



F I 000109847B



SUOMI – FINLAND  
(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS  
PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN

(12) PATENTTIJULKAISU  
PATENTSKRIFT

(10) FI 109847 B

(45) Patentti myönnetty - Patent beviljats

15.10.2002

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

H02P 6/08

(21) Patentihakemus - Patentansökning

981353

(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag

11.06.1998

(24) Alkupäivä - Löpdag

11.06.1998

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig

12.12.1999

(73) Haltija - Innehavare

1 •ABB Oy, Strömbergintie 1, 00380 Helsinki, SUOMI - FINLAND, (FI)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1 •Luukko, Julius, Marjankatu 6 C 21, 53600 Lappeenranta, SUOMI - FINLAND, (FI)

(74) Asiamies - Ombud: Kolster Oy Ab  
Iso Roobertinkatu 23, 00120 Helsinki

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

**Menetelmä tahtikoneen roottorikulmaestimaatin virheen minimoimiseksi**  
**Förfarande för minimering av felet i en synkronmotors rotorvinkelstimat**

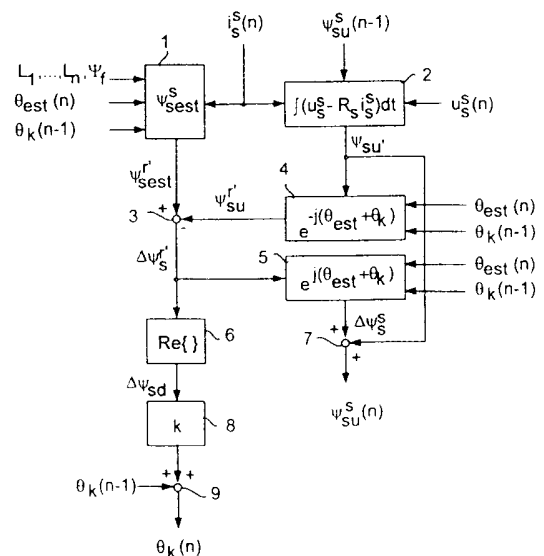
(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

JP A 09047066 (H02P 5/41), JP A 09056199 (H02P 21/00), JP A 10080188 (H02P 7/63)

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Menetelmä tahtikoneen roottorikulmaestimaatin virheen minimoimiseksi, joka käsittää vaiheet, joissa määritetään tahtikoneen staattorivuo ( $\Psi_{sest}^s$ ) tahtikoneen virtamalliin perustuen, määritetään tahtikoneen staattorivuo ( $\Psi_{su}^s$ ) jänniteintegraaliin ja staattorivuo alkuarvoon ( $\Psi_{su}^s(n-1)$ ) perustuen, ja määritetään tahtikoneen roottorikulma ( $\theta_{est}(n)$ ). Menetelmän käsittäessä lisäksi vaiheet, joissa määritetään kulman korjaustermi ( $\theta_k(n)$ ) määritettyihin staattorivoihin ( $\Psi_{sest}^s$ ,  $\Psi_{su}^s$ ) perustuen, ja summataan kulman korjaustermi ( $\theta_k(n)$ ) määritettyyn tahtikoneen roottorikulmaan ( $\theta_{est}(n)$ ) roottorikulmaestimaatin ( $\theta(n)$ ) aikaansaamiseksi.

Ett förfarande för minimering av ett taktmotors rotorvinkelstimats fel, vilket omfttar skeden, där taktmotorns statorflöde ( $\Psi_{sest}^s$ ) fastställes på basen av en taktmotors strömningsmodell, taktmotorns statorflöde ( $\Psi_{su}^s$ ) fastställes på basen av en spänningsintegral och statorflödets begynnelsevärde ( $\Psi_{su}^s(n-1)$ ), samt fastställes taktmotorns rotorvinkel ( $\theta_{est}(n)$ ). Förfarandet omfattar ytterligare skeden, där en korrigeringssterm ( $\theta_k(n)$ ) fastställes på basen av de fastställda statorvärdena ( $\Psi_{sest}^s$ ,  $\Psi_{su}^s$ ), samt adderar vinkelns korrigeringssterm ( $\theta_k(n)$ ) till den fastställda rotorvinkeln ( $\theta_{est}(n)$ ) för taktmotorn, för att åstadkomma ett motorvinkelstimat ( $\theta(n)$ ).



## **Menetelmä tahtikoneen roottorikulmaestimaatin virheen minimoimiseksi**

### **Keksinnön tausta**

Tämän keksinnön kohteena on menetelmä tahtikoneen roottorikulmaestimaatin virheen minimoimiseksi, joka käsittää vaiheet, joissa  
5 määritetään tahtikoneen staattorivuo tahtikoneen virtamalliin perustuen,

määritetään tahtikoneen staattorivuo jänniteintegraaliin ja staattorivuo  
10 alkuarvoon perustuen, ja määritetään tahtikoneen roottorikulma.

