

Stroomtransformatoren

Constructieve aspecten

2011-11-22, Douwe Baars



Afbakening

- Klassieke stroomtransformatoren (IEC 60044-1, -6)
- beveiligingstrafo's, klasse 5P.., PX, TPX/Y/Z
- Geen hoogspanningsaspecten
- Bushing type, ringkerntransformator zonder primaire geleider



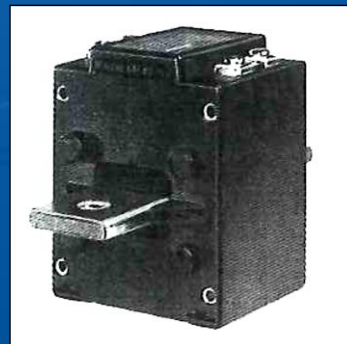
Uitvoeringsvormen

- Ongedeelde (ring)kern
- Deelbare stroomtransformator (klapkern)
- Stroomtransformator voor transient gedrag (“lineaire kernen”)
 - TPS, TPX: ongedeelde ringkern
 - TPY, TPZ: meerdere gedefinieerde luchtspleten



Uitvoeringsvormen

- Met primaire wikkeling
 - Door de primaire geleider meermalen door te steken “ziet” de trafo een veelvoud van de stroom
 - Hoger aantal “Ampère-windingen”, waardoor kleinere kern / hogere nauwkeurigheid
 - 50/5A 6x doorsteken → 300 Awind



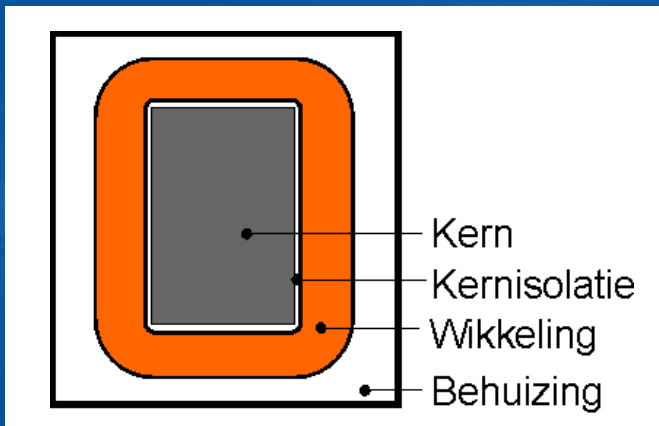
LV



MV

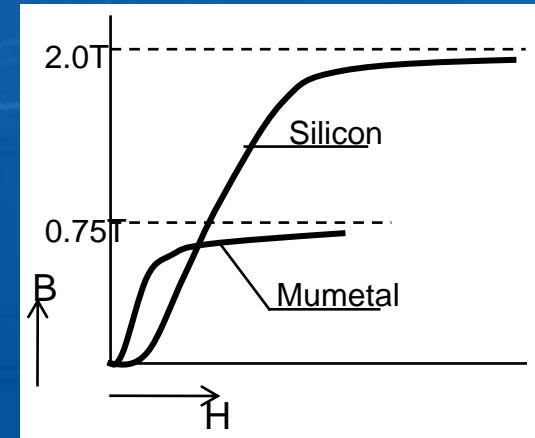
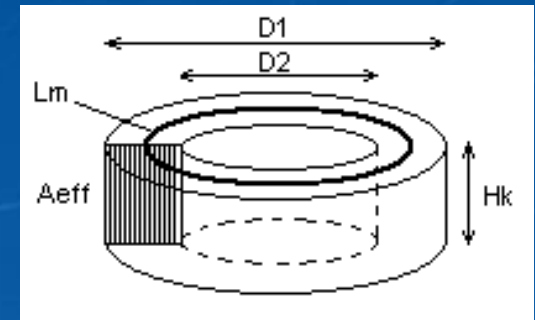
Stroomtransformatoren

