

# STANJE I TRENDOWI RAZVOJA VISOKONAPONSKIH SKLOPNIH APARATA U SVIJETU

Mr. sc. Krešimir Meštrović, Zagreb

UDK 621.3.064:621.315  
STRUČNI ČLANAK

U posljednjih desetak godina došlo je do velikih poboljšanja u tehnologiji i konstrukciji visokonaponskih prekidača. Zahvaljujući razvoju novih tehnika prekidanja struje i optimiranju dimenzija prekidne komore značajno je reducirana energija pogonskog mehanizma i broj komponenata. Također dolazi i do uvođenja inteligentnih sustava u visokonaponske prekidače, što znači da su nove funkcije, kontinuirano nadgledanje stanja i dijagnostika dodane već postojećim funkcijama kontrole koje se provode konvencionalnim sekundarnim sustavima.

U posljednje dvije godine došlo je do značajnog napretka u tehnologiji supravodljivih ograničavača struje. Treba naglasiti da se radi o potpuno novom tipu uređaja koji će najvjerojatnije omogućiti razvoj novih i nekonvencionalnih rješenja u elektroenergetskim sustavima.

Za ograničavanje sklopnih prenapona i poteznih struja pri sklapanju kondenzatorskih baterija i induktivnih trošila sve se češće koristi kontrolirano sklapanje. Na taj način otpada potreba za ugradnjom visokonaponskih kondenzatora i uklopnih otpornika na prekidač. Uređaj za kontrolirano sklapanje sastoji se od konvencionalnog prekidača opremljenog elektronskim kontrolnim modulom. Elektronski kontrolni modul sinkronizira trenutak uklapanja ili isklapanja pojedinih polova prekidača s faznim kutem struje i napona.

**Ključne riječi:** prekidač, toplinska energija luka, rotirajući luk, inteligentni prekidač, supravodljivi ograničavač struje, kontrolirano sklapanje.

## 1. UVOD

U posljednjih 30 godina došlo je do velikog napretka u razvoju visokonaponskih prekidača. U početku su to bili malouljni, uljni, pneumatski ili dvotlačni SF<sub>6</sub> prekidači, mehanički vrlo kompleksni, sa mnoštvom serijski spojenih prekidnih komora, velikim kompresorskim sistemom i pomoćnim komorama za isklopne otpornike.

Današnji visokonaponski prekidači su, gotovo isključivo, jednotlačni, autokompresijski SF<sub>6</sub> prekidači s reduciranim brojem prekidnih komora i reduciranom mehaničkom kompleksnošću. Međutim manji broj prekidnih komora ujedno znači i veća naprezanja na samoj komori, što naravno dovodi do novih problema vezanih za postizanje zadovoljavajuće pouzdanosti.

Iskorištavanje termičke energije luka za vrijeme prekidanja struje dovelo je do reduciranja zahtjeva na pogonski mehanizam, čime je omogućena uporaba mnogo pouzdanijih i jeftinijih mehanizama.

U posljednje vrijeme mikroprocesorska tehnologija je pokazala radikalni napredak. Ova tehnologija je utjecala i nastaviti će značajno utjecati na sve aspekte naših života, uključujući i visokonaponska rasklopna postrojenja. Danas se već koriste mikroprocesori za poboljšanje sposobnosti rasklopnog postrojenja i to na taj način da kontroliraju vremena otvaranja i zatvaranja kontakata prekidača.

U bliskoj budućnosti svakako će se koristiti elektronika integrirana i u sam visokonaponski prekidač za mjerenje, pogon i nadgledanje njegovog rada.

Razvojna istraživanja supravodljivih ograničavača struje pokazuju kako ne postoji teoretska granica u naponu, struji ili struji kratkog spoja pri njihovoj primjeni. To znači da bi se ova tehnika ograničavanja struje kratkog spoja u skoroj budućnosti mogla upotrijebiti i u distributivnim i u prijenosnim mrežama. Supravodljivi ograničavači struje najvjerojatnije će u budućnosti imati veliku primjenu zbog činjenice da omogućuju velika smanjenja troškova cjelokupnog elektroenergetskog sustava.

## 2. VISOKONAPONSKI SF<sub>6</sub> PREKIDAČI

Prva generacija SF<sub>6</sub> prekidača su dvotlačni prekidači kod kojih se plin SF<sub>6</sub> nalazi u visokotlačnom spremniku pod tlakom 1 do 1.6 MPa. Za vrijeme gašenja električnog luka plin SF<sub>6</sub> struji iz visokotlačnog spremnika u prekidnu komoru u kojoj je niski tlak. Glavni nedostatak ovih prekidača je što se kod tlaka od 1 do 1.6 MPa potrebnog za uspješno gašenje električnog luka plin SF<sub>6</sub> ukapljuje kod temperatura i iznad 0° C. Upravo zbog toga ovi prekidači zahtijevaju intenzivno grijanje!

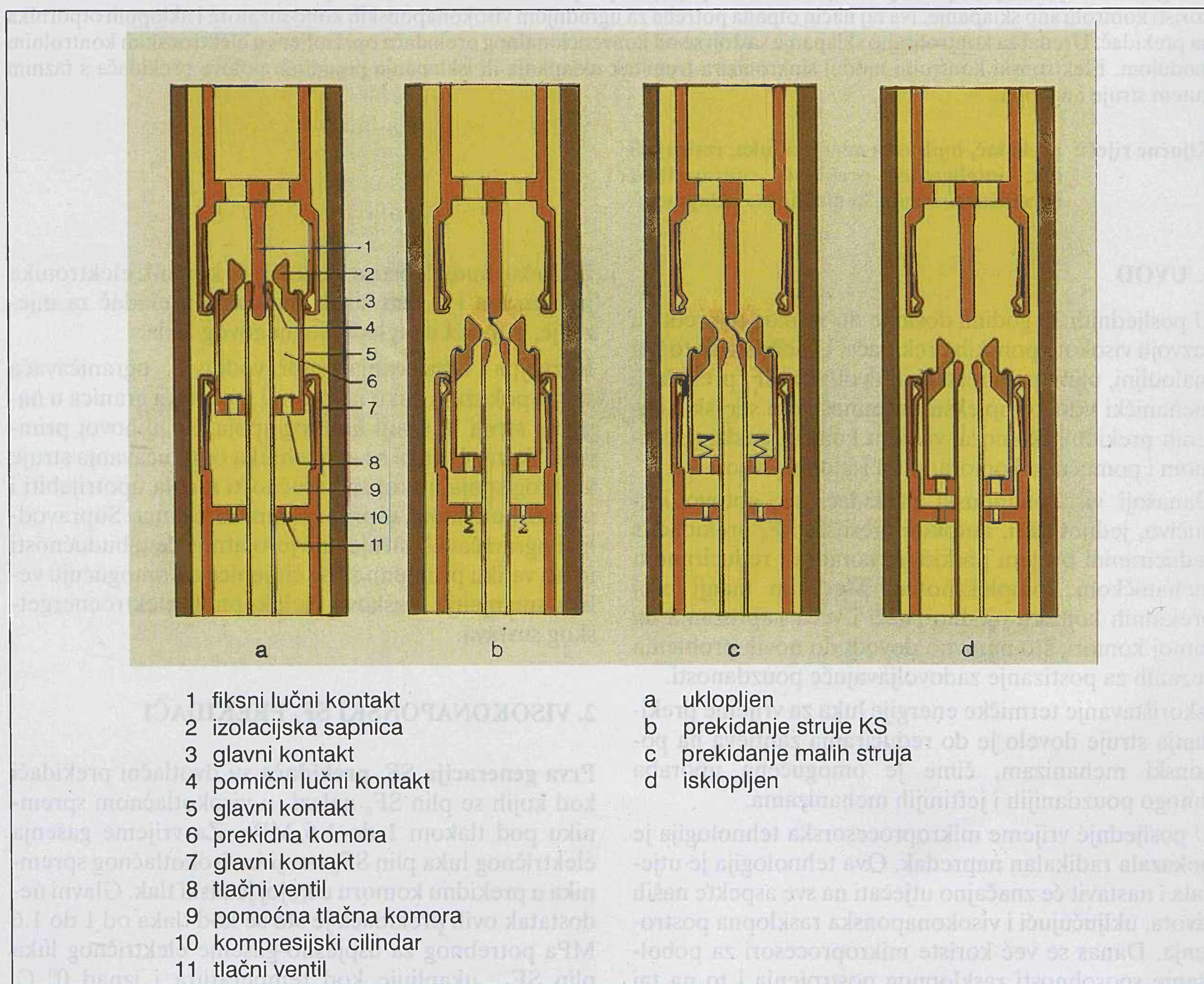
**Druga generacija SF<sub>6</sub> prekidača** su jednotlačni, autokompresijski prekidači. Tlak plina SF<sub>6</sub> u prekidaču iznosi 0.5 do 0.8 MPa. Visoki tlak potreban za gašenje električnog luka stvara se samo za vrijeme procesa prekidanja struje na taj način da pomični kompresijski cilindar tlači plin u prekidnoj komori. Glavni nedostatak ovih prekidača je što pogonski mehanizam mora osigurati energiju i za gibanje kontakata i za stvaranje visokog tlaka potrebnog za gašenje električnog luka. Upravo zbog toga su pogonski mehanizmi izuzetno kompleksni i snažni, a reakcijske sile na postolju iznimno velike.