Tahtikone koostuu yleisesti kolmivaiheisella käämityksellä varustetusta staattorista ja magnetoidusta roottorista. Roottorin magnetoiminen suoritetaan tyypillisesti joko kestmagnetoinnilla tai vierasmagnetoinnilla. Kestomagnetoinnissa roottoriin on asennettu kestmagneettiloikoja, joita staattoriin  
15 aikaansaatu pyörivä magneettikenttä vetää puoleensa samalla pyörittäen roottoria. Roottorin vierasmagnetointi tarkoittaa sitä, että roottoriin on sijoitettu käämivyyhtejä, joihin tuodaan virtaa. Roottorin käämivyyhdit muodostavat tällöin magneettinapoja roottoriin, jotka toimivat samalla periaatteella kuin kestmagneetista valmistetut navat. Tahtikoneen roottori voi lisäksi olla rakenteeltaan joko umpi- tai avonapainen. Umpinapaisissa koneissa roottorin induktanssi staattorista katsottuna pysyy lähes vakiona, kun taas avonapakoneissa roottorin ja staattorin ilmvälin muutoksesta johtuen roottorin induktanssi vaihtelee suuresti roottorin asentokulmasta riippuen.

Nopeussäädetyissä tahtikonekäytöissä on tärkeää säätöjärjestelmän toiminnan kannalta, että koneen roottorin asentokulma tiedetään mahdollisimman tarkasti. Erityisesti säätömenetelmissä, jotka perustuvat koneen staattorivuo suoraan ohjaamiseen kulman määrittämisen tarkkuudella on suuri merkitys säätötarkkuuden lopputulokseen. Roottorin asentokulman määrittämiseen käytetään yleisesti pulssienkooderia tai absoluuttianturia, jolta saatavan tiedon perusteella on mahdollista määrittää roottorin kulma.  
30

Kulma-anturilta saatava mittaustulos sisältää virhettä, joka aiheutuu ainakin kahdesta eri määritettävissä olevasta komponentista. Ensimmäinen tunnetuista virhettä aiheuttavista komponenteista on virheellinen alkukulma, jonka kulma-anturi määrittää. Alkukulman estimointiin on esitetty useita eri estimointialgoritmeja, mutta jos moottorin kuorma sallii, voidaan roottori kääntää  
35 käytön alussa haluttuun suuntaan. Edullinen suunta on esimerkiksi roottorin

kääntäminen jonkun vaiheen käämin suuntaiseksi. Roottorin kääntäminen voidaan suorittaa syöttämällä haluttuun vaiheeseen tasavirtaa, jolloin roottori kääntyy halutun suuntaiseksi. Alkukulman määrittäminen ja korjaaminen roottoria kääntämällä on kuitenkin tahtikoneiden käyttökohteista johtuen usein  
5 mahdotonta.

Roottorikulman virhe voi muodostua myös diskreetin säätöjärjestelmän viiveistä. Jos moottorimalleissa koneen tilan laskentaan käytettävä roottorikulma on määritetty ajan  $\Delta t$  ennen moottorimallin laskentaa, aiheutuu tästä lisävirhe, joka on verrannollinen roottorin kulmataajuuteen yhtälön  $\Delta\theta =$   
10  $\omega\Delta t$  mukaisesti. Toisin sanoen roottorin pyöriessä määritetty kulmainformaatio vanhenee ennen kuin sitä käytetään moottorimallin laskemiseen. Viiveistä johtuva kulmavirhe on siis suoraan verrannollinen roottorin kulmanopeuteen.

Tahtikoneen staattorivirran aiheuttaman vääntömomentin suoraan ohjaamiseen perustuvissa moottorinsäätömenetelmissä valitaan staattoriin syötettävä jännite lyhyellä näytevälillä laskettavan jänniteintegraaliin perustu-  
15 van käämivuoestimaatin  $\Psi_{su}^s$  perusteella. Käämivuoestimaatti  $\Psi_{su}^s$  määritetään integraalilauseen (1)

$$\Psi_{su}^s = \Psi_{su0}^s + \int_t^{t+\Delta t} (u_s^s - R_s i_s^s) dt$$

avulla, missä  $\Psi_{su0}^s$  on käämivuon alkuarvo,  $u_s^s$  syötettävä jännite,  $i_s^s$  määritetty  
20 staattorivirta ja  $R_s$  staattorin resistanssi. Käämivuoestimaatin  $\Psi_{su}^s$  kuvaaja kompleksitasossa on väräinen ympyrärata, koska käämivuota säädetään tietyn hystereesirajan sisällä. Jos käämivuoestimaatti  $\Psi_{su}^s$  on yhtä suuri todellisen staattorissa vallitsevan käämivuon  $\Psi_s^s$  kanssa, on myös muodostuvan staattorivirran osoittimen  $i_s^s$  ura origokeskeinen ympyrä. Virheellisen jännite- tai  
25 resistanssiestimaatin vuoksi todellinen käämivuo  $\Psi_s^s$  voi kuitenkin kulkea estimaatin radasta poikkeavaa rataa.