- Hoofdbestanddelen
 - Kern
 - Wikkeling
 - Isolatie
 - Behuizing, bevestiging



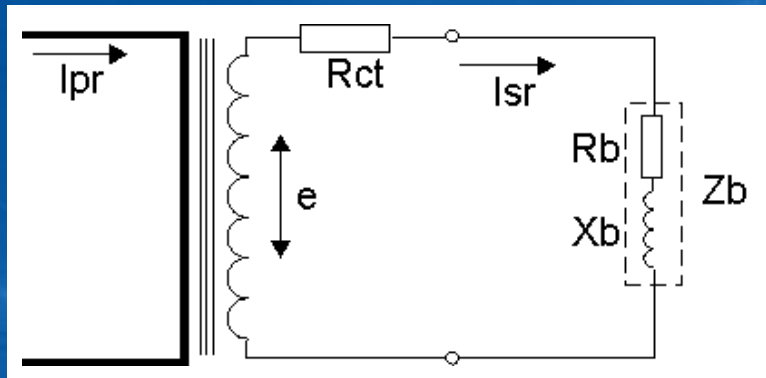
Kern

- Transformatorkern
 - Ringkern optimaal
 - afmetingen: A_{eff} en L_m zijn bepalend
- Materiaal legeringen
 - Fe-Si, $B_{sat} = 2.0T$
meest toegepast bij beveiligingstrafo's
 - Ni-Fe (mumetaal), $B_{sat} = 0.75T$,
nauwkeurige meettrafo's
ca 10x duurder dan Fe-Si
- Luchtspleten t.b.v. eisen voor
 - Anti-remanentie
 - Transiënte overdracht

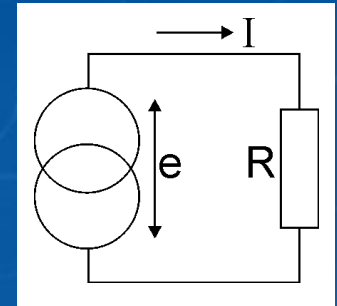


Kern

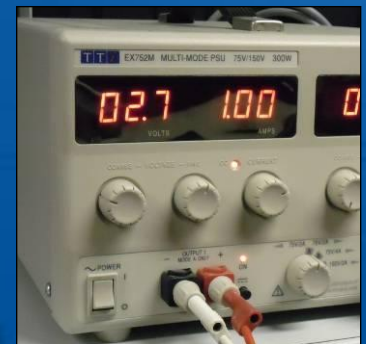
- Wat bepaalt de kerngrootte?
- Stroomtrafo gedraagt zich als stroombron:
 $I_{sec} = I_{prim} / K_n$
 $K_n = \text{overzetverhouding} = I_{pr} / I_{sr}$
- Wikkeling levert spanning naar behoefte



- Echter: spanning begrensd door verzadiging kern



$$I = \text{constant}$$
$$e = I \cdot R$$



Kern

- Inductiewet: $e = - N \cdot d\Phi/dt$

$$\text{Sinusvormig} \Rightarrow e = B^{\wedge} \cdot A_{\text{eff}} \cdot N \cdot \pi \cdot f \cdot \sqrt{2} \cdot 10^{-4} \text{ [V]}$$

B^{\wedge} : inductie, topwaarde [T]

A_{eff} : effectieve ijzerdoorsnede [cm²]

N: aantal sec. windingen [-]

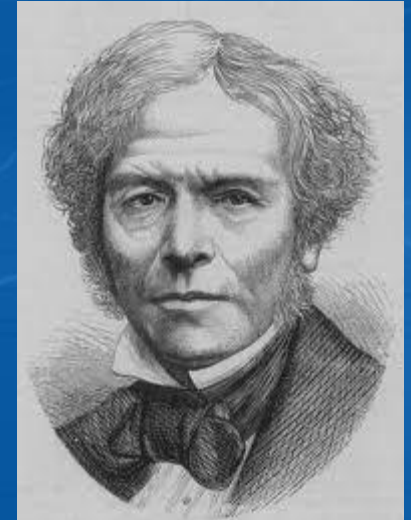
f: frequentie [Hz]

- Voor een gegeven trafospecificatie:
 - $f = 50\text{Hz}$,
 - N is bepaald door overzetverhouding
 - kernmateriaal: $B_{\text{sat}} = 2.0\text{T}$

