

# Visokonaponski prekidači

---

Lešić, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:800624>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-26**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Sveučilišni prijediplomski studij elektrotehnike

Završni rad

**VISOKONAPONSKI PREKIDAČI**

Rijeka, srpanj 2023. g.

Josip Lešić  
0069089654

SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Sveučilišni prijediplomski studij elektrotehnike

Završni rad

**VISOKONAPONSKI PREKIDAČI**

Mentor: Prof. dr. sc. Dubravko Franković

Rijeka, srpanj 2023. g.

Josip Lešić  
0069089654

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
**POVJERENSTVO ZA ZAVRŠNE ISPITE**

Rijeka, 14. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za elektroenergetiku**  
Predmet: **Električna postrojenja**  
Grana: **2.03.01 elektroenergetika**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Josip Lešić (0069089654)**  
Studij: **Sveučilišni prijediplomski studij elektrotehnike**

Zadatak: **Visokonaponski prekidači / High voltage current breakers**

### Opis zadatka:


Struja kratkog spoja u elektroenergetskom sustavu (EES) predstavlja neželjenu pojavu koja izaziva izrazito visoku mehaničku i toplinsku naprežanost. Zadaća visokonaponskih (VN) prekidača je u najkraćem mogućem vremenu prekinuti struju kvara te na taj način smanjiti štetne posljedice za komponente EES-a i sustav u cjelini. U radu je potrebno obraditi vrste VN prekidača, njihov izbor i dimenzioniranje te trendove razvoja.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

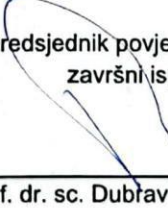
*Josip Lešić*

Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:

  
Prof. dr. sc. Dubravko Franković

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

  
Prof. dr. sc. Dubravko Franković

SVEUČILIŠTE U RIJECI

**TEHNIČKI FAKULTET**

Sveučilišni prijediplomski studij elektrotehnike

### IZJAVA

Sukladno članku 9. Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu, završetku prijediplomskog studija, izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad pod naslovom „Visokonaponski prekidači“ prema zadatku od 14. ožujka 2023. godine uz konzultacije sa mentorom prof. dr. sc. Dubravkom Frankovićem

Rijeka, srpanj 2023.

---

Josip Lešić

## **Zahvale**

Posebno se zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Dubravku Frankoviću na prenesenom znanju, dostupnosti, stručnim savjetima, uputama i smjernicama koje su mi omogućile i olakšale izradu ovoga rada.

Također se zahvaljujem svojoj obitelji koja mi je pružala podršku tijekom cijelog studiranja i izrade ovog rada.

Josip Lešić

## Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. KRATKI SPOJ.....	2
2.1. Vrste kratkih spojeva .....	2
2.2. Vrijednosti struja kratkog spoja.....	5
2.2.1. Udarne struja kratkog spoja .....	5
2.2.2. Rasklopna struja kratkog spoja .....	6
2.2.3. Struja mjerodavna za ugrijavanje prilikom kratkog spoja .....	7
2.3. Prekidanje malih induktivnih i kapacitivnih struja.....	7
3. ZAHTJEVI I PRINCIP RADA PREKIDAČA.....	10
3.1. Podjela prekidača.....	10
3.2. Prekidanje električnog luka .....	11
3.3. Dijelovi prekidača i vrste radnih mehanizama .....	12
4. VRSTE VN PREKIDAČA .....	16
4.1. Uljni prekidači .....	16
4.2. SF <sub>6</sub> prekidači .....	17
4.3. Zračni prekidači .....	18
4.4. Vakuumski prekidači .....	19
4.5. Hidromatski prekidači .....	20
4.6. Pneumatski prekidači.....	21
4.7. Razvoj novih vrsta prekidača .....	22
4.7.1. EconiQ visokonaponski prekidač .....	22
4.7.2. CO <sub>2</sub> prekidači.....	23
5. IZBOR, ISPITIVANJE I ODRŽAVANJE PREKIDAČA .....	25
5.1. Izbor prekidača .....	25
5.2. Ispitivanje prekidača.....	28
5.3. Održavanje i kvarovi .....	30
5.3.1. Posljedice kvarova ili nepravilnosti u radu prekidača .....	31
6. PRIMJENA SKLOPNIH APARATA U TS TUŠMER 35/10(20) kV .....	33
7. ZAKLJUČAK .....	38
8. POPIS LITERATURE .....	39
SAŽETAK.....	40

## 1. UVOD

Porast potrošnje električne energije iziskuje izgradnju velikih elektrana, velikih prijenosnih mreža, koje se rasprostiru preko cijelih država i ujedno ih međusobno povezuju, te mreža srednjeg napona i mreža niskog napona, koje dolaze do krajnjih potrošača.

Obzirom se radi o visokim naponima i velikim strujama, nije moguće ostvariti razgranjavanje struja i transformaciju bez posebnih postrojenja. Takva postrojenja nazivaju se rasklopna postrojenja. Elementi koji se nalaze u postrojenjima su: sabirnice, izolatori, odvodnici prenapona, energetske i mjerni transformatori, rastavljači, te uređaji za prekidanje struje.

U ovome radu razmatrat će se visokonaponski prekidači koji služe za trajno vođenje i prekidanje pogonskih struja, te kratkotrajno vođenje i prekidanje struja kratkog spoja. Definirat će se kratki spoj koji je neželjena pojava i uzrokuje struje koje su po iznosu višestruko veće od struja u normalnom pogonskom stanju. Kao posljedica struja kratkog spoja javljaju se termička i dinamička naprezanja.

U radu će se također opisati pojava električnog luka koji se javlja prilikom prekidanja struja kratkog spoja, dijelovi prekidača kao i podjela prekidača prema različitim karakteristikama.

Prekidači su vrlo važan čimbenik pri promatranju pouzdanosti elektroenergetskog sustava, stoga je njihov pravilan i siguran rad vrlo bitan. Prekidači se koriste na visokom, srednjem i niskom naponu. U uklopljenom stanju, impedancija prekidača je zanemarivo malena, dok je u isklopljenom stanju njihova impedancija beskonačna.

Opisat će se postupak ispitivanja, održavanja i izbora prekidača. Da bi prekidači ispravno funkcionirali potrebno ih je pravilno izabrati prema nazivnom naponu, nazivnoj struji, te rasklopnoj moći. Također, potrebno ih je pravilno održavati u ovisnosti o njihovom tipu, te radnim uvjetima.



## **2. KRATKI SPOJ**

Kratki spoj je definiran kao nepoželjno pogonsko stanje koje može dovesti do preopterećenja elemenata unutar sustava, termičkih oštećenja izolacije elemenata i mehaničkih izobličenja dijelova tih elemenata.

Kratki spoj nastaje kada dvije točke, koje su prilikom normalnog pogona na različitom potencijalu, dođu u vodljivu vezu. Također, kratki spoj nastaje kada neka točka, koja je pod naponom u normalnom pogonskom stanju, dođe u neposredni kontakt sa zemljom.

Struje kratkog spoja su po iznosu višestruko veće od struja u normalnom pogonskom stanju, a shodno tome veća su termička i dinamička naprezanja elemenata u mreži. Prilikom dimenzioniranja elemenata mreže potrebno je u obzir uzeti struje kratkih spojeva, te je važno odrediti maksimalni i minimalni iznos struje kratkog spoja.

Utvrđivanje maksimalnog iznosa struje kratkog spoja bitno je za dimenzioniranje elemenata u mreži koji moraju biti u stanju podnesti termička i dinamička naprezanja sve dok zaštita ne proradi. Utvrđivanje minimalnog iznosa struje kratkog spoja važno je za dimenzioniranje zaštite.

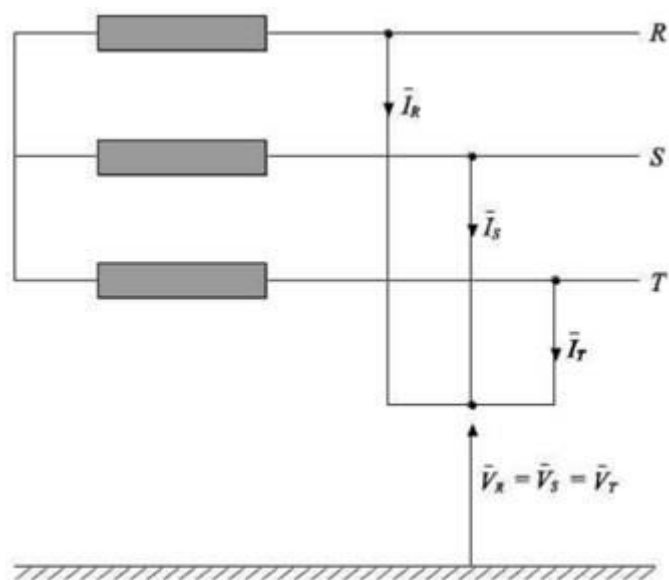
### **2.1. Vrste kratkih spojeva**

Postoje različite vrste kratkih spojeva koji se razlikuju po načinu njihova nastanka, prilikama koje tada vladaju u mreži i načinu proračuna struja. Ovisno o mjestu nastanka kratkog spoja ovisi koja će vrsta kratkog spoja uzrokovati najveću struju kratkog spoja, a time i najveća naprezanja. Prilikom izbora opreme u električnim postrojenjima važno je odrediti vrstu kratkog spoja koja daje najveću moguću struju kratkog spoja.

Vrste kratkih spojeva:

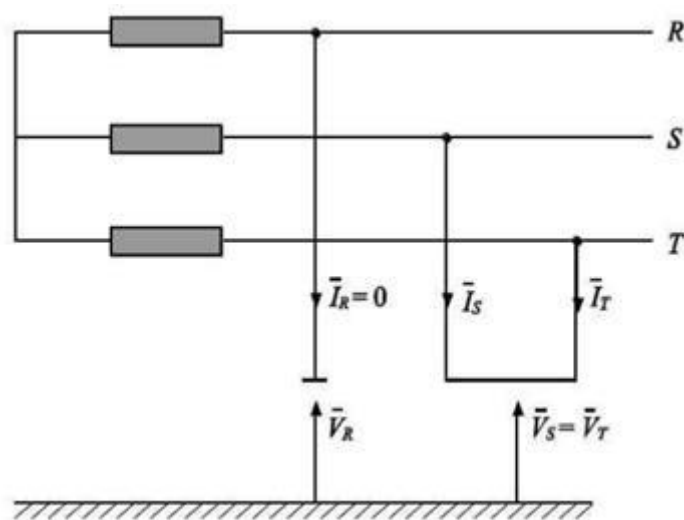
- Trofazni kratki spoj
- Dvofazni kratki spoj
- Dvofazni kratki spoj sa zemljom
- Jednofazni kratki spoj

Trofazni kratki spoj nije tako česta pojava među kratkim spojevima, karakteristično za tu vrstu kratkog spoja je što struja kratkog spoja simetrično opterećuje fazne vodove. Trofazni kratki spoj je ujedno i jedina vrsta simetričnog kratkog spoja. Vrlo često ova vrsta kratkog spoja uzrokuje najveće struje kratkog spoja za čiji je proračun mjerodavan samo direktni sustav.



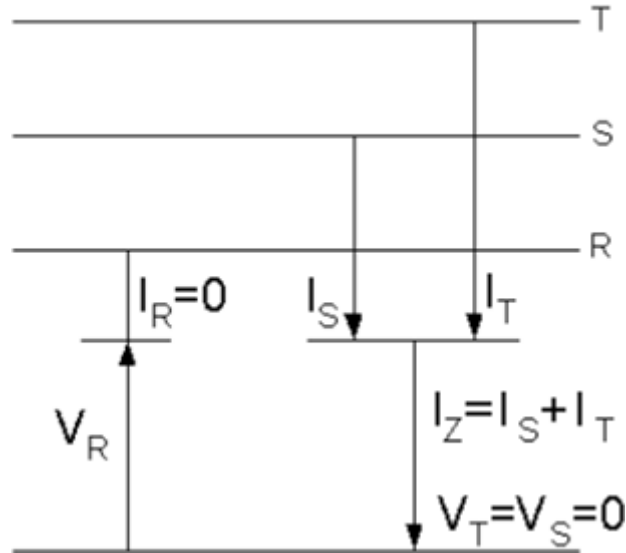
Slika 2.1. Shematski prikaz trofaznog kratkog spoja

Prilikom dvofaznog kratkog spoja dolazi do nesimetričnog opterećenja, a on nastaje kratkim spajanjem dviju faza. Za proračun struja kratkog spoja mjerodavni su direktni i inverzni sustav.



