

Stroomtransformatoren specificeren voor beveiligingen

Door Ronald Bijlaard en Dennis Pool

$$K_{td} = \left(\frac{\omega \cdot T_p \cdot T_s}{T_p - T_s} \right) \cdot \left(e^{\frac{-t}{T_p}} - e^{\frac{-t}{T_s}} \right) + 1$$

$$K_{TF} = 1 + \omega T_s \left(\frac{T_N}{T_s} \right)^{\frac{T_s}{T_s - T_N}}$$

$(K_{TF} \approx 1 + \omega T_N)$

$$K'_{TF} = \left[1 + \frac{\omega \cdot T_N \cdot T_s}{T_N - T_s} \left(e^{\frac{t_M}{T_N}} - e^{\frac{t_M}{T_s}} \right) \right]$$

$$K_{OD} \geq K_{TF} \cdot K_{Rem}$$

$$K_{Rem} = 1 + \frac{\% \text{ remanence}}{100}$$

De ideale stroomtransformator heeft:

- **Specificaties, die voldoen voor de gehele levensduur van de primaire installatie. Die dus rekening houden met toename kortsluitvermogen, zwaardere transformator of kabel.**
- **Specificaties, die het aantal typicals van een schakelinstallatie beperken tot één kabel-, één transformator-, één generator- en één koppelveld.**
- **Specificaties, die voldoende ruimte bieden, om er beveiligingsrelais van verschillende leveranciers op te kunnen aansluiten.**
- **Specificatie, die niet zo zwaar zijn dat de kernen niet in de schakelinstallatie kunnen worden ingebouwd.**

Methodes om specificaties te bepalen:

1. Vanuit de wens tot standaardisatie worden er bijvoorbeeld afspraken gemaakt om voor beveiligingskernen altijd/1A; 5P20; 30VA te bestellen.
Gevolg: *Kopieer gedrag; Overstroomcijfer lager dan minimum eis distantie.*
2. Het benodigde overstroomcijfer wordt per locatie zodanig berekend dat de kern altijd buiten verzadiging blijft (niet meer toegepast!)
Gevolg: *Heel zware kernen die niet in GIS passen.*
3. Het benodigde overstroomcijfer wordt per locatie zodanig berekend dat de kern gedurende de beslis tijd van het relais buiten verzadiging blijft.
Gevolg: *Kernen nog veelal te zwaar om in GIS te passen. TPZ past wel.*
4. De minimum eisen die de fabrikant van het relais aan de kernen stelt worden omgerekend naar het nominaal overstroomcijfer.
Gevolg: *Lichtere kernen die meestal in GIS passen! Standaardiseren lastiger. Eisen verschillen per veld, leverancier en gebruikte beveiligingsfuncties.*

Methode 1:

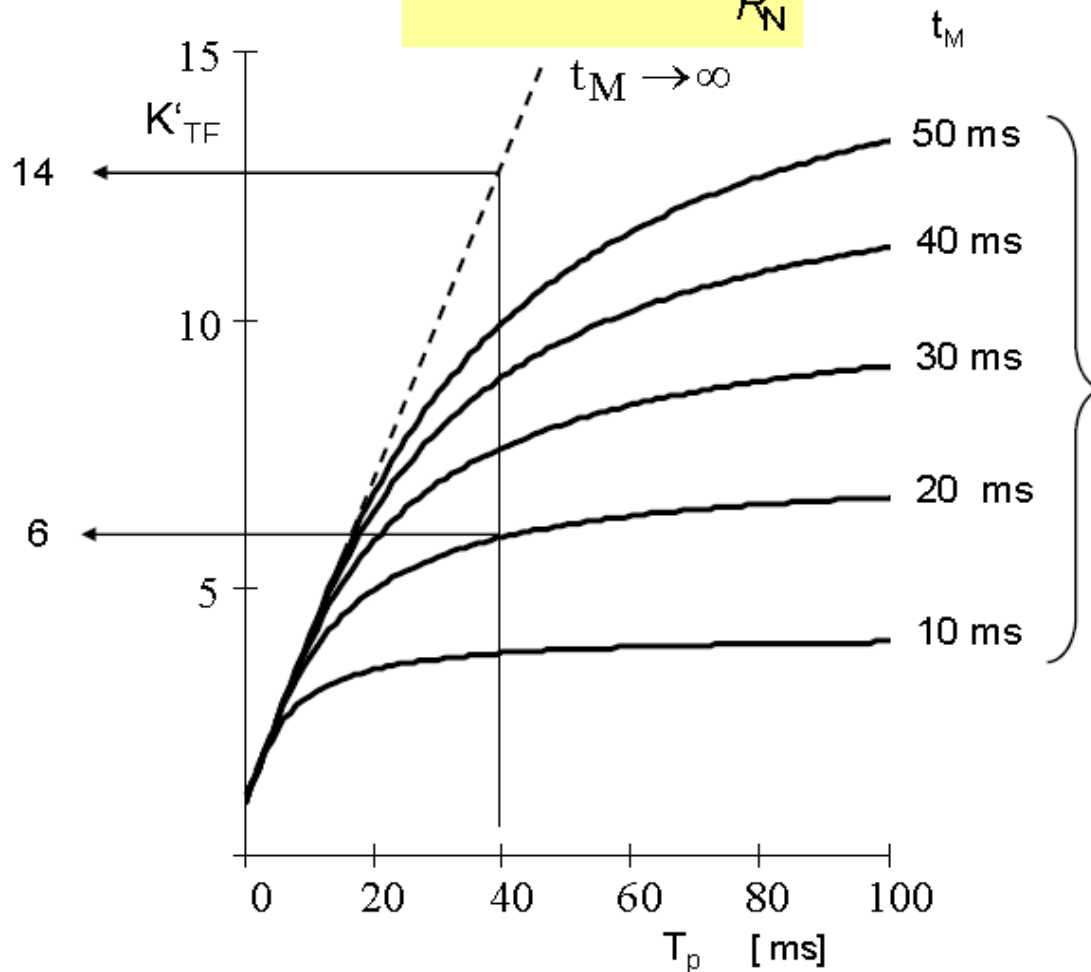
5P20, 30VA geeft afhankelijk van R_i een werkelijk overstroomcijfer van 30 tot 80 bij een belasting van 2VA. Kan minder zijn dan de minimum eis van relais.

- **Onder dimensionering geeft niet veel (bekende) selectiviteitsproblemen. Je hebt immers een kortsluiting nodig om erachter te komen. Ook dan zal de afschakeling vaak toch selectief zijn omdat:**
 - **Kortsluitvermogen en nettijdconstante vaak lager is dan in berekeningen.**
 - **Kortsluitstroom voor groot deel via parallelcircuit naar foutplaats loopt.**
 - **Is meestal één fase/aardfout met lagere stromen dan drie fase fouten.**
 - **Kortsluitstroom ontstaat meestal niet bij nuldoorgang van spanning.**
 - **Sluiting ligt meestal niet net op de ingestelde zonegrens.**
 - **Onder- en bovengrens van zones bieden ruimte voor meetfout.**
 - **Staffeltijden bieden ruimte aan vertraagde uitschakeling.**

Methode 2 en 3: Factor K'_{TF} in relatie tot nettijdconstante T_p en meettijd t_M



$$K_{TF} = 1 + \omega T_N = 1 + \frac{X_N}{R_N}$$



$$K'_{TF} = 1 + \omega T_N \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_M}{T_N}} \right)$$

Impact methode 2 en 3 / zware kernen

Stroomtrafo (TPX, TPY, TPR) met hoog overstroomgetal is groot en zwaar.

Redenen om overstroomgetal / afmetingen te willen beperken zijn:

- **Selectiviteit.**
Zonegrens van rail- en distantiebeveiliging ligt bij voorkeur tussen VS en kabeleindsluitingen. Kernen moeten dan wel in GIS passen.
- **Korte uitvoeringstijd in het station.**
Kernen om kabels vergen extra voorzieningen zoals staalconstructie, secundaire kabel(baan), lage aarding of teruggehaalde aardleiding kabelmantel. Vanwege EMC soms ook een spetterbus.
- **Lagere kosten.**
Zware kernen zijn ook dure kernen. Veel uren/kosten voor engineering, montage en testen als kernen om kabels worden gemonteerd.
Voordeliger om alle kernen al in de fabriek in GIS te laten monteren.

Stroomtransformatoren om kabels



Methode 4: minimum eisen die beveiligingsfuncties stellen.



