

Suora momentinsäätö

- maailman kehittynein vaihtovirtakäyttötekniikka



Sisällysluettelo

1	Johdanto	5
	Yleistä	5
	Oppaan tarkoitus	5
	Oppaan käyttö	5
2	Suoran momentinsäädön kehitys	6
	Mikä on nopeussäädetty käyttö?	6
	Yhteenveto	6
	Tasavirtamoottorikäytöt	7
	Ominaisuudet	7
	Edut	7
	Haitat	8
	Vaihtovirtakäytöt - Johdanto	8
	Vaihtovirtakäytöt - Taajuussäätö ja PWM	9
	Ominaisuudet	9
	Edut	10
	Haitat	10
	Vaihtovirtakäytöt - Vuovektorisäätö ja PWM	10
	Ominaisuudet	10
	Edut	11
	Haitat	11
	Vaihtovirtakäytöt - Suora momentinsäätö (DTC)	12
	Säätösuureet	12
	Nopeussäädettyjen käyttöjen vertailu	13
3	Kysymyksiä ja vastauksia	15
	Yleistä	15
	Suorituskyky	16
	Toiminta	22
4	Säädön perusteoria	26
	Kuinka suora momentinsäätö toimii	26
	Momentinsäätöpiiri	27
	Vaihe 1 - Jännitteen ja virran mittaus	27
	Vaihe 2 - Adaptiivinen moottorimalli	27
	Vaihe 3 - Momentti- ja vuokomparaattori	28
	Vaihe 4 - Optimaalinen kytkentälogiikka	28
	Nopeudensäätöpiiri	29
	Vaihe 5 - Momentin ohjearvon säädin	29
	Vaihe 6 - Nopeussäädin	29
	Vaihe 7 - Vuon ohjearvon säädin	29
5	Hakemisto	30

Luku 1 - Johdanto

Yleistä

Suora momentinsäätö eli DTC-tekniikka on tällä hetkellä markkinoiden kehittynein vaihtovirtakäyttötekniikka.

Oppaan tarkoitus

Tämän teknisen oppaan tarkoituksena on selittää, mikä DTC on sekä miten ja miksi tekniikka kehitettiin. Tarkoituksena on lisäksi selvittää tekniikan perusteoriaa sekä sen ominaispiirteitä ja hyötyjä.

Vaikka tästä oppaasta on pyritty tekemään mahdollisimman käytännönläheinen, sen ymmärtäminen edellyttää perustietoja vaihtovirtamoottorin toimintaperiaatteista.

Opas on tarkoitettu päättäjille kuten suunnittelijoille, insinööreille, hankintapäälliköille, laitevalmistajille (OEM) ja loppukäyttäjille kaikilla teollisuudenaloilla: vesihuolto- ja kemianteollisuudessa, sellu- ja paperiteollisuudessa, voimalateollisuudessa, materiaalin-käsittelyssä ja ilmastointiteollisuudessa jne.

Tämä opas on hyödyllinen kaikille nopeussäädettyjen käyttöjen käyttäjille, jotka haluavat hyötyä alan tekniikan viimeisimmistä saavutuksista.

Oppaan käyttö

Opas antaa selkeän kuvan DTC-tekniikan kehityksestä ja kehitystyöhön johtaneista syistä.

Luvussa 2 (s. 6) kerrotaan sähkökäyttöjen kehityksestä aina varhaisista tasavirtakäytöistä nykyisiin vaihtovirtakäyttöihin ja DTC-tekniikkaan.

Luvussa 3 (s. 15) vastataan kysymyksiin DTC:n suorituskyvystä, toiminnasta ja sovellusmahdollisuuksista.

DTC-käytön perusteoriasta kerrotaan sivulta 26 alkaen.

Luku 2 - Suoran momentinsäädön kehitys

Mikä on nopeussäädetty käyttö?

Jotta ymmärretään, mikä nopeussäädetty käyttö on, on tiedettävä, että nopeussäädetyt käytön (Variable Speed Drive, VSD) perustehtävä on säätää energian siirtymistä sähköverkosta prosessiin.

Energiaa siirretään prosessiin moottorin akselin kautta. Akselin tilaa kuvaa kaksi fysikaalista suuretta, momentti ja nopeus. Energian siirtoa säädetään näitä suureita säätämällä.

Käytännössä säädetään jompaakumpaa suureista, jolloin kyse on momentinsäädöstä tai nopeudensäädöstä. Kun nopeussäädetty käyttö toimii momentinsäätötilassa, nopeus säätty kuorman mukaan. Vastaavasti taas nopeudensäätötilassa momentti säätty kuorman mukaan.

Nopeussäädettyinä käyttöinä käytettiin aluperin tasavirtamoottoreita, koska niiden nopeus ja momentti kyettiin helposti säätämään halutuiksi ilman monimutkaista säätöelektroniikkaa.

Nopeussäädetyt vaihtovirtakäytön kehitystä on nopeuttanut halu kehittää vaihtovirtamoottorille tasavirtamoottorin hyvät ominaisuudet, kuten nopea momenttivaste ja tarkka nopeudensäätö. Samalla on säilytetty vaihtovirtamoottorin hyvät ominaisuudet eli edullisuus, yksinkertainen rakenne ja vähäinen huollon tarve.

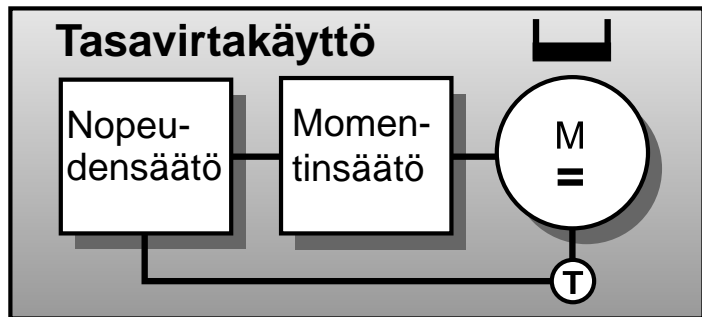
Yhteenveto

Tässä osassa tarkastellaan suoran momentinsäädön kehitystä nopeussäädettyjen käyttöjen neljän merkittävän kehitysvaiheen avulla. Nämä vaiheet ovat:

- Tasavirtakäytöt 7
- Vaihtovirtakäytöt, taajuussäätö, PWM 9
- Vaihtovirtakäytöt, vuovektorisäätö, PWM 10
- Vaihtovirtakäytöt, suora momentinsäätö 12

Kaikkia vaiheita tarkastellaan vuorollaan, jolloin eri vaihtoehtojen väliset erot korostuvat.

Tasavirta- moottorikäytöt



Kuva 1. Tasavirtamoottorikäytön säätöpiiri.

Ominaisuudet

- Kentän suunta määräytyy mekaanisen kommutaattorin avulla
- Säätosuureet ovat ankkurivirta ja kenttävirta, jotka mitataan SUORAAN moottorista
- Momentinsäätö on suora

Tasavirtamoottorissa staattorin kenttäämin lävitse kulkeva virta luo magneettikentän. Tämä kenttä on aina kohtisuorassa ankkurikäämin luomaan kenttään nähden. Tätä tilaa kutsutaan kentän suuntaamiseksi. Se on välttämätön suurimman mahdollisen momentin aikaansaamiseksi. Kommutaattorit ja hiiliharjat varmistavat, että tämä tila säilyy roottorin asennosta riippumatta.

Kun kentän suunta on saavutettu, tasavirtamoottorin momenttia voidaan helposti säätää muuttamalla ankkurivirtaa sekä pitämällä magnetointivirta vakiona.

Tasavirtakäyttöjen etuna on, että nopeutta ja momenttia - kahta loppukäyttäjälle tärkeintä ominaisuutta - säädetään suoraan ankkurivirran avulla. Tällöin momentinsäätö on sisempi säätöpiiri ja nopeudensäätö ulompi säätöpiiri (ks. kuva 1).

Edut

- Tarkka ja nopea momentinsäätö
- Hyvä dynaaminen nopeusvaste
- Helppo säätää

Alun perin nopeudensäätöä vaativissa laitteissa käytettiin tasavirtakäyttöjä, koska niiden momentti- ja nopeusvaste on hyvä ja tarkka.

