

Gas SF_6 ima izražena dva vrha na krivoj toplotne provodnosti u području temperatura pri kojima se gas pretvara u izolator. To mu obezbeđuje dobre karakteristike u uslovima prekidanja struja bliskog kratkog spoja.

Nakon uspješnog prekidanja struje u području termičkog proboja nastupa faza u kojoj presudnu ulogu igraju dielektrične karakteristike pojedinih medija. Kao ilustracija može poslužiti zavisnost probojnog napona od pritiska za gas SF_6 i azot (slika 5.3). Kao referentna vrijednost dat je probojni napon za ulje, koji je neovisan od pritiska. Ovaj dijagram jasno pokazuje da se sa gasom SF_6 , koji ima superiorne dielektrične osobine, može postići najveći nazivni napon po prekidnom mjestu.

5.1 Zrak

Zrak se sastoji od oko 21% kiseonika i 79% azota sa određenim sadržajem vodene pare (vlage) i drugih gasova. Vlažnost zraka³⁶ zavisi od atmosferskih uslova i temperature, a zasićenje se dostiže samo tokom maglovitih i kišnih dana.

Imajući u vidu da je zrak dobar dielektrik pri normalnim uvjetima, te da je pri tome besplatan i široko dostupan bilo gdje, očigledno se odmah nametnuo kao izolacioni medij, ali i kao mogući medij za gašenje luka. Može se sušiti i komprimirati, te pohranjivati u bocama pod visokim pritiskom za upotrebu u razne svrhe.

Zrak se kao izolacioni medij koristi u postrojenjima vanjske i unutrašnje montaže, na dalekovodnim linijama i mnogim drugim mjestima u elektroenergetskom sistemu.

Zrak se također može koristiti i kao medij za gašenje luka. Međutim, mala mu je prekidna moć na atmosferskom pritisku, što ograničava njegovu primjenu na niski i srednji napon.

5.1.1 Gašenje luka prostim razmicanjem kontakata

Najjednostavniji princip gašenja luka u zraku bazira se na prostom razmicanju kontakata (slika 5.1.1.1). Kada su kontakti prekidača u zatvorenom položaju struja protiče kroz prekidač. Ako se želi zaustaviti tok

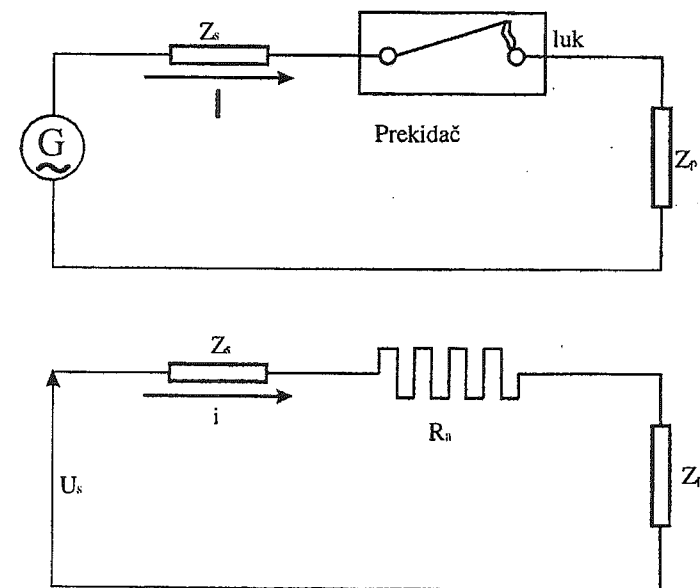
³⁶ Apsolutna vlažnost zraka definiše se kao količina vode koju sadrži 1 m^3 zraka. Izražava se u g/m^3 ili ppm.