**Treća generacija SF<sub>6</sub> prekidača** su prekidači koji u fazi prekidanja struje koriste toplinsku energiju električnog luka za postizanje visokog tlaka u prekidnoj komori nužnog za uspješno gašenje. Pogonski mehanizam služi samo za osiguravanje energije potrebne za gibanje kontakata, pa je zbog drastičnog smanjenja potrebne pogonske energije omogućena uporaba malih, pouzdanih opružnih mehanizama.

Na slici 1 prikazana je prekidna komora visokonaponskog SF<sub>6</sub> prekidača AEG – S1 (72.5 – 420 kV) koji koristi toplinsku energiju električnog luka [1].

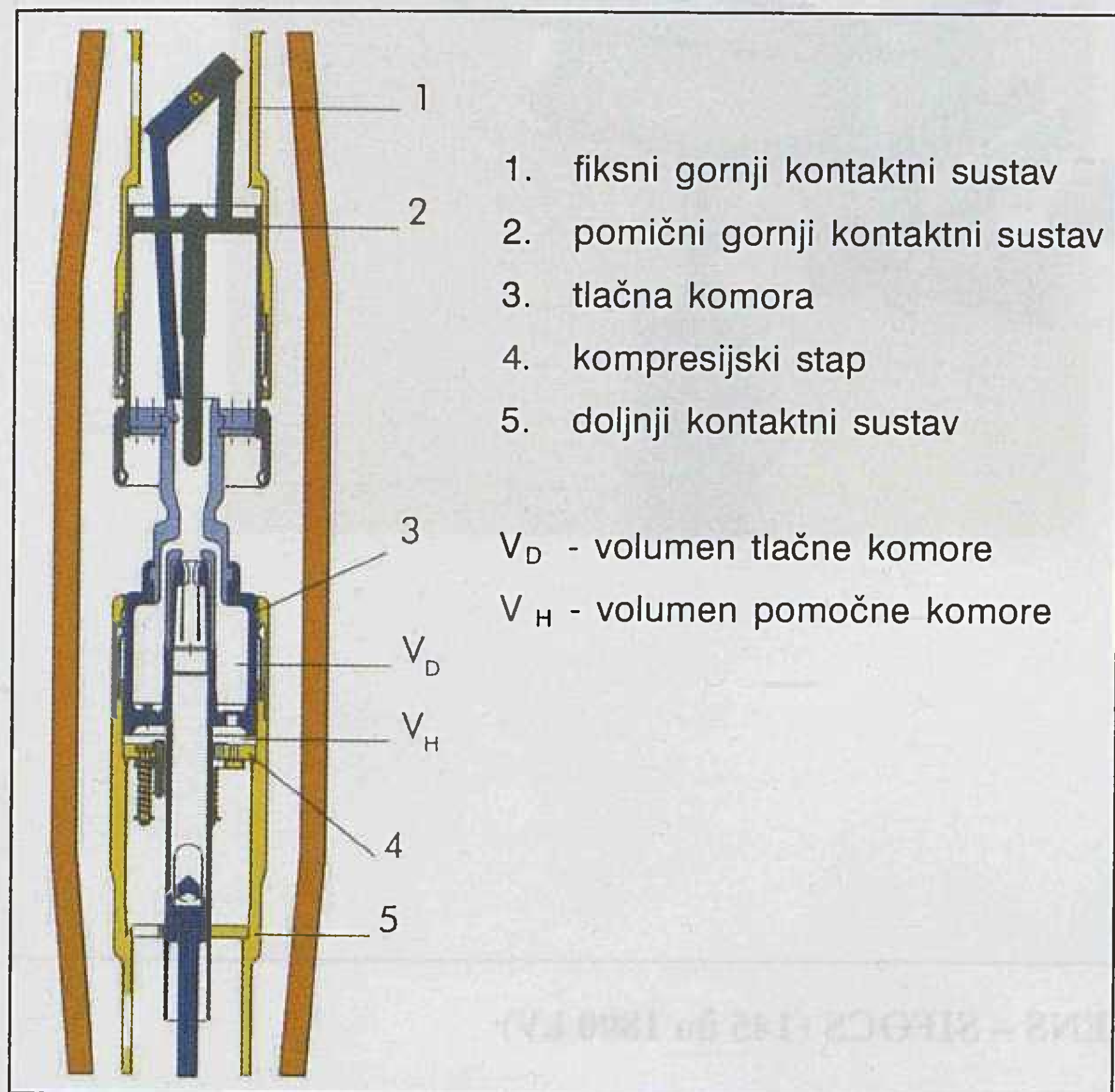
Na slici 1b prikazano je prekidanje struje kratkog spoja. Za vrijeme gorenja električnog luka, zbog visoke temperature, raste tlak u prekidnoj komori (6). U trenutku prolaza struje kroz nulu gasi se električni luk i oslobađa prolaz kroz sapnice (2). Plin SF<sub>6</sub> počinje strujati iz prostora s višim tlakom (6) kroz sapnice (2) u prostor s nižim tlakom (1) i na taj način vrlo brzo deionizira prostor između kontakata. Nakon toga otvara se tlačni ventil (11) i propušta stlačeni plin iz pomoćne komore (9). Visoki tlak plina u prekidnoj komori stvoren je isključivo korištenjem toplinske energije električnog luka, a pogonski mehanizam služi samo za osiguravanje energije potrebne za gibanje kontakata. Zbog značajnog smanjenja potrebne energije ovaj prekidač koristi mali opružni mehanizam.

