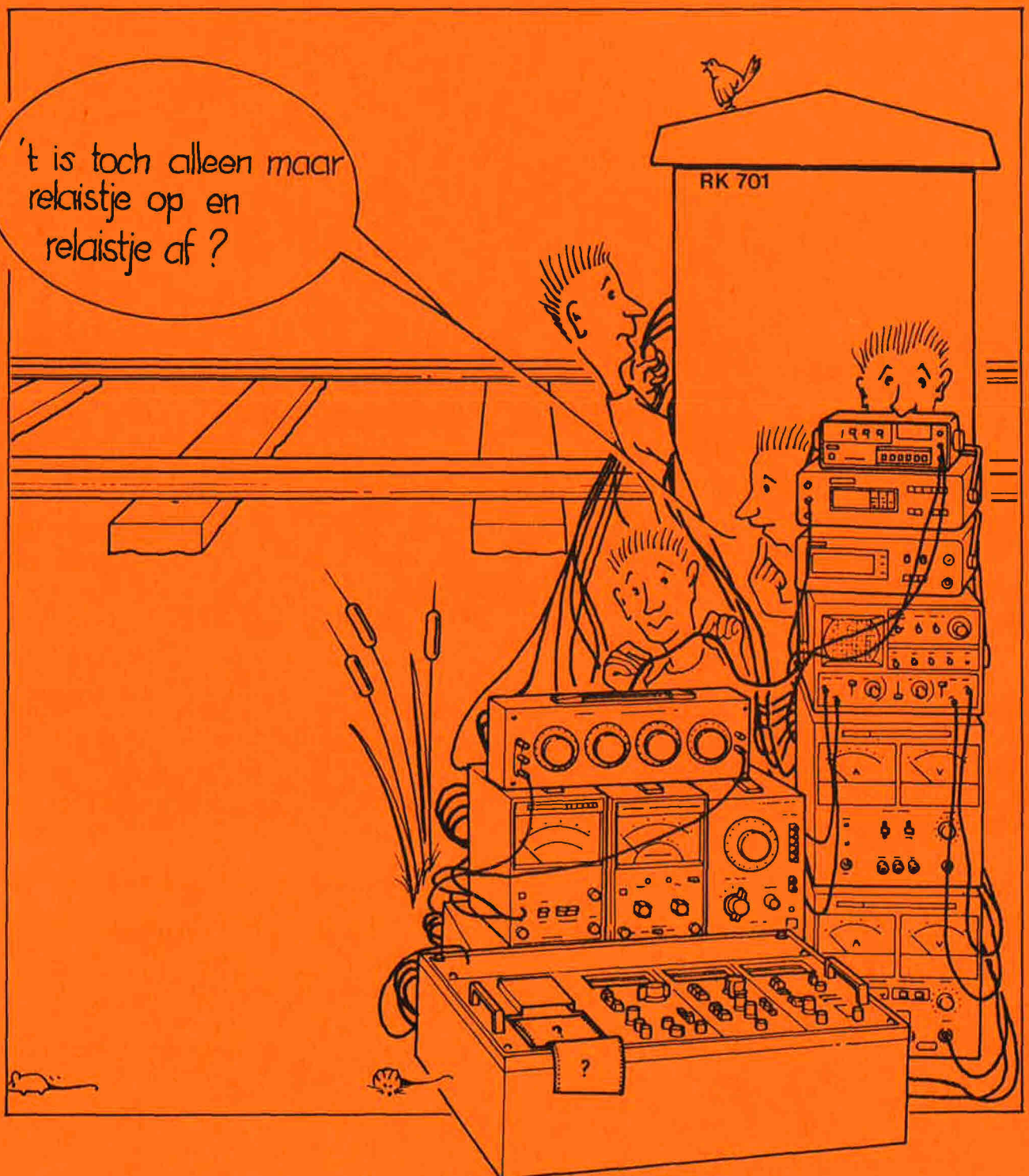
Spoorstroomlopen

Theoriedeel

Opleiding en Vorming



Spoorstroomlopen

Theoriedeel

Opleiding en Vorming

Nederlandse Spoorwegen

Sector	: Is 6/9 Opleidingen
Co-produktie	: A.J. Visser, H. Steenkamp
Goedgekeurd door:	K. Barelds
	augustus 1981
Oplage	:200
	1e druk
Code	: L 3711

Voorwoord

In de loop van de jaren is het in toenemende mate een complexe zaak geworden om de spoorstroomloopcircuits zodanig te dimensioneren dat aan alle eisen van veiligheid en betrouwbaarheid wordt voldaan. Toenemende tractiestromen enerzijds en het gebruik van spoorstroomloopcircuits t.b.v. ATB code-overdracht anderzijds hebben in belangrijke mate tot deze situatie geleid.
Dit boek is ontstaan in een periode waarin gewerkt wordt aan een meer verfind stelsel van specificaties en een beter vastgelegd begrippenkader.

Met name op het gebied van de begripsvorming wil dit boek een bijdrage leveren. In hoofdstuk 2 worden de belangrijkste begrippen die voor het instellen van een spoorstroomloop nodig zijn, behandeld a.d.h.v. een gelijkstroommodel.
In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de werking van het schijfrelais zoals dat bij de NS wordt toegepast en wordt achtergrondkennis verstrekt omtrent de aantrek- en afvalwaarden van het relais in relatie tot de fasehoek tussen de stromen in spoorfase en lokale fase.
Hoofdstuk 4 gaat in op de werking van de enkelbenig-geïsoleerde spoorstroomloop. Dit type schakeling wordt gevoed met wisselstroom. De begrippen die in het gelijkstroommodel zijn aangebracht worden in dit hoofdstuk op de wisselstroom-situatie toegepast.
Hoofdstuk 5 beschrijft de opbouw en werking van de dubbelbenig geïsoleerde spoorstroomloop. In dit hoofdstuk worden nog een aantal specifieke begrippen toegevoegd die nodig zijn om zo'n type schakeling goed te kunnen instellen.
Hoofdstuk 6 gaat in op de toepassing van spoorstroomlopen voor ATB-overdracht.

We zijn ons ervan bewust dat het boek een tamelijk theoretisch karakter heeft en dat deze theoretische achtergrondkennis voor een groot deel vervallen kan op het moment dat een monteur aan de hand van de betreffende Meet- en Instelvoorschriften de spoorstroomloopcircuits gaat instellen. We hebben echter gemeend dat eerst deze stap gezet moet worden voordat gewerkt wordt aan een specifieke op Is 9 gericht leerboek voor de monteurs. Op- en aanmerkingen die de inhoud van dit boek ten goede komen worden gaarne door ons ingewacht.

Andries Visser
Harm Steenkamp

Inhoud

1. Inleiding 2

2. Gelijkstroommodel 4
2.1 Inleiding 4
2.2 Principe 4
2.1.1 Isolerende lassen 4
2.2.2 Opbouw van de schakeling 6
2.2.3 De treinshunt 8
2.3 Veiligheid in het ontwerp 9
2.3.1 Het ruststroomprincipe 9
2.3.2 Veiligheidsrelais 10
2.4 Elektrische eigenschappen van de spoorsectie 11
2.4.1 Vervangingsschema van een geïsoleerde sectie 11
2.4.2 De langsweerstand 12
2.4.3 Ballast weerstand 13
2.4.4 Pekelsecties 16
2.5 Principes bij het instellen van een geïsoleerde spoorstroomloop 17
2.5.1 Vervangingsschema van het spoorstroomloopcircuit 17
2.5.2 De bedrijfszekerheidseis 19
2.5.3 Veiligheidseis 20
2.5.4 Het relais 21
2.6 Dimensionering van de voorschakelweerstanden 23
2.6.1 Het rekenmodel 23
2.6.2 Bepaling van R_1 en R_2 bij verwaarlozing van de ballast impedantie 24
2.6.3 Bepaling van R_1 en R_2 rekening houdend met ballast weerstand 27
2.6.4 Hoe veilig is de veiligheidstest in de praktijk 30
2.7 De kabelweerstand 32
2.8 OR-bladen 33
2.9 Het OA-blad 34
2.10 Het spoorherhalingsrelais (TPR) 35

3. Het spoorrelais 36
3.1 Inleiding 36
3.2 Relaisiobouw 37
3.3 De krachtwerking op de schijf 40
3.3.1 De stroomverdeling in de schijf 40
3.3.2 Het ontstaan van een kracht in de schijf 42
3.3.3 Stromen t.g.v. een wisselend magnetisch veld 44
3.3.4 Velden in fase en tegenfase 46
3.3.5 Velden 90° in fase verschoven 48
3.4 De koppelformule 51
3.5 Uitvoering van het magnetisch circuit 54
3.6 Specificaties 55

4. De enkelbenig geïsoleerde spoorstroomloop 59
4.1 Inleiding 59
4.2 De principeschakeling 60
4.3 Het rekenen aan een enkelbenodige sectie 61
4.4 Keuzevan instelling 65
4.5 De invloed van de ballastweerstand op de instelling 69
4.6 Bliksembescherming 71
4.7 Spoorstroomloop-schakeling binnen ET-gebied 72
4.8 De balans impedantie 73
4.9 Polariteiten 75

5. De dubbelbenig geïsoleerde spoorstroomloop 77
5.1 Inleiding 77
5.2 Opbouw van de railspoel 79
5.3 De spoel 82
5.4 De condensator 85
5.5 Spoel en condensator in serie 87
5.6 Spoel en condensator parallel 91
5.7 Schakeling zonder voorschakelweerstanden 94
5.8 Het vector diagram 95
5.9 Het koppel 102
5.10 Frequentiegevoeligheid 106
5.11 Plaats van de 0,3 ohm test 110

6. Gecodeerde spoorstroomlopen 113
6.1 Principe 113
6.1.1 Inleiding 113
6.1.2 Codestroom 115
6.1.3 Omloopstromen 118
6.1.4 Principeopbouw van een ATB-sectie 120
6.2 De enkelbenig geïsoleerde sectie met ATB 122
6.2.1 Voedingszijde gecodeerd 122
6.2.2 Relaiszijde gecodeerd 125
6.2.3 Beide zijden gecodeerd 128
6.3 De dubbelbenige sectie met ATB 129
6.3.1 Voedingszijde gecodeerd (algemeen) 129
6.3.2 Relaiszijde gecodeerd (algemeen) 131
6.3.3 Het instellen van secties 132
6.3.4 Verloop van het ATB-niveau 133
6.3.5 ATB-stroom en ballast variatie 138
6.3.6 ATB-stroom en spoorstaafprofiel 139

Bijlage 1 140
Bijlage 2 141
Bijlage 3 142
Bijlage 4 145
Bijlage 5 147

Inleiding

Hoofdstuk 1

De uitvinding van de lokomotief door George Stephenson in 1825 in Engeland heeft voor de wereld verstrekkende gevolgen gehad.
Het werd mogelijk om grote aantallen personen of grote hoeveelheden goederen te vervoeren naar voor schepen moeilijk bereikbare plaatsen. De spoorwegen vormden daardoor een belangrijke bijdrage tot de overgang naar het industriële tijdperk.

De snelle toename van het treinverkeer bracht met zich mee dat al snel beveiligingssystemen noodzakelijk werden. De trein is aan spoorstaven gebonden en kan niet van de voorgeschreven weg afwijken. Bovendien is het snel tot stilstand komen een probleem.
De beveiliging vond in het begin plaats d.m.v. onderlinge afspraken. Men maakte daarbij gebruik van de telegraaf. Door de toename van het treinverkeer en de daarmee gepaard gaande verhoging van het berichtenverkeer, ontstond al snel het gevaar voor vergissingen en daarmee voor ongelukken.

In Europa koos men om die reden voor het Mechanisch Blokstelsel; een systeem dat een hoge veiligheid garandeert. Het was niet noodzakelijk om extra personeel aan te trekken om met dit systeem te werken.
Er waren op de baan en op de stations voldoende mensen beschikbaar, die het systeem konden bedienen. De blokken werden zo ingedeeld, dat men de bediening hiervan kon combineren met de bediening van een overweg of brugpost.

In de Verenigde Staten, die voor een groot deel dun bevolkt zijn en waar de afstanden over het algemeen groot zijn, bleef men gebruik maken van de telegraaf. De treinfrequentie was erg laag en vele overwegen waren onbewaakt. Toen echter op sommige lijnen een andere beveiliging dan per telegraaf noodzakelijk werd, zocht men niet naar een Mechanisch Blokstelsel maar naar een Automatisch Blokstelsel. Zo'n systeem is in een dun bevolkt gebied aantrekkelijk. De lonen lagen daar toen al op een relatief hoog peil, zodat de toepassing van een arbeidsintensief stelsel, zoals het Mechanisch Blokstelsel, veel te kostbaar zou zijn.

Een kenmerk van de automatisering is dat niet mensen controleren of een trein in haar geheel een bepaald punt gepasseerd is, maar dat dit met technische middelen geschied. Men mag o.h.a. pas toestemming aan een trein geven om een blok binnen te rijden, wanneer men geconstateerd heeft dat het betreffende blok vrij is.

Om deze functie van de mens over te nemen zal men een systeem moeten maken waarbij het gehele blok gecontroleerd wordt op de afwezigheid van treinen of ander spoorwegverkeer. Een afgebroken treindeel wordt in het oude systeem altijd door de wachter opgemerkt, daar hij dan het sluitsein mist. Nu zal dit op een of andere wijze d.m.v. technische apparatuur gedetecteerd moeten worden.

Een goede manier om dit te doen, werd mogelijk door de uitvinding van de Geïsoleerde Spoorstroomloop door William Robinson in 1870. Dit systeem vormde de basis van het beveiligingssysteem, zoals het in de Verenigde Staten is ontwikkeld.

Dit systeem is door de NS overgenomen in de vorm zoals GRS dat levert, en wordt nog steeds toegepast. Er zijn echter ook andere systemen. De Zwitsers kenden b.v. rond de eeuwwisseling al assentellers als detectiemiddel en pasten dit toe in hun tunnels.
In dit boek zal echter alleen ingegaan worden op het systeem van Geïsoleerde Spoorstroomlopen en zullen alleen schakelingen behandeld worden die op dit systeem berusten.

2.1 INLEIDING

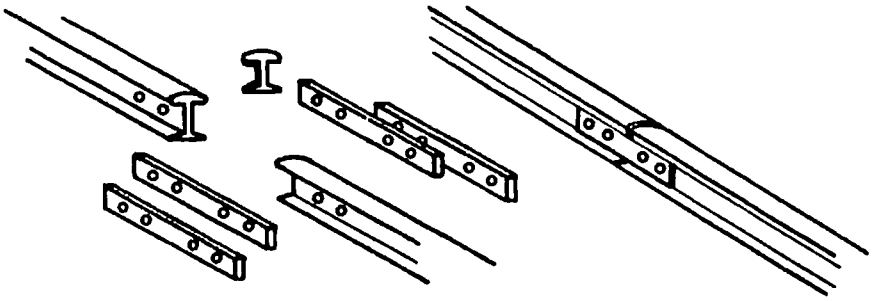
Aan de hand van een gelijkstroom spoorstroomloop zal ingegaan worden op de principes van het type spoorstroomloop, zoals dat bij de NS wordt toegepast.

Hoewel met gelijkstroom gecodeerde spoorstroomlopen mogelijk zijn, zal dit hoofdstuk zich beperken tot die facetten van het spoorstroomloop circuit, die nodig zijn om de bij NS gangbare schakelingen te begrijpen. Er wordt echter nog niet ingegaan op de gecodeerde spoorstroomlopen.

2.2 PRINCIPE

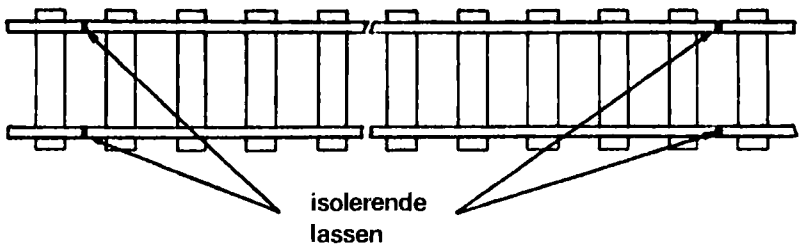
2.2.1 Isolerende lassen

Om een geïsoleerde spoorstroomloop te maken, zal men eerst het stuk spoorbaan waarop men deze schakeling wil aanbrengen, moeten isoleren.
Hiervoor worden de spoorstaven op de gewenste plaatsen dwars doorgezaagd en bevestigt men deze dan geïsoleerd weer aan elkaar. Dit gebeurt d.m.v. nylon plaatjes tussen de koppen van de spoorstaven en nylon voeringen en bussen tussen de klemplaten.



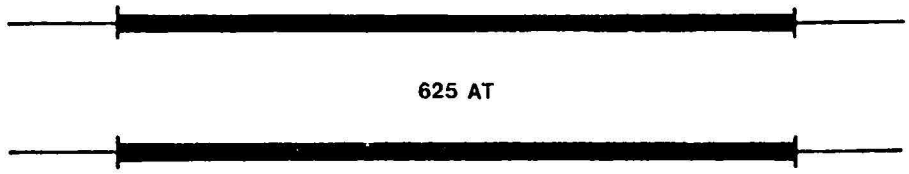
Men heeft nu mechanisch één geheel verkregen, één doorlopende spoorstaaf, terwijl een elektrische isolatie is aangebracht. Zo'n las noemt men een isolerende las.

Een volledige manier van isoleren is het toepassen van vier van dergelijke isolerende lassen, paarsgewijze recht tegenover elkaar.



Het gebied tussen deze lassen wordt een geïsoleerde sectie of ook wel kortweg een sectie genoemd. Elke sectie heeft een nummer b.v. 625 AT. Een sectie die op bovenstaande wijze volledig, d.w.z. in beide parallelle spoorstaven, geïsoleerd is heet een dubbelbenig geïsoleerde sectie. Dit in tegenstelling tot enkelbenig geïsoleerde secties, waarover later meer.

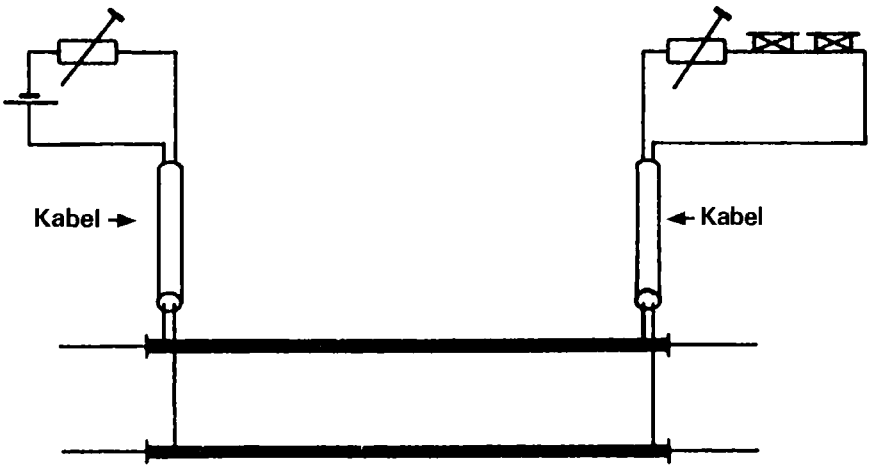
Van de opbouw van secties bestaan schema's, zodat men zich kan oriënteren en kan zien waar b.v. kabels aan spoorstaven zijn bevestigd etc. Zo'n tekening heet een OR-blad (Overzicht Retour).
Geïsoleerde benen worden op het OR-blad met dikke lijnen aangegeven en isolerende lassen met dwarsstreepjes.



De letter T is afkomstig van het engelse woord "Track", hetgeen "spoor" betekent.

2.2.2 Opbouw van de schakeling

Via kabels worden op een geïsoleerde sectie een batterijvoeding en een relais aangesloten.



De kant waar de batterij is aangesloten heet de voedingszijde en de kant waar het relais is aangesloten heet de relaiszijde.
De voorschakelweerstanden zijn nodig voor de juiste instelling van het circuit.

De werking van de schakeling is als volgt:
Door op de spoorstaven aan de voedingszijde een spanning aan te sluiten, zal deze spanning via de spoorstaven aan de relaiszijde kunnen worden afgenomen en zal het relais daarop kunnen aantrekken.

Wanneer er nu een trein de sectie binnenrijdt, dan zullen de wielen een elektrische verbinding maken tussen de parallelle sps'n, met als gevolg dat het relais hierdoor onvoldoende stroom krijgt en daardoor afvalt. De trein sluit a.h.w. de relaiszijde kort.
Pas als de trein de sectie verlaten heeft, zal de kortsluiting opgeheven zijn en kan het relais weer voldoende energie ontvangen om aan te trekken.

Het doel de trein een aktieve rol in de beveiliging te laten spelen wordt op deze manier verwezenlijkt, want d.m.v. de contacten van het relais, verder spoorrelais of TR (Track Relay) genoemd, wordt technisch vertaald of wel of niet een trein - of meer algemeen een railvoertuig - in de sectie aanwezig is.

trein in de sectie	→ spoorstaven kortgesloten	→ TR ↓ (af)	→ sectie bezet
geen trein in de sectie	→ spoorstaven niet kortgesloten	→ TR ↑ (op)	→ sectie vrij

Via de contacten van het TR kan nu de trein haar rol in de beveiligingscircuits spelen.

Bijvoorbeeld:

sectie bezet → sein dat toegang geeft tot deze sectie: ROOD

2.2.3 De treinshunt

Aan de impedantie van de wielstellen van een trein wordt een grens gesteld. Dit is nodig om ervan verzekerd te zijn dat het spoor goed wordt kortgesloten of beter gezegd dat het spoor laagohmig geshunt wordt.

De maximum weerstandswaarde van een wielstel is 0.1 ohm. Hierdoor heeft men de zekerheid dat het spoorrelais steeds goed afvalt bij niet-roestig spoor

Een voorwaarde is dus dat de sectie regelmatig bereden wordt. Dit houdt in minstens 1 x per 24 uur door een trein van ten minste 10 assen. Deze maatregel is noodzakelijk i.v.m. de roestvorming op de kop van de spoorstaven die anders ontoelaatbaar dik wordt en daarmee een isolerende laag gaat vormen.

In die gevallen waarin deze eis van berijden niet nagekomen kan worden, legt men op belangrijke plaatsen een roestvrijstalen lasrups op de kop van de spoorstaven.

Het is internationaal gebruikelijk om minstens een spanning van 1 volt te hebben tussen de beide benen van de sectie. Als een trein dan de sectie binnenrijdt, dan zal deze 1 volt ertoe bijdragen eventuele overgangsweerstanden te overwinnen. Gebleken is n.l. dat het spoor beter wordt kortgesloten naarmate ook de aangelegde spanning hoger is.
Er is sprake van een drempelspanning van ca. 1 volt waarboven de kortsluiting aanmerkelijk betrouwbaarder wordt, dan wanneer met lagere spanningen wordt gewerkt.

2.3 VEILIGHEID IN HET ONTWERP

2.3.1 Het ruststroomprincipe

Bij het ontwerp van spoorstroomlopen wordt uitgegaan van het ruststroomprincipe.
Ruststroom wil zeggen dat de batterij altijd stroom levert aan de schakeling.
Als de sectie onbezet is zal het TR op zijn, daar deze dan spanning krijgt. Men zegt dan: "Het TR is in de rustsituatie bekrachtigd". Men noemt deze situatie de normale toestand.

Het circuit vraagt door deze wijze van schakelen altijd energie, want bij spoorbezetting wordt nog meer stroom door de batterij geleverd. De batterij wordt nu als het ware kortgesloten.
Het circuit is door deze wijze van opbouw wel een veilige schakeling. Treedt er in het circuit een storing op, dan valt het relais af. Bijvoorbeeld:

Normaal sectie niet bezet	TR ↑
Storing - draadbreuk - spoorstaafbreuk - kortsluiting	TR ↓
Spoorbezetting (geen storing)	TR ↓

Alle situaties die afwijken van de normale situatie zullen dus een afgevallen TR tengevolge hebben, hetgeen door de beveiligingscircuits als een spoorbezetting zal worden geïnterpreteerd. Alle seinen die toegang geven tot het blok waarin de betreffende sectie ligt zullen dan ROOD gaan tonen. Deze situatie wordt als een veilige situatie gekenmerkt, omdat het treinverkeer naar deze sectie toe tot stilstand zal komen.

De schakeling werkt bij storingssituaties naar de meest veilige situatie. Een dergelijke schakeling heet "fail safe", als ook de componenten een bijzonder hoge betrouwbaarheid hebben. Met name geldt dit voor het spoorrelais (zie 2.3.2).

2.3.2 Veiligheidsrelais

Aan het relais dat als spoorrelais wordt gebruikt, worden hoge eisen gesteld. Het TR is een schijfrelais dat door de firma GRS is ontworpen (type aanduiding: B2 VANE RELAY) en mag door de aard van zijn constructie als zeer betrouwbaar worden beschouwd.

Een belangrijk criterium voor een veiligheidsrelais is de eis dat het relais zijn front contacten verbreekt, zodra de bekrachtiging wegvalt. In dit geval valt het relais af door de werking van de zwaartekracht en hoeft slechts de wrijving van de lagers te overwinnen. Enige vorm van "kleven" t.g.v. remanent magnetisme is bij dit relais niet mogelijk.

Daarbij komt dat vastlassen van de contacten door grote stromen bij de front contacten niet mogelijk is. Hiervoor zijn koolzilver contacten genomen, waarvan bekend is dat dit verschijnsel zich niet voor kan doen.

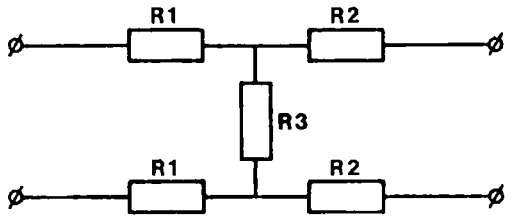
Als uitvloeisel van de toepassing van het ruststroom-principe wordt geëist dat in alle schakelingen waarin om veiligheidsredenen een TR contact is opgenomen, dit TR contact een front contact is. Men noemt dit positieve controle.
Het B2 VANE relais is zo ontworpen dat front en back contacten nooit tegelijkertijd gesloten zijn.

2.4 ELEKTRISCHE EIGENSCHAPPEN VAN DE SPOORSECTIE

2.4.1 Vervangingsschema van een geïsoleerde sectie

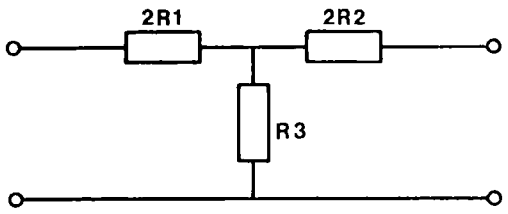
Een geïsoleerde spoorstroomloop functioneert doordat een stroom gestuurd wordt door de spoorstaven.
Dit houdt in dat aan deze spoorstaven enige eisen gesteld moeten worden.
Om een goed functionerende schakeling te maken moet men weten tussen welke grenzen de schakeling nog goed moet werken.

Het geheel van spoorstaven en ballastbed is elektrisch als volgt voor te stellen.



R_1 en R_2 vertegenwoordigen de weerstand van de spoorstaven. Deze weerstanden worden langs weerstanden genoemd.
R_3 is de weerstand die zich tussen de twee benen van een sectie bevindt en wordt ballast weerstand genoemd.

Vaak wordt dit schema vereenvoudigd tot de volgende vorm.



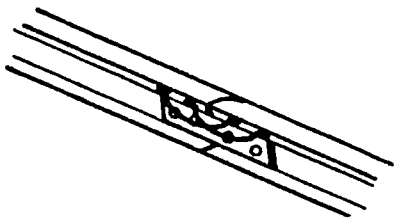
2.4.2 De langsweerstand

Spoorstaven zijn gemaakt van ijzer en hebben een zekere weerstand. Deze weerstand is voor wisselstroom hoger dan voor gelijkstroom.

De waarden bij gangbare frequenties en gangbare spoorstaafprofielen zijn hierbij gegeven. Opgegeven wordt de weerstand per kilometer en wel zodanig dat de waarde wordt opgegeven voor een "lus", waarbij de stroom door het ene been "heen gaat" en door het andere been "terug komt". We hebben n.l. bij wisselstroom te maken met wederzijdse zelfinductie tussen de heengaande en terugkomende stromen. Bij gelijkstroom geldt dit niet en hier is de weerstand per been aangegeven.

frequentie in Hz	Profiel	Spoorstaafimpedantie in ohm/km	Opmerking
0	NP 46	ca. 0.033	per km been
	UIC 54	ca. 0.030	
50	NP 46	ca. 0.66 $\angle$ 73°	per km lus
	UIC 54	ca. 0.58 $\angle$ 74°	
75	NP 46	ca. 0.93 $\angle$ 75°	
	UIC 54	ca. 0.82 $\angle$ 76°	

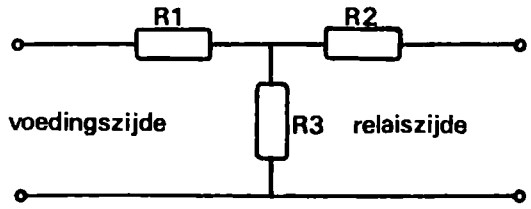
Bij de eerste ontwerpen van geïsoleerde secties ontdekte men direct al dat men geen spoorstroomlopen voor lange secties kon maken. De oorzaak bleek te liggen in de klemplaten die de spoorstaven mechanisch verbinden. Door roestvorming zal al snel enkele ohms weerstand tussen de ene en de andere spoorstaaf ontstaan en dit kan voldoende zijn om het relais te laten afvallen. Om dit euvel te verhelpen worden over deze verbindingen extra koperen verbindingen aangebracht aan de buitenzijde van de spoorstaven. Deze verbindingen worden langsverbindingen genoemd en hebben de functie om de langsweerstand van de spoorstaven zo laag mogelijk te houden.





2.4.3 Ballastweerstand

De ballastweerstand is de weerstand van de dwarsliggers en het grindbed, gemeten tussen de twee spoorstaven. Door stof en vocht in het ballastbed en op de dwarsliggers zullen vele lekstroompjes een weg vinden van het ene been naar het andere been. De voedingszijde zal daardoor meer stroom moeten leveren dan de relaiszijde ontvangt.
Overal zullen deze stroompjes lopen, maar ze zijn op een bepaald punt niet te meten en worden daarom in berekeningen meestal als een totale weerstand opgegeven.
In de figuur is dit de weerstand R_3.
De weerstanden R_1 en R_2 vertegenwoordigen de langsweerstand, dus met name de weerstand van de spoorstaven.
De ballastweerstand wordt als het ware midden in de sectie geconcentreerd gedacht.



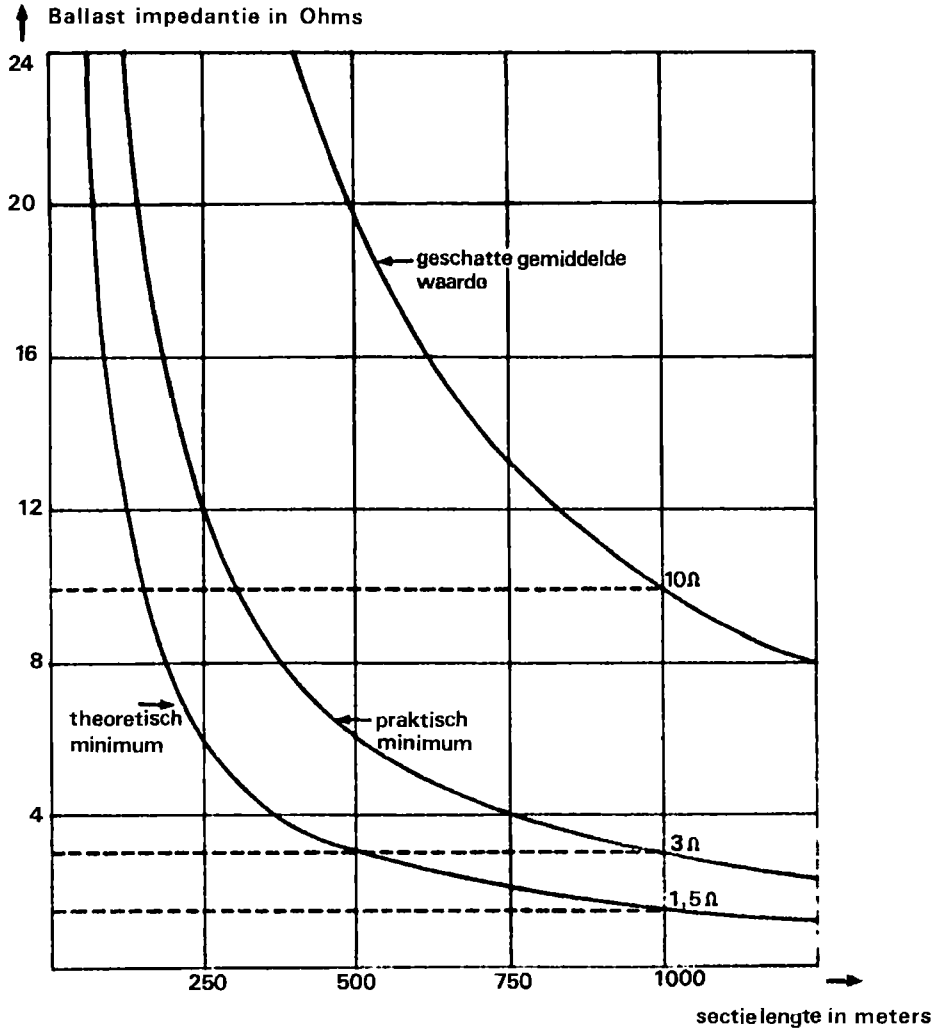
De ballastweerstand is van verschillende factoren afhankelijk, zoals:
- type dwarsliggers
- type ballast
- grondstructuur
- etc.

Met twee aspecten moet echter vooral rekening gehouden worden. Dit zijn de sectielengte en de vochtigheid van het ballastbed.

Voor de sectielengte geldt, dat hoe langer een stuk spoor, hoe groter de lek is tussen parallelle spoorstaven. De ballastimpedantie is daarom omgekeerd evenredig met de sectielengte.

De mate waarin de lek optreedt kan sterk variëren, vooral t.g.v. de vochtigheid van het ballastbed. Als minimumwaarde voor de ballastimpedantie (dus als de lek het grootst is) wordt rekening gehouden met een waarde van 1,5 ohm op een lengte van 1 km.
Deze waarde is goed hanteerbaar, want uit steekproeven tijdens alle soorten weersomstandigheden is gebleken dat de ballastimpedantie op een lengte van 1 km varieert tussen 3 en 30 ohm. De gekozen minimumwaarde biedt dus een ruime marge.

Op emplacementen waar het ballastbed minder goed onderhouden wordt, kunnen echter lagere ballastwaarden dan 1,5 ohm per kilometer voorkomen.



De lijn voor het theoretisch maximum van de ballastweerstand (dus bij extreem droog weer wanneer niet van lek gesproken kan worden) is niet te tekenen. De lek wordt op nul gesteld en daarmee is het theoretisch maximum van de ballastweerstand oneindig (~) hoog geworden.

