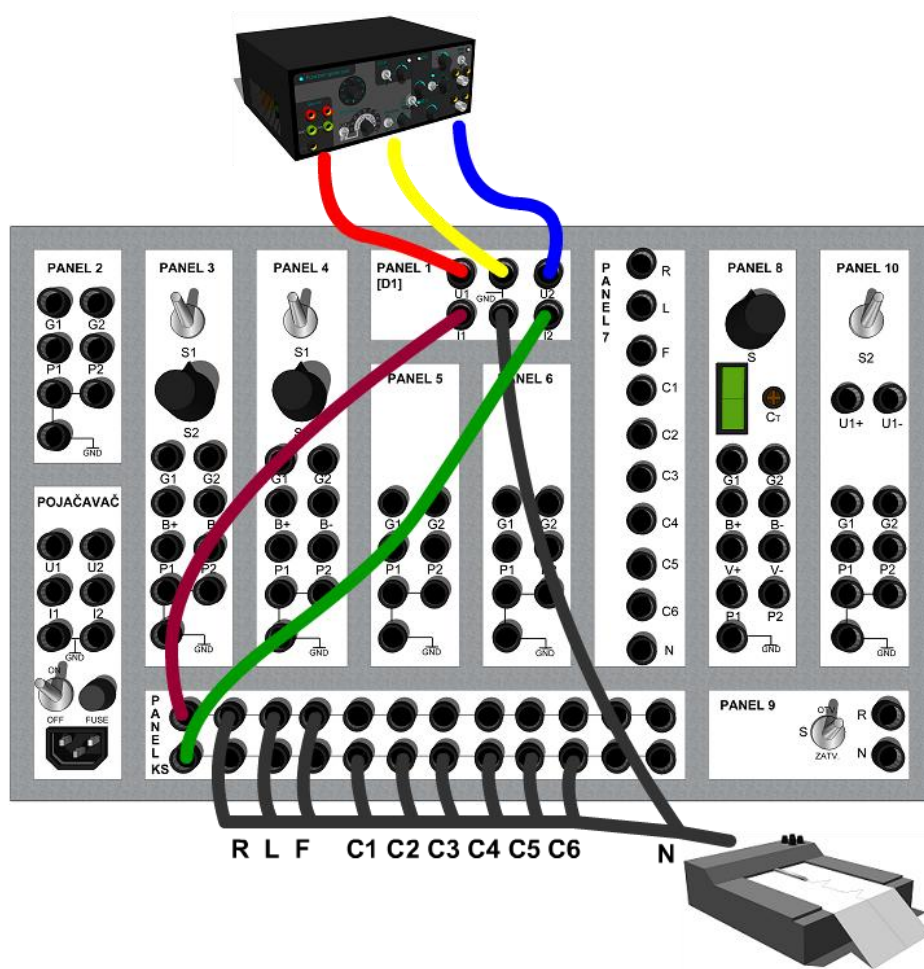
Tabela 2. Oprema za pregled elektrokardiograma

1.1. Panel 1

Pomoću panela 1, određuju se relativna greška postavljanja osetljivosti, relativna greška brzine zapisivanja i karakteristike amplitudno - frekvencijskog odziva, prema mornoj šemi prikazanoj na slici 6.



Slika 6. Merna šema za određivanje relativne greške osetljivosti, relativne greške brzine zapisivanja i karakteristike amplitudno-frekvencijskog odziva.



Slika 7. Način povezivanja – Panel 1

1.1.1. Određivanje relativne greške osetljivosti

Relativna greška osetljivosti se određuje tako što se prvo direktno mere amplitude, od vrha do vrha, električnog napona sinusoidnog oblika zapisanog na elektrokardiografu i vrednosti ulaznog električnog napona, i na osnovu toga se proračunava osetljivosti i poredi sa nazivnom vrednošću.

Postupak merenja

- Brzina i osetljivost elektrokardiografa se postavljaju na 50 mm/s i 20 mm/mV, respektivno.
- Na generatoru **G1** se podesi signal sinusnog oblika amplitude, od vrha do vrha, 1 mV i frekvencije 10 Hz.
- Birač odvoda se postavlja u položaj **V1** do **V6**.

→ Meri se amplituda od vrha do vrha zapisanog električnog napona.

Merenja se ponavljaju za od 10 mm/mV odnosno 5 mm/mV, za ulazni električni napon čija ulazna amplituda iznosi 2 mV odnosno 4 mV.

Relativna greška osetljivosti se računa prema formuli:

$$\delta_n = \frac{S_m - S_n}{S_n} \cdot 100$$

Gde su:

- $S_m = h_m / U_{ul}$ amplituda, od vrha do vrha, zapisanog električnog napona pravougaonog oblika, u mV.
 h_m amplituda, od vrha do vrha, signala zapisanog na elektrokardiografu, u mm.
 S_n nazivna vrednost postavljanja osetljivosti, u mm/mV.
 U_{ul} amplituda, od vrha do vrha, ulaznog električnog napona pravougaonog oblika, u mV.

1.1.2. Određivanje relativne greške brzine zapisivanja

Relativna greška brzine zapisivanja se određuje merenjem perioda signala zapisanog na elektrokardiografu, računanjem vrednosti brzine zapisivanja na osnovu postavljene frekvencije generatora, i poređenjem te vrednosti sa nazivnom vrednošću.

Postupak merenja

- Osetljivost se postavlja na 10 mm/mV.
- Na generatoru **G1** se podesi napon sinusnog oblika amplitude, od vrha do vrha, 1 mV i frekvencije 10 Hz.
- Birač odvoda na položaj **V1** do **V6**.

→ Merenja se uzimaju za brzine zapisivanja 25 mm/s i 50 mm/s, kao i za sve predviđene brzine navedene za dati elektrokardiograf.

Frekvencija signala električnog napona iz generatora **G1** se bira tako da linearna dimenzija perioda signala zapisanog na elektrokardiografu bude najmanje 1 mm. Zapisuje se najmanje 10 perioda za svaku brzinu zapisivanja.

Relativna greška brzine zapisivanja, u procentima, se računa prema sledećoj formuli:

$$\delta_v = \frac{V_m - V_n}{V_n} \cdot 100$$

Gde su:

- $V_m = L_m / nT_e$ - izmerena vrednost brzine zapisivanja, u mm/s
 L_m - odsečak za n perioda signala zapisanog na elektrokardiografu ($n \geq 10$), u mm
 T_e - period postavljenog ulaznog signala električnog napona sinusoidnog oblika, u s.
 V_n - nazivna vrednost brzine zapisivanja, u mm/s

1.1.3. Određivanje karakteristike amplitudno-frekvencijskog odziva

Karakteristika amplitudno-frekvencijskog odziva se određuje direktno, merenjem amplitude, od vrha do vrha, zapisanog električnog napona sinusoidnog oblika na različitim frekvencijama, dok se vrednost amplitude ulaznog električnog napona održava konstantnom.

Postupak merenja

- Osetljivost se postavlja na 10 mm/mV a brzina se postavlja na 25 mm/s za frekvencije manje od 10Hz, odnosno na 50 mm/s za sve ostale frekvencije
- Električni napon na generatoru **G1** se odabere da bude sinusnog oblika i amplitude 1 mV, od vrha do vrha.
- Birač odvoda se postavlja na položaj **V1** do **V6**.
- Vrednosti frekvencije se sukcesivno postavljaju na vrednosti: 0.5 Hz, 1.5 Hz, 5 Hz, 10 Hz, 30 Hz, 60 Hz, 75 Hz ili 100 Hz ukoliko je to specificirano od strane proizvođača.

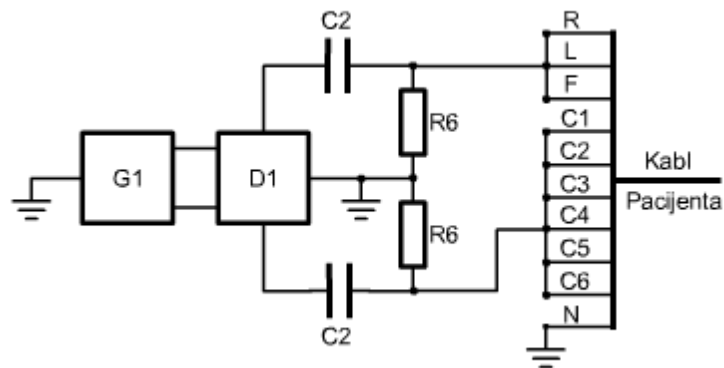
→ Meri se vrednost amplitude, od vrha do vrha, zapisanog električnog napona.

Za vrednosti od 75 Hz do 200 Hz (ili od 100 Hz do 500 Hz) se proverava da li je kriva amplitudno – frekvencijskog odziva pravilna ili bez značajnih rezonancija.

