

VAASAN YLIOPISTO

TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

SÄHKÖTEKNIikka

Jouko Esko n85748

Juho Jaakkola n86633

Dynaaminen Kenttäteoria

GENERAATTORI

Sivumäärä: 10

Jätetty tarkastettavaksi: 06.03.2008

Työn tarkastaja

Maarit Vesapuisto

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	3
2.	SIMULOINTI ERILAISILLA MATERIAALEILLA	5
2.1.	Alkuperäinen malli	5
2.2.	Simulointi, kun roottorin sydän on kuparia	6
2.3.	Simulointi, kun roottorin sydän on rakenneterästä	7
2.4.	Simulointi kun roottorin sydän on rautaa	8
3.	YHTEENVETO	9
	LÄHDELUETTELO	10

1. JOHDANTO

Harjoitustyön tarkoituksena oli tutustua Comsol ohjelmiston valmiiseen generaattorimalliin. Tarkastelimme mitä mallissa tapahtuu, kun muutimme materiaaleja.

Harjoituksessa voidaan nähdä miten kestopagneeteilla varustetun roottorin pyörimisliike aiheuttaa indusoituneen sähkömagneettisen voiman staattorin käämiin. Indusoitunut jännite on laskettavissa pyörimisliikkeestä ajan funktiona. Mallista nähdään myös miten materiaalin parametrit, pyörimisnopeus ja käämien kierrosten lukumäärä vaikuttaa jännitteeseen.

Roottorin keskus koostuu hehkutetusta keskihiilisestä teräksestä, jolla on korkea suhteellinen permeabiliteetti. Keskus on ympäröity muutamalla samarium koboltista valmistetulla kestopagneetilla, jotka aiheuttavat voimakkaan magneettikentän. Staattori on valmistettu samasta permeabiliteettisesta materiaalista kuin roottorin keskusta, joka rajoittaa kentän suljettuihin käämisilmukoihin. Käämit sijaitsevat staattorin napojen ympärillä.

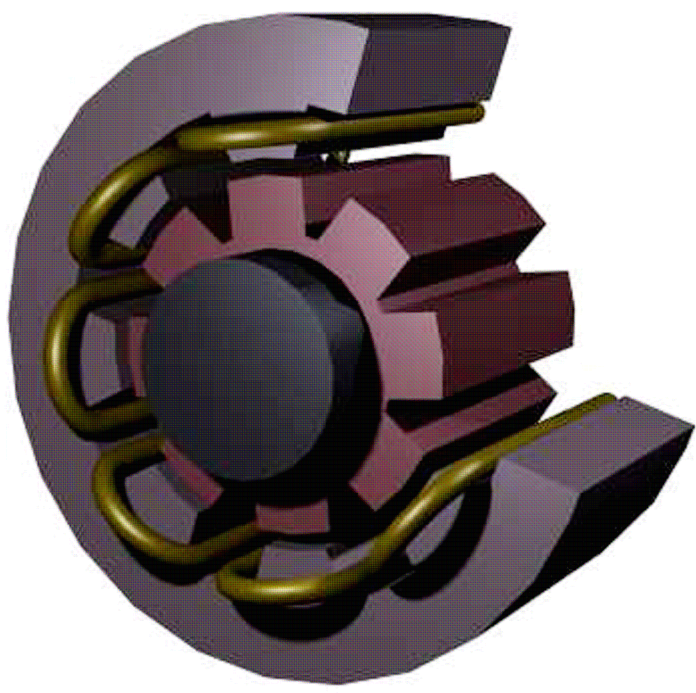
Generaattorista on muodostettu todellinen aikariippuvainen malli, jossa magneettilähteiden liike on kuvattu staattorin ja roottorin välissä. Tästä saadaan osittaisdifferentiaaliyhtälö

$$\sigma \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + \nabla \times \left(\frac{1}{\mu} \nabla \times \mathbf{A} \right) = \mathbf{0}, \quad (1)$$

missä magneettisella vektoripotentiaalilla on vain z- komponentti.

