(19)



SUOMI - FINLAND
(FI)

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

(10) **FI 924083 A7**

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

(21) Patenttihakemus - Patentansökan - Patent application 924083

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

(22) Tekemispäivä - Ingivningsdag - Filing date **11.09.1992**

(23) Saapumispäivä - Ankomstdag - Reception date **11.09.1992**

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig - Available to the public **18.03.1993**

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

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

17.09.1991 US 761113

(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

Tyhjennysjakson jännitepoikkeaman kompensoija inverttereitä ja konverttereita varten

Spänningsdeviationkompensator för släcktid för växelriktare och omformare

23

Tyhjennysjakson jännitepoikkeaman kompensoija invertttereitä ja konverttereita varten

Tämä keksintö koskee pulssinleveysmodulaatioon (PWM) perustuvia invertttereitä ja konverttereita ja erityisesti tyhjennysaikajakson vaikutusta noiden invertttereiden ja konverttereiden lähtöjännitteeseen.

PWM-invertttereissä ja -konverttereissa vaihejännite muodostuu sarjasta kanttipulsseja, joilla on lyhyt kesto perustaajuuteen verrrattuna. Nämä pulssit ovat voimakkuudeltaan vakioita ja pulssinleveydeltään vaihtelevia.

Invertterin lähtöjännitteen aaltomuoto on pulssijono, jonka polariteetti kääntyy jaksollisesti muodostaen perustaajuuden. Tuotetun pulssijonon toistotahti on kantoaaltotaajuus f_c, jos käytetään kolmiointiin perustuvaa PWM-menetelmää. Vaihtelu pulssien, jotka muodostavat kunkin puolijakson, leveydessä säätää RMS-jännitteen suuruutta. Tämä vaihtelu tai modulointi saavutetaan käytännössä monilla menetelmillä. Yleinen menetelmä tunnetaan kolmiointina tai aliharmonismenetelmänä jossa pulssien, jotka ohjaavat tehopiirin kytkimiä, kesto määräytyy kahden vertailusignaalin ylimenokohdista: korkeataajuinen kolmiojänniteaalto ja sinimuotoinen jännite, joka vaihtelee perustaajuudella. PWM-signaalia käytetään ohjaamaan kytkimiä sillassa taajuudella f_c.

Ideaalisesti siltapiirin kussakin jalassa olevat transistorit sulkeutuvat välittömästi kun PWM-signaali muuttuu epäaktiiviseen tilaansa, esimerkiksi vaihtuu loogisesta tilasta 1 loogiseen tilaan 0. Käytännön piireissä, joissa käytetään transistorityyppisiä piirejä, transistorien välitön sulkeutuminen ei ole mahdollinen toteuttaa. Esimerkiksi kun PWM-signaali, joka syötetään kytkinpariin sillan haarassa, muuttuu loogisesta tilasta 1 loogiseen tilaan 0, ensimmäinen transistori ei täysin sulkeudu ennen kuin toinen avautuu. Tämä johtuu siitä, että vaaditaan

rajallinen määrä aikaa jotta transistori voisi poistua kyllästystilasta sen jälkeen kun PWM-ohjeussignaali muuttuu epäaktiiviseen tilaansa (looginen 0). Tästä seuraa sillan haaran kahden transistorin samanaikainen johtaminen. Koska nämä kaksi transistoria muodostavat sarjakytkennän teholähteen yli, niiden samanaikainen johtaminen johtaa liialliseen virtaan ja transistorien tuheutumiseen. Tämän ongelman välttämiseksi siltapiiriä ohjaavaan PWM-signaaliin sijoitetaan tarkoituksellinen tyhjennysjakso. Toisin sanoen toisen kytkimen päällekytkeytymistä invertterin haarassa viivästetään tyhjennysjaksolla t_Δ oikosulun välttämiseksi invertterin haaran kautta. Aikaviiveen t_Δ pituus on riittävä takaamaan, että molemmat transistorit invertterin haarassa ovat pois päältä ennenkuin transistorin sallitaan kytkeytyä päälle siltapiirissä olevassa parissa. Tyhjennysjakson aika tunnetaan myös kuolleena aikana.

Koska molemmat kytkimet ovat pois päältä tyhjennyshetkellä, linjan jännite tuon aikajakson aikana riippuu kuormitusvirran suunnasta. Kun kuormitusvirta i_A on positiivinen (kulkee invertteriltä kuormaan), tämä aiheuttaa jännitehäviön $\Delta U_A = U_{DC} * [t\Delta/T_c]$, ja kun virta on negatiivinen, jännitteen kasvun $\Delta U_A = U_{DC} * [-t\Delta/T_c]$, jossa t_Δ on yhtä kuin tyhjennysaikajakso, T_c on yhtä kuin kantoaaltotaajuuden jakso ja U_d on lähtevä tasajännite. On toivottavaa minimoida ΔU_A.

Kolmevaiheisen kolmehaaraisen tehonmuunnossillan (konvertteri tai invertteri) tapauksessa sama analyysi pätee toiseen haaran B ja kolmanteen haaraan C. Vääristymä jännitteissä U_A, U_B ja U_C vaihevirtojen i_A, i_B ja i_C nollan ylityksissä aiheuttaa perustaajuuden harmonisia, sellaisia kuin kolmas, viides, seitsemäs ja niin edelleen, invertterin tai konvertterin lähtöön.

Tarve kompensoida tyhjennysaikajakso tunnetaan hyvin (katso US-patentti 4 562 386, Goff et al, arkistoitu

26. tammikuuta 1984, julkaistu 31 joulukuuta 1985 otsikolla "Current Sense Demodulator"), kuten ovat myös tyhjennysjakson aiheuttamien harmonisten aiheuttamat ongelmat, jotka on myös kauan tunnustettu (Ned Mohan, Tore M. Underland, William P. Robbins, "Power Electronics Converters, Applications and Design", John Wiley & Sons, New York, 1989, s. 141 - 144).

Yksi menetelmä tyhjennysjakson hävikin kompensoimiseksi kuvataan US-patentissa 4 547 719, arkistoitu 25. tammikuuta 1983 ja myönnetty 15. lokakuuta 1985 Sakamoto et al:lle, joka nojautuu jännitetakaisinkytkentään. Tässä kytkennässä käytetään jännitteen muunnospiiriä painotetun jännitteen muodostamiseksi käämijännitteestä U_c, erotuspiirin erotuksen laskemiseksi pitopiirin lähtöjännitteestä ja jännitteenmuunnospiirin lähtöjännitteestä, ja integrointipiirin erotuspiirin muodostaman erotuksen integrointia varten. Toisin sanoen invertteripiirin lähtöjännite syötetään takaisin PWM-piirin esiasteeseen vahvistuksen kasvattamiseksi takaisinkytkentäsilmukkaa käyttämällä. Kuitenkin kytkennässä, jossa mikroprosessoria käytetään osana moottorinohjauspiiriä, on tarpeen käyttää erillisiä analogisia piirejä näitä takaisinkytkentäsilmukoita varten. Tämä menettely tulee toteuttaa nopeilla analogisilla piireillä, eikä sitä voida toteuttaa riittävän nopeasti mikroprosessorilla. Ratkaisu on rakenteeltaan mutkikas ja sen toteutus kallis.

Toinen laite PWM-tyhjennysajan kompensoimiseksi on kuvattu US-patentissa 4 719 400, arkistoitu 19. lokakuuta 1983 ja myönnetty 12 tammikuuta 1988 Kurakake et al:lle. Kurakake esittää moottorinohjauslaitteen, joka sisältää aritmeettisen piirin virtakomennon laskemiseksi, pitopiirin virtakomennon pitämiseksi, PWM-piirin, jolla pulssinleveysmoduloidaan pitopiiriltä tuleva lähtösignaali ja joka on varustettu kuolleella alueella lähtösignaalin suhteen, ja tyristoroidun vahvistinpiirin moottorin ohjaami-

seksi PWM-signaalilla. Aritmeettinen piiri lisää kompensointisignaalin virtakomentoon tyhjennysajasta johtuvien moottorinohjaushäviöiden kompensoimiseksi ja toimittaa tuloksen pitopiirille. Tämä esittää ratkaisun häviöongelmaan ja vääristymäongelmaan, jotka johtuvat tyhjennysajasta, mutta se luo toisen ongelman siinä, että kompensointia suoritetaan koko ajan. Esimerkiksi kun PWM-piiri komennetaan olemaan lähellä kyllästymistä (komplementaaristen kytkimien täysi johtaminen tehopiirissä), ylimääräinen kompensointisignaali voi viedä PWM-piirin kyllästystilaan ja aiheuttaa liiallisen kuormajännitteen. Toisaalta kun vertailujännite komentaa PWM-piirin menemään kyllästystilaan, tyhjennysjakson jännitepoikkeamasignaali voi tuoda sen pois kyllästystilasta vähentäen siten tahattomasti kuormajännitettä. Yhteenvetona koko ajan suoritettava kompensointi aiheuttaa kuormavirtaan lisävääristymän, kun PWM-piiri toimii lähellä kyllästymistä.

