

3 EM i kulturen. Teknisk bastillämpning. Symbolisering

Inledning

Ämnet: "elektromagnetismen i kulturen" är minst sagt stort och kan fylla böcker. Meningen med denna rubrik är emellertid endast att vi vill försöka förmedla en övergång mellan de abstrakta resonemangen i det första kapitlet och ett mera invariant betraktelsesätt. Man kanske kan kalla detta sätt att se på elektricitet och magnetism för "kopplingsschemakulturen". I fortsättningen följer en genomgång av de allra vanligaste tekniska bastillämpningarna.

Ledningsström, ledare, resistanser

I de flesta tillämpningar där man utnyttjar elektriciteten använder man ledningsström. I flertalet elektrotekniska konstruktioner finns alltså ledningsström vilken följer väldefinierade banor i kretsar eller nät. Det grundläggande uttrycket för ledningsström är

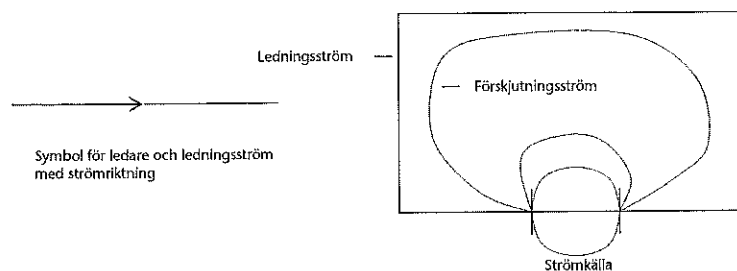
$$\vec{S} = \gamma \cdot \vec{E} \left[\frac{A}{m^2} \right]$$

Eftersom oftast behovet av de rumsliga dimensionerna är litet vid användandet av ledningsbanor, är det praktiskt att använda endast skalära storheter. Man kan därvid ta bort rumsfaktorerna yta och sträcka och får då

$$\vec{S} \cdot A = (\gamma \cdot 1) \cdot (\vec{E} \cdot 1) \left[\frac{1 \cdot m \cdot V \cdot m}{\Omega \cdot m \cdot m} = \frac{V}{\Omega} = A \right]$$

Fältstyrkan ersätts med spänning u [V], konduktiviteten med konduktansen G [$1/\Omega$] och strömtätheten med ström(styrkan) i [A]. Man får därmed

$$i = G \cdot u \text{ [A]}$$



Figur 3.1 Hur ledningsström och ledare symboliseras i tekniska scheman samt en möjlig symbolisering av totalströmmen i en krets.

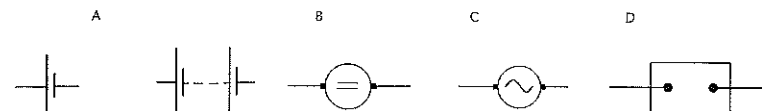
I de flesta fall ersätter man G med $1/G = R$, dvs. elektrisk resistans [Ω]. Därvid erhålls den välbekanta Ohms lag (Simon Ohm, tysk fysiker, 1787–1854). (Överstrykning av vissa faktorer i uttrycken ovan gör man för att visa att storheterna är icke skalära utan rumsberoende eller det man kallar vektoriella).

$$i = \frac{u}{R} [A] \quad (3.1)$$

När man grafiskt skall visa elektriska fenomen eller elektrotekniska konstruktioner har man behov av *symbolisering* eller *scheman* (*principscheman*). Nedan och i fortsättningen visas de vanligaste symbolerna.

En ledare symboliseras som i fig. 3.1. Detta är också symbolen för ledningsström. Strömriktningen brukar anges med en pil. Här är det lämpligt att påpeka att gränsen mellan förskjutningsström och ledningsström inte är knivskarp. Om även förskjutningsströmmen skall visas, och vi använder den tidigare symbolen, kan man få ett schema som t.ex. fig. 3.1, th. Eftersom emellertid förskjutningsströmmen oftast är oerhört mycket mindre än ledningsströmmen och betydelselös i många sammanhang, visas den normalt inte. Inte heller strömmen genom strömkällan markeras. Tekniska källor kan vara batteri (galvaniska element eller ackumulatorceller), likspänningsaggregat, -generatorer eller växelspänningsaggregat, -generatorer. Deras symboler visas i fig. 3.2.

