

1/6
Visas experiment -

- interesting.

Repetition

map 5 0 b-p 6.

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

Vid självinduktion i en spole är den inducerade spänningen

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

Momentanvärdet ges av

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

L är spolens induktans.

Enhet: 1 H.



Fig. 12. När strömmen bryts, tvingas strömmen att minska mycket snabbt, och en stor inducerad spänning uppträder över spolen.

ÖVNING 6.22–6.24

Vi får:

$$e = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \mu_0 \frac{N^2 \cdot A}{l} \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

För en given solenoid är uttrycket $\mu_0 \frac{N^2 \cdot A}{l}$ en konstant och kallas solenoidens induktans L .

Känner man solenoidens induktans kan man alltså beräkna den inducerade spänningen ur strömändringen enligt:

$$e = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

Skriver vi om till $L = e \frac{\Delta t}{\Delta i}$ ser vi att enheten för induktans är Vs/A som i SI-systemet kallas henry (H).

Söker vi en inducerad momentanspänning ersätter vi som vanligt differenskvoten med en derivata och får:

$$e = L \frac{di}{dt}$$

Anm.: Om solenoiden förses med järnkärna som i fig. 10 blir den en elektromagnet. Flödet genom den och därmed induktansen blir betydligt större och kan inte beräknas enligt ovan.

KONTROLL 5

Strömmen i i en spole ökar linjärt från noll till 0,75 A på 2,5 s. Då induceras spänningen 3,0 mV i spolen. Beräkna spolens induktans.

Brytning av induktiv krets

När kretsen fig. 12 sluts kan den inducerade spänningen i spolen aldrig överstiga värdet av spänningen U hos spänningskällan. I så fall skulle strömmen börja gå åt andra hållet. Men vad händer när kretsen bryts? Strömmen tvingas mycket snabbt ner till noll. Det betyder att Δi i sambandet $e = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$ blir mycket litet.

Den inducerade spänningen kan då bli mycket större än den pålagda spänningen U – så stor att det slår en gnista tvärs över strömställaren. Principen används exempelvis i tändspolen i äldre bilmotorer för att få en gnista att slå mellan elektroderna i tändstift. Vid brytning av starka strömmar i induktiva kretsar med stor induktans måste man vara försiktig för att undvika brandfara.

Självinduktion förekommer i alla kretsar när strömmen ändras, men induktansen är oftast så liten att induktionen kan försummas.

8 In- och urkoppling i en krets med induktans

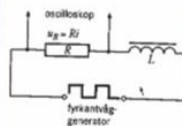


Fig. 13. Spänningskällan levererar en spänning som växlar periodiskt mellan värdet U och 0. På oscilloskopet kan man studera hur strömmen i kretsen ändras vid in- och urkoppling av U .

Som du sett bromsas strömändringen när spänningen kopplas på i en krets som har induktans. Med oscilloskop eller mät dator kan vi studera förloppet.

Kretsen i fig. 13 innehåller en spole och ett motstånd. De är kopplade till en spänningskälla som växlar mellan en konstant spänning U och noll. Kretsen är sluten även när spänningen är noll.

Ett oscilloskop eller en mät dator registrerar spänningen över motståndet. Enligt Ohms lag är den i varje ögonblick proportionell mot strömmen. På skärmen kan vi alltså se hur strömmen varierar med tiden.

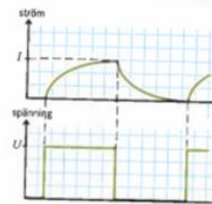


Fig. 14. Strömkurvas utseende i samband med att spänningen i kretsen i fig. 13 växlar mellan U och noll.

Strömkurvas utseende visas i fig. 14. I samma tidskala visas hur den pålagda spänningen varierar. När spänningen U kopplas in, växer strömmen först hastigt men sedan allt långsammare mot sitt fulla värde I . När spänningen plötsligt blir noll, avtar strömmen på motsvarande sätt.

En närmare analys, som visar att ström kurvorna är exponentiellt växande respektive avtagande, kan göras så här:

När den konstanta spänningen U kopplats in får vi med en potentialvändring i varje ögonblick $U = Ri + L \frac{di}{dt}$. Jämför kretsen i fig. 11a.

När spänningen sedan försvunnit får vi i stället $0 = Ri + L \frac{di}{dt}$. Jämför kretsen i fig. 11b där strömmen avtar. Dessa båda differentialekvationer har

lösningarna $i = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{L/R}} \right)$ resp. $i = \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{L/R}}$. Derivering med avseende

på tiden bekräftar sambanden.

