



# Epätahtimoottori

## 1. Yleistä

Epätahtimoottori on yksinkertaisen rakenteensa ansiosta hyvin suosittu voimakone. Koneen toiminnan kannalta tärkeimmät osat ovat seisijan eli staattorin käämitys levypaketteineen ja pyöräjän eli roottorin käämitys levypaketteineen. Nämä muodostavat koneen sähköisen toiminnan aktiiviset osat. Epätahtimoottori on vaihtosähkömoottori, jonka roottori pyörii eri nopeudella eli epätahdissa staattorikäämityksen kehittämän pyörivän magneettikentän kanssa. Epätahtimoottorit jaetaan seuraaviin ryhmiin:

- kolmivaiheiset oikosulkumoottorit
- yksivaiheiset oikosulkumoottorit
- liukurengasmoottorit

Tässä laboratoriotyössä on tarkoituksena tutkia epätahtimoottorin käynnistys- ja jarrutustapoja sekä mittaamalla määrittää moottorin momentti- ja hyötysuhdekäyriä.

## 2. Esitehtävät

### 1. Selvitä, mikä on jättämä ja miten siitä riippuu roottoriin taajuus.

Epätahtikoneessa syöttöjännite kytketään staattorikäämeihin, joihin muodostuu pyörivä staattorikenttä. Sähkömagneettisen induktion ansiosta roottorikäämeihin muodostuu jännite joka puolestaan synnyttää roottorivirran. Roottorivirta aikaansaa roottorikentän. Staattori- ja roottorikenttien välisen magneettikenttien ansiosta syntyy sähköinen vääntömomentti ja roottori alkaa pyöriä. Roottori pyörii kuitenkin aina hitaammin kuin staattorikenttä, koska sähköinen vääntömomentti häviäisi roottorikentän saavutettua staattorikentän. Tätä roottorin pyörimisnopeuden suhdetta staattorin magneettikentän pyörimisnopeuteen kutsutaan jättämäksi. Suhteellinen jättämä voidaan laskea kaavalla:

$$(1) \quad s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad \text{missä} \quad s = \text{moottorin suhteellinen jättämä}$$

$n_s =$  tahtinopeus  
 $n =$  roottorin nopeus

Roottoriin taajuus riippuu suhteellisesta jättämästä seuraavasti:

$$(2) \quad f_r = sf \quad \text{missä} \quad f_r = \text{roottoriin taajuus}$$

$s =$  suhteellinen jättämä  
 $f =$  syöttöverkon taajuus

## 2. Kuinka suuri on roottoripiirin taajuus, kun jättämä on 2%

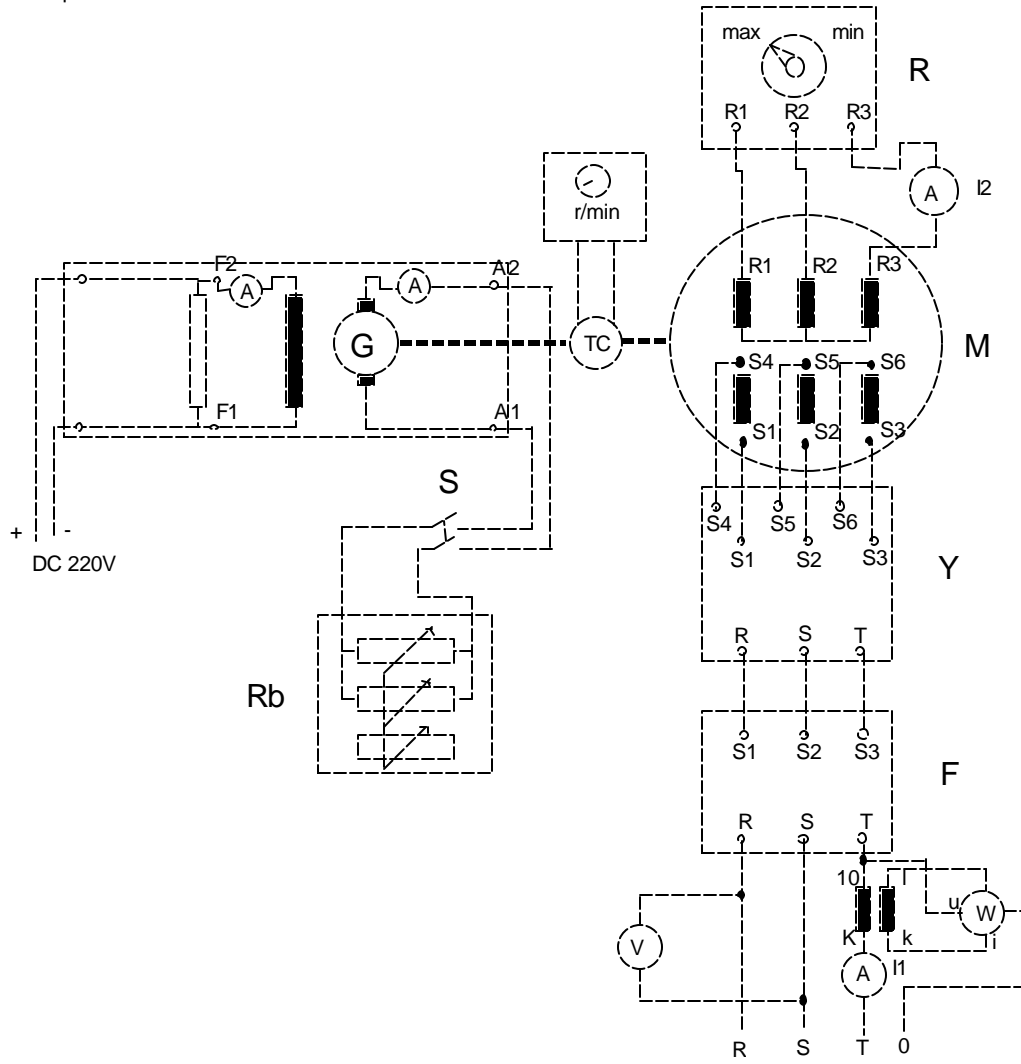
Kaavan (2) avulla voimme laskea:

$$f_r = sf = 0.02 * 50\text{Hz} = 1\text{Hz}$$

## 3. Laitteisto

Laboratoriotyössä käytetään alla olevan luettelon mukaisia laitteita. Laboratoriotyössä käytettävä mittauskytkentä on esitetty kuvassa 1.

- momenttivaaka jännitelähteineen
  - kuormitusvastus TB 40
  - epätahtimoottori MV 121
  - roottorivastus MV 131
  - V-mittari (Multiset)
  - 2 kpl A-mittareita (AVO)
  - W-mittari
  - virtamuuntaja (lk 0.2)
  - tähti-kolmiokytkin
  - suunnanvaihtokytkin, 3-napainen
  - kytkin, 2-napainen
- Moottorin tiedot:
- 3v. 50Hz
  - 1.1kW
  - 1440 r/min
  - 380V Y 2.9A
  - 220V D 5.1A



Kuva 1 Laboratoriotyössä käytettävä kytkentä

## 4. Laboratoriotyö

### 4.1 Käynnistystapojen vertailu

Oikosulkumoottorin käynnistystapoja tutkittaessa on tarkoitus vertailla, kuinka paljon tähti-kolmiokäynnistys ja liukurengasmootorin käynnistysvastus pienentävät käynnistysvirtasäystä siitä, minkä vastaava oikosulkumoottori ottaa suoraan käynnistettäessä.

Vertailu suoritetaan mittaamalla moottorin käynnistysvirrat. Jotta mittarit ehdittäisiin lukea, käynnistystilanne pidennetään estämällä koneen pyöriminen. Siksi ei voida käyttää koneen nimellisjännitettä. Mitattavat virrat ovat pienempiä kuin ne olisivat täydellä jännitteellä, mutta käynnistysvirtojen suhteet eri käynnistystapojen välillä säilyvät.

#### Suora käynnistys

Rakennetaan kuvan 1 mukainen kytkentä. Roottorivastus (R) käännetään myötäpäivään ääriasentoon, jolloin roottori on oikosuljettu. Suunnanvaihtokytkin (F) asentoon 1 ja tähti-kolmio-kytkin (Y) asentoon D. Suljetaan säädettävän vaihtojännitteen kytkin. Pidetään roottoria paikallaan käsin ja säädetään jännite hitaasti volttimittaria lukien arvoon 50V.

