

MAGNIT ZANJIRLARI. MAGNIT OQIMINING TARMOQLANISHI VA MAGNIT ZANJIRLARNI HISOBLASH

Magnit zanjiri deb magnit oqimi asosan ferromagnit o'zak, havo oralig'i va boshqa magnit muhitlar bo'ylab yopiladigan tizimga aytiladi. Transformator, elektromagnit, rele, elektr mashinalari va induktiv datchiklarda magnit zanjirlar energiya va signal uzatishning asosiy fizik qismidir. Elektr zanjiriga o'xshash ravishda magnit zanjirda magnit yurituvchi kuch oqimni hosil qiladi, magnit qarshilik esa unga qarshilik ko'rsatadi.

Darsning maqsadi

Magnit zanjirning asosiy kattaliklari - magnit oqimi Φ , magnit induksiya B , maydon kuchlanganligi H , magnit yurituvchi kuch NI va magnit qarshilik $\mathfrak{R}$ ni ilmiy asosda tushuntirish; Hopkinson qonunini keltirib chiqarish; ketma-ket va tarmoqlangan magnit zanjirlarni hisoblash; oqimning tugunda saqlanishi va parallel tarmoqlarda taqsimlanishini misollar orqali o'rgatish.

Oddiy yopiq magnit zanjiri



- I – tok (o'tkazgich bo'ylab)
- N – o'ramlar soni
- Φ – magnit oqimi (o'ngga yo'nalgan)
- $\rightarrow$ – magnit maydon chiziqlari (o'ngga yo'nalgan)

1-rasm. O'ramli ferromagnit o'zakdan tashkil topgan oddiy magnit zanjir

Kattalik	Belgi	SI birligi
Magnit oqimi	Φ	Wb
Magnit induksiya	B	T
Maydon kuchlanganligi	H	A/m
Magnit yurituvchi kuch	$F_m=NI$	A·o'ram
Magnit qarshilik	$\mathfrak{R}$	A/Wb
Magnit singdiruvchanlik	μ	H/m

1. Magnit zanjirning asosiy qonuniyatlari

Bir jinsli kesimli o'zakda magnit oqimi magnit induksiya bilan $\Phi = BS$ munosabat orqali bog'langan. Chiziqli muhitda $B = \mu H$. Amperning to'liq tok qonunidan yopiq magnit kontur uchun $\oint H dl = NI$ kelib chiqadi.

$$\Phi = B S$$

$$B = \mu H = \mu_0 \mu_r H$$

$$\oint H dl = NI$$

Agar zanjir bir jinsli, uzunligi l va kesimi S bo'lsa, $H \approx NI/l$. Shundan $B = \mu NI/l$ va $\Phi = BS = \mu NIS/l$ olinadi. Ifodani qayta yozsak:

$$\Phi = NI / \mathfrak{R}$$

$$\mathfrak{R} = l/(\mu S)$$

Bu Hopkinson qonuni deyiladi. U shaklan Om qonuni $I = U/R$ ga o'xshaydi, lekin fizik mazmuni boshqacha: magnit oqimi zaryadlar oqimi emas.

1-misol

$l = 0.50$ m, $S = 4$ cm² = 4×10^{-4} m², $\mu_r = 1500$ bo'lgan o'zak uchun $\mathfrak{R} = l/(\mu_0 \mu_r S) \approx 6.63 \times 10^5$ A/Wb.

2-misol

$N = 500$, $I = 0.40$ A bo'lsa magnit yurituvchi kuch $NI = 200$ A·o'ram. Chiziqli modelda $\Phi = NI/\mathfrak{R} \approx 3.02 \times 10^{-4}$ Wb = 0.302 mWb.