Tasavirtamoottorin tuottama momentti on

- **Suora** - moottorin momentti on verrannollinen ankkurivirtaan. Momenttia voidaan säätää suoraan ja tarkasti.
- **Nopea** - momentinsäätö on nopeaa. Käytön dynaaminen nopeusvaste on hyvä. Momenttia voidaan muuttaa hetkessä, jos moottoria syötetään ideaalisesta virtalähteestä. Jännitesyötetyinkin käytön nopeusvaste on hyvä, sillä sitä rajoittaa vain roottorin sähköinen aikavakio (eli ankkuripiirin kokonaisinduktanssi ja -vastus).
- **Yksinkertainen** - kentän suunta muodostetaan yksinkertaisellakommutaattorin ja hiiliharjojen yhdistelmällä. Tällöin ei tarvita monimutkaista elektronista säätöpiiriä, joka lisäisi moottorin säätöjärjestelmän kustannuksia.

Haitat

- Moottorin heikko luotettavuus
- Säännöllisen huollon tarve
- Moottorin suuret hankintakustannukset
- Takaisinkytkennän tarve

Tasavirtamoottorin suurin haitta on sen heikko luotettavuus: hiiliharjat ja kommutaattorit kuluvat ja edellyttävät säännöllistä huoltoa, tasavirtamoottorin hankintakustannukset ovat korkeat, ja se tarvitsee nopeuden ja asennon takaisinkytkennän.

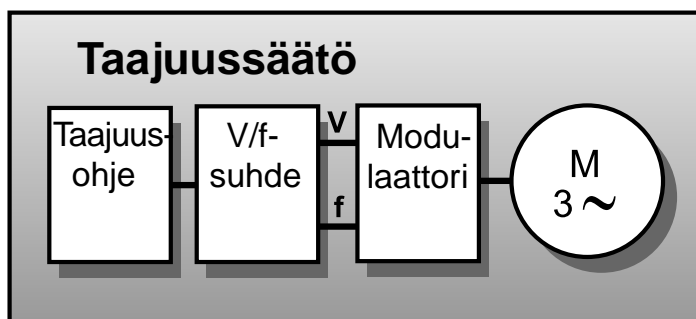
Vaikka tasavirtakäytöt tuottavatkin helposti säädettävän momentin kaikilla kierrosluvuilla, moottori on mekaanisesti monimutkainen ja vaatii säännöllistä huoltoa.

Vaihtovirtakäytöt - Johdanto

- Pienikokoinen
- Vankkarakenteinen
- Yksinkertainen
- Kevyt ja kompakti
- Vähäinen huollon tarve
- Alhaiset kustannukset

Nopeussäädettävä vaihtovirtakäyttö on kehittynyt tarpeesta yhdistää tasavirtakäytön ominaisuudet, kuten nopea momenttivaste ja tarkka nopeudensäätö, ja vaihtovirtakäyttöjen edut.

**Vaihtovirta-
käytöt -
Taajuussäätö ja
PWM**



Kuva 2. PWM:n avulla taajuussäädetyin vaihtovirtakäytön säätöpiiri.

Ominaisuudet

- Säättösuureet: jännite ja taajuus
- Vaihtovirran siniaallon simulointi modulaattorin avulla
- Vuo tuotetaan V/f-vakiosuhteen avulla
- Ei takaisinkytkentää
- Kuorma määrää momentin

Tasavirtakäytöstä poiketen vaihtovirtakäytön taajuussäädössä säädetään moottorin ulkopuolisia säättösuureita, jännitettä ja taajuutta.

Taajuus- ja jänniteohje syötetään modulaattoriin, joka simuloi vaihtovirran siniaaltoa ja syöttää sen moottorin staattorin käämille. Tätä tekniikkaa kutsutaan pulssileveysmodulaatioksi (Pulse Width Modulation, PWM), ja siinä käytetään verkon ja vaihtosuuntaajan välissä olevaa dioditasasuuntaajaa. Välipiirin tasajännite pysyy vakiona. Vaihtosuuntaaja säättää PWM-pulssijonon avulla moottorin jännitettä ja taajuutta.

Tässä menetelmässä ei käytetä takaisinkytkentää, jonka avulla moottorin aksellilta mitatut nopeus- ja asentotiedot syötettäisiin takaisin säätöpiiriin.

Jos takaisinkytkentää ei ole, puhutaan takaisinkytkemättömästä käytöstä.

- Edut**
- Alhaiset kustannukset
 - Yksinkertainen - takaisinkytkentää ei tarvita

Koska takaisinkytkentää ei tarvita, tämän menetelmän avulla on edullista ja yksinkertaista säätää taloudellisia oikosulkumoottoreita.

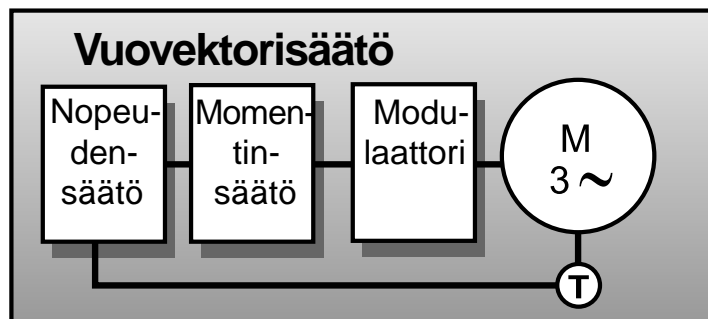
Tämän tyyppinen käyttö sopii sovelluksiin, joissa ei tarvita tarkkaa säätöä, esimerkiksi pumppuihin ja puhaltimiin.

- Haitat**
- Vektorisäätöä ei hyödynnetä
 - Moottorin tilaa ei huomioida
 - Momenttia ei säädetä
 - Modulaattori hidastaa reagointia

Tätä myös skalaarisäätönä tunnettua menetelmää käytettäessä moottorin vektorisäätöä ei hyödynnetä. Sen sijaan säätösuureina käytetään taajuutta ja jännitettä, jotka syötetään staattorin käämiin. Roottorin tilaa ei huomioida, jolloin nopeus- tai asentotietoja ei takaisinkytketä.

Tämän vuoksi momenttia ei voida säätää tarkasti. Lisäksi menetelmässä käytetään modulaattoria, joka hidastaa moottorin reagointia syöttöjännitteen ja -taajuuden muutoksiin.

**Vaihtovirta-
käytöt -
Vuovektorisäätö
ja PWM**



Kuva 3. Vuovektorisäätöä PWM:n avulla käyttävän vaihtovirtakäytön säätöpiiri.

- Ominaisuudet**
- Vuovektorisäätö - simuloi tasavirtakäyttöä
 - Moottorin sähköisiä ominaisuuksia simuloidaan
 - "Moottorimalli"
 - Takaisinkytkentä
 - Momenttia säädetään EPÄSUORASTI

Jotta tasavirtamoottorin magneettisia käyttöolosuhteita voitaisiin jäljitellä eli kentän suuntaa voitaisiin säätää, vuovektorikäytön on tiedettävä roottorivuon asema oikosulkumoottorissa.

PWM-tekniikkaa käyttävissä vuovektorisäädetyissä käytöissä kentän suunta muodostetaan sähköisesti eikä mekaanisen kommutaattorin ja hiiliharjojen muodostaman yhdistelmän avulla kuten tasavirtamoottorissa.

Tiedot roottorin tilasta saadaan pulssianturin avulla. Pulssianturi antaa roottorin nopeus- ja asentotiedot suhteessa staattorin kenttään. Käyttöä, jossa on nopeusanturi, kutsutaan takaisin-kytketyksi käytöksi.

Moottorin sähköisiä ominaisuuksia mallinnetaan mikroprosessorien avulla.

Vuovektorisäädetyin käytön elektroninen säädin luo sähköisiä suureita kuten jännite, virta ja taajuus, jotka toimivat säätösuureina. Suuret syötetään modulaattorin kautta oikosulkumoottoriin. Momenttia säädetään siis EPÄSUORASTI.

Edut

- Hyvä momenttivaste
- Tarkka nopeudensäätö
- Täysi momentti nolanopeudella
- Suorituskyky lähes sama kuin tasavirtakäytössä

Vuovektorisäädön avulla täysi momentti saavutetaan nolanopeudella, joten sen suorituskyky on lähes sama kuin tasavirtakäytössä.

