

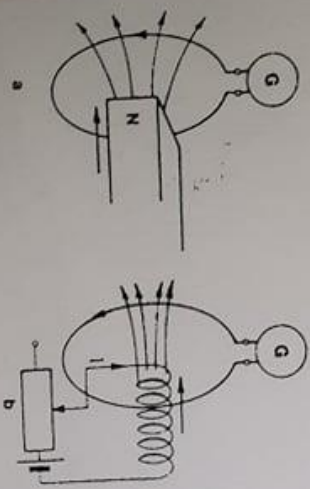
## FARADEJEV ZAKON ELEKTROMAGNETNE INDUKCIJE

Zakon elektromagnetne indukcije otkrio je 1831. godine, eksperimentalnim putem, engleski fizičar Majkl Faradej. Eksperimentišući sa kalenom žice, čiji su krajevi vezani za osedljiv galvanometar u polju stalnog magneta (slika 4.15a), ili u polju drugog kalena napajanog strujom iz galvanskog elementa (slika 4.15b), on otkriva da će kazaljka galvanometra registrovati pojavu kratkotrajne struje u sledećim slučajevima: (1) ako se menja relativni položaj kalena sa instrumentom i stalnog magneta; (2) ako se menja relativni položaj kalena sa instrumentom i drugog kalena; i (3) ako se prekida ili menja jačina struje u drugom kalenu, pri čemu oba kola miruju.

Analizirajući na prvi pogled različite okolnosti pod kojima dolazi do pojave elektromagnetne indukcije, Faradej izvodi zaključak da je uzrok indukcije u svim slučajevima promena magnetnog fluksa kroz zatvorenu konturu, a da je intenzitet indukovane struje srazmeran brzini promene fluksa.

Indukovana struja je posledica indukovane elektromotorne sile, koja postoji i u slučaju kada kontura nije zatvorena. Faradejev zakon elektromagnetne indukcije glasi: Indukovana elektromotorna sila u zatvorenoj konturi srazmerna je brzini promene fluksa. Ako vremenski promenljivu indukovanu ems obeležimo malim slovom  $\epsilon$ , kao i druge promenljive veličine, matematički oblik zakona biće:

$$\epsilon = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (4.31)$$



Sl. 4.15

Koeficijent  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  u kome je  $\Delta\Phi$  promena (prikažnja) fluksa, a  $\Delta t$  odgovarajući vremenski interval, predstavlja brzinu promene fluksa.

Znak „minus“ na desnoj strani izraza predstavlja matematički iskaz Lencovog pravila, koji glasi: indukovana ems ima uvek takav smer da u zatvorenoj provodnoj konturi stvara struju koja se svojim poljem suprotstavlja promeni fluksa, koji je izazvao indukciju. Tako, na primer, ako se kalen sa strujom na slici 4.15b primiče zatvorenoj konturi, ili se u njemu reostatom pojačava struja, raste fluks kroz zatvorenu konturu. Indukovana struja će imati takav smer da sopstvenim magnetnim poljem sprečava promenu fluksa. U slučaju da se kalen sa strujom odmiče, indukovana struja ima suprotan smer, tj. svojim poljem podržava pobudno polje, sprečavajući smanjenje fluksa.

