

FARADEJEV ZAKON ELEKTROMAGNETNE INDUKCIJE

Faradejev zakon EM indukcije

opšti oblik

Dosadašnje analize su se odnosila na električna i magnetna polja kao vremenski nezavisne veličine.

- Magneto polje je stalan i nerazdvojan pratilac električne struje
- Električna i magnetna polja su posmatrana kao prividno nezavisni fenomeni.
- Pri izučavanju vremenski promenljivih polja obavezna je konstatacija čvrste međusobne povezanosti električnog i magnetnog polja.
- Svako promenljivo magneto polje je obavezno praćeno promenljivim (u vremenu i prostoru) električnim poljem tako da s pravom govorimo o jedinstvenom

ELEKTROMAGNETNOM POLJU

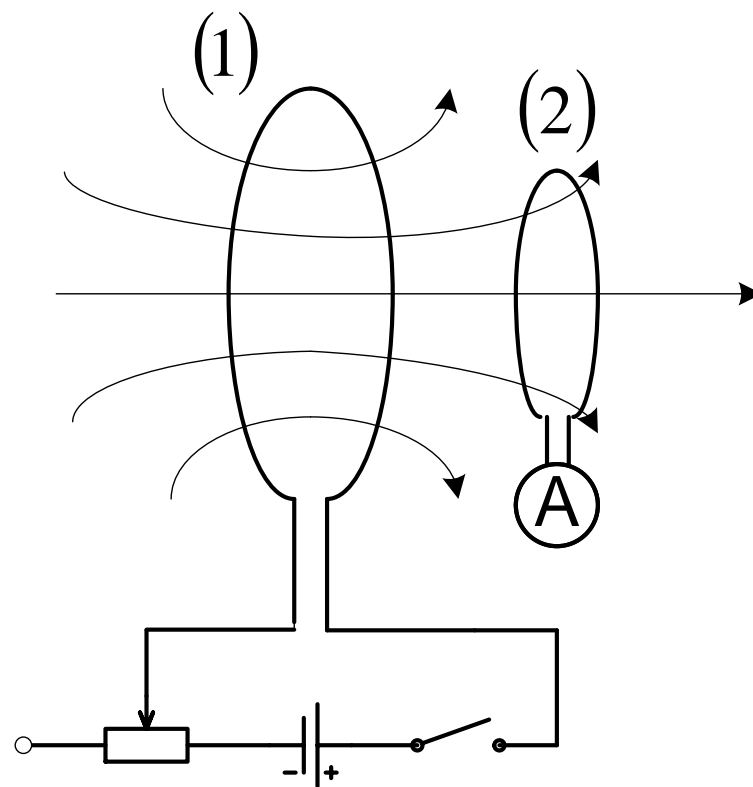
Faradej 1831 zakon elektromagnetne indukcije

Suština leži u promeni magnetnog fluksa

Promena fluksa dovodi do pojave indukovanog električnog polja, odnosno indukovane elektro- motorne sile u konturi kroz koju se menja fluks