Minimum eisen stroomtransformatoren (CT's) onderzocht voor :

- **Distantie relais**
- **Differentiaal relais**
- **Maximumstroomtijd relais**

Van de volgende leveranciers:

- **ABB**
- **Alstom/Schneider (voorheen Areva)**
- **Siemens**

Ervaringen daarbij:

- **Gebruikte symbolen in formules niet gestandaardiseerd**
- **Uitkomsten niet direct te vergelijken**
- **Varieert van heel simpele tot complexe methodes**

Alle formules herleiden naar werkelijk benodigd overstroomcijfer n_b

Formules van ABB en Alstom/Schneider berekenen:

$$V_{sal} = \text{Secundaire nauwkeurigheid grensspanning} \quad (V_k = 80-85\% \text{ van } V_{sal})$$

Formules van Siemens berekenen:

$$n_b = \text{Werkelijk benodigde overstroomcijfer}$$

Ten behoeve van leveranciersvergelijking:

- Alle symbolen in formules aangepast volgens norm IEC 60044-6
- Alle formules herleid naar n_b

Bijvoorbeeld formule van ABB voor distantierelais:

$$V_{sal} = \frac{I_{psc} \bullet I_{sn}}{I_{pn}} \bullet (a/k) \bullet \left(R_{ct} + R_L + \frac{S_r}{I_r^2} \right)$$

wordt

$$n_b = K_{td}(a/k) \bullet \frac{I_{psc}}{I_{pn}}$$

Herleidt via: $V_{sal} = n_b \times I_{sn} \times (R_{ct} + R_b)$

Minimum eisen distantie relais

ABB

REL670

$$n_b = K_{td} (a/k) \cdot \frac{I_{psc}}{I_{pn}}$$

zonegrens:

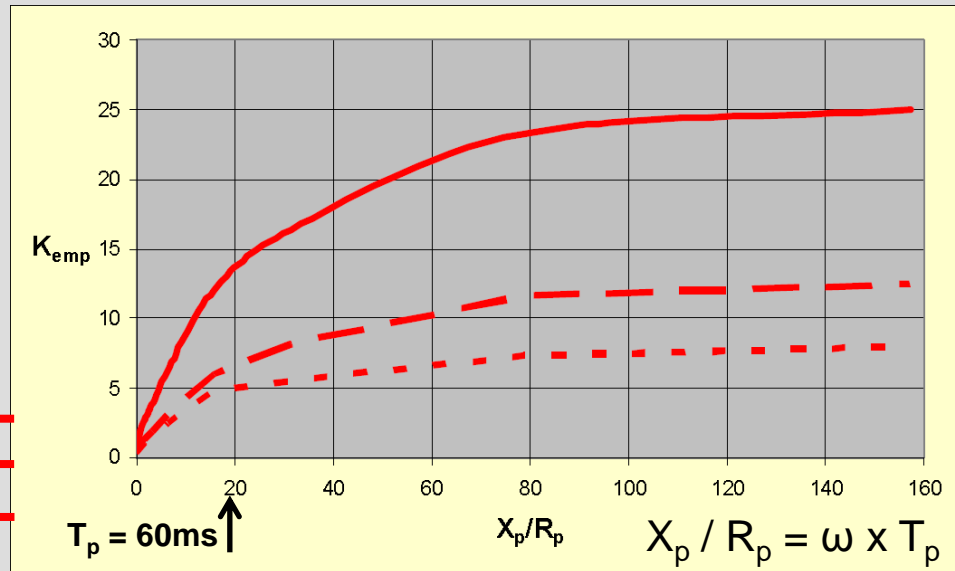
T_p	≤ 50	>50	≤ 30	>30
$K_{td} (a)$	2	3	-	-
$K_{td} (k)$	-	-	4	6

Alstom/Schneider

P43X

$$n_b = K_{td} \cdot \frac{I_{psc}}{I_{pn}}$$

- I_{psc} = stroom op 100% zone 1
- $K_{td} = K_{emp}$ (mits geen AW)
- Trip in <40ms tot 95% zone 1 —
- Trip in <50ms tot 90% zone 1 - - -
- Trip zeker tot 85% zone 1 - - - -