Na slici 1c prikazano je prekidanje malih struja. U ovom slučaju toplinska energija luka nije dostatna za stvaranje visokog tlaka u prekidnoj komori. Potreban tlak plina stvara se kompresijom u pomoćnoj komori (9). Plin kroz tlačni ventil (8) ulazi u glavnu komoru i nakon gašenja električnog luka struji kroz sapnice (2) u prostor glavnog fiksnog kontakta (1).



Slika 1. Visokonaponski SF<sub>6</sub> prekidač tip AEG – S1 (72.5 – 420 kV)

Na slici 2 prikazana je prekidna komora visokonaponskog SF<sub>6</sub> prekidača koji osim što koristi toplinsku energiju električnog luka koristi još i princip dvostrukog pomičnog kontaktnog sistema [2]



Slika 2. Visokonaponski SF<sub>6</sub> prekidač tip ALSTOM – GL 311/312 (123/145 kV)

Energija pogonskog mehanizma proporcionalna je kvadratu brzine,  $E = \frac{1}{2} mv^2$ . Gibanjem oba kontaktna sustava brzina je reducirana za pola, a da se nisu promijenili ostali tehnički parametri (vrijeme uklopa i isklopa). Zahvaljujući principu dvostrukog pomičnog kontaktnog sustava, energija pogonskog mehanizma reducirana je za 65 %. I ovaj prekidač koristi mali opružni mehanizam.

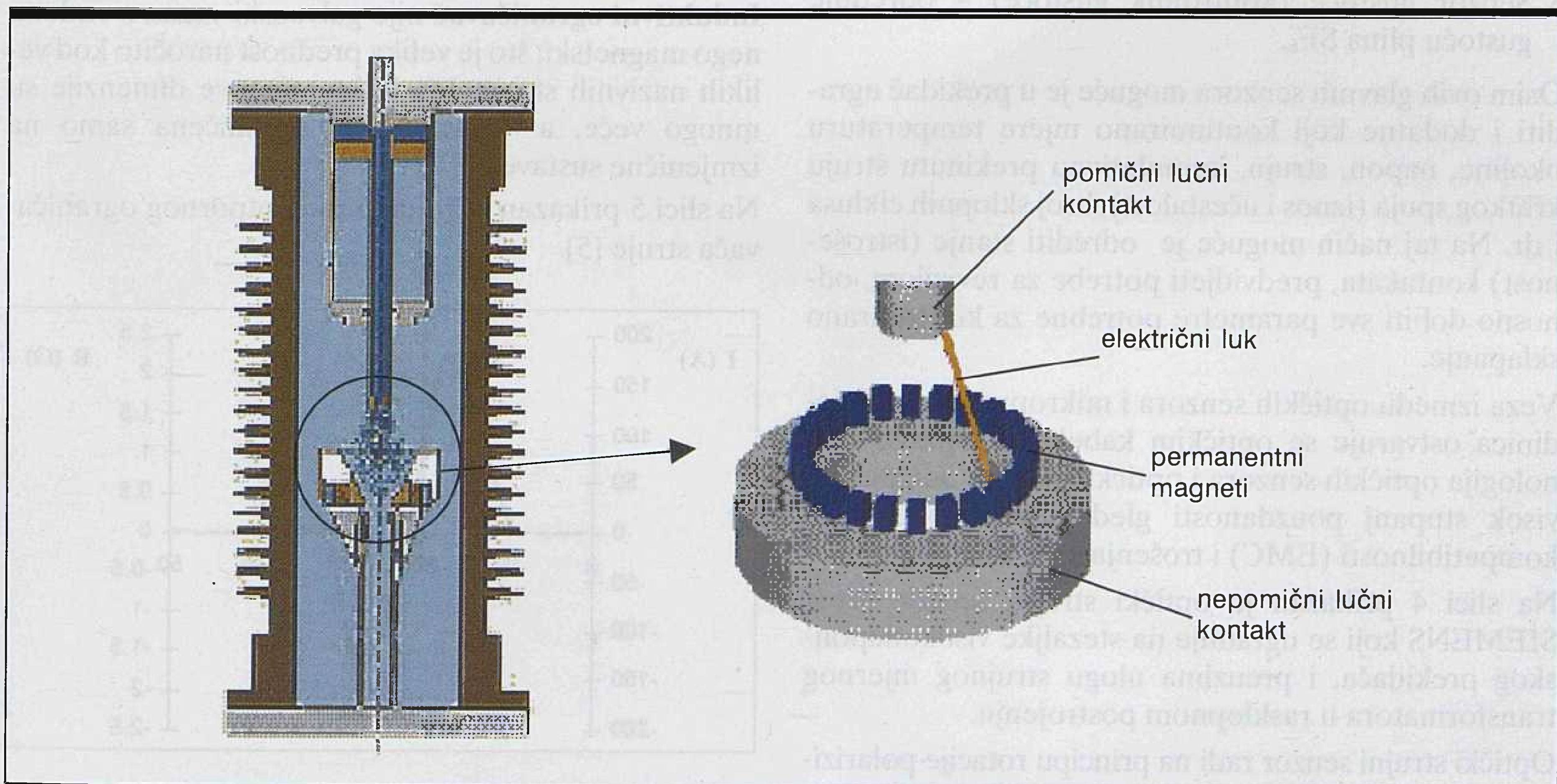
Na slici 3 prikazana je prekidna komora visokonaponskog SF<sub>6</sub> prekidača koji koristi princip rotirajućeg električnog luka [3].

Tehnika rotirajućeg luka koristi se već mnogo godina u srednjonaponskim aparatima. Razvoj novih tehnologija omogućuje sada uporabu ove tehnike i na naponima do 145 kV. U trenutku razdvajanja kontakata električni luk se prebacuje s pomičnog lučnog kontakta na posebnu cilindričnu zavojnicu. Magnetsko polje stvoreno u zavojnici mijenja se sa sinusnom strujom koja se treba prekinuti. Radi elektrodinamičkih sila koje djeluju okomito na električni luk on brzo rotira kroz relativno hladan plin SF<sub>6</sub> što rezultira intenzivnim hlađenjem i deionizacijom stabla luka i njegovim gašenjem u trenutku prolaza struje kroz nulu.

Konstrukcija prekidne komore koja koristi princip rotirajućeg luka je manje kompleksna nego konstrukcije autokompresijskih prekidača, odnosno prekidača s dvostrukim gibanjem kontakata. Prekidač s rotirajućim lukom zahtijeva i do 75% manju energiju pogonskog mehanizma u usporedbi s dosadašnjim izvedbama autokompresijskih SF<sub>6</sub> prekidača.

