Технически университет – София Електротехнически Факултет Катедра " Обща електротехника " Презентация № 5

Магнитните вериги - основни понятия и закони

дисципл<mark>ина "Електротехника и Електроника I" – ВІМ16</mark>
ОКС "Бакалавър" от Учебен план за студентите на специалност
"Индустриален мениджмънт", Професионално направление
5.13. Общо Инженерство



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Съдържание

Въведение

Видове магнитни вериги

Подход за анализ на магнитните вериги

Условни посоки на физическите величини при магнитните вериги

Анализ на неразклонена магнитна верига

Магнитно съпротивление

Закон на Ом за неразклонена магнитна верига

Неразклонена магнитна верига с въздушна междина

Закони на Кирхоф за магнитните вериги

Разклонена магнитна верига с въздушна междина

Магнитни вериги при постоянни м.д.н.

Права задача на магнитните вериги при постоянни м.д.н.

Обратна задача на магнитните вериги при постоянни м.д.н.

Магнитни вериги при стационарни променливи м.д.н.

Явления в магнитопроводите при въздействие с променливи м.д.н.

Идеална магнитна верига при стационарни променливи м.д.н.

Реална магнитна верига при стационарни променливи м.д.н.

Литература



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Въведение

Магнитните вериги са основна конструктивна част в електромагнитните устройства. В тях се разпространяват променливи или постоянни магнитни полета. Процесите в магнитните вериги се описват посредством понятията: магнитен поток, магнитодвижещо напрежение и магнитно напрежение.

> **Магнитната верига** е съвкупност от *източници* на магнитно поле, въздушни междини и магнитопроводи, през които се затварят силовите линии на магнитното поле.

Източници на магнитно поле могат да бъдат постоянни магнити или намотки, през които протича ток.

> Когато магнитното поле е създадено от намотка с "w" през които протича навивки, постоянен или променлив ток i, всяка навивка създава магнитен поток Ф. Пълният магнитен поток на цялата намотка се определя от зависимостта: $\Psi = w\Phi$.



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Въведение

Въздушни междини

са участъци от магнитните вериги в които силовите линии на магнитното поле се затварят при условията на лоша магнитна проводимост. Материалите, от които са изработени тези среди са неферомагнитни. Това са материали с *пинейни* магнитни характеристики B(H) и абсолютна магнитна проницаемост която слабо се различава от тази на въздуха - $\mu = \mu_0 = \text{const}$

<u>Магнитопроводи</u>

са участъци от магнитните вериги, които са изработени от феромагнитни материали. Тяхната добра магнитна проводимост позволява, както получаването на интензивни магнитни полета, така и съсредоточаването на основната част от създадения магнитен поток в техния обем.

Това са материали с *нелинейни* магнитни характеристики B(H) и абсолютна магнитна проницаемост, която многократно надвишава тази на въздуха - μ >>

 μ_0



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

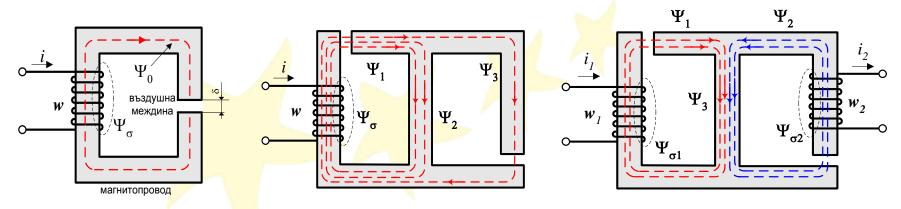
"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Видове магнитни вериги

Подобно на електрическите вериги и магнитните са разклонени и неразклонени. Те могат да притежават един или повече източници на магнитно поле.

Магнитните линии на създаденото поле се затварят преминавайки през магнитопровода и въздушните междини. Поради по-добрата магнитна проводимост на магнитопровода, той определя форма на магнитните линии.



Магнитните линии, които се затварят през магнитопровода образуват основните магнитни потоци - Ψ_0 , Ψ_1 , Ψ_2 , Ψ_3 , а магнитните линии, които се затварят през въздуха около намотките, формират магнитните потоци на разсейване - Ψ_{σ} , $\Psi_{\sigma 1}$, $\Psi_{\sigma 2}$



ПРОЕКТ ВG051РО001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Подход за анализ на магнитните вериги

В електромагнитни устройства магнитното поле се разпространява както в магнитопроводите, така и в околното пространство. Анализът на процесите в тях се опростява, ако реалното разпределение на магнитната индукция B и интензитета на магнитното поле H в магнитопроводите се замени, с равномерно разпределение по обема им. При това опростяване и въвеждане на средните стойности на B и H процесите могат да се описват с понятията: магнитодвижещо напрежение, магнитен поток и магнитно напрежение.