Het omrekenen van een bepaalde gemeten ballastweerstand naar de waarde voor een stuk van 1 km en terug gebeurt aan de hand van de volgende formule.

$$\hat{R}_b = R_b . l$$

of: $$R_b = \frac{\hat{R}_b}{l}$$

waarbij: R_b= de ballastweerstand voor een bepaalde lengte l (ohm)
l = de sectielengte (km)
$\hat{R}_b$= de ballastweerstand voor 1 km (ohm.km)

Voorbeeld:
Men meet op een sectie ter lengte van 0,2 km een ballastweerstand van 6 ohm. De ballastweerstand voor een stuk van 1 km is dan

$$\hat{R}_b = R_b \times l = 6 \times 0,2 = 1,2 \text{ ohm.km}$$

Deze waarde ligt onder de vereiste waarde van 1,5 ohm. km en het blijkt dat het ballastbed in slechte conditie verkeert. Dit is reden om maatregelen te nemen (nieuw ballast aanbrengen b.v.).

2.4.4 Pekelsecties

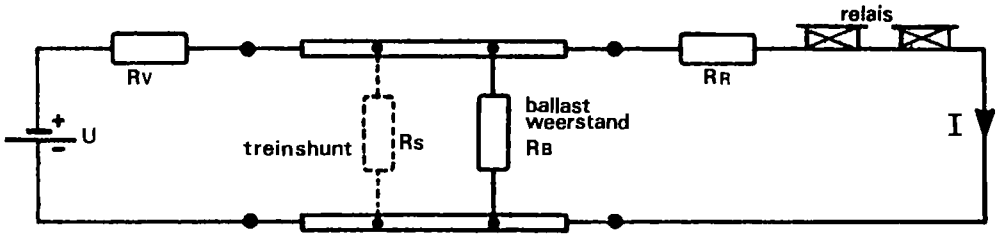
Het spreekt voor zich dat het grindbed goed onderhouden moet zijn, wil het nog goed draineren. Bij opstelsporen, die van geïsoleerde spoorstroomlopen zijn voorzien en b.v. een ballastbed met veel zand hebben, zal de instelling van de schakeling dikwijls kritischer zijn en moeilijker verlopen dan wanneer het ballastbed uit vers grind is opgebouwd.

Ook overwegsecties leveren problemen op, voornamelijk 's winters wanneer er gepekeld wordt.
Ermag op overwegen niet gestrooid worden, maar deze maatregel voorkomt niet dat pekel via b.v. autobanden, op de overweg terecht komt. De variatie in ballastimpedantie tussen zomer en winter kan in deze gevallen zo groot worden, dat bij het ontwerp van de spoorstroomloop speciale maatregelen moeten worden getroffen. Men noemt de betreffende secties dan pekelsecties.

2.5 PRINCIPES BIJ HET INSTELLEN VAN EEN SPOORSTROOMLOOP

2.5.1 Vervangingsschema van het spoorstroomloopcircuit

Om de principes uit te leggen van de instelling van een spoorstroomloop is het wenselijk om uit te gaan van een zo eenvoudig mogelijk model. Aangenomen wordt daarom dat de langsweerstand van de spoorstaven verwaarloosd kan worden. Men krijgt dan het volgende schema:



R_v = de voorschakelweerstand aan de voedingszijde
R_r = de voorschakelweerstand aan de relaiszijde
U = de spanning van de voedingsbatterij

Uitgaande van de stroom door het relais, kan men vier situaties onderscheiden:

1) Het relais zal de meeste stroom krijgen als er geen treinshunt aanwezig is en als de ballastweerstand R_b = ~ ohm. In deze situatie zal het relais aangetrokken moeten zijn.

2) Het relais zal minder stroom krijgen dan bij 1. als er wel met ballastweerstand rekening gehouden moet worden, maar nog geen treinshunt aanwezig is. Het relais moet nu nog opblijven, ook wanneer de ballastweerstand zijn minimumwaarde heeft bereikt.

3) Het relais zal minder stroom krijgen dan bij 2. als er een treinshunt aanwezig is in een situatie dat met de ballastweerstand geen rekening gehouden hoeft te worden, dus bij R_b = ~ ohm. Het relais moet nu afgevallen zijn.

4) Het relais zal minder stroom krijgen dan bij 3. wanneer er een treinshunt aanwezig is en daarbij ook de ballastweerstand zijn minimumwaarde heeft bereikt. Het is duidelijk dat als bij 3. het relais afgevallen is, dit ook nu het geval zal zijn.

De situaties 2. en 3. zijn belangrijke situaties voor het goed functioneren van de schakeling. Men noemt de eis dat het relais op moet zijn onder 2. de bedrijfszekerheidseis en dat het relais afgevallen moet zijn onder 3. de veiligheidseis.

Meer algemeen.

Veiligheidseis:
Het relais moet afvallen bij het aanbrengen van een treinshunt onder condities die het minst gunstig zijn voor het relais om af te vallen. Bijvoorbeeld een hoge ballastweerstand en een slechte treinshunt.

Bedrijfszekerheidseis:
Het relais moet aantrekken na het verwijderen van de treinshunt onder condities die het minst gunstig zijn voor het relais om aan te trekken. Bijvoorbeeld een lage ballastweerstand.

Nu is het zo dat men de ballastimpedantie niet in de hand heeft. Het is daarom wenselijk een testprocedure te ontwikkelen die te hanteren is onder alle weersomstandigheden. Jarenlang is met succes een procedure voorgeschreven in de Meet- en InstelVoorschriften (MIV's) die betrekking hebben op spoorstroomlopen. In de paragrafen 2.5.2 en 2.5.3 zal daarom omschreven worden wat in de MIV's als procedure voor het testen van de bedrijfszekerheid en veiligheid wordt voorgeschreven.

2.5.2 Bedrijfszekerheidseis

Een spoorstroomloop wordt zo ingesteld dat het relais nog juist opblijft wanneer het spoor wordt kortgesloten met een bepaalde testweerstand. Deze weerstand bootst een lage ballastsituatie na. Wat de waarde van deze weerstand moet zijn en op welke plaats(en) deze weerstand moet worden aangebracht staat vermeld in het bij de schakeling behorende Meet- en Instelvoorschrift. Deze waarde kan liggen tussen 0,5 ohm en 2,0 ohm, afhankelijk van het type schakeling.

In tegenstelling tot wat onder paragraaf 2.5.1 gedefinieerd is als bedrijfszekerheidseis, wordt hier getest of het relais nog juist niet afvalt. Hiertegen bestaat geen principieel bezwaar mits in een aparte test gecontroleerd wordt of het relais niet buiten de afkeurspecificatie valt v.w.b. zijn aantrekwaarde.

2.5.3 Veiligheidseis

Is een spoorstroomloop zodanig ingesteld dat hij aan de bedrijfszekerheidseis voldoet, dan wordt getest of het relais goed zal afvallen bij het berijden van de sectie door een trein. Dit gebeurt door het aanbrengen van een testweerstand. Over het algemeen mag verwacht worden dat de kortsluiting die de trein veroorzaakt ten minste 0,1 ohm is. Men kiest echter bij het testen een hogere waarde. Deze kan liggen tussen 0,3 ohm tot 1 ohm, afhankelijk van het type schakeling. Deze waarde wordt voorgeschreven door het betreffende Meet- en Instelvoorschrift.

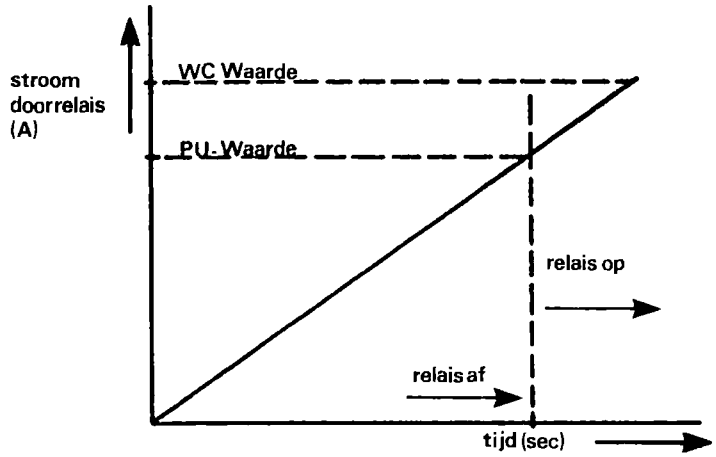
Zoals gesteld in paragraaf 2.5.1 dient deze veiligheidseis theoretisch gesproken uitgevoerd te worden wanneer de ballastimpedantie zijn hoogste waarde heeft bereikt, dus wanneer het ballastbed droog is. Deze theoretische eis is natuurlijk niet haalbaar maar ook niet noodzakelijk, wanneer deze test uitgevoerd wordt onder normale ballastcondities.
Zie voor de vraag: "Hoe veilig is de veiligheidstest in de praktijk", paragraaf 2.6.4.

Dat men test met een weerstandswaarde van 0,3 ohm tot 1 ohm,heeft te maken met de te verwachten overgangsweerstand tussen de wielen en de spoorstaven.

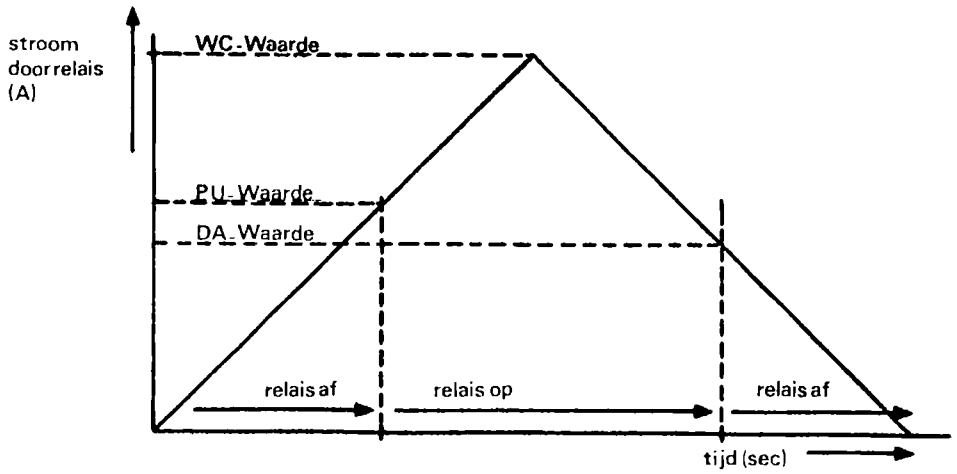
2.5.4 Het relais

Het ligt voor de hand dat de elektrische eigenschappen van het relais een belangrijke rol spelen bij de instelling van de spoorstroomloop. Geïntroduceerd worden daarom de begrippen:
- procentuele gevoeligheid
- verboden gebied

Stel, men voert de stroom door het relais langzaam op, uitgaande van nul ampère. Het relais zal eerst afgevallen zijn maar op een bepaalde stroomwaarde aantrekken. De stroom bij dit punt noemt men de aantrekstroom. De waarde van deze stroom wordt aangeduid met de PU-waarde. (PU= Pick Up)



De stroom wordt nog verder opgevoerd tot de waarde waarbij de fabrikant opgeeft dat het relais lange tijd aangetrokken kan blijven. Dit is de WC-waarde (WC= Working Current). Als nu de stroom langzaam verminderd wordt, zal het relais weer afvallen, maar wel bij een waarde die lager ligt dan de PU-waarde. Deze afvalwaarde wordt de DA-waarde genoemd. (DA= Drop Away)



De gevoeligheid van het relais komt nu tot uitdrukking in het percentage dat de DA-waarde bedraagt van de PU-waarde. Men noemt dit de procentuele gevoeligheid %DA.

In formule $\%DA = \frac{\text{DA-waarde}}{\text{PU-waarde}} \times 100\%$

Voorbeeld: PU-waarde = 0.200 A
DA-waarde = 0.120 A

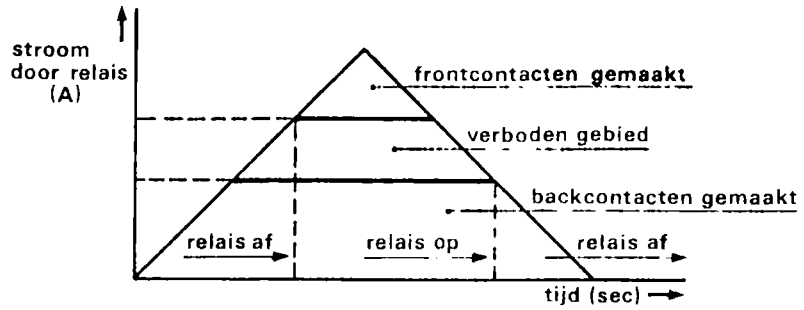
Hieruit volgt: $\%DA = \frac{0.120}{0.200} \times 100\% = 60\%$

De procentuele gevoeligheid van het relais is dus 60%.

Als het relais een stroom krijgt toegevoerd, waarvan de waarde ligt tussen de DA-waarde en de PU-waarde, dan is niet te garanderen welke stand het relais zal innemen. Dit is uit beveiligingsoogpunt een ontoelaatbare stroomwaarde en het gebied tussen de DA-waarde en de PU-waarde wordt daarom het "verboden gebied" genoemd.

Allereerst zal men bij het ontwerp van een spoorstroomloop een relais kiezen dat een zo klein mogelijk verboden gebied heeft en dus een relais nemen met een zo hoog mogelijke percentuele gevoeligheid. Verder zal men een spoorstroomloop zo moeten instellen, dat geen stroomwaarden door het relais voorkomen, die in het verboden gebied liggen.

Om deze reden heeft het schijfrelais grote voordelen. Dit relais heeft een %DA van minimaal 65% (bij 50 Hz), hetgeen bijzonder hoog is t.o.v. bij het ankerrelais dat een gevoeligheid heeft van 20% en vaak nog minder.

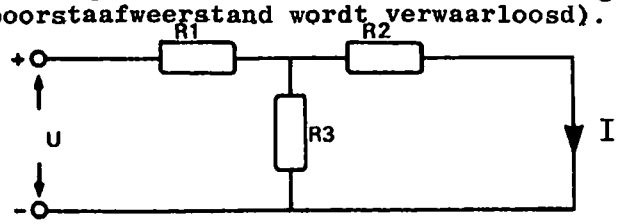


2.6 DIMENSIONERING VAN DE VOORSCHAKELWEERSTANDEN

2.6.1 Het rekenmodel

Het rekenen aan een spoorstroomloop kan men doen aan de hand van het vereenvoudigde model van paragraaf 2.5.1. Het gaat er om, te laten zien hoe de voorschakelweerstanden ingesteld moeten worden, opdat de schakeling voldoet aan de bedrijfszekerheidseis en de veiligheidseis.
Een waarschuwing is hier wellicht op zijn plaats. Houdt u aan de desbetreffende Meet- en Instelvoorschriften. In de praktijk moet vrijwel altijd een compromis gezocht worden tussen tegenstrijdige belangen, bijvoorbeeld tussen de juiste werking van de spoorstroomloop en de goede waarde van de ATB codestroom. Dit zal tot gevolg hebben dat men moet afwijken van de hier geschetste ideale situatie.

In zijn eenvoudigste vorm heeft het model de volgende opbouw: (spoorstaafweerstand wordt verwaarloosd).



R_1 vertegenwoordigt de voorschakelweerstand aan de voedingszijde. De relaisweerstand is dus in R_2 opgenomen

R_2 vertegenwoordigt de voorschakelweerstand aan de relaiszijde.

R_3 vertegenwoordigt de ballastimpedantie of de treinshunt of een parallelschakeling van beide, afhankelijk van de te berekenen situatie.

U vertegenwoordigt de voedingsspanning.

I vertegenwoordigt de stroom door het relais.

Uitgaande van de stroom I is de spanning U als volgt te berekenen (voor de afleiding zie bijlage I):

$$U = I \left\{ R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3} \right\}$$

In het geval dat de ballastimpedantie oneindig hoog wordt en dat daarbij geen trein in de sectie aanwezig is, gaat de formule over in:

$$U = I \, (R_1 + R_2)$$

De term $\frac{R_1 R_2}{R_3}$ is nu nul geworden want $\frac{R_1 R_2}{\infty} = 0$

2.6.2 Bepaling van R_1 en R_2 bij verwaarlozing van de ballastimpedantie

Om de weerstanden R_1 en R_2 te bepalen is het rekenkundig gemakkelijk om eerst uit te gaan van de situatie dat de ballastimpedantie oneindig hoog is, om daarna te controleren of de schakeling aan alle eisen, zoals vermeld in de paragrafen 2.5.2 en 2.5.3, voldoet.

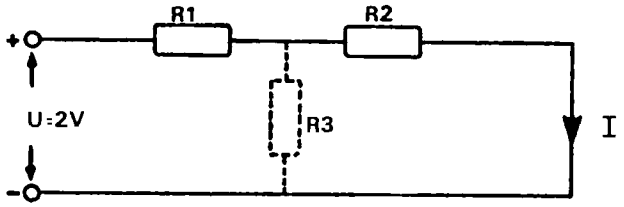
Bij de bepaling van R_1 en R_2 wordt allereerst uitgegaan van de gegevens van het beschikbare relais.
Stel deze gegevens zijn:

WC-waarde = 0.450 A
PU-waarde = 0.200 A
DA-waarde = 0.120 A
%DA = 60%

Verder moet nu de voedingsspanning U gekozen worden.
Stel:

U = 2 V

Er moet nu een zodanige keuze gedaan worden voor de waarden R_1 en R_2, dat de stroom I door het relais voldoende groot is om bij onbezette sectie het relais op te brengen. Deze stroom wordt in de formules aangeduid met I_{PU} en moet dus 0.200 A bedragen.
Omdat de ballastweerstand oneindig hoog verondersteld wordt, mag men bij onbezette sectie R_3 als het ware uit de schakeling verwijderen. Het model heeft dan voor een onbezette sectie de volgende vorm:



Gebruikt wordt de formule:

$U = I_{PU} (R_1 + R_2)$

$2 = 0.200 (R_1 + R_2)$

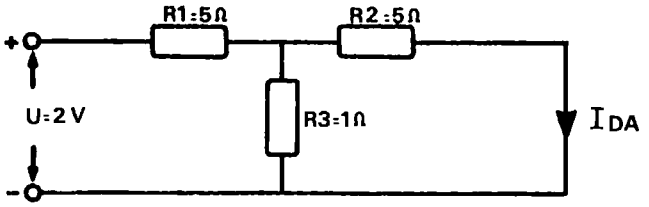
Dus: $R_1 + R_2 = 10$ ohm. (maximaal)

Voor R_1 en R_2 kunnen verschillende combinaties gekozen worden, als maar steeds de som van R_1 en R_2 10 ohm max. bedraagt. Als voorbeeld wordt de volgende combinatie gekozen:

R_1 = 5 ohm
R_2 = 5 ohm

Nu wordt de treinshunt aangebracht. Stel dat deze treinshunt in het ongunstigste geval 1 ohm kan bedragen. De weerstand R_3 wordt dan 1 ohm.

Gecontroleerd wordt nu door berekening of de stroom door het relais voldoende laag is om het relais veilig te doen afvallen. Deze stroom wordt in de formules aangeduid met I_{DA} en mag beslist niet meer bedragen dan 0.120 A. Het model heeft dus voor een bezette sectie de volgende vorm:



Gebruikt wordt de formule:

$$U = I_{DA} \left\{ R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3} \right\}$$

Nu moet wel met R_3 rekening worden gehouden.

$$2 = I_{DA} \left\{ 5 + 5 + \frac{5 \times 5}{1} \right\}$$

$$I_{DA} = \frac{2}{35} = 0.057 \text{ A}$$

Het blijkt dat aan de eis wordt voldaan dat I_{DA} minder is dan 0.120 A. Het relais valt ruimschoots en dus veilig af.

Als voor R_1 en R_2 andere waarden gekozen zouden zijn waarbij wel steeds $R_1 + R_2 = 10$ ohm, dan krijgt men de volgende tabel.

U volt	R_1 ohm	R_2 ohm	I_{PU} in ampère bij R_3 = ∞ ohm	I_{DA} in ampère bij R_3 = 1 ohm	Opmerkingen
2	0	10	0.200	0.200	relais blijft op
2	0.1	9.9	0.200	0.182	relaisstroom in
2	0.5	9.5	0.200	0.136	verboden gebied
2	1	9	0.200	0.105	
2	2	8	0.200	0.077	
2	3	7	0.200	0.065	relais valt
2	4	6	0.200	0.059	goed af
2	5	5	0.200	0.057	ideale situatie bij
2	6	4	0.200	0.059	R_1 = 5 ohm
2	7	3	0.200	0.065	R_2 = 5 ohm
2	8	2	0.200	0.077	
2	9	1	0.200	0.105	
2	9.5	0.5	0.200	0.136	relaisstroom in
2	9.9	0.1	0.200	0.182	verboden gebied
2	10	0	0.200	0.200	relais blijft op

De laagste waarde van I_{DA} wordt verkregen wanneer R_1 en R_2 dezelfde waarde hebben.
Men kan zeggen: "Deze instelling geeft de grootste sprong over het verboden gebied".
De instelling R_1=R_2 heeft daarom de voorkeur, zij het dat ook een groot aantal andere instellingen aan de gestelde eisen voldoet.

Een bijzondere situatie treedt op wanneer R_1 naar nul nadert. Het relais heeft de neiging om bij treinbezetting op te blijven. Dit is logisch omdat dan de voedingsbron feitelijk rechtstreeks op het relais staat aangesloten. (Er is dan wel een sterke bron nodig).

Ook wanneer R_2 naar nul nadert, treedt dit verschijnsel op. De treinshunt kan op de stroom door het relais geen invloed meer uitoefenen daar R_2 de laagste weerstand is in de parallelketen van R_2 // R_3 en dus zelf alle stroom trekt. Deze laatste situatie zal echter veel minder snel voorkomen dan wanneer R_1 = 0 ohm. Het relais bezit van zichzelf enige weerstand en daarom zal R_2 nooit nul ohm worden en zal deze verboden instelling niet snel gemaakt worden.

Gekozen is voor een voedingsspanning van U = 2 V.
In de onderstaande tabel is aangegeven welke waarden voor R_1, R_2 en I_{DA} worden gevonden bij verschillende voedingsspanningen, uitgaande van:
- I_{PU} = 0.200 A
- R_1 = R_2

U volt	R_1 ohm	R_2 ohm	I_{PU} in ampère bij R_3 = ∞ ohm	I_{DA} in ampère bij R_3 = 1 ohm	Opmerkingen
1	2.5	2.5	0.200	0.089	relais valt
2	5.0	5.0	0.200	0.057	steeds goed
5	12.5	12.5	0.200	0.028	af; beter naarmate
10	25	25	0.200	0.015	R_1 en R_2 hoger

Het blijkt dat naarmate R_1 en R_2 hogere waarden hebben, de sprong over het verboden gebied steeds groter wordt, omdat de stroom I_{DA} bij sectiebezetting steeds lager wordt. Het relais valt als het ware steeds beter af.

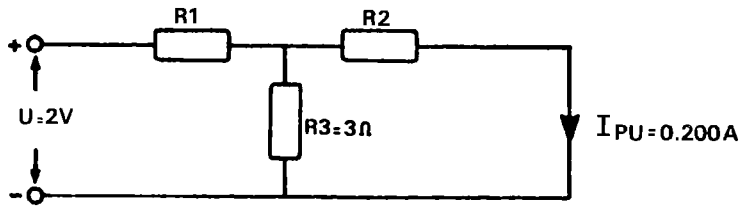
2.6.3 Bepaling van R_1 en R_2 rekeninghoudend met ballastweerstand

In de vorige paragraaf is aangetoond dat de weerstanden aan voedingszijde en relaiszijde bij voorkeur zo gekozen worden, dat ze beide dezelfde waarde hebben. Dit geeft de grootste sprong over het verboden gebied. Ook is aangetoond dat R_1 en R_2 bij voorkeur ook zo hoog mogelijk gekozen worden omdat ook dit gepaard gaat aan een vergroting van de sprong over het gebied. Wel brengt het verhogen van R_1 en R_2 een verhoging van de voedingsspanning met zich mee.

Er is echter uitgegaan van een situatie, waarbij geen rekening wordt gehouden met ballastweerstand. Dezelfde berekeningen als in de vorige paragraaf dienen nu ook te geschieden voor situaties waarbij wel met wisselende ballastimpedanties rekening moet worden gehouden.

Uitgaande van een sectie van 500 meter kan men veronderstellen dat de minimum ballastweerstand voor deze sectie 3 ohm bedraagt. (Zie paragraaf 2.4.3)
Voor het relais wordt uitgegaan van de gegevens van paragraaf 2.6.2:
WC-waarde = 0.450 A
PU-waarde = 0.200 A
DA-waarde = 0.120 A
%DA = 60%

Voor een onbezette sectie, waarvan de ballastweerstand 3 ohm bedraagt, en een voedingsspanning U = 2 V, krijgt men het volgende schema.



Voor de weerstanden R_1 en R_2 worden gelijke waarden gekozen. Stel daarom dat:
R_1 = R ohm
R_2 = R ohm

Berekend wordt nu welke waarde R moet bedragen opdat de relaisstroom I_{PU} = 0.200 A.
Gebruikt wordt de formule:

$$U = I_{PU} \left\{ R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3} \right\}$$

$$2 = 0.200 \left\{ R + R + \frac{R.R}{R_3} \right\}$$

$$6 = 1.2\ R + 0.2\ R^2$$

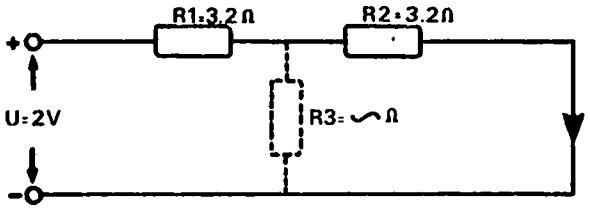
$$R^2 + 6\ R - 30 = 0$$

Uit deze vierkantsvergelijking volgt als reële oplossing:

R = 3.2 ohm (voor de afleiding zie bijlage II)

Dus: R_1 = 3.2 ohm
R_2 = 3.2 ohm

Bekend is nu welke waarden R_1 en R_2 moeten hebben om ervoor te zorgen dat het relais nog juist opblijft bij een lage ballastweerstand.
Uitgerekend kan nu ook worden welke stroom het relais toegevoerd krijgt (en dus moet kunnen verdragen), wanneer de ballastweerstand hoger wordt en oploopt tot een oneindig hoge waarde (R_3 = ~ ohm). Deze stroom heet in de formules I_{WC} en mag niet hoger worden dan de door de fabrikant opgegeven WC-waarde.
Voor een onbezette sectie met een oneindig hoge ballastweerstand geldt het volgende schema:



Gebruikt wordt de formule:

$U = I_{WC} (R_1 + R_2)$

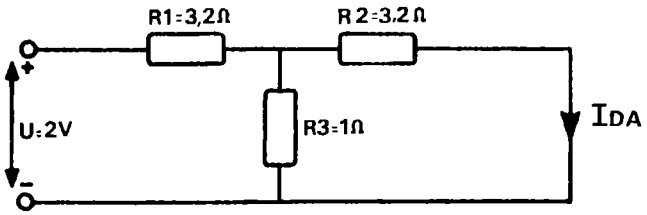
$2 = I_{WC} (3.2 + 3.2)$

$I_{WC} = \frac{2}{6.4} = 0.309$ A

Het blijkt dat I_{WC} lager is dan de WC-waarde van 0.450 A. Het relais kan dus deze stroom langdurig verdragen.

Tenslotte dient gecontroleerd te worden of het relais bij het aanbrengen van de treinshunt van 1 ohm afvalt. Berekend moet nu worden de waarde I_{DA} maar nu met een waarde van R_3 = 1 ohm (slechte treinshunt). De treinshunt moet aangebracht worden onder de conditie dat de ballastweerstand zijn maximale waarde heeft en dit is hier R_b = ~ ohm. Zie paragraaf 2.5.1.

Het model heeft dus voor een bezette sectie de volgende vorm:



Gebruikt wordt de formule:

$$U = I_{DA} \left\{ R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3} \right\}$$

$$2 = I_{DA} \left\{ 3.2 + 3.2 + \frac{3.2 \times 3.2}{1} \right\}$$

$$I_{DA} = \frac{2}{16.64} = 0.120 \text{ A}$$

Het blijkt dat I_{DA} overeenkomt met de DA-waarde van het relais. Het relais valt dus nog juist veilig af.

In dit voorbeeld is uitgegaan van een voedingsspanning van U = 2 volt. In paragraaf 2.6.2 is aangetoond dat door het kiezen van hogere waarden voor R_1 en R_2, een grotere sprong over het verboden gebied genomen kan worden. Consequentie is dan wel dat een hogere voedingsspanning benodigd is.
In de volgende tabel is voor verschillende voedingsspanningen uitgerekend welke waarde R_1 en R_2 moeten hebben en welke waarden van I_{DA} en I_{WC} daarmee corresponderen.

U volt	R_1 ohm	R_2 ohm	I_{PU} in ampère bij R_3 = 3 ohm	I_{DA} in ampère bij R_3 = 1 ohm	I_{WC} in ampère bij R_3 = ∞ ohm	Opmerking
1	1.9	1.9	0.200	0.135	0.263	I_{DA} in verboden gebied
2	3.2	3.2	0.200	0.120	0.313	schakeling voldoet
5	6.2	6.2	0.200	0.098	0.403	schakeling voldoet
10	9.6	9.6	0.200	0.090	0.521	I_{WC} in verboden gebied

Het blijkt dat de sprong over het verboden gebied ook nu toeneemt naarmate voor R_1 en R_2 hogere waarden worden gekozen. Dus hoe hoger R_1 en R_2, des te veiliger functioneert de schakeling. Wel dient echter rekening gehouden te worden met het eveneens toenemen van de I_{WC}.
In het voorbeeld van $R_1 = R_2 = 9.6$ ohm bij U = 10 V ontstaat een situatie dat de stroom I_{WC} de WC-waarde van het relais overschrijdt.
Er bestaat daarom een grens in het als maar hoger maken van R_1 en R_2. In dit voorbeeld zijn twee instellingen gegeven waarbij aan alle eisen qua veiligheid en bedrijfszekerheid wordt voldaan. Deze instellingen zijn:

U = 2 V, $R_1 = R_2 = 3.2$ ohm
U = 5 V, $R_1 = R_2 = 6.2$ ohm

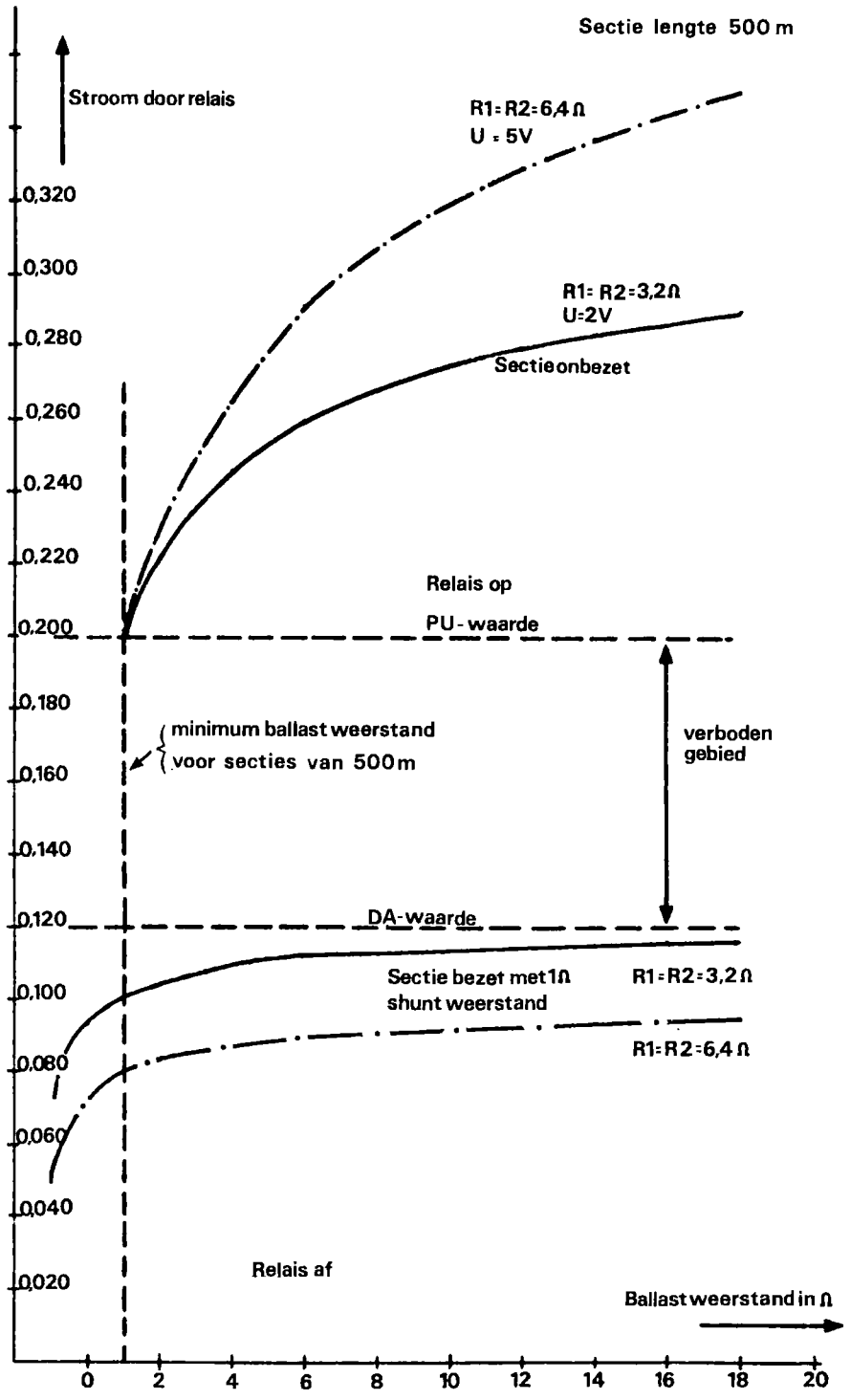
2.6.4 Hoe veilig is de veiligheidstest in de praktijk

In het rekenvoorbeeld van paragraaf 2.6.3. is een theoretische instelwijze besproken. In werkelijkheid zal men de ballastweerstand niet naar believen kunnen variëren. De ballastweerstand slechter maken is feitelijk geen probleem dus het testen van de bedrijfszekerheid van de schakeling levert geen bezwaren op. Zou men een slechte ballastweerstand nabootsen terwijl de ballastweerstand al slechts is, dan zal men een instelling verkrijgen die extreem bedrijfszeker is (mits uiteraard ook aan alle andere eisen voldaan kan worden).

Anders is het echter met de veiligheidseis. Theoretisch gezien moet de treinshunt nagebootst worden onder de conditie dat de ballastweerstand oneindig hoog is. Deze conditie komt echter vrij zelden voor en is ook niet na te bootsen. Om aan te tonen hoe zwaarwegend deze conditie eventueel is, zijn de gunstige instellingen van paragraaf 2.6.3 uitgewerkt, t.w.
instelling 1: U = 2 V R_1 = 3.2 ohm R_2 = 3.2 ohm
instelling 2: U = 5 V R_1 = 6.2 ohm R_2 = 6.2 ohm
In de grafiek is uitgezet hoe de relaisstroom varieert als functie van de ballastweerstand. Voor elke instelling is aangegeven hoeveel de relaisstroom bedraagt bij onbezette sectie en bij "bezette" sectie ("bezet" met 1 ohm). (Zie voor de berekeningen bijlage III)

Uit de figuur blijkt nogmaals dat deze instellingen inderdaad juist zijn. Welke waarde de ballastweerstand ook inneemt, vanaf de gekozen minimum waarde van 3 ohm, komt er geen relaisstroom in het verboden gebied voor.