U slučaju prekidanja malih struja magnetsko polje stvoreno u cilindričnoj zavojnici nije dostatno za stvaranje dovoljne elektrodinamičke sile za stvaranje rotacije električnog luka. Jedno od rješenja ovog problema je stvaranje sekundarnog magnetskog polja uporabom permanentnih magneta.

U novije vrijeme sve više svjetskih proizvođača sklopne opreme nude "inteligentne SF<sub>6</sub> prekidače" [4]. To su visokonaponski SF<sub>6</sub> prekidači koji u sebi imaju integrirane različite senzore (obično optičke) za kontinuirano nadgledanje i kontrolu rada prekidača. Zbog ekonomičnih razloga senzorski sustav inteligentnog prekidača (osnovni tip) ograničen je na samo nekoliko



Slika 3. Visokonaponski SF<sub>6</sub> prekidač s rotirajućim lukom



Slika 4. Optički strujni senzor SIEMENS – SIFOCS (145 do 1800 kV)

senzora čiji je osnovni zadatak otkrivanje glavnih izvora najčešćih kvarova SF<sub>6</sub> prekidača (ovi kvarovi definirani su na osnovi rezultata međunarodne ankete CIGRÉ).

Glavni senzori inteligentnog prekidača su:

1. Senzor gibanja – služi za određivanje krivulje gibanja sklopne motke.
2. Senzor energije opruge – služi za određivanje položaja i gibanja opruge kod isklopa i uklopa, te za određivanje preostale energije.
3. Senzor gustoće (kontrolnik gustoće) – određuje gustoću plina SF<sub>6</sub>.

Osim ovih glavnih senzora moguće je u prekidač ugraditi i dodatne koji kontinuirano mjere temperaturu okoline, napon, struju, kumulativnu prekinutu struju kratkog spoja (iznos i učestalost), broj sklopnih ciklusa i dr. Na taj način moguće je odrediti stanje (istrošenost) kontakata, predvidjeti potrebe za revizijom, odnosno dobiti sve parametre potrebne za kontrolirano sklapanje.

Veza između optičkih senzora i mikroprocesorskih jedinica ostvaruje se optičkim kabelima. Upravo tehnologija optičkih senzora i optičkih kabela omogućuje visok stupanj pouzdanosti glede elektromagnetske kompatibilnosti (EMC) i trošenja samih senzora.

Na slici 4 prikazan je optički strujni senzor firme SIEMENS koji se ugrađuje na stezaljke visokonaponskog prekidača, i preuzima ulogu strujnog mjernog transformatora u rasklopnom postrojenju.

Optički strujni senzor radi na principu rotacije polarizirane svjetlosti u magnetskom polju vodiča protjecanog strujom. Za vođenje svjetla oko vodiča koristi se zavoj-

nica od optičkih vlakana, a kut rotacije polarizirane svjetlosti direktno je proporcionalan broju zavoja zavojnice (N) i struji (I) kojom je protjecan vodič,  $\rho \sim N I$ .

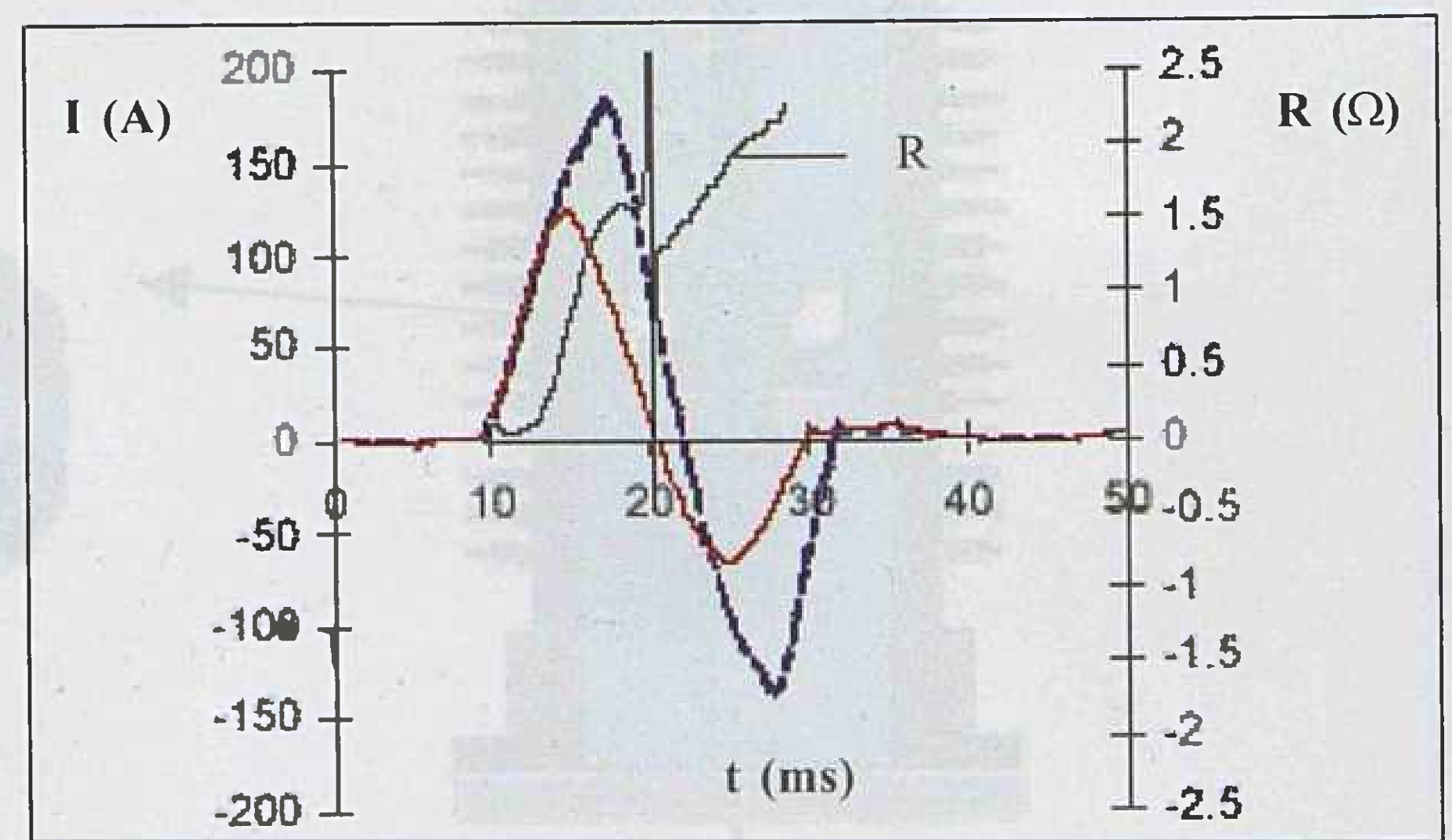
### 3. SUPRAVODLJIVI OGRANIČAVAČI STRUJE

Supravodljivi ograničavači struje rade na dva osnovna principa: *otpornom* i *induktivnom*.

