

Uputstvo za rad u Laboratoriji za visoki napon

Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu

Verzija 1.2

Savić Milan

Beograd
Oktobar 2024

Sadržaj

1	Predgovor	1
2	1. Opšta uputstva	5
2.1	Mere bezbednosti rada u Laboratoriji za visoki napon	5
2.1.1	Opšte odredbe	5
2.1.2	Pravila bezbednosti prilikom ispitivanja u laboratoriji za visoki napon:	6
2.2	Opis Laboratorije za visoki napon	7
3	Objašnjenje pojedinih komandnih tabli	11
3.1	Glavna komandna tabla KT1	11
3.2	Komandna tabla KT3 za Kavez 2	12
4	Opis zajedničkih uređaja za više kaveza	15
4.1	Elektrostatički voltmetar	15
4.1.1	Opis elektrostatičkog voltmetra	15
4.1.2	Postupak nulte kalibracije elektrostatičkog voltmetra	18
4.1.3	Priprema za rad	18

4.2	Izvor jednosmernog napona	19
4.3	Uređaj za rasterećenje	21
4.4	Blokade na vratima Kaveza 1	24
4.5	Uređaj za okidanje (trigerovanje) udarnih generatora	26
4.6	Merno-registracioni sistem	30
4.7	Uključenje merno-regulacionog sistema	33
4.8	Osciloskop	34
4.8.1	Komande za vertikalna podešenja	35
4.8.2	Komande za horizontalna podešenja	37
4.8.3	Komande za podešenje trigerovanja	37
4.8.4	Komande za akviziciju	40
4.8.5	Upravljanje i preuzimanje podataka sa osciloskopa	41
5	Opis uređaja u Kavezu 1	51
5.1	Visokonaponski transformator do 100 kV industrijske učestanosti	51
5.1.1	Šema i komandovanje	51
5.1.2	Postupak ispitivanja visokim naizmeničnim naponom.	57
5.2	Teslin transformator	59
5.2.1	Definicija i namena	59
5.2.2	Konstrukcija Teslinog transformatora	59
5.2.3	Puštanja Teslinog transformatora u rad	63
5.3	Strujni udarni generator	64

5.3.1	Namena strujnih udarnih generatora	64
5.3.2	Standardni oblik kratkotrajnog udarnog talasa za ispitivanje odvod- nika prenapona	65
5.3.3	Dobijanja strujnih udarnih talasa kratkog trajanja	66
5.3.4	Konstrukcija strujnog udarnog generatora	69
5.3.5	Šant za merenje udarnih struja	70
5.3.6	Priključenje šanta na merni instrument	73
5.3.7	Puštanje u rad strujnog udarnog generatora	75
6	Uređaji u Kavezu 2	79
6.1	Naponski udarni generator do 12 kV	79
6.1.1	Namena	79
6.1.2	Teorijsko objašnjenje rada jednostepenog udarnog naponskog gene- ratora	80
6.1.3	Osnovne komande naponskog udarnog generatora do 12 kV	82
6.1.4	Okidanje udarnog generatora	84
6.1.5	Podešavanje oblika talasa	85
6.1.6	Puštanje naponskog udarnog generatora do 12 kV	93
6.2	Udarni generator do 350 kV	95
6.2.1	Namena	95
6.2.2	Konstrukcija	95
6.2.3	Delilo napona	98
6.2.4	Puštanje u rad naponskog udarnog generatora do 300 kV	99

A	Konstrukcija udarnog generatora 12 kV	103
B	Konstrukcija udarnog generatora od 300 kV	111
B.1	Vrednosti parametara ugrađenih elemenata	111

Poglavlje 1

Predgovor

Laboratorija za visoki napon Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu je puštena u pogon 50-tih godina prošlog veka. Osnovna oprema je bila proizvodnje Siemens-Halske dobijena kao ratna reparacija posle Prvog svetskog rata. Da bi se postigla dovoljna visina prostora za visoki napon, izvršeno je ukopavanje današnjeg donjeg dela Laboratorije. 70-tih godina prošlog veka bilo je zatečeno sledeće stanje:

- U donjem delu Laboratorije se nalazio visokonaponski prostor ograđen žičanom ogradom u kojoj se nalazio visokonaponski transformator do 100 kV, koji je i danas u upotrebi.
- U istom prostoru nalazila se cevna dioda sa zaprečnim naponom od 200 kV pomoću koje je vršeno polutalasno ispravljanje visokog napona radi dobijanja jednosmernog napona do 100 kV.
- U visokonaponskom prostoru se nalazila brizgalica za veštačku kišu i limena kada u kojoj se postavljao ispitivani objekat, sa koga se voda zatvorenim sistemom vraćala pomoću pumpe do brizgalice.
- Pored visokonaponskog prostora nalazile su se dve grupe mašina (dve motor-generatorske grupe sa sinhronim generatorima) sledećih namena:
 1. generisanje napona za napajanje ispitnog visokonaponskog transformatora do 100 kV frekvencijom različitom od industrijske.
 2. korišćenje grupe sinhronih generatora radi vežbanja sinhronizacije.

Za komandovanje grupama mašina koristila se komandna tabla koja se protezala duž duže strane donjeg dela prostora visokonaponske laboratorije. Grupe mašina nisu

korišćene zadnjih 50 godina, tako da su prilikom rekonstrukcije Laboratorije izbačene i sada se nalaze u Muzeju tehnike u Beogradu.

U periodu 2005-2006 godine izvršeno je građevinsko renoviranje laboratorije. Ovom prilikom želim da zahvalim sledećim institucijama čijim se donacijama Laboratorija građevinski renovirala.

1. JP Elektroprivreda Republike Srbije
2. JP Elektroistok (sada JP Elektromreža Srbija)
3. Termoelektrana Nikola Tesla
4. Elektrodistribucija Beograd

Prilikom renoviranja električnih instalacija u Laboratoriji pomoć je pružio dipl. ing. Zoran Kukobat sa ekipom iz firme ABS Minel Elektrooprema, Ripanj.

Ovom prilikom zahvaljujem sledećim pojedincima i institucijama koji su pomogli da se naprave uređaji koji se danas nalaze u Laboratoriji, a izrađeni su sopstvenim snagama sa skromnim sredstvima:

- Laboratorija High-Energy Frequency Tesla Inc., (HEFTI), Ottawa, Ont., Canada, a posebno Dr. Mladenu Kekezu, bivšem studentu našeg Fakulteta, koji je dao donaciju u komponentama zahvaljujući kojima je danas Laboratorija opremljena,
- Privatnoj firmi ELBI Valjevo, a posebno vlasniku i direktoru firme dipl. ing. Živoradu Cvetkoviću, koji je pomogao oko transporta i uvoza doniranih komponenti i finansiranje razvoja uređaja.
- Dipl. ing. Ratku Kovačiću, zahvaljujući čijim je praktičnim znanjima, velikim zalaganjem i entuzijazmom većina uređaja u Laboratoriji napravljena.
- Milanu Jankoviću, studentu doktorskih studija, koji je napravio više uređaja za studentske vežbe, a za Laboratoriju je najznačajniji strujni udarni generator koji je napravio u okviru ispita na doktorskim studijama.
- Ministarstvu prosvete i tehnološkog razvoja koje je kroz inovacioni projekat pomoglo kupovini pojedinih mernih uređaja.
- Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu na učešću u finansiranju izrade jednog od uređaja u Laboratoriji.

Kompletiranje izrade uređaja u Laboratoriji je završeno 2014 god.

Uputstvo za rad u Laboratoriji za visoki napon Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu napisano je u skladu sa raspoloživim instrumentima 2016 god. Ukoliko se budu menjali instrumenti, neophodno je uputstvo usklađivati sa trenutnim stanjem.

Autor

Poglavlje 2

1. Opšta uputstva

2.1 Mere bezbednosti rada u Laboratoriji za visoki napon

U mere bezbednosti rada u Laboratoriji za visoki napon spadaju:

2.1.1 Opšte odredbe

A. Održavanje sredstava za obezbeđenje bezbednosti, kao što su:

1. ograde sa blokadom,
2. signalne sijalice za označavanje uključenosti opasnog napona,
3. opomenske tablice,
4. uputstvo za prvu pomoć ozleđenom od strujnog udara,
5. aparati za gašenje požara koji su u roku trajanja,
6. priručne kutije za prvu pomoć.

B. Obavezno ograđivanje svih delova koji mogu da budu pristupačni, a mogu doći pod opasan napon, kao i pridržavanja procedura koje je potrebno sprovoditi kod pojedinih uređaja radi obezbeđivanja bezbednosti.

C. Upoznavanja studenata sa opasnostima i merama bezbednosti u Laboratoriji za visoki napon i njihovom potpisivanju izjave da su upoznati sa pravilima mera bezbednosti.

D. Prilikom obavljanja svih radova u Laboratoriji za visoki napon gde se radi sa naponima iznad 50 V radove moraju obavljati bar dva lica, od kojih je jedno kvalifikovano i ovlašćeno za rad u Laboratoriji.

2.1.2 Pravila bezbednosti prilikom ispitivanja u laboratoriji za visoki napon:

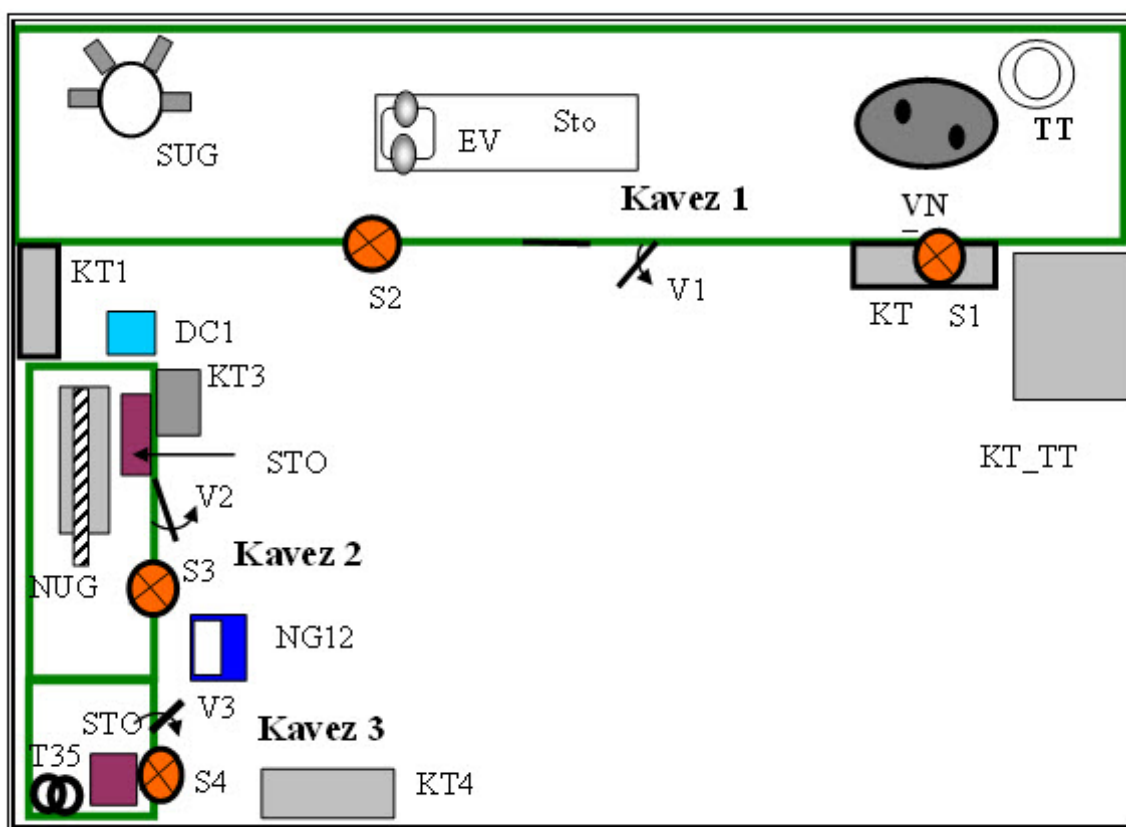
Rukovodilac ispitivanja obavezan je da pre stavljanja postrojenja pod napon, u svrhu ispitivanja, prekontroliše sledeće:

1. da li je ostvarena odgovarajuća merna šema, da li su ostvareni dozvoljeni razmaci između tačaka pod naponom i uzemljenih objekata, te da li je ispitivani objekat pravilno uzemljen,
2. da li je motka za uzemljenje pravilno priključena na provodnik za uzemljenje i da li je na pogodnom mestu,
3. da li su vrata koja vode u ispitni prostor pravilno zatvorena,
4. da li su upaljena signalna svetla koja upozoravaju da je postrojenje pod naponom, Ukoliko rukovodilac ispitivanja uoči da neki od ovih zahteva nisu ispunjeni dužan ih je, pre ispitivanja, ostvariti. Pored ovoga obavezan je da sprovede i sledeća pravila:
 - (a) Strogo se zabranjuje prisustvo ljudi unutar nezaštićenog ispitnog prostora za vreme ispitivanja.
 - (b) Sve osobe koje nisu kvalifikovane i ovlašćene za rad u Laboratoriji moraju se ponašati u skladu sa uputstvima ispitivača.
 - (c) Pre stavljanja postrojenja za visoki napon van pogona ispitivač mora obavezno smanjiti primarni napon napajanja ispitnog transformatora na minimalnu vrednost.
 - (d) Ispitivač je dužan da posle svakog ispitivanja prvo izvrši uzemljenje svih delova koji su bili priključeni na visoki napon i svih metalnih delova na kojima se mogao pojaviti statički elektricitet, usled blizine delova pod visokim naponom, pomoću motke za uzemljenje. Posebno je potrebno voditi računa o rasterećenju kondenzatora.

Mere bezbednosti u Laboratoriji za visoki napon moraju biti istaknute na vidljivom mestu u Laboratoriji za visoki napon.

2.2 Opis Laboratorije za visoki napon

U prostoru za rad sa visokim naponom nalaze se 3 kaveza, kao što je prikazano na slici 2.1.



Slika 2.1: Šematski prikaz razmeštaja opreme po kavezima u Laboratoriji za visoki napon

Na slici 2.1 prikazana su tri zasebna ograđena prostora sa sledećim oznakama:

Kavez 1 Ograđeni prostor u kome se nalazi izvor visokog naizmeničnog napona do 100 kV, strujni udarni generator i Teslin transformator.

Kavez 2 Ograđeni prostor u kome se nalazi udarni naponski generator do 350 kV. U istom kavezu je i sto na kome se obavlja vežba dobijanja jednosmernog napona do 10 kV. Na istom stolu se vrši ispitivanje atmosferskim udarnim naponom do 12 kV za ispitivanje niskonaponskih prenaponskih zaštitnih uređaja, kao i ispitivanje izolacije uređaja u niskonaponskim instalacijama.

Kavez 3 Ograđeni prostor u kome se rade vežbe sa naponima do 30 kV (raspodela napona duž izolatora).

Za upravljanje napajanjem uređaja u Laboratoriji za visoki napon koriste se 5 komandnih tabli:

KT1 - glavna komandna tabla pomoću koje se uključuje napajanje pojedinih kaveza,

KT2 - komandna tabla visokonaponskog ispitnog transformatora do 100 kV u Kavezu 1,

KT3 -komandna tabla za napajanje Kaveza 2, kao i strujnog udarnog generatora u Kavezu 1,

KT4 - Komandna tabla za napajanje Kaveza 3,

KT **TT** - komandna tabla zajedno sa napojnim blokom za napajanje Teslinog transformatora TT u Kavezu 1.

Najvažniji visokonaponski uređaji koji se nalaze u Laboratoriji za visoki napon obeleženi su na sledeći način: VNT - visokonaponski ispitni transformator za napon 50 Hz do 100 kV, proizvodnje Siemens&Halske, TT - teslin transformator sopstvene proizvodnje, SUG - strujni udarni generator do 20 kA sopstvene proizvodnje, NUG - Naponski udarni generator do 350 kV sopstvene proizvodnje, NG12 - Naponski udarni generator do 12 kV za ispitivanje prenaponskih zaštitnih uređaja u niskonaponskim mrežama, sopstvene proizvodnje, DC1 - izvor promenljivog jednosmernog napona od 0 do 100 kV koji se koristi za napajanje naponskog udarnog generatora do 350 kV NUG ili strujnog udarnog generatora SUG. Prevezivanjem napojnog kabla u prostoru kaveza 2 vrši se prebacivanje napajanja sa jednog uređaja na drugi.

Ulazi u pojedine kaveze su obeleženi sledećim oznakama:

V1 - vrata za ulazak u Kavez 1. Otvaranjem vrata V1 reaguje blokada koja prekida napajanje visokonaponskog transformatora VNT i strujnog udarnog generatora SUG. Otvaranjem vrata vrata V1 prekida se napajanje jednosmernim naponom i Kaveza 2, da bi se postigla bezbednost pri prebacivanju rada sa naponskog udarnog generatora

NUG na strujni udarni generator i obrnuto. Kada se ne radi sa strujnim udarnim generatorom, blokada na vratima V1 se može isključiti, tako da se rad u Kavezu 2 može nesmetano obavljati bez obzira da li su vrata V1 otvorena ili zatvorena.

V2 - vrata za ulazak u Kavez 2. Otvaranjem vrata V2 prekida se napajanje naponskog generatora NUG u kavezu 2 i strujnog udarnog generatora u Kavezu 1.

V3 - Vrata za ulazak u Kavez 3. Otvaranjem vrata se prekida napajanje u transformatora do 35 kV u Kavezu 3.

Na svakom od kaveza su postavljene signalne sijalice. Na Kavezu 1 postoje dve signalne sijalice. Uloga signalnih sijalica je sledeća:

S1 - signalna sijalica na Kavezu 1 koja označava da je visokonaponski transformator VNT uključen. Otvaranjem vrata V1 prekida se napajanje i S1 se gasi.

S2 - signalna sijalica na Kavezu 1 koja označava da se strujni udarni generator SUG napaja jednosmernim naponom iz DC1. Otvaranjem vrata V1 ili V2 prekida se napajanje iz DC1 i gasi signalna sijalica S2.

S3 - signalna sijalica na Kavezu 2 koja označava da je napajanje Kaveza 2 iz komandnog ormana KT3 uključeno. Otvaranjem vrata V2 prekida se napajanje uređaja NUG ili ostalih izvora visokog napona u Kavezu 2, kao i napajanje SUG u Kavezu 1, ukoliko je on u radu.

S4 -signalna sijalica na Kavezu 3 koji označava da se vrši napajanje transformatora do 35 kV u Kavezu 3 iz komandnog ormana KT4.

Ostale oznake na slici 1.2.1 su:

EV -elektrostatički voltmetar do 100 kV. On može da meri naizmenični napon iz VNT ili jednosmerni napon iz DC1,

STO1 - sto na kome se postavljaju objekti ispitivanja udarnim naponom do 10 kV i kaskadni generator jednosmerng napona.

STO2 - sto na kome se postavlja izolator na kome se određuje raspodela napona.

T35 - napojni transformator međufaznog napona do 35 kV za ispitivanje raspodele napona duž izolatora.

Poglavlje 3

Objašnjenje pojedinih komandnih tabli

3.1 Glavna komandna tabla KT1

Fotografija glavne komandne table KT1 prikazana je na slici 3.1

Oznake na slici 3.1 imaju sledeće značenje:

1. Glavna sklopka za sve kaveze.
2. Sklopka za visokonaponski transformator do 100 kV u Kavezu 1.
3. Sklopka za produžni kabl sa višestrukom utičnicom koja se nalazi unutar Kaveza 1. Ova utičnica služi za napajanje elektrostatičkog voltmetra. Otvaranjem vrata se ne vrši isključivanje napajanja ovog izvora niskog napona.
4. Sklopka nije u funkciji.
5. Sklopka za pumpu za veštačku kišu (koja trenutno nije u funkciji).
6. Sklopka za komandni orman KT4.
7. Sklopka za komandni orman KT3.

Unutar ormana se nalaze topljivi osigurači koji pregorevaju u slučaju pojave kratkog spoja ili preopterećenja.

Postupak uključivanja pojedinih uređaja u kavezima dat je u tabeli 3.1.

U tabeli 3.1 oznaka **TVN 2** označava uređaje koji se koriste u vežbama iz predmeta Tehnika visokog napona 2.

3.2 Komandna tabla KT3 za Kavez 2

Komandne table za Kavez 2 i Kavez 3 imaju potpuno identičan izgled i funkciju. Fotografije komandne table sa prednje strane (levo) i bočno (desno) data su na slici 3.2.

Oznake na slici 3.2 imaju sledeće značenje:

1. glavna sklopka za uključenje napajanja u Kavezu 2,
2. preklopka sa kojom se bira da li će se koristiti izvor niskog napona na utičnici sa leve strane vrata ili desno gde se napaja transformator do 6 kV.
3. komandno dugme za uključenje. Dok se ne pritisne crveno dugme za uključenje, nema napona u Kavezu 2 i signalna sijalica S3 ne svetli,
4. bočna utičnica za napajanje regulacionog transformatora pomoću koga se može u kavez dovoditi regulisani napon za napajanje uređaja, koji se isključuje otvaranjem vrata,
5. utičnica sa tri otvora za dovodenje regulisanog napona iz regulacionog transformatora na odgovarajuće utičnice u Kavezu 2,
6. utičnice za banana utikače sa kojih se može voditi napon sa regulacionog transformatora na voltmetar za merenje regulisanog napona,
7. bravica sa ključem za otvaranje ormara i eventualnu zamenu osigurača.

U slučaju otvaranja vrata na Kavezu 2 dolazi do isključenja napajanja opreme u Kavezu 2 koja se napaja preko komandne table KT3. U tom slučaju se moraju vrata zatvoriti i pritiskom na dugme 3 ponovo se dovodi napon na uređaje.

Potpuno identičan je izgled komandne table KT4, stim što ne postoji mogućnost izbora između dva mesta napajanja unutar Kaveza 3.



Slika 3.1: Fotografija glavne komandne table KT1

Tabela 3.1: Objašnjenje načina napajanja pojedinih visokonaponskih kaveza

Šema komandovanja iz glavnog komandnog ormara KT1					
Br.	Uređaj	Uključene sklopke	Napomena	Signalna sijalica	Kavez
1	VNT	1 i 2	Visokonaponski transformator 100 kV	S1	1
2	NUG	1, 3 i 7	Naponski udarni generator do 350 kV	S3	2
3	SUG	1, 3 i 7	Strujni udarni generator	S2 i S3	1 i 2
4	NG12	1 i 7	Naponski udarni generator do 12 kV	S3	2
5	TVN 2	1 i 7	Kaskadni generator jednosmernog napona	S3	2
6	TVN 2	1 i 6	Raspodela napona duž izolatora	S4	3



Slika 3.2: Fotografija komandne table KT3 na Kavezu 2

Poglavlje 4

Opis zajedničkih uređaja za više kaveza

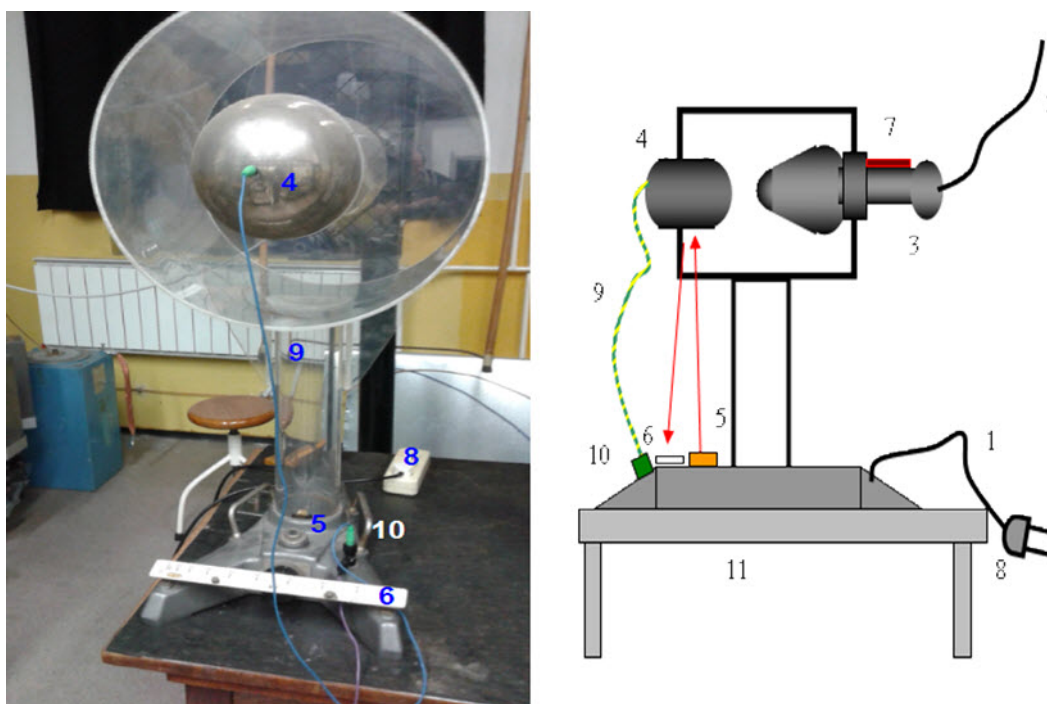
4.1 Elektrostatički voltmetar

4.1.1 Opis elektrostatičkog voltmetra

Tačno merenje visokog naizmeničnog i jednosmernog napona se može raditi direktno na visokom naponu. U tu svrhu se koristi elektrostatički voltmetar (EV) sa opsegom do 100 kV. Prilikom rada sa transformatorom za dobijanje visokog naizmeničnog napona postoji pokazni instrument na komandnoj tabli koji meri indirektno izlazni napon mereći napon napajanja iz regulacionog transformatora, čime se čini greška jer se ne uvažavaju padovi napona na reaktansi transformatora i na zaštitnim otpornicima, koji mogu biti veliki ukoliko je struja koju povlači objekat velika (objekat ispitivanja velikog kapaciteta ili izolacija koja ima provodnost zbog zagađenja ili drugih razloga).

Na slici 4.1 prikazana je fotografija elektrostatičkog voltmetra (levo) i skica sa oznakom delova (desno). Oznake na slici 4.1 imaju sledeće značenje:

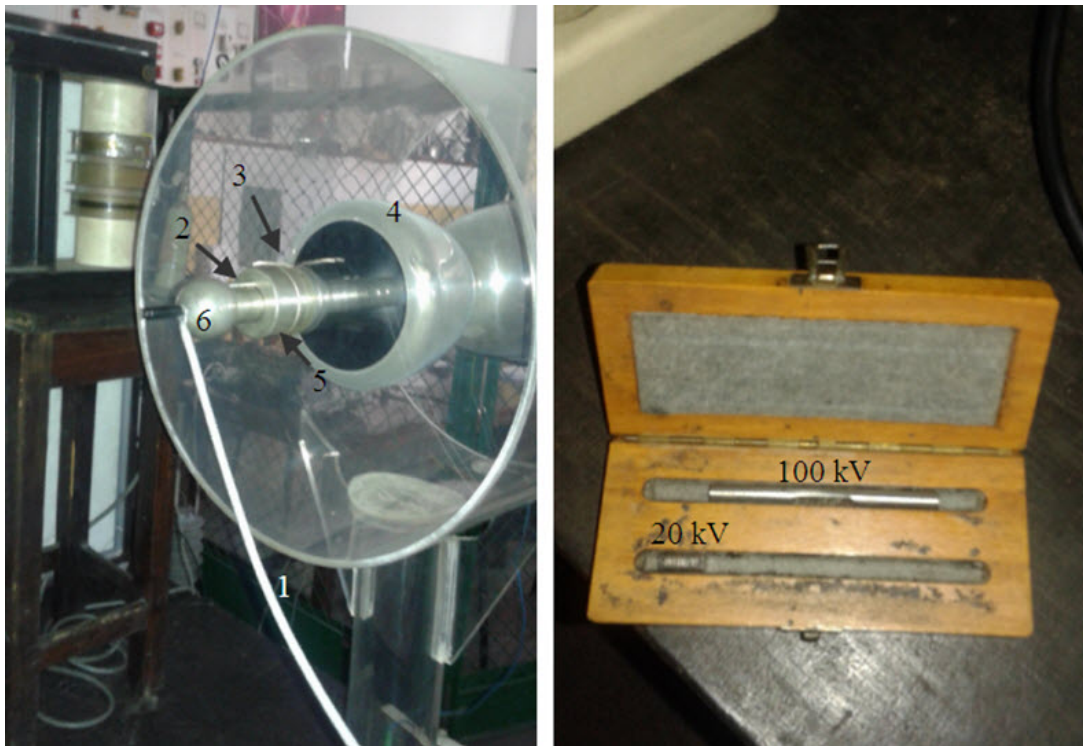
1. priključak niskog napona 230 V za napajanje sijalice elektrostatičkog voltmetra,
2. provodnik kojim se dovodi visoki napon, koji se meri, na odgovarajući konektor. Priključak se vrši banana - konektorom u utičnicu na visokonaponskoj elektrodi,
3. visokonaponska elektroda na koju se dovodi napon,
4. suprotna (merna) elektroda u kojoj se nalazi kretni sistem sa ogledalom,



Slika 4.1: Fotografija elektrotatičkog voltmetra (levo) i skica sa oznakom delova (desno)

5. svetlosni izvor koji šalje zrak na ogledalo kretnog sistema,
6. lenjir sa skalom na kojoj svetlosni signal odbijen od ogledala pokazuje visinu napona,
7. metalni umetak za kalibraciju. Postoje tri umetka, najkraći za opseg kompletne skale do 20 kV, duži za opseg do 50 kV i najduži za opseg do 100 kV,
8. utikač za naizmenični napon 230 V za sijalicu,
9. provodnik za uzemljenje elektrode u kojoj je kretni sistem,
10. priključak na postolju za koji se vezuje provodnik za uzemljenje 9 na slici 4.1. **VAŽNO!** Mora se obavezno povezati priključak 10 sa uzemljivačem laboratorije,
11. sto na kome je postavljen elektrostatički voltmetar.

