(19) SUOMI - FINLAND
(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN
FINNISH PATENT AND REGISTRATION OFFICE

(10) **FI 923947 A7**

(12) **JULKISEKSI TULLUT PATENTTIHAKEMUS**
PATENTANSÖKAN SOM BLIVIT OFFENTLIG
PATENT APPLICATION MADE AVAILABLE TO THE PUBLIC

(21) Patenttihakemus - Patentansökan - Patent application 923947

(51) Kansainvälinen patenttiluokitus - Internationell patentklassifikation - International patent classification
H02M 7/5395
H02M 7/797

(22) Tekemispäivä - Ingivningsdag - Filing date **03.09.1992**

(23) Saapumispäivä - Ankomstdag - Reception date **03.09.1992**

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig - Available to the public **07.03.1993**

(43) Julkaisupäivä - Publiceringsdag - Publication date **13.06.2019**

(32) (33) (31) Etuoikeus - Prioritet - Priority

06.09.1991 US 755920

(71) Hakija - Sökande - Applicant

1 • **Otis Elevator Company,** Ten Farm Spring, Farmington, Conn. 06032, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

(72) Keksijä - Uppfinnare - Inventor

1 • **Blasko, Vladimir,** USA, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

(74) Asiamies - Ombud - Agent

Kolster Oy Ab, Salmisaarenaukio 1, 00180 Helsinki

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning - Title of the invention

Pulssinleveysmodulointimenetelmä laajennetun lineaarisuuden, pienempien kommutointihäviöiden ja vaihto/tasasuuntaajan antojännitteen kasvun aikaansaamiseksi

Förfarande för pulsbreddsmodulation för ökad linearitet, minskad kommutationsförlust och ökad utspänning i en växelriktare/omriktare

Pulssinleveysmodulointimenetelmä laajennetun lineaarisuuden, pienempien kommutointihäviöiden ja vaihto/tasasuuntaajan antojännitteen kasvun aikaansaamiseksi

Keksintö liittyy PWM-jännitemuunnokseen.

Yksi- ja kolmivaiheisissa jännitelähdevaihtosuuntaajissa ja -tasasuuntaajissa vaihtojännite kehitetään tavallisesti vakiosta tasasyöttöjännitteestä kytkemällä sillassa olevia puolijohdekytkimiä päälle ja pois päältä PWM-menetelmän mukaan. Hyvin usein käytetty PWM-menetelmä perustuu kiinteätaajuisen kolmiojännitteen ja kiinteä- tai muuttuvataajuisen vertailujännitteen vertaamiseen toisiinsa (kolmiovertailumenetelmä).

Yksivaiheinen PWM-tasasuuntaaja muodostuu PWM-piiristä (varustettuna ohjauselektroniikalla), puolijohdesillasta, vaihtojännitelähteestä sarjassa induktorin kanssa sekä kuormasta tasavirtapuolella. Koska jännitelähdevaihtosuuntaajassa (VSI) oleva kuorma voidaan korvata vaihtojännitelähteen kanssa sarjassa olevalla induktorilla, VSI:n piiritopologia soveltuu yhtä hyvin jännitelähdetasasuuntaajalle (VSC). Yksivaiheinen PWM-piiri muodostuu tyypillisesti kolmiosignaaligeneraattorista, summaimesta ja komparaattorista. Kolmiosignaaligeneraattori tuottaa kolmiosignaalin U_T, jolla on kantoaaltotaajuus f_c kolmion huippuarvojen ollessa $+U_{TP}$ ja $-U_{TP}$. U_T vähennetään vertailuvaihejännitteestä U_A summaimessa ja tuotetaan virhesignaali E_A., joka annetaan komparaattorille. Vasteena komparaattori tuottaa kytkentäsignaalin U_{SA}., joka ohjaa kahta toisiaan täydentävää kytkintä S1 ja S1*.

Siltapiiri, joka vastaanottaa PWM-signaalit kytkinten S1 ja S1* ohjaamiseksi, muodostuu kahdesta piiristä, joilla on yhteinen kuorma. Toinen piiri muodostuu kytkentäsovitelmasta, joka sisältää kytkimen S1 ja sen ohittavan vapaadiodin, tasavirtateholähteen, jolla on jännite Udc/2, sekä kolmannen elementin, kuorman. Toinen silmukka muodos-

tuu toisesta kytkentäsovitelmasta, joka sisältää kytkimen S1*, joka toimii vasteena EI-veräjälle, ja kytkimen ohittavan vapaadiodin, toisen tasavirtateholähteen, jolla on jännite Udc/2, sekä kolmannen elementin, kuorman. Nämä kaksi piiriä kytkevät kuorman Z_A yli jännitteen, jonka suuruus on Udc/2. Kun S1 on suljettuna, jännitteen napaisuus on vastakkainen sille napaisuudelle, joka vallitsee, kun S1* on suljettuna. Jos E_A. > 0 tai U_A. > U_T, komparaattorin anto U_{SA} asettuu arvoon, joka on yhtä kuin 1. Ensimmäinen kytkin S1 suljetaan nyt ja toinen kytkin S1* avataan. Jännite $U_{A\cdot 0}$ kuorman yli johdon keskipisteen ja syötön keskipisteen välillä on Udc/2. Toisaalta jos E_A. < 0 tai U_A. = U_T, komparaattorin anto U_{SA}. on nolla. Kytkin S1* suljetaan nyt ja ensimmäinen kytkin S1 avataan. Kuorman Z_A. yli kytkeytyy negatiivinen jännite $U_{A\cdot 0}$ = -Udc/2.

Kun U_A. on positiivinen yli jakson $1/f_c$, kytkentäjännite U_{SA}. on pidemmän ajan yhtä kuin 1 kuin 0, ja siten S1 on suljettuna enemmän aikaa ja S1* vähemmän aikaa; kuormajännitteen $U_{A\cdot 0}$ keskiarvo on positiivinen. Kun $U_{A\cdot 0}$ on 0, U_{SA}. (yli jakson $1/f_c$) on 1 saman aikamäärän kuin se on 0, S1 on suljettuna saman aikamäärän kuin se on auki ja S1* vastaavasti auki saman aikamäärän kuin se on suljettuna; keskimääräinen kuormajännite $U_{A\cdot 0}$ on 0. Kun U_A. on negatiivinen, U_{SA}. (yli jakson $1/f_c$) on 0 pidemmän ajan kuin se on 1, ja S1* on suljettuna enemmän aikaa kuin S1; keskimääräinen kuormajännite on negatiivinen.

Jos kantoaaltotaajuus f_c on paljon suurempi kuin vertailusignaalin U_A. taajuus f_R, kuorman yli olevan syöttövaihejännitteen paikallinen keskiarvo seuraa jotakuinkin vertailuvaihejännitettä U_A.. Amplitudimodulaatioindeksi m_A määritellään sinimuotoisen vertailujännitteen U_A. huippuarvon ja kolmiojännitteen U_T huippuarvon U_{TP} suhteena. Keskimääräinen kuormajännite kolmiojännitteen kussakin jaksossa on paikallisesti keskiarvoistettu jännite U_{AOLAVR} ja se seuraa jännitettä U_A. niin kauan kuin U_A.on voimakkuudeltaan

pienempi kuin U_{TP}. Siihen asti, kun paikallisesti keskiarvoistettu jännite U_{AOLAVR} seuraa jännitettä $U_{A'}$, vaihtosuuntaajan anto on sen oton $U_{A'}$ lineaarinen funktio. Jännitteen U_{AOLAVR} huippuarvo = $m_A \cdot Udc/2$, niin kauan kuin modulaatioindeksi m_A on pienempi kuin 1. Modulaatioindeksillä m_A yhtä kuin 1 kuormalle kytkeytyy maksimaalinen paikallisesti keskiarvoistettu jännite U_{AOLAVR}, ja saavutetaan PWM-piirin saturaatioraja. Niin muodoin $m_A \leq 1$ antaa lineaarisen järjestelmän, kun taas $m_A > 1$ antaa epälineaarisen järjestelmän. Eri tavalla ilmaistuna paikallisesti keskiarvoistettu jännite U_{AOLAVR} seuraa jännitettä $U_{A'}$ niin kauan kuin $|U_{TP}| \geq |U_{A'}|$. Vertailujännitteen $U_{A'}$ kohoamista edelleen ei seuraa kuormajännitteen $U_{A'0}$ siihen verrannollinen kasvu.

Kolmivaihevaihtosuuntaajan analyysi on samanlainen, koska se on yksinkertaisesti kolmen yksivaihevaihtosuuntaajan summa.

Kolmivaihejärjestelmälle johtojännite U_L on $U_P \cdot \sqrt{3}$ eli $\sqrt{3}$ kertaa suurempi kuin vaihejännite U_P. PWM-vaihto/tasasuuntaajalle, jossa käytetään kolmio-PWM-menetelmää, vaihejännitteen huippuarvo, joka voidaan saavuttaa, on $U_P = Udc/2$, ja siksi jännitteen huippu johdosta johtoon on yhtä kuin $(Udc/2) \cdot \sqrt{3}$.