Основен закон, на който се основава анализът на магнитните вериги, е *законът* за пълния ток

$$\oint_G \overset{
ightarrow}{H} \overset{
ightarrow}{dl} = I_{\Sigma} = \sum_{k=1}^M i_k$$

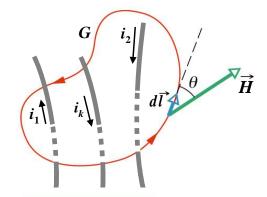
Законът обвързва циркулацията на вектора на интензитета на магнитното поле H по произволен затворен контур G с пълния ток I_{Σ} , който преминава през ограничената от контура повърхност. За избраната посока на обхождане на G, $I_{\Sigma} = i_{I^{-}} i_{2^{-}} i_{k}$.



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма "Развитие на човешките ресурси", съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз Инвестира във вашето бъдеще!

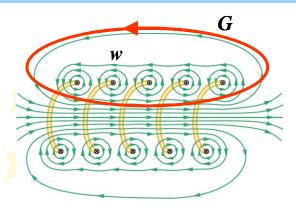




стр. 6 от ...

Подход за анализ на магнитните вериги

Когато контурът G обхваща навивките на намотка с "w" навивки, през които протича ток i, пълният ток I_{Σ} се определя с $I_{\Sigma} = w.i = F_m$, където величината $F_m = w.i$ се нарича магнитодвижещо напрежение. Тази величина се измерва в <u>ампери</u> и има смисъла на причината, която създава магнитното поле и затваря линиите му.



Ако пространството през което минава контурът G се раздели на M участъка, всеки с дължина l_k , сечение S_k , и магнитна проницаемост μ_k , такива, че във всеки участък интензитета на полето H_k има постоянна стойност, законът за пълния ток приема вида:

$$\oint_{G} \overrightarrow{H} \overrightarrow{dl} = \sum_{k=1}^{M} H_{k} l_{k} = F_{m}$$

С използване на известните връзки между интензитета на магнитното поле H, неговата индукция B и създадения магнитен поток Ψ , магнитодвижещото напрежение на източника F_m се представя с израза:

$$\boldsymbol{H}_k = \frac{\boldsymbol{B}_k}{\mu_k}$$

$$\boldsymbol{B}_k = \frac{\Psi_k}{S_k}$$

$$\boldsymbol{F}_{m} = \sum_{k=1}^{M} \frac{\Psi_{k}}{\mu_{k} S_{k}} \boldsymbol{I}_{k}$$



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"

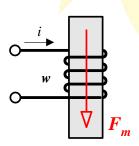


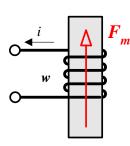
Условни посоки на физическите величини при магнитните вериги

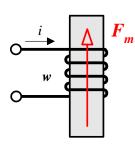
При съставянето на уравненията за анализ на магнитните вериги е необходимо да се въведат условни положителни посоки за скаларните величини магнитен поток Ψ и магнитодвижещо напрежение F_m .

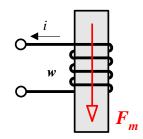
За положителна посока на магнитния поток Ψ се приема посоката на векторните линии на магнитната индукция B

Приетата положителната посока на магнитодвижещо напрежение F_m съвпада с посоката на възбудените магнитни линии. Тя се определя на базата на посоката на тока i в намотката и посоката на навиване на навивките и. За целта се използва правилото - ако десен винт се върти по посоката на тока в намотката, посоката на постъпателното му движение съвпада с посоката на магнитодвижещото напрежение F_m .











ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"

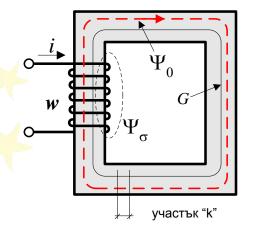


Анализ на неразклонена магнитна верига

Разглежда се намотка с "w" навивки, през които протича ток i. Тя е поставена върху магнитопровод изработен от еднороден феромагнитен материал с еднакво сечение S по цялата си дължина.

Намотката създава магнитен поток Ψ , основната част от който Ψ_{θ} , преминава през магнитопровода, а останалата част, формира поток на разсейване Ψ_{σ} , който преминава през въздуха, т.е. $\Psi = \Psi_{\theta} + \Psi_{\sigma}$.