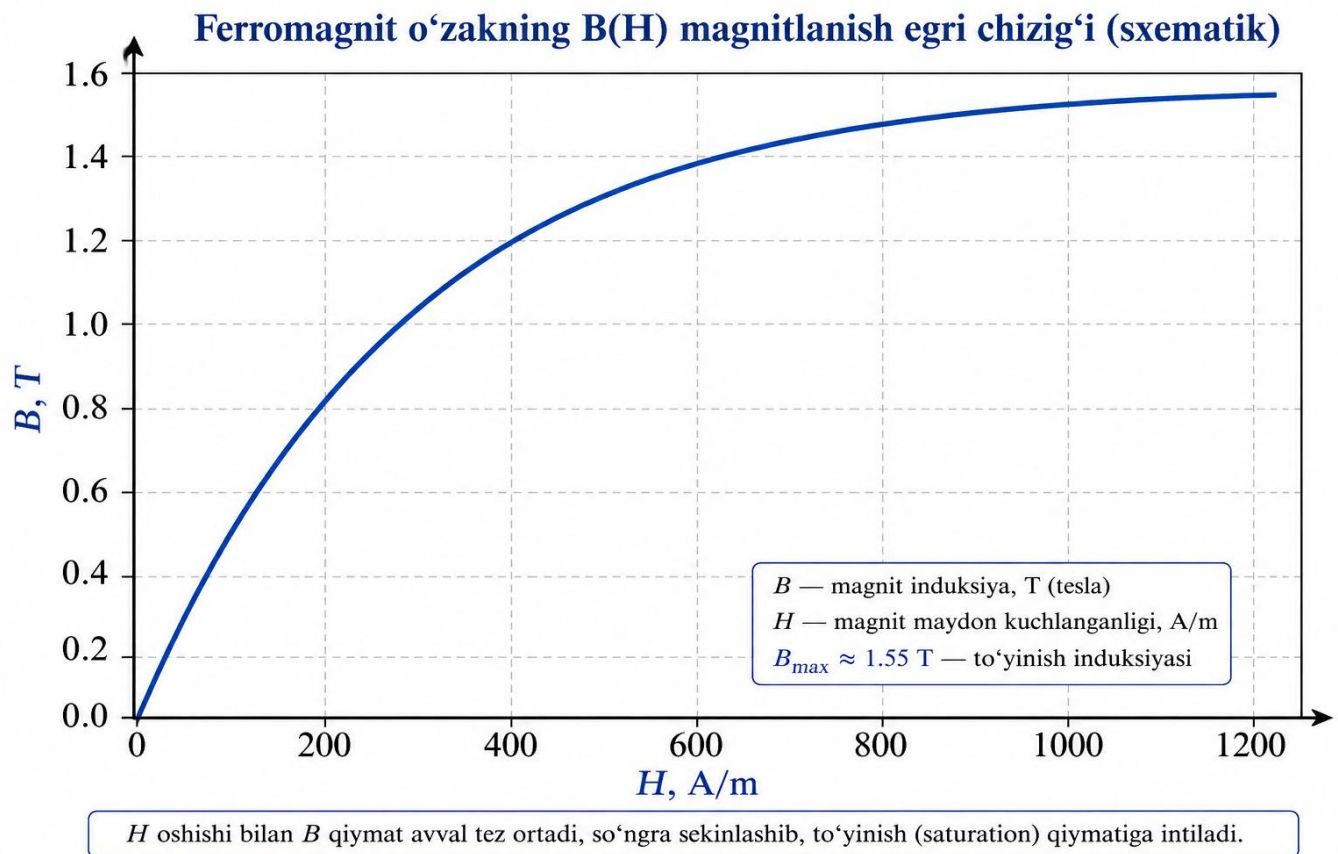
2. Magnit zanjir va elektr zanjir analogiyasi

Elektr zanjiri	Magnit zanjiri	Izoh
Kuchlanish U	Magnit yurituvchi kuch NI	Harakatlantiruvchi sabab
Tok I	Magnit oqimi Φ	Formal analogiya
Qarshilik R	Magnit qarshilik $\mathfrak{R}$	Geometriya va materialga bog'liq
O'tkazuvchanlik $G = 1/R$	Magnit o'tkazuvchanlik $\Lambda = 1/\mathfrak{R}$	Oqim o'tkazish qobiliyati
$I = U/R$	$\Phi = NI/\mathfrak{R}$	Om va Hopkinson analogiyasi

