


Asenna taajuusmuuttajat oikein ja vältä moottorien suuritaajuiset virrat

Asenna taajuusmuuttajat oikein ja vältä moottorien suuritaajuiset virrat

Sairaalatekniikan päivät 7.-8.2.2006
teknologiapäällikkö Juhani Hyvärinen




Sisältö

- Taajuusmuuttajien hyödyt ja haitat
- Laakerivirtavikojen esiintyminen
 - yleisyys
 - miten viat havaitaan
 - teoriatausta
- Asennusohjeet

© Fläkt Woods 2006

© Juhani Hyvärinen 2006




Taajuusmuuttajien hyödyt

Ilman kuljetus

- Ilman kuljetus vaatii puhallinenergiaa
- Kuljetushäviöt voi jakaa seuraaviin kahteen osaan:
 - siirtohäviöt, kitkahäviöt
 - $P = dp \cdot q$, siirtohäviöt verrannollisia paine-eron ja virtauksen tuloon → mahdollisimman pieni paine-ero ja mahdollisimman pieni virtaus
 - painehäviö kanavassa verrannollinen virtauksen neliöön
 - $dp = a \cdot q^2$
 - ilmaa väärin paikkoihin
 - → mahdollisimman tiiviit kanavat ja
 - → mahdollisimman pieni kanavapaine
- häviöt muuttuvat ääneksi (meluksi) ja lämmöksi

© Fläkt Woods 2006

© Juhani Hyvärinen 2006



Asenna taajuusmuuttajat oikein ja vältä moottorien suuritaajuiset virrat

Taajuusmuuttajien hyödyt

Taajuusmuuttajien käytön hyödyt ilmastoinnissa

► "puhallinlait"

- virtaus paine teho

$$\frac{q_1}{q_2} \propto \frac{n_1}{n_2} \qquad \frac{dp_1}{dp_2} \propto \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \qquad \frac{P_1}{P_2} \propto \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

- n: pyörimisnopeus

► parasta säästöä on käyttää vain sen, minkä tarvitsee

- ilmanvaihdon pysäyttäminen ei kuitenkaan ole sallittua,
- säätötavoista paras on pyörimisnopeuden ohjaaminen
- muita tapoja ovat
 - siipikulmasäätö aksiaalipuhaltimella ja
 - johtosiipisäätö keskipakopuhaltimella
 - (miksei myös kuristus)

© Fläkt Woods 2006 © Juhani Hyvärinen 2006 **FläktWoods**

Taajuusmuuttajien hyödyt

Esimerkki energian säästöstä

► Esimerkki: oletetaan, että ilmavirtaa voidaan vakaakäytön aikana tiputtaa kolmanteen osaan nimellisarvosta.

► kuristusäättö

- kanavapaine nousee, virtaus pienenee → säästö alle kolmannes

► Tavanomainen tapa on säätää kanavapaine vakioarvoonsa.

- huonelaitteet ja vyöhykesäätimet kuristavat ilmavirtaa
- energiansäästö saadaan vähentyneestä ilmavirrasta siitä, että paine-ero pysyy vakiona → kolmanneksen luokkaa

► periaatteessa voisi ohjata myös kanavapainetta, jolloin energiansäästö olisi suurempi. Tähän ei käytännössä ole useinkaan mahdollisuutta.

- $dp = a \cdot q^2 \Leftrightarrow 1/9 \cdot dp = a \cdot (1/3 \cdot q)^2$
 - jos kanaviston vastus pysyy vakiona, vähentäisi virtauksen pudottaminen kolmannekseen alkuperäisestä painehäviöt 1/9-osaan.
 - ideaalisessa tapauksessa $1/3 \cdot q \cdot 1/9 \cdot dp = 1/27 \cdot q \cdot dp = 1/27 \cdot P$

