



SUOMI – FINLAND (FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN

(12) PATENTTIJULKAISU PATENTSKRIFT



F I 000115265B

(10) FI 115265 B

(45) Patentti myönnetty - Patent beviljats

31.03.2005

(51) Kv.lk.7 - Int.kl.7

H02M 5/458, 7/5387, 7/797

(21) Patentihakemus - Patentansökning

20031208

(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag

28.08.2003

(24) Alkupäivä - Löpdag

28.08.2003

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig

01.03.2005

(73) Haltija - Innehavare

1 •Vacon Oyj, Runsorintie 7, 65380 Vaasa, SUOMI - FINLAND, (FI)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1 •Luukko,Julius, Vennonkatu 13, 53850 Lappeenranta, SUOMI - FINLAND, (FI)

2 •Saren,Hannu, Teknologiapuistonkatu 2 A 4, 53850 Lappeenranta, SUOMI - FINLAND, (FI)

(74) Asiamies - Ombud: Heinänen Oy Patenttitoimisto
Annankatu 31-33 C, 00100 Helsinki

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

Taajuusmuuttajan pulssinleveysmodulointi
Pulsbreddsmodulering av en frekvenstransformator

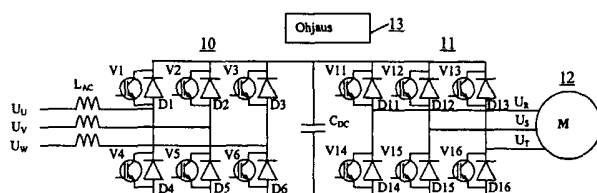
(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

EP 1081842 A1, EP 0467694 B1, EP 0371442 B1, US 20020044472 A1

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Jännitevälipiirillä varustetun taajuusmuuttajan avaruusvek-toripulssinleveysmodulointimenetelmä ja taajuusmuuttaja, jossa taajuusmuuttajassa on vaihtosähkölähteeseen (Uu, Uv, Uw) kytkettävä verkkosilta (10), tasajännitevälipiiri sekä ohjattu kuormasilta (11) taajuudeltaan vaihtelevan vaihtojännitteen (Us, UR, UT) syöttämiseksi kuormaan (12), ja jossa menetelmässä modulaattoriin, joka suorittaa moduloinnin, annetaan ohjearvo. Kuormasillan modulaattorille annetaan ohjearvona jännitevektoreiden aiheuttamien käämivuomuutosten ohjeet, lasketaan mitatun välipiiri-jännitteen avulla käämivuon muutos, ja pidetään kulloinkin aktiivista jännitevektoria kytkettynä, kunnes ohjearvo saavutetaan.

Förfarande med vektorstyrd pulsbreddmodulering för en med likspänningsmellanled försedd frekvensomriktare samt frekvensomriktare, vilken frekvensomriktare omfattar en till en växelströmkälla (Uu, Uv, Uw) kopplad likriktardel (10) samt en styrd växelriktardel (11) som matar en växelspanning (Us, UR, UT) med variabel frekvens till lasten (12), och där den modulerande modulatorens referensvärde. Referenserna för de av spänningsvektorena alstrade ändringarna i lindningsflödet ges som referens till växelriktarens modulator, ändringen i lindningsflödet beräknas med hjälp av den uppmätta spänningen i mellanledet och respektive aktiva spänningsvektor hålls inkopplad tills referensvärdet nås.



TAAJUUSMUUTTAJAN PULSSINLEVEYSMODULOINTI

Keksinnön kohteena on taajuusmuuttajan avaruusvektoripulssinleveysmodulointimenetelmä. Erityisesti keksinnön kohteena on jännitevälipiirillä varustetun taajuusmuuttajan avaruusvektoripulssinleveysmodulointimenetelmä. Keksinnön kohteena on myös avaruusvektoripulssinleveysmodulointimenetelmällä ohjattava jänniteohjattu taajuusmuuttaja.

Avaruusvektoripulssinleveysmodulointi (Avaruusvektori-PWM, SVPWM) on erityisesti digitaaliseen toteutukseen hyvin sopiva, jännitevälipiirillä varustetun taajuusmuuttajan pulssinleveysmodulointitapa. Modulointitavassa yleensä ohjelmallisesti lasketaan etukäteen päälläoloaika kahdelle taajuusmuuttajan lähtöjännitevektorille (eli taajuusmuuttajan invertterisillan kytkinasennolle), joista keskimäärin muodostuu pyydettävä lähtöjänniteavaruusvektori. Ohjauslaitteisto, jossa on digitaalinen laskuri, huolehtii sitten kytkinasentojen muuttamisesta siten, että nämä kaksi kytkinasentoa ovat kytkettyinä kyseiset lasketut ajat. Ajat lasketaan käyttämällä tulosuurena lähtöjänniteavaruusvektoria.