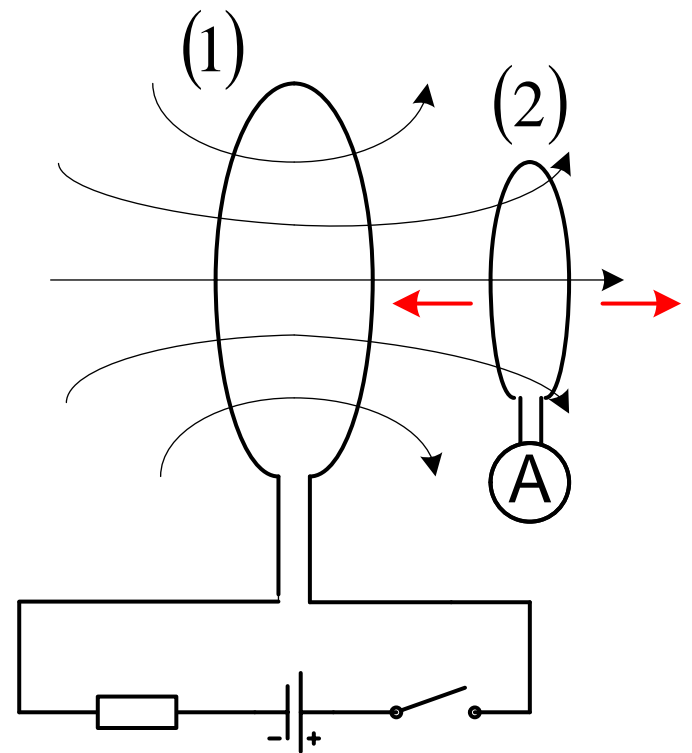
Karakteristična su sledeća tri primera

Primarno i sekundarno kolo miruju jedno u odnosu na drugo, a struja u primarnom kolu se uspostavlja i prekida, ili se njen intezitet menja u vremenu

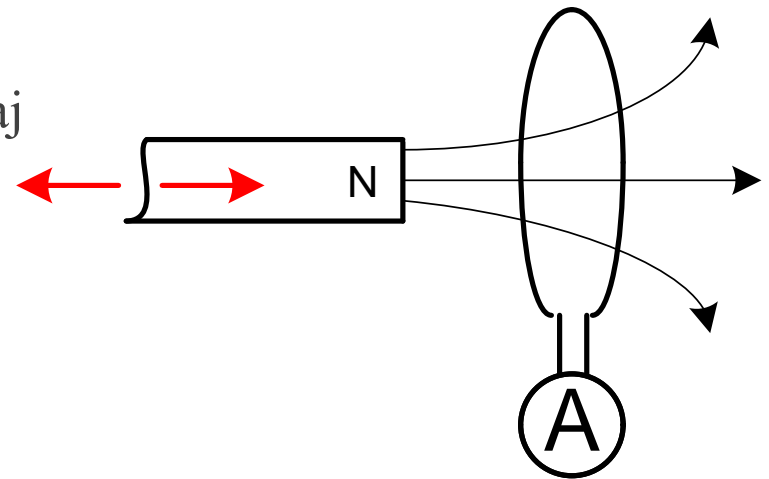


Struja u primarnom kolu se održava konstantnom, ali se tokom vremena menja relativni položaj primarnog i sekundarnog kalema

U kalemu sekundara se indukuje ems koju registruje ampermetar



Primarno kole se menja stalnim magnetom, pa se menja relativni položaj magnetna i sekundarnog kola



Uzrok indukcije u svat tri primera je promena ma gnetog fluksa kroz provodnu konturu, dok je intezitet indukovane elektromotorne sile srazmeran brzini promene fluksa

Promena može biti izazvana

- menjanjem pobudne struje,
- pomeranjem ovog sistema u odnosu na provodnu konturu
- Pomeranjem ili deformacijom sekundarne konture u magnetnom polju.

Promene fluksa mogu biti prouzrokovane i promenom struje u samoj provodnoj konturi - SAMOINDUKCIJA

Indukovana struja koja se javlja u zatvorenoj konturi srazmerna je izvodu fluksa po jedinici vremena ili, što je isto srazmerna je brzini promene fluksa