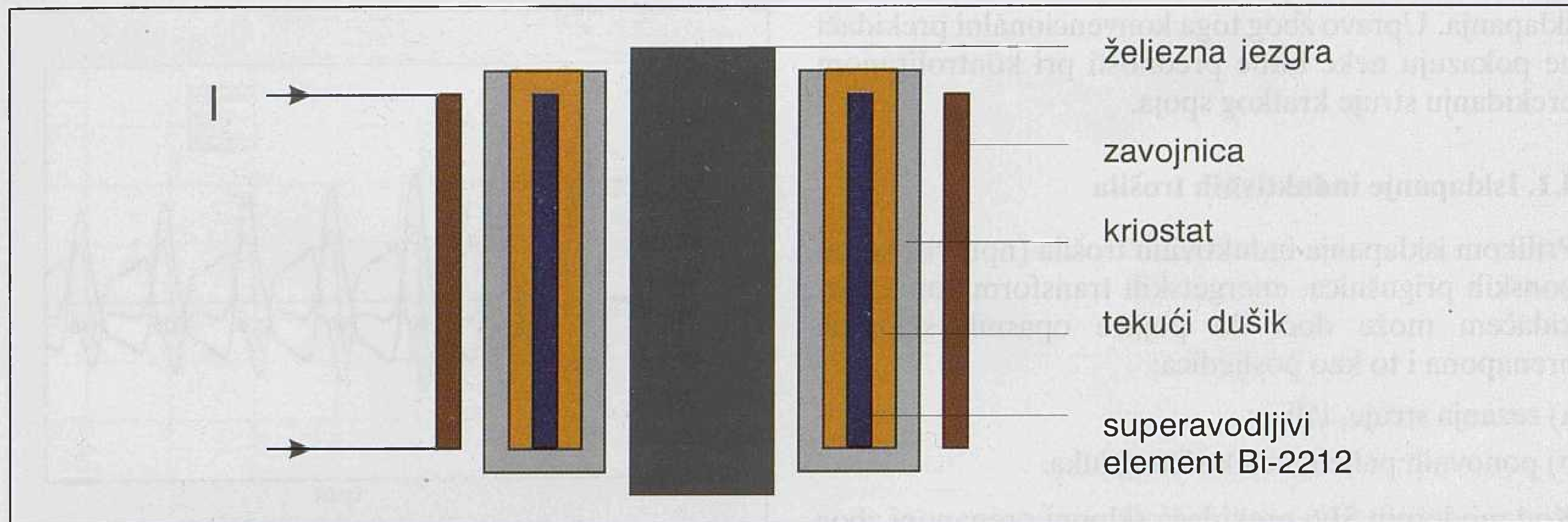
**Otporni ograničavač** je direktno galvanski spojen u seriju s vodom.

**Induktivni ograničavač** nije galvanski vezan s vodom, nego magnetski, što je velika prednost naročito kod velikih nazivnih struja. Međutim, njegove dimenzije su mnogo veće, a primjena je ograničena samo na izmjenične sustave.

Na slici 5 prikazan je princip rada otpornog supravodljivog ograničavača struje [5].



Slika 5. Princip rada otpornog supravodljivog ograničavača struje



Slika 6. Princip rada induktivnog supravodljivog ograničavača struje

U normalnom pogonu ograničavač je u supravodljivom stanju i ima zanemariv otpor. U slučaju kvara gubi supravodljivost i zbog velikog otpora ograničava struju. Za vrijeme ograničavanja struje supravodljivi elementi se griju, i da bi se spriječilo njihovo termičko oštećenje struja kvara se mora u određenom vremenu prekinuti prekidačem. To vrijeme ne smije biti duže od nekoliko sekundi.

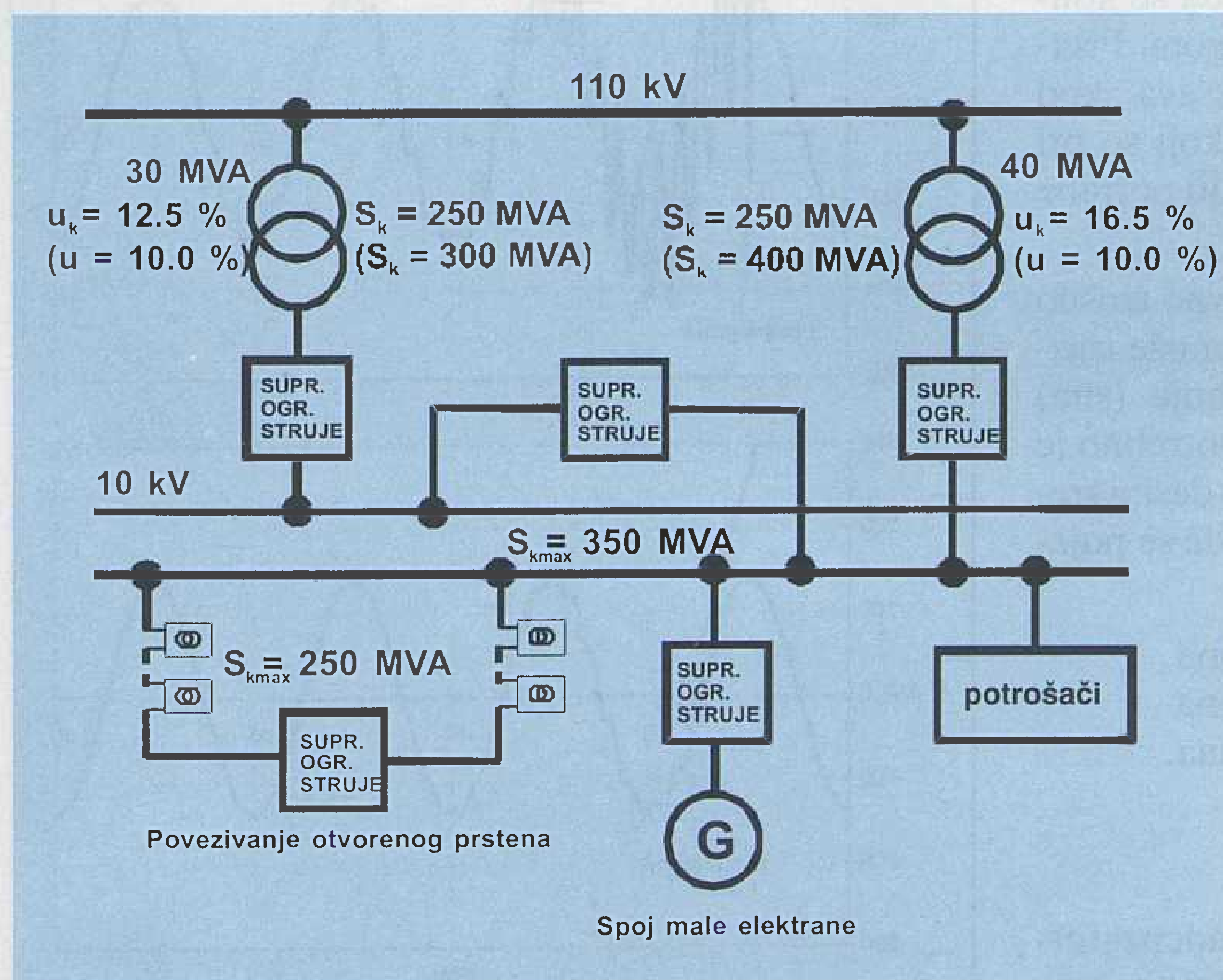
Na slici 6 prikazan je princip rada induktivnog supravodljivog ograničavača struje [6].