ÖVNING 6.25–6.30

9 Växelströmsgeneratorn

I en generator som alstrar växelström drivs en slinga runt i ett magnetfält, se fig. 15.

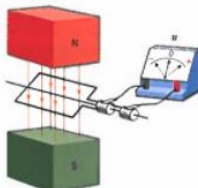


Fig. 15. I en roterande slinga i ett magnetfält induceras en växelspanning.

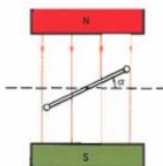


Fig. 16. Figuren visar slingan i fig. 15, sedd från en kortsida. Vinkelhastigheten ω är konstant och vid tiden t är vinkeln $\alpha = \omega t$.

Energikällan kan vara av olika slag, t.ex. ett vattenhjul, en ångturbin eller en vindturbin. Eftersom flödet genom slingan ständigt ändras, induceras en spänning i den. Slingans ändpunkter är anslutna till var sin metallring. Via kontakter som släpar mot ringarna kan man "ta ut" spänningen.

Vi ansluter släpkontaktarna till en känslig voltmeter för likspänning och låter slingan rotera ganska långsamt. Voltmeters visare pendlar då fram och tillbaka kring sitt jämviktsläge. Den inducerade spänningen är tydligen en *växelspänning*.

Vi ska undersöka hur man kan beskriva en sådan växelspänning matematiskt. Vi antar att slingan roterar med konstant varvtal och att magnetfältet är homogent, fig. 16. Vi räknar tiden från ett läge när slingan är vinkelrät mot flödeslinjerna.

Vid tiden t har slingan vridit sig vinkeln $\alpha = \omega t$, där ω är slingans vinkelhastighet. Om slingans area är A och flödestätheten B , är det magnetiska flödet genom slingan vid tidpunkten t enligt avsnitt 4:

$$\Phi = BA \cos \alpha$$

Enligt induktionslagen är momentanvärdet av den inducerade spänningen lika med tidsderivatan av flödet $\Phi = BA \cos \omega t$. Vi får:

$$e = \frac{d\Phi}{dt} = -BA\omega \sin \omega t \quad (\omega \text{ är inre derivata})$$

Generatorns polspänning är alltså sinusformad. Minustecknet har inget praktiskt intresse eftersom den inducerade spänningen ständigt växlar polaritet. Det största värde spänningen antar är $BA\omega$. Vi inför beteckningen \hat{u} (uttal: u-topp eller u-tak) för det värdet. Generatorspänningen kan då skrivas:

$$u = \hat{u} \sin \omega t$$

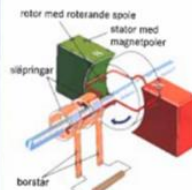


Fig. 17. Principen för en enkel växelströmsgenerator.

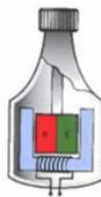


Fig. 18. Cykelgenerator. Ett roterande magnetfält inducerar spänning i de fasta lindningarna.

Genom att utnyttja induktionen i generatorer kan elektrisk energi alstras. Den vanligaste typen av generator är den som visas i fig. 17. Statorn, magneterna, skapar ett fixt magnetfält och rotorn är en roterande spole med många slingor.

I t.ex. vattenkraftverk används generatortyp där spänningen i stället induceras i lindningar på statorn av ett magnetfält som roterar med rotorn. På den sitter då elektromagneter som matas med ström från släpkringar.

I mindre generatorer kan elektromagneterna ersättas av permanentmagneter, fig. 18.

Ju fler poler generatorn har, desto lägre varvtal har den vid en viss frekvens hos växelspanningen. En fyrpolig generator ger nätfrekvensen 50 Hz vid varvtalet 1 500 varv/minut. Elgeneratorer i vattenkraftverk anpassas till vattenfallets höjd. Ju högre vattenfall, desto högre varvtal. Eftersom svenska vattenfall i allmänhet har ganska liten fallhöjd, brukar man använda mångpoliga generatorer.

De största generatorerna finns i kärnkraftverk. Där drivs generatorn, som ofta är tvåpolig, av ångturbiner. Effekten kan uppgå till ca 1 000 MW, och verkningsgraden kan bli upp till 98 %, fig. 19.

TÄNK TILL!

