

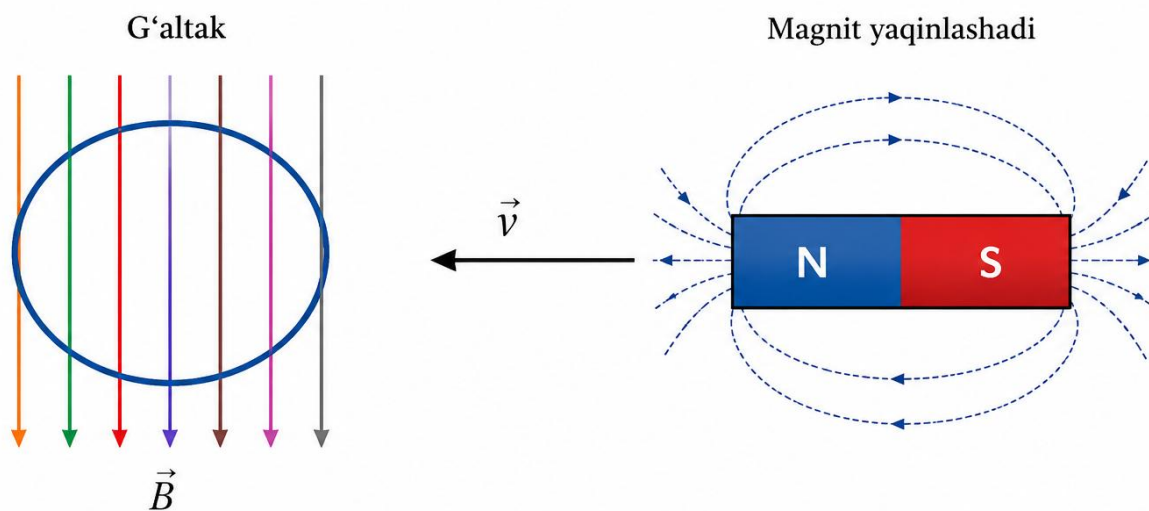
ELEKTROMAGNIT INDUKSIYA HODISASI. FARADEY TAJRIBALARI, LENS QONUNI, FARADEY QONUNI VA O'ZINDUKSIYA

Elektromagnit induksiya - yopiq kontur bilan bog'langan magnit oqimi vaqt bo'yicha o'zgarganda konturda elektr yurituvchi kuch hosil bo'lish hodisasidir. Bu hodisa elektr va magnit maydonlar o'rtasidagi fundamental bog'lanishni namoyon etadi hamda generatorlar, transformatorlar, induktiv datchiklar, elektr dvigatellar va zamonaviy energetika qurilmalarining fizik asosini tashkil qiladi.

Darsning maqsadi

Faradey tajribalarining mazmunini tushuntirish; magnit oqimi va induksion EYuK orasidagi bog'lanishni keltirib chiqarish; Lens qonunining energiya saqlanishi bilan aloqasini ochish; harakat EYuK va o'zinduksiya hodisasini tahlil qilish; induktivlik, vaqt doimiysi va magnit maydon energiyasini misollar asosida hisoblash.

Faradey tajribasi: magnit oqimi o'zgarganda induksion EYUK hosil bo'ladi



$\vec{B}$ — magnit maydon induksiya chiziqlari (N dan S ga)

$\vec{v}$ — magnitning harakat yo'nalishi (g'altakka tomon)

N, S — magnitning qutblari (shimoliy va janubiy)

Magnit g'altakka yaqinlashganda g'altak orqali o'tuvchi magnit oqim Φ ortadi va natijada g'altakda **induksion elektromotor kuch (EYUK)** hosil bo'ladi.