Moottori pyrkii pyörimään. Todetaan, mihin suuntaan akseli pyrkii pyörimään. Luetaan virta  $I_1$  ja säädetään jännite nolnaan

#### Tähti-kolmiokäynnistys

Käännetään Y/D-kytkin asentoon Y. Virran mittausta kuten edellä.

#### Liukurengasmootorin käynnistys

Käännetään roottorivastus maksimi asentoon (äärimmäisilleen vastapäivään) ja Y/D-kytkin asentoon D. Mitataan käynnistysvirta kuten edellä.

### Tulokset

Mitattujen käynnistysvirtojen arvot taulukossa 1

Taulukko 1 Käynnistysvirrat eri käynnistystavoilla

Käynnistystapa	$I_1 / A$
Suora käynnistys	7.3
Y/D-käynnistys	2.3
Liukurengasmootori	1.35

Mitattujen tulosten perusteella voidaan sanoa että suora käynnistys on tässä tapauksessa huono keino käynnistää moottori, koska käynnistysvirta kasvaa todella suureksi. Y/D-käynnistyksessä virta saadaan huomattavasti pienemmäksi. Roottorivastusten avulla liukurengasmootorin käynnistysvirta saadaan testin alhaisimmaksi.

Oikosulkumoottorin suhteellisen suuri käynnistysvirta saattaa aiheuttaa liian suuren jännitteen-aleneman sellaisissa olosuhteissa, joissa moottoria syöttävä pienjänniteverkko ja jakelumuuntaja ovat heikosti mitoitettuja. Se häiritsee myös

muita samaan johtoon liitettyjä sähkölaitteita. Samalla moottorin itsensä saama liitinjännite alenee, jolloin moottorin kehittämä vääntömomentti pienenee ja käynnistysaika pitenee. Jännitteenaleneman välttämiseksi sähkölaitokset ovat antaneet ohjeet, jolloin esimerkiksi yli 3kW:n moottorit on varustettava Y/D-käynnistimellä (Ohjeet saattavat vaihdella sähkölaitoksittain). Suurjännitemoottoreilla käytetään käynnistysvirran rajoitukseen käynnistyskuristinta- tai muuntajaa.

## 4.2 Vastakäyntijarrutus

Vastakäyntijarrutus tapahtuu kääntämällä staattorikentän pyörimissuunta suunnanvaihtokytkimen avulla roottorin pyörimissuunnalle vastakkaiseksi. Tässä koeksessa akseliin ei saa koskea. Roottorivastus ja Y/D-kytkin jätetään samoihin asentoihin edellisessä kohdassa. Suunnanvaihtokytkin käännetään asentoon, jossa moottori pyörii sen runkoon merkityn nuolen suuntaisesti. Jännite säädetään arvoon 220V. Moottori käynnistyy. Jarrutus suoritetaan kääntämällä Y/D-kytkin asentoon Y ja suunnanvaihtokytkin vastakkaiseen asentoon. Moottorin pysähtyttyä se alkaa pyöriä vastakkaiseen suuntaan. Moottori pysäytetään kääntämällä suunnanvaihtokytkin 0-asentoon. Jännite säädetään nolnaan.

### Tulokset

Moottorille suoritettiin vastakäyntijarrutuskoe. Normaalkäytössä olevia moottoreita ei pysäytetä käyttämällä tätä menetelmää, koska se on erittäin raju ja moottoria rasittava tapa pysäyttää kone. Vastavirtajarrutusta käytetään vain laboratorio-koeksissa.