Radi se o ograničavaču firme ABB koji radi na principu zaslanjanja željezne jezgre. Sastoji se od obične zavojnice, supravodljive cijevi od Bi-2212 koja se nalazi u kriostatu od nerđajućeg čelika s dvostrukim plaštem i vakuumom između, i od željezne jezgre. Kao sredstvo za hlađenje i izolaciju koristi se tekući dušik na temperaturi 77 K.

Ovaj uređaj je u osnovi transformator sa supravodljivim sekundarnim namotom, dok je primarni namot (zavojnica) spojen u seriju s vodom koji se štiti. U normalnom pogonu željezna jezgra je supravodljivom cijevi zaslonjena od magnetskog polja primarnog namota, kao da je u zasićenju, i zbog toga primar predstavlja malu impedanciju. U slučaju pojave velikih struja kvara nestaje efekt zaslanjanja i javlja se značajno veća impedancija primara čime se automatski reducira struja kvara.

ABB je završio ispitivanja na jednofaznom prototipu nazivnog napona 8.3 kV, nazivne struje 200 A ef., nazivne snage 1.6 MVA. Struja kvara od 13.2 kA ograničena je na 4.3 kA peak, 1.4 kA ef. nakon 20 ms.

Na slici 7 prikazane su moguće primjene supravodljivih ograničavača struje u prijenosnim i distributivnim mrežama, te efekti te primjene [7].



Slika 7. Moguće primjene supravodljivih ograničavača struje (vrijednosti u zagradama mogu se realizirati ukoliko se ugradi supravodljivi ograničavač struje)

#### 4. KONTROLIRANO SKLAPANJE STRUJE

Danas pod pojmom "kontrolirano sklapanje" smatramo svako sklapanje kod kojeg se "gađa" trenutak uklopa ili isklopa u odnosu na sinusoidu struje (ili napona).

Glavne prednosti kontroliranog sklapanja dolaze do izražaja prilikom sklapanja malih induktivnih i kapacitivnih struja, te uklapanja dugih vodova. Što se pak tiče prekidanja struja kratkog spoja, moderna rješenja visokonaponskih SF<sub>6</sub> prekidača povećane pouzdanosti i jednostavnijeg održavanja, s vremenima prekidanja unutar tri poluperiode struje, u potpunosti zadovoljavaju uvjete sa stajališta stabilnosti elektroenergetskog sustava i električke trajnosti. Što više, na današnjem stupnju tehnološkog razvoja prekidača postignuto je gotovo isto ili čak i manje trošenje kontakata u konvencionalnom nego u kontroliranom režimu

sklapanja. Upravo zbog toga konvencionalni prekidači ne pokazuju neke bitne prednosti pri kontroliranom prekidanju struje kratkog spoja.

#### 4.1. Isklapanje induktivnih trošila

Prilikom isklapanja induktivnih trošila (npr. visokonaponskih prigušnica, energetskih transformatora) prekidačem može doći do pojave opasnih sklopnih prenapona i to kao posljedica:

- rezanja struje,  $i$ /ili
- ponovnih paljenja električnog luka.

Kod modernih SF6 prekidača sklopni prenaponi zbog rezanja struje obično nisu veći od 1.4 p.u. pa prema tome nisu niti opasni. Međutim, ovi prenaponi mogu izazvati ponovna paljenja električnog luka između kontakata prekidača, a ta pojava onda dovodi do sklopnih prenapona visine i do 2.5 p.u. Niti ovi prenaponi što se tiče njihove visine ne predstavljaju opasnost za induktivna trošila, odnosno za ostalu visokonaponsku opremu u postrojenju. Međutim, ovi sklopni prenaponi imaju veliku strminu (brzinu porasta,  $dU/dt$ ) koja može biti vrlo opasna za izolaciju prvih zavoja prigušnice, odnosno za izolaciju ostale opreme u postrojenju.

Uporabom kontroliranog sklapanja, pojava ponovnih paljenja električnog luka može se u potpunosti izbjeći i to tako da se kontakti prekidača počnu razdvajati 5 - 7 ms prije prirodne nule struje.

#### 4.2. Uklapanje induktivnih trošila

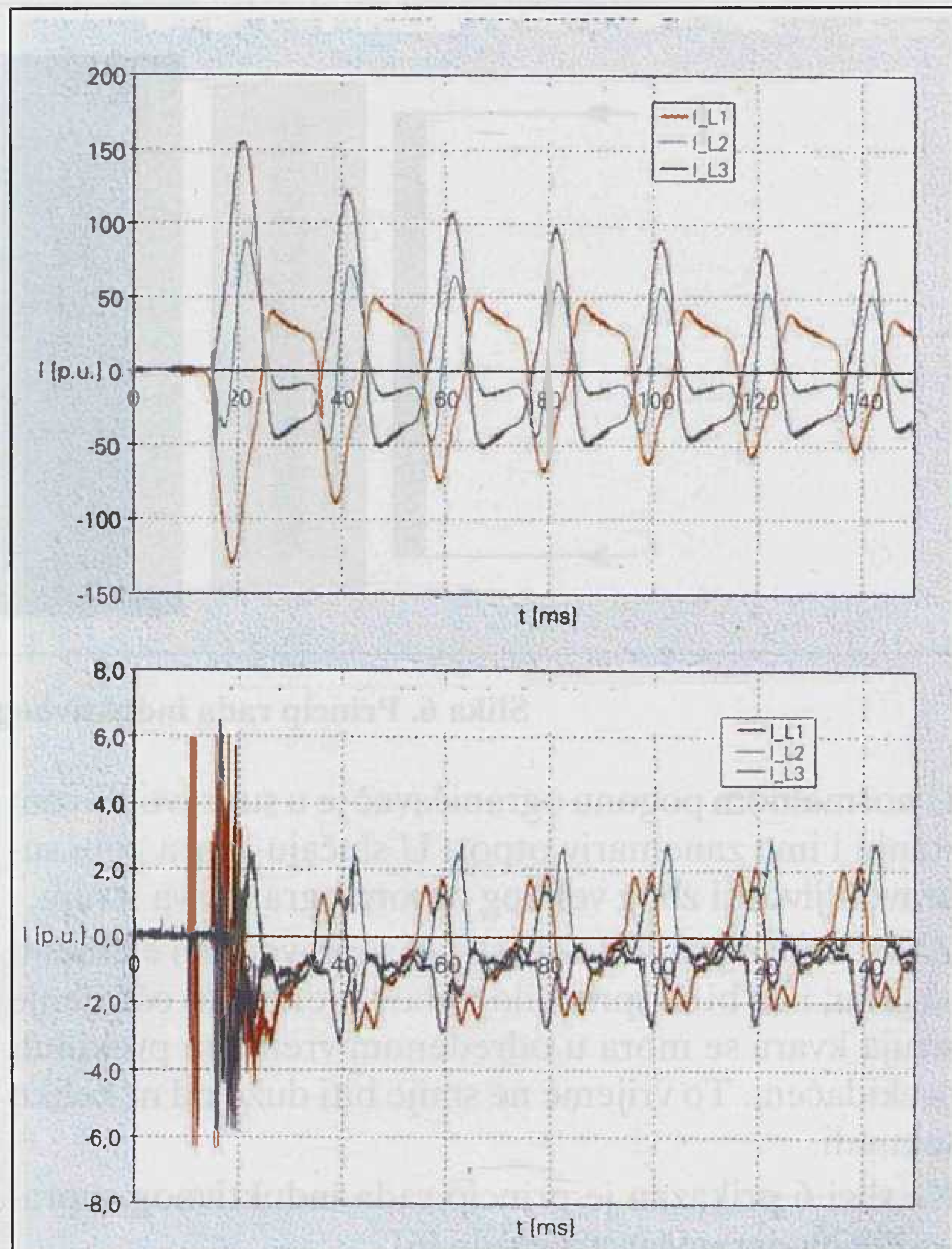
Kod uklapanja induktivnih trošila uvijek dolazi do pretpaljenja električnog luka u trenutku kada se kontakti prekidača dovoljno približe jedan drugom. Pretpaljenje električnog luka obično se dešava kod maksimuma napona, a sklopni prenaponi koji se pri tome javljaju nisu viši od 1.5 p.u., pa nema niti potrebe za njihovim ograničavanjem.