Siemens

7SA522

7SA6

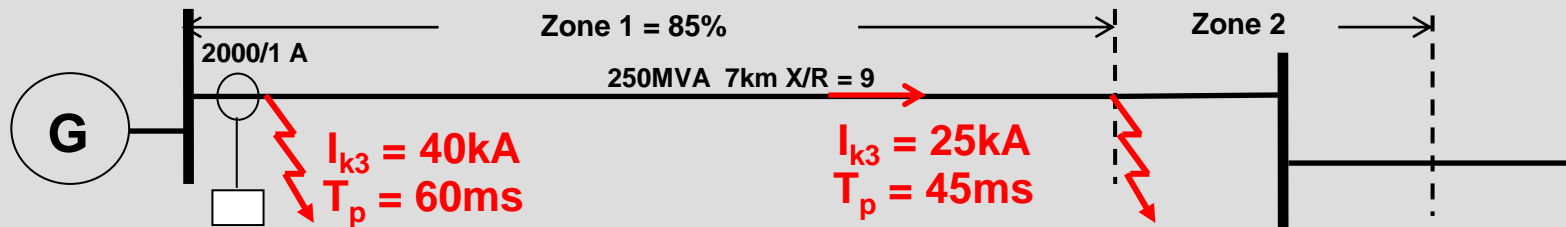
7SD5XX

$$n_b = K_{td} (a/b) \cdot \frac{I_{psc}}{I_{pn}}$$

zonegrens:

T_p	≤ 30	≤ 50	≤ 100	≤ 200
$K_{td} (a)$	1	2	4	4
$K_{td} (b)$	4	5	5	5

Berekeningen distantiebeveiliging



2000/1A	$I_{k3} = 40\text{kA}$ en $T_p = 60\text{ms}$			$I_{k3} = 25\text{kA}$ en $T_p = 45\text{ms}$			
Berekeningsmethode	Ktd1	Kscc1	nb1	Ktd2	Kscc2	nb2	benodigde nb
ABB	3	20	60	6	12,5	75	75
Alstom/Schneider				11 (4)	12,5	110 (40)	110 (40)
Siemens	4	20	80	5	12,5	62,5	80
40ms geen verzadiging	10	20	200				200
Geen verzadiging	17,9	20	358				358

2000/1A	$I_{k3} = 50\text{kA}$ en $T_p = 120\text{ms}$			$I_{k3} = 30\text{kA}$ en $T_p = 55\text{ms}$			
Berekeningsmethode	Ktd1	Kscc1	nb1	Ktd2	Kscc2	nb2	benodigde nb
ABB	3	25	75	6	15	90	90
Alstom/Schneider				12 (5)	15	180 (75)	180 (75)
Siemens	4	25	100	5	15	75	100
40ms geen verzadiging	11,6	25	289				289
Geen verzadiging	32,5	25	813				813

Minimum eisen langsdifferentiaal

ABB
RED670

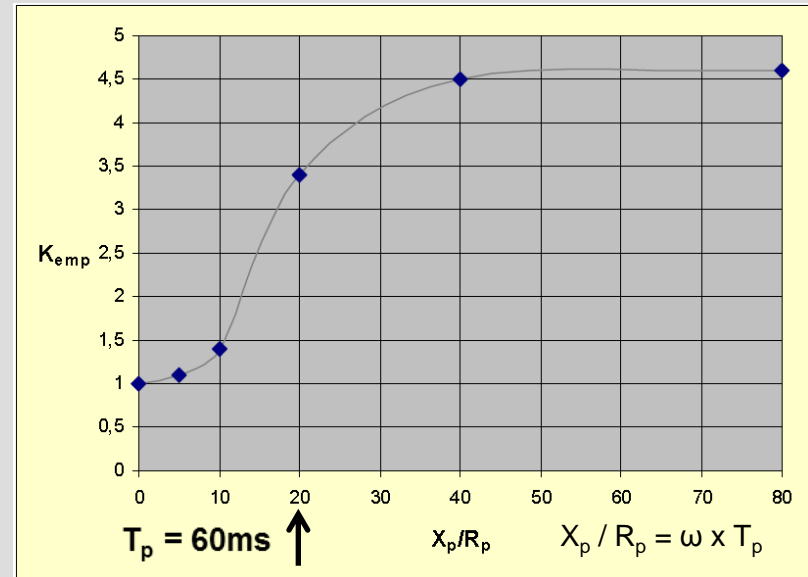
$$n_b = 2 \cdot \frac{I_{psc}}{I_{pn}}$$

waarbij I_{psc} = maximale doorgaande kortsluitstroom

Alstom/Schneider
P63X

$$n_b = K_{td} \cdot \frac{I_{psc}}{I_{pn}}$$

I_{psc} = maximale doorgaande kortsluitstroom
 K_{td} = Kemp voor doorgaande fout