Na slici 4.2 levo prikazana je fotografija elektrostatičkog voltmetra gledana sa strane visokonaponskog priključka, gde se vidi i mesto postavljanja kalibra za određivanje mernog opsega voltmetra. Na slici 4.2 desno vidi se kutija sa kalibrima za određivanje mernog opsega EV. 100 podeljaka na skali elektrostatičkog voltmetra odgovara naponu od 100 kV, ako je kalibar za 100 kV stavljen u ležište. Ukoliko je kalibar za 50 kV postavljen,



Slika 4.2: Fotografija elektrostatičkog voltmetra gledana sa strane visokonaponskog priključka (levo), kalibri u drvenoj kutiji za određivanje mernog opsega voltmetra (desno)

kompletna skala označava 50 kV, a ako je kalibar za 20 kV stavljen, kompletna skala na elektrostatičkog voltmetra je 20 kV.

Oznake na slici 4.2 imaju sledeće značenje:

1. kabl za dovođenje merenog visokog napona do priključka voltmetra,
2. kalibar koji služi za podešavanje razmaka između visokonaponske elektrode (4) i suprotne elektrode,
3. poluga za zabavljanje elektrode posle podešavanja rastojanja pomoću kalibra,
4. visokonaponska elektroda voltmetra,
5. prsten koji omogućava nultu kalibraciju,
6. završna kugla sistema sa visokonaponskom elektrodom, na kojoj se nalazi visokonaponski priključak.

4.1.2 Postupak nulte kalibracije elektrostatičkog voltmetra

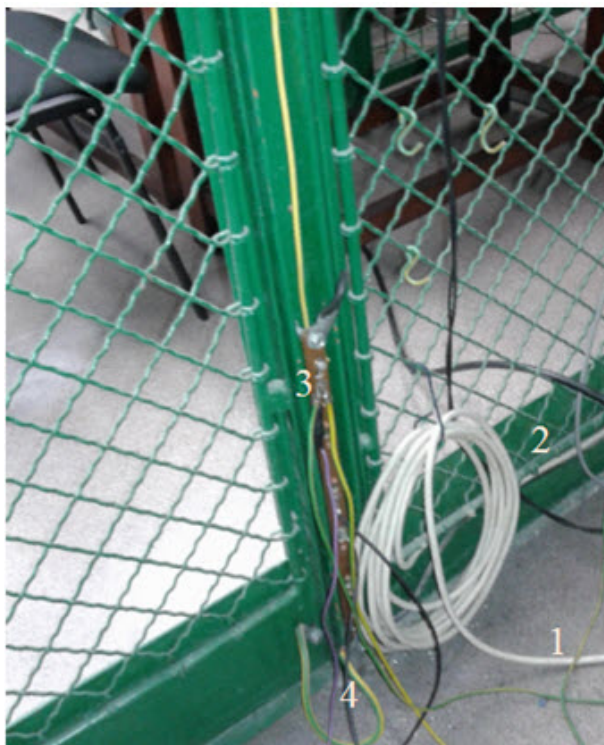
Podizanjem poluge 3 sa slike 4.2 oslobađa se osovina koja nosi visokonaponsku elektrodu i priključak za visoki napon, što omogućava pomeranje visokonaponske elektrode. Zatim se izvadi kalibar 2 iz ležišta. Nulta kalibracija se obavlja na taj način što se pomeranje kompletna osovine koja nosi visokonaponsku elektrodu pritiskanjem kugla 6 vrši dok se visokonaponska elektroda 4 ne dodirne sa suprotnom elektrodom (u kojoj se nalazi merni sistem). Zatim se prsten 5 okreće dok se ne dodirnu završna kugla 6 na osovini visokonaponske elektrode i prsten 5, a da se pri tome visokonaponska elektroda 4 i suprotna (merna) elektroda dodiruju. Kada se prsten 5 i završna kugla 6 dodirnu, a u isto vreme se visokonaponska elektroda 4 i suprotna elektroda dodiruju, nulta kalibracija je završena. Sada se vrši pomeranje kugle 6 tako da se može umetnuti odgovarajući kalibar 2 u ležište između završne kugle 6 i prstena 5, Posle toga se poluga 3 spušta čime se vrši zabavljanje osovine, čime je osovina fiksirana i sistem kalibrisan.

4.1.3 Priprema za rad

Pre početka rada potrebno je kabl sa utikačem 8, na slici 4.1 desno, utaknuti u višestruku utičnicu sa produžnim kablom, što je označeno brojem 8 na istoj slici levo. Podužni kabl je fiksiran na ram ulaznih vrata 1, kao na slici 4.3. Produžni kabl služi pre svega za napajanje elektrostatičkog voltmetra, ali se može napajati bilo koji uređaj naizmeničnim naponom 230 V idustrijske učestanosti unutar Kaveza 1. Otvaranjem vrata V1 se ne isključuje izvor napajanja elektrostatičkog voltmetra, jer ovaj napon ne ugrožava osoblje.

Oznake na slici 4.3 imaju sledeće značenje:

1. provodnik za napajanje niskim naponom industrijske učestanosti koji se vodi do višestruke utičnice za elektrostatički voltmetar,
2. provodnik za napajanje niskim naponom industrijske učestanosti koji se vodi iz komandnog ormana KT1 ka Kavezu 1, gde je višak kabla namotan na ram od vrata,
3. šina za uzemljavanje, koja je direktno vezana za uzemljivač,
4. provodnik za vezu priključka za zemlju na elektrostatičkom voltmetru označeno sa 10 na slici 4.1 levo, sa šinom za uzemljavanje 3 na slici 4.3.



Slika 4.3: Produžni kabl za napajanje niskim naponom industrijske učestanosti visokonaponskog prostora u Kavezu 1

4.2 Izvor jednosmernog napona

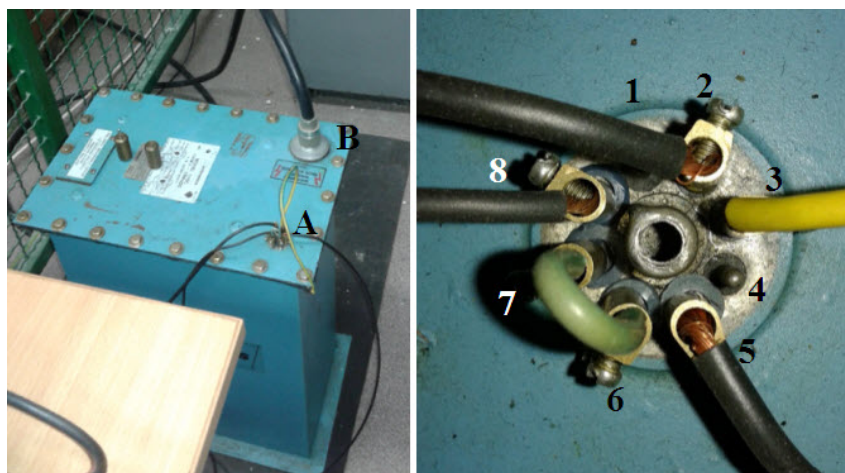
Izvor jednosmernog napona služi za podizanje regulisanog naizmjeničnog napona vrednosti do najviše 220 V na visoki napon i ispravljanje, tako da izlazni napon iznosi do 100 kV jednosmernog napona.

Na slici 4.4 prikazana je fotografija kompletnog uređaja za dobijanje visokog jednosmernog napona (levo), kao i fotografija stezaljki za priključke napajanja niskog naizmjeničnog regulisanog napona za napajanje od 0-220 V i niskog kontrolnog napona 110 V koji služi za obezbeđenje u slučaju delovanja blokade (desno).

Na slici 4.5 prikazana je šema napajanja uređaja za dobijanje visokog jednosmernog napona koji će u daljem tekstu biti označen kao DC1.

Oznake na slikama 4.4 i 4.5 imaju sledeće značenje:

A - priključnice za napajanje niskim naizmjeničnim regulisanim naponom i kontrolnim



Slika 4.4: Fotografija uređaja za dobijanje visokog jednosmernog napona (levo) i fotografija stezaljki za priključke napajanja niskog naizmeničnog regulisanog napona i niskog kontrolnog napona 110 V (desno)

naponom,

B - priključnica za izlaz visokog jednosmernog napona,

T1 - regulacioni transformator za napajanje uređaja regulisanim niskim naponom od 0-220 V,

T2 - transformator 220/110 V za napajanje sigurnosnog releja napona 110 V. Nestankom ovog napona se uključuje se prekidač koji prespaja izvor i vrši rasterećenje kondenzatora, ukoliko postoje u napajanom kolu jednosmernog napona, (sigurnosna blokada). Poželjno je koristiti dodatnu eksternu blokadu koja se lako može kontrolisati radi povećanja bezbednosti rada.

1 - priključak za uzemljenje,

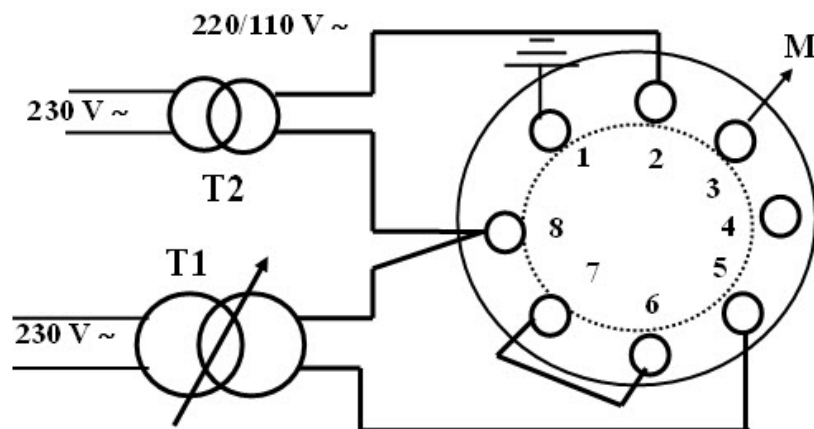
2 -priključak kontrolnog napona 110 V iz T2 za sigurnosni relej,

3 -priključak za merenje napona preko internog otpornika R_i , oznaka **M** odnosi se na merenje,

4 - prazan izvod,

5 -priključak niskog regulisanog naizmeničnog napona iz T1,

6 -priključak za kratkospojnik, koji služi za prespajanje izvoda prilikom izbora između napajanja naponom od 0-110 ili 0-220 V. Trenutni spoj odgovara napajanju maksimalnim naponom od 220 V.



Slika 4.5: Šema napajanja uređaja za dobijanje visokog jednosmernog napona

7 - drugi priključak kratkospojnika koji je vezan za izvod 6, za slučaj napajanja sa 220 V,

8 - drugi priključak regulisanog naizmjeničnog napona iz T1, kao i drugi izvod iz T2 za napajanje sigurnosnog releja,

Ukoliko bi napajanje bilo naponom do 110 V, tada bi bili spojeni terminali 6 i 8, odnosno 5 i 7.

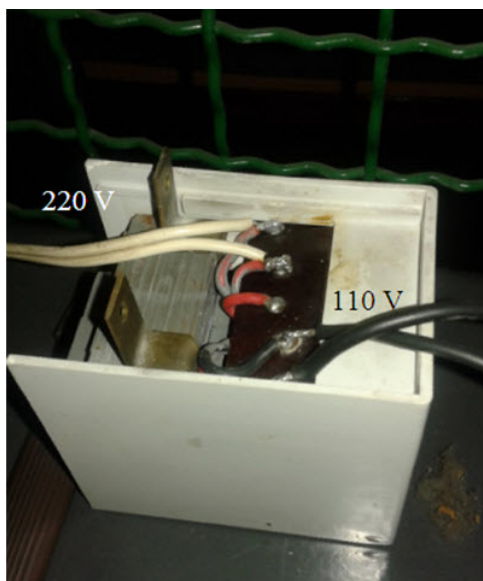
Tranformator 220/110 V za napajanje sigurnosnog releja naponom 110 V unutar izvora visokog napona DC1 prikazan je na slici 4.6. Njegova potrebna snaga je oko 50 W.

Interna šema uređaja DC1 prikazana je na šemi 4.7.

Na internoj šemi su oznake potpuno u skladu sa predhodnim oznakama na slikama 4.4 i 4.5, osim što je u kolo zaštitnog releja ubačen zaštitni otpornik R_z za ograničenje struje. Između kontakata 2 i 8 priključen je elektromagnet koji pod uticajem napona 110 V drži otvoren prekidač i omogućava rad uređaja. Na izvodu 3 priključuje se uređaj za merenje napona, čija otpornost zajedno sa internim otpornikom R_i čini delilo napona.

4.3 Uređaj za rasterećenje

Da bi se postigla puna sigurnost rada neophodno je da budu ispunjena dva uslova:



Slika 4.6: Napajanje sigurnosnog releja naponom 110 V unutar izvora visokog napona DC1

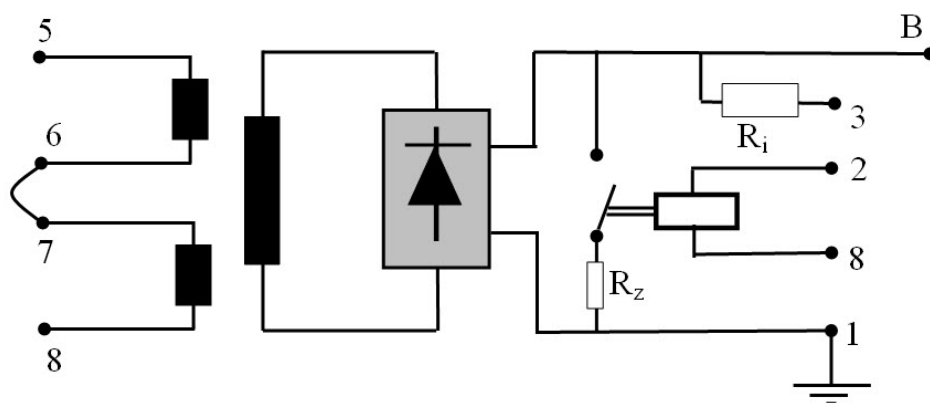
- da budu svi izvori u visokonaponskom prostoru isključeni,
- da budu svi kondenzatori u visokonaponskom prostoru rasterećeni.

U tu svrhu je napravljen poseban uređaj za rasterećenje koji je zajednički za napajanje i naponskog udarnog generatora i strujnog udarnog generatora. Uređaj za rasterećenje služi istovremeno i za ograničenja struje punjenja kondenzatora udarnih generatora.

Na slici 4.8 prikazana je fotografija uređaja za rasterećenje.

Oznake na fotografiji imaju sledeće značenje:

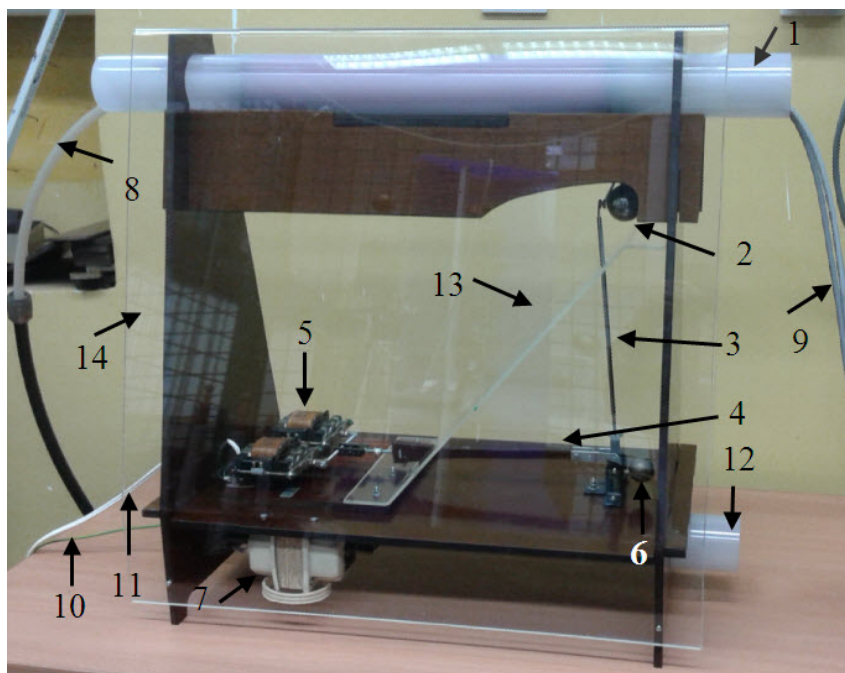
- 1 - zaštitni otpornik za ograničenje struje punjenja kondenzatora R_Z ,
- 2 - nepokretni kontakt u obliku kugle (radi sprečavanja korone), koji predstavlja elektrodu pod naponom,
- 3 - pokretna kontaktne šipka, koja je na donjem kraju vezana preko otpornika R_{UZ} za zemlju,
- 4 - sistem poluga sa pokretanje kontaktne šipke,
- 5 - dva elektromagneta sa kalemovima za 110 V,



Slika 4.7: Interna šema uređaja DC1

- 6 - kontrateg za pokretnu kontaktnu šipku,
- 7 - transformator 220/110 V, za napajanje elektromagneta,
- 8 - visokonaponski napojni kabl iz izvora visokog napona DC1,
- 9 - visokonaponski napojni kabl koji napaja uređaje (udarni naponski ili udarni strujni generator, kao i uređaj za merenje visokog napona, koji je zajednički za naponski i strujni generator,
- 10 - provodnik za uzemljenje,
- 11 - provodnik za napajanje naponom 220 V (nestanak napona izaziva podizanje šipke 3 i rasterećenje),
- 12 - otpornik R_{UZ} preko koga se vrši rasterećenje,
- 13 - vođice od providnog klirita za pokretnu kontaktnu šipku,
- 14 - oklop od providnog klirita za zaštitu.

Provodnik za napajanje iz izvora DC1 (8), kao i provodnik (9) se uključuju u odgovarajuće buksne preko banana priključaka na zaštitni otpornik u cevi (1). Provodnik za uzemljenje (8) je fiksiran za otpornik R_{UZ} preko zavrtnja, tako da se veza ne može lako raskinuti. Na strani napajanja generatora (provodnik 9), može se korišćenjem banana sa dodatnim priključnim otvorom priključiti dva kabla sa izolacijom za 100 kV. Jedan kabl služi za napajanje mernog sistema za kontrolu napona na kondenzatorima udarnog generatora, a drugi kabl se koristi za napajanje kondenzatora. Po potrebi se priključivanjem kabla za naponski udarni generator ili kabla za strujni udarni generator menja uloga uređaja za rasterećenje.



Slika 4.8: Fotografija uređaja za rasterećenje

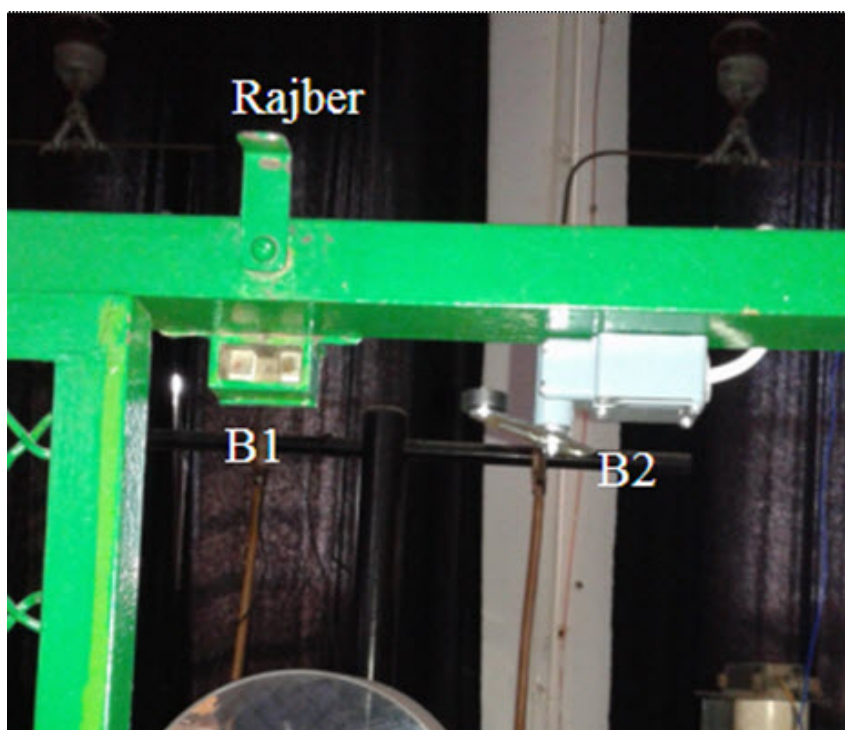
Zaštitni otpornik ima vrednost od $R_Z = 100 \text{ M}\Omega$, a otpornik za rasterećenje ima vrednost od $R_{UZ} = 400 \text{ k}\Omega$.

4.4 Blokade na vratima Kaveza 1

Najvažnija bezbednosna mera u Laboratoriji za visoki napon je blikada napajanja uređaja prilikom otvaranja vrata kaveza. Kod Kaveza 1 postoje 2 blokade, jedna služi da se otvaranjem vrata V1 blokira napajanje Kaveza 1, a druga da se otvaranjem vrata V1 blokira napajanje Kaveza 2. Na slici 4.9 prikazana je slika vrata V1 sa oznakama blokada B1 i B2.

Blokada B1 blokira napajanje visokonaponskog transformatora VNT u Kavezu 1. Blokada B2 prekida napajanje strujnog udarnog generatora u Kavezu 1, ali prekida i napajanje naponskog udarnog generatora u Kavezu 2. U slučaju kada se radi sa naponskim udarnim generatorom, blokada B2 mora da bude isključena, da bi se nesmetano mogao odvijati rad u Kavezu 1, a da to ne remeti rad u Kavezu 2.

Na slici 4.10 prikazan je kontakt za blokadu napajanja strujnog udarnog generatora kada je aktiviran (isključuje se napajanje u slučaju otvaranja vrata (levo), i kada je



Slika 4.9: Blokada na vratima V1 Kaveza 1

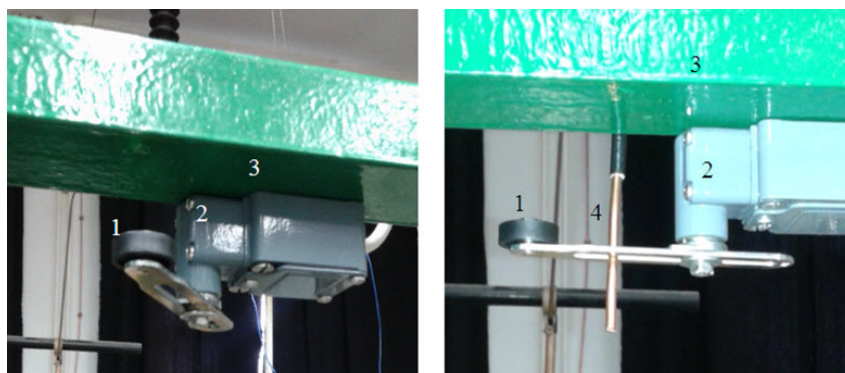
deaktiviran (ne isključuje se napajanje u slučaju otvaranja vrata (desno).

Oznake na slici 4.10 imaju sledeće značenje:

1. -točak na kraju poluge sklopke za isključenje. Na slici levo pri otvorenim vratima kontakti sklopke su otvoreni,
2. -kućište mehanizma sigurnosne sklopke,
3. -gornji ram vrata za koju je sklopka učvršćena,
4. -šipka za deaktivizaciju sklopke, čijim postavljanjem se ne vrši isključivanje izvora DC1, bez obzira na to da li su vrata otvorena ili ne, kada se radi sa naponskim udarnim generatorom, pa se napon iz izvora DC1 ne vodi u Kavez 1.

Na slici 4.11 prikazana je način postavljanja šipke za deaktiviranje blokade. Na slici 4.11 levo prikazana je fotografija šipke, a na slici desno šematski je prikazan način postavljanja šipke na gornji ram iznad vrata i provlačenje kroz polugu .

Oznake na slici 4.11 imaju sledeće značenje:



Slika 4.10: Blokada napajanja iz izvora jednosmernog napona DC1 aktivirana (levo), blokada napajanja iz izvora jednosmernog napona DC1 deaktivirana (desno)

1. -šipka za deaktivizaciju blokade,
2. -gornji ram iznad vrata sa kanalom za kablove,
3. -kabl unutar rama

4.5 Uređaj za okidanje (trigerovanje) udarnih generatora

Uređaj za okidanje udarnih generatora je zajednički za naponski udarni generator NUG u Kavezu 2 i strujni udarni generator SUG u Kavezu 1. Uloga uređaja je da proizvede visokonaponski impuls koji proizvodi inicijalnu varnicu na troelektrodnom iskrištu udarnih generatora.

Izgled uređaja za okidanje koji se još naziva "trigatron" koji je napravljen za Laboratoriju visokog napona na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu je prikazan na slici 4.12.

Oznake na slici 4.12 imaju sledeće značenje:

1. -napajanje uređaja niskim naponom,
2. -izlazni kabl sa visokonaponskim impulsom,
3. -komandno dugme za okidanje,
4. -signalna svetiljka koja se pali u trenutku okidanja.

Ma slici 4.13 nacrtana je zamenska šema sa karakteristikama elemenata uređaja za okidanje u Laboratoriji za visoki napon ETF u Beogradu. Oznake na slici 4.13 imaju sledeće značenje:

O -topljivi osigurač 1 A,

S - signalna sijalica 25 W,

D - dioda 1000 V, 0.5 A,

C - kondenzator kapaciteta 15 μF napona 500 V,

Re - relej sa prebacačem, mirni položaj 1 kada se kondenzator puni, radni položaj 2 kada se kondenzator prazni,

P - taster za aktiviranje releja Re,

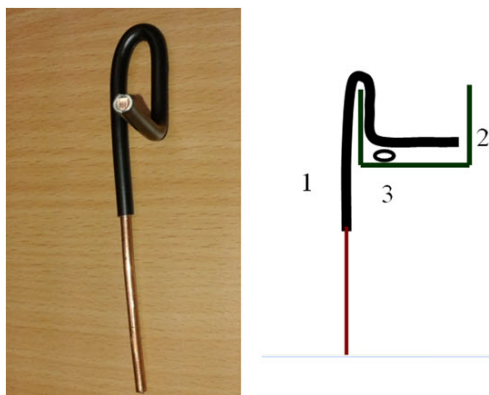
T - visokonaponski transformator, ulaznog napona 12 V i izlaznog napona do 30 kV.

Kao transformator je korišćen transformator za svećice u automobilima (bobina), sa primarnim namotajem za 12 V, koji može da bude napajan rasterećivanjem napunjenog kondenzatora C.

Važno je napomenuti da se isti uređaj koristi za okidanje i naponskog i strujnog udarnog generatora. Prevezivanje se radi na tak način što se izlazni visokonaponski kabl iz trigatrona može vezati ili za SUG ili za NUG prema slici 4.14.

Oznake na slici 4.14 imaju sledeće značenje:

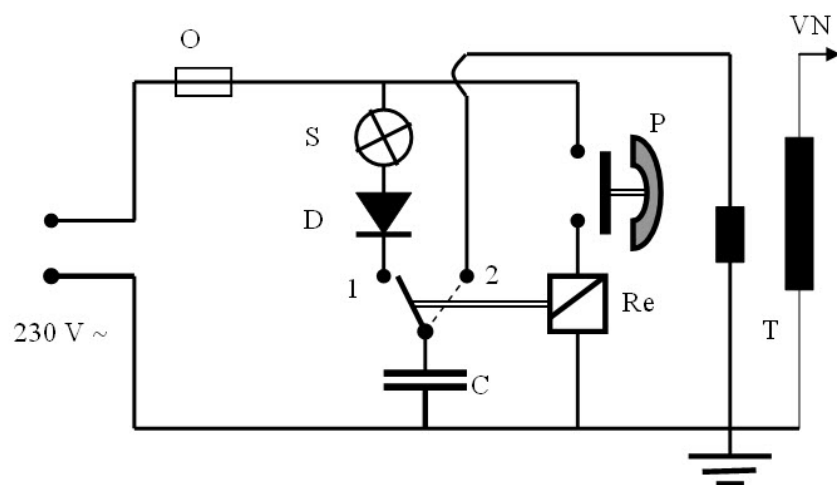
1. -visokonaponski kabl iz trigatrona, sa gumenim zaštitnim završetkom za zaštitu priključka,
2. -visokonaponski kabl za SUG koji ulazi u Kavez 1,
3. -visokonaponski kabl za NUG koji ulazi u Kavez 2.



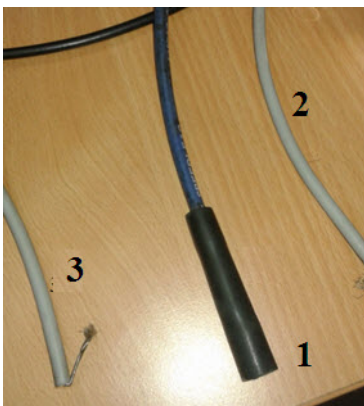
Slika 4.11: Fotografija šipke za deaktiviranje sigurnosne sklopke (levo), šematski prikaz način postavljanja šipke za deaktivizaciju (desno)



Slika 4.12: Fotografija uređaja za okidanje udarnih generatora



Slika 4.13: Zamenska šema uređaja za okidanje udarnih generatora



Slika 4.14: Izbor udarnog generatora na koji uređaj za trigerovanje priključuje

4.6 Merno-registracioni sistem

Za snimanje talasnih oblika napona i struja koristi se merno-registracioni uređaj koji se sastoji od digitalnog osciloskopa, računara i interfejsa za prenos podataka od osciloskopa do računara. U Laboratorijiza visoki napon Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu koristi se paralelni interfejs **GPIB** kao skraćenica od engleskog naziva "General Parallel Interface Board", koji omogućava istovremenu komunikaciju između jednog računara i 16 istih ili različitih uređaja koji su snabdeveni istom GPIB karticom.