Magnit qarshilik o'zak uzunligi ortganda oshadi, kesim yuzasi va magnit singdiruvchanlik ortganda kamayadi. Magnit o'tkazuvchanlik $\Lambda = \mu S/l$ bilan aniqlanadi.

$$\Lambda = 1/\mathfrak{R} = \mu S/l$$

Real ferromagnitlarda μ doimiy emas, $B(H)$ egri chizig'iga bog'liq. Shuning uchun kuchli magnitlanish va to'yinish sohalarida Hopkinson qonunini oddiy chiziqli ko'rinishda qo'llash iteratsion hisobni talab qilishi mumkin.



2-rasm. Ferromagnit o'zakning noxiziqli B(H) xarakteristikasi

3-misol

Kesim yuzi ikki marta oshirilsa, boshqa parametrlar o'zgarmaganda $\mathfrak{R}$ ikki marta kamayadi va chiziqli sharoitda bir xil NI uchun Φ ikki marta ortadi.

3. Ketma-ket magnit zanjir

Magnit oqim tarmoqlanmaydigan zanjirda barcha ketma-ket qismlardan bir xil Φ oqim o'tadi. Har bir qismning magnit qarshiligi $\mathfrak{R}_k = l_k / (\mu_k S_k)$. Umumiy magnit qarshilik ularning yig'indisiga teng:

$$\mathfrak{R}_{\Sigma} = \mathfrak{R}_1 + \mathfrak{R}_2 + \dots + \mathfrak{R}_n$$

$$NI = \Phi \mathfrak{R}_{\Sigma} = \Sigma H_k l_k$$

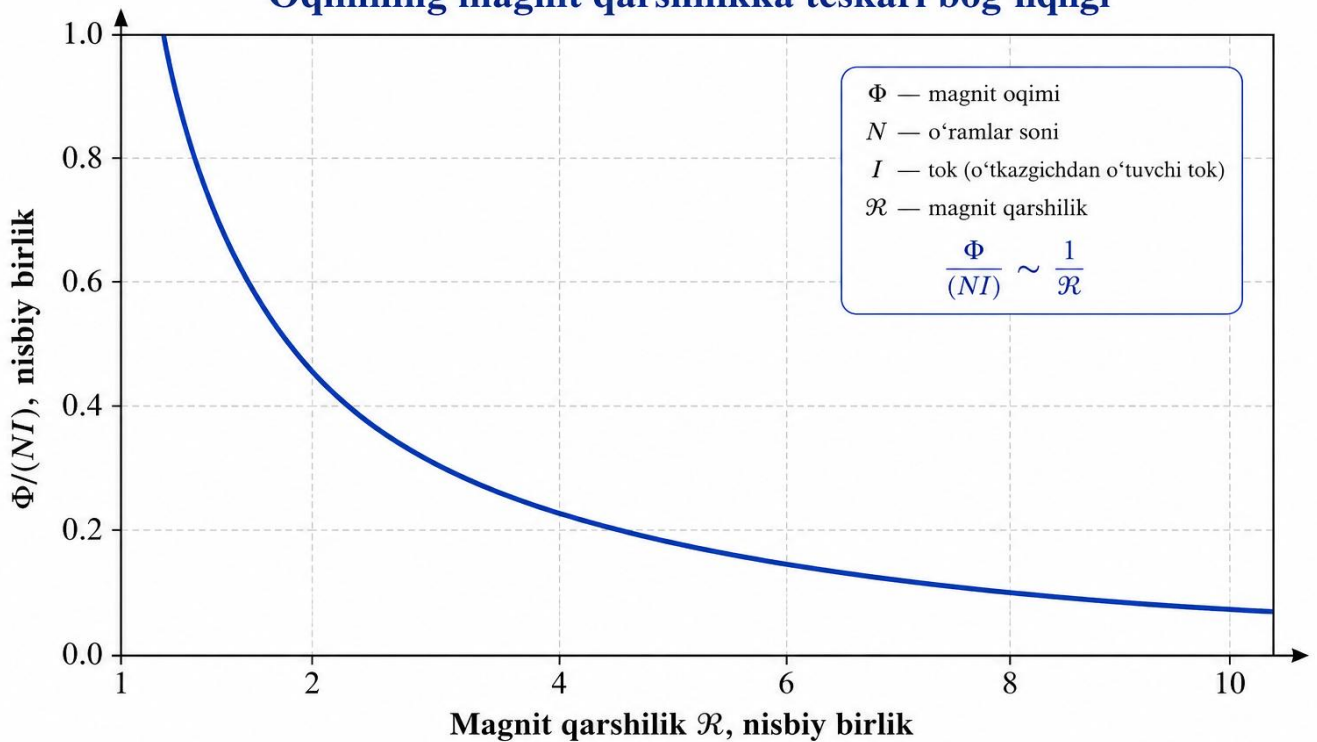
Agar kesimlar turlicha bo'lsa, har bir qismda $B_k = \Phi / S_k$. Ferromagnit materiallar noxiziqli bo'lsa, B_k dan B-H jadvali yoki egri chizig'i orqali H_k aniqlanib, so'ng $NI = \Sigma H_k l_k$ hisoblanadi.