De kromme voor de relaisstroom bij bezette sectie loopt voor hogere ballastweerstanden vrijwel recht. Globaal gesproken kan men stellen dat vanaf 8 à 10 ohm het verder verhogen van de ballastweerstand niet tot een hogere relaisstroom zal leiden. Nu is 8 à 10 ohm voor een sectie van 500 meter in de praktijk al bijzonder laag dus kan men zonder bezwaar er vanuit gaan dat onder normale omstandigheden een sectie veilig zal functioneren wanneer deze bij 1 ohm goed afvalt. Het is dan niet noodzakelijk om bij extreem droge ballast nogmaals na te gaan of de sectie nog steeds bij het kortsluiten met 1 ohm goed zal afvallen.



Opm.: De WC-waarde is hier niet getekend maar ligt op 450 mA en zal dus nooit bereikt worden.

2.7 DE KABELWEERSTAND

Voor de verbinding tussen de relaiskast, waarin de diverse componenten staan opgesteld, en de spoorsectie, worden de volgende kabels gebruikt:
- 2 x 2.5 mm^2
- 2 x 6.0 mm^2

In de berekeningen is niet met kabelweerstand rekening gehouden, maar dat wil niet zeggen dat deze weerstand te verwaarlozen is. Vooral bij langere secties gaat de kabelweerstand een belangrijke rol spelen bij de instelling. De kabelweerstand wordt daarom altijd verrekend in de weerstand van de voorgeschreven waarde van de voorschakelweerstanden. De kabelweerstand van de voedingszijde wordt afgetrokken van de gewenste waarde van de voorschakelweerstand aan de voedingszijde. Voor de kabelweerstand van de relaiszijde geldt dat deze afgetrokken wordt van de gewenste waarde van de voorschakelweerstand aan de relaiszijde.

Voor de kabels gelden de volgende gegevens.

Kabel	Weerstand (heen en terug)
2 x 2.5 mm^2	ca. 14 ohm / km
2 x 6.0 mm^2	ca. 6 ohm / km

De verrekening van de kabelweerstand in de waarde van de voorschakelweerstand is er de reden voor dat ogenschijnlijk identieke secties soms een verschillende instelling lijken te hebben.
Deze berekening is toegestaan omdat de kabelweerstand bij 50,75 Hz vrijwel ohms is.

2.8 OR-BLADEN

Hoe een sectie op een emplacement gesitueerd is, waar de isolerende lassen te vinden zijn, de kabels, etc. staat vermeld op het betreffende OR-blad (Overzicht Retourverbindingen)

Zou men alleen met geïsoleerde spoorcircuits te maken hebben, dan zou men beide spoorstaven kunnen isoleren. Daar echter de spoorstaven over het algemeen gebruikt worden als retourgeleider voor de elektrische tractie, zal men steeds ten minste één been als retourbeen moeten inrichten.

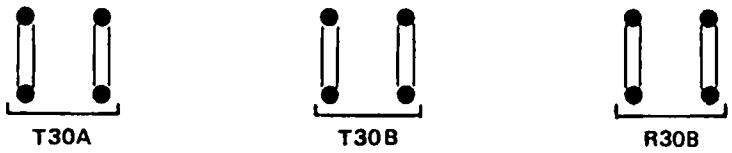
Op het OR-blad staan daarom alle voor de retourstroom benodigde verbindingen en verder alle andere elektrische verbindingen die aan de spoorstaven bevestigd zijn.

2.9 HET OA-BLAD

De opstelling van de diverse componenten van een geïsoleerde spoorstroomloop staat getekend op het OA-blad. (Overzicht Apparatuur)
Het principe van dit blad wordt bekend verondersteld maar voor twee punten wordt uw aandacht gevraagd:
- de kabelstrook
- het sporenstaatje

Beide staan op hetzelfde blad en dikwijls is dit blad tegen de binnenkant van de deur van de relaiskast (Rk) geplakt, zodat men zich in storingssituaties zelfs zonder schema redelijk redden kan. Men weet welke componenten bij een bepaald geïsoleerd spoor horen.

Onder de kabelstrook is altijd een accolade getekend om aan te geven hoeveel aders een bepaalde kabel heeft en waar deze kabel naar toe gaat.
Zo zijn de geïsoleerde spoorstroomloopkabels gemakkelijk te herkennen en weet men precies met welke sectie men te maken heeft en of het de voedings- of relaiszijde is.



T = trafozijde
R = relaiszijde

De sporenstaat is een tabelletje, dat aangeeft welke componenten met welke sectie corresponderen.

Sectie	TR	T	C	R	V	BI
30 AT		T1-1		R21	V21	
30 BT		T1-11		R22	V22	
30 BT	TR			R23	V23	BI-1

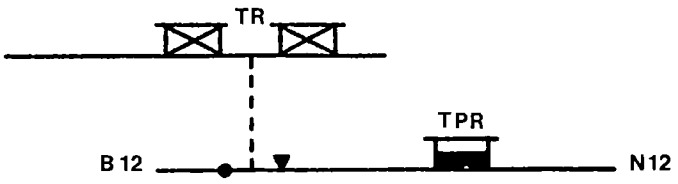
Van sectie 30 A is alleen de voedingszijde in deze Rk aanwezig, want de regel waarin het TR wordt vermeld, ontbreekt. Sectie 30 A krijgt voeding van trafo (T)1, wikkeling 1. Een condensator (C) is niet aanwezig maar wel een weerstand (R) en een zekering (V), beide nr.21. Van sectie 30 B is ook de trafozijde aanwezig, n.l. trafo 1 wikkeling 2 en de weerstand en zekering 22.

Ook de relaiszijde is in deze Rk geïnstalleerd. Deze staat op de tweede regel en hier is het TR ingevuld. Verder zit aan de relaiszijde weerstand en zekering 23 en balans impedantie (BI) 1.

2.10 HET SPOORHERHALINGSRELAIS (TPR)

De geïsoleerde spoorstroomloop functioneert als een betrouwbare en bedrijfszekere schakeling, mits aan de eis wordt voldaan dat minstens 1 x per 24 uur de sectie bereden wordt door een trein met 10 assen.
Toch zal het kunnen voorkomen dat een trein een slechte shuntwaarde heeft t.a.v. de schakeling.
De oorzaak hiervan kan dan gezocht worden in b.v. zand dat op de spoorstaven ligt. Zandkorrels kunnen ervoor zorgen dat een rijdende trein een enkel moment geen contact meer maakt met de spoorstaven en dat daardoor de sectie ook niet meer voldoende wordt kortgesloten. Hierdoor kan het spoorrelais soms eventjes opkomen terwijl de sectie bezet is. Men zegt dan:"Het spoorrelais komt onder de trein op". Daar dit verschijnsel zeer verstrekkende gevolgen kan hebben voor de beveiliging, wordt het spoorrelais altijd gevolgd door een herhalingsrelais, dat vertraagd aantrekkend is. Het spoorrelais en het herhalingsrelais komen daarom altijd samen voor.

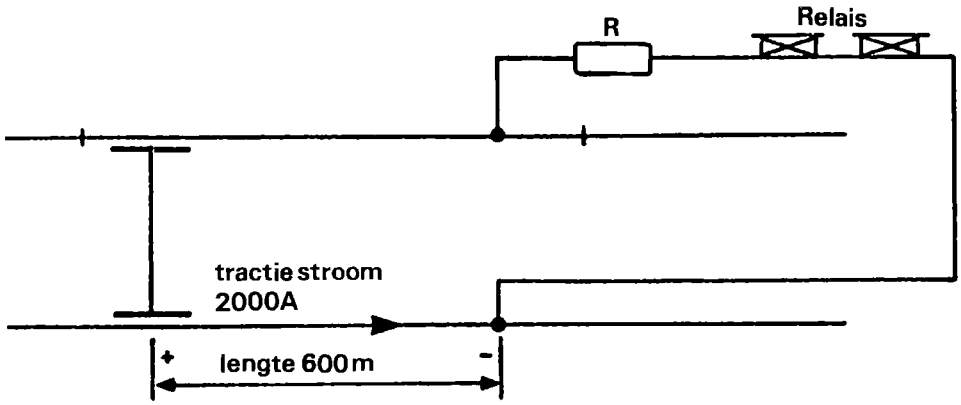
Het herhalingsrelais is eveneens een veiligheidsrelais, n.l. een B1 relais. Men noemt dit relais het TPR (Track Repeater Relay).



3.1 INLEIDING

Omdat de NS gelijkstroomtractie toepast, waarbij de spoorstaven als retourgeleider worden gebruikt, moet men voor het spoorstroomloopcircuit een wisselstroom-voeding gebruiken. Dat dit noodzakelijk is moge uit het volgende blijken.

Een wegtrekkende zware goederentrein kan een stroom trekken van 2000 à 3000 A. Dergelijke grote stromen vormen ook over heel kleine weerstanden als snel een spanningsval van enkele volts. Dit spanningsverlies zal in een enkelbenig geïsoleerde sectie, waar dus één been als retourbeen wordt gebruikt en één been geïsoleerd is uitgevoerd, een stroom door het relais laten vloeien van enkele ampères.



Stel dat een trein zich in een bepaalde sectie op 600 meter vanaf de relaiszijde bevindt en dat in de richting van de relaiszijde een tractiestroom loopt van 2000 A. Is de spoorstaafimpedantie van het retourbeen over de lengte van 600 meter 0.020 ohm (bij NP 46), dan zal er een spanningsval U ontstaan van:

U = 2000 A x 0.020 ohm = 40 V

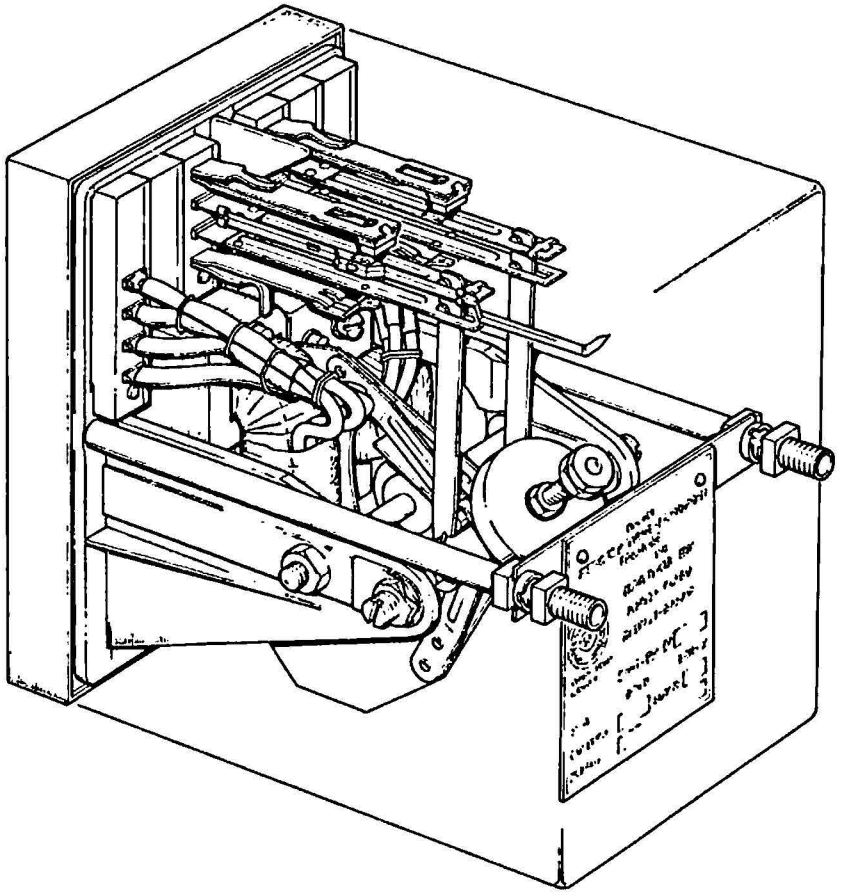
In het geval dat de voorschakelweerstand R en het spoorrelais een gezamenlijke weerstand hebben van 5 ohm, dan zal er door het relais een stroom I gaan lopen van ongeveer:

$$I = \frac{40\ V}{5\ ohm} = 8\ A$$

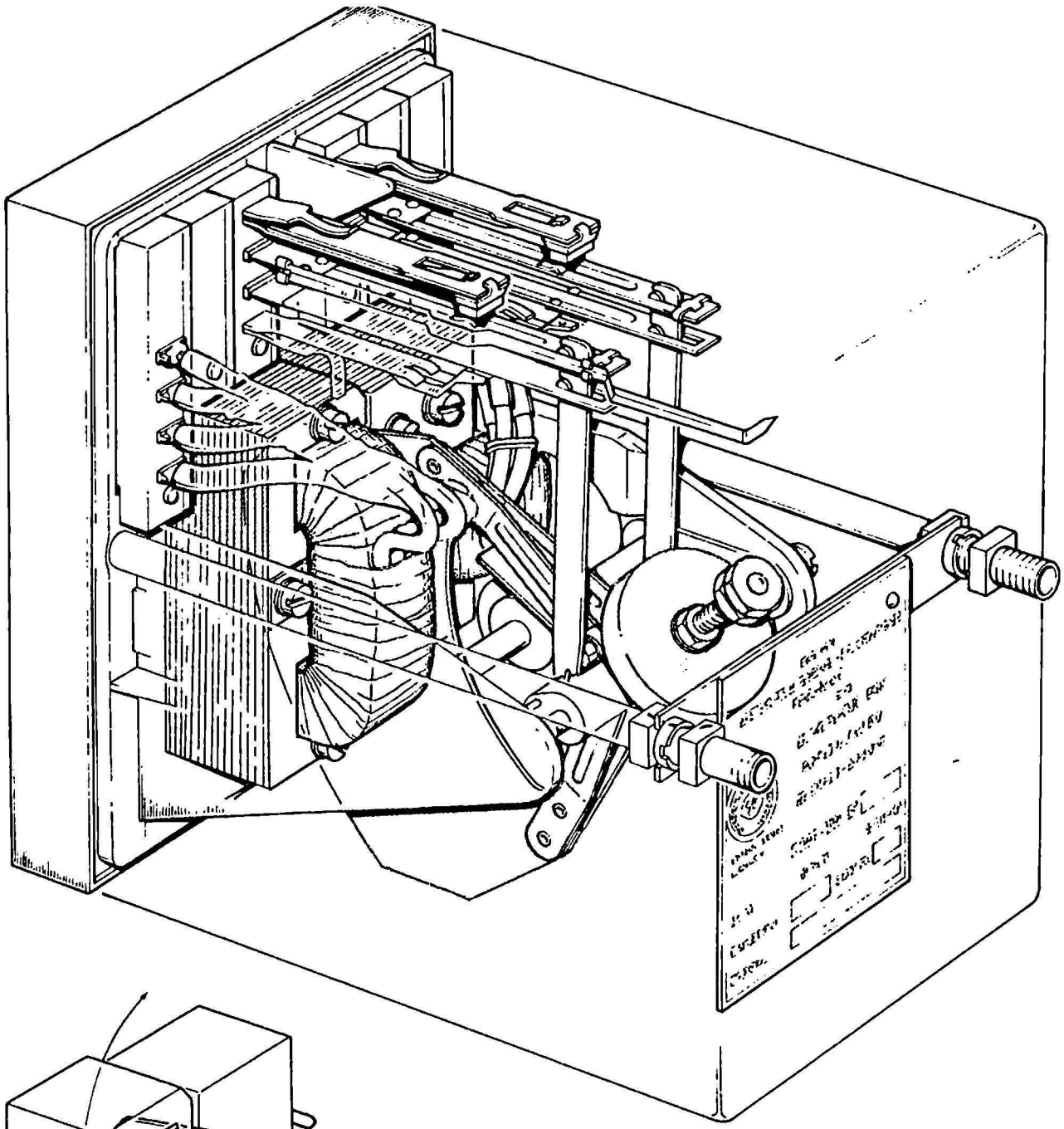
Het is duidelijk dat zo'n stroom in staat zou kunnen zijn het relais op te brengen terwijl juist een trein in de sectie aanwezig is en het relais afgevallen moet zijn. Dit is een bijzonder onveilige situatie en heeft ertoe geleid dat voor een relais gekozen is dat op wisselstroom werkt en absoluut niet door gelijkstroom bekrachtigd kan worden.
Een dergelijk relais is het schijfrelais.

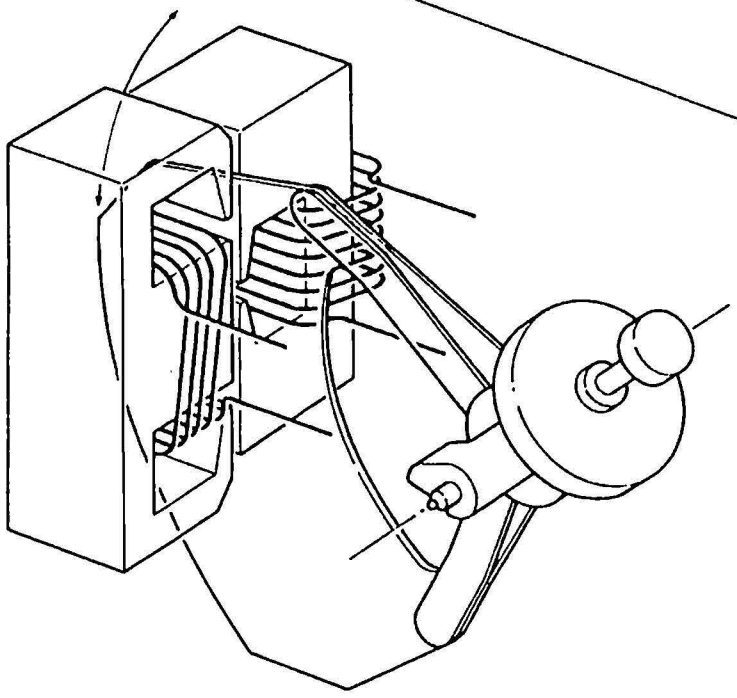
3.2 RELAISOPBOUW

Het schijfrelais, of ook wel Vane Relay genoemd, is opgebouwd uit een draaibare aluminium schijf. Op de as van de schijf bevindt zich een nok. Doordat de schijf draait beweegt de nok de contacten.

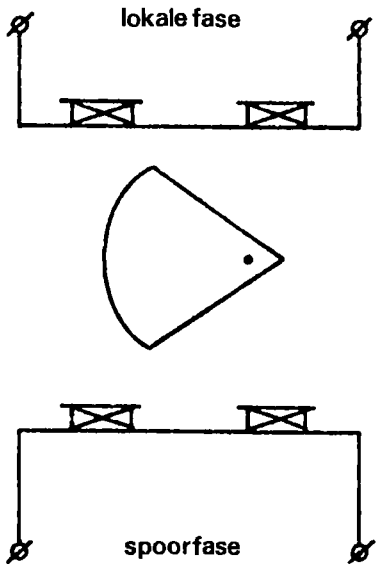


De bekrachtiging van de schijf geschiedt d.m.v. twee paar spoelen die per paar onafhankelijke velden kunnen opbouwen. Wordt het relais bekrachtigd, dan beweegt de schijf naar boven en worden de maakcontacten gemaakt. Valt de bekrachtiging weg dan beweegt de schijf door de zwaartekracht naar beneden en verbreekt daardoor weer de maakcontacten.



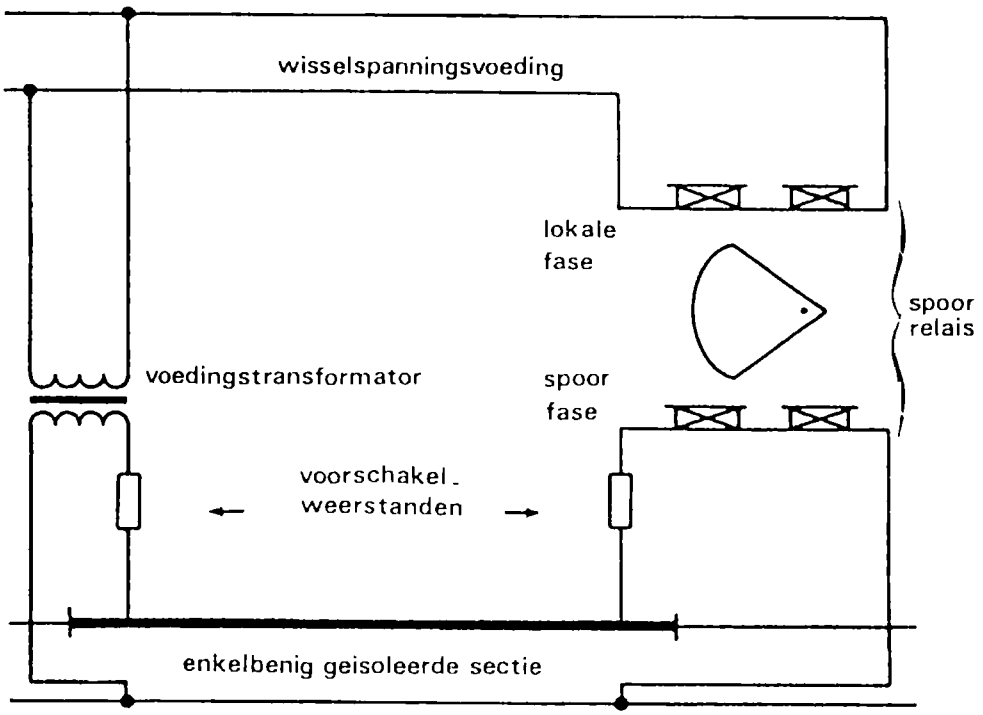


Het ene paar spoelen is hoogohmig en wordt op de wisselspannings-voedingsbron aangesloten. Dit spoelenpaar noemt men de lokale fase. Het andere paar spoelen is laagohmig en wordt op de geïsoleerde sectie aangesloten. Dit spoelenpaar noemt men de spoor fase.



Beide paren spoelen moeten bekrachtigd worden, wil de schijf gaan bewegen. De stroom door de lokale fase en de spoor fase moeten van dezelfde frequentie zijn en moeten een bepaalde fase-relatie hebben, wil het relais op de juiste wijze bekrachtigd worden.

Een wisselstroom spoorstroomloop heeft daarom de volgende opbouw:



De voedingstransformator aan de voedingszijde van de sectie en de lokale fase van het schijfrelais zijn beide aangesloten op dezelfde wisselspanningsvoedings-bron.

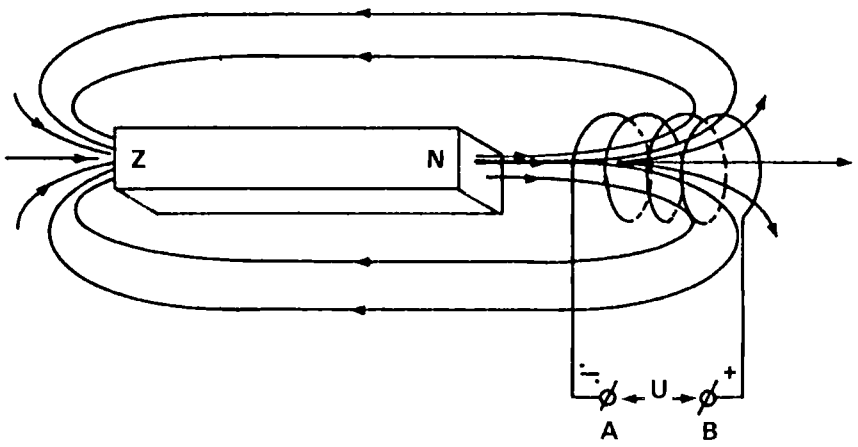
3.3 DE KRACHTWERKING OP DE SCHIJF

3.3.1 De stroomverdeling in de schijf

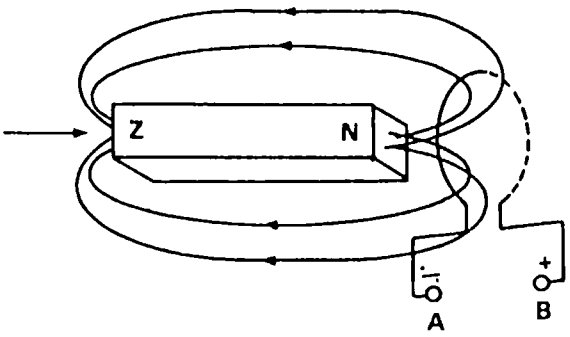
Wanneer een "gewoon" relais (een ankerrelais) op een wisselspanning wordt aangesloten, dan zal het relais proberen aan te trekken om daarna af te vallen zodra de stroomrichting keert. Het resultaat is een trillend relais.

Bij het schijfrelais wordt echter een soort draaiveld gecreëerd zoals ook bij de kortsluitankermotor wordt toegepast. Zo'n motor heeft minstens twee fasen en vandaar ook dat het schijfrelais met een spoor fase en een lokale fase is uitgevoerd. Wat echter bij de motor een draaiveld wordt genoemd, heet bij het relais een lopend veld. Het "anker" is de aluminium schijf en deze ondervindt een krachtwerking doordat de stromen die door de spoor fasespoel in de schijf worden opgewekt, een krachtwerking ondervinden in het veld van de lokale fasespoel en omgekeerd. De schijf wordt door deze krachtwerking omhoog bewogen.

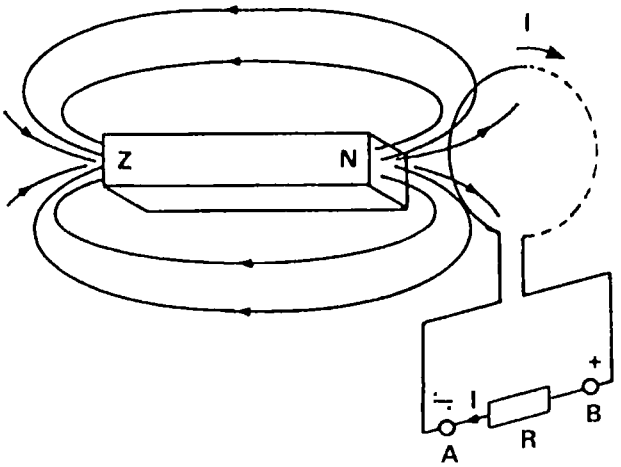
Neemt men b.v. een permanente magneet en beweegt men die met de noordpool naar voren in de richting van de hier getekende spoel, dan zal in die spoel een spanning geïnduceerd worden. De spanning op punt B wordt positief t.o.v. de spanning op punt A.



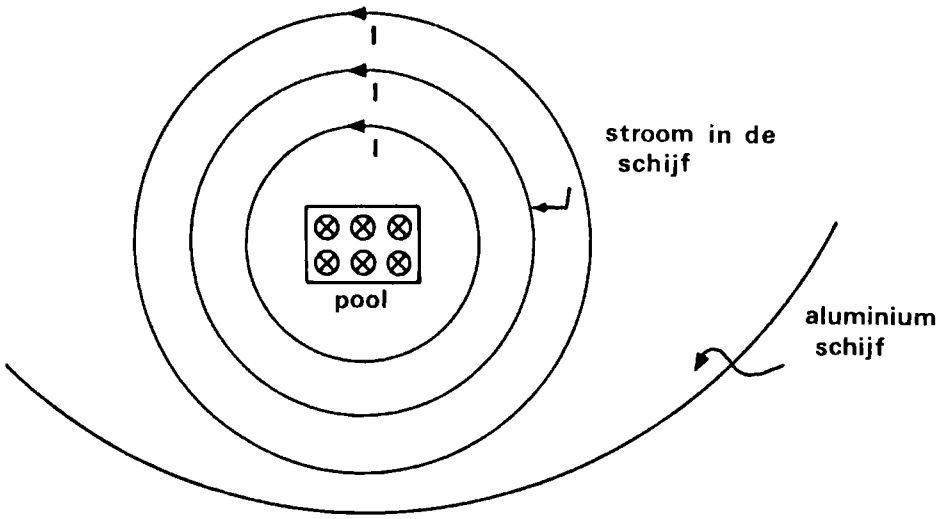
Dat de spanning geïnduceerd wordt komt, omdat het dichterbij komen van de magneet tot gevolg heeft dat steeds meer veldlijnen door de spoel gaan lopen. Remt men de magneet voor de spoel af met als doel de magneet weer terug te bewegen, dan zal de spanning op het punt van terugkeren nul worden en omgepoold worden wanneer de magneet zich verwijderd.
Ook als de spoel uit één winding bestaat, zal in deze spoel een overeenkomstige spanning worden geïnduceerd.



Stel nu dat tussen de punten A en B een weerstandje wordt geplaatst. Er zal nu een stroom gaan lopen die evenredig is met de geïnduceerde spanning. Beweegt de noordpool zich naar de spoel toe, dan loopt de stroom door de weerstand van B naar A en in de spoel dus van A naar B.

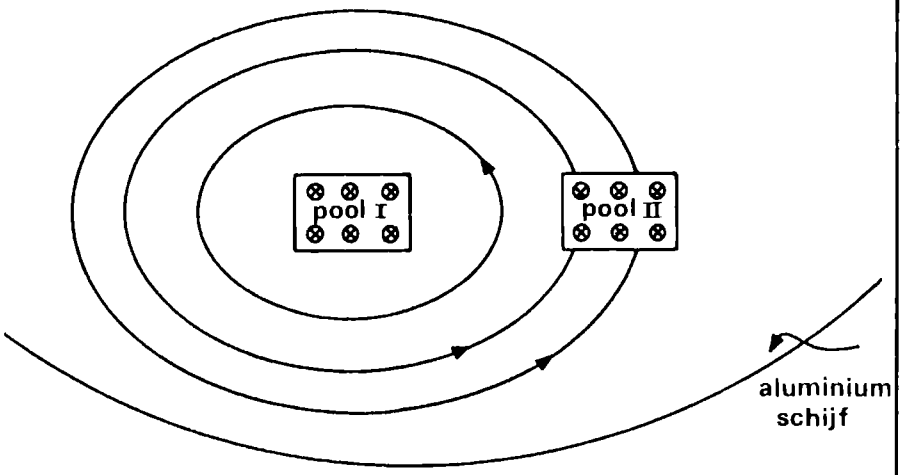


Neemt men nu niet een spoel van één winding maar een min of meer geleidende schijf, zoals in dit geval een schijf van alumuminium, dan zullen hierin ook stromen gaan lopen. In de volgende figuur ziet men in bovenaanzicht de schijf met daarboven een magneetpool geplaatst. In de getekende situatie bewegen de krachtlijnen zich vanuit de magneetpool loodrecht naar beneden en lopen dwars door de schijf naar achteren.
Tekenwijze: ⊗ is een veldlijn die loodrecht op het papier naar achteren loopt.
Laat men het veld in sterkte toenemen, dus beweegt men de pool a.h.w. dichter naar de schijf toe, dan zullen er in de schijf rondom het veld stromen gaan lopen, tegen de wijzers van de klok in.

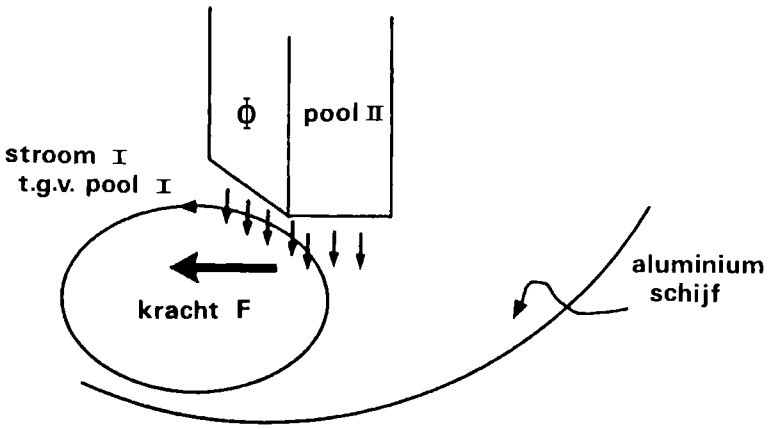


3.3.2 HET ONTSTAAN VAN EEN KRACHT IN DE SCHIJF

Plaatst men nu een tweede pool (pool II) naast de bewegende pool (pool I) dan lopen de stromen, door pool I opgewekt, onder pool II door.



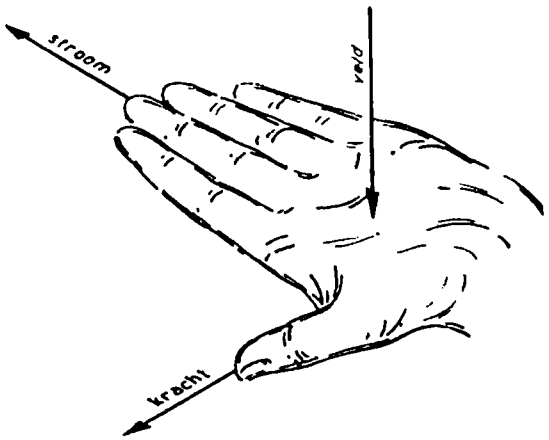
De stroom loopt dus ter plaatse van pool II door een magnetisch veld en ondervindt daardoor een kracht.
Deze kracht is naar links gericht als de krachtlijnen van pool II eveneens loodrecht naar beneden lopen.



Algemeen geldt dat een stroom I in een magnetisch veld Φ een kracht F ondervindt. Deze kracht F is evenredig met het product van I en Φ .

In formule: $F \hat{=} I\Phi$

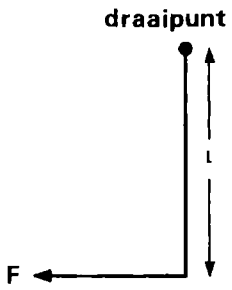
Deze kracht staat loodrecht op de richting van de stroom en ook loodrecht op de richting van het veld. Het resultaat is dat deze kracht werkt in het draaivlak van de schijf. Deze kracht heet de Lorentz kracht en kan bepaald worden met behulp van de linkerhandregel.



Houdt men de linkerhand zo in het magnetische veld, dat de krachtlijnen in de handpalm treden, terwijl de vingers de richting van de stroom aangeven, dan wijst de duim de richting van de kracht aan.

