

POVIJESNI RAZVOJ SN SKLOPNIH APARATA I USPOREDBA TEHNIKA GAŠENJA ELEKTRIČNOG LUKA

HISTORICAL DEVELOPMENT OF THE MEDIUM VOLTAGE APPARATUS AND THE COMPARISON OF THE ARC EXTINGUISHING TECHNIQUES

Branimir Galić¹, Krešimir Meštrović²

¹KONČAR – Električni aparati srednjeg napona

²Tehničko veleučilište u Zagrebu

Sažetak

Sklopni aparati su svakako jedan od najvažnijih čimbenika zaštite u rasklopnim postrojenjima srednjeg napona, a posebno od struja kratkoga spoja.

U velikom dijelu EES Hrvatske još uvijek se koriste i starije tehnologije sklopnih aparata i pripadajućih im medija gašenja električnog luka.

Prikazom razvoja tih sklopnih aparata i medija gašenja električnog luka od zračnih do vakuumskih te uz prikaz osnovnog principa rada pojedinog tipa aparata dobiva se pregledan prikaz povijesnog razvoja istih.

Tablični pregled osnovnih tehničkih parametara svakog tipa prikazuje usporedbu i razliku po tipovima parata, a posebno je naglašena tehnika odnosno mediji gašenja električnog luka koji su se transformirali tijekom povijesnog razvoja SN aparata.

Nezamjenjiv medij za gašenje električnog luka na području srednjeg napona u danjašnje vrijeme je svakako vakuum (aparati s vakuumskim komorama) [1].

U vrijeme porasta interesa za zaštitu okoliša neupitna je i njihova ekološka podobnost.

Ključne riječi: mediji gašenja el.luka, lučne komore, zrak, hidrin, ulje, SF6 plin, vakuum, vakuumska komora.

Abstract

Switching apparatus and appliances are certainly one of the most important factors in medium voltage switchgear protection, especially from short circuit.

The predominant part of the Croatian electric power system still use the older technologies of switching devices and electric arc extinguishing media.

Review of the development of these switching apparatus and electric arc extinguishing media, from air to vacuum, as well as the basic principles of operation of each type of appliance, presents the systematic review of the historical development of the same.

Tabular overview of basic technical parameters of each type shows the comparison and the difference among the types, and particularly emphasizes the techniques and arc extinguishing media, regarding their changes during the historical development of the MV apparatus.

An irreplaceable medium for electric arc extinguishing in the field of medium voltage is definitely a vacuum (apparatus with vacuum interrupters). [1]

Environmental acceptability of the apparatus with vacuum interrupters is unquestionable in the times of increased environmental awareness.

Keywords: media shutdowns el.luka, arched chambers, air, Hidra, oil, SF6 gas, vacuum, vacuum chamber.

1. Uvod

1. Introduction

Mediji gašenja električnoga luka koji su prethodili vakuumu kao sadašnjoj tehnici su bili : zrak (zračni prekidači), hidrin (hidromatski prekidači), SF6 plin i ulje (malouljni prekidači).

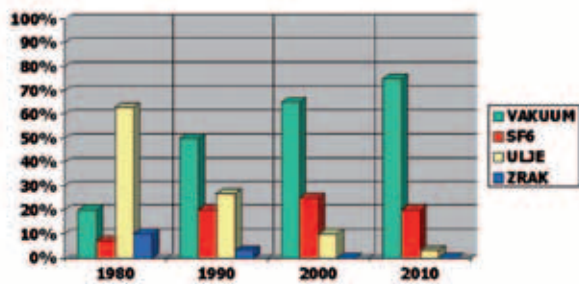
U usporedbi medija gašenja električnoga luka vidi se ne samo promijena dimenzija (minimiziranje) nego i parametara sklopnih aparata koji zadovoljavaju sve veće zahtjeve tehničkih rješenja energetske postrojenja i sve bolje štite postrojenje i njene elemente od štetnih

učinaka struja kratkih spoja i ostalih preopterećenja, karakterističnih u normalnom pogonu.

Prijelomne su bile godine između 1980. i 1990. do kada su se najviše koristili zrak, hidrin, ulje i SF6 plin (sumporni heksafluorid) kao osnovni mediji gašenja luka, a korištenje ultra visokog vakuuma i s njime u vezi razvoj sklopnih aparata dobiva sve više na značaju.

SF6 zauzima važno mjesto kao medij za gašenje električnog luka kod nazivnih vrijednosti i kao medij izolacije u sklopnim modulima, a upotreba ulja, koje je oko 1980. zamijenilo hidrin, gotovo linearno opada.

Iz slike 1 se vidi da je od tada počelo korištenje vakuuma čija je upotreba iz godine u godinu bivala sve veća.



Slika 1 Zastupljenost sklopnih tehnika u svijetu

Figure 1 Frequency of switching techniques in the world

1.1. Zračni prekidači

1.1. Air-blast circuit breakers

Prva tehnika prekidanja struje bila je zrak kojom prilikom se električni luk rastezao na veliku duljinu. Prvi takvi prekidači su bili nezgrapni i neisplativi po pitanju gašenja luka, a pogotovo povećanjem pogonskih napona i prekidnih struja, električni luk je razvijao visoku temperaturu i zagrijavao okolni zrak pa je hlađenje strujne staze postao veliki problem.

Slepian je oko 1929 godine otkrio da ako je pad napona luka manji od nominalnog napona dolazi do gašenja luka. Na toj činjenici razvijeni su zračni prekidači odnosno prekidači s DEION rešetkom.

Za prekidanje luka u zraku potrebno je povećati otpor luka, odnosno napon luka da postane veći od napona izvora u kojem trenutku toplinska energija koju izvor predaje luku postaje manja od

energije hlađenja koja iz luka odlazi u okolinu te se luk brzo gasi. To toliko važno povećanje otpora luka postiže se na slijedeće načine:

- povećanjem duljine luka
- hlađenjem luka i
- razbijanjem luka u više manjih serijski spojenih lukova [2]

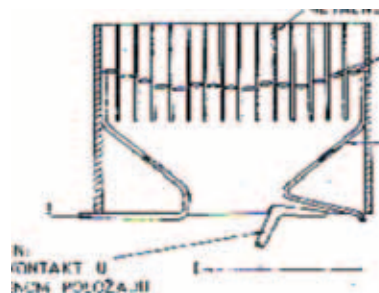
U praksi se koriste kombinacije barem dva navedena načina. Tako da postoje dva osnovna tipa komora:

1. komora s izoliranim pločama - luk se rasteže i hladi u dodiru sa zrakom između ploča od vatrostalnog materijala i
2. komora s metalnim pločama – luk se razbija na više serijski spojenih lukova koji se hladi u zraku i dodiru sa hladnim metalnim pločama.

1.1.1. Princip rada

1.1.1. Operation principle

To je rešetka koja se sastoji od niza međusobno paralelnih i izoliranih metalnih ploča između kojih je parcijalni pad napona mali. Hladne ploče brzo deioniziraju stupce parcijalnih lukova u trenutku prolaska struje kroz nulu. (slika 2)



Slika 2 Komora s metalnim pločama

Figure 2 DEION grid frame with permanent magnet

Kasnije su se razvili prekidači s DEION rešetkom i elektromagnetskim otpuhivanjem luka.