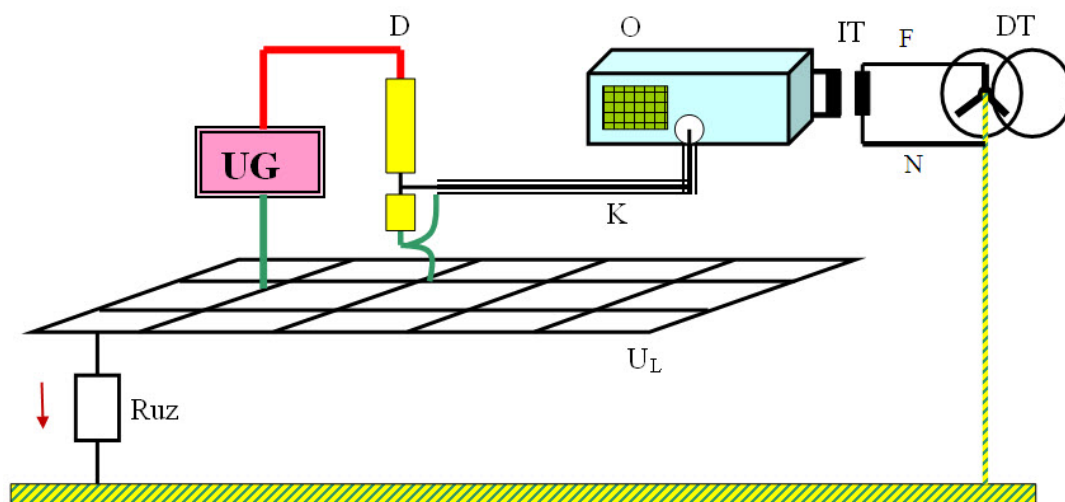
Na fotografiji 4.15 prikazan je sistem koji se sastoji od digitalnog osciloskopa starije generacije i laptop računara takođe starije generacije povezane putem GPIB - USB interfejsa (levo) i sam kabl sa USB konektorom sa jedne strane i GPIB karticom sa konektorom (desno). Pomoću ovakvog sistema se može instrument koji sadrži GPIB karticu povezati sa bilo kojim računarom koji ima USB konektor i instaliran odgovarajući softver.



Slika 4.15: Osciloskop i laptop povezani putem GPIB - USB interfejsa (levo) i kabl sa GPIB karticom i USB konektorom (desno)

Prilikom korišćenja uređaja koji se napajaju iz mreže niskog napona, a koriste se za visokonaponska ispitivanja, postoji opasnost da kućište uređaja koje je na potencijalu uzemljivača laboratorije za visoki napon dođe na različit (daleko viši) potencijal u odnosu na potencijal napajanja. Ovaj slučaj je ilustrovan na primeru udarnog generatora. Na slici 4.16 ilustrovan je slučaj kada se vrši snimanje udarnog napona sa delila napona pomoću osciloskopa napajanog preko izolacionog transformatora. Oznake na slici 4.16 imaju sledeće značenje:

UG -udarni naponski generator,



Slika 4.16: snimanje udarnog napona sa delila napona pomoću osciloskopa napajanog preko izolacionog transformatora

R_{uz} -otpornost rasprostiranja uzemljivača (otpornost između uzemljivačke mreže u podu laboratorije i daleke tačke nultog potencijala,

D -delilo napona,

K -koaksijalni kabl,

U_L -uzemljivač laboratorije,

O -osciloskop

IT -izolacioni transformator odnosa preobražaja 230:230 V,

DT -distributivni transformator 10/0.4 kV,

F -fazni provodnik iz distributivnog transformatora,

N -neutralni provodnik iz distributivnog transformatora.

Izolacioni transformator se napaja iz distributivnog transformatora 10/0.4 kV faznim naponom. Pošto je neutralna tačka distributivnog transformatora DT uzemljena za daleku tačku nultog potencijala, može se pojaviti određena potencijalna razlika između uzemljivača laboratorije U_L i neutralnog provodnika. Kućište osciloskopa O je povezano preko plašta koaksijalnog kabla K za uzemljivač laboratorije. Preko izolacionog transformatora IT potpun se galvanski odvađa osciloskop od napajanja niskog napona iz distributivne mreže.

Kao izolacioni transformator u Laboratoriji za visoki napon koristi se regulacioni transformator sa odvojenim namotajima, proizvodnje "Iskra" Kranj.

Na slici 4.17 prikazana je fotografija napajanja preko regulacionog transformatora: Oznake na slici 4.17 imaju sledeće značenje:



Slika 4.17: Fotografija napajanja preko regulacionog transformatora

1. višestruka utičnica fiksirana za prednji zid Kaveza 2, koja služi za napajanje mernih uređaja i ne isključuje se pri otvaranju vrata V2,
2. točak za regulaciju napona regulacionog transformatora,
3. razvodnik na izlazu iz regulacionog transformatora koji služi za napajanje osciloskopa i eventualno računara,
4. voltmetar na regulacionom transformatoru koji pokazuje izlazni napon, koji treba da je podešen na 220 V,
5. osciloskop koji se napaja iz regulacionog transformatora,
6. sklopka koja treba da bude uključena pri radu,
7. automatski osigurač koji može ponekad da isključi prilikom uključenja nekog elementa zbog velike struje uključenja.

4.7 Uključenje merno-regulacionog sistema

Uključenje merno-registracionog sistema sastoji se iz sledećih koraka:

1. uključenje utikača primara izolacionog transformatora (u našem slučaju regulacionog transformatora sa galvanski odvojenim namotajima) u višestruku utičnicu na zidu kaveza, obeležene kao 1 na slici 4.17,
2. u razvodnik 3 na 4.17 na izlazu iz regulacionog transformatora treba uključiti utikače za napojne kablove osciloskopa i računara,
3. spajanje GPIB utičnice na osciloskop sa jedne strane i USB komunikacionog kabla na računar,
4. uključenje sklopke 6 na regulacionom transformatoru,
5. postepeno podizanje napona do 220 V,
6. uključenje računara,
7. uključenje osciloskopa,
8. nakon podizanja sistema na računaru pokretanje programa označenog ikonom **osciloskop**.

Na kraju rada kada se isključe svi potrošači treba smanjiti regulisani napon do nule. Na taj način se prilikom narednog uključenja neće javljati velika udarna struja, koja može da isključi automatski osigurač na regulacionom transformatoru.

4.8 Osciloskop

Za registraciju talasnih oblika napona koristi se digitalni osciloskop.

Na slici 4.18 prikazana je fotografija osciloskopa Tektronix TDS 320 koji se trenutno koristi, sa oznakama osnovnih komandi. Pri tome komandna dugmad ispod i bočno od ekrana imaju višestruku ulogu, koja je definisana natpisima na ekranu pored komandnih dugmadi (glavni meni na dnu ekrana i bočni meni sa desne strane ekrana). Oznake na



Slika 4.18: Fotografija osciloskopa Tektronix TDS 320 koji se trenutno koristi

slici 4.18 imaju sledeće značenje:

1. -dugme za izbor vertikalnog pojačanja osciloskopa, izraženo u V/pod,
2. -Dugme za izbor horizontalne skale (vremenske baze), koja se izražava u s/pod, ms/pod, μ s/pod i ns/pod. Vremenska baza se ispisuje na dnu ekrana u prostoru obeleženom kao **Hor C**.
3. - Priključak za koaksijalni kabl sa BNC konektorom za kanal 1, sa signalom koji se registruje.
4. -Priključak za koaksijalni kabl sa BNC konektorom za kanal 2, sa signalom koji se registruje.

5. -Priključak za kanal kada se vrši okidanje spoljnim signalom.
6. -Dugme za izbor naponskog nivoa trigeru. Brojčana vrednost nivoa napisana je na dnu ekrana u prostoru Trig D. Osim toga, uz desnu ivicu ekrana je nivo trigeru obeležen strelicom T.
7. -Dugme za vertikalno podešavanje nultog nivoa za kanale 1 ili 2 u zavisnosti od toga koji je kanal odabran digmadima Ch 1 i Ch 2.
8. -Dugme za horizontalno pomeranje slike.
9. -Multifunkcionalno dugme, sa kojim se mogu menjati pojedine vrednosti koje treba podešavati.

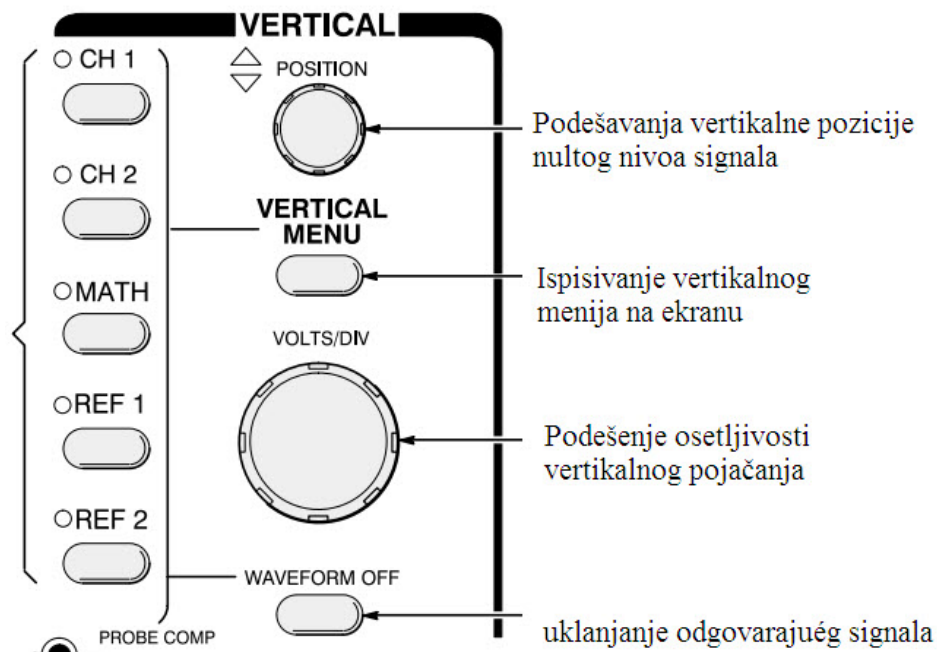
Kod podešavanja osciloskopa razlikujemo 4 tipa komandi:

1. komande za vertikalna podešenja,
2. komande za horizontalna podešenja,
3. komande za trigeroвање,
4. komande za akviziciju.

4.8.1 Komande za vertikalna podešenja

U komande za vertikalna podešenja spadaju podešenje nultog nivoa signala po vertikali i vertikalno pojačanje. Odabrana vrednost vertikalnog pojačanja se ispisuje na dnu ekrana, za kanal 1 na mestu **CH 1**, a za kanal 2 na mestu **Ch 2**. Isto komandno dugme se koristi za kanal 1 i kanal 2. Na koji se kanal odnosi podešavanje bira se pritiskom na dugmad **Ch 1** i **Ch 2** levo od dugmadi 1 i 7. Na slici 4.19 prikazan je deo komandnog panela osciloskopa koji se odnosi na vertikalna podešenja. Pritiskom na dugme **Ch 1** talasni oblik snimljen sa kanala 1 se pojavljuje i signalno svetlo pored dugmeta **Ch 1** svetli, što znači da je kanal 1 uključen. Da bi uključili kanal 2, potrebno je pritisnuti dugme **Ch 2**, i tada svetli signalna sijalica pored **Ch 2**. Da bi isključili kanal 1 ili kanal 2, potrebno je prvo aktivirati odgovarajući kanal tako da svetli signalna sijalica, a zatim pritisnuti **WAVEFORM OFF**, čime odgovarajući kanal prestaje da bude aktivan.

Pritiskom na dugme **VERTIKAL MENU**, na ekranu se pojavljuju odgovarajuće stavke uz ivicu ekrana, kao na slici 4.20. Uz svaku stavku menija na ekranu nalazi se komandno dugme pored ekrana, čijim pritiskom se odgovarajuća stavka na ekranu bira.



Slika 4.19: Deo komandnog panela osciloskopa koji se odnosi na vertikalna podešenja

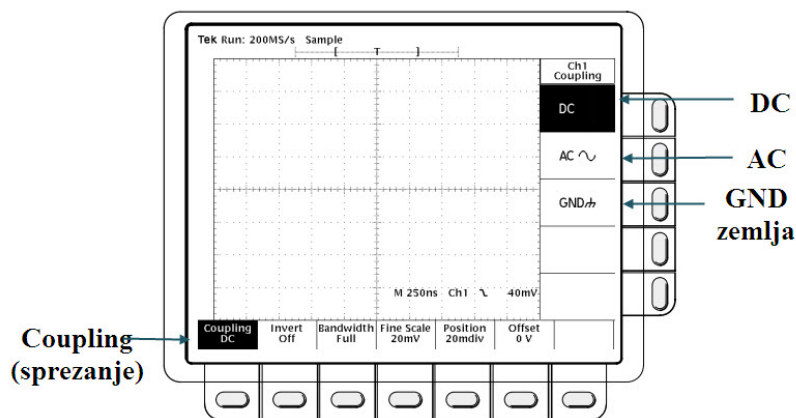
Donji meni je glavni, a desni bočni meni se menja u zavisnosti koja stavka glavnog menija je odabrana. Na primer izborom **Coupling** (sprezanje), ukoliko je kanal 1 uključen pojavljuju se na bočnom meniju stavke **DC**-direktno sprezanje, **AC** ~-sprezanje preko kondenzatora (eliminiše se jednosmerna komponenta) ili **GND**-kanal uzemljen (kada signal ima nulti nivo), koje se sve odnose na kanal 1.

Na primer pritiskom na dugme glavnog menija **Invert** - invertovanje polariteta pojavljuje se bočni meni sa stavkama **Invert on** i **Invert off**.

Osciloskop ima dve referentne memorije, koje služe za upoređivanje snimljenog talasnog oblika sa nekim od dva zapamćena talasna oblika. Pritiskom na dugme **REF 1** ili **REF 2** aktivira se bočni meni na ekranu sa mogućnostima izbora signala koji se memorišu. Postoje sledeće mogućnosti za memorisanje prema tabeli 4.1

Tabela 4.1: Mogući izvori za memorisanje talasnih oblika u referentne memorije

Save CH 1 to Ref X	Kanal 1 u referentnu memoriju REF 1 ili REF 2
Save CH 2 to Ref X	Kanal 2 u referentnu memoriju REF 1 ili REF 2
Save Math to Ref X	Rezultatni signal od Math u referentnu memoriju REF X
Save Ref Y to Ref X	Zameni sadržaj Ref X sa Ref Y



Slika 4.20: Izgled ekrana sa stavkama iz vertikalnog menija

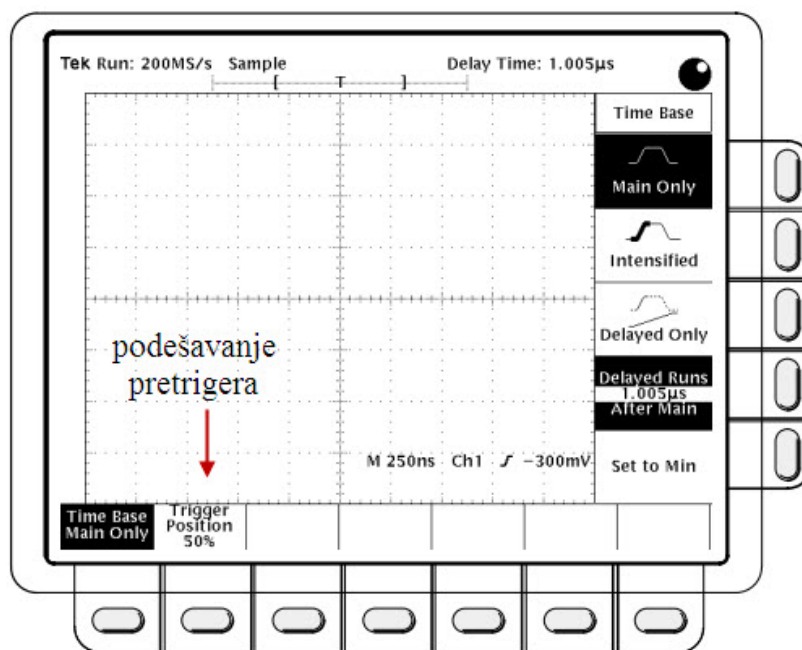
4.8.2 Komande za horizontalna podešenja

Pritiskom na dugme **Horizontal menu** na ekranu se pojavljuju glavni i bočni meni za horizontalna podešenja. Na ovom mestu će biti objašnjene samo najvažnije naredbe koje se koriste kod udarnih ispitivanja kada su u pitanju jednokratne pojave koje treba registrovati. Izgled ekrana posle pritiska na dugme **Horizontal menu** prikazan je na slici 4.21. Za potrebe snimanja jednokratnih pojava treba podestiti na na glavnom (donjem horizontalnom) meniju **Time Base** (vremenska baza), a na bočnom meniju **main only** (samo glavna), čime se bira osnovna opcija samo jedne (glavne) vremenske baze. Ostale opcije omogućavaju da se deo pojave razvuče, ili prikazuje sa kašnjenjem u odnosu na osnovnu pojavu, što neće biti rađeno u našem slučaju.

Komanda iz glavnog menija **Pretrigger Position** ima veoma važnu ulogu. Izborom ove stavke iz glavnog menija, pomoću multifunkcionalnog dugmeta 9 može se birati deo pojave pre ispunjenog kriterijuma za trigerovanje. Za impulsne pojave pogodno je da vrednost pretrigera bude između 10% i 30%, što znači da će biti registrovan deo pojave u trajanju od 10 do 30 % pre uslova za trigerovanje, računato u odnosu na ukupno trajanje pojave. Bočni meni omogućava direktno podešavanje pretrigera na vrednosti 10%,50% i 90% od trajanja pojave.

4.8.3 Komande za podešenje trigerovanja

Trigerovanje ili okidanje osciloskopa predstavlja događaj kada su se stekli uslovi da osciloskop registruje pojavu. Današni digitalni osciloskopi omogućavaju da unapred određeni procenat signala koji se registruje bude pre trenutka koji definiše trigerovanja, a ostatak



Slika 4.21: Horizontalni meni osciloskopa

je posle tog trenutka. Na taj način se može videti deo signala koji predhodi uslovima trigerovanja. Uslovi trigerovanja su definisani sa dva kriterijuma:

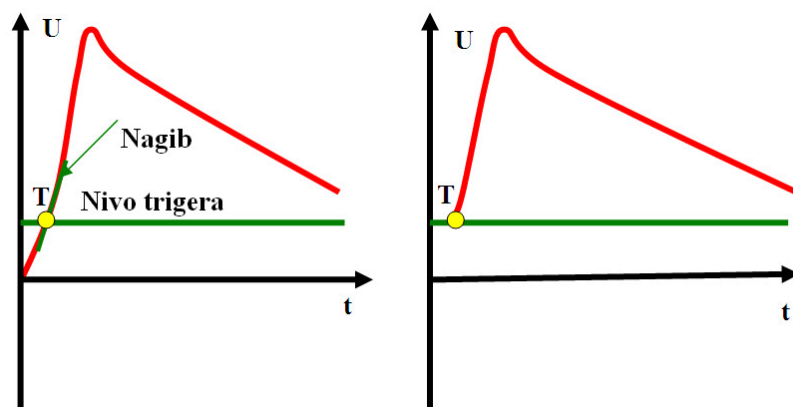
- nagib signala,
- nivo signala

Na slici 4.22 prikazan je oblik signala koji se snima (levo) i oblik signala koji je registrovan ako ne bi bilo pretrigera (registracija počinje od trenutka trigerovanja koji je obeležen sa **T** (desno). Nivo trigerovanja (Level) je određen kao neki pozitivan napon, a nagib (slope) je pozitivan. Na slici 4.23 identičan signal u slučaju kada bi bio odabran negativan nagib za trigerovanje. Može se uočiti da u slučaju negativnog nagiba registracija počinje na začelju snimanog kanala.

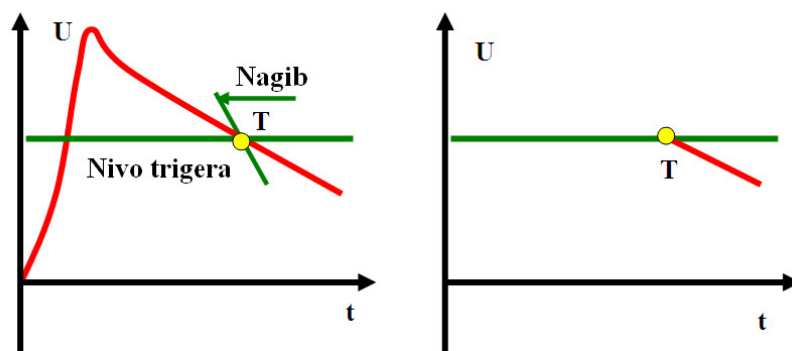
Opcija pretrigera omogućava da se vidi deo slike pre trigerovanja, ali se ipak mora voditi računa o obliku signala koji se očekuje.

Pritiskom na **Trigger menu** mogu se izabrati sledeće opcije trigerovanja:

Type (tip trigerovanja) Izbor: **Edge** (ivica) - treba izabrati, ili **video** koji ne koristi



Slika 4.22: Kompletan signal koji se trigeruje sa pozitivnim nivoom i pozitivnim nagibo(levo) i registrovan signal (desno)



Slika 4.23: Kompletan signal koji se trigeruje sa pozitivnim nivoom i pozitivnim nagibo(levo) i registrovan signal (desno)

Source (kanal sa koga se trigeruje Izbor: **Ch 1**, **Ch 2**, **Ext**, **Ext/10**, **AC line**. Bira se samo **Ch 1** ili **Ch 2**

Coupling (sprezanje) izbor: **DC** (jednosmerni napon), **AC** (naizmenični napon), **HF Reject** (odbaci visoke frekvencije), **LF Reject** (odbaci niske frekvencije) i **Noice Reject** (odbaci šum). Bira se **DC**.

Slope (nagib) Izbor: Uspon ili opadanje, (grafički prikazano)

Level (nivo trigerovanja) - podešavanje pomoću dugmeta 6. Ne koriste se bočni meni.

Mode izbor: **Auto** - automatski se podešavaju uslovi trigerovanja tako da se svaka pojava registruje, **normal** - ručno se podeše uslovi trigerovanja, tako da se registruju samo talasi koji zadovoljavaju te uslove.

Holdoff Treba izabrati **Set to min**.

4.8.4 Komande za akviziciju

Postoji dve glavne opcije za akviziciju podataka, koje su date u horizontalnom (glavnom) meniju na dnu ekrana. To su:

Mode -način rada.

Stop after -način počinjanja i završavanja registracije.

Za opcija **Mode** u glavnom meniju, pojavljuje se bočni meni sa sledećim stavkama:

1. Sample (registrovanje samo jedne pojave-talasnog oblika),
2. Peak Detect (Registrovanje maksimalnih vrednosti napona),
3. Envelope (Na osnovu više registracija talasnih oblika određivanje obvojnice za veći broj krivih),
4. Average (Određivanje srednje vrednosti talasnog oblika na osnovu određenog broja (od minimalno 2 do maksimalno 256) krivih).

Za opcija **Stop after** u glavnom meniju, pojavljuje se bočni meni sa sledećim stavkama:

1. Run/Stop button only (Pritiskom na dugme **Run/Stop** započinju posle trigerovanja registracije, koje se ponavljaju dok se narednim pritiskom na dugme **Run/Stop** ne zaustave registracije,
2. Single acquisition sequence (Posle završene registracije nema ponovnog trigerovanja, dok se ponovo ne pritisne dugme **Run/Stop**).

Kod registracije talasnih oblika udarnih napona i struja potrebno je izabrati za opciju **Mode** iz glavnog menija opciju **Sample** iz bočnog menija. Takođe za opciju **Stop after** iz glavnog menija treba izabrati opciju **Single acquisition sequence** iz bočnog menija.

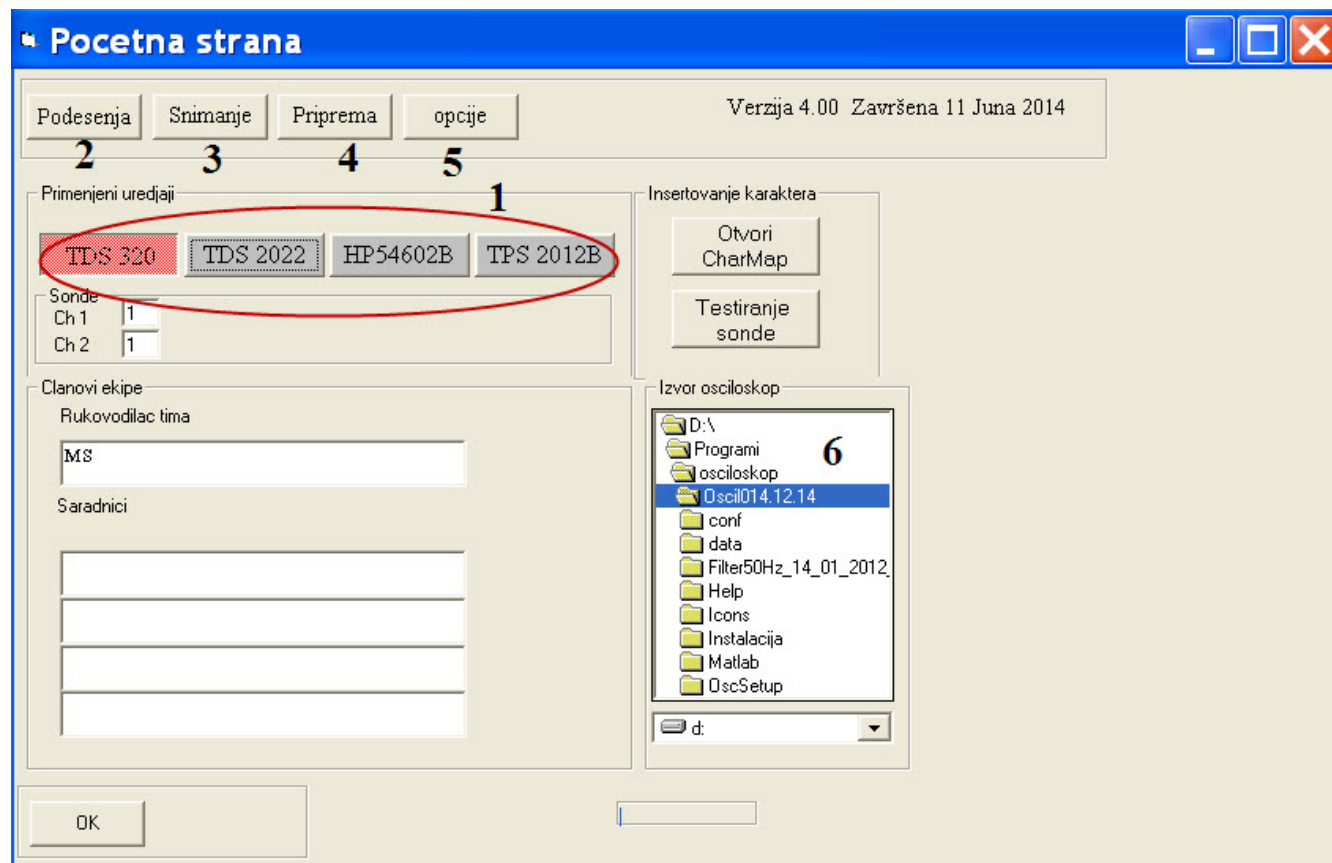
4.8.5 Upravljanje i preuzimanje podataka sa osciloskopa

4.8.5.1 Osnovno o programu

Program "Osciloskop" omogućava dvosmernu komunikaciju između računara i osciloskopa. Da bi program mogao da radi, neophodno je da na računaru postoji instaliran softver National Instruments GPIB NI 488-2 softver. Tako je potrebno da se poveže GPIB konektor na osciloskopu preko interfejsa i USB kabla na računar.

Na računaru se unose parametri podešenja osciloskopa, a zatim se preko komunikacionog kabla prenose naredbe na osciloskop. Pomoću računara se preuzimaju rezultati merenja sa osciloskopa i u određenom tekstualnom formatu zapisuju u fajl na disku. Program je kompletno razvijen na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu.

Na slici 4.24 prikazana je osnovna strana programa za komunikaciju osciloskopa i računara. Oznake na slici 4.24 imaju sledeće značenje:



Slika 4.24: Osnovna strana programa za komunikaciju sa računarom

1. Opciona komandna dugmad pomoću kojih se određuje koji su osciloskopi uključeni. Trenutno je u Laboratoriji za visoki napon elektrotehničkog fakulteta raspoloživ osciloskop **TDS 320** firme Tektronix koji ima GPIB interfejs. Ukoliko je pritisnuto opciono komandno dugme ružičaste boje (kao na slici 4.24), to znači da ne postoji komunikacija između računara i osciloskopa. Kada se uspostavi komunikacija, boja opcionog dugmeta se menja u svetlo sivu.
2. Komandno dugme **Podešenja** otvara prozor za unošenje podešenja osciloskopa direktno sa računara, bez potrebe da se bilo koja komanda vrši na osciloskopu. **NA-POMENA:** Ukoliko se neko podešenje promeni na osciloskopu tako da je različito od podešenja na računaru, pritiskom na komandno dugme **Snimanje** podešenje sa računara će se automatski preuzeti na osciloskop.
3. Komandno dugme **Snimanje** otvara prozor sa komandovanjem snimanjem i preuzimanjem snimljenih fajlova na računar.
4. Komandno dugme **Priprema** otvara prozor sa komandama za pripremu za izradu izveštaja. Vršiti se selekciju fajlova koji ulaze u izveštaj i odabira broj dijagrama koji će ići po strani izveštaja.
5. Komandno dugme **Opcije** služi za podešavanja koja koriste napredni korisnici programa.
6. Komandna lista direktorijuma u kojoj se može menjati aktivni direktorijum u kome će biti smeštani fajlovi koji su rezultat registracije.