Integraaliin perustuvaa estimaattia stabiloimaan käytetään koneen virtamalliin perustuvaa estimaattia  $\Psi_{sest}^s$  (2)

$$\Psi_{sest}^s = f[L_1(\theta_r), L_2(\theta_r), \dots, L_n(\theta_r), i_s, \Psi_f(\theta_r)],$$

missä  $L_1(\theta_r), L_2(\theta_r), \dots, L_n(\theta_r)$  ovat staattorikäämivuohon vaikuttavat induktanssit,  $\theta_r$  on roottorin kulma ja  $\Psi_f(\theta_r)$  staattorivirrasta riippumaton roottorin aiheuttama käämivuo, kuten esimerkiksi vierasmagnetointi tai kestopagneetit. Mallien muodostamia käämivuoestimaatteja verrataan toisiinsa ja ero päivitetään jännitemallin tuottamaan estimaattiin. Kuten kaavasta (2) ilmenee, tahtiko-  
35 neessa virtamalliin tarvitaan tieto roottorin kulmasta staattorikoordinaatistossa.

Jos pulssienkooderilta tai absoluuttianturilta saatava kulma on virheellinen, on myös käämivuoestimaatti virheellinen, josta seuraa, että myös jännitemalliin tehtävä päivitys on virheellinen. Vaikka edellä kuvailulla tunnetulla tavalla staattorivuon suuruudesta saadaan luotettava arvio, niin roottorin kulmavirheen ollessa merkittävä, käytön momentti- ja nopeussäädön tarkkuus kärsii merkittävästi.

### Keksinnön lyhyt selostus

Tämän keksinnön tarkoituksena on aikaansaada menetelmä, joka välttää edellä mainitut epäkohdat ja mahdollistaa tahtikoneen roottorikulman tarkan estimoimisen ja siten tahtikonekäytön luotettavan ja tarkan ohjauksen. Tämä tarkoitus saavutetaan keksinnön mukaisella menetelmällä, jolle on tunnusomaista, että menetelmä käsittää lisäksi vaiheet, joissa

määritetään kulman korjaustermi määritettyihin staattorivoihin perustuen, ja

summataan kulman korjaustermi määritettyyn tahtikoneen roottorikulmaan roottorikulmaestimaatin aikaansaamiseksi.

Keksinnön mukainen menetelmä perustuu siihen ajatukseen, että roottorikulmalle saadaan tarkka arvio, kun määritettyyn roottorikulmaan lisätään korjaustermi  $\theta_k$ , joka on suhteutettu tahtikoneen virta- ja jännitemalleista määritettyjen staattorivoiden pitkäaikskomponenttien erotukseen.

Keksinnön mukainen menetelmä aikaansaa yksinkertaisilla operaatioilla luotettavan arvion todellisesta tahtikoneen roottorin asentokulmasta, joka on tärkeää tahtikoneen tarkan säädettävyyden saavuttamiseksi. Menetelmä on lisäksi yksinkertaisuutensa vuoksi helposti realisoitavissa, jolloin menetelmän vuoksi ei tarvita ylimääräisiä mittaus- tai parametritietoja.

### Kuvioiden lyhyt selostus

Keksintöä selostetaan nyt lähemmin edullisten suoritusmuotojen yhteydessä, viitaten oheisiin piirroksiin, joista:

Kuvio 1 esittää keksinnön mukaista menetelmää lohkokaaviokuva-

na, ja

Kuvio 2 esittää keksinnön mukaisen menetelmän liittymisen muuhun tahtimoottorikäyttöön.

### Keksinnön yksityiskohtainen selostus

Kuvion 1 mukaisesti tahtikoneen virtamalliin 1 perustuvassa tahtikoneen staattorikäämivuon estimoinnissa tarvitaan parametritietoina arviot staattorikäämivuohon vaikuttavien induktanssien  $L_1, L_2, \dots, L_n$  suuruuksista. Kyseiset induktanssien suuruudet muuttuvat roottorin asentokulman  $\theta_r$  muuttuessa, kun tilannetta tarkastellaan paikallaan olevasta koordinaatistosta. Lisäksi parametritietona tarvitaan staattorivirrasta riippumaton roottorin aiheuttama käämivuo  $\Psi_r$ , jollainen on esimerkiksi roottorin vierasmagnetointi tai kestopagneetit. Myös roottorin aiheuttama käämivuo  $\Psi_r$  muuttuu stationäärisestä koordinaatistosta tarkasteltuna roottorin asentokulman muuttuessa. Koska staattorikäämivuo on lisäksi riippuvainen staattorivirrasta  $i_s^s$ , tulee virran suuruus myös määrittää. Tahtikoneen virtamallilla voidaan siis määrittää staattorikäämivuon estimaatti  $\Psi_{\text{sest}}^s$ , joka on funktio edellä mainituista muuttujista.