När ledningsström passerar en ledare påverkas den av ledarens resistans, och man får förluster i form av uppvärmning. Det är givetvis viktigt för konstruktörer att hålla nere dessa förluster och temperaturstegringar. Detta görs genom att man väljer lämpligt ledarmaterial med lämpliga dimensioner. Resistivitet för olika material fås ur tabeller. Om resistiviteten beteck-



Figur 3.2 Hur olika strömkällor symboliseras.

A = Batteri (galvaniskt) eller ackumulator. T.v: en cell. T.h: två eller flera celler.

B = Likströmsgenerator

C = Växelspänningsgenerator

D = Godtycklig strömkälla

nas med r (här [$\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$]) får man resistansen för en viss ledarlängd l [m] enl.

$$R = \frac{r \cdot l}{A} \left[\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}}{\text{mm} \cdot \text{mm}^2} \right]$$

A är ledarens area, här angiven i [mm^2].

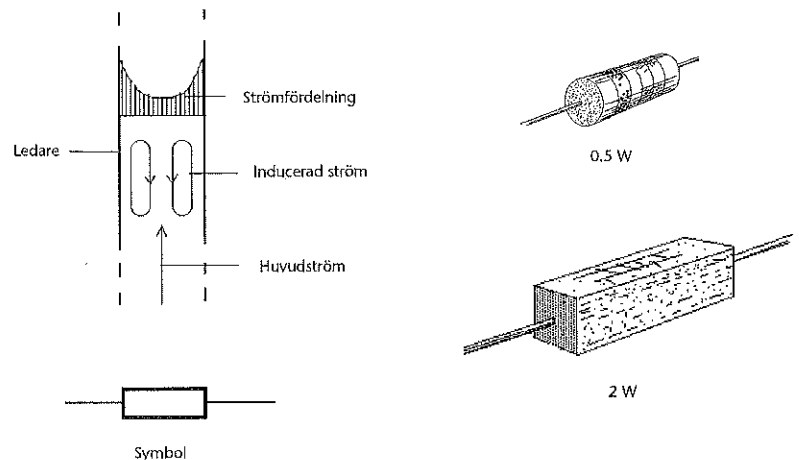
Dessvärre är inte R frekvensoberoende utan ökar med frekvensen (f) och ledarens diameter (D) enligt nedanstående samband

$$R = k \cdot D \cdot \sqrt{f}$$

k är här en konstant (material, längd). Orsaken till ovanstående förhållande är att det av magnetflödet genererade elektriska fältet också bildas inne i ledaren, där den spänning, som blir följden av detta fält, alstrar en ström, vilken motverkar den primära strömmen centralt i ledaren. Strömmen i ledaren förskjuts därvid ut mot ledarens periferi, fig. 3.3, tv, överst. Vid högfrequens (HF) använder man därför med fördel tunna ledare. Om man av strömtäthetsskäl ändå måste ha en stor ledarearea bör man använda rör, varvid man slipper dyr (och tung) metall.

En av fördelarna med ledningsström är att den på ett smidigt sätt är åtkomlig för manipulation. Man kan t.ex. begränsa strömmens storlek eller åstadkomma spänningsskillnader, vilka sedan utnyttjas på olika sätt. I dessa och andra syften skapar man kretselement eller *komponenter*. I detta fall ett element med viss specifik resistans, benämnt *motstånd* eller resistor. Motstånd tillverkas för olika effekt (se forts.), fig. 3.3, th. Schemasymbolen för såväl resistans som motstånd visas i fig. 3.3, tv. Spänningen över en resistans är

$$U_R = i \cdot R [V] \quad (3.2)$$



Figur 3.3 Överst t.v.: Uppkomsten av strömförträngning i ledare. Underst tv: Symbol för resistans och motstånd. T.h: Exempel på fysiskt utseende hos motstånd. Ungefär naturlig storlek.

Förskjutningsström, kapacitanser, kondensatorer

Vi skall nu studera den vanligaste kretstekniska användningen av förskjutningsströmmen. Vi tar förhållandet mellan $\vec{E}$, $\vec{D}$ och ϵ som utgångspunkt. Följande samband gäller

$$\vec{E} = \frac{\vec{D}}{\epsilon} \quad (3.3)$$

Av samma skäl som när det gäller ledningsström är vi intresserade endast av skalära enheter. Vi förlänger därför ekv. (3.3) med l .

$$\vec{E} \cdot l = \frac{1}{\epsilon} \cdot \vec{D} \quad \text{eller} \quad u = \frac{1}{\epsilon} \cdot \vec{D} \cdot l \quad [\text{V}]$$