Relativna vlažnost zraka se izražava u procentima i predstavlja odnos apsolutne vlažnosti i maksimalne količine vlage koju može sadržavati 1 m^3 zraka na atmosferskom pritisku.

ppm = parts per million (1 ppm = 1 cm^3 vodene pare/ 1 m^3 suhog zraka)

struje treba razdvojiti kontakte. U trenutku razdvajanja kontakata javlja se električni luk u međukontaktom prostoru. Zbog toga se novi element, otpor luka R_n , ubacuje u seriju sa impedansama sistema Z_s i potrošača Z_p . Kako se kontakti razdvajaju luk postaje sve duži i duži, ali struja i dalje teče. Problem je eliminisati luk u međukontaktom prostoru i konačno prekinuti struju. Otpor luka je praktično proporcionalan dužini luka. To znači da stalnim izduživanjem luka možemo kontinuirano smanjivati struju do nule.

Ovaj princip je bio široko korišten u pionirskim danima elektroenergetike kada su i naponi i struje bili mali. U to vrijeme se o prekidaču razmišljalo kao o vrlo jednostavnom aparatu. Međutim, korištenje zraka na atmosferskom pritisku, kao medija za gašenje luka u prekidačima, nije jednostavno kao što to izgleda na prvi pogled.



Slika 5.1.1.1. Primjer električnog kola za objašnjenje gašenja luka prostim razmicanjem kontakata u zraku

Naime, kada se uspostavi luk u zraku na atmosferskom pritisku, on poprima jako velike dimenzije zagrijavajući okolni zrak, istovremeno otežavajući hlađenje luka i povećavajući rizik od neželjenih preskoka prema zemlji ili između polova prekidača.

Ako bi u današnje vrijeme, kada je normalno koristiti stotine kV i desetine kA, neko pokušao konstruirati prekidač na gore opisanom principu, kontakti sistem takvog aparata mjerio bi se desetinama metara. Teško je i zamisliti dimenzije i težinu takvog aparata, kao i kompleksnost njegovog pogonskog mehanizma, koji bi morao biti u stanju efikasno razdvajati kontakte dovoljno brzo. Uz to bi performanse i pouzdanost tako velikog prekidača bile neminovno vrlo loše.

U slučaju slobodnih lukova (koji mogu nastati, naprimjer, na dalekovodima usljed oštećenja izolacije ili prenapona) može doći do njegovog samogašenja, uz pomoć gore opisanog principa, ukoliko se pod djelovanjem aerodinamičkih i elektrodinamičkih sila njegova dužina uveća iznad kritične. Spontano gašenje luka u zraku iziskuje veliko vrijeme, a kritična dužina luka pri ovim uslovima, naročito pri vjetru, je ogromne veličine.

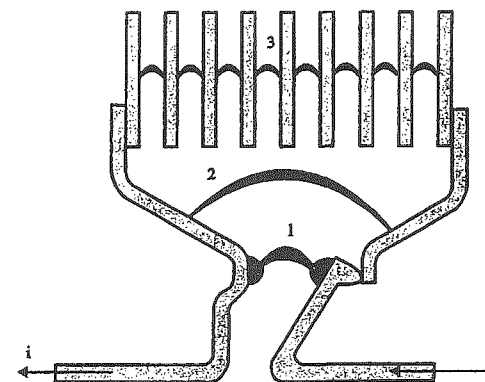
Ovakva je situacija, naravno, neprihvatljiva za savremene prekidače koji treba da gase luk u veoma kratkom vremenu i sa relativno malim razmakom kontakata i malom dužinom luka. Stoga se u prekidačima moraju primjenjivati druge mjere za prinudno gašenje luka u zraku.

5.1.2 Gašenje luka magnetnim oduhavanjem u zraku

Kada električni luk gori u magnetnom polju javlja se elektrodinamička sila koja se može iskoristiti u procesu gašenja luka. Najjednostavniji način je da se pod djelovanjem te sile luk usmjeri na posebno oblikovane rogove i tako izduži. Veća dužina izaziva pojačano hlađenje luka. Pri tome veoma važnu ulogu ima brzo kretanje luka kroz miran zrak, što ima isti efekt kao poprečno gasno oduhavanje nepomičnog luka.