## 4.3 Hyötysuhde- ja momenttikäyrien määrittäminen

Käännetään Y/D-kytkin D-asentoon ja käynnistetään moottori suunnanvaihtokytkimellä suuntaan, joka on merkitty moottorin runkoon. Käännetään roottorivastusta myötäpäivään askelittain nolnaan. Tarkistetaan vaihtojännitteen arvo 220V. Luetaan mittareista arvot suureille U, I<sub>1</sub>, P, M ja n. Määritetään roottoritaajuus f<sub>r</sub> laskemalla roottorivirran I<sub>2</sub> heilahtelut esim. 30 sekunin aikana. Koska mittarin osoitin heilahtaa kaksi kertaa jaksoa kohden on roottoritaajuus

$$f_r = \text{heilahdusten määrä (30s)} / 60.$$

Koetta jatketaan kasvattamalla kuormitusta 2Nm kerrallaan aina kuormituksen arvoon 8Nm. Jokaisella kuormitus arvolla toistetaan edellä mainittujen suureitten mittausta. Kuormituksen lisääminen tapahtuu seuraavasti

- säädetään vaakageneraattorin kuormitusvastus R<sub>b</sub> maksimiarvoonsa.
- suljetaan kytkin S ja jännitelähteen kiinteän tasajännitteen kytkin.
- säädetään kuormitusmomenttia käyttäen vaakageneraattorin magnetointivirran säätöpotentiometriä ja säätövaran loputtua kuormitusvastuksen R<sub>b</sub> avulla.

Mittausten jälkeen pienennetään kuormitus minimiarvoonsa ja avataan tasajännitekytkin.

### Tulokset

Taulukossa 2a on esitetty mittaustulokset hyötysuhde- ja momenttikäyrien määrittämiseksi.

Taulukko 2a Momentti- ja hyötysuhdekoetulokset

Mittaus	$I_1 / A$	$U / V$	$P / W$	$M / Nm$	$n / (r/min)$	heil. / lkm/30s	$f_r / Hz$
1	4,05	220	90,0	0,5	1480	9	0,15
2	4,10	205	135,0	2,0	1480	28	0,47
3	4,45	204	225,0	4,0	1475	52	0,87
4	4,95	202	315,0	6,0	1460	71	1,18
5	5,70	200	420,0	8,0	1455	104	1,73

Laskuesimerkki

$$f_r = (\text{heil. lkm} / 30s) / 60 = 9 / 60 = 0.15\text{Hz}$$

**Roottorivastuksen vaikutus**

Käännetään roottorivastus keskiasentoonsa ja toistetaan edellinen hyötysuhde- ja momenttikäyrien mittaus. Tulokset on esitetty taulukossa 2b.

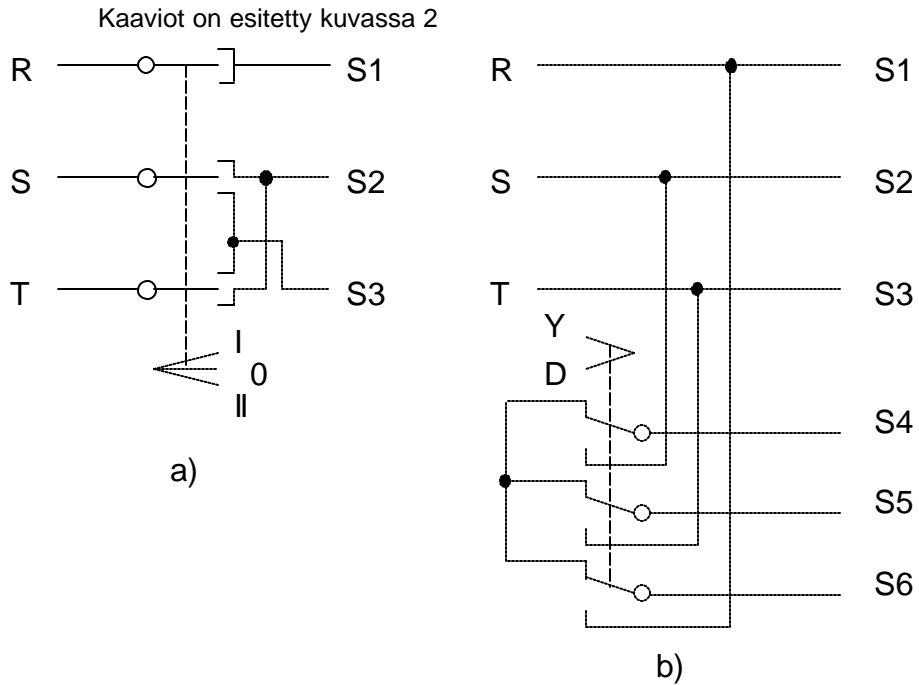
Taulukko 2b Roottorivastuksen vaikutuksen mittaus