Haitat

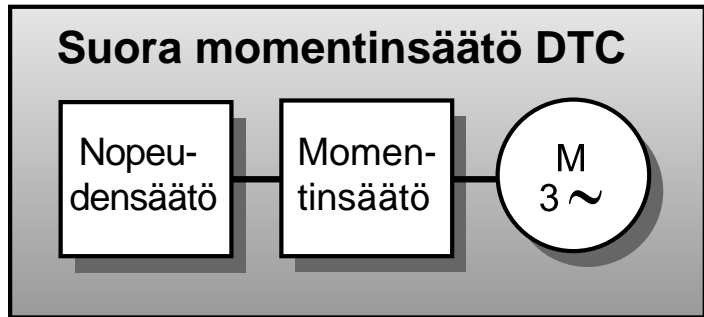
- Takaisinkytkentä välttämätön
- Kallis
- Modulaattori välttämätön

Hyvän momenttivasteen ja tarkan nopeudensäädön saavuttamiseksi tarvitaan takaisinkytkentää. Tämä kuitenkin monimutkaistaa oikosulkumoottorin yksinkertaista rakennetta ja saattaa olla kallista.

Lisäksi tarvitaan modulaattori, jolloin aika syöttöjännitteen ja -taajuuden signaalien muuttumisen ja moottorien reagoimisen välillä pitenee.

Vaikka moottori on mekaanisesti yksinkertainen, käyttö on sähköisesti monimutkainen.

**Vaihtovirta-
käytöt -
Suora
momentinsäätö
(DTC)**



Kuva 4. Suoraa momentinsäätöä käyttävän vaihtovirtakäytön säätöpiiri.

Säätösuureet

ABB:n kehittämän mullistavan DTC-tekniikan avulla vuovektorisäätö toteutetaan ilman takaisinkytkentää. Pitkälle kehitetyn moottoriteorian avulla moottorin momentti lasketaan suoraan ilman modulaatiota. Säätösuureet ovat moottorin **magneettivuo** ja **moottorin momentti**.

DTC-tekniikkaa käytettäessä ei tarvita modulaattoria eikä takometriä tai asentoanturia moottorin akselin nopeuden tai asennon takaisinkytkentään.

DTC-tekniikassa hyödynnetään nopeimpia saatavilla olevia digitaalisia signaalinkäsittelylaitteita ja pitkälle kehittyneitä matemaattisia malleja moottorin toimintaperiaatteista.

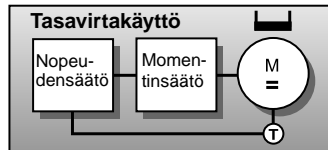
Tämän ansiosta DTC-käytön momenttivaste on jopa kymmenen kertaa nopeampi kuin minkään vaihtovirta- tai tasavirtakäytön. DTC-käyttöjen dynaaminen nopeustarkkuus on kahdeksan kertaa parempi kuin takaisinkytkemättömillä vaihtovirtakäyttöillä, ja se on verrattavissa takaisinkytkettyyn tasavirtakäyttöön.

DTC-käyttö on ensimmäinen yleiskäyttö, joka pystyy toimimaan kuten vaihtovirta- tai tasavirtakäyttö.

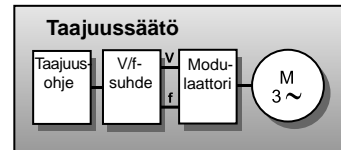
Tämän oppaan loppuosassa tarkastellaan suoran momentinsäädön ominaisuuksia ja etuja.

Nopeus- säädettyjen käyttöjen vertailu

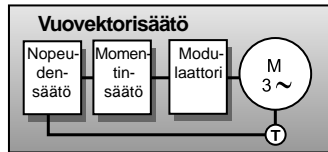
Seuraavassa esitellään nopeussäädettyjen käyttöjen toimintaperiaatteet ja niiden väliset erot.



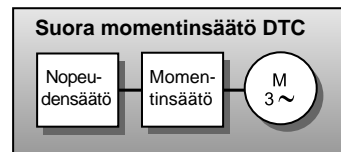
Kuva 1. Tasavirtakäytön säätöpiiri.



Kuva 2. Taajuussäädetty säätöpiiri.



Kuva 3. Vuovektorisäädetty säätöpiiri.



Kuva 4. DTC-vaihtovirtakäytön säätöpiiri.

Ensimmäisenä huomataan tasavirtakäytön (kuva 1) ja DTC-käytön (kuva 4) säätöpiirien samankaltaisuus.

Molemmissa momenttia säädetään suoraan.

DTC:n etuna on kuitenkin se, että siinä ei tarvita lainkaan takaisin-kytkentää. Lisäksi siinä on kaikki vaihtovirtamoottorin (ks. s. 8) edut, eikä ulkoista magnetointia tarvita.

KÄYTTÖ	SÄÄTÖSUUREET
TASAVIRTA-KÄYTÖT	Ankkurivirta I_A Magnetointivirta I_M
VAIHTOVIRTA-KÄYTÖT (PWM)	Lähtöjännite V Lähtötaajuus f
Suora momentinsäätö	Moottorin momentti T Moottorin magneettivuo Ψ

Taulukko 1. Säättösuureiden vertailu.

Kuten taulukosta 1 nähdään, sekä tasavirtakäytöt että DTC-käytöt säätävät suureita, jotka vaikuttavat suoraan moottorin momenttiin. Tämän ansiosta momentin ja pyörimisnopeuden muutokset ovat nopeita ja helppoja. DTC-tekniikan ansiosta useimmissa sovelluksissa ei tarvita takometriä tai anturia nopeus- tai asentosiinaalin takaisinkytkentään.

Kun DTC:tä (kuva 4) verrataan kahteen muuhun vaihtovirtakäyttöön (kuvat 2 ja 3), huomataan useita eroja, joista tärkein on se, että DTC:ssä ei tarvita modulaattoria.

PWM-säädetyissä vaihtovirtakäytöissä säätösuureet ovat taajuus ja jännite, joiden on kuljettava usean vaiheen läpi ennen kuin niitä käytetään moottorissa. PWM-säädetyissä käytöissä säätö tehdään siis elektronisessa säätölaitteessa eikä moottorin sisällä.

Luku 3 - Kysymyksiä ja vastauksia

Yleistä

Mikä on suora momentinsäätö?

Suora momentinsäätö eli DTC on uusin ABB:n kehittämä vaihtovirtakäyttötekniikka, jolla voidaan korvata perinteiset takaisinkytkemättömät ja takaisinkytketyt PWM-käytöt lähitulevaisuudessa.

Miksi sitä kutsutaan suoraksi momentinsäädöksi?

Suora momentinsäätö kuvaa tapaa, jolla moottorin sähkömagneettinen tila vaikuttaa momentin ja nopeuden säätöön suoraan samoin kuin tasavirtamoottorissa. Vastakohtana on perinteinen PWM-käyttö, jossa käytetään syöttötaajuutta -jännitettä. DTC on ensimmäinen tekniikka, jossa säädetään moottorin todellisia säätösuureita, momenttia ja vuota.

Mitkä ovat tämän tekniikan edut?

Taajuuden ja jännitteen säätöön ei tarvita modulaattoria kuten PWM-käytöissä, koska momenttia ja vuota säädetään suoraan. Näin ollen säätövaiheiden määrä vähenee ja käytön momenttivaste nopeutuu huomattavasti. DTC:n avulla momenttia voidaan säätää tarkasti ilman takaisinkytkentää.

Mihin tarvitaan uutta vaihtovirtakäyttötekniikkaa?

DTC ei ole mikä tahansa vaihtovirtakäyttötekniikka. Teollisuuden tarpeet muuttuvat eikä nykyinen käyttötekniikka pysty täyttämään uusia tarpeita.

Teollisuudessa tarvitaan esimerkiksi:

- Parempilaatuisia tuotteita. Tuotteiden valmistusta voidaan osittain parantaa tarkemmalla nopeudensäädöllä ja nopeammalla momentinsäädöllä.
- Vähemmän seisokkiaikoja. Tähän tarvitaan käyttö, joka ei laukea tarpeettomasti, on yksinkertainen, ei sisällä kalliita takaisinkytkentälaitteita ja johon häiriöt, kuten yliaallot ja radiotaajuiset häiriöt (Radio Frequency Interference, RFI), eivät suuresti vaikuta.
- Vähemmän laitteita. Yksi yleiskäyttö sopii kaikkiin sovelluksiin, niin vaihtovirta-, tasavirta- kuin servolaitteisiin.
- Miellyttävä käyttöympäristö. Käyttö, joka on melutasoltaan entistä alhaisempi.