Абсолютната магнитна проницаемост на материала на магнитопровода многократно превишава тази на въздуха ($\mu >> \mu_0$), поради което $\Psi_0 >> \Psi_\sigma$ и $\Psi \approx \Psi_0$.



$$S_1 = S_2 = \cdots = S_k = \cdots = S$$

$$\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \dots = \mu$$

За прилагането на закона за пълния ток се избира контур G, който се разделя на M участъка с дължина l_k , в които интензитета на полето H_k има постоянна стойност. Сумата от дължините им l_k е равна на средната дължина на магнитопровода l:

 $l_1 + l_2 + \cdots + l_k + \cdots + l_M = l$



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Магнитно съпротивление

При направените допускания за големината на магнитодвижещото напрежение на бобината се записва:

$$F_{m} = \sum_{k=1}^{M} \frac{\Psi_{k}}{\mu_{k} S_{k}} I_{k} = \frac{\Psi_{0}}{\mu S} \sum_{k=1}^{M} I_{k} = \Psi_{0} \frac{I}{\mu S} = \Psi_{0} R_{\mu}$$

където с R_μ е означено *магнитното съпротивление* на магнитопровода.

$$R_{\mu} = \frac{l}{\mu S}$$

Магнитното съпротивление се измерва в единици H^{-1} (хенри). Нейното наименованието произтича от формалната аналогия на израза с който се дефинира, с този на електрическото съпротивление.

Електрическото и магнитно съпротивление са две различни характеристики на материалните среди. Те отразяват свойството им да се съпротивляват на установяването в тях на електрически ток или магнитен поток.



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



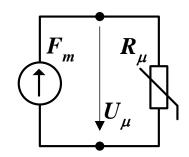
Закон на Ом за неразклонена магнитна верига

С въвеждането на понятието магнитно съпротивление, изразът за магнитодвижещото напрежение (м.д.н.) на бобината, напомня за закона на Ом за неразклонена електрическа верига:

$$\boxed{F_{m} = \Psi_{0} R_{\mu}} \iff E = I R$$

Приликата в изразите поставя в съответствие м.д.н. F_m и е.д.н. E, магнитният поток Ψ_0 и електрическия ток I, както и магнитното съпротивление R_μ и електрическото съпротивление R. Това позволява полученият израз да се нарече закон на Om за неразклонена магнитна верига, а произведението $\Psi_0 R_\mu = U_\mu$ - съответно магнитно напрежение или магнитен напрежителен пад.

Възприетата аналогия дава възможност да се използват и символните означения на електрическите вериги. Така за изобразяване на разгледаната магнитна верига, се съставя заместваща схема, която съдържа символите на източник и на нелинеен резистор.





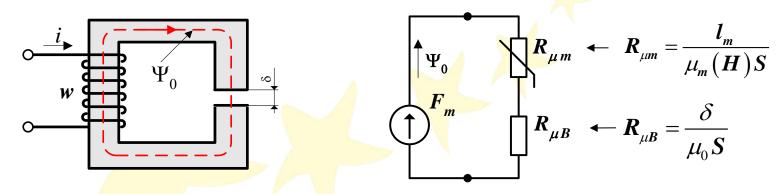
ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Неразклонена магнитна верига с въздушна междина

Когато в магнитопровода на едно електромагнитно устройство има въздушна междина с дължина " δ ", магнитните линии на полето преминават през нея перпендикулярно на сечението и. При анализът на процесите в това устройството, влиянието на въздушната междина следва да се отчита чрез нейното магнитно съпротивление $R_{\mu B}$.



Магнитната проницаемост на феромагнитните материали μ_m , силно зависи от интензитета H на магнитното поле, т.е. $\mu_m = f(H)$. Техните магнитни съпротивления $R_{\mu m}$ се променят с промяната на μ_m , при което $R_{\mu m}$ е *нелинейно*.

Въздушната междина притежават магнитна проницаемост $\mu_B \approx \mu_0 = const$, което определя магнитното и съпротивление R_{uB} като *линейно*.



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Неразклонена магнитна верига с въздушна междина

С прилагане на закона на Ом за така съставената магнитна верига се записва:

$$\boldsymbol{F}_{m} = \Psi_{0} \left(\frac{\boldsymbol{l}_{m}}{\mu_{m} \boldsymbol{S}} + \frac{\delta}{\mu_{0} \boldsymbol{S}} \right) = \Psi_{0} \left(\boldsymbol{R}_{\mu m} + \boldsymbol{R}_{\mu B} \right) = \Psi_{0} \boldsymbol{R}_{\mu E}$$

където l_m и δ са средните дължини на магнитопровода и въздушната междина.

Създаденото от намотката м.д.н. F=w.i, прокарва в магнитната верига основен магнитен поток Ψ_{θ} , големината на който се определя от приложеното м.д.н. F и от еквивалентното и магнитно съпротивление $R_{\mu E}$.

Еквивалентното магнитно съпротивление на неразклонена магнитна верига се определя, като сума от магнитните съпротивления на последователно свързаните и участъци.

$$oldsymbol{R}_{\mu E} = \sum_{k=1}^N oldsymbol{R}_{\mu k}$$

Аналогично, еквивалентното магнитно съпротивление на паралелно свързани клонове на магнитна верига ще се определя с израза:

$$\frac{1}{\boldsymbol{R}_{\mu E}} = \sum_{k=1}^{N} \frac{1}{\boldsymbol{R}_{\mu k}}$$



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Закони на Кирхоф за магнитните вериги

Аналогията между електрическите и магнитните величини, използвана при дефинирането на закона на Ом, може да се продължи и да се съставят изрази, с които да се дефинират законите на Кирхоф за магнитни вериги.