Mittaus	$I_1 / A$	$U / V$	$P / W$	$M / Nm$	$n / (r/min)$	heil. / lkm/30s	$f_r / Hz$
6	4,95	220	75,0	0,5	1480	54	0,9
7	5,00	220	135,0	2,0	1430	*	*
8	5,20	210	210,0	4,0	1325	*	*
9	5,55	215	270,0	6,0	1260	*	*
10	6,00	215	360,0	8,0	1175	*	*

\* Roottorin taajuus kasvoi niin suureksi, ettei sitä voitu määrittää ampeerimittarin viisarin heilahdusten laskemisen avulla.

## 5. Tulosten käsittely

### 5.1 Piirrä tähti-kolmio- ja suunnanvaihtokytkimien virtapiirikaaviot



Kuva 2 Virtapiirikaaviot  
a) Suunnanvaihtokytkin  
b) Tähti-kolmiokytkin

### 5.2 Laske eri käynnistystapojen käynnistysvirtojen suhteet

Taulukossa 1 esitettyjen mittaustulosten perusteella voidaan laskea eri käynnistystapojen käynnistysvirtojen suhteet.

Suora käynnistys : Y/D-käynnistys

3.2 : 1

Suora käynnistys : Liukurengasmoottori

5.4 : 1

Y/D-käynnistys : Liukurengasmoottori

1.7 : 1

### 5.3 Laske todelliset käynnistysvirrat täydellä jännitteellä olettaen, että virta on suoraan verrannollinen jännitteeseen.

Mittausjännite oli 50V. Käynnistysvirrat 220V jännitteellä saadaan kertomalla taulukon 1 mittaustulokset suhteella 220V / 50V. Lasketut arvot taulukossa 3.

Taulukko 3 Laskennalliset käynnistysvirrat täydellä jännitteellä

Käynnistystapa	$I_1 / A$
Suora käynnistys	32,12
Y/D-käynnistys	10,12
Liukurengasmoottori	5,94

Laskuesimerkki:

$$I_1 = 220V / 50V * 7.3A = 4.4 * 7.3A = 32.12A$$

### 5.4 Piirrä hyötysuhdekäyrät $h=f(P_2)$ kohdan 4.3 mittausten tuloksista laskien samaan koordinaatistoon.

Taulukossa 4 on esitetty kohdan 4.3 taulukoiden 2a ja 2b mittaustulosten perusteella lasketut tehot ja hyötysuhde. Hyötysuhdekäyrät on esitetty kaaviossa 1.

Taulukko 4 Hyötysuhdelaskelma

Mittaus	$P_o$	$P_a$	$\eta / \%$
1	270,0	77,5	29
2	405,0	310,0	77
3	675,0	617,8	91
4	945,0	917,3	97
5	1260,0	1218,9	96
6	225,0	77,5	34
7	405,0	299,5	74
8	630,0	555,0	88
9	810,0	791,7	98
10	1080,0	984,4	91

Laskuesimerkit:

$$(3) \quad P_o = 3 * P = 3 * 90W = 270W$$

$$(4) \quad P_a = 2 p n_s M = 2 p \frac{1480 \frac{r}{\min}}{60s} 0.5 Nm = 77.5W$$

$$(5) \quad \eta = P_a / P_o$$

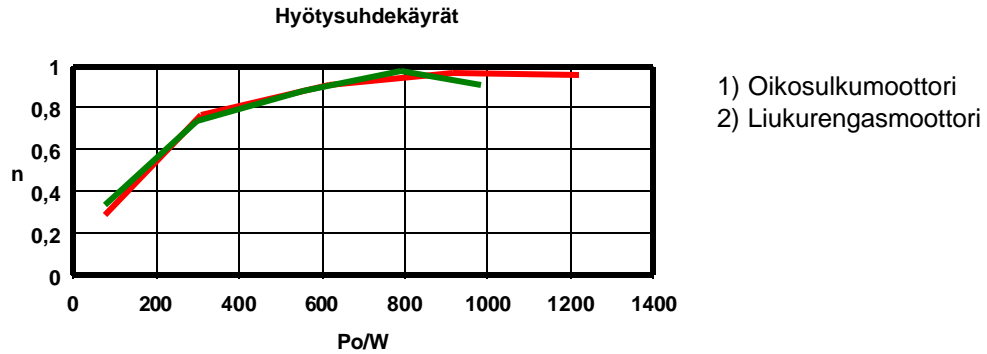
missä

$P_o$  = Moottorin verkosta ottama 3v. pätöteho

$P_a$  = Moottorin antoteho (akseliteho)