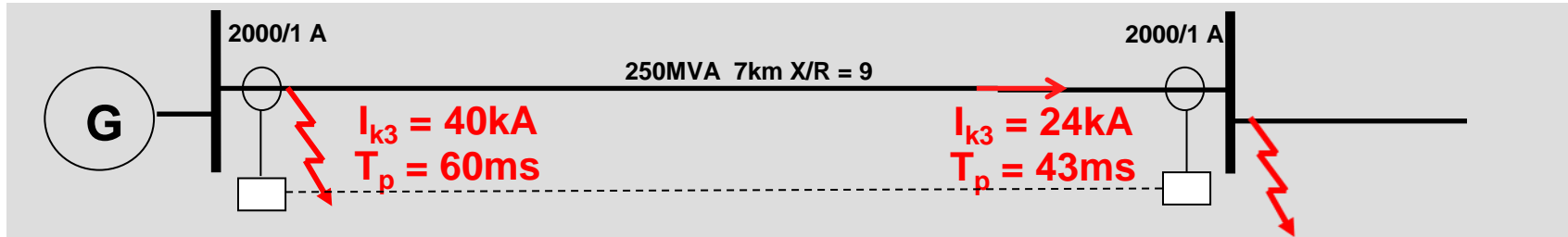
Siemens
7SD52

$$n_b = K_{td} \cdot \frac{I_{psc}}{I_{pn}}$$

	Trafo	Line	Gen/motor
K_{td}	1,2	1,2	1,2

I_{psc} = maximale doorgaande kortsluitstroom

Berekeningen langsdifferentiaal



2000/1A	$I_{k3} = 40\text{kA}$ en $T_p = 60\text{ms}$			$I_{psc} = 24\text{kA}$ en $T_p = 43\text{ms}$			
Berekeningsmethode	Ktd1	Kscc1	nb1	Ktd2	Kscc2	nb2	benodigde nb
ABB				2	12	24	24
Alstom/Schneider				2,4	12	28,8	28,8
Siemens				1,2	12	14,4	14,4
10ms geen verzadiging	3,9	20	78				78
Geen verzadiging	17,9	20	358				358

2000/1A	$I_{k3} = 50\text{kA}$ en $T_p = 120\text{ms}$			$I_{psc} = 27\text{kA}$ en $T_p = 51\text{ms}$			
Berekeningsmethode	Ktd1	Kscc1	nb1	Ktd2	Kscc2	nb2	benodigde nb
ABB				2	13,5	27	27
Alstom/Schneider				2,7	13,5	36,5	36,5
Siemens				1,2	13,5	16,2	16,2
10ms geen verzadiging	3,9	25	98				98
Geen verzadiging	32,5	25	813				813

Minimum eisen transformator differentiaal

ABB
RET670

$$n_b = 2 \cdot \frac{I_{psc}}{I_{pn}} \quad \text{of} \quad n_b = 30 \cdot \frac{I_{tr}}{I_{pn}}$$

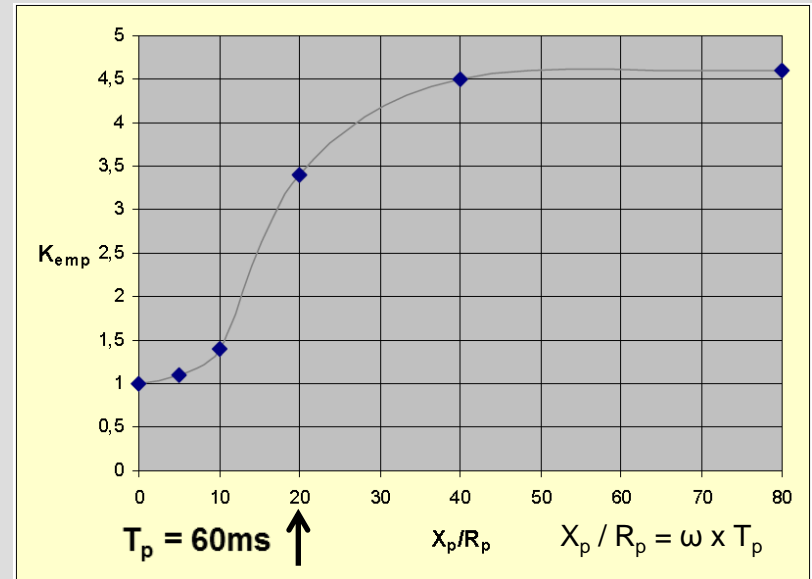
I_{psc} = max. doorgaande kortsluitstr.
 I_{tr} = nominale stroom transformator