Kyseisten kytkinasentojen päälläoloaikojen laskennassa oletetaan välipiirin jännite vakioksi. Oletus pätee hyvin ns. perinteisellä välipiirin mitoituksella. Jos välipiirin jännite pääsee jostain syystä muuttumaan yhden kytkennän aikana huomattavasti, ei modulointitapa pysty toteuttamaan pyydettyä keskimääräistä lähtöjänniteavaruusvektoria.

Tunnettua, esimerkiksi viitteessä H. van der Broeck, H. Skudelny, ja G. Stanke, "Analysis and realization of a pulse width modulator based on voltage space vectors", in IEEE-IAS Conf. Records, sivut 244-251, Denver, USA, 1986, esitettyä avaruusvektori-PWM:ää nimitetään jatkossa perinteiseksi avaruusvektori-PWM:ksi tai lyhyesti SVPWM:ksi. SVPWM:n tulosuure on lähtöjännitereferenssi, joka voidaan jakaa reaali- ja imaginaarikomponentteihin

$$\mathbf{U}_{s,\text{ref}} = U_x + jU_y \quad (1)$$

Invertterin lähtöjännite voidaan ilmaista avaruusvektorina

$$\mathbf{U}_{s,\text{out}}(sA, sB, sC) = \frac{2}{3} U_{DC} (sA + sB \cdot e^{j2\pi/3} + sC \cdot e^{j4\pi/3}) \quad (2)$$

missä $s\{A,B,C\}$ on 1, jos vaihe $\{A,B,C\}$ on kytketty invertterin ylähaaraan ja 0, jos vaihe on kytketty alahaaraan. Eri kombinaatioina saadaan 6 aktiivista jännitevektoria ja kaksi ns. nollavektoria (kaikki vaiheet kytketty samaan haa-

raan). Aktiivisten jännitevektoreiden suunnat kompleksitasossa ovat 0, 60, 120, 180, 240 ja 300 astetta.

Jaetaan kompleksitaso kuvion 1 mukaisesti kuuteen yhtä suureen sektoriin siten, että ensimmäinen sektori lähtee reaaliakselilta. Reaaliakselin suunta vastaa invertterin kytketyn kolmivaihemoottorin staattorin A-vaiheen magneettiakselin suuntaa, suunta 120 astetta vastaa moottorin B-vaiheen magneettiakselin suuntaa ja 240 astetta C-vaiheen suuntaa. Aktiiviset jännitevektorit muodostavat näiden sektoreiden rajat.

Nyt missä tahansa sektorissa m voidaan keskimäärin muodostaa mikä tahansa jännitevektori (suuruus kuitenkin rajoitettu) käyttämällä sektoreiden rajoilla olevia jännitevektoreita $\mathbf{V}_m$ ja $\mathbf{V}_{m+1}$ ajan T_m ja T_{m+1} . Avaruusvektori-PWM toteuttaa tällaisen jännitevektorin, kun jänniteohje on $\mathbf{U}_{s,\text{ref}}$

$$\mathbf{U}_{s,\text{ref}} = \frac{T_m}{T_s} \mathbf{V}_m + \frac{T_{m+1}}{T_s} \mathbf{V}_{m+1} \quad (3)$$

15

T_s on näyteväli eli jännitereferenssin päivitysaikaväli. Sektorin m rajoilla olevat jännitevektorit $\mathbf{V}_m$ ja $\mathbf{V}_{m+1}$ voidaan määritellä yhtälöillä

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_m &= \frac{2}{3} U_{\text{DC}} e^{j\frac{\pi}{3}(m-1)} \\ \mathbf{V}_{m+1} &= \frac{2}{3} U_{\text{DC}} e^{j\frac{\pi}{3}m} \end{aligned} \quad (4)$$

20

Yhtälöistä (3) ja (4) voidaan laskea laskuria varten ajat T_m ja T_{m+1}

$$\begin{bmatrix} T_m \\ T_{m+1} \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{3}T_s}{U_{\text{DC}}} \begin{bmatrix} \sin\left(\frac{\pi}{3}m\right) & -\cos\left(\frac{\pi}{3}m\right) \\ -\sin\left(\frac{\pi}{3}(m-1)\right) & \cos\left(\frac{\pi}{3}(m-1)\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_x \\ U_y \end{bmatrix} \quad (5)$$

25

Loppuaika kytkentäjaksosta T_s käytetään nollavektoria

$$T_0 = T_s - T_m - T_{m+1}$$

30

SVPWM voidaan toteuttaa ns. symmetrisenä. Silloin nollavektoria käytetään kytkentäjaksos aluksi, keskellä ja lopuksi sekä aktiiviset jännitevektorit $\mathbf{V}_m$ ja $\mathbf{V}_{m+1}$ jaetaan kahteen osaan. Symmetrisen toteutuksen etuna on pienempi harmonisisältö.