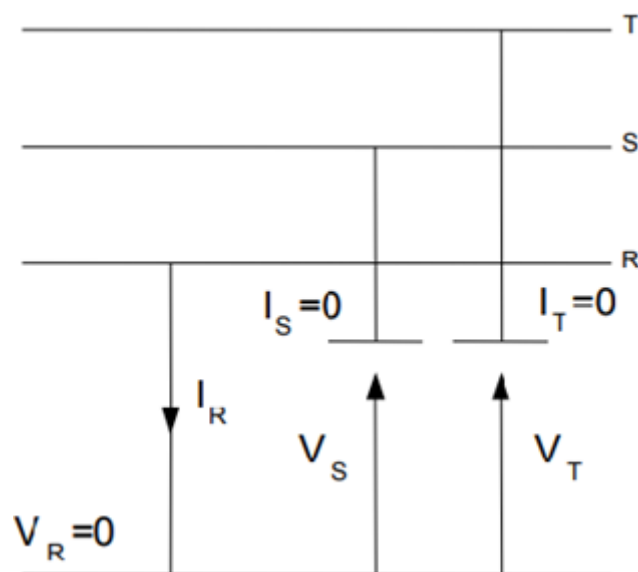
Slika 2.2. Shematski prikaz dvofaznog kratkog spoja

Prilikom dvofaznog kratkog spoja sa zemljom dolazi do nesimetričnog opterećenja, a on nastaje kratkim spajanjem dviju faza, uz istovremeni spoj sa zemljom. Za proračun struja kratkog spoja mjerodavni su direktni, inverzni i nulti sustav.



Slika 2.3. Shematski prikaz dvofaznog kratkog spoja sa zemljom

Jednofazni kratki spoj je najčešći kratki spoj koji se događa, a manifestira se nesimetričnim opterećenjem. Prilike pri jednofaznom kratkom spoju vrlo su komplicirane, a za sami proračun struja kratkog spoja mjerodavni su direktni, inverzni i nulti sustav.



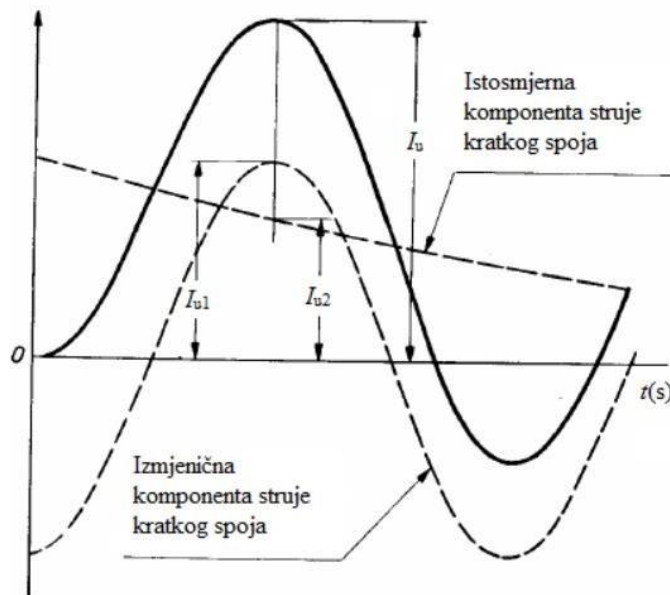
Slika 2.4. Shematski prikaz jednofaznog kratkog spoja

## 2.2. Vrijednosti struja kratkog spoja

Tri su mjerodavne vrijednosti struje kratkog spoja za izbor opreme u elektroenergetskom sustavu, bez obzira na to koja je vrsta kratkog spoja najnepovoljnija.

### 2.2.1. Udarne struja kratkog spoja

Udarne struja kratkog spoja je maksimalna vrijednost struje kratkog spoja od trenutka nastanka kratkog spoja. Poznavanjem udarne struje kratkog spoja moguće je odrediti maksimalna dinamička naprezanja koja se javljaju prilikom kratkog spoja.



Slika 2.5. Udarne struja kratkog spoja

Oznake na slici (2.5):

$I_u$  – maksimalna vrijednost (amplituda) udarne struje

$I_{u1}$  – izmjenična komponenta udarne struje

$I_{u2}$  – istosmjerna komponenta udarne struje

Kada je istosmjerna komponenta udarne struje najveća, javlja se maksimalna vrijednost udarne struje, a to se događa pri nastanku kratkog spoja dok je inducirani napon u nekoj od faza jednak nuli.

U krugu bez djelatnog otpora maksimalna vrijednost će se javiti pola periode nakon nastanka kratkog spoja, a u krugu sa djelatnim otporom javit će se ranije, proporcionalno omjeru R/X, dakle što je omjer veći ranije će se pojaviti maksimalna vrijednost udarne struje.

Udarana struja se računa prema izrazu (2.1) :

$$I_u = k * \sqrt{2} * I_k'' \quad (2.1)$$

gdje je:

$I_u$  – udarna struja kratkog spoja

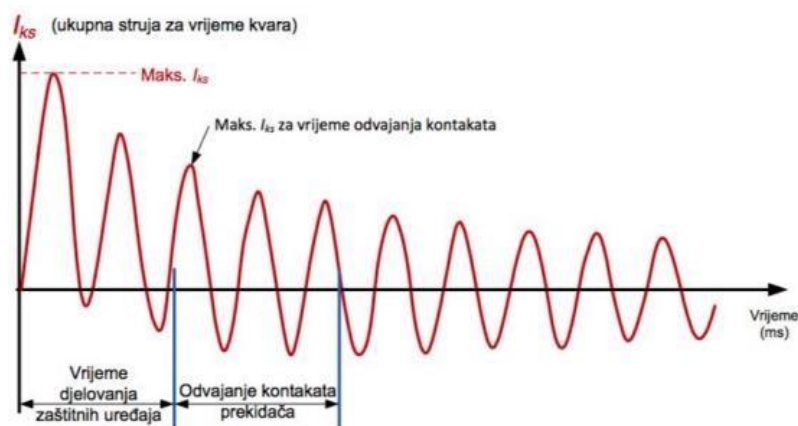
$I_k''$  – efektivna vrijednost izmjenične komponente struje kratkog neposredno nakon nastanka kratkog spoja

$k$  – faktor koji opisuje opadanje istosmjerne komponente struje kratkog spoja

### 2.2.2. Rasklopna struja kratkog spoja

Rasklopna struja kratkog spoja je efektivna vrijednost struje koja protječe kroz prekidač u trenutku rastavljanja njegovih kontakata. Rasklopnu struju kratkog spoja potrebno je poznavati kako bi se odredila rasklopna snaga koja je bitan faktor za odabir adekvatnog prekidača.

Prekidač mora biti u mogućnosti prekinuti najveću moguću struju koja može teći kroz njegove kontakte. Najveća moguća struja kratkog spoja javlja se prilikom kratkog spoja na sabirnicama i prilikom kratkog spoja u odvodu neposredno nakon prekidača.



Slika 2.6. Rasklopna struja kratkog spoja

Rasklopna struja računa se prema izrazu (2.2):

$$I_r = \sqrt{I_k'^2 + I_a^2} \quad (2.2)$$

gdje je:

$I_r$  – rasklopna struja kratkog spoja

$I_k'^2$  – izmjenična komponenta (najnepovoljnije vrste) struje kratkog spoja

$I_a^2$  – istosmjerna komponenta struje kratkog spoja

### 2.2.3. Struja mjerodavna za ugrijavanje prilikom kratkog spoja

Struja mjerodavna za ugrijavanje prilikom kratkog spoja je efektivna vrijednost struje kratkog spoja unutar vremena od trenutka nastanka kratkog spoja do trenutka prekida kratkog spoja.

Struja mjerodavna za ugrijavanje prilikom kratkog spoja računa se prema izrazu (2.3):

$$I_t = I_k^2 * \sqrt{m + n} \quad (2.3)$$

gdje je:

$I_t$  – struja mjerodavna za ugrijavanje prilikom kratkog spoja

$I_k^2$  – efektivna vrijednost izmjenične komponente (najnepovoljnije vrste) struje kratkog spoja

$m$  – koeficijent vremenske ovisnosti toplinskog efekta istosmjerne komponente struje kratkog spoja

$n$  – koeficijent vremenske ovisnosti toplinskog efekta izmjenične komponente struje kratkog spoja

## 2.3. Prekidanje malih induktivnih i kapacitivnih struja

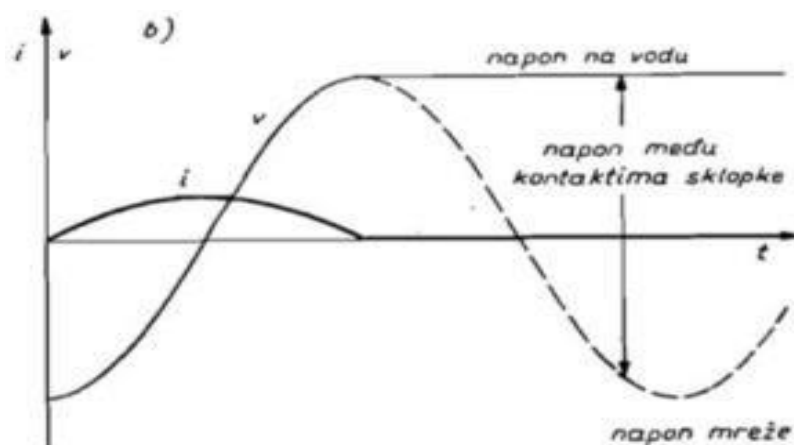
Pri prekidanju malih induktivnih ili kapacitivnih struja dolazi do određenih prenapona u mreži.

Pri isklapanju transformatora u praznom hodu, odnosno pri prekidanju struje magnetiziranja, prije njezinog prolaska kroz nulu dolazi do pojave velikih prenapona. Prilikom gašenja struje, prije njezinog prolaska kroz nulu u transformatoru ostaje nagomilana magnetska energija koja se mora potrošiti u titrajnom krugu transformator – kapacitet, te mora biti zadovoljena jednadžba (2.4).

$$\frac{1}{2} * L * i^2 = \frac{1}{2} * C * V^2 \quad (2.4)$$

Budući je kapacitet transformatora vrlo malen, napon mora biti velik zbog čega se javljaju prenaponi.

Pri prekidanju kapacitivne struje mogu se generirati prenaponi koji dovode do dielektričnog proboja prekidača. Ovo se događa pri isklapanju neopterećenih vodova, te kod kapacitivnih opterećenja kao što su kondenzatori. Prekidači prekidaju kapacitivnu struju pri vrijednosti struje jednakoj nuli, dok je napon u tom trenutku maksimalan. Dakle, nakon prolaska struje kroz nulu električni luk se gasi, a na kapacitetu ostaje napon jednak naponu mreže u trenutku gašenja. Taj napon vlada na kontaktu prekidača na strani voda, pošto se napon mreže i dalje mijenja po sinusoidi, u jednom trenutku će doći do pojave dvostruke tjemene vrijednosti napona mreže. Ako dielektrična čvrstoća među kontaktima prekidača nije dovoljno velika, doći će do ponovnog paljenja električnog luka, te je također moguća i pojava povratnog preskoka među kontaktima, što dovodi do pojave štetnih prenapona.



Slika 2.7. Graf napona među kontaktima prilikom prekidanja kapacitivnih struja

Ukoliko se radi o manjem kapacitetu, električni luk neće se ugasiti odmah pri prvom prolasku struje kroz nulu, nego tek kada napon postigne napon mreže.