Keksintöä käytetään jännitteenmuuntosillassa, jota käytetään vaihtojännitteen muuntamiseksi tasajännitteeksi tai tasajännitteen muuntamiseksi vaihtojännitteeksi. Kolmivaihesillassa, jossa kuhunkin haaraan liittyy yksi kolmesta vertailuvaihejännitteestä U_A, U_B, U_C, yksi kytkimistä S1, S2 tai S3 (tai vaihtoehtoisesti niiden komplementeista S1*, S2* tai S3*) johtaa aikajaksoissa joissa vastaavalla jännitteellä U_A, U_B tai U_C on suurempi (tai vaihtoehtoisesti pienempi) amplitudi kuin muilla kahdella vertailujännitteellä, ja näinä aikoina tyhjennysjakson kompensointihäviö kompensoidaan. Keksinnön mukaisesti (a) tuotetaan kolme vertailujännitettä; (b) näiden jännitteiden maksimi ilmaistaan; (c) maksimi vähennetään kolmioaallon, jota käytetään PWM-signaalin muodostamiseen, huippuarvosta; (d) erotus lisätään kuhunkin vertailujännitteeseen kolmen ensimmäisen täydennetyn vertailujännitteen muodostamiseksi tyhjennysjakson häviöiden kompensoijalle; (e) jos jännitteenmuunnossilta ei ole kyllästynyt ja tyhjennysjakson

poikkeamajännitteen kompensointisignaali ei aiheuttaisi kyllästymistä, tyhjennysjakson jännitepoikkeaman kompensointisignaali lisätään ensimmäisiin täydennettyihin vertailujännitteisiin tyhjennysjakson aiheuttaman jännitepoikkeaman kompensoimiseksi, jolloin syntyvät toiset täydennetyt vertailujännitesignaalit; ja (f) kompensoidut signaalit syötetään PWM-osalle, joka puolestaan syöttää PWM-signaalit kolmivaihesillalle. Tämä menetelmä minimoi tyhjennysjakson käytön aiheuttamat jännitepoikkeamat.

Kolmivaiheisen tehonmuunnossillan tapauksessa vaiheiden (a), (b), (c), (d) ja (f) seuraus on, että kun yksi kolmesta vertailujännitteestä on suurempi kuin muut kaksi, kytkin yhdessä kolmesta sillan komplementaarisesta kytkinparista johtaa, samalla kun molemmissa muissa kahdessa komplementtiparissa molemmat kytkimet avautuvat ja sulkeutuvat PWM-signaalin ohjaamana siten, että vain kahta virtaa ohjataan itsenäisesti kummallakin kahdesta komplementtiparista, joiden sallitaan avautua ja sulkeutua, ja kolmatta virtaa, joka liittyy komplementtipariin jonka ei anneta kytkeä, ohjataan näillä muilla kahdella. Pitämällä yksi kytkin kussakin haarassa pois päältä vertailujännitteen jakson kolmasosan ajan sallitaan kaikkien kolmen kuormavirran hallinnan määräytyminen kytkennällä, joka tapahtuu vain sillan kahdessa haarassa. Vaiheen (e) sisällyttäminen aiheuttaa, että tyhjennysjakson käytön aiheuttamat jännitepoikkeamat minimoituvat kahdelle haaralle jotka eivät jatkuvasti johda. Invertterin tapauksessa poikkeamat esiintyvät paikallisen keskiarvon vaihtolähtöjännitteessä. Konvertterin tapauksessa poikkeamat ovat paikallisen keskiarvon vaihtotulojännitteessä.

Keksinnön ensimmäinen kohde on kompensoida PWM-invertterin lähtöjännitteen poikkeamaa, jonka tyhjennysjakso aiheuttaa, lisäämällä jännite, joka on yhtä suuri kuin poikkeama mutta polariteetiltaan vastakkainen, PWM-tuloon.

Missing page

ohjataan linjoilla 2, 4, 6 kolmella sinimuotoisella vertailujännitteellä U_A, U_B ja U_C ja kolmioaaltojännitteellä U_T, ja se tuottaa kolme ensimmäistä täydennettyä vertailujännitettä (U_A' ja U_B' ja U_C') linjoilla 36, 38 ja 40. U_A ja U_B ja U_C ovat komentovertailusignaaleja; tasajännitteteho saadaan kahdesta tasajännitelähteestä $U_{DC}/2$. Kolme vertailujännitettä (U_A ja U_B ja U_C) sijaitsevat 120° päässä toisistaan. Ensimmäiset täydennetyt vertailujännitteet (U_A' ja U_B' ja U_C') ovat 120° päässä toisistaan. RMB 1 muodostuu kolmesta summaajasta 8, 10 ja 12, vertailujännitteen vertailijasta 20 ja neljännestä summaajasta 24, jota ohjaa kantoaaltosignaalin U_T kolmioaallon huipun U_{TP} suuruus. Kantoaaltosignaalin voimakkuudella on positiivinen huippu U_{TP} ja negatiivinen huippu $-U_{TP}$. Kolme vertailujännitettä (U_A ja U_B ja U_C) tuodaan linjoilla 2, 4 ja 6 RMB:een 1 ja summaajille 8, 10, 12. Vertailujännitteen vertailijassa 20 kunkin jännitteen (U_A ja U_B ja U_C) suuruutta verrataan ja suurin U_{MAX} tuodaan linjaa 22 pitkin summaajaan 24. Vertailujännitteen vertailija 20 vertaa kahta vertailujännitteistä ja vertaa sitten suurempaa näistä kahdesta kolmanteen vertailujännitteeseen U_{MAX}:n tuottamiseksi.

Kuviossa 1 kolmioaaltosignaalin U_T jännitteeltään vakio kolmioaallon huippuarvo U_{TP} tuodaan PWM:een 3 ja tuodaan linjalla 29 summaajaan 24. Summaajassa 24 suurin jännite U_{MAX} vähennetään kolmioaallon huippuarvosignaalista U_{TP} linjalla 29, ja erotus U_{DD} tuodaan linjoilla 30, 32, 34 summaajiin 8, 10, 12. Summaajissa 8, 10, 12 erotussignaali U_{DD} summataan kuhunkin vertailujännitesignaaliin (U_A ja U_B ja U_C), jolloin syntyvät ensimmäiset täydennetyt vertailujännitesignaalit (U_A' ja U_B' ja U_C'), jotka syötetään tyhjennysjakson jännitepoikkeaman kompensoijaan 102 linjoja 36, 38 ja 40 pitkin. Kuviossa 1 PWM 3 sisältää kolme summaajaa 42, 44, 46, kolme kompensoijaa 48, 50, 52 ja kolmiosignaalin generaattorin 54. Kutakin summaajista 42, 44 ja 46 ohjaa toinen täydennetty vertailujännitesignaali (U_A"

ja U" ja U_C") linjoilla 112, 114, 116 ja kolmioaaltosignaali U_T, jonka kolmioaaltosignaaligeneraattori 54 tuottaa, linjoilla 47, 49, 51. Kolmioaaltosignaaligeneraattori 54 muodostaa myös $+U_{TP}$:n linjalle 29. Summaajat 42, 44, 46 muodostavat virhesignaalit (E_A ja E_B ja E_C) vertailijoille 48, 50, 52. Jos E_A, E_B tai E_C on suurempi kuin nolla (so. U_X" on suurempi kuin U_T), kyseessä olevan vertailijan 48, 50 tai 52 lähtö saa arvon U_{SX}" = 1, jossa X on A, B ja C komparaattoreille 48, 50, 52. Siten komparaattorit 48, 50, 52 tuottavat kytkentäsignaalit (U_{SA}" ja U_B" ja U_{SC}) linjoille 53, 55, 57 ja tuovat ne siltaan 5. Silta 5 sisältää kolme haaraa 56, 58, 60.

