

Slika 3.16: Uzdužno oduvavanje električnog luka u tri stadijuma

dejonizovan prostor dužine  $a = vt$ , gde je  $t$  vreme od trenutka prvog kidanja luka i početka obrazovanja dejonizovanog prostora. Porast dielektričke izdržljivosti je:

$$u_d(t) = E_d vt \quad (3.30)$$

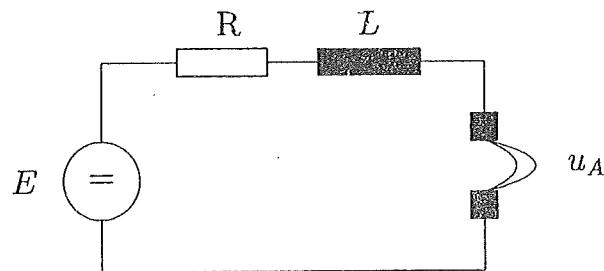
gde je  $E_d$  podužna dielektrička izdržljivost prostora koji je dejonizovan.

### 3.6 Gašenje luka u kolima jednosmerne struje

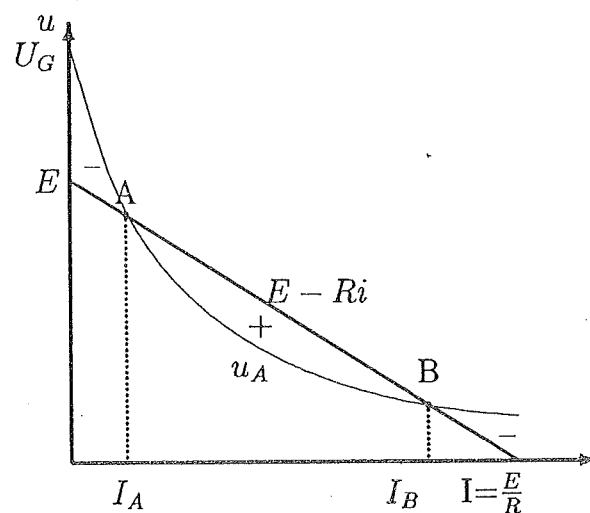
Pri prekidanju jednosmerne struje u kolima niskog napona ili u kolima nižeg srednjeg napona (do nekoliko kV) koristi se princip povećavanja otpora luka, uz eventualno uključivanje dodatnih otpora u kolo tako da pad napona na luku zajedno sa padom napona na dodatnom otporu bude veći od napona koji daje izvor. U mrežama za prenos električne energije na veliku daljinu pri jednosmernom naponu koriste se potpuno drugačiji principi koji na ovom mestu neće biti razmatrani.

#### 3.6.1 Stabilnost gorenja luka u kolu jednosmerne struje

Na šemi 3.17 prikazano je jednostavno kolo koje u sebi sadrži izvor jednosmernog napona čija je elektromotorna sila  $E$ , induktivnost kola  $L$ , otpornost kola  $R$  i napon na električnom luku koji gori između kontakata  $u_A$ .



Slika 3.17: Kolo jednosmerne struje u kome se razmatra stabilnost luka



Slika 3.18: Napon na luku i napon koji daje mreža pri stabilnom gorenju luka u zavisnosti od struje

Jednačina dinamičke ravnoteže za kolo na slici 3.17 ima sledeći oblik:

$$E - Ri - L \frac{di}{dt} - u_A = 0 \quad (3.31)$$

U stacionarnom stanju bi jednačina ravnoteže u kolu bila:

$$E - Ri - u_A = 0 \quad (3.32)$$

Na slici 3.18 prikazana je zavisnost pada napona na luku  $u_A$  i napona izmedju kontakata koji daje mreža  $E - Ri$  od struje.

Na osnovu izraza 3.31 može se izraziti induktivni pad napona na kalemu  $L$  u funkciji svih ostalih padova napona u kolu na sledeći način:

$$E - Ri - u_A = L \frac{di}{dt} \quad (3.33)$$

U slučaju stacionarnog gorenja luka kada se struja ne menja induktivni pad napona na desnoj strani izraza je jednak nuli. Na slici 3.18 razlika između napona koji daje mreža  $E - Ri$  i pada napona na luku  $u_A$  je induktivni pad napona. Oznaka "+" između tačaka  $A$  i  $B$  znači da je u tom opsegu struja induktivni pad napona pozitivan, dok je za struje manje od  $I_A$  i za struje veće od  $I_B$  induktivni pad napona negativan, što je označeno simbolom "-". U tački  $B$  je ispunjen uslov da je pad napona na luku jednak naponu koji daje mreža, tako da je induktivni pad napona jednak nuli, prema izrazu 3.32. Ukoliko se struja malo poveća u odnosu na struju  $I_B$ , pad napona na luku će postati veći od napona mreže, tako da će induktivni pad napona postati negativan:

$$L \frac{di}{dt} < 0 \quad (3.34)$$

Zbog negativnog izvoda struje, ona se smanjuje u kolu do struje  $I_B$ .

Ako bi se struja malo smanjila levo od tačke  $B$ , tada bi pad napona na luku postao manji od napona izvora, pa bi se pojavio pozitivan induktivni pad napona:

$$L \frac{di}{dt} > 0 \quad (3.35)$$

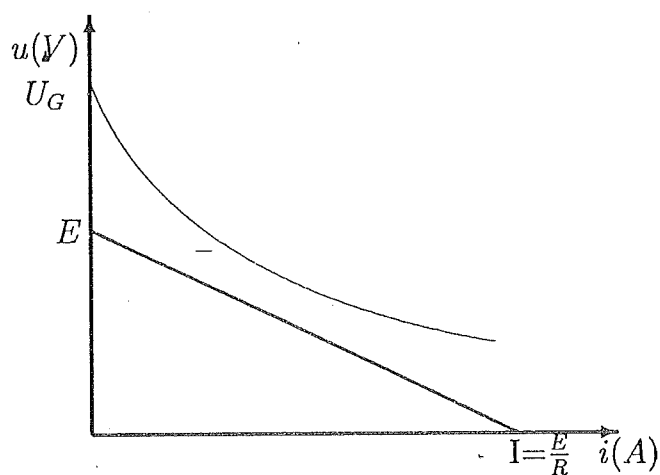
U ovom slučaju struja teži da se poveća dok ne dostigne stacionarnu tačku  $B$ .

U tački  $A$  takodje je ispunjen uslov da mreža pokriva pad napona na luku, što je dato izrazom 3.32. Medjutim, ako struja postane malo veća od  $I_A$ , javiće se pozitivan induktivni pad napona koji će izazvati povećanje struje sve do stabilne tačke gorenja luka  $B$ . Naprotiv, ako se struja malo smanji levo od tačke  $A$ , tada pad napona na luku postaje veći od napona izvora, induktivni pad napona postaje negativan, što izaziva dalje smanjivanje struje sve dok ne dodje do gašenja luka, kada napon luka postiže vrednost  $U_G$ . Zbog toga se tačka  $A$  naziva tačkom nestabilnog gorenja luka, mada su i tačka  $A$  i tačka  $B$  stacionarne tačke. Mora se uočiti da je u trenutku gašenja luka pad napona na luku  $U_G$  veći od elektromotorne sile  $E$ , što pokriva induktivni pad napona.

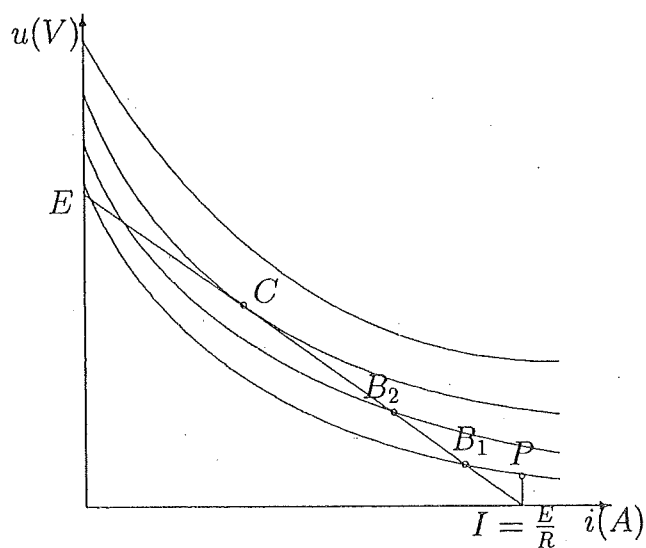
Na slici 3.19 prikazan je slučaj nestabilnog gorenja luka. U ovom slučaju u celom opsegu struja pad napona na luku je veći od napona koji daje izvor.

Struja  $I = \frac{E}{R}$  predstavlja stacionarnu struju u kolu koja bi proticala kada bi kontakti sklopnog aparata bili zatvoreni. Razmicanjem kontakata trenutno se uspostavlja pad napona na luku, usled čega više ne postoji ravnoteža u kolu, pa se struja smanjuje sve dok ne dodje do potpunog gašenja luka pri naponu luka  $U_G$ .

Na slici 3.20 prikazan je slučaj postepenog razmicanja kontakata. U trenutku kada počinje razmicanje kontakata, na luku se trenutno uspostavlja pad napona, što je označeno tačkom  $P$  koja odgovara naponu paljenja luka.



Slika 3.19: Napon na luku i napon koji daje mreža pri nestabilnom gorenju luka u zavisnosti od struje



Slika 3.20: Napon na luku i napon koji daje mreža pri razmicanju kontakata, u funkciji struje

Medjutim, zbog negativnog induktivnog pada napona dolazi do smanjivanja struje do tačke  $B_1$  koja predstavlja tačku stacionarnog gorenja luka. U procesu razmicanja kontakata, karakteristika luka se podiže, stacionarna tačka se pomera na levo od tačke  $B_1$  ka tački  $B_2$ . Pri daljem razmicanju kontakata radni režim se pomera i dalje na levo od radne tačke  $B_2$ , sve dok radna tačka ne dostigne tačku  $C$  koja predstavlja jedinu stacionarnu tačku u kojoj karakteristika luka dodiruje pravu koja predstavlja karakteristiku kola. Daljim povećanjem rastojanja karakteristika luka dolazi u položaj da je u kompletnom opsegu struja iznad napona koji daje mreža, što dovodi do gašenja luka.