Staattorikäämivuo voidaan määrittää myös tahtikoneen jännitemalliin 2 perustuen. Jännitemallissa staattorissa vaikuttavaa jännitettä integroidaan, jolloin saadaan aikaiseksi jännitemalliin perustuva estimaatti  $\Psi_{\text{su}}^s$ . Staattorissa vaikuttavan jännitteen suuruus saadaan, kun staattorin käämeihin kytkettävistä jännitteistä vähennetään staattorikäämien resistansseista aiheutuva jännitehäviö, joka syntyy virran kulkiessa käämeissä. Jännitemallissa tarvitaan parametritietona staattorikäämien resistanssin suuruudet sekä alkuarvo staattorikäämivuon suuruudesta. Moottorin suoraan vääntömomentinsäätöön perustuvissa moottorinohjausmenetelmissä on periaatteena valita moottoriin syötettävä jännite lyhyellä näytevälillä laskettavan jänniteintegraaliin perustuvan käämivuoestimaatin perusteella. Kahdella eri tavalla saatuja eli virta- ja jännitemalliin perustuvia staattorikäämivuoestimaatteja käytetään lähtökohtana roottorin asentokulman minimoinnissa ja staattorikäämivuon stabiloinnissa. Stabilointi toteutetaan siten, että eri malleilla saatuja estimaatteja vertaillaan ja mahdollinen ero päivitetään jännitemallin estimaattiin.

Keksinnön mukaisen menetelmän mukaisesti määritettyjen staattorivoiden perusteella määritetään kulman korjausermi, joka summataan mitattuun roottorikulman estimaattiin. Keksinnön edullisen suoritusmuodon mukaisesti kulman korjausermin määrittämisessä molemmat määritetyt staattorikäämivuoestimaatit muunnetaan estimoituun roottorikoordinaatistoon. Kuvion 1 virtamallilohko 1 käsittää koordinaatistomuunnoksen suorittavan elimen, jolloin virtamallilohkon ulostulona on estimoidussa roottorikoordinaatistossa ole-

va staattorivuoestimaatti  $\Psi_{\text{sest}}^r$ . Jännitemallin 2 ulostulona saatava staattori-  
 koordinaatistossa oleva staattorivuoestimaatti  $\Psi_{\text{su}}^s$  muunnetaan estimoituun  
 roottorikoordinaatistoon koordinaatistonmuunnoselimellä 4. Jotta vuoestimaatit  
 voidaan muuttaa estimoituun roottorikoordinaatistoon, tulee tiedossa olla  
 5 roottorin asentokulma. Asentokulmana käytetään mittaustietona roottoriin lii-  
 tetyltä kulma-anturilta saatavan roottorikulman  $\theta_r$  ja keksinnön mukaisen me-  
 netelmän avulla määritettävän kulman korjaustermin  $\theta_k$  tai kulman korjauster-  
 min alkuarvon summaa.

Molemmilla keksinnön mukaisilla menetelmillä määritetyt staattori-  
 10 käämivuoestimaatit ovat vektorisuureita. Menetelmän mukaisesti virtamallin  
 perusteella määritetystä staattorikäämivuosta  $\Psi_{\text{sest}}^r$  vähennetään jännitemallin  
 perusteella määritetty staattorikäämivuoestimaatti  $\Psi_{\text{su}}^s$ . Kuvion 1 mukaisesti  
 käämivoiden välinen erotus aikaansaadaan summainelimellä 3, jonka positiivi-  
 seen sisääntuloon on yhdistetty virtamalliin perustuva estimaatti ja negatiivi-  
 15 seen sisääntuloon jännitemalliin perustuva estimaatti. Summauselimien 3  
 ulostulona eli mainittujen estimaattien erotuksena saatava staattorivuo-  
 erosuure  $\Delta\Psi_s^r$  on edelleen yhdistetty muunnoselimien 6 ja koordinaatiston-  
 muunnoselimien 5 sisääntuloon.

Summainelimeltä 3 saatava erosuure  $\Delta\Psi_s^r$  on edelleen vektorisuu-  
 20 re, joka käsittää reaalisen ja imaginaarisen komponentin. Muunnoselin 6  
 poistaa erosuureesta  $\Delta\Psi_s^r$  imaginaariosan, jolloin jäljelle jää ainoastaan  
 erosuureen reaaliosa  $\Delta\Psi_{\text{sd}}$ , joka vastaa virta- ja jännitemallien käämivuoesti-  
 maattien pitkäaikskomponenttien erotusta estimoidussa roottorikoordinaatis-  
 tossa.

Muunnoselimien 6 ulostulo on yhdistetty kerroinelimen 8 sisääntu-  
 loon. Kerroinelimellä 8 skaalataan erosuureen reaaliosa  $\Delta\Psi_{\text{sd}}$  kertomalla se  
 vakiosuuruisella kertoimella  $k$ , jolloin kerroinelimen ulostuloon saadaan vah-  
 vistettu erosuure. Kerroinelimen 8 ulostulosta saatava vahvistettu erosuure  
 summataan summainelimellä 9 kulman korjaustermin edelliseen arvoon  $\theta_k(n-1)$   
 30 kulman korjaustermin uuden arvon  $\theta_k(n)$  aikaansaamiseksi. Kulman korjaus-  
 termiä käytetään roottorin asentokulman määrittämiseen summaamalla korja-  
 ustermi kulmaa määrittävältä mittauselimeltä saatavaan roottorikulmaan  $\theta_{\text{est}}$ .  
 Näin aikaansaatu korjattu arvio roottorin asentokulmasta  $\theta_n$  on tarkka ja  
 mahdollistaa tahtikoneen ohjaamisen aikaisempaa luotettavammin.

