

17. MOOTTORIT JA GENERAATTORIT

17.1. IEC: n mitoitus

IEC-tunnus

IEC (International Electrotechnical Commission) on kehittänyt kansainväliset standardisarjat sähkökoneiden asennusmitoille sekä määritellyt niitä vastaavat kokoa ilmaisevat tunnuksset. Koneet, joilla on sama tunnus, ovat asennusmittojensa puolesta keskenään vaihtokelpoisia. Kun akselinkorkeus on enintään 400 mm kuuluu jalallisten koneiden tunnukseen rungon tunnus ja vapaan akselinpään halkaisija, esim. 112 M 28. Rungon tunnus muodostuu akselinkorkeudesta ja kirjaimesta S, M tai L, joka ilmaisee rungon pituusluokan.

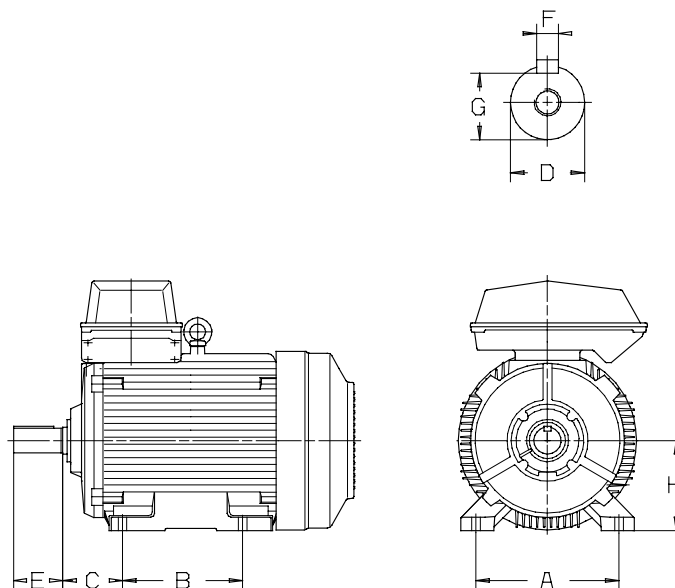
Mikäli jalallinen kone on varustettu kiinnitysraipalla koneen käyttöpäässä, lisätään raipan tunnus, esim. 112M 28 FF215. Koneet, jotka ovat tarkoitettut ainoastaan raippakiinnitykseen, merkitään akselinpään halkaisijalla ja raipan tunnuksella, esim. 28FF215. Raipan tunnus muodostuu kirjaimista FF tai FT ja kiinnitysreikien jakoympyrän halkaisijasta. Merkintää FF käytetään kun raipassa on vapaareiät (läpimenevät, ilman kierteitä) ja merkintää FT kun raipassa on kierrereiät.

Eräiden moottorien IEC-tunnukset ja asennusmitat

Taulukko 17.1a. Jalalliset moottorit.

IEC-tunnus	Asennusmitat								Kiinnitysruuvi
	A	B	C	D	E	F	G	H	
71M14	112	90	45	14	30	5	11	71	M6
80M19	125	100	50	19	40	6	15,5	80	M8
90S24	140	100	56	24	50	8	20	90	M8
90L24	140	125	56	24	50	8	20	90	M8
100L28	160	140	63	28	60	8	24	100	M10
112M28	190	140	70	28	60	8	24	112	M10
132S38	216	140	89	38	80	10	33	132	M10
132M38	216	178	89	38	80	10	33	132	M10
160M42	254	210	108	42	110	12	37	160	M12
160L42	254	254	108	42	110	12	37	160	M12
180M48	279	241	121	48	110	14	42,5	180	M12
180L48	279	279	121	48	110	14	42,5	180	M12
200M55	318	267	133	55	110	16	49	200	M16
200L55	318	305	133	55	110	16	49	200	M16

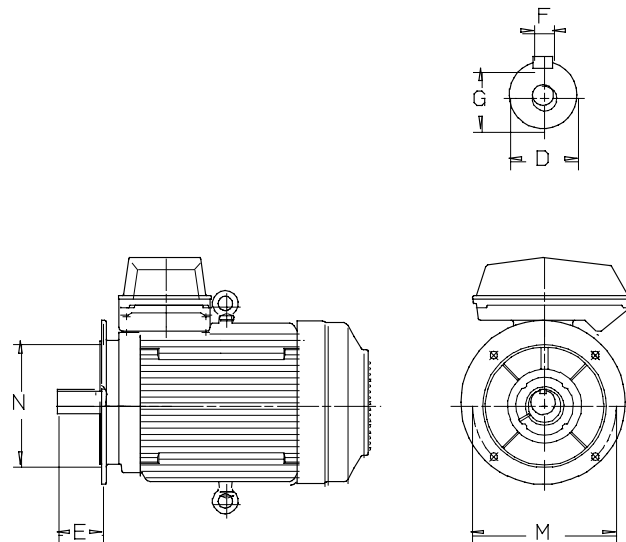
Suurempien moottorien IEC-tunnukset ja asennusmitat ovat osittain pyörimisnopeudesta riippuvaisia. Kaikkien moottorienme asennusmitat ovat moottoriesitteissämme sekä mittapiirustuksissämme.



Taulukko 17.1b. Laipalliset moottorit.

IEC-tunnus	Asennusmitat						Kiinnitysruuvi
	D	E	F	G	M	N	
14FF130	14	30	5	11	130	110	M8
19FF165	19	40	6	15,5	165	130	M10
24FF165	24	50	8	20	165	130	M10
24FF165	24	50	8	20	165	130	M10
28FF215	28	60	8	24	215	180	M12
28FF215	28	60	8	24	215	180	M12
38FF265	38	80	10	33	265	230	M12
38FF265	38	80	10	33	265	230	M12
42FF300	42	110	12	37	300	250	M16
42FF300	42	110	12	37	300	250	M16
48FF300	48	110	14	42,5	300	250	M16
48FF300	48	110	14	42,5	300	250	M16
55FF350	55	110	16	49	350	300	M16
55FF350	55	110	16	49	350	300	M16

Suurempien moottorien IEC-tunnukset ja asennusmitat ovat osittain pyörimisnopeudesta riippuvaisia. Kaikkien moottorien asennusmitat ovat moottoriesitteissämme sekä mitäpiirustuksissamme.

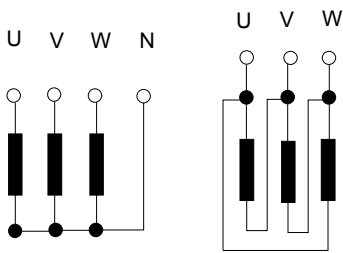


17.2. Liitinmerkinnät ja pyörimissuunta

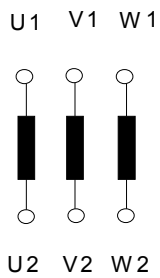
Standardi IEC 60034-8 määrittelee pyörivän sähkökoneen liitinmerkinnät ja pyörimissuunnan sekä liitinmerkintöjen ja pyörimissuunnan välisen riippuvuuden, kun sähkökone on liitetty verkkoon.

Liitinmerkinnät

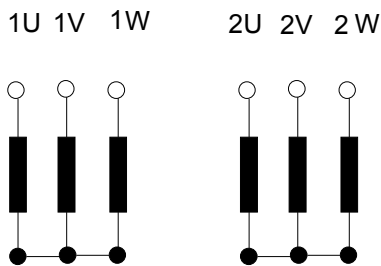
Kuvat a, b ja c esittävät tavallisten kolmivaiheisten vaihtosähkökoneiden käämityksiä ja liitinmerkintöjä.



KUVA 17.2a. Koneiden käämitykset on kytketty joko tähteen tai kolmioon koneen sisällä.



KUVA 17.2b. Koneen vaihekäämitysten alku- ja loppupäät (U1 ja U2) on kytketty suoraan liittimiin. (Mikäli käämityksessä on väliulosottoja, niin ne on merkitty U3, U4). Käämityksen kytkentä tähteen tai kolmioon suoritetaan joko liitintähtikotelossa tai koneen ulkopuolella.



KUVA 17.2c. Kaksinopeusmoottorin liitinmerkinnät. Suurempi etunumero vastaa suuremman pyörimisnopeuden käämitystä (2U, 2V ja 2W).

Kolmivaiheisella käämityllä roottorilla varustetun epätahtikoneen (tavallisesti liukuren-gaskone) roottorin liitinmerkinnät saadaan staattorikäämityksen merkinnöistä korvaamalla:

U	kirjaimella	K
V	kirjaimella	L
W	kirjaimella	M
N	kirjaimella	Q

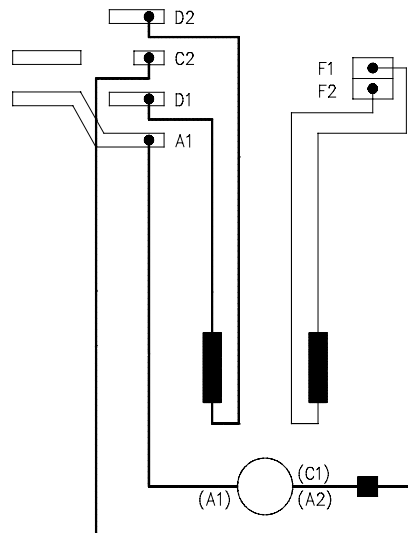
Jos ensiökäämitys on roottorissa, kirjaimia U, V, W ja N käytetään roottorikäämitykselle ja kirjaimia K, L, M ja Q staattorikäämitykselle.