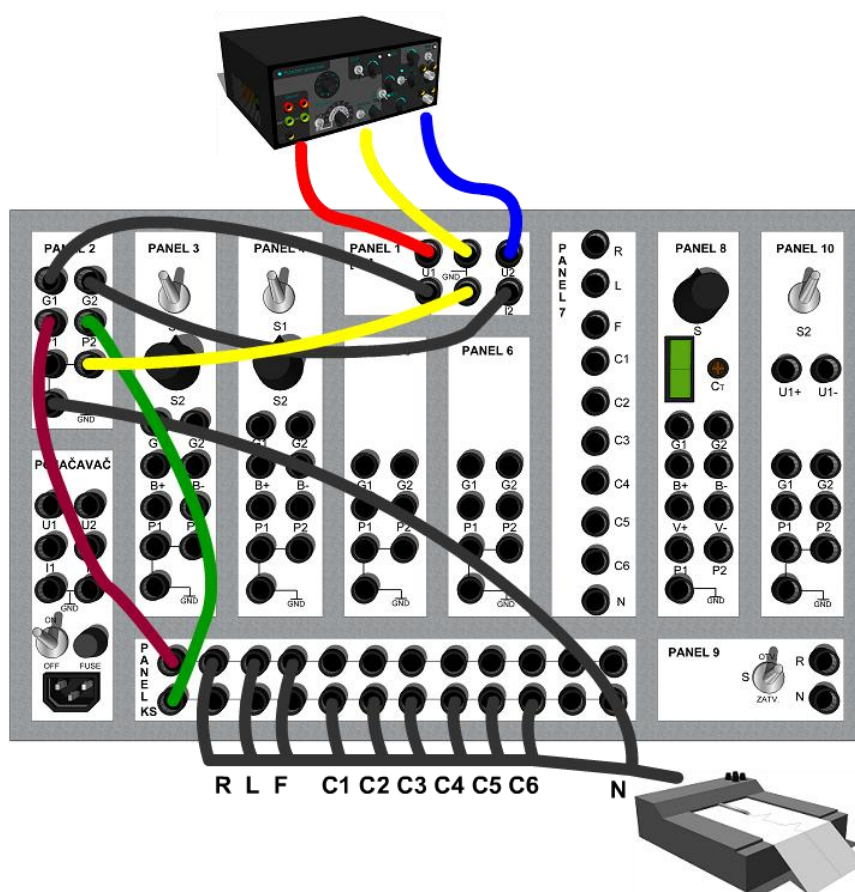
1.2. Panel 2

1.2.1. Određivanje histereza zapisivanja

Histereza zapisivanja se određuje direktno merenjem rastojanja između baznih linija dobijenih posle povratka na nulu, pozitivnog i negativnog ulaznog ispitnog signala, primenjenih jedan za drugim na ulaz elektrokardiografa.



Slika 8. Merna šema za određivanje histereza zapisivanja.



Slika 9. Način povezivanja – Panel 2

Postupak merenja

- Osetljivost elektrokardiografa se postavlja na 10 mm/mV, a brzina zapisivanja na 25 mm/s.
- Generator **G1** treba da generiše električni napon pravougaonog oblika, amplitude od vrha do vrha, 1.5 mV i frekvencije 1 Hz.
- Birač odvoda **V1** do **V6**.

Između delitelja **D1** i elektrokardiografa vezuje se kolo za diferenciranje, čija je vremenska konstanta 50 ms (odabir određenih veličina otpornika R_6 i kondenzatora C_2 , što je već odrađeno na samoj pločici).

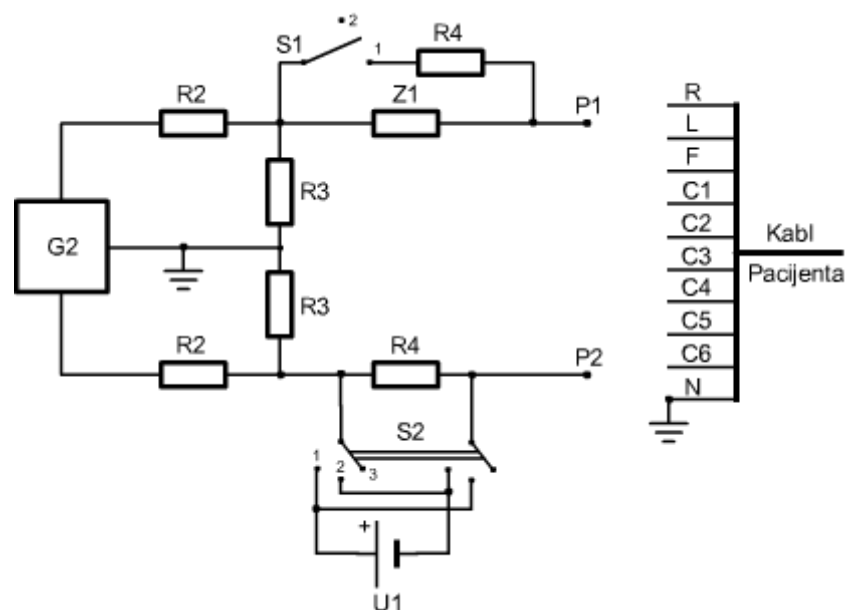
→ Meri se visina h_1 , kao što je prikazano na slici 10.



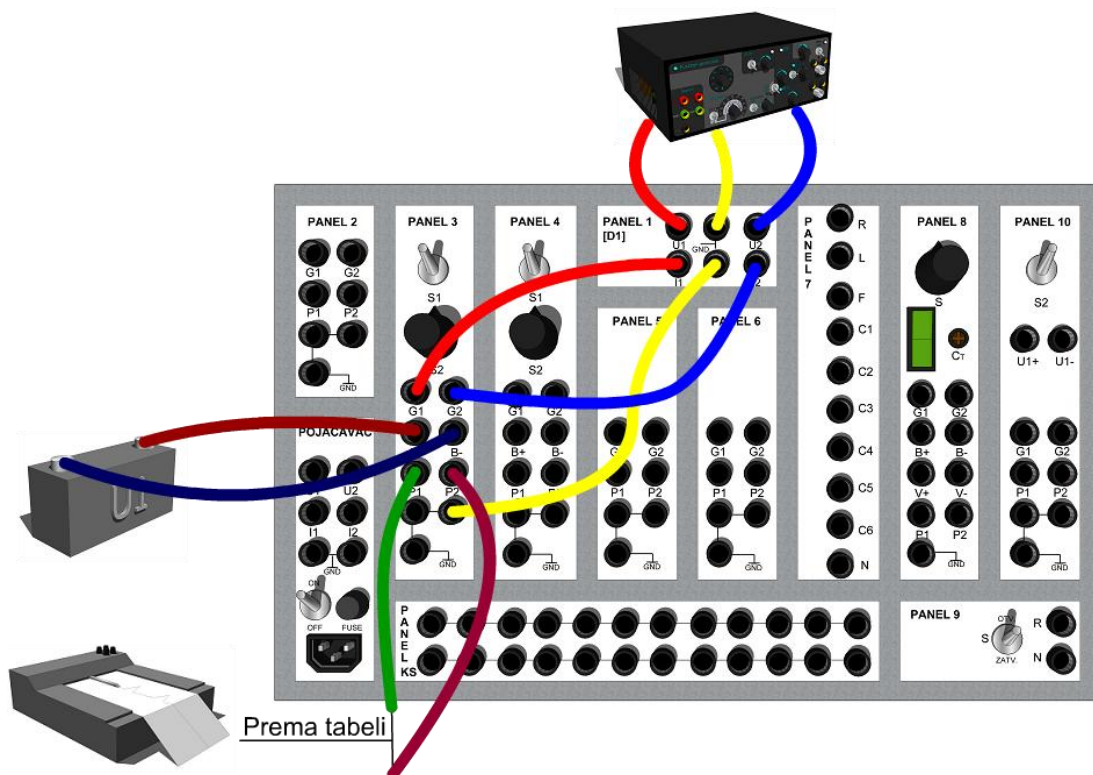
Slika 10. Određivanje histereza zapisivanja.

1.3. Panel 3

Na panelu 3, određuje se relativna greška merenja električnog napona, relativne greške merenja vremenskog intervala, relativna greška unutrašnjeg kalibratora i vremenskog markera, premeštaj i vremenske konstante.



Slika 11. Merna šema za određivanje relativne greške merenja električnog napona, relativne greške merenja vremenskog intervala, relativne greške unutrašnjeg kalibratora i vremenskog markera, premeštaja i vremenske konstante



Slika 12. Način povezivanja – Panel 3

1.3.1. Određivanje relativne greške merenja električnog napona

Na ulaz elektrokardiografa se dovodi električni napon pravougaonog oblika, čija se amplituda meri pomoću voltmetra. Ova izmerena vrednost se uzima kao tačna vrednost električnog napona.

Relativna greška merenja električnog napona se određuje direktnim merenjem amplitude zapisanog napona, i deljenjem izmerene vrednosti sa vrednošću postavljene osetljivosti. Na kraju se dobijena vrednost uporedi sa vrednošću koju prikazuje voltmetar (amplituda električnog napona dovedenog na ulaz elektrokardiografa).