Vi vill emellertid inte ha förskjutning i högra ledet utan ström. Vi börjar med att ersätta $\vec{D}$ med flödet ψ [As]. ϵ måste då förlängas med A , area, för att relationen skall stämma. Vi får

$$u = \frac{1}{\epsilon \cdot A} \psi$$

Flödet ψ kan uttryckas som $\int i_D dt$. För att inte förväxla denna ström med ledningsström förser vi den med index D . Vi får

$$u = \frac{1}{\epsilon \cdot A} \int i_D dt$$

vilket också om vi byter namn på sträckan l till d kan skrivas

$$u = \frac{1}{\epsilon \cdot \frac{A}{d}} \int i_D dt$$

Nämnamnaren har dimensionen [As/V] och betecknas med C . Vi får alltså

$$u_c = \frac{1}{C} \int i_D dt \quad (3.4)$$

Om strömmen har tidsfunktionen $i = \hat{i} \sin \omega t$, blir integralen $-(\cos \omega t)/\omega$. $\omega = 2\pi f$. Spänningen mellan polerna hos den volym/kropp som uttrycket avser *sjunker* med tilltagande frekvens och vid konstant ström. Ovanstående förhållande utnyttjar man tekniskt, och framställer ett kretselement vars impedans (se forts.) är frekvensberoende och *sjunker* med frekvensen.

Nyckeln till kretselementets utformning finns hos C . För att få stort C skall ϵ vara stor liksom kvoten A/d , dvs. man skall ha stor yta hos polerna och litet avstånd mellan dem. Kretselementet kallas för *kapacitans* och komponenten för *kondensator*. Kapacitansen beräknas alltså med

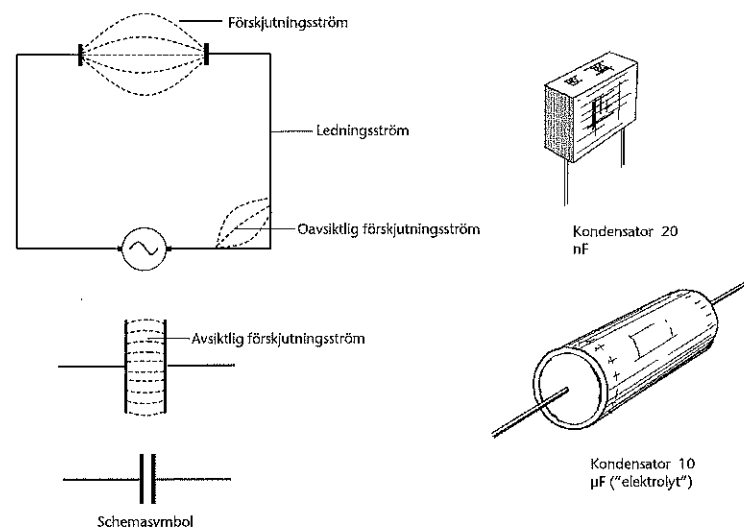
$$C = \epsilon \frac{A}{d} \left[\frac{\text{As} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{Vm} \cdot \text{m}} = \frac{\text{As}}{\text{V}} = \text{F} \right] \quad (3.5)$$

I ekv. (3.5) är ϵ = dielektricitetskonstanten [As/Vm], A = ytan hos "polerna" eller beläggen [m^2], d = avståndet mellan beläggen [m]. Enheten [As/V] = [F] (farad) har fått namn efter den engelske fysikern Faraday (1791–1867).

Skälet till att man på ovanstående enkla sätt kan beräkna strömmen i en kondensator är att det elektriska fältet här är mycket homogent på grund av att avståndet mellan polerna är obetydligt i förhållande till "polernas" utsträckning. Om så inte vore fallet vore man hänvisad till Maxwells komplicerade ekvationer.

En kondensator framställs praktiskt genom att man rullar ihop två folier av konduktivt material med ett mellanliggande skikt av ett material med högt ϵ -värde (vilket i allmänhet också innebär ytterst lågt γ -värde, dvs. detta skikt ger stor elektrisk isolering åt ledningsström). Kapacitansens och kondensatorns schemasymbol och exempel på utseende hos kondensatorer visas i fig. 3.4.