Kuviossa 1 kukin haara sisältää kaksi komplementaarista puolijohdekytkinrakennelmaa. Ensimmäinen haara sisältää kytkimen S1, myötäsuuntaisen diodin D1 joka ohikytkee tuon kytkimen, ja komplementaarisen kytkentärakennelman - NOT-portin 62, kytkimen S1*, ja myötäsuuntaisen diodin D1* joka ohikytkee tuon kytkimen. Toinen haara 58 sisältää kytkimen S2, myötäsuuntaisen diodin D2 joka ohikytkee tuon kytkimen, ja komplementaarisen kytkentärakennelman - kytkimen S2*, NOT-portin 64, ja myötäsuuntaisen diodin D2 joka ohikytkee tuon kytkimen. Kolmas haara 60 sisältää kytkimen S3, myötäsuuntaisen diodin D3 joka ohikytkee tuon kytkimen, ja komplementaarisen kytkentärakennelman - kytkimen S3*, NOT-portin 66, ja myötäsuuntaisen diodin D3* joka ohikytkee tuon kytkimen.

Sillan 5 ensimmäistä, toista ja kolmatta haaraa 56, 58 ja 60 ohjaavat kytkentäsignaalit (U_{SA}" ja U_{SB}" ja U_{SC}), jotka tuodaan linjoilla 53, 55 ja 57. Esimerkiksi jos E_A on suurempi kuin nolla, so. U_A" on suurempi kuin U_T, vertailijan 48 lähtö saa arvon U_{SA}" = 1. Kytkin S1 suljetaan ja S1* avataan.

Amplitudimodulaatioindeksi m_A määritellään sinimuotoisen vertailujännitteen huippuarvon suhteena huippuarvoon U_{TP}. Kun $m_A < 1$, U_A ja U_B ja U_C aaltomuotoina 81, 82 ja

83 on esitetty kuviossa 2. Aaltomuotojen 81, 82 ja 83 ylin osa, U_A:n ja U_B:n ja U_C:n maksimi, on esitetty paksulla viivalla aaltomuotona 84, U_{MAX}. Kolmioaallon huippusignaali U_{TP} on merkitty jänniteakselille. Kuviot 2 ja 3 ovat yhteisellä aikalinjalla ja ne jakaantuvat kolmeen osaan "A", "B" ja "C".

Summaajan 24 linjalle 24 tuottama erotussignaali (U_{DD}), joka on yhtä kuin U_{TP}:n ja U_{MAX}:n välinen erotus, on esitetty aaltomuodolla 80 kuviossa 3. U_{DD} aiheuttaa Uo'o:n vaihtelun. Uo'o on potentiaaliero kuorman keskipisteen O' ja syötön keskipisteen O välillä.

Mikroprosessoripohjaista tyhjennysjakson jännitepoikkeaman kompensoijaa 102 ohjaa linjoilla 36, 38 ja 40 ensimmäinen täydennetty vertailujännite U_X' (jossa X on A, B tai C) ja linjoilla 103, 105 ja 107 vertailuvirrat linjoilla 104, 106 ja 108, I_A I_B I_C liittyen noihin vertailujännitteisiin, ja kolmioaallon huippuasignaalit $\pm U_{TP}$ linjalla 110. Se tuo linjoille 112, 114 ja 116 kolme toista täydennettyä vertailujännitesignaalia (U_A" ja U_B" ja U_C") kullekin sillan haaralle 56, 58 ja 60. t_{Δ}, T_C ja U_{DC} linjoilla 118, 120 ja 122 (tyhjennysjakso, kantoaallon ajallinen jakso ja antotasajännite, vastaavasti) tuodaan myös tyhjennysjakson jännitepoikkeaman kompensoijalle 102 tyhjennysjakson jännitteen kompensointijännitteen ΔU_X tuottamiseksi.

Kuviossa 4 esitetään looginen rutiini toisten täydennettyjen vertailujännitesignaalien (U_A" ja U_B" ja U_C") määrittämiseksi. Invertterin tapauksessa kompensoidaan jännitepoikkeama invertterin lähdössä. Kuvion 4 rutiini huolehtii siitä, että jos vertailuvirta I_X (jossa X on A, B tai C ja I_A liittyy U_A:aan, I_B liittyy U_B:een, jne.) on positiivinen, tyhjennysjakson kompensointijännite ΔU_X lisätään ensimmäiseen täydennettyyn vertailujännitteeseen U_X'. Toisaalta jos vertailuvirta I_X on negatiivinen, sama

tyhjennysjakson kompensointijännite ΔU_x vähennetään ensimmäisestä täydennetystä vertailujännitteestä U_x'.

Invertterin haara 56, 58 ja 60 muodostaa PWM-piirin ja siihen liittyvän sillan haaran. Kuviossa 1 on kolme invertterin haaraa. Invertterin haaran 56 kyllästyminen tapahtuu esimerkiksi, kun PWM-piirin tulovertailujännitteen kasvu ei tuota suurempaa sillan lähtöjännitettä. Esimerkiksi U_A':n kasvu yli ±UTP:n ei tuota yhtään suurempaa invertterin lähtöjännitettä tuosta haarasta 56.

Rutiini kompensoi tyhjennysjakson jännitepoikkeaman, jos invertterin haara 56 ei ole kyllästynyt ja kompensointi ei aiheuttaisi invertterin haaran kyllästymistä. Koska PWM 3 kyllästyy jos U_x' ylittää $\pm U_{TP}$, voidaan määrittää onko invertterin haara kyllästynyt määrittämällä onko U_x' alueen $\pm U_{TP}$ sisä- vai ulkopuolella. Voidaan myös määrittää, aiheuttaako kompensointi kyllästymisen määrittämällä onko V_x alueen $\pm U_{TP}$ sisäpuolella.

Rutiiniin mennään sisään askeleesta 401. Jos U_x' on suurempi tai yhtä suuri kuin kolmioaallon huippu U_{TP} (askel 404 antaa myöntävän vastauksen), invertterin haara on kyllästynyt ja sen vuoksi ei ole mitään tyhjennysjakson jännitteen kompensointia, ja PWM:n 3 tulo $U_x"$ asetetaan yhtä suureksi kuin U_{TP} (askel 406). Samankaltainen tulos generoituu jos ensimmäinen täydennetty vertailujännite U_x' on yhtä suuri tai pienempi kuin $-U_{TP}$ (askel 404 kieltävä ja askel 408 myöntävä); $U_x"$ asetetaan silloin arvoon $-U_{TP}$ (askel 410). Jos askel 408 tuottaa negatiivisen vastauksen, invertterin haara 56 ei ole kyllästystilassa. Askeleen 408 negatiivisesta haarasta rutiini etenee askeleeseen 412, jossa lasketaan summa V_x (a) $U_x"$:n ja (b) tyhjennysjakson kompensointijännitteen ($\Delta U_x = U_{DC} * [t\Delta/TC]$) välillä kerrottuna vertailuvirran I_x merkkifunktiolla. Jos summa V_x on pienempi tai yhtä suuri kuin $-U_{TP}$ (askel 414 kieltävä ja askel 416 myöntävä), mitään kompensointia ei ole, koska sen suorittaminen asettaisi invertterin haaran kyllästys-

tilaan; U_X" on sama kuin U_X' (askel 418). Jos summa V_X on U_{TP}:n ja -U_{TP}:n asettamien rajojen sisällä (askel 414 kieltävä ja askel 416 kieltävä), kompensointi ei aiheuttaisi kyllästymistä; sen vuoksi tyhjennysjakson jännitepoikkeama kompensoidaan asettamalla U_X" arvoon V_X (askel 420). Koska merkkifunktio tuottaa arvon 1 positiivisella syöttöarvolla ja arvon -1 negatiivisella syöttöarvolla, lasketun jännitepoikkeaman kanssa yhtä suuri jännite lisätään U_X':uun jos vertailuvirta on suurempi kuin nolla, ja että jännite vähennetään U_X':sta jos vertailuvirta I_X on pienempi kuin nolla.