Keksinnön menetelmän edullisessa suoritusmuodossa määritetään  
 35 lisäksi korjattu staattorivuo  $\Psi_{\text{su}}^s$  summaamalla summainelimellä 7 jännitemalliin

perustuvaan staattorivuohon  $\Psi_{su}^s$  staattorikoordinaatistoon muunnettu staattorivuon erosuure  $\Delta\Psi_s^s$ . Staattorivuon erosuure muunnetaan staattorikoordinaatistoon koordinaatistonmuunnoselimellä 5, ja muunnoksessa käytetään mittaustietona saatavan roottorikulman ja kulman korjaustermin summaa. Summalinimeltä 7 saatavaa korjattua staattorivuota  $\Psi_{su}^s$  käytetään tahtikoneen säätöön kuvion 2 esittämällä tavalla.

Keksinnön mukaista menetelmää voidaan käyttää edellä kuvaillulla tavalla tahtikoneen käytön aikana, jolloin kulman korjaustermiä määritetään jatkuvasti. Keksinnön edullisen suoritusmuodon mukaisesti menetelmää voidaan käyttää myös identifioimaan tarvittava kulmakorjaus ennen varsinaista koneen hyötykäyttöä. Tällöin yhdellä tai useammalla tahtikoneen kulmanopeudella määritetään keksinnön mukaisesti kulman korjaustermi. Määritetyistä korjaustermeistä voidaan tämän jälkeen määrittää kaikkiin muihin koneen kulmanopeuksiin liittyvät korjaustermit. Määritetyt muihin kulmanopeuksiin liittyvät korjaustermit tallennetaan siten, että tahtikoneen pyöriessä jollain kulmanopeudella oikea korjaustermi on lisättävissä mitattuun asentokulmaan. Tällä tavoin saadaan aikaiseksi luotettava ja yksinkertainen roottorin asentokulman määrittäminen. Kaikkiin nopeuksiin liittyvien korjaustermien määrittäminen yhden tai useamman menetelmän mukaisesti määritetyn korjaustermin perusteella voidaan tehdä siitä syystä, että virheen aiheutumisperiaatteesta johtuen virhe asentokulmassa on kulmanopeuden suhteen lineaarinen. Tällöin määritettyjä korjaustermejä interpoloimalla saadaan kaikkiin mahdollisiin kulmanopeuksiin liittyvät korjaustermit.

Kuvion 2 esittämän periaatteellisen esityksen mukaisesti kulmavirheen minimointi ja käämivuon laskenta suoritetaan lohossa 13. Kuvio 2 esittää kulmavirheen minimoinnin liittymisen muuhun moottorin säätöjärjestelmään. Kuviossa esitetty menetelmä käyttää suoraan moottorin vääntömomentin säätöön liittyvää säätöratkaisua. Kulmavirheen minimointilohko 13 saa sääntuloinaan tiedot käytettävästä jännitteestä, staattorivirtojen suuruuden sekä mittaustiedon kulma-anturilta. Parametritietoina saadaan myös koneen induktanssien suuruudet. Kulmavirheen minimointilohkon ulostulona on staattorikäämivuo, joka on korjattu keksinnön mukaista minimointimenetelmää käyttäen.

Moottorin akselilla vaikuttava vääntömomentti  $T_e$  lasketaan momentin laskentalohkossa 14 mitattuihin staattorivirtoihin ja lohkon 13 ulostulona saatavaan staattorikäämivuohon perustuen. Sekä moottorin kehittämää

vääntömomenttia  $T_e$ , että käänvuota  $\Psi_{su}^s(n)$  verrataan vastaaviin ohjearvoihin  $T_{eref}$  ja  $\Psi_{sref}$  erosuureiden aikaansaamiseksi. Säästölohkossa 15 käänvuota ja vääntömomenttia säädetään staattorikäänvuon ja vääntömomentin ylläpitämiseksi. Säästölohkon ulostulon perusteella optimikytkentätaulukosta valitaan kulloiseenkin tilanteeseen sopivat jänniteohjeet ohjaamaan moottorin staattorikäänneihin yhdistetyn vaihtosuuntaajan 11 kytkimiä siten, että halutut staattorivuon ja vääntömomentin arvot saavutetaan.

Alan ammattilaiselle on ilmeistä, että tekniikan kehittyessä keksinnön perusajatus voidaan toteuttaa monin eri tavoin. Keksintö ja sen suoritusmuodot eivät siten rajoitu yllä kuvattuihin esimerkkeihin vaan ne voivat vaihdella patenttivaatimusten puitteissa.