4-misol

Ikki qismli chiziqli zanjirda $\mathfrak{R}_1 = 2 \times 10^5$ A/Wb, $\mathfrak{R}_2 = 3 \times 10^5$ A/Wb. $N = 400$, $I = 0.5$ A. $\mathfrak{R}_{\Sigma} = 5 \times 10^5$ A/Wb, $NI = 200$ A·o'ram va $\Phi = 4 \times 10^{-4}$ Wb.

Agar birinchi qism $S_1 = 5$ cm² bo'lsa, $B_1 = \Phi / S_1 = 0.8$ T. Ikkinchi qism $S_2 = 4$ cm² bo'lsa $B_2 = 1.0$ T.

Oqimning magnit qarshilikka teskari bog'liqligi



Magnit qarshilik ortishi bilan magnit oqim kamayadi; ya'ni oqim va magnit qarshilik o'zaro teskari proportsional.

3-rasm. Chiziqli magnit zanjirda $\Phi = NI/\mathcal{R}$: magnit qarshilik oshishi bilan oqim kamayadi

4. Havo oralig'ining magnit zanjirga ta'siri

Elektromagnit va elektr mashinalarida havo oralig'i muhim. Havoning $\mu_r \approx 1$ bo'lgani sababli uning magnit qarshiligi ferromagnit o'zaknikidan ko'pincha ancha katta bo'ladi. Shu sababli magnit yurituvchi kuchning asosiy qismi havo oralig'iga sarflanishi mumkin.

$$\mathcal{R}_g = g/(\mu_0 S_g)$$

O'zak va havo oralig'i ketma-ket bo'lsa:

$$NI = \Phi(\mathcal{R}_{\text{core}} + \mathcal{R}_g)$$

Aniq hisobda havo oralig'idagi oqimning chetlarga yoyilishi (fringing) va oqim sizishi hisobga olinadi. Boshlang'ich darslik modelida esa kesim bir xil deb olinadi.

5-misol

$g=1$ mm, $S=4$ cm² bo'lgan havo oralig'i uchun $\mathcal{R}_g \approx 1.99 \times 10^6$ A/Wb. Bu qiymat oldingi misoldagi ferromagnit o'zak qarshiligidan bir necha marta katta.

