

Dušan Nojković
Institut za automatiku
Trg Marksa i Engelsa br.8/V

TIRISTORSKI BRZI PREKIDAČI
FAST THYRISTOR CIRCUIT BREAKERS

Brzi prekidač je osnovni sklop bez kojeg se ne mogu realizovati izvesni uredjaji za napajanje. Takav je, na primer, uredjaj za napajanje komora za jonsko nitriranje, u kome brzi prekidač predstavlja električno strujno kolo koje je u stanju da detektuje pojavu nestabilnosti i prekine tok struje kroz komoru pre nego što dodje do oštećenja uzorka. U radu su prikazana dva originalna rešenja tiristorskih brzih prekidača čije je vreme prekidanja kraće od $20 \mu\text{S}$.

The fast circuit breaker is the fundamental part without which certain devices can't be built. Such is, for instance, the power supplying device for the ion nitriding chamber, in which the fast circuit breaker represents an electrical circuit for detecting instabilities in glow discharges and breaks the current flow before damaging the specimen. In the paper are reviewed two original designs for the fast thyristor circuit breakers with the breaking time of less than $20 \mu\text{S}$.

1. U v o d

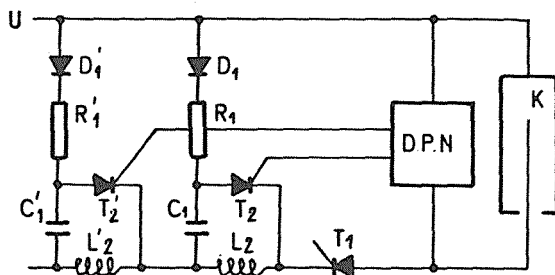
Proces jonskog nitriranja može se obavljati samo u jednom uskom opsegu voltamperske karakteristike tinjavog pražnjenja koji se naziva opsegom abnormalnog pražnjenja i u kome je pomenuti proces samo relativno stabilan. Opseg abnormalnog tinjavog pražnjenja se nalazi neposredno uz opseg tzv. lučnog pražnjenja koje je mnogo stabilnije. U opsegu abnormalnog pražnjenja već i kod malih, lokalnih povećanja gustine struje (usled nečistoća na površini radnog komada) brzo dolazi do razvoja koncentracije pražnjenja na tom mestu i pojave nestabilnosti koja se sa velikom verovatnoćom može razviti u stabilno lučno pražnjenje. Uspostavljeno lučno pražnjenje, u zavisnosti od parametara pražnjenja, dovodi do lokalnog pregrevanja površine radnog komada i razaranja na tom mestu u vremenskom intervalu od 10^{-7} - $1 \text{ S.}/1/$. Već kod snaga pražnjenja većih od 1 kW , dopušteno vreme dejstva luka na uzorak je kraće od 10^{-2} S , te uredjaji za napajanje komora za jonsko nitriranje moraju imati poseban sklop koji služi za sprečavanje pojava lučnog pražnjenja.

Danas u svetu postoji više rešenja ovog problema koja su realizovana uz pomoć gasnih cevi ili tiristora. Ovde izložena rešenja razvijena su tokom rada na projektu "Nitriranje alata u gasnom pražnjenju", na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu /2/. Rešenja u potpunosti rešavaju problem kontrole nestabilnosti u tinjavom pražnjenju a mogu se jednako koristiti i u drugim strujnim koluma napajanja jednosmernom ili pulzirajućom strujom, kada je neophodno veoma brzo, u intervalima $20 \cdot 10^{-6} + 10^{-2} \text{S}$, prekinuti tok struje i zaštititi osetljive potrošače i izvore napajanja.

2. Opis rešenja

2.1. Serijski tiristorski brzi prekidač

Serijski brzi prekidač razvijen je na osnovu rešenja opisanog u literaturi /3/ i ima krajnji izgled kao na slici 1.



Slika 1. Principijelna šema veza serijskog tiristor-skog brzog prekidača

Prikazano kolo sastoji se od potrošača (komore za jonsko nitriranje R_L), glavnog tiristora (T_1), kalemova (L_2 i L_2'), pomoćnih tiristora (T_2 i T_2'), komutacionih kondenzatora (C_1 i C_1') i grana za punjenje komutacionih kondenzatora (R_1 , D_1 i R_1' , D_1'). Na šemi je naznačen i detektor pojava nestabilnosti (DPN). Komutacioni kondenzatori C_1 i C_1' se pune iz izvora napajanja preko RD grana na vrednost napona izvora U. U trenutku pojave nestabilnosti detektor DPN daje

signal za otvaranje pomoćnih tiristora T_2 i T_2' i prekida signal pobude glavnog tiristora T_1 . Na katodi tiristora T_1 javlja se dvostruko veći napon ($2U$) u odnosu na napon izvora. Naponi sa kondenzatora C_1 i C_1' se pojavljuju na namotajima kalemova L_2 i L_2' pa je ukupni napon jednak zbiru ova dva napona. Prema tome, tiristor T_1 biva inverzno polarisan i sigurno blokiran. Struja u rezonantnim kolima C_1-L_2 i $C_1'-L_2'$ nastavlja da teče inverzno polarišući kondenzatore. Na kraju, kada vrednost struje kroz tiristore T_2 i T_2' padne na nulu, blokiraju se pomoćni tiristori. Ponovno punjenje kondenzatora C_1 i C_1' mora se obaviti u vremenskom intervalu kraćem od vremena trajanja isključenja glavnog tiristora, kako bi prekidač bio spreman za rad odmah po ponovnom uspostavljanju plazme u komori. /4/.