De kracht F zal de schijf laten bewegen. Het draaipunt van de schijf ligt buiten het gebied waar de krachtwerking wordt opgewekt en men kan daarom van een bepaald koppel spreken.
Dit koppel wordt uitgedrukt door de formule

$K = F.l.$

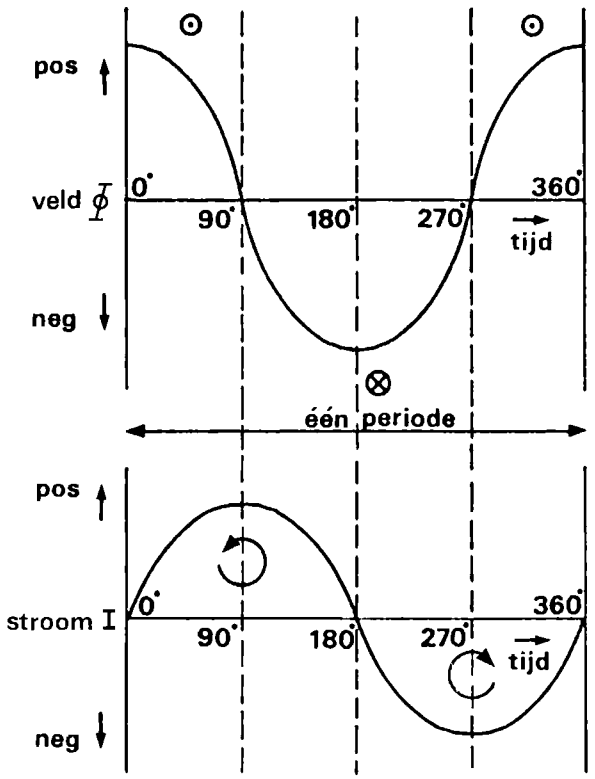


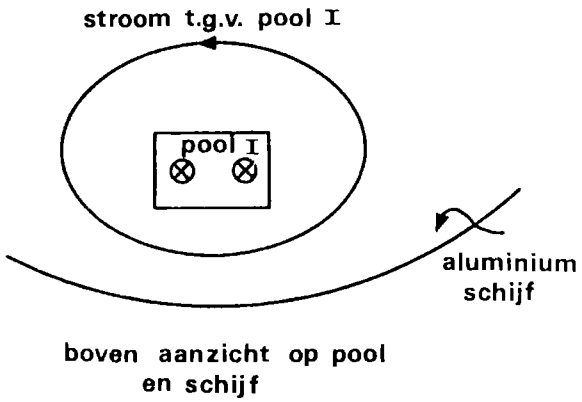
Het is eenvoudiger bij het relais het koppel van de schijf te meten dat op de as van de schijf werkt, dan om de kracht F te meten. Daarom spreekt men vaak over het relaiskoppel, wanneer men een maat wil aangeven voor de kracht waarmee de schijf bewogen wordt.

3.3.3 STROMEN T.G.V. EEN WISSELEND MAGNETISCH VELD

Tot nu toe is de krachtwerking op het relais verklaard door uit te gaan van een de schijf naderende magneet. Het veld wordt steeds sterker en wisselt niet van polariteit. De noordpool blijft steeds naar de schijf gericht en de veldlijnen blijven dus steeds in dezelfde richting lopen.

In plaats van magneten worden spoelen gebruikt die een sinusvormig wisselend magnetisch veld opwekken, wanneer door de spoelen een sinusvormige wisselstroom loopt. Zo'n veranderend veld Φ met de door dit veld in de schijf opgewekte stroom I is in de volgende figuur weergegeven.





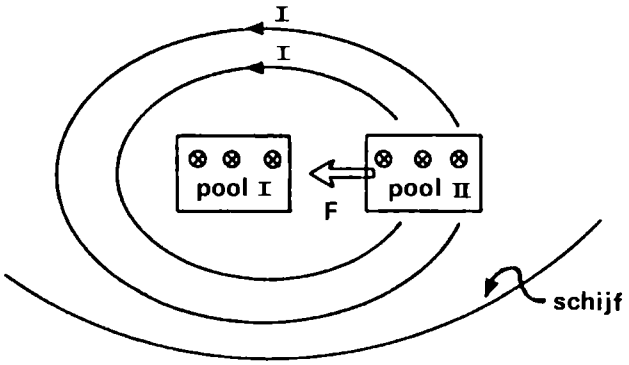
Het veld is negatief wanneer de veldlijnen loodrecht op het papier naar achteren lopen. (aangegeven met ⊗) en positief wanneer de veldlijnen loodrecht uit het papier omhoog lopen (aangegeven met ⊙). Evenzo zijn de stromen in de schijf positief wanneer deze tegen de wijzers van de klok inlopen en negatief wanneer deze met de wijzers van de klok meelopen. (aangegeven met respectievelijk)

Als het veld van positief naar negatief verandert, dan ontstaat een positieve stroom. De stroom is het grootst als de veldverandering het grootst is en dat is wanneer het veld door de "nul" gaat. De stroom is nul wanneer het veld a.h.w. even stilstaat op zijn maximum-waarde (hetzij positief, hetzij negatief) en terugkeert op zijn schreden. Als het veld sinusvormig verandert, dan verandert de stroom in de schijf ook sinusvormig,

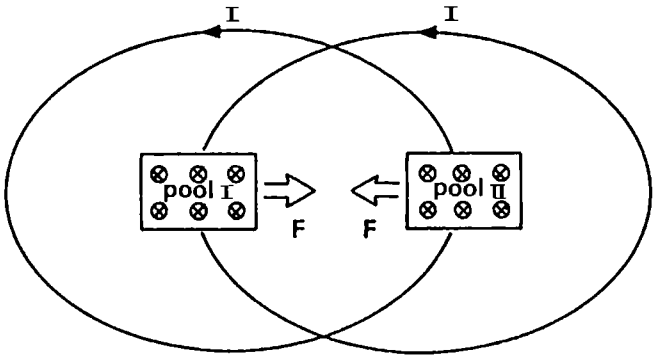
zij het dat de stroom $\frac{1}{4}$ periode achterloopt op het veld.
Men zegt dan $I_{\odot}$ ijlt 90^{o} na op het veld Φ.

3.3.4 Velden in fase en tegenfase

Stel dat het veld van pool II, uit paragraaf 3.3.2 ook wordt opgewekt door een sinusvormige wisselspanning en dat de velden van de polen I en II op gelijke wijze variëren. De spoelen die het veld opwekken zijn dan a.h.w. op dezelfde spanning aangesloten.

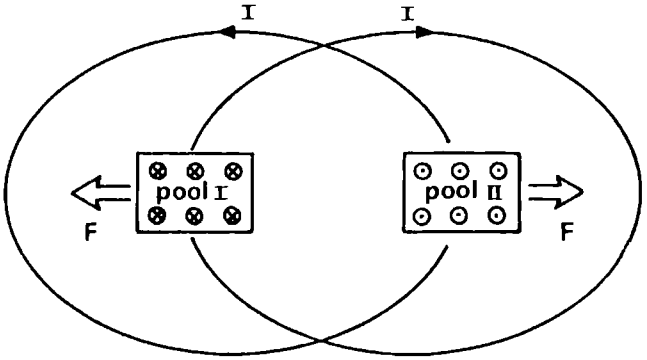


Niet alleen pool I zal dan een stroom opwekken, maar ook pool II. Aangetoond was dat de stroom t.g.v. pool I onder pool II een kracht F naar links geeft.
Op dezelfde wijze blijkt na toepassing van de linker-hand regel, dat de stroom t.g.v. pool II onder pool I een kracht naar rechts geeft.



Beide krachten zijn even groot en heffen elkaar op.
De conclusie is daarom dat de velden van pool I en II niet op gelijke wijze mogen veranderen omdat dan geen resulterende krachtwerking plaatsvindt, of anders gezegd: "Wanneer de velden in fase zijn, is het koppel dat op de schijf werkt nul".

Ook wanneer de velden in gelijke sterkte maar in tegen-fase veranderen, zal de resulterende kracht nul zijn.
In de volgende figuur is dit getekend.

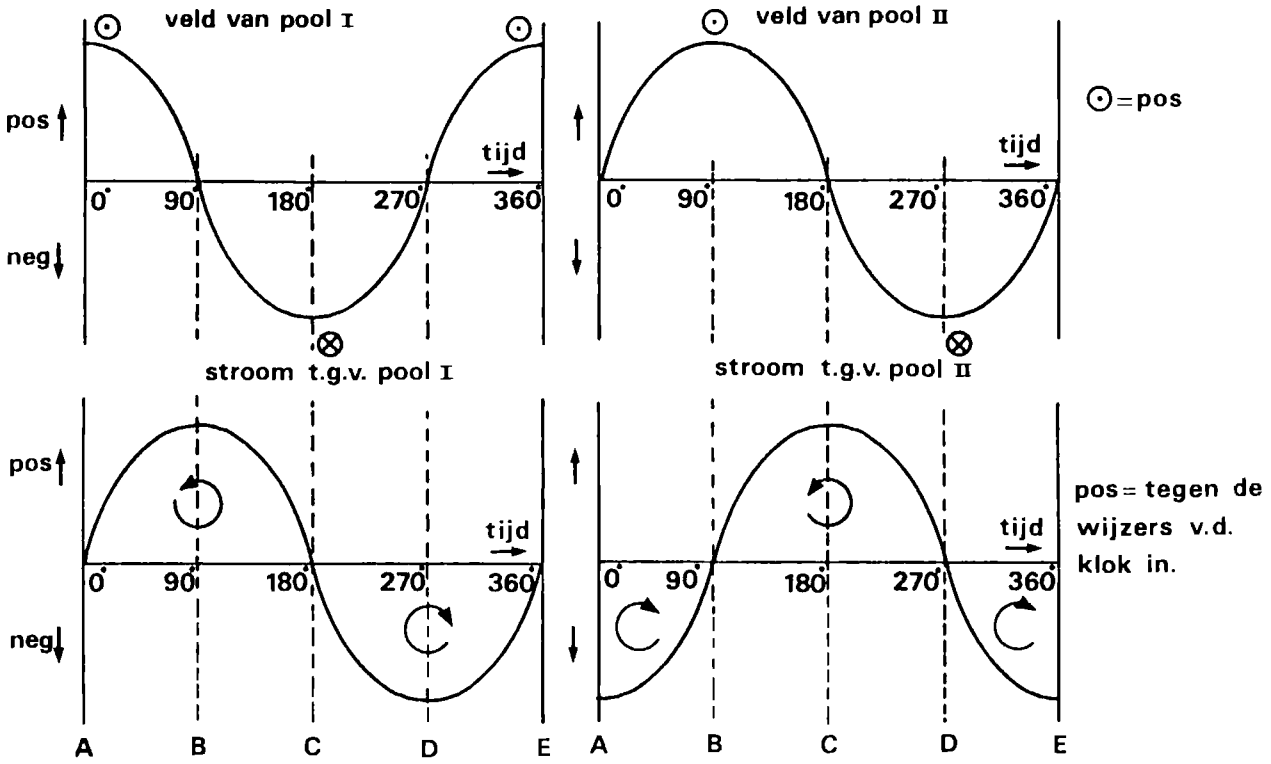


Resumerend betekent dit: "Wanneer de velden in fase of tegenfase zijn, is het koppel nul".

3.3.5 Velden 90° in fase verschoven

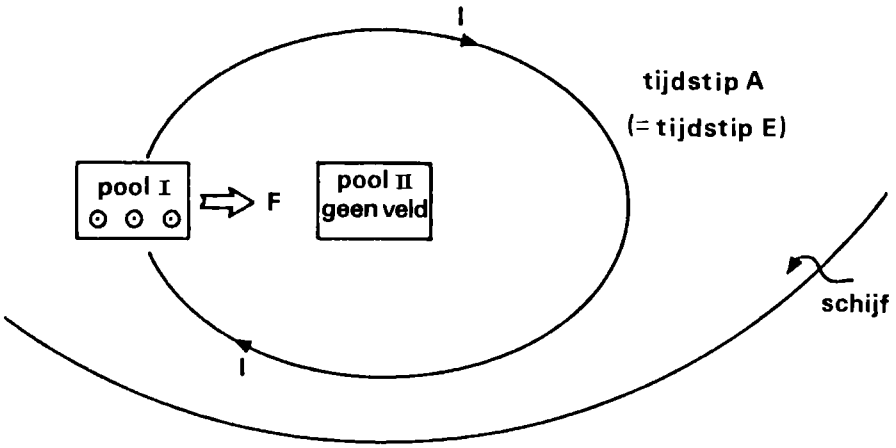
In het voorgaande is verklaard hoe een zeker koppel op het relais kan werken, maar tevens is aangetoond dat de resulterende krachten in de schijf nul zijn, wanneer de velden van de twee polen in fase of tegenfase zijn. In het geval, dat de velden een andere onderlinge hoek aannemen dan 0° of 180°, dan ontstaat een resulterende kracht die de schijf kan laten bewegen.

Stel dat uitgegaan wordt van de situatie dat het veld van pool II 90° naijlt op het veld van pool I.
De velden met hun respectievelijke stromen hebben dan de volgende vorm:

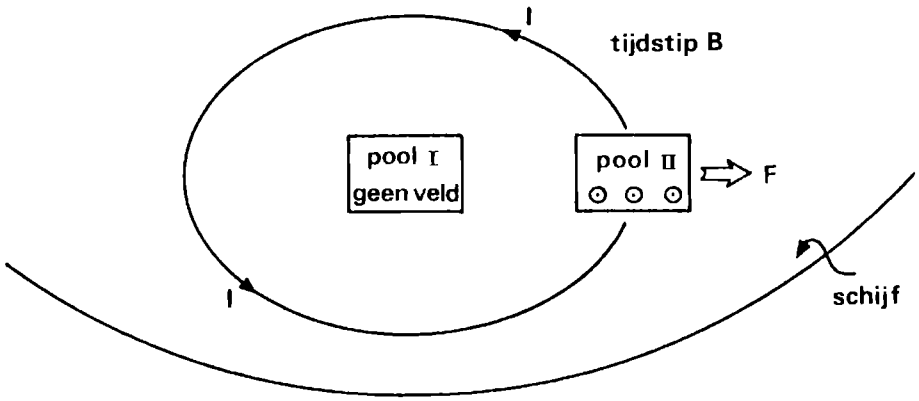


Onderscheiden worden nu de tijdstippen: A,B,C, D en E. De situatie op tijdstip E is daarbij weer gelijk aan de situatie op tijdstip A.

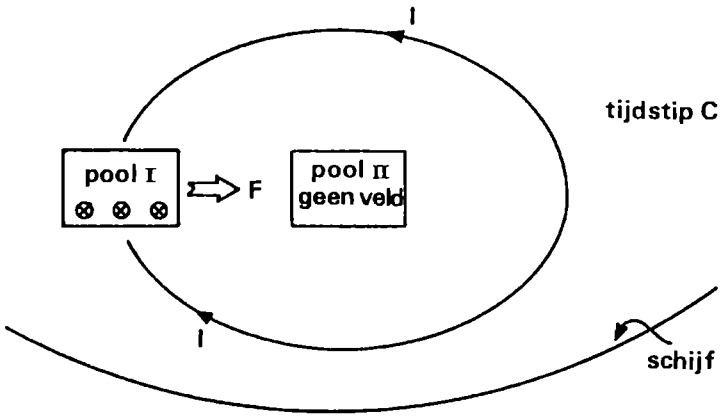
Op tijdstip A is het veld van pool I maximaal positief en verandert op dit moment niet. Daarom wordt op dit moment door pool I geen stroom opgewekt.
Het veld van pool II gaat op dit moment door het nulpunt heen en verandert maximaal in positieve richting, waardoor een maximale stroom wordt opgewekt.
De stroom is op dat moment maximaal negatief omdat het veld weliswaar nul is maar maximaal snel in positieve richting verandert.
De opgewekte stroom van pool II zal met het veld van pool I nu een kracht F naar rechts uitoefenen op de schijf.



Op tijdstip B gaat het veld van pool I door de nul en verandert daarbij maximaal in negatieve richting en derhalve is de stroom t.g.v. pool I maximaal positief. Het veld van pool II is maximaal positief en verandert op dit moment niet. Er wordt nu door pool II geen stroom opgewekt. Uitsluitend onder pool II ontstaat daardoor een kracht F die naar rechts gericht is.

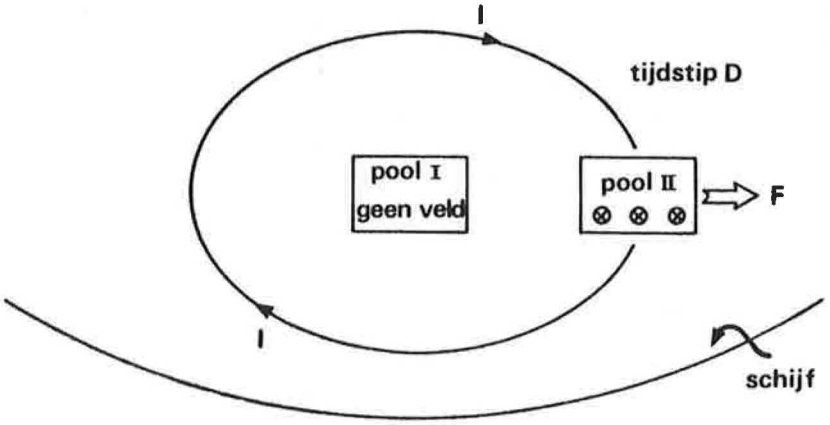


Op tijdstip C is het veld van pool I maximaal negatief en pool I wekt nu geen stroom op. Het veld van pool II gaat door de nul en de stroom t.g.v. pool II is maximaal positief. Er ontstaat onder pool I een kracht F, naar rechts gericht.



Op tijdstip D gaat het veld van pool I door de nul en is de stroom t.g.v. pool I maximaal negatief.

Het veld van pool II is maximaal negatief en pool II wekt nu geen stroom op. Er ontstaat onder pool II een kracht F, naar rechts gericht.



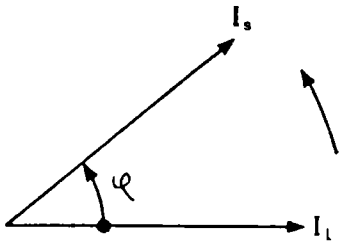
De volgende stap is tijdstip E. De situatie op dat moment is echter weer gelijk aan de situatie op tijdstip A.
Conclusie:
De kracht F is steeds dezelfde kant op gericht en ook steeds even groot wanneer de velden van pool I en pool II 90° in fase verschoven zijn.

3.4 DE KOPPELFORMULE

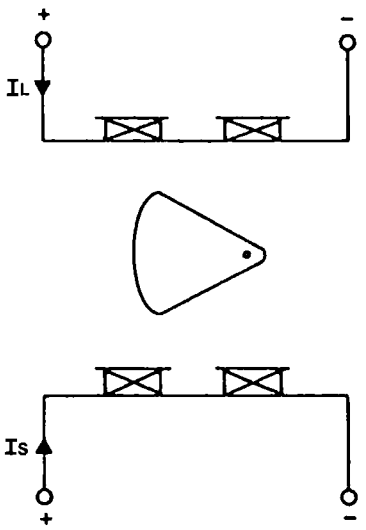
De opgewekte velden in pool I en pool II, verder te noemen spoor fase en lokale fase, worden opgewekt door de stromen I_s en I_l in de respectievelijke spoelen. Door de aard van de constructie van het relais zijn de velden van de spoor fase en de lokale fase 90^o in fase verschoven, wanneer de stromen ook 90^o in fase verschoven zijn.
De onderlinge afhankelijkheid tussen het koppel en I_l, I_s en de hoek ψ wordt weergegeven in de z.g. koppelformule.

$K \mathrel{\hat{=}} I_l \, I_s \sin \psi$ (zie bijlage IV)

waarin K = koppel
I_l = lokale fasestroom
I_s = spoor fasestroom
ψ = hoek tussen I_l en I_s gerekend vanuit I_l



De spoelaansluitingen van de spoor fase en de lokale fase zijn als volgt:

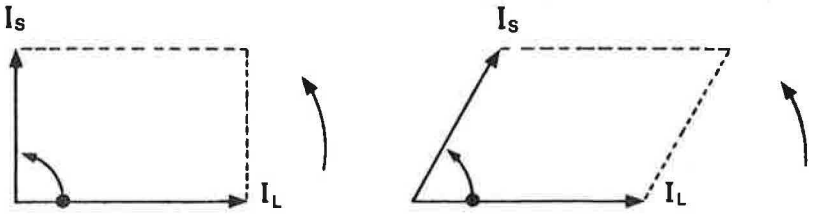


Bij de spoelaansluitingen zijn de aanduidingen + en - geplaatst om aan te geven welke richting van de stromen I_s en I_l als positief worden beschouwd.

In de formule komt tot uitdrukking dat het meest gunstige koppel wordt verkregen bij een hoek ψ van 90^o tussen de beide stromen I_s en I_l.

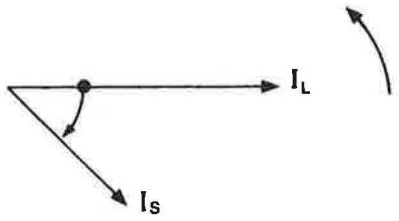
Dit wil echter niet zeggen dat deze hoek ook 90^o moet zijn. Om echter een bepaald koppel te verkrijgen zal men bij een faseverschuiving van 90^o met de kleinste stromen toe kunnen.
Als de hoek afwijkt van 90^o dan zal men grotere stromen nodig hebben om hetzelfde resultaat te verkrijgen.

Men kan de koppelformule als volgt grafisch weergeven:



De oppervlakte , opgespannen door I_s en I_1 is een maat voor het koppel. In beide figuren is de oppervlakte gelijk, maar bij een fasehoek die kleiner is dan 90^o zal bij een gelijke stroom door de lokale fase, de stroom door de spoorfase groter moeten zijn.

De volgorde van de stromen is zeer belangrijk voor de goede werking van het relais.
I_s moet voorijlen op I_1 voor een opwaarste beweging van de schijf. Het koppel werkt dan de goede kant uit. Keert het koppel van richting om, dan zal de schijf de andere richting op willen draaien. Dit wordt voorkomen door een stuit. De schijf drukt dan nagenoeg tegen de onderkant van de plastic kap aan.
Dit omdraaien van het koppel ontstaat wanneer I_s niet voorijlt, maar naijlt op I_1.



Dit negatief worden komt ook tot uitdrukking in de koppelformule, immers bij b.v. 60^o geldt

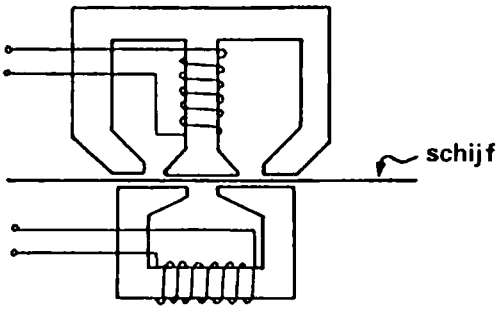
$\sin 60^o = 0.866$
$\sin (-60^o) = -0.866$

Opmerking:
Men noemt een vector voorijlend wanneer deze niet meer dan 180^o voorijlt en naijlend wanneer deze niet meer dan 180^o naijlt. Dus voorijlend wanneer ψ tussen 0 en $+ 180^o$ en naijlend wanneer ψ tussen 0 en $- 180^o$.

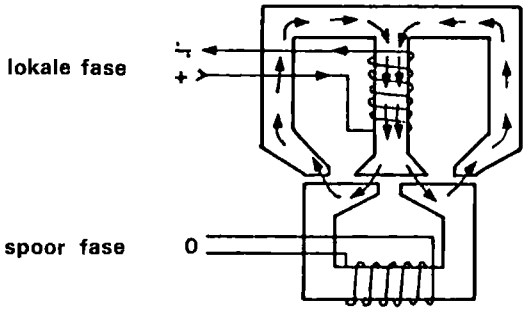
Bij bepaalde instellingen van een spoorstroomloop kan het wenselijk zijn om een indruk te krijgen van het koppel dat op de schijf werkt. De koppelmeter, die daarvoor wordt gebruikt, bestaat uit een UPHI-meter met speciale aanpassingsschakelingen voor de diverse typen spoorstroomloopcircuits.
Deze koppelmeter meet het product I_l I_s sin ψ van de koppelformule, zij het dat niet I_l wordt gemeten maar U_l (U_l is de spanning op de lokale fase). De hoek ψ wordt door het aanpassingscircuit op de juiste wijze uit U_l en I_s afgeleid. Voor het gebruik van de UPHI-koppelmeter wordt verwezen naar de gebruiksaanwijzing van deze meter.

3.5 UITVOERING VAN HET MAGNETISCH CIRCUIT

In dwarsdoorsnede is het magnetisch circuit van het relais als volgt:

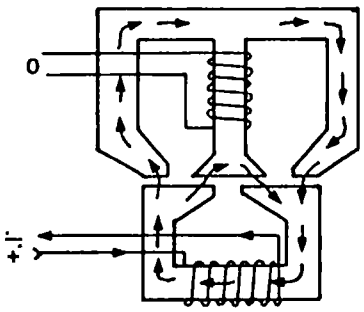


Zodra de lokale fase stroom voert, zal in het juk een magnetisch veld geproduceerd worden, dat de volgende vorm heeft.



Het blijkt dat het veld van de lokale fase niet door de spoel van de spoor fase loopt. Er vindt dus geen transformatorwerking plaats tussen de lokale fase en de spoor fase.

Het veld van de spoor fase heeft de volgende vorm:



Ook nu weer blijkt dat het veld van de spoor fase niet door de spoel van de lokale fase loopt.

3.6 SPEFICICATIES

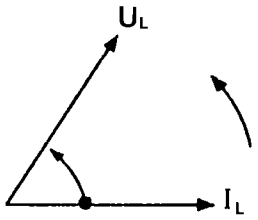
Het koppel dat op de schijf werkt is bepalend voor het aantrekken of afvallen van het relais. Om nu de specificaties van het relais te kunnen vaststellen moet toegewerkt worden naar begrippen als PU-waarde, DA-waarde etc. (zie paragraaf 2.5.4)

Het is echter gebleken dat er vele combinaties mogelijk zijn van de stromen I_s en I_l en de fasehoek ψ tussen I_s en I_l waarop het relais kan aantrekken. Om nu te bepalen bij welke spoor fasestroom het relais zal aantrekken, worden de lokale fasestroom I_l en de fasehoek ψ vastgelegd. Dit gaat als volgt:

De impedanties van de lokale fase (Z_l) en de spoor fase (Z_s) zijn inductief.

$Z_l = 671 \angle 63^o$ ohm (spoelen in serie)
$Z_s = 11.56 \angle 66^o$ ohm (spoelen in serie)
} bij 50 Hz

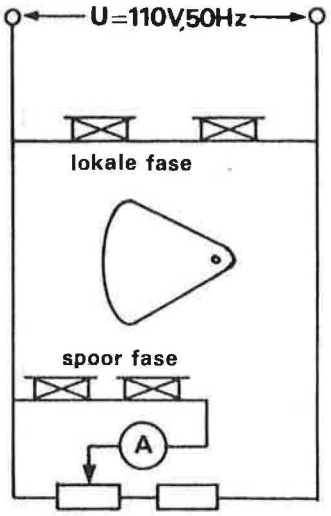
D.w.z. de impedantie van Z_l is 671 ohm en de spanning over Z_l ijlt 63^o voor op I_l. In vectordiagram:



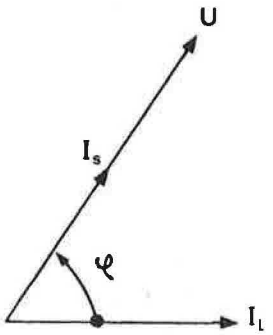
Opmerking:
Als hier gesproken wordt over de impedantie van de lokale fase, dan moet men zich realiseren dat men niet alleen met de impedantie van de spoel te maken heeft, maar feitenlijk met een transformator, waarvan de lokale fase de primaire zijde vormt en de schijf de secundaire zijde. Zou men zuiver de impedantie van Z_l willen weten, dan moet de schijf verwijderd worden. Daar het relais zo geconstrueerd is dat de schijf de luchtspleet niet verlaat, is Z_l constant bij zowel een aangetrokken als een afgevallen relais. Deze zelfde situatie geldt ook voor Z_s. Men spreekt ook hier over de impedantie van de spoor fasespoel maar bedoelt de ingangsimpedantie van het relais aan de spoor fase. De spanning U_l op de lokale fase wordt bij de bepaling van de specificaties exact op 110 volt gehouden. Daarmee wordt I_l vastgelegd.

De spoor fasespoel wordt op dezelfde 110 volt voedingsbron aangesloten. Hiervoor is een zeer hoge voorschakelweerstand nodig omdat de spoor fase niet op zo'n hoge spanning berekend is. Deze voorschakelweerstand is zodanig regelbaar dat de stroom I_s vanaf de waarde $I_s = 0$ opgeregeld kan worden tot de WC-waarde.

In schema



Omdat de voorschakelweerstand ohms is en in waarde veel groter is dan de impedantie Z_s, wordt de stroom voor wat betreft zijn grootte maar ook zijn fase bepaald door deze weerstand. De stroom I_s zal dus nagenoeg in fase zijn met de spanning U op de lokale fase.



De hoek ψ tussen I_s en I_l is nu ook vastgelegd. Men noemt de fasehoek ψ de fasehoek bij "inherent fase", d.w.z. bij I_s in fase met U.

Men moet nu de waarden van I_s bepalen waarbij het relais aantrekt, respectievelijk afvalt. Dit doet men door de regelbare weerstand te variëren en de stroom I_s af te lezen op de ampèremeter.
Het relais wordt gemeten met de B2-VANE meetkoffer, die volgens deze procedure werkt. Voor het gebruik van deze meter wordt verwezen naar de desbetreffende handleiding.

Het relais dient tijdens montage en ook tijdens het testen zuiver verticaal opgehangen te worden. De eigenschappen van het relais zijn n.l. afhankelijk van de stand van het relais.

De spoelen van de spoor fase kunnen zowel in serie als parallel geschakeld worden. Beide toepassingen komen voor. De hieronder vermelde gegevens zijn de specificaties bij 50 Hz, waaraan een relais tijdens het gebruik moet voldoen.

50 Hz	lokale fase serie	spoor fase	
		serie	parallel
impedantie	671 ohm	11.56 ohm	2.88 ohm
argument	63^o	66^o	66^o
WC-waarde	gemeten bij	0.124 A	0.248 A
PU-waarde	spanning lokale	0.110 A	0.220 A
DA-waarde	fase = 110 V	0.070 A	0.140 A
% DA	$\psi = 63^o$	65%	65%

Tijdens het gebruik van het relais verlopen de eigenschappen van het relais. De afkeurgegevens van het relais staan vermeld in MIV R 02.

Gaat men uit van de koppelformule, dan kan men stellen, dat bij een vaste voedingsspanning op de lokale fase en dus bij een vaste lokale fasestroom, het koppel K evenredig is met het product $I_s \sin \psi$.

Dus: $K \mathrel{\hat{=}} I_s \sin \psi$ bij I_l = constant

Het product $I_s \sin \psi$ wordt de koppelmaat k genoemd. Staan de spoelen van de spoor fase in serie en is de spanning U_l op de lokale fase 110 V, 50 Hz, dan is de benodigde koppelmaat k_{PU} voor aantrekken, te berekenen a.d.h.v. de specificaties, n.l.:
$I_s = 0.110$ A bij $\psi = 63^o$

Dus: $k_{PU} = 0.110 \times \sin 63^o$
$= 0.110 \times 0.891 = 0.098$

Neemt men nu een willekeurige waarde voor de fasehoek ψ, dan moet men een zodanige waarde voor I_s berekenen dat het product $I_s \sin \psi$ tenminste de waarde 0.098 heeft, wil het relais aantrekken.

Voorbeeld:
gegeven: $k_{PU} = 0.098$
$\psi = 30^o$

gevraagd:
Welke waarde moet I_s hebben, opdat het relais juist aantrekt?

Oplossing:
$k_{PU} = I_s \sin \psi$

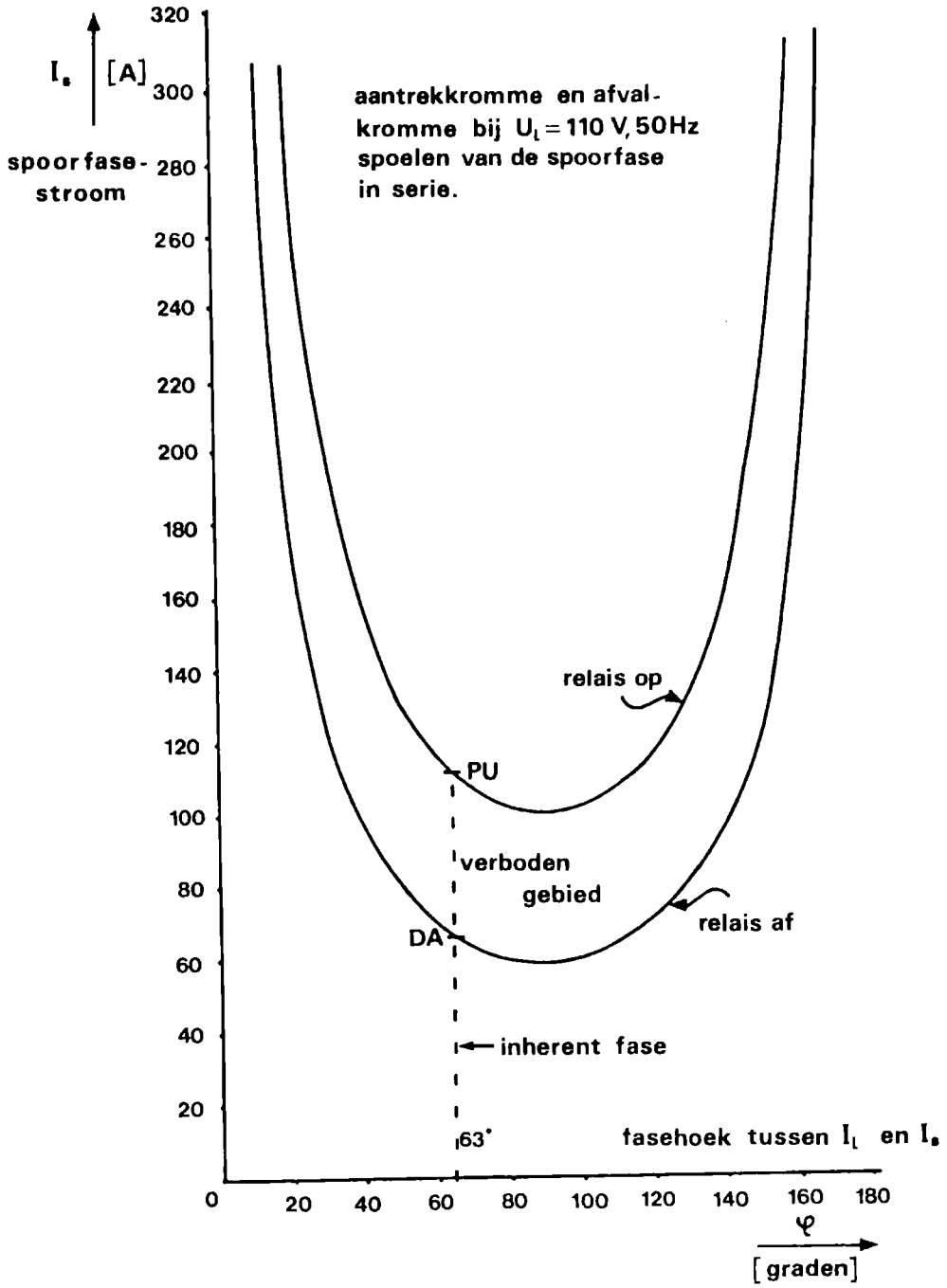
invullen:
$0.098 = I_s \sin 30^o$

dus: $I_s = \frac{0.098}{\sin 30^o} = \frac{0.098}{0.5} = 0.196$ A

De stroom I_s moet dus 0.196 A bedragen.

Werkt men dit voorbeeld uit voor verschillende fasehoeken dan krijgt men de volgende grafiek. Aangegeven is hoe groot I_s minimaal moet zijn om het relais bij

verschillende waarden voor ψ te laten aantrekken.
De gevonden grafiek heet de aantrekkromme.
Op dezelfde wijze is ook de afvalkromme getekend.
De stroom I_s moet dus tot onder deze lijn dalen, wil het relais afgevallen zijn.