Kolmivaiheisessa PWM-vaihtosuuntaajassa on ongelmia. Ensinnäkin kolmivaihesillassa huippuarvo, jonka johtojännite voi saavuttaa, on U_{DC}. Tämä on 15,4 % suurempi kuin $(Udc/2) \cdot \sqrt{3}$, arvo, joka voidaan saavuttaa kolmiovertailumenetelmällä. Mahdollisuus kasvattaa vaihejännitteitä 15,4 % ilman saturaatiota soveltamalla eri modulaatiomenetelmää on selvä. Vaihtosuuntaajalle tämä tarkoittaa 15,4 %:n lisäystä antojännitteeseen. Tasasuuntaajalle tämä tarkoittaa 15,4 %:n lisäystä sallittuun ottojännitteeseen. Toiseksi PWM-piirin saturaatio aiheuttaa vahvistuksen pienenemisen pulssinleveysmodulaatiota käyttävissä virran/jännitteen ohjaussilmukoissa sekä vaihtosuuntaajan dynamiikkaominaisuuksien huononemisen. Kolmanneksi PWM-piiri

tuottaa kommutointihäviöitä korkeaan kantoaaltotaajuuteen f_c verrannollisesti.

Eräs menetelmä sekä laajennetun jännitealueen että pienempien kommutointihäviöiden aikaansaamiseksi on raportoitu julkaisussa Malesani, L. ja Tenti, P. et al., "Improved Current Control Technique of VSI PWM Inverters with Constant Modulation Frequency and Extended Voltage Range", IEEE-IAS, Conference Record of the 1988 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting 23rd. Tämä menetelmä modifioi tavanomaisia hystereesivirransäätäjiä. Hystereesivirransäätäjä vertaa vaihevirrasta takaisin syötettyä virtaa ja antaa virtavirhesignaalin hystereesikomparaattorille, joka antaa PWM-signaalit toisiaan täydentäville kytkimille sillan haarassa. Malesani et al. modifioi tavanomaista kolmivaihehystereesiä noin 15 %:n lisäyksen kehittämiseksi vaihtosuuntaajan antojännitteeseen ja säätää kommutointihäviöiden pienentämiseksi tekijällä 1/3 suorittamalla modulaatiot vain kahdelle vaihtosuuntaajan haaralle kerralla, samalla kun kolmas haara pidetään syöttöjännitteen positiivisessa tai negatiivisessa navassa. Hystereesikaistan ylittävä vaihevirtavirhe on indeksi sen määrittämiseksi, mikä haara tämä pidettävä haara on.

Hystereesisäätäjät eivät sovellu mikroprosessori- ja ohjelmistotototeutukseen, koska ne vaativat nopeat komparaattorit, joiden täytyy vaihtaa tilaa vasteena ohjatuille muuttujille mikroprosessorin näytteenottoaikavälestä riippumatta. Hystereesisäätäjät toteutetaan normaalisti laitteistotototeutuksina.

Vaihtosuuntaajan tehonmuuntosillassa keksinnössä tiedostetaan, että kolmio-PWM-menetelmän, jossa amplitudimodulaatioindeksi m_A on pienempi kuin 1, lineaarisessa toiminnassa maksimijännite johdosta johtoon U_L on yhtä kuin $(Udc/2) \cdot \sqrt{3}$, vaikka huippujännite sillan yli on U_{DC}. U_{DC} on 15,4 % suurempi kuin $(Udc/2) \cdot \sqrt{3}$. Keksinnössä tiedostetaan myös, että kolmivaiheisessa tasapainotetussa järjes-

telmässä $I_A + I_B + I_C = 0$; ainoastaan kaksi virtaa on riippumattomia ja kolmatta voidaan ohjata ohjaamalla kahta muuta. Kun nämä kaksi asettamusta on annettu, esiintyy siksi aikavälejä, jolloin jokin toisiaan täydentävien kytkinten pareista S1/S1*, S2/S2* tai S3/S3* voidaan pitää suljettuna tai avoimena ja kaikkia kolmea virtaa voidaan ohjata kahdella muulla parilla toisiaan täydentäviä kytkimiä sillan aktiivisissa haaroissa ohjaamalla ainoastaan kahta virtaa.

Keksinnön mukaan kolmivaiheisessa sillassa, jossa yksi kolmesta vertailujännitteestä U_A, U_B, U_C liittyy kuhunkin haaraan, yksi kytkimistä S1, S2 tai S3 (tai vaihtoehtoisesti niitä täydentävistä kytkimistä S1*, S2* tai S3*) johtaa aikaväleinä, joina siihen liittyvä jännite U_A, U_B tai U_C on amplitudiltaan suurempi (tai vaihtoehtoisesti pienempi) kuin muut kaksi vertailujännitettä. Keksinnön mukaan (a) syötetään kolme vertailujännitettä, (b) ilmaistaan näiden jännitteiden maksimi, (c) vähennetään maksimi PWM-signaalin muodostamiseen käytetyn kolmioaallon huippuarvosta ja (d) erotus lisätään kuhunkin vertailujännitteeseen, jotta saadaan muodostetuksi uusi sarja vertailujännitteitä PWM-osan syöttämiseksi, joka vuorostaan syöttää PWM-signaalit kolmivaiheiselle sillalle kytkimien kytkemiseksi päälle (suljetuiksi) ja pois päältä (avoimiksi). Tuloksena on, että kun jokin kolmesta vertailujännitteestä on suurempi kuin kaksi muuta, yksi kytkin jossakin sillassa olevista toisiaan täydentävistä kytkinpareista johtaa, kun taas kummassakin kahdesta muusta toisiaan täydentävästä parista molemmat kytkimet avautuvat ja sulkeutuvat vasteena PWM-signaalille, niin että nämä kaksi toisiaan täydentävää paria, joiden sallitaan avautua ja sulkeutua, ohjaavat vain kahta virtaa toisistaan riippumattomasti, ja kolmatta virtaa, joka liittyy toisiaan täydentävään pariin, jonka kytkemistä ei sallita, ohjaavat nämä kaksi muuta. Pitämällä yksi kytkin kussakin haarassa suljettuna

vertailujännitteen jakson yhden kolmanneksen ajan mahdollistetaan kaikkien kolmen kuormavirran ohjauksen määrääminen kytkintoiminnoilla ainoastaan sillan kahdessa haarassa. Tällä menetelmällä on useita etuja.

Ensiksi tämä menetelmä kasvattaa sillan antojännitettä ja siksi tehoa 15,4 % ilman vaihejännitteiden vääristymistä kuorman keskipistejännitteen (piste 0' kuviossa 1) ollessa eri kuin syöttöjännitteen keskipiste (piste 0 kuviossa 1). Toiseksi, koska antojännite on kasvanut 15,4 % ilman säröä, vaihtosuuntaajan toiminnan lineaarisuusalue on laajentunut. Niin muodoin vahvistuksen pienenemistä ohjaussilmukoissa ja dynamiikan huononemista, joka liittyy PWM:n saturaatioon, kun $m_A = 1,0$, ei kohdata ennen kuin $m_A = 1,154$. Kolmanneksi, koska sillan yksi haara johtaa pysyvästi eikä siksi kommutoi vertailujännitteen jakson yhdellä kolmanneksella, kommutointiin liittyvät häviöt pienenevät kolmanneksella. Lopuksi menetelmä on vielä helppo toteuttaa laitteistolla tai ohjelmistolla.

Keksinnön ensimmäisenä tarkoituksena on laajentaa kolmivaiheisen, kolmihaaraisen PWM-tehonmuuntosillan lineaarista toimintaa saamalla aikaan 15,4 %:n lisäys jännitteeseen U_{A0} johdosta nollaan, jossa jännitteessä säröä esiintyy. Tämä toteutetaan kasvattamalla kaikkia kolmea PWM:lle kytkettyä vaihejännitettä vakiojännitteen ja kolmesta vaihejännitteestä suurimman välisellä erolla siten, että kun vaihejännite on suurin, tähän suurimpaan jännitteeseen liittyvässä haarassa oleva kytkin pidetään suljettuna. Kun yksi kytkin haarassa on suljettuna 120°, kaikkia kolmea kuormavirtaa ohjataan sulkemalla ja avaamalla kahdessa muussa haarassa olevia kytkimiä, ja jännite sillan yli on yhtä kuin U_{DC} sen sijaan että se olisi $U_{DC} \cdot \sqrt{3}/2$, kuten tavanomaisessa kolmiovertailumenetelmässä.

Keksinnön toisena tarkoituksena on pienentää kommutointihäviöitä kolmanneksella.

Kolmantena tarkoituksena on kasvattaa PWM-tehonmuuntosillan jännitettä ja tehoa 15,4 %.

Jotta ilman esillä olevaa keksintöä saataisiin 15,4 %:n lisäys tehoon, vaaditaan 15,4 %:n lisäys ottovirtaan, mikä edellyttää kalliimpia puolijohdekytkimiä, jotka pystyvät suoriutumaan kasvaneista virtavaatimuksista. Tämä virran kasvattaminen näkyy sitten kasvavina häviöinä.

Piirustuksista:

Kuvio 1 on lohkokaavioesitys piiristä keksinnön toteuttamiseksi jännitelähdevaihtosuuntaajassa.

Kuvio 2 on kolmivaiheisen sinimuotoisen jännitteen U_{ABC} jännite/aikakaavio. Amplitudimodulaatioindeksi m_A on pienempi kuin 1.

