



SUOMI-FINLAND

(FI)

Patentti- ja rekisterihallitus
Patent- och registerstyrelsen

(B) (11) KUULUTUSJULKAISU
UTLAGGNINGSSKRIFT

94201

C (45) Patentti myönnetty
Patent meddelat 25 07 1995

(51) Kv.1k.6 - Int.cl.6

H 02P 7/62 // G 01R 33/02

(21) Patentihakemus - Patentansökning	931186
(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag	17.03.93
(24) Alkupäivä - Löpdag	17.03.93
(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig	18.09.94
(44) Nähtävöksipanon ja kuul.julkaisun pvm. - Ansökan utlagd och utl.skriften publicerad	13.04.95

(71) Hakija - Sökande

1. ABB Strömberg Drives Oy, Strömbergintie 1, 00380 Helsinki, (FI)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1. Heikkilä, Samuli, Pasuunakuja 2 C 28, 00420 Helsinki, (FI)

(74) Asiamies - Ombud: Oy Kolster Ab

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

Menetelmä epätahtikoneen staattorivuon estimaatin määrittämiseksi
Förfarande för bestämning av statorflödesestimatet i en asynkronmaskin

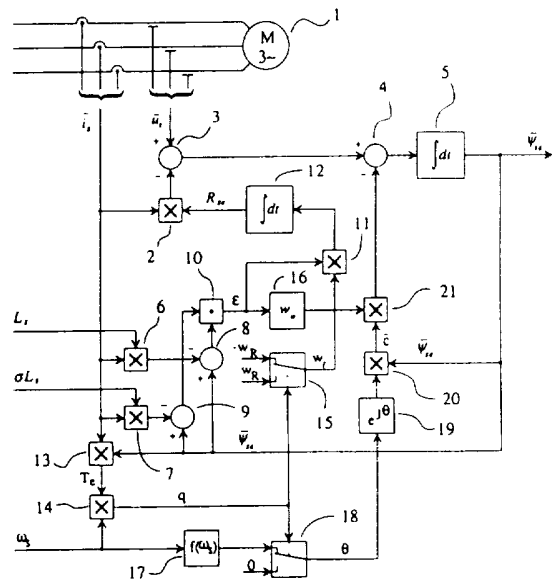
(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Keksintö koskee menetelmää epätahtikoneen staattorivuon estimaatin määrittämiseksi, kun tunnetaan syöttötaajuus $\bar{\omega}_s$, staattori-induktanssi L_s , staattoriresistanssi R_s tai sen estimaatti R_{s0} ja oikosulkuinduktanssi σL_s , jossa menetelmässä mitataan staattorivirta \bar{i}_s ja staattorijännite \bar{u}_s , lasketaan erojännite vähentämällä staattoriresistanssin tai sen estimaatin ja staattorivirran tulo staattorijännitteestä ja integroidaan mainittu erojännite ajan suhteen staattorivuon estimaatin $\bar{\Psi}_{s0}$ saamiseksi. Estimaatin tarkkuuden parantamiseksi ennen integrointia mainitusta erojännitteestä vähennetään takaisinkytkettyyn staattorivuon estimaattiin $\bar{\Psi}_{s0}$ perustuva korjaustermi, joka on verrannollinen eroisuureen ϵ ja sille annetun suuntavektorin \bar{c} tuloon, joka eroisuure määritetään yhtälöstä

$$(\bar{\Psi}_{s0} - L_s \bar{i}_s) \cdot (\bar{\Psi}_{s0} - \sigma L_s \bar{i}_s) = \epsilon$$

missä suuntavektori \bar{c} muodostetaan takaisinkytketystä staattorivuon estimaattia $\bar{\Psi}_{s0}$ kiertämällä sitä koneen toimintatilasta riippuvan kulman θ verran.



Uppfinningen avser ett förfarande för bestämning av ett estimat för statorflödet i en asynkronmaskin, då matningsfrekvensen $\bar{\omega}_s$, statorinduktansen L_s , statorresistansen R_s eller dess estimat $R_{s\hat{}}$ och kortslutningsinduktansen $L_{s\hat{}}$ är bekanta, vid vilket förfarande statorströmmen \bar{i}_s och statorspänningen \bar{u}_s mäts, en differensspänning beräknas genom att från statorspänningen subtrahera produkten av statorresistansen eller dess estimat och statorströmmen, och nämnda differensspänning integreras i avseende på tid för erhållande av ett estimat $\bar{\Psi}_{s\hat{}}$ för statorflödet. För att förbättra estimatnoggrannheten före integreringen subtraheras från nämnda differensspänning en på det återkopplade estimatet $\bar{\Psi}_{s\hat{}}$ för statorflödet baserad korrektionsterm, som är proportionell mot produkten av differensvärdet ϵ och den åt det givna riktningsvektorn \bar{c} , vilket differensvärde bestäms ur evkationen

$$(\bar{\Psi}_{s\hat{}} - L_s \bar{i}_s) \cdot (\bar{\Psi}_{s\hat{}} - \sigma L_s \bar{i}_s) = \epsilon$$

vari riktningsvektorn \bar{c} bildas ur statorflödets återkopplade estimat $\bar{\Psi}_{s\hat{}}$ genom att den vrids en vinkel θ , som beror av maskinens funktionstillstånd.

Menetelmä epätahtikoneen staattorivuon estimaatin määrittämiseksi

Tämä keksintö koskee menetelmää epätahtikoneen staattorivuon estimaatin määrittämiseksi, kun tunnetaan koneen staattorivirta, staattorijännite, syöttötaajuus, staattori-induktanssi, staattoriresistanssi tai sen estimaatti ja oikosulkuinduktanssi. Menetelmässä voidaan määrittää myös koneen staattoriresistanssin estimaatti.

