



SUOMI-FINLAND

(FI)

Patentti- ja rekisterihallitus  
Patent- och registerstyrelsen

(B) (11) KUULUTUSJULKAISU  
UTLAGGNINGSSKRIFT

87956

C (45) Patentti myönnetty  
Patent meddelat 10 03 1988

(51) Kv.1k.5 - Int.cl.5

H 01H 9/54, H 02M 7/515, 7/538

|                                                                                             |          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| (21) Patenttihakemus - Patentansökning                                                      | 881742   |
| (22) Hakemispäivä - Ansökningsdag                                                           | 14.04.88 |
| (24) Alkupäivä - Löpdag                                                                     | 14.04.88 |
| (41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig                                                   | 17.10.88 |
| (44) Nähtävöksipanon ja kuul.julkaisun pvm. -<br>Ansökan utlagd och utl.skriften publicerad | 30.11.92 |
| (32) (33) (31) Etuoikeus - Prioritet                                                        |          |
| 16.04.87 NL 8700918 P                                                                       |          |

(71) Hakija - Sökande

1. Holec Systemen en Componenten B.V., Tuindorpstraat 61, 7550 AA Hengelo, Netherlands, (NL)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1. Mezger, Hendrik Johan, Balistraat 12, 7556 AJ Hengelo, Netherlands, (NL)  
2. Van Strien, Jacob Cornelis, Mechelsestraat 2, 3332 EL Zwijndrecht, Netherlands, (NL)

(74) Asiamies - Ombud: Oy Kolster Ab

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

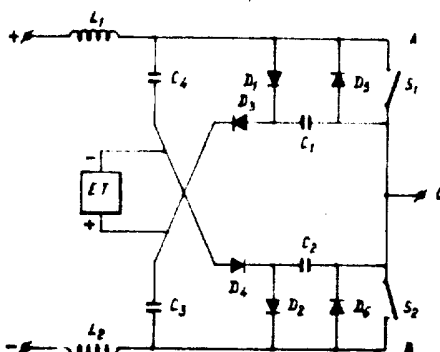
Symmetrinen sähkösuojapiiri  
Symmetrisk elektrisk skyddskrets

(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

FI C 70493 (H 02H 7/122), WO A 84/00858 (H 02M 1/18)

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Symmetrinen sähköinen suojapiiri ainakin kahden sarjaan kytketyn kytkinosan ( $S_1$ ;  $S_2$ ) suojaamiseksi liian suurta jännitteen ja virran kasvua vastaan kytkennän aikana. Jännitteen kasvu kunkin kytkinosan yli on rajoitettu sarjapiirillä, jonka muodostavat kondensaattori ja elementti, jolla on dioditoiminta ( $D_1$ ,  $C_1$ ;  $D_2$ ,  $D_2$ ), ja joka on kytketty mainittujen kytkinosien rinnalle. Syöttötasajännitteen suuruus rajoitetaan tehokkaasti kondensaattorin ja elementin, jolla on dioditoiminta, muodostamalla lisäsarjapiirillä ( $D_3$ ,  $C_3$ ;  $D_4$ ,  $C_4$ ), joka on kytketty mainittuihin kytkinosiin. Vapaaikäntidiodi ( $D_5$ ,  $D_6$ ) on kytketty rinnan kunkin kytkinosan kanssa. Sisällyttämällä kela ( $L_1$ ,  $L_2$ ) kytkinosien syöttölinjoihin rajoitetaan virran kasvua kytkinosan päällekytkemisen aikana. Tällä tavoin aikaansaadaan symmetrinen suojapiiri, jolla on mahdollisimman pieni hajainduktanssi. Keloihin ( $L_1$ ,  $L_2$ ) varastoitunut energia sekä kondensaattoreihin ( $C_1$ ;  $C_2$ ) varastoitunut energia siirretään lisäkondensaattoreihin ( $C_3$ ;  $C_4$ ) resonanssi-ilmiön ansiosta. Näissä lisäkondensaattoreissa oleva energia voidaan sitten purkaa energian siirtovälineiden (ET) avulla. Keksinnön mukainen suojapiiri on oleellisesti häviötön.



Symmetrisk elektrisk skyddskrets för skydd av åtminstone två seriekopplade brytarorgan ( $S_1; S_2$ ) mot alltför stor ökning i spänning och ström under tillkoppling. Spänningsökningen över vardera brytarorganet begränsas med en seriekrets, som utgörs av en kondensator och ett element, som har diodfunktion ( $D_1, C_1; D_2, C_2$ ) och som är kopplad parallellt med nämnda brytarorgan. Störleken av matarlikspänningen begränsas effektivt genom en ytterligare till nämnda brytarorgan kopplad seriekrets ( $D_3, C_3; D_4, C_4$ ) bildad av en kondensator och ett element, som har diodfunktion. En frigångsdiod ( $D_5, D_6$ ) är kopplad parallellt med vardera brytarorganet. Genom insättning av en spole ( $L_1, L_2$ ) i brytarorganens matarlinjer begränsas strömökningen vid tillkoppling av brytarorganet. Sålunda åstadkoms en symmetrisk skyddskrets med lägsta möjliga ströinduktans. Den i spolarna ( $L_1, L_2$ ) lagrade energin och i kondensatorerna ( $C_1; C_2$ ) lagrade energin överförs till tilläggs-kondensatorerna ( $C_3; C_4$ ) på grund av resonansverkan. Energin i dessa tilläggs-kondensatorer kan sedan urladdas medelst energitransportorgan (ET). Skyddskretsen enligt uppfinningen är väsentligen förlustlös.

## Symmetrinen sähkösuojapiiri

Esillä oleva keksintö liittyy symmetriseen sähköiseen suojapiiriin, joka suojaa ainakin kahta sarjaan kytkettyä kytkinosaa, joiden päät, joita ei ole kytketty toisen toisiinsa, muodostavat positiivisen ja vastaavasti negatiivisen kytkentänavan tasajännitteen kytkemiseksi ainakin yhden kelan kautta, jolloin ainakin yksi ensimmäinen elementti, jolla on vastakkaissuuntaisesti kytketty dioditoiminta, ja ainakin yhden kondensaattorin ja ainakin yhden toisen elementin, jolla on tasajännitenapoihin nähden myötäsuuntaisesti kytketty dioditoiminta, muodostama sarjapiiri on kytketty vastaavasti kunkin kytkinosan rinnalle, kunkin sarjapiirin mainitun ainakin yhden kondensaattorin ollessa kytketty kytkinosien keskinäiseen kytkentäpisteeseen, suojapiirin ollessa varustettu välineillä kondensaattoreihin varastoidun energian purkamiseksi.

Tämän tyyppinen symmetrinen sähköinen suojapiiri on tunnettu kansainvälisen patenttihakemuksen WO-A-8 400 858 kuviosta 1.

Tässä tunnetussa suojapiirissä, joka on niinkutsuttua suoraa tai kytkinsuojatyyppiä, vastaavat kondensaattorit rajoittavat jännitteen nousua ( $dv/dt$ ) kytkinosien yli poiskytkennän aikana, ts. siirtymätilan aikana, jona ne tulevat johtamattomiksi, ja kela rajoittaa kytkinosien kautta kulkevan virran kasvua ( $di/dt$ ) päälle kytkennän aikana, ts. siirtymätilan aikana, jona ne tulevat johtaviksi. Ensimmäinen elementti, joka on kytketty vastaanpaistesti kunkin kytkinosan rinnalle ja jolla on dioditoiminta, toteuttaa "vapaakäyntidiodi"-toiminnon induktiivisen kuormituksen aikana ja estää kytkinosissa, sellaisissa kuten hilaohjatut (GTO) tyristorit, samanaikaisesti virran läpikulun kielletyissä suunnassa.

Tämän suoran tai kytkinsuojauksen lisäksi DE-patenttijulkaisu 2 639 589 edelleen selostaa epäsuoran tai

kuormasuojauksen periaatteen. Siinä on ainakin yhden kondensaattorin ja ainakin yhden toisen elementin, jolla on dioditoiminta, sarjaan kytkentä kytketty rinnan kuorman kanssa, vastakkaisesti kytkinsuojausosaan nähden. Ainakin  
5 yksi kela, joka rajoittaa virran kasvua, on sijoitettu tässä järjestelyssä syöttölinjalle sarjapiirin ja kuorman väliin.

Riippuen hajainduktanssista, joka väistämättä esiintyy syötössä ja piirin kytkennöissä, piirin elektronikkakomponenttien hajaitseinduktanssista sekä virran  
10 muutosnopeudesta kytkinosan poiskytkennän aikana esiintyy jänniteylitys syötön tasajännitteessä ja jännitepiikki itse kytkinosan yli.

Syötön sekä sen kytkentäosille menevien kytkentälinjojen hajainduktanssi voidaan kuvitella olevan korvattu  
15 ekvivalenttisella hajainduktanssilla syöttöpiirissä. Kytkinsuojauksen aikana tämä ekvivalenttinen hajainduktanssi vaikuttaa jännitteen ylitykseen, kun taas kuormasuojauksen tapauksessa se pääasiallisesti määrittää kytkinosien itsensä yli olevan jännitepiikin. Yhden kondensaattorin ja  
20 yhden toisen elementin, jolla on dioditoiminta, sarjaan kytkennän hajaitseinduktanssi samoin kuin niiden kytkentälinjojen hajainduktanssi sitä vastoin määrittää kytkinsuojauksen tapauksessa niihin liittyvän kytkinosan yli  
25 olevan jännitepiikin ja kuormasuojauksessa se määrittää syöttöjännitteen jänniteylityksen. Ainakin yhteen virtaa rajoittavaan kelaan varastoituneesta energiasta on seurausena jänniteylityksen kasvu syötön tasajännitteessä.

Kytkinsuojauksen tapauksessa ainakin yhden kondensaattorin ja toisen elementin, jolla on dioditoiminta,  
30 sarjaan kytkentä voi olla järjestetty niin lähelle kytkinosaa kuin mahdollista, jotta minimoidaan sen yli oleva jännitepiikki. Syöttöpiirin ekvivalenttista hajainduktanssia on paljon vaikeampi käytännössä kontrolloida siten,  
35 että kytkinosan yli oleva jännitepiikki on suurempi kuor-

masuojauksen tapauksessa kuin kytkinsuojauksen tapauksessa. Jännitteen ylitykselle pätee päinvastainen. Erityisesti käytettäessä puolijohdekytkimiä, sellaisia kuten GTO-tyristorit, kanavatransistorit (FET) ja bipolaari-transistorit, tällainen johtamattoman kytkinosan ylioleva jännitepiikki tai jännitteen ylitys voi johtaa sen läpilyöntiin, minkä seurauksena se voi vioittua. Erityisesti kuormasuojauksen tapauksessa tiettyjen poiskytkentävirtojen yläpuolella tulee mahdottomaksi, seurauksena suurista poiskytkentähäviöistä kytkinosissa, käyttää esimerkiksi GTO-tyristoreita.

Tässä tunnetussa symmetrisessä kytkinsuojapiirissä on väline, joka purkaa energian, joka on varastoitunut siihen liittyvään kondensaattoriin kytkettäessä kytkinosaa päällekytketystä tilasta päältä poiskytkettyyn tilaan, muodostuu vastuksesta, joka on kytketty rinnan jokaisen toisen, dioditoiminnan omaavan elementin rinnalle. Kulloisenkin kytkinosan toistetun päällekytkennän aikana tämä energia muutetaan tässä vastuksessa lämmöksi. Vastuksen ja diodin, joka on kytketty vastakkaissuuntaisesti suhteessa syöttölähteen tasajännitteeseen, sarjapiiri on kytketty rinnakkain syöttöpiirissä olevan kelan kanssa. Kytkinosien poiskytkennän aikana myös tähän kelaan varastoitunut energia muutetaan lämmöksi tässä rinnakkaisvastuksessa.

Kondensaattorien purkamisaika määritetään oleellisesti sillä liittyvällä vastuksella, jossa ne puretaan. Koska purkuvirta kulkee liittyvän kytkinosan kautta, tätä vastusta ei voida valita olemaan liian pieni, koska tämä on epäedullista kytkinosan kuormitettavuuteen. Toisaalta vastuksia ei voida valita liian suuriksi, koska purkaminen vie tällöin liian pitkän ajan, minkä seurauksena taajuus, jolla kytkinosaa voidaan kytkeä, pienenee. Siksi kondensaattorit suojaavat kytkinosia optimaalisesti vain liian suurta jännitteen kasvua vastaan, kun niitä puretaan.