### 3.6.2 Grafo-analitička metoda procene vremena do gašenja luka u kolu jednosmerne struje

Od trenutka kada luk postigne svoju punu dužinu tako da se karakteristika luka nalazi iznad karakteristike mreže, kao na slici 3.19, odnosno najviša karakteristika luka na slici 3.20, potrebno da protekne još neko vreme da se struja smanji do nule i dodje do potpunog gašenja luka. Energija za održavanje luka do njegovog gašenja u ovom slučaju potiče od elektromagnetne energije u induktivnosti  $L$ . Induktivni pad napona na induktivnosti  $L$  je jednak razlici napona luka i napona koji daje mreža, odnosno:

$$L \frac{di}{dt} = -\Delta U \quad (3.36)$$

gde je:

$$\Delta U = u_A - (E - Ri) \quad (3.37)$$

U slučaju nestabilnog gorenja luka je  $\Delta U > 0$  na celom opsegu struja. Iz 3.36 se može izračunati vreme trajanja luka:

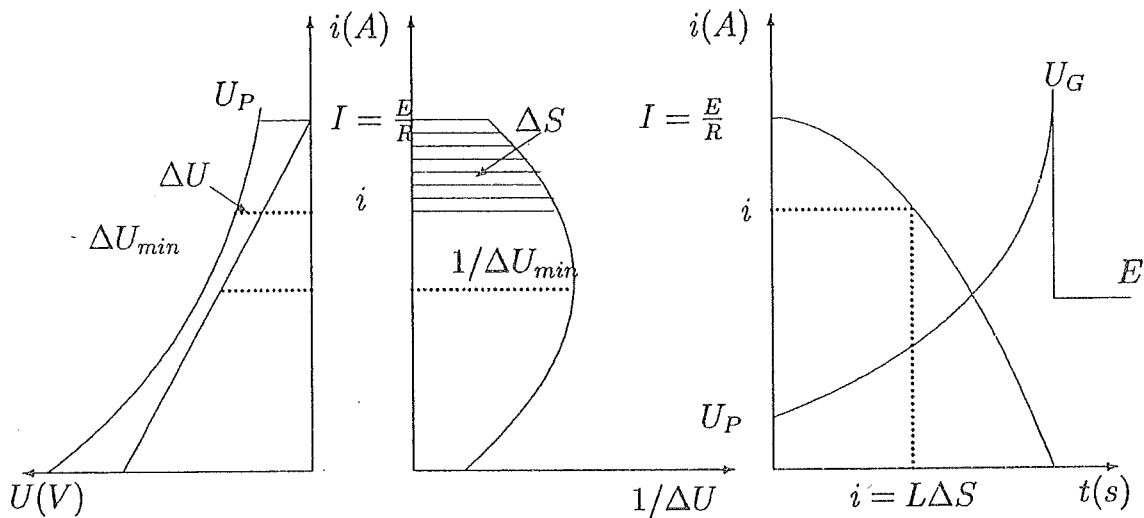
$$t_A = -L \int_I^0 \frac{di}{\Delta U} \quad (3.38)$$

gde je donja granica, odakle počinje integraljenje vrednost struje  $I$  pre početka razdvajanja kontakata. Ako se smatra da je vreme razdvajanja kontakata znatno kraće nego što je vreme potrebno za gašenje luka, tada se može usvojiti pretpostavka da se struja smanjuje od pune struje u kolu  $I$  do nule. Ukoliko je vreme razmicanja kontakata značajno i ne može se zanemariti, tada se može izračunati ukupno trajanje luka uvažavajući i vreme razmicanja kontakata kao:

$$t_A = t_p - L \int_{i_p}^0 \frac{di}{\Delta U} \quad (3.39)$$

gde su:

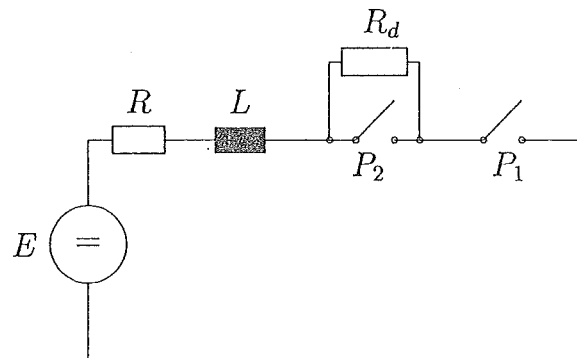
$t_p$  – vreme potrebno da se kontakti razmaknu na puno rastojanje koje se više neće povećavati,



Slika 3.21: Grafo-analički postupak za procenu trajanja luka

$i_p$  – trenutna vrednost struje u trenutku  $t_p$ .

Na slici 3.21 prikazan je jednostavan grafo-analički postupak za procenu trajanja luka u slučaju kada se razmicanje kontakata vrši velikom brzinom, tako da se vreme razmicanja kontakata u odnosu na ukupno vreme trajanja luka može zanemariti. Na slici 3.21 na dijagramu levo, vertikalna osa označava vreme, a horizontalna osa orijentisana na levo označava napon. Na dijagramu je prikazan slučaj nestabilnog gorenja luka kada je napon luka  $u_A$  u potpunom dijapazonu struja iznad prave koja daje napon mreže  $E - Ri$ .  $\Delta U$  predstavlja razliku napona  $u_A - (E - Ri)$ . Na dijagramu u sredini ordinatna osa za struju je zajednička sa predhodnim dijagramom, dok se na apscisnoj osi nanosi veličina  $1/\Delta U$ . Šrafirana površina koja je obeležena sa  $\Delta S$  predstavlja integral struje  $\int_I^i di/\Delta S$ . Kada se ova površina pomnoži sa induktivnošću  $L$ , dobija se vreme za koje struja sa vrednosti  $I$  opadne na vrednost  $i$ . Ovo vreme je ucrtano na dijagramu desno. Površina  $\Delta S$  može da se odredit grafički pomoću milimetarske hartije ili numerički, kao funkcija od struje  $i$ , tako da se može formirati dijagram vremena za koje se odvija promena struje od  $I$  do tekuće vrednosti  $i$ . Na desnom dijagramu apscisna osa orijentisana na desno se označava vreme, a ordinatna osa koja je zajednička sa predhodnim dijagramima označava struju. Na poslednjem dijagramu pored promene struje ucrtana je i vremenska promena napona koja se kreće od napona paljenja luka  $U_p$  do napona gašenja luka  $U_G$ , posle čega napon pada na vrednost elektromotorne sile koja vlada između kontakata u otvorenom položaju posle gašenja luka.



Slika 3.22: Zamenska šema sistema u kome se prekidanje jednosmerne struje vrši u dva koraka

### 3.6.3 Jedna metoda za skraćivanje trajanja luka pri prekidanju jednosmerne struje

Jedna od metoda koja se koristi za skraćivanje procesa prekidanja luka jednosmerne struje sastoji se u ubacivanju dodatnih otpornika u kolo, čime se proces prekidanja odvija u dve faze. U prvoj fazi se u kolo ubacuje otpornik koji ima ulogu da smanji stacionarnu struju u kolu, a u drugoj fazi se ta struja prekida. Na slici 3.22 prikazana je zamenska šema kola u kome se odvija sklopna operacija.

Oznake na slici 3.22 imaju sledeće značenje:

$E$  –Elektromotorna sila jednosmernog generatora,

$R$  –ekvivalentna otpornost sistema koja u sebi sadrži i unutrašnju otpornost generatora,

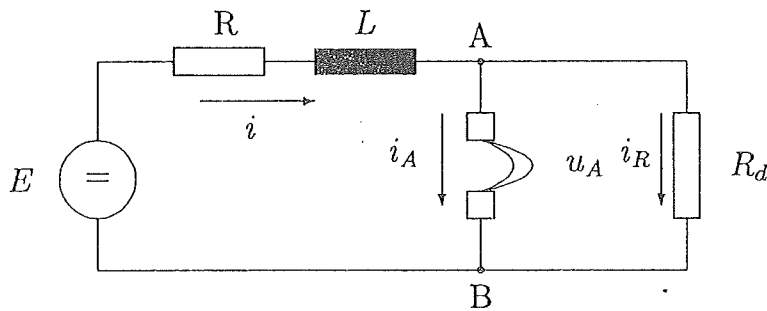
$L$  –ukupna induktivnost električnog kola,

$R_d$  –dodatni otpornik koji se ubacuje u električno kolo,

$P_1$  –glavni prekidač koji isključuje struju u kolu,

$P_2$  –pomoćni prekidač koji služi da premosti dodatni otpornik kada je on van upotrebe.

Za vreme normalnog rada pre početka isključenja prekidači  $P_1$  i  $P_2$  su uključeni. Kada započne proces isključenja, prekidač  $P_2$  se isključuje, dok prekidač  $P_1$  ostaje uključeni. Između kontakata prekidača  $P_2$  se pojavljuje električni luk, a paralelno sa lukom je priključen dodatni otpornik  $R_d$ . Zamenska šema kola u periodu gašenja luka na pomoćnom



Slika 3.23: Ekvivalentno kolo za tumačenje gašenja luka u pomoćnom prekidaču

prekidaču prikazana je na slici 3.23. Na slici 3.23 prekidač  $P_1$  radi jednostavnosti nije ucrtan. Na slici 3.23 oznake imaju sledeće značenje:

$i$  – ukupna struja kroz kolo,

$i_A$  – deo struje koji protiče kroz električni luk,

$i_R$  – deo struje koji protiče kroz otpornik paralelan kontaktima.