- Verzadiging

- $e_{\text{sat}} = c \cdot A_{\text{eff}}$

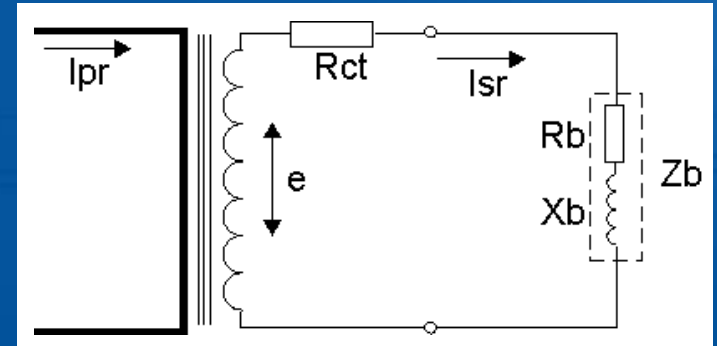
- Kerngrootte \Leftrightarrow vereiste verzadigingsspanning



Michael Faraday

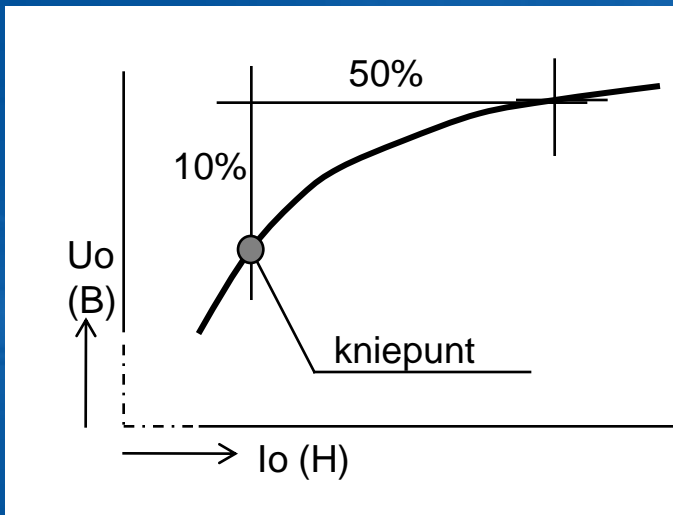
Kern

- Kerngrootte \leftrightarrow vereiste verzadigingsspanning
- Klasse 5P.. / 10P.. : $e_{\text{sat}} > \text{ALF} \cdot I_{\text{SR}} \cdot (R_{\text{CT}} + Z_{\text{B}})$
ALF = accuracy limit factor, bv. 20 in 5P20
- (Meettrafo met Fs cijfer: $e_{\text{sat}} < F_{\text{s}} \cdot I_{\text{SR}} \cdot (R_{\text{CT}} + Z_{\text{B}})$)
- Klasse TPX/TPY: $e_{\text{sat}} > K_{\text{SSC}} \cdot K_{\text{td}} \cdot I_{\text{SR}} \cdot (R_{\text{CT}} + Z_{\text{B}})$
K_{SSC}: vergelijkbaar met ALF
K_{td}: overdimensioneringsfactor
ter voorkoming verzadiging
i.v.m transiënt gedrag.
reële K_{td}: 10 ... 40