Nykyisellä keksinnöllä on päämääränä aikaansaada

oleellisesti häviötön symmetrinen suojapiiri, jolla samanaikaisesti tehokkaasti pienennetään jänniteylityksiä tunnetun suojapiirin syöttöjännitteessä. Tämä saavutetaan sellaisella tavalla, että suojapiirissä on jokaista kytkinosaa varten ainakin yhden lisäkondensaattorin ja ainakin yhden kolmannen elementin, jolla on tasajännite napoihin nähden myötäsuuntaisesti kytketty dioditoiminta muodostama lisäsarjapiiri, joka on kytketty vastaavasti ainakin yhden kondensaattorin ja ainakin yhden toisen elementin, jolla on yhteen kytkinosaan liittyvän sarjapiirin dioditoiminta, kytkentäpisteen ja toiseen kytkinosaan liittyvän tasajännitenavan väliin, kaiken tämän ollessa suoritettu sellaisella tavalla, että saavutetaan suojapiiri, jolla on mahdollisimman pieni hajainduktanssi, ja jolloin välineet varastoituneen energian purkamiseksi on kytketty vastaaviin lisäkondensaattoreihin.

Välineet tallennetun energian purkamiseksi voi olla toteutettu tunnetulla tavalla käyttäen ainakin yhtä kytkinosaa, yhtä elementtiä, jolla on dioditoiminta, sekä yhtä kela, jolla lisäkondensaattoreihin varastoitunut energia voidaan panna hyödylliseen käyttöön tai palauttaa syöttölähteeseen.

Seurauksena keksintö aikaansaa symmetrisen suojapiirin, jolla on pieni hajainduktanssi ja joka toisaalta aikaansaa suojauksen, kytkinosien rinnalle kytkettyjen kondensaattorien kautta, kytkinosien itsensä yli tapahtuvaa liian suurta jännitteen kasvua vastaan ja joka toisaalta tehokkaasti rajoittaa, lisäkondensaattorien avulla, kytkinosien yli olevan syöttötasajännitteen suuruutta. Sisällyttämällä ainakin yksi kela kytkinosien yhteyteen saadaan tehokas suojaus liian suurta virran kasvua vastaan päällekytkennän aikana, jolloin sekä tähän ainakin yhteen kelaan varastoitunut energia että kytkinosien rinnalle kytkettyihin kondensaattoreihin varastoitunut energia siirretään lisäkondensaattoreihin kytkennän aikana re-

sonanssi-ilmiön seurauksena, niin että piiriin, jossa energia muutetaan lämmöksi, ei ole tarpeen sisällyttää lainkaan vastuksia. Näihin lisäkondensaattoreihin varastoitu energia voidaan sitten palauttaa energian siirtovälineiden avulla sopivalla tavalla tasajännitteen syöttölähteeseen. Keksinnön mukainen suojapiiri on täten oleellisesti häviötön.

Kyetäkseen varastoimaan sekä niiden kondensaattorien energian, jotka on kytketty kytkinosien rinnalle, että piirissä olevan ainakin yhden virrankasvua rajoittavan kelan energian, lisäkondensaattoreilla on suurempi arvo kuin kytkinosien rinnalle kytketyillä kondensaattoreilla. Symmetriavaatimusten vuoksi on virran kasvua rajoittava kela edullisesti sisällytetty kahteen kytkinösiin liittyviin kytkentänapoihin tapahtuvaan tasajännitekytkentään.

Toisin kuin tekniikan tason mukaisella symmetrisellä suojapiirillä on keksinnön mukaisella suojapiirillä lisäksi se etu, että seurauksena yhden kytkinosan tulemisesta johtamattomaksi kondensaattori, joka on kytketty rinnan toisen kytkinosan kanssa, puretaan näiden kahden kytkinosan kytkentäpisteeseen kytketyn kuorman kautta, niin että purkuvirta ei kulje siihen liittyvän kytkinosan läpi, kun viimeksi mainittu tulee johtavaksi, ja taajuus, jolla kytkinosat voidaan kytkeä, voi olla suurempi, koska niihin liittyvät kondensaattorit puretaan aikaisemmin.

On mainittu, että patenttijulkaisu WO-A-8 400 858 selostaa myös epäsymmetrisen, häviöttömän suojapiirin kahden kytkinosan sarjakytkentää varten, mutta siinä kondensaattori on kytketty rinnan nimenomaan vain yhden kytkinosan kanssa ja vain yksi lisäkondensaattori on lisätty vastaanottamaan virran kasvua rajoittavaan kelaan ja ensinnä mainittuun kondensaattoriin varastoituneen energian. Yrityksenä on suojata molemmat kytkinosat tällä epäsymmetrisellä suojapiirillä, joka periaatteeltaan on kytkinsuo-

jauksen ja kuormasuojauksen yhdistelmä. Keksinnön mukaisen piirin toiminnan yksityiskohtainen tutkiminen vertaamalla tähän tunnettuun piiriin osoittaa, että keksinnön mukaisessa piirissä kytkinosien rinnalle kytketyn sarjapiirin kondensaattorit ovat samanaikaisesti aktiivisia siirrettäessä virtaa kuorman läpi kytkinosan poiskytkennän aikana. Näillä kondensaattoreilla voi tämän vuoksi olla pienemmät dimensiot kuin vertailtavassa sovellutuksessa mainitussa epäsymmetrisessä piirissä ja tämän vuoksi niillä on pienempi hajaitseinduktanssi. Lisäksi, kuten yllä jo mainittiin, epäsymmetrisessä piirissä yksi kytkinosista suojataan kuormasuojalla. Tämän kytkinosan yli esiintyy tämän vuoksi suurempi jännitepiikki kuin keksinnön mukaisen symmetrisen piirin tapauksessa.

Kytkenän aikana kytkinosien yli kerääntynyt energia jaetaan keksinnön mukaisessa symmetrisessä suojapiirissä kahden kondensaattorin yli, kun taas epäsymmetrisessä suojapiirissä kaikki energia pitää varastoida yhteen suurempaan kondensaattoriin.

Tästä symmetriasta johtuen keksinnön mukainen suojapiiri on erityisen sopiva sovellettavaksi yhdistelmänä hyvin suurinopeuksisten kytkentäpuolijohde-elementtien, kuten GTO-tehotyristorit tai tehotransistorit, kanssa. Keksinnön mukaisen symmetrisen suojapiirin lisäedut ja -käytöt mm. invertterissä, jossa on kolme ulostulojännitetasoa, ja kolmivaihepiirissä sekä sen toiminta tullaan selostamaan yksityiskohtaisemmin seuraavassa tekstissä viitaten esimerkinomaisiin suoritusmuotoihin, jotka on esitetty piirroksissa, joissa:

Kuvio 1 esittää esimerkin yksinkertaisesta kytkinsuojapiiristä yhden kytkinosan suojaamiseksi.

Kuvio 2 esittää esimerkin yksinkertaisesta kuormasuojapiiristä yhden kytkinosan suojaamiseksi.

Kuvio 3 esittää, kiinteillä ja katkoviivoilla, jännitteen vaihtelunkulun kuvion 1 ja vastaavasti kuvion 2

kytkinosan yli sen poiskytkennän aikana.

Kuvio 4 esittää tunnetun symmetrisen kytkinsuoja-piirin, joka on muodostettu kahdesta kuvion 1 mukaisesta piiristä.

5 Kuvio 5 esittää yksinkertaisen piirin piirissä ja yhdessä tai kahdessa virran kasvua rajoittavassa kelassa esiintyvän hajainduktanssin aiheuttaman jänniteylityksen rajoittamiseksi.

10 Kuvio 6 esittää keksinnön mukaisen symmetrisen suojapiirin ensisijaisen suoritusmuodon.

Kuvio 7 esittää mahdollisen suoritusmuodon piiristä, joka purkaa lisäkondensaattoreihin varastoituneen energian.

15 Kuviot 8 - 10 esittävät virran kulun kuvion 6 mukaisen piirin läpi kytkinosien eri tiloissa.

Kuvio 11 esittää keksinnön mukaisen symmetrisen, kolmivaiheisen suojapiirin ensisijaisen suoritusmuodon.

20 Kuvio 12 esittää keksinnön mukaisen suojapiirin ensisijaisen suoritusmuodon piirissä, joka aikaansaa kolmitasoisen ulostulojännitteen.

Kuvio 1 antaa esimerkin niinkutsutusta häviöitä sisältävästä kytkinsuojasta. Jännitelähde  $U_{dc}$  muodostaa piirin syötön ja sitä usein edustaa kondensaattori (ei esitetty). Kuorma  $Z_L$  on kytketty sarjaan kytkinosan  $S_1$  kanssa jännitelähteeseen. Piirille tulevien syöttölinjojen ekvivalenttinen hajainduktanssi  $L_s$  ja syötössä  $U_{dc}$  oleva hajainduktanssi on myös sisällytetty tähän sarjapiiriin. Vapaakäyntidiodi  $D_L$  on kytketty vastakkaissuuntaisesti suhteessa syöttöjännitteeseen kuorman  $Z_L$  rinnalle, jonka oletetaan olevan induktiivinen. Suojapiiri koostuu diodin  $D_1$  ja vastuksen  $R_1$  rinnakkaispiiristä, joka on sarjassa kondensaattorin  $C_1$  kanssa. Suojapiiri on kytketty rinnan kytkinosan  $S_1$  kanssa. Selvyyden vuoksi kytkinosa on piirretty mekaanisena kytkimenä, mutta kuten johdannossa jo mainittiin, tämä voi tietenkin olla myös puolijohdekytkin, kuten

25

30

35

GTO-tyristori, FET- tai bipolaari-transistori. Piiri toimii seuraavasti.

5 Kun kytkinosa  $S_1$  on kytketty päälle, ts. kun se on johtavassa tilassaan, kondensaattori  $C_1$  puretaan täydellisesti vastuksen  $R_1$  kautta. Kondensaattoriin  $C_1$  varastoitunut energia kulutetaan tällöin lämpönä vastuksessa  $R_1$ . Kun kytkinosa  $S_1$  kytkeytyy pois päältä, ts. siirtyy johtamattomaan tilaan, kondensaattorin  $C_1$  ylioleva jännite tulee täten olemaan yhtä suuri kuin 0.

10 Kuorman  $Z_L$ , jonka käyttäytymistä poiskytkentähetkellä voidaan abroksimoida virtalähteellä, induktiivisen luonteen seurauksena virta pystyy kulkemassa piirissä, kun kytkinosa  $S_1$  on kytketty pois päältä. Tämä tarkoittaa, että virta  $i$ , joka kulki ensiksi kytkinosan  $S_1$  kautta, täytyy  
15 tällöin ottaa diodilla  $D_1$ , joka on sarjassa kondensaattorin  $C_1$  kanssa. Jänniteaaltomuoto, joka tuotetaan kytkinosan  $S_1$  yli sen poiskytkennän aikana, on esitetty kiinteällä viivalla kuviossa 3. Hetkellä  $t_0$  kytkentäosa alkaa kytkeytyä pois ja hetkellä  $t_1$  se on täydellisesti kytkeytynyt pois  
20 päältä. Heti poiskytkentymisen jälkeen on kytkinosan yli jännitepiikki, jolla on maksimiarvo  $V_{DP}$ . Koska kondensaattorin  $C_1$  ylioleva jännite ei voi äkillisesti muuttua, on tarpeen etsiä tämän jännitepiikin aiheuttajaa hajainduktanssista piirissä, jonka muodostaa  $S_1$ - $D_1$ - $C_1$ . Jännitepiikin  
25 maksimiarvon  $V_{DP}$  suuruus on, tämän hajainduktanssin suuruuden lisäksi, riippuvainen myös nopeudesta, jolla kytkinosa  $S_1$  kytkeytyy, ts. virran muutoksesta aikayksikköä kohti,  $di/dt$ . Kun tämä virta otetaan kondensaattorilla  $C_1$  ja diodilla  $D_1$ , kytkinosan  $S_1$  ylioleva jännite  $U_{S1}$  kasvaa lineaarisesti käyttöjännitteeseen  $U_{DC}$  asti. Tällä hetkellä kuorman  $Z_L$  läpikulkeva virta otetaan sen vapaakäyntidiodilla  $D_1$   
30 ja jännitteessä  $U_{S1}$  esiintyy ylitys, koska hajainduktanssiin, jolla on suuruus  $1/2 L_s i^2$ , varastoitunut energia siirretään kondensaattoriin  $C_1$ . Induktiivisen kuorman  $Z_L$   
35 kauttakulkeva virta voi jatkaa kulkemistaan sen vapaakäyn-

tidiodin  $D_L$  kautta. Kondensaattori  $C_1$  puretaan jälleen vastuksen  $R_1$  kautta alas syöttöjännitteeseen  $U_{DC}$ , kuten voidaan nähdä kiinteästä viivasta kuviossa 3, ja kondensaattori pysyy tämän jälkeen varattuna tähän arvoon.

