




F12: Passiva komponenter

Kondensatorer Kap 24
och
Induktiva komponenter Kap 26




Om dagens föreläsning

Passiva komponenter, framförallt kondensatorer och induktiva komponenter, är viktiga i kraftelektroniska applikationer.

Kondensatorer är hyllvara men kan beställas enligt egna önskemål (observera dock att det brukar krävas en minskning vid beställning). Leveranstiden på kondensatorer är vanligtvis lång räkna med 3-4 månader men kan vara mer än 12!

Induktiva komponenter är hyllvara endast för låga effekter typ kretskortsmontage. Transformatorer för DC-DC-omvandlare (isolerade flyback och forward) är nästan alltid custom design. Man behöver oftast inte designa själv men däremot göra (en noggrant specificerad) beställning och testa efter leverans. Oftast är detta en iterativ process som kan ta lång tid eftersom termiska aspekter EMC etc måste undersökas i den givna applikationen.



Kondensatorer

- Några olika typer

- Elektrolytkondensatorer
 - Polariserade
 - Hög kapacitans
 - Låg spänning
 - Mellanled
- Metalliserad polypropylen
 - Opolariserade
 - Lägre kapacitans
 - Högre spänning
 - Snubber
 - Utgångsfilter för höga frekvenser



Kondensatorer

- Viktiga matematiska uttryck

- Kapacitansen (för en plattkondensator) ges av

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

- Ström och laddning ges av (ström är laddning per tidsenhet)

$$i_c = C \frac{dv_c}{dt} \quad \text{och} \quad i_c = \frac{dQ}{dt} \Rightarrow Q = \int i_c(t) dt = \int C \frac{dv_c(t)}{dt} dt = C \cdot V_c$$

- Effekten ges av:

$$p(t) = v_c(t) i_c(t) = v_c(t) C \frac{dv_c(t)}{dt} = C \frac{dv_c(t)}{dt} v_c(t) = \frac{dW(t)}{dt}$$

- Vilket betyder att den upplagrade energin ges av

$$W = \int p(t) dt = \int C \frac{dv_c(t)}{dt} v_c(t) dt = \frac{1}{2} C V_c^2 = \frac{1}{2} Q V_c$$



Kondensatorer - Ekvivalent krets

B.W. Williams fig 24.2

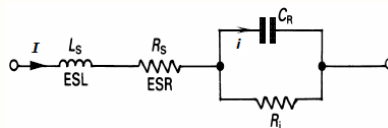


Kondensatorer - ESL

- ESL viktig för denna definierar egenfrekvensen för kondensatorn

$$f_o = \frac{\omega_o}{2\pi} = \frac{1}{\sqrt{L_S C_R}}$$

- Stora kondensatorer (fysiskt) har högre ELS och är alltså sämre kondensatorer. Välj därför så små kondensatorer som möjligt.



Kondensatorer - ESR

- ESR är viktig eftersom denna används vid beräkning av förluster

$$R_{ESR}(f) = R_s + \frac{\tan \delta_0}{2\pi f C}$$

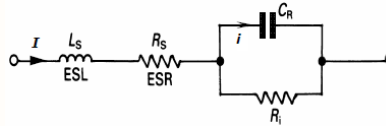
Ompolarisering av dielektrikat

- Förlustfaktorn definieras som $\tan \delta = \frac{P}{Q}$

Resistivt
spänningsfall i
tilledare och folie

$$\tan \delta = \tan \delta_{diel} + k \cdot f$$

- Förlustfaktorn är frekvens och temperaturberoende
- Förlusteffekten beräknas enligt $P_{ESR}(f) = R_{ESR}(f) \cdot I_C^2(f)$



Kondensatorer - Livslängd

Livslängden ökar:

- ju lägre omgivningstemperaturen (T_a) är (temperaturökning med 10-12°C halverar livslängden)
- ju lägre rippelströmmen (I_r) är
- ju lägre kvoten mellan drift- och märkspänning (V_{op}/V_R) är
- ju högre frekvensen (f) är

Observera att det inte är någon katastrof om dielektrikat skadas lokalt. Nästan alla kondensatorer är självläkande!