Tämän keksinnön tarkoituksena on saada aikaan uusi modulointitapa, ns. differentiaaliavaruusvektoripulssinleveysmodulointi (DSVPWM), joka ottaa muuttuvan välipiirijännitteen huomioon siten, että kytkinkombinaatioiden aiheuttama käämivuon muutos on sama kuin minkä vakio välipiirijännite aikaan-
5 saisi avaruusvektori-PWM:llä. Näin aikaansaadaan pyydetty keskimääräinen lähtöjänniteavaruusvektori.

Uusi modulointitapa perustuu siihen, että jänniteohje muutetaan käämivuon muutoksen ohjeeksi. Modulaattorille annetaan ohjeena jännitevektoreiden kytkentäaikojen sijasta jännitevektoreiden aiheuttamien käämivuomuutosten ohjeet. Modulaattori laskee sitten mitatun välipiirijännitteen avulla
10 käämivuomuutoksen ja pitää kulloinkin aktiivista jännitevektoria kytkettynä, kunnes ohjearvo saavutetaan.

Yksityiskohtaisesti keksinnön mukaiselle modulointimenetelmälle ja sen mukaiselle taajuusmuuttajalle tunnusomaiset piirteet on esitetty oheisissa
15 patenttivaatimuksissa.

Seuraavassa keksintöä selostetaan yksityiskohtaisemmin esimerkin avulla viittaamalla oheisiin piirustuksiin, joissa

Kuvio 1. Kompleksitason jakaminen 60 asteen sektoreihin siten, että jännitevektorit toimivat sektoreiden rajoina.

20 Kuvio 2. Jännitevektori $\mathbf{V}_1$ aiheuttaa käämivuomuutoksen $\Delta\psi_1$ ja jännitevektori $\mathbf{V}_2$ aiheuttaa käämivuomuutoksen $\Delta\psi_2$.

Kuvio 3. DSVPWM toteutettuna (kvasi)symmetrisenä.

Kuvio 4. DSVPWM modulaattorilla varustetun moottorin tuottama vääntömomentti.

25 Kuva 5. SVPWM modulaattorilla varustetun moottorin tuottama vääntömomentti.

Kuvio 6. Ohjatulla verkkosillalla varustettu taajuusmuuttaja.

Kuvio 6 esittää kolmivaiheista jänniteohjattua taajuusmuuttajaa, jossa on AC-kuristin L_{AC} verkkovirran yliaaltojen rajoittamiseksi, verkkosilta 10 (tasasuuntaaja) syöttöverkon kolmivaiheisen vaihtojännitteen, jossa on vaihejännitteet U_U , U_V , U_W , tasasuuntaamiseksi tasajännitevälipiirin tasajännitteeksi U_{DC} sekä kuormasilta (invertteri) 11 tasajännitevälipiirin tasajännitteen vaihtosuuntaamiseksi taajuudeltaan vaihtelevaksi kolmivaiheiseksi vaihtojännitteeksi, jonka vaihejännitteet ovat U_R , U_S , U_T . Taajuusmuuttaja syöttää kolmivai-
30 heista moottoria (M) 12. Kuormasilta 11 on kokoaaltosilta, jossa ohjausyksikkö 13 ohjaa kunkin vaiheen puolijohdekytkimiä V11 - V16, joiden rinnalla on vasta-

rinnankytketyt nolladiodit D11 - D16. Verkkosilta 10 voi olla kuvion 6 esimerkin mukainen ohjattu kokoaaltosilta, jossa on ohjattavat puolijohdekytkimet V1-V6, kuten IGBT:t, kussakin sillan haarassa sekä niiden kanssa vastarinnankytketyt nolladiodit D1-D6, jolloin teho voi kulkea verkosta kuormaan ja myös kuormasta verkkoon päin esimerkiksi moottorin jarrutustilanteissa. Verkkosilta 10 voi olla myös ohjaamaton, jossa ei ole ohjattuja puolijohdekytkimiä, jolloin teho voi kulkea vain verkosta kuormaan päin.

Jos välipiirijännite U_{DC} pysyy kytkentöjen aikana vakiona, muuttuu moottorin käämivuo

$$\Delta\psi = T_m \mathbf{V}_m + T_{m+1} \mathbf{V}_{m+1}$$

Uusi modulointitapa DSVPMW perustuu siis siihen, että jänniteohje muutetaan käämivuon muutoksen ohjeeksi. Modulaattorille annetaan ohjeena jännitevektoreiden kytkentäaikojen sijasta jännitevektoreiden aiheuttamien käämivuomuutosten ohjeet. Modulaattori laskee sitten mitatun välipiirijännitteen avulla käämivuomuutoksen ja pitää kulloinkin aktiivista jännitevektoria kytkettynä, kunnes ohjearvo saavutetaan.