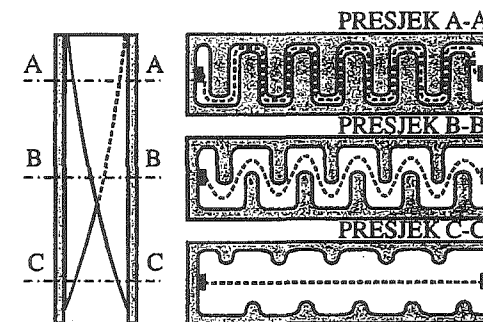
Drugi princip gašenja luka u zraku bazira se na činjenici da se on automatski gasi, bez obzira na vrijednost struje, ukoliko je vrijednost napona između elektroda ispod određene vrijednosti koja odgovara katodnom padu napona.

Na toj osnovi razvijeni su prekidači sa takozvanim dejon rešetkama kao komorama za gašenje luka (slika 5.1.2.1). One se sastoje od velikog broja zračnih razmaka između ravnih, međusobno izolovanih metalnih ploča, među koje se, uz pomoć magnetnog oduhavanja, luk prebacuje nakon razdvajanja kontakata. Ravnomjerna raspodjela napona duž serijski vezanih razmaka ostvaruje se odgovarajućim ekranima koji imaju ulogu kondenzatora za gradiranje napona. Za dobro djelovanje komore bitno je da metalne ploče ostanu što hladnije. To se može postići magnetnom rotacijom parcijalnih lukova u procjepu. Ako je katoda hladna, nakon gašenja luka neće biti emisije elektrona sa njene površine, što sprječava ponovno paljenje luka pod uticajem prelaznog povratnog napona.



Slika 5.1.2.1. Uzastopni položaji luka u dejon komori za gašenje luka u zraku: 1 – luk među kontaktima, 2 – luk na rogovima, 3 – luk u rešetki

Princip gašenja luka u dejon komorama i danas je najekonomičnija i najpraktičnija tehnologija na naponima do 1000 V.



Slika 5.1.2.2. Komora za gašenje luka u zraku sa suženjem raspora i produžavanjem luka

Znatno poboljšanje se postiže ako se luk djelovanjem magnetskog polja dovede u uski raspor između ploča od izolacionog materijala. Uskim se smatra raspor čija je širina manja od prečnika luka. To poboljšanje je posljedica neposrednog dodira luka sa hladnim izolacionim materijalom. Izolacione ploče se izrađuju od keramičkih materijala kao što su cirkonij oksid ili aluminij oksid. Dodatno izduživanje luka može se postići povoljnom konstrukcijom komore sa uskim rasporima (slika 5.1.2.2). Luk se

ponaša kao fleksibilni rastegljivi provodnik čija se dužina i otpor povećavaju kako se luk dublje zavlači u raspor pod djelovanjem magnetnog polja.

Gašenje luka magnetnim oduhavanjem u zraku pogodno je kod sklapanja induktivnih tereta jer je nivo prenapona nizak, pogotovo u slučaju uklopa gdje je potpuno eliminisana mogućnost višestrukih ponovnih paljenja koji mogu dovesti do eskalacije napona. Druga prednost prekidača sa magnetnim oduhavanjem u zraku proističe iz njegove sposobnosti gašenja struja kratkog spoja sa asimetrijom preko 100%, kada struja nekoliko perioda nema prirodnih prolazaka struje kroz nulu. Zbog toga su pogodni za zaštitu generatora.

Međutim, nisu pogodni za sklapanje kapacitivnih tereta. Osim toga nedostatak im je izloženost vanjskom zagađenju, glomazni su, bučni i relativno su skupi, te zahtijevaju više održavanja nego moderne tehnologije vakuuma i gas SF_6 .

Sklopke sa magnetnim oduhavanjem i uskim, izolacionim rasporima koriste se za nazivne napone do 24 kV. Zbog relativno male dielektrične čvrstoće zraka pri atmosferskom pritisku, princip gašenja luka u komorama sa uskim rasporima nije primjenjiv na naponima iznad 24 kV jer bi bio potreban veliki broj serijski vezanih prekidnih elemenata po polu, što znatno komplikuje i poskupljuje takve prekidače.