Kuvio 3 on erosignaalin U_{DD} jännite/aikapiirros. Kuviot 2 ja 3 ovat yhteisellä aikaviivalla, ja m_A on pienempi kuin 1.

Kuvio 4 on kolmivaiheisen sinimuotoisen jännitteen U_{ABC} jännite/aikapiirros. Amplitudimodulaatioindeksi m_A on suurempi kuin 1.

Kuvio 5 on erosignaalin U_{DD} jännite/aikapiirros. Kuviot 4 ja 5 ovat yhteisellä aikaviivalla, ja m_A on suurempi kuin 1.

Kuvio 6 on jännite/aikapiirros, joka esittää vertailuvaihejännitettä U_A, kasvatettua vertailuvaihejännitettä $U_{A'}$ ja kolmiosignaalia U_T, kun modulaatioindeksi m_A = 0,8.

Kuvio 7 on PWM-kytkentäsignaalin U_{SA} jännite/aikapiirros, kun m_A = 0,8.

Kuvio 8 on kuorman Z_A yli olevan paikallisesti keskiarvoistetun vaihejännitteen $U_{A'OLAVR}$ ja paikallisesti keskiarvoistetun vaihejännitteen U_{AOLAVR} jännite/aikapiirros, kun m_A = 0,8.

Kuviot 9, 10 ja 11 ovat samanlaisia kuin kuviot 6, 7 ja 8, paitsi että m_A = 1,154.

Kuvio 12 esittää piiriä keksinnön toteuttamiseksi tasasuuntaajapiirissä.

Kuvio 1 esittää piiriä keksinnön toteuttamiseksi. Se sisältää vertailujännitteen muokkauslohkon (RMB) 1, pulssinleveysmodulaattorin 3 ja puolijohdesillan 5. Silta 5 voi olla vaihtosuuntausta (DC/AC) tai tasasuuntausta (AC/DC) varten. RMB 1 toimii vasteena kolmelle sinimuotoiselle vertailuvaihejännitteelle U_A, U_B, U_C sekä kolmiojännitteelle U_T ja tuottaa kolme kasvatettua vertailuvaihejännitettä $U_{A'}$, $U_{B'}$, $U_{C'}$. U_A, U_B ja U_C ovat ohjaussignaaleja; teho vaihtosuuntaajaan saadaan kahdesta jännitteen Udc/2 omaavasta tasavirtalähteestä. Kolmen vertailuvaihejännitteen U_A, U_B ja U_C väliset erot ovat 120°. Kasvatettujen vertailuvaihejännitteiden väliset erot ovat 120°. RMB 1 sisältää kolme summainta 8, 10 ja 12, vertailuvaihejännitekomparaattorin 20 sekä neljännen summaimen 24, joka toimii vasteena kolmiosignaalin U_T positiiviselle huippuvoimakkuudelle U_{TP}. Kolmiosignaalin U_T negatiivinen huippuvoimakkuus on $-U_{TP}$. Kolme vertailuvaihejännitettä U_A, U_B ja U_C annetaan RMB:lle 1 sekä johdoilla 2, 4 ja 6 summaimille 8, 10 ja 12. Vertailuvaihesignaalit U_A, U_B ja U_C tuodaan vertailuvaihejännitekomparaattorille 20. Vertailuvaihejännitekomparaattorissa 20 kunkin vaihejännitteen U_A, U_B ja U_C voimakkuuksia verrataan, ja suurin U_{MAX} annetaan johdolla 22 summaimelle 24.

Kuviossa 1 kolmiosignaalin U_T vakiojännitteiden kolmiohuippuarvo U_{TP} tuotetaan PWM:ssä 3 ja tuodaan johdolla 29 summaimelle 24. Summaimessa 24 vertailuvaihejännitekomparaattorin 20 johdolle 22 tuottama suurin jännite U_{MAX} vähennetään kolmiohuippusignaalista U_{TP}, ja erotus U_{DD} annetaan johdoilla 30, 32 ja 34 summaimille 8, 10 ja 12. Summaimissa 8, 10 ja 12 erosignaali U_{DD} lisätään kuhunkin vertailusignaaleista U_A, U_B ja U_C, ja saadaan näin johdoilla 36, 38 ja 40 kasvatetut vertailusignaalit $U_{A'}$, $U_{B'}$ ja $U_{C'}$. PWM:lle 3. Jännitteeseen U_{MAX} lisättävä signaali voi olla

mikä tahansa vakiosignaali U_{BIAS}, mutta tässä käytetään jännitettä U_{TP}.

Kuviossa 1 PWM 3 sisältää kolme summainta 42, 44 ja 46, kolme komparaattoria 48, 50 ja 52 sekä kolmiosignaaligeneraattorin 54. Kukin summaimista 42, 44 ja 46 toimii vasteena kasvatetulle vertailuvaihejännitteelle U_A, U_B, U_C johdoilta 36, 38 ja 40 sekä kolmiosignaalille U_T, jonka kolmiosignaaligeneraattori 54 antaa johdoilla 47, 49 ja 51. Kolmiosignaaligeneraattori 54 antaa myös jännitteen U_{TP} johdolle 29. Kolmiosignaalilla U_T on amplitudin itseisarvo $|U_{TP}|$, ja sitä rajoittavat siksi jännitteet $+U_{TP}$ ja $-U_{TP}$. Summaimet 42, 44 ja 46 antavat virhesignaalit E_A, E_B ja E_C komparaattoreille 48, 50 ja 52. Jos U_X (X on A, B ja C) on suurempi kuin U_T, siihen liittyvän komparaattorin 48, 50 tai 52 anto asettuu arvoon $U_{SX} = 1$. Komparaattorit 48, 50 ja 52 tuottavat siten kytkentäsignaalit U_{SA}, U_{SB} ja U_{SC} ja antavat ne sillalle 5. Silta 5 sisältää kolme haaraa 56, 58 ja 60.

Kuviossa 1 kukin haara sisältää kaksi toisiaan täydentävien puolijohdekytkinten muodostamaa sovitelmaa. Ensimmäinen haara sisältää kytkimen S1 ja tuon kytkimen ohittavan vapaadiodin D1 sekä sitä täydentävän kytkentäsovitelman: EI-veräjän 62, kytkimen S1* ja tuon kytkimen ohittavan vapaadiodin D1*. Toinen haara 58 sisältää kytkimen S2 ja tuon kytkimen ohittavan vapaadiodin D2 sekä sitä täydentävän kytkentäsovitelman: kytkimen S2*, EI-veräjän 63 ja tuon kytkimen ohittavan vapaadiodin D2*. Kolmas haara 60 sisältää kytkimen S3 ja tuon kytkimen ohittavan vapaadiodin D3 sekä sitä täydentävän kytkentäsovitelman: kytkimen S3*, EI-veräjän 66 ja tuon kytkimen ohittavan vapaadiodin D3*.

Sillan 5 ensimmäinen, toinen ja kolmas haara 56, 58 ja 60 toimivat vasteena johdoilla 53, 55 ja 57 annetuille kytkentäsignaaleille U_{SA}, U_{SB} ja U_{SC}. Jos esimerkiksi E_A on suurempi kuin nolla tai U_A on suurempi kuin U_T, komparaat-

torin 48 anto asettuu arvoon $U_{SA'} = 1$. Kytkin S1 sulkeutuu ja S1* avautuu.

Kuviossa 2 on esitetty otot U_A, U_B ja U_C RMB:lle 1 sekä vertailuvaihejännitekomparaattorille 20 (U_A, U_B, U_C), kun $m_A < 1$. Kuvion 2 ylin osa, suurin jännitteistä U_A, U_B ja U_C, on esitetty vahvennetulla jännitteenä U_{MAX}. PWM:ssä 3 olevan kolmiogeneraattorin 54 johdolla 29 antama kolmiohuippusignaali U_{TP} on esitetty myös. Kuviot 2 ja 3 ovat yhteisellä aikaviivalla, ja ne on jaettu kolmeen osaan A, B ja C.

Kuviossa 3 on esitetty summaimen 24 tuottama erosignaali U_{DD}, joka on yhtä kuin ero jännitteiden U_{TP} ja U_{MAX} välillä. U_{DD} saa jännitteen Uo'o vaihtelemaan. Uo'o on potentiaaliero kuorman keskipisteen o' ja syötön keskipisteen o välillä. Tämän havaitsemisen tärkeys näkyy siinä, että keksintö johtuen jännitteestä U_{DD} kasvattaa paikallisesti keskiarvoistettua kuormavaihejännitettä $U_{AO'LAVR}$ 15,4 % ja että se samalla sallii vääristymän paikallisesti keskiarvoistetussa jännitteessä U_{AOLAVR} johdon ja syötön keskipisteen (piste 0 kuviossa 1) välillä mutta poistaa vääristymän paikallisesti keskiarvoistetusta vaihekuormajännitteestä $U_{AO'LAVR}$ johdon ja kuorman keskipisteen välillä. Vaihtosuuntaajalle syöttö on tasavirtasyötön jännite U_{DC}. Toisin sanoen 15,4 % kasvatetulla jännitealueella vääristymä siirtyy sieltä, missä sillä on merkitystä, kuormasta sinne, missä sillä ei ole merkitystä, jännitteeseen U_{AO}. Ilman lohkoa RMB $U_{AO} = U_{AO'}$, mutta lohkon RMB 1 ollessa mukana ne eroavat suhteessa jännitteeseen U_{DD}.