Käämivuomuutoksen referenssiarvo saadaan, kun yhtälö (3) kerrotaan puolittain näytevälillä T_s :

$$\begin{aligned} \mathbf{U}_{s,ref} T_s &= T_m \mathbf{V}_m + T_{m+1} \mathbf{V}_{m+1} \\ \Delta\psi_{s,ref} &= \Delta\psi_m + \Delta\psi_{m+1} \end{aligned} \quad (6)$$

Nyt termit $T_m \mathbf{V}_m = \Delta\psi_m$ ja $T_{m+1} \mathbf{V}_{m+1} = \Delta\psi_{m+1}$ ovat sellaiset käämivuon muutokset, jotka jännitevektoreiden $\mathbf{V}_m$ ja $\mathbf{V}_{m+1}$ tulee saada aikaan vaikuttaessaan koneeseen. $\Delta\psi_m$ ja $\Delta\psi_{m+1}$ ovat siis käämivuomuutosten ohjearvot. Koska T_m :n ja T_{m+1} :n yhtälö on jo edellä ratkaistu yhtälöön (5), saadaan $\Delta\psi_m$:n ja $\Delta\psi_{m+1}$:n yhtälö kertomalla (5) matriisilla $\text{diag}(\begin{bmatrix} V_m & V_{m+1} \end{bmatrix})$:lla oikealta. Sieventämisen jälkeen saadaan

$$\begin{bmatrix} \Delta\psi_{m,ref} \\ \Delta\psi_{m+1,ref} \end{bmatrix} = \frac{2T_s}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} \sin\left(\frac{\pi}{3}m\right) & -\cos\left(\frac{\pi}{3}m\right) \\ -\sin\left(\frac{\pi}{3}(m-1)\right) & \cos\left(\frac{\pi}{3}(m-1)\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_x e^{j\pi(m-1)/3} \\ U_y e^{j\pi m/3} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Käämivuomuutoksen ohjeen idea selviää oheisesta kuviosta 2, jossa käämivuomuutoksen aikaansaamista tarkastellaan sektorissa $m=1$. Kuvassa käämivuomuutoksen referenssi on $\Delta\psi_{ref}$. Jännitevektorilla $\mathbf{V}_m = \mathbf{V}_1$ on saatava

aikaan käämivuon muutos $\Delta\psi_1$ ja jännitevektorilla $\mathbf{V}_{m+1} = \mathbf{V}_2$ käämivuon muutos $\Delta\psi_2$. Vaihto jännitevektoreiden välillä tapahtuu, kun oloarvo saavuttaa referenssin.

- 5 laskemalla invertterin ulostulojännitteen aikaintegraalia kytkennän aikana

$$\begin{aligned}\Delta\psi_{m,\text{calc}} &= \int \mathbf{V}_m dt = \int \frac{2}{3} U_{\text{DC,meas}} e^{j\frac{\pi}{3}(m-1)} dt, \text{ kun } \mathbf{V}_m \text{ on aktiivinen} \\ \Delta\psi_{m+1,\text{calc}} &= \int \mathbf{V}_{m+1} dt = \int \frac{2}{3} U_{\text{DC,meas}} e^{j\frac{\pi}{3}m} dt, \text{ kun } \mathbf{V}_{m+1} \text{ on aktiivinen}\end{aligned}\quad (8)$$

missä $U_{\text{DC,meas}}$ on mitattu välipiirin jännite.

- 10 Käämivuomuutosta $\Delta\psi_{m,\text{calc}}$ lasketaan vain, kun $\mathbf{V}_m$ on aktiivinen. Vaikka $\mathbf{V}_{m+1}$ aiheuttaa myös $\mathbf{V}_m$:n suuntaisen komponentin, sitä ei oteta huomioon $\Delta\psi_{m,\text{calc}}$:n laskennassa. Myöskään $\mathbf{V}_m$:n aiheuttamaa $\mathbf{V}_{m+1}$:n suuntaista komponenttia ei oteta huomioon $\Delta\psi_{m+1,\text{calc}}$:n laskennassa. Jännitevektoria vaihdetaan $\mathbf{V}_m$:stä $\mathbf{V}_{m+1}$:een (siis invertterin kytkinten asentoa vaihdetaan), kun oloarvo
- 15 $\Delta\psi_{m,\text{calc}}$ saavuttaa ohjeen $\Delta\psi_{m,\text{ref}}$.