5            Koska piirissä  $S_1$ - $D_1$ - $C_1$  on aina läsnä hajaitseinduktanssia, jännitepiikki, josta on seurauksena poiskytkentähäviöitä, esiintyy aina suurilla  $di/dt$  arvoilla kytkinosan  $S_1$  poiskytkennän aikana. Näiden poiskytkentähäviöiden pitämiseksi alhaisina on tämän vuoksi tärkeää pitää hajainduktanssi näissä piireissä niin pienenä kuin mahdollista. Jotta lisäksi rajoitetaan jännitteen ylitystä kytkinosan  $S_1$  yli niin paljon kuin mahdollista, on tarpeellista pitää ekvivalenttinen hajainduktanssi  $L_e$  niin pienenä kuin mahdollista.

15            Jotta rajoitetaan virran kasvua kytkinosan  $S_1$  päällekytkennän aikana, sijoitetaan käytännössä yleensä piirin syötön kanssa sarjaan kela, esimerkiksi kela  $L_1$ , joka on esitetty katkoviivoilla kuviossa 1. Tällä kelalla on vapaakäyntireitti sen kanssa rinnan kytketyn sarjapiirin  
20            kautta, joka muodostuu diodista  $D_C$ , joka on vastakkaisuuntainen suhteessa syöttöjännitteeseen, ja vastuksesta  $R_C$ . Vastuksen  $R_C$  vuoksi virta kelan  $L_1$  läpi pienenee palautumisen aikana. Kelan ylioleva jännite kasvattaa tällöin jännitteen ylitystä syötön tasajännitteessä. Kela  $L_1$  ei ole  
25            välttämätön kaikissa sovellutuksissa. Tämä riippuu muunmuassa nopeudesta, jolla kytkinosa  $S_1$  kytkeytyy.

             Kuvio 2 antaa esimerkin niinkutsutusta häviöitä sisältävästä kuormasuojauksesta. Komponentit, joilla on samat symbolit, vastaavat kuviossa 1 esitettyjä. Suojapiiri  
30             $D_1$ ,  $C_1$ ,  $R_1$  on kytketty rinnan induktiivisen kuorman  $X_L$  kanssa, jolla on vapaakäyntidiodi  $D_L$ . Piiri toimii seuraavasti.

             Kun kytkinosa  $S_1$  on kytketty päälle, kondensaattori  $C_1$  varataan vastuksen  $R_1$  kautta. Samaan aikaan energiaa  
35            kulutetaan vastuksessa  $R_1$ . Jänniteaaltomuoto  $U_{s1}$ , joka tuo-

tetaan kytkinosan  $S_1$  yli sen poiskytkennän aikana, on esitetty katkoviivalla kuviossa 3. Hetkellä  $t_0$  kytkin  $S_1$  alkaa kytkeytyä pois ja hetkellä  $t_1$  se on kytkeytynyt täydellisesti pois päältä. Heti poiskytkemisen jälkeen esiintyy

5 kytkinosan yli jälleen jännitepiikki, mutta nyt maksimiarvolla  $V'_{DP}$ . Sen suuruuden määrittää hajaitseinduktanssi piirissä, jonka muodostavat  $S_1$ - $C_1$ - $D_1$ - $L_s$  missä  $L_s$  jälleen edustaa syötön sekä kuormalle ja kytkinosalle menevien kytkentälinjojen ekvivalenttista hajainduktanssia, sekä

10  $di/dt$ :n arvo  $S_1$ :n poiskytkennän aikana. Päinvastoin kuin kuvion 1 piirissä  $L_s$  on nyt sijoitettu piiriin, joka määrittää jännitepiikin, jonka seurauksena  $V'_{DP}$  on suurempi kuin  $V_{DP}$ , jolloin poiskytkentäolosuhteet ovat samat kuin kuvion 1 piirissä, kuten kuviossa 3 on esitetty.

15 Kun kytkinosa on kytketty päältä ja  $C_1$ - $D_1$  ottaa kuorman läpikulkevan virran  $i$ , jännite  $U_{S_1}$  kasvaa lineaarisesti syöttöjännitteeseen  $U_{DC}$  jännitepiikin jälkeen. Tällä hetkellä kuorman  $Z_L$  läpikulkeva virta hoidetaan sen omalla vapaakäyntidiodilla  $D_L$ . Tämä piiri esittää hyvin pienen

20 jännitteenylityksen, koska hajaitseinduktanssi piirissä  $C_1$ - $D_1$ - $D_2$  on pieni. Vaikka sitä ei ole esitetty piirroksessa, voidaan tähän piiriin sisällyttää myös virran kasvua rajoittava kela  $L_1$ , jolla on sen rinnalle kytkettynä sarjapiiri, jonka muodostaa vastus  $R_c$  ja diodi  $D_c$ , joka on

25 kytketty vastakkaissuuntaisesti suhteessa syöttöjännitteeseen. Tämän virran kasvua rajoittavan kelan  $L$  alaindeksi 1 pitäisi olla tässä tapauksessa sisällytetty kytkentälinjaan välillä  $R_1$ - $D_1$  ja kuorma  $Z_L$ .

Verrattaessa kuormasuojaa kytkinsuojaan on huomion

30 arvoista, että edellisellä on yleensä suurempi jännitepiikki, joka määrittää sen eneoiffin. Tätä suurempaa jännitepiikkiä ei aiheuta ainoastaan ekvivalenttiseen hajainduktanssiin  $L_s$  varastoitunut energia, joka kulutetaan kytkinosassa, vaan myös fyysiset dimensiot suojapiirin ja

35 kuorman välisissä kytkentälinjoissa, jotka ovat suurempia

kuin kytkinsuojassa, mistä on seurauksena piirin suurempi hajainduktanssi. Erityisesti suurinopeuksisten kytkinosen, sellaisten kuten GTO-tyristorit, tapauksessa, jossa esiintyy suuri  $di/dt$ , kuten jo mainittiin johdannossa, tulee mahdottomaksi käyttää kuormasuojasta tiettyjen poiskytkentävirtojen yläpuolella, mikä on seurausta suu-  
5 rista poiskytkentähäviöistä kytkinosissa.

Niiden rajoitusten valossa, jotka kuormasuojaus aiheuttaa poiskytkettävän virran suuruudelle, erityisesti  
10 suurella nopeudella kytkevien kytkinosen yhteydessä, kohdistetaan huomio seuraavassa tekstissä myös kytkinsuojan parantamiseen.

Yllä selostettu suojapiiri voi myös olla kaksinkertaisesti suunniteltu, siltapiirinä, niin että kuorma voidaan vuorotellen liittää syöttölähteen  $U_{DC}$  positiivisiin ja negatiivisiin kytkentänapoihin esimerkiksi invertteritoimintaa varten. Piiri on tällöin kuviossa 4 esitetyn kal-  
15 tainen ja vastaa tekniikan tason mukaista symmetristä kytkinsuojaa. Tähän piiriin on sisällytetty kaksi kytkinosaa  $S_1$  ja  $S_2$  sarjapiiriksi, kummallakin ollessa oma suojapiirinsä. Kela  $L_1$  palvelee jälleen virran kasvun rajoittamista kytkinosen päällekytkemisen aikana. Piirin toiminta on periaatteessa sama kuin yhden kytkinosen tapauksessa, sillä ehdolla, että kytkinosa kytketään vuorotellen. Näiden  
20 kahden kytkinosen kytkentäpiste muodostaa piirin ulostulon, johon kuorma voi olla kytketty. Kuviossa 1 esitetty vapaakäyntidiodi  $D_L$  on korvattu, kuviossa 4 esitetyssä piirissä, diodilla  $D_5$  ja vastaavasti  $D_6$ , joka on kytketty kunkin kytkinosen rinnalle.

Yllä selostettujen yksin- tai kaksinkertaisten suojapiirien suurin epäkohta on se tosiasia, että kondensaat-  
30 toreihin  $C_1$  tai  $C_2$  varastoitu energia kulutetaan vastuksessa siihen liittyvän kytkinosen päällekytkemisen aikana. Kelaan  $L_1$  varastoitu energia kulutetaan vastuksessa  $R_c S_{1:n}$  tai  $S_{2:n}$  poiskytkemisen aikana. Kuten jo johdannossa il-

maistiin vastuksien  $R_1$ ,  $R_2$  arvoa ei voida valita liian pieneksi niihin liittyvään kytkinosaan sen päällekytkemisen aikana kohdistuvan liian suuren kuormituksen vuoksi. Näiden vastusten liian suuri arvo merkitsee sitä, että kondensaattorit puretaan liian hitaasti, mikä kuten mainittiin pienentää taajuutta, jolla kytkinosat voidaan kytkeä. Tämä piiri ei lisäksi anna mitään suojaa hajainduktanssiin  $L_s$  ja vastuksen  $R_c$  aiheuttamaa jännitteen ylitystä vastaan. Kaikki hajainduktanssiin  $L_s$  varastoitunut energia ja vastuksen  $R_c$  ylioleva jännitepudotus yhdessä muodostavat jännitteen ylityksen, josta voi olla seurauksena läpilyönti päältä pois kytketyn kytkinosan yli, erityisesti esimerkiksi puolijohdekytkimien tapauksessa, sekä kaikki tähän liittyvät haitalliset seuraukset.

Yksinkertainen ja käyttökelpoinen tapa jännitteen ylityksen rajoittamiseksi on käyttää ylijännitesuojaa tai niinkutsuttua leikkauspiiriä. Esimerkki hyvin yksinkertaisesta leikkauspiiristä on esitetty kuviossa 5. Kuorman  $Z_L$  ja kytkinosan  $S_1$  muodostaman sarjapiirin rinnalle on kytketty lisäsarjapiiri, joka käsittää kondensaattorin  $C_3$  ja diodin  $D_3$ , joka on kytketty myötäsuuntaisesti suhteessa syöttävään tasajännitteeseen  $U_{DC}$ . Tämä sarjapiiri muodostaa leikkauspiirin.

Leikkauspiirin kondensaattori  $C_3$  on suhteellisen suuri verrattuna kondensaattoriin  $C_1$ . Diodin  $D_3$  vuoksi kondensaattori  $C_3$  pysyy vakiojännitteessä  $U_c$ , joka on suurempi kuin  $U_{DC}$ . Kun leikkauspiirin ylioleva jännite tulee suuremmaksi kuin kondensaattorin  $C_3$  ylioleva jännite, diodi  $D_3$  alkaa johtaa, niin että kuorman ja kytkinosan ylioleva jännite pidetään arvossa  $U_c$ . Tämä tarkoittaa, että kytkinosan yliolevan jännitteen  $U_{AB}$  suuruus rajoitetaan leikkauspiirin avulla. Hajainduktanssiin  $L_s$  ja kelaan  $L_1$  varastoitunut energia syötetään sitten kondensaattoriin, minkä seurauksena  $L_1$ :n ei tarvitse olla varustettuna vapaakäyntipiirillä. Kondensaattorin  $C_3$  varastoitunut energia täytyy

tavalla tai toisella purkaa, esimerkiksi palauttamalla se tasajännitelähteeseen. Välineitä tämän energian purkamiseksi ei ole esitetty kuviossa 5.

Keksinnön mukaisessa piirissä ainakin kaksi näitä leikkauspiirejä ja tekniikan tason mukainen symmetrinen suojapiiri on integroitu sellaisella tavalla, että kytkin-  
 5 osiin liittyviin kondensaattoreihin varastoitunut energia ja käytetyn virran kasvua rajoittavan kelan (kelojen) energia syötetään kytkennän aikana vastaavien leikkauspiirien kondensaattoreihin, minkä seurauksena ei tarvitse  
 10 käyttää vastusta, jossa tämä energia kulutetaan. Tästä on seurauksena oleellisesti häviötön suojapiiri. Koska keksinnön mukaisessa piirissä on kytkinosaan kytkemisen aikana aina aktiivisena kaksi piiriä, saavutetaan väistämättömän hajaitseinduktanssin vaikutuksen tehokas pieneneminen.  
 15 Keksinnön mukaisen piirin edullinen suoritusmuoto on esitetty kuviossa 6.