I

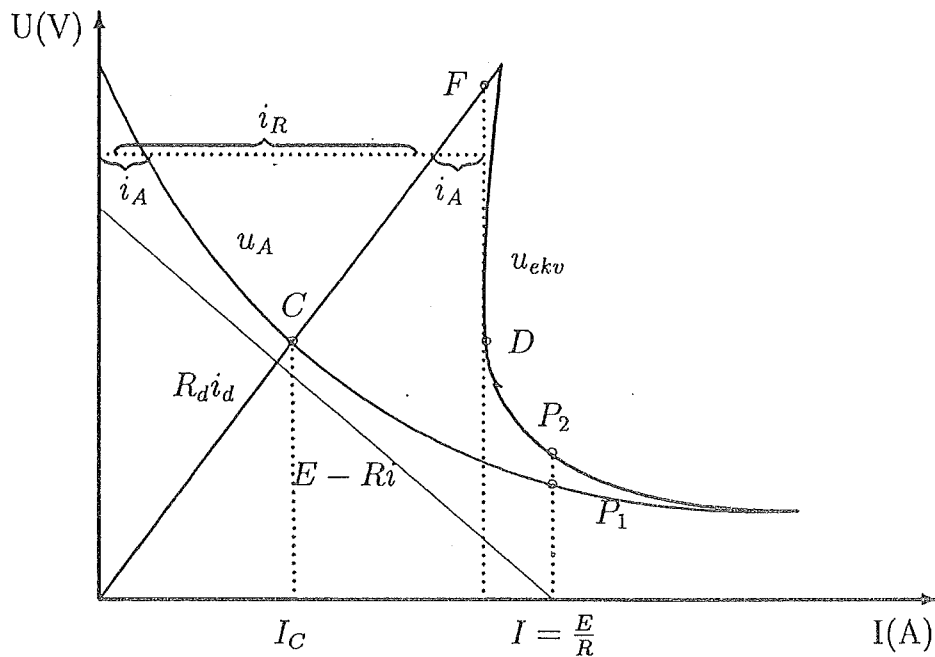
Za kolo na slici 3.23 važi izraz prema II Kirhofovom zakonu:

$$i = i_A + i_R \quad (3.40)$$

Na slici 3.24 prikazan je napon luka  $u_A$  u funkciji struje kroz luk  $i_A$ , napon između tačaka  $A$  i  $B$  koji daje mreža u zavisnosti od ukupne struje kroz kolo  $i$ , kao i napon na dodatnom otporniku  $R_d$  u funkciji struje kroz njega  $i_R$ .

Ekvivalentna karakteristika električnog luka predstavlja napon između tačaka  $A$  i  $B$  u funkciji ukupne struje kroz kolo. Ona se dobija na taj način što se za određenu vrednost napona odredi struja  $i_A$  kroz električni luk, kao i struja  $i_R$  kroz granu sa dodatnim otpornikom. Grafičkim sabiranjem te dve struje dobija se ukupna struja u kolu pri kojoj napon između tačaka  $A$  i  $B$  ima odabranu vrednost. Ako se za različite vrednosti napona odrede struje kroz električni luk i kroz dodatni otpornik i saberu, dobija se kriva  $u_{ekv}$  koja daje napon na paralelnoj vezi dodatnog otpornika i električnog luka u funkciji ukupne struje kroz kolo. Pre početka razdvajanja kontakata struja u kolu je bila  $I = \frac{E}{R}$ . Kada se razdvoje kontakti, kada ne bi bilo dodatnog otpornika, napon koji bi se uspostavio na luku bi bio definisan u trenutku paljenja električnog luka tačkom  $P_1$ . Ako postoji dodatni



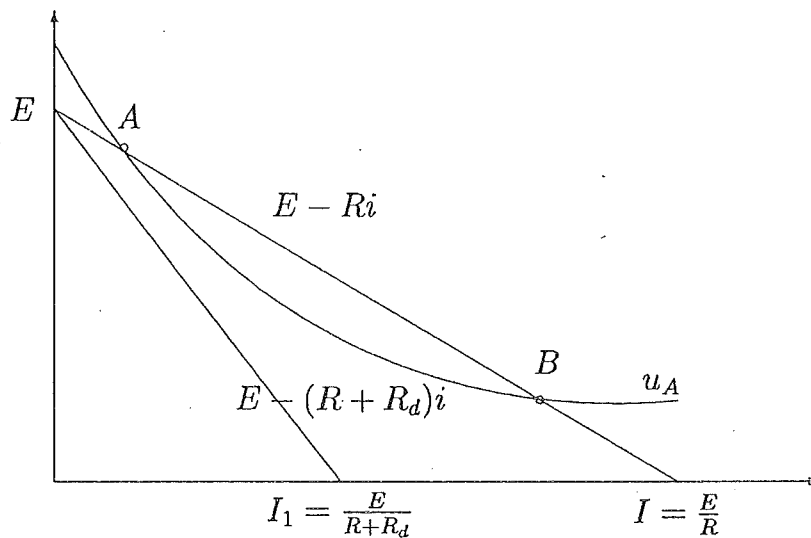


Slika 3.24: Grafičko predstavljanje procesa gašenja luka kada su kontakti premošćeni dodatnim otporom

otpornik paralelno vezan kontaktima prekidača, tada se napon električnog luka određuje na ekvivalentnoj karakteristici luka  $u_{ekv}$  i u trenutku paljenja luka ima vrednost  $P_2$ . U slučaju kada se primenjuje dodatni otpornik, razlika napona između napona mreže ( $E - Ri$ ) i ekvivalentnog napona električnog luka  $u_{ekv}$  je mnogo veća nego u slučaju kada se ne primenjuje dodatni otpornik. Ovu razliku napona mora da pokrije induktivni pad napona na induktivnosti  $L$  u kolu. Struja u kolu se smanjuje, a napon na luku prati ekvivalentnu karakteristiku luka  $U_{ekv}$ , sve dok se struja ne smanji do tačke  $D$  na ekvivalentnoj karakteristici luka. U tom trenutku dolazi do gašenja luka, a deo struje koja je proticala kroz luk preuzima dodatni otpornik, tako da se napon na dodatnom otporniku povećava na vrednost koja je na dijagramu označena tačkom  $F$ . Sada razlika napona između prave  $u = i_R R_d$  i karakteristike električnog luka  $u_A$  predstavlja induktivni pad napona koji smanjuje struju sve dok se ne postigne stacionarna vrednost struje  $I_C$  u presečnoj tački  $C$  prave  $u = i_R R_d$  i karakteristike luka.

U drugoj fazi prekidanja struje treba da se između kontakata prekidača  $P_1$  ugasi električni luk. Proces gašenja luka u slučaju umetanja dodatnog otpornika u kolu prikazan je na slici 3.25

Sa slike 3.25 se može videti da kada ne bi bilo dodatnog otpornika, karakteristika električnog luka između kontakata prekidača  $P_1$  sekla bi karakteristiku kola i postojala bi



Slika 3.25: Grafičko predstavljanje procesa gašenja luka kada je umetnut dodatni otpornik na red sa prekidačem

moгуćnost stabilnog gorenja luka u tački  $B$ . Ukoliko se u kolo umetne dodatni otpornik  $R_d$ , u samom startu, pre početka odvajanja kontakata, struja je manja i ima vrednost  $I_1 = \frac{E}{R+R_d}$ . Kada se kontakti odvoje, napon luka je u svakom trenutku viši od napona mreže sa dodatnim otpornikom  $E - (R + R_d)i$ , tako da dolazi do nestabilnog gorenja luka, smanjivanja struje u kolu i konačnog gašenja luka. Na ovaj način se jednostavno olakšava gašenje luka u kolu jednosmerne struje.

## Poglavlje 4

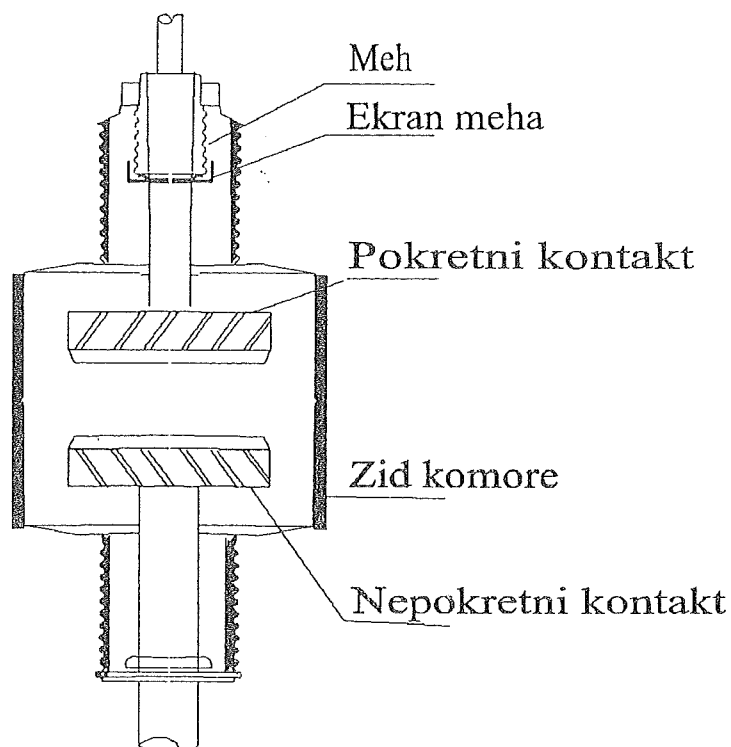
# Principi rada pojedinih tipova prekidača

### 4.1 Vakuumski prekidač

Vakuumski prekidači su počeli sa širokom primenom u zadnje tri dekade 20 veka potiskujući primenu ostalih tipova prekidača u sredjenaponskim mrežama.

Na slici 4.1 prikazana je konstrukcija komore vakuumskog prekidača. Osnovni delovi su vakuumska komora ili vakuumska boca izradjena od neporoznog keramičkog ili staklenog materijala, mada se mogu sresti i komore čiji su pojedini delovi metalni. U komori se nalaze tanjirasti kontakti (pokretan i nepokretan) vezani za odgovarajuće priključke za odvodjenje struje. Da bi se obezbedila zaptivenost, postoji metalni meh koji je jednim krajem zavaren za osovinu pokretnog kontakta, a drugim krajem za zid komore. Na taj način se u komori može obezbediti vakuum reda  $10^{-7}bar$ -a sa ispunjenim uslovima zaptivenosti i pored postojanja pokretnog kontakta. U vakuumskoj komori postoji ekran koji služi kao podloga za sakupljanje kondenzovanog metala iz metalnih para koje se javljaju pri gorenju luka. Kod konstrukcija kod kojih je zid komore od metala, poseban ekran ne postoji. Ukoliko bi se metalne pare kondenzovale po zidovima komore, posle velikog broja operacija komora bi počela da gubi izolaciona svojstva.