Ukoliko se radi o većem kapacitetu, električni luk će se ugasiti pri prvom prolasku struje kroz nulu, pa će na vodu ostajati sve veći naponi. Iz tog razloga, u vodove se dodaju određeni odvodnici prenapona kako bi se spriječio proboj izolacije.

Prekidači koji su namijenjeni prekidanju kapacitivnih struja moraju biti vrlo brzi i imati mogućnost spriječavanja ponovnog paljenja električnog luka. Prema tome prekidači za prekidanje kapacitivnih struja dijele se u dvije klase, na klasu C1 i na klasu C2. Klasa C1 ima nisku vjerojatnost ponovnog paljenja električnog luka, a klasa C2 ima vrlo nisku vjerojatnost ponovnog paljenja električnog luka.



### **3. ZAHTJEVI I PRINCIP RADA PREKIDAČA**

Prekidači moraju provoditi električnu energiju, te imati sposobnost uklopa i isklopa u normalnom pogonskom stanju. Najteži zadatak prekidača je prekidanje struja kvarova koje su po iznosu višestruko veće od struja u normalnom pogonskom stanju.

Od prekidača se zahtijeva da imaju što manji otpor prilikom vođenja struje u normalnom pogonu, a kada su kontakti razdvojeni da im otpor bude beskonačan. Također, važno je da vrijeme sklapanja bude što kraće, te da spriječe stvaranje prenapona u mreži. Moraju biti pouzdani, brzi i dugotrajni, te u svakom trenutku moraju biti u stanju prekinuti struju kratkog spoja.

#### **3.1. Podjela prekidača**

Prekidači se mogu podijeliti u više skupina s obzirom na više različitih kriterija:

- Podjela po naponu
- Podjela po strukturnom dizajnu
- Podjela prema primjeni
- Podjela s obzirom na mjesto ugradnje
- Podjela prema mediju gašenja

S obzirom na napon, prekidači se mogu podijeliti u dvije skupine. Prvu skupinu čine niskonaponski prekidači čiji nazivni napon ne prelazi 1 kV. U drugu skupinu, tj. visokonaponske prekidače spadaju svi ostali prekidači čiji je nazivni napon veći od 1 kV.

Po strukturnom dizajnu razlikuju se dvije vrste visokonaponskih prekidača. Prvu vrstu karakterizira to što su im kućišta, odnosno prekidne komore smještene na razini tla, te su uzemljene zbog čega je njihov potencijal jednak potencijalu zemlje. Drugu vrstu karakterizira to što su im komore smještene iznad tla i nisu uzemljene zbog čega imaju određeni potencijal.

Neke od primjena visokonaponskih prekidača su:

- Generatorski prekidači
- Prekidači za sklapanje transformatora

- Prekidači za sklapanje prigušnica
- Prekidači za sklapanje neopterećenih vodova
- Prekidači za sklapanje kondenzatora
- Prekidači za sklapanje nadzemnih vodova

S obzirom na mjesto ugradnje, prekidači se dijele na dvije skupine: vanjske i unutarnje. Glavna razlika između vanjskih i unutarnjih prekidača je u njihovom kućištu koje mora biti prilagođeno različitim uvjetima rada.

Mediji koji se koriste za gašenje električnog luka glavni su čimbenik pri projektiranju prekidača. U početku glavni mediji koji su se koristili bili su zrak i ulje, a s vremenom, kako su rasle naponske razine, te zahtijevi za prekidače razvijali su se prekidači s drugim medijima. Pored zraka i ulja, u današnjici postoji više različitih medija kao što su npr. vakuum, SF<sub>6</sub> plin, različite mješavine tekućina, te se i dalje teži ka razvoju prekidača sa novim vrstama medija. Medij poput SF<sub>6</sub> plina ima jako dobra svojstva i vrlo široku primjenu, ali postoji problem jer taj plin zagađuje okoliš, a to predstavlja novi izazov za proizvođače visokonaponskih prekidača.

### **3.2. Prekidanje električnog luka**

Prekidači služe za trajno vođenje i prekidanje struje u normalnom pogonu, ali i za kratkotrajno vođenje i prekidanje struja kratkog spoja. Kod većine danas korištenih sklopnih aparata, do prekidanja strujnog kruga dolazi mehaničkim razdvajanjem kontakata pri čemu se javlja električni luk. Prilikom razdvajanja kontakata dolazi do njihovog zagrijavanja koje dovodi do taljenja i isparavanja što na kraju rezultira time da međukontakti postane vodljiv, odnosno da struja nastavi teći bez obzira na to što su kontakti prekidača fizički razdvojeni.

Bitno je razlikovati električni luk u izmjeničnim krugovima od električnog luka u istosmjernim krugovima.

Ukoliko se radi o izmjeničnim krugovima, električni luk sprječava trenutno prekidanje struje što osigurava od pojave velikih prenapona. Struja u tome slučaju, prirodno, po sinusoidi

postigne vrijednost nula, te se u tome trenutku električni luk gasi, nakon čega je potrebno osigurati da se on ponovno ne upali. To se realizira tako da se postigne dovoljno velika dielektrična čvrstoća međukontaktnog prostora. Gorenje električnog luka ima i svoju negativnu stranu, njegovim gorenjem razvija se velika toplinska energija koja može uzrokovati mehanička i toplinska naprezanja.

Ukoliko se radi o istosmjernim krugovima, struja niti u jednom trenutku ne poprimi vrijednost nula, pa je za gašenje električnog luka potrebno prisilno natjerati struju da poprimi vrijednost nula. To se postiže tako da se poveća otpor luka kako bi se smanjila struja ispod vrijednosti potrebne da bi se električni luk održavao. Opadanjem temperature povećava se njegov napon, odnosno otpor jer opada ionizacija međukontaktnog prostora. Na otpor luka utječe i tlak u međukontaktnom prostoru čijim se povećanjem ujedno povećavaju pad napona i otpor.

Otpor luka povećava se povećanjem duljine luka, smanjenjem presjeka luka, snižavanjem temperature luka, te razbijanjem luka na više dijelova. Vrlo velik utjecaj na otpor ima i medij u međukontaktnom prostoru, stoga se vrlo često biraju mediji koji imaju velik udio vodika, kao što je na primjer ulje, jer vodik ima najveći relativni pad napona po jedinici duljine luka.

### **3.3. Dijelovi prekidača i vrste radnih mehanizama**

Dijelovi prekidača su:

1. Konstrukcija

Predstavlja konstrukcijski dio na kojem se nalaze ostali dijelovi prekidača.

2. Izolacija

Realizirana je kombinacijom plina, tekućine i čvrstog dielektričkog materijala, služi za spriječavanje kratkih spojeva koji uzrokuju velike kvarove.

3. Medij za gašenje električnog luka

Medij za gašenje i spriječavanje ponovnog paljenja električnog luka koji se javlja prilikom prekidanja struja kvarova.

4. Vodiči i kontakti

Vodiči i kontakti su sačinjeni od dobrih vodičkih materijala, služe za provođenje električne energije u normalnom pogonskom stanju, te kontakti imaju i mogućnost zatvaranja i otvaranja čime se prekidaju struje normalnih pogonskih stanja, ali i struje kvarova.

## 5. Radni mehanizam

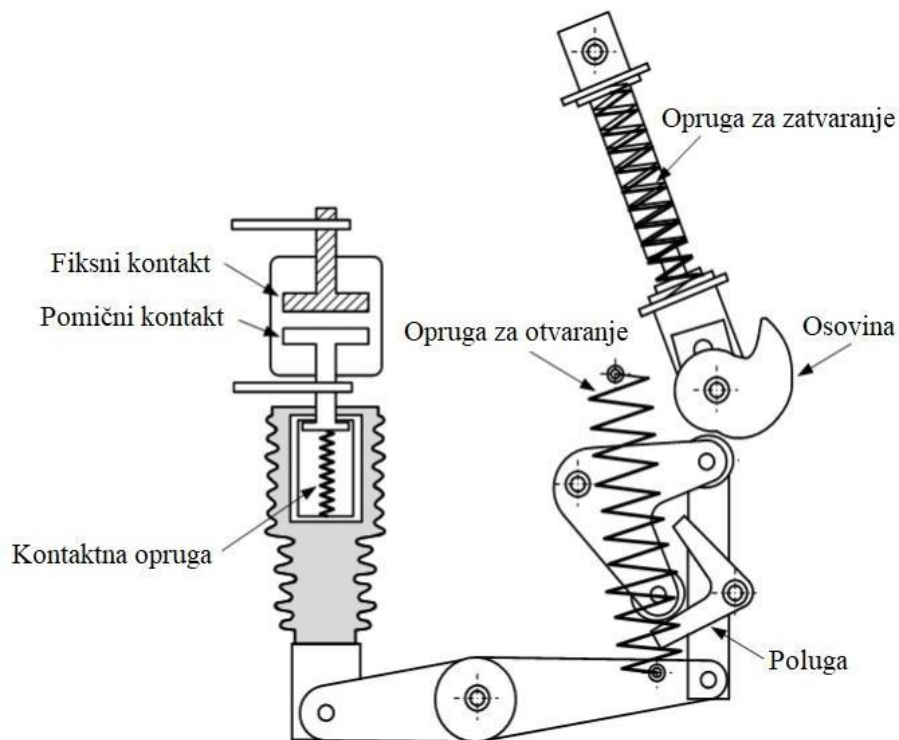
Predstavlja mehanizam koji upravlja otvaranjem i zatvaranjem kontakata prekidača.

## 6. Upravljačke i pomoćne funkcije

Obuhvaćaju zasebne električne krugove i ostale upravljačke mehanizme koji upravljaju radom prekidača.

Svaki prekidač ima određeni mehanizam koji služi za otvaranje i zatvaranje kontakata. Mehanizam mora biti pouzdan, te mora osigurati uklop i isklop bez ikakvih odgoda ili tromosti. Kao što postoje različite vrste prekidača, isto tako postoje i različite vrste radnih mehanizama koji se koriste. Ono što je svima zajedničko je da na neki način pohranjuju potencijalnu energiju u nekom mediju. Uzimajući u obzir metode koje se koriste za skladištenje te energije, vrste mehanizama su: mehanizmi s oprugom, pneumatski, hidraulički i magnetski.

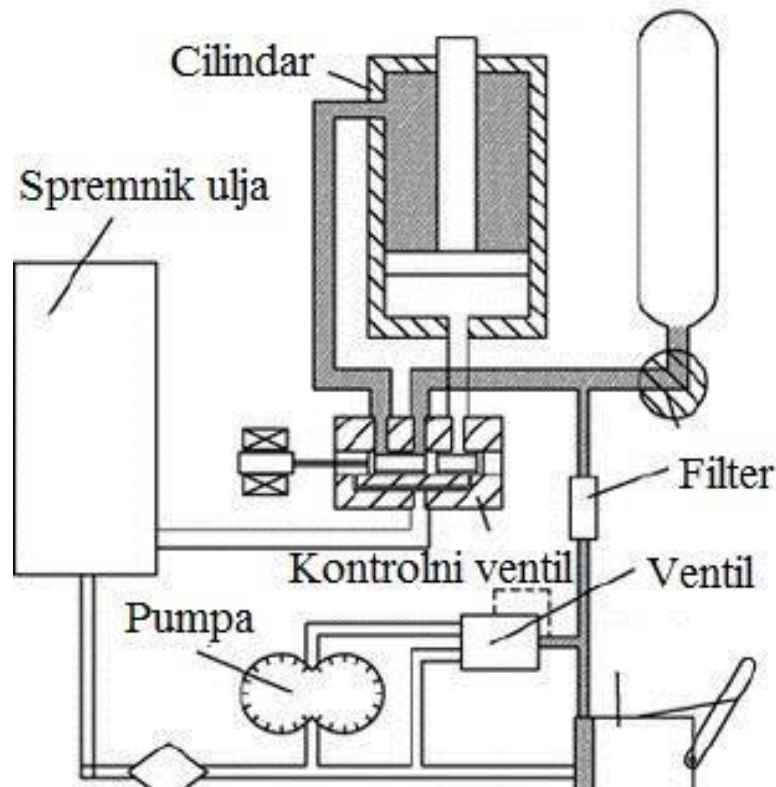
Mehanizmi s oprugom najčešće se koriste na nešto nižem naponu. Kod ovog mehanizma opruga se koristi kao skladište energije, a karakterizira ga velika brzina otvaranja i zatvaranja kontakata. Mehanizam ima dvije opruge od kojih jedna služi za otvaranje, a druga za zatvaranje. Korištenjem dviju opruga omogućuje se priprema opruge za zatvaranje neovisno o procesu otvaranja, te obrnuto.