Uit de grafiek blijkt dat het testen bij 63^o vrij goed overeenkomt met de optimale instelling van het relais, d.w.z. bij een instelling waarbij met de kleinste stromen door het relais kan worden volstaan om het relais op te brengen.

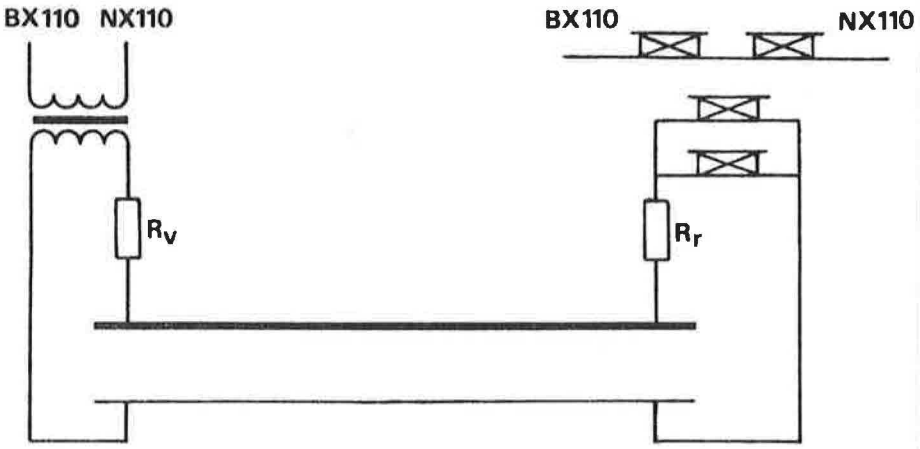
De enkelbenig geïsoleerde spoorstroomloop

Hoofdstuk 4

4.1 INLEIDING

De eenvoudigste vorm van een geïsoleerde wisselstroom spoorstroomloop is de enkelbenige sectie. Dit type spoorstroomloop heeft een zeer ruim toepassingsgebied. Alle emplacementen worden n.l. vrijwel geheel met enkelbenige secties uitgevoerd, alsmede korte secties op de vrije baan en ook praktisch alle secties op niet geëlektrificeerde baanvakken.
De principeschakeling is vrij eenvoudig, maar door het grote toepassingsgebied zijn er vele varianten ontworpen om aan de ter plaatse te stellen eisen te kunnen voldoen.

4.2 DE PRINCIPESCHAKELING



De principeschakeling is identiek aan het gelijkstroom-model met al haar problemen. De voorschakelweerstanden, zowel aan de voedingszijde als aan de relaiszijde, dienen voor de veilige en bedrijfszekere instelling van de schakeling. Tevens verzorgen zij de noodzakelijke faseverschuiving tussen de lokale fase en de spoor fase.

De stroom door de lokale fase heeft n.l. bij 50 Hz een faseverschuiving van 63° t.o.v. de voedingsspanning. De voorschakelweerstanden staan in serie met de parallel geschakelde spoelen van de spoor fase. Daardoor zal de stroom door de spoor fase in zekere mate in de richting van de fase van de voedingsspanning verschoven worden. De spoor fasestroom raakt daardoor in voldoende mate uit fase met de lokale fasestroom.

Hoe hoger de waarde van de voorschakelweerstanden t.o.v. de impedantie van de spoor fase is, des te beter komt de stroom door de spoor fase in fase met de voedingsspanning en des te groter wordt het faseverschil tussen de lokale fasestroom en de spoor fasestroom.
Om toch met relatief lage voorschakelweerstanden te kunnen werken zijn de spoelen van de spoor fase parallel geplaatst, omdat door deze maatregel de impedantie van de spoor fase zo laag mogelijk is.

Onbeperkt verhogen van de voorschakelweerstanden gaat niet omdat dan het relais te weinig stroom gaat trekken, wil men de voedingsspanning niet zeer hoog maken.

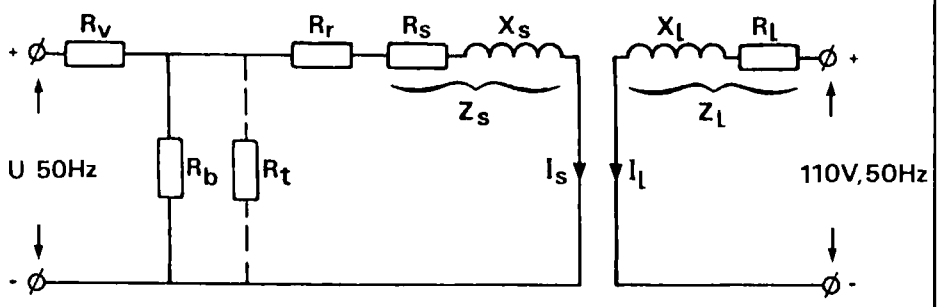
Omdat zoals bekend het koppel K evenredig is met:

$K \mathrel{\hat{=}} I_l \, I_s \sin \psi$,

zal men een compromis moeten zoeken tussen stroom I_s en fasehoek ψ.

4.3 HET REKENEN AAN EEN ENKELBENIGE SECTIE

Het vervangingsschema van de spoorstroomloop met voorschakelweerstanden (verder te noemen de EB-sectie) is als volgt:



waarbij U = de voedingsspanning aan de voedingszijde
R_v= de voorschakelweerstand aan de voedingszijde
R_r= de voorschakelweerstand aan de relaiszijde
R_b= de ballastweerstand
R_t= de treinshunt impedantie
Z_s= de ohmse + inductieve weerstand van de spoor fase
Z_l= de ohmse + inductieve weerstand van de lokale fase

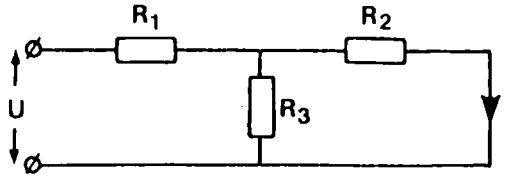
De weerstand van de spoorstaven wordt verwaarloosd en tevens wordt aangenomen dat de spanning U exact in fases met de spanning van 110 V op de lokale fase.

Door nu te gaan rekenen aan dit model kan zichtbaar gemaakt worden hoe gecompliceerd de schakeling reageert op de verschillende mogelijkheden van instelling van de weerstanden R_v en R_r. Niet alleen verandert hierdoor de stroom I_s door de spoor fase van het relais, maar wordt ook de fasehoek ψ tussen I_s en de stroom I_l door de lokale fase van het relais beïnvloedt. Omdat beide factoren het relaiskoppel bepalen kan het voorkomen dat het resulterend relaiskoppel anders reageert dan men op het eerste gezicht zou verwachten.

De werkwijze bij de berekening van de schakeling verloopt in grote lijnen volgens de procedure zoals behandeld in paragraaf 2.5. Eerst wordt uitgerekend hoe groot de voedingsspanning U moet zijn bij gegeven waarden voor R_v en R_r om het relais nog juist te doen aantrekken. De berekening vindt plaats bij onbezette sectie en bij de te verwachten minimum ballastweerstand R_b. Hier is opnieuw gekozen voor R_b = 3 ohm, hetgeen overeenkomt met de minimum ballastwaarde van een sectie van 500 meter.

Vervolgens wordt de vermindering van het relaiskoppel uitgerekend wanneer de sectie kortgesloten wordt met een weerstand van 1 ohm, daarbij veronderstellend dat de ballastweerstand zijn hoogste waarde heeft bereikt (R_b = ~ ohm).

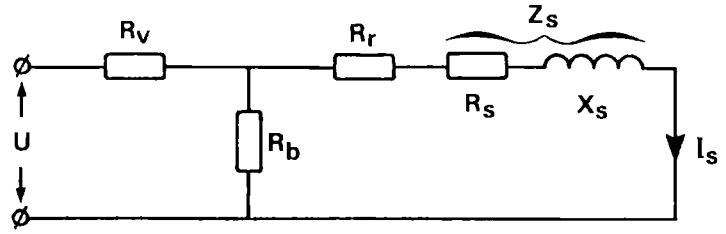
Het vervangingsschema lijkt op het bekende vervangingsschema van het gelijkstroommodel:



In bijlage 1 is afgeleid dat voor dit vervangingsschema geldt:

$$U = I \left\{ R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3} \right\}$$

In de situatie van de EB-sectie geldt bij onbezet spoor het schema:



Door nu te stellen:

$R_1 = R_v$
$R_2 = R_r + Z_s = R_r + (R_s + j\ X_s) \qquad j = \sqrt{-1}$
$\qquad\quad = R_r + R_s + j\ X_s$
$R_3 = R_b,$

kan men eenvoudig het verband vinden tussen U en I_s n.l.:

$$U = I_s \left\{ R_v + (R_r + R_s + j\ X_s) + \frac{(R_v)(R_r + R_s + j\ X_s)}{R_b} \right\}$$

$$= I_s \left\{ R_v + R_r + R_s + \frac{R_v\ (R_r + R_s)}{R_b} + j\ (X_s + \frac{R_v X_s}{R_b}) \right\}$$

Stel dat $R_v = 2{,}5$ ohm
$R_r = 2{,}5$ ohm
$R_b = 3$ ohm
$Z_s = R_s + j\ X_s = 2{,}9\ \angle 66^o$ $\quad R_s = 2{,}9 \cos 66^o = 1.180$ ohm
$\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\quad X_s = 2{,}9 \sin 66^o = 2.649$ ohm

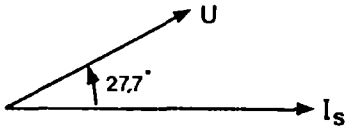
Invullen geeft:

$$U = I_s \left\{ 2.5 + 2.5 + 1.180 + \frac{2.5(1.180 + 2.5)}{3} + j\ (2.649 + \frac{(2.5)(2.649)}{3}) \right\}$$

$$U = I_s\ (9.246 + j\ 4.857) = I_s\ (10.44\ \angle 27.7^o)$$

Deze uitkomst betekent dat als de stroom I_s b.v. 1 ampère bedraagt, de spanning U 10.44 volt moet bedragen en tevens 27.7^o zal voorijlen op de stroom I_s.

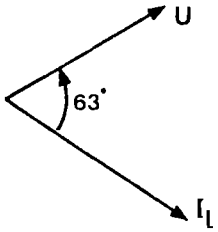
In vectordiagram:



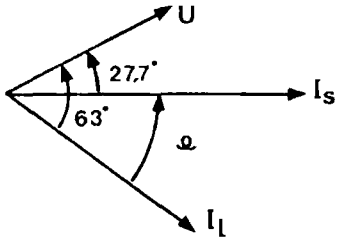
Stel nu dat de impedantie Z_1 van de lokale fase de volgende waarde heeft:

$Z_1 = 671 \angle 63^o$ ohm

Aangetoond is in paragraaf 3.6 dat dit betekent dat de 110 volt-spanning 63^o voorijlt op de stroom I_1 door de lokale fase. Gesteld is dat de 110 volt-spanning in fase is met de spanning U, dus in vectordiagram:



De fasehoek ψ tussen I_s en I_1 is nu eenvoudig te tekenen:



De fasehoek $\psi = 63^o - 27.7^o = 35.3^o$

Om nu te bepalen welke stroom I_s door het relais moet lopen bij een fasehoek van 35.5^o om het relais juist op te brengen, moet men weten welke koppelmaat k_{PU} voor het relais geldt. (Zie ook paragraaf 3.6)

Stel $k_{PU} = 0.200$

De benodigde stroom I_s wordt als volgt bepaald:

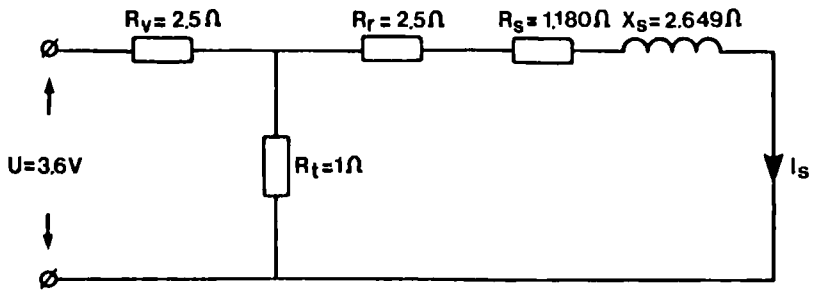
$k_{PU} = I_s \sin \psi$
$0.200 = I_s \sin 35.5^o$

dus: $I_s = \frac{0.200}{\sin 35.3^o} = \frac{0.200}{0.578} = 0.346$ ampère

I_s en ψ zijn nu bepaald en nu kan de benodigde voedingsspanning U berekend worden.

$U = I_s \times 10.44$
$= 0.346 \times 10.44 = 3.6$ volt

Bij bezet spoor geldt het volgende schema. De ballastweerstand wordt oneindig hoog verondersteld; de slechtste treinshunt impedantie R_t op 1 ohm.



In analogie met de berekening bij onbezet spoor wordt de volgende formule toegepast:

$$U = I_s \left\{ R_v + R_r + R_s + \frac{R_v(R_r + R_s)}{R_t} + j\ (X_s + \frac{R_v\ X_s}{R_t}) \right\}$$

invullen:

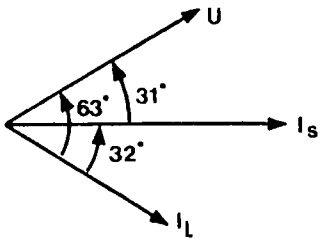
$$3.6 = Is \left\{ 2.5 + 2.5 + 1.180 + \frac{2.5(1.180 + 2.5)}{1} + j(2.649 + \frac{(2.5)(2.649)}{1}) \right\}$$

$$3.6 = I_s\ (15.378 + j\ 9.272) = I_s\ (18\ \angle 31^o)$$

Deze uitkomst wil zeggen dat de fasehoek tussen U en I_s 31^o bedraagt, waarbij de spanning voorijlt op de stroom. De grootte van de stroom I_s bedraagt:

$$I_s = \frac{3.6}{18} = 0.2\ A$$

De fasehoek ψ tussen I_s en I_l bedraagt $63^o - 31^o = 32^o$
In vectordiagram:



De koppelmaat k_{DA}, die bij het bezetten van de sectie overblijft, bedraagt:

$$k_{DA} = I_s \sin \psi$$
$$= 0.2 \sin 32^o$$
$$= 0.2 \times 0.53 = 0.106$$

De vraag is nu: "Is het relais afgevallen of niet". Stel dat de gevoeligheid van het relais 65% bedraagt. Het relais is op bij een koppelmaat van 0.200. Het relais zal dan afvallen bij een koppelmaat van

$\frac{65}{100} \times 0.200 = 0.130$ of minder.

De gevonden waarde van k_{DA} bedraagt minder dan 0.130, dus het relais is afgevallen.

4.4 KEUZE VAN INSTELLING

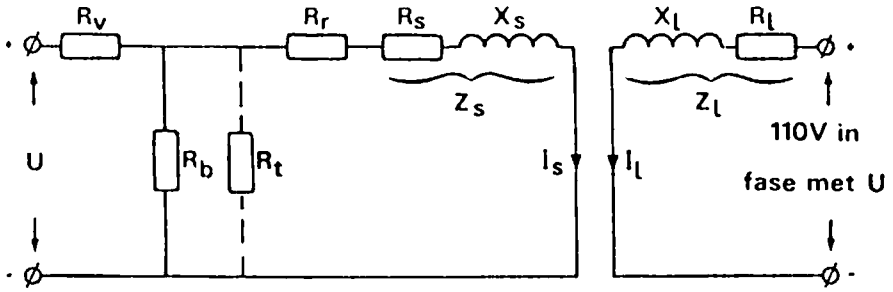
In paragraaf 4.3 is uitgewerkt hoe men aan het vereenvoudigde model van een EB-sectie kan rekenen. Op overeenkomstige wijze is voor verschillende combinaties van R_v en R_r het volgende berekend:
- de fasehoek ψ bij onbezet spoor en bezet spoor;
- de stroom I_s door de spoor fase bij onbezet spoor en bij bezet spoor;
- de benodigde voedingsspanning U om het relais bij onbezet spoor nog juist te doen aantrekken;
- de koppelmaat die overblijft bij bezet spoor.

De voorschakelweerstand R_v aan de voedingszijde wordt gevarieerd van 0.5 tot 2.5 ohm. De waarde R_v = 0 ohm mag niet gebruikt worden, (zie paragraaf 2.6.2); de maximum waarde R_v = 2.5 ohm is om rekentechnische redenen gekozen.

De voorschakelweerstand R_r aan de relaiszijde wordt gevarieerd van 0 tot 2.5 ohm. De waarde R_r = 0 mag wel gebruikt worden omdat het relais van zichzelf enige weerstand bezit. De maximum waarde van 2.5 ohm is ook hier om rekentechnische redenen gekozen.

Uitgegaan wordt van de gegevens van paragraaf 4.3. Deze gegevens zijn:

Impedantie spoor fase: $Z_s = 2.9 \angle 66^o = 1.180 + j\ 2.649$
Impedantie lokale fase: $Z_l = 671 \angle 63^o$
Koppelmaat relais op: $k_{PU} = 0.200$
Koppelmaat relais af: $k_{DA} = 0.130$
Minimum ballastweerstand: $R_b = 3$ ohm
Maximum ballastweerstand: $R_b = \sim$ ohm
Slechtste treinshunt: $R_t = 1$ ohm



In de volgende tabellen is aangegeven wat de fasehoek ψ is tussen I_s en I_l. Verondersteld is daarbij dat de voedingsspanning op de lokale fase in fase is met de voedingsspanning U aan de voedingszijde van de sectie. De impedantie van de spoorstaven is niet meegenomen in de berekeningen.

De fasehoek ψ is uitgerekend in de volgende situaties:
- bij R_b = 3 ohm en onbezet spoor
- bij $R_b = \sim$ ohm en bezet spoor met R_t = 1 ohm.

FASEHOEK ψ IN GRADEN						
$R_r \rightarrow$ / $R_v \downarrow$	Sectie onbezet R_b = 3 ohm					
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
0.5	4.3	11.5	17.5	22.6	26.7	30.2
1.0	9.1	15.5	20.9	25.3	29.0	32.1
1.5	12.4	18.3	23.2	27.2	30.6	33.5
2.0	14.9	20.4	24.9	28.7	31.8	34.5
2.5	16.8	22.0	26.2	29.8	32.8	35.2
$R_r \rightarrow$ / $R_v \downarrow$	Sectie bezet R_b = ∞ ohm R_t = 1 ohm					
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
0.5	2.7	10.2	16.5	21.7	26.0	29.6
1.0	5.4	12.4	18.3	23.2	27.2	30.6
1.5	6.9	13.7	19.6	24.1	28.0	31.2
2.0	7.9	14.5	20.1	24.6	28.4	31.6
2.5	8.5	15.1	20.5	25.0	28.8	31.9

De volgende conclusies kunnen getrokken worden:
- De fasehoek ψ is groter en dus gunstiger voor het aantrekken, naarmate er meer weerstand wordt voorgeschakeld.
- ψ is enigszins groter bij onbezet spoor, dan bij bezet spoor. De faseverandering werkt dus bij bezet spoor mee aan het afvallen van het relais.

Uitgaande van deze fasehoeken is bepaald hoe groot de stroom I_s moet zijn en hoeveel spanning U er nodig is om deze stroom te laten lopen om het relais bij onbezet spoor op te laten zijn.

Stroom I_s in ampère						
$R_r \rightarrow$ / $R_v \downarrow$	Sectie onbezet R_b = 3 ohm					
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
0.5	2.69	1.00	0.66	0.52	0.45	0.40
1.0	1.27	0.75	0.56	0.47	0.41	0.38
1.5	0.93	0.64	0.51	0.44	0.39	0.36
2.0	0.78	0.57	0.48	0.42	0.38	0.35
2.5	0.69	0.54	0.45	0.40	0.37	0.35
Voedingsspanning in volt						
$R_r \rightarrow$ / $R_v \downarrow$	Sectie onbezet R_b = 3 ohm					
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
0.5	9.7	4.0	2.9	2.5	2.3	2.3
1.0	5.5	3.6	3.0	2.7	2.6	2.6
1.5	4.8	3.6	3.2	3.0	2.9	2.9
2.0	4.6	3.7	3.4	3.3	3.2	3.3
2.5	4.7	4.0	3.7	3.6	3.6	3.6

De volgende conclusies kunnen hieruit getrokken worden:
- Naarmate er meer weerstand is voorgeschakeld, is minder stroom nodig om het relais op te brengen. Dit is logisch omdat in dat geval de fasehoek steeds meer naar 90° gaat.
- Weinig voorschakelweerstand blijkt met zich mee te brengen dat een grote spanning nodig is om de gewenste stroom te laten lopen. Ook blijkt dat veel voorschakelweerstand met zich meebrengt dat eveneens een hoge spanning nodig is. De laagste benodigde voedingsspanning blijkt op te treden wanneer R_v = 0.5 ohm en R_r = 2.5 ohm.

Uitgaande van de gevonden waarden voor de benodigde spanning U is uitgerekend hoe groot de stroom I_s door het relais is wanneer de sectie kortgesloten wordt met een weerstand van 1 ohm en waarbij R_b = ~ ohm.
Samen met de tabel voor ψ bij bezette sectie is uitgerekend hoeveel koppel er aan het relais overblijft.

Stroom I_s in ampère

R_v \ R_r	Sectie bezet		R_t = 1 ohm		R_t = ~ ohm	
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
0.5	2.13	0.79	0.53	0.41	0.35	0.32
1.0	0.88	0.52	0.39	0.33	0.29	0.26
1.5	0.60	0.41	0.33	0.28	0.25	0.23
2.0	0.18	0.35	0.29	0.26	0.23	0.21
2.5	0.41	0.32	0.27	0.24	0.22	0.20

Koppelmaat

R_v \ R_r	Sectie bezet		R_t = 1 ohm		R_b = ~ ohm	
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
0.5	0.101	0.141	0.149	0.152	0.154	0.155
1.0	0.083	0.112	0.123	0.129	0.132	0.133
1.5	0.072	0.098	0.109	0.115	0.118	0.121
2.0	0.065	0.088	0.100	0.106	0.110	0.112
2.5	0.061	0.082	0.094	0.100	0.104	0.106

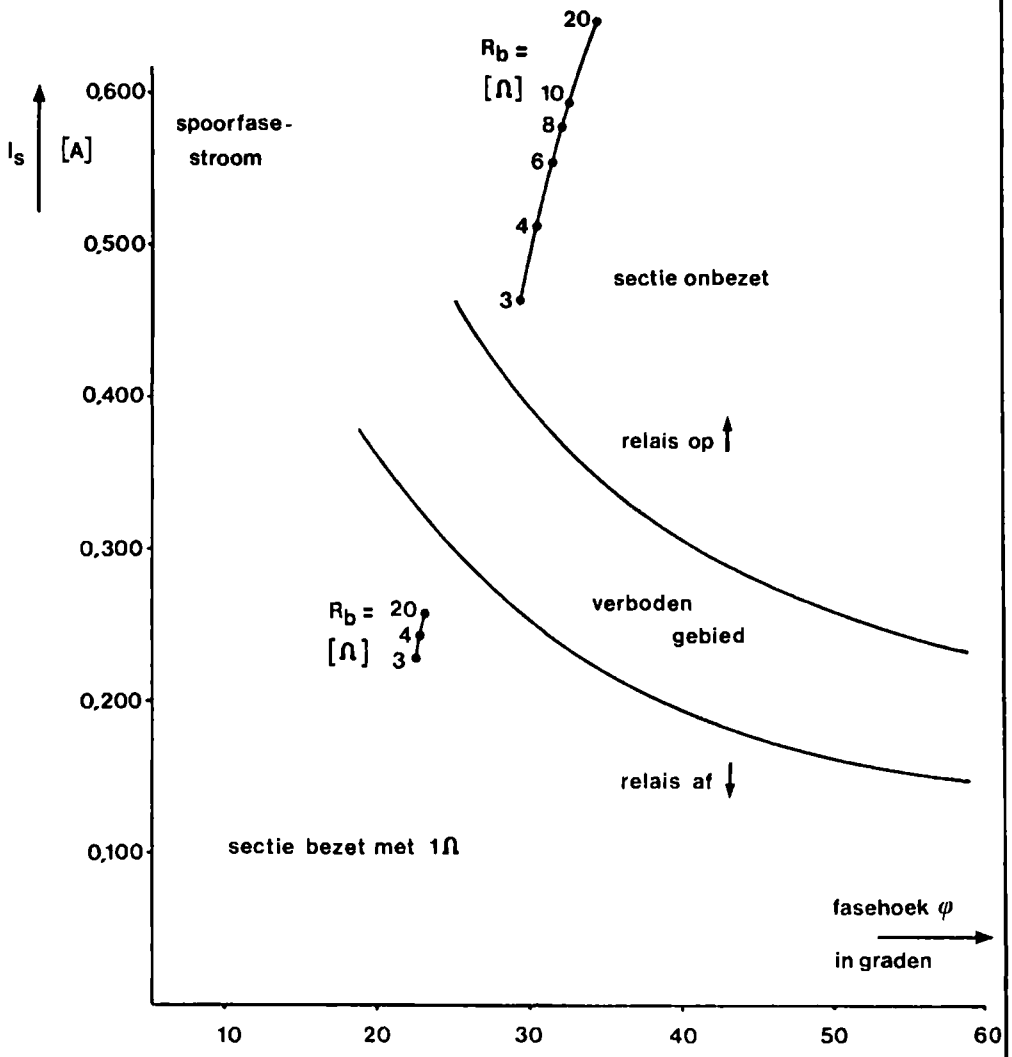
De volgende conclusies kunnen nu getrokken worden:
- De stroom I_s bij bezette sectie is altijd lager dan de stroom I_s bij onbezette sectie.
- Het resterende koppel bij bezette sectie is niet in alle gevallen minder dan de k_{DA} -waarde, n.l. minder dan 0.130. (gerasterd gebied)
- Het resterende koppel is kleiner naarmate de waarde van de voorschakelweerstand R_v hoger is en de waarde van R_r lager is. Althans voor de berekende situaties.. Dat R_r lager moet worden gekozen lijkt op het eerste gezicht erg onlogisch, maar moet verklaard worden uit het feit dat de fasehoek ψ verhoudingsgewijs het meeste varieert in de vergelijking onbezet - bezet spoor, naarmate R_r lager is. De verandering in de fasehoek heeft in die gevallen een sterke invloed op

de verlaging van het relaiskoppel bij bezette sectie.

Het lijkt erop dat men als de beste instelling kan beschouwen, de instelling waarbij R_v zo hoog mogelijk is en waarbij R_r nul ohm is. Toch verdient het aanbeveling om een zekere waarde voor R_r te laten bestaan.
Men voorkomt daarmee dat teveel gelijkstroom of andere spoorstromen (b.v. een 50 Hz rimpel op de gelijkstroom) door het relais kan vloeien.
Zie hiervoor ook paragraaf 3.1.

4.5 DE INVLOED VAN DE BALLASTWEERSTAND OP DE INSTELLING

Om te laten zien wat er met de stroom I_s en de fasehoek ψ gebeurt wanneer de ballastweerstand wordt gevarieerd van R_b = 3 ohm tot R_b = ~ ohm, is de volgende grafiek getekend.

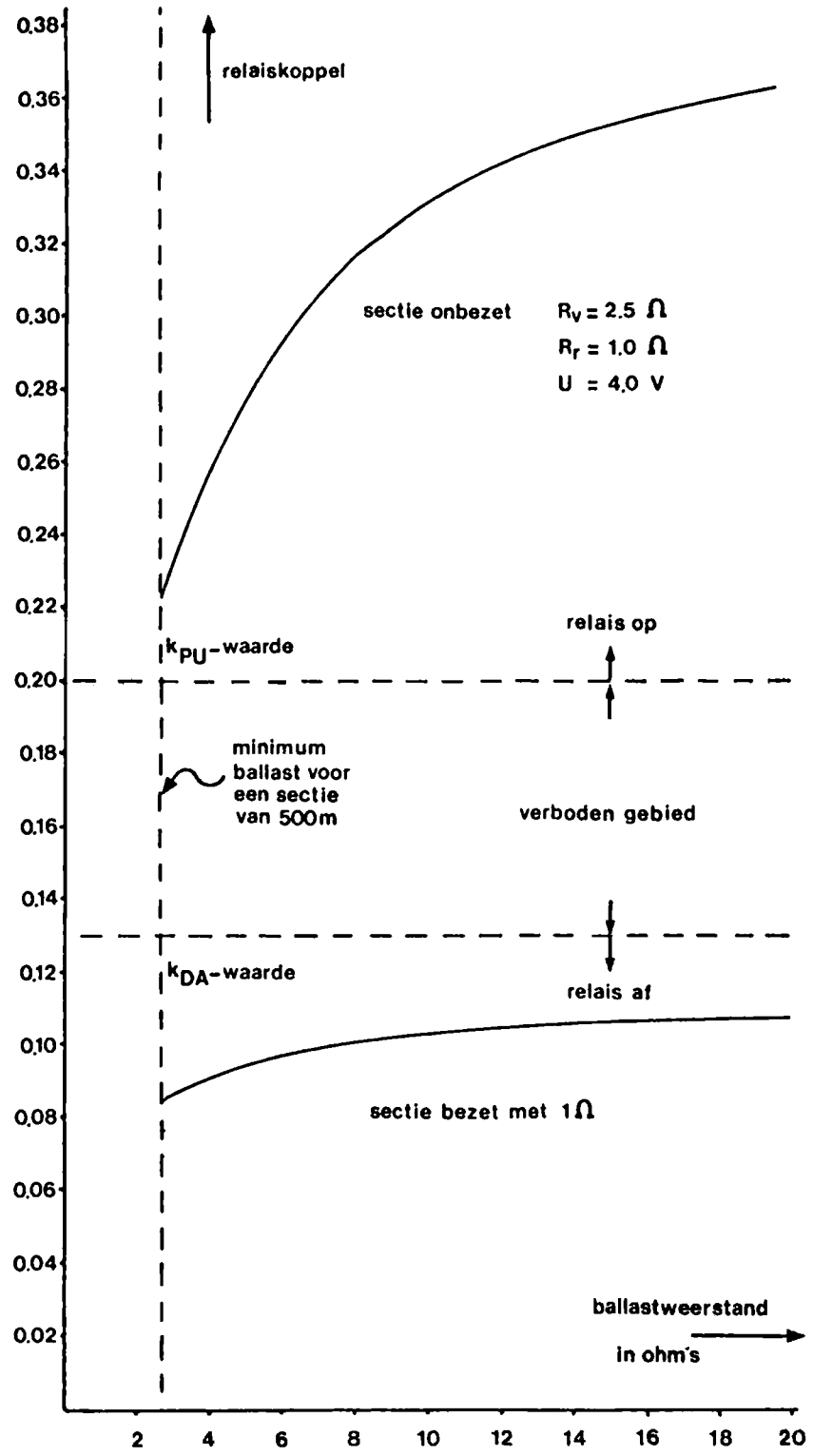


Uitgegaan is van het vervangingsschema en de gegevens van paragraaf 4.1 en 4.4. Voor R_v, R_r en U zijn de volgende waarden gekozen:
R_v = 2.5 ohm
R_r = 1.0 ohm
U = 4.0 volt

De aantreklijn en de afvallijn zijn bepaald volgens de procedure van paragraaf 3.6. Voor de verschillende waarden van R_b is aangegeven hoe groot I_s is en welke fasehoek I_s daarbij heeft t.o.v. I_1. Dit is steeds gedaan bij onbezette en bezette sectie.

Het blijkt dat de fasehoek ψ slechts weinig varieert bij verandering van de ballastimpedantie. Bij het bezetten van de sectie maakt de fasehoek een kleine sprong naar links hetgeen gunstig werkt t.a.v. het afvallen van het relais.

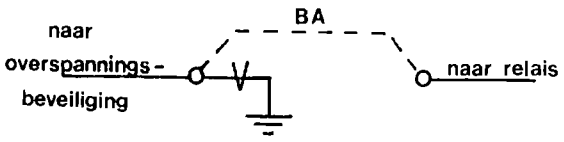
In analogie met de grafiek van paragraaf 2.6.4 kan men ook het koppel uitzetten als functie van de ballast-weerstand. De voorgaande grafiek krijgt dan de volgende vorm.



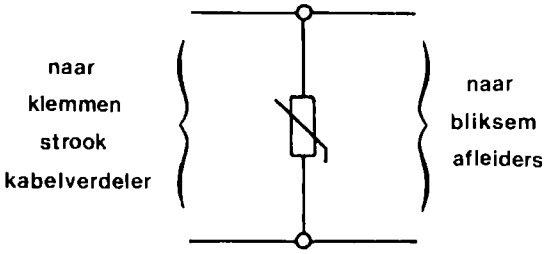
4.6 BLIKSEMBESCHERMING

Als op een baanvak de bliksem inslaat, dan slaat deze meestal in op de bovenleiding. Op baanvakken waar geen bovenleiding aanwezig is of anders gezegd: op baanvakken buiten ET-gebied (ET = Elektrische Tractie), zullen speciale maatregelen genomen moeten worden om de spoorstroomlopen zoveel mogelijk te beschermen.

De bescherming geschiedt door bliksemafleiders (BA), die met de spoorstaven verbonden zijn. Dit zijn doorverbindingen die wegbranden en daardoor de verbinding met het TR verbreken en tevens een verbinding met aarde maken. De stroom kan zodoende afgevoerd worden.

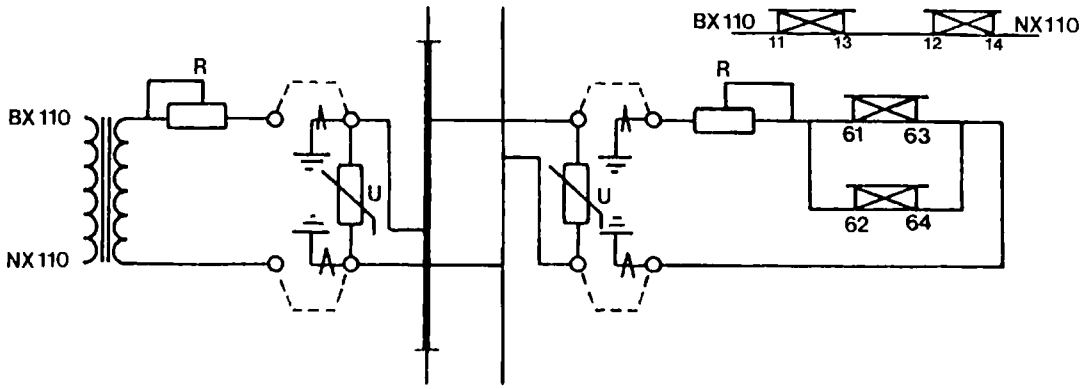


Tevens wordt van overspanningsbeveiligingen (U) gebruik gemaakt. Bij een te hoge spanning tussen de beide spoorstaven slaan deze dingen door en worden de beide spoorstaven elektrisch met elkaar verbonden.



Bij blikseminslag beperken ze de eventuele schade aan spoorrelais en trafo maar gaan daarbij wel kapot. Ze vormen een blijvende kortsluiting. De sectie raakt dus gestoord.