Tahtikoneen ja tasasähkökoneen magnetointikäämityksen liitinmerkinnät ovat F1 ja F2.

Yleisimmin käytetyt tasasähkökoneiden liitinmerkinnät ovat:

ankkurikäämitys	A1– A2
kääntönapakäämitys	B1– B2
kääntönapa- + kompensointikäämitys (tai pelkkä kompensointikäämitys)	C1– C2
sarjakäämitys	D1– D2
vierasmagnetointikäämitys	F1– F2
apukäämitys (vierasmagnetointi)	H1– H2
sivuvirtakäämitys	E1– E2

Kuvassa 17.2d on esimerkki tasasähkökoneen kytkennästä liitinmerkintöineen.

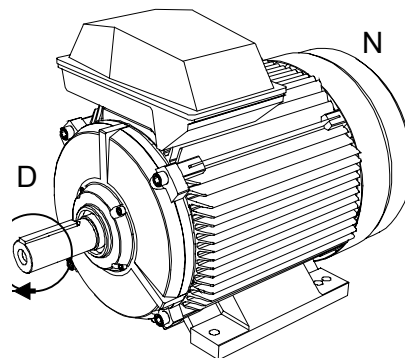


KUVA 17.2d. Esimerkki tasasähkökoneen kytkennästä liitinmerkintöineen.

Pyörimissuunta

Standardin IEC 60034 - 7 mukaan määritellään sähkökoneen päät kirjaimilla D (Drive end) ja N (Non-drive end), katso kuvaa 17.2e.

Akselin pyörimissuunta on joko myötäpäivään tai vastapäivään sähkökoneen D-pästä katsottuna.



KUVA 17.2e. Sähkökoneen päiden määrittelykirjaimet.

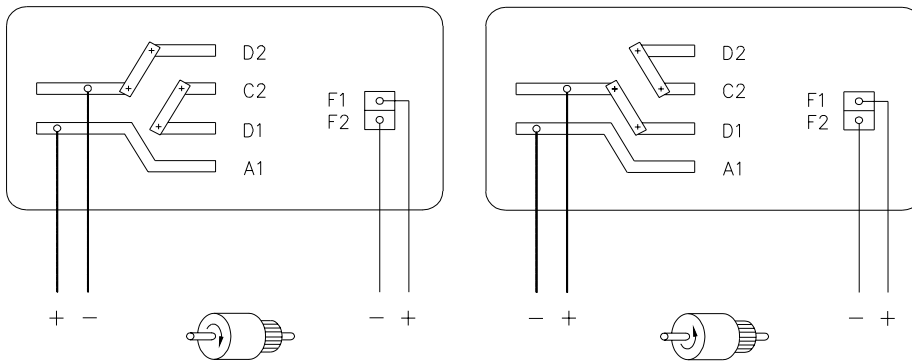
Kolmivaiheisten vaihtosähkökoneiden sisäinen kytkentä on tehty siten, että kun verkon vaiheet L 1, L 2 ja L 3 kytketään tässä järjestyksessä liittimiin U, V ja W, niin akselin pyörimissuunta on myötäpäivään. Tämä sääntö pätee myös siinä tapauksessa, että kone rakenteellisista syistä voi pyöriä ainoastaan vastapäivään. Pyörimissuuntaa muutetaan vaihtamalla kahden vaihejohtimen päät keskenään.

Tasasähkökoneille ei voida antaa yhtä yksinkertaisia sääntöjä. Tärkeimmät säännöt ovat seuraavat:

- Magnetoimiskäämitykset vaikuttavat samaan suuntaan, kun virta kulkee eri käämityksissä samassa numerojärjestyksessä liitinmerkintöjen viimeisten numeroiden mukaan, esim. F 1 - F 2 ja D 1 - D 2 tai F 2 - F 1 ja D 2 - D 1
- Moottorina toimiva tasasähkökone pyörii myötäpäivään, kun virta kulkee ankkurikäämityksessä ja hallitsevassa magnetointikäämityksessä samassa (suurenevassa tai pienenevässä) numerojärjestyksessä.
- Tasasähkömoottorin pyörimissuunta vaihdetaan kääntämällä virran suunta joko ankkurikäämityksessä tai hallitsevassa magnetointikäämityksessä.

- Pyörimissuuntaa vaihdettaessa on kiinnitettävä huomiota erikoisesti kompondi- ja apukäämitysten kytkentään, jotta mm. magnetointikäämitysten keskinäinen vaikutus tulee oikeaksi ja kone toimii halutulla tavalla.

Kuvassa 17.2f on esimerkki tasasähkökoneen liittämisestä verkkoon.



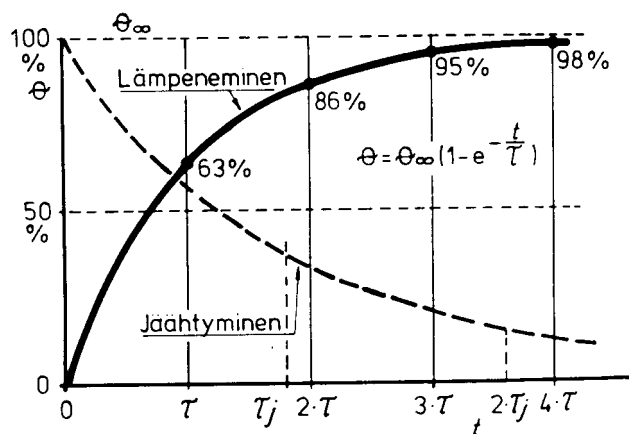
KUVA 17.2f. Esimerkki tasasähkökoneen liittämisestä verkkoon. Kone on sama kuin kuvassa 17.2d.

Pyörimissuunnan vaihtaminen vaatii kompondikäämityksen kytkennän muutoksen. Kone toimii myötakompondoituna moottorina tai vastakompondoituna generaattorina.

17.3. Relesuojaus ja valvontalaitteet

Lämpöaikavakio

Yksinkertaisimmassa tapauksessa sähköjohtimen tai käämityksen lämpeneminen noudattaa eksponenttilakia, kuva 17.3a. Lämpenemiskäyrän kulun määrää lämpöaikavakio τ , jonka kuluttua johtimen lämpenemä on saavuttanut 63 % loppuarvostaan. Kun aikaa on kulunut $4 \cdot \tau$ verran, voidaan katsoa loppulämpenemä θ_{∞} saavutetuksi. Mitä suurempi on lämmitettävä massa ja mitä huonompi jäähdytys, sitä pidempi on aikavakio.



KUVA 17.3a. Sähköjohtimen tai käämityksen lämpeneminen ja jäähdyminen.

τ = lämpenemisaikavakio ja

τ_j = jäähdytisaikavakio.

Loppulämpenemä θ_{∞} on likimain verrannollinen johtimessa kulkevan virran neliöön. Virran suuruus ei sen sijaan vaikuta aikavakioon.

Jäähtyminen käyttölämpimästä tilasta tapahtuu vastaavalla tavalla, mutta aikavakio saattaa nyt olla toinen kuin käämityksen tai kaapelin lämmitessä. Esim. tuuletuksen pysähtyminen aiheuttaa aikavakion moninkertaistumisen.

Taulukko 17.3a. Pyörivien sähkökoneiden lämpenemisvakiota

Konelaji (teho yli 100 kW)	Lämpene- misaikavakio τ / min
Suljettu rakenne	50 . . . 150
Avoim rakenne tai lämmönvaihdin	40 . . . 100
Pienet avoimet koneet	20 . . . 60

Huom. Pidemmät aikavakiot liittyvät hitaampiin koneisiin.

Ylivirtasuojaus

Pyörivän sähkökoneen ylivirta- ja oikokulkusuojaus toteutetaan tavallisesti seuraavilla yhdistelmillä:

- lämpöreleellä varustettu moottorinsuojakytin + sulakkeet, kun on kyseessä pieni moottori ja käsin tapahtuva paikallisohjaus,
- lämpöreleellä varustettu kontaktori + sulakkeet suuremmalle moottorille ja aina, kun tarvitaan automatiikkaa tai kauko-ohjausta ja
- lämpöreleellä ja hetkellisellä ylivirtareleellä varustettu katkaisija, kun on kyseessä suuri pienjännitekone tai suurjännitekone.

Ylivirtasuojauksesta huolehtii näissä kaikissa yhdistelmissä **lämpörele**.

Suurehkon sähkökoneen tarkkaan ylivirtasuojaukseen ei sulakkeiden ja tavallisen lämpöreleen yhdistelmä aina riitä, varsinkin jos käynnistys- tai käyntiolosuhteet ovat vaikeat. Tällaisiin tapauksiin tarjoaa tehokkaamman suojan erityinen **moottorinsuojarele**. Taajuusmuuttujakäytöissä ja pehmokäynnistimissä käytetään tarkoitukseen suunniteltuja suojalaitteita.

Pyörivän koneen erityissuojat

Edellä selostettua suojausta voidaan koneen laadun ja käytön mukaan edelleen täydentää. Niinpä on olemassa käynnistymisen, tahtikoneen epätahtikäynnin, takatehon, vinokuormituksen, maasulun, eristystilan ja tahtikoneen magnetoinnin valvontalaitteita. Mitä suurempi kone ja tärkeämpi käyttö on kysymyksessä, sitä monipuolisempi valvonta on tarpeen.