Od trenutka razdvajanja kontakata usled visoke temperature u tački poslednjeg dodira kontakata dolazi do isparavanja metalnih para sa kontaktnih površina. U tim metalnim parama se obrazuje električni luk. U procesu razdvajanja kontakata luk se razvlači.



Slika 4.1: Skica vakuumske komore

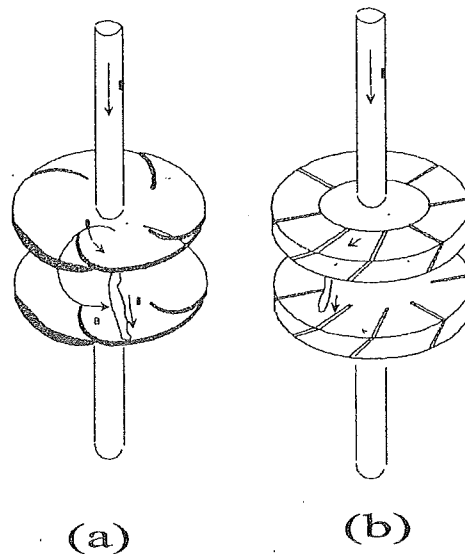
Prilikom smanjivanja struje koja se prekida, temperatura luka se snižava i jedan deo metalnih para se kondenzuje. Ukoliko je količina isparenog materijala sa kontakata veća ili jednaka količini materijala koji se kondenzuje na ekranu, luk je stabilan. Kada količina isparenog materijala postane manja od količine kondenzovanog materijala, luk postaje nestabilan.

Pri prolasku struje kroz nulu dolazi do potpune kondenzacije metalnih para po zidovima komore, na kontaktima i posebno na za tu svrhu predviđenom ekranu. Zbog toga nestaje sredina u kojoj luk može da gori, pa se iz tog razloga luk gasi.

Izuzetno je važno da posle prolaska struje kroz nulu ne dodje do termoelektronske emisije sa katode, koja bi izazvala ponovno paljenje luka posle prolaska struje kroz nulu. Da bi se ovo sprečilo koristi se tehnika rotirajućeg luka. Elektrode između kojih postoji električni luk se rade sa odgovarajućim zarezima ili žljebovima koji usmeravaju struju u određenom pravcu, tako da struja formira magnetsko polje koje deluje silom na kanal luka izazivajući njegovo rotiranje.

Na slici 4.2 prikazana je konstrukcija kontakata u obliku zasečenih kolutova (a)

i u obliku cilindra sa kosim zarezima (b). I u jednom i u drugom slučaju tok struje izaziva magnetsko polje koje deluje silom na luk izazivajući njegovu rotaciju. Smatra se da je pogodnija konstrukcija kontakata kao na slici (b) jer se pri manjim strujama obrazuje koncentrisan luk koji rotira u magnetskom polju izazivajući ravnomernije trošenje kontakata.



Slika 4.2: Skica kontakata sa različitim tipovima zareza

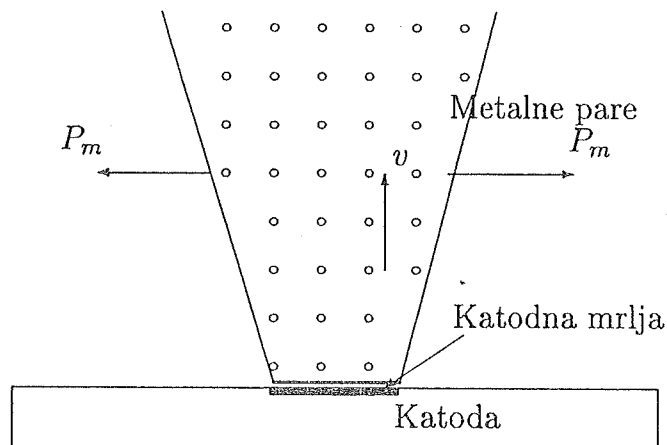
Elektrode kontaktnog sistema su od specijalnih legura od čijeg sastava zavisi ponašanje prekidača pri odredjenim sklopnim operacijama. Pri isključivanju malih induktivnih struja, ukoliko dodje do kondenzacije metalnih para pre prirodnog prolaska struje kroz nulu, dolazi do nestabilnog gorenja i gašenja električnog luka, što izaziva naglo sečenje struje i pojavu visokih prenapona. Danas se vakuumski prekidači rade sa lučnim kontaktima od legura koje imaju osobinu da do kondenzacije metalnih para i gašenja luka dolazi baš pri prolazu struje kroz nulu ili pri vrlo malim vrednostima struja.

Na katodi postoji jedna ili više svetlih katodnih mrlja iz kojih se emituju jonizovane metalne pare. U materijalu koji se emituje iz katodne mrlje prevladjuju slobodni elektroni, zatim neutralni atomi i najzad metalni joni. Brzina emitovanja elektrona je oko  $10^6$  m/s, dok je brzina neutralnih atoma i metalnih jona oko 100 puta manja.

Pri prekidanju struje koja je manja od 6 kA pojavljuje se difuzni luk koji se razvija iz većeg broja katodnih mrlja. Broj katodnih mrlja se povećava sa porastom struje, tako da je gustina struje u luku praktično konstantna. Luk postoji između elektroda u vidu nekoliko potpuno odvojenih kanala, kroz koji protiče struja od nekoliko desetina do nekoliko stotina A. Na pojedine lukove deluju sile zbog efekta širenja kanala, težeći da se luk rasporedi po celoj površini elektroda. Iako magnetne sile teže da privuku paralelne

lukove da budu zajedno, odbojne sile preovladjuju. Difuzni luk ima vrlo malu vremensku konstantu, manju od  $1\mu s$ , što omogućava njegovo lako gašenje.

Na slici 4.3 prikazan je mehanizam razvoja luka iz katodne mrlje kod difuznog luka. Pri manjim strujama postoji veći broj paralelnih lukova koji se obrazuju iz katodne mrlje. Prečnik katodne mrlje je od 1 do  $10\mu m$ , a gustina struje od  $10^5$  do  $10^8 A/cm^2$ .



Slika 4.3: Skica razvoja difuznog luka iz katode

Elektromagnetska sila  $F$  koja deluje na električni luk usled postojanja magnetske indukcije  $B$  je:

$$F = Q(v \times B) \quad (4.1)$$

gde su:

$Q$  –količina elektriciteta nosilaca naelektrisanja u stubu luka,

$v$  –vektor brzine kretanja nosilaca naelektrisanja u luku (kreće se oko  $10^4(m/s)$  za mlaz metalnih para iz bakarnih elektroda,

$B$  –vektor magnetne indukcije usled struje  $i$ .

Veza izmedju struje, brzine i količine naelektrisanja čestica koje su nosioci naelektrisanja u luku je:

$$i \approx Q \cdot v \quad \dot{Q} = \pi r^2 n v Q \quad (4.2)$$

Magnetska indukcija na površini luka je:

$$|B| \approx \frac{i}{2\pi r_0} \quad |B| = \frac{\mu i}{2\pi r_0} \quad (4.3)$$

gde je  $r_o$  poluprečnik luka. Zamenom iz 4.2 i 4.3 u 4.1 se dobija:

$$F \approx \frac{i^2}{2\pi r_o} \quad (4.4)$$

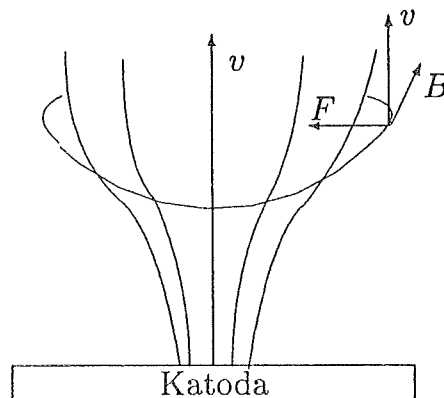
Magnetski pritisak koji teži da skupi električni luk je:

$$P_m \approx \frac{i^2}{d} \quad (4.5)$$

gde je  $d$  prečnik katodne mrlje. Ukoliko je magnetski pritisak  $P_m$  veći od pritiska metalnih para iz katode  $P_o$ , stvaraju se uslovi za gorenje koncentrisanog luka pri velikim strujama. U suprotnom, ako je ispunjen uslov da je  $P_m < P_o$ , postoje uslovi za gorenje difuznog luka.

Kod nove vakuumske komore pritisak iznosi  $10^{-9}$  bar-a. Kontaktni materijal i ostali delovi moraju proći takvu tehnološku obradu da budu do maksimuma degazirani. U toku rada pritisak može da poraste do izvesne mere, ali ne preko nekog maksimalnog pritiska (na primer  $10^{-3}$  bar-a).

Na slici 4.4 prikazan je razvoj koncentrisanog luka usled interakcije kanala luka i magnetskog polja koje deluje silom  $F$  na pojedine delove luka težeći da ih sabije.



Slika 4.4: Skica razvoja koncentrisanog luka.

Pri strujama većim od  $10$  kA pojavljuje se koncentrisan (zbijen) luk zbog dejstva sopstvenog magnetskog polja. Zbijeni luk ima veliku vremensku konstantu, tako da se on teško gasi. Pod dejstvom magnetskog polja zbijeni luk rotira, pa se time sprečava lokalno pregrevanje kontakata. Takodje se teži da se odgovarajućim rešenjem kontaktnog sistema koncentrisan luk pretvori u difuzni pre prolaska struje kroz nulu.

Usled vrlo velike dielektrične izdržljivosti vakuuma hod kontakata kod vakuumskih sklopnih aparata je znatno manji nego kod drugih tipova aparata. Proboj medjukontaktne prostora u vakuumu je posledica samo autoelektronske emisije iz katode usled

jakog električnog polja ili termoelektronske emisije usled usijane katode zbog dejstva luka, a ne udarne jonizacije kao što je slučaj kod svih drugih dielektrika.

## 4.2 SF<sub>6</sub> prekidači

Gas sumporheksafluorid poseduje izuzetne dielektrične karakteristike iz dva razloga. Prvi razlog je što su dimenzije molekula gasa SF<sub>6</sub> znatno veće nego dimenzije molekula azota ili kiseonika. To znači da je efektivna površina poprečnog preseka molekula gasa SF<sub>6</sub> veća za elektrone ubrzane električnim poljem, izazivajući znatno veći broj sudara po jedinici predjenog puta elektrona u odnosu na molekule gasova iz sastava vazduha. Krajnji efekat je isti kao kada bi molekule gasova iz sastava vazduha bili na povećanom pritisku. Elektroni se usled većeg broja sudara mnogo efikasnije usporavaju i efekat udarne jonizacije je znatno slabije izražen nego u vazduhu pri istom pritisku.