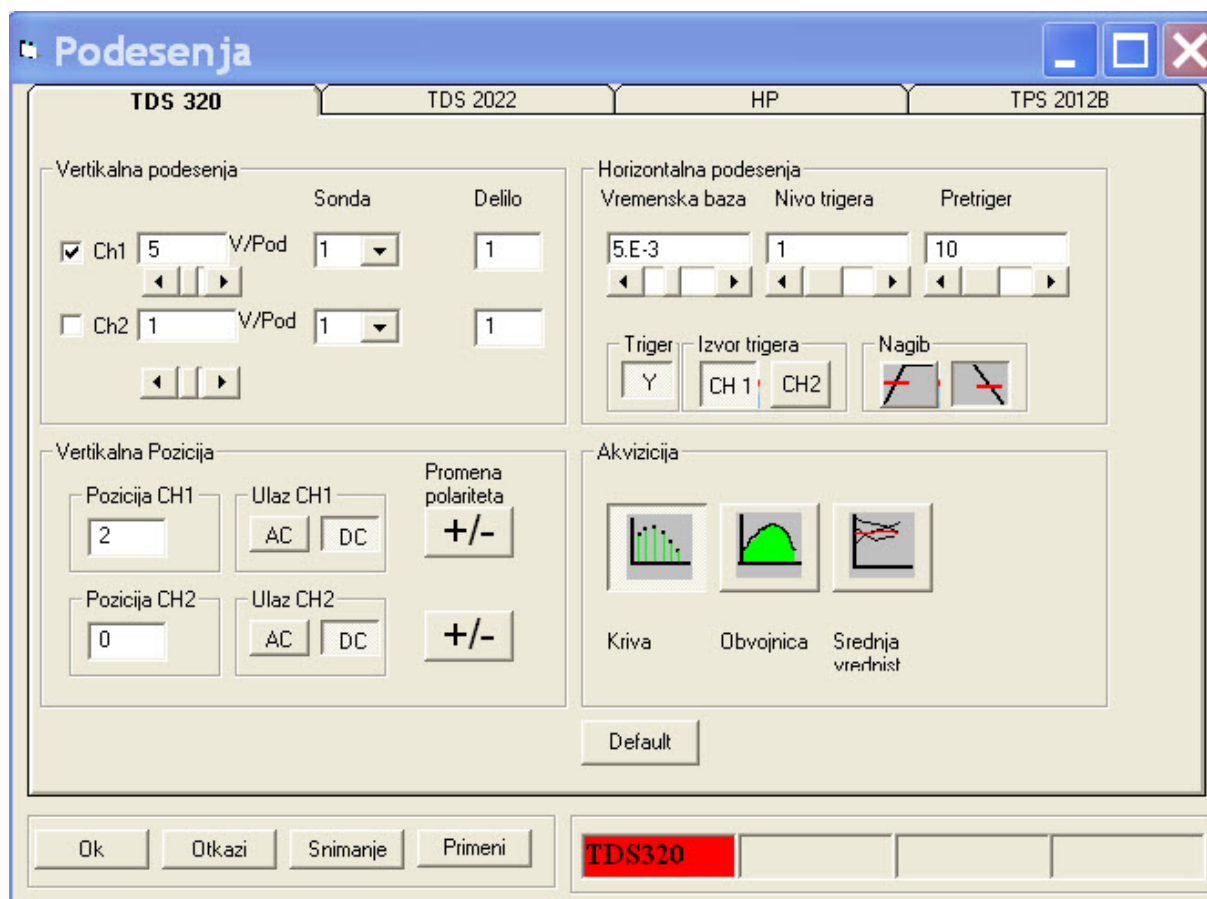
4.8.5.2 Unošenje podešenja osciloskopa

Pritiskom na komandno dugme **Podešenja** otvara se prozor koji ima izgled kao na slici 4.25:

Značenje pojedinih oznaka je sledeće:

Vertikalna podešenja -panel na kome su komande za podešavanje pojačanja za pojedine kanale

Ch 1 i Ch 2 -komande za potvrdu da li su kanal 1 ili kanal 2 uključeni za registraciju. **Napomena:** ukoliko je neki od kanala isključen na osciloskopu komandom **Waveform off**, a komandom **Ch 1** ili **Ch 2** uključen, javiće se greška pri registraciji da nije moguće preuzeti krivu. Zato je važno da na osciloskopu oba kanala budu uključena pritiskom na komandna dugmad **Ch 1** i **Ch 2**. Ovo je jedina operacija koja se mora raditi direktno na osciloskopu



Slika 4.25: Prozor za unošenje podešenja za osciloskop

Podešavanje V/pod vrši se bilo direktnim unošenjem vrednosti napona po podeoku u prostor za tekst ili sa horizontalnom trakom (scroll-bar) ispod tekstualnog prostora. Ukoliko se koristi scroll-bar, u tekstualnom prostoru se prikazuju samo standardne vrednosti pojačanja od 0.02 V/pod do 5 V/pod. Ako se u tekstualni prostor unese vrednost koja nije standardna, pozadina će promeniti boju u crvenu.

Sonda -ukoliko se koristi sonda, unošenjem njenog prenosnog odnosa će rezultati registracije biti preračunati na visokonaponsku stranu sonde. Prenosni odnosi sonde su standardni 1, 10, 100 i 1000.

Delilo -ukoliko se koristi delilo napona, unošenjem njegovog prenosnog odnosa će rezultati registracije biti preračunati na visokonaponsku stranu delila. Ukoliko se koriste i sonda i delilo, biće uvažen prenosni odnos oba uređaja.

Vremenska baza -tekstualni prostor i scroll bar za unošenje vrednosti s/pod. Vreme se uvek izražava u s. Ukoliko se koristi scroll-bar, unose se standardne vrednosti vremenske baze.

Nivo trigera -tekstualni prostor u kome se unosi nivo trigera u voltima.

Pretrigera -tekstualni prostor u kome se unosi procenat krive pre trigerovanja. Vrednost se kreće od 1 do 100. ítem [Trigger] - vrednost mora da bude **Y**, a **izvor trigera** se bira između **CH1** i **CH2**. ítem [Nagib] -nagib kao kriterijum trigerovanja se bira između rastućeg (pozitivnog) i opadajućeg (negativnog).

Pozicija CH1 i Pozicija CH2 -tekstualni prostori za unošenje pozicije nulte linije napona u odnosu na sredinu ekrana, izraženu u broju podeljaka. Na primer broj 2 označava da će linija na ekranu pri delovanju nultog napona biti 2 podeoka iznad sredine ekrana.

Ulaz CH1 i Ulaz CH2 -predstavlja način sprežanja dovedenog signala. Ako se odabere **DC**, tada će signal biti doveden direktno na pojačavač, a ako se odabere **AC** tada će biti eliminisana jednosmerna komponenta iz signala. Preporučuje se **DC**

Promena polariteta -komandno dugme kod koga se pritiskom menjaju svi parametri podešenja vezani za polaritet talasa. To su:

1. Pozicija kanala (ako je bila + **X** podeljaka, postaje - **X** podeljaka)
2. vrednost nivoa trigera (ako je bila + **T** volta, postaje - **T** volta).
3. nagib (ako je bio rastući postaje opadajući i obrnuto).

Akvizicija -bira se jedan od načina akvizicije. Za udarna ispitivanja mora da bude **kriva**.

Opcije izlaska iz programa su:

Ok -Izlazak u početni prozor uz primenu podešenja na osciloskopu,

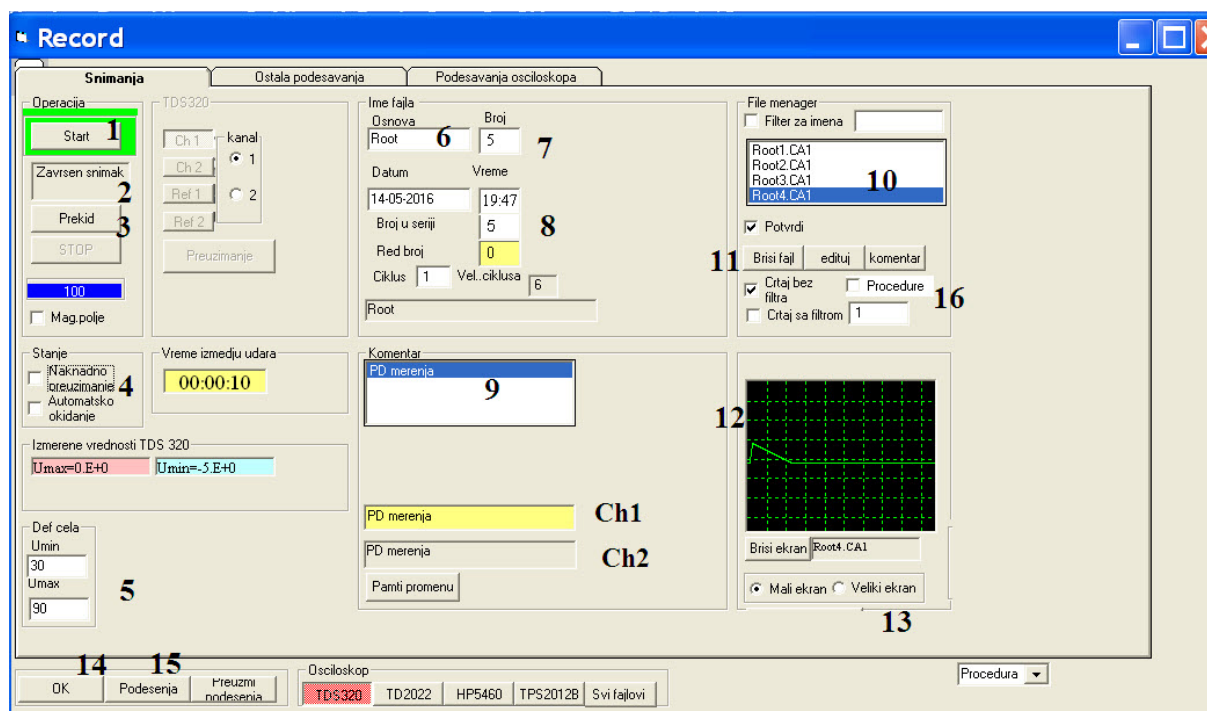
Otkazi -izlazak u početni prozor bez primene podešenja na osciloskopu.

Snimanje -Izlazak u prozora za snimanje uz primenu podešenja na osciloskopu.

Priimeni -Promena podešenja na osciloskopu bez izlaska iz prozora.

4.8.5.3 Registracija talasnih oblika

Na slici 4.26 prikazan je prozor pomoću koga se vrši snimanje talasnih oblika na osciloskopu i prenošenje i registracija na računaru. Oznake na slici 4.26 imaju sledeće značenje:



Slika 4.26: Prozor za snimanje talasnih oblika na osciloskopu i prenošenje i registracija na računaru

1. **Start** -startovanje rutine za praćenje talasnih oblika i registraciju u trenutku ispunjenja uslova triger. Dok dugme nije pritisnuto, zeleni okvir se pali i gasi opominjući korisnika da startuje snimanje.
2. Polje sa obaveštenjima. Postoje sledeća obaveštenja

Inicijalizacija -pre aktiviranja procesa registracije moraju se obaviti određene pripreme.

Osciloskop spreman - čeka se da dugme **Start** bude pritisnuto da bi se aktivirao triger.

Čekanje na triger -posle pritiska na **start** osciloskop čeka uslove za trigerovanje.

Triger. No=1 -oscilosko je trigerovalo. Polje postaje crveno. Ako se radi sa više osciloskopa, ispisuje redni broj osciloskopa koji je trigerovalo. U tom slučaju svi osciloskopi moraju da triggeruju da bi se ciklus registracije završio. Dok nisu svi triggerovali, ne može da počne novi ciklus. U slučaju da za snimanje određene pojave neki od osciloskopa nije trigerovalo, on se mora manuelno triggerovati dugmetom na osciloskopu **Force Trigger**.

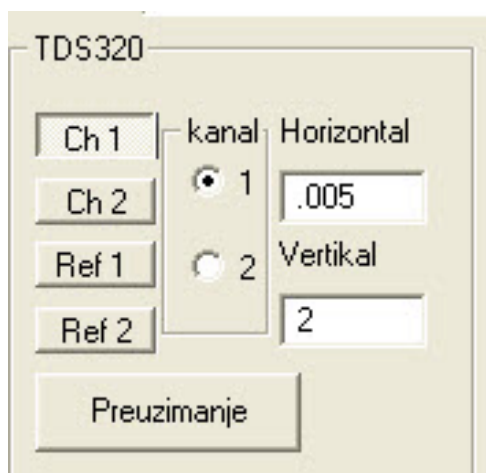
Trigerovalo -osciloskop je trigerovalo (polje obojeno crveno).

Završen snimak -Poruka se ispisuje kada je registracija završena i fajl sa podacima o krivoj zabeležen na disku.

Prekinuto čekanje -u slučaju da je dugme start pritisnuto, a želimo da prekinemo čekanje na trigger, pritiska se dugme 3 i prekida čekanje na trigger.

Preuzimanje sa USB - u slučaju da se koristi osciloskop Tektronix **TPS 2012B**, postoji mogućnost da se rezultati snime na karticu, a da se naknadno preko čitača kartica preuzmu preko USB konektora.

3. Pritiska se dugme **Prekid** u slučaju da je dugme **Start** pritisnuto, a želimo da prekinemo čekanje na trigger.
4. U slučaju da je izvršeno snimanje upravljanjem direktno sa osciloskopa, tada se kriva može naknadno pružiti na računar preko kvadrata za potvrđivanje označenog sa **Naknadno preuzimanje**. U tom slučaju postaje aktivan panel sa oznakom osciloskopa, kao na slici 4.27 za osciloskop **TDS 320**. Oznake na slici 4.27 imaju



Slika 4.27: Panel za komande preuzimanja krive sa osciloskopa

sledeće značenje:

Ch 1 ili Ch 2 -Oznaka kanala sa koga se preuzima snimak.

Ref 1 ili Ref 2 -Oznaka referentne memorije iz koje se snimak preuzima.

Kanal -opciona dugmad za izbor kanala za preuzimanje.

Horizontal -U tekstualno polje se upisuje vremenska baza podešena na osciloskopu.

Vertikal -U tekstualno polje se upisuje vertikalno podešenje na osciloskopu za kanal koji je izabran.

Preuzimanje - Pritiskom na ovo dugme vrši se preuzimanje sa osciloskopa.

Kvadrat za potvrđivanje **Automatsko okidanje**, ukoliko je označen, omogućava da osciloskop bude posle određenog vremenskog intervala automatski pripremljen za čekanje na trigger, bez pritiskanja dugmeta **Start**. Interval posle koga se automatski aktivira čekanje na trigger podešava se u prozoru **Opcije**. Opcija **Automatsko okidanje** se preporučuje samo za napredne korisnike programa.

5. Panel **Def čela** omogućava da se bira kriterijum na osnovu koga se definiše čelo talasa. Po standardima se definiše vreme čela naponskog talasa kao vreme potrebno da talas poraste od 30% temene vrednosti do 90% temene vrednosti koje je podeljeno sa 0.6, a za strujni talas to je vreme potrebno da talas poraste od 10% temene vrednosti do 90% temene vrednosti koje je podeljeno sa 0.8. U stvari je potrebno odrediti vreme čela tako što se postavlja prava kroz dve tačke tako da se u što dužem intervalu poklapa sa snimljenim čelom talasa.
6. Tekstualno polje u koje se upisuje koren imena fajla, koji ostaje identičan za kompletnu seriju merenja. Na koren se dodaje redni broj snimka iz tekstualnog polja 7. Ime fajla se formira tako što se na tako formirano ime dodaje ekstenzija koja ima oblik prema listi:

CA1 ili CA2 -ako se koristi osciloskop TDS 320, a snimanje je na kanalima 1 ili 2 respektivno.

CB1 ili CB2 -ako se koristi osciloskop TDS 2022, a snimanje je na kanalima 1 ili 2 respektivno.

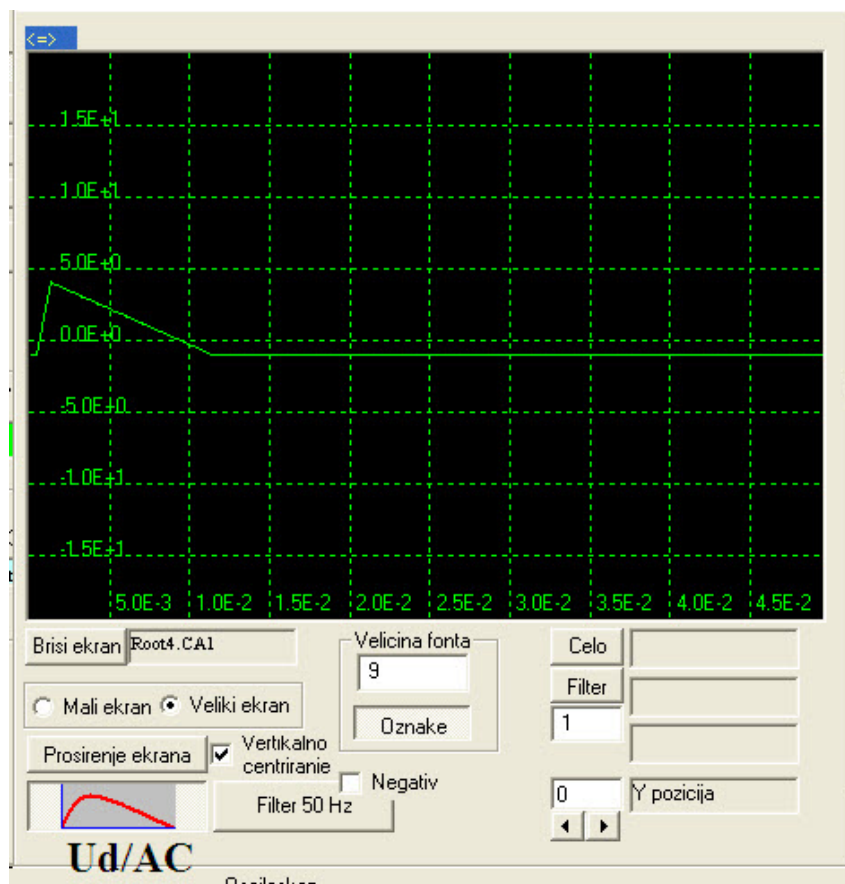
CC1 ili CC2 -ako se koristi osciloskop HP5460, a snimanje je na kanalima 1 ili 2 respektivno.

CD1 ili CD2 -ako se koristi osciloskop TPS 2012B, a snimanje je na kanalima 1 ili 2 respektivno.

Na primer, za slučaj na slici 4.26 naziv fajla bi bio **Root5.CA1**. Za sada je aktivan osciloskop **TDS 320** i **TPS 2012B**.

7. Redni broj snimka iz serije, koji ulazi u ime iz predhodne tačke.
8. Postoji opcija rada sa pripremljenim procedurama. U tom slučaju važno je znati u okviru procedure koliko se primenjuje udara (ako se radi o udarnim naponima i strujama), kao i koji je redni broj udara u okviru serije. **Broj u seriji** označava veličinu serije, a **Redni broj** do kog broja smo stigli.
9. Lista sa unapred pripremljenim komentarima koji se pridružuju snimku i pri izradi izveštaja štampaju kao naslovi slika. Ispod se nalaze 2 tekstualna polja koja se odnose na kanale **Ch1** i **Ch2** u kojima se nalazi komentar izabran iz liste 9, koji se može modifikovati. Klikom na komandno dugme **Pamti promenu** modifikovan komentar se ubacuje u listu komentara 9.

10. Lista imena snimljenih faslova.
11. Komandno dugme **Briši fajl** omogućava da se vajl iz liste 10 izbriše. Ukoliko je kvadrat **Potvrdi** označen, pre svakog brisanja biće tražena dodatna provera.
12. Simulacija ekrana osciloskopa na kome se crta prenesena kriva.
13. Izborom opcionog dugmeta veliki ekran prostor za snimljene krive 12 se uvećava kao na slici 4.28 Oznake na slici 4.28 oznake imaju sledeće značenje:



Slika 4.28: Uvećan dijagram koji simulira ekran osciloskopa sa komandama

brisi ekran -komandno dugme pomoću koga se uklanja kriva sa ekrana. Pored dugmeta je tekstualni prostor sa imenom fajla koji je na ekranu.

Mali ekran - veliki ekran -izbor da li će prikaz se prikaz vratiti na mali ekran.

Prosirenje ekrana -Na ekranu osciloskopa se prikazuje 1024 tačke po horizontali. U standardnom prikazu na računaru se takođe prikazuje samo 1024 tačke. Pritiskom na dugme **Proširenje ekrana** vide se sve registrovane tačke, ukupno 2048.

Veličina fonta -tekstualno polje u kome se unosi željena veličina fonta na oznakama osa.

Oznake -Promenom statusa Opcionog dugmeta **Oznake** mogu se oznake pored osa ukloniti ili vratiti.

Negativ -Pritiskom na opciono dugme **Negativ** može se izvršiti inverzovanje polariteta krive (preslikavanje kao u ogledalo u odnosu na osu na sredini ekrana).

Čelo -Pritiskom na komandno dugme **Čelo** određuju se vreme čela **Tc**, vreme začetja **Tz** i ampliuda talasa **Um**.

Ud/AC - Ovo je označeno opciono dugme koje prikazuje na slici 4.28 udarno ispitivanje, kada se mere **Tc**, **Tz** i **Um**. U slučaju kada se pritiskom na dugme ukaže slika naizmeničnog napona, nema više mogućnosti da se mere čelo i začetje.

Filter -Komandno dugme pomoću koga se vrši numeričko filtriranje izmerenog signala metodom klizajućeg usrednjavanja na intervalu. Ispod se nalazi dužina intervala izražena preko broja tačaka. Ako je broj tačaka 1, nema filtriranja. Kad je uključeno dugme filtra, ono menja boju u crvenu, a kriva na ekranu postaje žuta.

Y pozicija - tekstualnom polju se može menjati vertikalna pozicija dijagrama pomoću scroll-bara ispod teksta ili ukucavanjem teksta. Ako se izgubi slika, treba pritisnuti dugme **Filter**.

14. -**OK** izlazak iz prozora u početni prozor.
15. -**Podešenja** vraćanje na prozor za podešenja.
16. - Komandno dugme **Preuzmi podešenja** nije aktivno.

Poglavlje 5

Opis uređaja u Kavezu 1

U kavezu 1 smešteni su visokonaponski transformator VNT, Teslin transformator TT i strujni udarni generator SNT. Upravljanje svakim od ovih uređaja će biti posebno objašnjeno.

5.1 Visokonaponski transformator do 100 kV industrijske učestanosti

5.1.1 Šema i komandovanje

Visokonaponski transformator do 100 kV industrijske učestanosti je dobijen kao reparacija posle Prvog svetskog rata, a pušten je u pogon kada je završena Laboratorija za visoki napon 50-tih godina prošlog veka. Na slici 5.1 prikazana je zamenska šema kompletnog uređaja za ispitivanje visokim naponom.

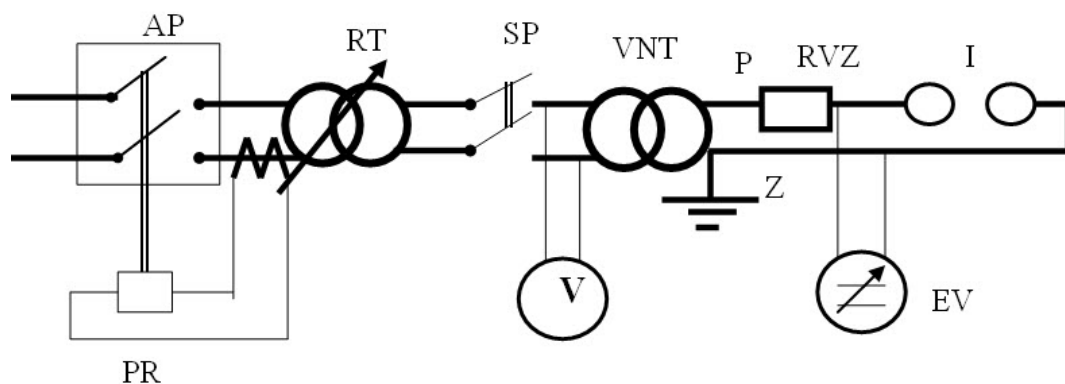
Oznake na slici 5.1 imaju sledeće značenje:

AP - automatski prekidač,

PR - prekostrujno rele,

SP - sigurnosni prekidač (rastavna sklopka),

RT - regulacioni transformator na komandnoj tabli,



Slika 5.1: Zamenska šema kompletnog uređaja za ispitivanje visokim naponom

V - voltmetar za merenje napona na izlazu iz regulacionog transformatora sa podelom koja odgovara sekundarnom naponu ispitnog transformatora,

VNT - ispitni transformator,

RVZ - zaštitni otpornik od dve cevi od izolaconog materijala napunjene destilovanom vodom,

ES - elektrostatički voltmetar,

I - iskrište za približnu procenu amplitude napona na osnovu preskoka.

Da bi se obezbedila bezbednost od zaostalog električnog opterećenja, koristi se motka za uzemljavanje koja je uvek kada se ne radi sa naponom postavljena na delu provodnika **P** ispred zaštitnog otpornika, a neposredno pred uključnje se postavlja na uzemljeni deo provodnika **Z**.

Na slici 5.2 prikazana je fotografija visokonaponskog ispitnog transformatora VNT.

Oznake na slici 5.2 imaju sledeće značenje:

1. -Izolator za 100 kV,
2. -uzemljeni izvod transformatora (izolator je u kvaru),
3. -izvod na polovini namotaja,
4. -drugi zvod na polovini namotaja (izvodi 3 i 4 su spojena i ne koriste se),
5. -dilatacioni sud za ulje,



Slika 5.2: Fotografija ispitnog transformatora do 100 kV

- 6. -kazan (kućište) transformatora,
- 7. -spoj poklopca i kućišta transformatora na kome se nalazi zaptivka.

Pošto je zaptivka zbog starosti popustila, ispušteno je ulje na nivo ispod poklopca transformatora, da ne bi dolazilo do isticanja ulja. Stoga se ne preporučuje rad transformatora sa naponima iznad 70-80 kV.

Na slici 5.3 prikazana je komandna tabla KT2 za rad sa visokonaponskim transformatorom do 100 kV.

Oznake na slici 5.3 imaju sledeće oznake:

- 1 -voltmetar na primarnoj strani visokonaponskog transformatora sa podelom u kV koja odgovara sekundarnom naponu,



Slika 5.3: Komandna tabla za visokonaponski transformator do 100 kV

- 2,3,4** -noževi za izbor opsega ampermetra (nisu u funkciji),
- 5** - prebacač koji nije u funkciji, služio je za izbor sprege transformatora,
- 6** - glavni (automatski) prekidač,
- 7** -rastavljač za sigurnosno isključenje,
- 8** -točak za grubo podešavanje napona, koji podešava napon u skokoviima,
- 9** -Klizač za fino podešavanje napona. Prilikom podešavanja napona klizač se kreće u pravcu kružne značke koja je iste boje kao što je boja kruga na sredini ispod klizača. Prilikom podešavanja napona treba biti oprezan, jer zbog dotrajalosti je moguće da disk sa kružnim oznakama koji je mehanički vezan za osovinu točka za grubo podešavanje napona nekada prokliza, pa se dešava da se oznaka smeru za promenu napona ne poklapa sa značkom na sredini ispod klizača,
- 10** -dugme za hitno isključenje.

Na slici 5.4 prikazan je zadnji deo komandne table KT2 na kojoj se vide pojedini delovi kola za upravljanje ispitnim transformatorom Oznake na slici 5.4 imaju sledeće značenje:

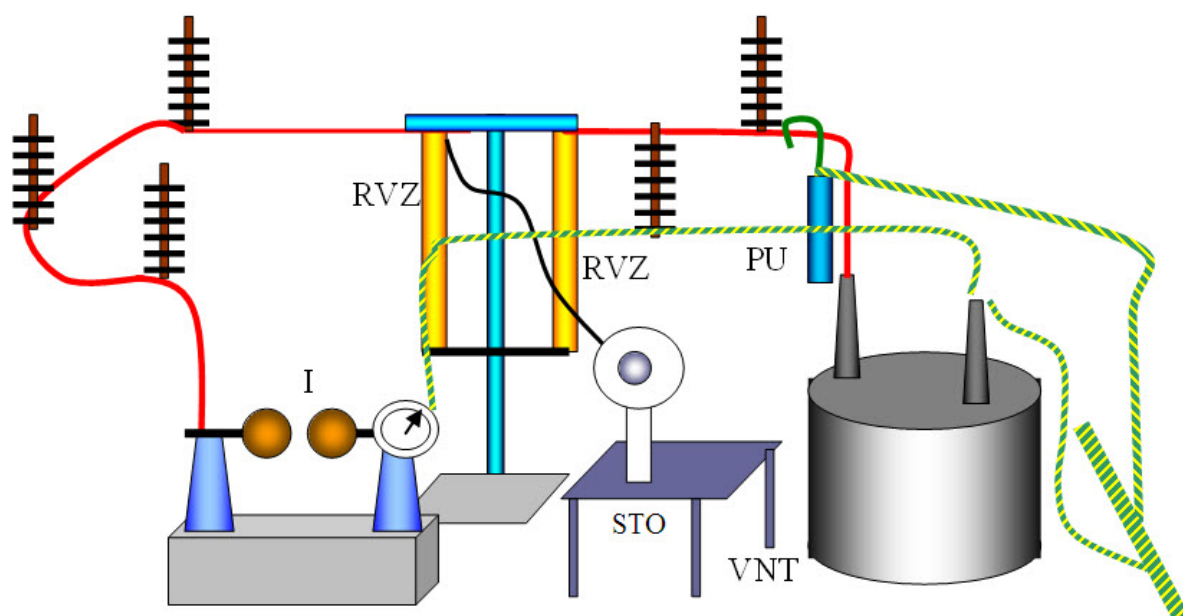


Slika 5.4: Zadnji deo komandne table za visokonaponski transformator sa regulacionim transformatorom

1. ručica automatskog prekidača,
2. regulacion transformator za finu regulaciju sa kliznim kontaktom,
3. prebacač za promenu broja navojaka na grubom regulacionom transformatoru,
4. regulacioni transformator za grubu regulaciju.

Na slici 5.5 šematski je prikazan raspored provodnika za razvod visokog napona unutar Kaveza 1.

Oznake na slici 5.5 imaju sledeće značenje:



Slika 5.5: Šematski prikaz raspored provodnika za razvod visokog napona unutar kaveza 1

VNT -visokoaponski transformator do 100 kV, čiji je desni izolator vezan za uzemljivač,

RVZ -zaštitni vodeni otpornici, dve cevi napunjene destilovanom vodom,

PU -pokretno uzemljenje, izolaciona motka sa metalnom kukom na vrhu, koja je preko savitljive žice vezana za uzemljivač,

I - sferni iskrište koje se može pomerati pod naponom pomoću dugačke obrtne poluge. Kazaljka na brojčaniku u obliku sata pokazuje razmak između sfera,

STO / ispitni sto na kome se nalazi elektrostatički voltmetar i na kome se postavljaju objekti ispitivanja.