© Fläkt Woods 2006 © Juhani Hyvärinen 2006 **FläktWoods**

Taajuusmuuttajien hyödyt

Energiansäästö ominaiskäyrillä

© Fläkt Woods 2006 © Juhani Hyvärinen 2006 **FläktWoods**

Asenna taajuusmuuttajat oikein ja vältä moottorien suuritaajuiset virrat

Taajuusmuuttajien hyödyt

Pyörimisnopeuden ohjaamisen oheishyödyt

- ilmastointijärjestelmän mitoitus ja perussäätö (asettelu) on helpompaa, kun voidaan ohjata puhaltimen nopeutta
- matalat pyörimisnopeudet → pienempi melutaso puhaltimesta kanavistoon ja ympäristöön

© Fläkt Woods 2006

© Juhani Hyvärinen 2006

FläktWoods

Taajuusmuuttajien hyödyt

Pyörimisnopeussäätö

- moottorityytit ja pyörimisnopeussäätö
 - vaihtovirtamoottorit
 - epätahti
 - liukurengasmoottori
 - oikosulkumoottori
 - tahtimoottorit
 - reluktanssimoottori
 - kestmagneettimoottori
 - sähkömagneettimoottori
 - tasavirtamoottorit
 - kestmagneettimoottori, "EC-moottori"
 - sähkömagneettimoottori

© Fläkt Woods 2006

© Juhani Hyvärinen 2006

FläktWoods

Taajuusmuuttajien hyödyt

Käyttö puhallinmoottoreina

- oikosulkumoottoreita, ja kestmagneettimoottoreita käytetään yleisesti puhallinmoottoreina
- hyötysuhteet ovat jokseenkin samalla tasolla
- oikosulkumoottorit ovat yleisimpiä ja helposti saatavissa kaikille tehoille
- oikosulkumoottorin paras ohjaustapa on taajuusmuuttajasäätö
- taajuusmuuttajasäädön takaisinmaksuajat verrattuna muihin säätötapoihin oli eräissä tapauksissa seuraava (D-työ Kimmo Ruokoniemi, Puhallinkäyttäjien optimiparametrit ja kokonaishyötysuhde, 2000)
 - kuristussäätö 0,7 vuotta
 - johtosiipisäätö 1,5 vuotta
 - 2 nopeussäätö + kuristus 3 vuotta
 - 2 nopeussäätö + johtosiipisäätö 8 vuotta

© Fläkt Woods 2006

© Juhani Hyvärinen 2006

FläktWoods

Asenna taajuusmuuttajat oikein ja vältä moottorien suuritaajuiset virrat

Taajuusmuuttajien hyödyt

Yhteenveto taajuusmuuttajan käytön hyödyistä

- > ilmavirran ohjaus "välttämätöntä"
- > pyörimisnopeussäätö on paras keino
- > taajuusmuuttajat ovat tällä hetkellä paras ratkaisu muille kuin pienmoottoreille
- > muita etuja taajuusmuuttajien käytöstä ovat
 - taajuusmuuttajat suhteellisen yleiskäyttöisiä oikosulkumoottoreille
 - puhaltimen nopeutta voidaan nostaa ja laskea nimellinopeudesta → joustavuutta valintaan ja mitoitukseen
 - mekaaniset resonanssitaajuuudet voidaan harpata
 - voidaan välttää käynnistysvirtapiikit
 - turvallisia käyttää
 - sekä monia muita taajuusmuuttajien ominaisuuksista riippuvia etuja kuten esimerkiksi häilytykset ja vikadiagnosi

© Fläkt Woods 2006

© Juhani Hyvärinen 2006

FläktWoods

Taajuusmuuttajien haitat

Ei mitään niin hyvää, ettei jotain pahaankin

- > taajuusmuuttajien käytön yleisyydestä voi päätellä, että haitat ovat hyötyjä pienemmät
- > haittoja
 - monimutkaisia käyttää ja oppia
 - vaativat erikoisosaamista
 - aiheuttavat lisävaatimuksia muulle järjestelmälle
 - EMC: johtuvat ja säteilevät häiriöt, direktiivinmukaisuus
 - ylijännitepiikit moottorille → kasvanut jännitelujuusvaatimus, paremmat käämieristykset
 - suuritaajuisien laakerivirtojen esiintyminen → voidaan poistaa tai merkittävästi vähentää oikealla asennustavalla