Taajuusmuuttajatekniikkaan perustuvassa epätahtikoneen ohjauksessa on usein tavoitteena saada koneen kehittämä momentti käyttäytymään halutulla tavalla, kun koneeseen syötetyt virta ja jännite tunnetaan. Tällöin pyritään vaikuttamaan sähköiseen momenttiin, joka staattorivuon ja -virran avulla lausuttuna on:

$$T_m = k(\bar{\Psi}_s \times \bar{I}_s), \quad (1)$$

missä T_m = sähköinen momentti,
 k = vakiokerroin,
 $\bar{\Psi}_s$ = staattorivuo ja
 \bar{I}_s = staattorivirta.

Hallittu momenttisäätö siis edellyttää, että tunnetaan virran \bar{I}_s lisäksi koneen staattorivuo tai siihen verrannollinen suure (kuten roottori- tai ilmapäivuo). Tämä ei ole ongelma, kun toimitaan suurehkoilla taajuuksilla, jolloin tunnetusti staattorivuolle saadaan hyvä estimaatti integroimalla koneeseen syötettyä jännitettä:

30

$$\bar{\Psi}_s = \int \bar{u}_s dt = \frac{\bar{u}_s}{j\omega_s}, \quad (2)$$

missä \bar{u}_s = staattorijännite ja
 ω_s = syöttötaajuus.

Yhtälön 2 mukaisesti on $\bar{\Psi}$, helppo laskea, kun syöttöjännite ja sen taajuus tunnetaan.

Tästä yhtälöstä nähdään myös, että ω_s :ää pienennettäessä on tietyn nimellisen taajuuden alapuolella jännitetä alennettava, jotta vuo ei kasvaisi liian suureksi ja kone kyllästyisi.

Pienillä taajuuksilla ei yhtälö 2 ole kuitenkaan käyttökelpoinen, sillä todellisuudessa koneen käämeissä vaikuttava jännite poikkeaa syöttöjännitteestä käämien resistansseissa muodostuvan jännitehäviön verran. Siten häviökomponentin suhteellinen osuus jännitteestä kasvaa, kun \bar{u}_s :ää joudutaan pienentämään ω_s :ää pienennettäessä. Siksi pienillä taajuuksilla olisi mainittu häviökomponentti otettava huomioon, eli vuoestimaatti tulisi laskea yhtälöstä:

15

$$\bar{\Psi}_s = \int (\bar{u}_s - R_s \bar{i}_s) dt, \quad (3)$$

missä R_s = staattoriresistanssi.

Tällä yhtälöllä lasketun vuoestimaatin tarkkuus on kuitenkin voimakkaasti riippuvainen käytetyn R_s -estimaatin tarkkuudesta sekä toimintataajuudesta siten, että vuoestimaatin pysyvän tilan virhe kasvaa suoraan verrannollisena R_s -estimaatin virheeseen ja kääntäen verrannollisena taajuuteen. Toisaalta R_s -estimaatin on aina oltava selvästi pienempi kuin todellinen staattoriresistanssi, jotta yhtälön 3 mukaiseen integrointimenetelmään perustuva säätö olisi stabiili. Siksi pelkällä integrointimenetelmällä ei käytännössä juuri päästä alle 10 Hz:n ilman, että vuoestimaattiin muodostuisi huomattavaa pysyvän tilan virhettä.

Mainittu integrointimenetelmään liittyvä ongelma on ratkaistavissa joko suoraa- tai epäsuoraa vektorisäätöä käyttäen. Edellisessä tapauksessa staattorivuo mitataan suoraan koneeseen sijoitetun mittausanturin avulla, kun taas jälkimmäisessä menetelmässä se lasketaan epäsuorasti staattorivirran ja koneen akselille sijoitetulta takomet-

35

riltä saadun nopeustiedon perusteella. Molemmissa tapauksissa pystytään koneen momenttia säätämään myös nollataajuudella, mutta kumpikin menetelmä tarvitsee suhteellisen kalliin ja luotettavuutta vähentävän ylimääräisen mitausanturin.

Yllä mainitut ongelmat voidaan välttää ilman koneeseen liitettyjä ylimääräisiä mittaustureita esillä olevan keksinnön mukaista menetelmää käyttäen, jossa menetelmässä staattorivuon estimaatti lasketaan yhtälöä 3 käyttäen siten, että integroitavaan jännite-estimaattiin tehdään korjauksia, joilla kompensoidaan vuoestimaattiin integroitaessa syntyvät virheet. Jännite-estimaatin korjaukset valitaan syöttötaajuudesta ja momentista riippuen siten, että korjausten vaikutuksesta staattorivirta asettuu yhtä suureksi kuin referenssivirta, jonka suuruinen staattorivirran tulisi pysyvässä tilassa olla, mikäli koneessa vaikuttaisi vuoestimaatin suuruinen staattorivuo sekä vuoestimaatista ja mitatusta staattorivirrasta lasketun momenttiestimaatin suuruinen momentti. Jännite-estimaatin korjausten laskennan yhteydessä voidaan määrittää myös staattoriresistanssin estimaatti ellei se ole muutoin tiedossa. Tätä staattoriresistanssin estimaattia tarvitaan mainitun jännite-estimaatin laskemisessa. Korjausten laskemisessa tarvittavat syöttötaajuus sekä staattori- ja oikosulkuinduktanssi oletetaan tunnetuiksi. Pääasiallisesti tunnusomaista keksinnölle on tällöin se mikä ilmenee oheisesta patenttivaatimuksesta 1.