Bakarni cevni provodnici okačeni preko izolatora za tavanicu, koji su udaljeniji od ograde su pod naponom, dok su bliži provodnici uzemljeni, kao što je označeno na slici 5.5.

Prilikom rada treba motku pokretnog uzemljivača premestiti sa provodnika pod naponom na uzemljeni provodnik. U slučaju ako se zaboravi da se premesti motka za uzemljenje, a izvrši se uključenje, relejna zaštita isključuje uređaj.

Pre početka rada, ukoliko dugo nije vršen rad u laboratoriji, potrebno je zameniti destilovanu vodu u zaštitnim otpornicima RVZ. Smanjenje otpornosti destilovane vode se

može uočiti kada se radi preskok između elektroda kada se pri malim rastojanjima i malim vrednostima preskočnih napona uočava električni luk naradžaste boje umesto plavičaste pucketave iskre.

5.1.2 Postupak ispitivanja visokim naizmeničnim naponom.

- Pripremi se ispitni objekat u Kavezu 1 na stolu označenom kao **STO** prema slici 5.5.
- Proveri se da li je elektrostatički voltmetar povezan sa uzemljenjem provodnikom 9 i vezom od prikljuka 10 do uzemljivača prema slici 4.1.
- Proveri se da li je elektrostatički voltmetar povezan sa visokim naponom koji se meri i da li se provodnik 1 prema slici 4.2 ne približava nekim metalnim objektima koji nisu na potencijalu provodnika visokog napona.
- Proveri se odabrani opseg merenja.
- Uključe se prekidači 1, 2 i 3 na komandnoj tabli KT1 prema slici 3.1. Time je obezbeđeno napajanje ispitnog transformatora i elektrostatičkog voltmetra.
- U kavezu se prebaci motka za uzemljenje sa provodnika pod naponom na uzemljeni provodnik, koji je bliže ogradi.
- Izade se iz kaveza i vrata od kaveza zabrave.
- Uključi se rastavljač za sigurnosno isključenje 7 na slici 5.3.
- Uključi se glavni (automatski) prekidač 6 na slici 5.3 podizanjem ručice na više, čime je uspostavljeno napajanje ispitnog transformatora. Signalna sijalica S1 sa slike 5.3 se uključuje.
- Pomera se klizač 9 u pravcu značke i grubo kontroliše napon na kilovoltmetru 1 na slici 5.3.
- Kada se dođe do krajnjeg položaja klizača, a voltmetra pokazivao porast napona, prebacuje se točak 8 na slici 5.3 za jedan korak, pri čemu voltmetar ne bi trebalo da promeni pokazivanje. Nakon toga klizač se pomera na suprotnu stranu, a napon bi ponovo trebalo da raste.
- U slučaju kada želimo da smanjujemo napon, postupak je suprotan.
- U slučaju da želimo hitno isključenje, pritiska se taster 10 na slici 5.3. Glavni prekidač isključuje kolo, regulacioni transformator mora ručno da se vrati u početni položaj okretanjem točka 8 slici 5.3 suprotno od pravca okretanja kazaljke na satu.

- Poluga automatskog prekidača 6 postavlja u donji položaj kada je isključen i otvara sigurnosni prekidač 7 na slici 5.3.

5.2 Teslin transformator

5.2.1 Definicija i namena

Teslin transformator je transformator koji se sastoji od dva magnetno spregnuta namotaja bez magnetnog kola, pomoću koga se mogu dobijati visoki naponi visoke učestanosti. Pored spregnutih namotaja, Teslin transformator mora da ima napojnu jedinicu koja proizvodi visokofrekvencijske povorke impulsa, kojima se napaja primar Teslinog transformatora sa malim brojem navojaka. Na sekundaru koji ima značajno veći broj navojaka se napon višestruko povećava i dobijaju se povorke oscilatorno prigušenih oscilacija visokog napona.

Teslin transformator u Laboratoriji za visoki napon Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu je pravljen za potrebe Fabrike elektroporculana u Arandelovcu za ispitivanje železničkih izolatora predviđenih za izvoz u Australiju, u skladu sa ANSI standardima za taj tip izolatora. Prema ovim standardima se zahteva da izolator mora da izdrži preskok kroz vazduh preko izolatora u trajanju od 10 s. Preskok nastaje usled delovanja visokog napona visoke učestanosti, koji po obliku i frekvenciji odgovara naponu koji proizvodi Teslin transformator. Frekvencija napona je 100 - 300 kHz, a napon dovoljan da izazove preskok na izolaciji. Nakon gašenja Fabrike elektroporculana u Arandelovcu Teslin transformator je vraćen na Fakultet.

5.2.2 Konstrukcija Teslinog transformatora

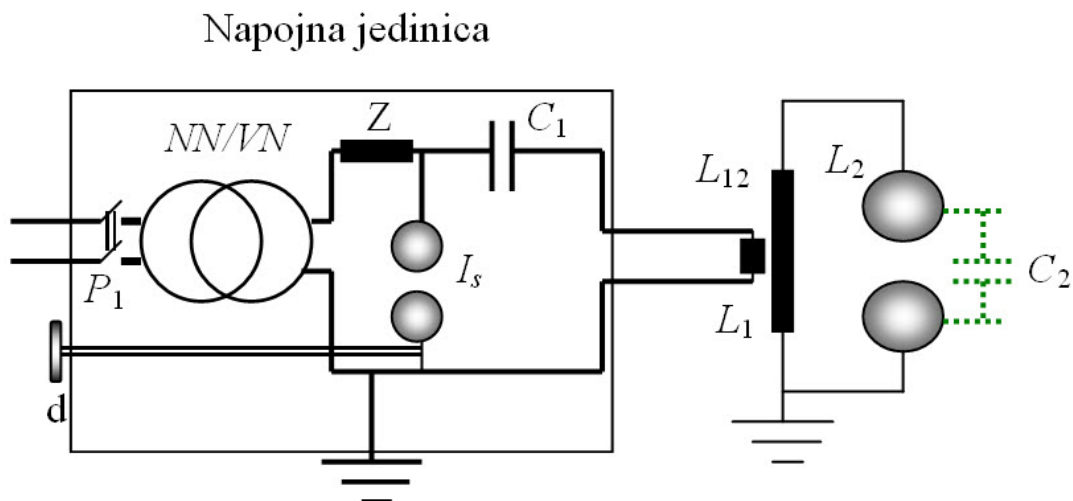
Na slici 5.6 prikazana je zamenska šema napojne jedinice i samog Teslinog transformatora na Elektrotehničkom fakultetu univerziteta u Beogradu.

Oznake na slici 5.6 imaju sledeće značenje:

P_1 -glavni prekidač na napojnoj jedinici,

NN/VN - transformator za pretvaranje niskog regulisanog napona od 0-230 V na napon najviše do 30 kV za napajanje primara Teslinog transformatora,

Z -impedansa za ograničenje struje sekundara napojnog transformatora NN/VN (u slučaju posmatranog transformatora umesto dodatne impedanse to su reaktanse rasipanja visokonaponskih namotaja i omske otpornosti namotaja napojnog transformatora),



Slika 5.6: Zamenska šema komandne jedinice i Teslinog transformatora

I_s -višestruko iskrište unutar napojne jedinice,

d -točak na prednjem zidu napojne jedinice koji omogućava preko izolacione poluge razmicanje iskrišta I_s u cilju podešavanja preskočnog rastojanja,

L_1 -sopstvena induktivnost primara Teslinog transformatora,

L_2 -sopstvena induktivnost sekundara Teslinog transformatora,

L_{12} -međusobna induktivnost između primara i sekundara Teslinog transformatora,

C_1 -kondenzator primarnog kola Teslinog transformatora,

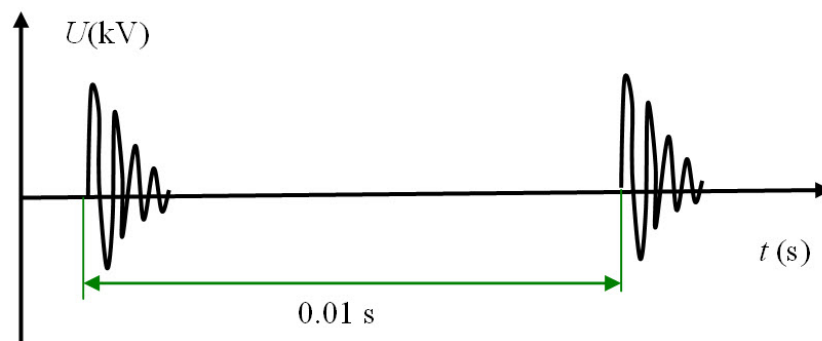
C_2 -ekvivalentna kapacitivnost između kugle priključene na sekundar Teslinog transformatora i uzemljene kugle, kao i svih parazitnih kapacitivnosti sekundarnog namotaja prema zemlji.

Napojni transformator NN/VN se sastoji od 3 jedinice čiji su sekundari vezani na red da bi se postigao dovoljno visok napon.

Kondenzator C_1 u napojnoj jedinici je sopstvene proizvodnje, napravljen od metalnih folija izolovanih stakljenim pločama, potopljenim u izolaciono ulje.

Teslin transformator radi na sledećem principu: kada izlazni napon iz napojnog transformatora NN/VN poraste iznad preskočnog napona iskrišta I_s , u konturi koju čine kondenzator C_1 i induktivnost primarnog namotaja Teslinog transformatora L_1 dolazi do

pojava oscilatorno prigušenih oscilacija kao na slici 5.7, koje se prenose na visokonaponsku stranu Teslinog transformatora, uz značajno povećanje napona, koji može dostići oko 400 kV.



Slika 5.7: Vremenska promena napona koji daje napojna jedinica, koji se povećava na seklundaru Teslinog transformatora

Fotografija Teslinog transformatora prikazana je na slici 5.8. Levo je prikazana konstrukcija samog transformatora, a desno napojna jedinica koja je van kaveza. Oznake na slici 5.8 imaju sledeće značenje:

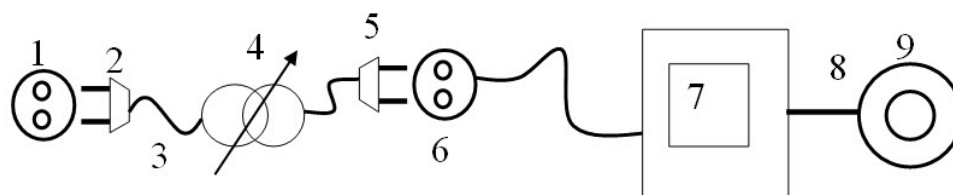
1. glavni prekidač, koji kada je uređaj uključen, treba da bude u položaju 2. Položaj 1 je neaktivan,
2. točak koji služi za podešavanje razmaka između iskrišta unutar napojne jedinice,
3. napojni kabl, kojim se uređaj napaja iz regulacionog transformatora.

Na slici 5.9 prikazana je šema napajanja Teslinog transformatora. Oznake na slici 5.9 imaju sledeće značenje:

1. - utičnica na zidu laboratorije za 230 V,
2. -dvopolni utikač,
3. -dvožiči fleksibilni kabl za napajanje regulacionog transformatora,
4. -regulacioni transformator 0-230 V za struju od 10 A ili veću,
5. -dva jednopolna banana utikača ili dvopolni utikač za regulisani (izlazni) napon autotransformatora,



Slika 5.8: Fotografija Teslinog transformatora (levo) i napojne jedinice (desno)



Slika 5.9: šema napajanja Teslinog transformatora

6. -pokretna utičnica na početku kabla za regulisani napon za napajanje napojne jedinice Teslinog transformatora regulisanim naponom 50 Hz,
7. -napojna jedinica Teslinog transformatora,
8. -visokonaponski dvopolni kabl za napajanje primara Teslinog transformatora,
9. - Teslin transformator.

Na slici 5.10 prikazana je fotografija elemenata za napajanja Teslinog transformatora



Slika 5.10: Fotografija elemenata za napajanja Teslinog transformatora sa identičnim oznakama kao na slici 5.9

5.2.3 Puštanja Teslinog transformatora u rad

Postupak puštanja Teslinog transformatora u rad je sledeći:

1. Uključi se napojni kabl u regulacioni transformator.
2. Regulacion transformator se uključi u utičnicu u zidu.
3. Uključi se preklopka 1 na slici 5.8 u položaj 1.
4. Postepeno se podiže napon dok ne dođe do preskoka na iskrištu.
5. Ukoliko ne dolazi do preskoka na iskrištu, treba približiti elektrode iskrišta okretanjem točka 2 na slici 5.8 , odnosno **d** na slici 5.6 dok ne dođe do preskoka.

Napomena: Napajanje Teslinog transformatora nije blokirano vratima na Kavezu 1. To znači da se vrata mogu otvoriti, a da Teslin transformator nastavi sa radom.

5.3 Strujni udarni generator

5.3.1 Namena strujnih udarnih generatora

Strujni udarni generatori služe za ispitivanje električnih aparata i električne opreme ili njihovih pojedinih delova udarnim strujama raznih talasnih oblika. Posebno je važna primena strujnih udarnih generatora za ispitivanje odvodnika prenapona. Standardni talasni oblici koji se koriste za ispitivanje odvodnika prenapona su prema evropskim standardima:

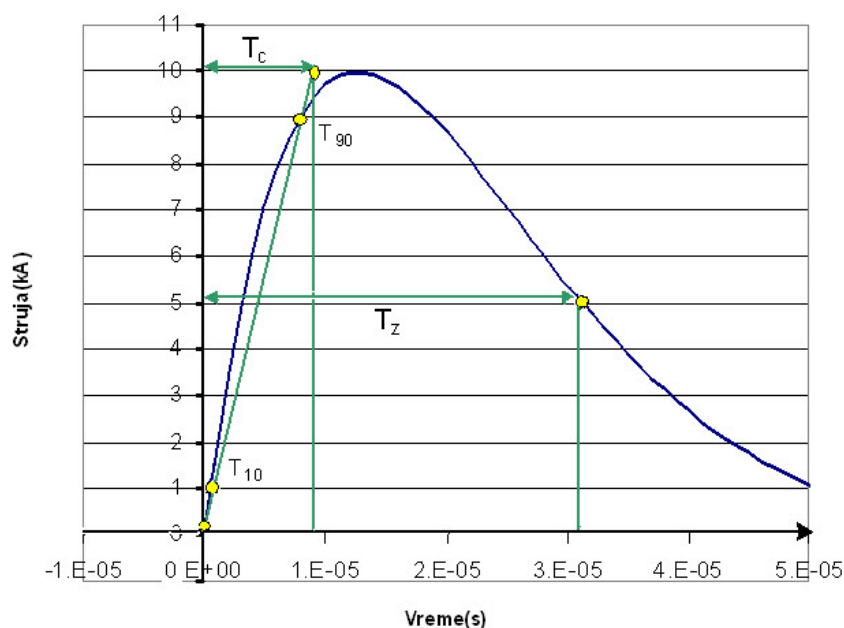
1. kratkotrajan strujni talas za ispitivanje podnosivom udarnom strujom čela $4\mu\text{s}$ i začeljem $10\mu\text{s}$ maksimalne amplitude do 100 kA,
2. kratkotrajan strujni talas za određivanje preostalog napona odvodnika prenapona pri nazivnoj struji odvodjenja, čela $8\mu\text{s}$ i začelja $20\mu\text{s}$, maksimalne amplitude do 100 kA,
3. kratkotrajan strujni talas za određivanje preostalog napona odvodnika prenapona pri strmom udarnom strujnom talasu, čije je trajanje čela $1\mu\text{s}$ i začelje ne duže od $20\mu\text{s}$,
4. sklopni strujni udarni talas, kod koga je vreme čela $30\mu\text{s}$, a vreme začelja dvostruko vreme čela,
5. dugotrajni strujni talas pravougaonog oblika, koji na početku veoma brzo raste do maksimalne vrednosti, zatim određeno vreme zadržava tu vrednost, a nakon toga naglo opada na nulu.

Strujni udarni generatori se osim ispitivanja elektroenergetske opreme na atmosferske i sklopne udarne struje pri tipskim ispitivanjima mogu koristiti u drugim oblastima, kao što su oblast nuklearne fizike, fizike plazme, lasera itd.

U Laboratoriji za visoki napon napravljen je strujni udarni generator koji može da se koristi samo za dobijanje kratkotrajnih strujnih talasa za ispitivanje podnosivom strujom do 15 kA (pod rednim brojem 1) i kratkotrajnih strujnih talasa za određivanje preostalog napona odvodnika do 15 kA (pod rednim brojem 2). Postupak za dobijanje ostalih oblika strujnih talasa nije još razvijen. Trenutno nije moguće raditi sa većim amplitudama udarnih struja zbog ograničenih mogućnosti mernog sistema. Očekuje se da uskoro ovaj problem bude prevaziđen.

5.3.2 Standardni oblik kratkotrajnog udarnog talasa za ispitivanje odvodnika prenapona

Oblik standardnog atmosferskog strujnog talasa kratkog trajanja se definiše na veoma sličan način kao kod naponskih udarnih talasa. Na slici 5.11 prikazan je tipičan talasni oblik strujnog talasa i postavljanje prave linije koja definiše linearizovano čelo talasa.



Slika 5.11: Tipičan oblik udarnog strujnog talasa i način određivanja čela i začelja

Čelo talasa se određuje na taj način što se provlači prava koja prolazi kroz tačke u kojima struja postiže 10% i 90% amplitude struje. Čelo talasa se zatim izračunava iz izraza:

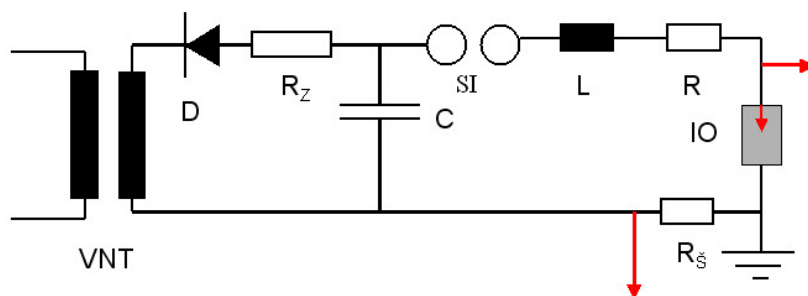
$$T_C = \frac{T_{90} - T_{10}}{0.8} \quad (5.1)$$

Vreme čela strujnog talasa je vreme potrebno da linearizovano čelo pretstavljeno pravom linijom koja prolazi kroz tačke 10% i 90% od amplitude poraste od nulte vrednosti do pune amplitude talasa. Na slici 5.11 je izabrana amplituda strujnog talasa 10 kA.

Vreme začelja je vreme potrebno da talas na opadajućem delu opadne na polovinu svoje amplitude.

5.3.3 Dobijanja strujnih udarnih talasa kratkog trajanja

Strujni udarni talasi kratkog trajanja se u laboratorijama dobijaju pražnjenjem velikih kondenzatorskih baterija kroz kolo koje sadrži mali induktivitet i otpornost. Na slici 5.12 prikazana je principijelna šema po kojoj se dobijaju strujni talasi.



Slika 5.12: Šema po kojoj se dobijaju strujni talasi kratkog trajanja

Na slici 5.12 oznake imaju sledeće značenje:

VNT - visokonaponski transformator, koji se napaja regulisanim naponom iz regulacionog transformatora,

D - visokonaponska dioda za ispravljanje naizmeničnog napona u jednosmerni,

R_Z - zaštitni otpornik za ograničenje struje punjenja kondenzatora,

C - baterija kondenzatora koja se sastoji od jednog ili više visokonaponskih kondenzatora u kojima se akumulira energija udarnog generatora,

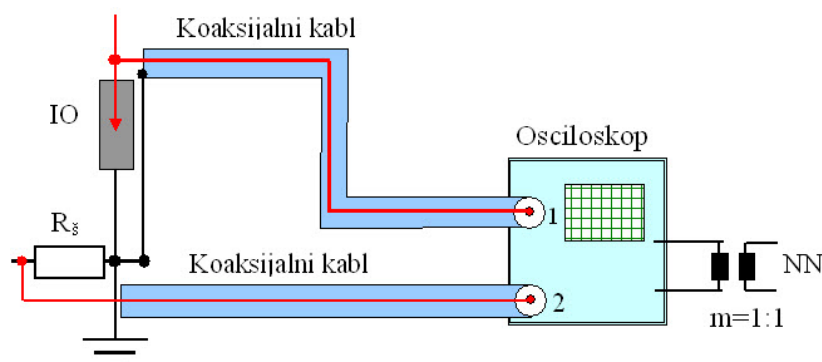
SI -sferno iskrište koje služi za okidanje strujnog udarnog generatora,

L - induktivitet prigušnice i svih ostalih elemenata strujnog udarnog generatora,

R - otpornost otpornika za podešavanje oblika talasa i otpornost svih ostalih elemenata kola,

IO - ispitni objekat, koji je najčešće odvodnik prenapona,

R_s - otpornik (šant za merenje udarnih struja), sa koga se pad napona vodi na merni instrument kojim se registruje talasni oblik struje.



Slika 5.13: Šema po kojoj se vrši jednovremeno snimanje napona na objektu i struja koje daje udarni generator

Na slici 5.13 prikazan je detalj snimanja napona na objektu, koji se preko koaksijalnog kabla vodi na kanal 1 osciloskopa, kao i struje koja se meri pomoću šanta za merenje udarnih struja i vodi na kanal 2 osciloskopa.

Oznake na slici 5.13 imaju sledeće značenje:

NN - napajanje osciloskopa iz mreže niskog napona

$m = 1 : 1$ - izolacioni transformator odnosa preobražaja 1:1, čiji su primarni i sekundarni namotaj međusobno izolovani za napon od nekoliko kV do nekoliko desetina kV u zavisnosti od visine napojnog napona kondenzatora udarnog generatora i očekivane udarne struje.

1 i 2 - ulazni kanali 1 i 2 osciloskopa.

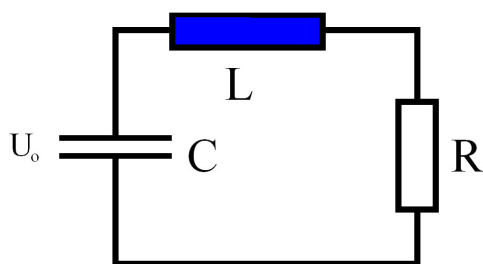
Prilikom ispitivanja udarnim naponima i strujama veoma je važno izvršiti pravilno uzemljenje visokonaponske ispitne opreme. Ispitna i merna oprema treba da budu uzemljene u jednoj tački da se ne bi pojavljivali padovi napona na uzemljivačkim provodnicima zbog induktivnog pada napona usled proticanja impulsnih struja. Kućište osciloskopa vezano je preko plašta za tačku uzemljenja udarnog generatora. Ukoliko se pojavi porast potencijala tačke uzemljenja u odnosu na tačku referentnog potencijala, taj porast se prenosi i na kućište osciloskopa. Do porasta potencijala u tački uzemljavanja udarnog strujnog generatora dolazi zbog toga što se pri impulsnim pojavama ne vraća sva struja definisanim strujnim kolom povratnog puta do donjeg priključka kondenzatora, već se deo struje zatvara prema zemlji preko parazitnih kapacitivnosti i induktivnosti, što neminovno dovodi do proticanja struje debalansa kroz uzemljivač. Struje koje protiču kroz uzemljivač su visokofrekventne, čija je frekvencija jednaka frekventnom spektru udarnog strujnog talasa, mada ponekad može da bude znatno viša od frekvencije udarne struje koju

koristimo za ispitivanje. Da bi sprečili da visokofrekventni porast potencijala uzemljivača prenesen na kućište osciloskopa dovede do razornog pražnjenja između kućišta i energetskog napajanja osciloskopa iz mreže niskog napona, koristi se izolacioni transformator odnosa preobražaja 1:1 čiji su primar i sekundar međusobno izolovani da mogu da izdrže nekoliko kV ili nekoliko desetina kV. Primena izolacionih transformatora za napajanje uređaja iz mreže niskog napona pri visokonaponskim ispitivanjima je obavezno.

Da bi se koristio samo jedan osciloskop za merenje pada napona na ispitivanom objektu i za merenje struje preko pada napona na šantu R_{Σ} , i objekat ispitivanja i merni šant za udarne struje su uzemljeni u istoj tački. Potencijal tačke uzemljenja se preko plašta koaksijalnih kablova vodi na kućište osciloskopa. Pri merenju struje pojavljuje se naponski signal inverznog polariteta u odnosu na merenje napona na objektu, zbog čega pri snimanju treba na osciloskopu podesiti inverziju signala za merenje struja u odnosu na signal za merenje napona na objektu ispitivanja.

Okidanje strujnog udarnog generatora se vrši pomoću trigatrona na identičan način kao kod naponskog udarnog generatora.

Na slici 5.14 prikazana je pojednostavljena električna šema udarnog strujnog generatora posle reagovanja iskrišta na osnovu koga se može odrediti talasni oblik strujnog udarnog talasa.



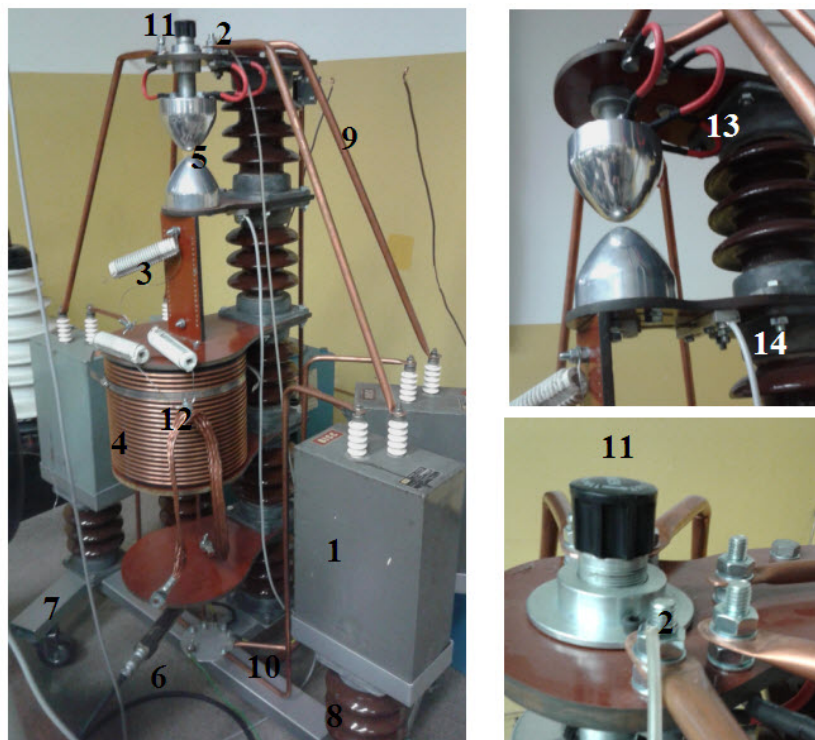
Slika 5.14: Pojednostavljena električna šema udarnog strujnog generatora posle reagovanja iskrišta

Na slici 5.14 oznaka R odnosi se na ukupnu otpornost kola u koje uključena otpornost ispitnog objekta i mernog šanta R_{Σ} . Na osnovu šeme može se izračunati vremenski oblik struje pražnjenja pri naponu punjenja kondenzatora C koji iznosi U_0 .

Mogu se razlikovati tri slučaja u zavisnosti od odnosa parametara R , L i C kola. To su slučaj oscilatorno prigušenog talasa, aperiodičnog talasa i aperiodično kritičnog talasa.

5.3.4 Konstrukcija strujnog udarnog generatora

Na slici 5.15 prikazana je fotografija strujnog udarnog generatora atmosferskih udarnih strujnih talasa koji se nalazi u Laboratoriji za visoki napon Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu.



Slika 5.15: Fotografija strujnog udarnog generatora atmosferskih udarnih strujnih talasa

Oznake na slici 5.15 imaju sledeće značenje:

1. kondenzatori C sa slike 5.12 čijim se rasterećenjem dobija udarna struja,
2. tačka u kojoj se priključuje napajanje jednosmernim naponom,
3. otpornik R za podešavanje talasnog oblika udarne struje sa slike 5.12,
4. induktivni kalem L za podešavanje talasnog oblika udarne struje sa slike 5.12,
5. iskrište sastavljeno od dve kalote, pri čemu je gornja kalota troelektrodna, na koju se dovodi impuls za okidanje iz trigatrona,
6. šant za merenje impulsnih struja,

7. postolje na točkovioma,
8. izolatori na kojima su postavljeni kondenzatori, čija kućišta su na polovini napona punjenja kondenzatora,
9. cevni provodnici za punjenje kondenzatora, koji su vezani za priključke kondenzatora koji su pod naponom,
10. cevni provodnici za povezivanje uzemljenih priključaka kondenzatora sa zemljom,
11. točak pomoću koga se može vršiti podešavanje razmaka iskrišta,
12. obujmica postavljena preko induktivnog kalema, koja služi za promenu broja zavojaka koji definišu induktivitet prigušnice,
13. provodnici za dovođenje struje od cevnih provodnika za dovođenje struje od kondenzatora do elektrode iskrišta,
14. priključak kabla za dovođnaponskog impulsa za okidanje na troelektrodnu elektrodu iskrišta (donja elektroda).

5.3.5 Šant za merenje udarnih struja

Fotografija šanta za merenje velikih udarnih struja prikazana je na slici 5.16.



Slika 5.16: Fotografija šanta za merenje velikih udarnih struja

Oznake na slici 5.16 identične su sa oznakama na sledećoj slici 5.17 na kojoj je prikazana skica otpornika za merenje struje.

A schematic diagram of a four-terminal device. The device consists of a central channel with two parallel electrodes (top and bottom) and two side electrodes (left and right). The top and bottom electrodes are labeled with current I and $I - i_m$ respectively. The side electrodes are labeled with current i_m . The voltage across the device is labeled ΔU . The device is connected to a ground symbol (5) and a terminal (4). The diagram includes numbered labels 1 through 9 indicating various components and connections.