Nämä olivat vain muutamia esimerkkejä teollisuuden tarpeista. DTC on ratkaisu kaikkiin näihin tarpeisiin. Lisäksi sen avulla voidaan parantaa myös monien vakiosovellusten toimintaa.

Kuka kehitti DTC-tekniikan?

Saksalaiset tohtorit Blaschke ja Depenbrock esittivät teorian vuosina 1971 ja 1985 julkaistuissa artikkeleissaan. ABB on tutkinut DTC-tekniikkaa vuodesta 1988 lähtien. DTC perustuu epätahtikoneiden vuovektorisäädön ja suoran itsesäädön teorioihin.

Suorituskyky

Mitkä ovat DTC-tekniikan suurimmat edut perinteiseen vaihtovirtakäyttöön verrattuna?

DTC-tekniikka tuo mukanaan monia etuja. Merkittävin etu on kuitenkin, että käytöissä, joissa sovelletaan DTC-tekniikkaa, on poikkeuksellisen hyvät dynaamiset suoritusarvot, joista monet saavutetaan ilman akselin asennon tai nopeuden tarkkailuun käytettävää anturia tai takometriä.

- **Momenttivaste:** *Kuinka nopeasti käytön antama momentti saavuttaa määritetyn arvon, kun momenttiohjetta muutetaan 100 % nimellisarvosta.*

DTC-tekniikan avulla tyypillinen momentin vasteaika on **1-2 ms** alle 40 Hz:n taajuuksilla, kun taas anturilla varustettujen vuovektorisäädettyjen käyttöjen ja tasavirtakäyttöjen tyypillinen vasteaika on 10-20 ms. Takaisinkytkemättömissä PWM-käytöissä (ks. s. 9) vasteaika on yleensä yli 100 ms. Momentin vasteajan ansiosta DTC on saavuttanut itse moottorin asettamat rajat. Käytetyillä jännitteillä ja virroilla säädön vasteaika ei voi olla lyhyempi. Jopa uudemmissa takaisinkytkemättömissä käytöissä momentin vasteaika on **satoja millisekunteja**.

- **Tarkka momentinsäätö alhaisilla taajuuksilla** ja täysi kuormitusmomentti nollanopeudella ilman takaisinkytkentä-laitetta (anturi tai takometri). DTC:n avulla nopeutta voidaan säätää alle 0,5 Hz:n taajuuksilla sekä tuottaa silti **100%:n momentti** nollanopeudella.

- **Momentin toistettavuus:** *Kuinka hyvin käyttö toistaa lähtömomenttinsa samalla momenttiohjeella.* Ilman anturia DTC voi toistaa momentin 1-2%:n tarkkuudella nimellismomentista koko nopeusalueella. Tämä on puolet muiden takaisinkytkemättömien vaihtovirtakäyttöjen tarkkuudesta ja samaa luokkaa kuin takaisinkytkettyjen vaihtovirta- ja tasavirtakäyttöjen tarkkuus.

- **Moottorin staattinen nopeustarkkuus:** *Nopeusohjeen ja todellisen nopeuden välinen ero vakiokuormituksella.* DTC-käytön nopeustarkkuus on 10 % moottorin jättämästä eli 11 kW:n moottorilla 0,3 % staattisesta nopeustarkkuudesta. 110 kW:n moottorilla nopeustarkkuus on 0,1 % ilman takaisinkytkentää (anturia). Tämä tarkkuus on riittävä 95 %:lle teollisuuden käyttösovelluksista. Saman tarkkuuden saavuttamiseksi tasavirtakäytöissä tarvitaan takaisinkytkentää.

Taajuussäädetyissä PWM-käytöissä staattinen nopeustarkkuus on yleensä 1-3 %. Näin ollen asiakkaan vakiokäytön tarkkuutta voidaan parantaa huomattavasti DTC-tekniikan avulla.

Jos DTC-käyttöön liitetään anturi, jonka näytteenottotaajuus on 1024 pulssia/kierros, nopeustarkkuus voi olla jopa 0,01 %.

- **Dynaaminen nopeustarkkuus:** *Nopeuden muutoksen aikaintegraali nimellisellä (100 %) momenttinopeudella.* Takaisinkytkemättömän DTC:n dynaaminen nopeustarkkuus on 0,3-0,4 %s. Tämä riippuu säätimen vahvistuksen säädöstä, jota voidaan muuttaa prosessin vaatimusten mukaisiksi.

Muissa takaisinkytkemättömissä vaihtovirtakäytöissä dynaaminen tarkkuus on kahdeksan kertaa pienempi, mikä on käytännössä n. 3 %s. Jos DTC-käyttöön liitetään anturi, dynaaminen nopeustarkkuus on 0,1 %s eli yhtä hyvä kuin servo-käytön tarkkuus.

Mitkä ovat näiden suoritusarvojen käytännön hyödyt?

- **Nopea momenttivaste:** Käytön tarkkuus pienentää nopeuden muutoksia kuorman muuttuessa, mikä parantaa prosessin hallintaa ja tuotteiden laadun yhdenmukaisuutta.
- **Momentinsäätö pienillä taajuuksilla:** Tämä on erityisen hyödyllistä nostureissa ja hisseissä, joissa kuorma on saatava liikkeelle ja pysäytettävä tasaisesti. Myös kelaimessa kireyttä voidaan säätää nollanopeudesta maksiminopeuteen. PWM-vuovektorikäyttöihin verrattuna DTC on edullisempi, sillä takometriä ei tarvita.
- **Momentin lineaarisuus:** Momentin lineaarisuus on tärkeää esimerkiksi paperiteollisuudessa käytetyissä pituusleikkureissa, joissa tarkka ja jatkuva kelaus on kriittinen ominaisuus.

- **Dynaaminen nopeustarkkuus:** Äkillisen kuorman muutoksen jälkeen moottori palautuu vakaaseen tilaan erittäin nopeasti.

OMINAISUUDET	SUORITUSKYKY	EDUT
Tarkka moottorin nopeuden säätö ilman takometriä.	Nopeuden säädön tarkkuus parempi kuin 0,5%. 95%:ssa sovelluksista ei tarvita takometriä.	Edullinen hankintahinta. Luotettavuus. Hyvä prosessin säätö. Laadukas tuote. Todellinen yleiskäyttö.
Tarkka momentinsäätö ilman takometriä.	Vaativiin käyttökohteisiin soveltuva käyttö. Haluttu momentti voidaan saavuttaa jatkuvasti. Momentin toistettavuus 1%. Momentin vasteaika alle 5ms.	Suorituskyky kuten tasavirtakäyttöillä, ilman takometriä. Vähentää koneiden mekaanisten vikojen määrää. Hyvä käyttöaste. Alhaisempi hankintahinta.
Täysi momentti nollanopeudella takometrin/anturin kanssa tai ilman.	Mekaanista jarrua ei tarvita. Tasainen siirtymä käytöstä jarrutukseen. Käyttöä voidaan käyttää sovelluksissa, jotka ovat alemmin vaatineet tasavirtakäytön.	Edullinen hankintahinta. Parempi kuormasäätö. Voidaan käyttää vaihtovirtakäyttöä ja -moottoria tasavirtalaitteiden sijaan. Normaali vaihtovirtamoottori vaatii vähemmän huoltoa ja on edullisempi.
Täysi nopeuden ja asennon säädettävyyys pyeähdyksin asti anturin avulla.	Sama suorituskyky kuin servokäytöissä.	Edullinen ja hyvä käyttö. Asennon säätö ja parempi staattinen tarkkuus. Tarkkuussäätö normaalin vaihtovirtamoottorin kanssa.

Taulukko 2. DTC-tekniikan avulla saavutettava dynaaminen suorituskyky ja sen tuomat edut.

Onko DTC-tekniikalla muita etuja kuin erinomaiset dynaamiset suoritusarvot?

DTC-tekniikalla on monia muitakin etuja. DTC-käytöt eivät esimerkiksi tarvitse takaisinkytkentää saavuttaakseen muilla vaihtovirtakäyttöillä saavutetun momenttivasteen. Tämä säästää hankintakustannuksia.