To znači da su na stranicama rešetke smješteni permanentni magneti.

Kada prekidač isklopi razvije se luk koji se pomoću mjeha otpuhuje u rešetku, koja se sastoji od izoliranih keramičkih ploča, a magnet ga razvlači u više manjih lukova i tako olakšava hlađenje u zraku.

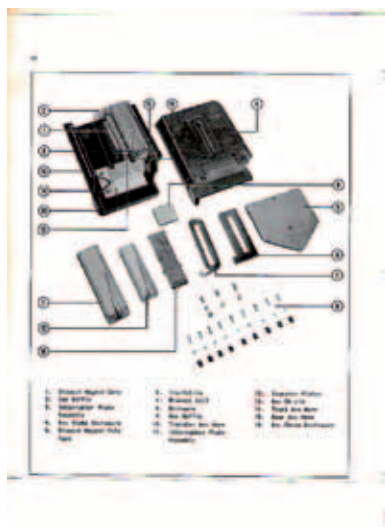
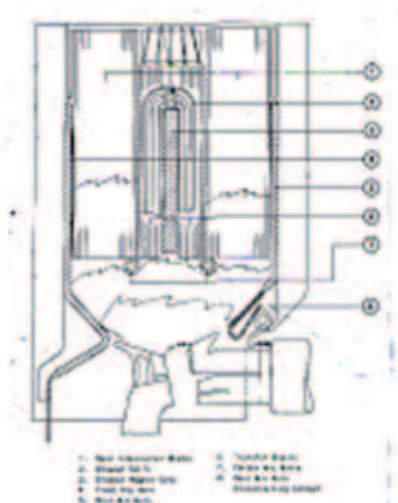
Zbog velike vremenske konstante luka praktički nema prenapona što je posebno važno

kod sklapanja elektromotora starije izolacije primjerice Y5 u nuklearnim elektranama gdje i danas imaju primjenu (NE Krško).

Međutim kod viših napona produljenje luka je veće ali treba paziti da se to produljenje ne pojavi prerano dok je struja još uvijek velika jer dolazi do bespotrebnog i štetnog gubitka energije.

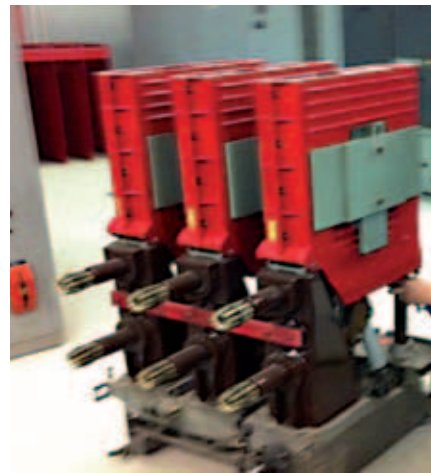
Upravo primjenom elektromagnetske sile se može povećati duljinu luka tako da napon luka postane veći od napona izvora pa dolazi do gašenja bez prenapona [2] [3]. (slika 3 i 4)

Pogonski mehanizam je tipa „skočni pogonski mehanizam“ sa akumulacijom uklone i isklópne energije. Ručni ili elektromotorni pogon, a uklapanje i isklapanje se vrši ručno ili daljinski putem okidača.



Slika 3 DEION rešetka sa permanentnim magnetom

Figure 3 DEION grid frame with permanent magnet



Slika 4 DEION izvlačivi prekidač 6,3 kV; 1200A „Westinghouse“

Figure 4 DEION withdrawable circuit breaker 6,3 kV; 1200A „Westinghouse“

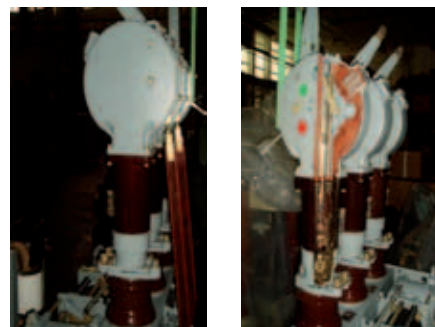
1.2. Hidromatski prekidači

1.2. Hydromatic (Expansive) breakers

Iako su zračni prekidači najstariji tip prekidača koji se proizvodio najprije u SAD-u, Hidromatski prekidači koji su se proizvodili prije drugog svjetskoga rata („Siemens“) bili su među prvim ozbiljnim i širokoprimijenjivim sklopnim aparatima srednjeg napona u Europi. Razvijeni su zbog porasta snage kratkoga spoja u mreži za koju rastavne sklopke više nisu bile dobre, a uljni prekidači su znali eksplodirati.

Prvi takav prekidač bio je ugrađen u distribucijsku mrežu grada Hamburga 1930. god.

Sredstvo za gašenje električnoga luka u hidromatskom prekidaču je smjesa destilirane vode i glikola = hidrin ili neki to zovu ekspanzin, a omjer miješanja ovisi o nazivnom naponskom nivou za koji je prekidač predviđen [4].



Slika 5 Hidromatski prekidač tip 2H 35 c 600 „Končar“

Figure 5 Hydromatic (expansion) circuit breaker, type 2H 35 c 600 „Končar“

Polovi prekidača su u obliku stupova koji se sastoje iz porculanskoga dijela, pričvršćenoga na postolje prekidača, koji nosi komoru za gašenje luka i pogonsku glavu s rastavnim noževima. Hidromatski prekidač tako služi s jedne strane za gašenje električnoga luka, a noževi rastavljača za vidljivo razdvajanje od sabirnica i osiguranje dodatnog izolacijskog razmaka, budući da hidrin nema zadovoljavajuća izolacijska svojstva. (slika 5)

U sklopu postolja – ispod polova, nalazi se pogonski skočni mehanizam pogonjen na ručni ili pneumatski pogon [4].

1.2.1. Princip rada

1.2.1. Operation principle

U trenutku razdvajanja kontakata između njih se stvara električni luk u hidrinu. Hidrin ima tendenciju širenja (ekspanzije) i on se opire o stjenke komore. Pomični klip se miče i sabija opruge. Iz gornjeg dijela prekidača dolazi hladan hidrin koji gasi luk, te se u tom trenutku isparuje u pogonsku glavu na vrhu pola gdje se ponovno kondenzira i vraća u komoru za iduću operaciju, a isklonni plinovi izlaze u atmosferu kroz odušnik.

Nastala para sadrži veliku količinu vodika koji zbog toplinske vodljivosti uzrokuje hlađenje luka. To je bitno kod manjih struja, a kod većih je glavna uloga ekspanzije hidrina čije pare u luk ubacuju kapljice tekućine. Upravo ovom mješavinom plina i tekućine nastaje deionizacija luka i on se gasi. (slika 5 i 6)

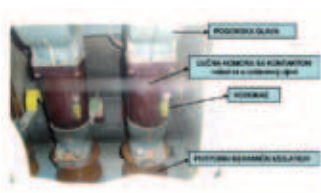
Na polovima prekidača smješteni su vodokazi za kontrolu nivoa i nadopunu hidrina (slika 6). Puni se hidrinom B, C i D

Sklopka se ručno ili pneumatski uklapa napinjanjem uklopne opruge i uklopom preko spojke, a isklop se vrši polugom ili Bowdenovim užetom ili preko okidača – naponski, podnaponski, strujni ili preko primarnih



Slika 6. Punjenje hidrinom

Figure 6 Hydrine filling



nadstrujnih okidača sa udarnom iglom smještenih na polovima oko komore [4].