Nuolet kuviossa 2 edustavat summainten 8, 10 ja 12 tuottamien johdoilla 2, 4 ja 6 olevien jännitteiden U_A, U_B ja U_C muutoksen voimakkuutta ja suuntaa jännitteiden $U_{A'}$, $U_{B'}$ ja $U_{C'}$ kehittämiseksi johdoille 41, 43 ja 45. U_A ja $U_{A'}$ on esitetty kuvioissa 6 ja 9.

Kuvio 3 on erosignaalin U_{DD} jännite/aikapiirros. Kuviot 2 ja 3 ovat yhteisellä aikaviivalla, ja m_A on pienempi kuin 1.

Kuvio 4 on kolmivaiheisen sinimuotoisen jännitteen U_{ABC} jännite/aikapiirros. Amplitudimodulaatioindeksi m_A on suurempi kuin 1.

Kuvio 5 on erosignaalin U_{DD} jännite/aikapiirros. Kuviot 4 ja 5 ovat samalla aikaviivalla, ja m_A on suurempi kuin 1.

Kuvio 6 esittää jännite/aikapiirroksena kolmiojännitteen U_T, vertailuvaihejännitteen U_A ja kasvatetun vertailuvaihejännitteen $U_{A'}$. Jännitteitä U_A, $U_{A'}$ ja U_T esittävät piirrokset ovat samanlaisia kahdelle muulle vertailuvaihejännitteelle U_B ja U_C, mutta vastaavasti 120° ja 240° siirrettyinä. Jännitettä $U_{A'}$ esittävä piirros kuviossa 6 on jaettu viiteen osaan A, B, C, A ja B. Nämä osat ovat analogisia kuvioissa 2 ja 3, joissa esitettiin kolme osaa, esitettyjen kanssa. Merkinnällä A varustetuissa osissa U_A on kolmesta vaihejännitteestä suurin; jännitteen U_{DD} lisääminen saa jännitteen U_A olemaan yhtä suuri kuin jännite U_{TP} ja jännitteen U_{SA} olemaan yhtä kuin 1. Osan A aikana jännitteeseen U_A liittyvässä haarassa olevat kytkimet S1 ja S1* eivät avaudu ja sulkeudu taajuuden f_c mukana. Vasteena jännitteelle U_{SA} kytkin S1 on suljettuna ja S1* auki. Haaroissa 2 ja 3 olevat toisiaan täydentävät kytkimet voivat kytkeytyä kolmiojännitteen U_T taajuudella f_c mutta eivät haaran 1 kytkimet.

Merkinnällä B varustetuissa osissa vertailuvaihejännite U_B on kolmesta jännitteestä suurin, ja esitetään jännitteen U_{DD} lisäyksen vaikutus vaihejännitteeseen U_A tuloksena $U_{A'}$. Vaikutus jännitteeseen U_B on sama kuin vaikutus jännitteeseen U_A osassa A. Kun U_B on suurin, kytkin S2 on suljettuna ja kytkin S2* auki. Toisiaan täydentävät kytkimet haaroissa 1 ja 3 voivat avautua ja sulkeutua mutta eivät haarassa 2 olevat kytkimet.

Osassa C jännite U_C on kolmesta vaihejännitteestä suurin, ja kytkin S3 sillan 5 vaihejännitteeseen U_C liittyvässä haarassa on suljettuna. Toisiaan täydentävien kyt-

kinten sillan 5 ensimmäisessä ja toisessa haarassa sallitaan avautua ja sulkeutua mutta ei haarassa 3 olevien.

Kuvio 7 esittää kytkentäsignaalia U_{SA} jännite/aikapiirroksena aikaviivalla, joka on yhteinen kuvioiden 6 ja 8 kanssa. Kun U_A on suurin kolmesta jännitteestä, kytkin S1 on aina suljettuna ja johtaa. Kun vaihejännite U_B on suurin kolmesta, kytkin S1 ja sitä täydentävä kytkin S1* sekä kytkimet S3 ja S3* kytkevät. Samalla tavoin 120° myöhemmin S3 johtaa, kun taas S1, S1*, S2 ja S2* kytkevät.

Kuviossa 8 esitetään jännite/aikapiirroksena paikallisesti keskiarvoistettu jännite U_{AOLAVR} ja paikallisesti keskiarvoistettu kuormavaihejännite $U_{AO'LAVR}$. U_{AOLAVR} on kuviossa 1 esitettyjen pisteiden o ja o' välisen jännitteen aikakeskiarvo. Tekniikan tason PWM-piirit tulisivat epälineaarisiksi osassa A, jossa vertailujännite U_A ylittää kolmiosignaalin U_{TP} suuruuden. Keksinnön mukaan paikallisesti keskiarvoistettu jännite U_{AOLAVR} ei ole sinimuotoinen eikä seuraa vertailujännitettä U_A, kuten tekniikan tasossa. Jännite U_L johdosta johtoon, erotus minkä tahansa kahden eisinimuotoisen jännitteen U_{AOLAVR}, U_{BOLAVR} ja U_{COLAVR} välillä pysyy sinimuotoisena niin kauan kuin ottojännitteiden $U_{A'}$, $U_{B'}$ ja $U_{C'}$ amplitudit pysyvät pienempinä kuin $+U_{TP}$, mikä täyttyy, jos jännitteiden U_A, U_B ja U_C amplitudit ovat pienempiä kuin $1,154 \cdot U_{TP}$. Sinimuotoiset paikallisesti keskiarvoistetut jännitteet johdosta johtoon antavat tasapainotetussa kolmivaiheisessa kuormassa sinimuotoiset paikallisesti keskiarvoistetut kuormavaihejännitteet $U_{AO'LAVR}$, $U_{BO'LAVR}$ ja $U_{CO'LAVR}$. Vääristymättömän jännitteen johdosta johtoon amplitudi on U_{DC}, mikä saa aikaan sen, että vääristymättömien paikallisesti keskiarvoistettujen jännitteiden $U_{AO'LAVR}$, $U_{BO'LAVR}$ ja $U_{CO'LAVR}$ amplitudit ovat $U_{DC}/\sqrt{3}$, mikä on 15,4 % suurempi kuin Udc/2. Udc/2 on paikallisesti keskiarvoistettujen kuormavaihejännitteiden ($U_{AO'LAVR} = U_{AOLAVR}$; $U_{BO'LAVR} = U_{BOLAVR}$; $U_{CO'LAVR} = U_{COLAVR}$) amplitudi, joka voidaan kehittää käyttämällä kolmiovertailumenetelmiä ilman lohkoa RMB 1. Siten keksintö laa-

jentaa lineaarisuutta, koska $U_{AO'LAVR}$ seuraa jännitettä U_A jännitteen U_A ollessa 15,4 % suurempi kuin tekniikan tasossa.

Kun kuviot 6, 7 ja 8 esittävät otto/anto-ominaisuuksia, kun modulaatioindeksi m_A on 0,8, kuviot 9, 10 ja 11 esittävät tapausta, jossa modulaatioindeksi m_A on 15,4 % suurempi kuin 1 eli yhtä kuin 1,154. Kuviot 2 ja 3 suhtautuvat kuvioihin 6, 7 ja 8 vastaavasti samalla tavoin kuin kuviot 4 ja 5 kuvioihin 9, 10 ja 11; ensimmäisille viidelle kuviolle m_A on pienempi kuin 1, kun taas jälkimmäisille viidelle kuviolle m_A on suurempi kuin 1. Huolimatta suuremmasta vertailuvaihejännitteestä U_A (kun m_A = 1,154) vaihtosuuntaajan toiminta pysyy lineaarisena. Kuvio 9 esittää, että osien A aikana paikallisesti keskiarvoistettu vaihejännite $U_{AO'LAVR}$ jatkaa vertailujännitteen U_A seuraamista. Piirrokset osille B ja C ovat samanlaisia mutta osasta A jäljessä 120° ja 240°.

Keksintö voidaan toteuttaa laitteistolla tai ohjelmistolla. Vaihejännitereferenssien U_A, U_B ja U_C maksimiarvojen valinta; U_{MAX} ja $U_{BIAS} = U_{TP}$, tuottaa kytkinten S1, S2 ja S3 jatkuvan johtamisen ja niitä täydentävien kytkinten S1*, S2* ja S3* jatkuvan päältä poiskytkettynä olemisen aikajaksojen aikana, jolloin vastaavat jännitereferenssit ovat suurimpia. Vertailujännitteiden U_A, U_B ja U_C minimiarvojen valinta; U_{MIN} ja $U_{BIAS} = -U_{TP}$, tuottaa kytkinten S1*, S2* ja S3* jatkuvan johtamisen ja kytkinten S1, S2 ja S3 jatkuvan päältä poiskytkettynä olemisen jaksojen aikana, jolloin vastaava vertailujännite on pienin. Samat tulokset koskien laajennettua lineaarisuutta ja pienempiä kommutointihäviöitä pätevät kummallekin tapaukselle.