Om kapacitansen minskat 10% eller ERS dubblats för en elektrolytkondensator är denna slut



Elektrolytkondensatorer

- Oxidskikt på positiva polen utgör dielektrika
- Elektrolyten kortsluter negativa polen och oxidskiktet
- Papper fördelar elektrolyten

B.W. Williams fig 24.6

Figure 24.6. Construction of metal oxide capacitors.



Plastfilmskondensatorer

B.W. Williams fig 24.14



Plastfilmskondensatorer - Frekvensgång

B.W. Williams fig 24.17



Kondensatorer för EMC-filter

B.W. Williams fig 10.47

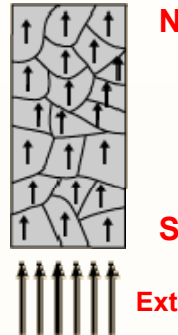


Magnetism

Omagnetiserad



Magnetiserad



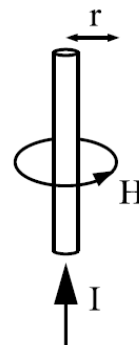
Magnetiserande fält, H

(Magnetisk fältstyrka)

- Elektrisk ström ↔ Magnetiskt fält
- Hans Christian Ørsted, 1820
- Ström i en ledare ger H-fält
- Amperes lag ger storleken på H

$$\oint H ds = \Sigma I$$

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



Oändligt lång rak ledare



Magnetisk flödestäthet, B

- **B-fältet är materialberoende**
- **μ kallas permeabilitet, beror på materialet**

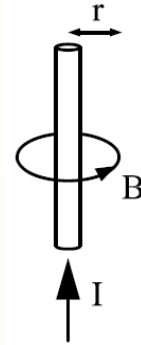
$$B = \mu \cdot H = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$$

$$B = \frac{\mu \cdot I}{2\pi r} \quad \left[\frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}, \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}, \text{T} \right]$$

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$$

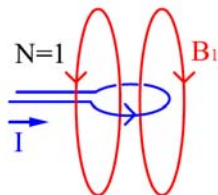
μ_r relativ permeabilitet, materialberoende

- **Luft: $\mu_r=1$**
- **Magnetiska material: $\mu_r=100-10000$**



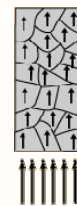
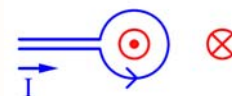
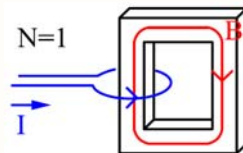
Hur uppstår magnetiskt flöde?

- **Ström i ledare ger H-fält**
- **Domänerna i materialet kring ledaren vrids, hur mycket beror på μ**
- **H-fältet och fältet från domänerna ger B-fältet**
- **Större μ ger alltså högre flödestäthet**



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

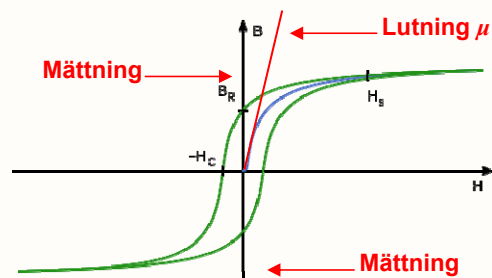
$$B_1 < B_2$$



Samband mellan B och H

• Mätning

- Förekommer i magnetiska material
- Ökning av strömmen ger (nästan) ingen ökning av flödet
- Kärnan betar sig som luft, $\mu = \mu_0$