Slika 3.1. Mehanizam s oprugom

Pneumatski mehanizam je logičan izbor za zračne prekidače, te se tamo najviše i koristi. Postoje i primjene u uljim, te SF<sub>6</sub> prekidačima, ali to nije tako čest slučaj. Pneumatski mehanizam ima odvojen spremnik u kojem se skladišti zrak na dovoljno visokom tlaku. Taj zrak je potreban za pomicanje klipa koji služi za pogon poluge koja zatvara kontakte prekidača. Kada se kontakti zatvore, aktivira se poluga koja služi tome kako bi kontakti ostali trajno zatvoreni. Prilikom otvaranja kontakata aktivira se ventil koji otpušta polugu kako bi otpustila kontakte i omogućila njihovo razdvajanje .

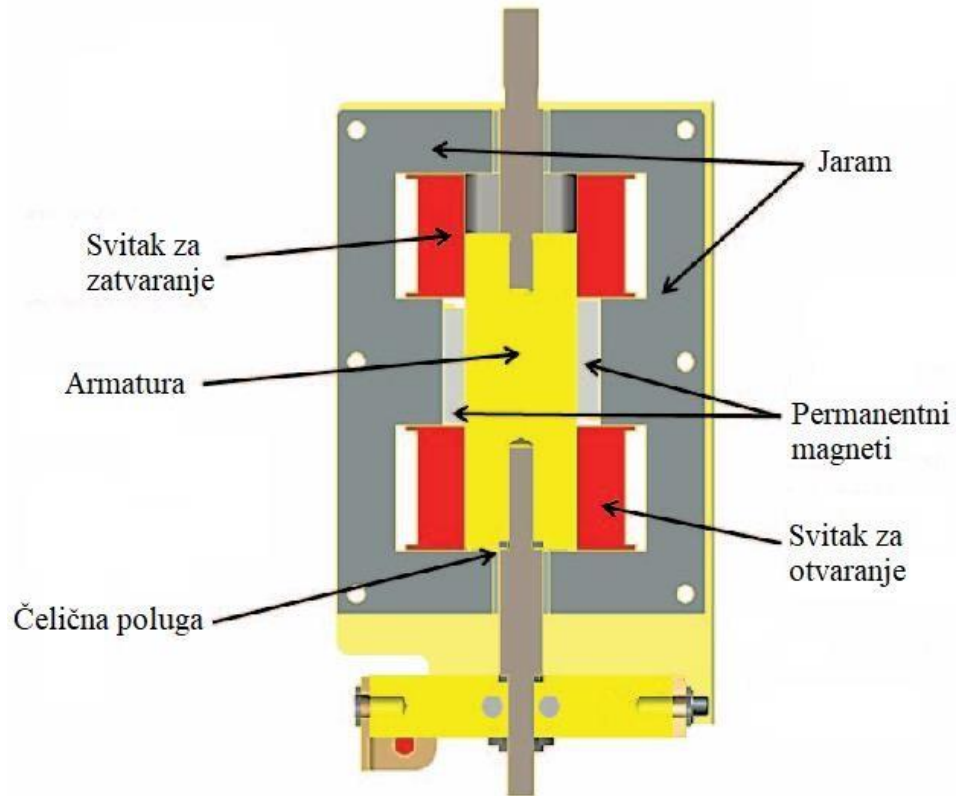
Hidraulički mehanizam je jako sličan pneumatskom mehanizmu. Princip rada je skoro identičan, a glavna razlika je u tome što hidraulički mehanizam umjesto zraka koji pokreće klip koristi nestlačivu hidrauličku tekućinu, odnosno ulje. Ulje se skladišti u niskotlačnom spremniku, a zatim se pomoću visokotlačne pumpe ubrizgava u cilindar gdje potiskuje klip.



Slika 3.2. Hidraulički mehanizam

Magnetski mehanizam je nešto noviji tip mehanizma, te se vrlo često koristi u vakuumskim prekidačima na naponima od 15 kV do 38 kV. Gledajući mehanički, to je vrlo jednostavan mehanizam.

Sastoji se od jednog pokretnog dijela i permanentnih magneta sa svitcima na svakom kraju. Pomoću električki pobuđenih svitaka vrši se prebacivanje poluge u odgovarajući položaj, a permanentni magneti osiguravaju potrebnu silu kako bi se poluga zadržala u tome položaju.



*Slika 3.3. Magnetski mehanizam*

## 4. VRSTE VN PREKIDAČA

### 4.1. Uljni prekidači

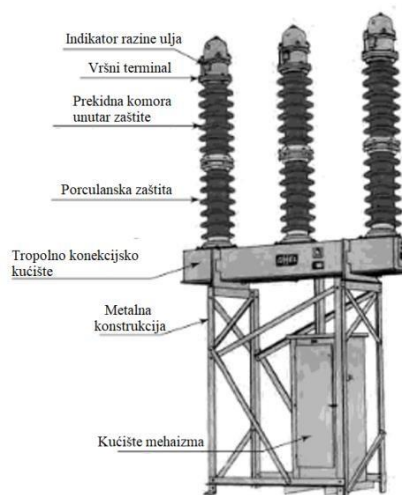
Uljni prekidači dobili su ime po tome što kao medij za gašenje električnog luka koriste ulje. Ovo je najstariji tip visokonaponskih prekidača. Kod ovih prekidača ulje se također koristi kao izolator. Karakterizira ih jednostavna konstrukcija. Imaju kotao, u kojemu su smješteni kontakti, kotao je napunjen uljem do određene visine, a kontakti su potopljeni u ulje, dok je preostali dio kotla prazan kako bi se mogle ispuštati uljne pare.

Prednost ovih prekidača je ta što koriste ulje koje je bogato vodikom, a vodik ima veliku dielektričnu čvrstoću, veliku toplinsku vodljivost i veliku brzinu difuzije. Mane ovih prekidača su velike dimenzije, potreba za velikim količinama ulja. Uljne pare su zapaljive pa može doći do požara, a u dodiru sa zrakom može doći do stvaranja eksplozivne smjese. Gorenjem ulja nastaje čađa zbog čega je onda potrebno pročišćavati ulje. Također, ulje se karbonizira u okolini kontakata što dovodi do manje dielektrične čvrstoće, odnosno do smanjenja prekidne snage prekidača.

U usporedbi sa uljnim prekidačem, malouljni prekidači koriste znatno manju količinu ulja za svoj rad. Malouljni prekidači ulje koriste samo kao medij za gašenje električnog luka dok je izolacija ostvarena putem nekog drugog izolacijskog materijala.



Slika 4.1. Uljni prekidač



Slika 4.2. Malouljni prekidač

## 4.2. SF<sub>6</sub> prekidači

SF<sub>6</sub> prekidači su prekidači koji koriste plin sumpor heksafluorid kao medij za gašenje električnog luka. Prvi ovakav prekidač proizveden je 1955. godine za napon od 110 kV.



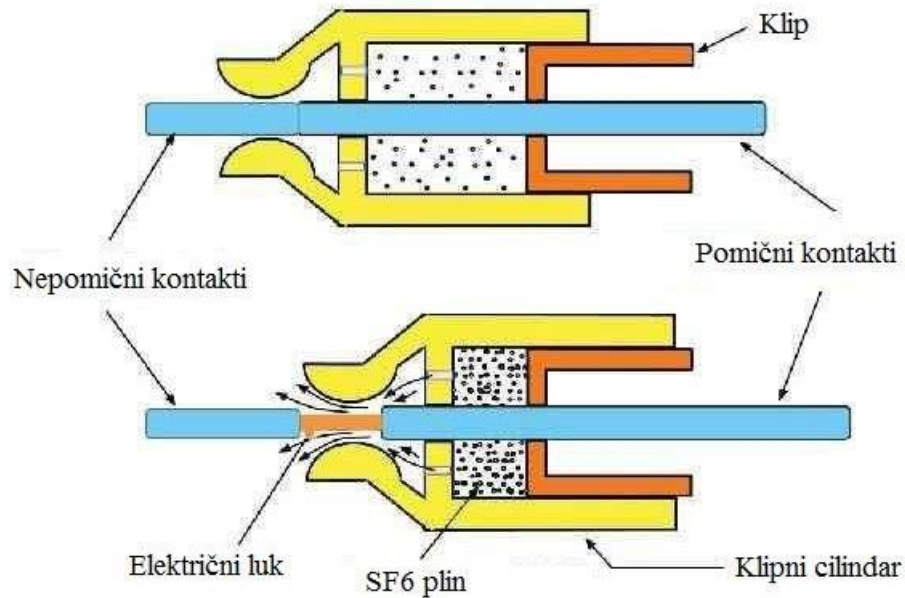
*Slika 4.3. SF<sub>6</sub> prekidači*

SF<sub>6</sub> plin ima vrlo dobra svojstva, veliku dielektričnu čvrstoću koja je čak vrlo visoka i pri normalnom tlaku zbog čega su radni tlakovi prekidača nešto niži. Vrlo brzo se deionizira i ima dobru toplinsku vodljivost, te kratku toplinsku vremensku konstantu zbog čega je gašenje električnog luka puno brže. SF<sub>6</sub> plin je u normalnim uvjetima inertan, nezapaljiv, te nema mirisa, a cijena mu je dosta visoka. Dobra strana ovih prekidača je što nisu potrebne velike količine plina.

Pri gašenju električnog luka dolazi do rastvaranja SF<sub>6</sub> na druge plinove, pri čemu nastali produkti mogu biti otrovni, ali isto tako mogu loše utjecati na druge komponente od kojih je napravljen prekidač. Postoji i problem vlage zbog nastalih produkata koja se apsorbira natrijevim vapnom i aluminijskim oksidom. Također, postoji problem ukapljivanja pri niskim temperaturama zbog čega se onda SF<sub>6</sub> može pomiješati sa vodikom, ali tada dolazi do



smanjenja dielektrične čvrstoće. Kod ovih prekidača kontakti se manje troše nego kao kod prekidača na zrak ili ulje, pa je njihov vijek trajanja i do 30 godina.



Slika 4.4. Gašenje električnog luka u SF<sub>6</sub> prekidču

Ovi prekidači danas se vrlo često koriste zbog svojih dobrih karakteristika, ali je njihov medij SF<sub>6</sub> vrlo štetan staklenički plin koji uništava atmosferu. Iz tog razloga pokušavaju se pronaći jednako kvalitetne zamjene, prekidači koji će imati približno jednake karakteristike kao SF<sub>6</sub> prekidači, ali neće štetno djelovati na atmosferu.

### 4.3. Zračni prekidači

Zračni prekidači koriste zrak kao medij za gašenje električnog luka. Gašenje električnog luka odvija se tako da se kontakti razmaknu na što veću udaljenost kako bi se povećala duljina električnog luka, razbijanjem električnog luka na manje dijelove, te samim hlađenjem električnog luka.



*Slika 4.5. Zračni prekidač*

Prednost ovih prekidača je ta što su vrlo jednostavne konstrukcije, zrak je vrlo lako dostupan, te ima relativno dobra izolacijska svojstva. Mane ovih prekidača su te što su pri svome radu vrlo bučni, a zrak mora biti uvijek suh i ima nešto lošiju dielektričnu čvrstoću kao i toplinsku vodljivost.