Postupak merenja

- Brzina zapisivanja elektrokardiografa se postavlja na 50 mm/s.
- Birač odvoda ili program za izvor odvoda se postavlja na svaki raspoloživ položaj po redu.
- Priključci **P1** i **P2** se vezuju na kabl pacijenta kao što je specificirano u tabeli 3.

| Odvođi namenjeni za merenja | Odvođi sa nultim otklonom | Provodnik elektrode vezan na P1 | Provodnik elektrode vezan na P2 |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| I, II, aVR, aVL, aVF | III | R | svi ostali |
| I, III, aVR, aVL, aVF | II | L | |
| II, III, aVR, aVL, aVF | I | F | |
| V1 do V6 | I, II, III | C1 do C6 | |

Tabela 3. Položaj birača kanala i način vezivanja elektroda prilikom određivanja relativnih greški merenja električnog napona i faktora potiskivanja zajedničke smetnje

- Prekidač **S1** postavlja se u položaj 2, a prekidač **S2** postavlja se u položaj 3.
- Frekvencija generatora **G2** podesi se na 10 Hz, oblik signala se postavi na pravougaoni, a osetljivost i amplituda elektrokardiografa od vrha do vrha prema tabeli 4.

| Amplituda, od vrha do vrha, električnog napona na izlazu iz delitelja D1 [mV] | Postavljanje osetljivosti [mm/mV] |
|---|-----------------------------------|
| 0,4 2 4 | 5 |
| 0,2 1 2 | 10 |
| 0,1 0,5 1 | 20 |

Tabela 4. Postavljanje osetljivosti i ulaznog električnog napona za određivanje relativne greške merenja električnog napona

→ Pri ovom postupku vrši se merenje amplitude zapisanog pravougaonog signala od vrha do vrha, za svaku vrednost (navedenu u tabeli 4) ulaznog napona.

Ista serija se ponavlja za prekidač **S2** postavljen u položaj 1, a nakon toga u položaj 2 (čime se dovodi jednosmerni napon od ±300 mV radi simulacije maksimalne vrednosti polarizacije elektrode).

Relativnu grešku merenja električnog napona u procentima računamo prema sledećoj formuli:

$$\delta_u = \frac{U_m - U_{ul}}{U_{ul}} \cdot 100$$

$U_m = h_m / S_n$ amplituda, od vrha do vrha, zapisanog električnog napona pravougaonog oblika, u

| | |
|----------|--|
| | mV |
| h_m | amplituda, od vrha do vrha, signala zapisanog na elektrokardiografu, u mm |
| S_n | nazivna vrednost postavljanja osetljivosti, u mm/mV |
| U_{ul} | amplituda, od vrha do vrha, ulaznog električnog napona pravougaonog oblika, u mV |

1.3.2. Određivanje relativne greške merenja vremenskog intervala

Relativna greška merenja vremenskog intervala se određuje direktno merenjem perioda (linearna dužina) signala zapisanog na elektrokardiografu. Ova vrednost se deli sa nazivnom brzinom zapisivanja, a posle upoređuje sa recipročnom vrednošću frekvencije ulaznog signala električnog napona pravougaonog oblika.

Postupak merenja

- Prekidač **S1** se postavi u položaj 2, dok se prekidač **S2** postavi u položaj 3.
- Osetljivost se postavlja na 10 mm/mV.
- Na generatoru **G2** treba podesiti signal pravougaonog oblika, amplitude od vrha do vrha, 1 mV.
- Frekvencija koju generiše generator **G2** i brzina zapisivanja elektrokardiografa se postavljaju prema tabeli 5.
- Birač odvoda postaviti na **V1** do **V6**.

| | | |
|--------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Vremenski intarvali koji se mere [s] | 3,84 1,92 0,96 0,48 | 0,48 0,24 0,12 0,06 |
| Frekvencija generatora G2 [Hz] | 0,78 1,56 3,12 6,25 | 6,25 12,5 25 50 |
| Brzina zapisivanja [mm/s] | 25 | 50 |

Tabela 5. Frekvencije generatora G2 koje se postavljaju i vremenski intervali koji se mere

→ Mere se linearne dimenzije zapisanog signala za tri periode.

Relativna greška merenja vremenskog intervala, u procentima, računa se prema formuli:

$$\delta_{\tau} = \frac{T_m - T_{ul}}{T_{ul}} \cdot 100$$

Gde su:

- $T_m = L_m / V_n$ izmeren vremenski interval, u s
 L_m dužina mernog odsečka od 3 periode električnog napona sinusoidnog oblika, u mm
brzina zapisivanja, u mm
 V_n interval koji odgovara vremenu od 3 periode ulaznog električnog napona
 T_{ul} sinusoidnog oblika, u s

1.3.3. Određivanje relativne greške unutrašnjeg kalibratora

Relativna greška unutrašnjeg kalibratora se određuje poređenjem nazivne vrednosti električnog napona koji generiše elektrokardiograf i amplitude električnog napona koji se dovodi na ulaz elektrokardiografa, kada su oba jednake vrednosti zapisanog električnog napona.

Relativna greška vremenskog markera se određuje poređenjem nazivne vrednosti vremenskog intervala signala koji generiše elektrokardiograf i vremenskog intervala signala koji se dovodi na ulaz elektrokardiografa, kada oba daju jednake zapisane vrednosti vremenskog intervala.

Postupak merenja

- Prekidač **S1** se postavlja u položaj 1, dok se prekidač **S2** postavi u položaj 2.
- Birač se postavi u položaj koji omogućava zapisivanje signala unutrašnjeg kalibratora, vrednosti 1 mV.
- Osetljivost elektrokardiografa se postavlja na 10mm/mV, dok se brzina zapisivanja postavlja na 50 mm/s.

→ Zapisuju se signali unutrašnjeg kalibratora i vremenskog markera.

- Potom se birač odvoda postavi u položaj **V1** do **V6**.
- Na generatoru **G2** se postavi napon pravougaonog oblika, amplitude od vrha do vrha od 1mV i trajanja 1s.

→ Amplituda i period dovedenog električnog napona se postavljaju tako da linearne dimenzije zapisanih signala iz generatora **G2**, budu jednake linearnim dimenzijama zapisanih signala na ulazu iz unutrašnjeg kalibratora, po amplitudi i periodu.

Relativna greška za unutrašnjeg kalibratora, u procentima se računa prema formuli:

$$\delta_{u_c} = \frac{U_{cm} - U_{cn}}{U_{cn}} \cdot 100$$

Gde su:

- U_{cm} izmerena vrednost električnog napona unutrašnjeg kalibratora, u mV
 U_{cn} nazivna vrednost električnog napona unutrašnjeg kalibratora, u mV

Relativna greška vremenskog markera se računa prema formuli:

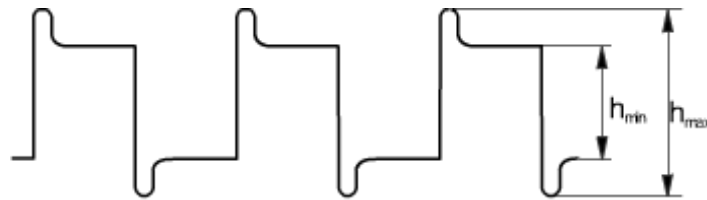
$$\delta_{T_c} = \frac{T_{cm} - T_{cn}}{T_{cn}} \cdot 100$$

Gde su:

- T_{cm} izmerena vrednost vremenskog intervala vremenskog markera, u s.
 T_{cn} nazivna vrednost vremenskog intervala vremenskog markera, u s.

1.3.4. Određivanje premašaja

Premašaj se određuje direktno merenjem amplitude, od vrha do vrha, zapisanog napona pravougaonog oblika (slika 13).



Slika 13. Određivanje premašaja.

Postupak merenja

- Prekidači **S1** i **S2** se postavljaju u položaj 1 i 3, respektivno.
- Osetljivost se postavlja na 10 mm/mV a brzina zapisivanja na 50 mm/s.
- Na generatoru **G2** se odabere signal pravougaonog oblika, amplitude od vrha do vrha od 1mV i frekvencije 10Hz.
- Birač odvoda od **V1** do **V6**.

Premašaj u procentima se računa prema formuli:

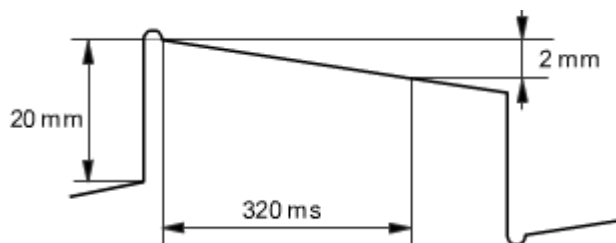
$$\delta_p = \frac{h_{max} - h_{min}}{2h_{min}} \cdot 100$$

Gde su:

- h_{max} i h_{min} izmerene vrednosti maksimalne odnosno minimalne amplitude, od vrha do vrha, svakog ciklusa signala, zapisanog na elektrokardiografu, u mm.

1.3.5. Određivanje vremenske konstante

Vremenska konstanta se određuje direktno, merenjem dimenzija linearnog opadanja zapisanog signala električnog napona pravougaonog oblika, nakon premašaja. Način uzimanja rezultata merenja za određivanje vremenske konstante je prikazan na slici 14.