Det elektriska fältet påverkar den materialet som befinner sig i. Materialet värms därvid upp; mera ju större förskjutningsströmmen är. Förskjutningsströmmens storlek beror alltså på frekvens, fältstyrka och material. Orsaken till uppvärmningen är att "strömmen" får molekylerna att "vibrera". Därmed skapas, sekundärt, nya elektriska och magnetiska fält. Detta är värme.



Figur 3.4 T.v: Hur en förskjutningsström kan utnyttjas tekniskt i en kondensator samt en kapacitans schemasymbol. T.h: Exempel på fysiskt utseende hos kondensatorer. Ungefär naturlig storlek.

Motriktad emk, induktanser, drosslar

Lika väl som att man har behov av ett kretselement vars impedans sjunker med frekvensen, lika väl har man behov av ett element vars impedans stiger med frekvensen. Låt oss titta på induktionslagen. Denna säger att

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

Vi vet att

$$B = \mu \cdot H [\text{Vs}/\text{m}^2] \quad (3.6)$$

och

$$\Phi = B \cdot A [\text{Vs}]$$

Φ kan bytas ut mot $(\mu \cdot H \cdot A)$, där A är medelarean hos magnetflödet. Vi får

$$e = - \frac{d(\mu \cdot H \cdot A)}{dt}$$

Vi vet att för en oändligt lång ledare är

$$H = \frac{i}{2\pi r}$$

där r = avståndet till ledaren. Vi kan alltså för en ledare sätta

$$e = - \frac{d\left(\mu \cdot A \cdot \frac{i}{2\pi r}\right)}{dt}$$

Om vi betraktar ytan A som produkten av två sträckor och omkretsen $2\pi r$ som en sträcka kan vi skriva

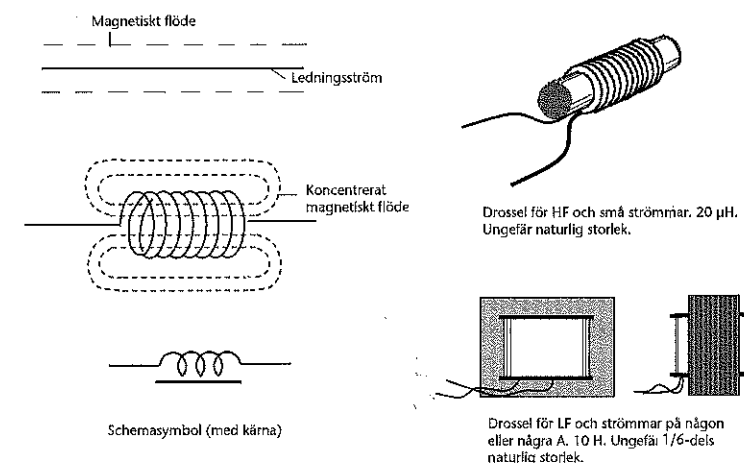
$$e = - \frac{d(\mu \cdot l \cdot i)}{dt}$$

I uttrycket ovan är μ och l konstanter. Om e betraktas som ett spänningsfall kan den bytas ut mot spänning u med + tecken. Vi får

$$u = \mu \cdot l \frac{di}{dt} \text{ eller } u_L = L \frac{di}{dt} \quad (3.7)$$

Produkten $\mu \cdot l$ har dimensionen $[\text{Vs}/\text{A}]$, betecknas med L och kallas för *induktans*. För att få stort spänningsfall över detta kretselement skall man ha stor längd hos strömbanan (l), stort μ -värde samt hög frekvens hos strömmen.

Induktanser används som bekväma "frekvensberoende motstånd" vars impedans stiger med frekvensen. Komponenten kallas för *drossel*. Fig. 3.5 visar schemasymbol och exempel på fysiskt utseende hos drosslar.



Figur 3.5 T.v: Hur ett magnetiskt flöde kan utnyttjas tekniskt i en drossel samt en induktans schemasymbol. T.h: exempel på fysiskt utseende hos drosslar.

L är i många fall svårberäknad pga. att B-flödet är svårdefinierat i rummet. Om en ledningstråd är formad som en spiral, fig. 3.5. mitten tv., kan man dock sätta

$$L = k \cdot N^2$$

där k är en konstant och N = antalet varv i spiralen. L blir större om man gör B större. Detta kan alltså ske genom att man låter så stor del som möjligt av flödets väg gå genom material med högt μ -värde, vilket i praktiken är detsamma som järnbaserade material. Därvid blir ofta flödet också tämligen väldefinierat i rummet, och L kan beräknas med nedanstående formel

$$L = \frac{\mu \cdot A \cdot N^2}{l} \text{ [H]} \quad (3.8)$$

Här är μ = permeabiliteten [Vs/Am], A = arean hos det magnetiska flödet [m^2], N = antalet varv hos drosselns lindning [dim.-lös] och l = längden hos magnetfältet [m].