Ellei moottori käynnistettäessä lähde pyörimään tai kun käynnissä oleva moottori äkkiä pysähtyy, sen sanotaan joutuneen **jumitilaan**. Jumitila aiheutuu tavallisesti työkoneen laakerivaurioista tai kiinnijuuttumisesta. Juuttuminen on yleinen häiriö esim. kuljettimissa ja hakuissa. Häiriötilassa moottorin häkkikäänitys saattaa helposti vaurioitua. Jumitilan ja epänormaalin pitkän käynnistymisen varalta oikosulku- ja tahtimoottori suojataan vakioaikaylivirtareleillä. Releen virta-asettelu on tavallisesti 2...3 x nimellisvirta. Aika-asettelu valitaan 10...20 % pidemmäksi kuin todellinen käynnistysaika. Toinen tarkempi tapa käynnistymisen valvontaan on käyttää erityistä käynnistysenvalvojaa ($I \frac{2}{5} t_s$). Tällöin alijännitteen vaikutus käynnistysaikaan tulee automaattisesti otetuksi huomioon.

Tahtigeneraattorin **epäsymmetrinen kuormittaminen** aiheuttaa roottorin ylimääräistä lämpenemistä. Tietty, konelajista riippuva vinokuorma voidaan kuitenkin sallia. Mikäli suuri epäsymmetria on käytössä mahdollinen, voidaan suojana käyttää vinokuormitusrelettä.

Myös oikosulkumoottorin roottorissa syntyy ylimääräisiä häviöitä, jos syöttävä verkko on epäsymmetrinen. Jo 10 % jännite-erot saattavat, koneesta riippuen, tehdä vinokuormitusreleen käytön tarpeelliseksi. Tahtimoottori tai -generaattori voi joutua **epätahtikäyntiin** esim. verkkohäiriön, säätöhäiriön, magnetointihäiriön tai kuormitushäiriön johdosta.

Epätahtitilan toteamiseen voidaan tapauksesta riippuen käyttää:

- ylivirtarelettä
- takatehorelettä
- loistetehtorelettä tai
- magnetoimispiirissä olevaa erikoisrelettä.

Releet irrottavat koneen verkosta, jolloin mm. suurjännitekoneen magnetoinnin heikennys tai katkaisu voi olla tarpeen.

Moottorin pudotessa tahdista se alkaa ottaa loistehoa verkosta. Tämän havaitsee loistehorele. Sopivan viiveen avulla annetaan moottorille mahdollisuus uudelleen tahdistumiseen. Ellei tahdistuminen onnistu, rele ohjaa moottorin irti verkosta. Tahtimoottorin tehosta riippuen sen magnetointivirtapiirissä voi olla elin, joka tuntee tahdista putoamisen yhteydessä roottoriin indusoituvan vaihtojännitteen.

Takatehosuojaus on tarpeen tahtigeneraattorille, joka voimakoneen häiriötilan vuoksi mahdollisesti alkaa käydä verkon syöttämänä moottorina. Tällainen käynti saattaa vahingoittaa voimakonetta.

Ylijännitereleet ovat tarpeen omaa verkkoaan yksin syöttävälle generaattorille, mikäli verkossa on laitteita, jotka ovat arkoja poikkeaville jännitteille.

Sekä oikosulku- että tahtimoottorille saattaa olla tärkeätä, ettei niitä voi käynnistää tai käyttää **alijännitteellä**. Käynnistys saattaa esim. suuren vastamomentin vuoksi "katketa kesken" tai kone jää muuten pyörimään suurella jättämällä.

Eristyksen valvonta

Jos pyörivä sähkökone on liitetty maasta erotettuun verkkoon, verkon **maasulkusuojaus** valvoo myös koneen staattorin eristystilaa. Maasulun paikka on erikseen selvitettävä. Tahdikoneen roottori on aina maasta erotettu ja saattaa tästä syystä tarvita maasulkureleen. Suuren sähkökoneen käämitysten valvontaan käytetään usein **differentiaalireleitä**. Releet toimivat, jos käämitykseen syntyy oikosulkuja.

Lämpötilan valvonta

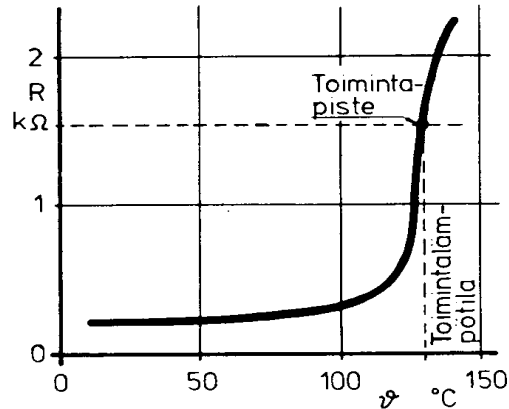
Lämpökytkimet ovat bimetalliliuskan taipumiseen perustuvia napin kokoisia, moottorin käämitykseen tavallisesti valmistuksen yhteydessä sijoitettavia kytkimiä. Ne avautuvat kulloinkin lajille ominaisessa lämpötilassa ja sulkeutuvat hiukan jäähtyttyään. Lämpökytkimiä käytetään tavallisesti vain alle 10 kW moottoreissa.

Yksivaihemoottorien lämpökytkimet liitetään usein sarjaan päävirtapiiriin. Jos laukaisun jälkeen lämpötilan laskiessa tapahtuva moottorin uudelleen käynnistyminen voi aiheuttaa vaaraa, sen estämiseksi on käytettävä kontaktoria. Kolmivaihemoottorin käämitykseen sijoitetut lämpökytkimet kytketään sarjaan kontaktorin ohjauspiiriin.

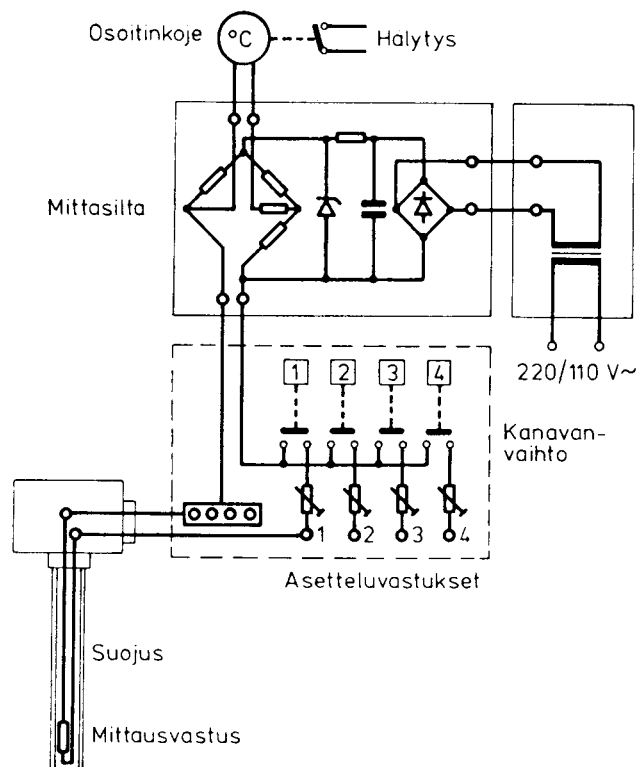
Koneiden käämitysten lämpösuojausta voidaan parantaa varustamalla ne termistorisuojiin. Näin voidaan varmistaa, ettei käämityksen lämpötila nouse liiaksi esim. jäädytyksen huononemisen vuoksi. Tähän tarkoitukseen käytetään PTC-termistoreita. Ne ovat 3...6 mm läpimittaisia puoli johdehelmiä, joiden vastus riippuu lämpötilasta kuvan 17.3c osoittamalla tavalla. Ne sijoitetaan koneen käämitykseen tavallisesti jo käämimisen yhteydessä, useimmiten vyyhdenpäiden sisään eristettyinä. Kun termistori saavuttaa toimintalämpötilansa, sen vastus kasvaa moninkertaiseksi. Vastuksen kasvun tuntee termistoriin liitetty ja sopivaan paikkaan koneen ulkopuolelle sijoitettu ohjauslaite.

Termistoreja on saatavana useita eri toimintälämpötiloja varten. Koneen valmistaja valitsee näistä sopivan sen mukaan, mikä on käämityksen eristysluokka ja onko suojaus tarkoitettu hälytystä vai laukaisua varten. Mikäli halutaan molemmat, kumpaakin varten on varattava omat termistorinsa ja ohjauslaitteensa. Valittuja toimintälämpötiloja ei voida jäljestä päin muuttaa.

Kolmivaihekoneen käämitykseen sijoitetaan tavallisesti kolme termistoria, yksi kuhunkin vaiheeseen. Termistorien liitäntäjohtimet tuodaan tarkoitusta varten varattuun erilliseen riviliitimeen. Ohjauslaite sisältää syöttövirtalähteen, releen ja useimmiten myös merkkilampun. Laite toimii lepovirtaperiaatteella. Jos jonkun termistorin vastus äkkiä kasvaa tai virtapiiri katkeaa, rele suorittaa hälytyksen tai laukaisun.



KUVA 17.3b. Termistorin ominaiskäyrä (esimerkki).



KUVA 17.3c. Vastuslämpömittari.