Slika 14. Određivanje vremenske konstante.

Postupak merenja

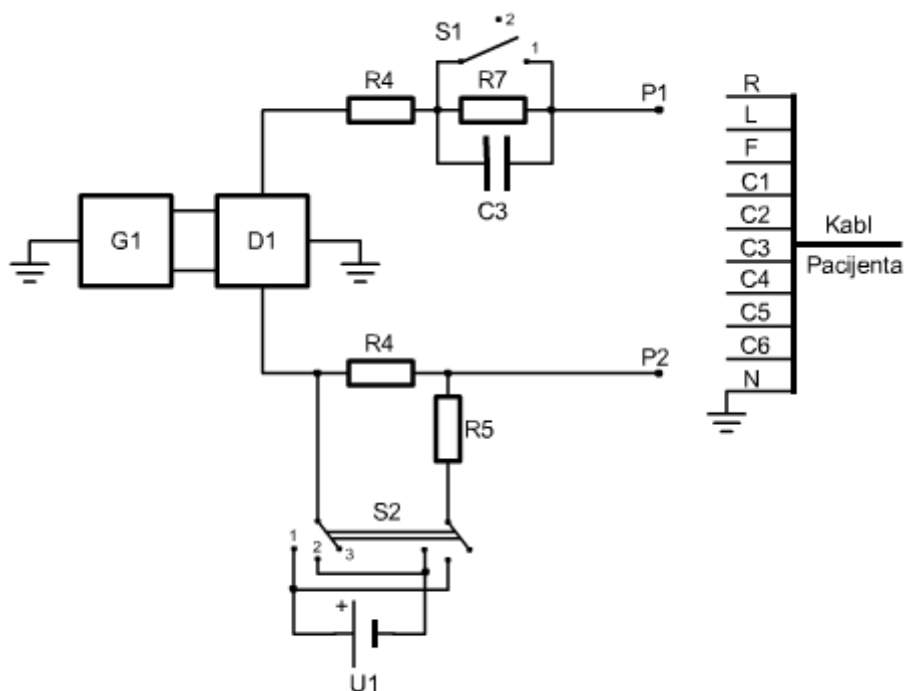
- Prekidači **S1** i **S2** se postavljaju u položaj 1 i 3, respektivno.
- Birač odvoda od **V1** do **V6**.
- Osetljivost elektrokardiografa se postavlja na 10 mm/mV a brzina zapisivanja na 50 mm/s.
- Na generatoru **G2** se odabere signal pravougaonog oblika, amplitude od vrha do vrha od 2 mV i frekvencije 1.25 Hz.

→ Meri se opadanje vrednosti zapisanog signala za period od 320 ms, počev od kraja premašaja.

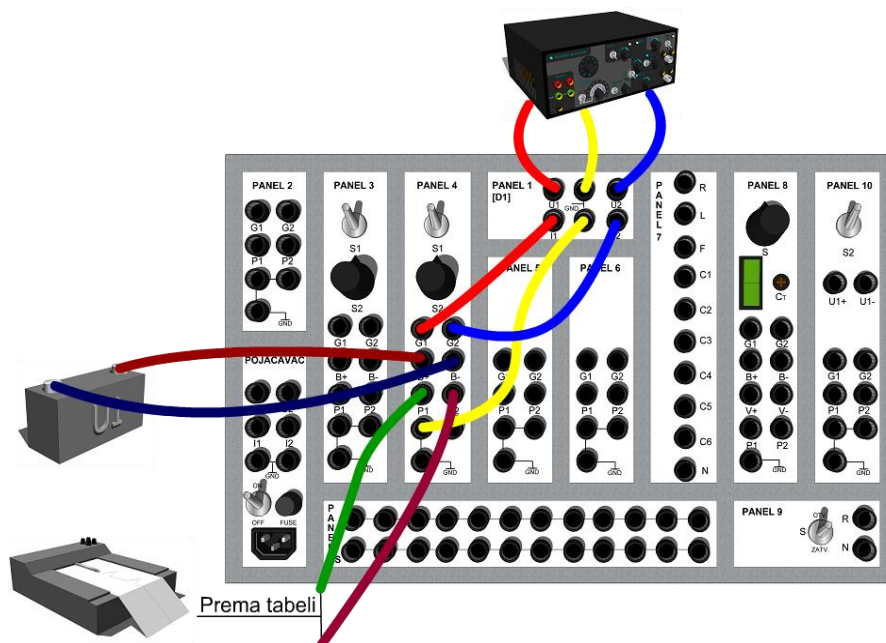
1.4. Panel 4

1.4.1. Određivanje ulazne impedanse

Ulazna impedansa se određuje poređenjem vrednosti amplituda, od vrha do vrha, zapisanog električnog napona sinusoidnog oblika, sa i bez konstantne impedanse, redno vezane na ulaz elektrokardiografa.



Slika 15. Merna šema za određivanje ulazne impedanse



Slika 16. Način povezivanja – Panel 4

Postupak merenja

- Osetljivost se postavlja na 5 mm/mV a brzina zapisivanja na 25 mm/s.
- Na generatoru **G1** se podesi da signal bude sinusnog oblika amplitude, od vrha do vrha, 2 mV i frekvencije 0.5 Hz, 10 Hz, 75Hz (100 Hz), redom.
- Prekidači **S1** i **S2** se postavljaju u položaj 1 i 3, respektivno.
- Dužina traga zapisanog signala mora biti najmanje 25 mm.

→ Meri se amplituda, od vrha do vrha, zapisanog signala. Merenja se ponavljaju sa prekidačem **S1** u položaju 2. Uzimaju se rezultati merenja za sve kombinacije vezivanja priključaka **P1** i **P2**, kao i odgovarajuće položaje birača odvoda, navedene u tabeli 6.

Merenja se ponavljaju za slučaj kada je priključen jednosmerni napon od ± 300 mV, sa prekidačem **S2** u položaju 1 i 2 po redu.

| Položaj birača odvoda | Provodnik elektrode vezan na P1 | Provodnik elektrode vezan na P2 |
|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| I | L | R i svi ostali |
| II | F | R i svi ostali |
| III | F | L i svi ostali |
| aVR | R | L, F i svi ostali |
| aVL | L | R, F i svi ostali |
| aVF | F | L, R i svi ostali |
| V | C | L, R, F i svi ostali |
| V_i ($i = 1,2,...,6$) | C_i ($i = 1,2,...,6$) | L, R, F i svi ostali |
| x, y, z | A, C, F, M | I, E, H i svi ostali |

Tabela 6. Položaj birača kanala i vezivanje elektroda prilikom određivanja ulazne impedanse.

Ulazna impedansa se računa iz formule:

$$Z_{ul} = Z_2 \frac{h_2}{h_2 - h_1} \cdot 100$$

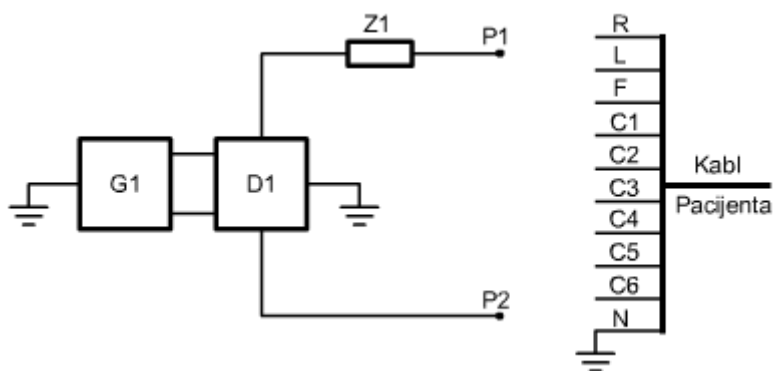
Gde su:

- h_1 izmerena vrednost amplitude, od vrha do vrha, zapisana sa preklopnikom S1 u položaju 1, u mm.
- h_2 izmerena vrednost amplitude, od vrha do vrha, zapisana sa preklopnikom S1 u položaju 2, u mm.
- Z_2 , R_7 i C_3 vezani u paraleli, što predstavlja vrednost impedanse koja je vezana redno sa ulazom elektrokardiografa, u $M\Omega$.