#### **4.4. Vakuumski prekidači**

Medij za gašenje električnog luka kod vakuumnog prekidača je vakuum. Vakuum karakteriziraju vrlo dobra dielektrična svojstva, ima 10 puta veću probojnu čvrstoću od zraka, te 3.5 puta veću probojnu čvrstoću od SF<sub>6</sub> plina. Zbog dobrih dielektričnih svojstava i visoke probojne čvrstoće ovi prekidači imaju mogućnost gašenja električnog luka na relativno malom razmaku među kontaktima. Za razliku od ostalih medija, dielektrična čvrstoća vakuuma se povećava vrlo malo s povećanjem razmaka među kontaktima, a to je ograničenje glede visine napona na prekidnom mjestu. Zbog toga je vakuum najzastupljeniji na srednjim naponima.

Kao i kod SF<sub>6</sub> prekidača glavni nosioci naboja su elektroni. Ovisno o struji postoje različiti oblici električnog luka. Kod struja do 10 kA oblik luka je difuzni, a kod struja iznad 10 kA oblik luka je koncentrirani.



*Slika 4.6. Vakuumski prekidač*

Vakumski prekidači najviše se koriste na srednjim naponskim razinama. Održavanje je vrlo jednostavno iz razloga što su im kontakti čisti, a sami prekidači su vrlo pouzdani i jednostavni. Njihova konstrukcija sastoji se od vakuumske posude u kojoj se nalaze pomični i nepomični kontakti koji se otvaraju i zatvaraju unutar vakuumske komore. Karakterizira ih tihi rad, radni vijek do 20 godina i kratko trajanje električnog luka koji se prekida prvim prolaskom struje kroz nulu bez ponovnog paljenja.

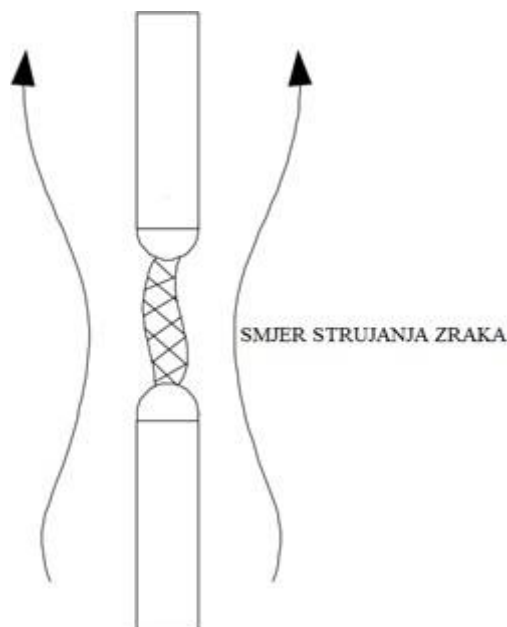
#### **4.5. Hidromatski prekidači**

Hidromatski prekidači su zapravo malouljni prekidači sa elastičnom komorom. Kod ovih prekidača kao medij za gašenje električnog luka, umjesto ulja, koristi se tekućina dobivena miješanjem glikola i destilirane vode. Glikol se koristi iz razloga što sprječava smrzavanje, te uz to povećava količinu vodene pare sve dok električni luk gori što ubrzava njegovo gašenje. Ovakvi prekidači se koriste na naponima do 60 kV, ali zbog loših svojstava vode sve su manje u upotrebi. Voda ima loša izolacijska svojstva zbog kojih se u prekidače dodaju i rastavni noževi, njezina visoka vodljivost također predstavlja opasnost za preranu pojavu električnog luka. Iz navedenih razloga, u prekidače, a pogotovo one za nešto veće napone, dodaju se pumpe koje pumpaju vodu u komoru samo u trenutku kada se električni luk pojavi odnosno u trenutku prekidanja struje kvara.

## 4.6. Pneumatski prekidači

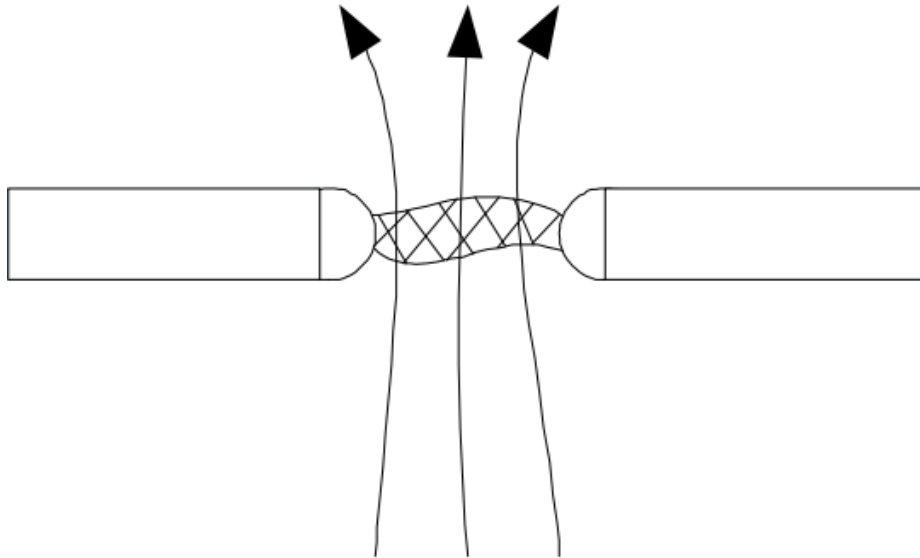
Pneumatski prekidači kao medij za gašenje električnog luka koriste komprimirani zrak. Komprimirani zrak u odnosu na normalan zrak ima bolja dielektrična svojstva. Zbog veće gustoće ubrzan je proces deionizacije međukontaktnog prostora. Ovi prekidači rade na principu strujanja komprimiranog zraka koji može strujati uzdužno ili poprečno. Strujanjem zraka hladi se električni luk, ali se vrši i dovođenje novog odnosno svježeg zraka kao medija što sprječava ponovno paljenje električnog luka. Obično se radi o dvotlačnim prekidačima koji sadrže dvije komore gdje zrak struji iz komore sa višim tlakom zraka u komoru sa nižim tlakom zraka, nakon čega se ispušta u okolinu. Postoje dvije izvedbe ovih prekidača, izvedba sa uzdužnim strujanjem zraka i izvedba sa poprečnim strujanjem zraka.

Izvedba sa uzdužnim strujanjem zraka može se koristiti na većim naponima nego izvedba sa poprečnim strujanjem zraka. Kod izvedbe sa uzdužnim strujanjem zrak struji uzduž luka, te se stvaraju prekidna mjesta ovisno o tlaku zraka. Za manje prekidnih mjesta potreban je puno veći tlak zraka, npr. za napon od 220 kV i 2 prekidna mjesta potreban je tlak zraka i do 12 MPa. Iz tog razloga, kako bi se smanjio radni tlak, prekid se ostvaruje na više mjesta, pa je na primjer, za napon od 220 kV i 6 prekidnih mjesta potreban tlak od 2 MPa.



Slika 4.7. Uzdužno strujanje zraka

Izvedba sa poprečnim strujanjem zraka koristi se na naponima do 15 kV iz razloga što postoji problem ostvarivanja dovoljnih razmaka među kontaktima. Strujanje zraka je okomito na električni luk i pomiče ga u prostor gdje se on produžuje što rezultira njegovim gašenjem.



SMJER STRUJANJA ZRAKA

*Slika 4.8. Poprečno strujanje zraka*

## 4.7. Razvoj novih vrsta prekidača

### 4.7.1. EconiQ visokonaponski prekidač

Kompanija Hitachi Energy bavi se proizvodnjom EconiQ visokonaponskih prekidača za vrlo visoke napone, bez SF<sub>6</sub> plina. Nedavno je predstavljen prvi takav u svijetu testirani 420 kV, 63 kA prekidač. Takvi prekidači u upotrebi su od 2023. godine.

Kod EconiQ prekidača kao medij za gašenje električnog luka koristi se plinska smjesa na bazi fluoronitrila. Fluoronitril dolazi kao zamjena za SF<sub>6</sub>, koji je jedan od štetnijih stakleničkih plinova, dakle loše utječe na atmosferu.

Fluoronitril je jednako pouzdan, sa otprilike podjednakim svojstvima kao SF<sub>6</sub>, ali značajno manje štetan. Upotreba fluoronitrila omogućila je da karakteristike visokonaponskih prekidača ostanu iste, uz jednake dimenzije i kompaktnost, ali uz daleko manju štetnost.

Za sada su proizvedeni prekidači za napone 72.5 kV, 145 kV, te već spomenuti, za napon od 420 kV. Za 2024. i 2025. godinu predviđa se proizvodnja prekidača za napone od 240 kV i 550 kV.



*Slika 4.9. EconiQ 145 kV prekidač*

#### 4.7.2. CO<sub>2</sub> prekidači

CO<sub>2</sub> prekidači koriste ugljikov dioksid CO<sub>2</sub> kao medij za gašenje električnog luka, te izolaciju. Prvi ovakav prekidač je LTA72D1 koji se koristi za naponske razine od 72.5 kV, te prekidnom strujom do 31.5 kA.



*Slika 4.10. LTA CO<sub>2</sub> 72.5 kV prekidač*

Cilj ovih prekidača, kao i EconiQ prekidača je izbjegavanje SF<sub>6</sub> plinova. Ovi prekidači proizvode se kao konvencionalni prekidači, te kao rastavljajući prekidači kod kojih su integrirane funkcije prekidanja i rastavljanja.

Ugljikov dioksid kao medij gašenja električnog luka u usporedbi sa SF<sub>6</sub> plinom i fluoronitrilom ima nešto lošija svojstva, uz to CO<sub>2</sub> plin mora biti pod većim tlakom kako bi imao sposobnost uspješnog gašenja električnog luka.

## 5. IZBOR, ISPITIVANJE I ODRŽAVANJE PREKIDAČA

### 5.1. Izbor prekidača

Prekidači su vrlo važan element u električnim postrojenjima zbog čega je njihov pravilan izbor od krucijalne važnosti. Krivi izbor prekidača može dovesti do velike štete. Glavni kriterij za izbor prekidača su njegov nazivni napon, nazivna struja i rasklopna moć. Nazivna struja mora biti veća od najveće struje koja teče kroz prekidač u normalnom radu, a ona se računa prema izrazu (5.1):

$$I_n > I = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} * U_n} \quad (5.1)$$

gdje je:  $S_{max}$  – maksimalna snaga

$I_n$  – nazivna struja

$U_n$  – nazivni napon

$I$  – struja normalnog pogona

Prekidna moć se računa prema izrazu (5.2):

$$S = \sqrt{3} * I_r * U_n \quad (5.2)$$

gdje je:  $U_n$  – nazivni napon

$I_r$  – rasklopna struja kratkog spoja odnosno efektivna vrijednost struje u trenutku rastavljanja kontakata

$S$  – prekidna moć

Osim ovih, postoje i druge karakteristike po kojima se prekidači definiraju i međusobno uspoređuju.

Sve karakteristike prekidača:

- nazivni napon
- nazivna struja
- nazivna uklopna moć



- nazivna isklopna moć
- frekvencija
- nazivni sklopni ciklus
- kratkotrajna struja kratkog spoja
- nazivni podnosivi udarni napon
- mehanička trajnost prekidača/komore
- el. trajnost kod nazivne struje
- el. trajnost kod nazivne prekidne moći

Prekidač napravljen za određeni napon ne smije se upotrebljavati na većem naponu, ali se može upotrijebiti na nižem naponu. Pri tome potrebno je paziti kako se tada smanji njegova rasklopna moć. Prekidač nije u mogućnosti prekinuti struju veću od struje  $I_{\text{rmax}}$  koja je određena je sa  $S_n$  i  $U_g$ . Stoga ukoliko se prekidač koristi na nižem naponu potrebno je izračunati njegovu rasklopnu moć  $S'$  na tome naponu, a ona se računa prema izrazu (5.3).