1.3. Malouljni prekidači

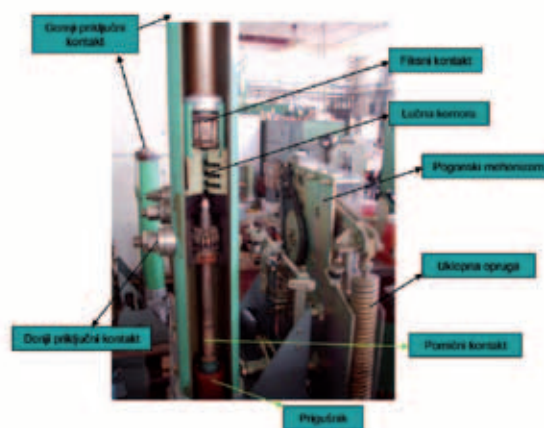
1.3. Minimum-oil circuit breakers

Malouljni prekidači su se počeli proizvoditi šezdesetih godina kao rezultat tehnološkog napretka i potrebe većih parametara struja prekidanja električnoga luka.

Prikladni su za sklapanje i zaštitu struja električnih vodova, kabela, transformatora, generatora, motora i kondenzatorskih baterija napona do 38 kV.

Građeni su kao tropolni, a unutar svakoga pola nalazi se ulje kao medij gašenja električnoga luka – propisane dielektrične čvrstoće. [5]

Malouljni prekidač se sastoji od izolacionih cijevi polova u kojima su pomični i nepomični kontakti, te koje su napunjene uljem, od pogonskog mehanizma i postolja na kojemu je sve to smješteno [5] (slika 7).



Slika 7 Presjek malouljnog prekidača „Končar“

Figure 7 Cross-section of the minimum-oil circuit breaker „Končar“

1.3.1. Princip rada

1.3.1 Operation principle

Unutar pola nalazi se lučna komora koja je izvedena tako da velike struje kratkoga spoja prekida poprečnim gašenjem luka, uslijed strujanja uljnih plinova nastalih zbog visoke temperature luka. Naime, dio ulja u kontaktu s

lukom ispari i oko luka se stvara plinski mjehur, tako da luk gori u plinu (pretežno vodiku).

Nakon otvaranja kontakata najprije se oslobađaju otvori koji omogućuju poprečno strujanje na luk, a nakon toga se oslobađaju oni otvori koji omogućuju uzdužno strujanje ulja na luk kako je prikazano na slici 8 b.

Male induktivne i kapacitivne struje prekidaju se uzdužnim strujanjem ulja koje se potiskuje gibanjem pomičnog kontakta prema dolje.

Brzina isklapanja pomičnog kontakta omogućuje razvlačenje luka, brzu deionizaciju i ponovnu uspostavu dielektrične čvrstoće.

Trajnost kontakata pri nazivnim vrijednostima ali i pri prekidanju struja kratkoga spoja, osiguravaju sinter nastavci na vrhu pomičnih kontakata i produženih kontaktnih prstiju fiksnih kontakata, te relativno kratko trajanje električnoga luka (15 - 20 ms) [2, 4].



Slika 8 (a) Standardni malouljni prekidač M12-16-8 „Končar“ (b) Presjek lučne komore malouljnog prek.

Figure 8 (a) Typical minimum-oil circuit breaker M12-16-8 „Končar“ (b) Cross-section of the arcing chamber; minimum-oil circuit breaker M12-16-8

1.4. Vakuumski sklopnici i rastavne sklopke

1.4 Vacuum contactors and load break switches

1.4.1. Rastavna sklopka

1.4.1. Load break switch

Rastavna sklopka (slika 9) je sklopni aparat koji može prekidati struje tereta do visine nazivne struje uz $\cos \varphi = 0,7$. U slučaju kvara može kratko vrijeme voditi struje kratkoga spoja ali ih ne može prekidati. Za tu svrhu se u seriju s polovima

stavljaju VN osigurači koji izgaranjem isklapaju sklopku.

Pogon im je prekretni mehanizam – za vodna polja i skočni mehanizam za trafo polja [4].

Karakteristike:

- Nazivni napon: 12 / 24 (kV)
- Nazivna struja: 400, 630 (A)
- Nazivna prekidna moć: do 630 (kA)
- Nazivna uklopna moć:
 - 12 (kV) – 50 (kA)
 - 24 (kV) – 40 (kA)



Slika 9 Rastavna sklopka RSN 24 „Končar“

Figure 9 Switch-disconnector type RSN 24 „Končar“

1.4.2. Vakuumski sklopnik

1.4.2. Vacuum contactor

Vakuumski sklopnik (slika 10) je sklopni aparat za intermitentni pogon sklapanja gdje se luk gasi u vakuumskoj komori. Tu je vrlo mali razmak kontakata pa je i potrebna energija za pogon mala.

Služe za česta sklapanja asinhronih motora, indukcijskih peći i dr. (intermitencija).

Pogon se vrši električkim uklopom preko dvaju svitka elektromagneta koji uklopom preko štednih otpornika dolaze u štedni spoj i drže s 1/3 snage, a isklup vrši isklupna opruga smještena između svitaka u trenutku kada nestane električkog napajanja svitaka [4].

Zaštitu transformatora čine VN osigurači u seriji s komorama.

Karakteristike:

- Nazivni napon: 7,2 (kV)
- Nazivna struja: 400 (A)
- Nazivna prekidna moć: 3,6 (kA)
- Nazivna uklopna moć: 4,5 (kA)
- Učestalost sklapanja: 1200 ciklusa/godi



Slika 10 Vakuumski sklopnik VS7,2-400 „Končar“

Figure 10 Vacuum contactor type VS7,2-400 „Končar“

1.5. Vakuumski prekidači

1.5. Vacuum circuit breaker

Vakuumski prekidači su kao i prije spomenuti mehanički sklopni aparati koji mogu voditi,

uklapati i prekidati struje u normalnim pogonskim uvjetima i određeno vrijeme u nenormalnim pogonskim uvjetima, kao što su struje kratkoga spoja.

Osnovna je razlika u odnosu na ostale prekidače u tome što se to prekidanje odnosno gašenje električnoga luka odvija u vakuumskoj komori.

Na slikama 11 i 12 prikazani su osnovni tipovi vakuumskih prekidača izvedbe V–vakuumski prekidač prve generacije i VK–vakuumski kompaktni prekidač.



Slika 11 Vakuumski prekidači serije VK 24 (kV); 800 (A) „Končar“

Figure 11 Vacuum circuit breakers series VK, 24 (kV); 800 (A) „Končar“



Slika 12 Vakuumski prekidači serije V 38 (kV); 1250 (A) „Končar“ -jednopolni za HŽ

Figure 12 Single-pole vacuum circuit breaker type V 38 (kV); 1250 (A) „Končar“ -for railway networks

Vakuumski prekidači su danas najzastupljeniji aparati na području srednjega napona gdje su potisnuli gotovo sve ostale tipove odnosno medije gašenja luka.