Lisäksi lohkon PWM 3 ja sillan 5 käsittävä silta voi olla joko vaihtosuuntausta, tasajännitteen vaihtojännitteeksi muuttamista, tai tasasuuntausta, vaihtojännitteen tasajännitteeksi muuttamista, varten. Kuvio 1 esittää keksintöä toteuttavaa vaihtosuuntauspiiriä. Jos osat 70

korvataan sinimuotoista jännitettä antavilla teholähteillä U_D, U_E ja U_F sarjassa induktorien kanssa, saadaan kuviossa 12 esitetty keksintöä toteuttava tasasuuntaaja. Kun vaihtosuuntaajalla vaihtojänniteanto kasvaa 15,4 %, tasavirtaannolla varustetussa tasasuuntaajassa oton vaihtojännite kasvaa tekniikan tasoon nähden samalla määrällä.

Vaikka keksintö on esitetty ja kuvattu liittyen sen parhaaseen sovellutusmuotoon, tulisi alan ammattilaiselle olla selvää, että sen muotoon ja yksityiskohtiin voidaan tehdä edellä esitettyjä ja monia muita muutoksia, poistoja ja lisäyksiä keksinnön hengestä poikkeamatta ja sen puitteissa pysyen.

14

Patenttivaatimukset:

1. Jännitteenmuuntomenetelmä, jossa käytetään pulssinileveysmodulaattoria ja siltaa sanotun sillan sisältäessä vähintään kolme haaraa, joista kukin sisältää kaksi toisiaan täydentävää kytkintä, t u n n e t t u siitä, että se sisältää vaiheet, joissa:

annetaan useita sinimuotoisia vertailusignaaleja, jotka erottaa toisistaan vaihekulma, yhden signaalin liittyessä kuhunkin haaraan,

ilmaistaan sanottujen vertailusignaalien suurin voimakkuus maksimivertailusignaalin tuottamiseksi,

vähennetään sanottu maksimivertailusignaali vakiovoimakkuuden, joka on yhtä kuin sanotulta pulssinleveysmodulaattorilta saadun kolmiokantoaaltosignaalin amplitudi, omaavasta signaalista erosignaalin aikaansaamiseksi,

lisätään sanottu erosignaali sanottuihin sinimuotoisiin vertailusignaaleihin useiden kasvatettujen vertailusignaalien, yhden liittyessä kuhunkin haaraan, tuottamiseksi sanotulle pulssinleveysmodulaattorille.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen jännitteenmuuntomenetelmä, t u n n e t t u siitä, että sanottua siltaa käytetään muunnokseen vaihtojännitteestä tasajännitteeseen.

3. Patenttivaatimuksen 1 mukainen jännitteenmuuntomenetelmä, t u n n e t t u siitä, että sanottua siltaa käytetään muunnokseen tasajännitteestä vaihtojännitteeseen.

4. Jännitteenmuuntosilta, joka sisältää pulssinleveysmodulaattorin (PWM) ja sanottuun PWM:ään toiminnallisesti liitetyn sillan sanotun sillan sisältäessä vähintään kolme haaraa, joista kukin sisältää kaksi toisiaan täydentävää kytkintä, t u n n e t t u siitä, että se sisältää:

välineet useiden sinimuotoisten vertailusignaalien, jotka erottaa toisistaan vaihekulma, antamiseksi yhden liittyessä kuhunkin haaraan,

ilmaisuvälineet sanottujen sinimuotoisten vertailusignaalien suurimman voimakkuuden ilmaisemiseksi maksimivertailusignaalin tuottamiseksi,

vähennysvälineet sanotun maksimivertailusignaalin vähentämiseksi vakiovoimakkuuden, joka on yhtä kuin sanotulta pulssinleveysmodulaattorilta saadun kolmiokantoaaltosignaalin amplitudi, omaavasta signaalista erosignaalin tuottamiseksi sekä

summaimen sanotun erosignaalin lisäämiseksi sanottuihin sinimuotoisiin vertailusignaaleihin useiden kasvatettujen vertailusignaalien, yhden liittyessä kuhunkin haaraan, tuottamiseksi sanotulle pulssinleveysmodulaattorille.

5. Patenttivaatimuksen 4 mukainen jännitteenmuuntosilta, t u n n e t t u siitä, että sanottua siltaa käytetään muunnokseen vaihtojännitteestä tasajännitteeseen.

6. Patenttivaatimuksen 4 mukainen jännitteenmuuntosilta, t u n n e t t u siitä, että sanottua siltaa käytetään muunnokseen tasajännitteestä vaihtojännitteeseen.

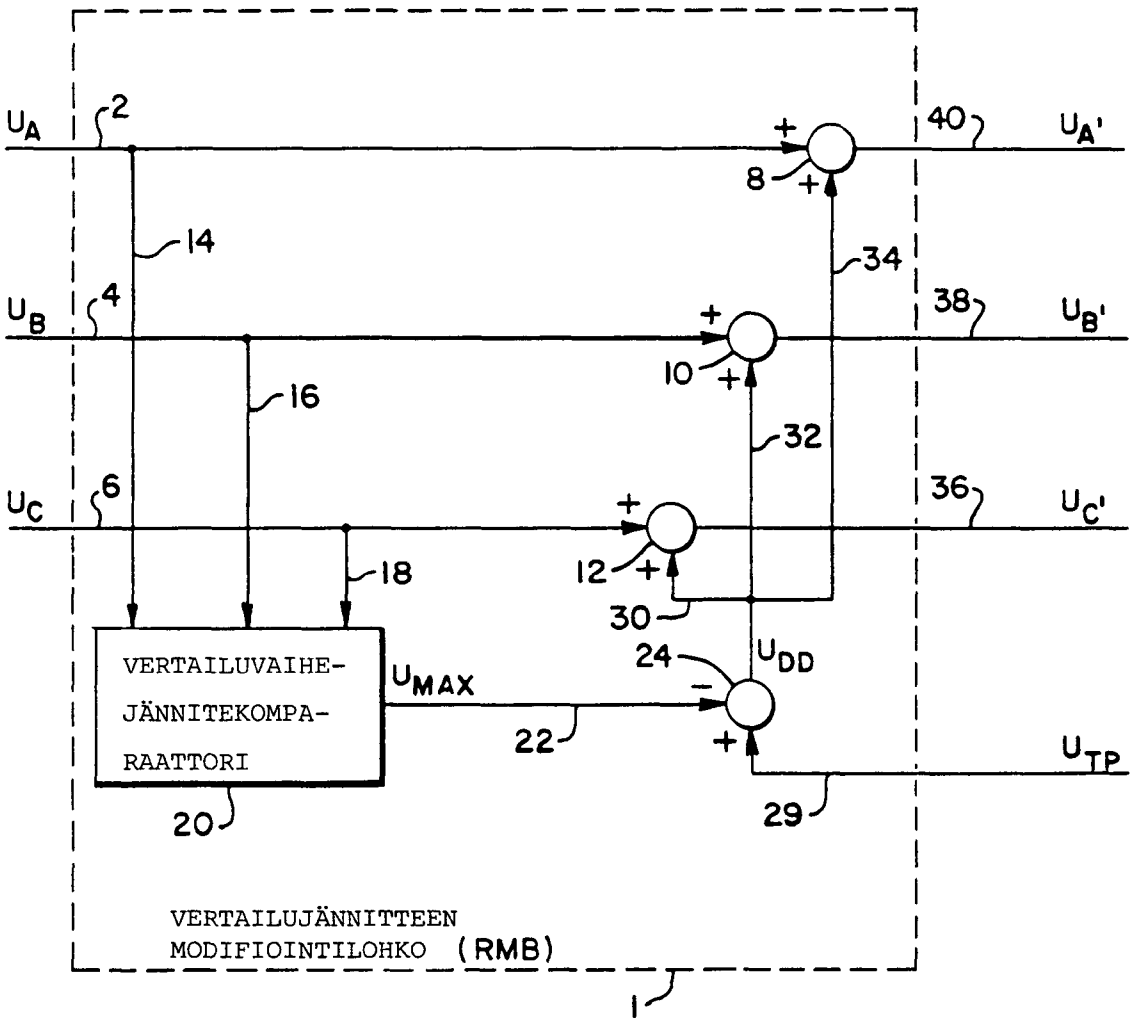
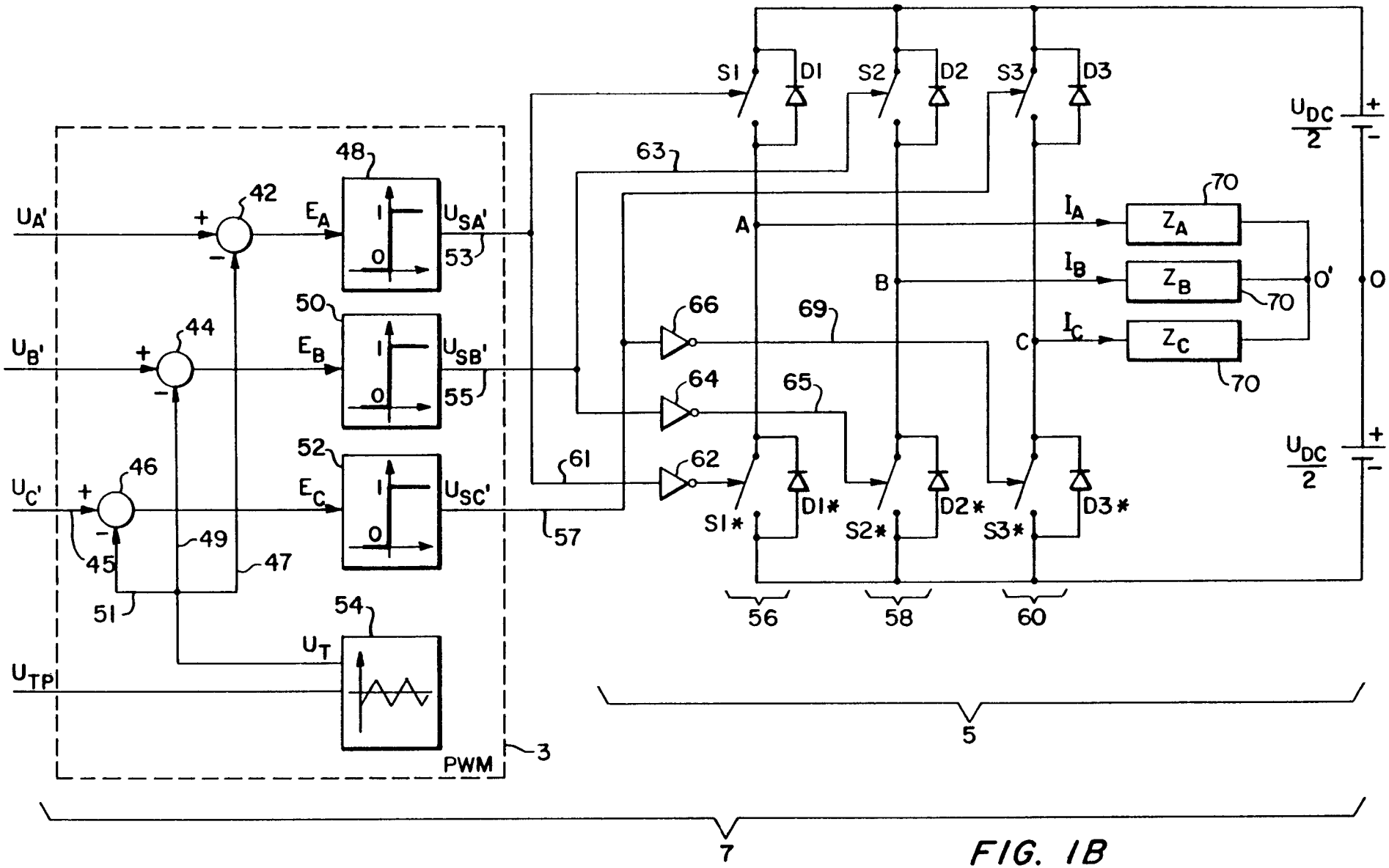