6-misol

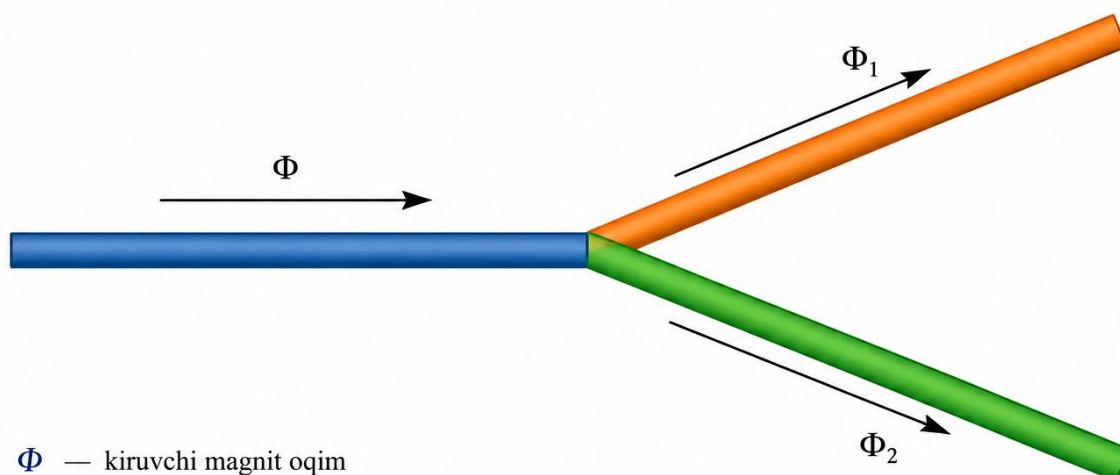
Agar $\mathcal{R}_{\text{core}}=5 \times 10^5$ A/Wb va $\mathcal{R}_g=2 \times 10^6$ A/Wb, $NI=500$ A·o'ram bo'lsa, $\Phi=500/(2.5 \times 10^6)=2 \times 10^{-4}$ Wb. Umumiy magnit yurituvchi kuchning 80% ga yaqini havo oralig'iga to'g'ri keladi.

5. Magnit oqimining tarmoqlanishi

O'zak bir necha yo'lga ajralsa, magnit oqimi ham tarmoqlanadi. Tugunda magnit oqimning uzluksizligi $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$ qonunining integral natijasi sifatida kiruvchi oqimlar yig'indisi chiquvchi oqimlar yig'indisiga teng.

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \dots$$

Magnit oqimining tarmoqlanishi



Φ — kiruvchi magnit oqim

Φ_1 — 1-tarmoq orqali o'tuvchi magnit oqim

Φ_2 — 2-tarmoq orqali o'tuvchi magnit oqim

→ magnit oqim yo'nalishi

Magnit oqimning uzluksizlik qonuni:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$$

Magnit oqim tarmoqlanish nuqtasida saqlanadi: kiruvchi oqim chiquvchi oqimlarning yig'indisiga teng.

4-rasm. Magnit oqimining ikki parallel tarmoqqa ajralishi

Parallel tarmoqlarda umumiy tugunlar orasidagi magnit potensial tushuvi, ya'ni magnit yurituvchi kuch tushuvi bir xil bo'ladi:

$$\Phi_1 \mathfrak{R}_1 = \Phi_2 \mathfrak{R}_2 = F_{\text{branch}}$$

Shuning uchun oqimlar magnit qarshilikka teskari proporsional:

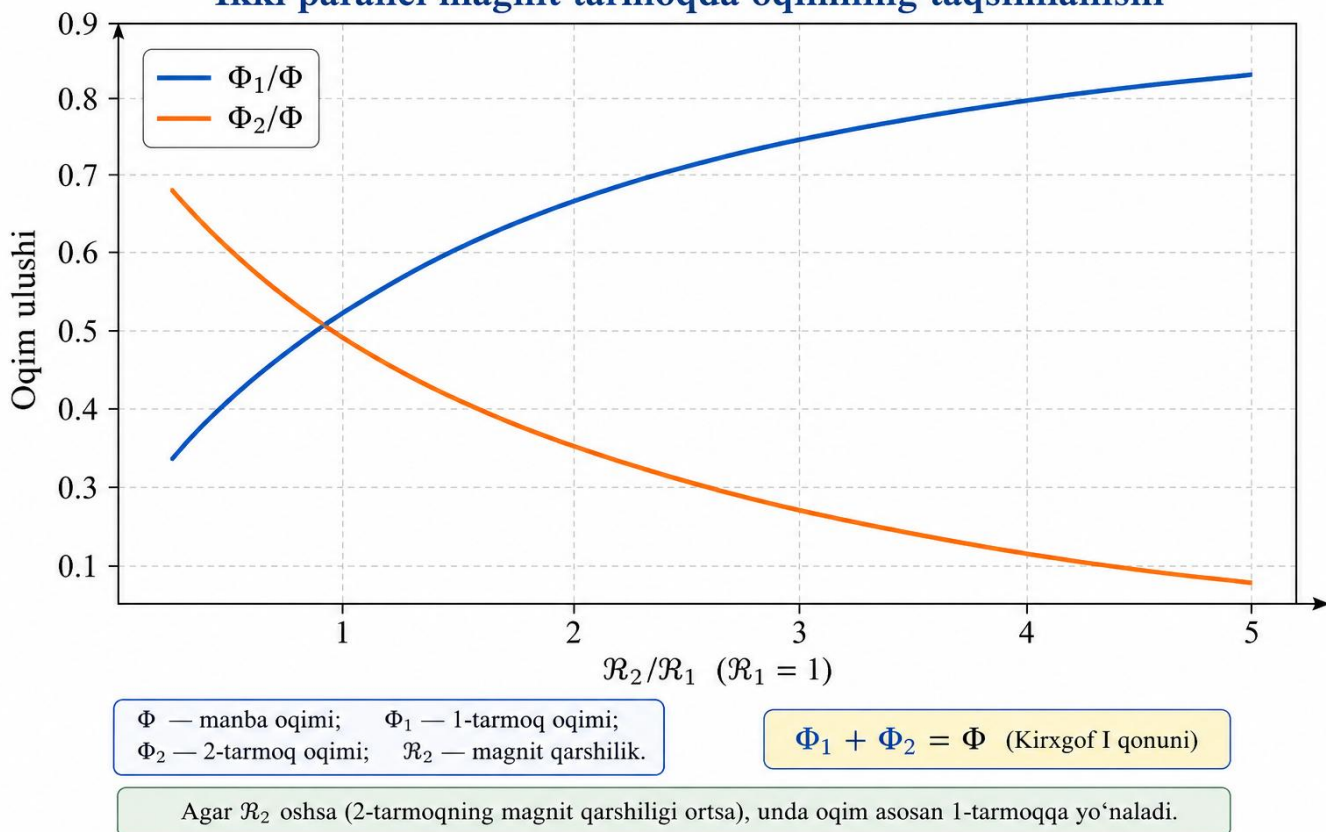
$$\Phi_1 / \Phi_2 = \mathfrak{R}_2 / \mathfrak{R}_1$$

Parallel magnit qarshilikning ekvivalent qiymati elektr qarshiliklardagi kabi formal ko'rinishga ega:

$$1/\mathfrak{R}_{\text{eq}} = 1/\mathfrak{R}_1 + 1/\mathfrak{R}_2 + \dots$$

6. Tarmoqlangan magnit zanjirni hisoblash

Ikki parallel magnit tarmoqda oqimning taqsimlanishi



5-rasm. Ikki parallel tarmoqda magnit qarshiliklar nisbatiga qarab oqim ulushining o'zgarishi

Ikki tarmoq uchun umumiy oqim Φ ma'lum bo'lsa, $\Phi_1 + \Phi_2 = \Phi$ va $\Phi_1 R_1 = \Phi_2 R_2$ tenglamalari birgalikda yechiladi:

$$\Phi_1 = \Phi \frac{R_2}{(R_1 + R_2)}$$

$$\Phi_2 = \Phi \frac{R_1}{(R_1 + R_2)}$$

Demak, kichik magnit qarshilikli tarmoqdan kattaroq oqim o'tadi.

7-misol

Umumiy $\Phi = 0.9$ mWb, $R_1 = 2 \times 10^5$ A/Wb va $R_2 = 4 \times 10^5$ A/Wb. $\Phi_1 = 0.9 \times 4 / (2 + 4) = 0.6$ mWb; $\Phi_2 = 0.3$ mWb. Birinchi tarmoq qarshiligi ikki marta kichik bo'lgani uchun undan ikki marta katta oqim o'tadi.