Termistorin kunto voidaan todeta mittaamalla vastus ohmimittarilla tai sillalla, jonka syöttöjännite on enintään $1,5 V$ mitattavaa sarjakytkettyä termistoria kohti. Lukeman tulisi huoneen lämpötilassa olla $20...250 \Omega$ kolmivaihekoneessa. Termistorien eristyskoe käämitykseen ja runkoon nähden voidaan useimmiten tehdä $1000 V$ vaihtojännitteellä.

Termistoreja käytetään tavallisesti pienjännitekoneiden käämitysten suojaamiseen. Suurjännitekäämityksissä käytetään termistorien sijasta useimmiten vastuslämpömittaria.

Vastuslämpömittarit rakentuvat mittausvastuksista, niiden suojuksista, kytkentäjohtimista ja mittauskojeesta, johon voi liittyä valvonta- ja ohjauslaite; kuva 17.3d. Mittausvastukset ovat yleensä ohuesta platinalangasta valmistettuja ja nimellisarvoltaan 100 Ω , mistä nimitys "Pt 100". Sähkökoneen uriin sijoitettavat mittausvastukset on rakennettu ohuen eristeliuskan sisään. Metallisuojaukseen sijoitettu vastus voidaan asentaa laakeriin, ilmakehään tai jäähdytysvesiputkeen. Mittausvastusten kytkentäjohtimet tuodaan erilliselle liittimelle. Vastusten kunto voidaan tarkistaa ohmimittarilla tai sillalla, jonka syöttöjännite on enintään 1,5 V. Vastusten eristysrunkoon nähden sietää yleensä enintään 250 V jännitteen. Yksinkertaisin mittauskoje on osoittava ohmimittari, johon on laadittu lämpötila-asteikko ja joka on varustettu vaihtokytkimellä usean mittausvastuksen lämpötilan tarkkailua varten. Täydellisessä järjestelmässä kuten esim. valvonta- ja hälytysjärjestelmässä, jokaisella mittauspisteellä on oma valvontalaitteensa, jossa hälytys- ja laukaisulämpötilat ovat erikseen aseteltavissa. Järjestelmään voi lisäksi kuulua piirturi- ja tietokone-liitäntä.

Vastuslämpömittareita käytetään tavallisesti suurjännitekoneissa, joskus pienjännitteisissä laivageneraattoreissa. Vastuslämpömittarin osoitus jää usein hieman johtimen lämpötilaa alemmaksi, mikä on otettava huomioon mittarinlukemia tulkittaessa ja hälytys- sekä laukaisulämpötiloja aseteltaessa.

Mekaanisen toiminnan valvonta

Edellä selostetut moottorien ja generaattorien suojalaitteet toimivat usein vasta, kun vaurio on jo alkamassa. Suurten koneiden korjaukset ja käyttökeskeytykset tulevat kalliiksi ja siksi niihin kannattaa asentaa valvontalaitteita, jotka tuntevat jo vaurion oireen. Näiden laitteiden avulla valvotaan mm. jäähdytystä, voiteluaineen saantia ja vierintälaakerien kulumista.

Erillisiä tuulettimia käytettäessä varmistetaan, että pääkone voidaan käynnistää ja se voi käydä vain kun tuulettimet ovat jo toiminnassa. Tuuletusilman saanti voi vähentyä esimerkiksi suodattimien tukkeutuessa. **Jäähdytyksen huononemista** voidaan välttää valvomalla suodattimien painehäviöitä tai jäähdytysilman lämpötilaa koneen sisällä. **Vedenvirtaushälytintä** käytetään jäähdytysveden saannin varmistamiseen.

Kiertovoitelulla varustettujen liukulaakerien **voitelujärjestelmien** valvontalaitteistoon voi kuulua painemittari sekä laakerimetallin ja öljyn lämpötilanmittaus. Jos kaikkia näitä suureita valvotaan, on todennäköistä, että järjestelmässä ilmenevät häiriöt voidaan havaita ajoissa.

Vierintälaakerien kulumista valvotaan parhaiten pulssimittauksen avulla. Useimpiin suuriin moottoreihin ja generaattoreihin asennetaan valmistuksen yhteydessä tätä varten erikoisnipat. Niihin voidaan liittää joko kannettava SPM-mittari määräaikaistarkastuksia varten tai kiinteä mittalaitteisto jatkuvaan valvontaan. Tieto laakerivaurion lähentymisestä saadaan niin varhain, että laakerin vaihto voidaan järjestää sopivana ajankohtana.

Pyörimisnopeusvahtia käytetään varmistamaan, että kone todella on käynnistynyt. Sen avulla voidaan myös ohjata koneen jarrutusta. Täydellisempi pyörimisnopeuden valvonta vaatii takogeneraattorin.

17.4. Käyttötavat

Sähkökoneen nimelliskäyttötavat merkitään S1, S2, S3...S10 standardin IEC 60034-1 mukaan. Seuraavassa esitetään käyttämämme IEC-standardiin pohjautuva sovellus nimellis-käyttötavoista ja niiden leimauksesta.

S1 Jatkuva käyttö

Kone toimii vakiokuormituksella niin pitkän ajan, että loppulämpötila savutetaan.

Leimaus: S1

S2 Lyhytaikainen käyttö

Kone toimii vakiokuormituksella määrätyn, niin lyhyen ajan, että loppulämpötilaa ei saavuteta. Jokaista toiminta-aikaa edeltää niin pitkä tauko, että kone saavuttaa ympäröivän ilman tai muun jäähdytysaineen lämpötilan.

Suosittelaaan käyttöaikoja 10, 30, 60 ja 90 min.

Leimaus esim. S2 60 min.

S3 Jaksollinen ajoittaiskäyttö

Käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella sekä seisonta-aika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Käynnistykset eivät sanottavasti vaikuta lämpenemiseen.

Ajoittaiskäyttökerroin on 15, 25, 40 tai 60 %. Jakson pituus on 10 min.

Leimaus esim. S3 25 %.

S4 Jaksollinen käynnistyskäyttö

Käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika, toiminta-aika vakiokuormituksella sekä seisonta-aika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana.

Tässä käytössä moottori pysähtyy luonnollisella tavalla hidastuen tai mekaanisella jarrulla jarruttaen, jolloin moottori ei rasitu termisesti.

Leimauksessa on käyttötavan jälkeen ilmoitettava ajoittaiskäyttökerroin, jaksojen lukumäärä tunnissa (c/h), moottorin roottorin hitausmomentti J_M , moottorin nimellinopeudelle redusoitu kuorman hitausmomentti J_{ext} ja sallittu keskimääräinen nopeuden muutoksen aikana esiintyvä vastamomentti T_v nimellismomentin avulla ilmoitettuna.

Leimaus esim. S4 - 25 % - 120 c/h - $J_M = 0,1 \text{ kgm}^2$ - $J_{ext} = 0,1 \text{ kgm}^2$ - $T_v = 0,5 T_N$.

S5 Jaksollinen käynnistys- ja jarrutuskäyttö

Käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika, toiminta-aika vakiokuormituksella, jarrutusaika ja seisonta-aika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana.

Tässä käytössä käytetään sähköistä jarrutusta, esim. vastavirtajarrutusta.

Leimauksessa on käyttötavan jälkeen ilmoitettava ajoittaiskäyttökerroin, jaksojen lukumäärä tunnissa c/h, moottorin hitausmomentti J_M , kuorman hitausmomentti J_{ext} ja sallittu vastamomentti T_v (katso käyttöä S4)

Leimaus esim. S5 - 40 % - 120 c/h - $J_M = 1,3 \text{ kgm}^2$ - $J_{ext} = 2,6 \text{ kgm}^2$ - $T_v = 0,3 T_N$.

S6 Pysähtymätön ajoittaiskäyttö

Käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella sekä tyhjäkäyntiaika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Ajoittaiskäyttökerroin on 15, 25, 40 tai 60 %. Jakson pituus on 10 min.

Leimaus esim. S6 40 %.

S7 Keskeytymätön käynnistys- ja jarrutuskäyttö

Käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika, toiminta-aika vakiokuormituksella sekä jarrutusaika. Jarrutus tapahtuu sähköisesti (esim. vastavirtajarrutus). Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana.

Leimauksessa on käyttötavan jälkeen ilmoitettava jaksosten lukumäärä tunnissa c/h , moottorin hitausmomentti J_M , kuorman hitausmomentti J_{ext} ja sallittu vastamomentti T_v (katso käyttöä S4).

Leimaus esim. S7 - 500 c/h - $J_M = 0,08 \text{ kgm}^2$ - $J_{ext} = 0,08 \text{ kgm}^2$ - $T_v = 0,3 T_N$.

S8 Pysähtymätön määräjaksollinen käyttö

Käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja. Jokaiseen jaksoon kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella määrättyllä nopeudella, jota välittömästi seuraa toiminta-aika toisella nopeudella ja toisella vakiokuormituksella. Pyörimisnopeuksia voi olla kaksi tai useampia. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana.

Tällainen käyttö tulee kysymykseen esim. napavaihtokoneilla. Leimauksessa on käyttötavan jälkeen ilmoitettava moottorin hitausmomentti J_M , kuorman hitausmomentti J_{ext} sekä jaksosten lukumäärä tunnissa c/h , sallittu vastamomentti T_v (katso käyttöä S4) ja ajoittaiskäytökerroin jokaiselle pyörimisnopeudelle.

Leimaus esim.

