Visokonaponski ispitni laboratorij

Filipović, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:036488

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-21**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Stručni studij

VISOKONAPONSKI ISPITNI LABORATORIJ

Završni rad

Marko Filipović

Osijek, 2020.

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za završni ispit na preddiplomskom stručnom studiju

Osijek, 29.09.2020.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za završni ispit na preddiplomskom stručnom studiju

Ime i prezime studenta:	Marko Filipović
Studij, smjer:	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	RAZ-34, 9.10.2017.
OIB studenta:	78344337344
Mentor:	Mr.sc. Dražen Dorić
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Dr.sc. Krešimir Miklošević
Član Povjerenstva 1:	Mr.sc. Dražen Dorić
Član Povjerenstva 2:	Dr. sc. Venco Ćorluka
Naslov završnog rada:	Visokonaponski ispitni laboratorij
Znanstvena grana rada:	**Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)**
Zadatak završnog rada	Visokonaponska ispitivanja, istraživanja ili obuka osoblja zahtijevaju dobro projektirani visokonaponski laboratorij. U okviru završnog rada potrebno je razmotriti zahtjeve na ispitne sustave i zahtjeve na unutrašnji i eventualno vanjski prostor visokonaponskog laboratorija, ako je njegova primarna namjena edukacija studenata te različita istraživanja na fakultetu slijedećih značajki: izmjenični ispitni naponi do 200 kV, istosmjerni ispitni naponi do 300 kV.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	Vrlo dobar (4)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	29.09.2020.

Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 8.**7.2021.**

Ime i prezime studenta:	Marko Filipović
Studij:	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	RAZ-34, 9.10.2017.
Turnitin podudaranje [%]:	4

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**: Visokonaponski ispitni laboratorij**

izrađen pod vodstvom mentora Mr.sc. Dražen Dorić

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ:

1. UVOD 1

2. NAMJENA VISOKONAPONSKOG ISPITNOG LABORATORIJA 2

2.1. Ispitivanje 2

2.2. Ispitni sustav 3

3. ISPITNA OPREMA 5

3.1. Pomoćna oprema 5

4. PLANIRANJE PROSTORA ZA ISPITIVANJE 7

4.1. Prostorije 8

4.2. Kontrola, mjerenje i komunikacija 9

5. ZAŠTITA 10

5.1. Uzemljenje 11

5.2. Elektromagnetska zaštita 12

5.3. Izvor napajanja 14

6. IDEJA VISOKONAPONSKOG ISPITNOG LABORATORIJA 16

6.1. Izgled ispitne prostorije 17

6.2. Ispitivanje 18

7. ZAKLJUČAK 20

8. LITERATURA 21

1. UVOD

U posljednjih 120 godina, razvoj elektroenergetskog sustava (koji zahtjeva sve veće prijenosne napone) potaknuo je i razvoj visokonaponskog istraživanja. Nastajanjem nove opreme i razvojem nove tehnologije nastali su i današnji visokonaponski ispitni laboratoriji. Svako učinkovito visokonaponsko ispitivanje, znanstveno istraživanje i obučavanje osoblja zahtjeva da je takav laboratorij temeljno osmišljen. Osnovne su djelatnosti visokonaponskog laboratorija istraživačka, razvojna i komercijalna ispitivanja elektroenergetske opreme u skladu s međunarodnim i nacionalnim normama. Njegovo planiranje prema potrebama tvrtke ili fakulteta nužno je za daljnji neometani rad, dok sama realizacija obuhvaća širok spektar konstrukcije i namjene (od jedne sobe ispitnog napona nekoliko kilovolta do cijelog laboratorijskog kompleksa s nekoliko testnih područja) [1].

Ovaj završni rad prikazuje ciljeve i zahtjeve visokonaponskog ispitnog laboratorija u općem smislu, plansko dizajniranje njegovog unutarnjeg i vanjskog prostora, postavljanje opreme prilagođene namjeni te idejno rješenje visokonaponskog ispitnog laboratorija izmjeničnog ispitnog napona do 200 kV i istosmjernog ispitnog napona do 300kV čija je primarna namjena testiranje srednjih energetskih transformatora [1].

2. NAMJENA VISOKONAPONSKOG ISPITNOG LABORATORIJA

Visokonaponski ispitni laboratorij je mjesto ispitivanja uređaja i elemenata elektroenergetskog sustava, kao i mjesto eksperimentiranja (izvođenja pokusa) s novim tehnologijama. Gradi se i planira ovisno o njegovoj namjeni, odnosno o vrsti ispitivanja [1].

Korisnici visokonaponskih ispitnih prostorija mogu se podijeliti u iduće grupe:

- Dobavljač opreme (proizvođač opreme za energetski sustav)
- Elektroenergetski sustav (specifično tvrtke koje se bave proizvodnjom, prijenosom i distribucijom električne energije)
- Istraživački instituti
- Instituti za mjerenje i umjeravanje (kalibraciju)
- Fakulteti
- Tehničke škole [1].

2.1. Ispitivanje

Prije svega, potrebno je znati da pojam „ispitivanje“ podrazumijeva niz postupaka koji se provode radi utvrđivanja svojstava materijala ili provjera odgovara li proizvod postavljenim normama [1]. Postoji nekoliko vrsta ispitivanja koja se vrše u ovakvom tipu laboratorija i koja čine njegov ispitni sustav:

- Rutinski testovi - vrše se na novoj ili popravljenoj laboratorijskoj opremi. Ispitne stanice za ovakav tip testova moraju biti električki zaštićene zbog čestog korištenja visokog istosmjernog napona.
- Tipski testovi – obavljaju provjeru i potvrdu nazivnih karakteristika opreme, koriste istosmjerni i izmjenični ispitni napon.
- Testovi za razvoj i istraživanje - koristimo ih uglavnom na novoj tehnologiji, zahtijevaju najviše specijalne opreme za uspješan rad. Također koriste istosmjerni i izmjenični ispitni napon.
- Testovi za razvoj mjerenja i umjeravanja (kalibracije) – zahtijevaju što manje elektromagnetske smetnje zbog svoje osjetljivosti. Mogu se izvoditi s 20% nazivnog napona mjernog sustava

- Testovi edukacijske namjene – služe za stručno osposobljavanje osoblja, stručnu praksu i edukaciju studenata, izvode se na naponima veličine nekoliko stotina kilovolta [1].