Seuraavassa keksintöä kuvataan yksityiskohtaisemmin viitatun oheisiin piirustuksiin, joissa

kuvio 1 esittää esimerkkiä staattorivirtavektorista ajan funktiona sekä erosuureen ϵ riippuvuutta staattori- ja referenssivirrasta,

kuvio 2 esittää esimerkkiä funktiosta f syöttötaajuuden funktiona,

kuviot 3a ja 3b esittävät esimerkkejä kulmasta θ syöttötaajuuden funktiona, kun momentti on a) positiivinen ja b) negatiivinen ja

kuvio 4 esittää keksinnön mukaista epätahtikoneen staattorivuon laskentamenetelmää.

Mainitun referenssivirran lausekkeen johtamiseksi tarkastellaan aluksi epätahtikoneen eräitä tunnettuja pysyvän tilan perusyhtälöitä staattorikoordinaatistossa:

$$0 = R_r \bar{I}_r + j\omega_r \bar{\Psi}_r \quad (4)$$

$$\bar{\Psi}_s = L_s \bar{I}_s + L_m \bar{I}_r \quad (5)$$

10

$$\bar{\Psi}_r = L_r \bar{I}_r + L_m \bar{I}_s, \quad (6)$$

missä $\bar{\Psi}_r$ = roottorivuo,

\bar{I}_r = roottorivirta,

ω_r = jättämätääjuus,

15

R_r = roottoriresistanssi,

L_s = staattori-induktanssi,

L_r = roottori-induktanssi ja

L_m = pääinduktanssi.

20

Yhtälöitä 5 ja 6 käyttäen voidaan roottorivuo ja -virta lausua staattorivuon ja -virran avulla:

$$\bar{\Psi}_r = \frac{L_r}{L_m} (\bar{\Psi}_s - \sigma L_s \bar{I}_s) \quad (7)$$

$$\bar{I}_r = \frac{1}{L_m} (\bar{\Psi}_s - L_s \bar{I}_s), \quad (8)$$

25

missä $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}$ = hajakerroin ja

σL_s = oikosulkuinduktanssi.

Yhtälöstä 4 seuraa, että

$$R_r \bar{I}_r = -j\omega_r \bar{\Psi}_r \quad (9)$$

5 Eli pysyvässä tilassa roottorivirta on kohtisuorassa roottorivuohon nähden, joten voidaan merkitä:

$$\bar{I}_r \cdot \bar{\Psi}_r = 0, \quad (10)$$

missä " \cdot " = skalaaritulo.

10 Sijoittamalla yhtälöt 7 ja 8 yhtälöön 10 saadaan

$$(\bar{\Psi}_s - L_s \bar{I}_s) \cdot (\bar{\Psi}_s - \sigma L_s \bar{I}_s) = 0 \quad (11)$$

15 Virheellinen staattorivuoestimaatti ei normaalisti toteuta yhtälöä 11, joten vuoestimaatissa olevan virheen suuruutta voidaan kuvata erosuureella ε , joka määritellään:

$$(\bar{\Psi}_{se} - L_s \bar{I}_s) \cdot (\bar{\Psi}_{se} - \sigma L_s \bar{I}_s) = \varepsilon \quad (12)$$

<=>

20

$$\Psi_{se}^2 - (L_s + \sigma L_s) \bar{\Psi}_{se} \cdot \bar{I}_s + L_s \sigma L_s i_s^2 = \varepsilon, \quad (13)$$

missä $\bar{\Psi}_{se}$ on staattorivuon estimaatti.

Määritellään seuraavaksi sähköinen momentti T_e siten, että

$$T_e = \bar{\Psi}_{se} \times \bar{I}_s = \Psi_{se} i_{sq}, \quad (14)$$

25

missä i_{sq} on staattorivirran kohtisuora komponentti staatto-

rivuoestimaatin suhteen.

Yhtälössä 13 esiintyvä vuon ja virran skalaaritulo voidaan nyt kirjoittaa seuraavasti:

$$\overline{\Psi}_{se} \cdot \overline{I}_s = \Psi_{se} i_{sd} = \Psi_{se} \sqrt{i_s^2 - i_{sq}^2} = \sqrt{\Psi_{se}^2 i_s^2 - T_e^2} , \quad (15)$$

5

missä i_{sd} on staattorivirran staattorivuoestimaatin suuntainen komponentti.

10 Sijoittamalla yhtälö 15 yhtälöön 13 saadaan vuo- ja momenttiestimaattien sekä staattorivirran neliön välille seuraava riippuvuus:

$$\Psi_{se}^2 - (L_s + \sigma L_s) \sqrt{\Psi_{se}^2 i_s^2 - T_e^2} + L_s \sigma L_s i_s^2 = \varepsilon \quad (16)$$

15

Tavoitteena on korjata staattorivuoestimaattia siten, että ε nollautuu yhtälössä 16. Tällöin staattorivirran itseisarvo lähestyy kohti referenssiarvoa i_{ref} , joka toteuttaa yhtälön:

$$\Psi_{se}^2 - (L_s + \sigma L_s) \sqrt{\Psi_{se}^2 i_{ref}^2 - T_e^2} + L_s \sigma L_s i_{ref}^2 = 0 , \quad (17)$$

20

missä i_{ref} edustaa virtaa, jonka suuruinen staattorivirtavektorin itseisarvon tulisi pysyvässä tilassa olla, mikäli koneessa vaikuttaisi Ψ_{se} :n suuruinen staattorivuo ja T_e :n suuruinen momentti.