- 20 On huomattava, että sekä referenssissä että oloarvossa esiintyvä kompleksinen eksponenttifunktio on itseisarvoltaan yksi. Siksi voidaan tarkastella sekä referenssissä että oloarvossa vain itseisarvoa ja jättää toteutuksessa molemmista kertominen kompleksisella eksponenttifunktiolla pois. Lisäksi on edullista huomata, että jos sekä referenssin että oloarvon yhtälöt kerrotaan $3/2$:lla, jää oloarvon laskennasta yksi kertolasku pois ja referenssiarvon laskennassa kertoimeksi tulee $T_s \sqrt{3}$.

- DSVPWM voidaan toteuttaa SVPWM:n tapaan (kvasi)symmetrisenä. Symmetrisessä toteutuksessa kytkentäjakson aluksi kytketään ensimmäi-
- 25 nen jännitevektori $\mathbf{V}_m$. $\mathbf{V}_m$ pidetään kytkettynä, kunnes käämivuon muutos on puolet referenssistä $\Delta\psi_{m,\text{ref}}$. Tämän jälkeen vaihdetaan toinen jännitevektori $\mathbf{V}_{m+1}$, joka pidetään kytkettynä kunnes sen aiheuttama käämivuon muutos on puolet referenssistä $\Delta\psi_{m+1,\text{ref}}$. Tämän jälkeen kytketään nollajännitevektori $\mathbf{V}_7$, kunnes aika $T_s/2$ täyttyy kytkentä-jakson alusta lukien. $T_s/2$:n jälkeen kytketään $\mathbf{V}_{m+1}$, kunnes jäljellä oleva puolet käämivuon muutoksen referenssistä $\Delta\psi_{m+1,\text{ref}}$ on täyttynyt. Sitten kytketään vielä $\mathbf{V}_m$ jota käytetään kunnes jäljellä oleva puolet käämivuon muutoksen referenssistä $\Delta\psi_{m,\text{ref}}$ on täyttynyt. Jos aikaa on vielä jäljellä ennen T_s :ää, kytketään vielä nollavektori $\mathbf{V}_0$. Tällaista sekvenssiä havainnollistaa oheinen kuvio 3.
- 30

Ohessa esitetään vertailu SVPWM:n ja esitetyn DSVPWM:n suorituskyvystä. Kuvioissa 4 ja 5 on esitetty moottorin tuottama vääntömomentti. Tulokset on saatu simuloimalla moottorikäytön toimintaa molemmilla modulointitavoilla siten, että molemmissa tapauksissa jänniteohjeet molemmille säätötavoille muodostetaan virtavektorisäädöllä. Simuloinneissa on käytetty pienikapasitanssista välipiiriä, jolloin vakiovälipiirioletusta ei voida enää käyttää hyvällä tarkkuudella. Simuloinneissa käytettiin muutoin samoja reunaehtoja. Tilanteiden välisenä erona on siis vain modulointitapa. Moottorin roottorin hitausmassana käytettiin suurta arvoa, joten pyörimisnopeus ei päässyt muuttumaan asetusarvostaan, joka oli 0,7 pu.

Kuvioista 4 ja 5 havaitaan, että SVPWM:n tuottama vääntömomentti värähtelee voimakkaasti, kun taas DSVPWM kykenee tuottamaan tasaisempaa vääntömomenttia.

Vaikka edellä esitetystä esimerkistä tarkastellaan esitetyn uuden modulointitavan soveltamista moottorille syötettävän jännitteen modulointiin, voidaan sitä soveltaa myös ohjatun verkkosillan jännitteen modulointiin. Tällöin jänniteohje muutetaan moottorin käämivuomuutoksen ohjeen sijasta sähköverkon ja sillan väliin kytketyn kuristimen (L_{AC} , kuvio 6) kuvitteelliseksi käämivuomuutoksen ohjeeksi. Tällöin modulointitapa tuottaa verkkosillan tulojänniteltäntään tarkasti pyydetyn jännitteen välipiirijännitteen muutoksista huolimatta.

Alan ammattimiehelle on selvää, että keksinnön eri sovellutusmuodot eivät rajoitu yksinomaan edellä esitettyyn esimerkkiin, vaan ne voivat vaihdella jäljempänä esitettävien patenttivaatimusten puitteissa.