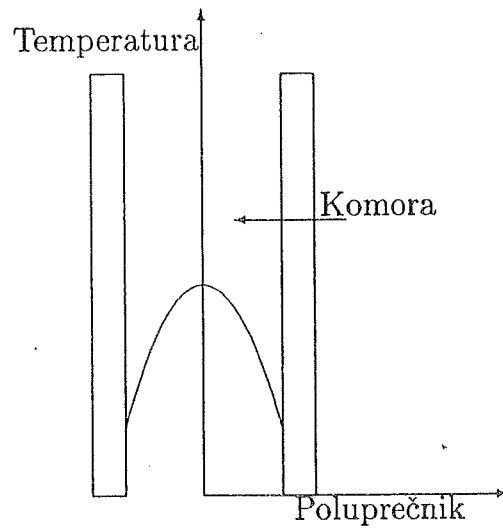
Drugi razlog je što se molekuli gasa SF<sub>6</sub> odlikuju elektro-negativnošću, što znači da mogu da prihvate slobodne elektrone i obrazuju slabo pokretljive negativne jone, što usporava proces udarne jonizacije. Sa druge strane, zbog velikog efektivnog poprečnog preseka molekula gasa SF<sub>6</sub> događa se veliki broj sudara u kojima praktično svi slobodni elektroni bivaju zarobljeni, obrazujući teške negativne jone.

U poslednjoj elektronskoj putanji molekula gasa SF<sub>6</sub> nedostaje jedan elektron do njenog popunjenja. Iz tog razloga molekuli gasa SF<sub>6</sub> pokazuju izraženo privlačno delovanje za elektrone. Gore navedene osobine su izuzetno pogodne za korišćenje gasa SF<sub>6</sub> kao izolacionog sredstva, mada ima i drugih gasova koji sadrže atome fluora sa sličnim osobinama, (na primer freon). Medjutim, karakteristike gasa SF<sub>6</sub> u pogledu gašenja luka su jedinstvene [10].

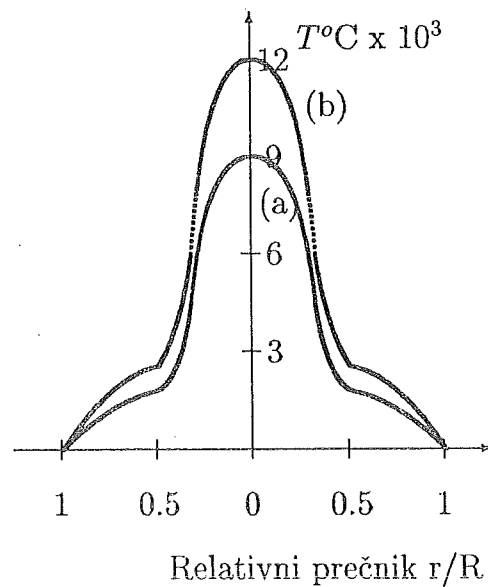
Posmatrajmo šupalj cilindar ispunjen gasom SF<sub>6</sub> u kome se odvija proces lučnog pražnjenja pri konstantnoj struji. Na slici 4.5 prikazana je prostorna raspodela temperature duž poprečnog preseka cilindra u kome se odvija lučno pražnjenje. Maksimalna temperatura se ima u osi cilindra, opadajući sa udaljavanjem od ose. Uz sam zid cilindra temperatura se smanjuje do same temperature zida. Sa porastom intenziteta struje u većini gasova se formira toplotni breg u sredini cilindrične zone luka, na kome se pojavljuje nagli porast temperature, kao na slici 4.6.

Sa slike 4.6 može se sagledati da je temperatura u jezgru luka kod azota znatno viša nego kod gasa SF<sub>6</sub>. Razlika u temperaturi u jezgru luka izmedju gasa SF<sub>6</sub> i drugih gasova nastaje iz dva razloga [10].

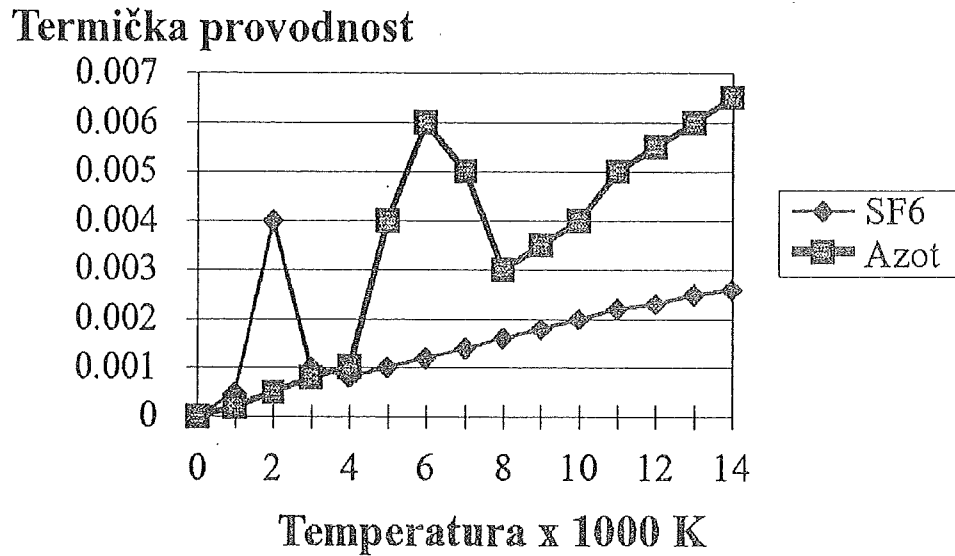




Slika 4.5: Raspodela temperature po poprečnom preseku cilindra u kome gori luk



Slika 4.6: Temperaturni breg u jezgru cilindrične zone luka a) gasa  $\text{SF}_6$ , b) azota



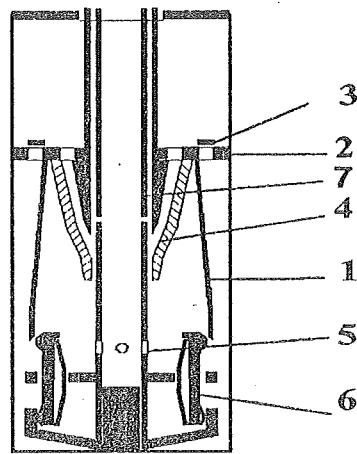
Slika 4.7: Toplotna provodnost gasova u zavisnosti od temperature. a)  $SF_6$  gas, b) Azot

- Intenzivnija jonizacije pri nižim temperaturama koja čini gas provodnim.
- Veća toplotna provodnost pri nižim temperaturama koja omogućuje odvodjenje energije proizvedene u luku. Znajući da broj slobodnih elektrona opada vrlo brzo sa temperaturom, odvodjenje toplote omogućava intenzivan proces dejonizacije.

Toplotna provodnost gasova ima veoma specifičan oblik u zavisnosti od temperature gasa, kao što je to prikazano na slici 4.7. Pri određenoj temperaturi gasovi imaju izražen maksimum toplotne provodnosti, koja kasnije opada, da bi ponovo počela da raste pri znatno višim temperaturama. Ovaj fenomen vezan je za proces disocijacije molekula pri određenim temperaturama. Maksimum toplotne provodnosti za gas  $SF_6$  nastupa pri temperaturi od oko 2000 K, za razliku od azota, kod koga ovaj maksimum nastupa pri temperaturi od 6000 K.

Prema načinu prekidanja električnog luka  $SF_6$  prekidači se mogu podeliti na sledeće tipove:

- Prekidači sa  $SF_6$  gasom sa dva pritiska,
- Autopneumatski  $SF_6$  prekidači,
- Autoekspanzioni  $SF_6$  prekidači,
- $SF_6$  prekidači sa rotirajućim lukom.



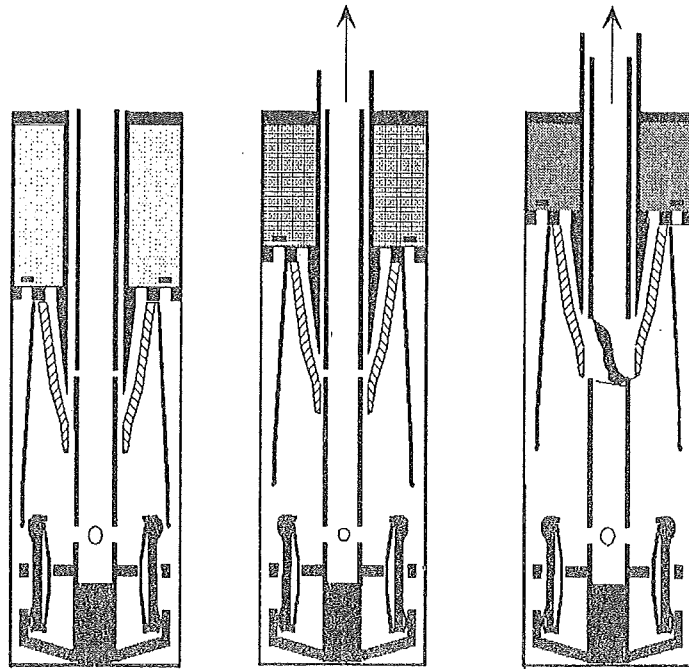
Slika 4.8: Autopneumatski prekidač sa osnovnim delovima

Danas se praktično više ne koriste prekidači sa dva pritiska zbog komplikovane konstrukcije i potrebe za komprimovanjem zalihe gasa. Ponekad se koriste kombinacije pojedinih tipova kao što je kombinacija autopneumatskog i autoekspanzionog, ili kombinacija autoekspanzionog sa magnetnim rotiranjem luka.