I likhet med det elektriska fältet ger även det magnetiska en uppvärmning av det material som flödet passerar. Denna uppvärmning ökar med frekvensen och fältstyrkan. (Dessa förluster får inte förväxlas med de förluster som uppkommer på grund av *inducerad elektrisk ström* i det material där det magnetiska flödet går).

Energi, effekt, impedans

Nedanstående formel visar *energi* per volymenhet för ett elektromagnetiskt fält, dvs. i en volym där såväl ett elektrisk som ett magnetiskt fält finns.

$$\frac{W}{dV} = \frac{1}{2} \cdot \bar{E} \cdot \bar{D} + \frac{1}{2} \cdot \bar{B} \cdot \bar{H} \left[\frac{\text{Ws}}{\text{m}^3} \right]$$

Här är W = energi [Ws], V = volym [m^3], $\bar{E}$ = fältstyrka [V/m], $\bar{D}$ förskjutning [As], $\bar{B}$ flödestäthet [Vs/m^2] och $\bar{H}$ magnetiserande vektor [A/m]. Dimensionen [W] blir alltså produkten [$A \cdot V$], vilket är den elektriska *effekten*. Utan hänsyn till rummet och med enbart skalära enheter får man

$$\frac{W}{t} = P = u \cdot i \left[\frac{V \cdot A \cdot s}{s} = W \right] \quad (3.9)$$

Genom att multiplicera med den tid under vilken effekt utvecklas i en elektrisk krets eller del av en krets får man alltså avgiven eller förbrukad energi [Ws] eller [kWh]. Alltså

$$W = P \cdot t \text{ [Ws]} \quad (3.10)$$

Förutsättningen för att (3.9) skall gälla är att variationerna i tiden hos u och i är simultana, eller att u och i har samma *fasläge*. Tar man inte hänsyn till detta får man den *skenbara effekten* med dimensionen [VA] och oftast betecknad med S.

En av elektroteknikens viktigaste storheter är kvoten mellan spänning över en krets eller komponent och strömmen/flödet genom kretsen. Denna storhet kallas *impedans*, betecknas med Z [Ω] och beräknas enligt

$$Z = \frac{u}{i} \left[\frac{V}{A} = \Omega \right] \quad (3.11)$$

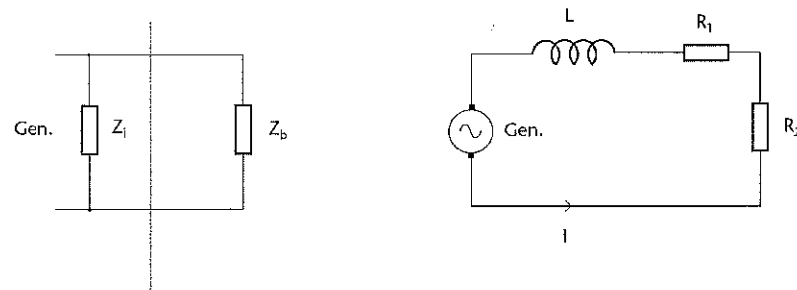
Z är viktigt inte minst i kretsteori. Man kan t.ex. visa att maximal effekt avgavs av en källa när impedansen i yttre kretsen = impedansen i strömkällan, fig. 3.6, tv.

Även om elektromagnetisk energi knuten till en strömbana har låg frekvens och fälten har liten utbredning i rummet, så avgår dock i det senare fallet en del energi som *elektromagnetisk strålning* (se forts.). Detta ger sig kretstekniskt tillkänna som att en "extra" resistans finns i kretsen, den sk. *strålningsresistansen*, över vilken den utstrålade effekten alltså utvecklas.

I elektriska kretsar finns ofta flera än ett kretselement. Endast under vissa speciella betingelser kan deras impedansvärden summeras *aritmetiskt* (i seriekretsar). För att visa att de summerats *geometriskt* (se forts.) sätts ett sk. beloppstecken runt Z enligt följande |Z|.