Ovo kolo je pokazalo odlične rezultate u opsegu struja od nekoliko mA do nekoliko desetina A u radu sa jednosmernim naponom, sa ili bez filtriranja istog. Za rad u ovako širokom opsegu struja, pobuda glavnog tiristora T_1 mora biti stalna za sve vreme dok isti provodi. Kod pojave nestabilnosti u gasnom pražnjenju, pobuda T_1 se ukida i njegov gejst se vezuje na katodu ili na neki negativni potencijal u odnosu na katodu. Pomoćni tiristori se pobudjuju impulsno iz zajedničkog izvora.

Naponi napajanja mogu se kretati u granicama od oko 40 V do 1/2 maksimalnog inverznog napona glavnog tiristora, što predstavlja glavnu prepreku za primenu ovoga prekidača kod visokih napona napajanja iznad 1000 V. Sa komponentama koje se mogu naći na tržištu vreme reagovanja ovog serijskog tiristorskog brzog prekidača zajedno sa detektorom pojava nestabilnosti može se spustiti ispod 10 us.

Za proračun elemenata ovog prekidača koriste se osnovni obrasci za napon i struju kod RLC kola:

$$u_c = A U_0 e^{-\alpha t} \cos(\omega_1 t + \theta) \quad 2.1.-1$$

$$i = \frac{U_0}{L_2 \cdot \omega_1} e^{-\alpha t} \sin(\omega_1 t) \quad 2.1.-2$$

gde su

u_c - trenutna vrednost napona na kondenzatoru

i - trenutna vrednost struje u kolu komutacije

U_0 - napon na kondenzatoru pre aktiviranja brzog prekidača

$$\alpha = \frac{R_e}{2L_2} \quad \text{koeficijent slabljenja}$$

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{1}{L_2 C_1} - \frac{R_e^2}{4L_2}} \quad \text{kružna učestanost}$$

$$Q = \frac{\omega_1 \cdot L_2}{R_e} \quad \text{faktor dobrote}$$

$$A = \sqrt{1 + \left(\frac{\alpha}{\omega_1}\right)^2} = \sqrt{1 + \frac{1}{4Q^2 - 1}}$$

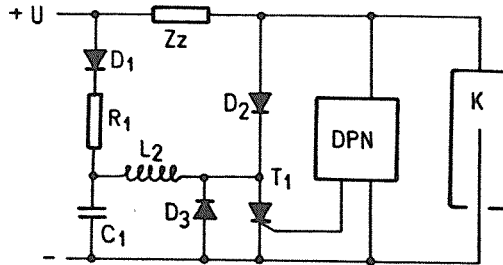
$$\theta = - \arctg \frac{\alpha}{\omega_1} = - \arctg \sqrt{\frac{1}{4Q^2 - 1}}$$

Vreme za koje je glavni tiristor inverzno polarisan mora biti duže od njegovog sopstvenog vremena blokiranja (t_{off}). Ovo vreme je određeno vrednošću komponenata oscilatornog kola C_1 - L_2 i ekvivalentne serijske otpornosti kola R_e , u koju ulaze otpor curenja C_1 , otpor T_2 u provodnom stanju i otpor kalema L_2 i veza. Iako se radi o brzim prekidačima tiristori koji se ugradjuju u njih ne moraju biti brzi, tj. sa kratkim vremenom blokiranja.

2.2. Paralelni tiristorski brzi prekidač

Znatno savršeniji paralelni brzi prekidač od onih koji su prikazani u literaturi, sa minimalnim brojem elemenata, razvijen je na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu u toku rada na razvoju postrojenja za jonsko nitriranje /5/. Na slici 2. prikazana je principijelna šema tog prekidača. Kolo se sastoji od potrošača (R_L), zaštitne impedanse (Z_Z), tiristora T_1 , komutacionog kondenzatora (C_1), komutacionog kalema (L_2), dodatne grane za punjenje ($R_1 D_1$) i dioda (D_2 i D_3) za usmeravanje komutacione struje.