#### 4.2.1 Autopneumatski ili "puffer" prekidači

Na slici 4.8 prikazan je autopneumatski ili puffer prekidač sa spiskom najvažnijih delova. U procesu otvaranja kontakata pokretni kontakt se kreće zajedno sa klipom u kompresionom cilindru u kome se sabija SF<sub>6</sub> gas koji će obaviti funkciju oduvavanja luka. Energiju za oduvavanje luka daje mehanizam za pokretanje kontakata, pa je ova energija nezavisna od intenziteta struje koja se prekida. Osnovni delovi SF<sub>6</sub> prekidača baziranog na autopneumatskom principu su sledeći:

1. Glavni pokretni kontakti za vodjenje struje sastavljeni od segmentnih elektroda,
2. Deo pokretnog kontakta sa klipom za sabijanje gasa,
3. Ventil za zatvaranje otvora pri sabijanju gasa u kompresionom cilindru,
4. Mlaznica za usmeravanje gasa,
5. Otvori za ispuštaje jonizovanih gasova koji predstavljaju ostatke luka iz nepokretnih lučnih kontakata,



Slika 4.9: Prikaz principa rada autopneumatskih prekidača.

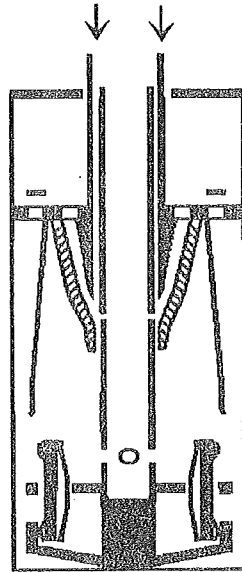
6. Nepokretni kontakt sa nizom segmenata za vodjenje struje,
7. Pokretni lučni kontakti.

Rad prekidača u procesu isključenja struje prikazan je u tri faze. Faze rada prekidača date su na slici 4.9.

U prvoj fazi prikazano je vodjenje struje pre početka prekidanja. U ovoj fazi su i glavni i lučni kontakti zatvoreni.

U drugoj fazi počinje razmicanje glavnih kontakata, ali struja i dalje protiče kroz lučne kontakte. Gas u komori za sabijanje se sabija, ali je otvor za oduvavanje luka u mlaznici zatvoren pokretnim kontaktom. Ventil na klip je zatvoren ne dozvoljavajući smanjivanje pritiska u kompresionom cilindru.

U trećoj fazi, daljim otvaranjem pokretnog kontakta se otvor za ispuštanje komprimovanog gasa otvara. Ujedno su se i lučni kontakti razdvojili, tako da komprimovani gas struji preko luka vršeći dejonizaciju do njegovog potpunog gašenja.



Slika 4.10: Prikaz uključanja autopneumatskog SF<sub>6</sub> prekidača

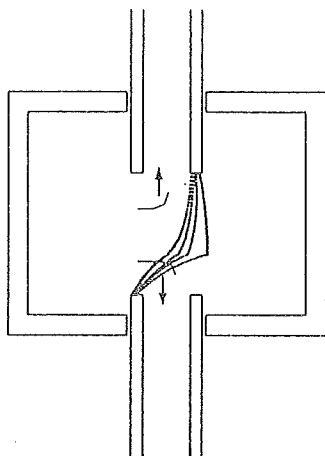
Na slici 4.10 je prikazan proces uključanja kod koga se pokretni kontakti zajedno sa klipom za sabijanje gasa pomeraju ka zatvorenom položaju, ali uz otvoren ventil koji dozvoljava izjednačavanje pritiska u kompresionom cilindru i u ostalom prostoru komore za gašenje luka.

#### 4.2.2 Autoekspanzioni prekidači

Na slici 4.11 prikazan je princip rada autoekspanzionog prekidača. U komori za gašenje luka se javlja porast pritiska usled dejstva visoke temperature luka, što izaziva strujanje gasa preko luka i dovodi do dejonizacije luka. Međutim, usled nestabilnosti luka on se ubrzo premešta u poziciju kao na slici 4.12, tako da luk više nije u zoni optimalnog gasnog protoka koji bi ga oduvao.

Da bi se poboljšale karakteristike ovog tipa prekidača, gradi se specijalno oblikovana mlaznica kao na slici 4.13 koja usmerava luk u zonu optimalnog oduvavanja.

Kod autoekspanzionih prekidača energija za gašenje luka se dobija ekspanzijom gasa SF<sub>6</sub> usled visoke temperature luka.



Slika 4.11: Prikaz principa rada auto-ekspanzionog prekidača

Energija koja se toku gorenja električnog luka oslobadja u njemu je:

$$W_L = \int_0^{t_L} i \cdot u_L \cdot dt \quad (4.6)$$

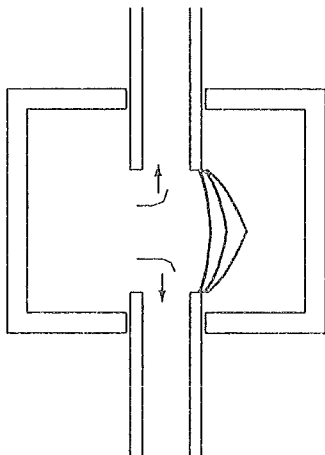
gde su:

$W_L(J)$ – toplotna energija oslobodjena u luku,

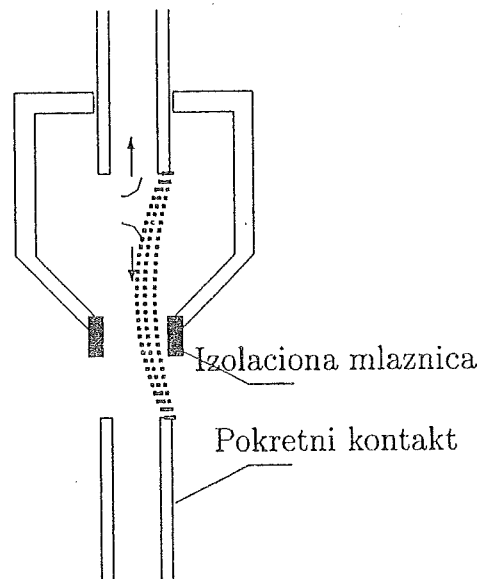
$i(A)$ –trenutna vrednost struje,

$u_L(V)$ –trenutna vrednost pada napona na luku,

$t_L(s)$ –trajanje luka.



Slika 4.12: Nevodjeni električni luk kod auto-ekspanzionog prekidača



Slika 4.13: Vodjeni električni luk pomoću izolacione mlaznice kod auto-ekspanzionog prekidača

Deo ove energije se troši na povećanje toplotne energije gasa, odnosno:

$$W_g = C_v M_g \Delta T \quad (4.7)$$

gde su:

$W_g (J)$ —energija utrošena na zagrevanje gasa,

$C_p (J/(kgK))$ —specifična toplota gasa pri konstantnoj zapremini, koja ima vrednost  $C_p = 670 J/(kgK)$  na  $273K$  za gas  $SF_6$ ,

$M_g (kg)$ —masa gasa,

$\Delta T (^\circ C)$ —porast temperature gasa.

Smatrajući gas idealnim, relacija 4.7 postaje:

$$W_g = C_p M_g \frac{T_o}{p_o} \Delta p \quad (4.8)$$

gde su:

$p_o$ —normalni atmosferski pritisak od  $1,033 \text{ bar}$ ,

$T_o$ —temperatura ambijenta od  $20^\circ C$ ,

porast pritiska

$\Delta p$ —pritisak u komori.

Zagrevanje gasa prouzrokuje porast pritiska u ekspanzionoj komori, stvarajući struju gasa kroz mlaznicu preko električnog luka, vršeći vodjenje luka na optimalan način putem izolacione mlaznice od čijeg oblika najviše zavisi ponašanje prekidača pri gašenju luka.

Gašenje luka po autoekspanzionom principu ima sledeće slabosti prema [12]:

- razmena toplote između luka i gasa u ekspanzionoj komori je ograničena na samo oko 15 %,
- izolaciona mlaznica prouzrokuje deformaciju električnog polja,
- zbog statičkog položaja luka dolazi do značajne erozije kontakata.

Iz tog razloga se uvode rešenja sa magnetskim poljem koje prouzrokuje dodatno rotiranje luka.

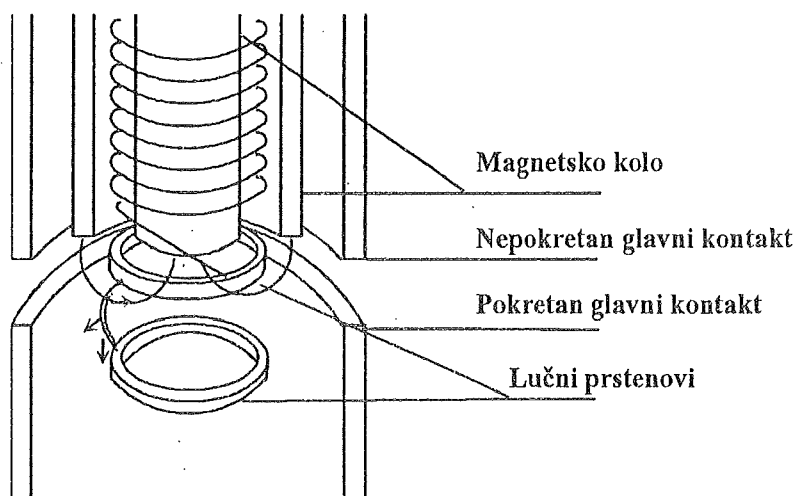
Prekidači koji rade na autoekspanzionom principu imaju zavisnu karakteristiku gašenja luka. U slučaju prekidanja malih struja intenzitet oduvavanja luka je mali, dok se kod velikih struja oslobadja velika toplotna energija u luku, koja se troši na njegovo oduvavanje. Energija koja se dobija u komori je posledica struje koja se prekida, pa ovaj tip prekidača ne zahteva veliku snagu mehanizma kao što je to slučaj kod autopneumatskih prekidača

#### 4.2.3 SF<sub>6</sub> prekidači sa rotacijom luka

Na slici 4.14 prikazana je skica SF<sub>6</sub> prekidača sa rotacijom luka. Osnovni cilj ove konstrukcije je da se brzim kretanjem električnog luka u atmosferi gasa SF<sub>6</sub> izvrši dejonizacija luka, za razliku od prethodnih konstrukcija kod kojih je gas strujao preko nepokretnog luka.