OMINAISUUDET	SUORITUSKYKY	EDUT
Väilpiirijännitteen nopea säätö.	Verkkokatkossäätö.	Käyttö ei laukea. Parempi käyttöaste. Prosessin jatkuvuus. Vähemmän jätettä jatkuvassa prosessissa.
Automaattinen käynnistys (Suora uudelleenkäynnistys).	Tahdistuu moottorissa olevan jäännös-induktiivirran avulla. Vilveetön uudelleenkäynnistys.	Vielä pyörivä moottori voidaan käynnistää odottamatta vuon vähenemistä. Moottori voidaan vaihtaa verkosta käyttöön. Ei uudelleenkäynnistystä. Prosessin jatkuvuus.
Automaattinen käynnistys (vauhtikäynnistys).	Synkronoituu pyörivään moottoriin.	Prosessin jatkuvuus. Tasainen koneiden säätö. Jatkuva tilanteen hallinta.
Vuojarrutus.	Hallittu jarrutus.	Edullinen hankintahinta. Parempi prosessin hallinta. Ei vilvettä kuten tasavirtajarrutuksessa. Voidaan käyttää jarrutettaessa muihin kuin nollanopeuksiin. Jarrukatkojan ja -vastuksen tarve vähenee.
Vuon optimointi.	Moottorin tehohäviöt minimoituvat. Hiljainen käyntääni.	Hallittu moottorin käyttö.
ID-ajo.	Parantaa käytön suorituskykyä.	Helppo ja tarkka konfigurointi. Parametrisetuksia ei tarvita. Nopeampi käyttöönotto. Varma käynnistysmomentti. Helppo kytkeä mihin tahansa vaihtovirtajärjestelmään.
Ei ennalta määritettyä puolijohtedien kytkentäjärjestystä.	Hiljainen ääni. Ääni ei ole säännöllinen, joten melu hajaantuu kohinaspektrille.	Alhaiset meluntorjuntakustannukset. Ei haitallisia mekaanisia resonansseja. Vähentää vaihteistojen, puhaltimien, pumppujen rasitusta.
Ei kiihdytys- tai hidastusrajoituksia.	Kiihtyy ja hidastuu lyhimmissä mahdollisessa ajassa ilman mekaanisia rajoituksia.	Parempi prosessin hallinta.

Taulukko 3. DTC-tekniikan käyttöominaisuudet ja niiden avulla saavutettavat edut.

DTC-käyttö myös käynnistyy nopeasti kaikissa moottorin sähkömagneettisissa ja mekaanisissa tiloissa. Moottori voidaan käynnistää välittömästi ilman viivettä.

DTC-käytöt näyttävät soveltuvan parhaiten tehokkaisiin ja vaativiin käyttösovelluksiin. Mitä etuja DTC-tekniikasta on vakiokäyttöille?

Vakiosovellukset kattavat 70 % kaikista teollisuuden käytössä olevista nopeussäädetyistä käytöistä. Kaksi yleisintä sovellusta ovat puhaltimet ja pumput, joita käytetään mm. lämpö-, vesi- ja ilmastointiteollisuudessa (LVI) sekä elintarviketeollisuudessa.

Näissä sovelluksissa DTC-tekniikan avulla voidaan ratkaista yliaaltojen ja melun aiheuttamia ongelmia.

DTC-tekniikan avulla esimerkiksi verkkovaihtosuuntaus voidaan toteuttaa korvaamalla tavallinen diodisilta säädettävällä sillalla.

Tämä tarkoittaa, että yliaaltoja voidaan vähentää huomattavasti DTC-säädetyin tulosillan avulla. DTC-säädetyin sillan virran särö on pienempi kuin tavallista 6- tai 12-pulssista järjestelmästä käytettäessä. Tehokerroin voi olla jopa 0,99.

Vakiosovelluksissa DTC-käytöt sietävät hyvin prosessissa tapahtuvia suuria, äkillisiä kuorman muutoksia ilman ylijännitteestä tai -virrasta johtuvia laukeamisia.

Käytön on myös pysyttävä käynnissä lyhyen syöttökatkoksen aikana. Välipiirijännite ei saa laskea 80 %:n alapuolelle. Tämän varmistaa DTC:n 25 mikrosekunnin kiertoaika.

Kuinka DTC vaikuttaa pumppujen säätöön?

DTC vaikuttaa kaikenlaisiin pumppuihin. Koska DTC:n ansiosta voidaan toteuttaa yleiskäyttö, kaikkia pumppuja (keskipakopumppuja ja vakiomomenttipumppuja eli ruuvipumppuja) samoin kuin ilmastimia ja kuljettimia voidaan säätää yhden käytön avulla. DTC-tekniikan avulla käyttö mukautuu automaattisesti sovellusten erilaisiin tarpeisiin.

Esimerkiksi ruuvipumpeissa DTC-tekniikkaan perustuva käyttö voi varmistaa käynnistymisen säätämällä käynnistysmomentin riittävän suureksi.

Parempi verkkokatko säätö parantaa pumppausta lyhyiden virtakatkosten aikana.

DTC-tekniikan momentinsäätökyvyn ansiosta momenttia voidaan rajoittaa pumppujen ja putkistojen mekaanisen rasituksen välttämiseksi.

Kuinka DTC-tekniikka vaikuttaa energiankulutukseen?

DTC-tekniikkaan liittyy energiaa säästävää ominaisuutta, jota kutsutaan moottorin vuon optimoinniksi.

Tämän ominaisuuden avulla koko käytön (eli säätökyvikön ja moottorin) hyötysuhde paranee huomattavasti puhallin- ja pumppusovelluksissa.

Esimerkiksi 25 %:n kuormituksella kokonaishyötysuhde paranee jopa 10 %. 50 %:n kuormituksella kokonaishyötysuhteen parannussaattaa olla jopa 2 %.

Tämä vähentää käyttökustannuksia. Tämä ominaisuus vähentää myös moottorin melutasoa verrattuna tavallisen PWM-käytön kytkentätaajuudesta syntyvään meluun.

Onko DTC-tekniikkaa jo käytössä?

DTC-tekniikkaa käytetään jo tuhansissa kohteissa. Esimerkiksi eräs maailman suurimmista rullaimien valmistajista käyttää DTC-tekniikkaa kalvonviimeistelyprosessin rullaimissa.

Vaatus:

Tarkka momentinsäätö rullaimissa laadukkaiden kalvorullien tuottamiseksi.

Ratkaisu:

Takaisinkytkemättömät DTC-käytöt ovat korvanneet perinteiset tasavirtakäytöt ja uudemmat vuovektoriohjatut vaihtovirtakäytöt rullaimissa.

Edut:

Rullinaseman rakenne yksinkertaistui ja luotettavuus parani. Yhden takometrin hinta kaapelointineen vastaa yhden 30 kW:n vaihtovirtamoottorin hintaa. Hankintakustannuksissa säästetään, kun takometri jätetään pois.

Toiminta

Mitä eroa on DTC-käytöllä ja perinteisellä PWM-käytöllä?

• Taajuussäädetty PWM ja vuovektorisäädetty PWM

Perinteisessä PWM-käytössä käytetään ensisijaisina säätösuureina **lähtöjännitettä** ja **lähtötaajuutta**. Lähtöjännitteen ja -taajuuden on kuitenkin oltava pulssileveysmoduloituja ennen kuin niitä voidaan käyttää moottorin säätöön.

Modulointivaihe lisää signaalin käsittelyyn kuluvaan aikaan ja rajoittaa siten PWM-käytön momentti- ja nopeusvastetta.

Yleensä PWM-modulaattorin vasteaika on 10 kertaa pidempi kuin DTC-käytön vasteaika.

• DTC-säätö

DTC-tekniikassa moottorin **momentti** ja **staattorin vuo** ovat ensisijaisia säätösuureita, ja tiedot molemmista saadaan suoraan moottorista. Tämän vuoksi DTC-tekniikkaa käytettäessä ei tarvita erillistä jännitteen ja taajuuden avulla säädettyä PWM-modulaattoria. DTC-käytön etuna on myös se, että 95 %:ssa kaikista käyttösovelluksista ei tarvita takaisinkytkentälaitetta.

Miksi DTC:ssä ei tarvita takometriä tai asentoanturia ilmoittamaan moottorin akselin tarkkaa asentoa?