U_A
2
40
U_A'
8
14
34
U_B
4
38
U_B'
10
16
32
U_C
6
36
U_C'
12
18
30
VERTAILUVAIHE-
JÄNNITEKOMPA-
RAATTORI
U_MAX
24
U_DD
22
U_TP
20
29
VERTAILUJÄNNITTEEN
MODIFIOINTILOHKO (RMB)
1

FIG. 1A



$U_{A'}$
$U_{B'}$
$U_{C'}$
U_{TP}
42
44
46
45
49
47
51
48
50
52
54
E_A
E_B
E_C
U_T
$U_{SA'}$
$U_{SB'}$
$U_{SC'}$
53
55
57
PWM
3
61
63
66
64
62
69
65
S1
D1
S2
D2
S3
D3
A
B
C
I_A
I_B
I_C
Z_A
Z_B
Z_C
70
O'
O
$\frac{U_{DC}}{2}$
S1*
D1*
S2*
D2*
S3*
D3*
56
58
60
5
7

FIG. 1B

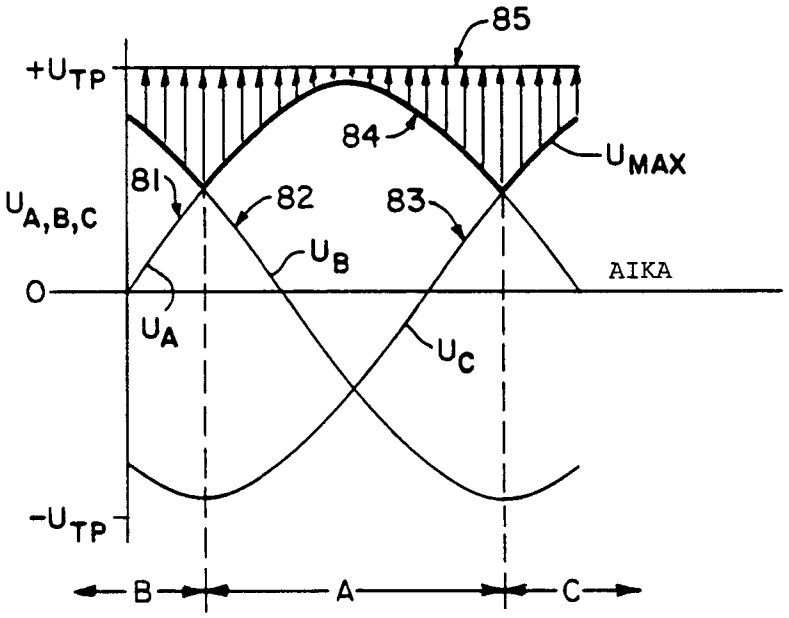

85
+U_TP
84
U_MAX
81
82
83
U_A,B,C
U_B
AIKA
0
U_A
U_C
-U_TP
B
A
C

FIG. 2

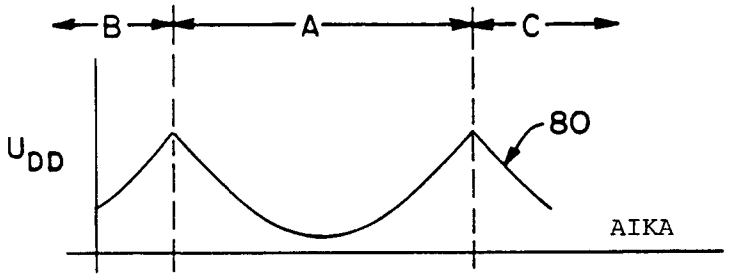
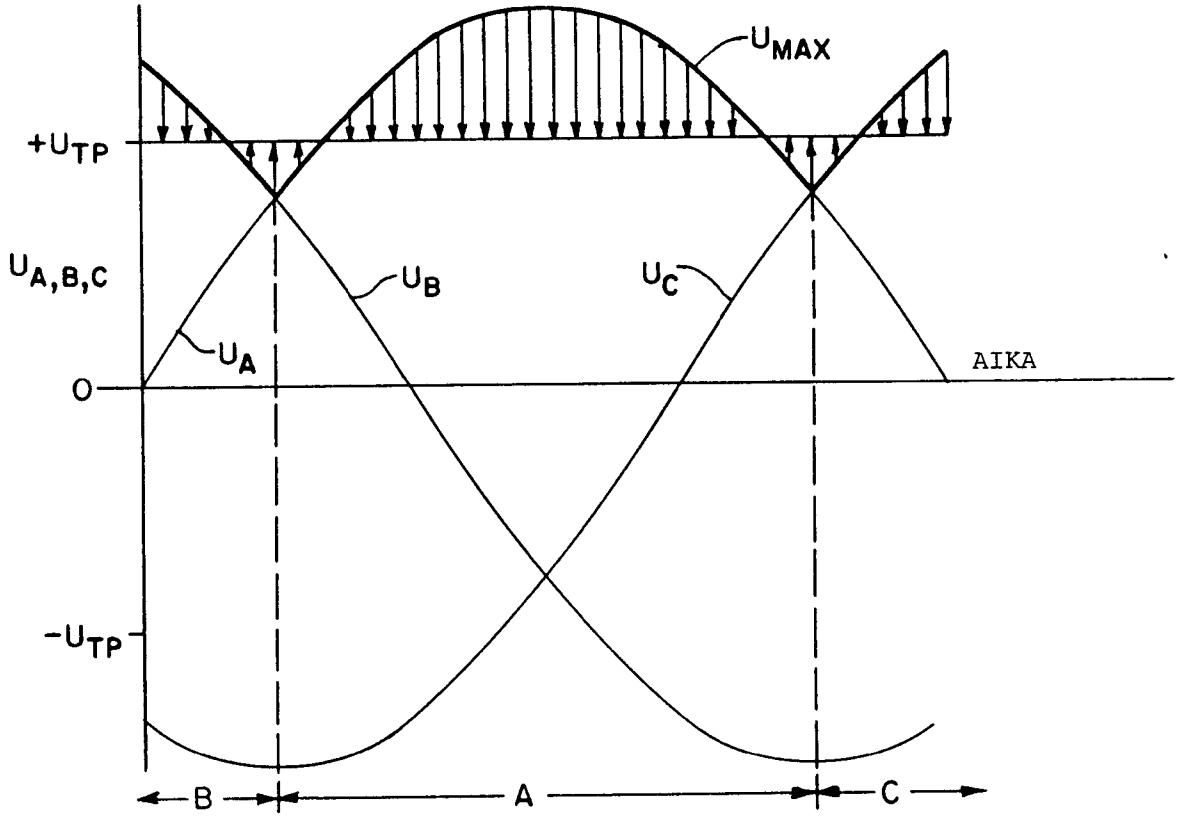