Prekidač ima dva lučna prstena na koje se električni luk prebacuje nakon otvaranja glavnih kontakata. Struja koja se prekida prolazi kroz kalem koji stvara magnetno polje takvo da deluje na luk, izazivajući njegovu rotaciju slično kao kod vakuumskih prekidača. Prekidač može imati magnetno kolo koje oblikuje linije sila magnetskog polja, mada se mogu graditi i prekidači bez magnetskog kola. Za vreme trajanja luka brzina rotacije električnog luka je ekstremno visoka. Kada struja prodje kroz nulu, neophodno je



Slika 4.14: Skica  $SF_6$  prekidača sa rotirajućim lukom

da rezidualni stub luka dovoljno brzo nestane da bi se uspostavila dielektrička izdržljivost između kontakata koja može da podnese prelazni povratni napon. Da bi se to postiglo, magnetsko polje mora da bude dovoljno jako i u trenutku prolaska struje kroz nulu, da bi i tada delovalo na rotaciju rezidualnog stuba luka. To se postiže faznim pomerajem između struje koja se prekida i magnetskog polja.

Energija za gašenje luka i kod ovog tipa prekidača dobija se od same struje koja se prekida nezavisno od drugih izvora energije.

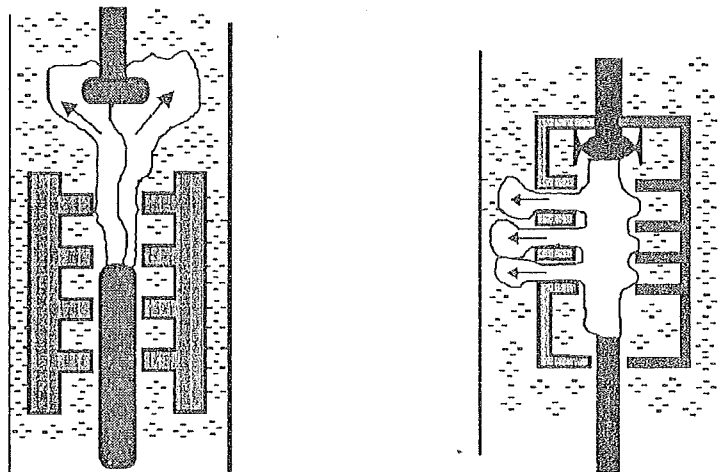
Ovaj prekidač je posebno pogodan za isključivanje malih induktivnih struja jer obezbeđuje gašenje luka tačno u nuli struje.

### 4.3 Malouljni prekidači

Malouljni prekidači su još u vrlo širokoj upotrebi u našoj zemlji kako na srednjim, tako i na visokim naponima. Postoje dva principa rada malouljnih prekidača. Prvi princip se bazira na širenju gasnog mehura nastalog dejstvom visoke temperature luka koja razlaže ulje (ekspanzioni princip). Komore za gašenje luka se rade od vatrostalnog materijala, najčešće motanog materijala kao što su tekstil, papir ili staklena vlakna, koji su impregnirani sa epoksidnim smolama ili drugim materijalima otpornim na visoku temperaturu. Komora kroz koju se kreće pokretni kontakt ima zidove sa preprekama koji grade džepove u kojima se zadržava ulje, koje u dodiru sa gasnim mehurom hladi mehur.

Prema načinu usmeravanja struje gasova putem prepreka u komori za gašenje

luka razlikujemo komoru sa podužnim oduvavanjem (slika 4.15 levo) i poprečnim oduvavanjem luka (slika 4.15 desno). Ovaj tip malouljnih prekidača spada u prekidače sa



Slika 4.15: Komore malouljnih prekidača sa podužnim (levo) i poprečnim (desno) oduvavanjem luka

zavisnom karakteristikom, jer intenzitet dejonizacije i hladjenja luka zavisi od pritiska gasnog mehura, koji je funkcija struje koja se prekida.

Kod prekidača sa uzdužnim oduvavanjem luka strujanje gasova se vrši kroz uzani središnji prostor između horizontalnih pregrada duž luka, pa je pritisak gasova visok i pri malim vrednostima struja. Zbog toga su ovakvi prekidači pogodni za prekidanje manjih struja. Komore sa poprečnim oduvavanjem luka imaju nekoliko bočnih otvora relativno većeg poprečnog preseka, pa je zbog njihovog ukupnog relativno velikog preseka pritisak u komori niži. Zbog toga ovi prekidači teže prekidaju male struje. Zbog toga se grade i kombinovane komore kod kojih postoji i podužno i poprečno oduvavanje luka. Obično su nekoliko gornjih i donjih pregrada napravljeni bez bočnih otvora, a središnje pregrade se grade sa bočnim otvorima. Na taj način kod malih struja dolazi do uzdužnog strujanja luka dok je luk još kratak, a kada se dužina luka poveća, dolazi do izražaja poprečno strujanje.

Količina gasova koja se oslobadja pri gorenju luka u tečnosti može se prikazati sledećom relacijom [15]:

$$V_o = C_o W_a \quad (4.9)$$

gde su:

$V_o(m^3)$  -zapremina gasa i pare svedena na normalno stanje od pri apsolutnoj temperaturi od  $T_o = 293K$  i pritisku  $p_o = 1,033bar$ ,

$W_a(kJ)$  -energija luka utrošena na isparavanje medijuma za gašenje luka,

$C_o(m^3/J)$  -koeficijent, koji ima vrednosti za pojedina sredstva za gašenje luka date u tabeli 4.1.

Tabela 4.1: Koeficijent oslobadjanja gasova pri gorenju luka

Sredstvo za gašenje	$C_o(m^3/kJ)$
Ulje	$6 \cdot 10^{-5}$
Hidrin	$2,5 \cdot 10^{-5}$
Voda	$5 \cdot 10^{-6} \dots 1 \cdot 10^{-5}$

Stvarna zapremina razvijenog gasa pri pritisku  $p$  i apsolutnoj temperaturi  $T$  dobija se na osnovu jednačine stanja gasa:

$$V = V_o \frac{p_o T}{p T_o} \quad (4.10)$$

odnosno:

$$V = W_a C_o \frac{p_o T}{p T_o} \quad (4.11)$$

Ako se vodi računa o jednačini stanja gasa:

$$pV = mR_s T \quad (4.12)$$

gde su:

$m$  - masa gasa (kg),

$R_s$  - specifična gasna konstanta  $R_s = 8,31 \cdot 10^3 / \mu ((m^2/Ks^2))$ ,

$\mu$  - molekularna težina gasa, odnosno odnos težine jednog molekula gasa prema težini jednog molekula vodonika.

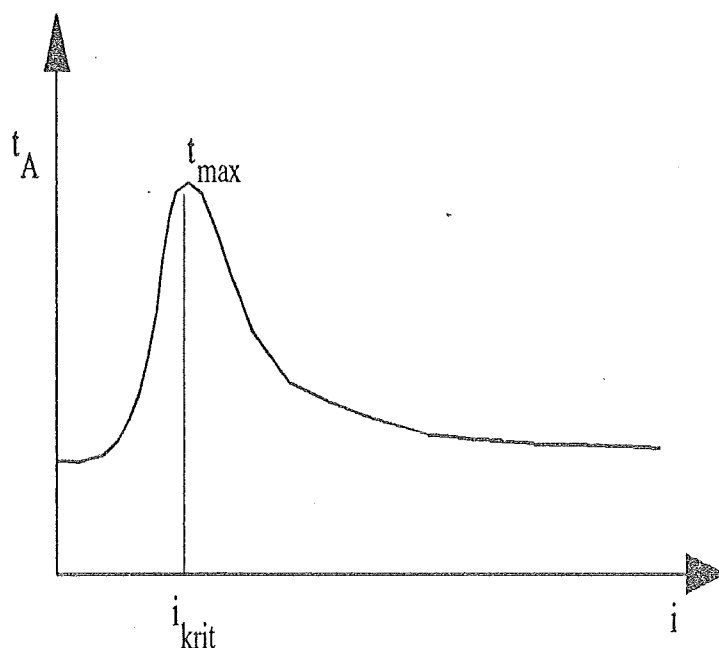
tada se može napisati zapremina oslobodjenog gasa u obliku:

$$\frac{pV}{T} = \frac{p_o V_o}{T_o} = mR_s \quad (4.13)$$

Na bazi zapremine razvijenog gasa i jednačine stanja gasa može se dobiti i masa razvijenog gasa:

$$m = \frac{p_o V_o}{R_s T_o} = \frac{10^5 C_o}{293 R_s} W_a \quad (4.14)$$

Kod aparata sa zavisnom karakteristikom trajanje luka zavisi od intenziteta struje koja se prekida. Na slici 4.16 prikazan je dijagram trajanja luka u funkciji struje koja se prekida.

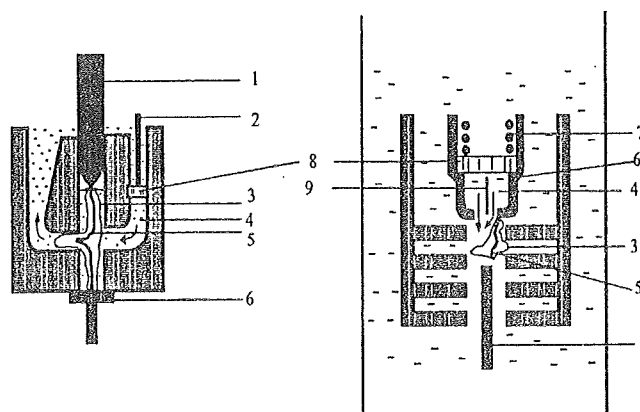


Slika 4.16: Dijagram trajanja luka u funkciji struje koja se prekida

Malouljni prekidači se mogu graditi i sa nezavisnom karakteristikom. Na slici 4.17 levo prikazan je princip rada malouljnog prekidača sa poprečnim injektiranjem svežeg ulja preko luka, a na desnoj slici prikazan je princip rada prekidača sa podužnjim ubrizgavanjem ulja preko luka.