8-misol

$R_1 = 3 \times 10^5$ va $R_2 = 6 \times 10^5$ A/Wb parallel bo'lsa, $R_{eq} = (R_1 R_2) / (R_1 + R_2) = 2 \times 10^5$ A/Wb. Agar umumiy ketma-ket qism $R_0 = 4 \times 10^5$ A/Wb va $NI = 300$ A·o'ram bo'lsa, umumiy $R_{\Sigma} = 6 \times 10^5$ A/Wb, $\Phi = 0.5$ mWb. Tarmoqlarda $\Phi_1 \approx 0.333$ mWb, $\Phi_2 \approx 0.167$ mWb.

7. Real magnit zanjirlarda qo'shimcha hodisalar

Amaliy magnit zanjir ideal modeldan oqim sizishi, havo oralig'ida chetga yoyilish, o'zakning nochiziqligi, gisterezis va uyurma toklar sababli farq qiladi. Oqim sizishi foydali kesimdan tashqarida yopiladigan magnit oqim bo'lib, ko'pincha sizish koeffitsienti orqali baholanadi.

$$k_{\sigma} = \Phi_{umumiy} / \Phi_{foydali} \geq 1$$

O'zgaruvchan magnit maydonda ferromagnit o'zakda gisterezis va Fuko uyurma tok yo'qotishlari yuzaga keladi. Shu sababli transformator o'zaklari yupqa izolyatsiyalangan listlardan yig'iladi. Doimiy tok elektromagnitlarida esa havo oralig'i va to'yinish hisobning muhim qismlaridir.

Nochiziqli zanjirni hisoblash algoritmi: kerakli Φ tanlanadi; har qismda $B=\Phi/S$ aniqlanadi; materialning B-H xarakteristikasidan H topiladi; har bir qism uchun H_l ko'paytmalari yig'iladi; zarur $NI=\sum Hl$ aniqlanadi.

Ideal model	Real zanjirdagi tuzatish
$\mu=\text{const}$	μ B va H ga bog'liq
Φ to'liq o'zakda	Oqim sizishi mavjud
Havo oralig'ida bir xil S	Fringing sabab samarali S kattalashadi
Yo'qotish yo'q	Gisterezis va uyurma tok yo'qotishlari
Hopkinson to'g'ridan-to'g'ri	Nochiziqli holatda iteratsion/B-H hisob

8. Darsni tashkil etish metodikasi

Bosqich	Darsdagi faoliyat
1	Transformator yoki elektromagnit o'zagi misolida magnit zanjir tushunchasini kiritish.
2	$\Phi=BS$, $B=\mu H$ va $\oint Hdl=NI$ dan Hopkinson qonunini bosqichma-bosqich chiqarish.
3	Elektr va magnit zanjir analogiyasini jadval yordamida taqqoslash.
4	Ketma-ket qismlarda bir xil Φ va $\mathcal{R}=\sum \mathcal{R}$ qonunini misolda hisoblash.
5	Havo oralig'ining katta magnit qarshilik hosil qilishini sonli misol bilan ko'rsatish.
6	Tugunda $\Phi=\sum \Phi_k$ oqim saqlanishini tarmoqlangan o'zak sxemasi bilan tushuntirish.
7	Parallel tarmoqlarda $\Phi_1 \mathcal{R}_1=\Phi_2 \mathcal{R}_2$ va oqim taqsimotini hisoblash.
8	Real zanjirlarda to'yinish, oqim sizishi va fringing cheklovlarini tahlil qilish.

Muammoli savollar

Nima uchun magnit zanjirda havo oralig'i juda kichik bo'lsa ham katta magnit yurituvchi kuch talab qilishi mumkin? Nima sababdan oqim kichik magnit qarshilikli tarmoqqa ko'proq yo'naladi? Magnit oqim tugunda nega 'yo'qolmaydi'? Elektr tok va magnit oqim analogiyasi qaysi nuqtada cheklanadi? O'zak to'yinishga kirganda tokning kichik ortishi nega oqimning avvalgidek katta ortishini bermaydi?