Tavalla, jolla saavutetaan mahdollisimman pieni induktanssi, on vapaakäyntidiodi  $D_5$ ,  $D_6$  ja sarjapiiri, joka  
 20 muodostuu diodista ja kondensaattorista  $D_1$ ,  $C_1$  ja vastaavista  $D_2$ ,  $C_2$  kytketty kunkin kytkinosan  $S_1$ ,  $S_2$  rinnalle. Kukin kondensaattoreista  $C_1$  ja  $C_2$  on tämän vuoksi kytketty yhdestä päästään näiden kahden kytkinosan  $S_1$ ,  $S_2$  kytkentäpisteeseen C. Leikkauspiiri, joka muodostuu diodista  $D_3$  ja  
 25 kondensaattorista  $C_3$ , on kytketty diodin  $D_1$  ja kondensaattorin  $C_1$  kytkentäpisteeseen ja negatiivisen kytkentänavan B väliin. Samalla tavoin leikkauspiiri, joka muodostuu kondensaattorista  $C_4$  ja diodista  $D_4$ , on kytketty kytkentänavan A ja sarjapiirin, joka muodostuu kondensaattorista  $C_2$  ja  
 30 diodista  $D_2$ , kytkentäpisteeseen väliin. Hajainduktanssin pientämiseksi piirissä niin pienenä kuin mahdollista pitäisi erilaisten diodien ja kondensaattoreiden olla fyysisesti kytketty niin lähelle vastaavia kytkinosia kuin mahdollista. Pieni hajainduktanssi on täysin välttämätön, kun suuria virtoja täytyy kytkeä pois suurella nopeudella.  
 35

Välineet ET (energian siirto) on kytketty kondensaattoreihin  $C_3$  ja  $C_4$  purkamaan näihin kondensaattoreihin varastoitunut energia hyödyllisellä tavalla. Välineet ET voi olla toteutettu erilaisilla tavoilla, esimerkiksi sitten kuin on esitetty kuviossa 7. Syöttöpiirit voivat lisäksi sisältää kaksi virran kasvua rajoittavaa kela  $L_1$  ja  $L_2$ . Useamman kuin yhden virran kasvua rajoittavan kelan käyttö riippuu siitä käytöstä, johon piiri ollaan panemassa, nopeudesta, jolla kytkinosat kytkeytyvät päälle, ja sen kuorman tyypistä, joka on kytketty näiden kahden kytkinosan  $S_1$  ja  $S_2$  kytkentäpisteeseen C. Piirin tyydyttävää toimintaa varten on oleellisen tärkeää, että virran kasvua rajoittava kela (kelat)  $L_1$ ,  $L_2$  on kytketty yhdestä päästään syötön tasajännitteeseen ja toisesta päästään vastaavasti lisäkondensaattoreihin  $C_4$ ,  $C_3$ .

Diodien ja kondensaattoreiden  $C_3$ ,  $D_3$  ja  $C_4$ ,  $D_4$  ei välttämättä tarvitse olla kytkettynä kuviossa 6 esitetyssä järjestyksessä kytkentänapoihin B, A tasajännitettä varten. Diodi  $D_3$  ja kondensaattori  $C_3$  voivat esimerkiksi vaihtaa paikkaa, kuten voivat myös diodi  $D_4$  ja kondensaattori  $C_4$ . Kondensaattoreilla  $C_3$  ja  $C_4$  täytyy tietenkin olla sellainen kapasitanssi, että ne kykenevät varastoimaan kondensaattoreihin  $C_1$  ja  $C_2$  sekä virran kasvua rajoittavaan kelaan (keloihin)  $L_1$ ,  $L_2$  varastoituneen energian.

Kuviossa 6 esitettyjen elementtien, joilla on diodisymboli, ei välttämättä tarvitse olla diodeja, vaan ne voi olla korvattu jollakin muulla elementillä, jolla on diodin toiminta, sellaisella kuten esimerkiksi diodina toimiva tyristori. Haluttaessa on myös mahdollista kytkeä useita elementtejä rinnakkain tai sarjaan, mikä pätee myös esitetyillä kondensaattoreilla. Kytkinosat  $S_1$  ja  $S_2$  voivat lisäksi muodostua useiden rinnakkainkytkettyjen kytkinosien muodostamista ryhmistä tai ne voi olla suunniteltu niinkutsutuiksi kaksitie-kytkimiksi. Kytkinosat voivat lisäksi muodostaa osan niinkutsutusta invertteripiiristä,

katkojapiiristä, DC/DC-muuttajista tai vastaavista.

Kuvio 7 esittää energian purkuvälineiden ET mahdollisen suoritusmuodon, jolloin kondensaattoreihin  $C_3$ ,  $C_4$  varastoitunut energia palautetaan jaksottaisesti tasajännitteeseen. Resonanssipiiri on muodostettu kytkinosien  $S_4$ ,  $S_5$  avulla, jotka tietenkin ovat edullisesti myös ohjattuja puolijohdekytkimiä, joiden kondensaattoreihin  $C_3$  ja vastavasti  $C_4$  sekä kelaan  $L_3$  tapahtuvan kytkemisen seurauksena energia siirretään kondensaattoreista kelaan. Kytkemällä relevantti kytkinosa jälleen pois hetkellä, jolla energia on sijoitettu  $L_3$ :een, resonanssipiiri keskeytetään ja  $L_3$  syöttää energiansa diodien  $D_7$ ,  $D_8$  kautta takaisin syöttölähteeseen  $U_{DC}$ , minkä jälkeen sykli voidaan toistaa. Takaisin  $U_{DC}$ :Hen syöttämisen sijasta on myös mahdollista syöttää tällä tavoin mielivaltaista tasavirtakuormaa, esimerkiksi tuuletinta piirin pakkojäähdytystä varten.

Keksinnön mukaisen piirin toimintaa havainnollistetaan nyt viitaten kuvioihin 8 - 10. Näissä kuvioissa kuorman  $Z_L$  läpikulkeva ulostulovirta  $I_o$  on esitetty vain yhdessä suunnassa. Toiminta toisessa suunnassa on yhden mukainen suojapiirin symmetrian vuoksi. Kuten jo ilmaistiin, kuorman  $Z_L$  oletetaan olevan luonteeltaan hyvin induktiivinen. Kuorman  $Z_L$  aikavakion oletetaan olevan niin suuri, että kuormaa voidaan kytkennän aikana pitää käytännössä virtalähteenä. Yksinkertaisuuden vuoksi energian purkuvälineet ET on jätetty pois.

Kuvitellaan tilanne, jossa kytkinosa  $S_1$  on kytketty päälle ja kytkinosa  $S_2$  on kytketty pois. Kondensaattorit  $C_3$  ja  $C_4$  varataan jännitteeseen  $U_c$  juuri kuten kondensaattori  $C_2$ , joka varataan  $S_1$ :n ja  $D_2$ :n kautta jännitteeseen  $U_c$ , jolloin  $U_c$  on suurempi kuin  $U_{DC}$ . Kondensaattori  $C_1$  on purettu. Kytkinosa  $S_1$  kytketään tämän jälkeen pois ja kytkinosa  $S_2$  kytketään päälle, jolloin oletetaan, että  $S_2$  ei kytkeydy päälle ennen kuin  $S_1$  siirtyy johtamattomaan tilaan. Tämän saavuttamiseksi on  $S_1$ :n poiskytkemisen ja  $S_2$ :n päällekytke-

misen välillä lyhyt aikaviive. Tästä aikaviiveestä johtuen saattaa ulostulojännitteellä olla kaksi erilaista mahdollisuutta vaihtaa etumerkkiä, nimittäin

5 a) induktiivinen virta kuorman  $Z_L$  läpi on niin suuri, että ulostulojännite muuttaa merkkiään viiveajan aikana, ja

b)  $S_2$  kytkeytyy päälle ennen kuin ulostulojännite on tullut pieneksi.

10 Oletetaan, että kytkinosa  $S_1$  kytkeytyy hyvin nopeasti (ideaalisesti).

Tarkastelkaamme nyt tilannetta, joka on esitetty kohdassa a.  $S_1$ :n poiskytkemisen jälkeen virran kulku, joka on esitetty paksuilla kiinteillä viivoilla kuviossa 8, saadaan lyhyen ajan jälkeen suojapiiriin. Kaksivirtatietä, 15 nimittäin ensimmäinen virtatie, jonka hajaitseinduktanssi on hyvin pieni,  $D_1-C_1$ :n kautta ja toinen virtatie  $C_4-D_4-C_2$ :n kautta muodostaa suojapiirin, jolloin virrat kulkevat kuorman  $Z_L$  kautta takaisin jännitesyöttöön. Tässä vaiheessa kondensaattori  $C_1$  varataan ja  $S_1$  suojataan näin liian suur- 20 ta jännitteenkasvua vastaan, ja kondensaattori  $C_2$  puretaan kuorman  $Z_L$  kautta. Kuorman  $Z_L$  yli oleva jännite pienenee.

Niin pian kuin kuorman  $Z_L$  yli oleva jännite tulee nolllaksi, vapaakäyntidiodi  $D_6$  tulee johtavaksi. Tästä on seurauksena, että kuormaan  $Z_L$  varastoituneesta energiasta 25 johtuva virta jatkaa kulkemistaan tämän diodin  $D_6$  kautta, kuten on ilmaistu paksulla katkoviivalla kuviossa 8. Keloihin  $L_1$  ja  $L_2$  varastoitunut energia varastoidaan sitten värähtelevästi kondensaattoriin  $C_1$  ja kondensaattoriin  $C_4$ . Resonanssiipiirit muodostetaan tämän vuoksi seuraavasti

30

$$L_1 - [(D_1 - C_1) // (C_4 - C_4 C_2)] / -(D_6 // Z_L) - L_2$$

35

"//" ilmaistessa rinnan kytkentää. Näiden resonanssiipiirien saamiseksi on oleellista, että virran kasvua rajoittavat kelat  $L_1$  ja/tai  $L_2$  sisällytetään piiriin pai-

kassa, joka on esitetty kuvioissa.

Niin pian kuin kondensaattorin  $C_1$  ylioleva jännite tulee suuremmaksi kuin kondensaattorin  $C_3$  yli oleva jännite sekä kondensaattorin  $C_2$  yli oleva jännite vastaavasti tulee  
 5 yhtä suureksi kuin 0, diodit  $D_3$  ja  $D_2$  tulevat vastaavasti johtaviksi ja kytkinosien  $S_1$ ,  $S_2$  sarjapiirin ylioleva jännite  $U_{AB}$  on rajoitettu arvoon  $U_c$ , koska kondensaattorit  $C_3$  ja  $C_4$  on valittu niin suureksi, että tämän vaiheen aikana näiden kondensaattorien yliolevan jännitteen voidaan olet-  
 10 taa olevan vakion ja täten kytkinosien sarjapiirin ylioleva jännite on vakio. Virran kulku tässä tilanteessa on esitetty kuviossa 9. Tämän vaiheen aikana energia keloista  $L_1$  ja  $L_2$  tallennetaan lisäksi kondensaattoreihin  $C_3$  ja  $C_4$ .

Niin pian kuin kelojen  $L_1$  ja  $L_2$  läpikulkeva virta on  
 15 0, jännite  $U_{AB}$  palaa arvoon  $U_{DC}$  ja piiri tulee lepotilaan. Tässä tilanteessa kondensaattori  $C_1$  varataan jännitteeseen  $U_c$  ja kondensaattori  $C_2$  puretaan. Kun mainittu viiveaika on kulunut, kytkinosa  $S_2$  kytkeytyy päälle, minkä seurauksena virta, joka saattaa vielä kulkea kuorman  $Z_L$  vapaakäyntidiodin  $D_6$  läpi, riippuen kytkinosan tyypistä, alkaa tällöin  
 20 kulkea  $S_2$ :n läpi tai säilyä edelleen kulkemassa  $D_6$ :n läpi.