Kan du se någon fördel med att spänningen induceras i statorn i stället för i rotorn när växelströmsgenerator ger hög spänning?



Fig. 19. Generatorer i vattenkraftverk.

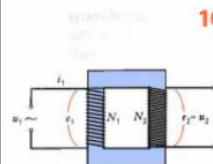


Fig. 20. Transformator med primärsidan ansluten till en spänningskälla och med sekundärsidan öppen.

10 Transformatorn och elektrisk energioverföring

En transformator är en elektrisk apparat som kan förändra växelspanningars toppvärden. I sitt enklaste utförande består en transformator av en järnkärna med två skilda spolar, en *primärspole* med N_1 varv och en *sekundärspole* med N_2 varv, fig. 20.

Järnkärnan är konstruerad av tunna plåtar, isolerade från varandra så att energiförlusterna på grund av virvelströmmar och ommagnetiseringar blir så små som möjligt. När primärspolen ansluts till en växelspanning, orsakar strömmen i_1 ett magnetiskt flöde Φ i järnkärnan. Praktiskt taget hela flödet följer järnkärnan runt och passerar därmed också genom sekundärspolen. Eftersom flödet varierar i takt med strömmen i_1 , induceras spänningar i båda spolarna:

$$e_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{och} \quad e_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

Division led för led ger:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Resistansen i primärspolen är vanligen så liten att den kan försummas. Den inducerade spänningen e_1 får då i varje ögonblick samma belopp som spänningskällans spänning u_1 . Spänningen u_2 över sekundärspolen är den inducerade spänningen e_2 . Eftersom en växelspanning liksom en växelström varierar hela tiden, använder man vid beräkningar ett slags medelvärden U , resp. I som kallas effektivvärden. (Heureka 1 Lärobok, kapitel 7).

Vi övergår till effektivvärden och får:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{eller} \quad U_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot U_1$$

Genom lämpligt val av spolarnas varvantal kan en spänning U_1 ändras, transformeras, till en spänning U_2 . Exempelvis kan nätspänningen 230 volt transformeras ner till några få volt (och vid behov likriktas) med en s.k. adapter till elektronikapparatur.

Det visar sig att transformatorn kan arbeta praktiskt taget utan effektförlust. Då gäller sambandet

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

där I_2 är strömmen genom en komponent på sekundärsidan, fig. 21. Transformerar man ner spänningen och kortsluter sekundärspolen med

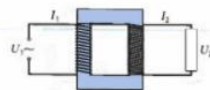


Fig. 21. Transformator med en belastning på sekundärsidan.

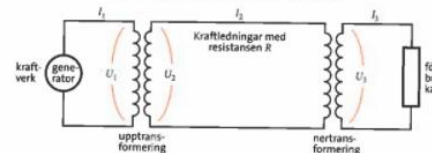


Fig. 22.

två metalstycken, kan strömmen I_2 bli så stark att värmeutvecklingen räcker till att smälta ihop dem. Det är principen för ett svetsaggregat, fig. 22.

Omvänt kan man enligt sambandet $U_1 I_1 = U_2 I_2$ ta ut en given effekt vid en lägre sekundärström I_2 om utspänningen U_2 är hög. Detta utnyttjar man vid överföring av elektrisk energi från kraftverken till förbrukarna. Energiförlusterna i ledningarna minskar vid lågt värde på I_2 , fig. 23. Redan en fördubbling av U_2 innebär i princip att I_2 halveras och att förlusterna $R I^2$ i ledningarna minskar till en fjärdedel.

Fig. 23. Principen för överföring av elenergi.



Det finns dock en övre gräns för spänningen U_2 . Ju större den blir, desto besvärligare problem får man med överslag och andra urladdningar på grund av de höga fältstyrkor som bildas intill ledarna. Den högsta spänning som används vid överföring av elenergi i Sverige är 400 kV. På andra håll i världen förekommer dock avsevärt högre överföringsspänningar. Innan den elektriska energin levereras till förbrukaren transformeras spänningen ner igen till en driftspänning, som ofta är 400 V eller 230 V.

KONTROLL 6

Nätspänningen 230 V ska transformeras ner till 9,0 V. Primärspolen har 1000 trådvarv. Beräkna antalet varv i sekundärspolen.