Tablica 2.1. Potreba korisnika za određenom vrstom ispitivanja.[1]

	RUTINSKA ISPITIVANJA	TIPSKA ISPITIVANJA	RAZVOJ I ISTRAŽIVANJE	MJERENJE I UMJERAVANJE	EDUKACIJSKA ISPITIVANJA
DOBAVLJAČ OPREME	X	X	x	-	-
ELEKTROENERGETSKI SUSTAV	x	X	X	-	-
ISTRAŽIVAČKI INSTITUTI	x	X	X	x	-
INSTITUTI ZA KALIBRACIJU	-	-	x	X	-
FAKULTETI, TEHNIČKE ŠK.	-	X	X	x	X

Tablica 2.1. pokazuje kakva ispitivanja obavljaju korisnici visokonaponskog laboratorija. Plavom bojom obilježena su ispitivanja koja određeni korisnik primarno obavlja, dok su ispitivanja označena zelenom bojom optimalna.

2.2. Ispitni sustav

Rad visokonaponskog laboratorija temelji se na njegovim ispitnim sustavima. Oni podrazumijevaju svu opremu i uređaje koji se koriste u obavljanju ispitivanja nekog ispitnog objekta[1].

Komponente takvog ispitnog sustava su slijedeće:

- Visokonaponski generator (služi za pretvorbu malih ili srednjih vrijednosti napona u visoki ispitni napon)
- Soba za napajanje ()
- Visokonaponski mjerni sustav (obavlja mjerenja napona, spojen je na ispitni objekt)
- Sustav mjerenja i upravljanja ()
- Dodatna mjerna oprema (npr. za parcijalna izbijanja)

Vrsta ispitnog sustava koji se koristi ovisi o njegovoj namjeni, odnosno o vrsti ispitivanja koja se obavlja [1].

Tablica 2.2. Prikaz korištenja ispitnog sustava tijekom određenog ispitivanja [1]

	ISTOSMJERNI ISPITNI SUSTAV	IZMJENIČNI ISPITNI SUSTAV	SUSTAV ZA SVJETLOSNI I PREKLOPNI IMP.	SUSTAV ZA KOMBINIRANE TESTOVE
RUTINSKO ISPITIVANJE	< 1200 kV	-	< 2000 kV	-
TIPSKO ISPITIVANJE	< 1500 kV	< 1500 kV	< 4000 kV	
ISPITIVANJE ZA RAZVOJ I ISTR.	< 1500 kV	< 1500 kV	< 4000 kV	
ISPITIVANJE ZA KALIBRACIJU	< 400 kV	< 400 kV	< 800 kV	-
EDUKACIJSKO IPRISITVANJE	< 200 kV	< 300 kV	< 800 kV	-

U Tablici 2.2. plava boja označava primarne potrebe ispitivanja za određenim ispitnim sustavima, dok su zeleno označeni ispitni sustavi optimalni. Navedene vrijednosti napona unutar tablice ukazuju najveće nazivne napone ispitnog sustava.

3. ISPITNA OPREMA

U ovome poglavlju definirana je ispitna oprema visokonaponskog ispitnog laboratorija. Navedene vrste opreme sastoje se od uređaja koji omogućuju cjelovito, kvalitetno i precizno ispitivanje ispitnog objekta, kao i siguran rad unutar ispitnog područja [1].

Ispitna oprema koristi se primarno za obavljanje ispitivanja koja su prikazana u Tablici 3.1. Osim što čini ispitni sustav, podrazumijeva i opremu posebne namjene koja sudjeluje u procesu ispitivanja [1].

Tablica 3.1. Potrebe ispitivanja za određenom ispitnom opremom [1]

	Zaštita mjerne opreme	Oprema za umjetnu kišu	Komora za onečišćenje	Klimatska komora	Spremnik ulja	Spremnik stlačenog plina	Korona kavez
Rutinska ispitivanja	X	X	-	-	x	x	-
Tipska ispitivanja	X	X	X	x	x	x	x
Razvoj i istraživanje	X	X	X	x	x	x	x
Umjeravanje	X	-	-	-	-	-	-
Edukacijska ispitivanja	X	-	-	-	x	-	-

3.1. Pomoćna oprema

Osvjetljenje

Visokonaponski ispitni laboratoriji uglavnom nemaju prozore kako bi koristili prirodnu svjetlost (osim u slučajevima kada se ispitna prostorija koristi i za proizvodnju opreme). Ukoliko laboratorij ima prozore, oni moraju biti ugrađeni s metalnim okvirom na koji je metodom varenja pričvršćena metalna mreža te moraju biti spojeni s elektromagnetskom zaštitom [1].

Umjetno osvjetljenje je najčešći način rasvjete ispitnog područja. Laboratorij smije koristiti samo žarulje sa žarnom niti kao način rasvjete prostorija. Fluorescentne žarulje ne smiju biti u uporabi

jer svojim radom mogu ometati osjetljive metode ispitivanja. Poželjno je da se svjetlo može prigušiti jer olakšava promatranje nekih ispitnih metoda [1].

Grijanje, ventilacija i klimatizacija

Visokonaponska ispitna oprema unutar ispitnog laboratorija ne smije biti na temperaturi manjoj od 10 °C i većoj od 35 °C. Za upravljački sustav i sustav mjerenja temperatura mora biti između 15 °C i 30 °C. Sustav grijanja potrebno je uključiti ukoliko temperatura laboratorija u bilo kojem trenutku padne ispod 10°C [1].