Något om kretsteknik

Den tekniska tillämpningen av elektromagnetisk fysik tar vanligen sikte på att åstadkomma någon typ av omvandling (energiomvandling) eller kommunikation. Oftast resulterar detta i konstruktioner baserade på ledningsströmmar. Dessa löper i väl definierade banor i kretsar eller nät, där man med hjälp av olika energiomvandlande komponenter t.ex. värmespiraler, motorer eller telefoner, aktiva komponenter (= styrbara, t.ex. transistorer) samt passiva komponenter, motstånd, kondensatorer, drosslar bygger upp olika konstruktioner. Vid detta arbete är det mycket viktigt att man vet vilka spänningar som finns mellan olika punkter i kopplingarna; vilka



Figur 3.6 T.v: Maximal effekt kan tas ut från generatorn när $Z_1 = Z_2$. T.h: Hur totalimpedans och ström kan beräknas i en krets när spänningen varierar i tiden. Se vidare texten.

impedanser som olika kretsar, kretsavsnitt eller komponenter har; vilken ström som finns i en viss ledare eller vilket fasläge en viss ström har i förhållande till en viss spänning etc.

Att generellt fastställa hur ovanstående storheter förhåller sig till varandra samt deras storlek, leder i många fall till relativt komplicerade matematiska operationer (som t.ex. laplacetransformation). En av de viktigaste orsakerna till detta är att det är svårt att kunna hantera godtyckliga *tidsfunktioner* hos t.ex. spänningar.

Exempel:

Spänningen över den enkla kretsen i fig. 3.6, th. kan med hjälp av Kirchhoffs lag II tecknas enligt nedan

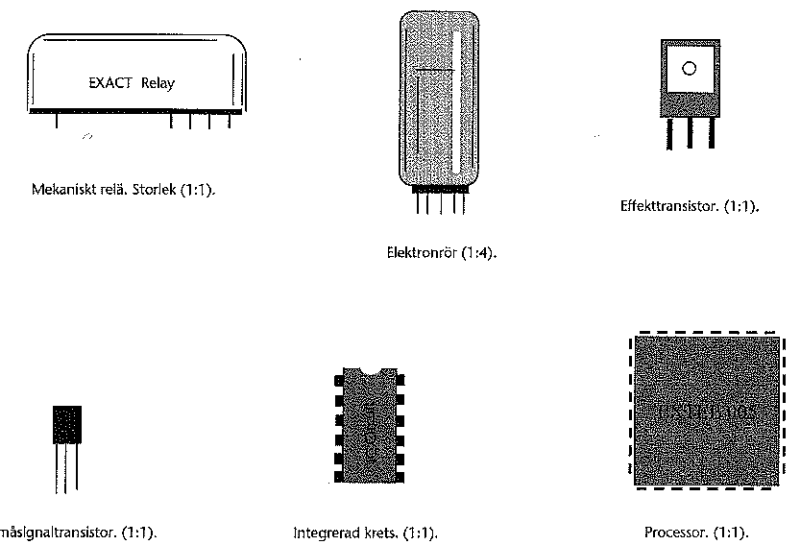
$$u = R_1 \cdot i + R_2 \cdot i + L \frac{di}{dt}$$

För att bestämma strömmen i står man inför uppgiften att lösa en diff.-ekv. Lösningen kan allmänt sett bli jobbig om u följer en komplicerad tidsfunktion; den kan till och med bli nära nog omöjlig att utföra. Emellertid kommer man långt om man nöjer sig med två viktiga specialfall nämligen

$$u = k(u=0 \text{ vid } t=0)$$

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

Den sistnämnda funktionen är ett ytterst viktigt specialfall eftersom man med sinusfunktioner av olika frekvenser kan avgöra en krets egenskaper (ofta gör man ett diagram där någon parameter får bli en funktion av frekvensen).



Figur 3.7 Stiliserat utseende på några vanliga styrbara komponenter.

Den första funktionen ovan representerar det man i vardagligt tal kallar likspänning. Låt oss börja med att se hur stor ström vi får i kretsen när vi lägger på likspänning. Vi får följande

$$i = \frac{u}{R_1 + R_2} \left(1 - e^{-\frac{R_1 + R_2}{L} t} \right)$$

A B

Lösningen består alltså av två termer. A kallas för *stationär* term och B för *transient* term. Som namnet antyder går termen B (i allmänhet) snabbt mot noll, och vi har i kretsen efter ett kort ögonblick det viktiga fallet *stationär likström*, i vilket enkla *skalära* beräkningar kan göras och de vanliga kretsarna blir tydliga.