S8 - $J_M = 2,2 \text{ kgm}^2$ - $J_{ext} = 40 \text{ kgm}^2$

30 c/h - $T_v = T_N$ - 24 kW - 740 r/min - 30 %

30 c/h - $T_v = 0,5 T_N$ - 60 kW - 1460 r/min - 30 %

30 c/h - $T_v = 0,5 T_N$ - 45 kW - 980 r/min - 40 %

Kuormitus- pyörimisnopeusyhdistelmät leimataan siinä järjestyksessä kuin ne esiintyvät käytössä.

S9 Käyttö vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella

Käyttö muodostuu sallitulla käyttöalueella tapahtuvista kuorman ja nopeuden vaihteluista, jotka yleensä eivät ole jaksollisia. Tämä käyttö sisältää usein tapahtuvia ylikuormituksia, jotka voivat merkittävästi ylittää nimelliskuorman. Ylikuormituksen suuruus on huomioitava moottorin nimellistehon valinnassa.

S10 Käyttö vaihtelevalla vakiokuormalla

Käyttöjakso muodostuu enintään neljästä osajaksosta erisuurella vakiokuormalla. Käyttöaika kullakin vakiokuormalla on niin pitkä, että loppulämpötila saavutetaan.

17.5. Jäähdytys ja kotelointi

Sähkökoneiden koteloitiluokat määritellään standardissa IEC 60034-5. Jäähdytysmenetelmät määrittelee IEC 60034-6.

Koteloitiluokka riippuu valitusta jäähdytystavasta ja päinvastoin. Jos esimerkiksi koteloitiluokka on IP 44, se merkitsee kohtalaisen hyvää mekaanista ja vesisuojausta. Jäähdytysmenetelmä IC 01 ei sovi yhteen koteloitiluokan IP 44 kanssa, koska IC 01 edellyttää avointa konetta. Yhteensopivat yhdistelmät voidaan löytää tutkimalla samanaikaisesti edellä mainittuja standardeja (IC ja IP)

Jäähdytyksen IC-luokitus

IEC-standardi 60034-6 sisältää merkintäjärjestelmän, jolla esitetään sähkökoneiden jäähdytystavat. Lisäksi se esittää yksinkertaistetun merkintäjärjestelmän. Taulukossa 17.5a on esitetty sähkökoneiden tavallisimmat IC-luokat.

Standardin toinen laitos IEC 60034-6 (1991) eroaa huomattavasti ensimmäisestä laitoksesta IEC 60034-6 (1969).

Koneiden jäähdytys ja eristysluokat

Jokaisella koneella on sille ominainen hyötysuhde. Koneen ottamasta tehosta muuttuu siis osa lämpöenergiaksi, mikä poistetaan konetta jäähdyttämällä. Pienehkössä (alle 1...2 MW) koneissa jäähdytysaineena on useimmiten ilma ja suuremmissa vesi. Seuraavan yhtälön avulla voidaan arvioida koneiden jäähdytysilman tarve (ilman lämpötilan nousu 9...22°C).

$$q = (0,1...0,04) \cdot P_H ,$$

jossa q = ilmamäärä [m³/s]
 P_H = häviöteho [kW]

Jos jäähdytysaineena on vesi, on yhtälö sama kuin edellä, mutta

$$q = \text{vesimäärä [m}^3/\text{h]}$$

Oikosulkumoottoreita valmistetaan nykyään noin 1000 kW saakka ripajäähdytteisinä IC 411 (IP 54 tai IP 55). Tämä suljettu rakenne takaa suuren käyttövarmuuden erilaisissa käyttöolosuhteissa. Kotelointi IP 23S sopii käytettäväksi olosuhteissa, joissa ei esiinny pölyä tai roiskeveettä.

Jos sähkökone sijoitetaan tilaan, jossa saattaa esiintyä syövyttäviä kaasuja, pölyä tai muita epäpuhtauksia tai korkeita ympäristön lämpötiloja, on eduksi liittää se ilmakehään, josta saadaan puhdasta ja viileää jäähdytysilmaa. Tällöin on huomattava, ettei koneen oman tuulettimen mitoituksessa ulkopuolista virtausvastusta normaalisti ole otettu huomioon. Tämän virtausvastuksen voittamiseksi tarvitaan ulkopuolinen tuuletin, mikäli ilmavirtaus muuten aleni enemmän kuin 10 %.

Sähkökoneet mitoitetaan aina johonkin eristysluokkaan, jolle on määritelty käämitykselle korkein sallittu keskilämpötila ja kuumimman mitattavissa olevan pisteen lämpötila. Esimerkiksi erityisluokan B korkein sallittu keskilämpötila on taulukon 17.5b mukaisesti 120°C ja kuumimman pisteen lämpötila 130°C.

Käämityksen eristeet valitaan siten, että niillä saavutetaan tietyssä eristysluokassa kohtuullinen elinikä. Mikäli sähkökone joutuu toimimaan liian kuumana esim. ylikuormituksen tai jäähdytyksen heikkenemisen johdosta, sen eristyksen elinikä lyhenee jyrkästi (puoleen aina 8...10°C lämpötilan nousua kohti).

Taulukko 17.5a. Sähkökoneiden tavallisimmat IC-luokat, IEC 60034-6 (1991).

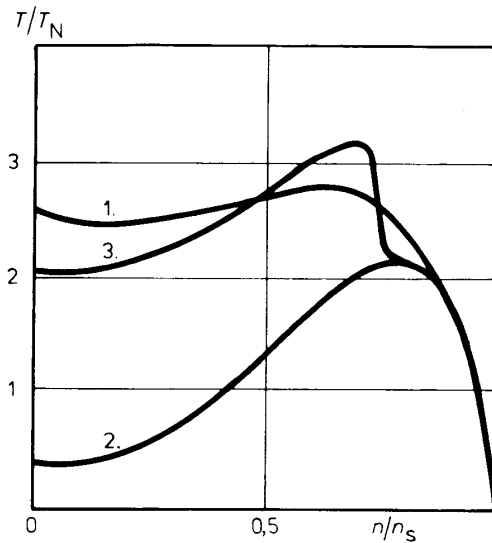
Merkintä	Määritelmän epävirallinen suomennos
IC 00	Konetta ympäröivä ilma jäähdyttää koneen sisäosat. Roottorin tuuletusvaikutus on merkityksetön. Jäähdytysaineen liike johtuu lämpötilaeroista.
IC 01	Kuten IC 00, paitsi että akselille tai roottoriin asennettu tuuletin saa aikaan ilman virtauksen.
IC 06	Jäähdytysmenetelmä on sama kuin kohdassa IC 01, mutta jäähdytysaineen virtaus saadaan aikaan koneeseen asennetulla tuulettimella, jonka toiminta on riippumaton pääkoneen pyörimisnopeudesta.
IC 11	Koneeseen kanavan kautta tuleva ilma poistuu vapaasti koneen ympäristöön. Ilmanvirtaus saadaan aikaan tuulettimella, joka on asennettu akselille tai roottoriin.
IC 31	Tuleva ja lähtevä ilma virtaa kanavien kautta. Virtauksen aiheuttava tuuletin on kiinnitetty akselille tai roottoriin.
IC 411	Suljettu, sisäinen ilman virtaus ja vaippajäähdytys koneen akselille asennettujen tuulettimien avulla
IC 511	Suljettu, sisäinen ilman virtaus. Lämpö johdetaan koneen sisään rakennetun ilma-ilma-lämmönvaihtimen kautta (tavallisesti ns. putkijäähdytin) ulkopuoliseen ilmaan, jonka virtaus saadaan aikaan akselille asennetulla tuulettimella
IC 611	Kuten IC 511, mutta lämmönvaihdin on kiinnitetty koneeseen sen ulkopuolelle
IC 7A1 W7	Suljettu, sisäinen jäähdytysaineen virtaus. Sisäisen ilmankierron saa aikaan pääkoneen pyörimisnopeudesta riippuva tuuletin. Lämpö johdetaan koneen sisään rakennetun vesi-ilma-lämmönvaihtimen kautta jäähdytysveteen, jonka virtaus saadaan aikaan joko verkkopaineen tai apupumpun avulla
IC 8A1 W7	Kuten IC 7A1 W7, mutta lämmönvaihdin on kiinnitetty koneeseen sen ulkopuolelle.

Taulukko 17.5b. Sähkökoneiden eristysluokat IEC 60034-1 mukaan, tavallisin tapaus.

Määritelmät		Eristysluokka		
		B	F	H
Sallittu "kuumimman pisteen" lämpötila	°C	130	155	180
Sallittu vastusmittauksen avulla määritetty käämityksen lämpötila	°C	120	145	165
Sallittu käämityksen lämpenemä, kun ympäristön korkein lyhytaikainen lämpötila on + 40 °C	°C	80	105	125

17.6. Oikosulkumoottorit

Lukumäärältään suurimman sähkökoneryhmän muodostavat oikosulkumoottorit. Niitä valmistetaan kolmi- ja yksivaiheisina.



KUVA 17.6a. Kuvassa on kaavamaisesti esitetty muutamien pienien, $n = 1500$ r/min moottorien momenttikäyrät.

1. kolmivaiheinen oikosulkumoottori,
2. käyntikondensaattorimoottori ja
3. kaksikondensaattorimoottori.