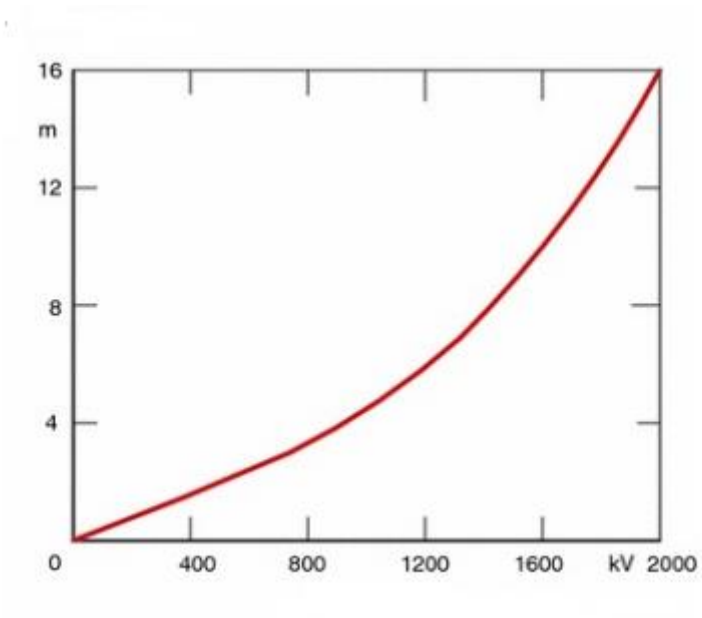
Ukoliko se laboratorij nalazi u vrućim klimama, potrebno je u svaku prostoriju ugraditi sustav klimatizacije koji održava prosječnu temperaturu od 20 °C. Soba za napajanje ne zahtjeva sustav grijanja ukoliko su temperature veće od 5 °C. Iskustvo u izgradnji visokonaponskih laboratorija nalaže da je najbolje izvesti stropno grijanje i ventilaciju i koristiti ih kao dio elektromagnetske zaštite, odnosno povezati ih s metalnom mrežom koja omogućava zaštitu od djelovanja električnog polja. Prilikom izvođenja ispitivanja dolazi do oslobađanja topline koja utječe na porast temperature, stoga laboratorij mora imati adekvatnu ventilaciju koja toplinu pomoću ventilatora iznosi van laboratorija u okolinu [1].

4. PLANIRANJE PROSTORA ZA ISPITIVANJE

Visokonaponski ispitni laboratorij podijeljen je na visokonaponska ispitna područja koja sadrže jednu ili više ispitnih stanica zajedno sa upravljačkom sobom i sobom za napajanje. Veličina visokonaponskog ispitnog područja definirana je prethodno odabranim ispitnim sustavima, specijalnom opremom i veličinom najvećeg objekta potrebnog za testiranje [1].

Prostor namijenjen za ispitivanje potrebno je odvojiti od ostale opreme koja se nalazi u prostoriji. Udaljenost između ispitnog objekta i ostalih elemenata laboratorija sprječava bilo kakav utjecaj na ispitni napon koji mu je upućen, kao i smetnje koje mogu ometati osjetljive eksperimente [1].

Potreban razmak između testnog objekta i bilo kojeg elementa koji je uzemljen ili pod naponom definiran je veličinom nazivnog ispitnog napona (Slika 4.1.). Definirane razmake nalaže norma IEC 60060-1:2010 [1].



Slika 4.1. Utjecaj ispitnog napona na razmak. [1]

Ukoliko je nemoguće zadovoljiti razmak (zbog velike količine opreme ili zbog ograničenog prostora laboratorija), potrebno je izvesti zračnu udaljenost između ispitnog sustava i okoline na način da podnosi 120% njegovog nazivnog napona (Vn). U laboratorijima koji koriste ispitni napon do 600 kV zračna udaljenost zahtjeva veličinu napona od 5kV/cm, a računa se prema jednadžbi:

$$d = (1.2 * V_{peak}) / 5 \qquad (4\text{-}1)$$

gdje je:

- d – zračna udaljenost
- V_{peak} – vršni napon

Vršni napon računa se prema jednadžbi :

$$V_{peak} = \sqrt{2} * Vn \tag{4-2}$$

Za veće ispitne napone zahtjev za veličinu napona od 5kV/cm je nemoguće izvesti. Na primjer, za istosmjerni ispitni napon od 2MV razmak između objekta i opreme bi trebao biti 16m. Trošak izgradnje tako velikog prostora za ispitivanje je prevelik, stoga se kraće udaljenosti izvode na drugačiji način. Koriste se visokonaponske zaštitno-kontrolne elektrode. Njihova izvedba nije univerzalna, konstruiraju se prema namjeni i zahtjevima laboratorija [1].

Slika 4.2. Toroidna elektroda [1]

Slika 4.3. Polikonska eletroda [1]

4.1. Prostorije

Dobro planiranje laboratorija je uvjet za njegov učinkovit i neometan rad jer maleni detalji čine posao osoblja produktivnijim i lakšim. Njegov izgled temelji se na namjeni, odnosni vrsti ispitivanja koju obavlja, a njegove realizacije su raznolike. Može se sastojati od samo jedne ispitne stanice na kraju proizvodnog procesa, no najčešće se izvode kao kompleksi (unutar poslovne tvtke) s nekoliko laboratorija koji sadrže više ispitnih stanica prilagođenih testnom području. Danas postoji mnogo objavljenih radova na temu oblikovanja visokonaponskog *laboratorija,* preporuka je proučiti ih prije samog planiranja. Kao što je već spomenuto, osim namjene laboratorija, njegov izgled određuju odabrani ispitni sustavi i dimenzije najvećeg ispitnog objekta [1].