Ko'p uchraydigan xatolar

Magnit oqimini elektr zaryadlarining real oqimi deb tushunish; $\mathcal{R}$ birligini om bilan aralashtirish; μ_r o'rniga $\mu_0 \mu_r$ ni ishlatmaslik; cm^2 ni m^2 ga noto'g'ri aylantirish;

tarmoqlangan zanjirda Φ barcha shoxlarda bir xil deb olish; havo oralig'i qarshiligini e'tiborsiz qoldirish; ferromagnit uchun μ ni barcha rejimlarda doimiy deb qabul qilish.

9. Asosiy formulalar, mustaqil topshiriqlar va xulosa

Formula	Mazmuni
$\Phi=BS$	Magnit oqimi
$B=\mu H$	Chiziqli muhit
$\oint Hdl=NI$	Amper qonuni
$\mathcal{R}=l/(\mu S)$	Magnit qarshilik
$\Phi=NI/\mathcal{R}$	Hopkinson qonuni
$\mathcal{R}\Sigma=\Sigma\mathcal{R}_k$	Ketma-ket magnit zanjir
$\Phi=\Sigma\Phi_k$	Tugundagi oqim balansi
$1/\mathcal{R}_{eq}=\Sigma 1/\mathcal{R}_k$	Parallel tarmoqlar
$\Phi_1/\Phi_2=\mathcal{R}_2/\mathcal{R}_1$	Ikki shoxdagi oqim taqsimoti

Mustaqil topshiriqlar

1. $l=0.4$ m, $S=3$ cm² va $\mu_r=2000$ bo'lgan o'zakning magnit qarshiligini hisoblang.
2. $N=600$, $I=0.3$ A va $\mathcal{R}=8\times 10^5$ A/Wb bo'lsa Φ ni toping.
3. $\mathcal{R}_1=2\times 10^5$ va $\mathcal{R}_2=5\times 10^5$ A/Wb ketma-ket qismlar uchun umumiy qarshilikni aniqlang.
4. $g=0.8$ mm va $S=5$ cm² havo oralig'ining magnit qarshiligini hisoblang.
5. $\Phi=1.2$ mWb oqim $\mathcal{R}_1=3\times 10^5$ va $\mathcal{R}_2=6\times 10^5$ A/Wb parallel shoxlarga ajralsa, Φ_1 va Φ_2 ni toping.
6. Magnit zanjir va elektr zanjir analogiyasining kamida uchta o'xshash va ikkita prinsipial farqli tomonini izohlang.

Yakuniy xulosa

Magnit zanjirlar magnit oqimini ma'lum yo'l bo'ylab shakllantirish va boshqarish uchun xizmat qiladi. Chiziqli yaqinlashuvda magnit yurituvchi kuch NI , magnit qarshilik $\mathcal{R}=l/(\mu S)$ va magnit oqimi Φ orasidagi $\Phi=NI/\mathcal{R}$ Hopkinson qonuni asosiy hisoblash munosabatidir. Ketma-ket zanjirda magnit qarshiliklar qo'shiladi va oqim bir xil qoladi; tarmoqlangan zanjirda esa tugundagi umumiy oqim shoxlar orasida ularning magnit qarshiliklariga teskari proporsional taqsimlanadi. Havo oralig'i katta magnit qarshilik hosil qilishi, ferromagnit o'zakning to'yinishi, oqim sizishi va chetga yoyilish real qurilmalarni hisoblashda albatta e'tiborga olinishi kerak.

Tavsiya etiladigan adabiyotlar

1. Griffiths D. J. Introduction to Electrodynamics. Cambridge University Press.
2. Fitzgerald A. E., Kingsley C., Umans S. D. Electric Machinery. McGraw-Hill.
3. Chapman S. J. Electric Machinery Fundamentals. McGraw-Hill.
4. Halliday D., Resnick R., Walker J. Fundamentals of Physics. Wiley.