Yksivaiheiset oikosulkumoottorit

Yksivaiheisessa oikosulkumoottorissa on pääkäämin lisäksi käynnistysapukäämi, jonka kanssa kondensaattori on kytketty sarjaan. Edellisessä kuvassa 17.6a on esitetty erityyppisten oikosulkumoottoreiden tyypilliset momenttikäyrät. Käyntikondensaattorimoottorissa kondensaattori ja apukäämi ovat myös koneen käydessä verkkoon kytkettyjä. Kaksikondensaattorimoottoreissa on suuremman lähtömomentin aikaansaamiseksi kaksi kondensaattoria, joista toinen on pysyvästi kytketty ja toinen erotetaan käynnistytyn jälkeen automaattisesti releellä.

Kolmivaiheiset oikosulkumoottorit

Taulukko 17.6a. Normaalien kolmivaiheisten, täysin suljettujen oikosulkumoottoreiden likimääräisiä arvoja, jännite 400 V ja taajuus 50 Hz.

Käyntiarvot			Käynnistymisarvot	
Moottorin teho [kW]	Nimellisvirta [A] kun $n = 3000 \dots 750$ /min	1/1 kuorman tehokerroin ($\cos \varphi$) kun $n = 3000 \dots 750$ /min	Käynnistymisvirta [A]	Käynnistymisaika [s] ilman ulkoista kuormaa ja hitausmassaa, kun $n = 3000 \dots 750$ /min
0,25	0,74... 1,15	0,74...0,55	3,5	0,06
0,37	1,0 ... 1,65	0,80...0,56	4,4	0,04... 0,03
0,55	1,5 ... 2,4	0,80...0,57	7,3	0,04... 0,04
0,75	1,8 ... 3,0	0,82...0,57	9,7	0,04... 0,05
1,1	2,5 ... 3,5	0,85...0,64	15	0,04... 0,06
1,5	3,3 ... 4,5	0,85...0,65	22	0,04... 0,06
2,2	4,6 ... 6,0	0,86...0,67	32	0,04... 0,06
3,0	6,0 ... 8,0	0,88...0,68	45	0,08... 0,06
4,0	8,3 ...10,5	0,88...0,69	63	0,08... 0,06
5,5	11,0 ...14	0,88...0,70	82	0,10... 0,06
7,5	15,0 ...18	0,89...0,70	115	0,10... 0,07
11	21,5 ...27	0,89...0,73	160	0,15... 0,10
15	28,5... 35	0,89...0,73	220	0,15... 0,10
18,5	32 ... 40	0,90...0,75	250	0,18... 0,12
22	37 ... 50	0,89...0,75	310	0,2 ... 0,15
30	53 ... 67	0,89...0,75	410	0,3 ... 0,15
37	64 ... 78	0,89...0,76	520	0,3 ... 0,15
45	80 ... 90	0,88...0,78	640	0,3 ... 0,15
55	95... 105	0,89...0,80	740	0,3 ... 0,15
75	135... 145	0,88...0,82	1030	0,4 ... 0,15
90	152... 170	0,90...0,82	1240	0,6 ... 0,20
110	200... 210	0,86...0,83	1500	0,6 ... 0,20
132	230... 260	0,88...0,80	1830	0,8 ... 0,20
160	270... 310	0,89...0,80	2040	0,8...
200	335... 400	0,89...0,77	2630	0,8...
250	410... 470	0,90...0,80	3380	1,0...
315	510... 610	0,92...0,79	4200	1,0...
400	660... 710	0,92...0,79	5100	1,0...

Kontaktorin ja katkaisijan valintaan vaikuttava virran transientti on noin 2,3...2,8 kertaa käynnistymisvirran tehollisarvo.

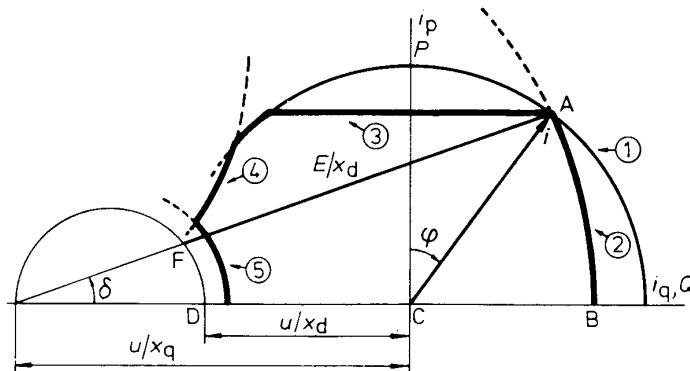
Muita nimellisjännitteitä vastaavat virran arvot lasketaan kääntäen verrannollisina jännitteeseen. Tehokerroin ja käynnistymisaika tyhjänä eivät yleensä riipu suunnittelujännitteestä.

Yli 100 kW:n tehoisilla pienjännitekoneilla voivat eri jännitteelle suunniteltujen koneiden arvot kuitenkin poiketa toisistaan.

17.7. Tahtikoneet

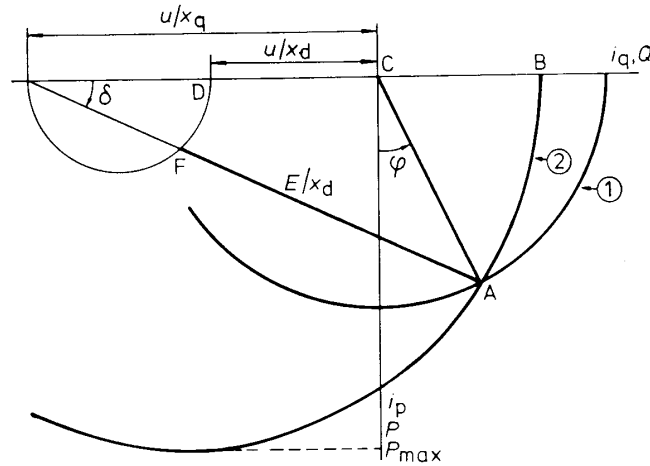
Yleistä

Tahtikoneille on ominaista, että ne pyörivät tahtikierrosluvulla (f/p ; f = taajuus, p = napapari-luku). Tahtikoneissa napapyörä on tasavirralla magnetoitu (joskus myös kestopagne-toitu). Sama tahtikone voi toimia joko generaattorina tai moottorina riippuen akselilla vai-kuttavan ulkoisen vääntömomentin suunnasta. Jokaista kuormitustilaa vastaa tietty magne-toimisvirta. Yksin käyvän generaattorin jännitettä säädetään magnetoinnilla; useimmiten kuitenkin verkko määrää tahtikoneen napajännitteen ja magnetoinnilla säädetään lähinnä tahtikoneen loistehon suuntaa ja määrää.



KUVA 17.7a. Tahtigeneraattorin osoitindiagrammi.

- A = kuormituspiste (nimellikäyttöpiste),
- B = tyhjäkäyntipiste nimellismagnetoinnilla,
- C = tyhjäkäyntipiste tyhjäkäyntimagnetoinnilla,
- D = tyhjäkäyntipiste ilman magnetointia,
- \overline{CA} = staattorivirta ($= i$),
- \overline{FA} = nimellismagnetointivirta,
- \overline{DC} = tyhjäkäyntimagnetointivirta,
- 1 = vakiostaattorivirtakäyrä, staattorin lämpenemisen asettama raja,
- 2 = vakiomagnetointikäyrä, roottorin lämpenemisen asettama raja,
- 3 = voimakoneen pätötehoraja,
- 4 = käytännön stabiilisuusraja,
- 5 = alimagnetointiraja,
- u = staattorijännite,
- P = pätöteho,
- Q = loisteho,
- I = staattorivirta (i_p = pätövirta i_q = loisvirta),
- E = tyhjäkäyntijännite nimellismagnetoinnilla,
- x_d = pitkittäinen tahtireaktanssi,
- x_q = poikittainen tahtireaktanssi,
- δ = kuormituskulma (napakulma),
- φ = tehokulma ($\cos \varphi$ = tehokerroin),
- (tehot, virrat, jännitteet ja reaktanssit suhteellisarvoja).



KUVA 17.7b. Tahtimoottorin osoitindigrammi.

P_{\max} = huipputeho nimellismagnetoinnilla.

Muut merkinnät samat kuin tahtigeneraattorin osoitindigrammissa.

Tahtikoneen maksimiteho (vääntömomentti) riippuvainen koneen mitoituksesta, verkkojännitteestä (U) ja magnetoinnista (E).

$$T_{\max} \approx k \cdot U \cdot E \approx (1,5 \dots 2,5) T_N,$$

jossa k = vakiokerroin,
 T_N = nimellismomentti.

Kun tämä teho ylitetään, kone putoaa tahdistasta. Tahdistasta putoamisen aiheuttaa verkkojännitteen ja magnetoimisvirran aleneminen tai vastamomentin kasvu.

T_{\max} on pysyvän tilan maksimimomentti. Nopeita momenttimuutoksia vastaan muodostuu tahtikoneissa noin 30...50 % edellistä suurempi hetkellinen maksimimomentti.