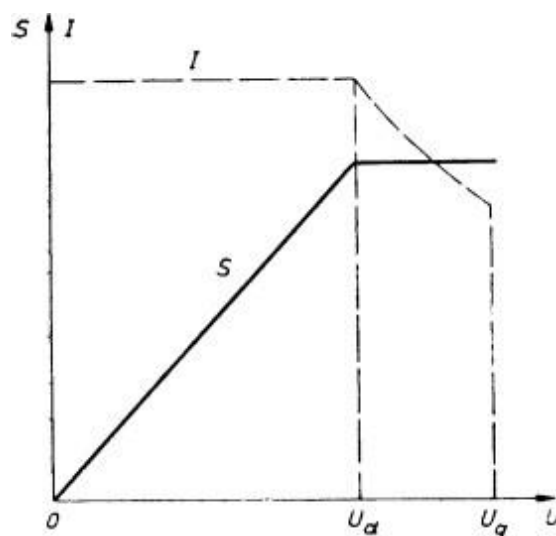
$$S' = U' * \frac{S_n}{U_d} \quad (5.3)$$

gdje je:  $S'$  – rasklopna moć na nižem naponu

$U'$  – vrijednost nižeg napona

$S_n$  – nazivna rasklopna moć prekidača

$U_d$  – nazivni napon prekidača



Slika 5.1. Graf ovisnosti rasklopne snage prekidača o nazivnoj snazi i naponu

IEC standardom normirane su nazivne prekidne moći za prekidače.

Tablica 5.1. IEC standard nazivnih prekidnih moći prekidača

Nazivni napon (kV)	Nazivna prekidna snaga (MVA)	Nazivna struja (A)								
10	150	400	-	-	-	-	-	-	-	-
	250	-	630	-	-	-	-	-	-	-
	350	-	630	-	1250	1600	-	-	-	-
	500	-	630	-	1250	1600	-	-	-	-
	750	-	-	-	1250	1600	-	2500	4000	-
	1000	-	-	-	1250	-	-	2500	4000	6300
20	250	400	630	-	-	-	-	-	-	-
	350	-	630	-	-	-	-	-	-	-
	500	-	630	-	1250	-	-	-	-	-
	1000	-	-	-	1250	-	-	-	-	-
30	500	-	630	-	-	-	-	-	-	-
	750	-	-	-	1250	-	-	-	-	-
	1000	-	-	-	1250	-	-	2500	-	-
	1500	-	-	-	1250	-	-	2500	-	-
60	1000	-	630	-	-	-	-	-	-	-
	1500	-	630	-	1250	-	-	-	-	-
110	2500	-	-	800	-	-	-	-	-	-
	3500	-	-	-	1250	-	-	-	-	-
	5000	-	-	-	-	1600	-	-	-	-
	7500	-	-	-	-	1600	-	-	-	-
150	3500	-	-	800	-	-	-	-	-	-
	5000	-	-	-	1250	-	-	-	-	-
220	5000	-	-	800	-	-	-	-	-	-
	7500	-	-	-	-	1600	-	-	-	-
	10000	-	-	-	-	1600	-	-	-	-
380	15000	-	-	-	-	-	2000	-	-	-

## 5.2. Ispitivanje prekidača

Ispitivanje prekidača vrši se nakon njegove proizvodnje. Prije nego se prekidači puste u pogon potrebno je ispitati zadovoljavaju li propisane norme.

Ispitivanja koja se provode su:

- Ispitivanje dielektrične čvrstoće
- Ispitivanje zagrijavanja glavnog strujnog kruga
- Mjerenje otpora glavnog strujnog kruga
- Ispitivanje kratkotrajnom podnosivom i vršnom strujom
- Ispitivanje prekidne moći za jednopolni i trolni kratki spoj
- Ispitivanje prekidne moći kapacitivne struje
- Ispitivanje mehaničke trajnost

Kod ispitivanja dielektrične čvrstoće prekidač se monitra na način kako se planira monitorirati na mjesto rada za koje je predviđen. Uvjeti, kao što su temperatura i tlak, su onakvi kakvima se predviđaju da će biti tijekom rada prekidača. Ispitivanje se vrši udarnim naponima. Prvi dio ispitivanja vrši se određenim brojem uzastopnih udara između priključaka, a drugi dio ispitivanja vrši se određenim brojem uzastopnih udara prema zemlji. Na primjer vakuumski prekidač zadovoljio je normu ukoliko broj proboja u seriji od 15 udara ne iznosi više od 2 i ako se nije dogodio niti jedan proboj prema zemlji.

Ispitivanje zagrijavanja vrši se nazivnom strujom koja mora biti standardnog sinusoidalnog oblika, te nazivne frekvencije. Ispitivanje je bitno provoditi u zatvorenom prostoru kako zbog eventualnog strujanja zraka ne bi došlo do hlađenja. Kasnije, tijekom razmatranja rezultata potrebno je u obzir uzeti i temperaturu prostorije tijekom ispitivanja. Za ispitivanje simulira se najnepogodnija situacija koja se može pojaviti u pogonu, dakle zagrijavaju se sva tri pola istovremeno. Za ispitivanje koriste se termosonde koje moraju biti zaštićene od parazitskog zagrijavanja, a ispitni krug mora biti realiziran tako da ne utječe na rezultate mjerenja. Ispitivanje se provodi tijekom duljeg vremena kako bi se došlo u stabilno stanje, odnosno da se tijekom jednog sata temperatura ne promijeni više od 1 kelvina.

Tijekom mjerenja otpora glavnog strujnog kruga koristi se istosmjerna struja bilo koje vrijednosti između 50 A i nazivne struje prekidača. Mjerenje se provodi prije i poslje ispitivanja zagrijavanja glavnog strujnog kruga. Mjerenje se prvo izvrši prije ispitivanja zagrijavanja, a nakon zagrijavanja čeka se da se prekidač ohladi na temperaturu okoline kako bi se izvršilo ponovno mjerenje. Izmjerene vrijednosti iz prvog i drugog slučaja ne smiju odstupati više od 20%. Za razmatranje rezultata potrebno je navesti temperaturu okoline, jakost struje kojom se vršilo mjerenje, te točku mjerenja.

Ispitivanje kratkotrajnom podnosivom i vršnom strujom provodi se pri nazivnoj frekvenciji. Ispitivanje se vrši kratkotrajnom podnosivom i vršnom strujom čije nazivne vrijednosti definira proizvođač. Cilj ispitivanja je utvrditi može li prekidač podnesti takve pojave u mreži.

Ispitivanje prekidne moći za jednopolni i trolpolni kratki spoj je najzahtjevnije ispitivanje. Za ispitivanje se simuliraju najnepogodniji uvjeti koji se mogu pojaviti u mreži. Radi se o najvećim strujama koje se mogu pojaviti, a prekidač ih mora uspješno prekinuti i pri tome ostati neoštećen. Ispitivanja se, s obzirom na tip i karakteristike prekidača, vrše u različitim sljedovima uklopa i isklopa, u različitim vremenskim razdobljima, sa točno određenim postotkom prekidne nazivne moći. U ispitno izvješće upisuju se svi parametri prekidača, rezultati mjerenja, te opis stanja prekidača nakon ispitivanja. Rezultati ovog ispitivanja imaju toleranciju od 5% u odnosu na propisane vrijednosti.

Ispitivanje prekidne moći kapacitivne struje vrši se zbog mogućnosti pojave kapacitivnih struja u mreži. Ispitivanje se vrši točno određenim postupkom opisanim u normi nakon čega se prekidač svrstava u jednu od dvije klase. Prva klasa C1 sa niskom vjerojatnošću ponovnog paljenja električnog luka prilikom prekidanja. Druga klasa C2 je klasa sa vrlo niskom vjerojatnošću ponovnog paljenja električnog luka prilikom prekidanja. Prekidač se svrstava u klasu C1 ukoliko nema ponovnog paljenja električnog luka ili se dogodi jedno ponovno paljenje unutar točno određenih broja prekidanja. U klasu C2 svrstavaju se prekidači kod kojih uopće ne dolazi do ponovnog paljenja električnog luka.

Za ispitivanje mehaničke trajnosti prekidač se podvrgava određenom broju uzastopnih uklopa i isklopa pod različitim uvjetima. Ispitivanje se vrši pod minimalnim, nazivnim i maksimalnim naponom, sa točno određenim slijedom uklopa i isklopa u određenom vremenu. Tijekom ispitivanja promatra se stanje i ponašanje prekidača, te brzina kontakata

### 5.3. Održavanje i kvarovi

Prekidači su tijekom svoga rada izloženi brojnim temperaturnim i mehaničkim naprezanjima, stoga ih je potrebno pravilno održavati i pratiti njihov rad. Pod održavanje podrazumijeva se čišćenje, podmazivanje, mjerenje otpora kontakata, vremenska mjerenja, provjera rada mehanizma, te provjera izolacije i prekidnog sredstva. Održavanje je podijeljeno na periodičko održavanje koje se provodi svakih 6 mjeseci, na rutinska održavanja koja se provode svake 2 do 3 godine, te na glavna održavanja koja se provode svakih 6 do 12 godina. Ipak, to vrijeme je okvirno, a sve ovisi o tipu prekidača kao i njegovim uvjetima rada.

Izolacija prekidača realizirana je kombinacijom plina, tekućine i čvrstog dielektričnog materijala. Proboj izolacije tijekom rada dovodi do kratkog spoja među fazama, između faza i zemlje ili između kontakata, te se može dogoditi kao posljedica nekih drugih kvarova u prekidaču. Najveći postotak težih kvarova vezan je za izolaciju. Kvar izolacije može dovesti do velike štete zbog čega je njezin nadzor vrlo bitan. Nadzor podrazumijeva dijagnostički pregled i određena mjerenja. Također je potrebno provjeravati razinu i kvalitetu medija za prekidanje električnog luka.

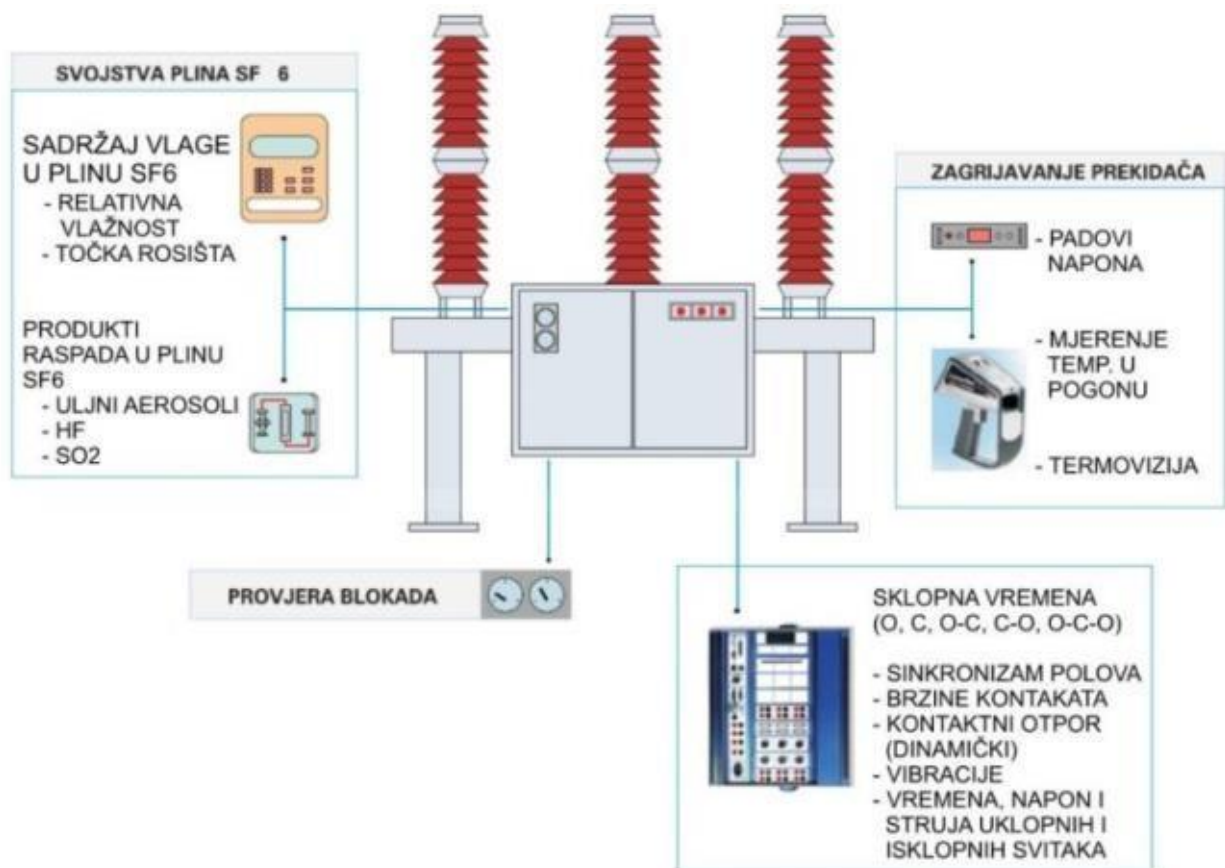
Provođenje električne energije u pogonskom stanju je jedan od zadataka prekidača. Ukoliko prekidač to nije u mogućnosti obavljati dolazi do pregrijavanja kontakata, spojeva ili nekih drugih elemenata glavnog strujnog kruga što može dovesti do kvarova. Iz tog razloga potrebno je mjeriti otpor glavnog strujnog kruga. Uz to, potrebno je provjeravati stanje kontakata koji se vremenom troše.