$\eta$  = Hyötysuhde

$n_s$  = moottorin pyörimisnopeus sekunnissa



Kaavio 1 Moottorin hyötysuhdekäyrät

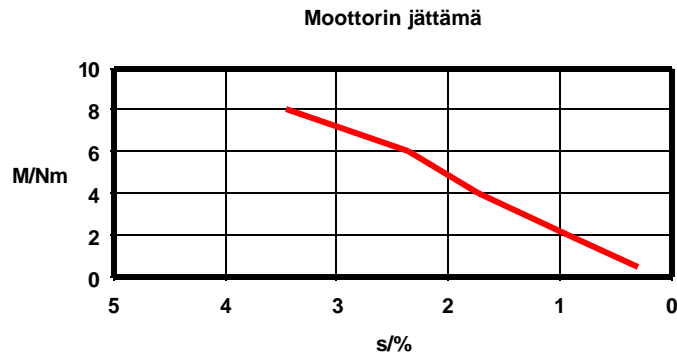
**5.5 Piirrä käyrät  $M=f(s)$  kohdan 4.3 mittaustulosten mukaan samaan koordinaatistoon siten, että jättämä 5% on origossa ja arvot pienenevät oikeallepäin.**

Taulukossa 5 on esitetty kohdan 4.3 mittausten avulla lasketut moottorin jättämät eri kuormitusarvilla. Moottorin jättämä on esitetty graafisesti kaaviossa 2

Taulukko 5 Moottorin jättämä

Mittaus	M / Nm	s / %
1	0,5	0,3
2	2,0	0,94
3	4,0	1,74
4	6,0	2,36
5	8,0	3,46
6	0,5	1,8
7	2,0	*
8	4,0	*
9	6,0	*
10	8,0	*

\* Moottorin jättämän laskeminen ei onnistunut, koska roottoriin taajuutta ei voitu mitata mittausten menetelmistä johtuen.



Kaavio 2 Oikosulkumoottorin jättämä

### 5.6 Laske kohdan 4.3 mittausten tuloksista nimelliskuormitusta vastaava tehokerroin $\cos j$

Tehokerroin voidaan laskea kaavasta:

$$(6) \quad \cos j = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_v \cdot I} = \frac{P}{U_p \cdot I}$$

missä

- P = pätöteho
- S = näinnäisteho
- $U_v$  = vaihejännite
- $U_p$  = pääjännite
- I = vaihevirta

Moottorin arvokilvessä on ilmoitettu:

$$P = 1.1 \text{ kW (akseliteho)}$$

$$n = 1440 \text{ r/min (} \Rightarrow n = 24 \text{ r/s)}$$

Taulukosta 4 voidaan todeta, että lähimpänä nimellisantotehoa vastaavat ottotehot ovat:

$$\text{Oikosulkumoottori: } P_o = 1.26 \text{ kW}$$

$$\text{Liukurengasmoottori: } P_o = 1.08 \text{ kW}$$

Taulukossa 2a ja 2b olevien mittaustulosten pohjalta saadaan vastaavat virran ja pääjännitteen arvot:

$$\text{Oikosulkumoottori: } I = 5.7 \text{ A, } U_p = 200 \text{ V}$$

$$\text{Liukurengasmoottori: } I = 6.0 \text{ A, } U_p = 215 \text{ V}$$

Kaavan 6 avulla voidaan laskea tehokerroin:

Oikosulkumoottori:

$$\cos \varphi = 1.26 \text{ kW} / (210 \cdot 6.2 \text{ A}) = 0.96$$

Liukurengasmoottori:

$$\cos \varphi = 1.08 \text{ kW} / (215 \text{ V} \cdot 6.0 \text{ A}) = 0.84$$