Na području srednjega napona ne vidi se za sada drugi bolji medij gašenja luka, a sve intenzivnije ulaze i na područje visokoga napona [1].

1.5.1. Princip rada

1.5.1. Operation principle

Proces sklapanja se odvija u vakuumu koji se kreće od 10^{-1} do 10^{-6} (Pa) i naziva se područje visokoga vakuuma. Smanjivanjem tlaka raste srednji slobodni put čestica odnosno prosječna udaljenost koju prolazi atom, ion, molekula plina ili elektron u plinskom mediju prema izrazu:

$$l_{sr} = \frac{5,64}{\pi \sigma d^2} \text{ (m)}$$

gdje su:

- l_{sr} - srednji slobodni put (m)
- σ - gustoća medija (kg/m^3)
- d - promjer čestice (m)

U visokom vakuumu je srednji slobodni put velik pa kod određenog nivoa vakuuma postaje veći od razmaka između kontakata tako da se samo nekoliko od mnoštva (milijuna) elektrona sudaraju s molekulama i stvaraju ione. To je zapravo glavni razlog visoke probojne čvrstoće vakuuma kao medija gašenja luka na relativno malom razmaku kontakata [2].

Vakuumski prekidač se kao i malouljni sastoji od tri osnovna sklopa:

- polovi prekidača sa strujnim putevima i vakuum komorama

- pogonski mehanizam prekidača

- postolje na kojemu je sve to pričvršćeno

Prvi tipovi vakuumskih prekidača imaju vakuumske komore smještene u izolacionim kućištima s odogovarajućim priključnim kontaktima, a ona su smještena na postolje preko potpornih izolatora. Tu se ugrađuju komore velikih parametara, rasklopnih struja do 40 kA i nazivnih struja od 800 do 2500 A.

U slučaju većih parametara na vrh polova se stavljaju odgovarajuća hladila.

Druga i nama interesantna verzija su tzv. VK prekidači gdje su vakuumske komore same po sebi izolirane epoksidnom smolom ili silikonom, a zbog spriječavanja vanjskoga preskoka, te su smještene u cijevi od staklenih vlakana i epoksidne smole koje su u funkciji nosača komora [2].

To su osnovni prekidači koji se koriste u predmetnim VDAP modulima.

Slika 13 prikazuje izvedbe 12; 24 i 38 (kV), 800 (A), a slika 14 komore u silikonu.



Slika 13 VK prekidači osnovnih parametara

Figure 13 Vacuum circuit breakers series VK – basic types



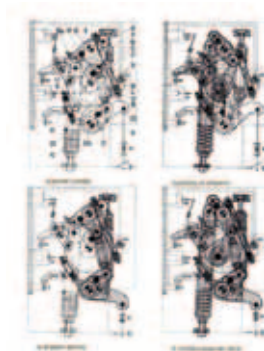
Slika 14 Komora u silikonskoj oblozi

Figure 14 Vacuum interrupter encapsulated in silicone

Prekidači se grade kao trolpolne (standardno) i jednopolne (HŽ) jedinice s jednim pogonskim mehanizmom.

Električni luk se razlikuje od drugih lukova koji gore u nekom plinu (zrak, vodik, SF₆ po tome što su mu napon i trajanje relativno mali pa je i energija luka relativno mala.

Pogonski mehanizam je opružno akumulacijski mehanizam kakav je i za sve ostale tipove vakuum prekidača. Djeluje, kako je već prije opisano kod malouljnog prekidača, napinjanjem uklopne opruge, a nakon izvršenog uklopa odmah je napeta i isklopna opruga za brzi isklop. Elektromotor ponovno navija uklopnu oprugu za ponovni uklop (APU). Međutim ovaj mehanizam ima još i mogućnost povrata viška energije nakon uklapanja, što ga čini vrlo pouzdanim, a ta uskladištena energija se koristi za raskidanje zavarenih točaka na kontaktima djelovanjem na pomični kontakt koji se odvaja od nepomičnoga i ima impulsni karakter (slika 15) [1, 6, 7].



Slika 15 Pogonski mehanizam m5-VK – pogled na osnovni kinematički lanac s prednje strane

Figure 15 Operating mechanism m5-VK – basic cinematic chain – front view

Kod vakuumskih prekidača je razmak kontakata puno manji nego kod malouljnih pa je i energija pogonskih opruga potrebna za gibanje kontakata puno manja što zapravo produžuje vijek trajanja mehanizma pa time i prekidača.

1.6. Sklopni blokovi srednjeg napona izolirani SF₆ plinom

1.6. Medium voltage SF₆ gas-insulated modules

Sklopni blokovi ili sklopne aparature nastale su kao rezultat razvoja vakuumske i ostale sklopne tehnike, potrebe suvremenih rješenja i optimiranja prostora za ugradnju.

To su skupovi sklopnih aparata s pripadajućom upravljačkom mjernom, regulacijskom i zaštitnom opremom, te pogonima i priborom sastavljenim u jedinstvene cjeline s kojima se grade sklopna postrojenja. Postoje i sklopni blokovi izolirani zrakom – većih dimenzija.

Uži pojam u praksi označava naročitu vrstu aparatura za razdjelne (distribucijske) mreže prstenastog oblika, što je najčešće skup trolpolnih sklopnih aparata u zajedničkim plinonepropusnim kućištima s plinom sumpornim heksafluoridom (SF₆) za izoliranje i gašenje el. luka u aparatima.

Suvremena rješenja koriste plin SF₆ za izoliranje, a električni luk se gasi u vakuumskim komorama.

O svakome tipu sklopnih modula (Končar) ćemo navesti osnovne karakteristike jer im je

princip rada pogonskih mehanizama sličnih ili istih karakteristika kao do sada navedeni malouljni prekidači u poglavlju 1.3 – vrijedi za sklopne module tipa VDA i VDAP i u poglavlju 1.5 - za sklopne module tipa KSMA i KSMV, dok su Sigma sasvim drugačiji mehanizmi. Strujni putevi su ovisno o konfiguraciji sastavljeni od vakuumskih prekidača koji su ujedno u funkciji zaštite i tropoložajnih vakuumskih sklopki za nazivne terete i uzemljenje. To je sve sukladno principu rada kao što je navedeno u poglavlju 1.5 kod vakuumskih prekidača [8].

Tropoložajna rastavna sklopka koristi se kod sva tri tipa modula (VDA, VDAP i KSMA) omogućuje sklapanje (isklop, uklop, uzemljenje, izzemljenje) nazivnih parametara bez pojave električnog luka u okolnom SF6 plinu jer se luk gasi u vakuumskoj komori. To je patentirano rješenje kod kojega pomični kontakti preko

lisnate opruge ostaju u galvanskoj vezi s nepomičnim sve dok se luk ne ugasi u komori, a u obrnutom smislu se prvo zatvore kontakti rastavljača, a tek potom kontakti u komori tako da ne može doći do predpaljenja luka među kontaktima rastavljača.