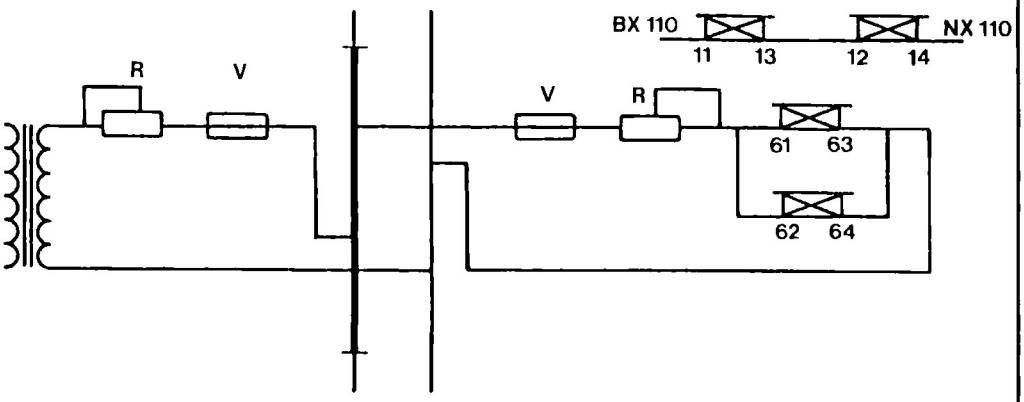
Hoe de bliksemafleiders en de overspanningsbeveiligingen in de schakeling zijn aangebracht is in de volgende tekening te zien. Dit is het schema dat voor spoorstroomlopen buiten ET-gebied wordt gebruikt.



4.7 SPOORSTROOMLOOP-SCHAKELING BINNEN ET-GEBIED

Bij korte secties binnen ET-gebied wordt dezelfde schakeling toegepast als de schakeling voor buiten ET-gebied (zie paragraaf 4.5). Secties binnen ET-gebied worden niet tegen bliksem beschermd. De bliksemafleiders en de overspanningsbeveiligingen worden daarom uit het circuit weggelaten.

Deze secties dienen daarentegen wel tegen retourstroom beschermd te worden, want bij deze secties zal één been als geleider van de tractie retourstroom gebruikt worden.
Weliswaar kan de gelijkstroom retourstroom nooit in staat zijn het spoorrelais op te brengen omdat het spoorrelais een schijfrelais is, maar wel kan de retourstroom ertoe bijdragen dat het relais ten onrechte afvalt. In het meest extreme geval zal de retourstroom zoveel warmte in het relais ontwikkelen, dat het relais verbrandt. Om deze reden is in de schakeling een zekering (V) aangebracht in serie met het relais.
Om dezelfde reden is in de voedingskring ook een zekering aangebracht ter bescherming van de voedingstrafo.

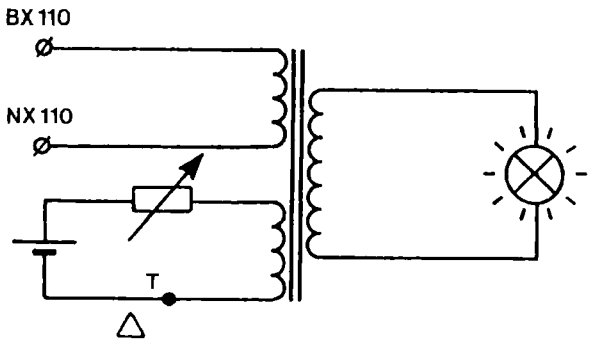


Als zekering wordt een 6,25 A zekering gebruikt, die gedurende 15 sec. 200% mag worden overbelast of gedurende 45 sec. 100% mag worden overbelast. Deze zekeringen zijn traag omdat korte stroompieken niet schadelijk zijn voor het relais.

4.8 DE BALANS IMPEDANTIE

Als secties langer zijn dan 100 meter of zelfs als deze korter zijn,als zeer frequent in een bepaald gebied gereden wordt en daardoor grote tractie retourstromen verwacht mogen worden, dan zal er een zodanig grote gelijkstroom door het relais gaan lopen dat het relais niet verbrand maar wel daardoor af zal vallen. Gebleken is dat afhankelijk van het feit of de spoelen van de spoor fase in serie of parallel geschakeld zijn, een gelijkstroom van 1 à 2 ampère in staat is het TR te doen afvallen. Deze stroom veroorzaakt een permanent magnetisch veld en t.g.v. het verzadigingseffect van het magneetijzer valt het relais af.

Als voorbeeld wordt een schakeling van een trafo en een lampje gegeven die door een batterij beïnvloed wordt.



De lamp brandt via de trafo op de voedingsspanning van 110 V, 50 Hz. De trafo is zo berekend dat deze juist voldoende vermogen voor de lamp kan leveren. Hiervoor is bijvoorbeeld een veldsterkte nodig van 100 Aw.
Als nu de schakelaar gesloten wordt en de weerstand maximaal staat, zal de batterij een veldsterkte leveren van b.v. 25 Aw.

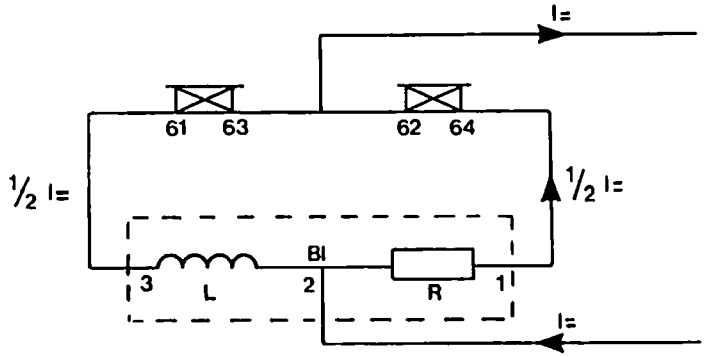
Dit houdt dan in dat de kern voorgemagnetiseerd is met permanente veldsterkte van 25 Aw. Aangezien de kern berekend is op 100 Aw, zal er a.h.w. slechts 75 Aw door de wisselstroom geproduceerd kunnen worden t.b.v. de lamp. Het gevolg is dan dat de lamp zachter brandt. Zodra nu de weerstand minimaal wordt en de batterij dan bijvoorbeeld 100 Aw zal leveren aan de kern, spreekt het voor zich dat de lamp uit zal gaan, daar er nu geheel geen wisselspanning meer opgewekt kan worden t.b.v. de lamp.

Op deze manier zal ook het TR af kunnen vallen, zodra de retourstroom te groot wordt. Dit euvel kan zich nu op twee plaatsen voordoen en in beide gevallen het afvallen van het TR tot gevolg hebben n.l. bij de voedingstrafo en bij het TR zelf.

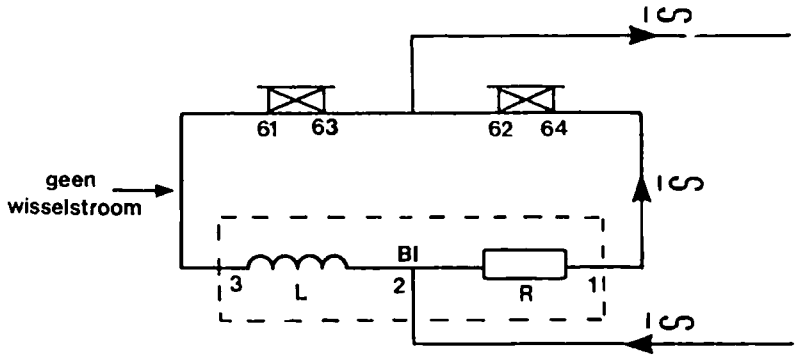
Bij de voedingstrafo is voor een zwaar type trafo gekozen waardoor verzadiging niet snel zal optreden.

Bij het TR is voor een speciale schakeling gekozen, die het permanent magnetisch veld zal opheffen; n.l. de balans impedantie (BI).

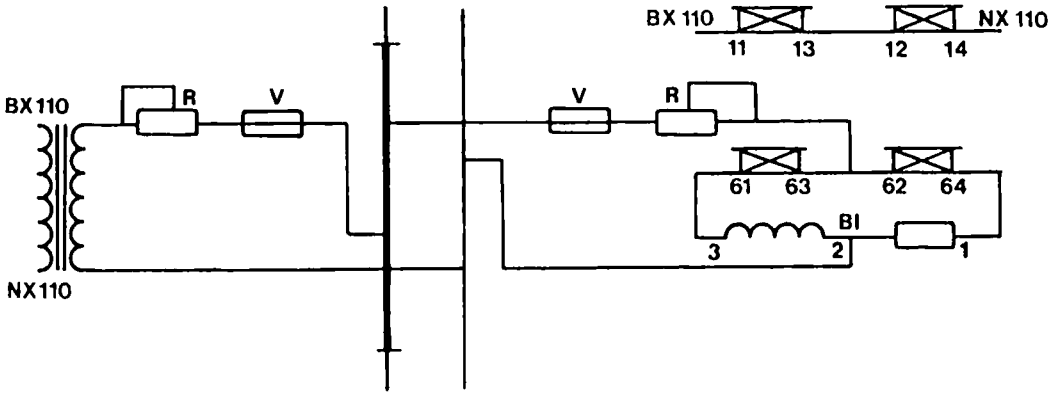
De balans impedantie bestaat uit een spoel L en een weerstand R van gelijkeohmse waarde. Door de balans impedantie op de spoor fase van het TR aan te sluiten zal nu de retourstroom gelijkelijk over beide spoelen verdeeld worden, zodat in de spoelen een tegengesteld veld wordt opgewekt. Het resulterend veld is daardoor nul.



Voor de wisselstroom is de spoel L een vele malen grotere impedantie dan de weerstand R.
Dit houdt in dat verreweg het grootste gedeelte van de wisselstroom door de weerstandsketen gaat. Het TR zal nu kunnen aantrekken op het veld dat door één spoel wordt opgewekt.



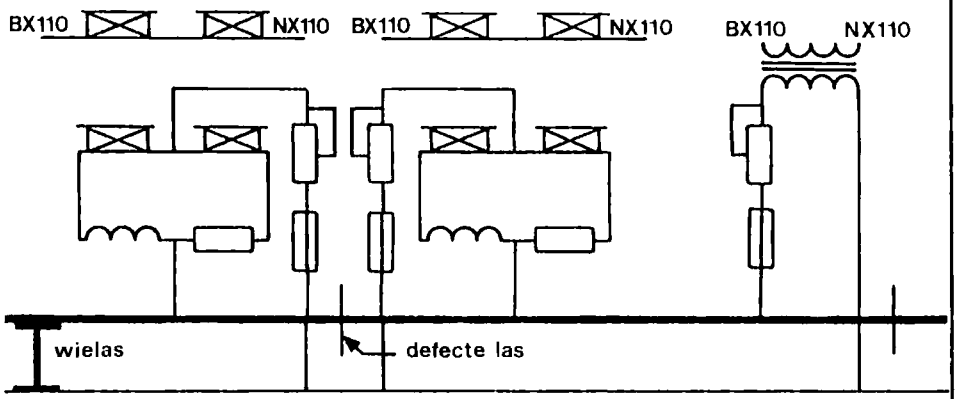
Het complete schema ziet er dan als volgt uit en is momenteel het meest toegepaste schema voor een enkelbenig geïsoleerde spoorstroomloop zonder ATB (Automatische Trein Beïnvloeding).



4.9 POLARITEITEN

Een typisch wisselstroomprobleem is de polariteitskwestie. Zou bij het gelijkstroomcircuit een isolerende las defect raken dan zal, omdat de weerstand van de spoorstaven voor gelijkstroom zo laag is, t.g.v. een kortsluiting van de spoorstaven door de trein in de ene sectie ook het relais in de andere sectie afvallen. Bij wisselstroom hoeft dit echter niet het geval te zijn. De spoorstaven hebben n.l. voor wisselstroom een beduidend hogere impedantie.

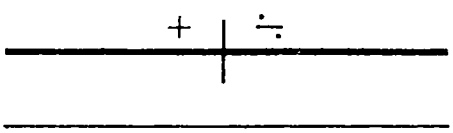
Zal n.l. bij een geïsoleerde spoorstroomloop, gevoed met wisselstroom, een isolerende las defect raken, dan bestaat er geen garantie meer dat de trein een voldoende kortsluiting veroorzaakt om zelfs het relais van de eigen sectie te doen afvallen, wanneer dit relais gevoed wordt door de trafo van de naast liggende sectie via de defecte isolerende las tussen beide secties.



Bij de shunt waarde van de trein dient n.l. in dit geval de impedantie van de spoorstaven te worden opgeteld. Het kan zijn dat deze som niet voldoende laag is om het relais te doen afvallen.

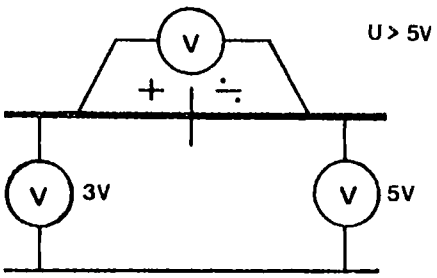
Om dit te voorkomen dient de spanning op het spoor van de ene sectie, ong. in tegenfase te zijn met de spanning van de aangrenzende sectie. In dat geval n.l. zal een defecte isolerende las tot gevolg hebben, dat het relais een tegengesteld veld krijgt en juist afgedrukt wordt.

Op de O.R.-bladen wordt de momentele waarde van de spanning t.o.v. elkaar aangegeven met een + of een -. Dit houdt dus in dat bij lassen, die twee isolerende benen van elkaar scheiden, een + en een - moeten staan.



Controle op de polariteit is verplicht!
Bij kortsluiting van de las moet minstens één TR afvallen en anders dienen de secties te worden heringesteld.

Wil men de polariteit meten dan zal men rekening dienen te houden met de faseverschuiving tussen de beide wisselspanningen. Men kan slechts de resultante meten van de som der spanningen van beide secties.



In de praktijk zal de polariteit gekeerd en dus correct zijn als de spanning over de las groter is dan de grootste spanning tussen de sporen.

Is de polariteit gelijk, dus fout, dan zal de spanning kleiner zijn dan de grootste spanning tussen de sporen.

Op de schema's die standaard zijn uitgevoerd, is de polariteitskering duidelijk te zien. Er is dan een kruis gemaakt in de kabel die naar de sectie loopt of er is een kruis gemaakt tussen de balans impedantie en het relais.

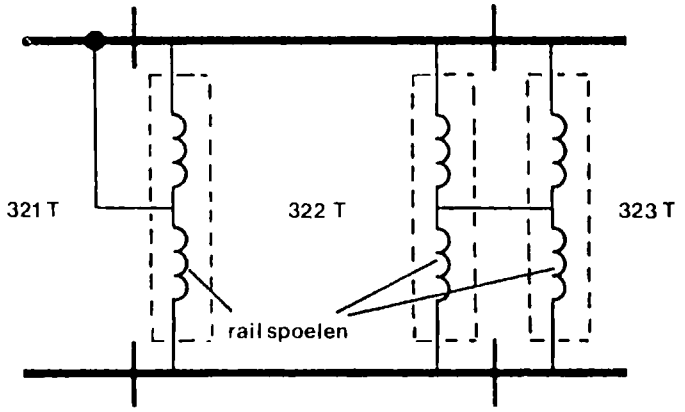
OVERWEGSECTIE = CAPACITIEF INGESTELD
DUBBELBENIG
GEÏSOLEERDE.
SECTIE = INDUCTIEF INGESTELD
→ — — EN + +
ENKELBENIG WEL + —

180° FASE DRAAIING

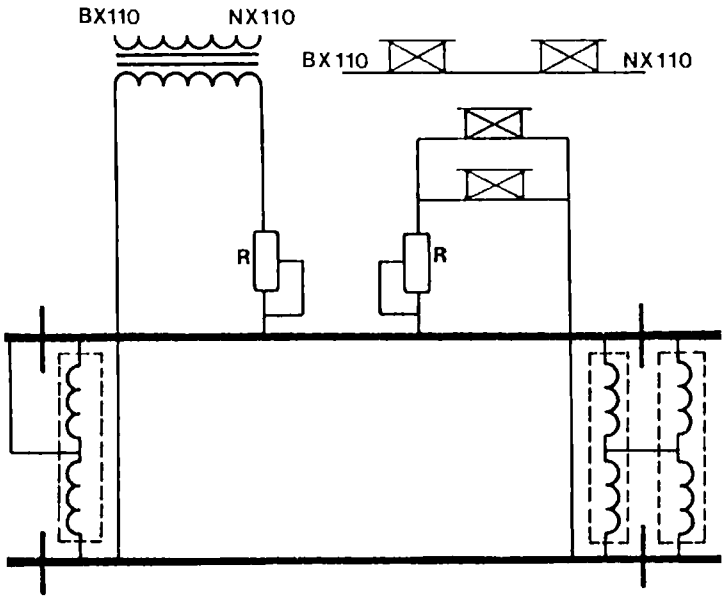
De dubbelbenig geisoleerde spoorstroomloop

5.1 INLEIDING

In verband met het spanningsverlies dat de retourstroom in de spoorstaven ondervindt, is het wenselijk om beide benen van een geïsoleerde sectie voor de retourstroom te kunnen gebruiken. Dit gaat als volgt:
De sectie wordt dubbelbenig geïsoleerd, d.w.z. de isolerende lassen worden paarsgewijs in de beide benen aangebracht. Om nu de retourstroom door te kunnen laten, wordt ter plaatse van de isolerende lassen een railspoel tussen de beide benen geplaatst. De middenaftakking van de railspoel wordt met de aangrenzende sectie verbonden. De aangrenzende sectie kan zowel een enkelbenige als een dubbelbenige sectie zijn. Bij een enkelbenige sectie zal de middenaftakking met het retourbeen verbonden zijn en bij een dubbelbenige sectie met het midden van de volgende railspoel.



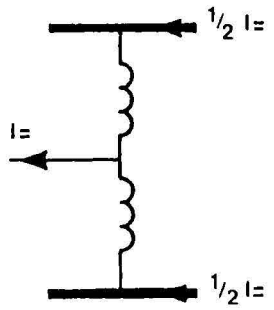
De eerste ontwerpen van dubbelbenig geïsoleerde spoorstroomlopen met railspoelen waren identiek aan het enkelbenige type. Met weerstanden aan de voedingszijde en de relaiszijde werd de schakeling ingesteld.



Om te bereiken dat de railspoel voor het wisselstroom-signaal van de spoorstroomloop geen kortsluiting vormt, is de railspoel voorzien van een weekijzeren kern. Op deze manier wordt n.l. de impedantie van de spoel voor wisselstroom zo hoog mogelijk. Het nadeel van zo'n kern is echter dat een te hoge gelijkstroom in staat kan zijn de kern magnetisch in verzadiging te brengen, waardoor dus het effect verloren gaat en de railspoel wel min of meer een kortsluiting gaat vormen. Men moet dus maatregelen treffen om een al te snelle verzadiging te voorkomen.

5.2 OPBOUW VAN DE RAILSPOEL

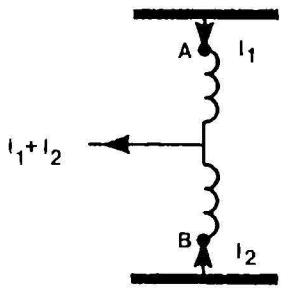
De beide (laagspannings-) windingen van de railspoel zijn in dezelfde richting gewikkeld. De gelijkstroom van beide benen wordt zodanig door de railspoel gevoerd, dat het resulterend magnetisch veld nul is. Wanneer de gelijkstroom gelijkelijk verdeeld is over beide benen, dan vindt er geen voormagnetisatie van de kern plaats. Men zegt dan: "de railspoel is in balans".



De windingen bestaan uit 3 wikkelingen van 385 mm^2 gebogen koperplaat. De koperdoorsnede is zo groot om de grote tractiestromen - 750 A nominaal per winding - te kunnen verwerken. De totale retourstroom, die langdurig door een sectie mag lopen, is dus 1500 A.

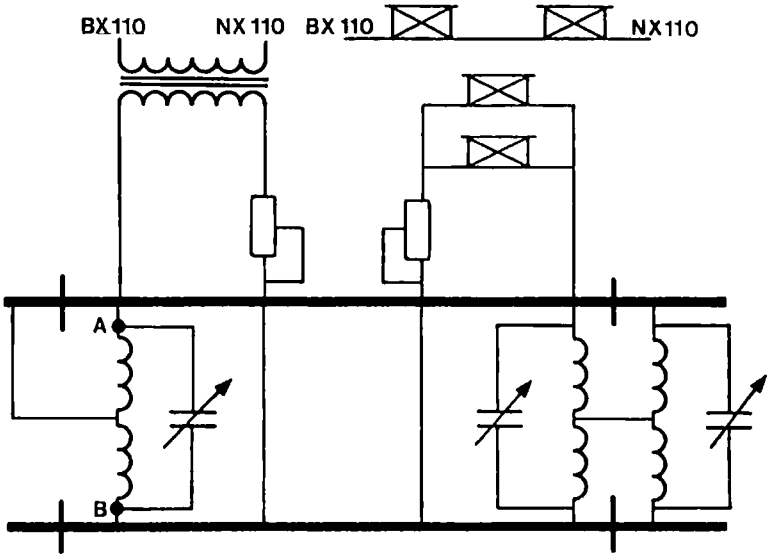
Altijd zal wel enige onbalans in de railspoel optreden. Ligt er een boog in de baan, dan zal het ene been iets langer zijn dan het andere been. Het gevolg is dat het ene been meer weerstand heeft dan het andere been en dat de stroom zich dus niet gelijkelijk over beide benen zal verdelen. Ook een defecte langsverbinding kan onbalans geven, daar de stroom dan via de klemplaten moet gaan en iets meer weerstand zal ondervinden.

De kern is om deze reden dan ook erg zwaar uitgevoerd, zodat enige onbalans niet direkt de gehele kern in verzadiging zal brengen. Bovendien bevat de kern een luchtspleet. Dit komt de toelaatbare onbalans ten goede, maar vermindert de wisselstroom weerstand van de railspoel. De railspoel is nu zo gedimensioneerd dat de wisselstroomimpedantie bij 1 V, 50 Hz (gemeten tussen A en B) hoogstens met 10% afneemt, wanneer het verschil tussen de stromen I_1 en I_2 300 A bedraagt.

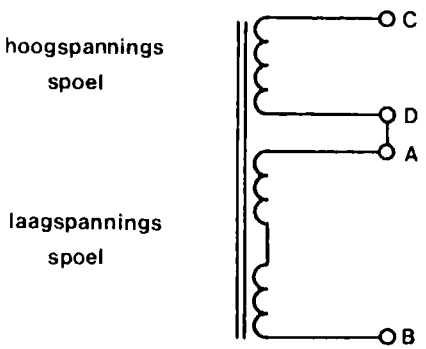


Men kan dus ruwweg zeggen dat de sectie een onbalans van ca. 300 A kan verdragen.

De wisselstroom weerstand tussen de punten A en B bedraagt bij 1 V, 50 Hz ca. 1 ohm. In de schakeling van paragraaf 5.1 hadden de railspoelen een hogere impedantie, omdat geen luchtspleet werd toegepast, maar toen moest men echter een grote gevoeligheid voor onbalans voor lief nemen. Past men zonder meer de gebruikelijke railspoel toe, dan vormen de railspoelen een belasting van 2 maal 0,1 ohm parallel. Het is duidelijk dat een treinshunt van 0,3 ohm nauwelijks door het relais "gezien" zal worden. Men plaatst daarom een condensator parallel aan de spoel en stemt de kring af op resonantie. De impedantie tussen de punten A en B kan dan verhoogd worden. Deze verhoging bedraagt in de praktijk minimaal 8 maal. De railspoelen zijn nu elk ca. 1 ohm voor een wisselspanning van 50 Hz (bij 75 Hz zelfs iets hoger). De schakeling is nu in staat een treinshunt van 0,3 ohm op te merken.

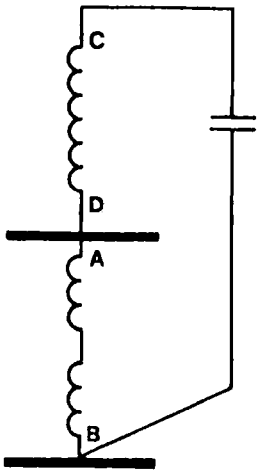


Daar in de praktijk een enorm grote condensator nodig is om de railspoel op deze manier in resonantie te brengen, heeft men een tweede wikkeling op de railspoel aangebracht. Deze tweede wikkeling heet de secundaire- of hoogspanningswikkeling.



De hoogspanningsspoel bestaat uit 470 windingen van 0,785 mm^2 lakdraad en is in serie met de laagspanningsspoel geschakeld. Hierdoor ontstaat een transformatorverhouding van 1 : 80. Wordt de condensator niet aan-

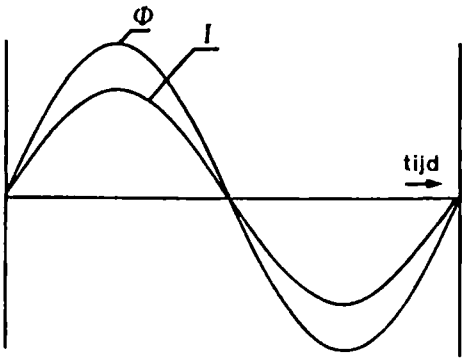
gesloten op de punten A en B maar op de punten C en B dan kan met een 80^2 = 6400 maal kleinere condensator worden volstaan (zie bijlage V). Voor 50 Hz komt men dan uit op een condensator van ca. 5 µF en bij 75 Hz op ca. 2 µF.



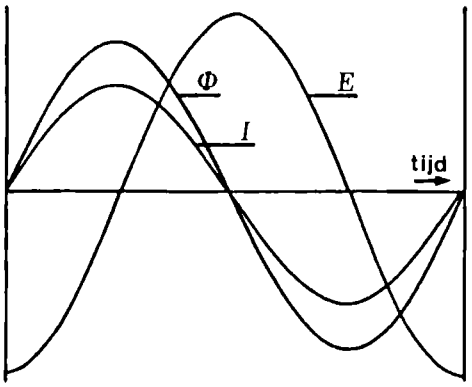
5.3 DE SPOEL

In paragraaf 5.2 is gesteld dat de railspoel in resonantie moet zijn om te voorkomen dat de railspoelen a.h.w. de sectie kortsluiten en daarmee de instelling van de spoorstroomloop bemoeilijken. Om tot een goed begrip van de werking van een dubbelbenige sectie te komen is het daarom noodzakelijk een aantal verschijnselen m.b.t. resonantie te behandelen.

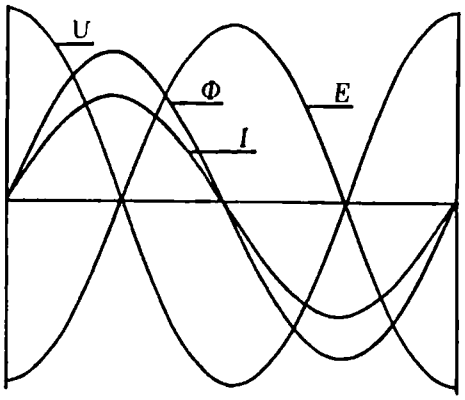
Loopt er door een spoel een sinusvormige stroom I, dan wordt in die spoel een sinusvormig magnetisch veld Φ opgewekt. Dit veld is in fase met de stroom.



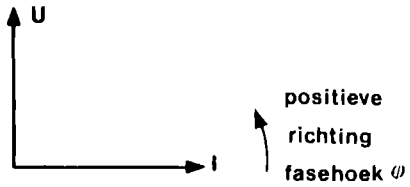
Zoals bekend, wekt een wisselend magnetisch veld een EMK op in de spoel en wel zodanig dat de geïnduceerde spanning E het grootst is als het veld maximaal snel verandert. Dit is wanneer de stroom door de "nul" gaat. Bovendien geldt dat de spanning negatief is als het veld in positieve richting verandert.
De spanning E heeft daarom de volgende vorm:



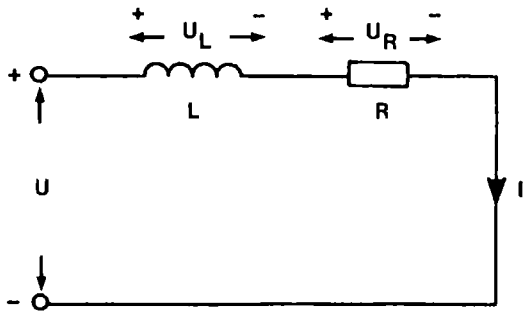
In de redenering werd er vanuit gegaan dat er een stroom I loopt. Om deze stroom mogelijk te maken zal een spanning U aanwezig moeten zijn. Deze dient zo groot te zijn dat de opgewekte spanning E overwonnen wordt. De spanning U zal daarom in tegenfase zijn met de EMK en dezelfde grootte hebben.



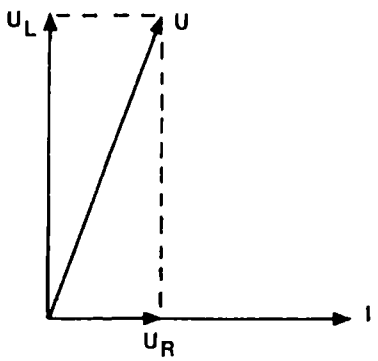
Uit de grafiek blijkt dat de aangelegde spanning U 90^{o} voorijlt op de stroom. In vectordiagram:



Een (ideale) spoel zal, als deze op een wisselspanning is aangesloten, geen vermogen opnemen. De energie die bij de ene sinushelft in de spoel wordt opgeslagen, zal bij de volgende sinushelft weer worden afgegeven. Stel nu dat de spoel niet ideaal is maar een zekere weerstand R bezit. Men kan de spoel dan opgebouwd denken uit een zuivere spoel L en een zuivere weerstand R.



Over de spoel staat nu een spanning U_L die 90^{o} voorijlt op de stroom I. Over de weerstand R staat een spanning U_R die in fase is met de stroom. In vectordiagram:



De benodigde spanning U om de stroom I te laten lopen wordt bepaald door de som van U_L en U_R. Het blijkt nu dat de weerstand van de spoel tot gevolg heeft dat de spanning over de spoel niet meer 90^o voorijlt op de stroom maar iets minder b.v. 80^o.

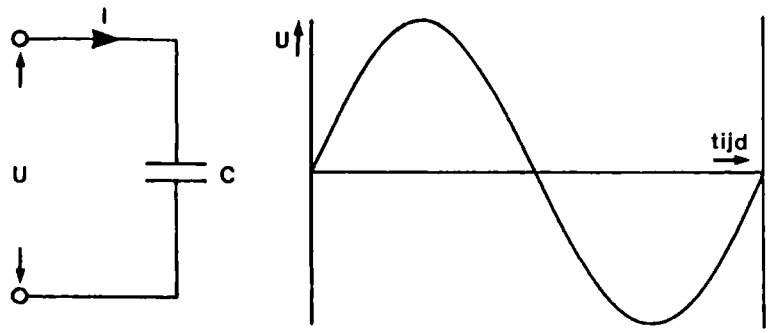
In dit verband wordt de kwaliteitsfactor Q van een spoel bepaald door de verhouding tussen L en R en wel als volgt:

$$Q = \frac{U_L}{U_R}$$

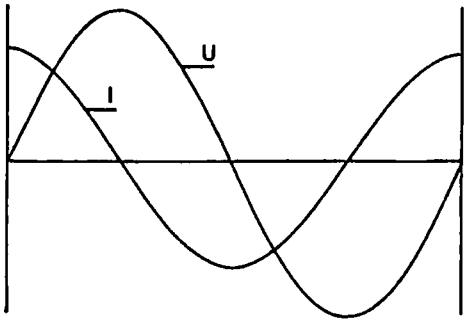
Naarmate U_R groter is t.o.v. U_L wordt de kwaliteitsfactor van de spoel lager. De kwaliteitsfactor is o.a. een maat om te testen of een railspoel goed is (zie paragraaf 5.5).

5.4 DE CONDENSATOR

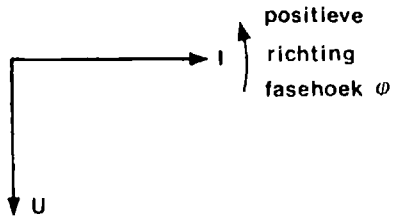
Wordt op een condensator een sinusvormige wisselspanning U aangesloten, dan zal de condensator afwisselend positief en negatief geladen worden. De condensator wordt opgeladen door het feit dat er een stroom I gaat lopen. Tegelijkertijd wordt dan in de condensator een spanning U opgebouwd die het verder laden tegenwerkt.



De laadstroom is het grootst als de spanning door de "nul" gaat. De spanning neemt op dit moment in korte tijd relatief snel toe en er is relatief veel stroom nodig om de condensator in dit tempo op te laden. Heeft de spanning na verloop van tijd zijn maximum waarde bereikt en zal deze vervolgens weer afnemen, dan is de laadstroom afgenomen tot de waarde "nul" en zal vervolgens van teken omkeren. De condensator moet zijn lading kwijt en begint zich te ontladen. Voor een hele periode van de sinusvorm zal de stroom er daarom als volgt uitzien:



Het blijkt dat de stroom 90^{o} voorijlt op de spanning, of uitgaande van de stroom, dat de spanning 90^{o} naijlt op de stroom. In vectordiagram:

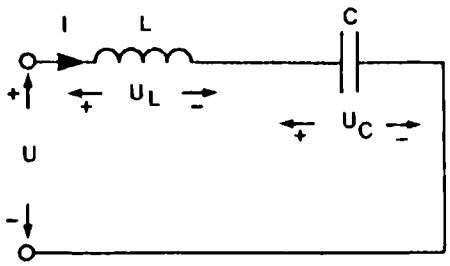


Evenals dit bij de ideale spoel het geval is zal een condensator, als deze op een sinusvormige wisselspanning is aangesloten, geen vermogen opnemen.

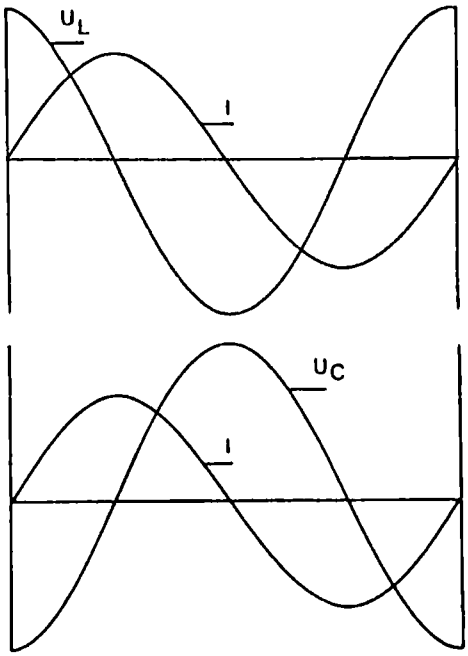
De energie die in de ene sinushelft wordt opgenomen, wordt in de volgende sinushelft weer afgegeven.
Men kan er bij de spoorstroomloopcircuits van uitgaan dat de condensator als ideaal beschouwd kan worden.

5.5 SPOEL EN CONDENSATOR IN SERIE

Plaatst men een spoel en condensator in serie, dan zal een resonantiekring ontstaan, wanneer de impedantie van de spoel gelijk is aan de impedantie van de condensator.