Tarkastellaan nyt kohdassa b selostettua tilannetta. Kondensaattorien yli olevat jännitteet ennen kytkinosan  $S_1$  poiskytketymistä ovat samat kuin yllä selostetussa  
 25 tilanteessa. Virran kulku, joka on esitetty paksuilla kiinteillä viivoilla kuviossa 8, saadaan myös tässä tapauksessa, kun  $S_1$  on kytketty pois. Kun kytkinosa  $S_2$  kytkeytyy päälle, virta, joka on esitetty paksulla katkovii-  
 valla kuviossa 8, alkaa kulkea sen läpi. Nyt esiintyy resonanssi-ilmiö, jolla kondensaattori  $C_1$  edelleen varataan ja kondensaattori  $C_2$  edelleen puretaan. Niin pian kuin  $C_1$ :n  
 30 yli oleva jännite tulee suuremmaksi kuin kondensaattorin  $C_3$  yli oleva jännite, tulee  $C_2$ :n yli oleva jännite vastaavasti yhtä suureksi kuin 0, diodit  $D_3$  ja  $D_2$  tulevat johtaviksi ja  
 35 tuotetaan kuvion 9 mukainen virran kulku. Piiri tulee le-

potilaan samalla tavoin kuin tilanteessa a selostettiin.

Kun piiri on tullut lepotilaan yllä mainituissa tilanteissa a ja b, kuten selostettiin, kytkinosan  $S_2$  poiskytkeminen ei aiheuta mitään muutosta, koska kuorman  $Z_L$  läpi kulkeva virta otetaan tällöin vapaakäyntidiodilla  $D_6$ .

Kun kytkinosa  $S_1$  tämän jälkeen kytkeytyy jälleen päälle, jännite  $U_{AB}$  tulee arvoon 0 voltia.  $S_1$ :n läpikulkeva virta kasvaa.  $L_1$ ,  $L_2$  rajoittavat virran kasvun gradienttia arvoon  $(di/dt)S_1 = U_{DC}/L_{1,2}$ . Kun virta  $S_1$ :n läpi on yhtä suuri kuin  $I_o$ , diodi  $D_6$  alkaa sulkeutua. Resonanssiipiiri muodostetaan tällöin  $L_1-S_1-[(C_1-D_3-C_3)/(C_2-D_2)]/-L_2$ . Tämän seurauksena  $C_1$  puretaan 0 volttiin ja  $C_2$  varataan arvoon  $U_c$ . Hetkellä, jona tämä tilanne saavutetaan,  $(D_1-D_3-C_3)/(C_4-D_4-D_2)$  rajoittaa jännitteen  $U_{AB}$  arvoon  $U_c$  (kuvio 10). Ylimääräinen energia keloista  $L_1$ ,  $L_2$  varastoidaan kondensaattoreihin  $C_3$ ,  $C_4$ . Virta kelojen  $L_1$ ,  $L_2$  läpi on yhtä suuri kuin  $I_o$ .

Kun, kuten käytännössä, kytkinosat muodostavat osan esimerkiksi kolmivaiheisesta invertteripiiristä, kuten on esitetty kuviossa 11, jossa elementtien numeroiden oikeanpuolimmainen indeksi vastaa kuvion 6 mukaisen piirin indeksia, kuorma kytketään vuorotellen pisteiden  $(AC)_i$  ja  $(BC)_i$ , jolloin  $i = 1, 2, 3 \dots$ , riippuen muiden kytkinosien tilasta. Tämä tarkoittaa, että virta voi tällöin kulkea kuorman läpi, joka on kytketty esimerkiksi pisteiden  $A_1$  ja  $C_1$  väliin, kun kytkinosa  $S_{12}$  on kytketty päälle.  $S_{12}$ :n poiskytkemisestä on tällöin seurauksena kondensaattorin  $C_{11}$  purkaminen samalla tavoin kuin yllä selostettiin kondensaattorille  $C_2$ . Kondensaattoriin  $C_{11}$  varastoitunut energia saapuu kondensaattoriin  $C_3$ , minkä seurauksena kytkinosaa  $S_{11}$  ei kuormiteta tällä purkuvirralla sen päällekytkemisen aikana. Kytkinosa  $S_{12}$  on suojattu purkukondensaattorillaan  $C_{12}$  liian suurta jännitteen kasvua vastaan.

Kuten yllä olevasta on ilmeistä, kaksi erillistä piiriä on samanaikaisesti aktiivisena kytkinosan poisky-

kemisen aikana. Tapauksessa, joka on selostettu kuvioissa 8 - 10, tilanne on se, että kun kytkinosa  $S_1$  on kytketty pois päältä,  $S_1$ :n suojapiiri on aktiivinen, ts. diodi  $D_1$  ja kondensaattori  $C_1$ , ja että  $S_2$ :n suojapiirin kondensaattori  $C_2$  on aktiivinen samaan aikaan leikkauspiirin kautta, joka muodostuu kondensaattorista  $C_4$  ja diodista  $D_4$ . Kondensaattorit  $C_1$  ja  $C_2$  ovat tämän vuoksi rinnakkain. Näiden erillisten kondensaattorien arvo voidaan tämän vuoksi periaatteessa valita pienemmäksi, mistä on seurauksena pienempi hajaitseinduktanssi (pienemmät dimensiot). Tätä voidaan kutsua primääriseksi ja sekundääriseksi kytkinsuojaukseksi. Primäärinen kytkinsuoja  $D_1$ ,  $C_1$  on hajainduktanssiltaan hyvin pieni ja tämän vuoksi rajoittaa jännitettä  $V_{DP}$  (kuvio 3) sekä siten kytkinhäviöitä kytkinosassa. Sekundäärinen kytkinsuoja  $C_4$ ,  $D_4$ ,  $C_2$  avustaa jännitteen kasvun rajoittamisessa jännitepiikin  $V_{DP}$  jälkeen ja päin vastoin.

Kuviossa 5 esitettyyn yksinkertaiseen leikkauspiiriin verrattuna keksinnön mukaisella piirillä on se etu, että koko leikkauspiirin yhden haaran, nimittäin  $C_4$  ja  $D_4$ , läpi kulkee jo virta ennen jännitteen leikkaamista, minkä seurauksena tämä leikkauspiiri omaa pienemmän jännitteenylityksen kuin kuvion 5 mukainen leikkauspiiri, koska min-käänlaista hetkellistä virtaa ei voi kulkea tämän leikkauspiirin läpi hajaitseinduktanssin seurauksena.

Keksinnön mukaisen suojapiirin kolmivaiheisessa toteutusmuodossa, joka on muodostettu kuviossa 11, kondensaattoreita  $C_3$  ja  $C_4$  käytetään yhdessä koko piiriä varten. Energian purkuvälineet ovat myös vain yhdenkertaisena tässä suoritusmuodossa, kuten virran rajoituskela (kelat)  $L_1$ ,  $L_2$ . On tietenkin mahdollista suunnitella kondensaattorit  $C_3$  ja  $C_4$  erikseen kumpaakin piiriä varten, vaikka se etu yhä säilyykin, että energian purkuvälineitä voidaan käyttää yhdessä kaikkia mainittuja kondensaattoreita varten.

Kuvio 12 esittää keksinnön mukaisen suojapiirin, jota on sovellettu niinkutsutussa invertterissä, joka voi

hyväksyä kolme potentiaalia ulostulossaan C, nimittäin positiivisen, nollan ja negatiivisen potentiaalin. Esitetty kytkentä itseasiassa koostuu kahdesta sarjaan kytketystä, kuvion 6 mukaisesta symmetrisestä suojapiiristä, diodien  $D_{12}$ ,  $D_{21}$  ja kytkinosien  $S_{12}$ ,  $S_{21}$  välisen suoran kytkennän ollessa kuitenkin katkaistu. Sekä diodien  $D_{12}$ ,  $D_{21}$  kytkentäpisteen että kondensaattorien  $C_{11}$ ,  $C_{12}$  kytkentäpisteen väliin sekä kondensaattorien  $C_{21}$ ,  $C_{22}$  kytkentäpisteen väliin on kytketty diodi D, ja vastaavasti  $D'$ , vastakkaissuuntaisesti suhteessa tasajännitenapaan. Piirin ulostulo muodostetaan kytkinosien  $S_{12}$  ja  $S_{21}$  kytkentäpisteellä C. Ulostulo tulee positiiviseksi, kun  $S_{11}$  ja  $S_{12}$  on kytketty päälle, ulostulo tulee nolllaksi, kun  $S_{12}$  ja  $S_{21}$  on kytketty päälle sekä  $S_{11}$  ja  $S_{22}$  on kytketty pois, ja ulostulo tulee negatiiviseksi, kun  $S_{21}$  ja  $S_{22}$  on kytketty päälle.

$D_{11}$ ,  $C_{11}$  muodostavat  $S_{11}$ :n kytkinsuojan,  $D_{21}$  ja  $C_{21}$  muodostavat  $S_{12}$ :n kytkinsuojan,  $D_{12}$  ja  $C_{12}$  muodostavat  $S_{21}$ :n kytkinsuojan ja  $D_{22}$  ja  $C_{22}$  muodostavat  $S_{22}$ :n kytkinsuojan. Piiri toimii seuraavasti.

Oletetaan, että kytkinosat  $S_{11}$  ja  $S_{12}$  on kytketty päälle, niin että ulostulossa C on positiivinen potentiaali. Kondensaattorit  $C_{11}$  ja  $C_{21}$  on tällöin purettu ja kondensaattorit  $C_{12}$  ja  $C_{22}$  on varattu jännitteeseen  $U_c$ . Kytkettäessä ulostulo C positiivisesta potentiaalista 0 potentiaaliin  $S_{11}$  kytketään pois ja  $S_{12}$  pysyy kytkettynä päälle. Virta, joka kulkee  $S_{11}$ :sta läpi, otetaan sen suojapiirillä  $D_{11}$  ja  $C_{11}$ , jossa on rinnan kytketyt piirit, jotka  $C_{14}$ - $D_{14}$ - $C_{12}$  muodostaa. Kuten yllä selitettiin, kondensaattori  $C_{11}$  varataan ylös arvoon  $U_c$  ja kondensaattori  $C_{12}$  puretaan 0 volttiin.  $S_{11}$ :sta yli oleva jännite rajoitetaan sen leikkauspiirillä, joka muodostuu kytkennästä  $C_{14}$ - $D_{14}$ - $D_{12}$  ja joka on jännitteen  $U_c$  leikkauspiirin  $D_{11}$ - $D_{13}$ - $C_{13}$  rinnalla. Kuorman läpi kulkeva virta kulkee sitten 0 navasta diodin D, ja  $S_{12}$ :n kautta.  $S_{21}$  kytketään tämän jälkeen päälle, niin että virta voi kulkea 0-napaan ja siitä pois.

Kytettäessä ulostulo C nollapotentialista aloi-  
tustasolle, jolla on negatiivinen potentiaali,  $S_{12}$  kytke-  
tään pois. Jos  $S_{12}$ :n läpi yhä kulkee virta, tämä virta  
saattaa kulkea edelleen piirin kautta, jonka  $D_{21}-C_{21}-D_{25}$  muo-  
5 dostaa yhdessä sen rinnalle kytketyn piirin kanssa, jonka  
 $C_{24}-D_{24}-C_{22}-D_{25}$  muodostaa. Tämän prosessin aikana kondensaattori  
 $C_{21}$  varataan jännitteeseen  $U_c$  ja kondensaattori  $C_{22}$   
puretaan 0 volttiin. Kun tämä tilanne saavutetaan, rinnak-  
kainen leikkauspiiri  $C_{24}-D_{24}-D_{22}-D_{26}-D_{25}$  ja vastaavasti  $D_{21}-D_{23}-$   
10  $C_{23}-D_{26}-D_{25}$  tulevat toimiviksi, niin että poiskytketyn kyt-  
kinosan  $S_{12}$  yli oleva jännite rajoitetaan jännitteeseen  $U_c$ .  
 $S_{22}$  voidaan sitten kytkeä päälle.

Jos  $S_{12}$ :n poiskytkemisen aikana sen läpi kulkisi mi-  
tään virtaa, yllä selostettu prosessi suhteessa  $S_{12}$ :n  
15 avaamiseen ei tapahtuisi.  $S_{22}$ :n päällekytkemisen aikana  
tuotetaan tällöin resonanssivirta piirin kautta, jonka  
muodostaa  $(D_{21}-C_{21}-S_{22}-L_2) / (C_{24}-D_{24}-C_{22}-S_{22}-L_2)$ . Tämän seurauk-  
sena kondensaattori  $C_{21}$  varataan jännitteeseen  $U_c$  ja konden-  
saattori  $C_{22}$  puretaan 0 volttiin.