Keksintö ei kompensoi tyhjennysjakson jännitepoikkeamaa koko ajan, vaan vain silloin kun se on tarpeen, esimerkiksi ajan joka vastaa 240° vertailuvaihejännitteestä U_X. Keksintö voidaan toteuttaa invertteripiirissä, kuten kuviossa 1, tai konvertterina, kuten kuviossa 5. Balansoidut kuormaelementit 70 korvataan keloilla ja kolmella sinimuotoisella teholähteellä U_D, U_E ja U_F.

Vaikka keksintö on esitetty ja kuvattu sen parhaan suoritusmuodon avulla, alan ammattimiesten tulisi ymmärtää, että edellä oleva ja erilaiset muut muutokset, poistot ja lisäykset sen muotoon ja yksityiskohtiin voidaan tehdä poikkeamatta keksinnön vaikutusalueesta ja hengestä.

Patenttivaatimukset:

1. Menetelmä jännitepoikkeaman kompensoimiseksi pulssinleveysmodulaatioon (PWM) perustuvassa invertterissä, mainitun invertterin sisältäessä kolme haaraa, mainitun PWM:n käyttäessä kantoaaltosignaalia, kantoaaltosignaalin voimakkuuden omatessa positiivisen huipun ja negatiivisen huipun, t u n n e t t u siitä, että se sisältää seuraavat vaiheet:

useiden vertailuvirtasignaalien tuottamisen, kunkin ollessa siirtynyt vaihekulman verran viereisestä vertailuvirrasta, yhden vertailuvirran kuuluessa kuhunkin haaraan;

useiden ensimmäisten täydennettyjen vertailujännitesignaalien tuomisen pulssinleveysmodulaatiopiiriin, kunkin ensimmäisen täydennetyn vertailujännitteen kuuluessä määrättyyn yksittäiseen mainittuun vertailuvirtasignaaliin;

tyhjennysjakson kompensointijännitesignaalin laskemisen mainitun invertterin lähtötasajännitteen, tyhjennysjakson ja mainitun kantoaaltosignaalin jakson ohjaamana;

tyhjennysjakson jännitepoikkeamasignaalin lisäämisen mainittuun ensimmäiseen täydennettyyn vertailujännitesignaaliin, kun mainittu invertteri ei ole kyllästynyt ja mainittu lisäämisaskel ei aiheuta invertterin kyllästymistä, jolloin syntyy toinen täydennetty vertailusignaali.

2. Menetelmä jännitepoikkeaman kompensoimiseksi pulssinleveysmodulaatioon (PWM) perustuvan konvertterin lähtöjännitteessä, mainitun konvertterin sisältäessä sillan jossa on kolme haaraa, mainitun PWM:n käyttäessä kantoaaltosignaalia, kantoaaltosignaalin suuruuden omatessa positiivisen huipun ja negatiivisen huipun, t u n n e t t u siitä, että se sisältää seuraavat vaiheet:

useiden vertailuvirtasignaalien tuottamisen, kunkin ollessa siirtynyt vaihekulman verran viereisestä vertailuvirrasta, yhden vertailuvirran kuuluessa kuhunkin haaraan;

useiden ensimmäisten täydennettyjen vertailujännitesignaalien tuomisen pulssinleveysmodulaatiopiiriin, kunkin ensimmäisen täydennetyn vertailujännitteen kuuluessa määrättyyn yksittäiseen mainittuun vertailuvirtasignaaliin;

tyhjennysjakson kompensointijännitesignaalin laskemisen mainitun konvertterin lähtötasajännitteen, tyhjennysjakson ja mainitun kantoaaltosignaalin jakson ohjaamana;

tyhjennysjakson jännitepoikkeamasignaalin lisäämisen mainittuun ensimmäiseen täydennettyyn vertailujännitesignaaliin, kun mainittu konvertteri ei ole kyllästynyt ja mainittu lisäämisaskel ei aiheuta konvertterin kyllästymistä, jolloin syntyy toinen täydennetty vertailusignaali.

3. Menetelmä jännitepoikkeaman kompensoimiseksi pulssinleveysmodulaatioon (PWM) perustuvan invertterin lähtöjännitteessä, mainitun invertterin sisältäessä sillan jossa on kolme haaraa, mainitun PWM:n käyttäessä kantoaaltosignaalia, kantoaaltosignaalin suuruuden omatessa positiivisen huipun ja negatiivisen huipun, t u n n e t t u siitä, että se sisältää seuraavat vaiheet:

useiden vertailuvirtasignaalien tuottamisen, kunkin ollessa siirtynyt vaihekulman verran viereisestä vertailuvirrasta, yhden vertailuvirran kuuluessa kuhunkin haaraan;

useiden ensimmäisten täydennettyjen vertailujännitesignaalien tuomisen pulssinleveysmodulaatiopiiriin, kunkin ensimmäisen täydennetyn vertailujännitteen kuuluessa määrättyyn yksittäiseen mainittuun vertailuvirtasignaaliin;

tyhjennysjakson kompensointijännitesignaalin laskemisen mainitun konvertterin lähtötasajännitteen, tyhjen-

nysjakson ja mainitun kantoaaltosignaalin jakson ohjaamana;

tulon muodostamisen mainitusta tyhjennysjakson jännitepoikkeaman kompensointisignaalista ja yhden mainitun vertailuvirran suuruuden polariteetista;

mainitun tulon summaamisen mainittuun yhteen ensimmäiseen täydennettyyn vertailujännitesignaaliin ja summan muodostamisen;

toisen täydennetyn vertailujännitesignaalin muodostamisen, sisältäen seuraavat vaiheet:

mainittua positiivista huippuarvoa verrataan mainittuun ensimmäiseen täydennettyyn vertailujännitesignaaliin ja muodostetaan mainittu toinen täydennetty vertailujännitesignaali, joka on arvoltaan yhtä suuri kuin positiivinen huippuarvo, kun mainittu ensimmäinen täydennetty vertailujännitesignaali on suurempi kuin mainittu positiivinen huippuarvo;

mainittua negatiivista huippuarvoa verrataan mainittuun ensimmäiseen täydennettyyn vertailujännitesignaaliin ja muodostetaan mainittu toinen täydennetty vertailujännitesignaali, joka on arvoltaan yhtä suuri kuin negatiivinen huippuarvo, kun mainittu ensimmäinen täydennetty vertailujännitesignaali on pienempi kuin mainittu negatiivinen huippuarvo;

verrataan mainittua summaa mainittuun positiiviseen huippuarvoon ja muodostetaan mainittu toinen täydennetty vertailujännitesignaali, joka on arvoltaan yhtä suuri kuin mainitun ensimmäisen täydennetyn vertailujännitesignaalin suuruus, kun mainittu positiivinen huippuarvo on pienempi kuin mainittu summa;

verrataan mainittua summaa mainittuun negatiiviseen huippuarvoon ja muodostetaan mainittu toinen täydennetty vertailujännitesignaali, joka on arvoltaan yhtä suuri kuin mainitun ensimmäisen täydennetyn vertailujännitesignaalin

suuruus, kun mainittu negatiivinen huippuarvo on pienempi kuin mainittu summa;

muodostetaan mainittu toinen täydennetty vertailujännitesignaali, jolla on arvo joka on yhtä suuri kuin mainittu summaa, jos mainittu summaa ei ole suurempi eikä pienempi kuin mainittu positiivinen ja negatiivinen huippuarvo.