Oznake na slikama 5.16 i 5.17 imaju sledeće značenje:

1. priključak za ulazak struje u merni otpornik (šant),

- U prostoru 9 koji je ispunjen izolacijom između otporne cevi 8 i oklopa 6 koji predstavlja povratni put za struju postoji magnetno polje prouzrokovano proticanjem struje

kroz otpornu cev. Međutim magnetni fluks u tom prostoru utiče na induktivitet između priključaka 1 i 2. Na pad napona između tačaka 1 i 3 ovaj fluks nema uticaja, tako da pad napona ΔU sadrži samo otpornu komponentu.

Pad napona na šantu ΔU se računa na osnovu izraza:

$$\Delta U = R \cdot (I - I_m) \quad (5.2)$$

gde je:

I -ukupna udarna struja koja se meri

I_m - struja koja protiče kroz centralni provodnik 7 koji prenosi razliku potencijala sa početka otporne cevi 8 do koaksijalnog priključka 3,

$I - I_m$ -razlika ukupne struje I koja se meri i struje I_m koja protiče kroz koaksijalni kabl ka mernom instrumentu,

R -otpornost cilindra 8 na kome se meri pad napona usled proticanja razlike struja $I - I_m$,

Koaksijalni kabl je završen sa omskim otpornikom čija je otpornost jednaka karakterističnoj impedansi kabla Z_c , čime se sprečavaju refleksije talasa od mernog instrumenta.

Struja I_m se može izračunati na osnovu sledećeg izraza:

$$I_m = \frac{\Delta U}{Z_c} \quad (5.3)$$

Zamenjivanje struje I_m iz 5.3 u izraz 5.2 i sređivanjem se dobija:

$$\Delta U = \frac{R \cdot I}{1 + \frac{R}{Z_c}} \quad (5.4)$$

Vrednost otpora šanta koji se koristi u Laboratoriji za visoki napon je $R = 0.005 \Omega$. Karakteristična impedansa kabla koji se koristi za koaksijalni šant je $Z_c = 50 \Omega$. Vodeći računa od odnosa između vrednosti otpora R i Z_c može se zaključiti da se za izračunavanje otpora može koristiti približan izraz sledećeg oblika:

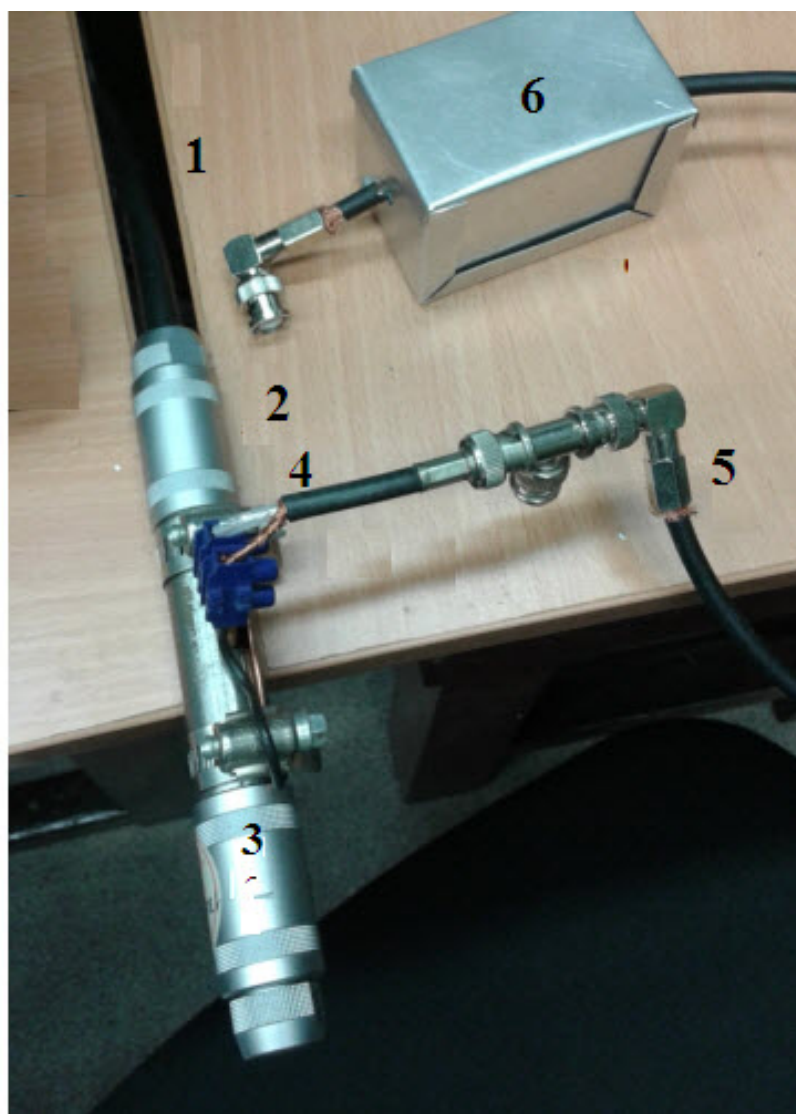
$$\Delta U \approx R \cdot I \quad (5.5)$$

Greška usled zanemarenja uticaja struje kroz završni otpornik je 0.01 %. Izmerena vrednost otpornosti šenta je $R_s = 0.005517 \Omega$.

5.3.6 Priključenje šanta na merni instrument

Koaksijalni merni kabl koji vodi od koaksijalnog šanta za merenje udarnih struja do mernog instrumenta je specijalne konstrukcije, sa dvostrukim oklapanjem i mogućim radom sa naponima do 1500 V. Konektori su specijalne izrade za priključak za specijalizovane instrumente za visokonaponska ispitivanja.

Na slici 5.18 prikazan je kabl sa konektorom i specijalnim adapterom razvijenim na Elektrotehničkom fakultetu za priključak na univerzalne osciloskope sa takozvanim "BNC" konektorima.



Slika 5.18: Kabl sa konektorom, adapterom i filtrom ispred mernog instrumenta

Oznake na slici 5.18 imaju sledeće značenje:

1. -koaksijalni kabl sa mernim signalom koji se vodi od šanta do završnog konektora,
2. -konektor,
3. -standardni završni otpornik za sprečavanje refleksija od 50Ω , koji se uključuje u završni konektor,
4. -improvizovan adapter za sprovođenje mernog signala do mernog instrumenta,
5. -koaksijalni kabl male dužine do kutije sa završnom impedansom-filterom,
6. -kutija sa završnom impedansom-filterom sa kratkim kablom za priključak na osciloskop.

Kada se snima udarna struja, javljaju se visokofrekvencijske oscilacije na početku impulsa, koje mogu ponekad da budu izuzetno velike amplitude, koja može da prevaziđe visinu napona usled pada napona na šantu usled udarne struje koja se snima. Postoji više tumačenja porekla ovih vrlo kratkotrajnih visokofrekvencijskih impulsa:

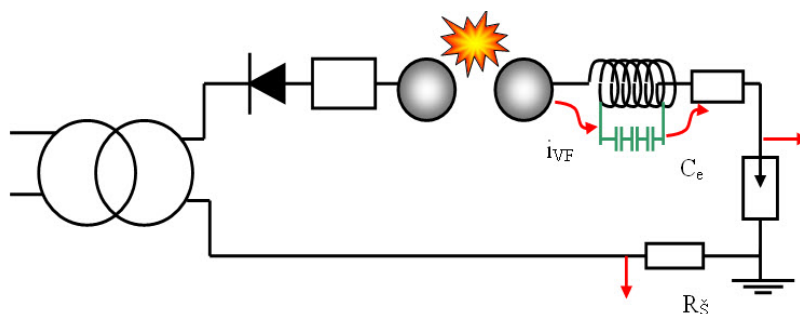
- uticaj iskre pri preskoku na iskrištu koja izaziva veoma strmi strujni talas koji se ne zatvara kroz kompletno strujno kolo, već kroz parazitne kapacitivnosti,
- uticaj visokofrekventnog elektromagnetnog polja koje nastaje pri preskoku na iskrištu koje može indukovati napone u mernom kolu,

Na slici 5.19 prikazana je ekvivalentna šema u kojoj je prikazana mogućnost nastanka visokofrekventnih strujnih oscilacija kada se pri preskoku između kugli iskrišta umesto kroz induktivni kalem zatvaraju kroz parazitne kapacitivnosti između navojaka.

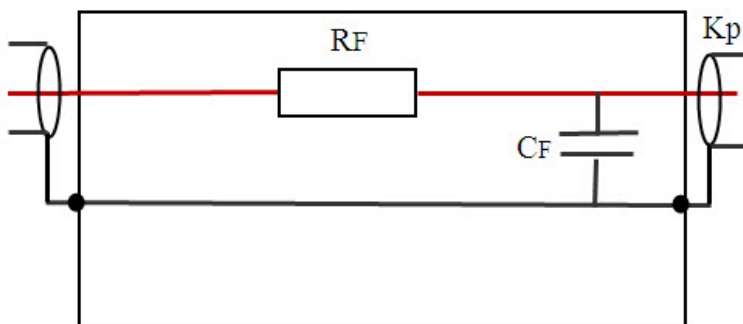
Zbog veoma visoke frekvencije ovih impulsa digitalni osciloskopi ne mogu da ih u potpunosti registruju, već se mogu uočiti samo nekoliko odbiraka iz celog signala. Postoji opasnost da visokofrekventni oscilatorni impulsi budu tako velike amplitude da mogu oštetiti ulazno kolo osciloscopa, a da digitalni osciloskop uopšte ne registruju opasne napone. Zbog toga se preporučuje filtriranje signala.

Na slici 5.20 prikazana je konstrukcija filtra na kraju kabla za dovod mernog signala sa šanta ispred osciloskopa. Ovaj filter je prikazan na slici 5.18 pod rednim brojem 6.

Oznake na slici 5.20 imaju sledeće značenje:



Slika 5.19: Visokofrekventne strujne oscilacije pri preskoku između kugli iskrišta koje se zatvaraju kroz parazitne kapacitivnosti između navojaka kalema



Slika 5.20: Konstrukcija filtra na kraju kabla za dovod signala sa šenta

R_F -otpornik promenljive otpornosti, koja se može podešavati,

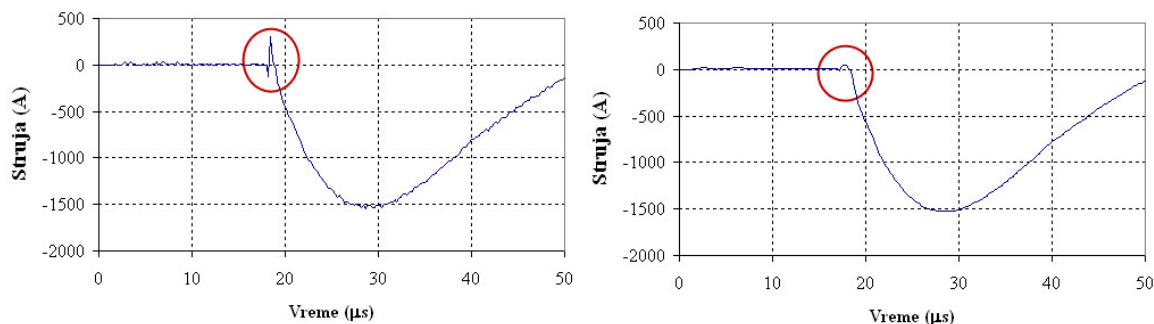
C_F -kondenzator, koji može biti promenljive kapacitivnosti,

K_p -koaksijalni priključak.

Na slici 5.21 prikazan je talasni oblik nefiltriranog talasnog oblika udarne struje (levo) i filtriranog talasnog oblika udarne struje (desno). U ovom slučaju registrovana amplituda visokofrekvencijskih oscilacija je mala, stim što veoma verovatno najveći deo tih oscilacija uopšte nije registrovan. Oscilacije su obeležene crvenim krugom

5.3.7 Puštanje u rad strujnog udarnog generatora

Procedura puštanja u rad strujnog udarnog generatora se sastoji od 3 grupe radnji:



Slika 5.21: Talasni oblik nefiltriranog talasnog oblika udarne struje (levo) i filtriranog talasnog oblika udarne struje (desno)

1. Uključenje merno-registracionog sistema.

- (a) Uključenje elektrostatičkog voltmetra za praćenje napona punjenja strujnog udarnog generatora opisano je u odeljku 4.1.3.
- (b) Uključenje merno registracionog sistema opisano je u odeljku 4.7,
- (c) Merni kabl sa završnim otpornikom i filtrom za eliminaciju VF signala prikazan na slici 5.18 na strani 73 se povezuje za osciloskop.

2. Uključenje sistema za trigerovanje

- (a) Kabl za trigerovanje se spaja prema slici 4.14 na strani 29 spajajući kabl 2 sa izlaznim kablom iz trigatrona,
- (b) Napajanje uređaja za trigerovanje naponom 230 V vrši se uključenjem kabla 1 prema slici 4.12 na strani 28 u višestruku utičnicu na prednjem zidu kaveza 2.

3. Uključenje sistema za napajanje

- (a) mora se obavezno proveriti da li je blokada **B2** na Kavezu 1 aktivna, prema poglavlju 4.4 na slici 4.10 na strani 26.
- (b) uključenje transformatora 220/110 kV prema fotografiji 4.6 na strani 22 za sigurnosni relej u uređaju DC1,
- (c) priključivanje napajanja strujnog generatora u Kavezu 2 prema slici 4.8 na strani 24, gde treba spojiti kabl za napajanje udarnog strujnog generatora sa priključkom na zaštitnom otporniku R_z uređaja za rasterećenje. U slučaju kada se koristi elektrostatički voltmetar koji je vezan direktno za uređaju za rasterećenje, tada se strujni udarni generator može napajati kratkim izolovanim provodnikom od visokonaponskog priključka na elektrostatičkom voltmetru.
- (d) uključenje regulacionog transformatora T1 prema slici 4.5 na strani 21 za izvor naizmeničnog napona na višestrukoj utičnici na prednjem zidu Kaveza 2,

- (e) priključivanje uređaja DC1 se sprovodi postupkom opisanim u odeljku 4.2
- (f) Puštanje napajanja u rad se obavlja uključivanjem sklopki 1 i 7 na glavnom komandnom oramnu KT1, prema slici 3.1 na strani 13, kao i postupkom opisanim u 3.2, odnosno prema proceduri:
 - i. uključanjem glavne sklopke 1 na komandnoj tabli KT3 na Kavezu 2 prema slici 3.2 na strani 14,
 - ii. postavljanje preklopke 2 u levi položaj obeležen kao 1 prema slici 3.2,
 - iii. pritiskom na komandno dugme 3 uključuje se napajanje i pali signalna sijalica na Kavezima 1 i 2,
 - iv. pomoću regulacionog transformatora se postepeno podiže napon, koji se prati na elektrostatičkom voltmetru,
 - v. kada se uspostavi željeni napon punjenja, pritiskom na taster trigatrona vrši se okidanje,
 - vi. posle završetka rada napon na regulacionom transformatoru mora da se vrati na nulu.

Poglavlje 6

Uređaji u Kavezu 2

U Kavezu 2 smeštena su dva udarna naponska generatora. To su:

- udarni naponski generator do 12 kV koji služi za ispitivanja izolacije uređaja koji se primenjuju u mrežama niskih napona,
- udarni naponski generator do 350 kV koji služi za ispitivanja izolacije uređaja za srednjenaponske mreže do 35 kV udarnim naponom.

6.1 Naponski udarni generator do 12 kV

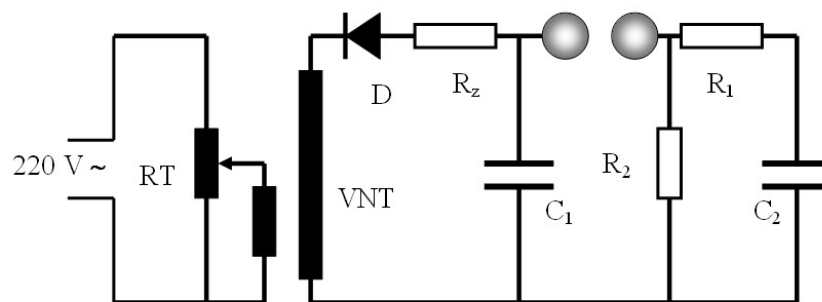
6.1.1 Namena

Udarni naponski generator do 12 kV namenjen je pre svega za ispitivanje uređaja za prenaponsku zaštitu niskonaponskih mreža (**SPD** od engl. Surge Protective Devices). Napravljen je na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu u Laboratoriji za visoki napon i razvijen tako da se može dobiti širok dijapazon oblika udarnih napona do maksimalne amplitude talasa 10 kV. Praktično su u Laboratoriji korišćena za tipska ispitivanja dva standardna talasna oblika koja su preporučena za ispitivanje prenaponskih zaštita u telefonskim mrežama fiksne telefonije:

1. Talasni oblik 1.2/50 μs , tj. talas čije je čelo 1.2 μs , a začelje 50 μs . Ovaj talas služi isključivo za ispitivanje dielektričke izdržljivosti izolacije.
2. talasni oblik 10/700 μs , tj. talas čije je čelo 10 μs , a začelje 700 μs . Ovaj talas služi i za ispitivanje dielektričke izdržljivosti izolacije, kao i ispitivanje sposobnosti energetskog podnošenja talasa dužeg trajanja zaštitnih elemenata kroz koje protiče struja odvođenja.

6.1.2 Teorijsko objašnjenje rada jednostepenog udarnog naponskog generatora

Najjednostavnija ekvivalentna šema ispitnog kola za dobijanje udarnih naponskih talasa prikazana je na slici 6.1.



Slika 6.1: Ekvivalentna šema jednostepenog udarnog generatora dobijanje udarnih naponskih talasa

Oznake na slici 6.1 imaju sledeće značenje:

220 V ~ naizmenični napon napajanja 220 V,

RT -regulacioni transformator ili drugi uređaj za regulaciju napona,

VNT visokonaponski transformator za napajanje udarnog generatora,

D -dioda za ispravljanje naizmeničnog napona,

R_z -zaštitni otpornik za ograničavanje struje punjenja kondenzatora C_1 ,

C_1 -kondenzator koji se puni naponom U_o , čijim pražnjenjem nastaje udarni talas,

R_1 -otpornik čela talasa,

R_2 -otpornik začelja talasa,

C_2 -kondenzator na kome se dobija udarni napon.

Kondenzator C_1 se puni preko ispravljača D dok ne dođe do preskoka na iskrištu, što nazivamo reagovanjem udarnog generatora. Punjenje kondenzatora C_1 odvija se po eksponencijalnom zakonu sa vremenskom konstantom punjenja:

$$T_p = C_1 R_z \quad (6.1)$$

Vreme punjenja kondenzatora C_1 je reda veličine minuta. Kada dođe do reagovanja udarnog generatora, kondenzator C_1 se prazni preko iskrišta i puni kondenzator C_2 . Zatim se kondenzatori C_1 i C_2 zajedno rasterećuju preko otpornika R_2 . C_2 je kondenzator na koji se udarni generator prazni, na koji je paralelno priključen objekat ispitivanja. Ponekad C_2 čini kapacitet samo objekta ispitivanja. Kada su se oba kondenzatora ispraznila, započinje ponovno punjenje udarnog generatora.

Za uspešan rad naponskog udarnog generatora treba da bude ispunjen uslov da je $C_1 \gg C_2$. U tom slučaju će i vremenska konstanta čela biti mnogo manja od vremenske konstante začelja. Maksimalna vrednost udarnog napona za šemu na slici 6.1 ima vrednost:

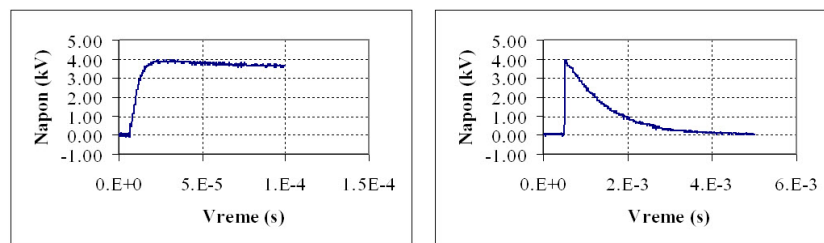
$$U_m = U_o \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad (6.2)$$

Odnos:

$$\mu = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad (6.3)$$

nazivamo stepenom iskorišćenja udarnog generatora.

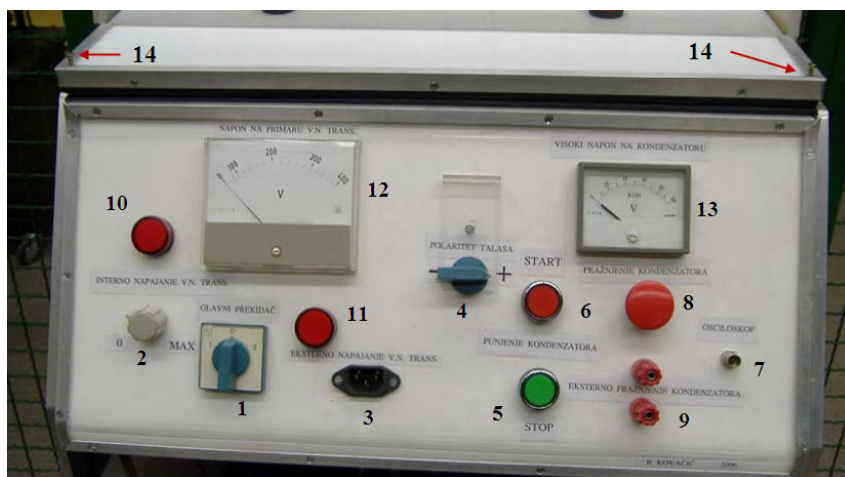
Na slici 6.2 prikazan je tipičan oblik čela (levo) i začelja (desno) talasa 10/700 μs .



Slika 6.2: Tipičan oblik čela (levo) i začelja (desno) talasa 10/700 μs

6.1.3 Osnovne komande naponskog udarnog generatora do 12 kV

Na slici 6.3 prikazana je komandna tabla udarnog generatora.



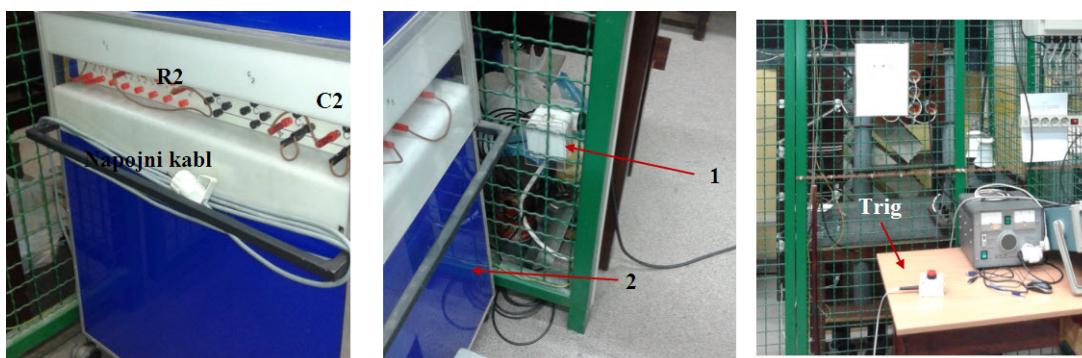
Slika 6.3: Komandna tabla udarnog generatora do 12 kV

Oznake na slici 6.3 imaju sledeće značenje:

1. Preklopka za izbor između interne regulacije napona ili eksterne regulacije napona.
2. Dugme za podešavanje napona prilikom interne regulacije.
3. Utičnica za priključak regulisanog napona iz regulacionog transformatora.
4. Prebacač polariteta. Pre prebacivanja mora se odvrnuti zavrtanj i skinuti providna pločica koja blokira promenu polatiteta. Ovo je napravljeno da korisnici ne bi menjali polaritet pri napunjenom kondenzatoru.
5. Dugme za isključenje.
6. Dugme za uključenje punjenja kondenzatora.
7. Koaksijalni priključak za osciloskop (kada se snima izlazni napon, a ne napon na objektu). Trenutno nije u upotrebi.
8. Taster za trigerovanje.
9. Dvopolni priključak za dvožični kabl sa dugmetom za okidanje sa rastojanja
10. Signalna sijalica za slučaj interne regulacije.

11. Signalna sijalica za slučaj eksterne regulacije.
12. Voltmetar koji pokazuje primarni napon ispred visokonaponskog transformatora.
13. Voltmetar koji pokazuje sekundarni napon punjenja, čija se vrednost dobija kada se pokazivanje na skali voltmetra pomnoži sa 100,
14. Zavrtnji na gornem poklopcu komandne table, čijim odvrtanjem je moguće podići kompletnu komoru sa iskrištem, čime se otvara prostor komore sa upravljačkim elementima, koji je opisan u dodatku. Otvaranjem ovog prostora mogu se menjati veliki opterentni kondenzatori koji su uključeni u kolu.

Napajanje iz mreže vrši se uključanjem dvožilnog napojnog kabla, koji je namotan sa leve strane generatora na slici 6.4 (levo), uključanjem u utičnicu na levom ramu vrata V2 Kaveza 2, koja je prikazana na slici 6.4 (sredina). Desno je prikazan eksterni taster za okidanje označen kao **Trig** na stolu sa osciloskopom.



Slika 6.4: Kabl za napajanje udarnog generatora (levo), utičnica za napajanje (sredina) i okidanje eksternim tasterom za trigerovanje (desno)

Oznake na slici 6.4 imaju sledeće značenje:

1. Utičnica sa unutrašnje strane levog rama vrata V2, čije se napajanje prekida otvaranjem vrata,
2. bočna strana udarnog naponskog generatora do 12 kV, koji je postavljen ispred Kaveza 2. Svi delovi na kojima se može pojaviti visoki napon su zatvoreni da bi se obezbedila sigurnost rada od napona. Svako otvaranje bilo kog dela oklopa uređaja dovodi do prekida napajanja.

Na slici 6.4 označeni su još sledeći elementi:

R_2 -izvodi čijim se prespajanjem se reguliše vrednost otpora R_2 .

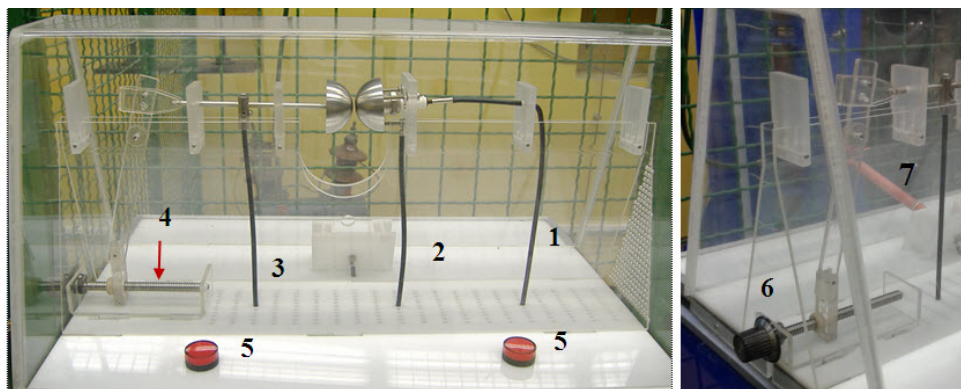
C_2 -izvodi čijim prespajanjem se reguliše vrednost kapaciteta C_2 .

Napojni kabl -namotan napojni kabl čiji je ulaz u udarni generator sa zadnje strane kućišta.

Trig -dugme za trigerovanje sa daljine preko dugog dvožilnog kabla.

6.1.4 Okidanje udarnog generatora

Okidanje udarnog generatora vrši se ili dugmetom za okidanje na komandnoj tabli, ili daljinskim okidanjem preko komandnog tastera na dugačkom kablju, kao na slici 6.4 desno. Okidanje se vrši pomoću troelektrodnog iskrišta, koje je prikazano na slici 6.5.



Slika 6.5: Komora sa iskrištem za okidanje (trigerovanje)

Oznake na slici 6.5 imaju sledeće značenje:

1. dovod visokonaponskog impulsa na svećicu unutar desne polusfere za okidanje,
2. dovod visokog napona kojim je napunjen opteretni kondenzator,
3. odvod napona sa iskrišta na otpornik za formiranje čela talasa,
4. osovina sa zavojnicom za pokretanje levog iskrišta putem sistema poluga. Okretanje osovine se vrši točkom na levoj bočnoj strani komore sa iskrištima,
5. signalne sijalice koje se naizmenično pale i gase kada se puni kondenzator udarnog generatora,
6. točak za regulaciju rastojanja iskrišta,

7. visokonaponski kablovski završetak u obliku štapa koji ulazi u gnezdo unutar prostora sa iskrištem i pri tome mehanički zatvara sigurnosni kontakt za napajanje uređaja.

6.1.5 Podešavanje oblika talasa

Podešavanje oblika talasa se postiže promenom parametra generatora C_1 , C_2 , R_1 i R_2 . Grubo podešavanje napona vrši se promenom kondenzatora C_1 , čime se prebacije oblik talasa sa 1.2/50 na 10/700 μs , dok se promenom ostalih parametara vrši fino podešavanje talasa. Svi kondenzatori i otpornici su ugrađeni unutar najniže komore udarnog generatora, a izvodi su napravljeni na bočnoj levoj i desnoj strani. Na levoj strani se podešavaju parametri R_2 i C_2 , a na desnoj R_1 i C_2 .

6.1.5.1 Izbor kondenzatora C1

Za kapacitivnost se C_1 može mogu birati kondenzatori od 20 μF (koristi se samo za duge talase), kao i od 0.2 μF i od 0.1 μF koji se koriste kao C_1 za kratke talase. Kondenzatori 0.2 μF i od 0.1 μF se koriste kao C_2 kod dugačkih talasa. Da bi se došlo do izvoda ovih kondenzatora, neophodno je podići kompletnu ploču sa iskrištem generatora. Preporučuje se da osoba koja nije detaljno upoznata sa konstrukcijom uređaja ne vrši ovu operaciju sama.

Pre podizanja poklopca se mora obavezno izvući visokonaponski konektor za kabl koji vodi do objekta ispitivanja, koji se nalazi na zadnjoj strani uređaja. Na slici 6.6 prikazan je visokonaponski konektor utaknut u gnezdo sa sigurnosnim prekidačem sa zadnje strane generatora. Visokonaponski kabl vodi udarni talas na objekat ispitivanja.