Ukupno gibanje pomičnih kontakata rastavljača traje 15 ms koliko smije trajati i luk u vakuumskoj komori, a on traje oko 10 ms i ne može se pojaviti na kontaktima

rastavljača. Isto vrijedi i za uzemljenje i izzemljenje [8].

- Zaštita i upravljanje su preko posebnog nadstrujnog releja (VDA/P moduli) i kod KSMA i KSMV modula putem programiranih terminala polja ovisno o projektu, koji se nalaze u ormarićima zaštite na vrhu modula. To su mikroprocesorski uređaji za upravljanje, nadzor, zaštitu i mjerenje i omogućuju potpunu automatizaciju postrojenja [8,9, 10].

1.6.1. Sklopni moduli serije VDA za sekundarnu distribuciju

1.6.1. Ring main units series VDA for secondary distribution

VDA su nastale iz očekivanja automatiziranja distribucijske i ostale električne mreže, a u cilju

kvalitetnije opskrbe potrošača. Tako se nametnula potreba za novim sklopnim aparaturnama s mogućnošću daljinskog upravljanja. Do tada postojeće aparature to nisu nudile jer su bile građene s VN i visokoučinskim osiguračima za zaštitu transformatora, a koje je trebalo u slučaju pregaranja mijenjati ručno na licu mjesta.

Nadalje, porast interesa za zaštitu okoliša je nametnuo potrebu za ekološki podobnijim rješenjima sklopnih aparatura u kojima se neće u procesu sklapanja stvarati štetni produkti za okoliš.

Do tada poznata rješenja su nudila gašenje luka u SF6 plinu pri čemu mogu nastati određeni štetni i neprihvatljivi produkti.

Ovi moduli se prvenstveno koriste u prstenastim razdjelnim mrežama.

Distribucijske sklopne aparature serije VDA su prije svega ideja o korištenju dva medija za rješavanje električkih problema u aparaturnama – visoki vakuum za proces sklapanja i SF6 plin za izoliranje među elementima i prema zemlji. To je omogućilo rješavanje ekoloških problema koji mogu nastati u aparaturnama gdje se koristi samo jedan medij, SF6 plin, za gašenje luka i za izoliranje.

VDA moduli se grade za nazivne napone 12 i 24 (kV), nazivne struje 630 (A) [8].



Slika 16 VDA

(a) Vakuumska distribucijska sklopna aparatura (ring main unit) tipa VDA 24 - 4VT

(b) VDA 24 - 4VT–unutrašnjost

(c) VDA 24 - 4VT – pogonski mehanizam opremljen elementima za daljinsko upravljanje

Figure 16

(a) Vacuum distribution switchgear (ring main unit), type VDA 24- 4VT

(b) VDA 24-4VT–inside view

(c) VDA 24-4VT–operating mechanism equipped for remote control

Druga značajka ovih modula je upravljanje samo jednim zajedničkim mehanizmom odnosno s jednom sklopnom oprugom što je racionaliziralo proizvodnju smanjenjem dijelova (slika 16) [6].

Značajno je da je umjesto VN osigurača uvedeno da zaštitu transformatora preuzima vakuumski prekidač preko posebnog nadstrujnog releja, te je omogućeno i daljinsko upravljanje. Zaštita je projektirana tako da pokriva sve standardizirane snage energetskih transformatora koji se ugrađuju u distribucijske TS-e 10(20)/0,4 kV.



Slika 17 Prikaz složene konfiguracije VDAP modula u TS 10(20)/0,4 kV-tvornica stočne hrane Varaždin

Figure 17 Configuration of extensible modules type VDAP; installed in TS 10(20)/0,4 kV – pasturage processing plant in Varaždin

1.6.3. Moduli serije KSMA za primarnu distribuciju

1.6.3. Modules series KSMA for primary distribution

Kao daljnji razvoj proširivih modula nastali su kompaktni sklopni moduli tipa KSMA također u plinonepropusnom kućištu, proširive izvedbe, nazivnih napona 12, 24 i 38 (kV), te nazivnih struja sabirnica 1250 i 2500 (A).

Sabirničke i kabelske veze između modula izvode se izoliranim sabirnicama i kabelima s natičnim glavama u skladu s HRN EN 60502 propisima (DIN 47636) [9].

Princip je isti: gašenje luka u vakuumu, izolacija SF₆, no mehanizam je sasvim drugačijeg tipa. To je kinematički lanac koji se primjenjuje kod vakuumskih prekidača i pokazao se kao

najpouzdanija verzija pogonskih mehanizama serije m5 izveden iz mikroljevova i kompaktnih elemenata [6, 8, 9].

Slopni aparati su međusobno vezani u seriju i mogu sklapati neovisno jedan od drugih bez ikakvih blokada među njima. Zaštita i mjerenje definirani su zahtjevima projekta. Većinom su to epoksidni naponski VPA i strujni mjerni transformatori tip INA ili naponski transformatori štice osiguračima proizvodnje Tesar.

Princip zaštite je identičan kao kod VDAP modula. (slika 18).



Slika 18 Sklopno postrojenje KSMA 24 – 630 A TS Mursko Središće

Figure 18 Switchgear KSMA 24 – 630 A installed in TS Mursko Središće, Croatia

1.6.4. Moduli serije KSMV za primarnu distribuciju

1.6.4. Modules series KSMV for primary distribution

Kompaktni sklopni moduli serije KSMV (slika 19) služe za gradnju klasičnih konfiguracija ali za nazivnu struju sabirnica 2500 A koje se također nalaze oklopljene i izolirane SF₆ plinom. Za razliku od KSMA postrojenja gdje nema blokade među sklopnim aparatima ovdje je primarni strujni put građen sa sabirnicama, trofaznim rastavljačem i prekidačem u seriji. Zbog toga je redosljed sklapanja strogo definiran jer se sklapanje može vršiti samo prekidačem i samo onda kada je rastavljač u jednom od tri krajnja položaja.

Aparati su međusobno blokirani mehaničkim i električkim blokadama tako da su moguće samo logičke sklopne operacije [10].

Moduli su namjenjeni za unutarnju ugradnju

i normalne pogonske uvjete sukladno normama: HRN EN 60694, 60298, 62271-100:2001.

KSMV se grade u tri osnovne izvedbe:

1. Modul vodnog polja za nazivnu struju 630 A
2. Modul transformatorskog polja za nazivnu struju 2500 (A)
3. Modul spojnog polja (sekcija sabirnica) za nazivnu struju 2500 (A)



Slika 19 KSMV 24 u TS Ferenščica

Figure 19 Switchgear KSMV 24 installed in TS Ferenščica, Zagreb

1.6.5. Sklopni moduli serije VDA Σ (Sigma) za sekundarnu distribuciju

1.6.5. Ring main units series VDA (Sigma) for secondary distribution

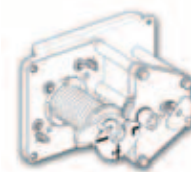
Ovaj tip sklopnog modula temeljen je na svim teorijskim spoznajama, te najboljim elementima i sklopovima do sada razvijenih, u proizvodnji osvojenih i u praksi potvrđenih sklopnih aparatura (VDA, VDAP) i sklopnih modula (KSMA, KSMV).