Oznake na slici 4.17 imaju značenje:

- 1 -Pokretni kontakt,
- 2 -Poluga za sabijanje klipa za injekciju ulja,
- 3 -Granica gasnog mehura,



Slika 4.17: Malouljni prekidači sa prinudnim ubrizgavanjem svežeg ulja. Poprečno ubrizgavanje (levo) i podužno ubrizgavanje (desno).

4 -Sveže ulje koje se injektira,

5 -Električni luk,

6 -Nepokretni kontakt,

7 -Opruga za pomeranje klipa za ubrizgavanje ulja,

8 -Klip za ubrizgavanje svežeg ulja,

9 -Štap koji se oslobadja pomeranjem pokretnog kontakta koji dozvoljava klipu da se pomera i ubrizgava ulje.

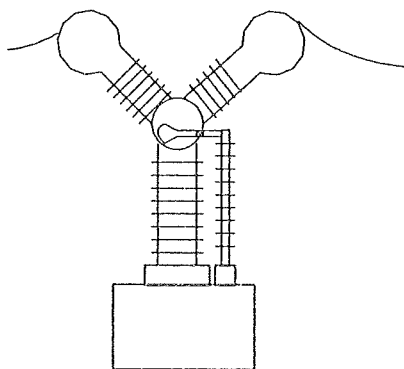
Intenzitet gašenja luka kod ovog tipa prekidača je potpuno nezavistan od amplitude struje koja se prekida. Ovaj tip prekidača veoma efikasno prekida struje malog intenziteta, što je povoljno kod operacije prekidanja malih kapacitivnih struja. Međutim, kod isključivanja malih induktivnih struja postoji potencijalna opasnost od sečenih struja.

Danas se grade i kombinacije prekidača koji rade na autoekspanzionom principu sa dodatnim ubrizgavanjem svežeg ulja. Ovi prekidači efikasno prekidaju male struje, koristeći prinudno strujanje ulja, kao i velike struje kratkih spojeva, kada se koristi energija električnog luka za njegovo gašenje.

## 4.4 Modularna konstrukcija prekidača

### 4.4.1 Izrada prekidača za različite naponske nivoe od identičnih modula

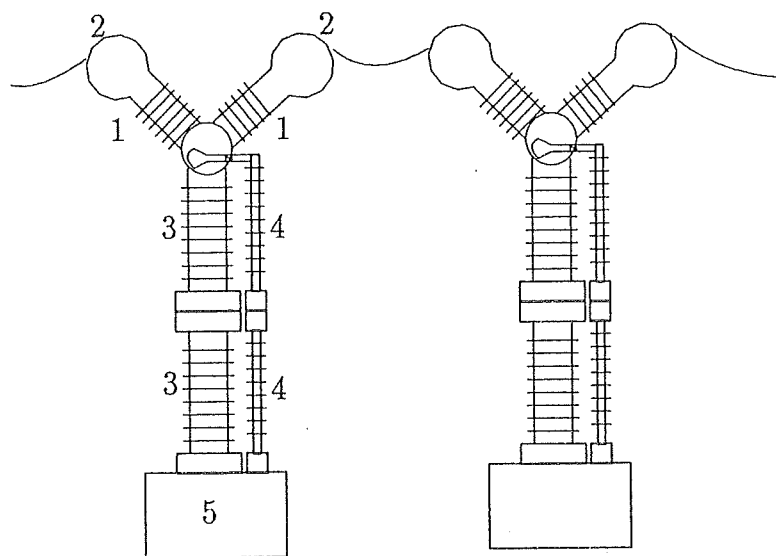
Kod visokonaponskih prekidača se ponekad ne može postići dovoljna brzina uspostavljanja dielektrične izdržljivosti između kontakata prekidanjem električnog kola na samo jednom prekidnom mestu. Tada se koriste prekidači koji imaju više od jednog prekidnog mesta po polu. Na primer, na slici 4.18 prikazana je konstrukcija jednog elementa prekidača sa dva prekidna mesta po polu. Pri tome se koristi jedan pogonski mehanizam koji istovremeno razdvaja kontakte na oba prekidna mesta.



Slika 4.18: Konstrukcija jednog elementa prekidača sa dva prekidna mesta po polu

Radi standardizacije komponenti prekidača koristi se modularna izrada, koja se sastoji u tome da se za različite naponske nivoe koristi više identičnih modula. Na slici 4.19 stilizovano je prikazana konstrukcija maloulnog prekidača od dva elementa sa dva prekidna mesta po svakom elementu i posebnim pogonskim mehanizmom za svaki element. Oznake na slici 4.19 imaju sledeće značenje:

- 1 –prekidni elemenat sa komorom za gašenje luka,
- 2 –glava komore sa strujnim priključkom,
- 3 –potporni izolator,
- 4 –obrtni izolator za prenos obrtnog kretanja od pogonskog mehanizma do polužja za pokretanje kontakata,
- 5 –pogonski mehanizam.



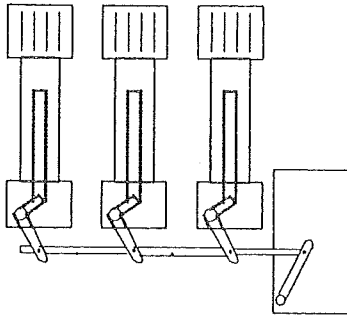
Slika 4.19: Modularna konstrukcija prekidača od dva elementa sa ukupno četiri prekidna mesta po polu

Skica prekidača sa slike 4.19 odgovara konstrukciji malouljnog prekidača za 220 kV sistem. Za 110 kV sistem koristi se samo jedan elemenat sa dva prekidna mesta po polu kao na slici 4.18. Komore za gašenje luka su postavljene na samo jednom aparatnom potpornom izolatoru. Obrtni izolator se sastoji samo od jednog izolacionog štapa. Za 220 kV sistem se koriste dva prekidna elementa sa četiri prekidna mesta po polu, a komore za gašenje luka su podignute na dva potporna aparatna izolatora kao na slici 4.19. Takodje je i obrtni izolator sastavljen od dva redno vezana štapa. Za 400 kV sistem se koriste tri elementa sa ukupno 6 prekidnih mesta po polu. Prekidna mesta su podignuta na 3 potporna aparatna izolatora, a obrtni izolatori se takodje sastoje od tri štapna izolatora. Na ovaj način se korišćenjem istih modula postiže univerzalnost konstrukcije, lakša zamena delova i održavanje prekidača, kao i lakše obezbeđivanje rezervnih delova.

#### 4.4.2 Primena pogonskih mehanizama za prekidače od više elemenata

Kod srednjenaponskih prekidača se po pravilu koristi jedan pogonski mehanizam koji pokreće poluge za razdvajanje kontakata na sva tri pola, kao na slici 4.20. Kod jednog pogona za sva tri pola prekidača moguće je sprovesti samo operacije trofaznog isključenja i trofaznog uključenja. Ukoliko se želi operacija isključenja sa automatskog ponovnim uključenjem (APU), ona se može sprovesti samo trofazno.

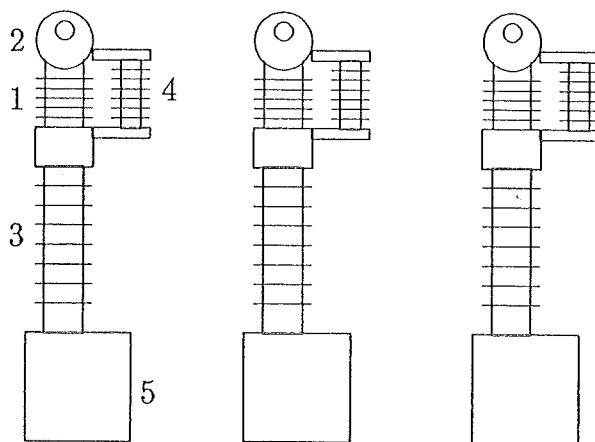
U slučaju visokonaponskih prekidača moguće je koristiti jedan pogon za sva tri



Slika 4.20: Pokretanje kontakata kod trofaznog sredjenaponskog prekidača

pola, ili može svaki pol da ima svoj sopstveni pogon. Iako je skuplje, rešenje sa zasebnim pogonima za svaki pol prekidača omogućava primenu jednopolnog isključenja sa brzim automatskim ponovnim uključanjem, što je veoma korisna operacija za koja služi za eliminaciju kvarova sa što manje posledica po rad sistema. Kod prekidača za najviše naponske nivoe, posebno ako treba obezbediti i više prekidnih mesta po svakom polu prekidača, teško je napraviti pogonski mehanizam koji može da obezbedi dovoljnu energiju za pokretanje sva tri pola istovremeno. Zbog toga se u sistemima visokih napona koriste pojedinačni pogoni za pojedine polove ili ponekad čak i za pojedine elemente ukoliko se jedan pol sastoji od više elemenata, kao što je prikazano na slici 4.19. Kod sistema najviših napona pojedinačni pogoni su povoljniji i sa tehničkog i sa ekonomskog stanovišta, jer bi jedinstven pogon za sva prekidna mesta zahtevao izuzetno složenu i glomaznu konstrukciju.

Radi ilustracije, na slici 4.21 prikazan je trofazni prekidač kod koga svaki pol ima svoj pogonski mehanizam. Oznake na slici 4.21 imaju sledeće značenje:



Slika 4.21: Trofazni prekidač sa posebnim pogonima za svaki pol



- 1 -prekidni elemenat sa komorom za gašenje luka,
- 2 -glava komore sa strujnim priključkom,
- 3 -potporni izolator,
- 4 -kondenzator za upravljanje raspodelom napona izmedju kontakata u slučaju kada se koristi više prekidnih elemenata po polu,
- 5 -pogonski mehanizam.

Skica prekidača na slici 4.21 odnosi se na istu konstrukciju kao na slici 4.18, koja je prikazana iz bočne projekcije iz koje se vidi samo jedno prekidno mesto po polu i kondenzator za upravljanje raspodelom napona po prekidnim mestima. Kada se koristi više prekidnih mesta po polu, tada je izuzetno važno da napon bude ravnomerno raspoređen po svim prekidnim mestima, što se može postići pomoću odgovarajućih kondenzatora ili otpornika vrlo velikog otpora. Na taj način se obezbedjuje da posle gašenja luka naprezanje medjukontaktne prostora na svim prekidnim mestima usled delovanja prelaznog povratnog napona koji se uspostavlja izmedju kontakata bude identično.