1-rasm. Faradey tajribasining sxematik ko'rinishi

Kattalik	Belgi	SI
Magnit oqimi	Φ	Wb
Induksion EYuK	ε	V
Magnit induksiya	B	T
Induktivlik	L	H
Tok	I	A
Vaqt doimiysi	$\tau=L/R$	s

1. Faradey tajribalari

Faradey 1831-yilda o'tkazgan tajribalarida g'altak yaqinida magnitni harakatlantirish, ikki g'altakdan biridagi tokni ulash yoki uzish va magnit maydonni boshqa usullar bilan o'zgartirish ikkinchi konturda qisqa muddatli tok hosil qilishini kuzatdi. Muhim natija shuki, doimiy magnit maydonning o'zi emas, kontur bilan bog'langan magnit oqimining o'zgarishi induksion EYuKni yuzaga keltiradi.

Yassi kontur orqali magnit oqimi:

$$\Phi = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

Bir jinsli $\mathbf{B}$ maydon va yassi S sirt uchun:

$$\Phi = B S \cos \alpha$$

Demak, Φ ni B ni, S ni yoki kontur normalining maydon bilan α burchagini o'zgartirish orqali o'zgartirish mumkin.

1-misol

$B=0.40$ T, $S=50$ cm²= 5×10^{-3} m² va $\alpha=60^\circ$ bo'lsa, $\Phi=BS \cos \alpha=0.40 \times 5 \times 10^{-3} \times 0.5=1.0 \times 10^{-3}$ Wb.

2-misol

Xuddi shu kontur $\alpha=60^\circ$ dan $\alpha=0^\circ$ ga burilsa, oqim 1.0 mWb dan 2.0 mWb gacha ortadi. Demak, magnit induksiya o'zgarmasa ham kontur orientatsiyasi o'zgarishi induksiya hodisasini keltirib chiqaradi.

2. Elektromagnit induksiyaning asosiy qonuni

Faradey qonuniga ko'ra yopiq konturdagi induksion EYuK kontur bilan bog'langan magnit oqimining vaqt bo'yicha o'zgarish tezligining manfiy qiymatiga teng:

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Phi}{dt}$$

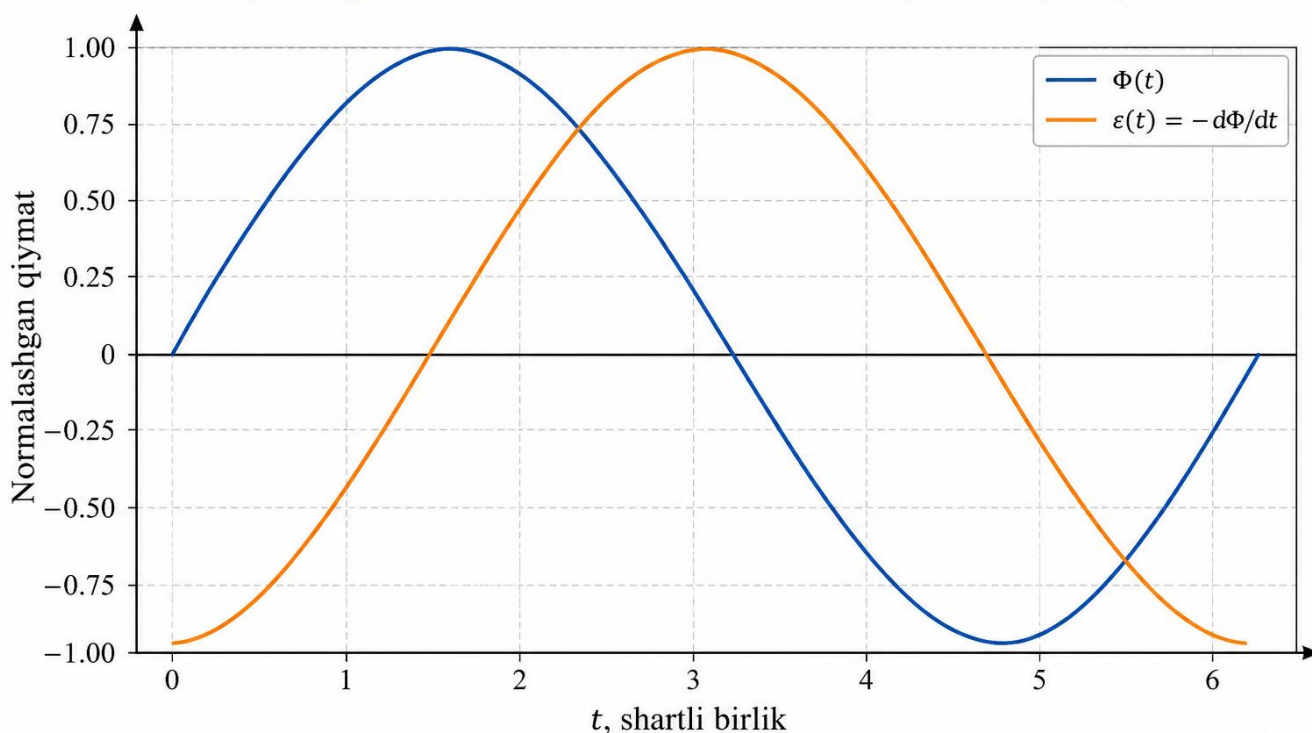
N ta bir xil o'ramli g'altakda oqim bog'lanishi $\Psi=N\Phi$ bo'lsa:

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Psi}{dt} = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

Minus ishora Lens qonunini ifodalaydi. O'rtacha EYuK uchun:

$$\varepsilon_{o'rt} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Magnit oqimi va induksion EYUK orasidagi fazaviy bog'lanish



Induksion EYUK $\varepsilon(t)$ magnit oqim $\Phi(t)$ ga nisbatan $\pi/2$ (90°) ga fazada ilgarilangan.
Ya'ni, $\varepsilon(t)$ maksimal bo'lganda $\Phi(t)$ nolga teng.

2-rasm. Sinusoidal magnit oqim va uning hosilasi bilan aniqlanadigan induksion EYuK

3-misol

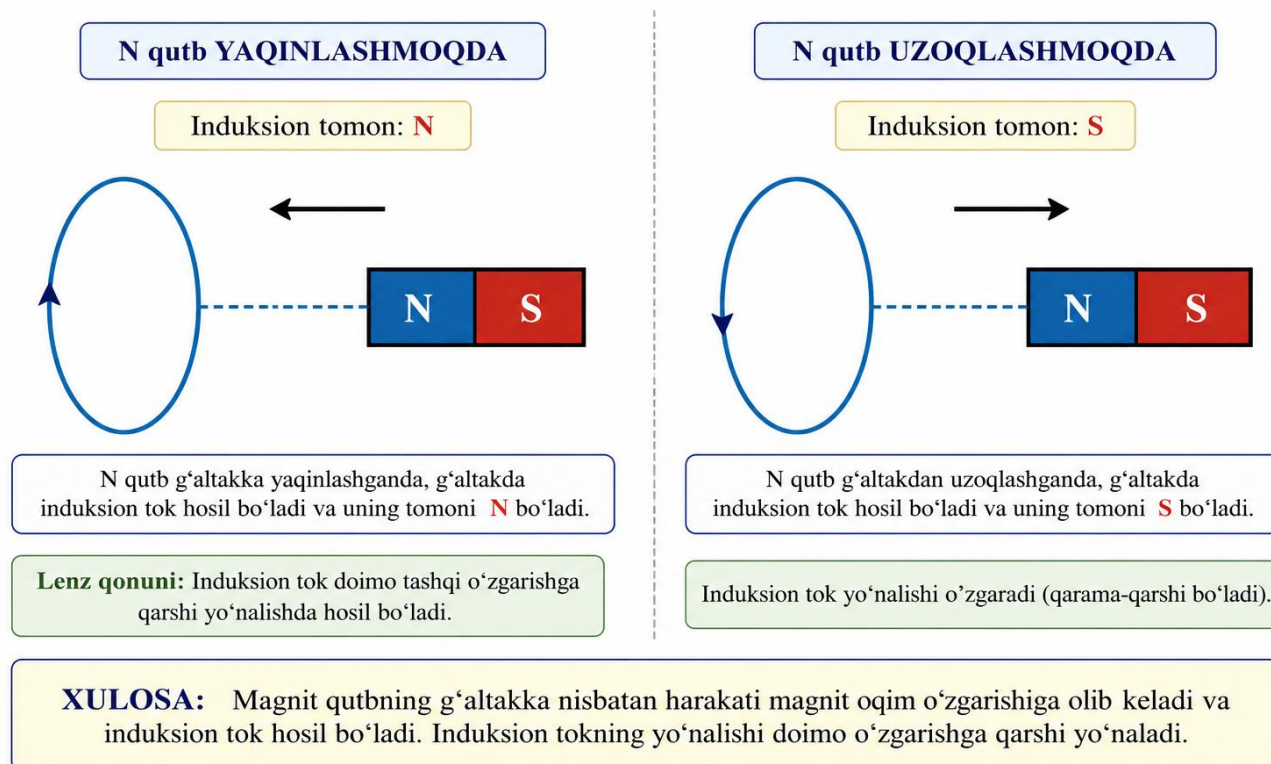
$N=200$ o'ramli g'altakda har bir o'ram oqimi 8 mWb dan 2 mWb gacha 0.03 s da kamaydi. $|\varepsilon|=N|\Delta\Phi|/\Delta t=200 \times 6 \times 10^{-3}/0.03=40$ V.