$$e = - \frac{d\phi}{dt}$$

Indukovana struja u konturi čija je otpornost R ima vrednost

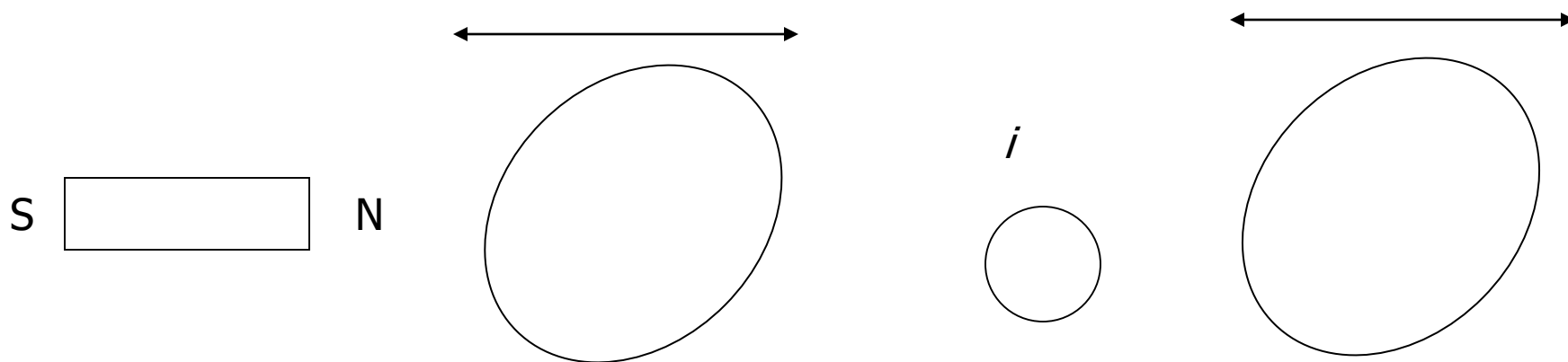
$$i = \frac{e}{R} = -\frac{1}{R} \frac{d\phi}{dt}$$

Kada se kontura pomera u magnetnom polju iz položaja (1) u položaj (2) pri čemu se fluks menja od F_1 do F_2 kroz konturu protekne količina naelektrisanja q .

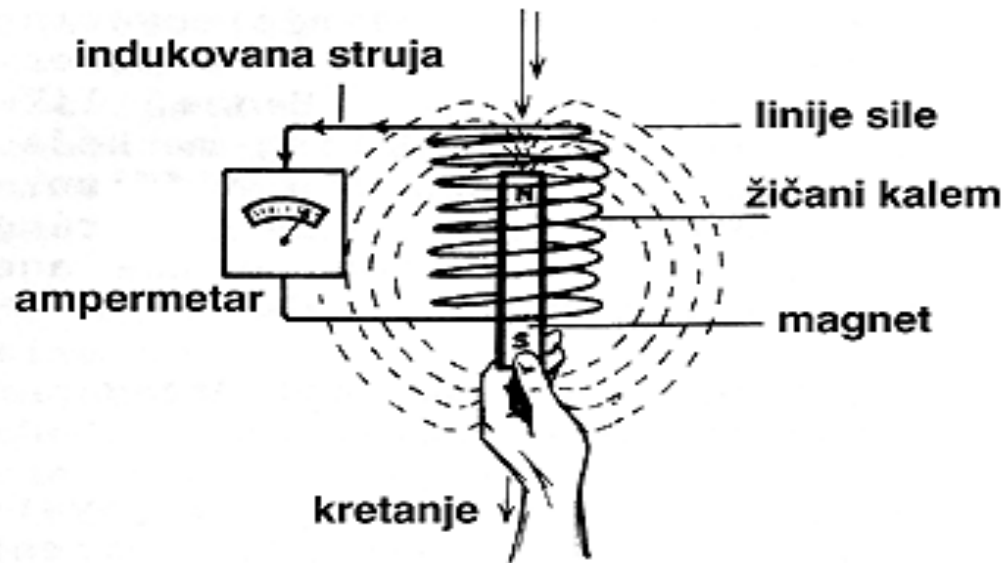
$$q = -\frac{1}{R} (\phi_1 - \phi_2)$$

U zavisnosti od prirode razloga koji dovode do promene fluksa u konturi elektromagnenta indukcija se može podeliti na:

1. statičku (ukoliko kontura miruje)
2. dinamičku (ukoliko se kontura kreće)



EMS dinamičke indukcije



Kada se magnet izvlači iz kalema, broj njegovih linija sile koje obuhvataju kalem se smanjuje. Ovo indukuje električnu struju u namotima kalema. Kada Zemljino magnetsko polje opada, ono u Zemljinom jezgru proizvodi električnu struju koja teži da održi to magnetsko polje.