Tähän on neljä syytä:

- Moottorimallin tarkkuus (ks. s. 27)
- Säätösuureet saadaan suoraan moottorista (ks. s. 27)
- Digitaalisyntetisointiprosessorin (DSP) ja optimaalisen kytkentälogiikan toimintanopeudet (ks. s. 28)
- Modulaattoria ei tarvita (ks. s. 12)

Kun ominaisuudet yhdistetään DTC-käyttöksi, tuloksena on käyttö, joka kykenee laskemaan ihanteellisen jännitteen 40 000 kertaa sekunnissa. Nopeus riittää yksittäisten kytkentäpulslien säätöön. DTC-käyttö on siis tähänastisista käytöistä nopein.

Vaihtosuuntaajan puolijohtimille syötetään joka 25. mikrosekunti tiedot ihanteellisesta kytkentäjärjestyksestä. Tämä päivitysmäärä on huomattavasti pienempi kuin yksikään moottorin aikavakioista. Nopeutta rajoittava tekijä on siis moottori, ei vaihtosuuntaaja.

Kuinka DTC eroaa muista markkinoilla olevista anturittomista käytöistä?

DTC:n ja muiden anturittomien käyttöjen välillä on suuria eroja. Suurin ero on kuitenkin se, että DTC mahdollistaa tarkan säädön alhaisillakin nopeuksilla aina nollanopeuteen asti ilman anturin takaisinkytkentää. Alhaisilla taajuuksilla nimellismomentin askelta voidaan säätää 1 ms lyhyemmässä ajassa. Tämä on tällä hetkellä paras saavutettu arvo.

Kuinka DTC-käyttö voi saavuttaa servokäytön suorituskyvyn?

Suorituskyky johtuu siitä, että rajoittava tekijä ei ole enää käyttö vaan moottori. Servokäytön tyypillinen dynaaminen nopeustarkkuus on 0,1 %s. DTC-käyttö voi saavuttaa tämän tarkkuuden, kun käytetään pulssianturilta saatavia nopeustietoja.

Miksi DTC-tekniikka on parempi perinteiseen tekniikkaan nähden?

Suurin ero on yksinkertaisesti DTC:n toimintanopeus. Kuten edellä mainittiin, DTC:n momenttivaste on tämänhetkisistä nopein.

ABB käyttää uusimpia nopeita signaalinkäsittelytekniikoita nopean momenttikytken luomiseksi. DTC:ssä käytetyn moottorimallin kehittämiseen on kulunut 100 miestyövuotta. Mallin avulla moottorin säädön tila voidaan simuloida tarkasti.

Lisätietoja DTC:n säätöteoriasta on sivulla 26.

Käytetäänkö DTC-käytön säätöpiirissä sumeaa logiikkaa?

DTC-käytön ohjauspiirissä ei käytetä sumeaa logiikkaa. Sumeaa logiikkaa käytetään joissakin käytöissä kiihdytysvirran pitämiseksi asetetuissa rajoissa ja käytön tarpeettoman laukeamisen estämiseksi. Koska DTC-tekniikassa momenttia säädetään suoraan, virta pysyy näissä rajoissa kaikissa toimintaolosuhteissa.

Sanotaan, että DTC-käyttö ei laukea. Kuinka tämä on mahdollista?

Monet valmistajat ovat vuosien ajan yrittäneet kehittää käytön, joka ei laukea kiihdytyksen tai hidastuksen aikana. Kehitystyö on kuitenkin ollut poikkeuksellisen vaikeaa. DTC-käyttö ei laukea, koska moottorin momenttia säädetään suoraan.

Käytön nopeus ja tarkkuus eivät voi olla realistisia, jos nämä säätösuuret lasketaan eikä niitä mitata. Jos akselia ei tarkkailla, ei tiedetä tarkkaan, mitä tapahtuu. Pitääkö tämä paikkansa DTC:n kohdalla?

DTC tietää tarkkaan mitä tapahtuu. Kuten edellä on selitetty, moottorimallin tarkkuuden ja laskutoimitusten nopeuden (40 000 laskua sekunnissa) avulla DTC-käyttö tietää tarkalleen, mitä moottorin akselilla tapahtuu. Moottorin tila on koko ajan tiedossa. Tämä näkyy poikkeuksellisen nopeana momenttivasteena ja nopeustarkkuutena (kts. s. 16-17).

Toisin kuin perinteisissä vaihtovirtakäytöissä, joissa jopa 30 % kaikista kytkennöistä on turhia, DTC-tekniikkaa käyttävä käyttö tietää tarkalleen akselin asennon eikä tee turhia kytkentöjä.

DTC-tekniikka sopii 95 %:iin kaikista teollisuuden sovelluksista. Poikkeustapaukset ovat yleensä sovelluksia, joissa tarvitaan hyvin tarkkaa nopeudensäätöä. Tällöin DTC-tekniikkaa voidaan käyttää, kun käyttö takaisinkytketään. Takaisinkytkentälaitte voi kuitenkin olla yksinkertaisempi kuin tavallisissa takaisinkytketyissä järjestelmissä.

Nopeimpiakin puolijohteita käytettäessä esiintyy viivettä. Kuinka tarkka DTC-käytön automaattiviritys on?

Automaattista kalibrointia käytetään DTC-käytön ID-ajon aikana (ks. s. 27). Viive mitataan, ja moottorimalli huomioi sen käytettävää vuota laskettaessa. PWM-käytössä momentti

värähtelee 20-30 Hz:n alueella, kun taas DTC-käyttö ei värähtele.

Kuinka vakaa DTC-käyttö on pienellä kuormituksella ja alhaisilla nopeuksilla?

Vakaus on hyvä nollanopeuteen asti, ja sekä momentti- että nopeustarkkuus voidaan säilyttää hyvin alhaisilla nopeuksilla ja pienellä kuormituksella. Tarkkuudet ovat mittaustemme mukaan seuraavat:

Momentin tarkkuus: 2-100 %:n nopeusalueella ja 10-100 %:n kuormituksella momentin tarkkuus on 2 %.

Nopeuden tarkkuus: 2-100 %:n nopeusalueella ja 10-100 %:n kuormituksella nopeuden tarkkuus on 10 % moottorin jättämästä. 37 kW:n moottorin jättämä on n. 2 %, joten nopeuden tarkkuus on 0,2 %.

Mitkä ovat DTC-tekniikan rajoitukset?

Jos samaan DTC-säädettyyn taajuusmuuttajaan kytketään rinnan useita moottoreita, järjestelmä toimii kuten yksi moottori. Käytöllä ei ole tietoa minkään yksittäisen moottorin tilasta. Jos moottorien lukumäärä vaihtelee tai moottorin teho on alle 1/8 nimellistehosta, on paras valita skalaarisäätömakro.

Toimiiko DTC kaikäntyyppisten oikosulkumoottoreiden kanssa?

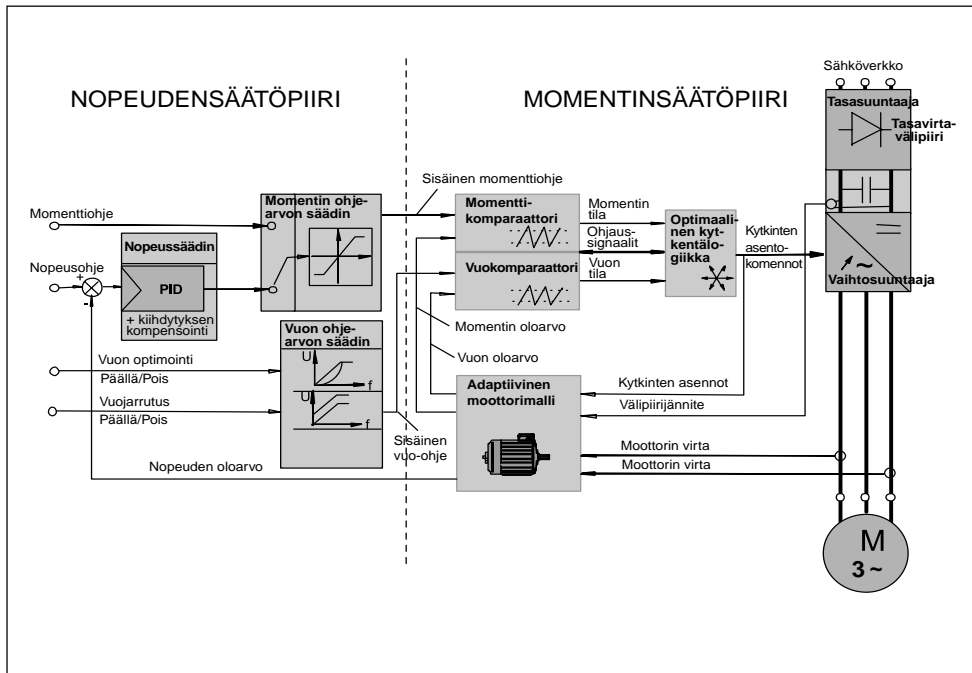
DTC toimii kaikäntyyppisten epätahtisten oikosulkumoottoreiden kanssa.