4. Menetelmä jännitepoikkeaman kompensoimiseksi pulssinleveysmodulaatioon (PWM) perustuvan konvertterin lähtöjännitteessä, mainitun konvertterin sisältäessä sillan jossa on kolme haaraa, mainitun PWM:n käyttäessä kantoaaltosignaalia, kantoaaltosignaalin suuruuden omatessa positiivisen huipun ja negatiivisen huipun, t u n n e t t u siitä, että se sisältää seuraavat vaiheet:

useiden vertailuvirtasignaalien tuottamisen, kunkin ollessa siirtynyt vaihekulman verran viereisestä vertailuvirrasta, yhden vertailuvirran kuuluessa kuhunkin haaraan;

useiden ensimmäisten täydennettyjen vertailujännitesignaalien tuomisen pulssinleveysmodulaatiopiiriin, kunkin ensimmäisen täydennetyn vertailujännitteen kuuluessa määrättyyn yksittäiseen mainittuun vertailuvirtasignaaliin;

tyhjennysjakson kompensointijännitesignaalin laskemisen mainitun konvertterin lähtötasajännitteen, tyhjennysjakson ja mainitun kantoaaltosignaalin jakson ohjaamana;

tulon muodostamisen mainitusta tyhjennysjakson jännitepoikkeaman kompensointisignaalista ja yhden mainitun vertailuvirran suuruuden polariteetista;

mainitun tulon summaamisen mainittuun yhteen ensimmäiseen täydennettyyn vertailujännitesignaaliin ja summan muodostamisen;

toisen täydennetyn vertailujännitesignaalin muodostamisen, sisältäen seuraavat vaiheet:

mainittua positiivista huippuarvoa verrataan mainittuun ensimmäiseen täydennettyyn vertailujännitesignaaliin ja muodostetaan mainittu toinen täydennetty vertailujännitesignaali, joka on arvoltaan yhtä suuri kuin positiivinen huippuarvo, kun mainittu ensimmäinen täydennetty vertailujännitesignaali on suurempi kuin mainittu positiivinen huippuarvo;

mainittua negatiivista huippuarvoa verrataan mainittuun ensimmäiseen täydennettyyn vertailujännitesignaaliin ja muodostetaan mainittu toinen täydennetty vertailujännitesignaali, joka on arvoltaan yhtä suuri kuin negatiivinen huippuarvo, kun mainittu ensimmäinen täydennetty vertailujännitesignaali on pienempi kuin mainittu negatiivinen huippuarvo;

verrataan mainittua summaa mainittuun positiiviseen huippuarvoon ja muodostetaan mainittu toinen täydennetty vertailujännitesignaali, joka on arvoltaan yhtä suuri kuin mainitun ensimmäisen täydennetyn vertailujännitesignaalin suuruus, kun mainittu positiivinen huippuarvo on pienempi kuin mainittu summa;

verrataan mainittua summaa mainittuun negatiiviseen huippuarvoon ja muodostetaan mainittu toinen täydennetty vertailujännitesignaali, joka on arvoltaan yhtä suuri kuin mainitun ensimmäisen täydennetyn vertailujännitesignaalin suuruus, kun mainittu negatiivinen huippuarvo on pienempi kuin mainittu summa;

muodostetaan mainittu toinen täydennetty vertailujännitesignaali, jolla on arvo joka on yhtä suuri kuin mainittu summa, jos mainittu summa ei ole suurempi eikä pienempi kuin mainittu positiivinen ja negatiivinen huippuarvo.

5. Laite jännitepoikkeaman kompensoimiseksi pulssinleveysmodulaatioon (PWM) perustuvan invertterin lähtöjännitteessä, mainitun invertterin sisältäessä sillan jossa on kolme haaraa, mainitun PWM:n käyttäessä kantoaalto-

signaalia, kantoaaltosignaalin suuruuden sisältäessä positiivisen huippuarvon ja negatiivisen huippuarvon, t u n n e t t u siitä, että se sisältää:

keinon tuottaa useita vertailuvirtasignaaleja, kunkin ollessa siirtynyt vaihekulman verran vierekkäisestä vertailuvirrasta, yhden vartailuvirran liittyessä kuhunkin haaraan;

keinon tuottaa useita ensimmäisiä täydennettyjä vertailujännitesignaalejapulssinleveysmodulaatiopiirille, kunkin ensimmäisen täydennetyn vertailujännitesignaalin liittyessä yhteen mainituista vertailuvirtasignaaleista;

keinon laskea tyhjennysjakson kompensointijännitesignaali mainitun invertterin lähtötasajännitteen, tyhjennysjakson ja mainitun kantoaaltosignaalin jakson ohjaamana;

keinon muodostaa tulo mainitusta tyhjennysjakson jännitepoikkeaman kompensointisignaalista ja yhden mainitun vertailuvirran voimakkuuden polariteetista;

keinon summata mainittu tulo yhteen mainituista ensimmäisistä täydennetyistä vertailujännitesignaaleista ja muodostaa summa;

keinon tuottaa toinen täydennetty vertailujännitesignaali, sisältäen

ensimmäisen keinon verrata mainittua positiivista huippuarvoa mainittuun ensimmäiseen täydennettyyn vertailujännitesignaaliin ja muodostaa mainittu toinen täydennetty vertailujännitesignaali, joka on arvoltaan yhtä suuri kuin positiivinen huippuarvo, kun mainittu ensimmäinen täydennetty vertailujännitesignaali on suurempi kuin mainittu positiivinen huippuarvo;

toisen keinon verrata mainittua negatiivista huippuarvoa mainittuun ensimmäiseen täydennettyyn vertailujännitesignaaliin ja muodostaa mainittu toinen täydennetty vertailujännitesignaali, joka on arvoltaan yhtä suuri kuin negatiivinen huippuarvo, kun mainittu ensimmäinen täyden-

netty vertailujännitesignaali on pienempi kuin mainittu negeatiivinen huippuarvo;

kolmannen keinon verrata mainittua summaa mainittuun positiiviseen huippuarvoon ja muodostaa mainittu toinen täydennetty vertailujännitesignaali, joka on arvoltaan yhtä suuri kuin mainitun ensimmäisen täydennetyn vertailujännitesignaalin suuruus, kun mainittu positiivinen huippuarvo on pienempi kuin mainittu summa;

neljännen keinon verrata mainittua summaa mainittuun negatiiviseen huippuarvoon ja muodostaa mainittu toinen täydennetty vertailujännitesignaali, joka on arvoltaan yhtä suuri kuin mainitun ensimmäisen täydennetyn vertailujännitesignaalin suuruus, kun mainittu negatiivinen huippuarvo on pienempi kuin mainittu summa;

keinon tuottaa mainittu toinen täydennetty vertailujännitesignaali, joka on arvoltaan yhtä suuri kuin mainittu summa, jos mainittu summa ei ole suurempi tai pienempi kuin mainittu positiivinen ja negatiivinen huippuarvo.

6. Laite jännitepoikkeaman kompensoimiseksi pulssinleveysmodulaatioon (PWM) perustuvan konvertterin lähtöjännitteessä, mainitun konvertterin sisältäessä sillan jossa on kolme haaraa, mainitun PWM:n käyttäesä kantoaaltosignaalia, kantoaaltosignaalin suuruuden sisältäessä positiivisen huippuarvon ja negatiivisen huippuarvon, t u n n e t t u siitä, että se sisältää:

keinon tuottaa useita vertailuvirtasignaaleja, kunkin ollessa siirtynyt vaihekulman verran vierekkäisestä vertailuvirrasta, yhden vartailuvirran liittyessä kuhunkin haaraan;

keinon tuottaa useita ensimmäisiä täydennettyjä vertailujännitesignaalejapulssinleveysmodulaatiopiirille, kunkin ensimmäisen täydennetyn vertailujännitesignaalin liittyessä yhteen mainituista vertailuvirtasignaaleista;

keinon laskea tyhjennysjakson kompensointijännitesignaali mainitun invertterin lähtötasajännitteen, tyhjennysjakson ja mainitun kantoaaltosignaalin jakson ohjaamana;

keinon muodostaa tulo mainitusta tyhjennysjakson jännitepoikkeaman kompensointisignaalista ja yhden mainitun vertailuvirran voimakkuuden polariteetista;

keinon summata mainittu tulo yhteen mainituista ensimmäisistä täydennetyistä vertailujännitesignaaleista ja muodostaa summa;

keinon tuottaa toinen täydennetty vertailujännitesignaali, sisältäen

ensimmäisen keinon verrata mainittua positiivista huippuarvoa mainittuun ensimmäiseen täydennettyyn vertailujännitesignaaliin ja muodostaa mainittu toinen täydennetty vertailujännitesignaali, joka on arvoltaan yhtä suuri kuin positiivinen huippuarvo, kun mainittu ensimmäinen täydennetty vertailujännitesignaali on suurempi kuin mainittu positiivinen huippuarvo;

toisen keinon verrata mainittua negatiivista huippuarvoa mainittuun ensimmäiseen täydennettyyn vertailujännitesignaaliin ja muodostaa mainittu toinen täydennetty vertailujännitesignaali, joka on arvoltaan yhtä suuri kuin negatiivinen huippuarvo, kun mainittu ensimmäinen täydennetty vertailujännitesignaali on pienempi kuin mainittu negeatiivinen huippuarvo;

kolmannen keinon verrata mainittua summaa mainittuun positiiviseen huippuarvoon ja muodostaa mainittu toinen täydennetty vertailujännitesignaali, joka on arvoltaan yhtä suuri kuin mainitun ensimmäisen täydennetyn vertailujännitesignaalin suuruus, kun mainittu positiivinen huippuarvo on pienempi kuin mainittu summa;

neljännen keinon verrata mainittua summaa mainittuun negatiiviseen huippuarvoon ja muodostaa mainittu toinen täydennetty vertailujännitesignaali, joka on arvoltaan

yhtä suuri kuin mainitun ensimmäisen täydennetyn vertailujännitesignaalin suuruus, kun mainittu negatiivinen huippuarvo on pienempi kuin mainittu summa;

keinon tuottaa mainittu toinen täydennetty vertailujännitesignaali, joka on arvoltaan yhtä suuri kuin mainittu summa, jos mainittu summa ei ole suurempi tai pienempi kuin mainittu positiivinen ja negatiivinen huippuarvo.