Upravljačka soba je najbitnija prostorija za uspješno izvođenje testova. Omogućava potpuni nadzor i kontrolu i djelomično upravlja zaštitom laboratorija. Gradi se ovisno o namjeni. Može biti samo jedna prostorija, može biti podijeljena između dvije ispitne stanice za lakše usporedno testiranje [1].

4.2. Kontrola, mjerenje i komunikacija

Mjerenje je proces određivanja vrijednosti neke mjerne veličine, dok kontrola podrazumijeva nadzor i provjeravanje (u ovom slučaju provjeru testnog objekta, mjernih uređaja..) [2] .

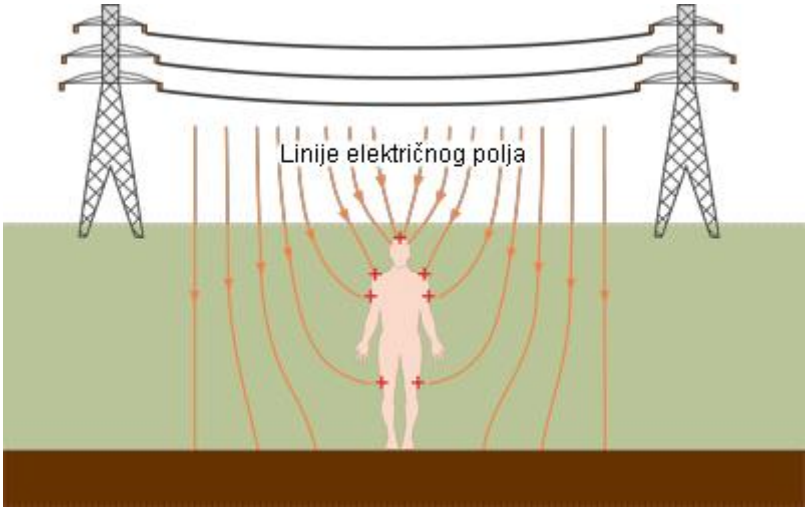
Obavljanje kontrole u visokonaponskim ispitnim laboratorijima na svaki ispitni sustav posebno nije poželjno. Kontrola bi trebala podrazumijevati cjelovitu i povezanu provjeru svih ispitnih sustava zajedno sa pomoćnom opremom. Preporuka je sve kontrolne i mjerne uređaje visokonaponskog laboratorija povezati s industrijskim osobnim računalima (IPC). Njihov sustav za mjerenje i kontrolu omogućuje bolju reproduktivnost ispitnih parametara te snimanje i pohranjivanje ispitnih podataka. Takav sustav u ispitnim laboratorijima koji sadrže vrijednu opremu ne smije biti u potpunosti automatiziran. U tom slučaju računalo treba ponuditi postupak računalne podrške pomoću kojeg operater (koji upravlja IPC-om) donosi odluke [1] .

Što se tiče komunikacije između kontrolnih i ispitnih uređaja, najbitnija je povezanost između ispitnih stanica. Razlog je uspješno promatranje ispitivanja iz svake ispitne stanice, kao i mogućnost davanja cjelokupnih ispitnih podataka ukoliko se ispitivanje jednog objekta vrši u više ispitnih stanica [1].

Povezivanje računalnog sustava s Internetom je neophodno. Tako se ispitni podaci mogu prenositi na lokalnu računalnu mrežu (LAN) kako bi se uspješno kombinirali s ispitnim podacima drugih laboratorija [1].

5. ZAŠTITA

Ovo poglavlje predstavlja uvid u načine prevencije bilo kakve štete ili ozljede osoblja unutar visokonaponskog ispitnog laboratorija. Glavnu opasnost predstavljaju električna polja koja nastaju između svih uzemljenih objekata i elektroda pod naponom. Kada električno polje prekorači dielektričnu izdržljivost zraka, nastaju električna pražnjenja čija jakost struje iznosi i do nekoliko kiloampera (Slika 5.1.) [1].



Slika 5.1. Djelovanje električnog polja [3]

Do sada je jako malo zabilježenih nesreća unutar laboratorija jer je osoblje svjesno rizika ukoliko zanemare pravila koja nalaže koncept sigurnosti. Pravila ukazuju na mjere opreza pri upravljanju ispitnim sustavima, ispitnim područjima i ispitnim prostorijama. Na temelju koncepta sigurnosti, osoblje bi barem jednom godišnje trebalo biti upućeno na opasnosti tijekom visokonaponskih ispitivanja [1].

Prije početka samog ispitivanja, osoblje treba poduzeti sljedeće mjere:

1. Konačna provjera uzemljenja i razmaka unutar postavljenog prostora za ispitivanje
2. Ukloniti osoblje van ispitnog prostora, isključiti sve ručno upravljane uređaje za uzemljenje
3. Zatvoriti sigurnosni krug
4. Uključiti sustave za kontrolu i mjerenje

5. Uključiti glavni prekidač
6. Izdati upozorenje pomoću sirene ili zvučnika (Npr. „Upozorenje, visoki napon je pušten, automatsko uzemljenje je isključeno!“)
7. Uključiti prekidač koji pokreće testiranje

Nakon završenog testiranja, potrebno je izvršiti iduće:

1. Ispitni napon smanjiti na manje od 50% ili na 0
2. Isključiti prekidač koji pokreće testiranje
3. Isključiti glavni prekidač
4. Otvoriti sigurnosni krug, izvesti ručno uzemljenje ili pražnjenje ukoliko je potrebno
5. Isključiti ispitni sustav

Navedeni koraci trebali bi biti dio stručnog osposobljavanja osoblja koje radi unutar visokonaponskog ispitnog laboratorija uz sva međunarodna i nacionalna pravila sigurnosti prilikom električnog ispitivanja. Koncept sigurnosti sadrži i upute koje nalažu demonstracije unutar laboratorija. Demonstracije bi se trebale održavati barem jednom godišnje i moraju se snimati [1].