Първи закон на Кирхоф

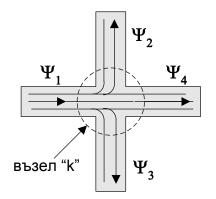
(отнася се за възел на магнитна вериг<mark>а</mark>)

Алгебричната сума от магнитните потоци в един възел на магнитна верига е равен на нула.

$$\sum_{k=1}^{N} \Psi_k = 0$$

Алгебричните знаци на потоците Ψ_k в израза се определят както при първия закон на Кирхоф за електрическите вериги – положителен знак за "излизащите" и "отрицателен" за "влизащите" във възела магнитни потоци:

$$-\Psi_1 + \Psi_2 + \Psi_3 + \Psi_4 = 0$$





ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Закони на Кирхоф за магнитните вериги

Втори закон на Кирхоф

(отнася се за затворен контур на магнитна верига)

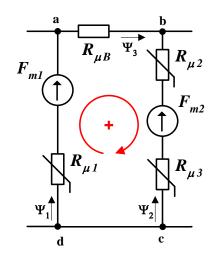
Алгебричната сума от магнитните напрежителни падове $(U_{\mu k} = R_{\mu k} \Psi_k)$ в произволен затворен контур на магнитна верига е равен на алгебричната сума от магнитодвижещите напрежения F_{mk} в същия контур.

$$\sum_{k=1}^{N} \mathbf{R}_{\mu k} \Psi_k = \sum_{k=1}^{N} \mathbf{F}_{mk}$$

Приложението на закона изисква избор на положителна посока на обхождане на контура.

При сумирането на м.д.н. и магнитните напрежителни падове, положителен знак се присвоява на тези събираеми, положителни посоки на които, съвпадат с посоката на обхождане на контура. Така за контура a-b-c-d на представената магнитна верига се записва:

$$R_{\mu 1}\Psi_{1} + R_{\mu B}\Psi_{3} - R_{\mu 2}\Psi_{2} + R_{\mu 3}\Psi_{2} = F_{m1} - F_{m2}$$





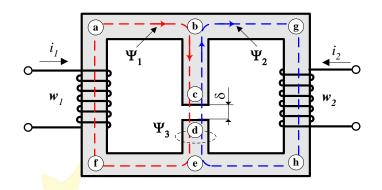
ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



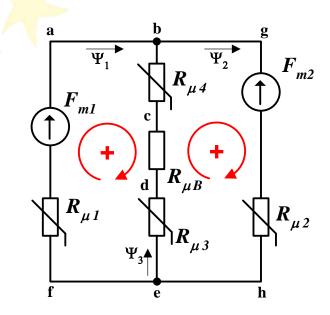
Разклонена магнитна верига с въздушна междина

Представената разклонена магнитна верига съдържа два източника на м.д.н. F_{m1} и F_{m2} , които създават магнитните потоци Ψ_1 и Ψ_2 . Двата магнитни потока преминават в различни посоки през въздушната междина на средния клон.



Анализът на процесите в магнитната верига изисква да се съставят уравнения за двата независими контура на веригата: *a-b-c-d-e-f-a* и *b-g-h-e-d-c-b* и за възела "b". При избраните посоки на обхождане на контурите се записва:

$$\mathbf{R}_{\mu 1} \Psi_{1} - \mathbf{R}_{\mu 4} \Psi_{3} - \mathbf{R}_{\mu B} \Psi_{3} - \mathbf{R}_{\mu 3} \Psi_{3} = \mathbf{F}_{m 1}
\mathbf{R}_{\mu 2} \Psi_{2} + \mathbf{R}_{\mu 3} \Psi_{3} + \mathbf{R}_{\mu B} \Psi_{3} + \mathbf{R}_{\mu 4} \Psi_{3} = -\mathbf{F}_{m 2}
- \Psi_{1} + \Psi_{2} - \Psi_{3} = 0$$





ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Магнитни вериги при постоянни м.д.н.

Разгледаният подход заменя изследването на процесите в реалните електромагнитни устройства с анализ на магнитна верига. Тя представлява опростен модел на изследваното устройство, който не отчита редица негови особености. Поради това получените решения са приблизителни но в редица случаи са с достатъчна за практиката точност.

Източниците на постоянни м.д.н. F_m са намотките в които протича постоянен ток и постоянните магнити. Анализът на магнитните вериги при този тип източници се извършва при следните идеализации:

- 1. Не се отчита наличието на разсеян магнитен поток в пространството около източника, т.е. $\Psi \sigma \approx 0$.
- 2. Приема се че зависимостта B(H) на използваните феромагнитни материали е еднозначна и съответства на тяхната основна крива на намагнитване.
- 3. Приема се че материалите на магнитопрводите са хомогенни и изотропни, т.е. векторите на магнитната индукция и интензитет B и H са колинеарни и са перпендикулярни на сечението на магнитопроводите S.