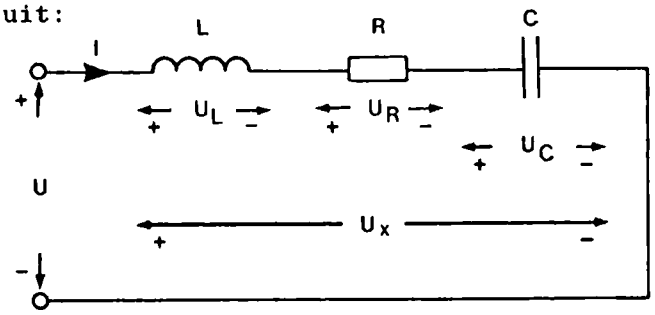


In een seriekring is de stroom door de spoel en de condensator dezelfde. Tekent men dus, uitgaande van de stroom I, de spanning U_L over de spoel en de spanning U_C over de condensator, dan ziet men dat bij resonantie deze spanningen even groot zijn en bovendien in tegenfase zijn. De voedingsspanning U moet derhalve nul volt zijn, immers: $U = U_L + U_C$

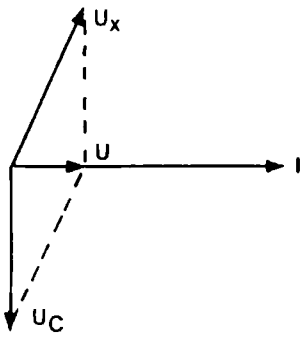


De (ideale) seriekring vormt dus voor de voedingsbron een kortsluiting.

Stel dat de spoel niet ideaal is, maar opgebouwd gedacht is uit een zuivere spoel L en een weerstand R. Het vervangingsschema van de seriekring ziet er dan als volgt uit:

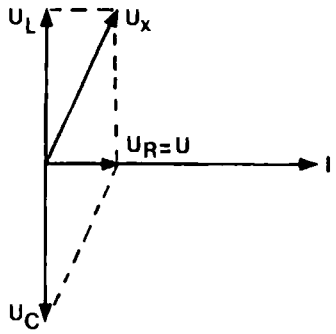


De kring is in resonantie als het vectordiagram de volgende vorm heeft:



Belangrijke punten zijn:
- De stroom door de kring is in fase met de aangelegde spanning.
- De spanning over de spoel en de spanning over de condensator zijn veel groter dan de aangelegde spanning. (Men spreekt daarom ook wel van spanningsresonantie. De spanning over de spoel is dan n.l. maximaal).

De spanning U_X is opgebouwd uit de spanningen U_L en U_R. Tekent men deze spanningen in het vectordiagram, dan blijkt dat:
- de aangelegde spanning bepaald wordt door de spanning U_R over de weerstand;
- de spanning U_L even groot is als de spanning U_C. Beide spanningen staan in tegenfase en heffen elkaar op.



In het hier getekende vectordiagram is de weerstand R laag t.o.v. de impedantie van de spoel. Men kan daarom stellen dat:

$$U_X \approx U_L = U_C$$

Wil men dus weten in welke mate U_X groter is dan de aangelegde spanning, of met andere woorden: "hoe groot de spanningsopslingering is", dan kan men gebruik maken van de kwaliteitsfactor van de spoel. Er geldt n.l.:

$$\frac{U_X}{U_U} = \frac{U_X}{U_R} \approx \frac{U_L}{U_R} = Q$$

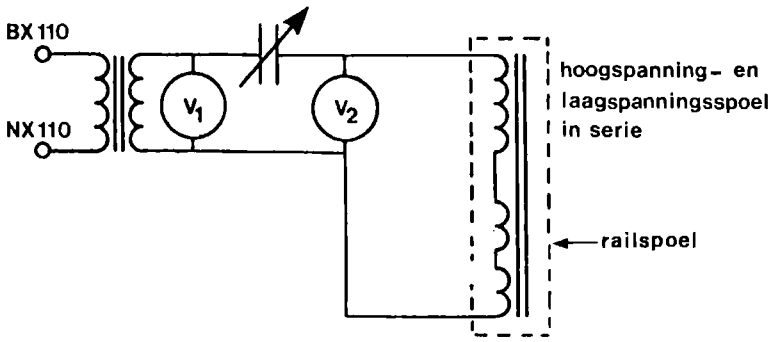
$$\text{dus } \frac{U_X}{U} \approx Q \longrightarrow U_X \approx QU \qquad \text{(bij res.)}$$

Voor de spanning U_C geldt:

$$\frac{U_C}{U} = \frac{U_L}{U_R} = Q \longrightarrow U_C = QU \qquad \text{(bij res.)}$$

Deze formules mogen bij railspoelen toegepast worden.

Voorbeeld:
Om te bepalen of een railspoel nog goed functioneert controleert men de condensatorwaarde waarbij de railspoel in resonantie is en bepaald men de kwaliteitsfactor. De schakeling is als volgt: (railspoel uit het spoorstroomloopcircuit verwijderd)



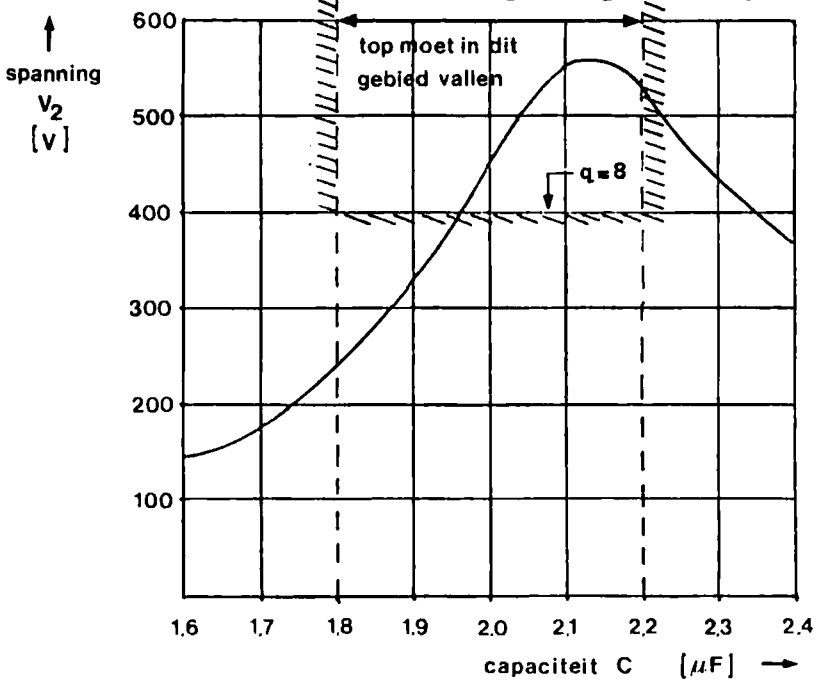
De railspoel is goed als deze in resonantie is bij de volgende condensatorwaarden.

Frequentie	In resonantie bij:	Kwaliteitsfactor
50 Hz	C = 4.5 - 5.5 µF	groter dan 8
75 Hz	C = 1.8 - 2.2 µF	groter dan 8

Stel men neemt V_1 = 50 volt, 75 Hz.
Bij verschillende condensatorwaarden meet men nu V_2.
Stel men verkrijgt de volgende meetresultaten.

C	V_1	V_2	Opmerkingen
1.6 µF	50 V	146 V	
1.7 µF	50 V	187 V	
1.8 µF	50 V	248 V	
1.9 µF	50 V	336 V	
2.0 µF	50 V	463 V	
2.1 µF	50 V	568 V	← resonantie
2.2 µF	50 V	543 V	
2.3 µF	50 V	439 V	
2.4 µF	50 V	352 V	

De meetresultaten leveren de volgende grafiek op:



Het blijkt dat de top ligt bij 2.1 μF. Dit is het resonantiepunt. De railspoel voldoet daarmee al aan één voorwaarde. De kwaliteitsfactor is ongeveer gelijk aan de mate waarin de spanning opgeslingerd wordt.
In formule:

$$Q \approx \frac{V_2}{V_1}$$

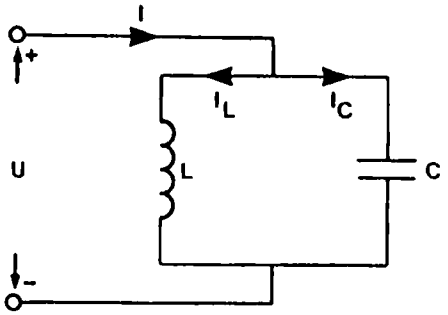
dus $Q \approx \frac{568}{50} \approx 11$

De kwaliteitsfactor is hoger dan 8, dus ook aan de tweede voorwaarde is voldaan.

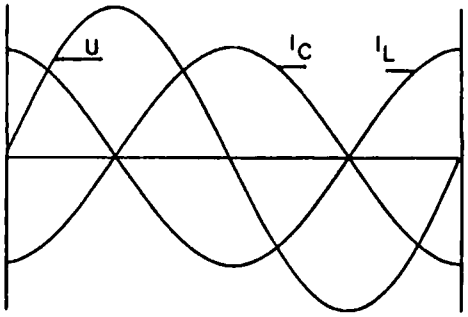
In de grafiek is af te lezen dat de Q-factor goed is. De top van de grafiek ligt n.l. boven de lijn Q = 8. Deze lijn is getekend op 8 x 50 V = 400 V.

5.6 SPOEL EN CONDENSATOR PARALLEL

Plaatst men een spoel en condensator parallel, dan zal eveneens een resonantiekring kunnen ontstaan. Is de spoel ideaal, dan zal resonantie ontstaan, wanneer de impedantie van de spoel gelijk is aan de impedantie van de spoel.

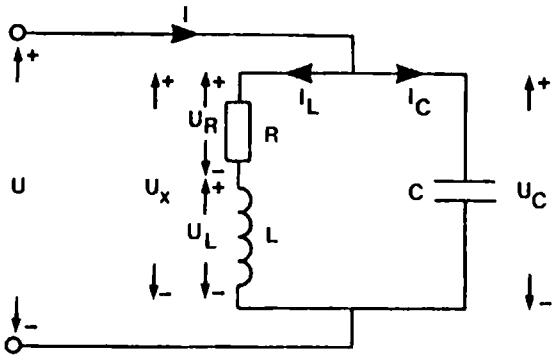


In de parallelkring staat over de spoel dezelfde spanning als over de condensator. Tekent men dus, uitgaande van de spanning U, de stroom I_L door de spoel en de stroom I_C door de condensator, dan ziet men dat bij resonantie deze stromen even groot zijn en bovendien in tegenfase zijn. De stroom I moet derhalve nul ampère zijn, immers: $I = I_L + I_C$

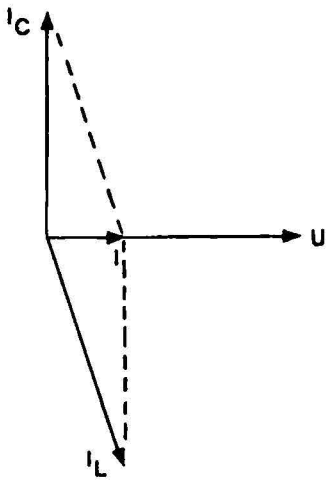


Naar buiten toe lijkt er geen stroom te lopen. De stroom I is nul, maar in de kring zelf loopt wel stroom. Hier vindt energie-uitwisseling plaats tussen de spoel en de condensator. De energie slingert a.h.w. steeds heen en weer tussen de spoel en de condensator. Voor de voedingsstroom vormt de ideale kring bij resonantie geen belasting en heeft dan schijnbaar een oneindig hoge impedantie.

In de praktijk zal de spoel niet ideaal zijn, maar een zekere weerstand R bezitten. Het vervangingsschema ziet er dan als volgt uit:



De kring is in resonantie als het vectordiagram de volgende vorm heeft:

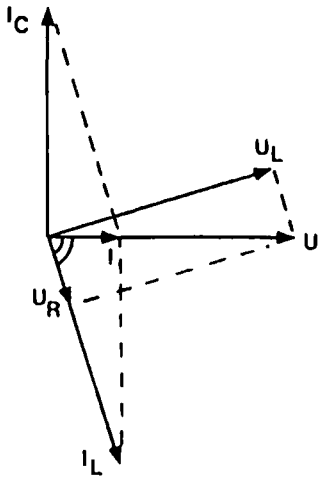


Men ziet dat:
- de kring in resonantie is als de voedende stroom in fase is met de aangelegde spanning;
- de stroom door de spoel en de stroom door de condensator veel groter zijn dan de voedende stroom. (Deze vorm van resonantie noemt men daarom ook wel stroomresonantie; De stroom door de spoel is dan n.l. het grootst.)

Evenals dat bij de seriekring geldt voor de spanningsopslingering, kan men bij de parallel-kring de volgende vuistregel hanteren.

$I_L \approx QI$ (bij resonantie)

Dit kan als volgt aangetoond worden:
De spanning U_R over het zuiver ohmse-gedeelte van de spoel is in fase met de stroom I_L door de spoel. De spanning U_L over het zuivere spoelgedeelte L ijlt 90^o voor op deze stroom. Uit het vectordiagram blijkt dat de vectoriële som van U_R en U_L gelijk is aan U.



Uit het vectordiagram kan men aflezen dat I zich verhoudt tot I_L als U tot U als U_R tot U.
In formule:

$$\frac{I_L}{I} = \frac{U}{U_R}$$

Bovendien blijkt uit het vectordiagram dat U_L nagenoeg even groot is als U. Dus:

$$\frac{I_L}{I} \approx \frac{U_L}{U_R} = Q$$

Hieruit volgt $I_L \approx QI$

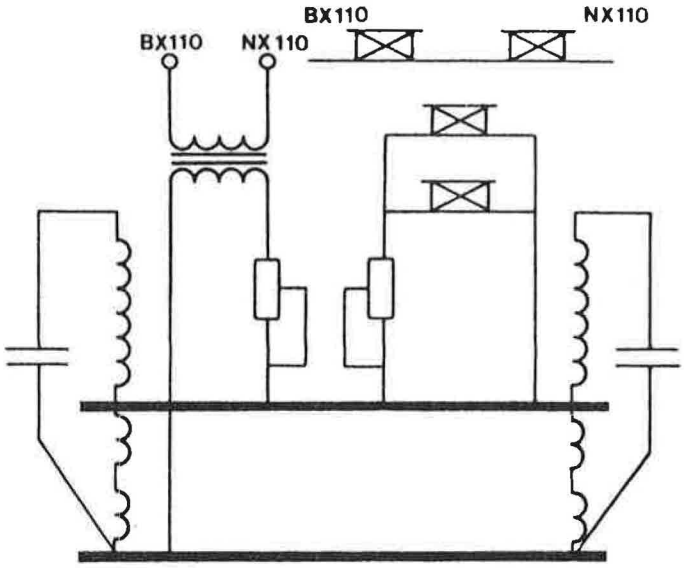
Deze formule mag bij railspoelen toegepast worden.

Voorbeeld:
Stel dat de spoel een kwaliteitsfactor heeft van Q = 10. In het geval dat geen condensator aanwezig is zal de spoel b.v. 1 A trekken. Als nu een condensator parallel geplaatst wordt, dan zal de kring bij res. $\frac{1}{10}$ A trekken. De impedantie bij resonantie wordt dus schijnbaar met een factor 10 verhoogd.

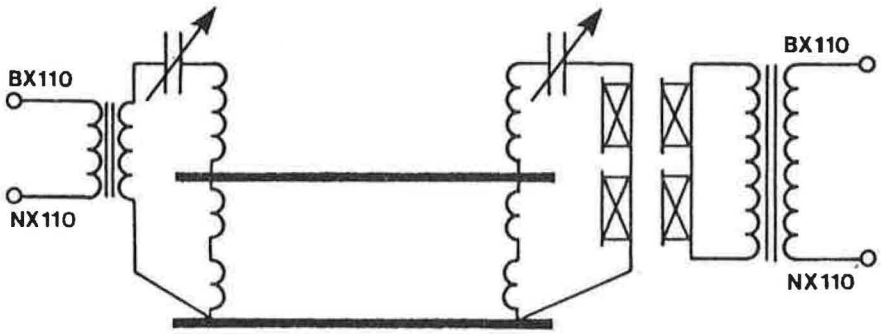
Voorbeeld:
De impedantie van de laagspanningsspoel van een willekeurige railspoel bedraagt 0.1 ohm. Brengt men de spoel in resonantie door hieraan parallel een geschikte condensator te plaatsen dan blijkt dat de kring een impedantie heeft van 1.2 ohm. De kwaliteitsfactor van de kring is dus blijkbaar ca. 12.

5.7 SCHAKELING ZONDER VOORSCHAKELWEERSTANDEN

In paragraaf 5.2 is aangegeven hoe de railspoelen m.b.v. een hoogspanningswikkeling in resonantie gebracht kunnen worden. De schakeling zou er dan als volgt uit kunnen zien.



In hoofdstuk 4 is aangetoond dat de weerstanden een belangrijke functie hebben bij het tot stand brengen van de gewenste faseverschuiving tussen de lokale fase en de spoor fase van het relais. Door nu gebruik te maken van de faseverschuivingen in de resonantiekringen is het mogelijk de schakeling goed te laten functioneren zonder daarbij de voorschakelweerstanden nodig te hebben. De schakeling in deze uitvoering wordt bij de NS toegepast.

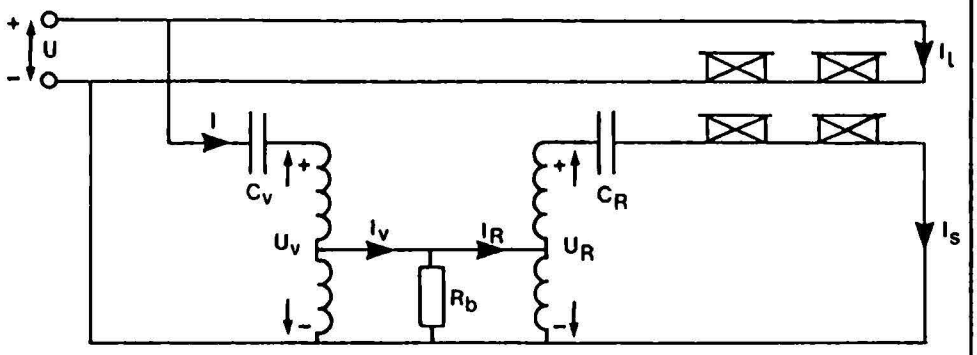


De voedingsbron en de spoor fase van het relais zijn in de respectievelijke resonantiekringen van voedingszijde en relaiszijde geplaatst. Aan de voedingszijde ontstaat op die manier een seriekring en de relaiszijde een parallel-kring. De spoelen van de spoor fase van het relais zijn in serie geschakeld.

5.8 HET VECTORDIAGRAM

Om een goed begrip te hebben van de wijze waarop in de dubbelbenige sectie de faseverschuiving tussen de spoor fase en de lokale fase tot stand komt, is het noodzakelijk het vectordiagram van de schakeling te bespreken.

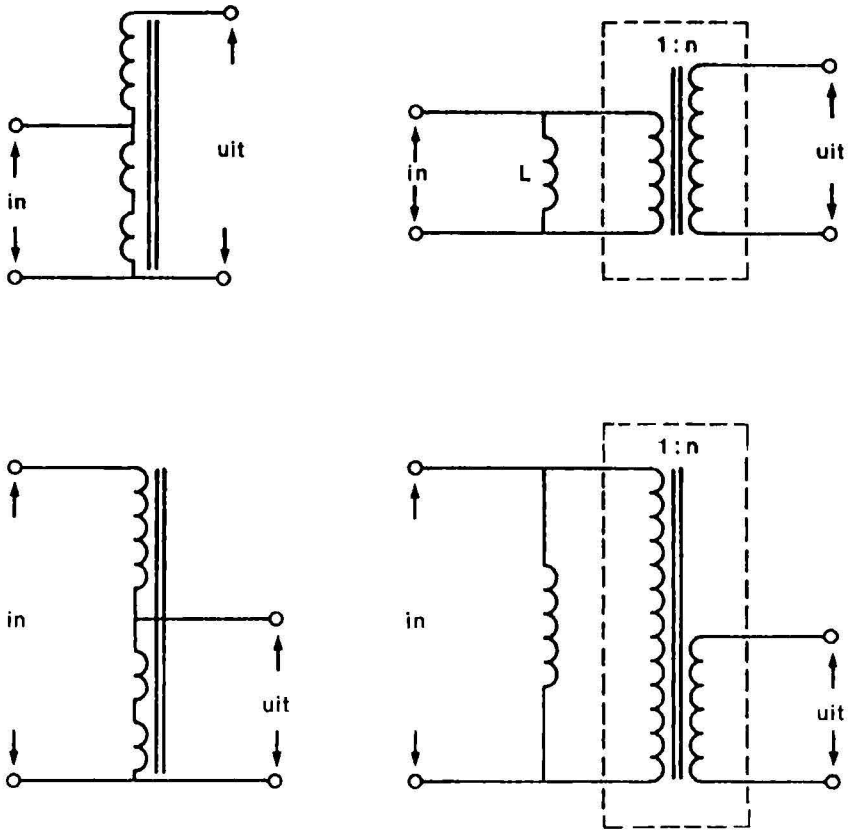
Uitgaande van de principe-opbouw krijgt men het volgende schema:



Er zijn enkele vereenvoudigingen toegepast, zoals:
- de spoorstaaf weerstand is verwaarloosd (toelaatbaar bij een korte sectie);
- de voedingstransformatoren zijn weggelaten (het gaat immers om de fase en men mag veronderstellen dat de transformatoren geen faseverschuiving veroorzaken).

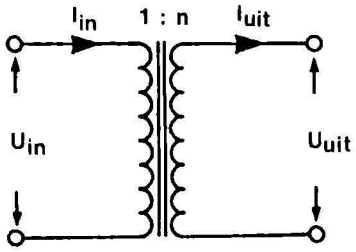
Een volgende vereenvoudiging is mogelijk, wanneer de railspoel opgebouwd gedacht wordt uit een ideale transformator en een zelfinductie.
Deze vereenvoudiging komt later het beter begrip van het vectordiagram ten goede.

De railspoel heeft dan het volgende schema.



De bovenste schakeling is de railspoel aan de relaiszijde, de onderste schakeling de railspoel aan de voedingszijde. Steeds is aan de ingang van de schakeling een zelfinductie geplaatst. De stroom door deze zelfinductie is de stroom die nodig is om het magneetveld op te bouwen. Hoe beter de transformator, hoe lager deze stroom is. Bij een ideale trafo is deze magnetiseringsstroom dus nul. Achter de zelfinductie is zo'n ideale transformator getekend. Is de transformatorverhouding van een ideale trafo 1 : n, dan geldt:

$$U_{uit} = n\ U_{in}$$
$$I_{uit} = \frac{1}{n} = I_{in}$$



Kijkt men nogmaals naar het principe-schema aan het begin van deze paragraaf, dan ziet men dat de railspoel aan de voedingszijde de spanning eerst omlaag transformeert en dat de railspoel aan de relaiszijde deze spanning weer in gelijke mate omhoog transformeert.

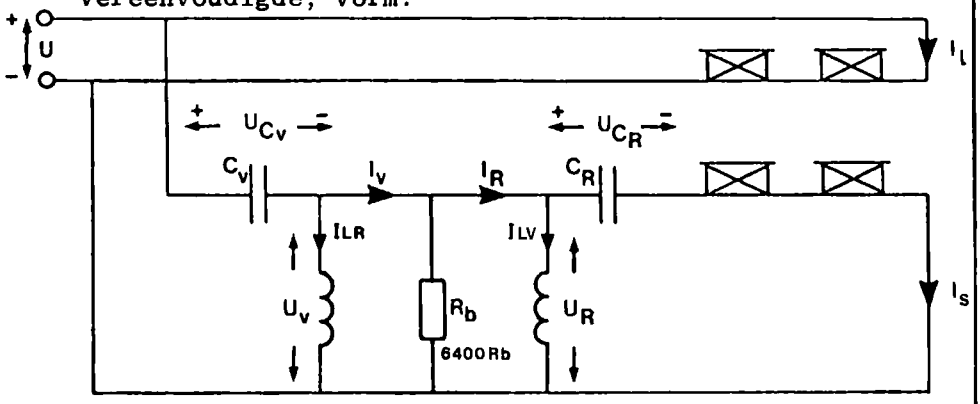
Nu is het voor het opstellen van het vectordiagram geen probleem om dit omlaag en vervolgens omhoog transformeren over te slaan en ideale transformatoren van 1 : 1 toe te passen. Deze heeft uiteraard de volgende vorm.



Het vervangingsschema van de dubbelbenige sectie wordt daardoor eenvoudiger. Wel is het noodzakelijk om de ballastimpedantie mee te transformeren. De transformatieverhouding van de railspoel voedingszijde is 80 : 1. De ballastweerstand is naar de voedingszijde getransformeerd een factor 80^2 groter.

Dus R_b wordt: $80^2 R_b = 6400 R_b$

Het vervangingsschema heeft nu de volgende, sterk vereenvoudigde, vorm:



Om van deze tamelijk ingewikkelde schakeling een vectordiagram te kunnen opzetten, verdient het de voorkeur om "achteraan" te beginnen. Men neemt daartoe een stroom I_s aan, die door de spoor fase van het relais loopt. Men werkt naar "voren" en vindt dan de benodigde voedingsspanning U en de daarbij behorende fase t.o.v. I_s.

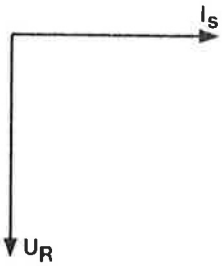
Weet men de spanning U, dan kan men de stroom I_l door de lokale fase van het relais bepalen en de fase t.o.v. I_s. De grootte van I_l en van I_s zijn nu bekend evenals de fasehoek tussen beide stromen en dus weet men hoe groot het relaiskoppel is.

Het feit dat de railspoelen op resonantie zijn afgestemd, maakt dat elke kleine verstemming grote invloed heeft op het vectordiagram. De fasehoek tussen I_s en I_1 verandert sterk, wanneer men de afstemcondensatoren varieert. In dit voorbeeld wordt de situatie uitgewerkt waarbij exact op resonantie is afgestemd.

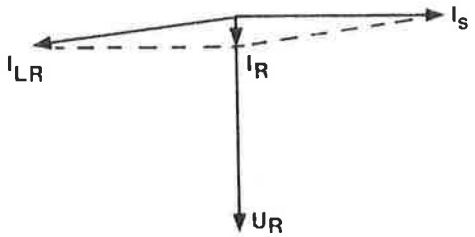
Stel I_s heeft de volgende grootte en richting:



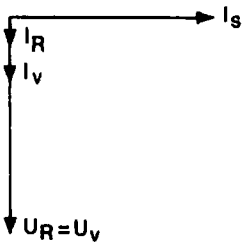
Deze stroom loopt door de condensator C_R. De impedantie van deze condensator is veel groter dan de impedantie van het relais. De spanning U_R zal dus nagenoeg even groot zijn als de spanning over C_R. Zoals bekend ijlt de spanning over een condensator 90^o na op de stroom. U_R is daarom als volgt te tekenen:



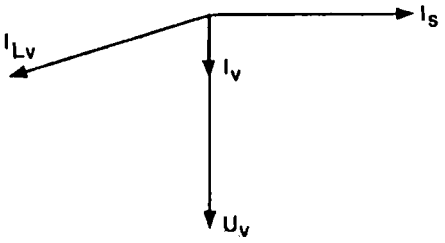
De stroom I_{LR} door de railspoel aan de relaiszijde, wordt bepaald door het feit dat de railspoel zich sterk inductief gedraagt. Deze stroom ijlt bijna 90^o na op de aangeboden spanning U_R. Omdat de railspoel in resonantie is, zal I_{LR} ongeveer even groot zijn als I_S. Omdat I_S en I_{LR} vrijwel in tegenfase zijn, zal de benodigde stroom I_R, die vanuit de spoorsectie loopt om deze parallelkring te voeden, betrekkelijk gering hoeven te zijn (zie ook paragraaf 5.6). I_R is zo laag mogelijk als deze in fase is met U. Bedenk dat de stroom in de sectie 80 x groter is dan I_R.



De stroom I_V aan de voedingszijde van de spoorsectie zal iets groter moeten zijn dan I_R omdat de ballastimpedantie een zekere hoeveelheid stroom vraagt. Wel zal de spanning U_V aan de voedingszijde van de sectie dezelfde grootte hebben als U_R, omdat de impedantie van de spoorstaven verwaarloosd werd.



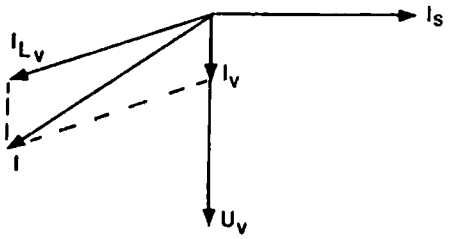
De stroom I_{LV} door de railspoel aan de voedingszijde zal, evenals bij de railspoel aan de relaiszijde, nagenoeg 90^o naijlen op de aangelegde spanning, dus nagenoeg 90^o op U_V. De grootte van I_{LV} is gelijk aan de grootte van I_{LR} omdat $U_V = U_R$.



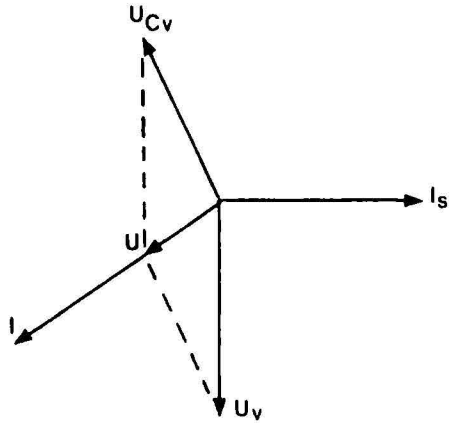
De totaalstroom I door de condensator C_V wordt bepaald door:

$I = I_V + I_{LV}$

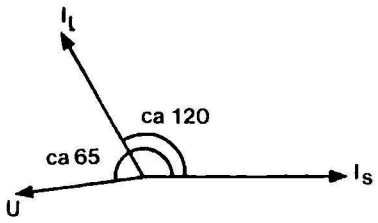
Vectorieel opgeteld heeft I de volgende grootte en richting:



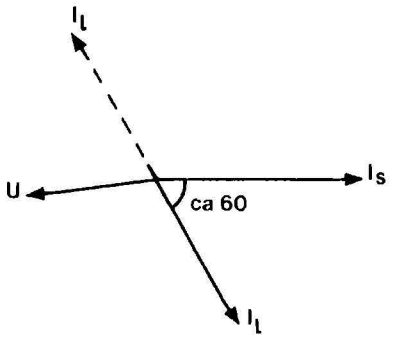
De spanning U_{CV} over de condensator C_V ijlt 90^o na op de stroom I. Stelt men de schakeling op resonantie in dan is de aangelegde spanning U in fase met I. De spanning U_{CV} moet dan de grootte hebben, als in het vectordiagram getekend:



Het blijkt dat U nagenoeg in tegenfase is met de stroom I_s door het spoorrelais. De stroom I_1 door de lokale fase van het relais ijlt ca. 65^o na op de spanning U. De impedantie van de lokale fase is n.l. sterk inductief. (Deze waarde geldt zowel bij 50 als 75 Hz) In het vectordiagram ziet men dat de fasehoek ψ tussen I_1 en I_s ca. -120^o bedraagt.



Het feit dat ψ negatief is, betekent dat een negatief koppel wordt verkregen. Er is nu voor gekozen om I_1 180^o in fase te keren door de aansluitingen van de voedingsspanning op de lokale fase andersom te verbinden. De BX 110 komt aan punt 64 i.p.v. punt 61 en de NX 110 aan punt 61 i.p.v. punt 64. In het vectordiagram ontstaat nu de volgende situatie:

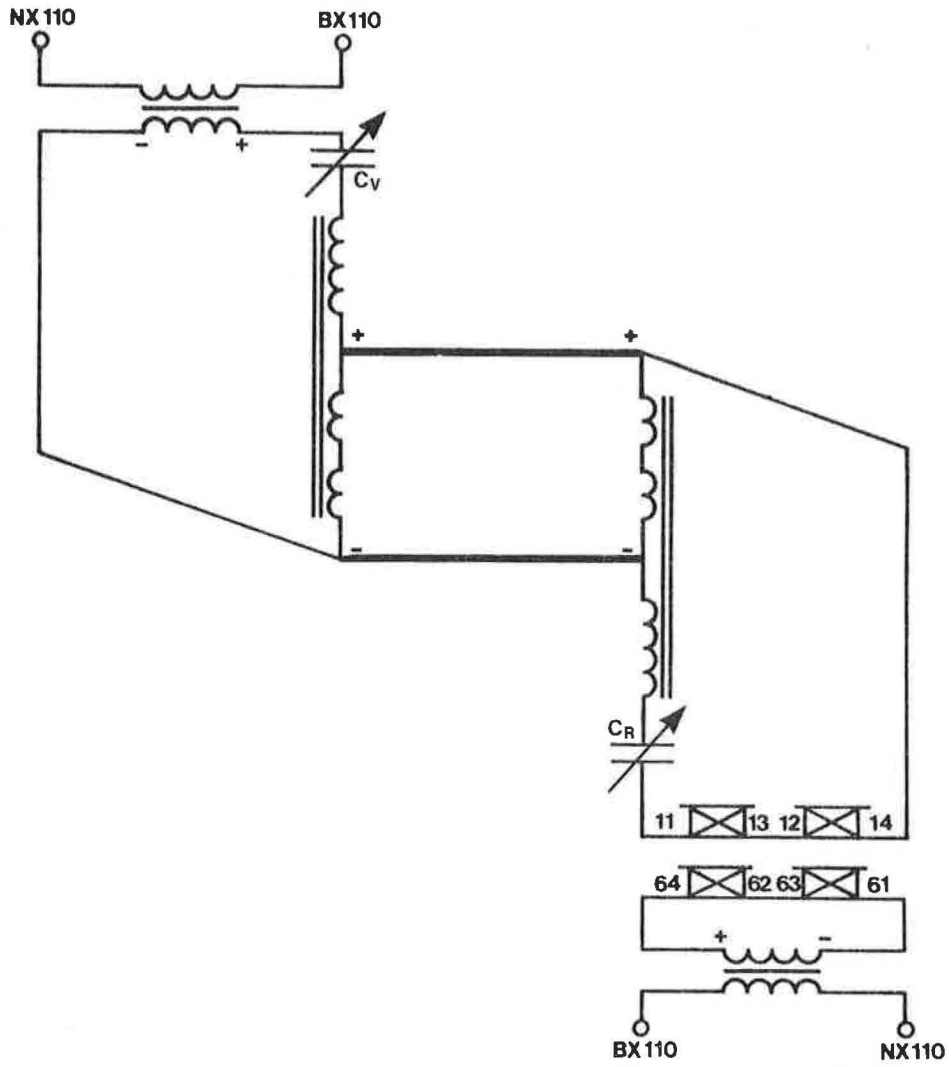


De fasehoek is nu ca. $+60^o$. Bedenkt men dat het relaiskoppel bepaald wordt door de formule:

$K = I_1 I_s \sin \psi$,

en dat het grootste koppel verkregen wordt bij $\sin \psi = 1$, dus bij $\psi = 90^o$, dan blijkt dat $\psi = 60^o$ een zeer goede fasehoek is. Berekent men $\sin 60^o$, dan volgt hieruit dat deze waarde ca. 0,87 bedraagt, hetgeen vrij goed

overeenkomt met sin 90^{o}.
In de uiteindelijke toepassing bij de NS is het schema van de dubbelbenige sectie als volgt:



Dat de railspoel aan de relaiszijde "onder de schakeling hangt" verandert aan het vectordiagram niets (ga dit na).