Vrlo je bitan nadzor pogonskog/radnog mehanizma čiji kvarovi čine veliki udio ukupnih kvarova prekidača. To su na primjer curenje plina ili ulja u pneumatskim i hidrauličkim sistemima što je moguće sanirati tijekom rada prekidača, ali kvarovi kao što su pucanje raznih opruga, osovina i drugih mehaničkih dijelova zahtijevaju zaustavljanje rada kako bi se otklonio kvar.

Važno je pratiti rad upravljačkih komponenti kako ne bi došlo do kašnjenja ili zakazivanja prilikom prekidanja struja kratkih spojeva.

U održavanje spada i mjerenje vremena mehaničkih operacija, dakle vrijeme potrebno prekidaču za uklop - isklop, za isklop - uklop, te uklop - isklop - uklop.

Pravilno i redovno održavanje sprječava katastrofalne posljedice, te veliku štetu, produljuje vijek trajanja prekidača i doprinosi ukupnoj pouzdanosti elektroenergetskog sustava.



Slika 5.2. Dijagnostika prekidača

### 5.3.1. Posljedice kvarova ili nepravilnosti u radu prekidača

Kvarovi se s obzirom na težinu detekcije dijele na:

- Lako detektirajuće - kratko vrijeme potrebno za otkrivanje kvara
- Teško detektirajuće - relativno dugo vrijeme potrebno za otkrivanje kvara
- Vrlo teško detektirajuće - vrlo dugo vrijeme potrebno za otkrivanje kvara

Procjena posljedica koje uzrokuje kvar ili nepravilnost u radu je značajna. Za procjenu posljedica u obzir se uzima: sigurnost osoblja, utjecaj na okoliš, te trajanje i troškovi popravka

Bodovanje posljedica se provodi na sljedeći način:

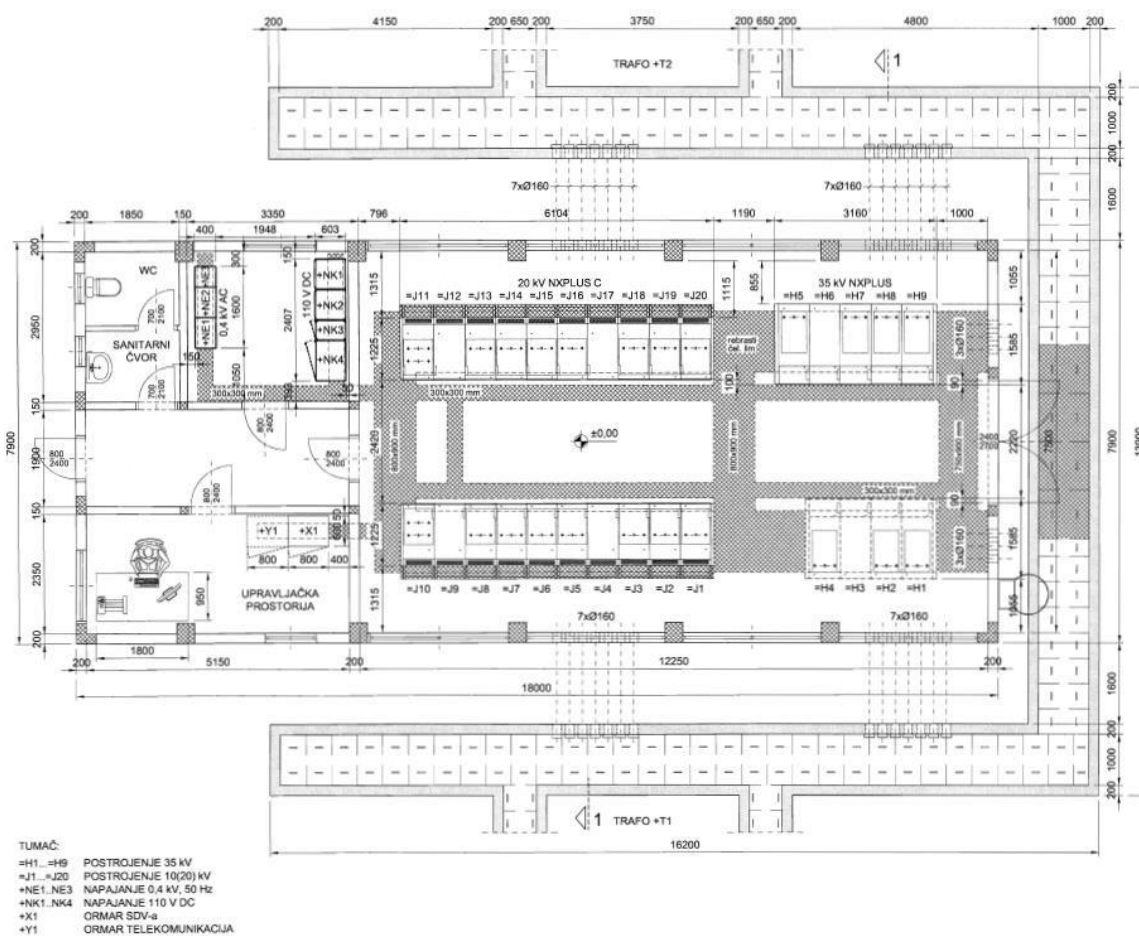
Ocjena posljedica = ugrožena sigurnost osoblja + loš utjecaj na okoliš + trajanje popravka + troškovi popravka

*Tablica 5.2. Bodovanje posljedica*

Posljedica	Opis posljedice	Bodovi
Ugrožena sigurnost osoblja	Ozljeda ili smrtni slučaj	10
Loš utjecaj na okoliš	Curenje SF <sub>6</sub> plina ili ulja	9
Loš utjecaj na okoliš	Požar	8
Loš utjecaj na okoliš	Ispuštanje SF <sub>6</sub> plina ili ulja	7
Trajanje popravka	Duže od 5 dana	6
Trajanje popravka	Od 2 dana do 5 dana	5
Trajanje popravka	Manje od 2 dana	4
Troškovi popravka	Više od 10000 eura	3
Troškovi popravka	Od 1000 eura do 10000 eura	2
Troškovi popravka	Manje od 1000 eura	1

## 6. PRIMJENA SKLOPNIH APARATA U TS TUŠMER 35/10(20) kV

Transformatorska stanica TS Tušmer 35/10(20) kV novi je elektroenergetski objekt namijenjen za napajanje dijela konzuma pod nadležnosti HEP-ODS d.o.o. Elektra Karlovac. Nalazi se u Dugoj Resi, pored stare transformatorske stanice koja će biti uklonjena nakon dovršetka nove.



Slika 6.1. Tlocrt TS Tušmer

Transformatorska stanica Tušmer sastoji se od:

- Postrojenje 35 kV koje čini 9 sklopnih blokova
- Postrojenje 10/20 (kV) koje čini 20 sklopnih blokova
- Transformator 35/10(20) kV, snage 8 MVA, spoj: Ynd5
- Transformator 10(20)/0.4 kV, snage 160 kVA, spoj: ZNYn11
- Otpornik za uzemljenje mreže 10(20) kV, prespojivi 40/80  $\Omega$
- Podsustav napajanja izmjeničnim naponom 400/230 V



- Podsustav napajanja istosmjernim naponom 110 V
- Telekomunikacijska oprema
- Sustav daljinskog vođenja
- Sustav videonadzora i tehničke zaštite objekta
- Sustav vanjskog i unutarnjeg uzemljenja
- Sustav zaštite od munje
- Sustav protupožarne zaštite
- Elektroinstalacije rasvjete i grijanja pogonske zgrade

Postrojenje 35 kV čini ukupno 9 sklopnih blokova, a postrojenje 10/(20) kV čini ukupno 20 sklopnih blokova. Sklopni blokovi nalaze se iznad kablenskog kanala koji je ukupan u pod prostorije. Postrojenje je riješeno tvornički dogotovljenim metalom oklopljenim sklopnim blokovima sa fiksnim sklopnim aparatima i izoliranim sabirnicama.

Tip sklopnih blokova je NXPLUS 40.5 kV na 35 kV strani, te NXPLUS-C 24 kV na 10(20) kV strani, proizvođača Siemens. Sklopni blokovi su oklopljeni metalnim plaštem i pregrađeni metalnim pregradama, a odlikuje ih visoka raspoloživost i pouzdanost u pogonu. Kućište bloka podijeljeno je na četiri dijela: aparatni, sabirnički i priključni odjeljak, te ormarić za sekundarnu opremu.



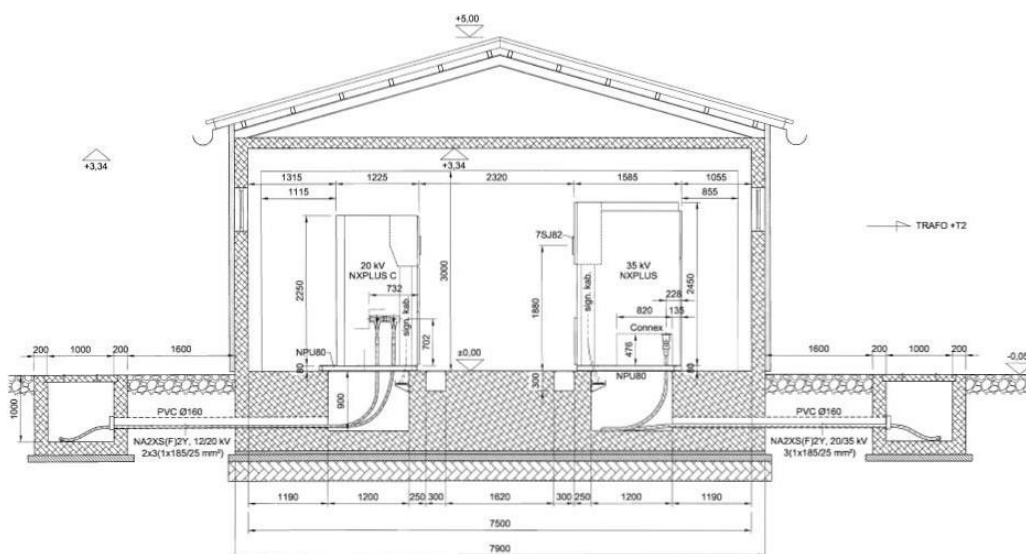
*Slika 6.2. Siemens sklopni blok*

Tropoložajni rastavljač i prekidač nalaze se u plinonepropusnim kućištima izoliranim SF<sub>6</sub> plinom. Električni luk u tim prekidačima gasi se vakuumskim komorama, dok plin SF<sub>6</sub> služi isključivo kao izolacija između kućišta i dijelova pod naponom. Također, sabirničke veze izvedene su izoliranim sabirnicama u SF<sub>6</sub> plinu čime je eliminirana moguća pojava sabirničkih kvarova.