Oqim kamaygani uchun induksion tok mavjud magnit oqimni saqlashga intiladigan yo'nalishda maydon hosil qiladi.

3. Lens qonuni va induksion tok yo'nalishi

Lens qonuni: induksion tokning yo'nalishi shunday bo'ladiki, uning magnit maydoni induksiyaning yuzaga keltirgan magnit oqimi o'zgarishiga qarshilik ko'rsatadi. Qonun 'tashqi maydonga doimo qarshi' degani emas; u aynan oqimning o'zgarishiga qarshi yo'nalishni belgilaydi.

G'altakning magnit qutblarga nisbatan harakati va induksion tok yo'nalishi



3-rasm. Magnit yaqinlashganda va uzoqlashganda Lenz qonunining qo'llanishi

N qutb g'altakka yaqinlashganda g'altak orqali magnit oqim ortadi. Induksion tok bu ortishni kamaytiruvchi maydon hosil qilib, magnitga qaragan tomonni N qutbga aylantiradi. Magnit uzoqlashganda oqim kamayadi va g'altak kamayishni kompensatsiya qilish uchun qarama-qarshi tok yo'nalishini hosil qiladi.

Lenz qonuni energiya saqlanishining elektromagnit ko'rinishidir. Agar induksion tok oqim o'zgarishini kuchaytirganida, tashqi ish bajarmasdan energiya ortib borishi mumkin bo'lar edi.

4-misol

Shimoliy qutb konturga yaqinlashtirilmoqda. Kontur magnit tomondan qaralganda o'zining yaqin yuzini N qutb qilishi kerak. O'ng qo'l qoidasiga ko'ra shu yuzdan qaralganda induksion tok soat miliga teskari yo'naladi.

4. Harakat EYuK va Lorens kuchi

Magnit maydonda harakatlanuvchi o'tkazgichdagi erkin zaryadlarga Lorens kuchining $q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ magnit qismi ta'sir qiladi. Uzunligi l bo'lgan sterjen $\mathbf{v}$ tezlik bilan $\mathbf{B}$ ga perpendikulyar harakatlanganda, uchlarida zaryadlar ajralishi natijasida harakat EYuK hosil bo'ladi:

$$\varepsilon = B l v \quad (\mathbf{v} \perp \mathbf{B}, \mathbf{l} \perp \mathbf{v})$$

Umumiy ko'rinishda harakatlanuvchi kontur uchun EYuKni $\oint (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l}$ integrali bilan ifodalash mumkin. Bu ifoda Faradey oqim qonuni bilan mos keladi.