PATENTTIVAATIMUKSET

1. Jännitevälipiirillä varustetun taajuusmuuttajan avaruusvektori-
pulssinleveysmodulointimenetelmä, jossa taajuusmuuttajassa on vaihtosähkö-
5 lähteeseen (U_U , U_V , U_W) kytkettävä verkkosilta (10), tasajännitevälipiiri sekä oh-
jattu kuormasilta (11) taajuudeltaan vaihtelevan vaihtojännitteen (U_S , U_R , U_T)
syöttämiseksi kuormaan (12),

tunnettu siitä, että

kuormasillan modulaattorille annetaan ohjearvona jännitevektoreiden ai-
10 heuttamien käämivuomuutosten ohjeet,

lasketaan mitatun välipiirijännitteen avulla käämivuon muutos, ja

pidetään kulloinkin aktiivista jännitevektoria kytkettynä, kunnes ohjearvo
saavutetaan.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä,

15 **tunnettu** siitä, että menetelmässä kytketään ensimmäinen jännite-
vektori ($\mathbf{V}_m$), joka pidetään kytkettynä, kunnes käämivuon muutos on puolet re-
ferenssistä ($\Delta\psi_{m,ref}$), minkä jälkeen vaihdetaan toinen jännitevektori ($\mathbf{V}_{m+1}$), jo-
ka pidetään kytkettynä kunnes sen aiheuttama käämivuon muutos on puolet
referenssistä $\Delta\psi_{m+1,ref}$, minkä jälkeen kytketään nollajännitevektori ($\mathbf{V}_7$), kunnes
20 kytkentäjakson puolen keston aika ($T_s/2$) täyttyy kytkentäjakson alusta lukien,
ja sen jälkeen kytketään toinen jännitevektori ($\mathbf{V}_{m+1}$), kunnes jäljellä oleva puolet
käämivuon muutoksen referenssistä ($\Delta\psi_{m+1,ref}$) on täyttynyt, minkä jälkeen kyt-
ketään vielä ensimmäinen jännitevektori ($\mathbf{V}_m$), jota käytetään kunnes jäljellä ole-
va puolet käämivuon muutoksen referenssistä ($\Delta\psi_{m,ref}$) on täyttynyt, ja sen jäl-
25 keen, jos kytkentäjakson aikaa on vielä jäljellä, kytketään vielä nollajännite-
vektori ($\mathbf{V}_0$) kytkentäjakson päättymiseen asti.

3. Patenttivaatimuksen 1 ja 2 mukainen menetelmä, jossa taajuus-
muuttajassa myös verkkosilta on ohjattu,

tunnettu siitä, että myös verkkosillan ohjauksessa käytetään vastaa-
30 vaa differentiaaliavaruusvektoripulssinleveysmodulointia (DSVPWM), jossa
verkkosillan modulaattorille annetaan ohjearvona sähköverkon ja sillan väliin
kytketyn kuristimen (L_{AC}) kuvitteelliset käämivuomuutoksen ohjeet.

4. Taajuusmuuttaja, jossa taajuusmuuttajassa on vaihtosähkölähtee-
seen (U_U , U_V , U_W) kytkettävä verkkosilta (10), tasajännitevälipiiri sekä ohjattu
35 kuormasilta (11) taajuudeltaan vaihtelevan vaihtojännitteen (U_S , U_R , U_T) syöttä-
miseksi kuormaan (12), jota kuormasillaa ohjataan ohjausyksikössä (13) olevan
modulaattorin avulla avaruusvektoripulssinleveysmoduloinnilla,

tunnettu siitä, että ohjausyksikössä (13) kuormasillan modulaattorin ohjearvona on jännitevektoreiden aiheuttamien käämivuomuutosten ohjeet, modulaattori laskee mitatun välipiirijännitteen avulla käämivuon muutoksen, ja modulaattori pitää kulloinkin aktiivista jännitevektoria kytkettynä, kunnes ohje-

5 arvo saavutetaan.

5. Patenttivaatimuksen 4 mukainen taajuusmuuttaja,

tunnettu siitä, että modulaattori kytkee ensimmäisen jännitevektorin ($\mathbf{V}_m$), joka pidetään kytkettynä, kunnes käämivuon muutos on puolet referenssistä ($\Delta\psi_{m,ref}$), minkä jälkeen modulaattori vaihtaa toisen jännitevektorin ($\mathbf{V}_{m+1}$),

10 joka pidetään kytkettynä kunnes sen aiheuttama käämivuon muutos on puolet referenssistä $\Delta\psi_{m+1,ref}$, minkä jälkeen modulaattori kytkee nollajännitevektorin ($\mathbf{V}_7$), kunnes kytkentäjakson puolen keston aika ($T_s/2$) täyttyy kytkentäjakson

alusta lukien, ja sen jälkeen modulaattori kytkee toisen jännitevektorin ($\mathbf{V}_{m+1}$), kunnes jäljellä oleva puolet käämivuon muutoksen referenssistä ($\Delta\psi_{m+1,ref}$) on

15 täyttynyt, minkä jälkeen modulaattori kytkee vielä ensimmäisen jännitevektorin ($\mathbf{V}_m$), jota käytetään kunnes jäljellä oleva puolet käämivuon muutoksen referenssistä ($\Delta\psi_{m,ref}$) on täyttynyt, ja sen jälkeen, jos kytkentäjakson aikaa on vielä jäljellä, modulaattori kytkee vielä nollajännitevektorin ($\mathbf{V}_0$) kytkentäjakson päättymiseen asti.