© Fläkt Woods 2006

© Juhani Hyvärinen 2006

FläktWoods

Laakerivirtaviat

Laakerivirtaviat

- > Yleisesti ottaen meillä ei ole tietoa laakerivirtavikojen esiintymismääristä.
- > "ei ainoatakaan" asennuksissa, joissa Fläkt Woods on asentanut sekä moottorin että taajuusmuuttajan
- > laakerivirtavikoja syytetään entistä enemmän
- > kiinnostus asiaa kohtaan on kasvanut
- > laakerivirrat ja laakerivirtaviat ovat vanhastaan tunnettuja ilmiöitä
- > taajuusmuuttajissa käytetty uusin teknologia pahentaa ongelmaa
- > moottori- ja taajuusmuuttajavalmistajat sanovat, että laakerivirtoja ilmenee vain yli 30 kW:n moottoreilla
- > ilmiö esiintyy myös pienemmissä moottoreissa

© Fläkt Woods 2006

© Juhani Hyvärinen 2006

FläktWoods

Asenna taajuusmuuttajat oikein ja vältä moottorien suuritaajuiset virrat

Laakerivirtaviat

Vian analyysi

- laakerivirtavika
 - oireet:
 - pitää ääntä moottorin pyöriessä
 - laakerirasvan värivika
 - sameat kuulat, mikroskooppiset kipinäjäljet kuulan pinnalla
 - vierintäpinnan nimismiehen kiharat
 - en osaa sanoa sopivaa mittaustapaa!
 - seurausviat (joitakin esimerkkejä)
 - lisääntyvä melu
 - laakeri leikkaa kiinni
 - virta kasvaa
 - moottori kuumenee
 - estäminen
 - laakerivirtojen estäminen

© Fläkt Woods 2006

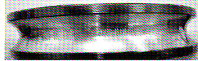
© Juhani Hyvärinen 2006

FläktWoods

Laakerivirtaviat

Vian analyysi

- Vika on siis hankala havaita ennen vakavien seurausvikojen syntymistä
- seurausviat voivat syntyä myös muista syistä
 - toisin sanoen seurausvian ilmetessä syyvika ei välttämättä olekaan laakerivirtavika
- vian varmaksi tunnistamiseksi on laakeri irrotettava ja purettava (sahattava)
 - nimismiehen kiharat kielivät laakerivirtaviasta



© Fläkt Woods 2006

© Juhani Hyvärinen 2006

FläktWoods

Laakerivirtaviat

Teoriataustaa

- Laakerivirrat ovat vanha ilmiö ja niitä esiintyy myös suoraan kytketyillä moottoreilla
 - taajuusmuuttajat pahentavat tilannetta
 - uusi teknologia: nopeammat jännitekytkimet taajuusmuuttajan lähdessä

1. perussyynä ilmiöön on, että jostakin syystä moottorin seisojan ja pyörijän välille syntyy jännite-eron, joka saa aikaan virran sieltä missä vastus on vähäisin
2. tämä tie on usein laakerin lävitse, ellei muuta paluutieta ole järjestetty
3. virta saa aikaan kipinöintiä laakeripinnoilla ja kipinätyöstön kaltaisen ilmiön
4. ensimmäinen kipinä tekee alun ja sen jälkeen töyssyssä syntyy lisää kipinöintiä, joka edelleen suurentaa töyssyä
5. seurauksena on mikroskooppiset nimismiehen kiharat jotka ajan kuluessa pahenevat ja tulevat silmin näkyviksi
 - puhutaan myös pyykkilautakuviosta