B
A
C
80
U_DD
AIKA

FIG. 3

FIG. 4



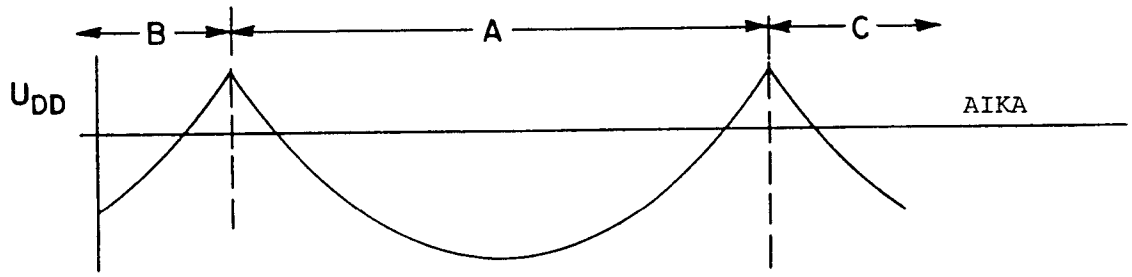


FIG. 5

FIG. 6

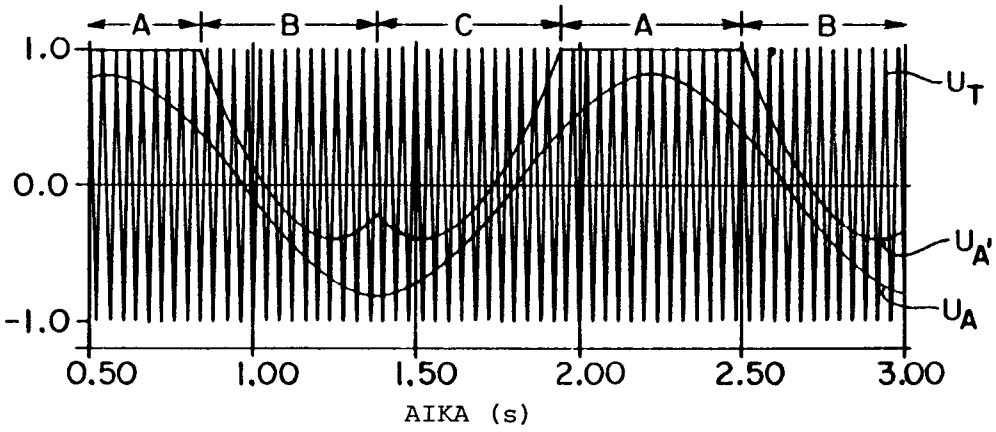


FIG. 7

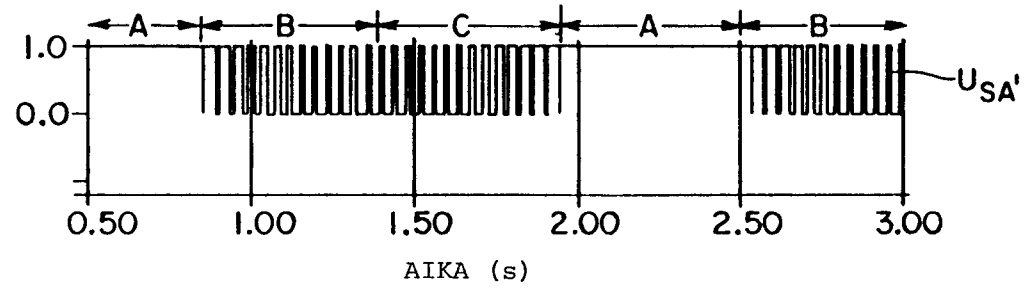


FIG. 8

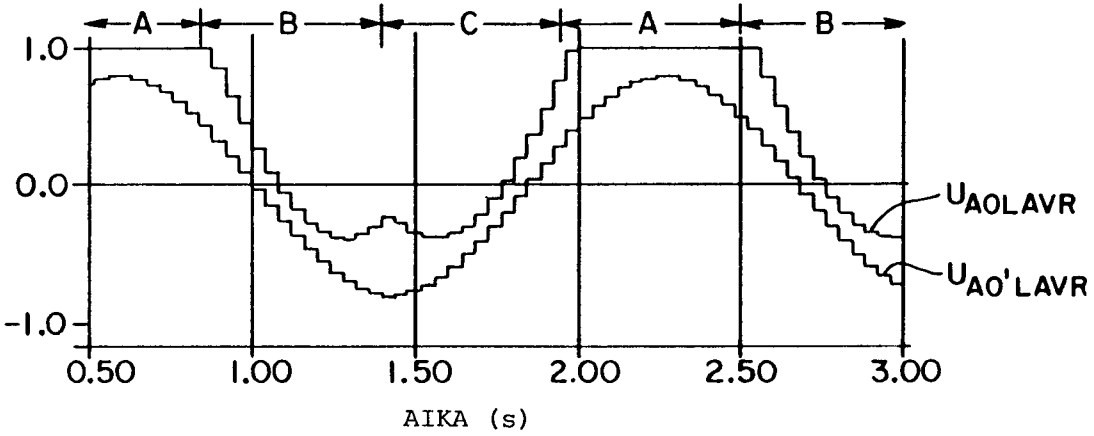


FIG. 9

VOLTTIA/YKSIKKÖ
DC-SYÖTTÖJÄNNITE
M_A = 1.154

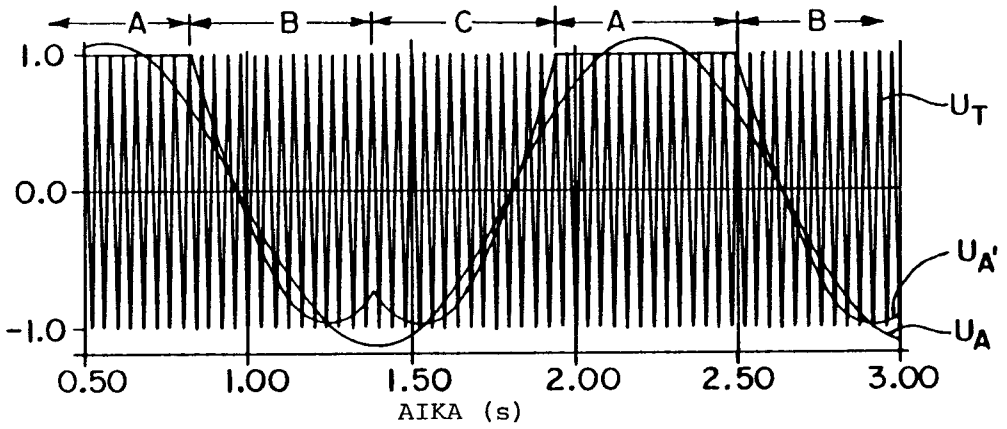


FIG. 10

VOLTTIA/YKSIKKÖ
DC-SYÖTTÖJÄNNITE
M_A = 1.154

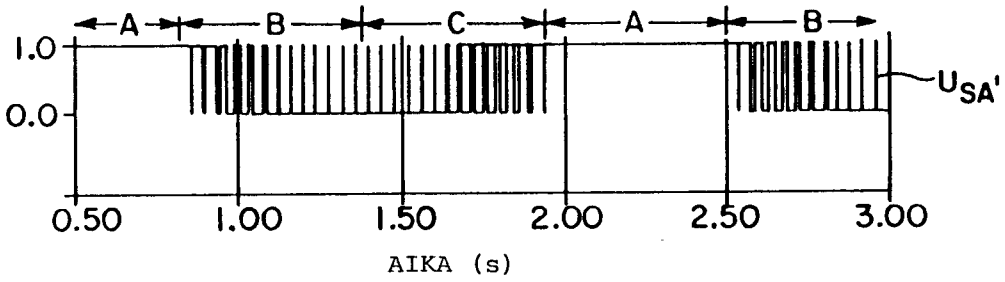
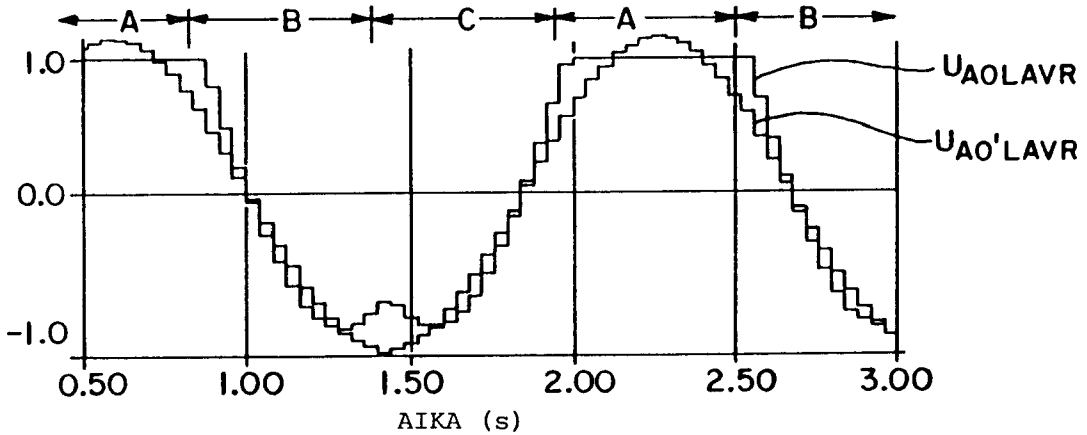