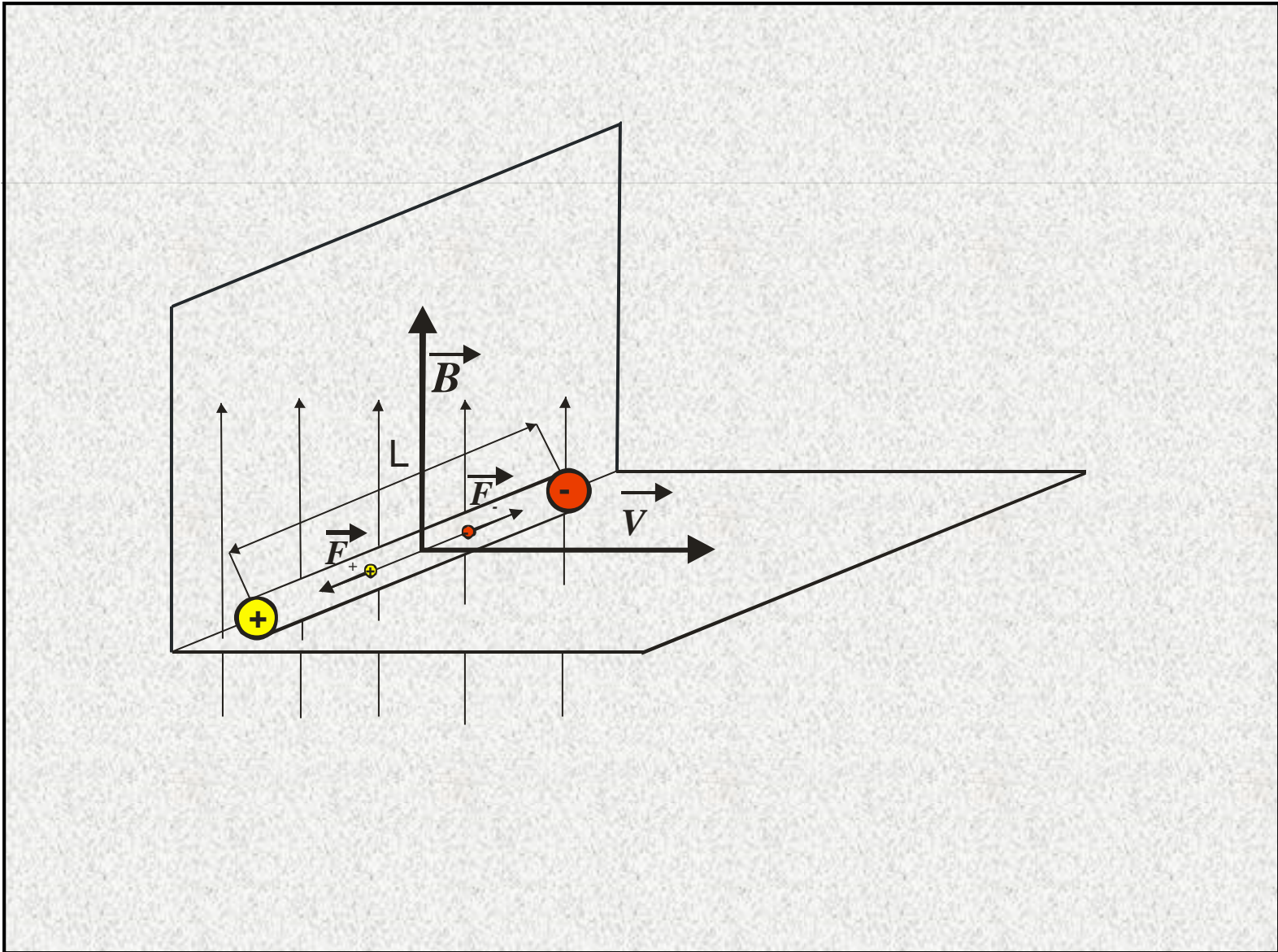
Podsetimo se

Kada se provodnik sa strujom nađe u magnetom polju na njega deluje magnento polje indukcije B silom