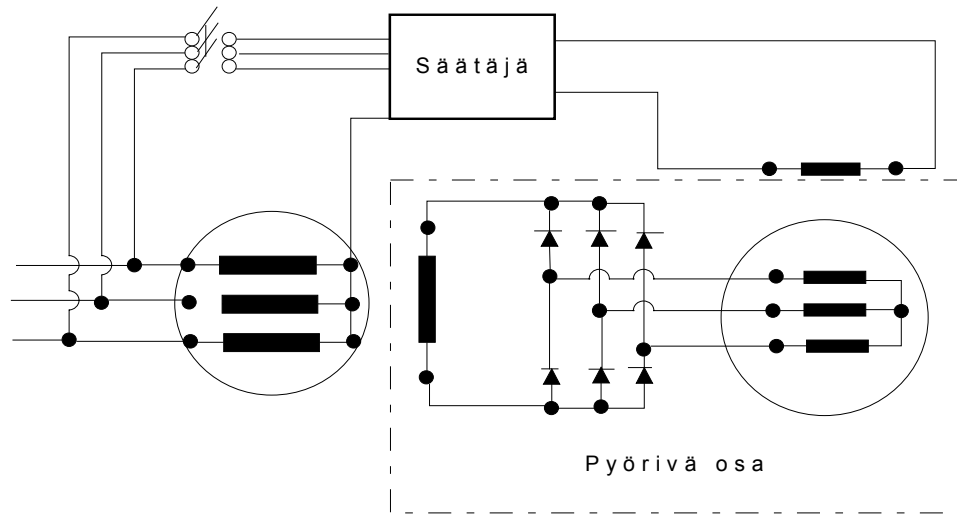
Tahtigeneraattoria käynnistettäessä sen kierrosluku yleensä nostetaan ensin voimakoneella (esim. turbiini tai diesel) aivan lähelle tahtikierroslukua (f/p) ja sitten se magnetoidaan ja tahdistetaan verkkoon. Tahdistus tapahtuu nykyisin useimmiten automatiikan avulla.

Tahtimoottorit on taas useimmiten varustettu häkkikäymyksellä tai vastaavalla rakenteella (massiivinaiset), jolloin ne käynnistetään kuten oikosulkumoottorit ja tahdistetaan magnetoiden.

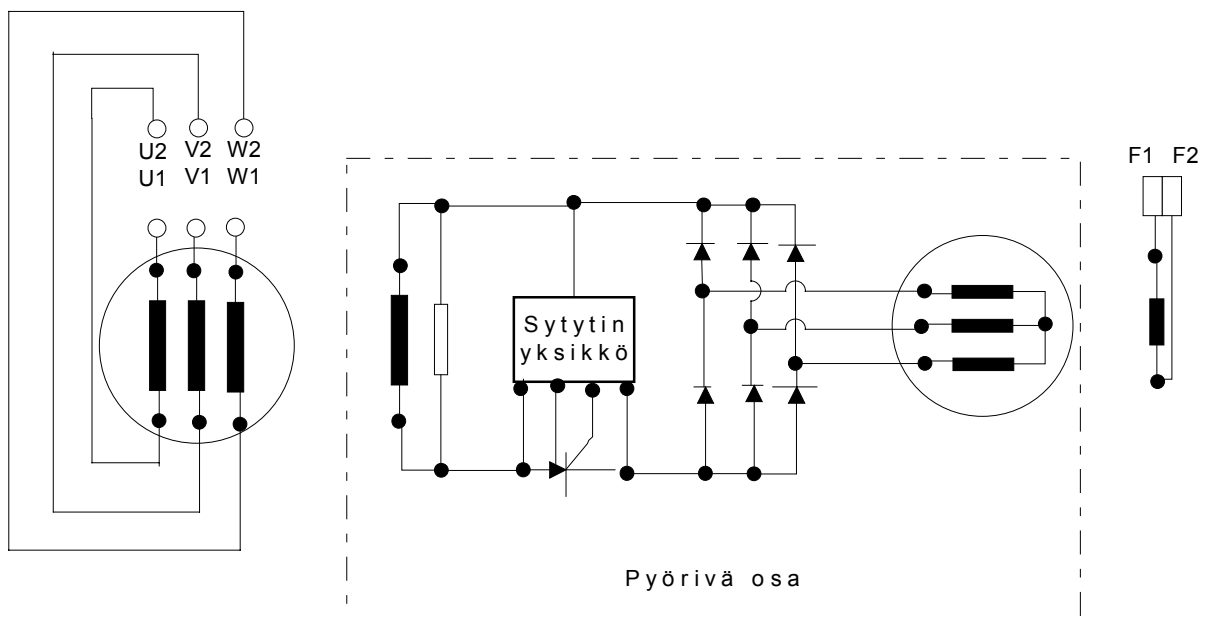
Tahtikone tarvitsee napapyörän magnetointiin tasavirran. Harjallisessa tahtikoneessa tasavirta syötetään ulkopuoliselta magnetointilaitteelta hiiliharjojen ja liukurenkaiden kautta napapyörään. Harjattoman tahtikoneen akselille on rakennettu pieni vaihtovirtageneraattori, jonka pyörivästä ankkurista saadaan diodisillan kautta magnetoimisvirta. Tämän apukoneen navat ovat kiinteät (staattorissa) ja syötettävissä suoraan ulkopuolelta ja tarvittava magnetoimisteho on pieni.

Generaattoreissa käytetään aina magnetoinnin säätölaitetta, jännitteensäätäjää. Säätäjä pitää generaattorin jännitteen asetteluarvossaan halutulla tarkkuudella riippumatta kuormituksen, lämpötilan tai taajuuden vaihteluista. Rinnankäytössä verkon tai toisten generaattoreiden kanssa säätäjä säätää reaktiivista tehoa verkon jännitteestä ja asettelustaan riippuen. Myös tahtimoottori voidaan varustaa magnetoinnin säätäjällä, joka pitää moottorin antaman loistehon tai tehokertoimen vakiona.

Harjattomat tahtikoneet



KUVA 17.7c. Harjaton tahtigeneraattori. Jännitteensäädön periaatekytkentä.



KUVA 17.7d. Harjaton tahtimoottori. Moottorin sisäinen kytkentä.

Taulukko 17.7a. Tahtikoneiden vakioita.

	Turbogeneraattori (mas- siivinen roottori)			Varsinapakoneet ⁴ (vaimen- nuskäämi)			Vaihe-kompensaattorit ⁴ (vai- mennuskäämi)			Tahtimoottori ⁴ (käynnistyskäämi)		
	alh.	kesk.	kork.	alh.	kesk.	kork.	alh.	kesk.	kork.	alh.	kesk.	kork.
Reaktanssit^{1 2}												
x_d	0,95	1,10	1,45	0,60	1,15	1,45	1,50	1,80	2,20	0,80	1,20	1,50
x_q	0,92	1,08	1,42	0,40	0,75	1,00	0,95	1,15	1,40	0,60	0,90	1,10
$x_{d'}$	0,12	0,23	0,28	0,20	0,37	0,50	0,30	0,40	0,60	0,25	0,35	0,45
$x_{q'}$	0,12	0,23	0,28	0,40	0,75	1,00	0,95	1,15	1,40	0,60	0,90	1,10
$x_{d''}$	0,07	0,12	0,17	0,13	0,24	0,35	0,18	0,25	0,38	0,20	0,30	0,40
$x_{q''}$	0,10	0,15	0,20	0,23	0,34	0,45	0,23	0,30	0,43	0,30	0,40	0,50
x_p	0,07	0,14	0,21	0,17	0,32	0,40	0,23	0,34	0,45	0,25	0,37	0,45
x_2	0,07	0,12	0,17	0,13	0,24	0,35	0,17	0,24	0,37	0,25	0,35	0,45
x_0	0,01		0,10	0,02		0,21	0,03		0,15	0,04		0,27
Resistanssit²												
r_a	0,0015		0,005	0,003		0,020	0,002		0,015			
r	0,003		0,008	0,003		0,015	0,004		0,010			
r_2	0,025		0,045	0,012		0,20	0,025		0,07			
Aikavakiot [s]												
$T_{d0'}$	2,8	5,6	9,2	1,5	5,6	9,5	6,0	9,0	11,5			
$T_{d'}$	0,40	1,1	1,8	0,5	1,8	3,3	1,2		2,8			
$T_{d''} = T_{q''}$	0,02	0,035	0,05	0,01	0,035	0,05	0,02	0,035	0,05			
T_a	0,04	0,16	0,35	0,03	0,15	0,25	0,1	0,17	0,3			

¹ Kyllästymättömiä arvoja; kyllästys pienentää reaktansseja 5...15 %

² Reaktanssit ja resistanssit suhteellisarvoina; kertomalla suhteellisarvo nimellisellä vaihejännitteellä ja jakamalla nimellisvirralla saadaan reaktanssin ja resistanssin ohmi-arvo

³ x_0 riippuu oleellisesti staattorikäimin jänteistyksestä

⁴ Ilman vaimennuskäämiä

$$x_{d''} = 0,84 \cdot x_{d'}$$

$$x_{q''} = x_{q'}$$

$$x_2 = \frac{x_{d''} + x_{q''}}{2}$$

x_d = pitkittäinen tahtireaktanssi

x_q = poikittainen tahtireaktanssi

$x_{d'}$ = pitkittäinen muutosreaktanssi poikittainen tahtireaktanssi

$x_{q'}$ = poikittainen muutosreaktanssi

$x_{d''}$ = pitkittäinen alkureaktanssi

$x_{q''}$ = poikittainen alkureaktanssi

x_2 = vastareaktanssi

x_0 = nollareaktanssi

x_p = Potierin reaktanssi

r = staattorikäimin resistanssi vaihtovirralla

r_2 = vastaresistanssi

$T_{d0'}$ = pitkittäinen avoimen piirin muutosaikavakio

$T_{d'}$ = pitkittäinen oikosuljetun piirin muutosaikavakio

$T_{d''}$ = pitkittäinen oikosuljetun piirin alkumuutosaikavakio

$T_{q''}$ = poikittainen oikosuljetunpiirin alkumuutosaikavakio

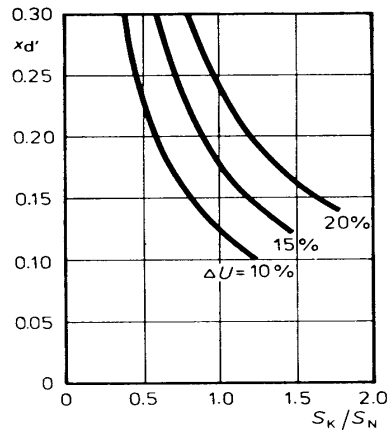
T_a = staattorikäimin oikosulku aikavakio

r_a = staattorikäimin resistanssi tasavirralla

Hitausvakio H [s]

$$H = \frac{5,48 \cdot J \cdot \left(\frac{n}{1000}\right)^2}{S_N},$$

jossa J = hitausmomentti [kg m²]
 S_N = nimellisteho [kVA]
 n = pyörimisnopeus [r/min]