Pyörimisliike on mallinnettu käyttäen silmukan ominaismuotomallia(ALE), jossa geometrisen rakenteen keskuksen osa, sisältäen roottorin ja ilmapälin osan, pyörii suhteessa staattoriin, joka pysyy paikallaan. Ominaismuodon pyörimisliike määritellään yhtälöllä

$$\begin{bmatrix} x_{rot} \\ y_{rot} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\omega t) & -\sin(\omega t) \\ \sin(\omega t) & \cos(\omega t) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{stat} \\ y_{stat} \end{bmatrix}. \quad (2)$$



Kuva 1. Kuvasta nähdään, miten roottori, staattori ja staattorin käämit on rakennettu, Käämien väliset kierrokset ovat yhteydessä toisiinsa, näin saadaan korkein mahdollinen jännite.

Staattorin materiaalin ja roottorin keskus osalla on epälineaarinen Magneettivuon tiheyden $\mathbf{B}$ ja magneettikentän $\mathbf{H}$ suhde, jota sanotaan B - H -käyräksi. Tämä otetaan huomioon käyttämällä suhteellista permeabiliteettia μ_r , joka on muodostettu magneettivuon tiheyden $\mathbf{B}$ suuruuden funktiosta. Perustelu permeabiliteetti funktiolle on magneettivuon tiheyden suuruus ja $|\mathbf{B}|$ on suurempi kuin magneettikenttä $|\mathbf{H}|$. Nyt $\mathbf{B}$ on laskettu $\mathbf{A}$:sta, josta se on riippuvainen siten, että

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A} \quad (3)$$

ja $\mathbf{H}$ on laskettu $\mathbf{B}$:stä käyttäen suhdetta

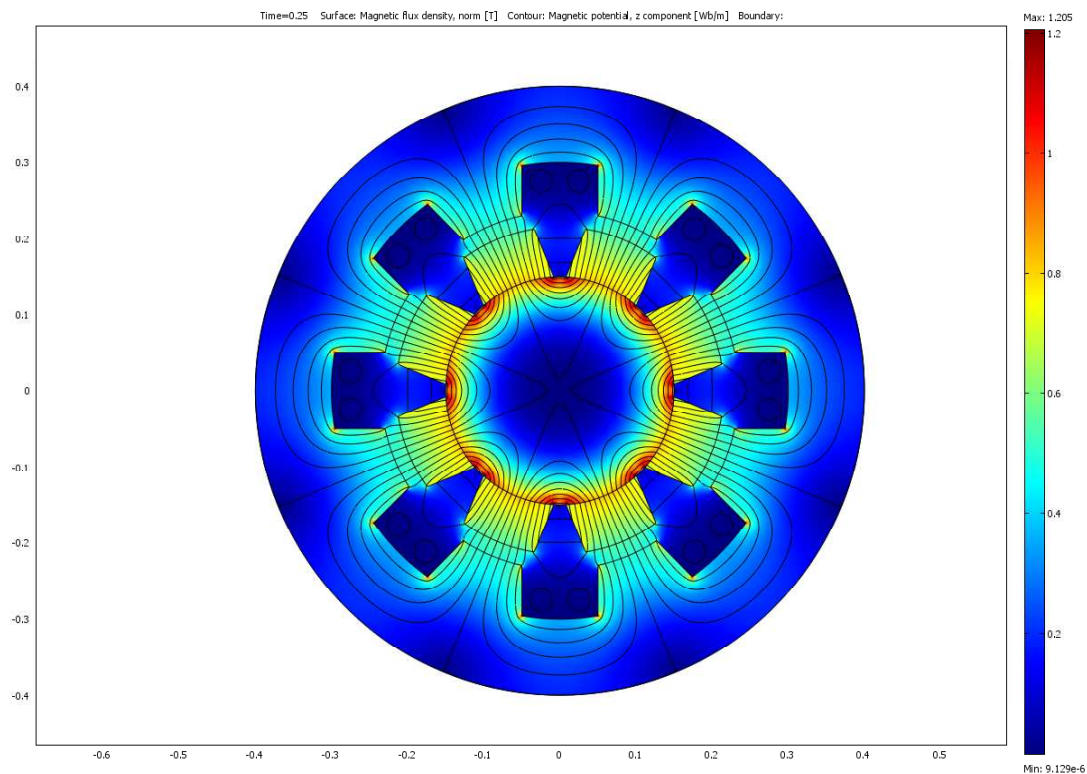
$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{B} - \mathbf{B}_r}{\mu_r \mu_0} . \quad (4)$$

2. SIMULOINTI ERILAISILLA MATERIAALEILLA

Valitsimme Comsol ohjelmiston kirjastosta valmiin generaattorimallin. Simuloimme mallia alkuperäisenä ja muuttamalla sydämen materiaalia. Sydämen materiaalina on käytetty hehkutettua keskihiilistä terästä, kuparia ja rakenneterästä. Muutimme ainoastaan sydämen materiaalia, koska se on ainoa osa, jota voitaisiin käytännössä valmistaa eri materiaalista. Kestomagneettien ja käämien materiaalia ei ole mielekäästä muuttaa, koska on vaikea löytää vastaavaa materiaalia. Simulointiaika on kaikissa 0,25 s.