20 6. Patenttivaatimuksen 4 ja 5 mukainen taajuusmuuttaja, jossa taajuusmuuttajassa myös verkkosilta on ohjattu,

tunnettu siitä, että verkkosillan modulaattori ohjaa verkkosiltaa vastaavalla differentiaaliavaruusvektoripulssinleveysmoduloinnilla (DSVPWM), jossa verkkosillan modulaattorin ohjearvona on sähköverkon ja sillan väliin kytketyn kuristimen (L_{AC}) kuvitteelliset käämivuomuutoksen ohjeet.

25

PATENTKRAV

1. Förfarande med vektorstyrd pulsbreddmodulering för en frekvensomriktare med ett likspänningsmellanled, där frekvensomriktaren omfattar en till en växelströmkälla (U_U , U_V , U_W) kopplad likriktardel (10), likspänningsmellanledet samt en styrd växelriktardel (11) som matar en växelspänning (U_S , U_R , U_T) med variabel frekvens till lasten (12),

k ä n n e t e c k n a t a v ,

att referenserna för de av spänningsvektorer alstrade ändringarna i lindningsflödet ges som referens till växelriktarens modulator,

att ändringen i lindningsflödet beräknas med hjälp av den uppmätta spänningen i mellanledet, och

att respektive aktiva spänningsvektor hålls inkopplad tills referensvärdet nås.

2. Förfarande enligt patentkrav 1,

k ä n n e t e c k n a t a v , att i förfarandet en första spänningsvektor (V_m) inkopplas och hålls inkopplad tills lindningsflödets ändring är hälften av referensen ($\Delta\psi_{m,ref}$), varefter den andra spänningsvektorn (V_{m+1}) inkopplas och hålls inkopplad tills ändringen i lindningsflödet som denna spänningsvektor alstrar är hälften av referensen ($\Delta\psi_{m+1,ref}$), varefter nollspänningsvektorn (V_0) inkopplas tills halva kopplingsperioden ($T_s/2$) förflött räknat från kopplingsperiodens början, och därefter inkopplas den andra spänningsvektorn (V_{m+1}) tills lindningsflödet ändrats den resterande halvan av referensen ($\Delta\psi_{m+1,ref}$) för ändringen i lindningsflödet, varefter den första spänningsvektorn (V_m) ännu inkopplas tills lindningsflödet ändrats den resterande halvan av referensen ($\Delta\psi_{m,ref}$) för ändringen i lindningsflödet, och därefter, om tid ännu återstår av kopplingsperioden, inkopplas ännu nollspänningsvektorn (V_0) till slutet av kopplingsperioden.

3. Förfarande enligt patentkrav 1 eller 2 där också frekvensomriktarens likriktardel är styrd,

k ä n n e t e c k n a t a v , att också likriktardelen styrs med differentiell vektorstyrd pulsbreddmodulering (DSVPWM), där referensen till likriktardelens modulator är de tänkta referenserna för lindningsflödets ändring i en mellan nätet och likriktardelen inkopplad drossel (L_{AC}).

4. Frekvensomriktare, försedd med en till en växelströmkälla (U_U , U_V , U_W) kopplad likriktardel (10), ett likspänningsmellanled samt en styrd växelriktardel (11) som matar en växelspänning (U_S , U_R , U_T) med variabel

frekvens till lasten (12), vilken växelriktardel genom vektorstyrd pulsbreddmodulering styrs av en i en styrenhet (13) belägen modulator,

kännetecknad av, att i styrenheten (13) referensvärdet för växelriktardelens modulator är referenserna för de av spänningsvektorerna
5 alstrade ändringarna i lindningsflödet, att modulatern med hjälp av den uppmätta spänningen i mellanledet räknar ut lindningsflödets ändring och att modulatern håller respektive aktiva spänningsvektor inkopplad tills referensvärdet nås.