© Fläkt Woods 2006

© Juhani Hyvärinen 2006

FläktWoods

Asenna taajuusmuuttajat oikein ja vältä moottorien suuritaajuiset virrat

Laakerivirtaviat

Jännite-ero staattorin ja roottorin välillä

- kolme tapaa
 - kiertävä suuritaajuinen virta
 - akselinmaadoitusvirta
 - kapasitiivinen purkausvirta pienillä moottoreilla
- puhaltimissa käytetään "pieniä" moottoreita
- oikealla kytkennällä ja asennuksella voidaan olennaisesti vaikuttaa jännite-eroon ja tätä kautta laakerivirtaan
- jännite-erolla on jokin kynnyksjännite, jota pienemmillä jännitteillä esimerkiksi laakerirasvan muodostama eriste estää virran kulun
- Kun kynnyksjännite ylitetään tapahtuu "läpilyöntejä" eristävän rasvakerroksen läpi ja ilmiö syntyy.

© Fläkt Woods 2006

© Juhani Hyvärinen 2006

FläktWoods

Laakerivirtaviat

Kuva 5: Kaaviokuva kiertävästä virrasta ja akselinmaadoitusvirrasta. Akselinmaadoitusvirta on seurausta moottorin rungon suuresta jännitteestä ja käytettävän laitteen hyvästä maadoituksesta.

Laakerivirtaviat

Jännite-ero syntyy kapasitiivisena kytkentänä

- Staattori on hyvin maadoitettu joten periaatteessa sen ja maan välille ei pitäisi syntyä jännite-eroa
- Näin on kuitenkin vain teoriassa, jolloin
 1. moottorin näkemä jännite on sinimuotoista
 2. moottorin näkemä jännite on symmetristä
 3. moottorin näkemä vaihtojännite on matalataajuisia
- Käytännössä
 1. taajuusmuuttajan tuottama jännite ei ole sinimuotoista
 2. taajuusmuuttajan tuottama jännite ei ole symmetristä
 3. taajuusmuuttaja tuottaa suuritaajuisia jännitepulsseja
- näistä johtuen staattoriin kytkeytyy kapasitiivisesti jännite, joka saa aikaan virran
 - erilaisia kytkeytymistapoja ja ekvivalenttipiirejä

© Fläkt Woods 2006

© Juhani Hyvärinen 2006

FläktWoods

Asenna taajuusmuuttajat oikein ja vältä moottorien suuritaajuiset virrat

Laakerivirtaviat

Sinimuotoinen vaihejännite?

virta on lähes sinimuotoista

jännite ei ole sinimuotoista

Figure 6 – Typical PWM voltage and current motor waveforms

© Fläkt Woods 2006

Laakerivirtaviat

Symmetrinen jännite?

- Symmetrisessä 3-vaihesyötössä toisin sanoen vaiheiden summavirta ja -jännite on nolla?
- kolme vaihetta ja kaksi jännitetasoa → summa ei voi olla nolla

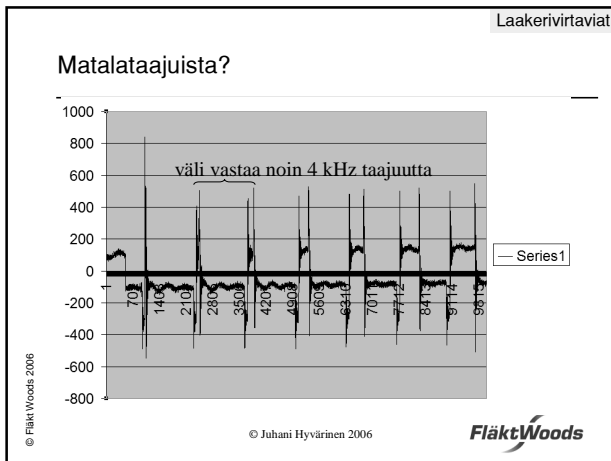
Vaihe 1	Vaihe 2	Vaihe 3	summa l. yhteismuotoinen jännite
+1	+1	+1	+3
+1	+1	-1	+1
+1	-1	+1	+1
+1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-3
-1	+1	+1	+1
-1	+1	-1	-1
-1	-1	+1	-1

© Fläkt Woods 2006

Laakerivirtaviat

Kuva 2: Kuvassa on tyypillisen kolmivaiheisen pulssileveysmoduloitujen teholähteen vaihejännitteet ja kolmen vaiheen keskiarvo eli neutraalijännite uudessa vaihtovirtakäytössä. Neutraalijännite ei ole nolla, ja se voidaan määrittellä yhteismuotoiseksi jännitteeksi. Jännite on verrannollinen tasajännitevälipiirin jännitteeseen, ja sen taajuus on yhtä suuri kuin vaihtosuuntaajan kytkentätaajuus.