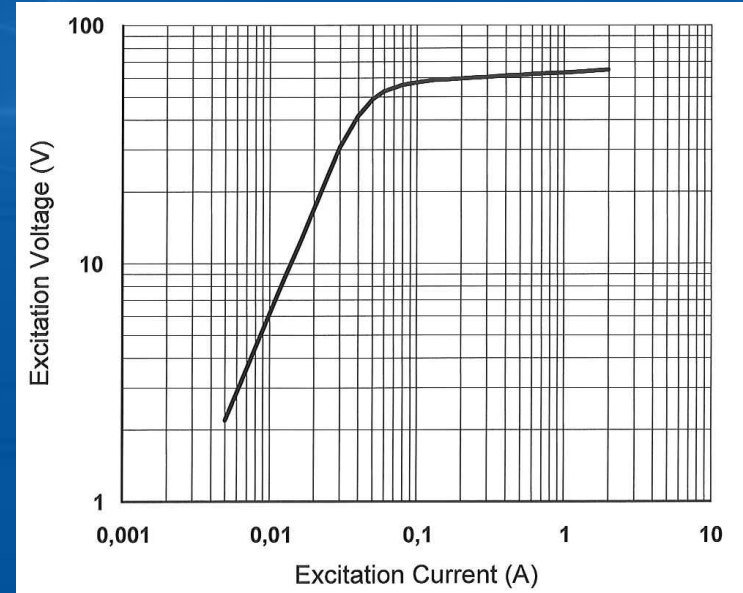


Kern

- Kerngrootte \leftrightarrow vereiste verzadigingsspanning
- Klasse PX: $e_{\text{sat}} > 1.5 \cdot E_k$
Ek = kniepuntspanning



Definitie kniepunt



Trafokernen met spleet

- Deelbare stroomtransformatoren
 - Verslechtert kerneigenschappen
 - Luchtspleet zo klein mogelijk ($<50\mu\text{m}$)
 - Montage kritisch, nacontrole wenselijk



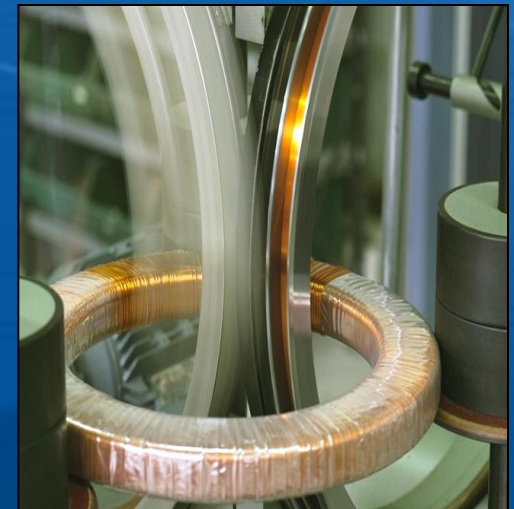
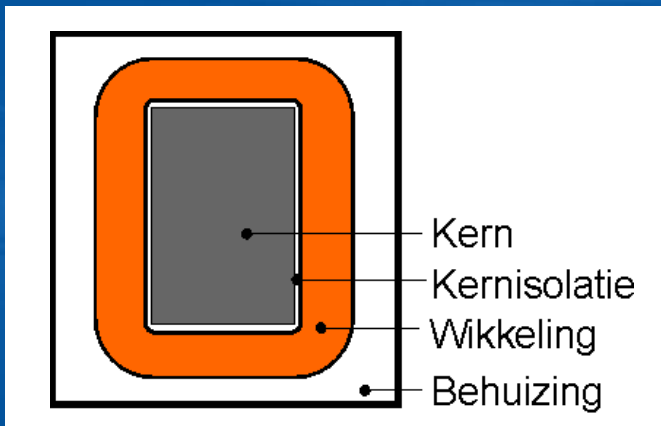
Luchtspleetkernen TPY, TPZ

- Anti-remanentie
- Nauwkeurige instelling voor TPY/TPZ-eisen
- ca 0.5mm per spleet
- TPZ: veel lucht \rightarrow veel spleten



Wikkeling

- Secundaire windingen: $N = I_{pr} / I_{sr}$
- koperdraad
- Draaddikte gebaseerd op stroomdichtheid $\leq 2A/mm^2$
(.../5A \rightarrow draad $\geq 2.5mm^2$)
- Windingen gelijkmatig verdelen
- Meer lagen: relatief grotere windinglengte



Wikkeling

- Inschatting R_{CT}
 - R_{CT} : weerstand secundaire wikkeling bij 75°C ($=1.22 \cdot R_{i_{20}}$)
 - $R_{CT} \approx R_{tabel} \cdot I_{pr} / 1000$
 - Richtgetal voor maximale waarde R_{tabel}

| |/1A |/5A |
|----------------------------------|---------|---------|
| Kleine kern (5 cm ²) | 4 Ω | 0.15 Ω |
| Grote kern (50cm ²) | 12 Ω | 0.5 Ω |