$$\vec{F} = I(\vec{l} \times \vec{B})$$

Na naelektrisanu česticu koja brzinom v uleće u magnetno polje pod nekim uglom α polje deluje Lorencovom silom

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$



Dokle traje proces razdvajanja naelektrisanja?

Do trenutka kada se Kulonova i Lorencova sila ne izjednače po intezitetu.

$$F=qE \text{ i } F=qvB$$

Odavde dobijamo da je $E=vB$

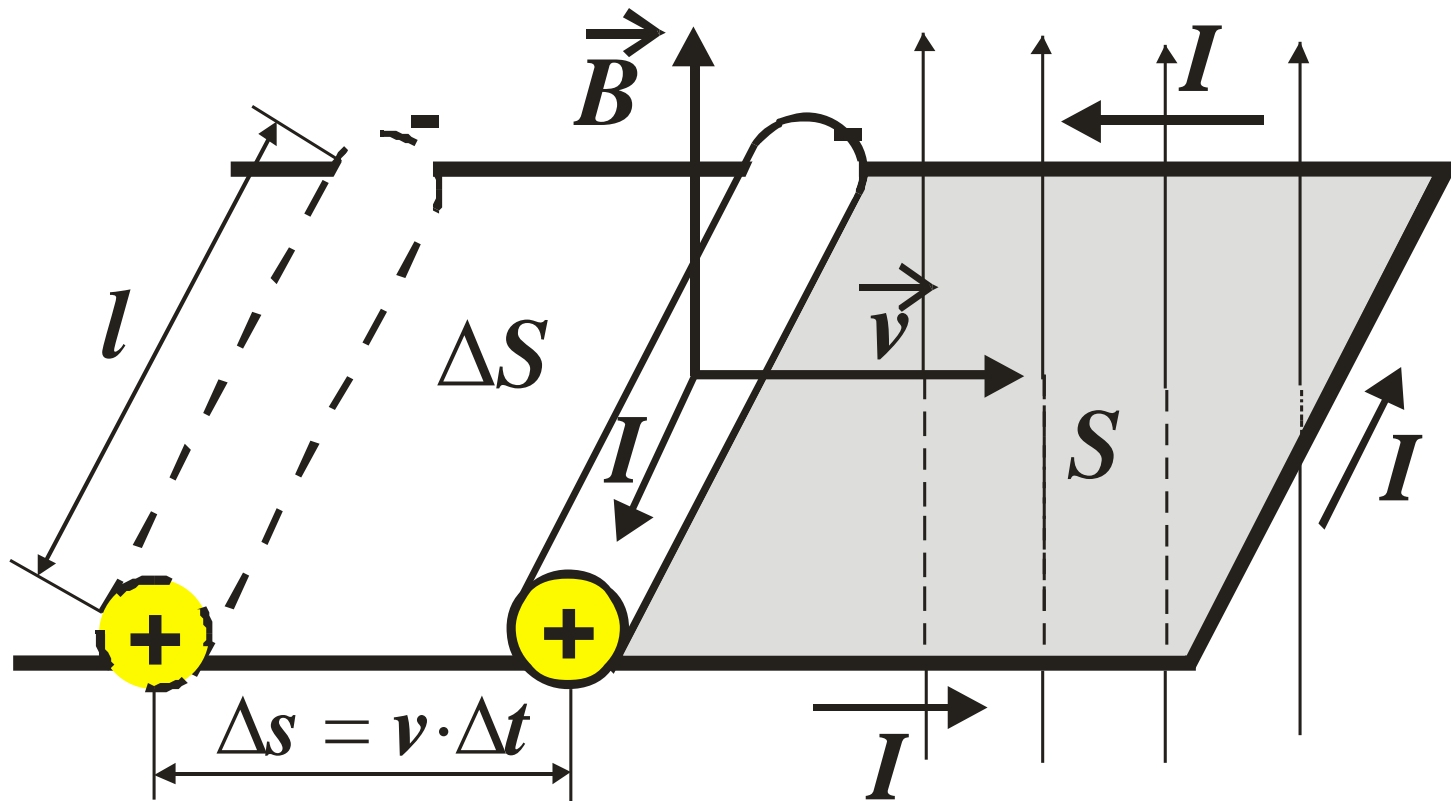
Lorencova sila igra ulogu strane sile u izvoru struje