25

Yhtälön 17 ratkaisuna saatava virtareferenssin neliö vuo- ja momenttiestimaattien funktiona siis on:

$$i_{ref}^2 = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{1}{\sigma^2 L_s^2} + \frac{1}{L_s^2} \right) \Psi_{se}^2 - \left(\frac{1}{\sigma^2 L_s^2} - \frac{1}{L_s^2} \right) \sqrt{\Psi_{se}^4 - \frac{4 \sigma^2 L_s^4}{(L_s - \sigma L_s)^2} T_e^2} \right] \quad (18)$$

Referenssivirran laskeminen yhtälön 18 lausekkeesta on kuitenkin melko hankalaa sekä lisäksi tarpeetonta, sillä voidaan osoittaa, että

$$\begin{cases} \varepsilon \geq 0 & , \text{ kun } i_s^2 \leq i_{ref}^2 \\ \varepsilon < 0 & , \text{ kun } i_s^2 > i_{ref}^2 \end{cases} \quad (19)$$

5

Toisin sanoen, yhtälössä 12 määritelty erosuure ε on positiivinen, mikäli staattorivirran amplitudi on pienempi kuin referenssivirta, ja päinvastoin. Tätä riippuvuutta on havainnollistettu kuviossa 1. Erosuuretta käyttäen on siis mahdollista korjata vuoestimaattia siten, että staattorivirta tulee amplitudiltaan yhtäsuureksi kuin mainittu referenssivirta.

Esillä olevassa keksinnössä vuoestimaatin korjaus suoritetaan välillisesti siten, että ensin vähennetään ε :iin verrannollinen korjaustermi jännite-estimaatista, josta sen jälkeen lasketaan integroimalla vuoestimaatti, eli (vrt. yhtälö 3):

20

$$\bar{\Psi}_{se} = \int (\bar{u}_s - R_{se} \bar{i}_s - \varepsilon w_u \bar{c}) dt, \quad (20)$$

missä $\varepsilon w_u \bar{c}$ = mainittu jännite-estimaatin korjaustermi,

25

w_u = jännite-estimaatin korjauksen vahvistuskerroin (>0) ja

\bar{c} = jännite-estimaatin korjauksen suuntavektori.

30

Kertoimella w_u vaikutetaan siihen, kuinka lähelle mitattu virta asettuu mainittua referenssivirtaa. Mitä suurempi w_u , sitä lähemmäksi virta tulee referenssiään, ja sitä pienemmäksi myös ε asettuu, eli w_u on verrattavissa konventionaalisen säätäjän P - kertoimeen. Se kannattaa

valita mahdollisimman suureksi siten, että ε :ssa oleva kohina ei pääse vaikuttamaan liikaa vuoestimaattiin.

Suuntavektori \bar{c} valitaan siten, että se muodostaa ennalta valitun kulman θ vuoestimaattiin nähden:

5

$$\bar{c} = e^{j\theta} \bar{\Psi}_{se} \quad (21)$$

Jotta esillä olevaan menetelmään perustuva säätö olisi stabiili, tulee jännite-estimaatin korjauksen suunta θ valita seuraavasti:

10

$$\theta = \begin{cases} 0 & , \text{ kun } q \geq 0 \\ f(\omega_s) & , \text{ kun } q < 0 \end{cases} \quad (22)$$

missä

$$q = \omega_s T_e \begin{cases} > 0 & \text{moottoripuolella} \\ = 0 & \text{tyhjäkäynnillä ja nollataajuudella} \\ < 0 & \text{generaattoripuolella} \end{cases} \quad (23)$$

15

ja $f(\omega_s) =$ pariton funktio, joka on esitetty kuviossa 2. Se saa arvon nolla, kun taajuuden itseisarvo ylittää tietyn rajataajuuden ω_L . Se vähenee paloittain monotonisesti välillä $-\omega_L \dots \omega_L$ saavuttaen minimi- ja maksimi-arvot $-\theta_L$ ja θ_L nollataajuudella. ω_L ja θ_L ovat jossain määrin koneesta riippuvia siten, että ω_L on 10% ... 20 % nimellistaajuudesta ja θ_L on 50 ... 80°.

20

25

30

Siten jännite-estimaatin korjauksen suunta on riippuvainen koneessa vaikuttavasta taajuudesta ja momentista kuvioissa 3a ja 3b esitetyllä tavalla. Kun momentti on positiivinen, mitä tilannetta on havainnollistettu kuviossa 3a, niin positiivisilla taajuuksilla kone toimii moottorina, jolloin jännite-estimaattia korjataan vain vuoestimaatin suunnassa ($\theta = 0$). Generaattoripuolella rajataajuuden $-\omega_L$ yläpuolella mainittua kulmaa käännetään taajuuden funktiona negatiiviseen suuntaan siten, että nollataajuudella saavutetaan kulma $-\theta_L$. Vastaavasti negatiivisella momenttil-

la, mitä tilannetta on havainnollistettu kuviossa 3b, kone toimii moottorina, kun taajuus on negatiivinen, jolloin $\theta = 0$. Positiivisella taajuudella ollaan generaattoripuolella, jolloin ao. kulmaa pienennetään taajuuden funktiona arvosta θ_L lähtien siten, että rajataajuuden ω_L yläpuolella $\theta = 0$.

Yhtälössä 20 tarvittavan staattoriresistanssin estimaatin R_{se} laskennassa käytetään hyväksi havaintoa, että kun ko. estimaatti on pienempi kuin todellinen staattoriresistanssi, niin siitä aiheutuu integrointimenetelmällä (yhtälö 3) laskettuun vuohon virhe, josta seuraa tyhjäkäynnillä ja moottoripuolella liian pieni-, ja generaattoripuolella liian suuri staattorivirta. Vastaavasti todellista suurempi R_{se} aiheuttaa vastakkaissuuntaisen virheen staattorivirtaan. Lisäämällä integrointimenetelmään staattorijännite-estimaattia korjaava termi (yhtälö 20) voidaan R_{se} :n vaikutusta staattorivirtaan huomattavasti pienentää, mutta tällöinkin sillä on virtaan, ja siten myös erosuureeseen ϵ vastaavaansuuntainen pieni vaikutus siten, että moottoripuolella:

20

$$\begin{cases} \epsilon > 0 & , \text{ kun } R_{se} < R_s \\ \epsilon < 0 & , \text{ kun } R_{se} > R_s \end{cases} \quad (24)$$

ja generaattoripuolella:

$$\begin{cases} \epsilon > 0 & , \text{ kun } R_{se} > R_s \\ \epsilon < 0 & , \text{ kun } R_{se} < R_s \end{cases} \quad (25)$$

25

Erosuuretta ϵ sekä yhtälöitä 24 ja 25 käyttäen on siten mahdollista säätää R_{se} todellisen staattoriresistanssin suuruiseksi. Niinpä esillä olevassa keksinnössä R_{se} lasketaan seuraavasti:

30

$$R_{se} = \int (w_r \epsilon) dt , \quad (26)$$

missä

$$w_r = \begin{cases} w_R & , \text{ kun } q \geq 0 \\ -w_R & , \text{ kun } q < 0 \end{cases} \quad (27)$$

ja w_R on positiivinen vakio.

Staattoriresistanssin estimaatti saadaan siis integroimalla kertoimella w_r painotettua erosuuretta ε (yhtälö 26). Yhtälön 27 mukaisesti w_r valitaan tyhjäkäynti- ja moottoripuolella ($q \geq 0$) vakion w_R ja generaattoripuolella ($q < 0$) vakion $-w_R$ suuruiseksi, minkä vaikutuksesta moottoripuolella positiivisella ε :n arvolla R_{so} :tä kasvatetaan ja generaattoripuolella pienennetään. Kertoimesta w_R riippuu, kuinka nopeasti R_{so} seuraa todellisen staattoriresistanssin vaihteluita, jotka aiheutuvat pääasiassa koneen staattorin lämpötilan vaihteluista kuormituksen vaihdellessa. Käytännössä w_R kannattaa valita melko pieneksi, sillä todellinen R_s voi muuttua vain hyvin hitaasti.

R_{so} :n korjauksella aikaansaadaan virtavektorin asettuminen pysyvässä tilassa referenssiarvonsa suuruiseksi ($\varepsilon = 0$). Mitä suurempi w_R , sitä nopeammin asettuminen tapahtuu, kuitenkin liian suuri w_R johtaa epästabiiliuteen. w_R on verrattavissa I - kertoimeen konventionaalisessa säätäjässä.

Keksinnön mukainen menetelmä on esitetty vuokaaviona kuviossa 4. Tulosuureina ovat mittaamalla saadut epätahtikoneen 1 staattorivirta \bar{i}_s ja staattorijännite \bar{u}_s . Lisäksi staattori-induktanssi L_s , oikosulkuinduktanssi σL_s ja syöttötaajuus ω_s oletetaan tunnetuiksi. Menetelmästä saadaan lähtösuureeksi koneen staattorivuon estimaatti $\bar{\Psi}_{so}$, minkä lisäksi menetelmässä lasketaan myös staattoriresistanssin estimaatti R_{so} .

Staattorivuoestimaatin laskennassa käytetään yhtälöä 20, jonka mukaisesti ensin lohossa 3 vähennetään staattorijännitteestä \bar{u}_s lohossa 2 laskettu staattorivirran- ja staattoriresistanssin estimaatin tulo. Lohkon 3 ulostulona saadusta jännite-estimaatista $\bar{u}_s - R_{so}\bar{i}_s$ vähennetään korjaus-

termi $\varepsilon w_u \bar{c}$ lohkoissa 4 ja näin saatu erotus integroidaan vielä lohkoissa 5 staattorivuon estimaatin $\bar{\Psi}_{ss}$ saamiseksi.

Staattoriresistanssin estimaatti R_{ss} lasketaan yhtälön 26 perusteella integroimalla lohkoissa 12 erosuureen ε ja painokertoimen w_x tulo, joka on laskettu lohkoissa 11. Painokerroin w_x saadaan lohkon 15 valitsimesta, jonka ulostulo saa arvon w_R , jos suure $q \geq 0$, tai arvon $-w_R$, jos $q < 0$ (yhtälö 27).

Jännite-estimaatin korjaustermin $\varepsilon w_u \bar{c}$ määrittämiseksi muodostetaan ensin kulma θ lohkoissa 18, jonka valitsin antaa yhtälön 22 mukaisesti ulostuloksi joko nollan, jos suure $q \geq 0$, tai lohkoissa 17 lasketun syöttötaajuuden ω_s funktion $f(\omega_s)$ (kuvio 2), jos $q < 0$. Kulmasta θ muodostetaan lohkoissa 19 yksikkövektori $e^{j\theta}$, joka kerrotaan lohkolta 5 takaisinkytkentänä saadulla staattorivuoestimaatilla lohkoissa 20 jännite-estimaatin suuntavektorin \bar{c} saamiseksi (yhtälö 21). Saatu suuntavektori kerrotaan lohkoissa 21 lohkoista 16 saadulla kertoimella w_u painotetulla erosuureella ε , jolloin lohkon 21 ulostuloksi saadaan ko. jännite-estimaatin korjaustermi.

Erosuure ε määritetään yhtälön 12 mukaisella skalaaritulolla, jonka ensimmäisen tekijän saamiseksi kerrotaan ensin staattorivirta \bar{I}_s staattori-induktanssilla L_s lohkoissa 6 ja näin saatu tulo vähennetään takaisinkytkentänä lohkolta 5 saadusta staattorivuoestimaatista $\bar{\Psi}_{ss}$ lohkoissa 8. Vastaavasti toinen ko. skalaaritulon tekijä saadaan, kun staattorivirta \bar{I}_s kerrotaan oikosulkuinduktanssilla σL_s lohkoissa 7 ja näin saatu tulo vähennetään lohkolta 5 saadusta staattorivuoestimaatista $\bar{\Psi}_{ss}$ lohkoissa 9. Lopuksi lohkoissa 10 lasketaan lohkojen 8 ja 9 ulostuloista skalaaritulo erosuureen ε saamiseksi.