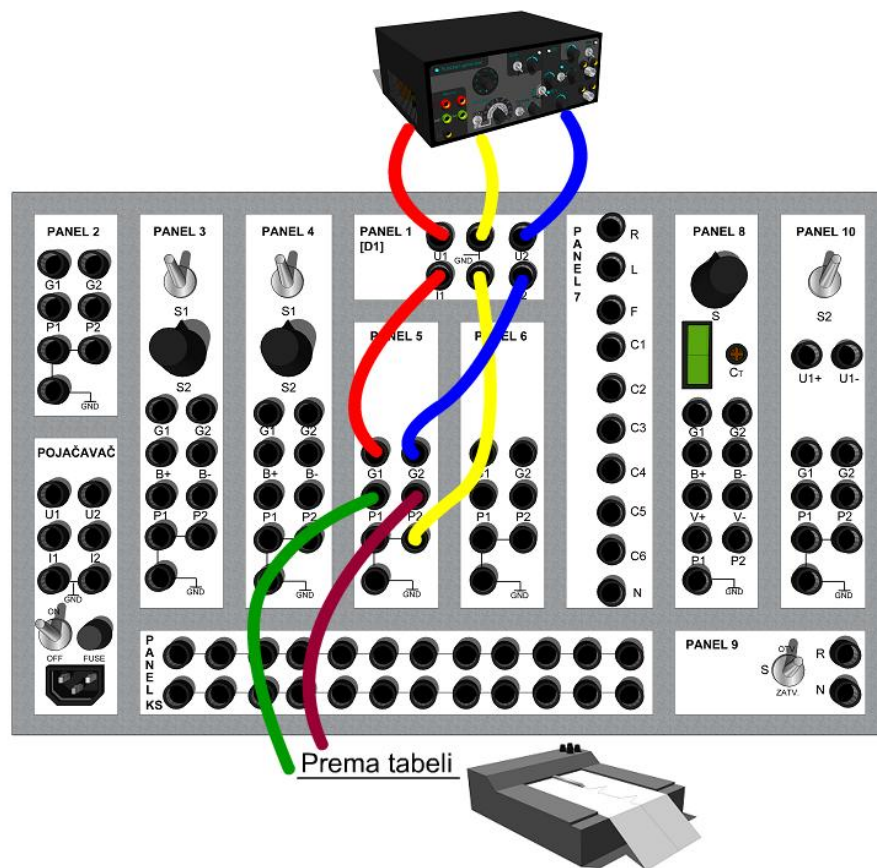
1.5. Panel 5

1.5.1. Greška zapisivanja električnog napona usled uticaja kola spajanja

Greška zapisivanja električnog napona usled uticaja kola spajanja (opterećivanja) se određuje direktnim merenjem vrednosti amplitude, od vrha do vrha, zapisanog signala električnog napona sinusoidnog oblika.



Slika 17. Merna šema za određivanje greške zapisivanja električnog napona usled uticaja kola spajanja.



Slika 18. Način povezivanja – Panel 5

Postupak merenja

- Osetljivost elektrokardiografa se postavlja na 10 mm/mV a brzina zapisivanja na 50 mm/s.
- Ulazi elektrokardiografa se sukcesivno priključuju na priključke **P1** i **P2** za svaku konfiguraciju navedenu u tabelama 7 i 8.
- Svi ostali ulazi se vezuju na neutralnu elektrodu.
- Kontrola bazne linije se podešava tako da signal električnog napona bude zapisivan u središnjem delu kanala za zapisivanje.
- Generator **G1** se podesi da signal bude sinusnog oblika, od vrha do vrha, sa vrednostima navedenim u tabelama 7 i 8 i frekvencije 10 Hz.

→ Meri se amplituda od vrha do vrha, signala zapisanog na elektrokardiografu.

| Položaj birača odvoda | Uslov testa | U_{ul} [mV] | P1 | P2 |
|-----------------------|-------------|---------------|----|------|
| aVR | normalan | 2 | R | L, F |
| aVR | modifikovan | 4 | L | R, F |
| aVL | normalan | 2 | L | F, R |
| aVL | modifikovan | 4 | F | R, L |
| aVF | normalan | 2 | F | L, R |
| aVF | modifikovan | 4 | F | L, F |

| | | | | |
|---|-------------|---|----|----------|
| V1 | normalan | 2 | C1 | L, R, F |
| V2 | modifikovan | 6 | L | C1, R, F |
| V3 | normalan | 2 | C2 | L, R, F |
| V4 | modifikovan | 6 | R | C2, L, F |
| V5 | normalan | 2 | C3 | L, R, F |
| V6 | modifikovan | 6 | F | C3, L, R |
| * Simboli iz ove tabele su objašnjeni u Tabeli 5. | | | | |

Tabela 7. Položaj birača kanala i vezivanja elektroda prilikom određivanja greške zapisivanja električnog napona usled uticaja kola spajanja za Goldbergerove i Vilsonove odvode

Gde su:

- U_{ul} ulazni električni napon od vrha do vrha
P1 merna elektroda (pozitivan kraj)
P2 ostale elektrode (negativan kraj).

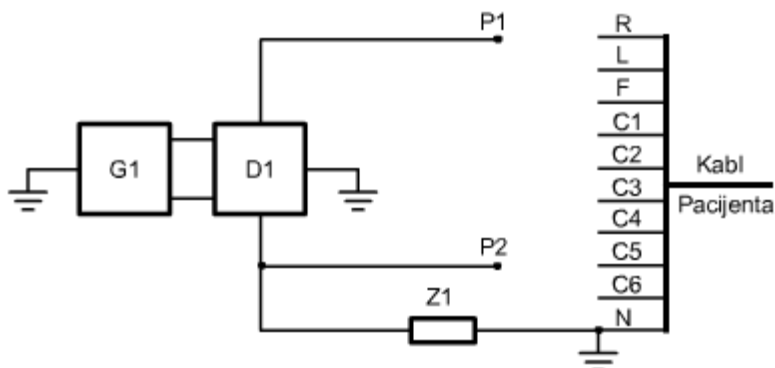
| Položaj birača odvoda | U_{ul} [mV] | P1 | P2 |
|---|---------------|------------|------------------|
| Vx, Vy, Vz | 2 | A, C, F, M | I, E |
| Vx, Vy, Vz | 4 | A | I, E, C, M, N, F |
| Vx, Vy, Vz | 10 | C | I, E, A, M, N, F |
| Vx, Vy, Vz | 6 | E | I, C, A, M, N, F |
| Vx, Vy, Vz | 4 | A, F | I, E, C, M, H |
| Vx, Vy, Vz | 3 | I | E, C, A, M, H, F |
| Vx, Vy, Vz | 3 | M | I, E, C, A, H, F |
| Vx, Vy, Vz | 2 | H | I, E, C, A, M, F |
| * Simboli iz ove tabele su objašnjeni u Tabeli 5. | | | |

Tabela 8. Položaj birača kanala i vezivanja elektroda prilikom određivanja greške zapisivanja električnog napona usled uticaja kola spajanja za Frankove odvode

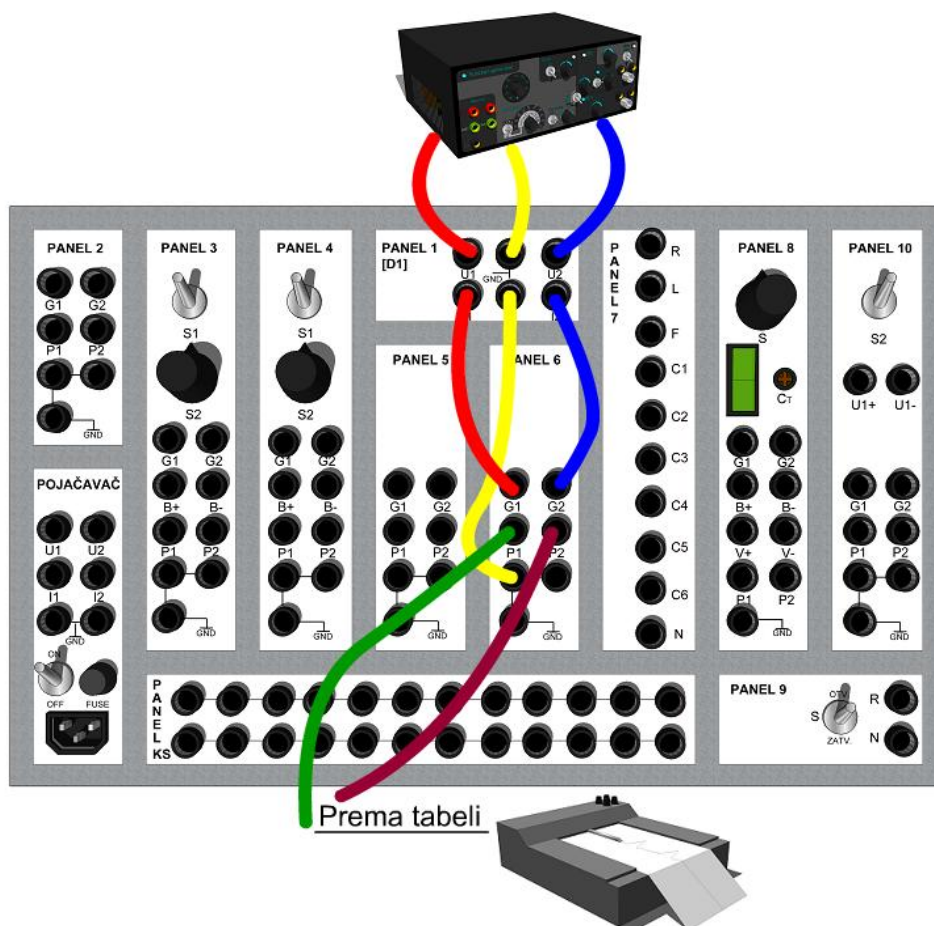
1.6. Panel 6

1.6.1. Određivanje koeficijenta preslušavanja između kanala

Koeficijent preslušavanja između kanala se određuje poređenjem vrednosti amplituda, od vrha do vrha, signala zapisanih na kanalima koji se ispituju i vrednosti amplituda, od vrha do vrha, signala zapisanih na svim ostalim kanalima.