Ne postoji službeni IEC dokument o sigurnosti visokonaponskog ispitnog laboratorija. Koncept sigurnosti se temelji na nekoliko izvora. Primjerice, IEC dokument 62061:2005 odnosi se na upravljanje opremom za kontrolu i napajanje, IEEE pravilnik 510 iznosi preporuke o vježbama sigurnog rada prilikom visokonaponskog testiranja. Postoji i europski standard EN 50191 (2005) koji se odnosi na pokretanje i upravljanje ispitnim sustavima. Uz navedene dokumente, potrebno je pratiti i upute od strane dobavljača električne energije [1].

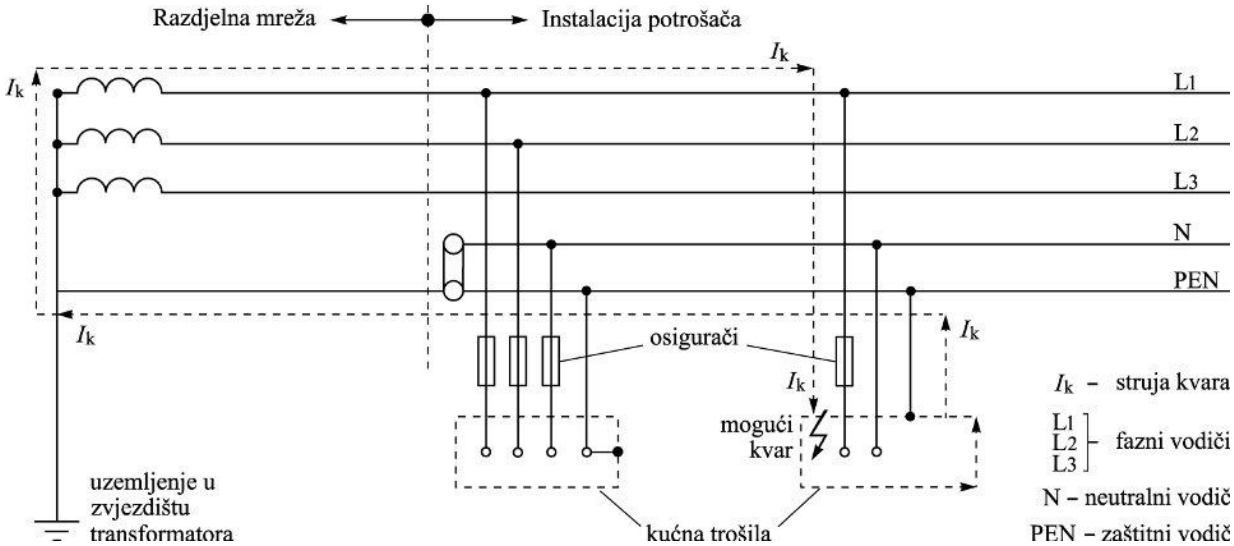
5.1. Uzemljenje

Uzemljenje predstavlja zaštitu strujnog kruga od prevelikog napona. U visokonaponskim ispitnim laboratorijima izvodi se na iduće načine:

- Uzemljenje zgrade - Svaki visokonaponski ispitni laboratorij mora biti uzemljen, uglavnom zbog zaštite rasvjete.

- Uzemljenje ispitne prostorije - Ispitna prostorija uzemljena je pomoću šipki za uzemljenje, ukopanih nekoliko metara u vodu ispod zemlje. Šipke su izolirane prvih par metara radi sigurnosti.
- Uzemljenje objekata unutar laboratorija

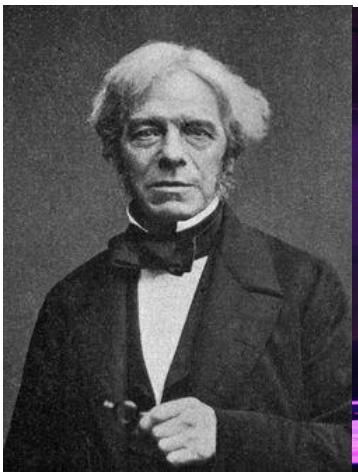
Svaki visokonaponski strujni krug mora biti povezan na uzemljenje ispitne prostorije što manjeg mogućeg induktiviteta. Izvedba uzemljenja prikazana je na Slici 5.2. [1].



Slika 5.2.. Shematski prikaz uzemljenja elektroenergetskog sustava [4]

5.2. Elektromagnetska zaštita

Svi elementi laboratorija se, osim uzemljenjem, štite i pomoću elektromagnetske zaštite koja je izvedena kao Faradayev kavez (Slika 5.4.) koji nosi ime po Michaelu Faradayu (Slika 5.3.), britanskom kemičaru i fizičaru koji je ovakav tip elektromagnetske zaštite izumio 1836. godine. Faradayev kavez je zatvorena metalna mreža ili metalni oklop koji štiti predmete ili ljude u svojoj unutrašnjosti od djelovanja električnih polja. Unutar visokonaponskog ispitnog laboratorija ovaj tip zaštite predstavlja zatvorenu metalnu konstrukciju koja je odvojena od tla i uzemljenja zgrade, a povezana s uzemljenjem ispitne prostorije samo na jednom kraju [1].



Slika 5.3. Michael Faraday [5] *Slika 5.4.. Faradayev kavez [6]*

Elektromagnetska zaštita laboratorija dijeli se na tri segmenta:

- Zaštita poda: pod je građen od armiranog betona ojačanog čeličnom mrežom koja je ujedno i dio elektromagnetske zaštite. Čelična mreža mora biti izolirana od tla plastičnom folijom (Slika 5.5.).
- Zaštita zidova: Čelična mreža se može postaviti ispred zida (kao zavjesa ili kao visoka ograda) i može se ugraditi unutar zida (Slika 5.6.).
- Zaštita stropa: Također se može izvesti pomoću čelične mreže no često je nepotrebno. Sustav grijanja i ventilacije (također građen od čelika) se najčešće postavlja na strop ispitnog laboratorija spaja sa zaštitom zidova [1].