Alstom/Schneider
P63X

$$n_b = K_{td} \cdot \frac{I_{psc}}{I_{pn}}$$

I_{psc} = maximale doorgaande kortsluitstroom
 K_{td} = Kemp voor doorgaande fout

$K_{td} = 0,25$ voor interne fout



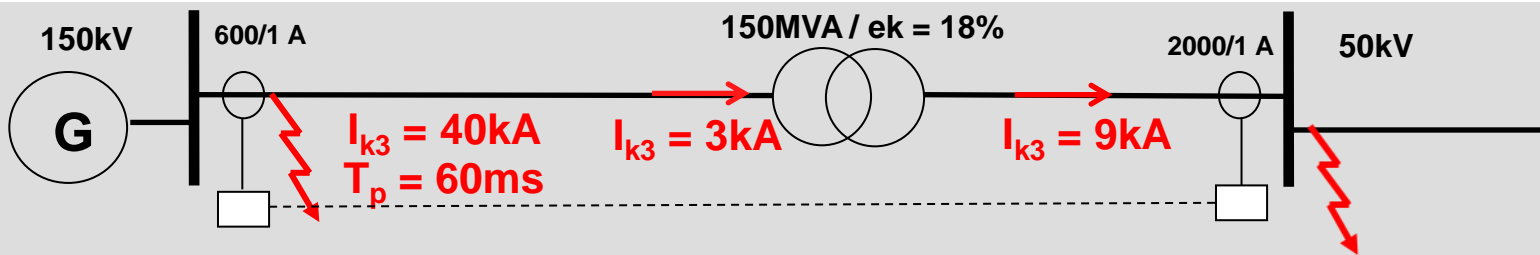
Siemens
7UT612

$$n_b = K_{td} \cdot \frac{I_{psc}}{I_{pn}}$$

	Trafo	Line	Gen/motor
K_{td}	4	4	5

I_{psc} = maximale doorgaande kortsluitstroom

Berekeningen transformatordifferentiaal



600/1A ;ltr = 577A	$I_{k3} = 40\text{kA}$ en $T_p = 60\text{ms}$			$I_{psc} = 3\text{kA}$ en $T_p = 60\text{ms}$			
Berekeningsmethode	Ktd1	Kscc1	nb1	Ktd2	Kscc2	nb2	benodigde nb
ABB	30 x ltr/lpn = 29			2	5	10	29
Alstom/Schneider	0,25	67	16,8	3,4	5	17	17
Siemens				4	5	20	20
10ms geen verzadiging	3,9	67	261				261
Geen verzadiging	17,9	67	1199				1199

600/1A ;ltr = 577A	$I_{k3} = 50\text{kA}$ en $T_p = 120\text{ms}$			$I_{psc} = 3\text{kA}$ en $T_p = 120\text{ms}$			
Berekeningsmethode	Ktd1	Kscc1	nb1	Ktd2	Kscc2	nb2	benodigde nb
ABB	30 x ltr/lpn = 29			2	5	10	29
Alstom/Schneider	0,25	83	20,8	4,4	5	22	22
Siemens				4	5	20	20
10ms geen verzadiging	3,9	83	324				324
Geen verzadiging	32,5	83	2699				2699



Minimum eisen maximumstroomtijd relais (OMT)