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Магнитни вериги при постоянни м.д.н.

Анализът на магнитните вериги с постоянни м.д.н. е свързан с решаване на два вида задачи, наречени *права* и *обратна*.

Правата задача разполага с данни за геометрията на магнитопровода и основните криви на намагнитване на отделните му участъци $B_k(H_k)$. Трябва да се определи м.д.н. на намотката $F_m = w.I$, което ще създаде желания магнитен поток Ψ_{3AJ} в определен участък на магнитната верига. Задачата има аналитично решение, което е свързано с определяне на магнитните съпротивления $R_{\mu k}$ на отделните участъци, използвайки кривите $B_k(H_k)$.

Обратната задача също разполага с геометрията на магнитопровода и основните криви на намагнитване на отделните му участъци $B_k(H_k)$. Тук м.д.н. на намотката $F_m = w.I$ е известно, а се търси магнитният поток в един или във всички участъци на магнитопровода Ψ_k . Тази задача не притежава аналитично решение поради нелинейната зависимост $B_k(H_k)$ на отделните участъци на магнитопровода. Нейното решение е свързано с многократно решаване на съответната права задача.



ПРОЕКТ ВG051РО001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Права задача на магнитни вериги при постоянни м.д.н.

В правата задача са известни размерите l_k и S_k на отделните участъци на магнитопровода и кривата на намагнитването му. В разгледания пример, желаната стойност на магнитния поток $\Psi_{3a\partial}$ във въздушната междина е изходна точка за намиране на м.д.н. на намотката - F_m .

За всеки участък "k" от магнитната верига: a-b, b-c, ... f-a, от характеристиките на материала се определят \mathbf{B}_k и μ_k , след което се изчисляват съответните магнитни съпротивления:

$$B_k = \frac{\Psi_{3AJI}}{S_k}; \quad \mu_k = f(H_k); \quad R_{\mu k} = \frac{l_k}{\mu_k S_k}; \quad R_{\mu B} = \frac{\delta}{\mu_0 S_\delta}$$

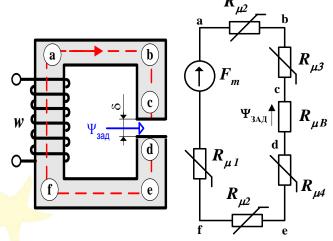
Търсеното м.д.н. на намотката F_m се определя след прилагане на закона на Ом:

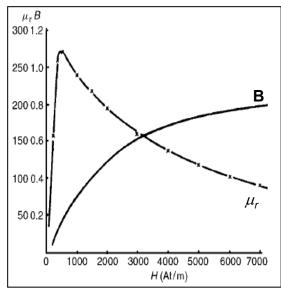
$$\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{m}} = \Psi_{3\mathrm{A}\mathrm{I}} \left(\sum_{k=1}^{5} \boldsymbol{R}_{\mu k} + \boldsymbol{R}_{\mu B} \right)$$



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



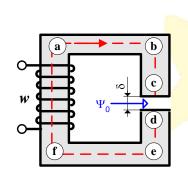


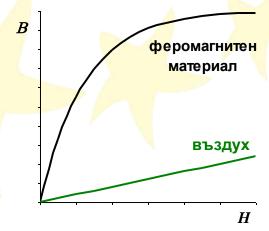


Обратна задача на магнитни вериги при постоянни м.д.н.

Обратната задача разполага с размерите l_k и S_k на всеки участък от магнитопрвода и кривата на намагнитването му. Тук трябва да се определи магнитния поток Ψ_{θ} във въздушната междина, при известно м.д.н. на намотката – $F_{m\, 3{\rm AI}}$.

Решението на задачата е свързано с многократно решаване на съответната права задача. Задават се достатъчно на брой различни стойности на магнитния поток Ψ_k , с които се решава правата задача. С получените резултати се построява зависимостта $\Psi(F)$.







От получената характеристика се отчита търсената стойност на магнитния поток Ψ_0 при зададена големина на м.д.н. на намотката – $F_{m,3A/l}$.



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Магнитни вериги при стационарни променливи м.д.н.

Процесите в магнитните вериги при променливи м.д.н. се различават съществено от тези при постоянните м.д.н. Техният анализ изисква да се отчитат явления, които не са характерни за разгледаните вече магнитни вериги:

- ✓ Намотките възбуждащи променливите м.д.н. се захранват от източници на променливо напрежение. Големината на създадените магнитни потоци зависи от захранващото напрежение, а не от тока във намотките.
- ✓ Променливите м.д.н. създават в магнитопроводите променливи магнитни полета, при което техните материали се намагнитват циклично в противоположни посоки. Противопоставянето на материала на това въздействие се описва с явлението хистерезис.
- ✓ Материали<mark>те на м</mark>агнитопроводите са и електрически проводящи. При поставянето им под въздействие на променливите магнитни потоци, в тях се индуктират напрежения и протичат вихрови токове.
- ✓ Създадените от възбуждащите намотки основни и разсеяни, променливи магнитни потоци индуктират обратно в тях е.д.н., поради действието на явлението самоиндукция.