5-misol

$B=0.60$ T maydonda $l=0.25$ m sterjen $v=4$ m/s tezlik bilan perpendikulyar harakat qilsa, $\varepsilon = Blv = 0.60 \times 0.25 \times 4 = 0.60$ V.

6-misol

Sterjen, relslar va $R=3\ \Omega$ rezistordan iborat yopiq zanjirda yuqoridagi $\varepsilon=0.60\text{ V}$ bo'lsa, $I=\varepsilon/R=0.20\text{ A}$. Sterjenga ta'sir etuvchi magnit kuch $F=BIl=0.60\times 0.20\times 0.25=0.030\text{ N}$ bo'lib, Lens qonuniga muvofiq harakatga qarshi yo'naladi.

Oqimni o'zgartirish usuli	Induksiya sababi
$B(t)$ ni o'zgartirish	Vaqt bo'yicha o'zgaruvchi magnit maydon
$S(t)$ ni o'zgartirish	Kontur yuzasining o'zgarishi
$\alpha(t)$ ni o'zgartirish	Kontur orientatsiyasining o'zgarishi
Kontur/sterjenni harakatlantirish	Lorens kuchi va harakat EYuK

5. Maksvell-Faradey tenglamasi

Elektromagnit induksiya faqat simdagi zaryadlarning mexanik harakati bilan cheklanmaydi. Vaqt bo'yicha o'zgaruvchi magnit maydon fazoda uyurmali elektr maydon hosil qiladi. Uning integral ko'rinishi:

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \frac{d}{dt} \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

Stoks teoremasi yordamida differensial ko'rinish olinadi:

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \partial \mathbf{B} / \partial t$$

Elektrostatik maydonda $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$ bo'lsa, induksion elektr maydon konservativ emas va uning kuch chiziqlari yopiq bo'lishi mumkin. Bu elektr va magnit maydonlarning dinamik o'zaro bog'liqligini ko'rsatadi.

Generatorlarda mexanik energiya magnit oqimni davriy o'zgartirish orqali elektr energiyaga aylantiriladi. Agar N o'ramli ramka bir jinsli B maydonda ω burchak tezlik bilan aylansa:

$$\Phi = BS \cos(\omega t)$$

$$\varepsilon = NBS\omega \sin(\omega t)$$

Shu tariqa sinusoidal o'zgaruvchan EYuK hosil bo'ladi.

6. O'zinduksiya hodisasi

Zanjirdagi tok o'zgarganda shu tokning o'zi hosil qilgan magnit oqim ham o'zgaradi va ayni zanjirda induksion EYuK yuzaga keladi. Bu o'zinduksiya deyiladi. Chiziqli zanjirda oqim bog'lanishi $\Psi = N\Phi$ tokka proporsional:

$$L = \Psi / I = N\Phi / I$$

Induktivlik L zanjir geometriyasi va magnit muhitga bog'liq. O'zinduksiya EYuK:

$$\varepsilon_L = -L \frac{dI}{dt}$$

Minus ishora tokning o'zgarishiga qarshilikni bildiradi: tok ortayotganda o'zinduksiya EYuK ortishni sekinlashtiradi, tok kamayganda esa tokni saqlashga intiladi.

7-misol

$L=0.40\text{ H}$ g'altakdagi tok 2.0 A dan 0.5 A gacha 0.03 s da kamaydi. O'rtacha $|\varepsilon_L| = L|\Delta I|/\Delta t = 0.40 \times 1.5/0.03 = 20\text{ V}$. EYuK tokning kamayishiga qarshi yo'naladi.

Uzish paytida dI/dt juda katta bo'lishi mumkin; shu sababli induktiv zanjirlarda yuqori kuchlanish impulslari va uchqun paydo bo'lishi ehtimoli mavjud.