Asenna taajuusmuuttajat oikein ja vältä moottorien suuritaajuiset virrat



Asennusohjeet

Suuritaajuisien laakerivirtojen välttäminen

- seuraa taajuusmuuttajavalmistajan ohjeita pedanttisesti
- seuraa moottorivalmistajan ohjeita pedanttisesti

- oikea kaapelointi ja maadoitus
- suuritaajuisen yhteismuotoisen virran vaimentaminen
- laakerivirtapiirien katkaiseminen

- laakerivirtojen välttämiseksi tehtävä maadoitus on ei ole sama kuin jakelujärjestelmien tavanomaiset maadoitusjärjestelmät
 - normaali maadoitus suojaa vikatilanteissa liian korkeilta jännitteiltä
 - suuritaajuinen virta ei välttämättä maadoitu
- asennuksessa on seurattava tietyksi sähköturvallisuusmääräyksiä ja -ohjeita sekä EMC asennusmääräyksiä ja -ohjeita ja

© Fläkt Woods 2006
© Juhani Hyvärinen 2006
FläktWoods

Asennusohjeet

Oikea kaapelointi

- käytä symmetristä kaapelia. Näin vältetään yhteismuotoisen jännitteen indusoituminen.
- minimoi kaapelin pituus → pienempi impedanssi
- hyvin tehty EMC suojaus johtaa usein myös hyvään suuritaajuisien laakerivirtojen vaimentumiseen

© Fläkt Woods 2006
© Juhani Hyvärinen 2006
FläktWoods

Asenna taajuusmuuttajat oikein ja vältä moottorien suuritaajuiset virrat

Asennusohjeet

Miten vähennetään laakereiden läpi kulkevaa virtaa

- matalampi kytkentätaajuus vähentää jännite- ja virtapiikkien lukumäärää
- jännitteen nousunopeuden suodatin suodattaa pois suuritaajuisia komponentteja (ns. du/dt suodatin)
- järjestä suuritaajuiselle virralle matalaimpedanssinen paluutie
 - levymäinen tai putkimainen maadoitus
 - (symmetriavaatimus → putkimainen maadoitus, sukka)
 - maadoitus aina 360 asteisesti, ei saparoita
 - huolehdi maadoituksesta myös kytkentärasioiden läpi
 - käytä tarkoitukseen soveltuvia asennustarvikkeita, EMC-holkit ovat hyviä läpivientiin
 - mikäli mahdollista, ei rasioita, koteloita tai kytkimiä taajuusmuuttajan ja moottorin välille
- (järjestä työkoneneen ja moottorin rungon välille hyvä suuritaajuisen virran paluureitti, putki- tai lattajohdin)

© Fläkt Woods 2006

© Juhani Hyvärinen 2006

FläktWoods

Asennusohjeet

Virtatien katkaiseminen

- eristetyt laakerit
 - eristettyjä laakereita ei periaatteessa tarvita, mikäli asennus tehdään oikein
 - saattaa olla hyvä korjaustoimenpide kun laakerit vaihdetaan ensimmäisen kerran
 - tällöin kannattaa miettiä uusiiko samalla molemmat laakerit
 - yleensä pienempi on vikaantuu ensin, mutta akselimaadotusvirtatapauksessa myös suurempi vikaantuu


© Fläkt Woods 2006

© Juhani Hyvärinen 2006

FläktWoods

Asennusohjeet

Kaapelin asennus taajuusmuuttajassa



Eriste on kuorittu pannan kohdalta, jolloin maadoitus toteutuu isolla pinta-alalla ja 360 asteisesti runkoon.