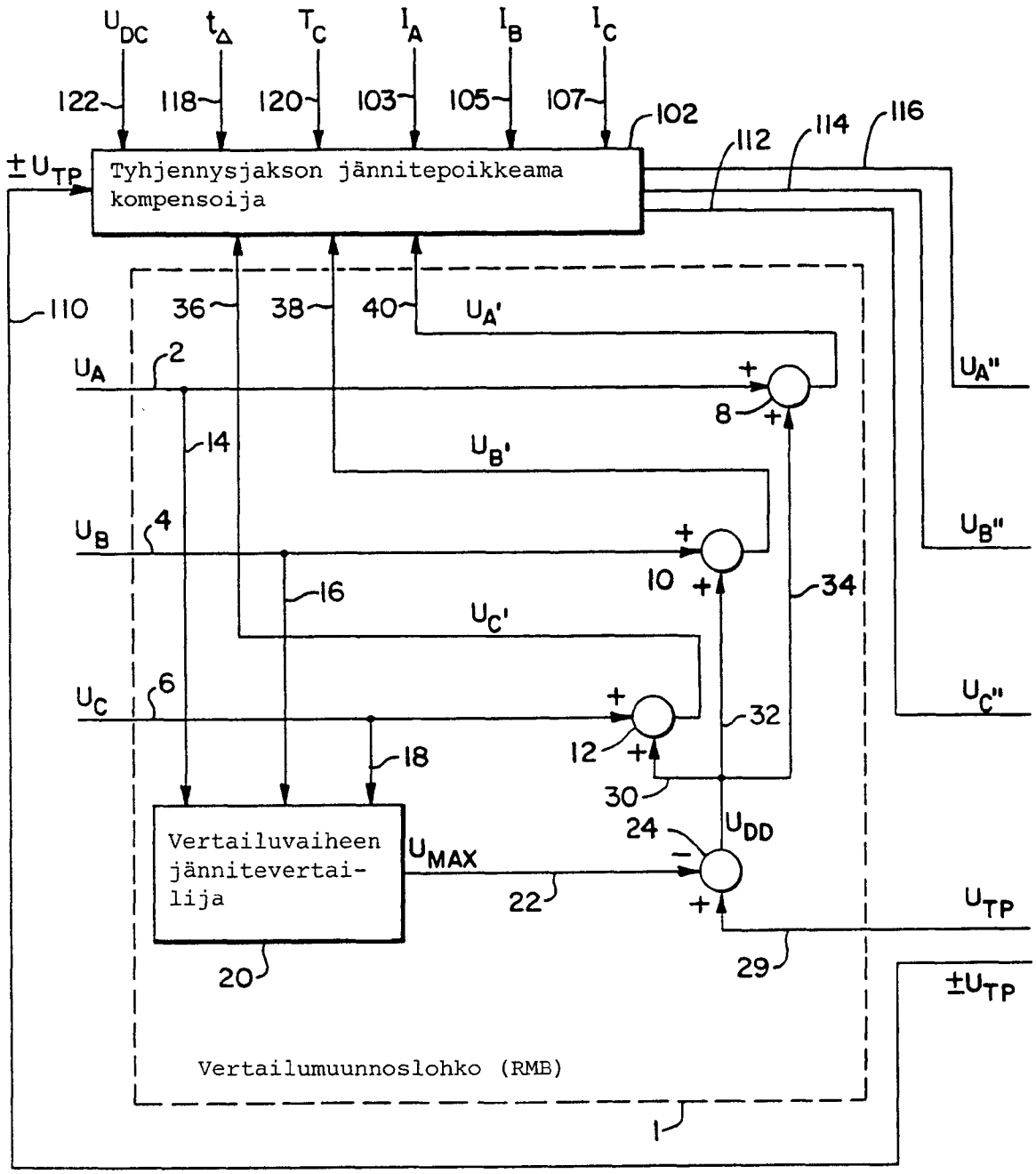
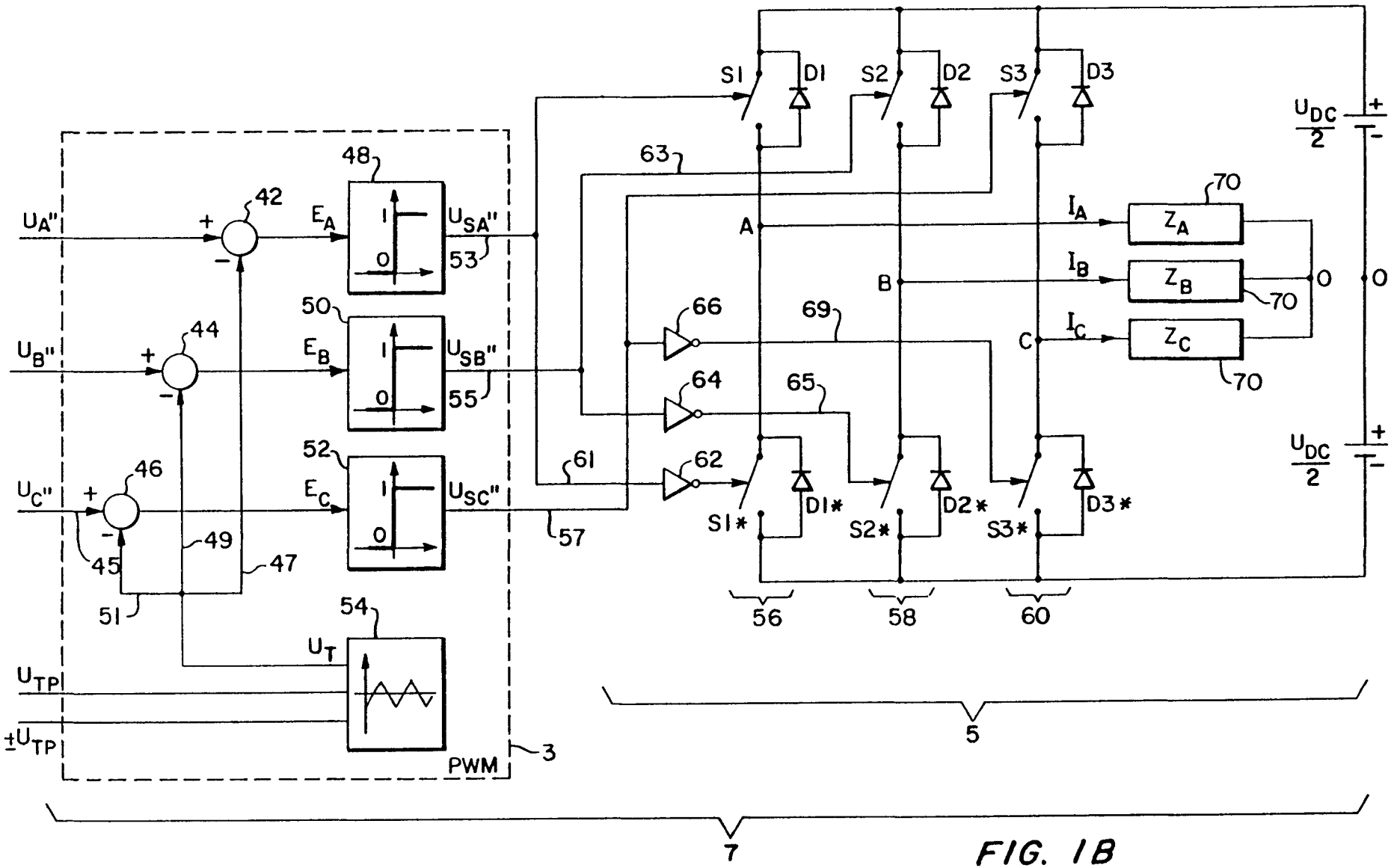