Tuloksena saaduissa kuvissa magneettikentän muoto näkyy viivoina ja magneettivuon tiheys värinä.

2.1. Alkuperäinen malli

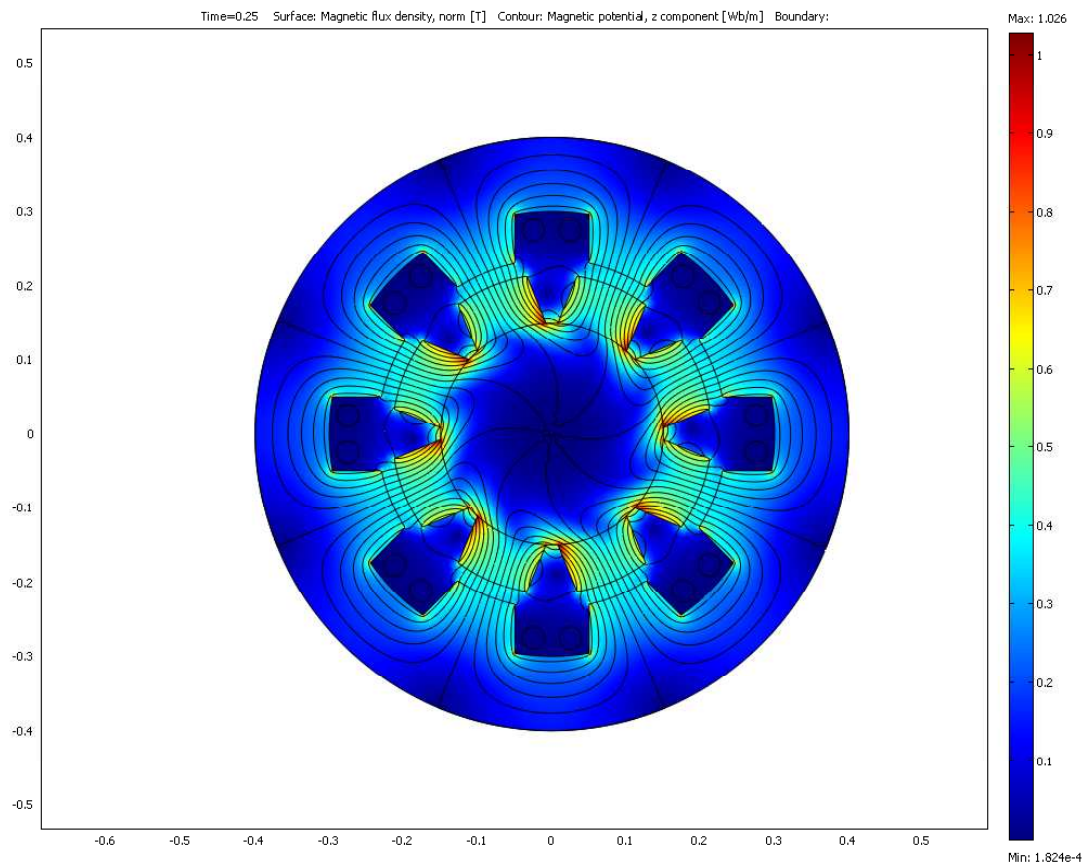


Kuva 2. Kuvassa magneettikentän suuruus ja kenttäviivat ajanhetkellä $t = 0,2$ s. Sydämen materiaalina on hehkutettu keskihiilinen teräs.

Alkuperäisessä mallissa sydämen johtavuus on nolla ($\sigma = 0$). Kuvasta voimme nähdä, miten selkeä magneetikentän ero kestopagneetin ja muiden osien välillä on. Magneetikenttä on jakautunut hyvin tasaisesti. Magneetikenttä on myös suhteellisen voimakas staattorissa kestopagneettien kohdalla. Magneetikentän kenttäviivat ovat säännölliset ja symmetriset.