KUVA 17.7e. Tahtigeneraattorin hetkellinen jännitteen alenema käynnistettäessä oikosulkumoottoria

ΔU $\hat{=}$ jännitteen hetkellinen alenema [%],

x'_d $\hat{=}$ generaattorin muutosreaktanssi [p.u.],

S_K $\hat{=}$ käynnistettävä teho [kVA] (tehokertoimella $\cos \varphi = 0,4$),

S_N $\hat{=}$ generaattorin nimellinen näennäisteho [kVA].

Likimääräinen generaattorin hetkellinen jännitteenalenema voidaan laskea yhtälöstä:

$$\Delta U \cong \frac{x'_d}{x'_d + S_N / S_K} \cdot 100 \quad \%.$$

17.8. Tasasähkökoneet

Tasasähkökoneita käytetään pääasiassa haluttaessa pyörimisnopeuden ja momentin laajaa säädettävyyttä. Moottoreiden ominaisuuksiin kuuluvat korkea hyötysuhde ja erinomainen säädettävyys. Näiden ominaisuuksien ansiosta tasavirtamoottoreita on teollisuudessa mm. paperikone-, selluloosa-, pumppu-, puhallin-, nosturi- ja kuljetinkäytössä.

Tasasähkömoottoreita syötetään 380 V, 500 V tai 660 V kolmivaiheverkkoon kytkettävällä tyristorisuuntaajalla, jolloin nimellisjännitteen arvo on vastaavasti 440 V, 600 V tai 750 V.

Tasasähkömoottorin hyötysuhde ja häviöt ovat karkean häviöjaottelun perusteella tehoalueella 10 - 1000 kW.

teho	10 kW	100 kW	1000 kW
hyötysuhde	80 %	92 %	94 %
kuormitushäviöt	15 %	5 %	4 %
tyhjäkäyntihäviöt	2 %	1,5 %	1 %
magnetoimis- ja tuuletushäviöt	3 %	1,5 %	1 %

Kuormitushäviöt pienenevät ankkurivirran pienentyessä ja tyhjäkäyntihäviöt vastaavasti pyörimisnopeuden pienentyessä.

Useimmiten tasasähkökoneet toimivat yhteen pyörimissuuntaan ja vain moottoreina. Jos täydellä pyörimisnopeudella tarvitaan täysi momentti, magnetoimisvirta pidetään vakiona. Pyörimisnopeutta ohjataan ankkurijännitteellä, johon se on likimain suoraan verrannollinen. Ankkurivirta asettuu arvoon, joka on likimain kuormitusmomenttiin verrannollinen.

Jos käytön toimiessa täydellä teholla pyörimisnopeudella tarvitaan vain osamomentti (esim. jarrugeneraattorit, nosturit), ohjataan n. 100 kW suuremmilla koneilla usein magnetoimisvirta pienemmäksi. Tällöin pyörimisnopeus kasvaa ja momentti pienenee, jos teho (ankkurivirta ja -jännite) pysyy muuttumattomana. Menettely johtaa pienempään syöttölaitteeseen kuin pelkän ankkurijänniteohjauksen käyttö.

Tasasähkömoottoria voidaan tarvittaessa jarruttaa verkkoon käyttämällä tähän tarkoitukseen toista tyristorisiltaa (esim. paperikoneet, leikkurit). Tasavirtakoneilla voidaan toteuttaa myös suunnanvaihtokäytöt (esim. valssilaitoksissa).

Tasasähkökoneet ovat yleensä vierasjäähdytteisiä, pieniä koneita lukuunottamatta. Jäähdytysil-malle voidaan kommutaattorin, harjojen ja käämitysten kannalta suositella seuraavia ominai-suuksia, joihin on kiinnitettävä sitä enemmän huomiota, mitä suuremmasta ja tärkeämmästä kon-eesta on kysymys:

- pölyttömyys (esim. rakennuspöly),
- ei syövyttäviä kaasuja (kloori, rikki jne.),
- absoluuttinen kosteus 4...15 g/m³ ilmaa (kastepistelämpötila n. -3...+16 °C) ja
- lämpötila > 10 °C.

Jos ympäristöilma täyttää riittävät vaatimukset, voidaan koneet varustaa puhaltimella. Jos vesipi-saroista on vaaraa vaikkapa pesujen yhteydessä, koneet on suojattava kanavoimalla ilma-aukot. Jäähdytysilma suodatetaan tarpeen vaatiessa. Jos sopivan jäähdytysilman saanti ei tule kysymyk-seen käytetään täysin suljettuja koneita. Alle 10 kW tehoilla ei jäähdytystä kannata tällöin tehostaa lisätoimenpiteillä. Keskisuurilla ja suurilla koneilla käytetään lämmönvaihtimella aikaansaatua te-hostettua jäähdytystä.

17.9. Tasapainotus

Täriinättömän käytön varmistamiseksi on tärkeitä, että sähkökone sekä sen akselinpähän asen-nettavat osat tasapainotetaan riittävällä tarkkuudella. Erikoisesti on huolehdittava siitä, että akse-likiiilan vaikutus huomioidaan oikein.

Sähkökone

Sähkökoneet tasapainotetaan yleensä joko puolella kiilalla tai täydellä kiilalla. Tasapainotus on dynaaminen. Tasapainotustapa merkitään akselinpähän kirjaimilla H = puoli kiilaa tai F = täysi kiila.

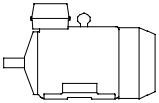
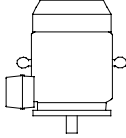
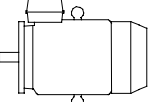
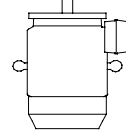
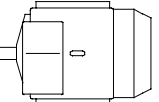
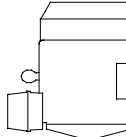
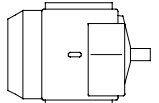
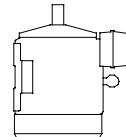
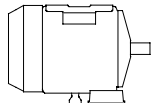
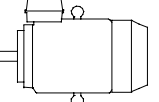
Voimansiirto

Kun sähkökone on tasapainotettu puolella kiilalla, tulee akselille asennettavat voimansiirtoelimet, esim. kytkimet ja hihnapyörät, myös tasapainottaa puolella kiilalla. Vaihtoehtoisesti ne voidaan ta-sapainottaa ennen kiilauran jyräntää. Kun sähkökone on tasapainotettu täydellä kiilalla, tulee voi-mansiirtoelimet tasapainottaa kiilauran jyräntään jälkeen ilman kiilaa.

17.10. Rakenne- ja asennuslajit

Sähkömoottorin rakenne- ja asennuslaji eli sovitelma voidaan ilmaista standardin IEC 60034-7 mukaisella sovitelmatunnuksella IM...(International Mounting). Standardissa määritellään kaksi vaihtoehtoista tunnusjärjestelmää, Code I (rajoitettu määrä sovitelmia) ja Code II (laajempi jär-jestelmä). Taulukossa 17.10a esitetään laakerikiilpikoneiden tavallisimmat IM-tunnukset.

Taulukko 17.10a. Rakenne ja asennuslajit.

Vaakasuoraan asennettavat koneet			Pystysuoraan asennettavat koneet		
Code I Code II			Code I Code II		
IM B3 IM 1001		Normaalisovitelma. Jalat on suunnattu alaspäin	IM V1 IM 3011		Laippa ja vapaa akselinpää on suunnattu alaspäin
IM B5 IM 3001		Kone kiinnitetään laipan avulla sellaiseen asentoon, että mahdolliset vesireiät ovat alaspäin	IM V3 IM 3031		Laippa ja vapaa akselinpää on suunnattu ylöspäin
IM B6 IM1051		Kone kiinnitetään kuvan osoittamalla tavalla seinään, jonka tulee olla pystysuora	IM V5 IM 1011		Kone kiinnitetään kuvan osoittamalla tavalla seinään, jonka tulee olla pystysuora
IM B7 IM 1061		Kone kiinnitetään kuvan osoittamalla tavalla seinään, jonka tulee olla pystysuora	IM V6 IM 1031		Kone kiinnitetään kuvan osoittamalla tavalla seinään, jonka tulee olla pystysuora
IM B8 IM 1071		Kone kiinnitetään kattoon			
IM B14 IM 3601		Kuten B5, mutta koneessa on DIN 42948 mukainen pieni laippa "Form C"			