Grade se kao kompaktne izvedbe metalom oklopljene i sumpornim heksafluoridom izolirane aparature za nazivni napon 12 i 24 kV i služe za razvod električne energije transformatorskim stanicama za nazivnu struju do 630 A (2500) kVA, 10 (20) / 0,4 kV.

Tipno su ispitane u laboratorijima neutralnih, svjetski priznatih ispitnih stanica u skladu sa standardima: IEC 62271-200, IEC 62271-100, IEC 60265-1, IEC 62271-102.

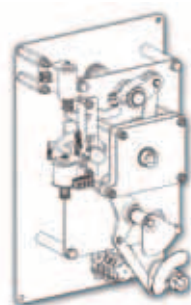
Strujni putevi i princip rada su kao do sada opisani u sustavu sklopnih modula – vakuum prekidači, tropoložajne sklopke i izolacija SF6. U ovom primarnom dijelu nije bilo do sada kvarova te je taj dio praktički bez održavanja [11].

Pogonski mehanizmi su smješteni na prednjoj strani aparatura iza poklopaca s dostupnim elementima za ručno upravljanje i nadzor. Priključni odjeljci su međusobno pregrađeni, a s prednje strane zatvoreni pojedinačnim poklopcima (slika 20, 21, 22 i 23). Svako polje ima svoj mehanizam što je bitna razlika od VDA i VDAP modula. Svaka od varijanti ima zasebno plinonepropusno (stupanj zaštite IP 65) kućište od nehrđajućeg čeličnog lima u koje su smješteni sklopni i ostali elementi strujnog puta, te plin (SF6) za izoliranje među elementima i prema uzemljenom kućištu (zemlji). (IEC 529/1976) [11].



Slika 20 Mehanizam za ručno upravljanje tropoložajnim sklopkama

Figure 20 Operating mechanism for three-positional vacuum load break switch control



Slika 21 Mehanizam za upravljanje prekidačem i zemljospojnikom iza prek.

Figure 21 Mechanism for control of circuit breaker and the earthing behind circuit breaker



Slika 22 Ručka za ručno upravljanje

Figure 22 Operating handle



Slika 23 VDAΣ – razni tipovi

Figure 23 VDA Σ – various types

2. USPOREDBA osnovnih tehničkih podataka i tehnika/medija za gašenje električnog luka

2. COMPARISON of basic technical data and arc-extinguishing media

Ovdije su ukratko sažeti osnovni tehnički parametri do sada navedenih aparata.

Usporedba je napravljena zasebno za prekidače i za sklopne blokove, te sa navedenim medijima za gašenje električnoga luka, kako slijedi:
 tehnički podaci za prekidače
 tehnički podaci za sklopne blokove

tehnike/mediji gašenja električnog luka

2.1. Tehnički podaci za PREKIDAČE i SKLOPNE BLOKOVE

2.1. Technical data for circuit breakers and gas-insulated modules

U usporedbi su navedeni samo oni najvažniji i osnovni parametri za pravilan odabir aparata. To su:

- nazivni napon (kV)
- nazivna struja (A)
- nazivna uklopna moć (kA)
- nazivna isklopna moć (kA)
- frekvencija (Hz)
- nazivni podnosivi izmjenični napon 50 Hz, 1 min (ili za američke DHP prekidače-kod niže frekvencije) (kV)
- kratkotrajna struja kratkog spoja 3s odnosno 1s kod nekih sklopnih modula(kA)
- nazivni podnosivi udarni napon $\pm 1,2 / 50 \mu s$ (kV)
- nazivni slijed operacija (sklopni ciklus)
- Mehanička trajnost prekidača/komora
- Električna trajnost kod nazivne struje
- Električna trajnost kod nazivne prekidne moći

Tablica 1. Usporedba tehničkih podataka i medija gašenja luka

Table 1 - Comparison of technical data and arc-extinguishing media

| Tip prekidača | Zračni | Hidromatski | Malouljni | Vakuumski | VDA/ VDAP/ Sigma | KSMA | KSMV |
|--|---------------------------------------|---------------------------|-----------------|------------|------------------------|----------|----------|
| Sredstvo za gašenje luka | zrak | Hidrin (voda sa glikolom) | Ulje | Vakuum | Vakuum | Vakuum | Vakuum |
| Karakteristika gašenja | Ovisna | Ovisna | Ovisna | Neovisna | Neovisna | Neovisna | Neovisna |
| Nazivni napon (kV) | 7,2; 13,8 | 6; 10; 35 | 7,2; 12; 24; 38 | 12; 24; 38 | 12; 24 | 24; 38 | 24 |
| Nazivni podnosivi izmjenični napon 50 Hz, 1 min (kV) | (20); 36 – kod niže frekvencije (SAD) | 20; 28; 70 | 20; 28; 50; 70 | 28; 50; 70 | 28; 50 | 50; 70 | 60 |

| | | | | | | | |
|--|--|---|----------------------------|---|---|---|---|
| Nazivni podnosivi udarni napon $\pm 1,2/50 \mu s$ (kV) | 95 | - | 60; 75; 125; 170 | 75; 125; 170 | 75; 125 | 125; 170 | 145 |
| Nazivna frekvencija (Hz) | 50-60 | 50-60 | 50-60 | 50-60 | 50 | 50 | 50 |
| Nazivna struja (A) | 1200; 2000; 3000 | 400; 600; 630; 800 | 800; 1250; 1600; | 800; 1250; 2500 | 630 | 630/1250; do 2500 | 2500 |
| Kratkotrajna struja kratkog spoja 3s/ za VDA/P, Σ 1s (kA) | 41; 23; 36; 48 | - | 25; 31,5; 16; 20; 25; 12,5 | 25; 16; 31,5 | 20; 16 (Sigma 12 kV = 25 KA) | 16 (16/25 za 2500A) | 25 |
| Nazivna uklopna moć (kA) | 102,50; 57,5; 90; 120 | - | 62,5; 80; 40; 50; 31,5 | 63; 40; 80 | 50; 40 (Sigma 12 kV = 62,5) | 40 (40/63 za 2500A) | 63 |
| Nazivna prekidna moć (kA) | 41; 23; 36; 48 | 10; 20; 15; 6 | 25; 31,5; 16; 20; 25; 12,5 | 25; 16; 31,5 | 20; 16 (Sigma 12 kV = 25) | 16 (16/25 za 2500A) | 25 |
| Nazivni slijed operacija | O -3min – CO – 3min – CO ; O – 0,3s – CO – 3min - CO | | | | O – 0,3s – CO – 15s – CO | | |
| Mehanička trajnost prekidača | 15.000 sklapanja | 20.000 sklapanja | 5.000 sklapanja | 20.000 sklapanja | 20.000 sklapanja | 20.000 sklapanja | 20.000 sklapanja |
| Električna trajnost kod nazivne struje | - | 6 kA (10 x 600 A prije revizije; ako je struja u pogonu manja, proporcionalno više) | 1000 sklapanja | 20.000 sklapanja | 20.000 sklapanja | 20.000 sklapanja | 20.000 sklapanja |
| Električna trajnost kod nazivne prekidne moći | 5 sklapanja | 1 sklapanje | 5 sklapanja | 100 sklapanja maks. struje kratkoga spoja | 100 sklapanja maks. struje kratkoga spoja | 100 sklapanj. maks. struje kratk. spoja | 100 sklapanj. maks. struje kratk. spoja |
| Godina proizvodnje | 1960 | 1965 | 1970 | 2006 | 2003; 2006; 2010 | 2005 | 2005 |