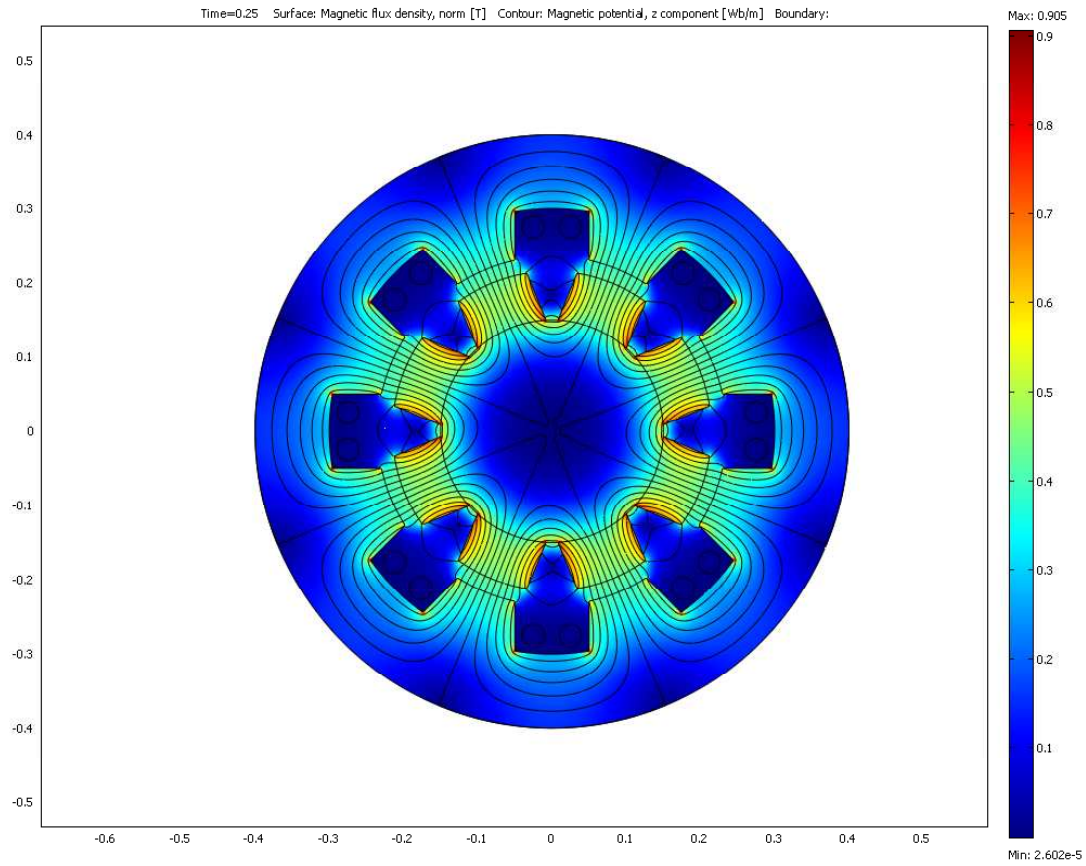
Magneetikentän minimiarvo $9,129 \times 10^{-6}$ T ja maksimiarvo on 1,205 T