ABB

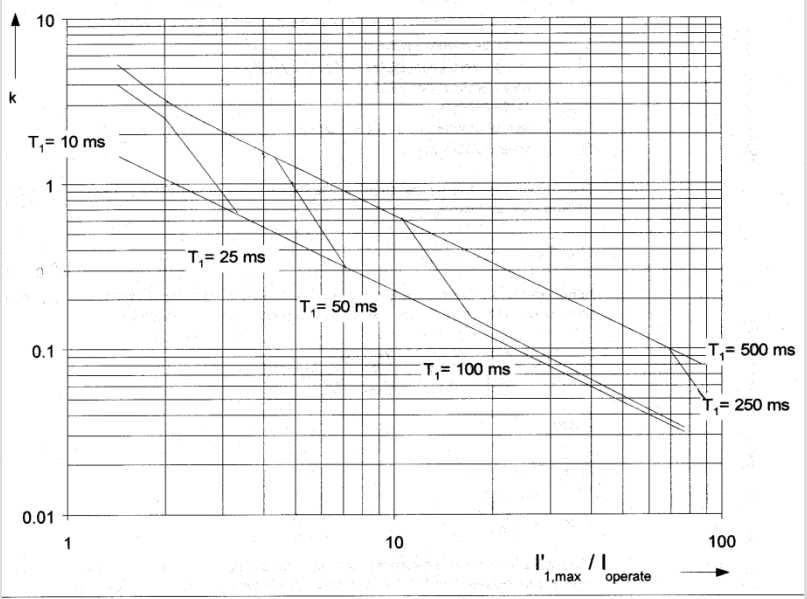
$$n_b = 1,5 \bullet \frac{I_{op}}{I_{pn}}$$

I_{op} = hoogst ingestelde aanspreekstroom
factor 1,5 wordt 5 als SRB-functie is gebruikt

Alstom/Schneider PS4x2

$$n_b = K_{td} \bullet \frac{I_{psc}}{I_{pn}}$$

- Ktd = k op verticale as is afhankelijk van:
- T1 = nettijdconstante
 - I_{max} / I_{op} = maximale kortsluitstroom / hoogst ingestelde aanspreekstroom



Siemens 7SJ61

$$n_b = \frac{I_{op}}{I_{pn}}$$

I_{op} = hoogst ingestelde aanspreekstroom
 n_b moet minimaal 20 zijn

Berekeningen OMT relais



$I_{k3} = 40\text{kA}$ en $T_p = 60\text{ms}$	hoogste instelling 10kA		
Berekeningsmethode	Ktd	Kscc	nb
ABB	1,5	5	7,5
Alstom/Schneider	1,6	20	32
Siemens	1	5	5
20ms geen verzadiging	6,4	20	128
Geen verzadiging	17,9	20	358

zwaarste eis bij SRB: nb = 25
($I_{\text{max}} / I_{\text{op}} = 4$)
zwaarste eis: nb \geq 20

$I_{k3} = 50\text{kA}$ en $T_p = 120\text{ms}$	hoogste instelling 10kA		
Berekeningsmethode	Ktd	Kscc	nb
ABB	1,5	5	7,5
Alstom/Schneider	1,4	25	35
Siemens	1	5	5
20ms geen verzadiging	6,8	25	170
Geen verzadiging	32,5	25	813

zwaarste eis bij SRB: nb = 25
($I_{\text{max}} / I_{\text{op}} = 5$)
zwaarste eis: nb \geq 20



Minimum eisen maximumstroomtijd relais (AMT)

ABB

ingestelde aans

$$n_b = 20 \cdot \frac{I_{op}}{I_{pn}}$$

I_{op} = primaire instelling inverse functie

En tenminste symmetrische kortsluitstroom!!