20 Piirin toiminta muiden kytkinosen poiskytkemisen  
aikana tapahtuu samalla tavoin ja voidaan helposti johtaa  
yllä esitetystä. Yllä oleva selitys osoittaa, että kolmi-  
tasaisen ulostulojännitteen aikaansaava suojapiiri toimii  
oleellisesti samalla tavoin kuin kuviossa 6 esitetty pii-  
25 ri, jossa ulostulo voi ottaa ainoastaan kaksi jänniteta-  
soa. Tässä piirissä voidaan aina tehdä myös jako primää-  
riseen ja sekundääriseen suojapiiriin ja kaksi piiriä toi-  
mivat aina rinnakkain kytkinosen suojaamisen aikana. Ku-  
ten kuviossa 12 on katkoviivoilla esitetty, virran kasvua  
30 rajoittava kela  $L_4$  voi tietenkin olla sisällytetty myös 0  
johtoon. On lisäksi mahdollista suunnitella kuviossa 12  
esitetty piiri monivaiheiseksi, sellaiseksi kuten kolmi-  
vaiheinen piiri, joka on esitetty esimerkiksi kuviossa 11.  
Välineet energian purkamiseksi voivat olla kytketyt samal-  
35 la tavoin kuin on esitetty esimerkiksi kuviossa 7 vastaa-

viin lisäkondensaattoreihin  $C_{14}$ ,  $C_{13}$ ;  $C_{24}$ ,  $C_{23}$ . Mainitussa kolmivaiheisessa suoritusmuodossa nämä lisäkondensaattorit voi olla tarkoitettu yhteisiksi kaikille vaiheille.

- 5 On itsestään selvää, että keksintö ei ole rajoitettu yllä käsiteltyihin ja kuvioissa esitettyihin suoritusmuotoihin, vaan muunnelmat ja täydentämiset ovat mahdollisia ilman että poiketaan keksinnön suojapiiristä.

## Patenttivaatimukset:

1. Symmetrinen sähköinen suojapiiri ainakin kahden sarjaan kytketyn kytkinosan ( $S_1$ ;  $S_2$ ) suojaamiseksi, joiden  
5 päät, joita ei ole kytketty toinen toisiinsa, muodostavat positiivisen (A) ja vastaavasti negatiivisen (B) kytkentänavan tasajännitteen ( $U_{DC}$ ) kytkemiseksi ainakin yhden kelan ( $L_1$ ;  $L_2$ ) kautta, jolloin ainakin yksi ensimmäinen elementti ( $D_5$ ;  $D_6$ ), jolla on vastakkaissuuntaisesti kytketty  
10 dioditoiminta, ja ainakin yhden kondensaattorin ( $C_1$ ;  $C_2$ ) ja ainakin yhden toisen elementin ( $D_1$ ;  $D_2$ ), jolla on tasajännitenapoihin (A; B) nähden myötäsuuntaisesti kytketty dioditoiminta, muodostama sarjapiiri on kytketty vastaavasti kunkin kytkinosan ( $S_1$ ;  $S_2$ ) rinnalle, kunkin sarjapiirin  
15 mainitun ainakin yhden kondensaattorin ( $C_3$ ;  $C_4$ ) ollessa kytketty kytkinosien ( $S_1$ ;  $S_2$ ) keskinäiseen kytkentäpisteeseen, suojapiirin ollessa varustettu välineillä kondensaattoreihin ( $C_1$ ;  $C_2$ ) varastoidun energian purkamiseksi, t u n n e t t u siitä, että suojapiirissä on jokaista  
20 kytkinosaa ( $S_1$ ;  $S_2$ ) varten ainakin yhden lisäkondensaattorin ( $C_3$ ;  $C_4$ ) ja ainakin yhden kolmannen elementin ( $D_3$ ;  $D_4$ ), jolla on tasajännite napoihin (A; B) nähden myötäsuuntaisesti kytketty dioditoiminta muodostama lisäsarjapiiri, joka on kytketty vastaavasti ainakin yhden kondensaattorin  
25 ( $C_1$ ;  $C_2$ ) ja ainakin yhden toisen elementin ( $D_1$ ;  $D_2$ ), jolla on yhteen kytkinosaan ( $S_1$ ;  $S_2$ ) liittyvän sarjapiirin dioditoiminta, kytkentäpisteen ja toiseen kytkinosaan ( $S_2$ ;  $S_1$ ) liittyvän tasajännitenavan (B; A) väliin, kaiken tämän ollessa suoritettu sellaisella tavalla, että saavutetaan  
30 suojapiiri, jolla on mahdollisimman pieni hajainduktanssi, ja jolloin välineet (ET) varastoituneen energian purkamiseksi on kytketty vastaaviin lisäkondensaattoreihin ( $C_3$ ;  $C_4$ ).

2. Symmetrinen sähköinen suojapiiri käsittäen ensimmäisen ja toisen sarjaankytketyn patenttivaatimuksen 1  
35

mukaisen symmetrisen suojapiirin, t u n n e t t u siitä, että se sisältää kaksi ainakin kahden sarjaan kytketyn kytkinosan muodostamaa sarjaan kytkettyä piiriä ( $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ;  $S_{21}$ ,  $S_{22}$ ), jolloin ensimmäisen piirin negatiivinen tasajännitenapa ( $B_1$ ) ja toisen piirin positiivinen tasajännitenapa ( $A_2$ ) on kytketty toisiinsa ja muodostavat 0 potentiaalinavan (0) syötettävää tasajännitettä ( $\frac{1}{2}U_{DC}$ ;  $\frac{1}{2}U_{DC}$ ) varten, tämän 0 potentiaalinavan (0) ja yhden ja toisen piirin kytkinosien ( $S_{12}$ ;  $S_{21}$ ) keskenään kytkettyjen päiden (C) välisen suoran kytkennän ollessa katkaistu ja vastaavien ensimmäisten dioditoiminnan omaavien elementtien ( $D_{15}$ ;  $D_{16}$ ;  $D_{25}$ ;  $D_{26}$ ) ollessa kytketty kytkinosien ( $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ;  $S_{21}$ ,  $S_{22}$ ) rinnalle, ja jolloin ainakin yksi elementti ( $D_9$ ;  $D'_9$ ), jolla on dioditoiminta vastakkaissuunnassa suhteessa tasajännitteenapoihin ( $A_1$ ,  $B_1$ ;  $A_2$ ,  $B_2$ ), on kytketty 0 potentiaalinavan (0) ja symmetrisen suojapiirin ainakin kahden sarjaankytketyn kytkinelementin ( $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ;  $S_{21}$ ,  $S_{22}$ ) keskinäisten kytkentäpisteiden väliin.

3. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen symmetrinen sähköinen suojapiiri, joka on varustettu ainakin kahden sarjaan kytketyn kytkinosan ( $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ;  $S_{21}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{31}$ ,  $S_{32}$ ) useilla rinnakkaisilla piireillä, t u n n e t t u siitä, että lisäkondensaattorit ( $C_3$ ,  $C_4$ ;  $C_{13}$ ,  $C_{14}$ ;  $C_{23}$ ,  $C_{24}$ ) on tarkoitettu yhteisesti kaikkia piirejä varten ja kytketty yhdestä päästään tasajännitenapaan ( $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ;  $B_1$ ;  $B_2$ ,  $B_3$ ) ja toisesta päästään niihin liittyviin vastaaviin kolmansiin elementteihin ( $D_3$ ,  $D_{23}$ ;  $D_{33}$ ;  $D_{14}$ ;  $D_{24}$ ,  $D_{34}$ ), joilla on dioditoiminta.

4. Patenttivaatimuksen 1, 2 tai 3 mukainen symmetrinen sähköinen suojapiiri, t u n n e t t u siitä, että vastaavat kytkinosat ( $S_1$ ,  $S_2$ ;  $S_{11}$ - $S_{22}$ ;  $S_{11}$ - $S_{32}$ ) muodostuvat useiden rinnakkaisten kytkinosien ryhmästä.

5. Patenttivaatimuksen 1, 2, 3 tai 4 mukainen symmetrinen sähköinen suojapiiri, t u n n e t t u siitä, että piirin kytkinosat ( $S_1$ ,  $S_2$ ;  $S_{11}$ ;  $S_{12}$ ;  $S_{21}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{31}$ ,  $S_{32}$ ) on

tarkoitettu kaksisuuntaiseksi kytkimiksi.

- 5      6. Patenttivaatimuksen 1, 2, 3, 4 tai 5 mukainen symmetrinen sähköinen suojapiiri, t u n n e t t u siitä, että kytkinosat ( $S_1$ ,  $S_2$ ;  $S_{11}$ - $S_{22}$ ;  $S_{11}$ - $S_{32}$ ) ovat ohjattuja puolijohde-elementtejä.

7. Patenttivaatimuksen 6 mukainen symmetrinen suojapiiri, t u n n e t t u siitä, että puolijohde-elementit ovat GTO-tyristoreita.

## Patentkrav:

1. Symmetrisk elektrisk skyddskrets för skydd av  
åtminstone två seriekopplade brytarorgan ( $S_1$ ;  $S_2$ ), vilkas  
5 ändar, som inte är sammankopplade, bildar en positiv (A)  
och en negativ (B) kopplingspol för koppling av en lik-  
spänning ( $U_{DC}$ ) via åtminstone en spole ( $L_1$ ;  $L_2$ ), varvid åt-  
minstone ett första element ( $D_5$ ;  $D_6$ ) med en motkopplad  
diodfunktion och en seriekrets, som består av åtminstone  
10 en kondensator ( $C_1$ ;  $C_2$ ) och åtminstone ett andra element  
( $D_1$ ;  $D_2$ ) med en i förhållande till likspänningspolerna (A;  
B) medkopplad diodfunktion, har kopplats parallellt med  
vardera brytarorganet ( $S_1$ ;  $S_2$ ), varvid nämnda åtminstone  
ena kondensator ( $C_3$ ;  $C_4$ ) i varje seriekrets är kopplad till  
15 brytarorganens ( $S_1$ ;  $S_2$ ) inbördes kopplingspunkt, varvid  
skyddskretsen är försedd med medel för urladdning av i  
kondensatorerna ( $C_1$ ;  $C_2$ ) lagrad energi, k ä n n e t e c k -  
n a d därav, att skyddskretsen för varje brytarorgan ( $S_1$ ;  
 $S_2$ ) uppvisar en tilläggsseriekrets bestående av åtminstone  
20 en tilläggs-kondensator ( $C_3$ ;  $C_4$ ) och åtminstone ett tredje  
element ( $D_3$ ;  $D_4$ ) med en i förhållande till likspännings-  
polerna (A; B) medkopplad diodfunktion, vilken tilläggs-  
seriekrets är kopplad mellan kopplingspunkten för åtmins-  
tone en kondensator ( $C_1$ ;  $C_2$ ) och åtminstone ett andra ele-  
25 ment ( $D_1$ ;  $D_2$ ) med diodfunktion för seriekretsen i anslut-  
ning till ett brytarorgan ( $S_1$ ;  $S_2$ ) och likspänningspolen  
(B; A) i anslutning till brytarorganet ( $S_2$ ;  $S_1$ ), varvid  
allt detta har utförts på ett sådant sätt att man erhåller  
en skyddskrets med en så låg ströinduktans som möjligt,  
30 och varvid medlen (ET) för urladdning av lagrad energi är  
kopplade till motsvarande tilläggs-kondensatorer ( $C_3$ ;  $C_4$ ).