7. RL zanjirda o'tkinchi jarayon

R qarshilik va L induktivlik ketma-ket ulangan doimiy kuchlanish manbaiga ulanganda Kirxgof tenglamasi:

$$U = RI + L \frac{dI}{dt}$$

$I(0)=0$ boshlang'ich shart uchun yechim:

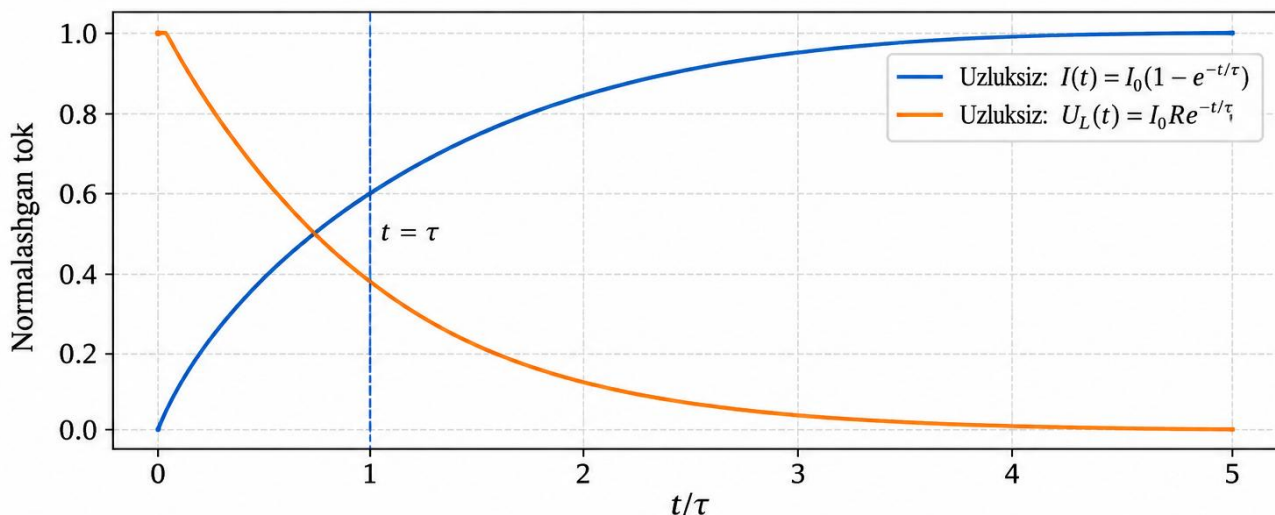
$$I(t) = (U/R)[1 - \exp(-t/\tau)]$$

$$\tau = L/R$$

Manba uzilib, R orqali tok so'nsa:

$$I(t) = I_0 \exp(-t/\tau)$$

O'zinduksiyali RL zanjirda tokning o'tkinchi jarayoni



$I(t)$ — zanjirdagi tok (normalashgan)
 $U_L(t)$ — induktiv kuchlanish (normalashgan)
 τ — vaqt doimiysi, $\tau = \frac{L}{R}$

- $t = 0$ da: $I(0) = 0$, $U_L(0) = U_0$
- $t = \tau$ da: $I(\tau) = 1 - e^{-1} \approx 0.632$, $U_L(\tau) = 0.368 U_0$
- $t \rightarrow \infty$ da: $I(t) \rightarrow 1$, $U_L(t) \rightarrow 0$

XULOSA: O'zinduksiyali RL zanjirda tok eksponensial qonun bo'yicha o'sadi, induktiv kuchlanish esa eksponensial qonun bo'yicha kamayadi.

4-rasm. RL zanjirda tokning eksponensial ortishi va kamayishi

$t=\tau$ da ulanish jarayonida tok yakuniy qiymatning $1 - e^{-1} \approx 63.2\%$ iga yetadi; so'nishda esa 36.8% qoladi.