Na slici 6.7 na levoj strani prikazana je slika udarnog generatora kod koga je gornji poklopac sa komorom sa iskrištem podignut, a na desnoj strani pločica sa utičnicama za izbor kondenzatora.

Oznake na slici 6.7 imaju sledeće značenje:

1. beli poklopac komore sa iskrištem, koji je podignut,
2. poluga koja drži poklopac otvorenim,
3. zavrtnanj koji služi za fiksiranje poluge na taj način što se zavrtnanj zavrne u polugu tako da zavrtnanj može da se nasloni na gornju ivicu bočne strane kućišta,



Slika 6.6: Visokonaponski konektor utaknut u gnezdo

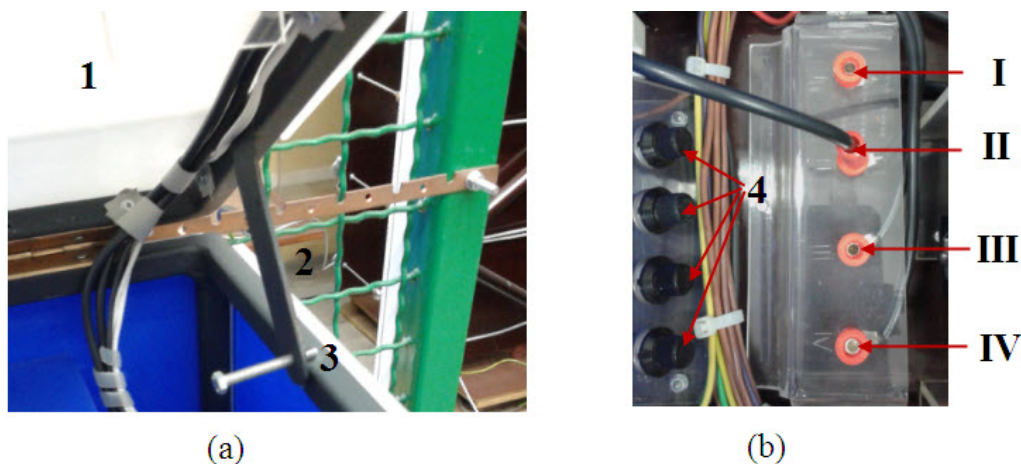
4. osigurači.

Oznake **I**, **II**, **III** i **IV** označavaju utičnice za kondenzatore sa tim oznakama na providnoj ploči koja nosi utičnice. U te utičnice se pomoću izolovanog provodnika dovodi visoki jednosmerni napon za punjenje kondenzatora C_1 .

Uključenje visokog napona DC na izvod sa oznakom **I** u funkciju stavlja veliki kondenzator kapacitivnosti $20\ \mu\text{F}$, na izvod **II** stavlja u funkciju kondenzator kapacitivnosti $0.2\ \mu\text{F}$ nominalnog napona $40\ \text{kV}$, a na izvod **III** dovodi napon na kondenzator kapacitivnosti $0.1\ \mu\text{F}$ nominalnog napona $20\ \text{kV}$. Izvod **IV** nije u funkciji. Ukoliko se koriste kondenzatori od $0.2\ \mu\text{F}$ i $0.1\ \mu\text{F}$ u rednoj ili paralelnoj sprezi, tada je može da bude uključen bilo izvod **II** ili izvod **III**. Radi lakšeg objašnjavanja u tabeli 6.1 date su parametri kondenzatora koji se mogu koristiti kao kondenzatori za punjenje C_1 (slučaj kratkih talasa kao na primer $1.2/50\ \mu\text{s}$), ali i kao kondenzatori C_2 u slučaju talasa dugog trajanja (na primer talas $10/700\ \mu\text{s}$).

Na slici 6.8 prikazana je šema veza kada se kao kondenzator za punjenje C_1 koristi C_{20} , a kao C_2 koristi paralelna veza C_{23} i C_{24} (slučaj talasa dugog trajanja):

U tabeli 6.8 i slike 6.8 mesta koja odgovaraju kondenzatorima C_{21} i C_{22} nisu popunjena. Kondenzator C_{20} se može koristiti samo kao kondenzator C_1 kada se izvor visokog jednosmernog napona označen na slici 6.8 sa **DC** dovede na priključak **I**. Na slici 6.8 kondenzatori C_{23} i C_{24} koji su paralelno vezani priključeni su između gornje šine označene



Slika 6.7: Udarne generator kod koga je gornji poklopac sa komorom sa iskrištem podignut(a) i pločica sa utičnicama za izbor kondenzatora (b)

sa **Udar** i zemlje i čine kondenzator C_2 . Sa šine Udar udarni napon se vodi na objekat ispitivanja. Može se zaključiti sledeće:

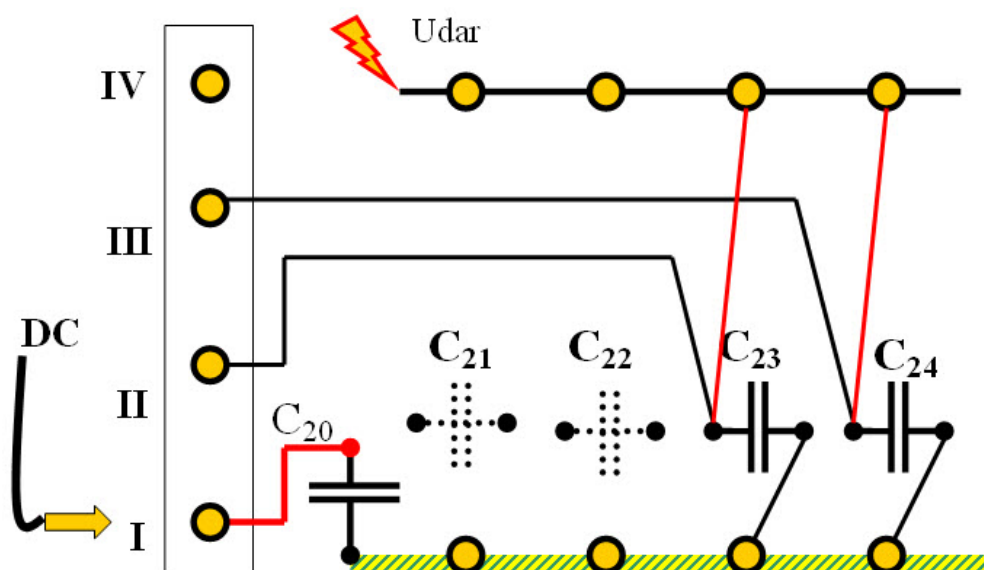
- kondenzatori koji se priključuju između šine **Udar** i zemlje služe kao C_2
- kondenzatori koji se priključuju između priključaka **I** ili **II** ili **III** i zemlje služe kao C_1

6.1.5.2 Promena kapaciteta C_2 u slučaju talasa kratkog trajanja

Na slici 6.9 prikazana je fotografija panoa sa priključcima za promenu kapaciteta C_2 koji reguliše trajanje začelja (gore), a dole je prikazana šema vezivanja kondenzatora za priključke. Ovaj pano se nalazi sa desne bočne strane generatora, a podešavanje se primenjuje u slučaju talasa oblika 1.2/50 μs .

Tabela 6.1: Parametri kondenzatora koji se mogu koristiti kao kondenzatori za punjenje C_1 i kao kondenzatori C_2

		Oznake u tekstu				
		Oznake na izvodima				
Veličina	C_{20}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	
C (μF)	20	-	-	0.2	0.1	
U (kV)	12	-	-	40	20	
Uloga	C_1	-	-	C_1 i C_2	C_1 i C_2	



Slika 6.8: Šema veza kada se kao kondenzator za punjenje C_1 koristi C_{20} , a kao C_2 koristi paralelna veza C_{23} i C_{24}

Prema slici 6.9 vrednost kapaciteta C_2 dobija se paralelnom vezom kondenzatora C_{28} i C_{27} vezanim na red sa C_{26} , dok C_{25} nije uključen u kolo.

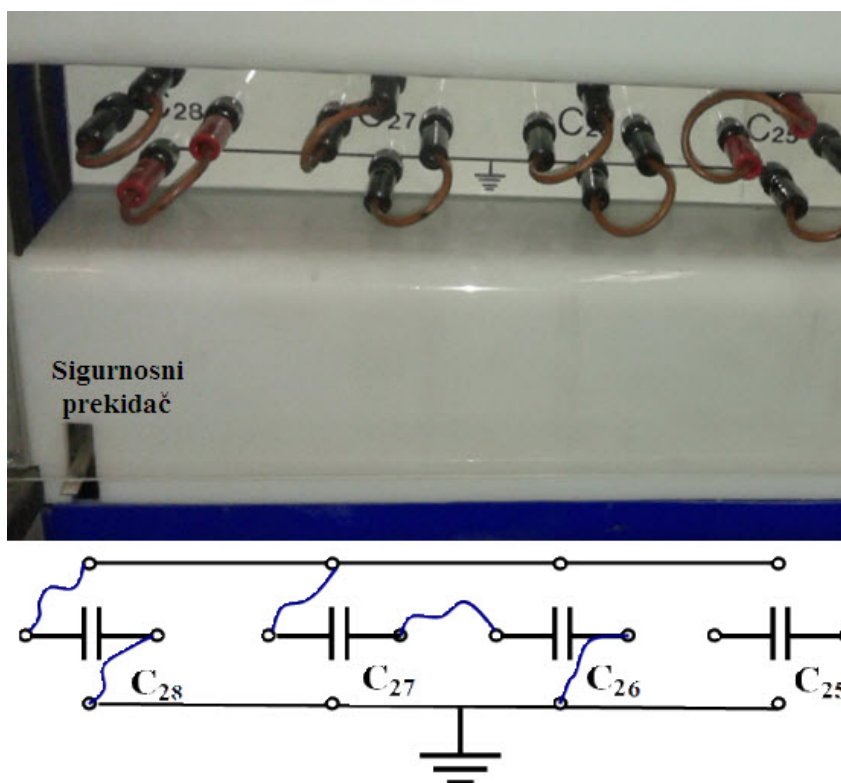
Ukoliko se vrši ispitivanje sa kratkotrajnim udarnim talasom oblika $1.2/50 \mu s$, tada se koriste kondenzatori C_{23} i C_{24} , pojedinačno ili u rednoj ili paralelnoj vezi kao kondenzator za punjenje generatora C_1 . Na slici 6.10 prikazan je slučaj kada se kondenzatori C_{23} i C_{24} vezuju na red, a napajanje se vrši preko izvoda **II** na ploči unutar komore II.

Na potpuno isti način se napajanje može vršiti sa izvoda **III** u komori II kada se kondenzatori C_{23} i C_{24} vezuju na red. Ovaj slučaj prikazan je na slici 6.11

Ukoliko se želi primena kondenzatora C_{23} i C_{24} u paralelnoj sprezi, kao kondenzatora za punjenje C_1 , veza se može realizovati kao na slici 6.12.

6.1.5.3 Promena otpora R_1 i R_2

Na slici 6.13 prikazana je fotografija panoa sa priključcima za promenu otpornosti otpornika R_1 kojim se reguliše trajanje čela talasa (gore), kao i šematski prikaz kako su otpornici povezani za priključke (dole). Vrednost otpora se reguliše prespajanjem određenog broja



Slika 6.9: Fotografija panoa sa priključcima za promenu kapaciteta C_2 kojim se reguliše trajanje začelja talasa (gore), kao i šematski prikaz kako su kondenzatori povezani za priključke (dole) u slučaju talasa oblika $1.2/50 \mu s$

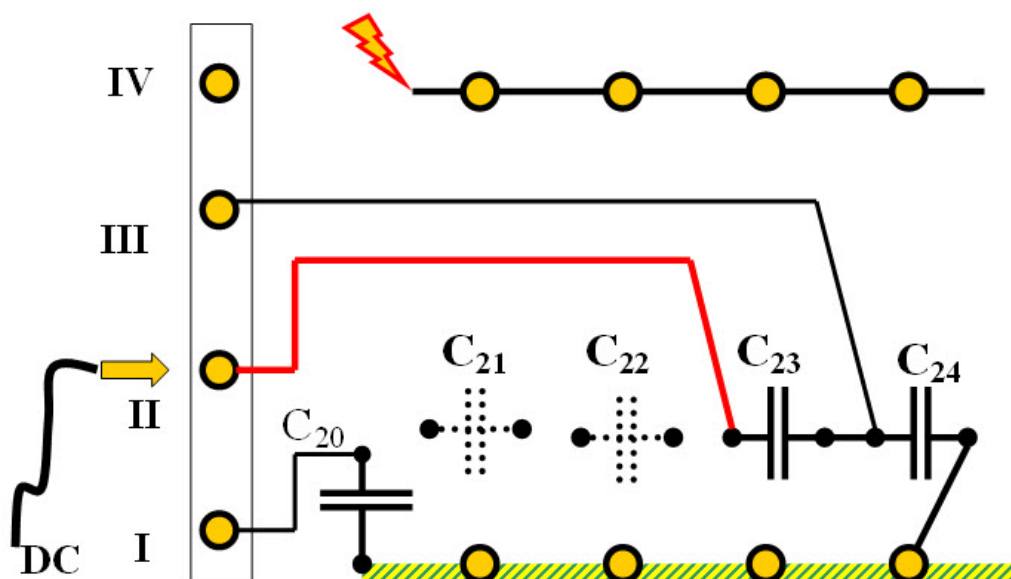
otpornika. Ukupna otpornost R_1 dobija se sabiranjem vrednosti otpora onih otpornika koji nisu prespojeni. Na primer, na slici 6.13 vrednost otpora je $R_1 = 30 \Omega$, jer jedino taj otpornik nije prespojen. Ovaj pano se nalazi sa desne bočne strane generatora.

Na potpuno isti način se podešava otpornost otpornika R_2 . U Tabeli 6.2 prikazane su vrednosti otpornika R_1 i R_2 koje su raspoložive na utičnicama na bočnim stranama kućišta.

Tabela 6.2: Raspoložive vrednosti otpornika R_1 i R_2

R_1	0.5	0.5	1	1	2	2	5	10	20	30	40	50	100	200	
R_2	0.5	1	2	3	5	10	20	30	40	46	50	100	200	500	500

Da bi se prišlo priključcima sa elementima, mora se podići providni zaštitni poklopac, koji se nalazi sa obe bočne strane. Ukoliko nije isključeno napajanje kondenzatora C_1 udarnog generatora, podizanjem poklopca se ono automatski isključuje jer se oslo-



Slika 6.10: Slučaj kada se kondenzatori C_{23} i C_{24} vezuju na red, a napajanje se vrši preko izvoda **II** na ploči unutar komore II

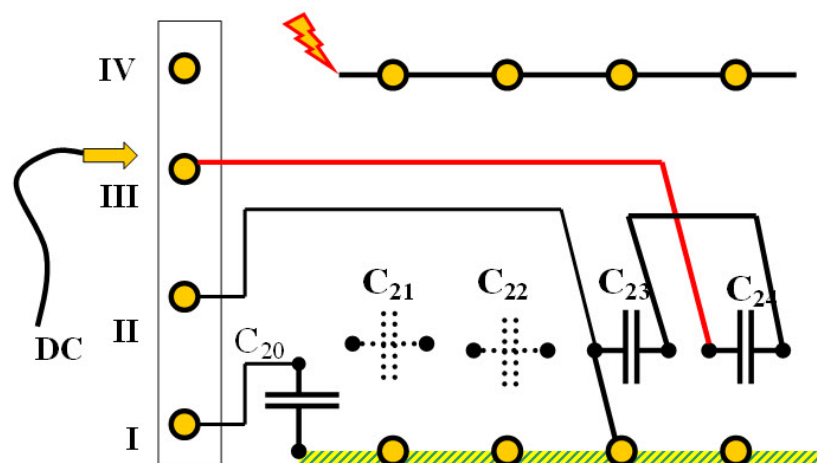
bađa poluga sigurnosnog prekidača i vrši se rasterećenje kondenzatora, da ne bi došlo do rasterećenja kondenzatora preko manipulanta.

6.1.5.4 Optimalni parametri generatora za dobijanje standardnih talasa

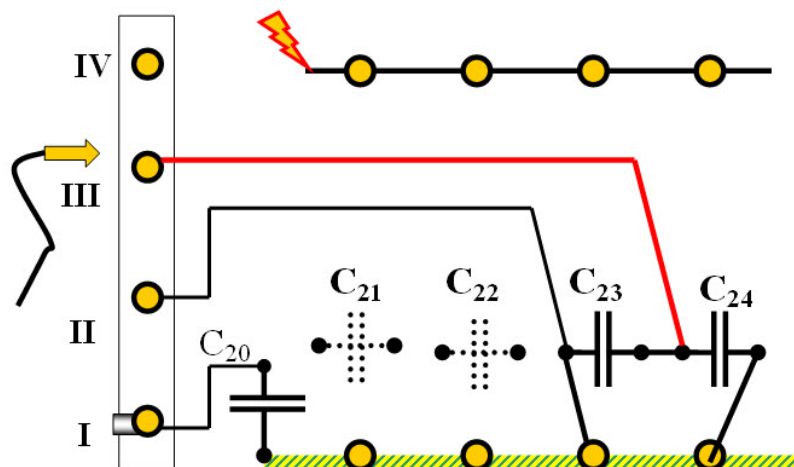
Iako oblik talasa zavisi od kapacitivnosti ispitnog objekta, predložene su vrednosti parametara sa kojima se može početi podešavanje oblika talasa. Predloženi parametri za standardne oblike talasa su dati u tabeli 6.3:

Tabela 6.3: Predloženi parametri za standardne oblike talasa

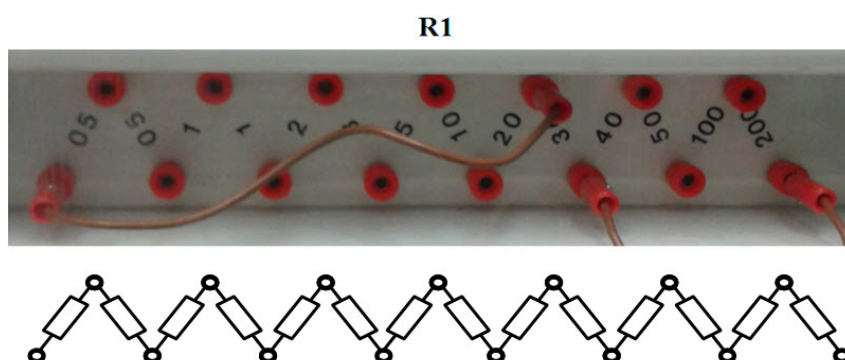
	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	C_1 (μF)	C_2 (μF)
Talas 1.2/50 $\mu\text{s}/\mu\text{s}$	30	1300	0.1	0.006
Talas 10/700 $\mu\text{s}/\mu\text{s}$	10	45	20	0.3



Slika 6.11: Slučaj kada se napajanje vrši sa izvoda **III** u komori II kada se kondenzatori C_{23} i C_{24} vezuju na red



Slika 6.12: Primena kondenzatora C_{23} i C_{24} u paralelnoj sprezi, kao kondenzatora za punjenje C_1

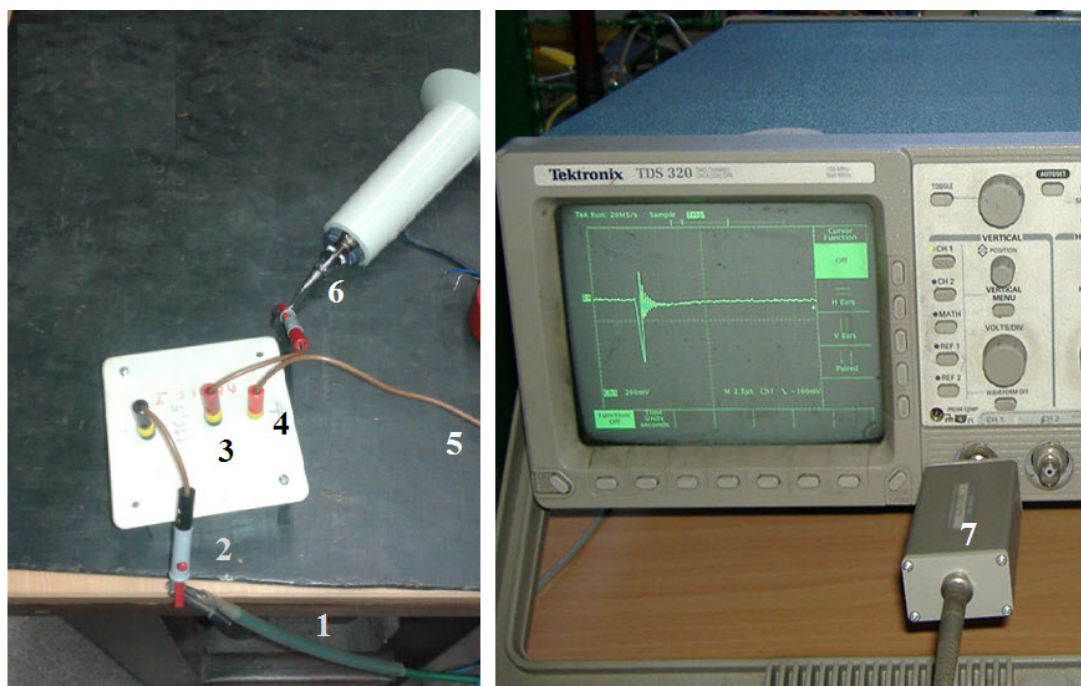


Slika 6.13: Fotografija panoa sa priključcima za promenu otpornosti otpornika R_1 kojim se reguliše trajanje čela talasa (gore), kao i šematski prikaz kako su otpornici povezani za priključke (dole)

6.1.6 Puštanje naponskog udarnog generatora do 12 kV

Puštanje udarnog naponskog generatora može se obaviti u sledećim koracima:

- Uključenje merno registracionog sistema opisano je u odeljku 4.7.
- Visokonaponski kabl se dovodi na filter ispred objekta ispitivanja. Visokonaponska sonda se postavlja da meri napon odmah iza filtra, prema slici 6.14 (levo). Priključak visokonaponske sonde odnosa deljenja 1000:1 sa završnom impedansom u kutiji ispred priključka prikazana je desno.



Slika 6.14: Visokonaponski kabl, filter i sonda za merenje

Oznake na slici 6.14 imaju sledeće značenje:

1. Visokonaponski kabl koji dovodi napon od udarnog generatora.
2. Štipaljka za priključivanje kabla na filter.
3. Izlaz mernog signala iz filtra za eliminaciju visokofrekvencijskih smetnji.
4. Priključak za uzemljenje.
5. Kabl za vezu sa uzemljivačem.
6. Visokonaponska sonda odnosa deljenja 1000:1.

7. Završna impedansa kabla od sonde.

- Podešavaju se parametri generatora C_1 , C_2 , R_1 i R_2 u skladu sa potrebnim oblikom talasa.
- Podešava se polaritet talasa.
- Uključuje se napajanje generatora na utičnicu na unutrašnjem ramu vrata V2, prema slici 6.4.
- Izbor internog napajanja pomoću sklopke 1 na slici 6.3.
- Uključenje prekidača 6 na slici 6.3 čime se startuje napajanje kondenzatora C_1 .
- Potenciometrom 2 na slici 6.3 se postepeno podiže napon i prati visina napona na voltmetru 13 (množeći pokazivanje sa skale sa 100).
- Kada je postignuta željena vrednost napona, pritiskom na dugme za trigerovanje 8, ili daljinsko trigerovanje preko kabla utaknutog u utikačko mesto 9 na slici 6.3 vrši se okidanje generatora.
- Spusti se napon punjenja potenciometrom 2 i sačeka potrebna pauza između udara (najčešće je minimalna pauza 1 min).
- Nakon pauze se započinje podizanje napona u cilju ponovnog udara.

6.2 Udarni generator do 350 kV

6.2.1 Namena

Namena udarnog generatora do 350 kV je da proizvodi udarne naponske talase koji simuliraju prenapone usled atmosferskih udara u cilju ispitivanja sposobnosti izolacije različitih uređaja da podnese takva naponska naprezanja. Standardni atmosferski udarni napon koji ovaj uređaj daje je $1.2/50 \mu s$.

6.2.2 Konstrukcija

Udarni generator u Laboratoriji za visoki napon Elektrotehničkog fakulteta napravljen je kao četvorostepeni Marksov udarni generator, prema Erwin Otto Marx-u, koji je konstruisao 1924 god. uređaj za multiplikaciju napona koji radi na istom principu kao i današnji udarni generatori. Zamenska šema udarnog generatora je prikazana na slici 6.15

Oznake na slici 6.15 imaju sledeće značenje:

DC -Izvor regulisanog jednosmernog napona do 100 kV.

R_v -Otpornik velikog otpora za ograničavanje struje punjenja i sprečavanje rasterećenja kondenzatora pri preskoku na iskrištima.

I_T -Iskrište sa trećom elektrodom za trigerovanje.

R_1 -Otpornik za oblikovanje čela talasa.

R_2 -Otpornik za oblikovanje začelja talasa.

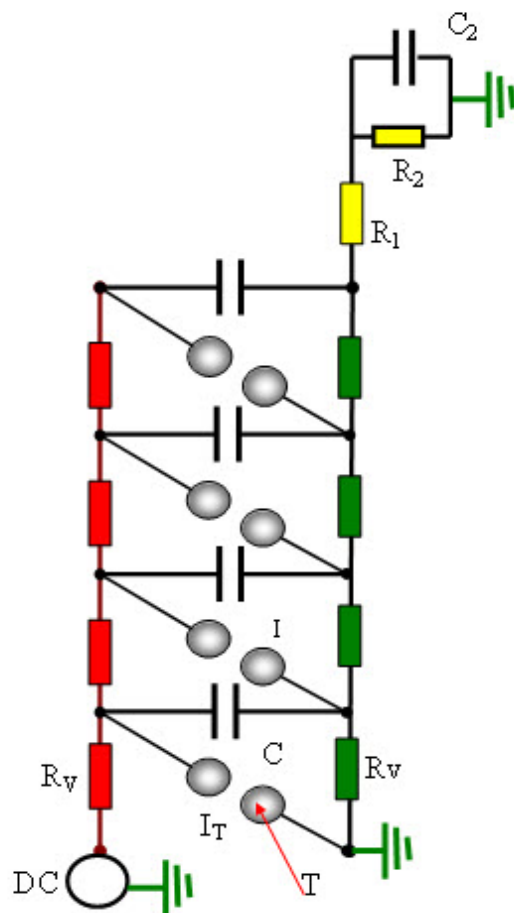
C -kondenzatori koji se pune paralelno, a nakon reagovanja iskrišta prevezuju na red.

C_2 -Kondenzatori na izlazu generatora vezani paralelno objektu ispitivanja prema zemlji, čijom se promenom menja čelo talasa.

R_2 -Otpornici na izlazu generatora vezani paralelno objektu ispitivanja prema zemlji, čijom se promenom menja začelje talasa.

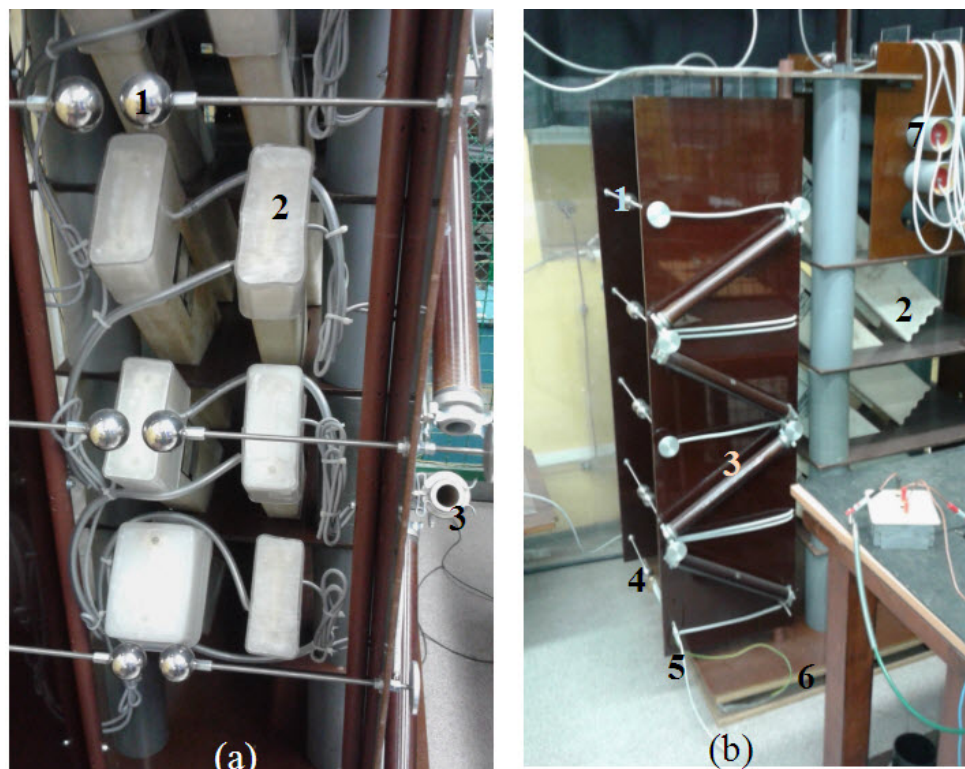
Na slici 6.16 prikazana je fotografija sa prednje strane (levo) i sa bočne strane (desno) udarnog naponskog generatora do 350 kV.

Oznake na slici 6.16 imaju sledeće značenje:



Slika 6.15: Zamenska šema udarnog generatora

1. -Iskrišta bez elektrode za trigerovanje I .
2. -Kondenzatori za punjenje C .
3. -Otpornik R_v .
4. -Iskrišta sa elektrodom za trigerovanje I_T .
5. -Provodnik koji dovodi impuls za trigerovanje.
6. -Provodnik za vezu sa uzemljivačem.
7. -Kondenzatori C_2 sastavljeni od ukupno 6 cilindara vezanih paralelno, svaki cilindar se sastoji od 15 kondenzatora u obliku pogačica vezanih na red.