Prema definiciji EMS je

$$\varepsilon = \frac{A_{st}}{q} = \frac{F_l \cdot l}{q} = \frac{-F_e l}{q} = \frac{-qEl}{q} = -El$$

Odakle dobijamo za EMS

$$\varepsilon = -vBl$$



Zatvorena kontura čija jedna pokretna stranica se kreće brzinom v u magnetom polju indukcije B .

Za vreme t kontura pređe put ds

$$ds = vdt$$

Ukupna površina koja se pri tome promeni je dS

$$dS = lvdt$$

Promena fluksa dF jednaka je

$$dF = BdS$$

Odnosno

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{Bvldt}{dt} = -\varepsilon$$

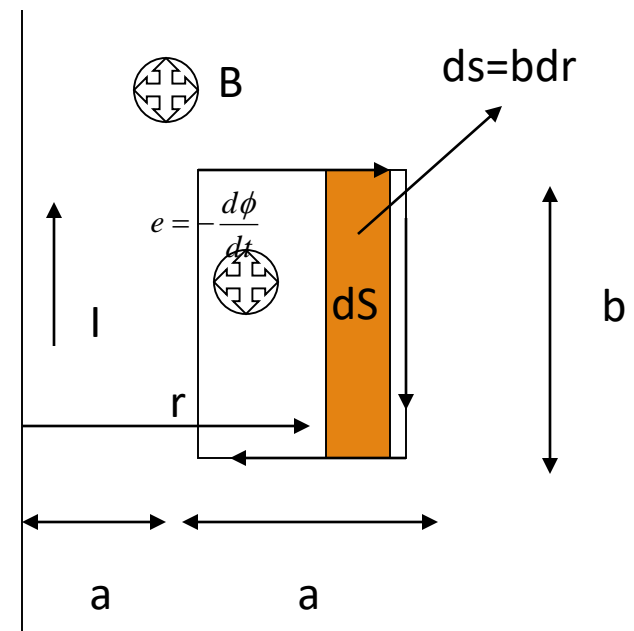
Prema Lencovom Pravilu Indukovana EMS ima takav smer pri kome se konstantna struja svojim magnetnim poljem suprotstavlja uzroku koji je ovu EMS izazvao

Ako je vektor brzine v kojim se kreće kontura paralelan sa linijama polja indukcije B neće doći do indukovanja EMS jer neće doći do presecanja linija polja a time ni do promene fluksa Φ .

U opštem slučaju da bi se u provodniku javila elektromagnetna indukcija potrebno je da brzina v ima komponentu upravnu na pravac polja B i intezitet sile u tom slučaju zavisi od $\sin\alpha$ (gde je α ugao između vektora brzine v i vektora magnetne indukcije B).