Suure q määritetään yhtälön 23 perusteella laskemalla ensin lohkoissa 13 virran \bar{I}_s ja lohkolta 5 takaisinkytkentänä saadun staattorivuoestimaatin $\bar{\Psi}_{ss}$ ristitulo, eli momenttiestimaatti T_s (yhtälö 14), joka sen jälkeen kerrotaan lohkoissa 14 syöttötaajuudella ω_s suureen q saamiseksi.

Käytännössä kuviossa 4 havainnollistettu laskenta-
menetelmä voidaan toteuttaa joko analogisena järjestelmänä
tai näytteenototekniikkaan perustuvana aikadiskreettinä
järjestelmänä. Analogisessa järjestelmässä saatu staattori-
5 vuon estimaatti vaikuttaa suoraan takaisinkytkentänä lohko-
jen 20, 8, 9 ja 13 sisääntuloissa. Aikadiskreetissä järjes-
telmässä kyseisten lohkojen sisääntulo muodustuu käytännös-
sä jostakin aikaisemmasta staattorivuo-
10 n estimaatin arvosta. Itse menetelmään ja sen toimivuuteen valitulla toimintata-
valla ei kuitenkaan ole vaikutusta ja molemmat toimintata-
vat sisältyvät oheisten patenttivaatimusten määrittämään
suojapiiriin.

Patenttivaatimukset

1. Menetelmä epätahtikoneen staattorivuon estimaatin määrittämiseksi, kun tunnetaan syöttötaajuus ω_s , staattori-induktanssi L_s , staattoriresistanssi R_s tai sen estimaatti R_{se} ja oikosulkuinduktanssi σL_s , jossa menetelmässä

5 mitataan staattorivirta \bar{i}_s ja staattorijännite \bar{u}_s , lasketaan erojännite vähentämällä staattoriresistanssin tai sen estimaatin ja staattorivirran tulo staattorijännitteestä ja

10

integroidaan mainittu erojännite ajan suhteen staattorivuon estimaatin $\bar{\Psi}_{se}$ saamiseksi, t u n n e t t u siitä, että ennen integrointia mainitusta erojännitteestä vähennetään takaisinkytkettyyn staattorivuon estimaattiin $\bar{\Psi}_{se}$ perustuva korjaustermi, joka on verrannollinen erosuureen ε ja sille annetun suuntavektorin \bar{c} tuloon, joka erosuure määritetään yhtälöstä

15

$$(\bar{\Psi}_{se} - L_s \bar{i}_s) \cdot (\bar{\Psi}_{se} - \sigma L_s \bar{i}_s) = \varepsilon$$

missä suuntavektori \bar{c} muodostetaan takaisinkytketystä staattorivuon estimaatista $\bar{\Psi}_{se}$ kiertämällä sitä koneen toimintatilasta riippuvan kulman θ verran.

20

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että koneen toimiessa moottorina kulma θ on 0 ja koneen toimiessa generaattorina kulma θ on syöttötaajuuden ω_s funktio.

25

3. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen menetelmä, kun menetelmässä määritetään myös staattoriresistanssin estimaatti R_{se} käytettäväksi mainitun erojännitteen laskemiseen, t u n n e t t u siitä, että staattoriresistanssin R_{se} estimaatti määritetään integroimalla mainitun erosuureen ε ja koneen toimintatilasta riippuvan kertoimen w_r tulo ajan suhteen.

30

4. Patenttivaatimuksen 3 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että koneen toimiessa moottorina kerroin w_r on w_R ja koneen toimiessa generaattorina kerroin w_r on $-w_R$, missä w_R on positiivinen vakio.

35

Patentkrav

1. Förfarande för bestämning av ett estimat för statorflödet i en asynkronsmaskin, då matningsfrekvensen ω_s , statorinduktansen L_s , statorresistansen R_s eller dess estimat R_{se} och kortslutningsinduktansen σL_s är bekanta, i vilket förfarande

statorströmmen \bar{I}_s och statorspänningen \bar{u}_s mäts, en differensspänning beräknas genom att från statorspänningen subtrahera produkten av statorresistansen eller dess estimat och statorströmmen, och

nämnda differensspänning integreras i förhållande till tiden för att erhålla ett estimat $\bar{\Psi}_{se}$ för statorflödet, k ä n n e t e c k n a t därav att före integreringen subtraheras från nämnda differensspänning en på det återkopplade estimatet $\bar{\Psi}_{se}$ för statorflödet baserad korrektionsterm, som är proportionell mot produkten av ett differensvärde ε och en åt det given riktningsvektor \bar{c} , vilket differensvärde bestäms ur ekvationen

20

$$(\bar{\Psi}_{se} - L_s \bar{I}_s) \cdot (\bar{\Psi}_{se} - \sigma L_s \bar{I}_s) = \varepsilon$$