U toku normalnog rada komore kondenzator se napuni na napon izvora. U trenutku pojave nestabilnosti detektor (DPN) otvara tiristor T_1 koji osim struje pražnjenja kondenzatora preuzima i struju pražnjenja komore. Tiristor T_1 u provodnom stanju kratko spaja krajeve komore za jonsko nitriranje i struja kroz istu se trenutno prekida. Struja pražnjenja vrši prepolarizaciju kondenzatora C_1 u



Slika 2.: Principijelna šema veza paralelnog tiristorskog brzog prekidača

inverznom smeru. Kad se kondenzator napuni do maksimalne vrednosti inverznog napona, struja samooscilovanja $C_1 - L_2$ kola počinje da teče u suprotnom smeru smanjujući ukupnu vrednost struje kroz tiristor T_1 . U trenutku kada rezonantna inverzna struja postane veća od direktne struje kratkog spoja, prestaje da teče struja kroz tiristor. Isti se, zatim, inverzno polarise i struja nastavlja da teče preko diode D_3 puneći kondenzator C_1 i održavajući inverznu polarizaciju tiristora T_1 dovoljno dugo da se on sigurno oporavi i blokira. Pored toga, punjenje C_1 se obavlja i preko dodatne grane $R_1 D_1$ kao i preko diode D_2 i kalema L_2 iz izvora napajanja U . Punjenje kondenzatora obavlja se u vremenskom intervalu kraćem od minimalnog projektovanog vremena zadržke kod ponovnog uspostavljanja plazme (20 ms), tako da je brzi prekidač spreman za dejstvo odmah po ponovnom uspostavljanju plazme u komori.

Kolo se odlikuje krajnom jednostavnošću i minimalnim brojem komponentata. Traži impulsnu pobudu i lako se odvaja od upra-

vljačkih kola. Jedini nedostatak ovih kola je što struja pražnjenja kondenzatora C_1 teče kroz tiristor T_1 u isto vreme kad i preuzeta struja opterećenja, što zahteva jače dimenzionisanje pomenutog tiristora.

Zaštitna impedansa u kolu napajanja komore (Z_z) ograničava struju lučnog pražnjenja u komori, struju kroz tiristor T_1 u periodu komutacije i štiti izvor od kratkog spoja. Obično se sastoji samo od prigušnice L_z ili redne veze prigušnice L_z i zaštitnog otpornika R_z . Proračun ovih elemenata se može voditi na način prikazan u literaturi /1/, a proračun elemenata oscilatornog kola C_1 i L_2 uz pomoć izraza iz tačke 2.1.

Paralelni brzi prekidač u trenutku svoga aktiviranja zapravo neprekida struju nego kratko spaja potrošač i preusmerava struju komore za jonsko nitriranje na tiristor T_1 . Prelaz iz neprovodnog stanja do stanja pune provodljivosti tiristora obavlja se u vremenskom intervalu reda veličine $1 \mu s$. Pošto plazma praktično nema inercije, dolazi do trenutnog prekidastruje u komori. Brzina reagovanja celog sistema određena je uglavnom brzinom reagovanja detektora pojave nestabilnosti. Vremenski razmak od trenutka pojave početka lučnog pražnjenja pa do trenutka kratkog spajanja komore kod realizovanog uredjaja snage 40 kW iznosi 15-20 μs . Naponi napajanja mogu se kretati kod ovih rešenja od oko 40V pa do vrednosti maksimalnog inverznog napona tiristora T_1 , a opseg struje kreće se praktično od 0 pa do maksimalnih vrednosti koje određuje odabrani tiristor. Tiristori u ovim rešenjima nemoraju biti "brzi", tj. sa kratkim vremenom oporavka (t_{off}).

3. Zaključak

Opisana rešenja tiristorskih brzih prekidača nastala su tokom rada na realizaciji domaćeg industrijskog postrojenja za jonsko nitriranje. Odlikuju se jednostavnošću, minimalnim brojem komponenta, velikom pouzdanošću, velikom brzinom reagovanja i veoma kratkim intervalima pripreme za ponovno aktiviranje. Rade u širokom opsegu napona i struja, napajaju se iz osnovnog izvora napajanja potrošača (osim detektora pojave nestabilnosti koji ima sopstveno napajanje) i mogu se izraditi i u obliku nezavisnog i prenosivog dela uredjaja.

Literatura

- /1/. D.Nojković:
"Kontrola nestabilnosti u gasnom praženjenju"
magistarski rad, 1984.
- /2/. M.Zlatanović, D.Nojković, D.Stanković, A.Kunosić:
"Razvoj domaćeg uredjaja za jonsko nitriranje"
JUSTOM 1983.
- /3/. Philips Application Note:
"Fast solid-state circuit breaking in battery
operated circuits"
- /4/. D.Nojković:
"Serijski tiristorski brzi prekidač u uredjajima
za jonsko nitriranje"
Patentna prijava 1301/84 kod Saveznog Zavoda za
patente
- /5/. D.Nojković, M.Zlatanović:
"Paralelni tiristorski brzi prekidač u uredjajima
za jonsko nitriranje"
Patentna prijava 1300/84 kod Saveznog Zavoda za patente.