### Patenttivaatimukset

1. Menetelmä tahtikoneen roottorikulmaestimaatin virheen minimoimiseksi, joka käsittää vaiheet, joissa
- 5 määritetään tahtikoneen staattorivuo ( $\Psi_{\text{sest}}^s$ ) tahtikoneen virtamalliin perustuen,
- määritetään tahtikoneen staattorivuo ( $\Psi_{\text{su}}^s$ ) jänniteintegraaliin ja staattorivuon alkuarvoon ( $\Psi_{\text{su}}^s(n-1)$ ) perustuen, ja
- määritetään tahtikoneen roottorikulma ( $\theta_{\text{est}}(n)$ ), t u n n e t t u siitä, että menetelmä käsittää lisäksi vaiheet, joissa
- 10 määritetään kulman korjaustermi ( $\theta_k(n)$ ) määritettyihin staattorivoihin ( $\Psi_{\text{sest}}^s, \Psi_{\text{su}}^s$ ) perustuen, ja
- summataan kulman korjaustermi ( $\theta_k(n)$ ) määritettyyn tahtikoneen roottorikulmaan ( $\theta_{\text{est}}(n)$ ) roottorikulmaestimaatin ( $\theta(n)$ ) aikaansaamiseksi.
2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että kulman korjaustermin määrittäminen käsittää lisäksi vaiheet, jossa
- 15 muunnetaan molemmat määritetyt staattorivuot estimoituun roottorikoordinaatistoon käyttämällä koordinaatistomuunnoksessa määritetyn roottorikulman ( $\theta_{\text{est}}(n)$ ) ja kulman korjaustermin alkuarvon ( $\theta_k(n-1)$ ) summaa,
- vähennetään virtamalliin perustuvasta estimoituun roottorikoordinaatistoon muunnetusta staattorivuosta ( $\Psi_{\text{sest}}^r$ ) jännitemalliin perustuva estimoituun roottorikoordinaatistoon muunnettu staattorivuo ( $\Psi_{\text{su}}^r$ ) staattorivuon
- 20 erosuureen ( $\Delta\Psi_s^r$ ) aikaansaamiseksi,
- otetaan staattorivuon erosuureesta ( $\Delta\Psi_s^r$ ) reaaliosa ( $\Delta\Psi_{\text{sd}}$ ),
- kerrotaan staattorivuon erosuureen reaaliosa ( $\Delta\Psi_{\text{sd}}$ ) vahvistusker-
- 25 toimella ( $k$ ) vahvistetun erosuureen aikaansaamiseksi, ja
- summataan vahvistettu erosuure kulman korjaustermin alkuarvoon ( $\theta_k(n-1)$ ) päivitetyn kulman korjaustermin ( $\theta_k(n)$ ) aikaansaamiseksi.
3. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että menetelmä käsittää lisäksi vaiheen, jossa
- 30 määritetään korjattu staattorivuo ( $\Psi_{\text{su}}^s(n)$ ) summaamalla integroituu staattorivuhon ( $\Psi_{\text{su}}^s$ ) staattorikoordinaatistoon muunnettu staattorivuon erosuure ( $\Delta\Psi_s^s$ ), jolloin korjattua staattorivua ( $\Psi_{\text{su}}^s(n)$ ) käytetään seuraavana staattorivuon alkuarvona staattorivuon jänniteintegraalin määrittämisessä.
4. Patenttivaatimuksen 1, 2 tai 3 mukainen menetelmä, t u n -
- 35 n e t t u siitä, että menetelmä käsittää vaiheet, joissa

määritetään yhdellä tai useammalla moottorin kulmanopeudella kulman korjaustermi ( $\theta_k$ ),

muodostetaan ja tallennetaan yhdellä tai useammalla moottorin kulmanopeudella määritetyistä kulman korjaustermeistä ( $\theta_k$ ) muihin kulmanopeuksiin liittyvät korjaustermit,

5 valitaan tahtikoneen käytön aikana kulmanopeudesta riippuva kulman korjaustermi, ja

summataan valittu kulman korjaustermi määritettyyn roottorikulmaan roottorikulmaestimaatin aikaansaamiseksi.