Slika 6.16: Fotografija sa prednje strane (a) i sa bočne strane (b) udarnog naponskog generatora

Na slici 6.17 levo je prikazan udarni generator sa otpornikom R_1 na vrhu generatora. Desno je prikazan detalj udarnog generatora sa troelektrodnim iskrištem I_T .

Oznake na slici 6.17 imaju sledeće značenje:

R_1 -otpornik R_1 za podešavanje trajanja čela talasa. Prespajanjem određenog broja navojaka se menja vrednost otpornosti.

E_k -Metalni diskovi za sprečavanje korone na ležištima otpornika pri punjenju generatora.

I_T -Troelektroдно iskrište za trigerovanje. U sredini desne mesingane polukugle se nalazi treća elektroda.

P_T -Provodnik za napajanje elektrode za trigerovanje.

Na slici 6.18 levo je prikazan otpornik R_2 za regulisanje začelja talasa postavljen vertikalno. Na slici desno prikazan je sabirni cilindrični provodnik S_{C2} na kome se paralelno priključuju kondenzatori C_2 pomoću štipaljki.



Slika 6.17: Udarni generator sa prikazanim otpornikom R_1 (levo) i detalj udarnog generatora sa troelektrodnim iskrištem I_T (desno)

Oznake na slici 6.18 imaju sledeće značenje:

R_2 -Vertikalno postavljen otpornik R_2 .

S_{C2} -Sabirni cilindrični provodnik S_{C2} na kome se paralelno priključuju kondenzatori C_2 .

K_{C2} -Štipaljke pomoću koga se uključuju kondenzatori C_2 . Vezivanjem većeg ili manjeg broja kondenzatora može se uticati na oblik čela. Preporučuje se regulacija oblika čela radi otpornikom R_1 .

K_k -Kugle na krajevima sabirnog provodnika koje služe za sprečavanje korone.

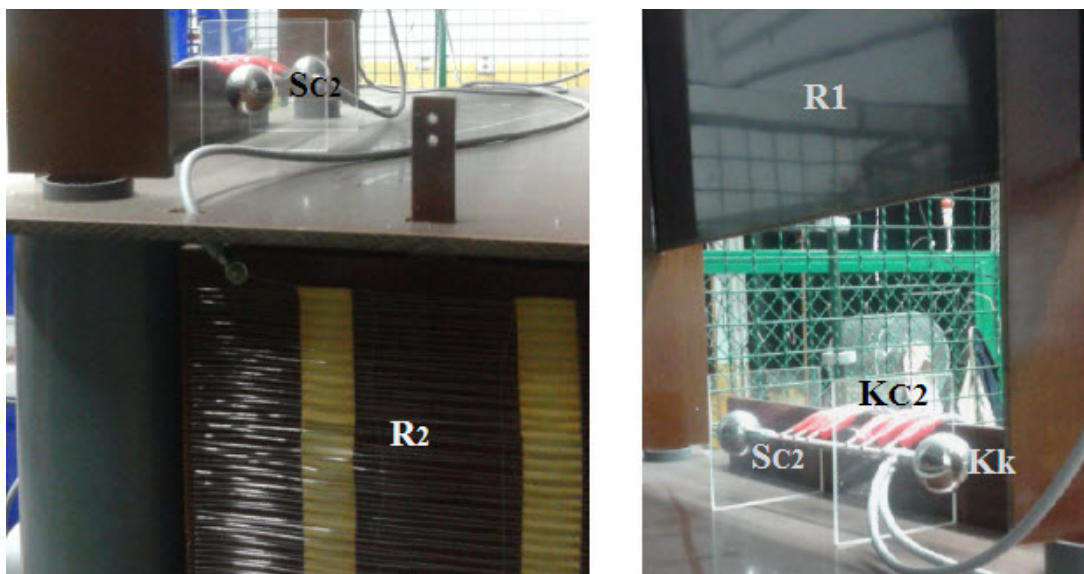
Sa suprotne strane od sabirnog provodnika za priključenje kondenzatora C_2 na napon nalazi se sabirni provodnik za priključak drugog kraja kondenzatora C_2 na uzemljivač.

6.2.3 Delilo napona

Za snimanje talasnog oblika napona koristi se omsko delilo napona, sopstvene proizvodnje, koje je prikazano na slici 6.19.

Oznake na slici 6.19 imaju sledeće značenje:

R_1 -Otpornik visokonaponske grane delila, sastavljen od ukupno 6 redno vezanih otpora, svaki vrednosti 3900Ω .



Slika 6.18: Otpornik R_2 za regulisanje začelja talasa (levo) i sabirni provodnik za priključivanje kondenzatora C_2 (desno)

R_2 -Otpornik niženaponske grane delila, vrednosti otpora 8Ω .

E_k -Prstenovi za postizanje ravnomerne raspodele napona, kao i spajanje otpornika bez oštih elemenata radi eliminacije korone.

Izračunati odnos deljenja je:

$$M = \frac{R_1 + R_2}{R_2} = \frac{6 \times 3900 + 8}{8} = 2926 \quad (6.4)$$

Pre ulaska u osciloskop postavlja se filter prikazan na slici 6.20 u cilju eliminisanja visokofrekvencijskih smetnji.

Koaksijalni konektor filtra se uključuje u osciloskop.

6.2.4 Puštanje u rad naponskog udarnog generatora do 300 kV

Procedura puštanja u rad strujnog udarnog generatora se sastoji od 3 grupe radnji:

1. Uključenje merno-registracionog sistema.



Slika 6.19: Fotografija omskog delila napona

- (a) Uključenje elektrostatičkog voltmetra za praćenje napona punjenja naponskog udarnog generatora opisano je u odeljku 4.1.3.
- (b) Uključenje merno registracionog sistema opisano je u odeljku 4.7,
- (c) Merni kabl sa završnim otpornikom i filtrom za eliminaciju VF signala vodi se sa omskog delila napona prema osciloskopu. Filtar za eliminaciju VF signala na slici 6.20 se povezuje za osciloskop.

2. Uključenje sistema za trigerovanje

- (a) Kabl za trigerovanje se spaja prema poglavlju 4.5, kao na slici 4.14 na strani 29 spajajući kabl 3 sa izlaznim kablom iz trigatrona 1,



Slika 6.20: Filter za eliminisanje visokofrekvencijskih smetnji

- (b) Napajanje uređaja za trigerovanje naponom 230 V vrši se uključanjem kabla 1 prema slici 4.12 na strani 28 u višestruku utičnicu na prednjem zidu kaveza 2.

3. Uključenje sistema za napajanje

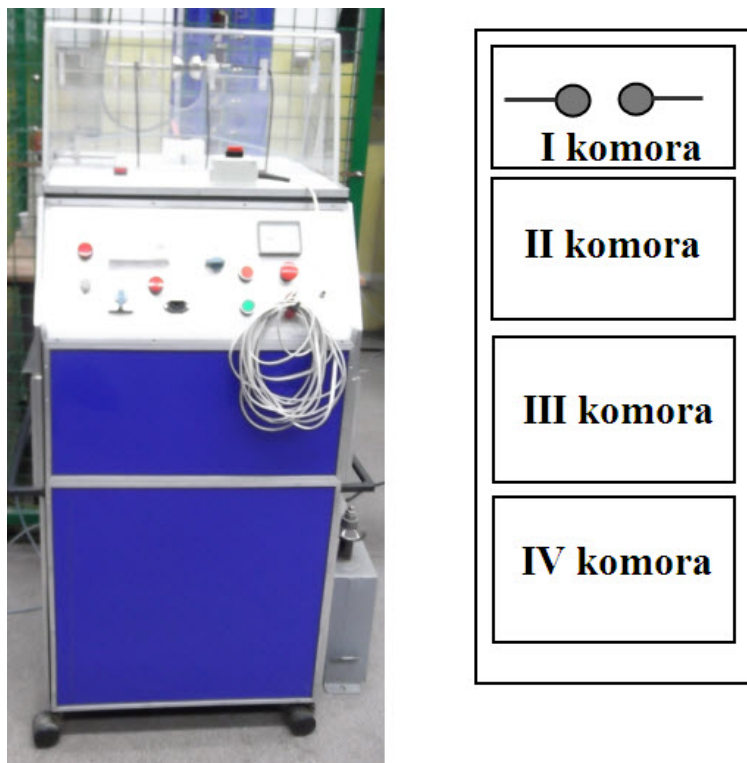
- (a) uključanje transformatora 220/110 kV prema fotografiji 4.6 na strani 22 za sigurnosni relej u uređaju DC1,
- (b) priključivanje napajanja udarnog naponskog generatora u Kavezu 2 prema slici 4.8 na strani 24, gde treba spojiti kabl 9 sa priključkom na zaštitnom otporniku Rz u uređaju za rasterećenje u cevi 1.
- (c) blokada na Kavezu 1 označena kao **B2** može da se privremeno isključi postupkom opisanim na slici 4.10 na strani 26, ako je potrebno u isto vreme vršiti radove u Kavezu 1. Posle završetka radova mora se obavezno blokada **B2** na Kavezu 1 ponovo aktivirati.
- (d) uključanje regulacionog transformatora T1 prema slici 4.5 na strani 21 za izvor naizmeničnog napona na višestrukoj utičnici na prednjem zidu Kaveza 2,
- (e) priključivanje uređaja DC1 se sprovodi postupkom opisanim u odeljku 4.2.
- (f) Puštanje napajanja u rad se obavlja uključivanjem sklopki 1 i 7 na glavnom komandnom oramnu KT1, prema slici 3.1 na strani 13, kao i postupkom opisanim u 3.2. odnosno prema proceduri:
 - i. uključanjem glavne sklopke 1 na komandnoj tabli KT3 na Kavezu 2 prema slici 3.2 na strani 14,

- ii. postavljanje preklopke 2 u levi položaj obeležen kao 1 prema slici 3.2,
- iii. pritiskom na komandno dugme 3 uključuje se napajanje i pali signalna sijalica na Kavezu 2,
- iv. pomoću regulacionog transformatora se postepeno podiže napon, koji se prati na elektrostatičkom voltmetru,
- v. posle završetka rada obavezno se napon na regulacionom transformatoru spušta na nulu.

Dodatak A

Konstrukcija udarnog generatora 12 kV

Na slici A.1 prikazana je kompletna slika udarnog naponskog generatora do 12 kV, kao i skica konstrukcije kućišta sa podelom prostora na određene odvojene komore.

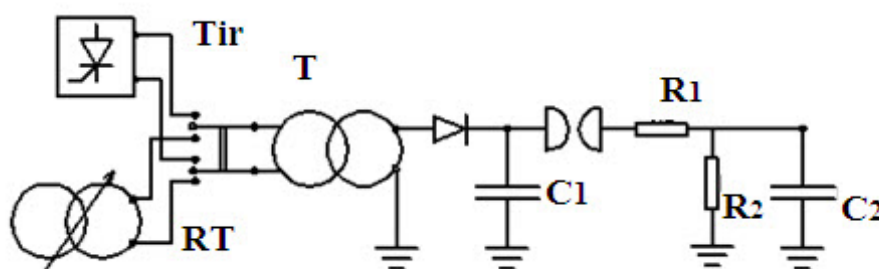


Slika A.1: kompletna slika udarnog naponskog generatora do 12 kV, kao i skica konstrukcije kućišta sa podelom unutrašnjeg prostora

Namena pojedinih komora je sledeća:

1. Prostor u kome se nalazi iskrište zajedno sa mehanizmom za pokretanje polukugli, koji je prikazan na slici A.1.
2. Prostor sa elementima za upravljanje okidanjem, kao i signalizacija i komandovanje.
3. Prostor u kome su smešteni otpornici i mali keramički kondenzatori C_2 . Kondenzator C_1 kapaciteta $20 \mu\text{F}$ se nalazi u zadnjem delu kućišta i ne vidi se na slici.
4. Prostor u kome su smešteni kaskada visokonaponskih transformatora do 12 kV i kondenzatori kapaciteta od $0.1 \mu\text{F}$.

Na slici A.2 prikazana je generalna principiela šema udarnog generatora.

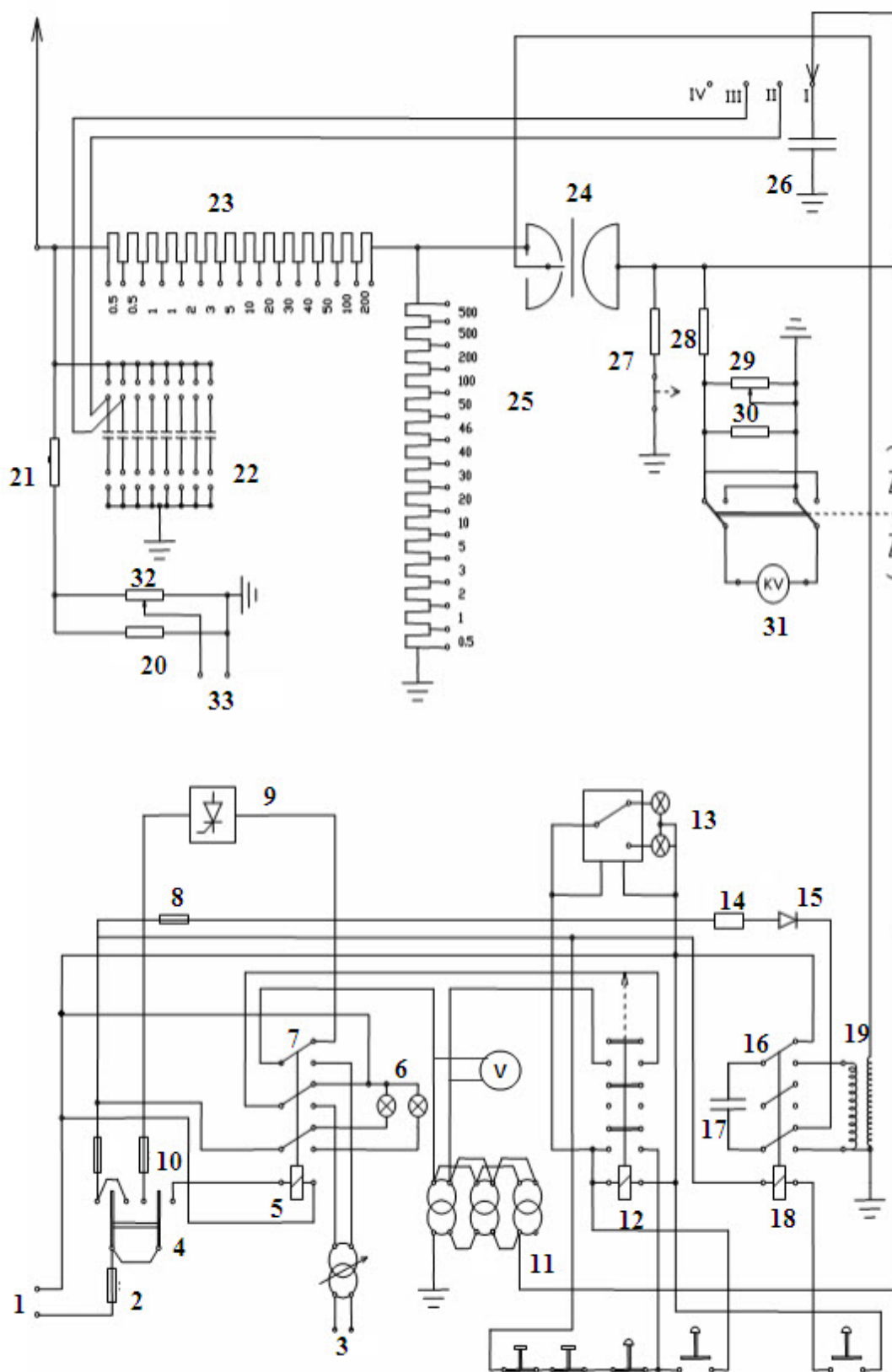


Slika A.2: Principiela šema rada udarnog generatora

Na slici A.3 prikazana je kompletna šema izvedenog stanja.

Oznake na slici A.3 imaju sledeće značenje:

1. Napajanje uređaja direktno iz mreže 230 V.
2. Osigurač u slučaju napajanja iz mreže.
3. Napajanje eksterno regulisanim naponom iz regulacionog transformatora.
4. Tropoložajna preklopka na komandnom pultu za prebacivanje sa internog napajanja (položaj 1 kada se regulacija vrši preko internog toristorskog tegulatora) na eksternog napajanja iz regulacionog transformatora (položaj 2).
5. Elektromagnet releja koji vrši preko kontaktnog sistema prebacivanje napajanja sa internog na eksterno i uključivanje odgovarajućih signalnih sijalica.

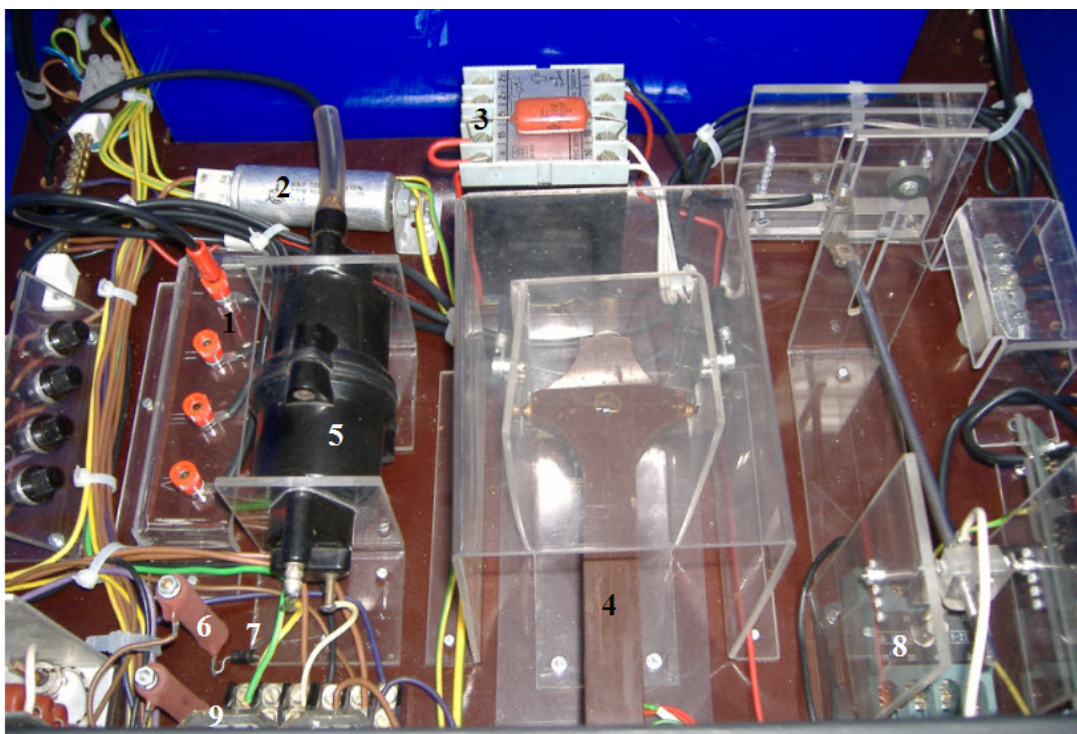


Slika A.3: Kompletna šema izvedenog stanja

6. Signalne sijalice za signalizaciju koji se sistem koristi za napajanje.
7. Kontaktnii sistem za prebacivanje napajanja.
8. Osigurač kola za punjenje kondenzatora trigeru
9. Tiristorski uređaj za regulaciju napona.
10. Osigurači za slučaj napajanja preko tiristorske regulacije i preko napajanja iz mreže.
11. Izlaz iz 3 redno vezana transformatora na kome je maksimalan napon 12 kV.
12. Elektromagnet releja za uključuje kola za punjenje
13. Dve signalne sijalice koje se naizmenično pale i gase.
14. Otpornik u kolu za punjenje kondenzatora za trigerovanje $R=2\text{ k}\Omega$.
15. Dioda u kolu za punjenje kondenzatora za trigerovanje.
16. Kondenzator čije rasterećenje proizvodi impuls za trigerovanje.
17. Elektromagnet releja za kontakte za trigerovanje
18. Visokonaponski transformator (bobina) za trigerovanje.
19. Otpornik vrednosti $24\text{ k}\Omega$.
20. Otpornik vrednosti $5\text{ k}\Omega$.
21. Kondenzatori C_2 na izlazu iz generatora, sa izvodima na desnoj bočnoj tabli (svi osim prva 2 sa leve strane, koji služe kao opteretni C_1 , kada je talas $1.2/50\text{ }\mu\text{s}$. Oni se nalaze na levoj bočnoj tabli.
22. promenljivi otpornik za definiciju čela, sa izvodima na desnoj bočnoj tabli.
23. Kontrolisano troelektrodno uskrište.
24. promenljivi otpornik za definiciju začelja, sa izvodima na levoj bočnoj tabli.
25. Kondenzatori C_1 koji služe kao opteretni, kada je talas $10/700\text{ }\mu\text{s}$
26. Otpornik snage 2000 W , otpornosti $24\text{ }\Omega$.
27. Otpornik otpornosti $50\text{ M}\Omega$.
28. Otpornik otpornosti $10\text{ k}\Omega$.
29. Otpornik otpornosti $4.5\text{ k}\Omega$.

30. Voltmetar na komandnoj tabli
31. Promenljivi otpornik otpornosti $10\text{ k}\Omega$.
32. Izlaz za osciloskop

Na slici A.4 prikazana je fotografija II komore, prostora sa elementima za upravljanje radom udarnog generatora u srednjoj komori generatora.



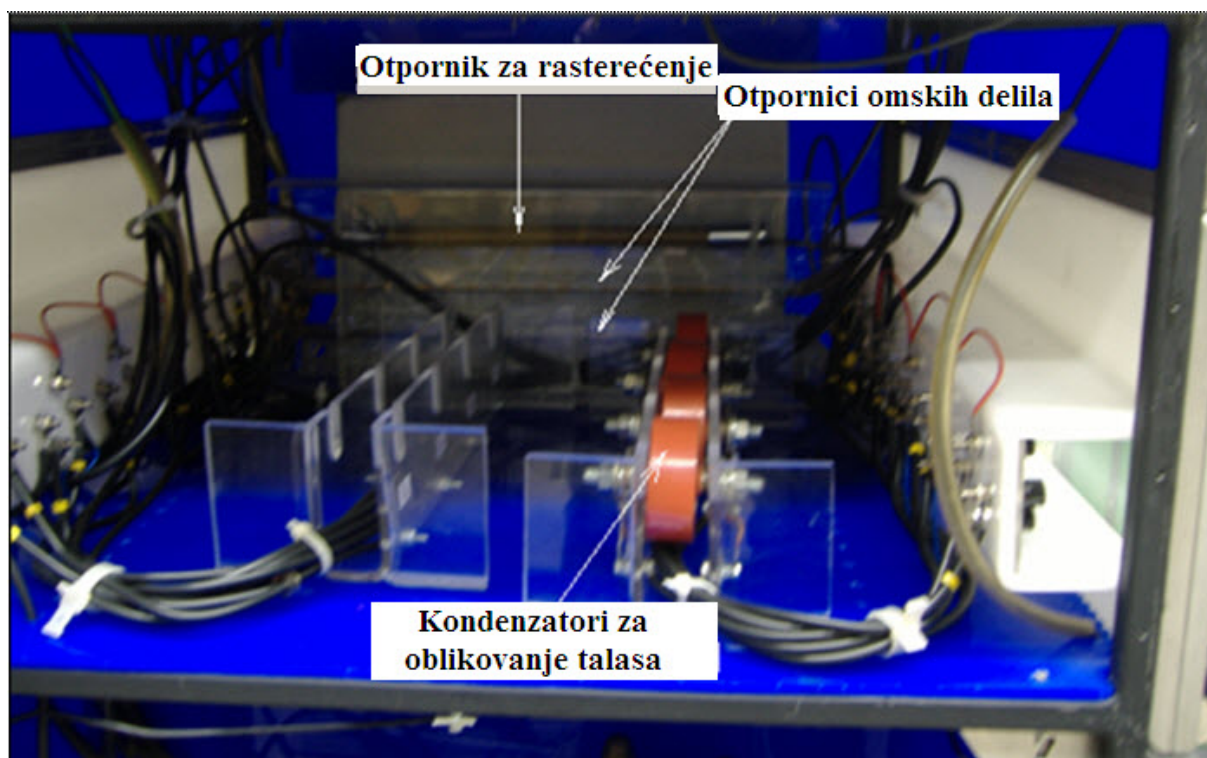
Slika A.4: Fotografija prostora sa elementima za upravljanje radom udarnog generatora

Oznake na slici A.4 imaju sledeće značenje:

1. jednopolne utičnice (buksne) za izbor velikih kondenzatora C_1 ,
2. kondenzator za okidanje,
3. kolo za dobijanje treptućeg svetla za upozorenje,
4. pločasta osovina za prebacač za promenu polariteta,
5. visokonaponski transformator (bobina),
6. otpornici za trigerovanje,

7. dioda za trigger,
8. relej, koje služi da u slučaju nestanka napona (isključenje uređaja na dugme za isključenje ili otvaranje vrata na Kavezu 2 ili nekog od poklopaca na uređaju što izaziva isključenje putem električne blokade),
9. relej koji služi za punjenje kondenzatora za trigerovanje u mirnom položaju, a u radnom položaju za prebacivanje za rasterećenje kroz visokonaponski transformator.

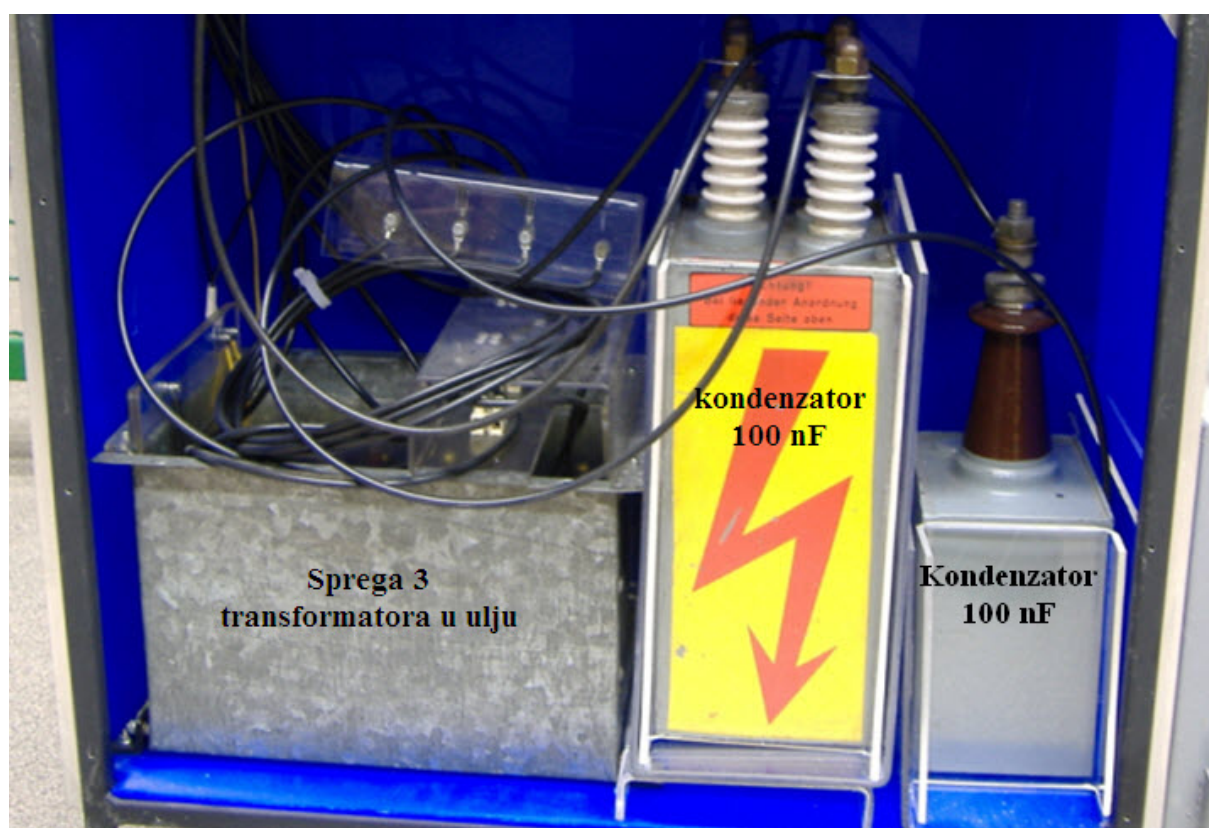
Na slici A.5 prikazana je III komora u kojoj se nalaze otpornici i kondenzatori za podešavanje oblika talasa, čiji su izvodi dovedeni na priključnice na bočnim stranama kućišta.



Slika A.5: III komora sa otpornicima i kondenzatorima za podešavanje oblika talasa

Na slici A.6 prikazana je IV komora u kojoj se nalaze visokonaponski transformator sastavljen od sprege 3 transformatora koji mogu da daju do 12 kV, kao i 2 kondenzatora do 20 kV i 40 kV vrednosti kapaciteta $0.1 \mu\text{F}$.

Najniža komora sa elementima podeljena je u dva dela. U gonjem delu su smešteni otpornici i kondenzatori C_2 .



Slika A.6: Visokonaponski transformator sastavljen i 2 kondenzatora do 20 kV i 40 kV

Dodatak B

Konstrukcija udarnog generatora od 300 kV

B.1 Vrednosti parametara ugrađenih elemenata

U tabeli B.1 dati su parametri elemenata koji su ugrađeni u udarni generator, čije se vrednosti mogu menjati. U tabeli su date maksimalne vrednosti otpornosti, koje se mogu po potrebi smanjivati kratkim spajanjem, kao i broj kondenzatora i kapacitet, koji se mogu takođe menjati isključivanjem.

Tabela B.1: Parametri udarnog generatora do 300 kV

Veličina	broj jedinica	Vrednost jedinice	Ukupna vrednost	sprega
C_1 (nF)	2	200	0.400	paralelna
C_2 (nF)	6	15×2.7	6.48	redno- paralelna
R_1 Ω	-	1	893	maks. vrednost
R_2 Ω	-	1	1804	maks. vrednost

Vršeni su proračuni optimalnih parametara kada su priključena 2 kondenzatora u paralelu kao C_1 i 6 kolona od po 15 redno vezanih kondenzatora za C_2 .