2. Symmetrisk elektrisk skyddskrets omfattande en  
första och andra seriekopplad symmetrisk skyddskrets en-  
ligt patentkravet 1, k ä n n e t e c k n a d därav, att  
35 den innehåller två seriekopplade kretsar ( $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ;  $S_{21}$ ,  $S_{22}$ )

bestående av åtminstone två seriekopplade brytarorgan, varvid den första kretsens negativa likspänningspol ( $B_1$ ) och den andra kretsens positiva likspänningspol ( $A_2$ ) är sammankopplade och bildar en 0-potentialpol (0) för likspänning som skall matas ( $\frac{1}{2}U_{DC}$ ;  $\frac{1}{2}U_{DC}$ ), varvid den direkta kopplingen mellan denna 0-potentialpol (0) och de inbördes kopplade ändarna (C) av brytarorganen ( $S_{12}$ ;  $S_{21}$ ) i den första och andra symmetriska skyddskretsen är bruten och de första elementen ( $D_{15}$ ,  $D_{16}$ ;  $D_{25}$ ,  $D_{26}$ ) med diodfunktion är kopplade parallellt med brytarorganen ( $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ;  $S_{21}$ ,  $S_{22}$ ), och varvid åtminstone ett element ( $D_9$ ;  $D'_9$ ) med diodfunktion i motsatt riktning i förhållande till likspänningspolerna ( $A_1$ ,  $B_1$ ;  $A_2$ ,  $B_2$ ) är kopplad mellan 0-potentialpolen (0) och inbördes kopplingspunkterna för åtminstone två seriekopplade brytarelement ( $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ;  $S_{21}$ ,  $S_{22}$ ) i den symmetriska skyddskretsen.

3. Symmetrisk elektrisk skyddskrets enligt patentkravet 1 eller 2, vilken är försedd med ett flertal parallella kretsar för åtminstone två seriekopplade brytarorgan ( $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ;  $S_{21}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{31}$ ,  $S_{32}$ ), k ä n n e t e c k n a d därav, att tilläggs-kondensatorerna ( $C_3$ ,  $C_4$ ;  $C_{13}$ ,  $C_{14}$ ;  $C_{23}$ ,  $C_{24}$ ) är avsedda att vara gemensamma för alla kretsar och kopplade i ena ändan till en likspänningspol ( $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ;  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ ) och i andra ändan till motsvarande tredje element ( $D_3$ ,  $D_{23}$ ;  $D_{33}$ ;  $D_{14}$ ;  $D_{24}$ ;  $D_{34}$ ) i anslutning till dessa med diodfunktion.

4. Symmetrisk elektrisk skyddskrets enligt patentkravet 1, 2 eller 3, k ä n n e t e c k n a d därav, att respektive brytarorgan ( $S_1$ ,  $S_2$ ;  $S_{11}$ - $S_{22}$ ;  $S_{11}$ - $S_{32}$ ) består av en grupp av ett flertal parallella brytarorgan.

5. Symmetrisk elektrisk skyddskrets enligt patentkravet 1, 2, 3 eller 4, k ä n n e t e c k n a d därav, att kretsens brytarorgan ( $S_1$ ,  $S_2$ ;  $S_{11}$ ;  $S_{12}$ ;  $S_{21}$ ,  $S_{22}$ ,  $S_{31}$ ,  $S_{32}$ ) är avsedda att fungera som tvåvägsbrytare.

6. Symmetrisk elektrisk skyddskrets enligt patentkravet 1, 2, 3, 4 eller 5, k ä n n e t e c k n a d därav,

att brytarorganen ( $S_1$ ,  $S_2$ ;  $S_{11}$ - $S_{22}$ ;  $S_{11}$ - $S_{32}$ ) är styrda halvledarelement.

5        7. Symmetrisk elektrisk skyddskrets enligt patentkravet 6, k ä n n e t e c k n a d    därav, att halvledarelementen är GTO-tyristorer.

fig - 1

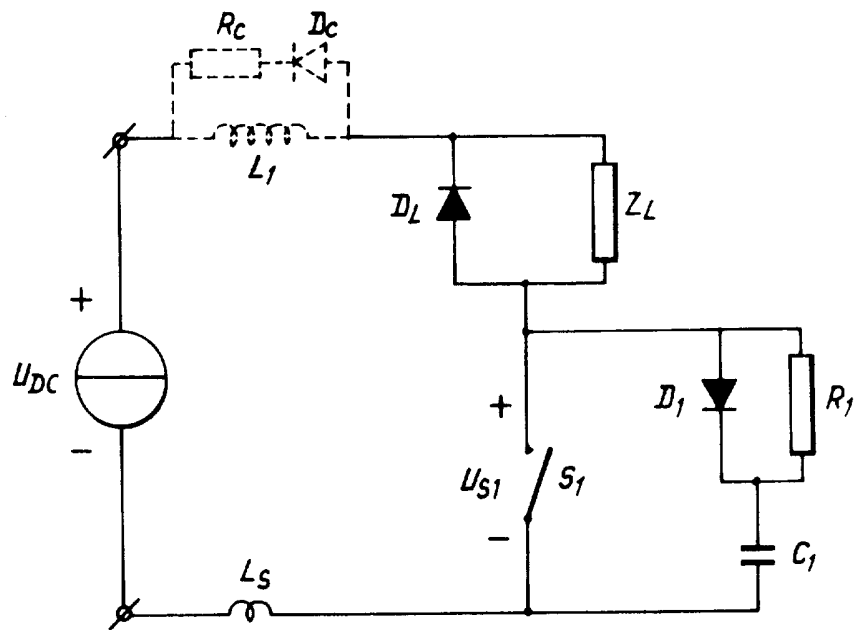


fig - 2

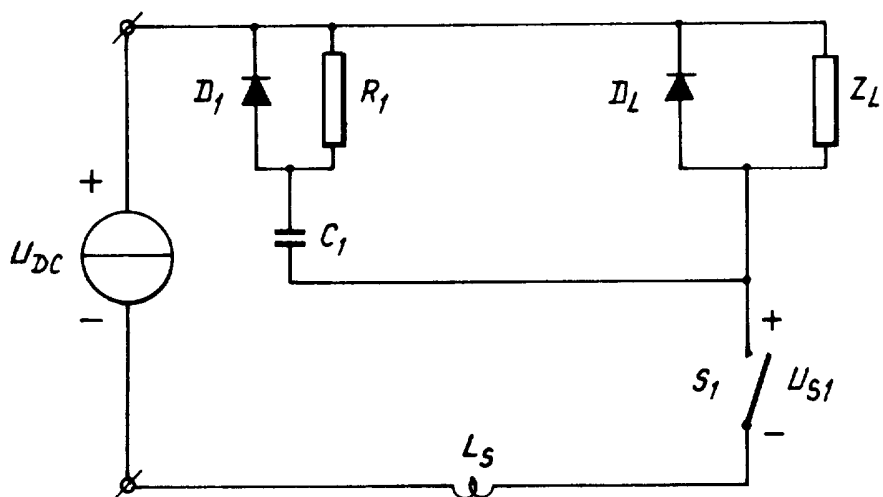


fig-3

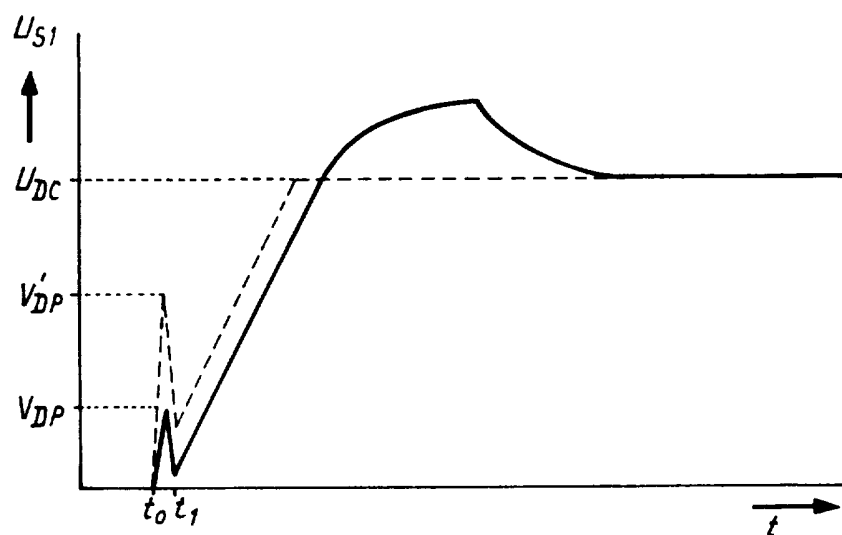
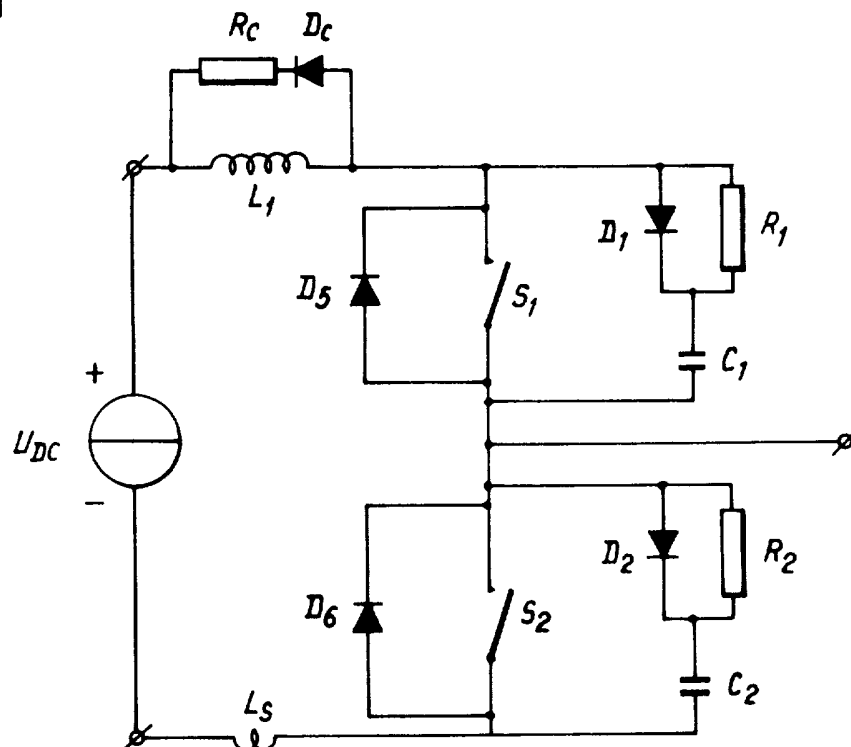