Kod uklopa puno veću opasnost po induktivno trošilo predstavlja tzv. potezna (inrush) struja koja može izazvati vrlo velika elektromagnetska naprezanja (sile) između namota. Za njezino ograničavanje potrebno je da se trenutak pretpaljenja električnog luka desi u trenutku kada je napon maksimalan. To znači da se pojedine faze uklapaju u sljedećim trenucima:

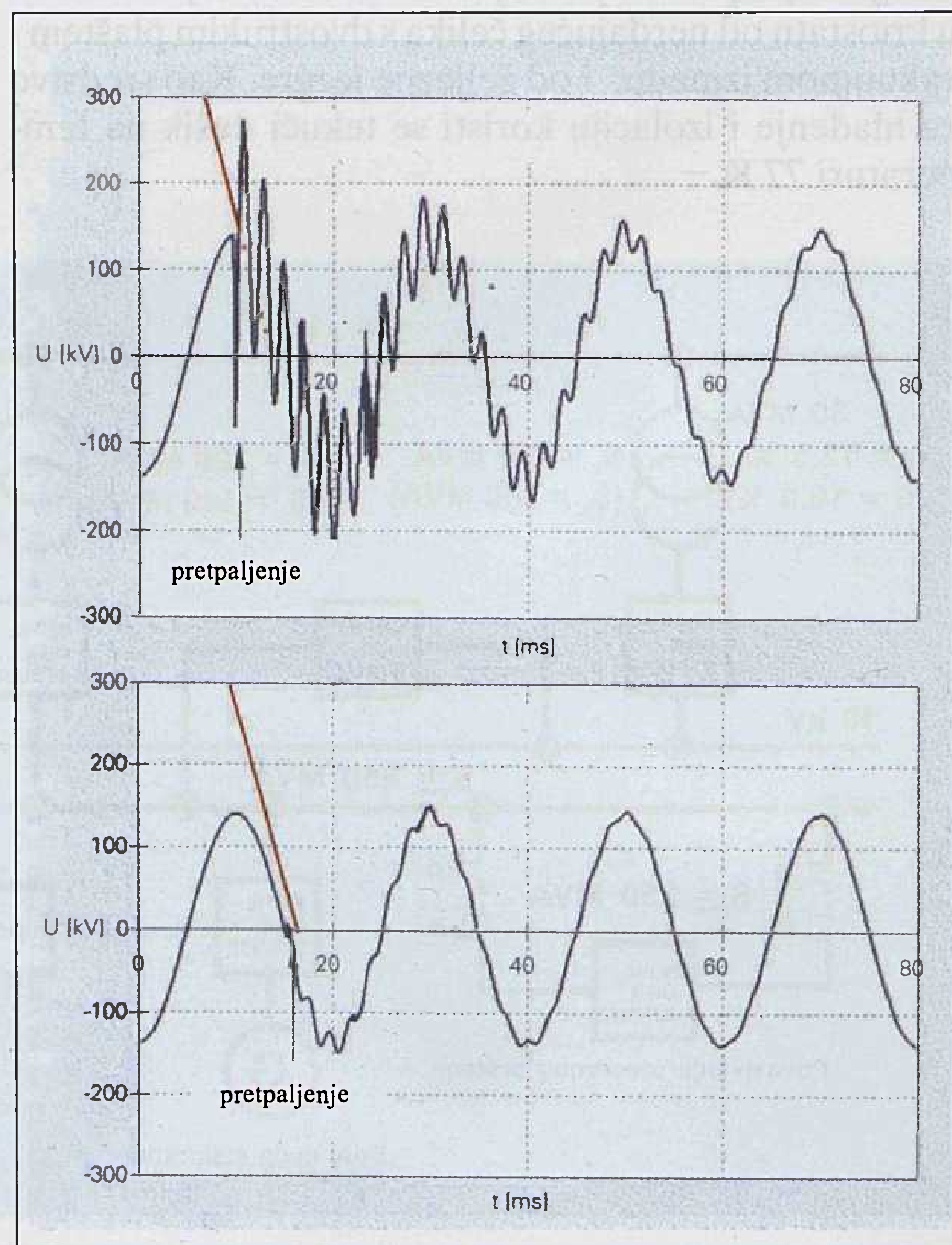
- |        |         |                             |
|--------|---------|-----------------------------|
| 1 faza | 1.67 ms | nakon prirodne nule napona  |
| 2 faza | 5.00 ms | nakon prirodne nule napona  |
| 3 faza | 8.33 ms | nakon prirodne nule napona. |

#### 4.3. Isklapanje kapacitivnih trošila

Prilikom isklapanja kapacitivnih trošila (kondenzatorske baterije, vod u praznom hodu) na kontaktima prekidača pojavljuje se nakon 10 ms povratni napon dvostruke amplitude narinutog napona. Ukoliko u tom trenutku kontakti prekidača nisu dovoljno raz-



Slika 8. Primjer nekontroliranog (a) i kontroliranog (b) uklapanja neopt. transformatora [8]



Slika 9. Primjer nekontroliranog (a) i kontroliranog (b) uklapanja kondenzatorskih baterija [8]

maknuti dolazi do ponovnog preskoka (restrike) među kontaktima i pojave prenapona.

Kontroliranim isklapanjem kapacitivnih trošila moguće je prenapone reducirati na iznos manji od 1.7 p.u. Međutim, tu valja naglasiti da su moderni visokonaponski SF<sub>6</sub> prekidači i tako bez ponovnih paljenja (restrike free) pa ne postoji potreba za kontroliranim isklapanjem.