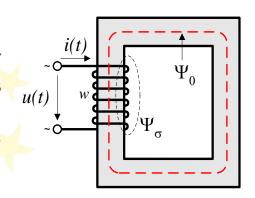
ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Магнитни вериги при стационарни променливи м.д.н.

Процесите в този тип вериги се анализират чрез модел, който съдържа намотка с магнитопровод, захранена от източник на синусоидално напрежение u(t). Протичащият в намотката променлив ток i(t), създава променлив магнитен поток, който се разделя на основен Ψ_0 - през магнитопровода и разсеян Ψ_σ , във въздушната среда около намотката.



Променливите магнитни потоци Ψ_0 и Ψ_σ , индуктират в намотката елктродвижещите напрежения e и e_σ . Първото от тях се дължи на основния магнитен поток $\Psi_0 = w. \Phi_0$, който се разпространява в нелинейната среда на магнитопровода.

$$e = -\frac{d\Psi_0}{dt} = -w\frac{d\Phi_0}{dt}$$

$$e_{\sigma} = -\frac{d\Psi_{\sigma}}{dt} = -L_{\sigma}\frac{di}{dt}$$

Електродвижещото напрежение e_{σ} се създава от разсеяния магнитен поток Ψ_{σ} , който се разпространява в линейна въздушна среда. В такава среда между магнитния поток и тока който го е създал е в сила линейната връзка $\Psi_{\sigma} = L_{\sigma} i$, където $L_{\sigma} = const$ е индуктивността на разсейване на намотката.



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"

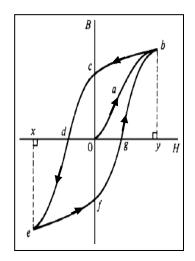


Явления в магнитопроводите при въздействие с променливи м.д.н.

Добрата магнитна проводимост на феромагнитните материали и затворената форма на магнитопроводите дава възможност на магнитните линии да се концентрират във феромагнитна среда. Количеството на тези линии определя основния магнитен поток Ψ_0 . Малка част от линиите на полето се затварят във въздуха, като формират потока на разсейване Ψ_σ , т.е. $\Psi_0 >> \Psi_\sigma$

Когато феромагнитен материал се пренамагнитва циклично, домените на материала се противопоставят на принудителното им ориентиране по посока на полето. Явлението се нарича хистерезис, а свързаната с него характеристика на материала - хистерезисна крива B(H).

При такова въздействие се изразходва електрическа енергия за преодоляване на съпротивата на материала на принудителното му намагнитване. Материалите се загряват, а изразходваната енергия се губи като топлина в околното пространство. Количеството енергия необходимо за преодоляване на явлението е известно като $xucmepesuchu\ saeyбu\ -\ W_X$. Неговата големина, за един цикъл на пренамагнитване, зависи от площта заградена от хистерезисната крива.



$$W_X = \oint B dH$$



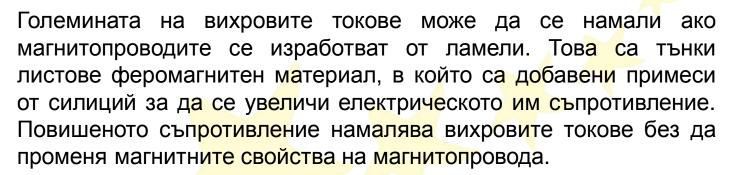
ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Явления в магнитопроводите при въздействие с променливи м.д.н.

Феромагнитните материали са електрически проводящи. При въздействие с променливи магнитни полета в тях се индуктират напрежения и протичат токове, които допълнително ги загряват. Тези токове се наричат *вихрови* и се движат по затворени контури, близко до повърхността.

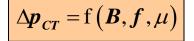


Явлението хистерезис, съчетано с наличието на вихрови токове, предизвиква консумация на активна електрическа енергия, която в стоманата на магнитопроводите се превръща в топлина.

Необходимата мощност за тези процеси се нарича загуба на мощност в стоманата Δp_{CT} и зависи от магнитната индукция B, честотата f и магнитните свойства на материала μ .









ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"

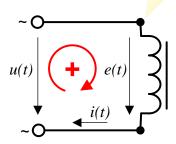


Една магнитна верига е идеална, когато отговаря на следните изисквания:

- ✓ Съпротивлението на проводника на намотката възбуждаща полето е R=0.
- ✓ Магнитният поток на разсейване е $\Psi_{\sigma} = 0$.
- ✓ Магнитопроводът е идеален, т.е. неговите загуби от хистерезис и вихрови токове са $\Delta p_{CT} = 0$. Хистерезисната крива на такъв материал съвпада с неговата основна крива на намагнитване.