Luku 4 - Säädön perusteoria

Kuinka suora momentinsäätö toimii

Kuvassa 5 on suoran momentinsäädön (DTC) täydellinen lohkokaavio.

Lohkokaavio

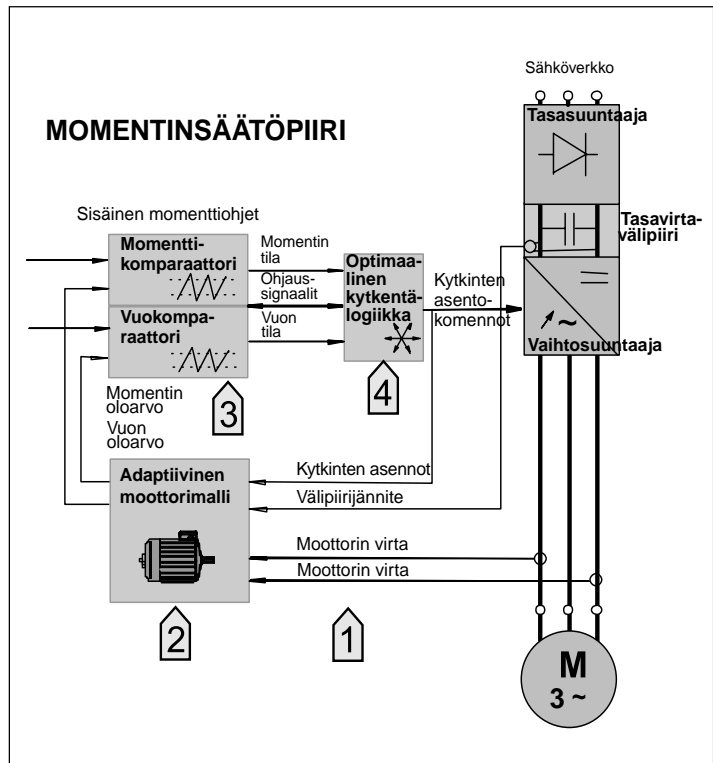


Kuva 5. DTC muodostuu kahdesta päälohkosta: nopeuden säädöstä ja momentinsäädöstä.

Kaaviosta ilmenee, että DTC muodostuu kahdesta pääosasta: momentinsäätöpiiristä ja nopeudensäätöpiiristä. Seuraavassa lohkokaavioon tutustutaan tarkemmin ja tarkastellaan, kuinka vaiheet liittyvät toisiinsa.

Ensimmäisenä tarkastellaan DTC:n momentinsäätöpiiriä.

Momentin-säätöpiiri



Vaihe 1 - Jännitteen ja virran mittaus

Normaalissa toiminnassa kahta moottorivirran vaihetta ja välipiirin jännitettä mitataan yhdessä taajuusmuuttajan kytkimen asentojen kanssa.

Vaihe 2 - Adaptiivinen moottorimalli

Moottorista saadut mittaustulokset käsitellään adaptiivisen moottorimallin avulla.

Moottorimallin tarkkuuden ansiosta moottorin tarkat tiedot voidaan laskea. Ennen DTC-käytön käynnistämistä moottorimalliin syötetään tiedot, jotka saadaan moottorin ID-ajon aikana. Tätä kutsutaan **automaattiviritykseksi**, ja sen aikana määritellään mm. staattorin vastus, keskinäisinduktanssi, kyllästymisvakiot ja moottorin hitausmomentti. Moottorimallin parametrit voidaan tunnistaa ilman moottorin akselin pyörittämistä. Näin ollen DTC-tekniikka voidaan asentaa myös jälkeinpäin. Moottorimalli virittyy erittäin tarkasti, kun ID-ajossa pyöritetään myös moottorin akselia muutaman sekunnin ajan.

Akselin nopeutta tai asentoa ilmoittavaa takometriä tai anturia ei tarvita, jos staattinen nopeustarkkuus on yli 0,5 %, kuten

useimmissa teollisuuden sovelluksissa. Tämä on huomattava parannus aikaisempiin vaihtovirtakäyttöihin nähden. Itse asiassa moottorimalli on avain DTC:n hyvään suorituskäyttöön alhaisilla nopeuksilla.

Moottorimalli lähettää ohjaussignaaleja, jotka kertovat suoraan moottorin todellisen momentin ja todellisen staattorin vuon. Moottorimalli laskee myös akselin nopeuden.

Vaihe 3 - Momentti- ja vuokomparaattori

Moottorin virtakytkimien käyttämiseen tarvittavat tiedot tuotetaan momenttikomparaattorissa ja vuokomparaattorissa.

Momentin ja vuon oloarvot syötetään komparaattoreille, joissa niitä verrataan 25 mikrosekunnin välein momentin ja vuon ohjearvoihin. Momentin ja vuon tilasignaalit lasketaan kaksitasoisen hystereesinsäätömenetelmän avulla.

Nämä signaalit syötetään optimaaliseen kytkentälogiikkaan.

Vaihe 4 - Optimaalinen kytkentälogiikka

Optimaalisessa kytkentälogiikassa vaihtosuuntaajan puolijohdeiden kytkentäjärjestyksen määrittää 40 MHz:n taajuudella toimiva digitaalisignaali prosessori (DSP) sekä ASIC-piiri. Tämän lisäksi kaikki säätösignaalit johdetaan optisten kuitujen avulla tiedonsiirron nopeuttamiseksi.

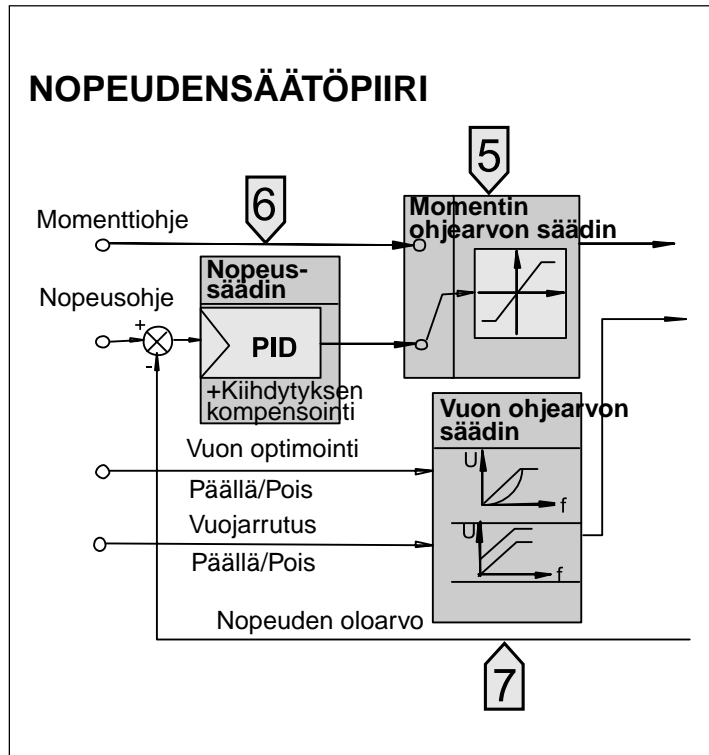
Tämän järjestelyn ansiosta tietojen käsittelyn nopeus on niin suuri, että vaihtosuuntaajan puolijohdekytkimille voidaan johtaa optimaalipulssi joka 25. mikrosekunti moottorin tarkan momentin saavuttamiseksi tai ylläpitämiseksi.

Oikea kytkentäjärjestys määritetään joka säätökierroksella. Ennalta määritettyä kytkentäjärjestystä ei ole. DTC:n on sanottu olevan "ajantasainen" säätöjärjestelmä, koska DTC:ssä jokainen kytkentä on tarpeellinen toisin kuin perinteisissä PWM-käytöissä, joissa jopa 30 % kytkennöistä on tarpeettomia.