FIG. 11

VOLTTIA/YKSIKKÖ
DC-SYÖTTÖJÄNNITE
M_A = 1.154



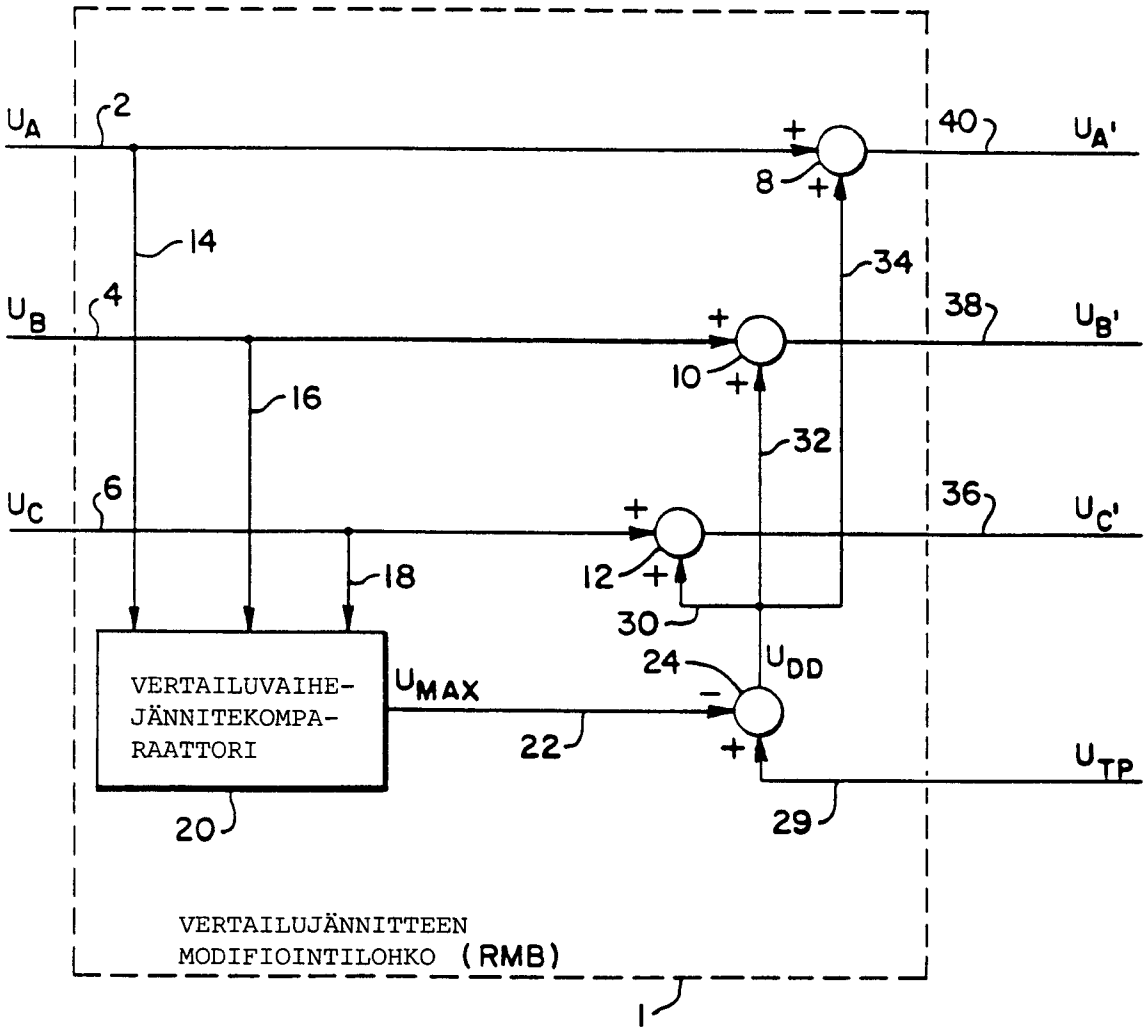

U_A
2
40
U_A'
+
8
+
14
34
U_B
4
38
U_B'
+
10
+
16
32
U_C
6
36
U_C'
+
12
+
18
30
24
U_DD
VERTAILUVAIHE-
JÄNNITEKOMPA-
RAATTORI
U_MAX
−
22
+
U_TP
20
29
VERTAILUJÄNNITTEEN
MODIFIOINTILOHKO (RMB)
1

FIG. 12A

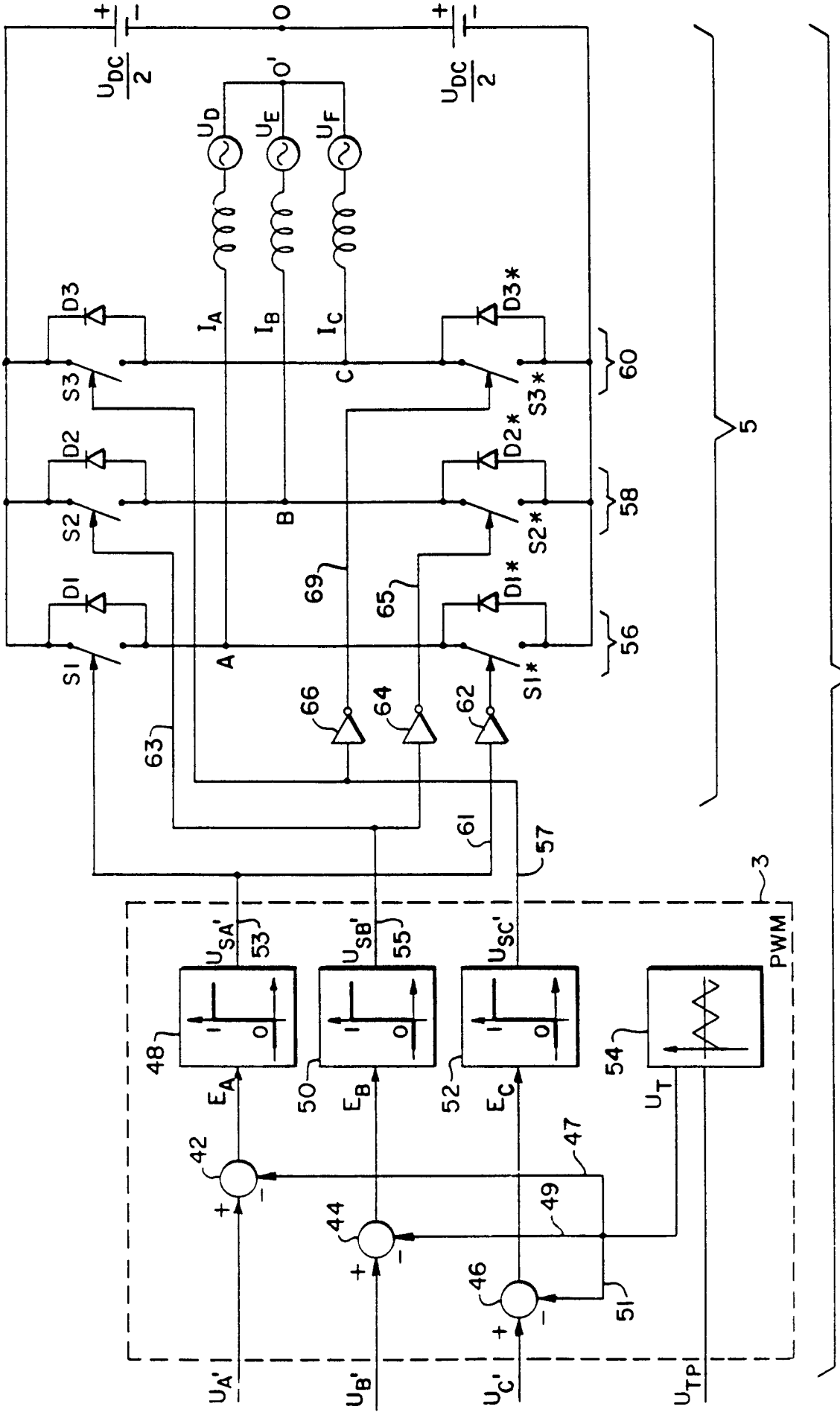

+
-
O
O'
U_{DC}
2
U_D
U_E
U_F
I_A
I_B
I_C
A
B
C
D3
D2
D1
S3
S2
S1
D3*
D2*
D1*
S3*
S2*
S1*
60
58
56
5
69
65
63
66
64
62
61
57
3
PWM
$U_{SA'}$
$U_{SB'}$
$U_{SC'}$
53
55
48
50
52
54
E_A
E_B
E_C
U_T
42
44
46
47
49
51
$U_{A'}$
$U_{B'}$
$U_{C'}$
U_{TP}
7

FIG. 12B