Magnetiskt flöde, mmk, reluktans

Amperes lag igen... $\Sigma I = \oint H ds$

$$NI = H \cdot l_{fe}$$

$$NI = \frac{B}{\mu} \cdot l_{fe}$$

$$NI = \frac{\Phi}{\mu A} \cdot l_{fe}$$

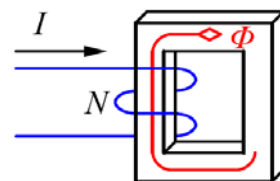
$$NI = \frac{l_{fe}}{\mu A} \cdot \Phi$$

$$F = \mathfrak{R} \cdot \Phi$$

Magnetomotorisk
kraft, mmk

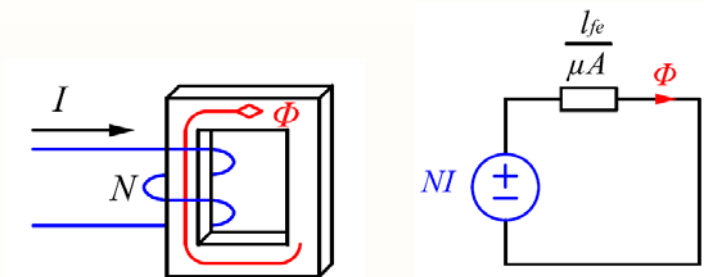
Reluktans

Flöde



Magnetiskt flöde, mmk, reluktans elektrisk ekvivalent

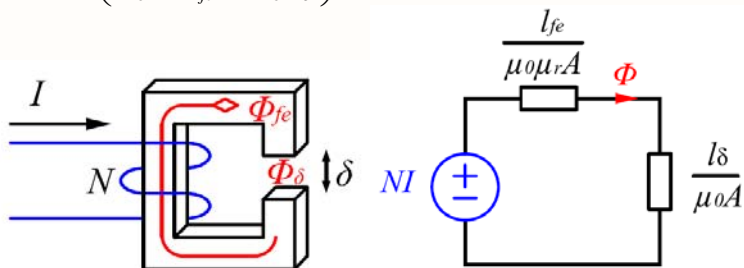
$$NI = \frac{l_{fe}}{\mu A} \cdot \Phi \quad \text{jämför med} \quad U = R \cdot I$$



Kärna med luftgap

$$NI = \frac{l_{fe}}{\mu_0 \mu_r A_{fe}} \cdot \Phi_{fe} + \frac{l_{\delta}}{\mu_0 A_{\delta}} \cdot \Phi_{\delta}$$

$$NI \approx \left(\frac{l_{fe}}{\mu_0 \mu_r A_{fe}} + \frac{\delta}{\mu_0 A_{\delta}} \right) \cdot \Phi \quad \text{gäller om } \delta \ll l_{fe}$$



Induktorer och transformatorer

- Detta bygger delvis på det som diskuterats i Elenergiteknik och kan i viss mån vara en repetition.

B.W. Williams fig 26.1



Magnetiska material - Egenskaper

B.W. Williams fig 26.3



Induktiva komponenter - Olika material

- I kursboken (avsnitt 24.2) finns en ganska trubbig uppdelning av rekommenderade kärnmaterial för olika frekvenser.
- Ferromagnetiska material: Laminerat stål och järnpulver med inslag av Kisel (kallas ibland kiselstål).
- Ferrimagnetiska material: Ferriter (vanliga namnet) som är en keram.
- Anledningen till att uppdelningen kan anses trubbig är att materialvalet beror på mer än bara frekvensen, exempelvis kan man inte göra särskilt geometriskt stora järnpulver- eller ferritkärnor. Därför kan man behöva använda 0.3 mm laminat vid 3-5 kHz (för exempelvis utgångsfilter) även om Williams skriver att de bara kan användas upp till 200 Hz! Resultatet är oftast fullgott ändå men man får naturligtvis hålla ner flödestätheten för att inte få enorma förluster.



Olika magnetiska material - Karaktäristiska data

5000 ?
50000 ?

B.W. Williams fig 26.2



Ferriter

- Karaktäristiska data

- För ferriter anges ofta data i form av effektiva data som motsvarar en kärna utan luftgap.
- Detta trots att man säljer kärnor som är prefabricerade för olika luftgap.
- Innebär att effektiva data måste finnas för alla material kärnan tillverkas i och för alla luftgap den specificeras för.