Povezivanje među blokovima je izvedeno provodnim izolatorima. Indikacija napona izvedena je pomoću kapacitivnih djelitelja sa svjetlosnim indikatorima i beznaponskim kontaktom za potrebe daljinske signalizacije ili blokade uklopa uzemljivača na vod pod naponom. Svaki sklopni blok također je opremljen elektromotornim pogonom i elektromehaničkim spojkaama što omogućuje daljinsko vođenje i potpunu automatizaciju postrojenja.

Za pogon aparata unutar sklopnih blokova koristi se mehanizam iz dva odvojena sklopa od kojih jedan služi za pogon prekidača koristeći energiju sklopne opruge, a drugi omogućava pokretanje kontakata tropoložajnog rastavljača. Prilikom uklapanja prekidača napinje se sklopna opruga koja omogućuje isklon prekidača u bilo kojem trenutku.

Priključak energetskih i signalnih kabela izveden je sa donje strane sklopnog bloka što se vidi na slici (6.3). Još jedna prednost ovih sklopnih blokova je što omogućavaju ugradnju završetaka od Euromolda, Tyco ili nekih drugih rješenja koja bitno olakšavaju spajanje i samo održavanje ovakvih priključaka.



Slika 6.3. Presjek TS Tušmer gdje se vidi mjesto ugradnje, te dimezije Siemens blokova

Sklopni aparati ugrađeni u sklopne blokove NXPLUS 40.5 kV su:

1. Vakuumski prekidač sa sljedećim karakteristikama:

Nazivni napon: 40.5 kV

Nazivni podnosivi napon 1min, 50 Hz: 85 kV

Nazivni podnosivi udarni napon 1.2/50  $\mu$ s: 185 kV

Nazivna struja: 1250 A

Kratkotrajno podnosiva struja kratkog spoja (3s): 31.5 kA

Nazivna uklopna struja (uklopna moć): 80 kA

Nazivna isklopna struja (prekidna moć): 31.5 kA

Klasa prekidača: M2

Vrijeme otvaranja < 65 ms

Vrijeme zatvaranja < 75 ms

Vrijeme prekidanja < 80 ms

Nazivni napon elektromotornog pogona: 110 V (DC)

Signalna sklopka: 8NO+8NC

2. Tropoložajni rastavljač sa sljedećim karakteristikama:

Nazivni napon: 40.5 kV

Nazivni podnosivi napon 1 min, 50 Hz: 85 kV

Nazivni podnosivi udarni napon 1.2/50  $\mu$ s: 185 kV

Nazivna struja: 1250 A

Kratkotrajno podnosiva struja kratkog spoja (1s): 20 kA

Nazivni napon elektromotornog pogona: 110 V (DC)

Izolacijski medij: SF<sub>6</sub>

Signalna sklopka 12NO+12NC

Sklopni aparati ugrađeni u sklopne blokove NXPLUS-C 24 kV su:

1. Vakuumski prekidač sa sljedećim karakteristikama:

Nazivni napon: 20 kV

Nazivni podnosivi napon 1 min, 50 Hz: 50 kV

Nazivni podnosivi udarni napon 1.2/50  $\mu$ s: 125 kV

Nazivna struja: 1250 A

Kratkotrajno podnosiva struja kratkog spoja (3s): 20 kA  
Nazivna uklopna struja (uklopna moć): 50 kA  
Nazivna isklopna struja (prekidna moć): 20 kA  
Klasa prekidača: M2  
Vrijeme otvaranja < 60 ms  
Vrijeme zatvaranja < 60 ms  
Vrijeme prekidanja < 75 ms  
Nazivni napon elektromotornog pogona: 110 V (DC)  
Signalna sklopka 4NO+4NC

2. Tropoložajni rastavljač sa sljedećim karakteristikama:

Nazivni napon: 20 kV  
Nazivni podnosivi napon 1 min, 50 Hz: 50 kV  
Nazivni podnosivi udarni napon 1.2/50  $\mu$ s: 125 kV  
Nazivna struja: 1250 A  
Kratkotrajno podnosiva struja kratkog spoja (1s): 20 kA  
Nazivni napon elektromotornog pogona: 110 V (DC)  
Signalna sklopka 4NO+4NC+4CO

Nakon što prekidač dobije nalog za isključenje prođe još određeno vrijeme do prekidanja struje kvara. Vrijeme potrebno da prekidač prekine struju kvara je određeno samim karakteristikama prekidača, ako je prekidač neispravan, odnosno dođe do zatajenja, neće moći prekinuti struju kvara što može imati štetne posljedice za cijelo postrojenje.

Terminali polja u vodnim poljima i polje kućnog transformatora imaju funkciju detektiranja zatajenja prekidača, te daju nalog za isključenje prekidačima napojnih polja pripadajuće sekcije (transformatorsko polje, sekcijsko polje i spojno polje). U slučaju zatajenja prekidača u sekcijском polju (konačna faza) isključuju se transformatorska polja sekcija 1 i 2. Za realizaciju ove zaštite na terminalima odvodnih polja treba konfigurirati odgovarajući relejni izlaz, a na terminalima napojnih polja odgovarajući binarni ulaz.

## 7. ZAKLJUČAK

Prekidači služe za trajno vođenje i prekidanje pogonskih struja, te kratkotrajno vođenje i prekidanje struja kratkog spoja. Kratki spoj je neželjeno pogonsko stanje koje dovodi do preopterećenja elemenata unutar sustava, termičkih oštećenja izolacije elemenata i mehaničkih izobličenja dijelova tih elemenata. Vrijednosti struja kratkog spoja bitne su za dimenzioniranje opreme u električnim postrojenjima.

Električni luk nastaje prilikom prekidanja struja kvarova, iako su u tom trenutku kontakti fizički razdvojeni struja i dalje teče kroz njih. Električni luk predstavlja opasnost za elemente unutar postrojenja, a medij unutar prekidača služi za gašenje električnog luka i sprječavanje njegovog ponovnog paljenja.

S obzirom na karakteristike prekidači se mogu podijeliti prema naponu, strukturnom dizajnu, primjeni, mjestu ugradnje i mediju gašenja. Mediji za gašenje električnog luka su ulje, zrak, te različiti plinovi i tekućine. U početku su korišteni prekidači sa medijima lošijih karakteristika kao što su ulje i zrak, a danas se koriste prekidači sa medijima boljih karakteristika kao što su vakuum i SF<sub>6</sub> plin. Razvojem prekidača otkrivaju se novi mediji koji imaju bolje karakteristike poput fluonitrila. Fluonitril je medij koji se odnedavno koristi u prekidačima, ima podjednaka dobra svojstva kao SF<sub>6</sub> plin, ali je znatno manje štetan za okoliš.

Svi prekidači nakon proizvodnje moraju biti ispitani kako bi se utvrdila njihova ispravnost prije puštanja u pogon. Iz tog razloga opisan je cijeli tijek ispitivanja prekidača. Detaljno su navedene i opisane vrste te uvjeti za različita ispitivanja.

Prekidači se biraju prema nazivnom naponu, nazivnoj struji, te rasklopnoj moći. Važno je za naglasiti kako se prekidači ne mogu koristiti na naponima većim od nazivnog napona, moguće ih je koristiti samo na manjim naponima pri čemu je potrebno paziti kako se tada smanji i njihova rasklopna moć.

U uobičajene postupke održavanja ubrajaju se podmazivanje, čišćenje, mjerenje kontaktnog otpora, mjerenja proradnog vremena te provjera mehanizma, izolacije i medija za gašenje. Redovnim održavanjem prekidača smanjuje se rizik od kvarova ili nepravilnosti u radu prekidača.

## 8. POPIS LITERATURE

- [1] Belin, B.: „Uvod u teoriju električnih sklopnih aparata“, Školska knjiga, Zagreb, 1978.
- [2] Galić, B., Meštrović, K.: „Povijesni razvoj sklopnih aparata i usporedba tehnika gašenja električnog luka“, Tehničko veleučilište Zagreb 2015.
- [3] Józsa, L., Fekete, K., Glavaš, H.: „Kratki spojevi u elektroenergetskim mrežama“, Graphis, Zagreb 2022.
- [4] Požar, H.: „Visokonaponska rasklopna postrojenja“, Školska knjiga, Zagreb, 1984.
- [5] Ruben D. Garzon: „High voltage circuit breakers design and applications“, Marcell Dekker Inc., New York, 2002
- [6] Schnettler A., Balzer G.: „Applications of High Voltage Circuit-Breakers and Development of Aging Models“, Darmstadt, 2007
- [7] Franković, D.: „Glavni elementi postrojenja“, predavanja, Tehnički fakultet, Rijeka
- [8] Končar: „Dijagnostika visokonaponskih postrojenja“, Končar, Zagreb, 2011
- [9] Končar – aparati i postrojenja: „Vakuumski prekidači“, Končar 2018.
- [10] Živić Đurović, M.: „Proračun kratkog spoja“, predavanja, Tehnički fakultet, Rijeka 2022.
- [11] HEP-ODS d.o.o.: „Izvedbeni projekt TS 35/10(20)kV Tušmer“, HEP d.o.o, Zagreb, 2021.
- [12] ABB AB High voltage products: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1HSM%209543-21-06en&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>, 3.4.2023.
- [13] Hitachi energy: <https://www.hitachienergy.com/products-and-solutions/high-voltage-switchgear-and-breakers/econiq-eco-efficient-hv-portfolio>, 3.4.2023.
- [14] Kuzle, I., Pandžić, H.: „Održavanje EES-a“, s interneta, <https://www.fer.unizg.hr/download/repository/Odrzavanje8.pdf>, 17.4.2023.
- [15] ModernPowerSystems: <https://www.modernpowersystems.com/features/featurebreaker-breakthrough-9967621/>, 2.6.2023.

## SAŽETAK

Tema ovoga rada su visokonaponski prekidači kao element zaštite u električnim postrojenjima. Na početku rada definiran je pojam kratkog spoja i izložene su vrste kratkih spojeva. Posebno su opisane vrijednosti struja kratkog spoja. Zatim je dana definicija prekidača, te opisana podjela istih s obzirom na različite karakteristike. Također su navedeni i opisani sastavni dijelovi prekidača. Objasnen je električni luk, njegovo nastajanje, prekidanje, te način spriječavanja njegovog ponovnog paljenja. Nadalje su posebno prikazane vrste prekidača s obzirom na medij gašenja. Uz navedeno, rad se bavi i pitanjem izbora prekidača, ispitivanjem samih prekidača i održavanjem istih, pa je stoga izložen tijekom naprijed navedenih postupaka. U zadnjem dijelu rada prikazan je praktični primjer primjene prekidača u TS Tušmer.

**Ključne riječi:** visokonaponski prekidač, električno postrojenje, elektroenergetski sustav, električni luk, medij gašenja, kratki spoj, struja kratkog spoja

## SUMMARY

The subject of this paper are high voltage circuit breakers as an element of protection in electrical plants. The first chapter contains definition of short circuit and the types of short circuit. The short circuit current values are specially described. Then, high voltage circuit breakers are defined, and their division is described with regard to different characteristics. The parts that circuit breakers are made of are also listed and described. An electric arc is explained, its ignition, interruption, and the way to prevent its reignition. Furthermore, the types of circuit breakers are shown separately with regard to the arch quenching medium. This paper discusses question of electing circuit breakers, testing and maintaining them, therefore course of procedures mentioned above is exposed. Paper is concluded by practical application of circuit breakers in electrical plant Tušmer.

**Key words:** high voltage circuit breakers, electrical plant, power system, electric arc, quenching medium, short circuit, short circuit current