Neograničeno dug provodnik kroz koji protiče struje inteziteta I i pravougaona kontura dimenzija $a \times b$ leže u istoj ravni kao na slici. U trenutku $t=0$, kontura počinje da se kreće konstantnom brzinom v u pravcu ka na slici. Odrediti indukovanu ems u funkciji vremena ako se sistem nalazi u vakumu.

$$\begin{aligned} \phi &= \int_s B ds = \int_{a+vt}^{2a+vt} \mu_0 \frac{I}{2\pi r} b dr = \\ &= \mu_0 \frac{I}{2\pi} b \int_{a+vt}^{2a+vt} \frac{dr}{r} = \mu_0 \frac{I}{2\pi} b \ln \frac{2a+vt}{a+vt} \\ e &= -\frac{d\phi}{dt} = -\mu_0 \frac{Ib}{2\pi} \frac{d}{dt} \left(\ln \frac{2a+vt}{a+vt} \right) = \\ &= -\mu_0 \frac{Ib}{2\pi} \frac{a+vt}{2a+vt} \frac{v(a+vt) - v(2a+vt)}{(a+vt)^2} = \\ &= \frac{\mu_0 Ib}{dt} \frac{av}{(2a+vt)(a+vt)} \end{aligned}$$



Na slici date su odgovarajuće dimenzije položaja konture koja miruje u odnosu na provodnik sa strujom $i=I_m \sin \omega t$. Kolika je indukovana ems u konturi. Sistem se nalazi u vakumu

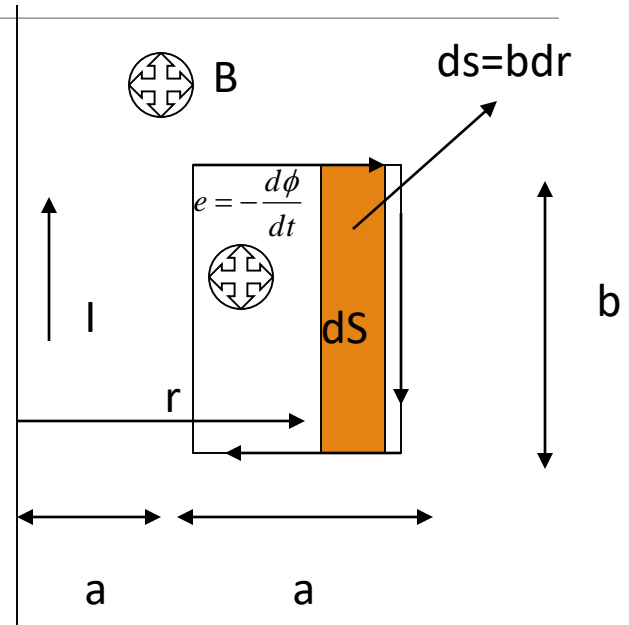
$$\phi = \int_s \overset{\circ}{B} d\overset{\circ}{s} = \int_s B ds = \int_a^{2a} \mu_0 \frac{i(t)}{2\pi r} b dr =$$

$$\phi(t) = \mu_0 \frac{i(t)b}{2\pi} \int_a^{2a} \frac{dr}{r} = \mu_0 \frac{b}{2\pi} I_m \sin \omega t \ln \frac{2a}{a} =$$

$$= \mu_0 \frac{b \ln 2}{2\pi} I_m \sin \omega t$$

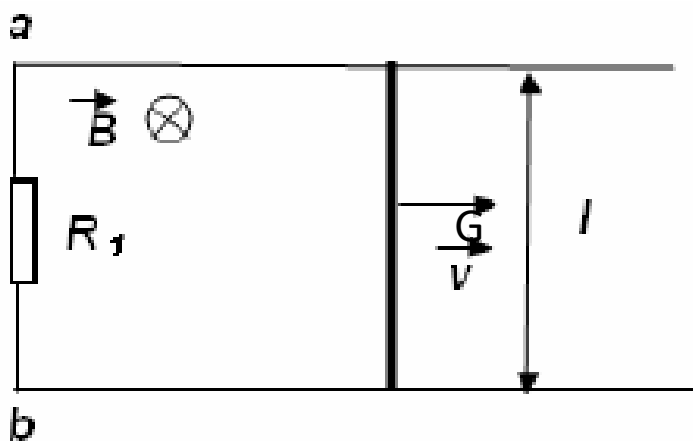
$$e = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{\mu_0 b \ln 2}{2\pi} \frac{d}{dt} (I_m \sin \omega t)$$