I det andra fallet får vi en liknande lösning med en stationär och en transient del. Här är dock den stationära delen mera komplicerad. Man har emellertid utvecklat en metod som gör att man kan räkna på kretsar, på vilka en stationär sinusspänning är pålagd, på samma sätt som om en likspänning påförts kretsen. Det är den sk. $j\omega$ -metoden. Man byter därvid ut di/dt hos induktansen mot faktorn $j\omega$ vilken sätts framför L . Strömmens stationära lösning i ovanstående krets blir då

$$i = \frac{u}{R_1 + R_2 + j\omega L}$$

För att få korrekt värde på nämnaren måste sedan summan av R:en kvadreras liksom ωL . Dessa båda termer – den *reella* och *imaginära* delen – summeras sedan. Därefter måste man dra roten ur summan. Man får därvid den geometriska summan av de ingående impedanserna, och strömmen blir

$$i = \frac{u}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (\omega L)^2}}$$

I denna krets ligger ström och spänning fasförskjutna en vinkel som anges av

$$\tan \varphi = \frac{\omega L}{R_1 + R_2}$$

Impedansen (reaktansen) hos en kapacitans är vid $j\omega$ -räkning $1/j\omega C$. Denna term måste vid räkningar ges minustecken. Fysikaliskt är detta ett uttryck för att spänningen över kapacitansen ligger 180° förskjuten i förhållande till spänningen över induktansen (motfas). Om man i kretsen i fig. 3.6, tv. hade kopplat in även en kondensator i serie hade uttrycket ovan för strömmen blivit

$$i' = \frac{u}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

Detta är ett exempel på "klassisk" kretssolvering. För den som är intresserad av kretsteknik finns ett flertal läro- och handböcker. I fortsättningen kommer en del tillämpningar av kretssolvering att göras, framför allt vid klarläggandet av de olika störmekanismerna.

Elektrotekniken, en mycket kort sammanfattning

Elektrotekniken kan mycket förenklat indelas i följande tre discipliner:

- Omvandling.
- Processning.
- Överföring.

Omvandling

En mycket stor del av elektrotekniska anordningar utgörs, och har alltid utgjorts, av energiomvandlande enheter. Omvandlingen sker därför att elektricitet och magnetism i många sammanhang är bättre energiformer än t.ex. mekanisk energi eller värme. Exempel på omvandling och omvandlande enheter är:

- mekanisk-elektrisk: generator
- elektrisk-magnetisk-mekanisk: motor
- ljudenergi (eg. mekanisk)-elektrisk: mikrofon
- ljus-elektrisk: div. fotoelektrisk utrustning (t.ex. videokamera)
- värme-elektrisk: temperaturgivare
- elektrisk-magnetisk-ljud (eg. mekanisk): högtalare
- elektrisk-ljus: glödlampor, bildrör mm.

Processning

Den kanske vanligaste processningen innebär att man efter omvandlingen höjer (eller sänker) spänning eller effekt hos den erhållna elektriciteten (signalen), dämpar eller framhäver vissa frekvenser etc. Denna proportionella *omvandlings*- och processningsteknik kallas för *analog* teknik. Praktiskt taget allt avstörnings- och immunitetsarbete sker med analog teknik.

Med hjälp av den binära algebran utnyttjad i logiska kretsar kan analoga signaler eller annat material med den s.k. *digitala* tekniken göras tillgänglig för meningsfulla manipulationer. En förutsättning för detta är användandet av styrbara till/från-enheter, vanligen (mängder av) transistorfunktioner. Dessa enheter kan tillsammans med fast eller varierbart programmerade styrorgan bringas att utföra meningsfulla operationer.

Denna teknik har givit oss ett helt nytt perspektiv på sambandet mellan människa och maskin, en utveckling som vi troligen endast befinner oss i början av.

Överföring

Överföring av elektrisk/magnetisk energi i rummet och i tiden är den tredje av elektroteknikens hörnpelare. Överföring av elektrisk energi i *rummet* kan ske med enormt mycket mindre förluster och mindre praktiska problem än

Elektroniken. Kort historik**1850–1900**

Före mitten på 1800-talet fanns knappast det vi i dag kallar för elektroteknik, även om den teoretiska grunden för en utveckling av denna teknik då var lagd.