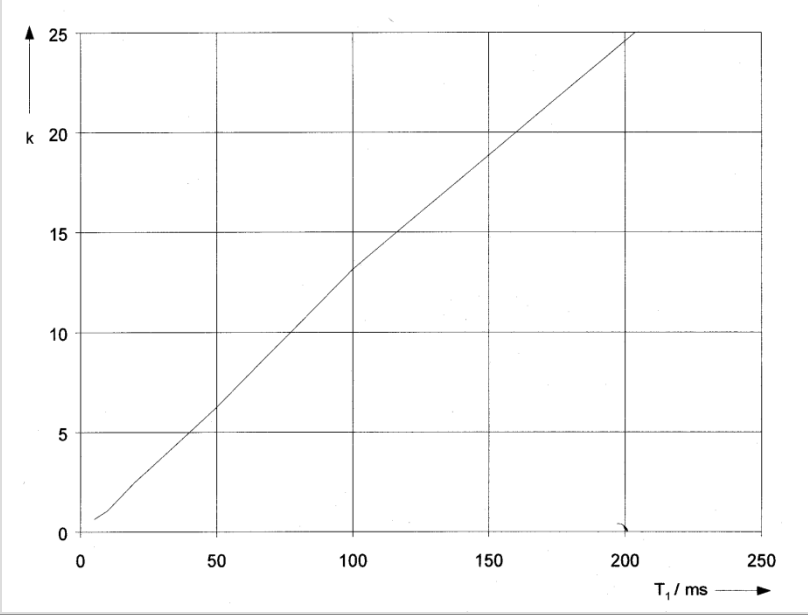
Alstom/Schneider

PS4x2

$$n_b = K_{td} \cdot \frac{I_{psc}}{I_{pn}}$$

$K_{td} = k$ op verticale as is afhankelijk van:

- T_1 = nettijdconstante



Siemens

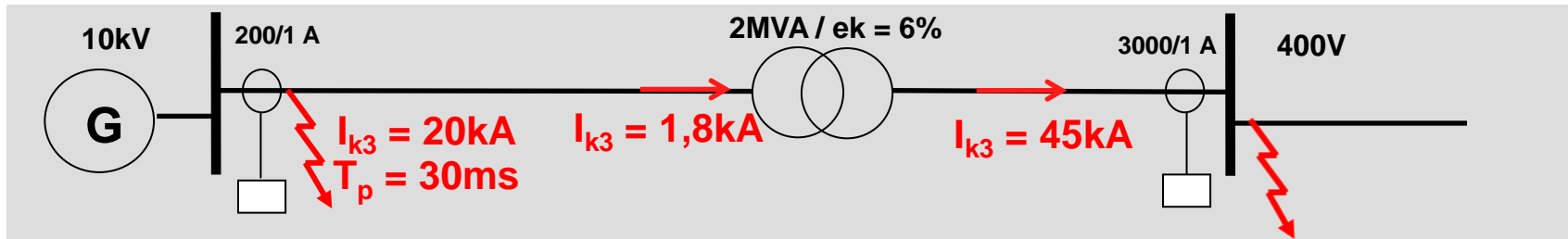
7SJ61

$$n_b = \frac{I_{op}}{I_{pn}}$$

I_{op} = hoogst ingestelde aanspreekstroom

n_b moet minimaal 20 zijn

Berekeningen AMT



(doorgaande fout <1800A)

200/1A ;ltr = 115A		Ik3 = 20kA en Tp = 30ms			I > inverse functie 200A		
Berekeningsmethode	Ktd1	Kscc1	nb1	Ktd2	Kscc2	nb2	benodigde nb
ABB	1	100	100	20	1	20	100
Alstom/Schneider	3	100	300	(3)	(9)	(27)	300
Siemens	nb = tenminste 20			1	1	1	20
Geen verzadiging	10,5	100	1050				1050

200/1A ;ltr = 115A		Ik3 = 20kA en Tp = 60ms			I > inverse functie 200A		
Berekeningsmethode	Ktd1	Kscc1	nb1	Ktd2	Kscc2	nb2	benodigde nb
ABB	1	100	100	20	1	20	100
Alstom/Schneider	7	100	700	(7)	(9)	(63)	700
Siemens	nb = tenminste 20			1	1	1	20
Geen verzadiging	17,9	100	1790				1790

Conclusies:

- Beperk K_{scc} door hoge I_{pn} van stroomtrafo. Bij voorkeur $> I_n$ veld.

Differentiaalbeveiligingen stellen hier wel grenzen aan:

- Voorkom verschillend transient gedrag op zone grenzen (balans nastreven).
 - Overweeg daarom ook anti remanentie kernen bij differentiaalbeveiligingen.
- Anti remanentie kernen ook overwegen bij distantie met WI-functie.
 - Stel nooit alleen een AMT functie in, maar voor nabije sluitingen ook altijd een $I >>$ trap (OMT) in. Een overstroomcijfer van 20 is dan meestal ruim voldoende.
 - Overweeg bij distantiebeveiligingen of een ondergrens van 90% van de ingestelde zone 1 toelaatbaar is. Dit beperkt de k_{td} tot ≤ 10 .
 - Via minimum eisen van leveranciers en voorgaande punten kun je de zware kernen reduceren tot kernen met een nominaal overstroomcijfer van ≤ 40 .

Vragen?