© Fläkt Woods 2006

© Juhani Hyvärinen 2006

FläktWoods

Asenna taajuusmuuttajat oikein ja vältä moottorien suuritaajuiset virrat

Yhteenveto

- Taajuusmuuttajaohjatut puhaltimet tuovat ilmastointisovelluksissa oikein käytettynä hyötyjä, joita ei voi jättää huomiotta.
- Taajuusmuuttajien käytöstä on myös haittoja, mutta hyödyt ovat haittoja suuremmat.
- Oikealla asennustavalla vältetään vahingollisten laakerivirtojen syntyä ja estetään vaurion syntyminen.
- Oikeassa asennustavassa varmistetaan, että suuritaajuisen yhteismuotoisen jännitteen aiheuttama paluuvirta, löytää matalaimpedanssisen paluureitin taajuusmuuttajaan.
- Keinot ovat yksinkertaisia eikä niitä kannata jättää käyttämättä.
- Suosittelemme tietysti, että saamme itse asentaa taajuusmuuttajat → tuoteautomaation edut

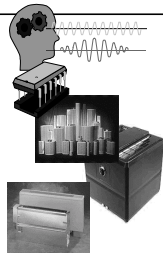
© Fläkt Woods 2006

© Juhani Hyvärinen 2006



Tuoteautomaation edut

- Ongelmaton käyttää
 - Paras mahdollinen suorituskyky
 - Tuote heti valmis käyttöön
 - Tuotteen toiminta ja suorituskyky seurattavissa koko elinkaaren ajan
- Parantaa tuotteen ominaisuuksia
 - Valmistaja voi täysin hyödyntää omaa osaamistaan ja sarjatuotannon etuja
 - ratkaisut taloudellisesti perusteltavissa
 - asiakas hyötyy tuotteeseen integroidusta osaamisesta
- Innovointi ja uuden teknologian hyödyntäminen
 - Sulautetun elektronikan hyödyntäminen
 - Uusia toiminnallisia piirteitä automaatiolla
 - esim. käyttö ja valvonta paikallisesti ja kaukovalvonnassa



© Fläkt Woods 2006

© Juhani Hyvärinen 2006



Mitä Fläkt Woods tekee?

- Fläkt Woods toimittaa ilmastointikoneita ja laitteita, joissa on valmiiksi asennettuna tarvittavat ohjaus ja säätölaitteet.
- Noin 40%:iin vuosittain valmistettavista ilmastointikoneista asennetaan tehtaalla taajuusmuuttajat valmiiksi paikoilleen.
- Tehdasasennuksessa on otettu huomioon CE-vaatimusten edellyttämät direktiivit ja harmonisoidut standardit.
- Tehdasasennuksessa otetaan huomioon komponenttien valmistajien ohjeet asennustapaa suunniteltaessa.
- Fläkt Woods vastaa tehdasasennettujen kokonaisuuksien tuotekyvun ja määräysten mukaisesta toiminnasta.
- taajuusmuuttajat parametroidaan valmiiksi niin, että puhaltimet toimivat virheettömästi ja parhaalla mahdollisella tavalla
- komponentit valitaan ja niitä mahdollisesti kehitetään yhdessä toimittajien kanssa niin, että lopputulos olisi ilmastointilaitteen ja energiatehokkuuden kannalta paras mahdollinen

© Fläkt Woods 2006

© Juhani Hyvärinen 2006



Asenna taajuusmuuttajat oikein ja vältä moottorien suuritaajuiset virrat

Lisää luettavaa

- A Gambica Rema Technical Guide, Motor Shaft Voltages and Bearing Currents under PWM Inverter Operation
- ABB Tekinen opas nro 5. Laakerivirrat uusissa vaihtovirtakäyttöissä.

© Fläkt Woods 2006

© Juhani Hyvärinen 2006

FläktWoods