Slika 5.5. Elektromagnetska zaštita poda [1]

Slika 5.6. Elektromagnetska zaštita zidova.[1]

5.3. Izvor napajanja

Električna energija visokonaponskog ispitnog laboratorija uglavnom dolazi iz srednjenaponske mreže, pomoću jednog ili više trofaznih transformatora čije nazivne karakteristike ovise o:

- ispitnoj opremi koju napajaju,
- potrebi za električnom energijom od strane ispitnog sustava, sustava za mjerenje i pomoćne opreme.

Sustav za ispitivanje potrebnu električnu energiju iz mreže koristi preko sobe za napajanje čija je namjena opskrba ispitnog sustava. Soba za napajanje (Slika 5.7.) sastoji se od:

- jedne ili više upravljačkih kutija (sadrže glavne i operacijske prekidače, opremu za mjerenje struje i napona, zaštitne uređaje)
- opreme za regulaciju električne energije (regulacijski transformator, ispitni transformator spoj motor-generator, frekvencijski pretvarač)

  Princip rada je slijedeći: ispitni sustav preko upravljačkog sustava signalizira potrebu za određenom količinu električne energije, soba za napajanje ju prenosi na ispitni sustav i njome upravlja tijekom cijelog ispitnog procesa [1].

Slika 5.7. Slika prikazuje sobu za napajanje. [1]

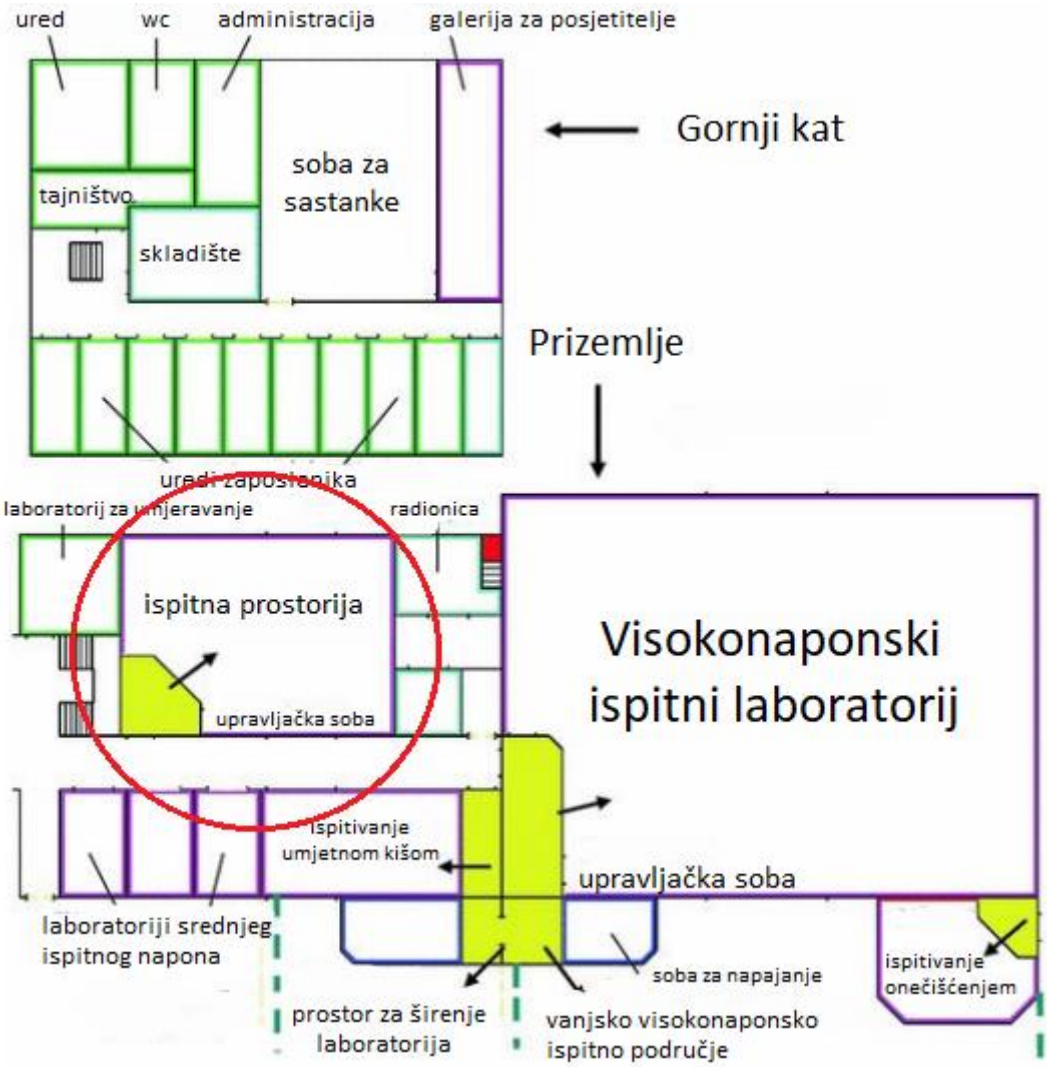
Sustav za ispitivanje potrebnu električnu energiju iz mreže koristi preko sobe za napajanje čija je namjena opskrba ispitnog sustava. Soba za napajanje sastoji se od:

- jedne ili više upravljačkih kutija (sadrže glavne i operacijske prekidače, opremu za mjerenje struje i napona, zaštitne uređaje)
- opreme za regulaciju električne energije (regulacijski transformator, ispitni transformator spoj motor-generator, frekvencijski pretvarač)

  Princip rada je slijedeći: ispitni sustav preko upravljačkog sustava signalizira potrebu za određenom količinu električne energije, soba za napajanje ju prenosi na ispitni sustav i njome upravlja tijekom cijelog ispitnog procesa [1].