- Werkelijke R_{CT} kan lager worden wegens:
 - Optimale dimensionering door fabrikant, bv. bij klasse 5P...
 - R_{CT} -eis van klant, bv. bij klasse PX
 - Thermische huishouding of eis voor thermische grensstrom I_{th}

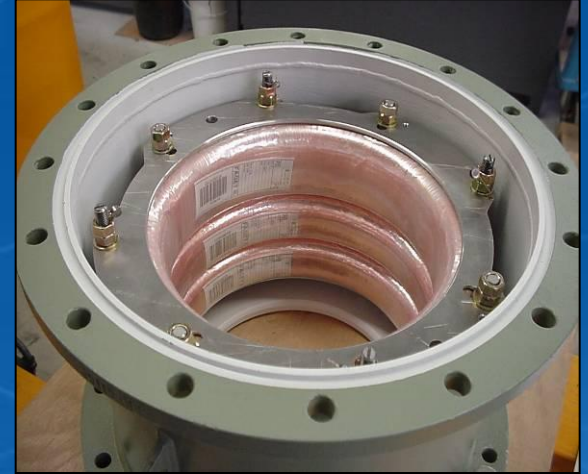
Kern ↔ Koper

- Kern en koper zijn deels uitwisselbaar
 - Voorbeeld: klasse 5P...: $e_{\text{sat}} > ALF \cdot I_{\text{SR}} \cdot (R_{\text{CT}} + Z_{\text{B}})$
 - Inwendig ($I_{\text{SR}}^2 \cdot R_{\text{CT}}$) en uitwendig ($I_{\text{SR}}^2 \cdot Z_{\text{B}}$) vermogen bepalen beide e_{sat}
 - Reductie van e_{sat} door lagere R_{CT}
 - Resultaat: kleinere kern en meer koperdraad
 - Dikker draad kan leiden tot (aanzienlijk) grotere afmetingen
-
- Omrekenen $ALF \leftrightarrow VA$
 $ALF \cdot (P_{\text{uitw}} + P_{\text{inw}}) = \text{constant}$



Isolatie & Behuizing

- Isolatie secundaire wikkeling
 - Kern ↔ wikkeling
 - Windingen en lagen onderling
 - Isolatie naar aarde (3kV)
 - Isolatie van primaire wikkeling (afhankelijk van Highest Voltage for Equipment).
Valt buiten bestek workshop
- Behuizing
 - Afhankelijk van constructie / model
 - In giethars, transformatorset, doorvoering, enz...



Trafo specificatie

- Zo wordt een beveiligingstrafo groter
 - Hogere externe belasting (VA's)
 - hogere ALF (P-cijfer) / Kssc
 - Rct eis (*)
 - eisen voor weergave transiënte stroom
- Zo wordt een beveiligingstrafo kleiner
 - Hoger aantal Ampère-windingen
 - Primair bewikkelen
 - Hogere nom. primaire stroom, bv. 200/1A ipv 100/1A
 - Weloverwogen specificatie
30VA??? 5P300???



(*) indien Rct << "richtwaarde"
Kan gunstig zijn bij P-klasse

Trafo specificatie

- Stelling:
schaf klasse 5P.. en 10P.. af en vervang deze door klasse PX
- 5P... specificatie is star, Rct veelal onbekend
 - 5VA 5P20 → 10VA 5P10 : OK
 - 15VA 5P5 → 5VA 5P15 : niet OK,
inwendig verbruik ten onrechte verwaarloosd
- Klasse PX
 - Kniepuntspanning Ek
 - Optioneel: $I_{exc} < \dots \text{mA}$, $R_{ct} < \dots \Omega$
- Alternatieve PX specificatie voor optimale afmetingen/kosten:
$$E_k > I_f / n \cdot (R_{ct} + R_B),$$

bv. $E_k > 100 \cdot (R_{ct} + 3)$

ELEQ



Mastering Electricity

ELEQ[®] helps its customers in mastering electricity by providing products and solutions
ELEQ[®] delivers worldwide from Germany and the Netherlands
ELEQ[®] develops, produces and markets under the brandnames FAGET[®] and KWK[®]
PLEASE VISIT WWW.ELEQ.COM FOR A COMPANY OVERVIEW