При анализа на тези магнитни вериги се разглежда модел съставен от идеална намотка, поставена върху идеален магнитопровод с известна крива на намагнитване. Ако захранващото напрежение има вида - $u(t) = U_m cos(\omega t)$ следва да се определят създаденият магнитен поток $\Psi_{\varrho}(t)$ и тока през намотката i(t).

Съставя се зам<mark>естваща</mark> електрическа схема на модела и се определя $\Psi_{\theta}(t)$.



$$e = -u = \frac{d\Psi_0}{dt} = -w \frac{d\Phi_0}{dt} = -U_m \cos(\omega t)$$
 откъдето,

$$\Phi_0(t) = \frac{1}{w} \int u(t) dt = \frac{U_m}{w\omega} \sin(\omega t) = \Phi_m \sin(\omega t)$$



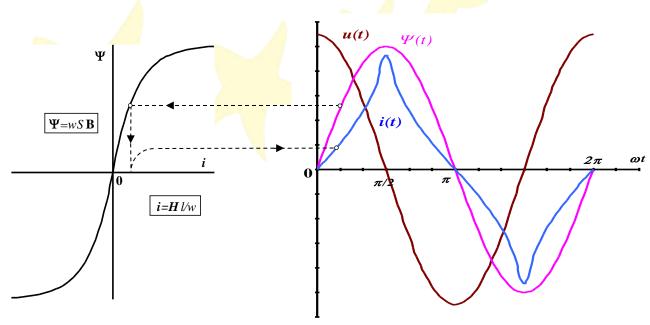
ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Големината на създаденият магнитен поток $\Psi(t)$ в тези магнитни вериги зависи от броя навивки на намотката и от захранващото напрежение u(t). Потокът изостава от напрежението на ъгъл $\pi/2$.

Токът в намотката i(t) се определя графично чрез кривата на намагнитване, от която се отчита големината му за всяка стойност на потока Ψ . Въпреки че захранващото напрежение е синусоидно, токът в намотката е несинусоиден поради нелинейния характер на зависимост $\Psi(i)$.





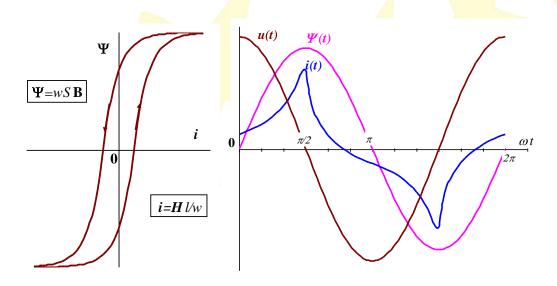
ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

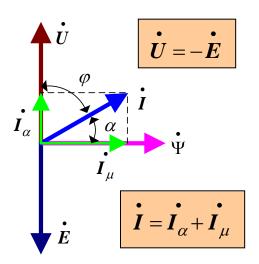
"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Отчитането на хистерезисните явления в магнитопровода и графичното определяне на тока чрез кривата на намагнитване показват, че *това явление засилва неговия несинусоиден характер*. Същевременно токът изпреварва по фаза магнитния поток на ъгъл α , който зависи от широчината на хистерезисната крива.

Във векторната диаграма на комплексните ефективни образи на еквивалентния синусоиден ток през намотката I, е.д.н. E и напрежението U, токът е представен с двете си компоненти: I_a — активна, която е пропорционална на загубите в магнитопровода и реактивна - I_w която създава магнитния поток.







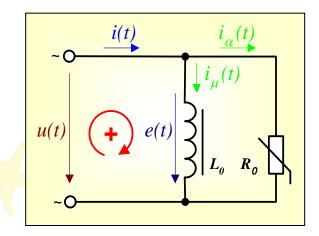
ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Представянето на тока i(t) с неговите две компоненти $i_a(t)$ и $i_\mu(t)$ дава възможност да се състави идеализиран изчислителен модел на магнитна верига, в която магнитопровода е реален. Моделът съдържа два паралелно включени идеални елемента – нелинеен резистивен R_0 и нелинеен индуктивен L_0 .

Резистивният отразява необратимото преобразуване на електрическата енергия в топлина вследствие на загубите от хистерезис и вихрови токове, а индуктивният, процесите на създаване и разпадане на магнитното поле.



Така разглежданата идеализирана магнитна верига е заместена с електрическа, в която елементите са нелинейни. Резисторът R_0 , променя съпротивлението си в зависимост от площта заградена от хистерезисната характеристика на материала. Тази площ нараства с нарастване на максималната стойност на магнитния поток. Поради нелинейната зависимост $\Psi(i)$, бобината в тази верига е нелинейна. Нейната индуктивност L_0 се определя от отношението на Ψ и i.