Table 26.2: Core effective magnetic dimensions and parameters

core factor	symbol	definition	units
form factor, ℓ_e/A_e	c_1	$\Sigma l/A$	m^{-1}
effective magnetic area	A_e	$c_1/\Sigma l/A^2$	m^2
Effective magnetic length	ℓ_e	$A_e c_1$	m
effective magnetic volume	V_e	$\ell_e A_e$	m^3
core permeance	c	μ_0/c_1	H



Ferriter

- Hur hänger effektiva och verkliga parametrar ihop?

- Amperes kretslag för magnetiska kretsar:

$$Ni = H_{Fe} \cdot l_{Fe} + H_{\delta} \cdot l_{\delta} = H_e \cdot l_e$$

- Sätt in $B = \mu_0 \mu_r H$

$$Ni = \frac{B_{Fe}}{\mu_0 \mu_{Fe}} \cdot l_{Fe} + \frac{B_{\delta}}{\mu_0} \cdot l_{\delta} = \frac{B_e}{\mu_0 \mu_e} \cdot l_e$$

- Sätt in $\Psi = N\Phi = NAB$

$$N^2 i = \frac{\Psi}{\mu_0 \mu_{Fe} A_{Fe}} \cdot l_{Fe} + \frac{\Psi}{\mu_0 A_{\delta}} \cdot l_{\delta} = \frac{\Psi}{\mu_0 \mu_e A_e} \cdot l_e$$

- Antag att $A_{Fe} = A_{\delta} = A_e \Leftrightarrow B_{Fe} = B_{\delta} = B_e$

$$L = \frac{\Psi}{i} = \frac{\mu_0 \mu_{Fe} A_{Fe}}{l_{Fe} + l_{\delta} \mu_{Fe}} \cdot N^2 = \frac{\mu_0 \mu_e A_e}{l_e} \cdot N^2 = A_L \cdot N^2$$



Ferriter

- Hur hänger effektiva och verkliga parametrar ihop?

- Om man nu sätter $l_e = l_{Fe}$

$$\text{så får man } \mu_e = \frac{1}{\frac{1}{\mu_{Fe}} + \frac{l_\delta}{l_{Fe}}}$$

- Det står något i kursboken om att detta är en approximation men det är det inte alls. Man vill att längden man ska räkna med ska vara kärnans längd enbart!
- Sammantaget: $A_e = A_{Fe}$ och $l_e = l_{Fe}$

$$L = \frac{\Psi}{i} = \frac{\mu_0 \mu_{Fe} A_{Fe}}{l_{Fe} + l_\delta \mu_{Fe}} \cdot N^2 = \frac{\mu_0 \mu_e A_e}{l_e} \cdot N^2 = A_L \cdot N^2$$



Kärnförluster

- Laminerade stålkärnor : Steinmetz formel (har tagits upp i Elenergiteknik!)

$$P_v = k_h \cdot f \cdot (\hat{B})^2 + k_v \cdot f^2 \cdot (\hat{B})^2$$

← hystereseförluster
← virvelströmsförluster

Dessa exponenter är fysikaliska tolkningar. I verkligheten avviker de ofta från 2 när man försöker anpassa mätdata.

- Ferriter: anpassning av något som liknar Steinmetz formel

$$P_v = k_h \cdot f^{a_h} \cdot (\hat{B})^{b_h} + k_e \cdot f^{a_e} \cdot (\hat{B})^{b_e} \quad \text{där} \quad \begin{cases} a_h \in [1.2..1.6] \\ a_e \in [1.9..2.2] \\ b_h \in [2.1..2.6] \\ b_e \in [1.8..2.3] \end{cases}$$

Observera att förlusterna är starkt temperaturberoende hos ferriter!



Kärnförluster - Förlustdata

B.W. Williams fig 26.8



Kärnförluster - Luftgapets inverkan på BH-kurvan

B.W. Williams fig 26.10



Olika kärnor - Geometrier

Finns inga bra bilder i kursboken!

Industrial Electrical Engineering and Automation