fig-4



87956

fig-5

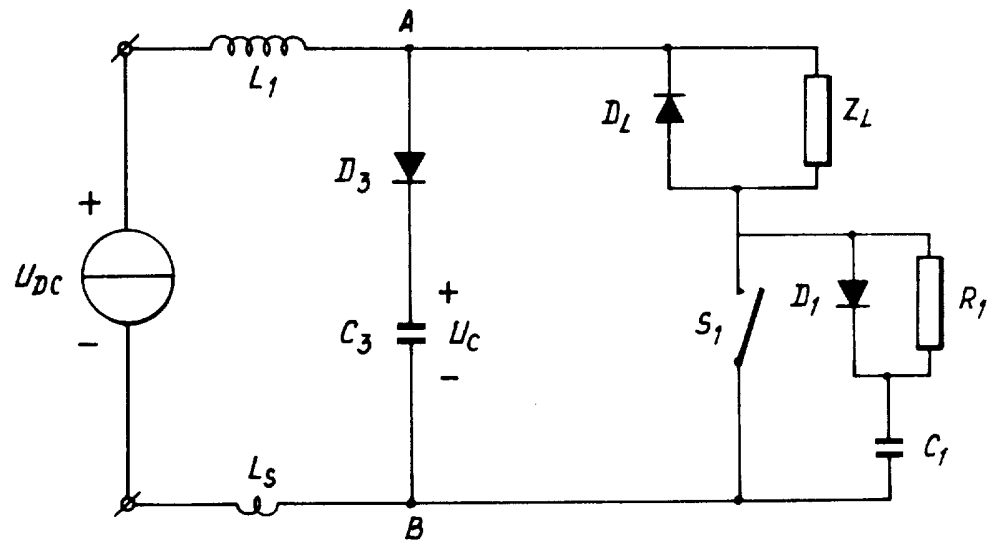


fig-6

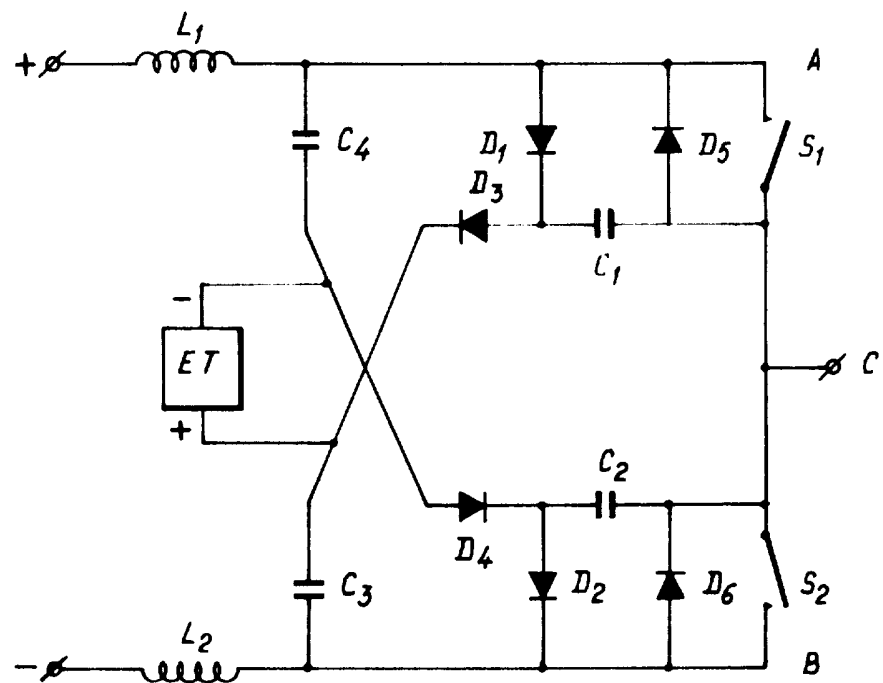


fig - 7

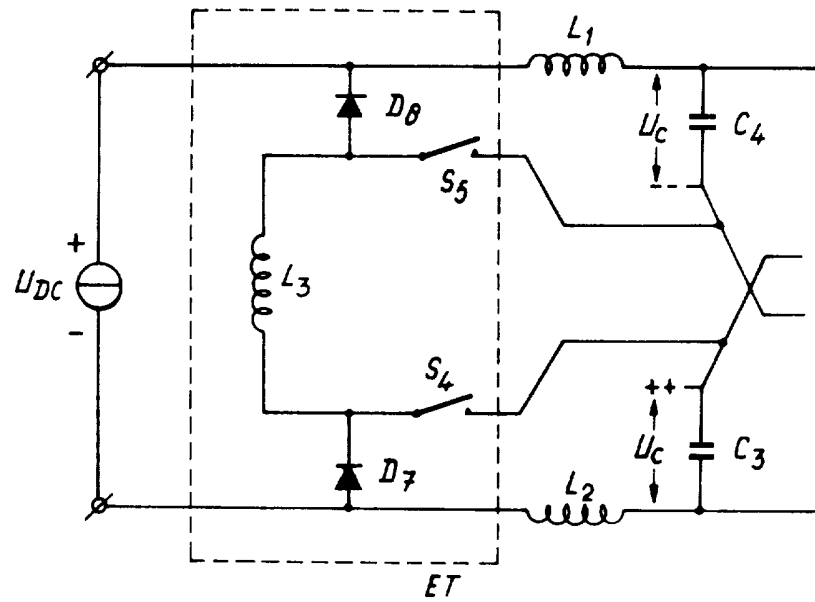


fig - 8

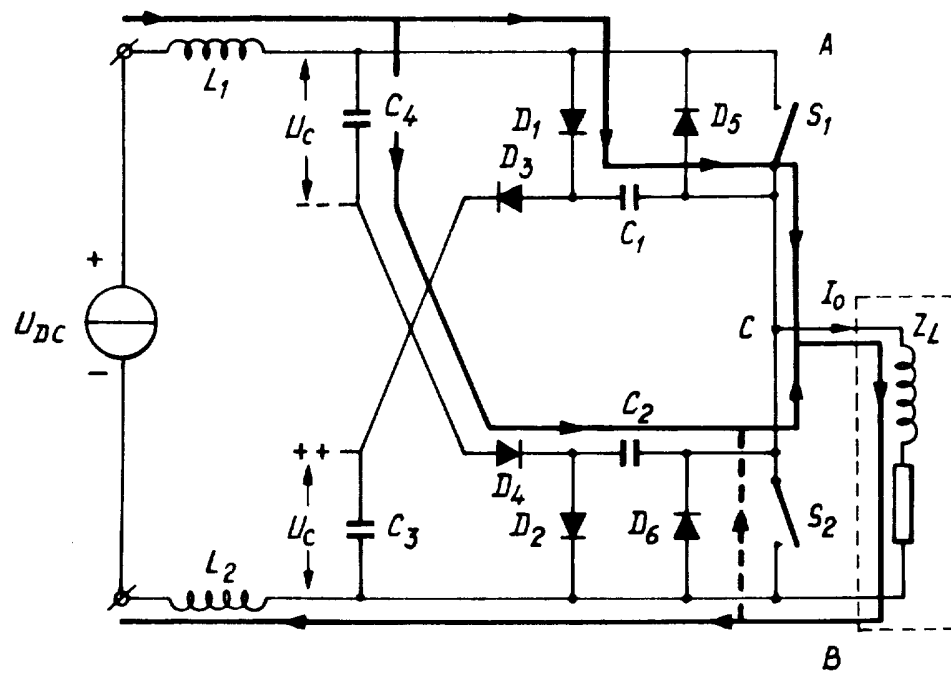


fig-9

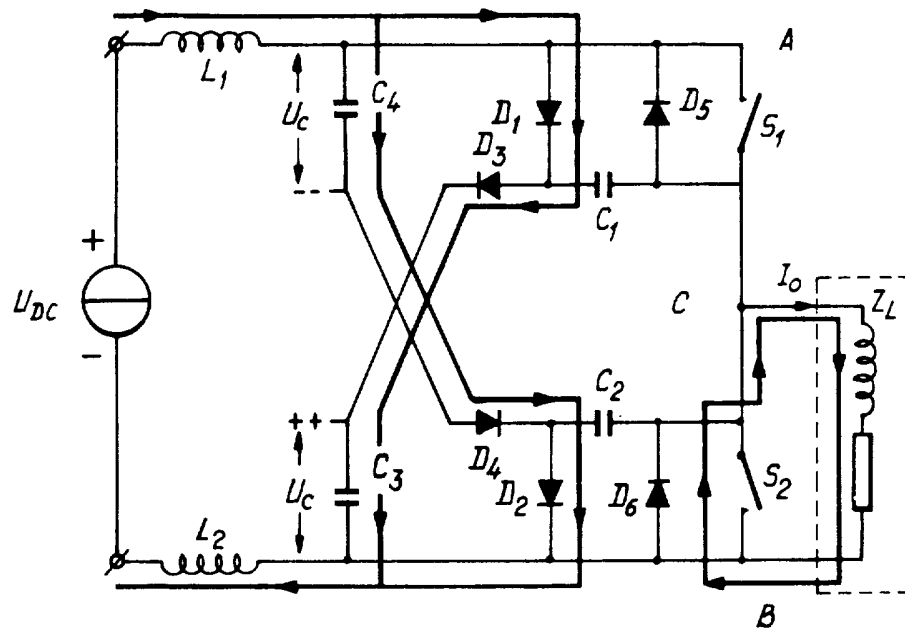
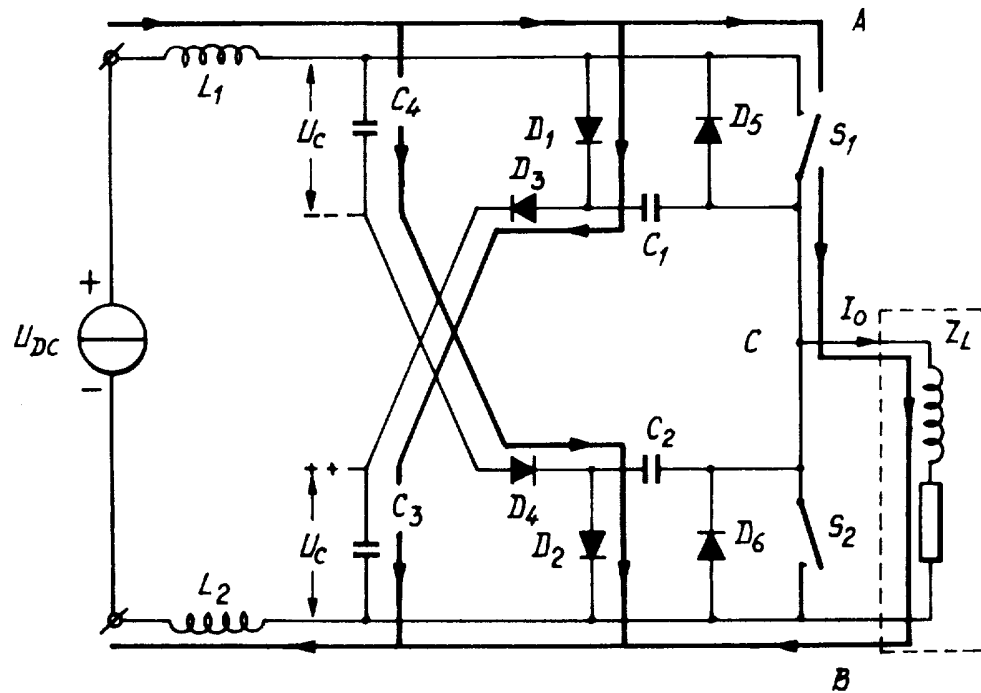
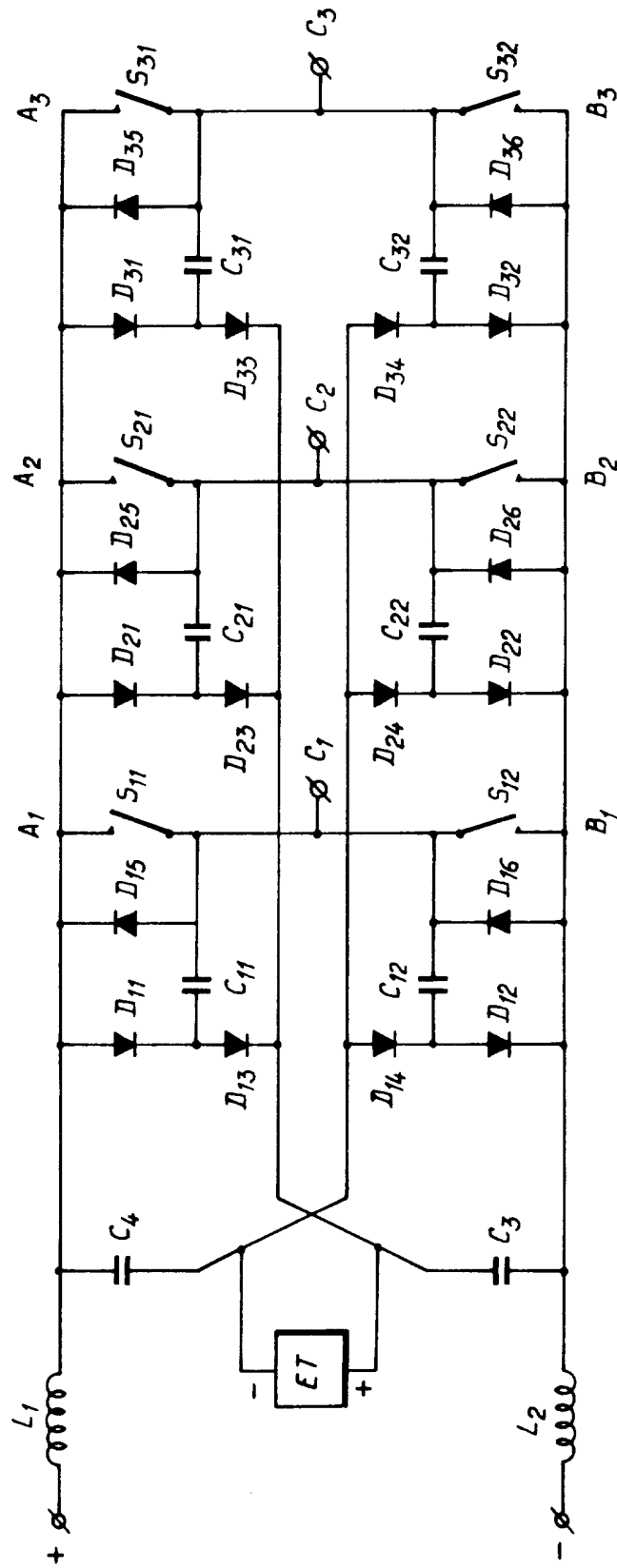


fig - 10



4-11-11



87956

fig-12