8-misol

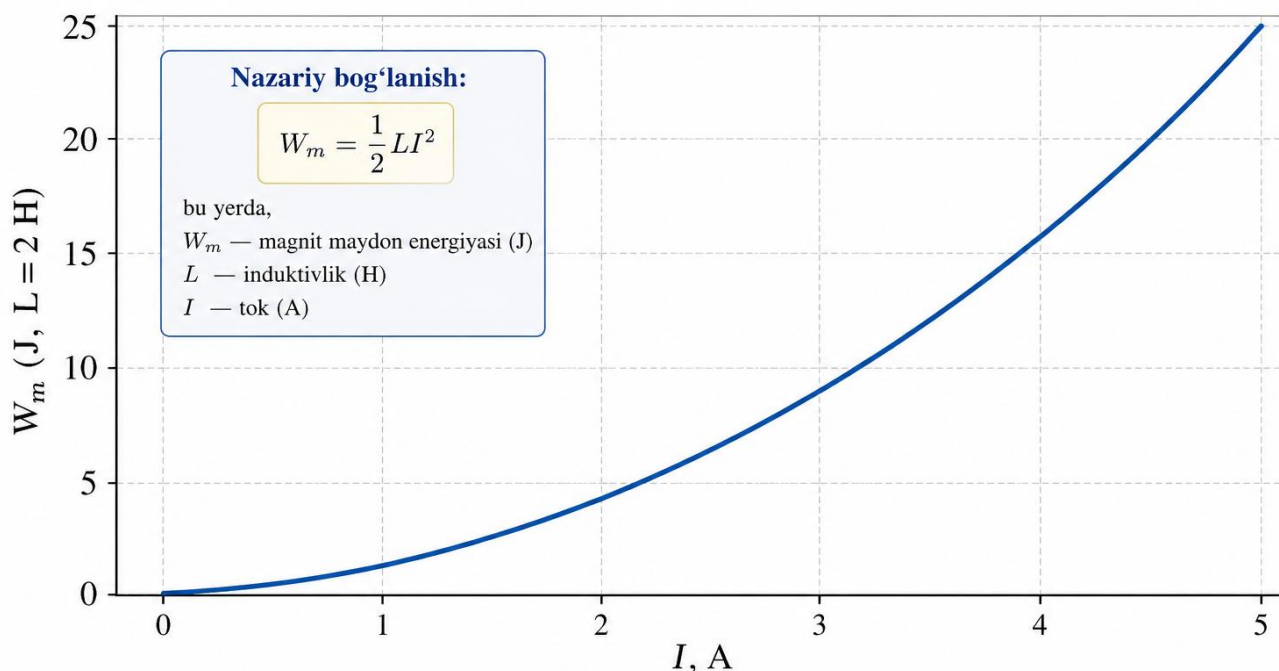
$L=2$ H, $R=10$ Ω va $U=20$ V bo'lsa $\tau=L/R=0.20$ s, $I_\infty=U/R=2$ A. $t=0.20$ s da $I \approx 2(1 - e^{-1}) = 1.264$ A.

8. Induktivlikdagi magnit maydon energiyasi

Tokni noldan I gacha oshirishda manba o'zinduksiya EYuKiga qarshi ish bajaradi. Chiziqli induktivlik uchun elementar ish $dW=L I dI$. Integrallash:

$$W_m = \int_0^I L I dI = \frac{1}{2} L I^2$$

Induktivlik magnit maydon energiyasining tokka bog'liqligi



Induktivlik $L = 2 \text{ H}$ uchun magnit maydon energiyasi tokning kvadratiga proporsional:

$$W_m = \frac{1}{2} LI^2 = I^2 \quad (\text{J})$$

5-rasm. $L=2 \text{ H}$ induktivlikda saqlanadigan magnit energiyaning I^2 ga bog'liqligi

Uzun solenoidda energiyani maydon hajmiga taqsimlab, vakuum yoki chiziqli muhit uchun magnit energiya zichligi olinadi:

$$w_m = B^2/(2\mu) = 1/2 B H$$

Bu natija induktorning energiyani magnit maydonda vaqtincha saqlashini ko'rsatadi.