Napomena: Kod sklopnih blokova su prikazane karakteristike samo vakuumskih prekidača

Note: In the switchgear only vacuum switch characteristics are displayed

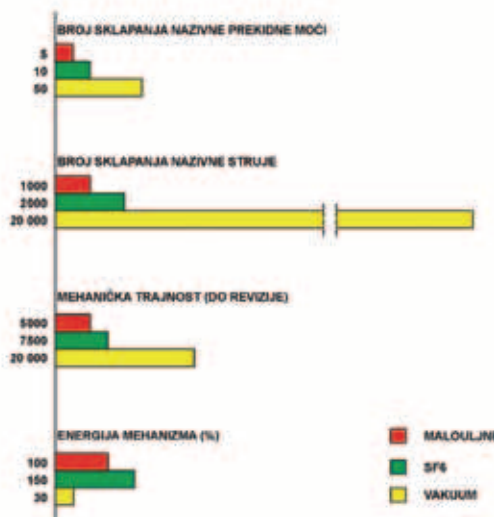
2.2. Usporedba tehnika/medija za gašenje el. luka

2.2. Comparison of arc-extinguishing media

Iz Tablice 1 vidimo da su se parametri prekidača kroz povijesni razvoj povećavali do vakuumskih prekidača što je rezultat tehnološkog razvoja ali i većih potreba konzuma (industrije i distribucije). Od razvoja svih tipova vakuumskih prekidača tehničke veličine su praktički istovjetne za vakuumske prekidače kao zasebne jedinice ili ugrađene u sklopne blokove, kao što je prikazano u tablici 1.

Zašto je vakuum istisnuo ostale medije za gašenje električnoga luka dovoljno je vidjeti na usporedbi sa malouljnim i SF₆ prekidačima odnosno njihovim medijima i temeljnim svojstvima, a to su:

- broj sklapanja nazivne prekidne moći
 - broj sklapanja nazivne struje
 - mehanička trajnost
 - energija pogonskih mehanizama
- kako je to prikazano na grafikonu slika 24



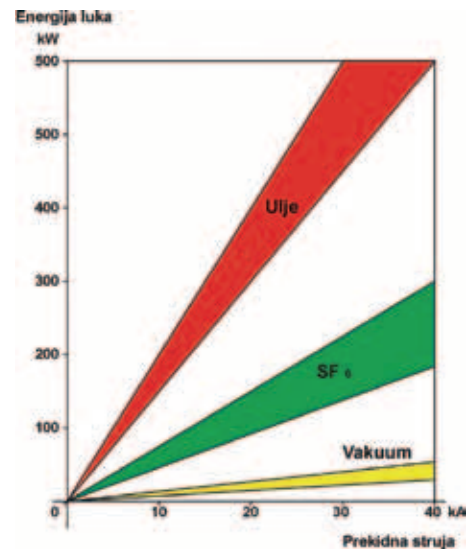
Slika 24 Usporedba temeljnih svojstava prekidača raznih medija

Figure 24 Circuit breakers with various arc-extinguishing media - comparison of basic characteristics

Iz slike vidimo da je vakuum superioran medij gašenja luka u odnosu na ostale. Preduvjet za električnu trajnost kontakata odnosno komora što

je stalni cilj tehnološkog napretka, su komore sa malom energijom električnoga luka.

Iz slike 25 se vidi koliko je u vakuumu manja energija luka u odnosu na druge medije.



Slika 25 Energija luka u ovisnosti o prekidnoj struji drugih medija

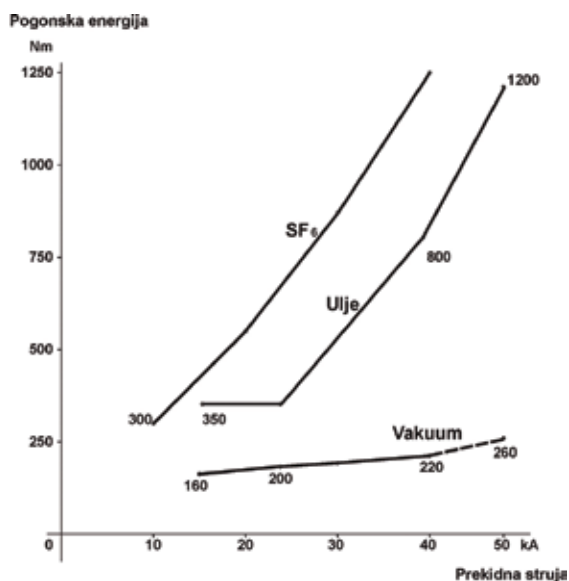
Figure 25 Electric arc energy vs breaking current, various arc extinguishing media

Iz toga se zaključuje da su vakuumski prekidači odnosno vakuum kao medij gašenja luka u smislu sklapanja nazivnih struja, sklapanja struja kratkoga spoja, te u mehaničkoj trajnosti (slika 26) znatno iznad prekidača sa drugim medijima.

Kako su polovi, a time i sklopovi vakuumskih prekidača jednostavniji od prekidača s drugim medijima poznato je da imaju i znatno manji ukupan broj dijelova po kojima kruži energija što također povećava njihovu mehaničku trajnost i jednostavnu izradu što ih pojeftinjuje, a ujedno povećava njihova tehnička svojstva (slika 27) [1].

Zračni prekidači gase električni luk razvlačeći ga u zraku. Zbog razvijene visoke temperature deionizacija odnosno hlađenje strujne staze postaje teška. Usavršili su se donekle s Deion rešetkama i kombinacijama komora, magneta i otpuhivanja luka. U usporedbi s vakuumom imaju daleko veći put kretanja kontakata, potrebu za većom energijom opruga, Zrak ima 10 puta manju probojnu čvrstoću od vakuuma.

Hidromatski prekidači električni luk gase u hidrinu (voda obogaćena glikolom). Također je



Slika 26 Usporedba mehaničke trajnosti odn. potrebe energije pogonskih mehanizama raznih medija

Figure 26 Comparison of mechanical endurance or operating mechanism energy, various extinguishing media

| Prekidni medij | Malouljni prekidač | SF ₆ prekidač | Vakuumski prekidač |
|--|--------------------|--------------------------|--------------------|
| Prekidač | | | |
| Broj dijelova pola | 40 | 52 | 22 |
| Broj pomoćnih dijelova pola | 16 | 24 | 8 |
| Broj pomoćnih dijelova u 1/200g kamenu | 17 | 24 | 2 |

Slika 27 Usporedba broja dijelova prekidača s različitim medijima

Figure 27 Number of parts - Comparison for circuit breakers with various extinguishing media

otežana deionizacija zbog slabe probojne čvrstoće vode koja je cca 7 puta manja od vakuuma.

Malouljni prekidači gase luk u ulju. To su prekidači sa zavisnom karakteristikom gašenja luka što znači da deionizacija ovisi o količini plinova ulja, razgradnji na vodik odnosno o jakosti struje koja se prekida i koja uzrokuje ove pojave. Probajna čvrstoća ulja je oko 5 puta manja od vakuuma.