2.2. Simulointi, kun roottorin sydän on kuparia



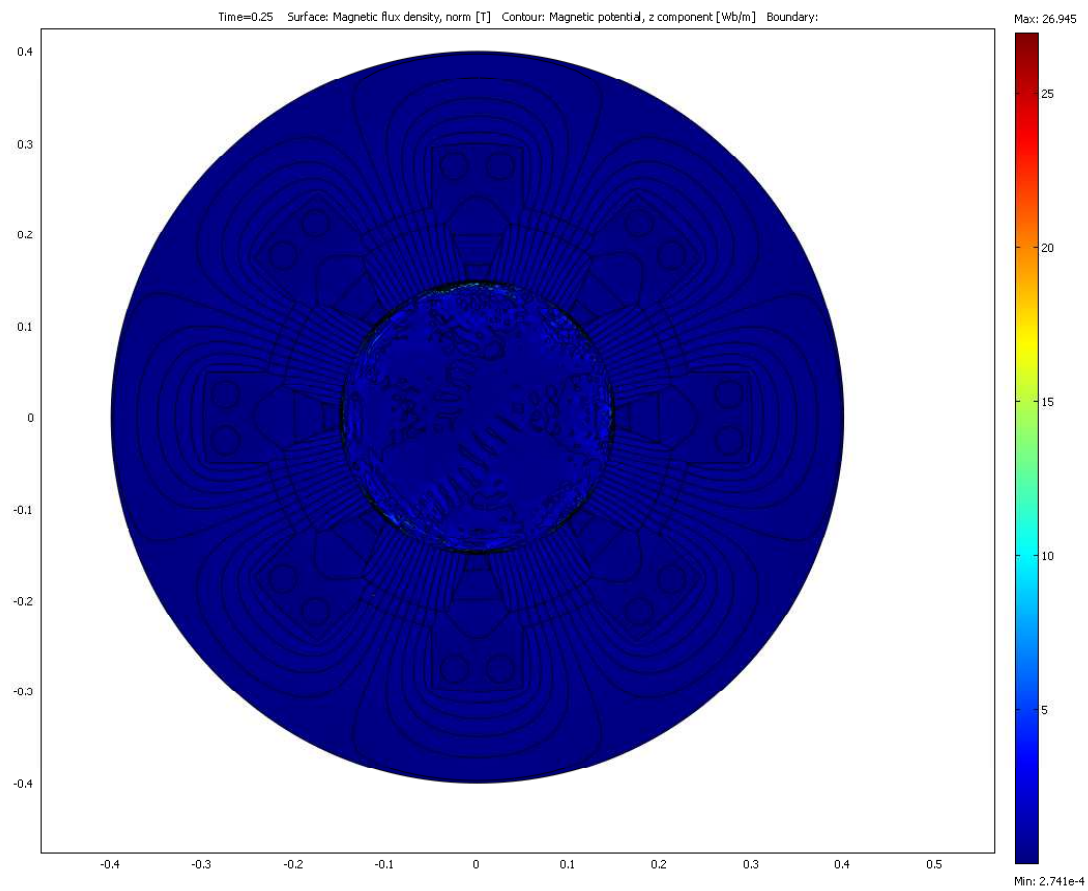
Kuva 3. Kuvassa magneetikentän suuruus ja kenttäviivat ajanhetkellä $t = 0,25$ s. Sydämen materiaalina on kupari. Kuparin johtavuus $\sigma = 5,998 \times 10^7$ [S/m] ja suhteellinen permeabiliteetti $\mu_r = 1$.

2.3. Simulointi, kun roottorin sydän on rakenneterästä



Kuva 4. Kuvassa magneettikentän suuruus ja kenttäviivat ajanhetkellä $t = 0,25$ s. Sydämen materiaalina on rakenneteräs, jonka johtavuus on $\sigma = 4,032\text{e}6$ [S/m] ja suhteellinen permeabiliteetti $\mu_r = 1$.

2.4. Simulointi kun roottorin sydän on rautaa



Kuva 5. Sydän on rautaa, jonka johtavuus $\sigma = 1,12e7$ [S/m] ja suhteellinen permeabiliteetti $\mu_r = 4000$.

3. YHTEENVETO

Tuloksista voidaan havaita, että sydämen materiaalia muuttamalla voidaan vaikuttaa huomattavasti generaattorin toimintaan. Alkuperäisessä mallissa sydän oli hehkutettua keskihiilistä terästä, jonka johtavuus on nolla. Sydämen johtavuuden ollessa nolla magneettikentät ja magneettivuo jakautuu hyvin tasaisesti generaattorissa. Vaihdoimme sydämen materiaalin kupariksi, jonka johtavuus on hyvin suuri. Magneettikenttä muuttui epäsymmetriseksi sekä magneettivuo muuttui heikommaksi, koska kupari on paramagneettinen aine, jolloin myös kentän muoto muuttuu. Vaihtamalla sydämen materiaaliksi, jonkun aineen joka ei ole paramagneettinen kuten kupari niin ainoastaan magneettivuon tiheys muuttuu. Kokeilimme vaihtaa sydämen materiaaliksi rakenneteräksen, jonka johtavuus on kuparin tavoin myös hyvin suuri, mutta ei ole paramagneettinen aine, joten magneettikentän muoto ei muutu.

Vaihdoimme sydämen materiaaliksi raudan, jonka suhteellista permeabiliteettia kasvatettiin 1:stä 4000:n. Muutoksen jälkeen sydämeen ei muodostu magneettikenttää lainkaan.

LÄHDELUETTELO

<http://lipas.uwasa.fi/~mave/SAH104/Generator07.pdf>

http://www.ava.fmi.fi/~viljanen/ed2002/ED2002_10.pdf