Kytkentöjen nopeus on DTC:n menestyksen perustekijä. Moottorin tärkeimmät säätösuureet päivitetään 40 000 kertaa sekunnissa, jolloin akselille saavutetaan erittäin nopea vaste. Nopeus on myös tarpeen, jotta moottorimalli (ks. vaihe 2) voi päivittää tiedot.

Juuri tämän tietojen käsittelyn nopeus mahdollistaa DTC:n suorituskäyttöön, kuten $\pm 0,5$ %:n staattorin nopeudensäädön tarkkuuden ilman anturia ja alle 2 ms:n momenttivasteen.

Nopeuden- säättöpiiri



Vaihe 5 - Momentin ohjearvon säädin

Momentin ohjearvon säätimessä nopeussäädön lähtöarvoa rajoittavat momenttirajat ja välipiirin DC-jännite.

Momentin ohjearvon säätimeen kuuluu myös nopeudensäättö niitä tapauksia varten, jolloin käytetään ulkoista momenttignaalia. Sisäinen momenttiohje johdetaan tästä yksiköstä momenttikomparaattoriin.

Vaihe 6 - Nopeussäädin

Nopeussäädin koostuu PID-säätimestä ja kiihdytyskompensaattorista. Ulkoista nopeusohjetta verrataan moottorimallista saatavaan nopeuteen. Näiden eroarvo johdetaan sekä PID-säätimeen että kiihdytyskompensaattoriin. Lähtevä signaali on molempien säätöpiirien lähtöjen summa.

Vaihe 7 - Vuon ohjearvon säädin

Staattorin vuon todellinen arvo voidaan syöttää vuon ohjearvon säätimestä vuokomparaattoriyksikköön. Todellisen arvon säätö- ja muokausmahdollisuuden avulla on helppo toteuttaa monia vaihtosuuntaajan toimintoja, kuten vuon optimointi ja vuojarutus (ks. s. 19).

Luku 5 - Hakemisto

A

aikavakio 8, 23
alhaiset taajuudet 16, 17, 23
ankkurivirta 7
anturit 8, 11, 12, 14, 18, 22, 23,
27, 28
asennon säätö 18
asennon takaisinkytkentä 8
asentoanturi 12, 22
asentotiedot 11
ASIC 28
automaattivirtaus 24, 27

B

Blaschke 16

D

Depenbrock 16
digitaalinen signaalinkäsittely 12
digitaalisignaali prosessori,
DSP 22, 28
diodisilta 20
dioiditasasuuntaaja 9
DTC 5, 6, 12, 13, 14, 15, 16, 17,
18, 19, 20, 21, 22, 23,
24, 25, 26, 27, 28
dynaaminen nopeustarkkuus
12, 17, 18, 23
dynaaminen nopeusvaste 8

E

elektroninen säädin 11, 14
elintarviketeollisuus 20
energiankulutus 21
ennalta määritetty
kytkentäjärjestys 19, 28

H

hankintakustannukset 18
hissit 17
hitausmomentti 27
huolto 6, 8
hystereesinsäätö 28

I

ID-ajo 19
ilmastimet 20
ilmastointi 5, 20

J

jarrutus 19, 29
jännite 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16,
19, 20, 22, 23, 27, 29
jännitesyötetty käyttö 8

K

kalvonviimeistely 21
kelain 17
kenttävirta 7
kentän suunta 7, 8, 11
keskinäisinduktanssi 27
kierrosluku 8
kiihdytyskompensaattori 29

kommutaattorin ja hiiliharjan
yhdistelmä 7
kuljettimet 20
kulma-asento 11
kuormitusmomentti 16
kustannukset 8, 10, 11, 18, 19,
21
kyllästymisvakio 27
kytkentä 19
kytkentäjärjestys 19, 23, 28
kytkentäpulsit 23
käynnistys 5, 19, 20, 26
käyttökustannukset 21
käyttööni 19
käyttöönotto 19

L

laitevalmistajat 5
laukeaminen 15, 19, 20, 24
luotettavuus 8, 18
LVI 20
lähtöjännite 22
lähtötaajuus 22
lämmitys 20

M

magnetointivirta 7
mekaaninen jarru 18
melu 15, 19, 20, 21
modulaattori 9, 10, 11, 12, 14,
22
momentin ohjearvon
säädin 29
momentin säätöpiiri 26
momentti 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11,
12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20,
21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29
- kytkentä 23
- lineaarisuus 17
- säätö 5, 6, 7, 8, 10, 12, 18, 21,
26
- säätö alhaisilla taajuuksilla 16
- toistettavuus 18
- täysi kuormitus nollanopeudella
16
- vaste 6, 8, 11, 12, 18, 23, 24,
28
- värähtely 24
momentti- ja
vuokomparaattori 28
momenttikomparaattori 28, 29
moottorimalli 10, 22, 23, 24, 27,
28, 29
moottorin magneettivuo 12
moottorin melu 19, 21
moottorin momentti 8, 12, 28
moottorin staattinen
nopeus 17

moottorin säätöjärjestelmä 8
moottorin vuon optimointi 21
moottorin vääntö 8

N
nimellismomentin askel 23
nollanopeus 11, 16, 18, 19, 23, 25
nopeuden säätöpiiri 26
nopeussäädin 29
nopeudensäätö 6, 7, 24, 26, 28, 29
nopeus 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29
nopeussäädetyt käytöt 5, 6, 13, 20
nopeussäädön lähtöarvo 29
nopeustarkkuus 12, 17, 18, 23, 24, 25, 27
nopeusvaste 7, 8, 22

O
oikosulkumoottori 10, 11
optimaalinen kytkentälogiikka 28
optinen kuitu 28

P
paperiteollisuus 17
PID-säädin 29
puhallin 10, 19, 20, 21
pulssileveysmodulaatio 9
pumppu 10, 19, 20, 21
putkistot 21
PWM 6, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 21, 22, 24, 28
PWM-vaihtovirtakäyttö 11, 14, 21, 22, 24, 28

R
radiotaajuiset häiriöt 15
rasitus 19
roottori 7, 8, 10, 11
roottorin asento 7
roottorin nopeus 11
roottorivuo 11
rullain 21, 22

S
servokäyttö 18, 23
signaalin käsittely 12, 22, 23
signaalin käsittelyaika 22
skalaarisäätö 10, 25
staattinen nopeustarkkuus 17, 27
staattinen tarkkuus 18
staattori 7, 9, 10, 11, 22, 27, 28, 29
staattorin kenttä 11
staattorin käämi 9, 10
staattorin vastus 27
staattorin vuo 22, 28, 29
sumeaa logiikka 24

suora momentinsäätö 1, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 26
syöttökatkos 20
syöttötaajuus 15
sähköinen aikavakio 8
säädetty tulosilta 20
säätökierros 28
säätöpiiri 7, 9, 10, 12, 13, 24, 26, 27, 29
säätösuureet 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 22

T
taajuussäädetty vaihtovirtakäyttö 9
taajuussäätö 6, 9, 13, 22
takaisinkytkentä 9, 10, 11, 13, 15, 16, 22, 24
takometri 12, 14, 16, 17, 18, 22, 27
tarkkuussäätö 18
tasavirtakäyttö 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 18
tasavirtamoottori 6, 7, 8, 11, 15
tehokerroin 20

U
ulkoinen momenttisygnali 29
ulkoinen nopeusohje 29
uudelleenkäynnistys 19

V
vaihteisto 19
vaihtovirtakäyttö 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 24, 28
vaihtovirtamoottori 5, 6, 8, 13, 18
vakaus 25
verkkokatkossäätö 19, 21
vesihuolto 5, 20
VSD 6
vuojarrutus 19, 29
vuokomparaattori 28, 29
vuon ohjearvon säädin 29
vuon optimointi 19, 21, 29
vuovektori 6, 10, 11, 13, 16, 21, 22
vuovektorisäätö 6, 10, 11, 13, 16
vuovektorisäädetty vaihtovirtakäyttö 10
välipiirijännite 19, 20, 27, 29

Y
yleiskäyttö 15, 18, 20
yliallot 15, 20



ABB Industry Oy

Tuotemyynti

PL182

00381 Helsinki

Puhelin 010 222 000

Telekopio 010 222 2913

Internet <http://www.abb.fi>