Slika 19. Merna šema za određivanje koeficijenta preslušavanja između kanala.



Slika 20. Način povezivanja – Panel 6

Postupak merenja

- Osetljivost se postavlja na 10 mm/mV, a brzina zapisivanja na 25 mm/s.
- Signal generatora **G1** se postavlja na sinusni oblik amplitude, od vrha do vrha, 4 mV i frekvencije 1 Hz i 40 Hz.

→ Mere se linearne dimenzije zapisanih signala na kanalima koji se ispituju. Ceo postupak merenja se ponavlja za sve kanale po redu kao što je navedeno u tabeli 9.

Formula za koeficijent preslušavanja između kanala je data izrazom:

$$W_i = \frac{h_i}{U_{ul} \cdot S_n} \cdot 100$$

Gde su:

- i = 1, 2, ... m broj kanala koji se ispituje
m ukupan broj kanala
h_i izmerena vrednost zapisane amplitude, od vrha do vrha, signala indukovnog na kanalu koji se ispituje, u mm
U_{ul} vrednost amplitude, od vrha do vrha, električnog napona dovedenog na sve ostale kanale, u mV
S_n nazivna vrednost osetljivosti, u mm/mV

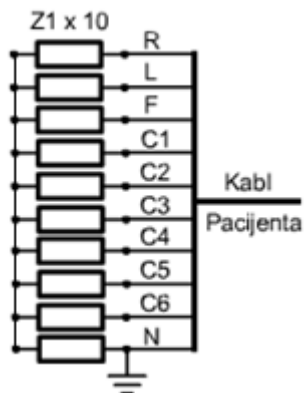
| Položaj birača odvoda | Provodnik elektrode vezan na P1 | Provodnik elektrode vezan na P2 |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| I | F, C1 | R, L, C2, C3, C4, C5, C6 |
| II | L, C1 | R, F, C2, C3, C4, C5, C6 |
| III | R, C1 | L, F, C2, C3, C4, C5, C6 |
| V2, V3, V4, V5, V6 | C1 | R, L, F, C2, C3, C4, C5, C6 |
| V1, V2, V3, V4, V5 | C6 | R, L, F, C1, C2, C3, C4, C5 |
| V _x , V _y | E | svi ostali |

Tabela 9. Položaj birača kanala i vezivanja elektroda prilikom određivanja koeficijenta preslušavanja između kanala.

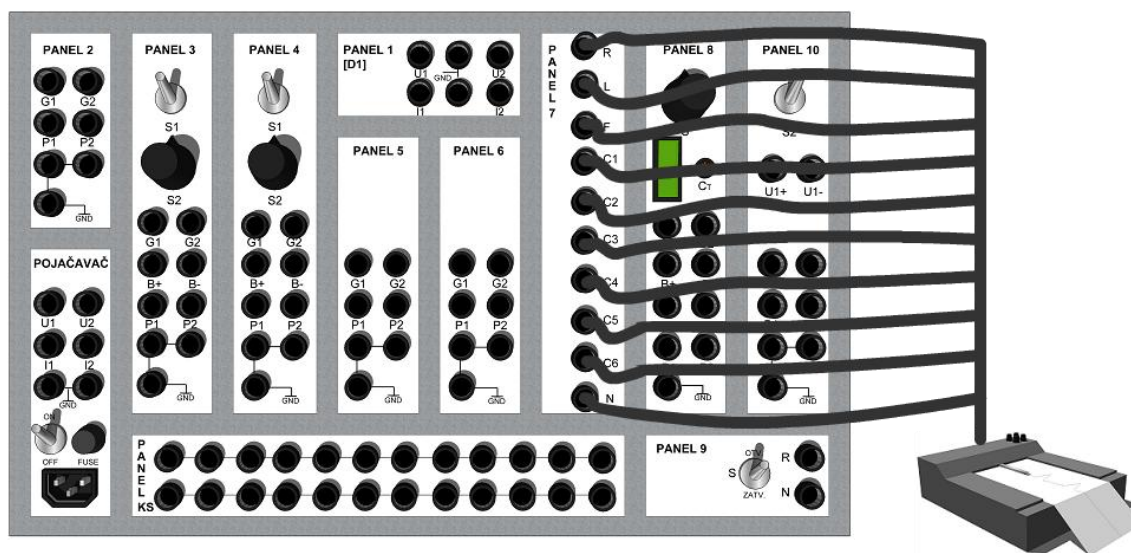
1.7. Panel 7

1.7.1. Određivanje unutrašnjeg nivoa šuma u odnosu na ulaz

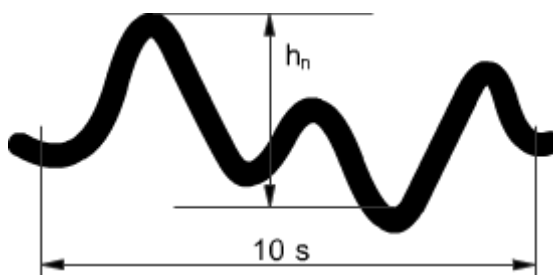
Unutrašnji nivo šuma u odnosu na ulaz se određuje direktno merenjem maksimalne amplitude, od vrha do vrha, signala zapisanog na elektrokardiografu za vreme od 10 s i daljenjem sa vrednošću postavljene osetljivosti (slika 21).



Slika 21. Merna šema za određivanje unutrašnjeg nivoa šuma u odnosu na ulaz.



Slika 22. Način povezivanja – Panel 7



Slika 23. Određivanje unutrašnjeg nivoa šuma u odnosu na ulaz

Postupak merenja

- Osetljivost se postavi na 20 mm/mV a brzina zapisivanja na 50 mm/s.
- Za svaki položaj birača odvoda, zapisuje se trag periode od 10 s.

→ Mere se linearne dimenzije maksimalne vrednosti amplitude, od vrha do vrha, za svaki zapis.

Unutrašnji nivo šuma u odnosu na ulaz se računa prema formuli:

$$U_s = \frac{h_s}{S_n} \cdot 10^3$$

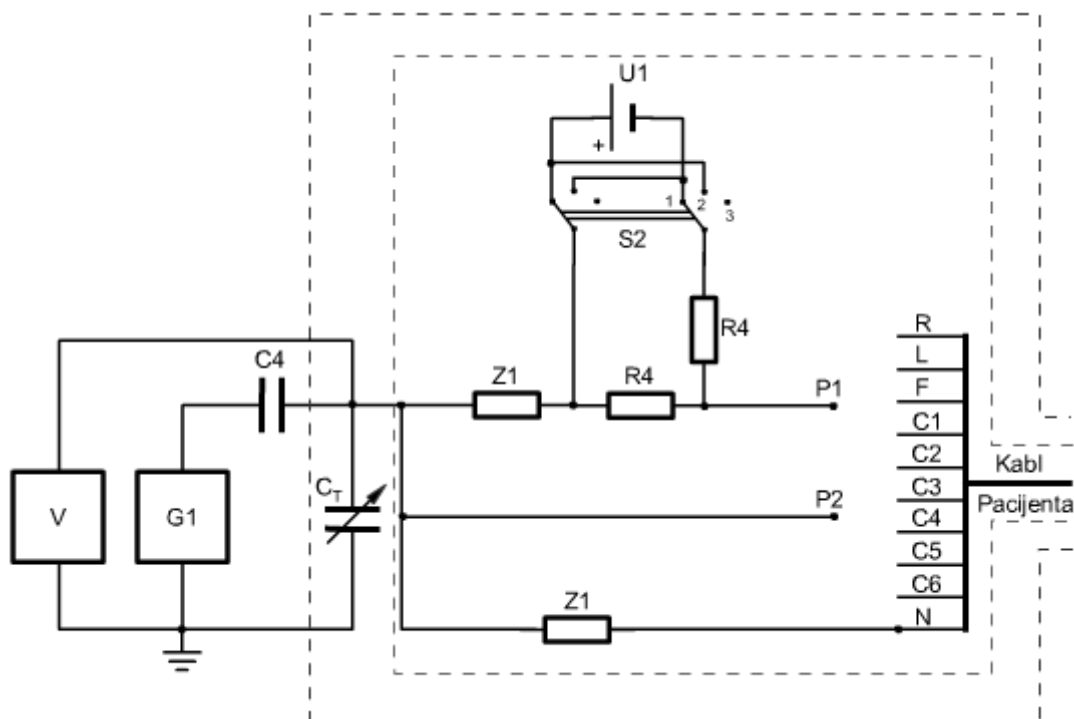
Gde su:

h_s izmerena maksimalna vrednost zapisane amplitude šuma, od vrha do vrha, u mm;
nazivna vrednost osetljivosti, u mm/mV.
 S_n