Hodisa	Asosiy formula	Fizik mazmun
Faradey induksiyasi	$\varepsilon = -N d\Phi/dt$	Oqim o'zgarishi EYuK hosil qiladi
Lens qonuni	minus ishora	Induksiya sabab bo'lgan o'zgarishga qarshi
Harakat EYuK	$\varepsilon = Blv$	Lorens kuchi zaryadlarni ajratadi
O'zinduksiya	$\varepsilon_L = -L dI/dt$	Tok o'zgarishiga qarshi EYuK
Magnit energiya	$W = LI^2/2$	Energiya magnit maydonda saqlanadi

9. Dars metodikasi, mustaqil topshiriqlar va xulosa

Darsni muammoli tajriba bilan boshlash maqsadga muvofiq: magnit g'altak ichida tinch turganda galvanometr nega tok ko'rsatmaydi, harakatlenganda esa ko'rsatadi? Keyin $\Phi = BS \cos \alpha$ tushunchasi kiritilib, Faradey qonuni va Lens yo'nalish qoidasi tajriba bilan bog'lanadi. Harakat EYuK orqali Lorens kuchi bilan aloqasi, o'zinduksiya orqali esa zanjirning o'z tokidagi o'zgarishga 'qarshiligi' ochib beriladi.

Bosqich	Faoliyat
---------	----------

1	Magnit-g'altak tajribasi va kuzatuv.
2	Magnit oqimi $\Phi = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$ ni aniqlash.
3	$\varepsilon = -N d\Phi/dt$ qonunini tajriba natijasi bilan bog'lash.
4	Lens qonuni bo'yicha tok yo'nalishini aniqlash.
5	$\varepsilon = Blv$ bilan harakat EYuKni hisoblash.
6	$\varepsilon_L = -L dI/dt$ orqali o'zinduksiya tushuntirish.
7	RL zanjirda $\tau = L/R$ va $I(t)$ ni tahlil qilish.
8	$W = LI^2/2$ orqali energiya saqlanishini umumlashtirish.

Mustaqil topshiriqlar

1. $N=300$ g'altakda Φ 5 mWb dan 1 mWb gacha 0.02 s da o'zgarsa, EYuK modulini toping.
2. $B=0.8$ T, $l=0.4$ m, $v=3$ m/s bo'lgan harakatlanuvchi sterjen EYuKni hisoblang.
3. $L=0.25$ H g'altakda $dI/dt=40$ A/s bo'lsa, o'zinduksiya EYuK modulini aniqlang.
4. $L=1.5$ H, $R=6 \Omega$ zanjirning vaqt doimiysini toping.
5. $L=0.8$ H va $I=5$ A induktorda saqlangan energiyani hisoblang.

Yakuniy xulosa

Elektromagnit induksiya magnit oqimining vaqt bo'yicha o'zgarishi elektr EYuKni hosil qilishini ifodalaydi. Faradey qonuni $\varepsilon = -d\Phi/dt$ hodisaning miqdoriy asosini, Lens qonuni esa induksion tokning yo'nalishini va energiya saqlanishiga mosligini belgilaydi. Oqim B , kontur yuzasi yoki orientatsiya o'zgarishi, shuningdek o'tkazgichning magnit maydonda harakati natijasida o'zgarishi mumkin. Tokning o'z magnit oqimi o'zgarganda o'zinduksiya EYuK $\varepsilon_L = -L dI/dt$ hosil bo'ladi; RL zanjirning o'tkinchi jarayoni $\tau = L/R$ bilan tavsiflanadi. Induktor $W = LI^2/2$ energiyani magnit maydonda saqlaydi.

Tavsiya etiladigan adabiyotlar

1. Griffiths D. J. Introduction to Electrodynamics. Cambridge University Press.
2. Halliday D., Resnick R., Walker J. Fundamentals of Physics. Wiley.
3. Young H. D., Freedman R. A. University Physics with Modern Physics. Pearson.
4. Purcell E. M., Morin D. Electricity and Magnetism. Cambridge University Press.