5. Frekvensomriktare enligt patentkrav 4,

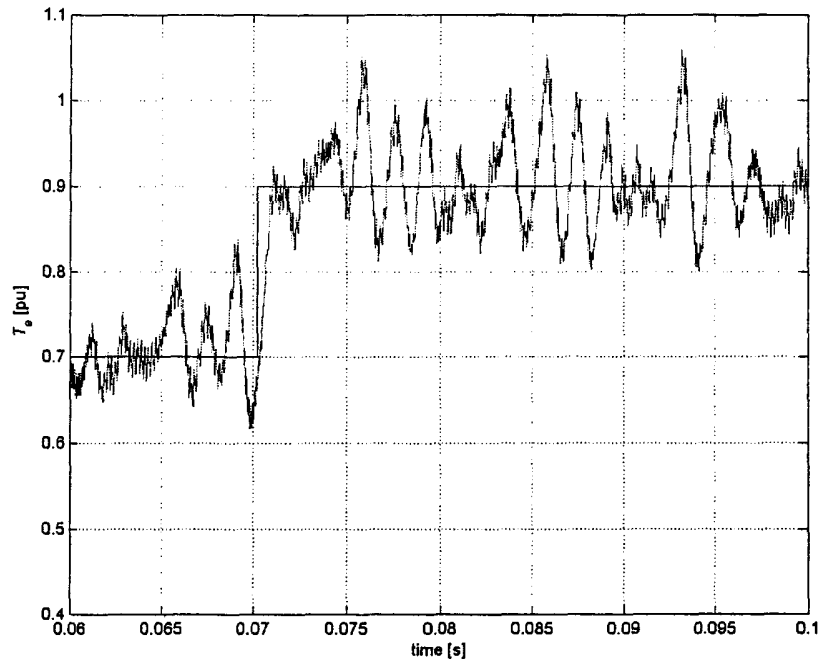
kännetecknad av, att modulatern inkopplar en första
10 spänningsvektor ($\mathbf{V}_m$) och håller den inkopplad tills lindningsflödets ändring är hälften av referensen ($\Delta\psi_{m,ref}$), varefter modulatern inkopplar den andra spänningsvektorn ($\mathbf{V}_{m+1}$) och håller den inkopplad tills ändringen i lindningsflödet som denna spänningsvektor alstrar är hälften av referensen ($\Delta\psi_{m,ref}$),
15 varefter modulatern inkopplar nollspänningsvektorn ($\mathbf{V}_7$) tills halva kopplingsperioden ($T_s/2$) förlöpt räknat från kopplingsperiodens början, och därefter inkopplar modulatern den andra spänningsvektorn ($\mathbf{V}_{m+1}$) tills lindningsflödet ändrats den resterande halvan av referensen ($\Delta\psi_{m+1,ref}$) för ändringen i lindningsflödet, varefter modulatern ännu inkopplar den första
20 spänningsvektorn ($\mathbf{V}_m$) tills lindningsflödet ändrats den resterande halvan av referensen ($\Delta\psi_{m,ref}$) för ändringen i lindningsflödet, och därefter, om tid ännu återstår av kopplingsperioden, inkopplar modulatern ännu nollspänningsvektorn ($\mathbf{V}_0$) till slutet av kopplingsperioden.

6. Frekvensomriktare enligt patentkrav 4 eller 5 där också

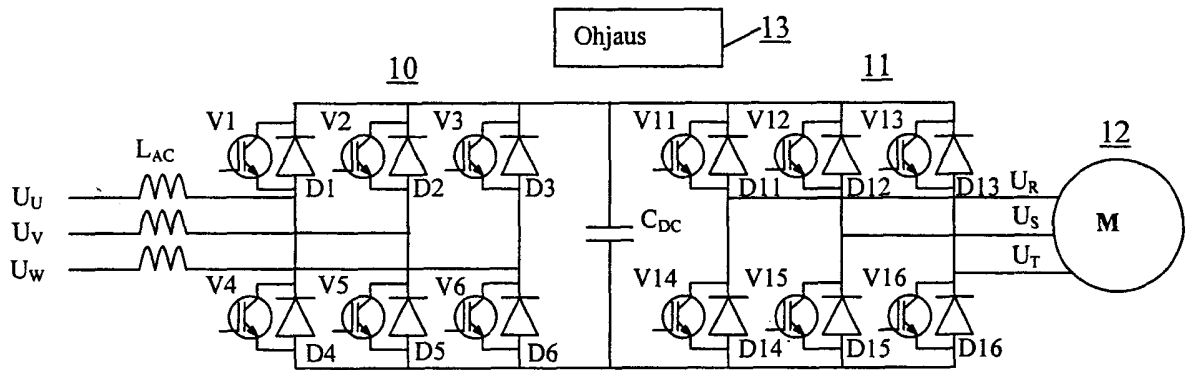
25 frekvensomriktarens likriktardel är styrd,

kännetecknat av, att likriktardelens modulator styr också likriktardelen med differentiell vektorstyrd pulsbreddmodulering (DSVPWM), där referensen till likriktardelens modulator är de tänkta referenserna för lindningsflödets ändring i en mellan nätet och likriktardelen inkopplad drossel
30 (L_{AC}).





KUVIO 5



KUVIO 6