6. IDEJA VISOKONAPONSKOG ISPITNOG LABORATORIJA

Za temu ovog poglavlja odabrana je ideja realizacije visokonaponskog ispitnog laboratorija kao takvog da obavlja ispitivanja edukacijske namjene. Izveden je kao ispitna prostorija unutar poslovnog prostora tvrtke koja se bavi visokonaponskim ispitivanjem opreme elektroenergetskog sustava (Slika 6.1.) [1].



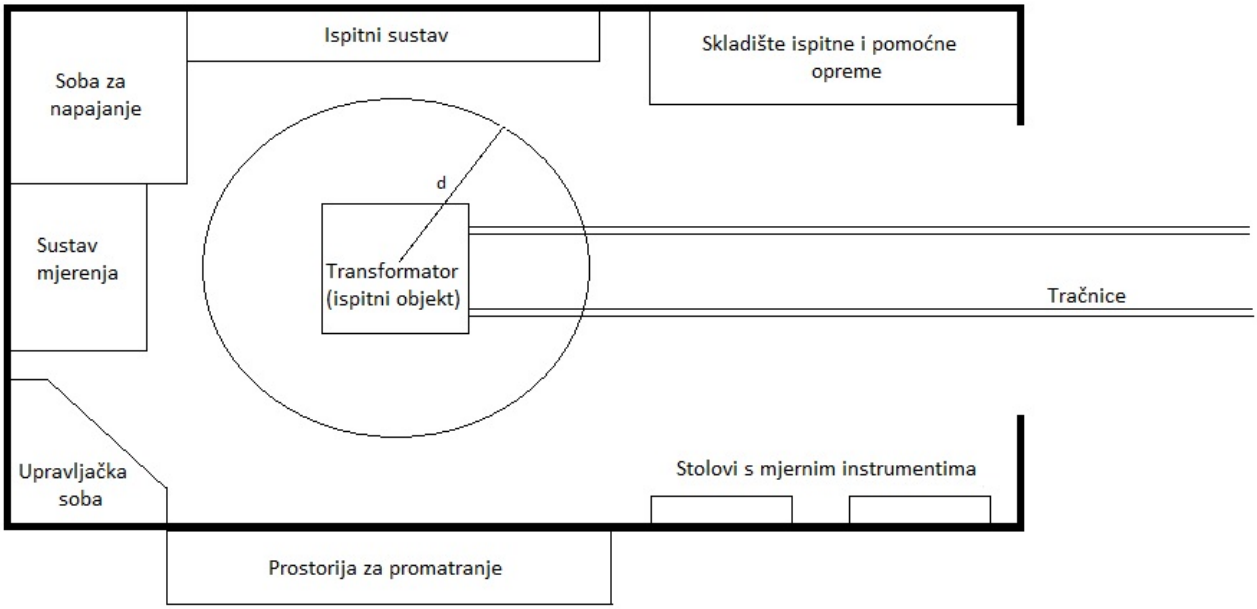
Slika 6.1. Tlocrt poslovnog prostora za visokonaponska testiranja

Navedena ispitna prostorija obavlja demonstraciju ispitivanja pred:

- učenicima tehničkih škola
- studentima elektrotehnike
- zaposlenicima tvrtke (u svrhu obučavanja osoblja) [1].

6.1. Izgled ispitne prostorije

Slika 6.2. prikazuje koncept prethodno spomenute ispitne prostorije koja je osmišljena na idući način: Soba za napajanje povezana je s vanjskom mrežom koja električnom energijom opskrbljuje cijeli poslovni prostor. Ispitni sustav, sustav mjerenja i upravljačka soba (unutar koje se nalazi upravljački sustav) potrebnu energiju dobivaju iz sobe za napajanje. U sredini ispitne prostorije nalazi se ispitni objekt (transformator) koji je povezan s prethodno navedenim sustavima. Transformator se u ispitnu prostoriju dostavlja na postolju koje se kreće na tračnicama ugrađenim u pod laboratorijskog kompleksa. Ukoliko je teret ispitnog objekta prevelik za tračnice, transport se obavlja pomoću dizalice. Nakon što su definirani razmaci (d) između ispitnog objekta i ostale uzemljene opreme (poglavlje 3.), ispitni objekt se može priključiti na ispitni sustav. Prije početka ispitivanja potrebno je utvrditi zaštitu ispitne prostorije i provesti sve prethodno preporučene mjere opreza. Ispitna prostorija je elektromagnetski zaštićena pomoću metalne mreže ugrađene u pod, zidove i podizna vrata. Oko ispitnog područja postavljena je sigurnosna ograda visine 2m kako bi zaštitila osoblje. Unutar ispitne prostorije nalazi se i skladište koje sadrži ispitnu opremu za umjetnu kišu, rezervnu instrumentaciju i elemente rasvjete [1].



Slika 6.2. Tlocrt ispitne prostorije

6.2. Ispitivanje

Nakon prethodno definiranih uvjeta, prije početka ispitivanja potrebno je utvrditi nazivne podatke ispitnog objekta (transformatora) kako bi se mogle utvrditi vrijednosti ispitnih napona za rutinska ispitivanja. Potrebno je utvrditi i svrhu ispitivanja, u ovom slučaju to je redovna preventivna kontrola transformatora. Unutar navedene ispitne prostorije, na srednje energetskim transformatorima obavljaju se slijedeća ispitivanja:

- Ispitivanje otpora i izolacije namota
- Ispitivanje kapaciteta i faktora dielektričnih gubitaka izoliranog namota
- Ispitivanje struja magnetiziranja
- Ispitivanje rasipnih induktiviteta
- Ispitivanje djelatnih otpora namota
- Ispitivanje vanjske izolacije umjetnom kišom [1].