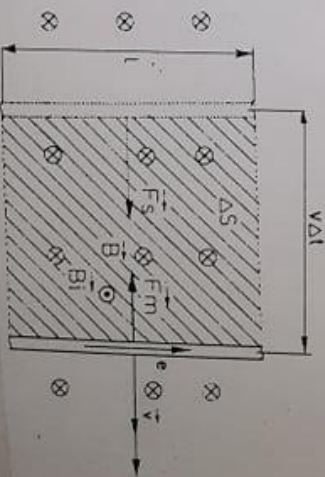
U prethodnom primeru opisana je tzv. statička indukcija, za koju je bitno da se oko nepokretne konture magnetno polje menja u vremenu. Na ovakvoj elektromagnetnoj indukciji zasniva se princip rada transformatora. Rad generatora za jednosmernu ili naizmenničnu struju zasniva se na dinamičkoj indukciji. Ona nastaje kada se zatvorena kontura kreće u magnetnom polju, presecajući linije vektora magnetne indukcije  $B$ . Na slici 4.16 prikazan je pravolinijski provodnik dužine  $l$ , koji se pod dejstvom spoljašnje sile  $F_s$  kreće upravno na pravac linije homogenog magnetnog polja indukcije  $B$ , konstantnom brzinom  $v$ . U toku vremenskog intervala  $\Delta t$  provodnik se pomerno za rastojanje  $v\Delta t$  i prebriao površinu:  $\Delta S = lv\Delta t$ . Magnetni fluks vektora  $B$  kroz prebrišanu površinu iznosi:

$$\Delta\Phi = B\Delta S = Blv\Delta t \quad (4.32)$$

Intenzitet indukovane ems prema Faradejevom zakonu je:

$$\epsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{Blv\Delta t}{\Delta t} = Blv \quad (4.33)$$

Sl. 4.16



Smer indukovane struje je takav da je indukovano magnetno polje s leve strane provodnika suprotnog smera od vektora  $B$ , a smer elektromagnetne sile koja deluje na provodnik sa strujom u magnetnom polju suprotan smeru spoljašnje sile. Ako je vektor brzine kolinearan vektoru magnetne indukcije  $B$ , odnosno ako provodnik, krećući se, ne preseca magnetne linije, neće doći do pojave elektromagnetne indukcije. U opštem slučaju indukovana ems zavisi od sinusa ugla između  $\vec{v}$  i  $\vec{B}$ , tj:

$$e = Blv \sin(\vec{v} \vec{B}) \quad (4.34)$$

i najveća je kada vektor brzine  $\vec{v}$ , vektor magnetne indukcije  $\vec{B}$  i pravac provodnika dužine  $l$  stoje pod uglovima od  $90^\circ$ .

Indukovana ems i struja javiće se u svakom masivnom provodniku, ako je izložen promenama magnetnog fluksa. Struje koje nastaju pod dejstvom indukovanog električnog polja nazivaju se viorne ili **virtložne struje**. Kao posledica tih struja, dolazi do zagrevanja feromagnetnih materijala, pošto sa porastom temperature gubi sposobnost magnećenja, da bi se potpuno izgubili na kritičnoj, tzv. Kirijevoj temperaturi.

Gubici u magnetnim kolima električnih mašina i njihovo beskorisno zagrevanje biće manje ako se smanji jačina virtložnih struja. To se postiže tako što se umesto masivnog jezgra koristi jezgro od tankih, međusobno izolovanih limova. Najčešće se upotrebljava dinamolim debljine  $0,1 \div 0,5$  mm. Još bolji rezultati, posebno na visokim učestanostima, postižu se primenom feritnih jezgara kod kojih su feromagnetna zrnca međusobno izolovana vezivnim dielektričnim materijalom.

Kod lameliranih jezgara srednja snaga Džulovih gubitaka, usled virtložnih struja, data je izrazom:

$$P = 1,64 \gamma a^2 V f^2 B_m^2, \quad (4.35)$$

gde je:

- $\gamma$  – specifična provodnost materijala,
- $a$  – debljina lima,
- $V$  – zapremina jezgra,
- $f$  – učestanost promene fluksa,
- $B_m$  – maksimalna vrednost magnetne indukcije.

Dejstva virtložnih struja mogu se i korisno upotrebiti. Kod indukcionih peći Džulovi gubici zagrevaju i tope masu od provodnog materijala. Provodni materijal se ubacuje u unutrašnjost velikih kalemova, kroz koje, radi postizanja snažnog efekta zagrevanja protiču promenljive struje visokih učestanosti. Kod indukcionog brojila, instrumenta koji meri potrošnju električne energije, rotor elektromotora (aluminijumski disk) okreće se pod dejstvom virtložnih struja.