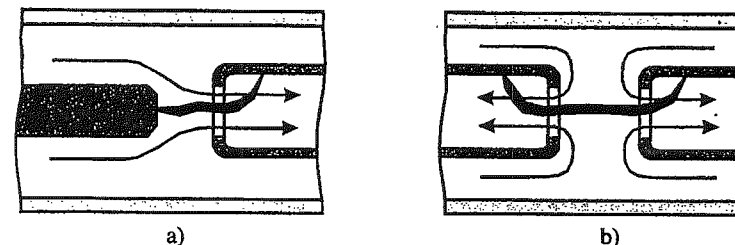
5.1.3 Gašenje luka komprimiranim zrakom

Efikasnost gašenja luka u zraku može se znatno povećati hlađenjem luka gasnim oduhavanjem uz pomoć zraka pod pritiskom, zbog čega su prekidači na tom principu dobili ime pneumatski prekidači.

Kod pneumatskih prekidača komprimirani zrak se usmjerava prema električnom luku mlaznicom. Intenzitet strujanja i efikasnost hlađenja luka podešava se izborom poprečnog presjeka grla mlaznice, te odnosom ulaznog i izlaznog pritiska. Tako se može efikasno riješiti problem prekidanja veoma velikih struja, bez povećavanja broja prekidnih mjesta vezanih u seriju.

Komprimirani zrak također omogućava obezbjeđivanje odgovarajuće dielektrične čvrstoće prekidnog mjesta u otvorenom položaju. Maksimalni podnosivi napon po prekidnom mjestu ipak je ograničen nazivnim pritiskom zraka.

Tako se kod pneumatskih prekidača broj prekidnih elemenata po polu počeo određivati po kriteriju potrebnog podnosivog udarnog napona između otvorenih kontakata, a ne po kriteriju prekidne moći. Razvijen je veliki broj komora, a najčešće korišteni tipovi su prikazani na slikama 5.1.3.1 a i b.



Slika 5.1.3.1. Tipovi komora za pneumatske prekidače:
a) jednostrano oduhavanje; b) dvostano oduhavanje

U upotrebi je i takozvani autopneumatski sistem gdje pogonski mehanizam u kompresionom cilindru prekidnog elementa komprimira zrak tokom operacije isklopa. I ovdje se komprimirani zrak usmjerava prema luku mlaznicom, ali je njen presjek, kao i pritisak zraka na ulazu u mlaznicu mnogo manji nego kod pneumatskih prekidača, što im ograničava i prekidnu moć.

Osamdesetih godina dostignut je vrhunac u razvoju pneumatskih prekidača. Njihova velika prekidna moć, visoke performanse i pouzdanost obezbijedili su im još zadugo mjesto u elektroenergetskim sistemima, ali i u laboratorijama velike snage gdje se često koriste kao zaštitni prekidači.

5.2 Mineralno ulje

Već davno, devedesetih godina prošlog vijeka, predloženo je da se luk gasi u ulju. Na prvi pogled ovaj način čini se kao da je neprirodan. Kako je moguće gasiti luk u ulju, mediju koji je zapaljiv?

Objašnjenje ove mogućnosti je veoma jednostavno. Da bi ulje gorjelo, osim temperature, neophodna je i prisutnost kiseonika, jer je gorenje proces spajanja materije sa kiseonikom. Kako mineralno ulje, koje se koristi kao medij za gašenje luka, ne sadrži kiseonik, jer je ono smjesa različitih ugljikovodika, to prilikom nastanka luka u ulju dolazi do isparavanja ulja i disocijacije njegovih para, ali luk ne izaziva gorenje.

Mineralno ulje ima veliku dielektričnu čvrstoću (slika 5.3), kao i veoma dobre karakteristike u pogledu toplotne provodnosti, s obzirom na to da luk u ulju ustvari gori u vodoniku (slika 5.2). Međutim, izolacioni nivo ulja jako zavisi od sadržaja nečistoća u njemu. Zbog toga se posebna pažnja mora posvetiti kontroli čistoće i kvaliteta ulja tokom eksploatacije, da bi se sačuvala sklopne i izolacione performanse prekidača.