U_{DC}
t_Δ
T_C
I_A
I_B
I_C
122
118
120
103
105
107
102
112
114
116
$\pm U_{TP}$
Tyhjennysjakson jännitepoikkeama kompensoija
110
36
38
40
$U_{A'}$
U_A
2
U_A''
8
14
$U_{B'}$
U_B
4
U_B''
10
16
34
$U_{C'}$
U_C
6
U_C''
32
12
18
30
24
U_{DD}
Vertailuvaiheen jännitevertailija
U_{MAX}
22
U_{TP}
29
20
$\pm U_{TP}$
Vertailumuunnoslohko (RMB)
1

FIG. 1A



UA"
UB"
UC"
UTP
±UTP
42
44
46
45
49
47
51
48
50
52
54
EA
EB
EC
UT
USA"
USB"
USC"
53
55
57
PWM
3
61
63
64
65
66
69
62
S1
S2
S3
D1
D2
D3
S1*
S2*
S3*
D1*
D2*
D3*
A
B
C
IA
IB
IC
ZA
ZB
ZC
70
0
UDC/2
56
58
60
5
7

FIG. 1B

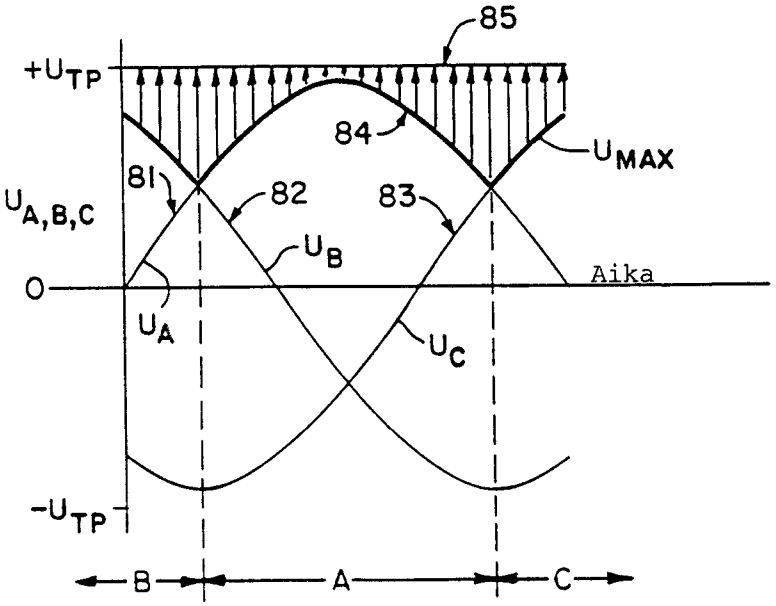

85
+U_TP
84
U_MAX
81
82
83
U_A,B,C
U_B
0
Aika
U_A
U_C
-U_TP
B
A
C

FIG. 2

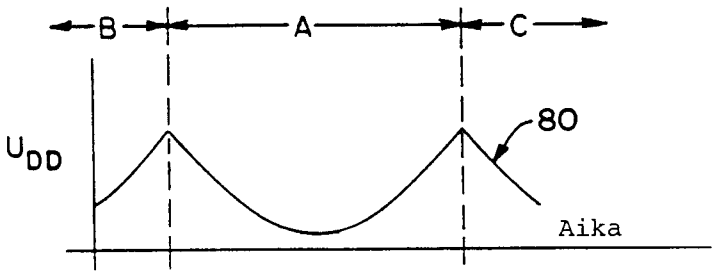

B
A
C
80
U_DD
Aika

FIG. 3

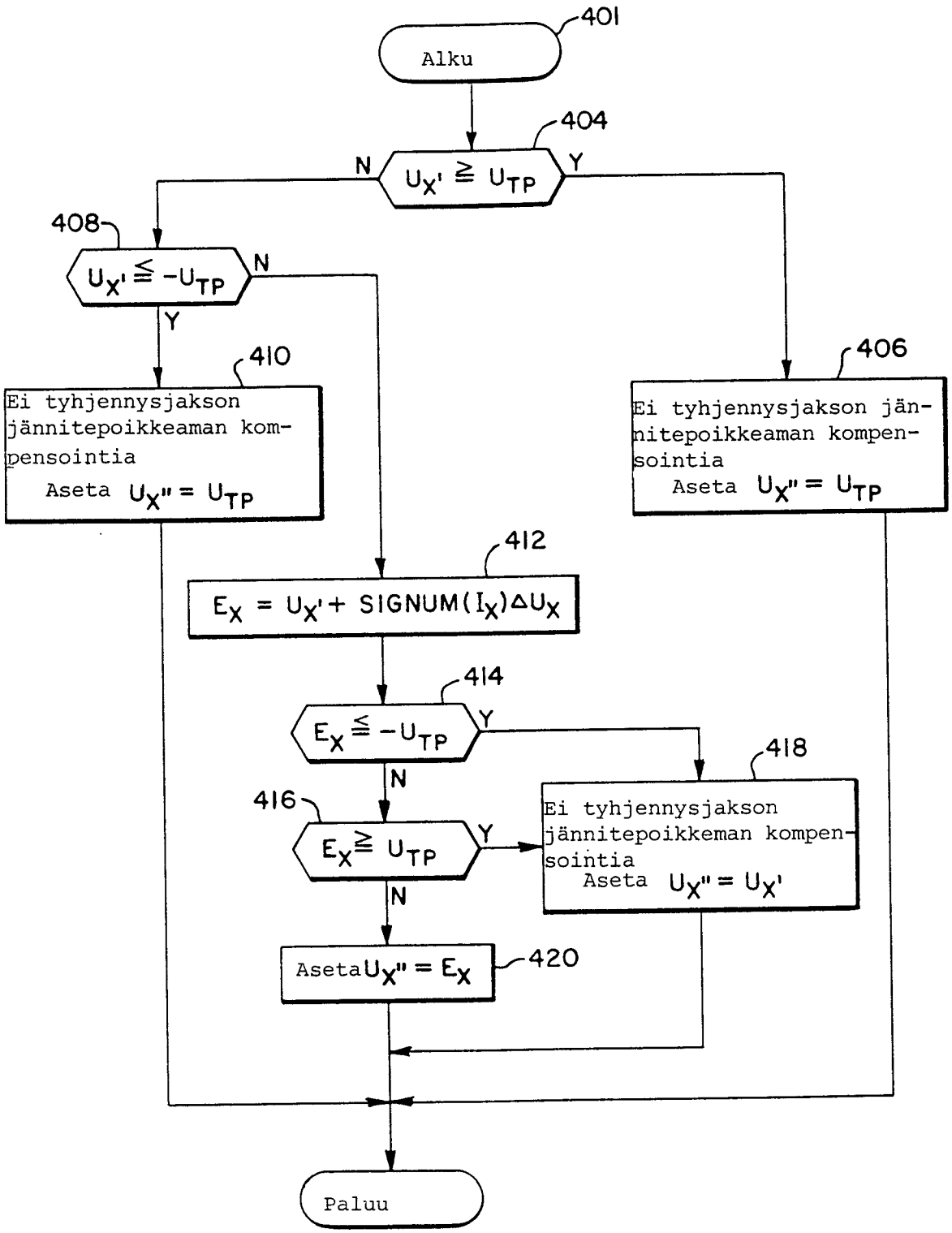

401
Alku
404
N
$U_{X'} \geqq U_{TP}$
Y
408
$U_{X'} \leqq -U_{TP}$
N
Y
410
Ei tyhjennysjakson jännitepoikkeaman kompensointia
Aseta $U_{X''} = U_{TP}$
406
Ei tyhjennysjakson jännitepoikkeaman kompensointia
Aseta $U_{X''} = U_{TP}$
412
$E_X = U_{X'} + SIGNUM(I_X)\Delta U_X$
414
$E_X \leqq -U_{TP}$
Y
N
418
Ei tyhjennysjakson jännitepoikkeman kompensointia
Aseta $U_{X''} = U_{X'}$
416
$E_X \geqq U_{TP}$
Y
N
Aseta $U_{X''} = E_X$
420
Paluu