#### 4.4. Uklapanje kapacitivnih trošila

Prilikom uklapanja kapacitivnih trošila zbog razlike napona između strane izvora i strane tereta mogu se javiti velike potezne (inrush) struje. Potezna struja može imati amplitudu od nekoliko desetaka kA i frekvenciju nekoliko kHz. Da bi se izbjegle velike potezne struje prilikom uklapanja, kondenzatorska baterija se mora priključiti na mrežu u nul-točki pogonskog napona. Pri tome je važno naglasiti da stvarni trenutak uklapanja pojedinih polova prekidača ovisi o izvedbi uzemljenja nul-točke baterije, te da kondenzator mora biti ispražnjen od preostalog naboja prije samog početka uklapanja. Kontroliranim uklapanjem kondenzatorske baterije moguće je reducirati poteznu struju i više od 60%.

#### 4.5. Zahtjevi koje mora zadovoljiti prekidač namijenjen za kontrolirano sklapanje

Uređaj za kontrolirano sklapanje sastoji se od konvencionalnog prekidača opremljenog s elektronskim kontrolnim modulom. Na bazi informacija iz različitih senzora kontrolni modul konvertira originalni operacijski signal u signal za kontrolirano sklapanje. To se postiže odgovarajućim vremenom kašnjenja, koje se određuje na temelju podataka o trenutnoj vrijednosti napona na obje strane prekidača, struji kroz prekidač i vremenu mehaničke operacije. Dodatni parametri kao što su temperatura okoline, upravljački napon i tlak plina moraju također biti uključeni.

Od prekidača koji će se koristiti za kontrolirano sklapanje zahtijeva se:

- jednopolna izvedba,
- vremenska tolerancija (sinkronost polova) 1 do 2 ms.

### 5. ZAKLJUČAK

Energija potrebna za sklapanje visokonaponskog prekidača značajno je smanjena zahvaljujući razvoju novih tehnika prekidanja, ali i zbog optimiranja dimenzija prekidne komore. Smanjenje pogonske energije znači i manja mehanička naprezanja, manje trošenje, odnosno povećanu mehaničku trajnost. Uporabom jednostavnih opružnih mehanizama bitno je smanjen broj komponenata pogonskog mehanizma, čime je povećana pouzdanost prekidača.

Razvoj mikroprocesorske tehnike i optičkih senzora omogućio je kontinuirano nadgledanje i mjerenje ve-

ličina bitnih za rad visokonaponskog prekidača. Tako dobivene informacije analiziraju se i filtriraju. Na taj način moguće je pravodobno otkriti potencijalne nepravilnosti i spriječiti veći kvar prekidača.

Supravodljivi ograničavač struje kvara predstavlja potpuno novi uređaj na tržištu koji omogućuje potpuno nova i nekonvencionalna rješenja elektroenergetskih postrojenja. Trenutno ova tehnologija je još u fazi ispitivanja i nije komercijalno isplativa zbog visoke cijene supravodljivih elemenata. Predviđa se da će supravodljivi ograničavači struje kvara postati izuzetno važni i komercijalno isplativi u sljedećih 5 godina.

Uporabom kontroliranog sklapanja moguće je gotovo potpuno eliminirati strujna i naponska naprezanja koja se javljaju prilikom sklapanja kondenzatorskih baterija i induktivnih trošila.

### LITERATURA

- [1] Third - generation SF<sub>6</sub> circuit - breakers, AEG T&D Technical brochure A21HG.8.3/1096 EN
- [2] H. KNOBLOCH et al., "Technological trends in high-voltage circuit-breakers", CIGRÉ 2000 Report 13-106
- [3] W. B. HALL et al., "The application of new interrupting techniques to high voltage circuit breakers", CIGRÉ 2000 Report 13-203
- [4] From the arc to the intelligent breaker, AEG & TD Technical brochure A21HG.15.4/1096 EN
- [5] M. P. SARAVOLAC, P. VERTIGEN: "Development and testing of a novel design concept for high temperature superconducting fault current limiter", CIGRÉ 2000 Report 13-204
- [6] E. M. LEUNG: "Superconducting Fault Current Limiters", IEEE Power Engineering Review Vol.20, No.8, august 2000.
- [7] W. PAUL et al., "Superconducting fault current limiter applications, technical end economical benefits, simulations and test results", CIGRÉ 2000 Report 13-201
- [8] Controlled Switching of High-Voltage Circuit- Breakers, SIEMENS Technical brochure E50001-U113-A145-X-7600

### STATUS AND DEVELOPMENT TRENDS OF HIGH-VOLTAGE SWITCHING APPARATUS IN THE WORLD

In the past ten years significant amelioration of technology and construction of circuit breakers has been reached. Thanks to new current breaking techniques and optimisation of switching chamber the energy of operation mechanism as well as the number of components have been significantly changed. Continuous control and diagnostics have been added to the already existing control functions conducted by conventional secondary systems. During last two years a significant technology improvement in the superconductivity of current limitators occurred. It should be emphasised that this is a completely new type of equipment, which will probably enable the development of non-conventional solutions in electric power systems. Controlled switching is frequently used to limit switching overvoltage and starting current by capacitor bank switching and inductive motors. Thus, it is no longer necessary to

build in high-voltage capacitors and switching resistors in circuit breakers. The appliance for controlled switching is composed of a conventional circuit breaker using electronic control module, which synchronises the moment of switching certain circuit breaker poles with the phase angle of current and voltage.

#### DER ZUSTAND UND DIE ENTWICKLUNGSTENDENZEN VON HOCHSPANNUNGSSCHALTGERÄTEN IN DER WELT

In den letzten zehn Jahren ist es zu grossen Verbesserungen im im Entwerfen und Erzeugen von Hochspannungsschaltern gekommen. Dank der Entwicklung neuer Verfahren der Stromunterbrechung und der Optimierung von Abmessungen der Unterbrecherkammer, ist die Anzahl der Bestandteile des Betriebsmechanismus und die zu seiner Bewegung notwendige Energie wesentlich herabgesetzt. Zu den herkömmlichen Kontrollen die bereits über sekundäre Stromkreise durchgeführt werden, kommt noch die stetige Aufsicht des Zustandes und die Fehlererörterung. In den letzten zwei Jahren kam es zu wesentlichem Fortschritt im Erzeugungsverfahren der supraleitenden Strombegrenzer. Es sei betont, dass es sich um eine ganz neuen Gattung von Geräten handelt, welche höchstwahrscheinlich die Entwicklung neuer unüblicher

Lösungen im Stromversorgungswesen hervorbringen wird. Zur Begrenzung von Schaltspannungen und Anzugsströmen beim Schalten von Kondensatorbatterien und induktiven Verbrauchern wird immer mehr die kontrollierte Schaltung verwendet. Dadurch entfällt die Notwendigkeit des Zubaus von Hochspannungskondensatoren und Schaltwiederständen an Leistungsschalter. Das Kontrollschaltgerät stellt den mit einer entsprechenden elektronischen Einrichtung ausgerüsteten herkömmlichen Schalter dar. Diese Einrichtung synchronisiert den Augenblick des Ein- oder Ausschaltens einzelner Schalterpole mit dem Phasenwinkel von Strom und Spannung.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Krešimir Meštrović, dipl. ing.  
Končar – Institut za elektrotehniku  
10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:  
2002-05-03.