Kao primjer ispitivanja opisano je ispitivanje pomoću opreme za umjetnu kišu:

Umjetna kiša podrazumijeva simulaciju kišnog vremena i služi za ispitivanje vanjske izolacije nekog ispitnog objekta unutar laboratorija. Pogodna je za ispitivanja s istosmjernim, izmjeničnim i preklopnim naponom (AC, DC, SI). Oprema pomoću koje se obavlja ovakvo ispitivanje postavlja se uz ili iznad ispitnog objekta (ovisno o dimenzijama objekta i laboratorija) na koji nanosi vodu preko sustava mlaznica. Voda mora padati na ispitni objekt pod kutom od 45° kako bi horizontalna i vertikalna komponenta količine oborina bila identična.

Ispitivanje umjetnom kišom (Slika 6.3.) treba trajati barem 15 minuta pod sljedećim uvjetima:

Horizontalna i vertikalna komponenta količine oborina za nazivne napone ispitnog objekta do 800 kV trebaju iznositi 1-2 mm/min, a za napone preko 800 kV 1-3 mm/min. Temperatura vode mora biti jednaka sobnoj temperaturi uz dozvoljena odstupanja ± 15 K. Električna vodljivost vode treba iznositi 100 µS/cm, uz dozvoljena odstupanja od ± 15 µS/cm (navedena pravila nalaže norma IEC 60060-1:2010). Ukoliko se vanjska izolacija ispitnog objekta unutar 15 minuta pokaže ispravnom, transformator je spreman za korištenje [1].

Slika 6.3.. Ispitivanje pomoću umjetne kiše [1]

Nakon provedenih rutinskih ispitivanja na transformatoru potrebno je napisati zaključak ispitivanja, primjerice*: Rezultati mjerenja zadovoljavaju / ne zadovoljavaju kriterije za puštanje transformatora u pogon. Izmjerene vrijednosti faktora dielektričnih gubitaka, rasipnih induktiviteta i djelatnih otpora namota su promjenjive / nepromjenjive u odnosu na prethodna mjerenja.* Uz zaključak se navodi i preporuka idućeg ispitivanja uz detaljne podatke ispitivanja u prilogu [1].

7. ZAKLJUČAK

Planiranje visoko naponskog ispitnog laboratorija potrebno je različitim tvrtkama ili fakultetima, bilo u istraživačke ili u edukacijske svrhe. Njegova realizacija ovisi o korištenim ispitnim sustavima, ispitnoj opremi i veličini ispitnog objekta. Ideja visokonaponskog ispitnog laboratorija namijenjena je za demonstraciju ispitivanja pred učenicima tehničkih škola, studentima elektrotehnike te zaposlenicima u tvrtkama za svrhu obučavanja osoblja. U njemu je bitno provoditi sve navedene sigurnosne mjere kako bi se osigurala ispitna oprema te kako bi se spriječile ozljede te kako se ne bi ugrozilo zdravlje osoblja.

8. LITERATURA

[1] W. Hauschild, E. Lemke, High-Voltage Test and Measuring Tehniques, Springer New York, 2013., ISBN: 978-3-662-52015-4

[2] https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=41305

[3] Zdrava energija, Utjecaj elektromagnetnog zračenja na ljude, https://www.zdrava-energija.com/index.php/biogen/informacije/86-tehnicko-zracenje/11-uticaj-elektromagnetnog-zracenja-na-ljude (27.08.2020.) – provjeriti kod nekog jos kako se tocno navodi, nije jasno napisano u uputama

[4] https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=44404

[5] Michael Faraday, https://sco.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday (28.8.2020.)

[6] Faradayev kavez radi sam, https://hr.puntomarinero.com/faraday-cage-do-it-yourself/ (28.8.2020.)

SAŽETAK

U ovom završnom radu predstavljena je namjena visokonaponskog ispitnog laboratorija. Opisani su ispitni sustavi i metode ispitivanja elemenata elektroenergetskog sustava. Navedena je ispitna i pomoćna oprema pomoću koje se obavljaju ispitivanja. Prikazano je planiranje laboratorija, definirani su potrebni razmaci između ispitnog objekta i opreme. Obrađene su mjere zaštite i mjere opreza. U posljednjem poglavlju ponuđena je ideja laboratorija za rutinska ispitivanja srednje energetskih transformatora. Laboratorij je osmišljen kao ispitna prostorija unutar laboratorijskog kompleksa i služi za edukacijske demonstracije. Predviđeni korisnici ove ispitne prostorije su učenici, studenti i zaposlenici visokonaponskog ispitnog laboratorija.

Ključne riječi: Visokonaponski ispitni laboratorij, ispitna oprema, ispitni sustav, zaštita, ispitna prostorija, transformator

ABSTRACT

In this final paper, the purpose of a high-voltage test laboratory is presented. Test systems and test methods for power system elements are described. The test equipment and auxiliary equipment for test operations are listed. The planning of the laboratory is presented, the necessary clearances between the test object and the equipment are defined. Protection measures and precautionary measures are discussed. The last chapter offers the idea of a laboratory for routine testing of medium power transformers. The laboratory is designed as a test room within the laboratory complex and used for educational demonstrations. The intended users of this test space are pupils, students and employees of the high-voltage test laboratory.

Key words: High voltage test laboratory, test equipment, test system, shielding, test room, transformer

ŽIVOTOPIS

Marko Filipović rođen je u Osijeku 23. ožujka 1998. godine. Živi i odrasta u Čepinu gdje je pohađao osnovnu školu „Miroslav Krleža“. Nakon završene osnovne škole odlučuje upisati Opću gimnaziju u Osijeku te se tijekom treće školske godine prebacuje u Prirodoslovno - matematičku gimnaziju u Osijeku. Nakon završetka srednjoškolskog obrazovanja upisuje se na Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku te odabire stručni studij elektrotehnike, smjer elektroenergetika.