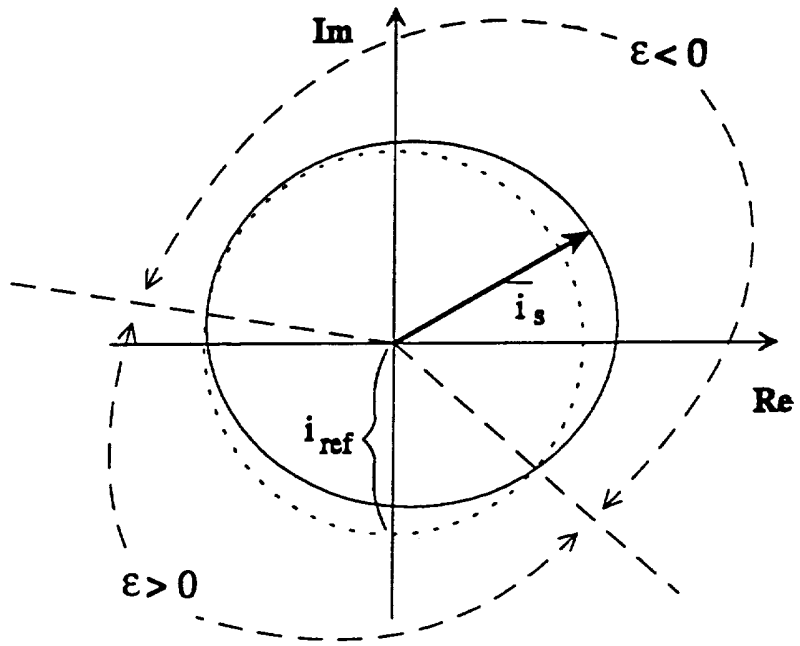
där riktningsvektorn \bar{c} bildas ur statorflödets återkopplade estimat $\bar{\Psi}_{se}$ genom att vrida den en vinkel θ som beror av maskinens funktionstillstånd.

25 2. Förfarande enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t därav att vinkeln θ är 0, då maskinen fungerar som motor, och vinkeln θ är en funktion av matningsfrekvensen ω_s , då maskinen fungerar som generator.

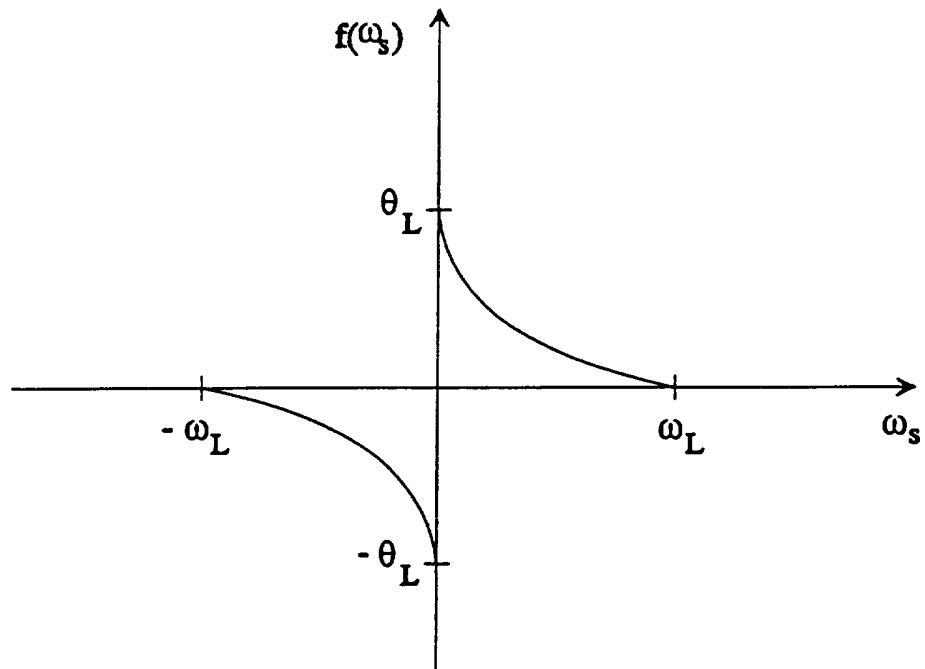
30 3. Förfarande enligt patentkrav 1 eller 2, i vilket även estimatet R_{se} för statorresistansen bestäms att användas för beräkning av nämnda differensspänning, k ä n n e t e c k n a t därav att statorresistansens R_{se} estimat bestäms genom att integrera produkten av nämnda differens-

värde ε och en av maskinens funktionstillstånd beroende koefficient w_r i förhållande till tiden.

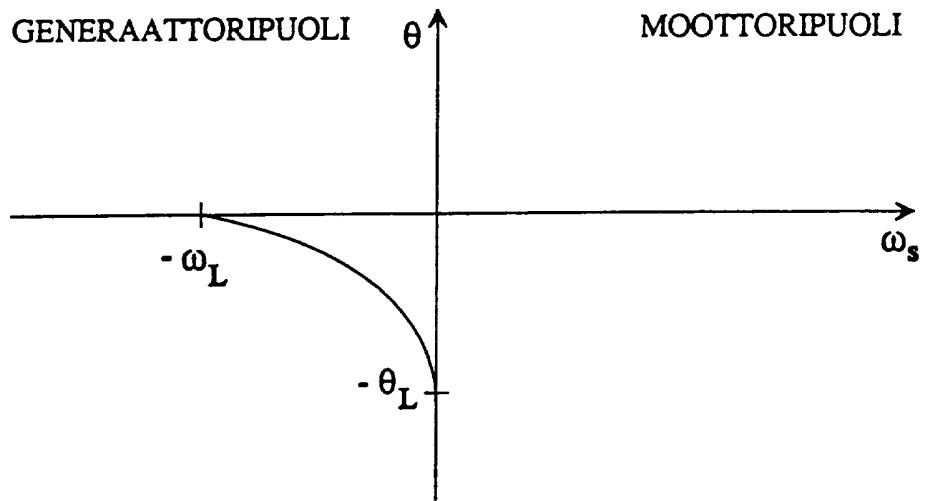
4. Förfarande enligt patentkrav 3, k ä n n e -
t e c k n a t därav att koefficienten w_r är w_R , då maskinen
5 fungerar som motor och koefficienten w_r är $-w_R$, då maskinen
fungerar som generator, vari w_R är en positiv konstant.