### Patentkrav

1. Förfarande för minimering av ett rotorvinkelestimats fel i en synkronmotor omfattande steg, vari
- synkronmotorns statorflöde ( $\psi_{sest}^s$ ) fastställs på basis av synkronmotorns strömningsmodell,
- synkronmotorns statorflöde ( $\psi_{su}^s$ ) fastställs på basis av en spänningsintegral och statorflödets begynnelsevärde ( $\psi_{su}^s(n-1)$ ) och
- synkronmotorns rotorvinkel ( $\theta_{est}(n)$ ) fastställs, k ä n n e t e c k n a t av att förfarandet ytterligare omfattar steg, vari
- en korrigeringsterm ( $\theta_k(n)$ ) för vinkeln fastställs på basis av de fastställda statorflödena ( $\psi_{sest}^s, \psi_{su}^s$ ) och
- korrigerings termen ( $\theta_k(n)$ ) för vinkeln adderas till den fastställda rotorvinkeln ( $\theta_{est}(n)$ ) hos synkronmaskinen för att erhålla ett rotorvinkelestimat ( $\theta(n)$ ).
2. Förfarande enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att fastställandet av korrigerings termen för vinkeln ytterligare omfattar steg, vari
- bägge fastställda statorflödena omvandlas till ett estimerat rotorkoordinatsystem genom användning av summan av den vid koordinatsystemomvandlingen fastställda rotorvinkeln ( $\theta_{est}(n)$ ) och begynnelsevärdet ( $\theta_k(n-1)$ ) för vinkelns korrigerings term,
- från det på strömningsmodellen baserade, till det estimerade rotorkoordinatsystemet omvandlade statorflödet ( $\psi_{sest}^r$ ) subtraheras det på spänningsmodellen baserade, till det estimerade rotorkoordinatsystemet omvandlade statorflödet ( $\psi_{su}^r$ ) för att erhålla en differensstorhet ( $\Delta\Psi_s^r$ ) för statorflödet,
- från statorflödets differensstorhet ( $\Delta\Psi_s^r$ ) tas en realdel ( $\Delta\Psi_{sd}$ ),
- realdelen ( $\Delta\Psi_{sd}$ ) av statorflödets differensstorhet multipliceras med en förstärkningskoefficient ( $k$ ) för att erhålla en förstärkt differensstorhet och
- den förstärkta differensstorheten adderas till begynnelsevärdet ( $\theta_k(n-1)$ ) för vinkelns korrigerings term för att erhålla en uppdaterad korrigerings term ( $\theta_k(n)$ ) för vinkeln.
3. Förfarande enligt patentkrav 1 eller 2, k ä n n e t e c k n a t av att förfarandet ytterligare omfattar ett steg, vari
- ett korrigerat statorflöde ( $\psi_{su}^s(n)$ ) fastställs genom att till det integrerade statorflödet ( $\psi_{su}^s$ ) adderas den till statorkoordinatsystemet omvandlade differensstorheten ( $\Delta\Psi_s^s$ ) för statorflödet, varvid det korrigerade statorflödet ( $\psi_{su}^s(n)$ ) används som följande begynnelsevärde för statorflödet vid faststäl-

landet av statorflödets spänningsintegral.

4. Förfarande enligt patentkrav 1, 2 eller 3, k ä n n e t e c k n a t av att förfarandet omfattar steg, vari

5 en korrigeringsterm ( $\theta_k$ ) för vinkeln fastställs med en eller flera vinkelhastigheter hos motorn,

från korrigeringstermerna ( $\theta_k$ ) för vinkeln, vilka fastställts med en eller flera vinkelhastigheter hos motorn, bildas och lagras korrigeringstermer som hänför sig till andra vinkelhastigheter,

10 en av vinkelhastigheten beroende korrigeringsterm för vinkeln väljs under synkronmotorns drift och

den valda korrigeringstermen för vinkeln adderas till den fastställda rotorvinkeln för att erhålla ett rotorvinklestimat.