Iz ove paralele među raznim medijima vidljivo je da vakuum ima najveću probajnu čvrstoću što

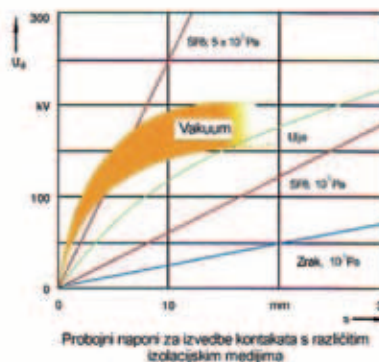
Tablica 2. Usporedba malouljnog i vakuumskog prekidača

Table 2. Comparison of minimum-oil circuit breaker and Vacuum circuit breaker

| Podaci o prekidačima | Malouljni prekidač | Vakuumski prekidač |
|--|--------------------|--------------------|
| Broj sklapanja kod nazivne prekidne moći | 4 - 5 | 50 - 100 |
| Broj sklapanja s nazivnom strujom | 500 - 1.000 | 20.000 |
| Broj mehaničkih sklapanja do popravka | 5.000 - 10.000 | 10.000 - 30.000 |
| Broj godina do prve revizije | 3 - 5 | 10 |
| Potrebna pogonska energija (%) | 100 | 30 - 50 |

za posljedicu ima veliki slobodan put čestica zbog čega se ostvaruje mali broj sudara elektrona i molekula plina te ne nastaje dovoljan broj nosioca naboja. Glavni nosioci električnog luka nisu ioni kao kod SF₆ plina već elektroni i to zbog vakuuma. Glavni izvor elektrona je materijal koji se isparava sa katode, a zbog visoke temperature luka i električnog polja.

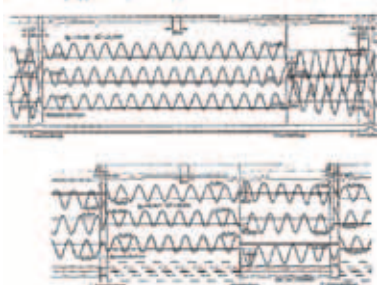
Na slici 28 je prikazana međuovisnost kontaktnog razmaka i probajne čvrstoće za razne medije s napomenom da se dielektrična čvrstoća vakuuma vrlo malo povećava s povećanjem razmaka samih kontakata [2].



Slika 28 Ovisnost probajnog napona u raznim medijima

Figure 28 Comparison of breakdown voltage, various extinguishing media

Na kraju usporedbi medija za gašenje električnoga luka prikazana je usporedba mjerena oscilogramom prekidanja kratkoga spoja kod malouljnog prekidača i kod vakuumskog prekidača.



Slika 29 Oscilogram napon struja kod prekidanja kratkoga spoja. Gornja slika je prekidanje kratkoga spoja kod malouljnog prekidača, a donja slika kod vakuumskog prekidača

Figure 29 Oscillogram – voltage vs current during the short-circuit. Upper line – minimum oil circuit breaker Lower line – vacuum circuit breaker

Iz slike 29 vidimo da je vrijeme gašenja luka kod vakuumskog prekidača manje nego kod malouljnog prekidača, a što proizlazi iz odličnih dielektričnih svojstava vakuuma. Vakuumski prekidač praktički gasi luk u prvoj poluperiodi.

Problem su viši prenaponi od sklopnih prenapona kod malouljnoga prekidača, ali se taj problem rješava upotrebom adekvatnih slitina za kontakte elektroda. Time se eliminiraju rezane struje tj. prenapon o čemu se više govori u poglavlju 5 (vakuum-kontakti).

Na slici 29 prikazani su oscilogrami napon-struja za ciklus sklapanja O-t 0,3s -CO pri kratkom spoju.

Vidi se da je vrijeme isklapanja kod vakuumskog prekidača kraće i iznosi 3-5 ms, a kod malouljnog prekidača je duže i iznosi 12-18 ms.

Iz oscilograma se vidi da je kod prvog isklapa struja u fazi L1 vakuumskog prekidača dospjela u nulu nakon 3 ms, a luk se ugasio nakon 8 ms dok je to kod malouljnog prekidača iznosilo 12 ms, a luk se ugasio nakon 18 ms. U drugom isklapu luk je trajao 10 ms kod vakuumskog odnosno 19,5 ms kod malouljnog prekidača [1].

Iz svih navedenih usporedbi proizlazi da je vakuum do sada najbolji medij za gašenje električnoga luka koji u odnosu na druge medije ima slijedeće karakteristike:

- najveći broj sklapanja nazivne struje
- manju energiju luka u odnosu na druge
- veću mehaničku trajnost
- prekidače sa manje dijelova
- manja potreba za održavanjem
- bolja probojna čvrstoća
- vrijeme gašenja električnog luka kod nazivnog i isklapanja struja kratkog spoja su puno kraći nego kod drugih medija
- čišća okolina

3. Reference

3. References

- | | |
|---|--|
| <p>[1] R. Milošević: Vakuumski električni sklopni aparati, Graphis, Zagreb, 2011.</p> <p>[2] K. Meštrović: Sklopni aparati srednjeg i visokog napona, Graphis, Zagreb, 2007.</p> <p>[3] Instructions for Porcel-line Typ DHP Circuit Breakers, No 32-253-2, 1968; DB32-252, 1977, Westinghouse, USA, Pitsburg, 1958, 1977</p> | <p>[4] R. Milošević: Električni sklopni aparati srednjeg napona za unutarnju upotrebu, Končar-EASN, Zagreb, 1996</p> <p>[5] Malouljni prekidači ser. M, konstr., opis, održavanje, Končar-EASN, Zagreb, 1998.</p> <p>[6] R. Milošević: Mehanizmi električnih sklopnih aparata, Graphis, Zagreb, 2004.</p> <p>[7] Vakuumski prekidači srednjeg nap. serije V, upute, Končar-EASN, Zagreb, 2000.</p> |
|---|--|

- [8] R. Milošević, S. Ivančić-Unger: Metalom oklopljeni i plinom izolirani kompaktni sklopni moduli za gradnju električnih sklopnih postrojenja srednjeg napona, 1. savjetovanje HO CIRED, Šibenik, 2008.
- [9] Metalom oklopljeni, plinom SF6 izolirani kompaktni sklopni moduli KSMA24 i KSMA38, korištenje, način rada, Končar-EASN, Zagreb, 2011.
- [10] Metalom oklopljeni, plinom SF6 izolirani kompaktni sklopni moduli KSMV, korištenje, način rada, Končar-EASN, Zagreb, 2003.
- [11] Vakuumska distribucijska sklopna aparatura VDA 24, konstrukcija, održavanje, Upute, Končar-EASN, Zagreb, 2012.

AUTORI · AUTHORS

Branimir Galić- nepromjenjena biografija nalazi se u časopisu Polytechnic & Design Vol. 2, No. 1, 2014.

Korespondencija:
bgalic@tvz.hr

Krešimir Meštrović - nepromjenjena biografija nalazi se u časopisu Polytechnic & Design Vol. 1, No. 1, 2013.