FIG. 4

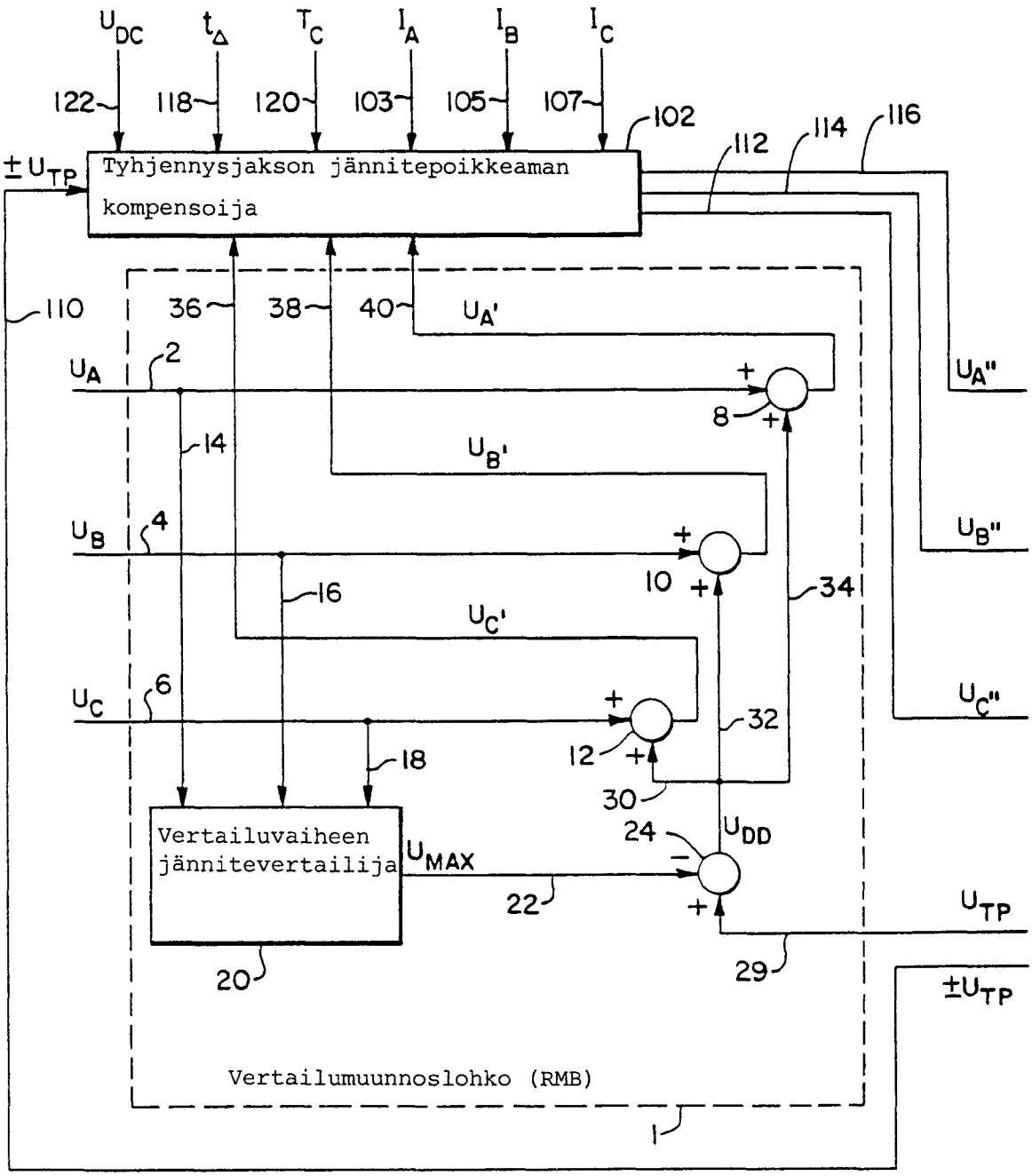
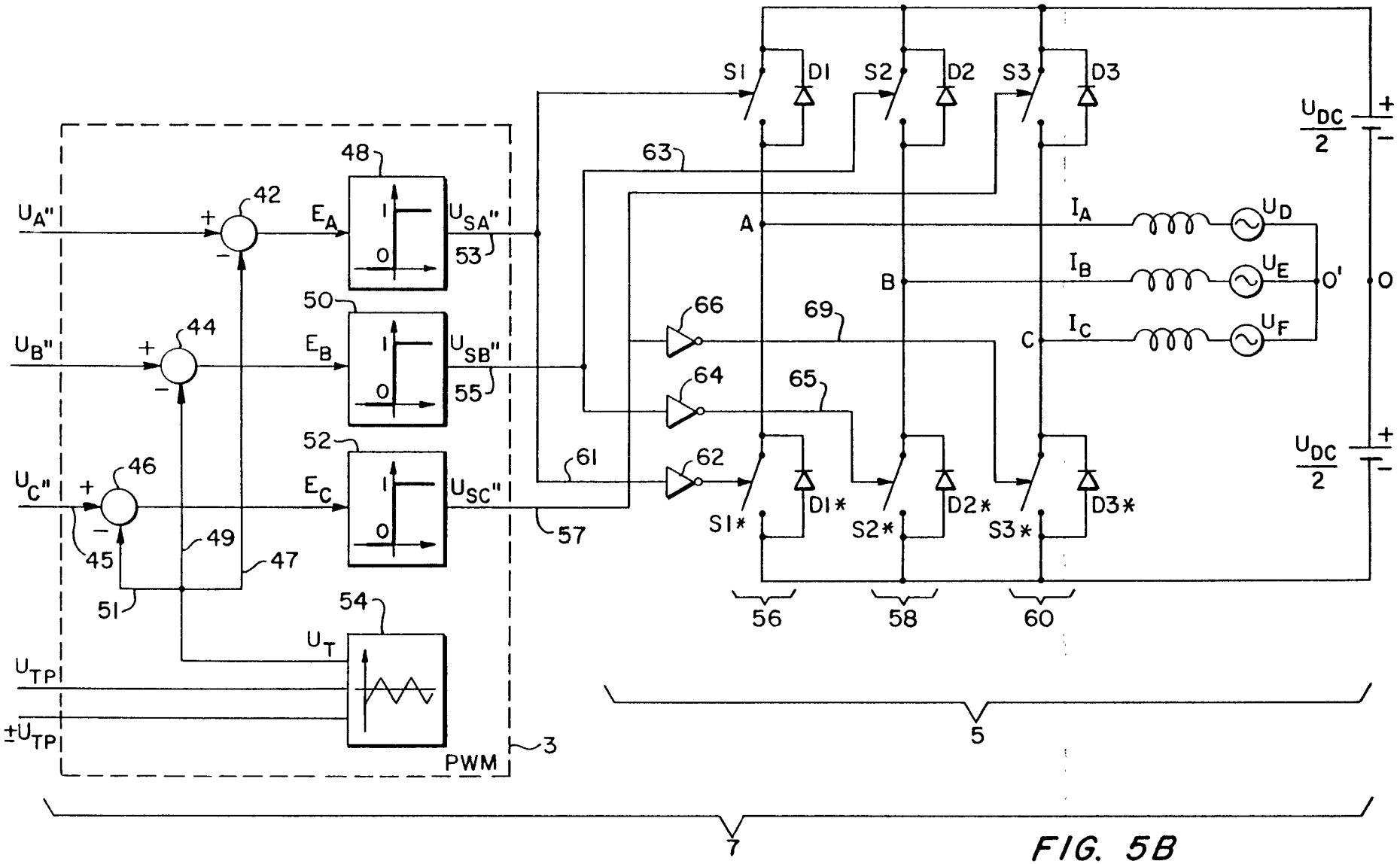

U_{DC}
t_Δ
T_C
I_A
I_B
I_C
122
118
120
103
105
107
102
112
114
116
$\pm U_{TP}$
Tyhjennysjakson jännitepoikkeaman kompensoija
110
36
38
40
$U_{A'}$
U_A
2
U_A''
8
$U_{B'}$
U_B
4
U_B''
14
16
10
34
$U_{C'}$
U_C
6
U_C''
32
12
18
30
24
U_{DD}
Vertailuvaiheen jännitevertailija
U_{MAX}
22
U_{TP}
20
29
$\pm U_{TP}$
Vertailumuunnoslohko (RMB)
1

FIG. 5A



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

FIG. 5B