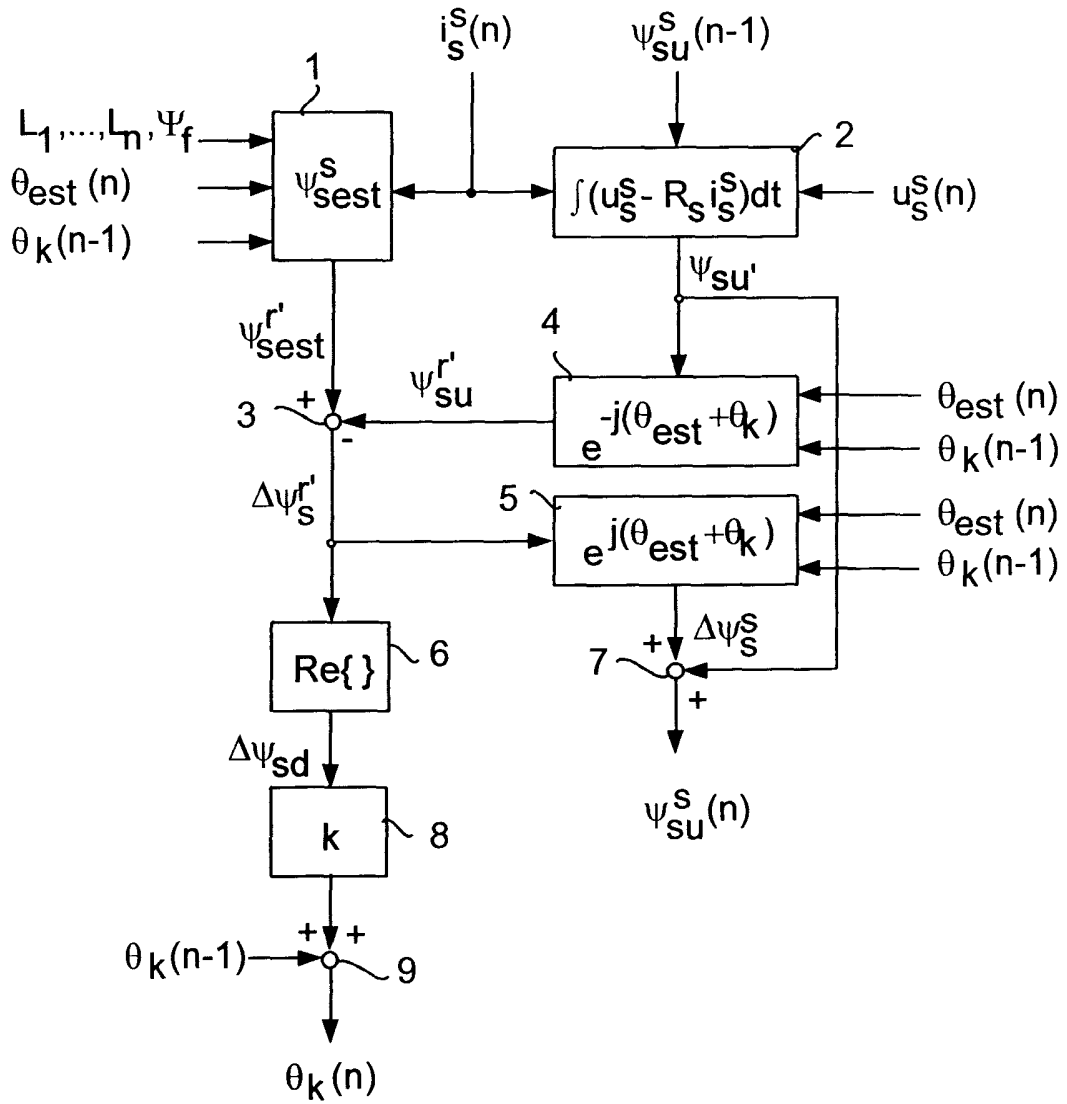


FIG. 1

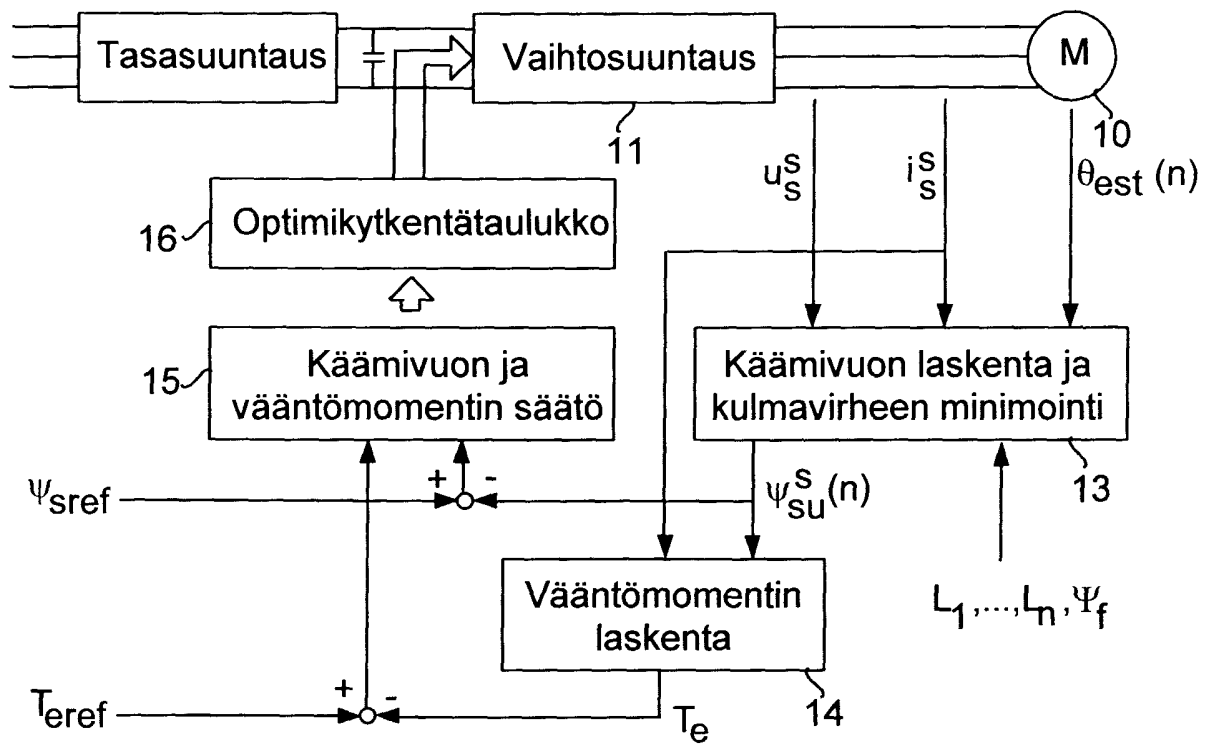


FIG. 2