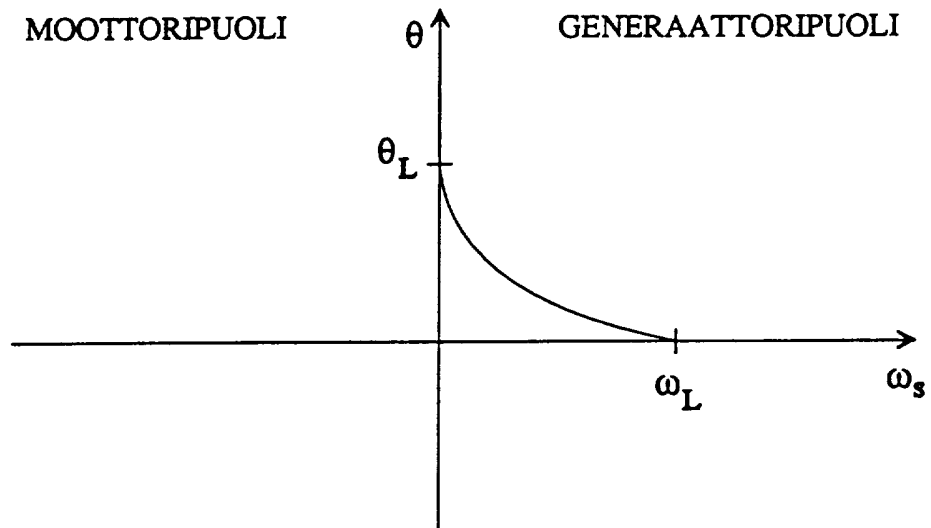
KUVIO 1.



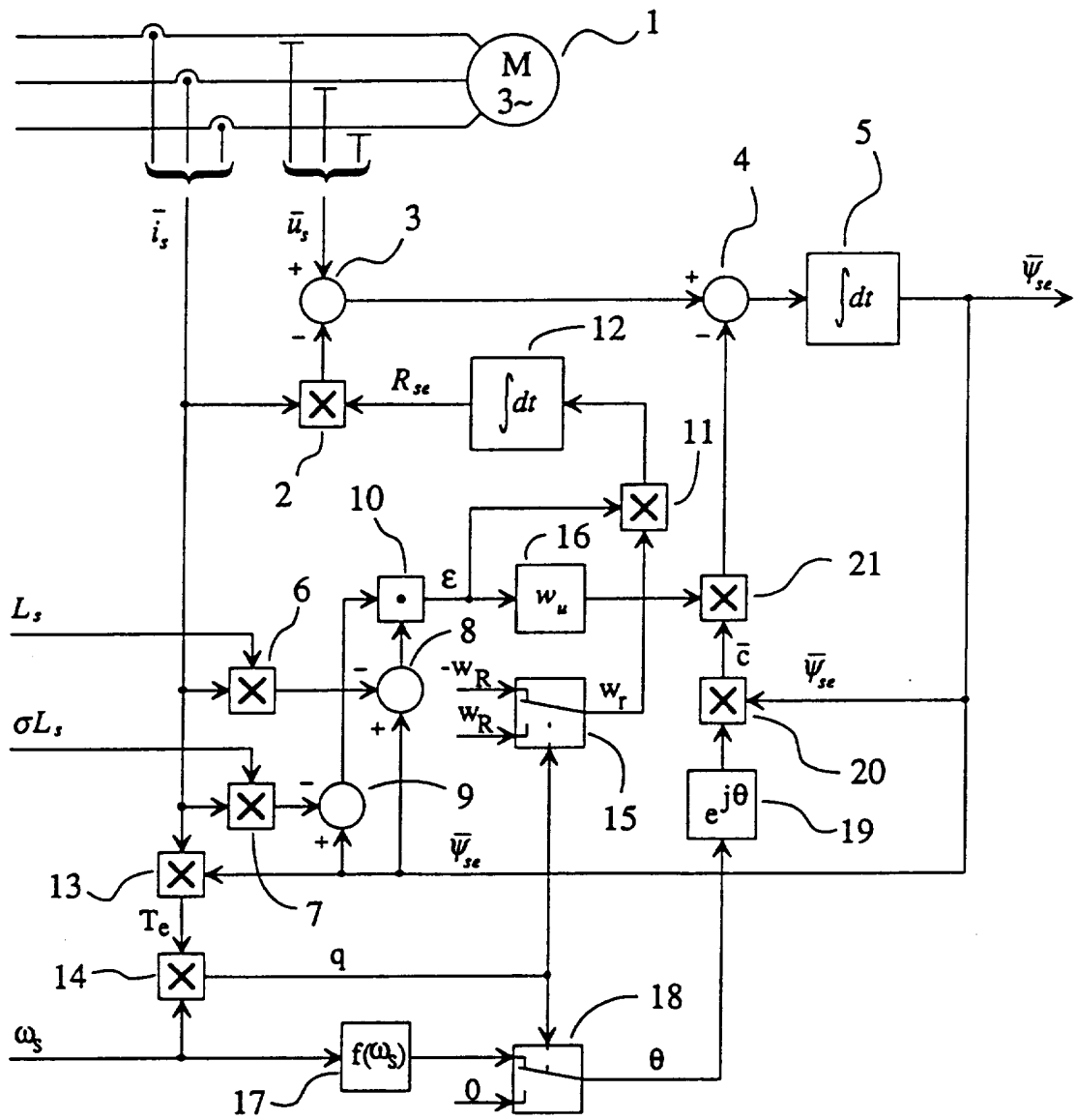
KUVIO 2.



KUVIO 3a.



KUVIO 3b.



KUVIO 4.