Den första mera betydande elektrotekniska tillämpningen var den artificiella belysningen (Edisons glödlampa) samt generatoren (dynamon) vilken var nödvändig för bl. a. denna belysning. Nu började man också helt naturligt att arbeta med att åstadkomma en effektiv överföring av den elektriska energin från produktionsställe till förbrukningsställe. Här kom uppfinningen transformatorn att spela en avgörande roll liksom trefasssystemet.

1900–1930

Detta var den tid under vilken den på elektrotekniken baserade fjärr- eller telekommunikationen utvecklades. Speciellt telefontekniken. Även här kom transformatorn att spela en avgörande roll.

Användningen av elmotorer ökade nu också i rask takt. Dynamon/generatoren kräver viss mekanisk kraft för att kunna dras runt (mera ju hårdare elektriskt belastad den var). Denna kraft utvecklades mellan magnetiska kraftfält inne i maskinen. Även i elmotorer utnyttjade man de magnetiska fälten. Här gjorde man emellertid tvärs om och lät en maskin, i vilken ström infördes, leverera mekanisk kraft.

Magnetismen är en del av det kraftfenomen vi ibland med en samlingsbenämning brukar kalla "den elektromagnetiska kraften", vilken verkar på såväl atomär/molekylär som större skalnivå. De övriga krafter som finns är: "den starka" och "den svaga" bundna till atomkärnan samt den gåtfulla gravitationen vars verkningar är svåra att observera på mindre skalnivå än himlakroppars, fig. 2.2.

Kraft orsakad av elektriska fält är i jämförelse med kraft orsakad av magnetiska fält svag och i stort sett utan praktisk betydelse. Den utnyttjas främst i viss exklusiv audioteknik.

Under tiden 1900–1930 togs inom telekommunikationen också den på elektromagnetiska fält och strålning baserade trådlösa överföringstekniken i bruk. Speciellt rundradion fick stark spridning.

1930–1970

Tiden mellan 1930 och 1970 var en mycket dynamiska period, och nu utvecklades de flesta av elektroteknikens grenar starkt. Inte minst radiotekniken, där bl.a. en bättre modulationsteknik än den hittills använda AM-tekniken kom till användning, dvs. FM-tekniken. Man utvecklade också en teknik för överföring av rörliga bilder, den s.k. televisionen. På telefonsidan utvecklades automatiska växlar, samt överföring av telefonsignalen med hjälp av EM-vågor på ledningar (BF-telefoni).

Den mycket praktiska styrbara komponenten transistoren togs också i bruk. Mot slutet av tidsperioden inleddes en utveckling av integrerade kretsar i mikroformat baserad på transistorer. I och med detta var grunden lagd för den på det binära talsystemet baserade programmerbara elektroniska räknemaskinen ur vilken efter hand den moderna datorn utvecklades.

Olika på elektroteknik baserade styrsystem av maskiner framställdes också under denna tid. Mot slutet av perioden började man använda datorer för sådan styrning.

1970–2000

Under denna tid fullföljdes det som påbörjats under föregående period. Sålunda framställdes i rask takt allt kraftfullare datorer. På telekom-sidan började man vid mitten av perioden med högfrekvent radioöverföring av den allmänna telefontrafiken. Därmed hade den utvecklade mobiltelefonin etablerats.

Vad den ledningsbundna teletrafiken beträffar så ökades trafikkapaciteten efter hand. En klar förbättring innebar digitalisering av signalen och användandet av datoriserade växlar (AXE). För att ytterligare öka trafikkapaciteten gick man mot slutet av perioden ur den på galvaniska ledningar baserade tekniken och gick över till att använda ljuspulser överförda i fiberoptiska ledningar. För detta var givetvis det digitala formatet nödvändigt.

I och med överföringen av information mellan datorer, i huvudsak med hjälp av de ledningsnät som fanns och som utvecklades – t.ex. de ovan nämnda – utvecklades nu den s.k. informations(IT)tekniken.

överföring av ex.-vis mekanisk energi, något som kom att få revolutionerande betydelse för mänskligheten under förra seklet. Denna teknik kom även överföring av budskap i rummet med elektricitetens hjälp till del.

Ett speciellt kapitel är överföring av elektrisk/magnetisk energi i *tiden*. Detta gäller vanligen processad/intelligent elektrisk energi, "information". Lagring sker i minnesenheter där informationen finns fryst i ett permanent magnetiskt, optiskt eller mekaniskt mönster. Beständigheten hos dessa minnen uppgår till från något decennium till ett sekel (eller mera), dvs. för vissa lagringssätt nästan lika lång tid som elektroteknikens historia omspannar.