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Реалните магнитни вериги съдържат *реални намотки*, които са поставени върху *реални магнитопроводи*. Анализът на тези вериги трябва да отчита:

- 🗸 Съпротивлението на проводника на използваните намотки R>0.
- 🗸 Наличието на магнитен поток на разсейване около намотките $arPsi_{\sigma} > 0$.
- ✓ Консумираната мощност от магнитопроводите, необходима на явленията хистерезис и вихрови токове. В тези магнитопроводи загубите на мощност в стоманата са $\Delta p_{CT} > 0$.

Анализът на тези магнитни вериги използва модел съставен от реална намотка, и реален магнитопровод с известни характеристики $\Psi(i)$. Основна задача при анализа на веригата е определянето на големината на еквивалентния синусоиден ток i(t) протичащ през намотката, ако тя се захранва със синусоидно напрежение.

Съставя се заместваща електрическа схема на модела която отразява наличието на съпротивление на проводника на намотката R и появата на електродвижещите напрежения e_{σ} и e, породени съответно от магнитния поток на разсейване Ψ_{σ} и от основния магнитен поток Ψ_{o} . Особеностите на реалния магнитопровод се отчитат с паралелно включените нелинеен резистор R_{o} и нелинейна индуктивност L_{o} .

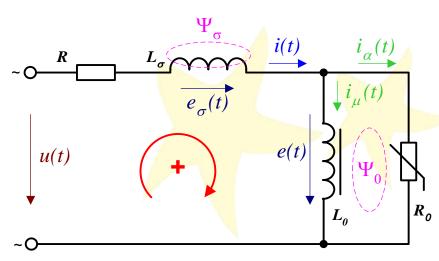


ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Търсеният еквивалентен синусоиден ток в намотката i(t), може да се определи от уравнение, получено след прилагане на втория закон на Кирхоф за посочения в заместващата схема контур. В това уравнение с e е означено е.д.н. създадено от основния магнитен поток Ψ_{θ} , който се затваря в нелинейната среда на магнитопровода. Магнитният поток на разсейване $\Psi_{\sigma}(t)=L_{\sigma}i(t)$ се разпространява в линейна среда $(L_{\sigma}=const)$ и поражда е.д.н e_{σ}



$$e_{\sigma} + e = Ri - u$$

$$e_{\sigma} = -\frac{d\Psi_{\sigma}}{dt} = -L_{\sigma}\frac{di}{dt}$$

$$e = -\frac{d\Psi_{0}}{dt}$$

Така търсеният ток ще се определя като решение на уравнението:

$$u = -e + Ri + L_{\sigma} \frac{di}{dt}$$



ПРОЕКТ ВG051РО001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



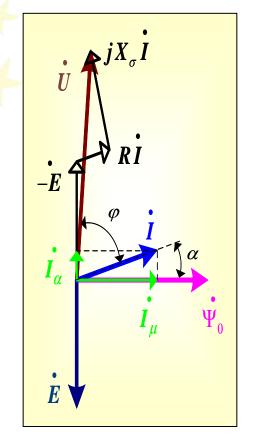
С въвеждане на комплексните ефективни образи на напрежението и тока основното уравнение на веригата приема вида:

$$\dot{U} = -\dot{E} + R\dot{I} + j\omega L_{\sigma}\dot{I} = -\dot{E} + R\dot{I} + jX_{\sigma}\dot{I}$$

където с X_{σ} е означено реактивното съпротивление дължащо се на потока на разсейване.

Уравнението описва електрическото състояние на реална намотка с феромагнитна сърцевина. По това уравнение се построява векторна диаграма, която дава представа за амплитудно - фазовите съотношения между величините.

Векторът на е.д.н. E, индуктирано в намотката от основния магнитен поток Ψ_{θ} , изостава от него на ъгъл $\pi/2$, а векторът на тока I изпреварва потока на ъгъл α определен от загубите в магнитопровода. Диаграмата представя влиянието на съпротивлението на проводника на намотката - R и на е.д.н. породено от разсеяния магнитен поток - $jX_{\theta}I$.





ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"



Литература

Основна

- 1. Д. Цветков и др., Електротехника и електроника, печат ЕТ "Здравков", 1997, София
- 2. Д. Цветков и др., Основи на електротехниката и <mark>ел</mark>ектрониката, изд. Техника, 1989, София
- 3. С. Папазов, С. Фархи, Теоретична електротехника, Техника, 1990, София

Допълнителна

- 1. J. Bird, Electrical and Electronic Principles and Technology, Elsevier, 2007
- 2. G. Rizzoni, Fundamentals of Electrical Engineering, McGraw Hill, 2009
- 3. W. Roadstrum, D. Wolaver, Electrical Engineering for All Engineers, John Wiley, 1994



ПРОЕКТ ВG051PO001--4.3.04-0042

"Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции"