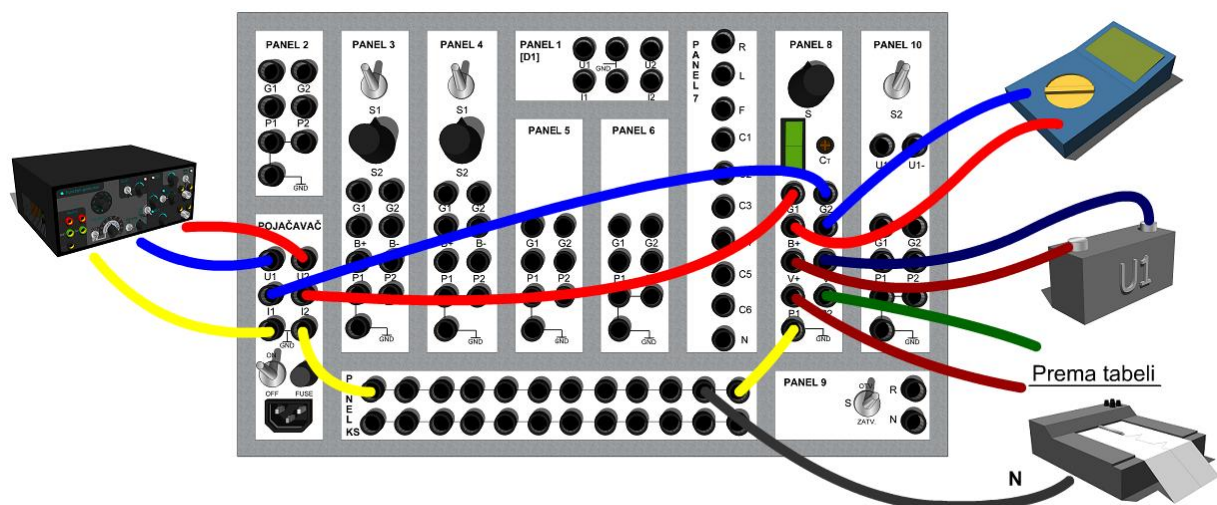
1.8. Panel 8

1.8.1. Određivanje faktora potiskivanja zajedničke smetnje

Faktor potiskivanja zajedničke smetnje se određuje indirektno merenjem amplitude, od vrha do vrha, signala električnog napona zapisanog pomoću elektrokardiografa, kad se električni napon sinusoidnog oblika, frekvencije 50 Hz dovede paralelno između ulaza i uzemljenja.



Slika 24. Merna šema za određivanje faktora potiskivanja zajedničke smetnje.



Slika 25. Način povezivanja – Panel 8

Postupak merenja

- Osetljivost se postavlja na 10 mm/mV, dok se brzina zapisivanja postavlja na 25 mm/s.
- Na generatoru **G1** se podesi da bude napon efektivne vrednosti od 20 V i frekvencije 50 Hz.
- Kondenzator C_T se podešava tako da efektivna vrednost električnog napona između tačke A i uzemljenja bude 10V, pri čemu kabl pacijenta još nije vezan ne merno kolo. Vrednost C_T se podešava kao na slici 26.

→ Nakon vezivanja kabla pacijenta na merno kolo, mere se amplitude zapisanog signala za sve odvode koji su navedeni u tabeli 5.

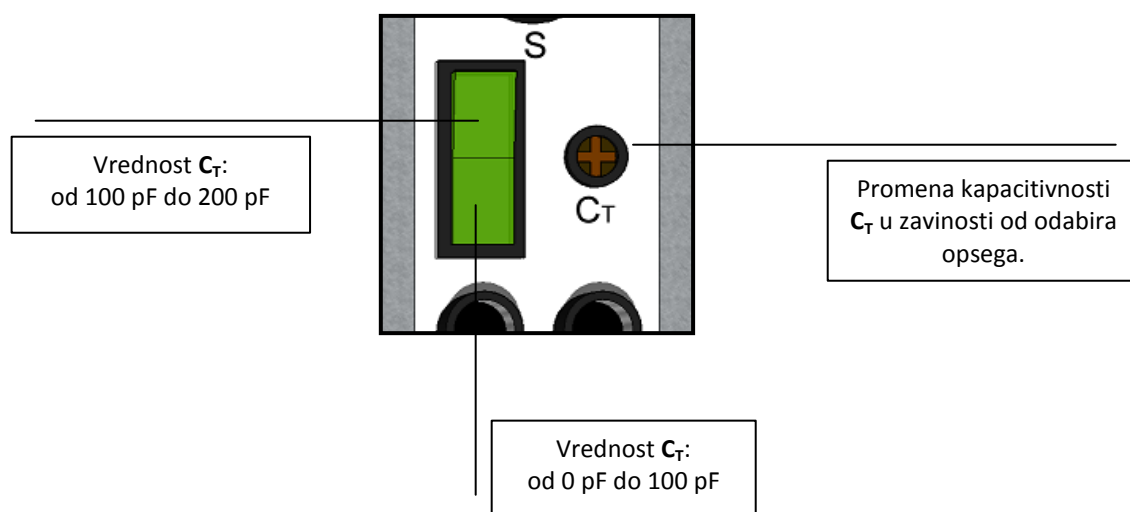
Merenja se ponavljaju sa preklopnikom S postavljenim u položaj 1 i 2 po redu (čime se u kolo uključuje jednosmerni električni napon od ± 300 mV).

Faktor potiskivanja zajedničke smetnje se računa prema formuli:

$$K = \frac{U_A}{h} \cdot S_n \cdot 10^3$$

Gde su:

- H izmerena vrednost amplitude zapisanog signala, u mm.
S_n nazivna vrednost osetljivosti, u mm/mV.
U_A izmerena vrednost amplitude, od vrha do vrha, ulaznog napona u tački A, u V.

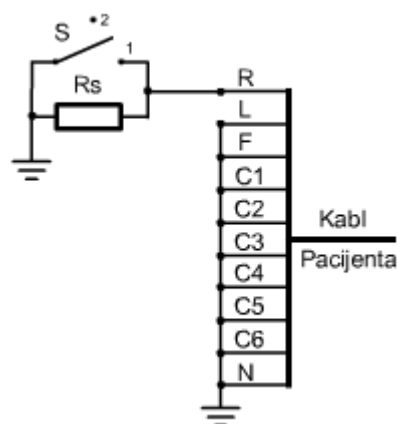


Slika 26. Podešavanje kondenzatora C_T

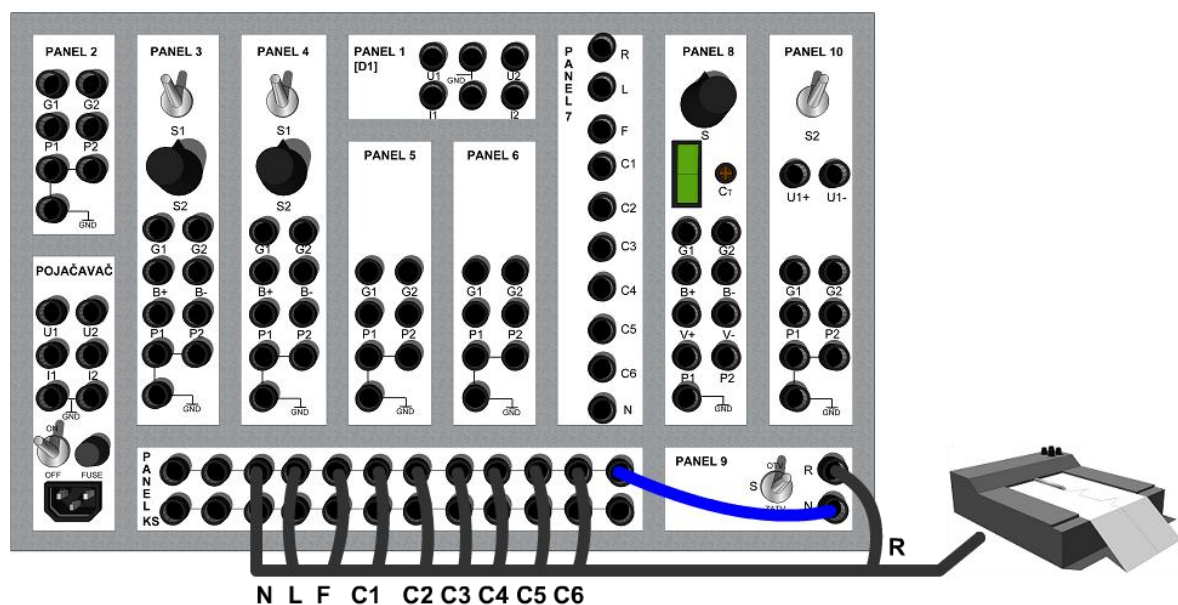
1.9. Panel 9

1.9.1. Određivanje jačine električne struje u kolu pacijenta

Jačina električne struje u kolu pacijenta se određuje indirektno, merenjem vrednosti električnog napona zapisanog pomoću elektrokardiografa na čiji ulaz je redno vezana električna otpornost.