$$e = -\frac{\mu_0 b \ln 2}{2\pi} \omega I_m \cos \omega t =$$



Dve para paralelnih šina nalaze se na rastojanju l u homogenom polju magnetne indukcije B upravne na ravan šina. Šine su premođene otpornikom otpornosti R i po njima bez trenja klizi prav provodnik pod dejstvom sile G . Otpornost šina je zanemrljiva. Odrediti brzinu kojom se kreće provodnik i indukovanu ems

Usled kretanja provodnika pod dejstvom sile G u njemu se indukuje ems u tom trenutku kada kroz njega protokne struja inteziteta i na njega će magnetno polje delovati silom $F=IBl$. S porastom brzine provodnika povećava se indukovana ems, pa ubrzanje u pravcu dejstva sile G će se postepeno smanjivati. Kada se ems po intezitetu brzina postaje stacionarna v_k



$$i = \frac{e}{R} = \frac{Bvl}{R} \qquad iBl = \frac{l^2 B^2 v}{R}$$

$$G = F = \frac{l^2 v_k B^2}{R}$$

$$v_k = \frac{RG}{l^2 B^2}$$

Samoi indukcija i energija magnetnog polja

Kada u nekoj konturi postoji struja jacinne i , nju obavezno prati odgovarajuće magnetno polje. To polje u posmatranoj konturi formira fluks $\Phi = BS$.

Ovaj fluks se naziva sopstvenim magnetnim fluksom.

Ako se struja menja u vremenu, menja se i sopstveni fluks pa se prema zakonu o elektromag. indukciji u konturi indukuje *ems* proporcionalan negativnom izvodu fluksa po jedinici vremena.

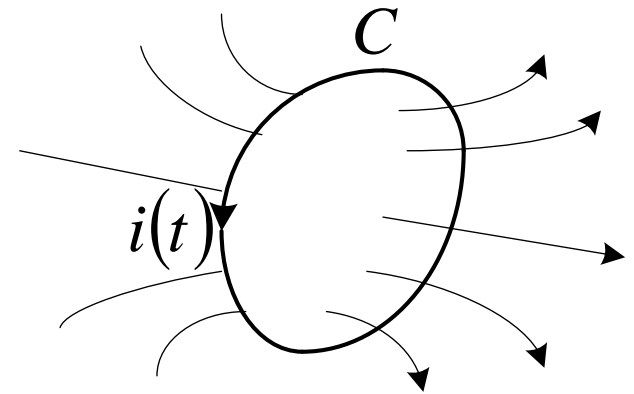
Ako je sredina u magnetnom pogledu linearna tj ako ne sadrži feromagnetike, magnetna indukcija je direktno srazmerna jačini struje sa kojom je povezana.

Samim tim i ukupni magnetni fluks koji potiče od sopstvenog magnetnog polja srazmeran je trenutnoj vrednosti jačine struje u konturi i ako su referentni smerovi usaglašeni može se pisati da je

$$L = \frac{\phi}{I}$$

$$\Phi = LI$$

$$e_s = -L \frac{di}{dt}$$



$$L_u = \text{henri} = \text{H}$$

Energija mag. Polja je

$$W_m = \frac{1}{2} \mu H^2 V = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu} V = \frac{1}{2} BHV$$

Gustina energije magnetnog polja je

$$w_m = \frac{W_m}{V} = \frac{1}{2} \mu H^2 = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu} = \frac{1}{2} BH$$

Privlačna sila elektromagneta je

$$F = \frac{B^2 S}{\mu_0}$$