**Virvelströmmar,
Självinduktion och
brytning av
induktiv krets.
Demonstration.**

Vi arbetar med
uppgifterna:

Jag visar ur lärobok:
6:22, Kontroll 5,
Kontroll 6

Ni gör: 6:23, 6:25,
6:27, 6.31 (Fördj:
6.24, 6:26, 6.28,
6.29, 6.30)

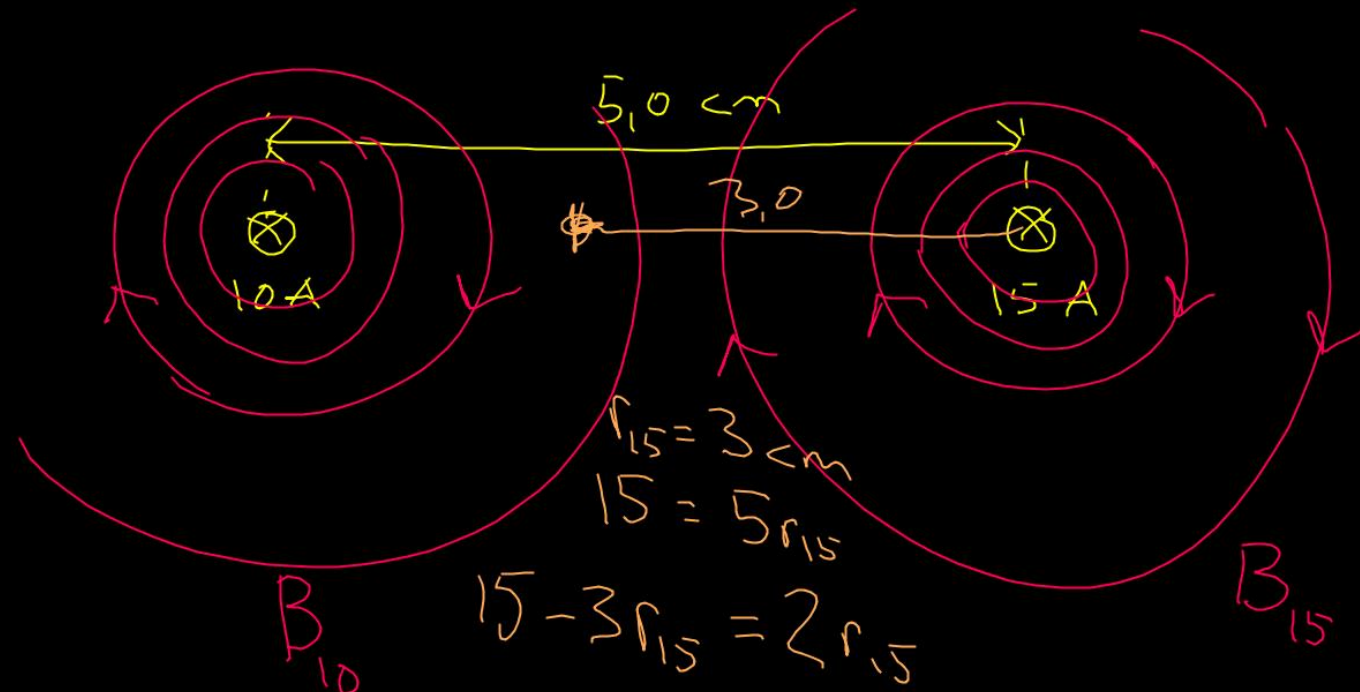
Stora läroboken

Kapitel 6.7 - 6.10. Ger oss formler för att räkna på induktans L i spole. Hur strömmen i A ändras med tiden t s kan vi beskriva med hjälp av lösningen till differentialekvationen: $Ri - L \frac{di}{dt} = 0$ (Tänk Ma5).

Alternativ E: Lösningar till uppgift: 6.14, 6.15, 6.16, 6.17 + Blandade uppgifter

lilla "övningsboken"

5.39



$$B = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{I}{r}$$

$r =$ afstand till ledare

$$r_{15} = 3\text{ cm}$$

$$15 = 5r_{15}$$

$$15 - 3r_{15} = 2r_{15}$$

$$r_{10} = r_{15}$$

$$r_{10} + r_{15} = 5.0$$

$$r_{10} = 5.0 - r_{15}$$

$$1 = \frac{|B_{15}|}{|B_{10}|} = \frac{\frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{15}{r_{15}}}{\frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{10}{5.0 - r_{15}}} = \frac{3(5.0 - r_{15})}{2r_{15}} = 1$$