Slika 27. Merna šema za određivanje jačine električne struje u kolu pacijenta.



Slika 28. Način povezivanja – Panel 9

Postupak merenja

- Osetljivost se postavlja na 10 mm/mV, a brzina zapisivanja na 25 mm/s.

→ Najpre se zapisuje bazna linija a potom se otvori prekidač S i izmeri odstupanje. Merenja se ponavljaju za sve položaje birača kanala.

Jačina električne struje u kolu pacijenta se računa iz sledeće formule:

$$I = \frac{h}{S_n \cdot R}$$

Gde su:

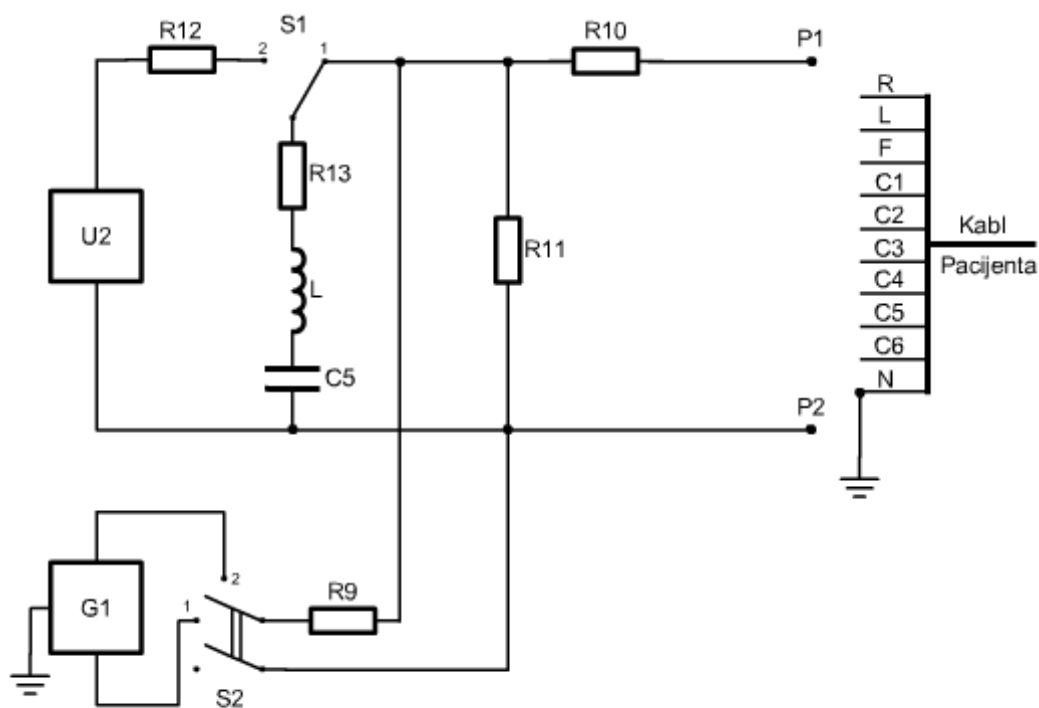
- h vrednost zapisanog odstupanja (koraka), u mm
- S_n nazivna vrednost osetljivosti, u mm/mV
- R vrednost vezane električne otpornosti, u k Ω .

1.10. Panel 10

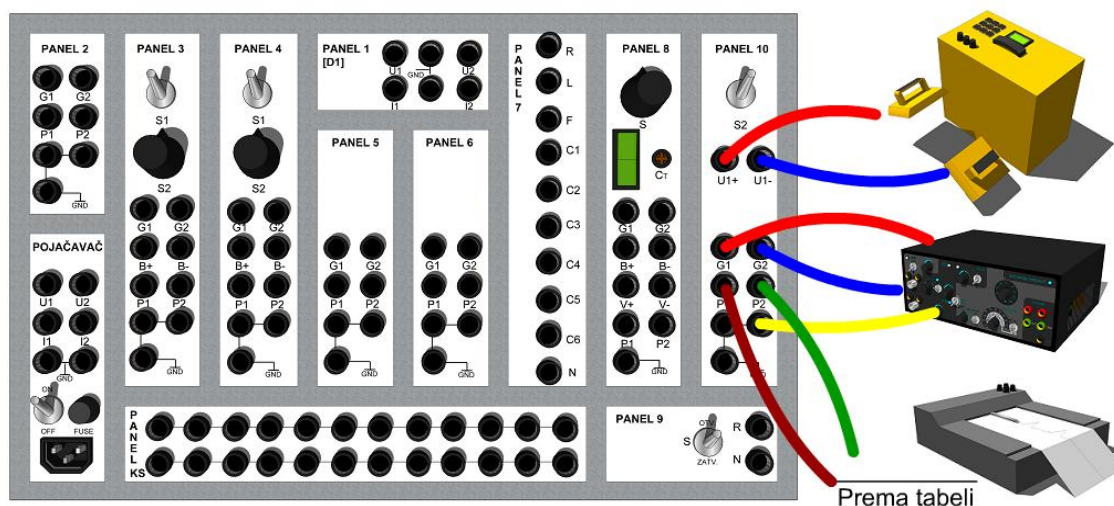
1.10.1. Ispitivanje zaštite elektrokardiografa od efekta defibrilacije

Za ispitivanje zaštite elektrokardiografa od efekta defibrilacije pacijenta, odvodi elektroda se vezuju na **P1** i **P2** saglasno tabeli 11.

Merna šema za ispitivanje zaštite elektrokardiografa od efekta defibrilacije je data na slici 29.



Slika 29. Merna šema za ispitivanje zaštite elektrokardiografa od efekta defibrilacije.



Slika 30. Način povezivanja – Panel 10

Ovde treba napomenuti, da se umesto elemenata **U2**, **R13**, **L**, **C5** koji modeluju defibrilator, koristi stvarni defibrilator koji se dovodi na pločicu, kako je to prikazano na slici 30.

Postupak merenja

- Osetljivost se postavlja na 10 mm/mV, a brzina zapisivanja na 25 mm/s.
- Prekidač **S1** se inicijalno postavlja u položaj 1 sa izvorom **U2** isključenim, a prekidač **S2** u položaj 2.
- Na generatoru **G1** se podesi da električni napon bude sinusnog oblika, frekvencije 10 Hz amplitude, od vrha do vrha, 1 mV.
- Potom se prekidač **S2** postavlja u položaj 1, a prekidač **S1** u položaj 2.
- Nakon toga se prekidač **S1** postavlja u položaj 1 za vreme od (200 ± 100) ms.

→ Nakon 15 s prekidač **S2** se postavlja u položaj 2 i signal iz generatora **G1** ponovo zapisuje na elektrokardiografu.

Postupak se ponavlja sa promenjenim polaritetom jednosmernog napona **U2**.

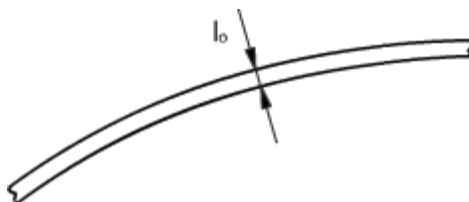
Elementi kola **R₁₂**, **R₁₃**, **L**, **C₅** i **U₂** se mogu zameniti u ovom ispitivanju defibrilatorom, čiji je napon 5000 V, sa maksimalnom greškom $\pm 5\%$. Prolikom ovog ispitivanja se moraju poštovati pravila sigurnosti saglasno odgovarajućoj IEC Publikaciji 601: „Posebni zahtevi za sigurnost defibrilatora srca i defibrilatora-monitora srca“.

1.11. Ostala merenja – merenja na elektrokardiografu

Sledeća merenja se obavljaju direktno na elektrokardiografu, a ne na uređaju.

1.11.1. Određivanje širine bazne linije

Širina bazne linije se određuje direktno merenjem širine normalno na trag (slika 31)



Slika 31. Određivanje širine bazne linije

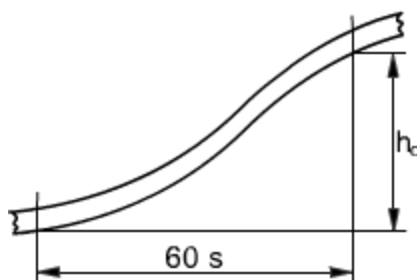
Postupak merenja

- Osetljivost se postavlja na 5 mm/mV, dok se brzina zapisivanja postavlja na 25 mm/s.
- Birač odvoda se postavlja u bilo koji položaj i zapisuje se trag za vreme od 10 s.

→ Meri se širina zapisane linije.

1.11.2. Određivanje pomeraja bazne linije

Pomeraj bazne linije se određuje direktno merenjem odstupanja bazne linije za vreme od 60 s (slika 32).



Slika 32. Određivanje pomeraja bazne linije

Postupak merenja

- Osetljivost se postavlja na 20 mm/mV, a brzina zapisivanja na 25 mm/s.
- Birač odvoda se postavlja u bilo koji položaj.

→ Nakon početnog perioda zagrevanja od jednog minuta, meri se odstupanje bazne linije za vreme od 60 s.