Nu zal in de praktijk niet afgestemd worden op maximale stroom I_S door de spoor fase, maar op maximum koppel. Het blijkt dat beide instellingen dicht tegen elkaar aanliggen en dat het hierbij getekende vectordiagram representatief is voor een spoorstroomloop die ingesteld is op maximaal positief koppel. Dit zal in de volgende paragraaf uitgewerkt worden.

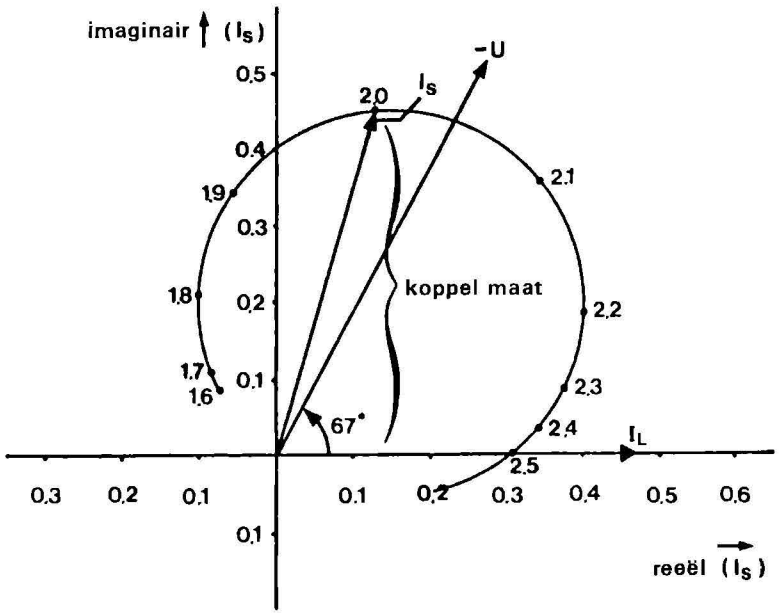
5.9 HET KOPPEL

Bij de instelling van een dubbelbenige sectie zijn vele combinaties van de beide condensatoren mogelijk. De condensatoren hebben een sterke invloed op de fasehoek ψ in het relais en beïnvloeden ook de grootte van de stroom door de spoor fase. Noemt men het koppel dat men krijgt als de railspoelen beide op resonantie zijn afgestemd een positief koppel, dan blijkt door een relatief geringe toename in condensatorwaarden, een negatief koppel te ontstaan. Het is zelfs vaak heel goed mogelijk om na ompoling van b.v. de lokale fase, het relais op dit negatieve koppel te laten werken.

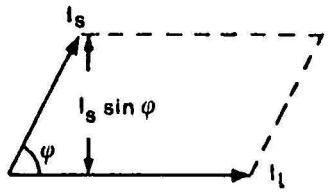
Een schakeling die werkt met een positief koppel noemt men een inductief ingesteld spoor. Is het koppel negatief dan zegt men dat het spoor capacitief is ingesteld. De woorden inductief en capacitief komen voort uit het feit dat men een negatief koppel krijgt als men meer capaciteit in de schakeling brengt.

Om een indruk te geven van de mate waarin de stroom I_s voor wat betreft zijn grootte en fase varieert als functie van de condensatorwaarden, is onderstaand polair diagram getekend. Dit diagram verkrijgt men als men uitgaat van het vectordiagram van paragraaf 5.8. In deze paragraaf is I_s op de nul graden lijn gelegd; nu wordt I_l op de nul graden lijn getekend. De spanning U ligt dan ook vast op -115°. Als men nu de condensatoren in waarde laat variëren, dan zal I_s verdraaien en in grootte veranderen. De baan die de punt van de vector I_s beschijft is getekend.

Nu kan men vele van deze banen tekenen. Hier is gekozen voor de baan waarbij de condensator aan de voedingszijde C_V en aan de relaiszijde C_R steeds in gelijke mate veranderen. Het punt 1.8 wil zeggen: $C_V = C_R = 1.8\ \mu F$. Het diagram geldt voor een korte sectie bij 75 Hz.



In het vlak boven de horizontale lijn ijlt I_s vóór op I_l en is dus sprake van een positief koppel; in het vlak onder de lijn is sprake van een negatief koppel. De grootte van het koppel wordt bepaald door de opp. van het parallellogram dat door de vectoren I_s en I_l wordt opgespannen.

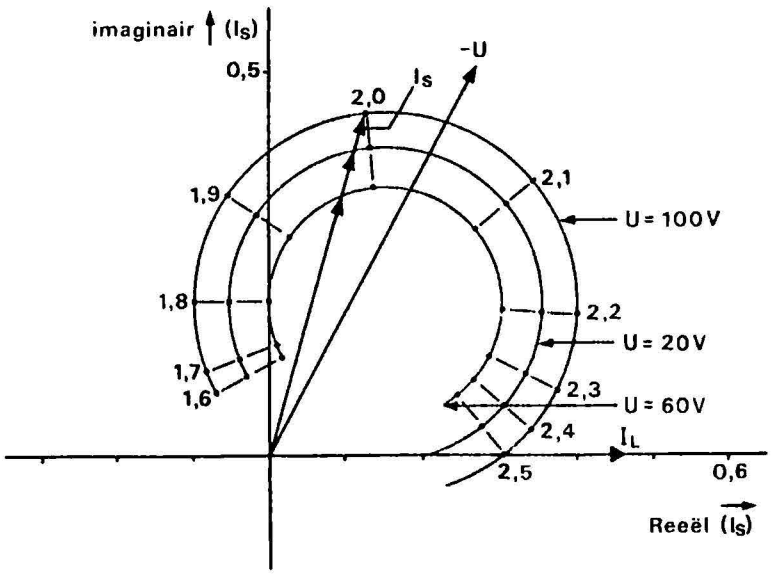


Nu is in dit polaire diagram I_l steeds constant en kan men stellen dat de oppervlakte bepaald wordt door de lengte van de loodlijn vanuit de punt van de vector I_s op de vector I_l. Deze loodlijn heeft de lengte I_s sin ψ en door deze lengte met I_l te vermenigvuldigen heeft men de koppelformule weer terug.

Men kan uit het vectordiagram aflezen dat:
- de lengte van I_s maximaal is bij $C_V = C_R = 2.05$ µF;
- het koppel het grootst is bij $C_V = C_R = 2.0$ µF.
Het blijkthier dat de instelling op max. positief koppel nagenoeg overeenkomt met de instelling op maximale stroom I_s.

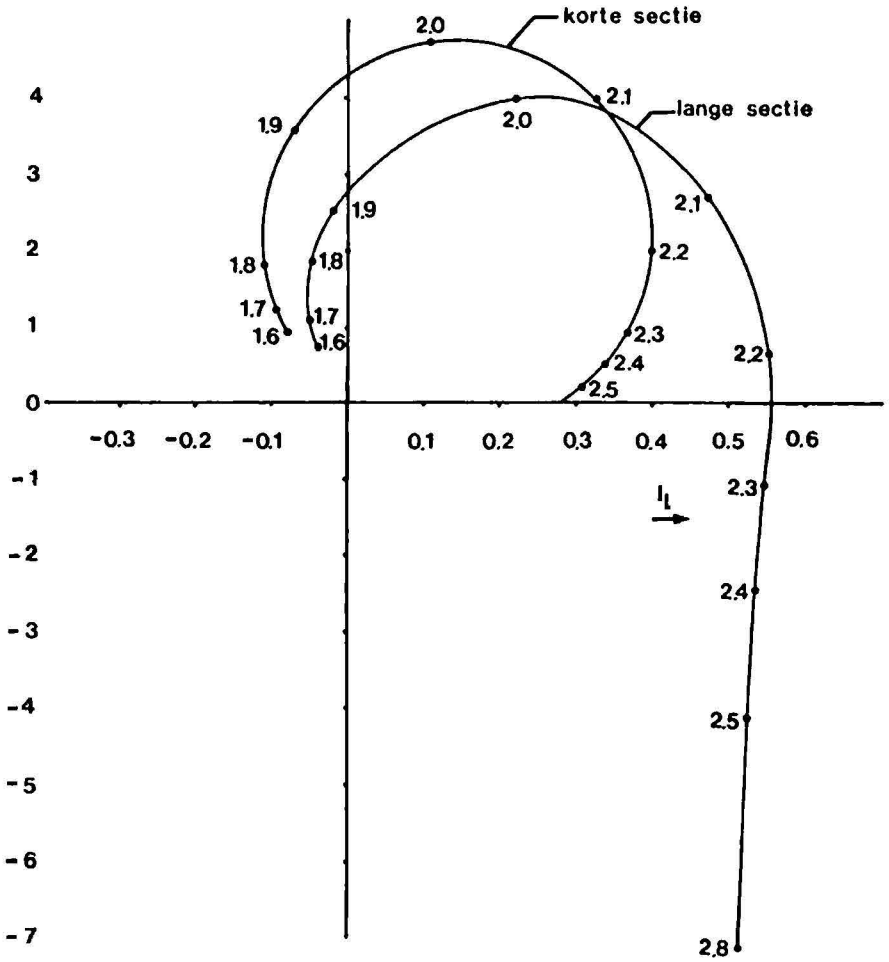
De sectie wordt m.b.v. een koppelmeter zo ingesteld dat deze op max. positief koppel staat. Deze instelling is de meest veilige instelling. Hierop wordt in hoofdstuk 5.10 en 5.11 teruggekomen.

Het diagram laat het koppel zien bij een voedingsspanning van 100 V en een spanning van 110 V op de lokale fase. Zal men echter via de voedingstransformator een andere spanning kiezen, dan zal de fasehoek ψ niet veranderen, omdat de diverse impedanties in het circuit gelijk blijven. Wel verandert de grootte van I_s. Het verloop van I_s bij verschillende voedingsspanningen is in het onderstaande diagram aangegeven. Evenzo kan men de lengte van I_l variëren door de voedingsspanning op de lokale fase een andere waarde te geven.



In het onderstaande polaire diagram zijn twee banen getekend:
- één voor een korte sectie (0-100 m)
- één voor een lange sectie (ca. 1000 m).

De banen zijn getekend voor een dubbelbenige sectie bij 75 Hz. Steeds geldt daarbij $C_V = C_R$.



De volgende conclusies kunnen getrokken worden.
- Bij een korte sectie wordt het max. positief koppel gevonden bij $C_V = C_R \approx 2$ µF. Dus wanneer de railspoelen in resonantie zijn. Het max. negatief koppel (binnen het instelgebied) is lager dan het max. positief koppel.
- Bij een lange sectie wordt het max. positief koppel eveneens gevonden bij $C_V = C_R \approx 2$ µF. Dit pos. koppel is bij lange secties lager dan bij korte secties. Het max. negatief koppel (binnen het instelgebied) is groter dan het max. positief koppel.

Opmerking:
Er wordt hier gesproken over: "in het instelgebied". Met name bij zeer hoge condensatorwaarden wordt een nog groter negatief koppel bereikt dan hier in de grafiek is aangegeven. De grafiek beperkt zich echter tot de mogelijke instelwaarden van de toegepaste condensatoren.

Uit de grafiek blijkt dat het verleidelijk is om bij lange secties een instelling te kiezen bij max. negatief koppel; een z.g. capacitieve instelling. Deze instelling is echter niet toegestaan.

In de onderstaande tabel is aangegeven wat het koppel is voor diverse combinaties van C_V en C_R. De tabel is opgezet voor een sectie van 900 m en aangegeven is de koppelmaat $I_S \sin \psi$ bij:
- een voedingsspanning van 100 V
- een lokale fase spanning van 110 V } 75 Hz
- een ballastimpedantie van 5 ohm.km

In de tabel is rekening gehouden met spoorstaafprofiel NP 46.

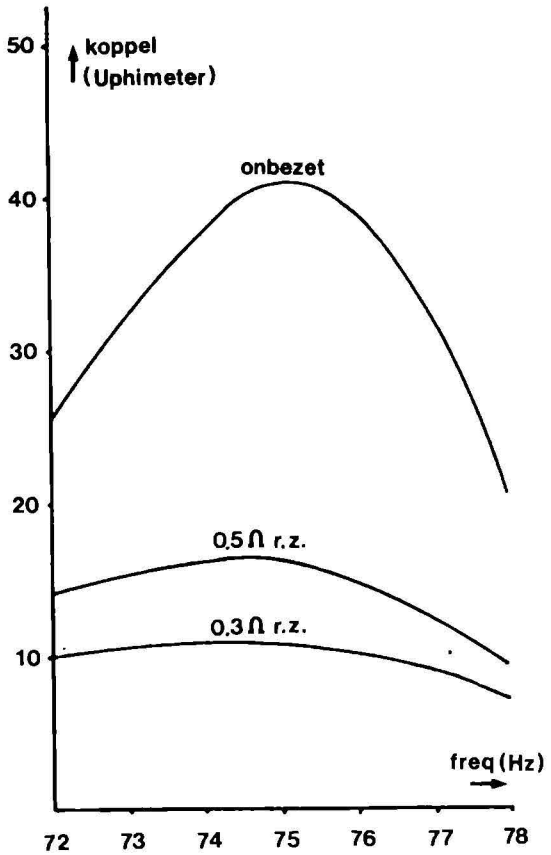
		Koppelmaat: Is sin ψ x 1000						
CV µF	CR µF1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
1.8	152	196	244	278	265	198	118	57
1.9	198	248	294	311	268	180	95	34
2.0	252	299	329	311	237	138	54	- 4
2.1	291	317	311	257	166	70	- 5	- 56
2.2	269	263	226	157	71	- 11	- 76	-121
2.3	183	159	114	52	- 20	- 90	-148	-191
2.4	93	66	26	- 28	- 90	-153	-210	-256
2.5	32	7	- 30	- 78	-135	-197	-257	-306

Uit de tabel blijkt dat de sectie ingesteld dient te worden bij $C_V = C_R = 2.0$ µF. Men dient er echter rekening mee te houden dat de hier gegeven waarden richtwaarden zijn. Men zal het maximum positief koppel op moeten zoeken volgens de procedure die in het desbetreffende MIV staat. De condensatoren hebben een tolerantie van ± 10% en dit houdt in dat een condensator ingesteld op 2.2 µF in werkelijkheid tussen de 2.0 µF en 2.4 µF kan liggen. Bovendien hebben de railspoelen ook een bepaalde tolerantie. In de praktijk zal men daarom het max. positief koppel vinden bij waarden die rondom de 2.0 µF liggen.

5.10 FREQUENTIE GEVOELIGHEID

In welke mate de schakeling gevoelig is voor frequentie-variatie blijkt uit metingen die gedaan zijn aan een sectie van 900 m. De metingen hebben betrekking op een sectie van 75 Hz. De 75 Hz voeding wordt o.h.a. verkregen door roterende omvormers die aangedreven worden door synchrone motoren die op het openbaar elektriciteitsnet draaien. De 50 Hz frequentie is door de jaren heen bijzonder stabiel gebleken. Toch kan niet gegarandeerd worden dat de frequentie altijd binnen zeer nauwe grenzen zal blijven. Om een beeld te geven van de variatie van het koppel zijn metingen gedaan voor frequenties van 72 t/m 78 Hz.

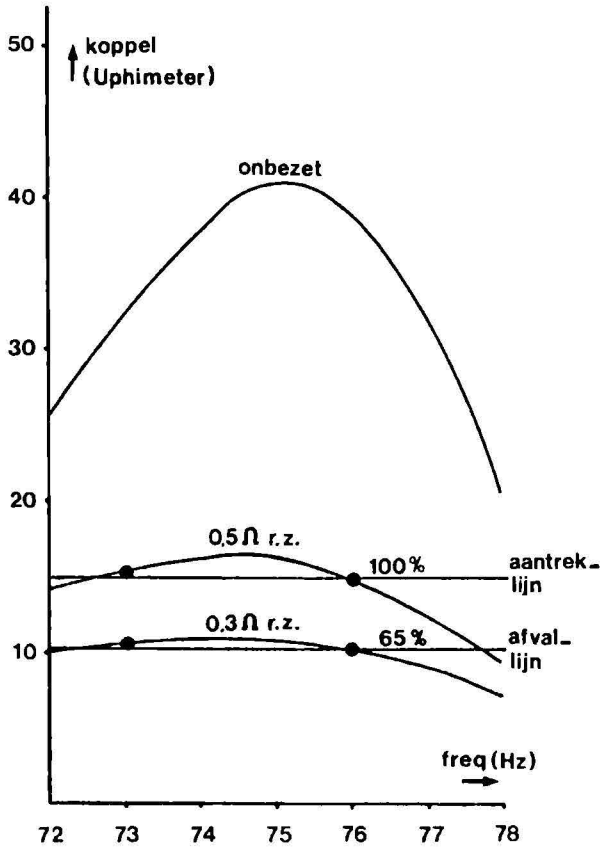
In de onderstaande grafiek is het koppel getekend bij max. positief koppel. Er zijn 3 grafieken getekend n.l. het koppel bij:
- onbezet spoor;
- bij een shuntweerstand van 0.5 ohm aan de relaiszijde;
- bij een shuntweerstand van 0.3 ohm aan de relaiszijde.



C_V op resonantie
C_R " "

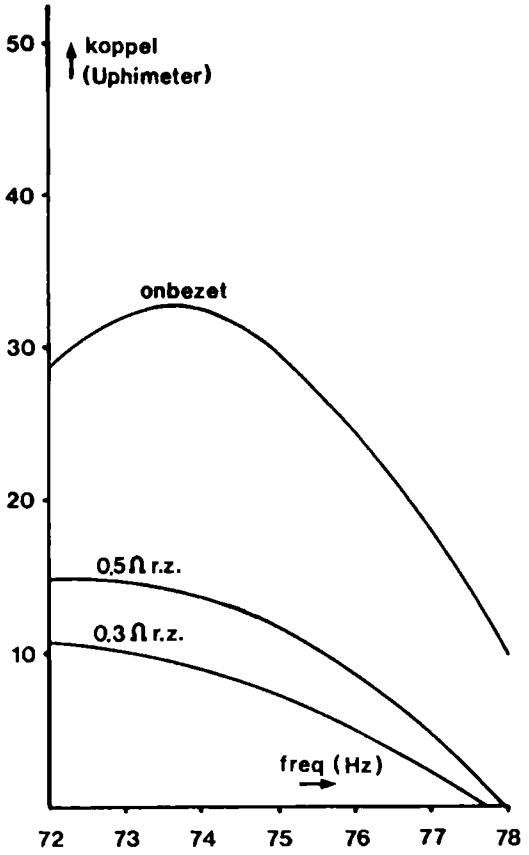
Varieert de frequentie, hetzij naar beneden, hetzij naar boven, dan daalt het koppel.

Stelt men het relais zo in dat deze bij een shuntweerstand van 0.3 ohm nog juist afvalt (bij 75 Hz) en trekt men op dit punt een horizontale lijn, dan blijkt dat bij frequentie-variatie het koppel nooit boven deze lijn uitkomt. Dit betekent dat het relais ongeacht de frequentie altijd bij een shuntweerstand van 0.3 ohm zal afvallen. Aan de veiligheidseis wordt dus voldaan. Bij een relais dat een gevoeligheid heeft van 65% zal de aantreklijn bij 75 Hz onder de kromme van 0.5 ohm liggen. Het relais is dus op. Daalt de frequentie onder 73 Hz of stijgt deze boven 76 Hz dan zal het relais bij het testen met 0.5 ohm afvallen of althans de neiging hebben om af te vallen. Belangrijk is echter dat de koppelkromme bij onbezet spoor binnen het frequentie-bereik niet onder de aantreklijn zal dalen. Het blijkt dus dat ook aan de bedrijfszekerheidsvoorwaarden kan worden voldaan.



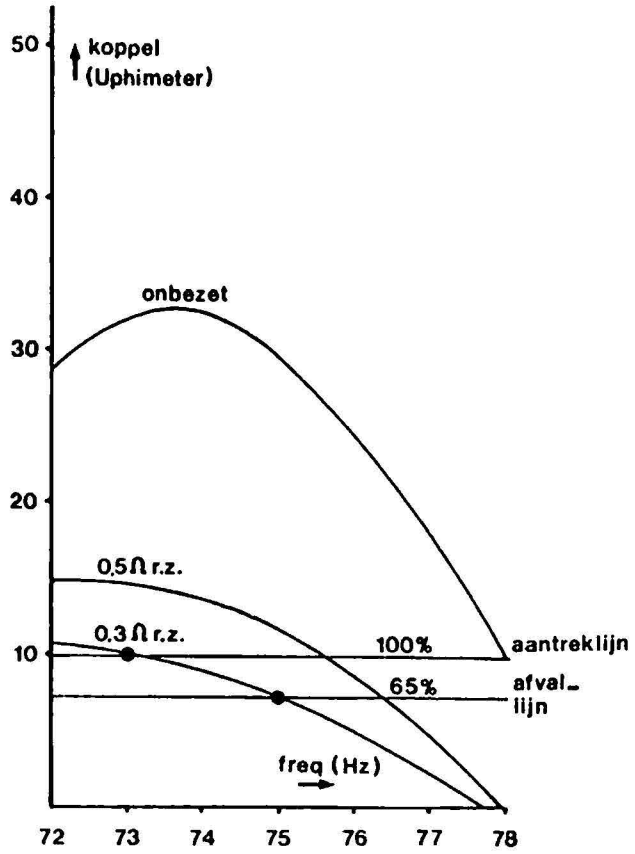
C_V op resonantie
C_R " "

Zou men een instelling kiezen die afwijkt van max. koppel, dus van resonantie, dan ontstaat een aanzienlijk andere situatie. Stel dat men de condensator C_V aan de voedingszijde met 10% verhoogt en de condensator C_R aan de relaiszijde met 10% verlaagt.



C_V op resonantie + 10%
C_R " " - 10%

Trekt men nu ook weer een horizontale lijn op het punt waarbij het relais nog juist afvalt bij een shuntweerstand van 0.3 ohm aan de relaiszijde (bij 75 Hz) dan blijkt dat bij frequentie-verlaging het koppel boven deze lijn zal uitkomen. Tekent men nu uitgaande van de afvallijn nu de aantreklijn dan zal het relais bij de 0.5 ohm test bij 75 Hz opblijven. Bij frequentie-daling tot 73 Hz zal echter het relaiskoppel bij kortsluiting met 0.3 ohm zelfs boven de aantreklijn uitkomen!
Deze feiten maken het wenselijk om dubbelbenige secties op max. positief koppel in te stellen. Men is er dan zeker van dat frequentie-variaties niet zullen leiden tot gevaarlijke situaties, waarbij het relais "onder de trein " opkomt.



C_V op resonantie + 10%

C_R " " - 10%

Heeft men instellingen waarbij nog verder van de optimale situatie wordt afgeweken, dan wordt de gevoeligheid voor frequentie-variaties nog groter.

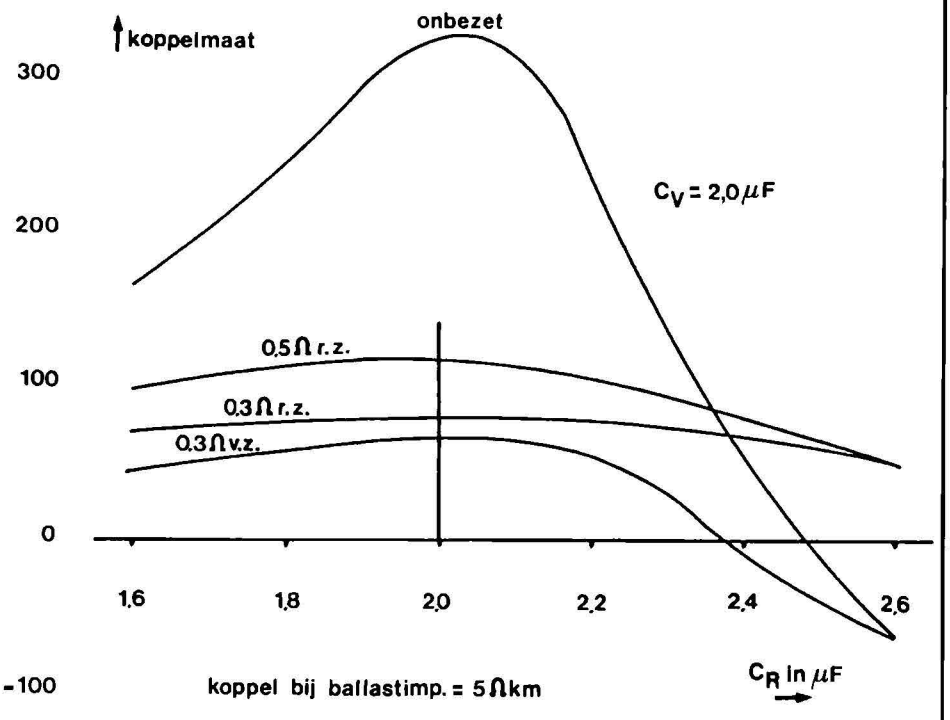
5.11 PLAATS VAN DE 0.3 OHM TEST

Het restkoppel dat overblijft als we de sectie kortsluiten met 0.3 ohm kan verschillend zijn, afhankelijk van de plaats in de sectie waar men deze weerstand aanbrengt. Voor een sectie van 900 m is aangegeven waar het hoogste restkoppel wordt verkregen. De gebruikte afkortingen zijn:
R = relaiszijde
M = midden
V = voedingszijde

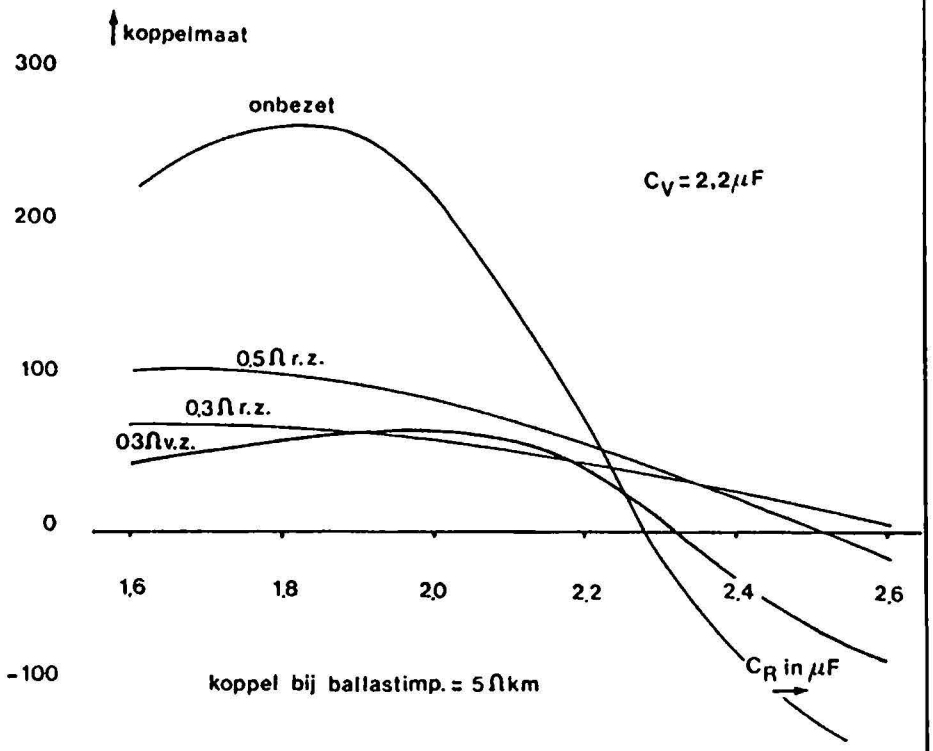
	Plaats hoogste restkoppel bij 0.3 ohm test R = relaiszijde M = midden V = voedingszijde								
C_V in µF	C_R in µF 1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2
1.8	R	R	R	R	R	R	V	V	M
1.9	R	R	R	R	R	R	R	R	R
2.0	R	R	R	R	R	R	**R**	R	R
2.1	R	R	R	R	R	R	R	R	R
2.2	R	R	R	R	R	M	M	M	M
2.3	R	R	M	M	M	V	V	V	V
2.4	M	M	V	V	V	V	V	V	R
2.5	V	V	V	V	V	V	R	R	R

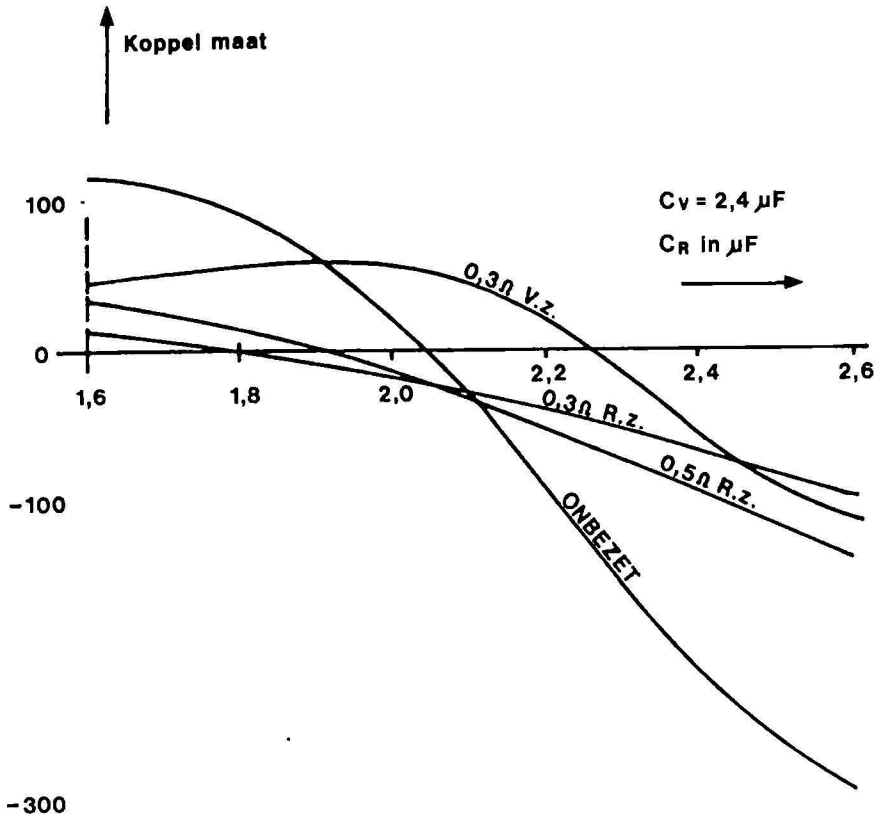
Voert men dus de 0.3 ohm test op de aangegeven plaatsen uit, dan is men er zeker van dat op alle andere plaatsen in de sectie het relais in ieder geval goed zal afvallen. De omcirkelde instelling is de instelling bij max. positief koppel. De conclusie is dat bij deze instelling de 0.3 ohm test aan de relaiszijde moet plaatsvinden. Gebleken is dat deze uitkomst voor alle sectie-lengtes geldt.

De tabel is ontleend aan o.m. de volgende grafieken:



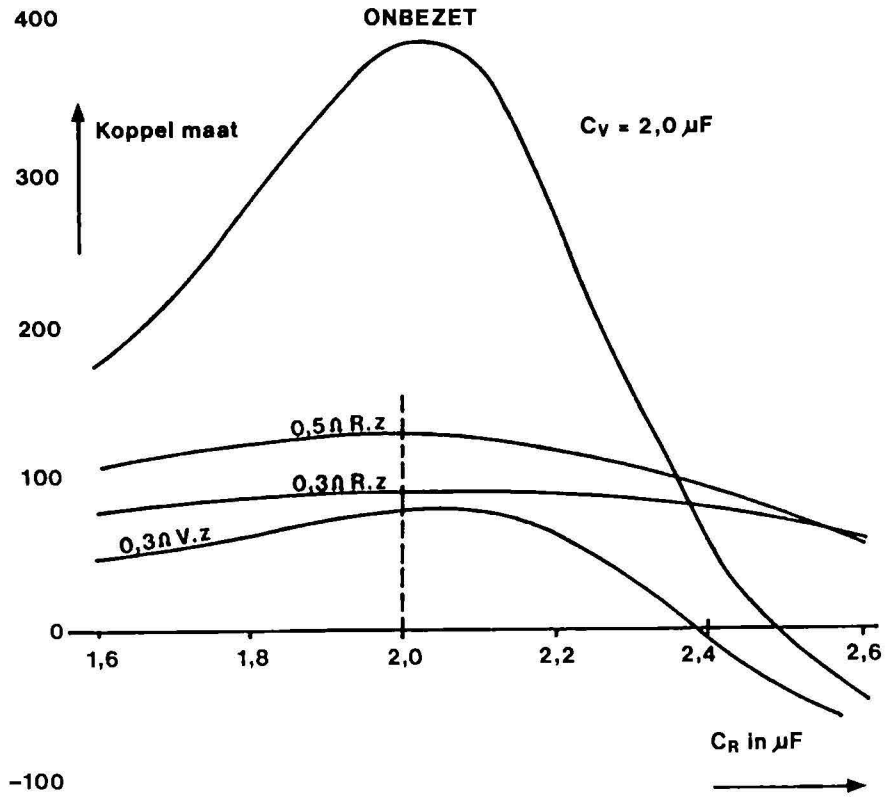
Aangegeven is het koppel als functie van de condensator C_R aan de relaiszijde bij een condensator C_V aan de voedingszijde van 2.0 µF. Hetzelfde is gedaan voor condensatorwaarden van 2.2 en 2.4 µF. Bij deze grafieken is de ballastimpedantie $\hat{R}_b$ 5 ohm.km.





Koppel bij ballastimpedentie = 5 Ohm.km

Om te laten zien hoe het koppel verandert als de ballastweerstand $\hat{R}_b$ oploopt tot 1000 ohm.km is de onderstaande grafiek getekend.



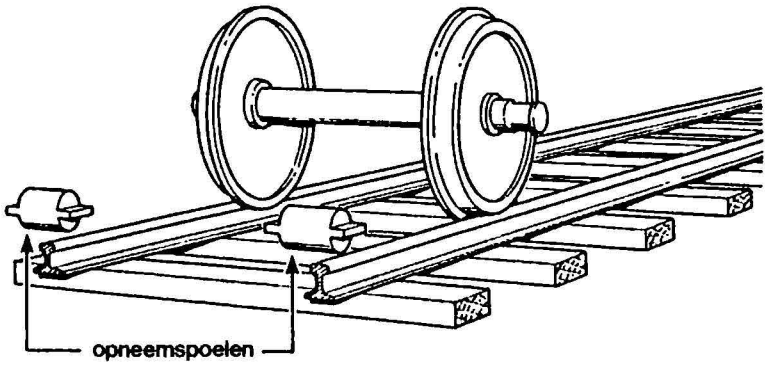
Koppel bij ballastimpedentie = 1000 Ohm.km

6.1 PRINCIPE

6.1.1 Inleiding

Gecodeerde spoorstroomlopen worden toegepast ten behoeve van het in 1962 ingevoerde ATB-systeem. De naam ATB staat voor: Automatische Trein Beïnvloeding.
De machinist van een met ATB uitgeruste trein krijgt op daartoe ingerichte baanvakken informatie over de snelheid die hij mag rijden en in het geval dat de trein te hard rijdt ook opdracht om snelheid te verminderen. Deze laatste informatie wordt een remopdracht genoemd en mocht de machinist binnen een bepaalde tijd niet aan deze opdracht voldoen dan zal de in de trein aanwezige apparatuur ingrijpen door een snelremming te veroorzaken.

De trein ontvangt zijn informatie over de snelheid die gereden mag worden via opneemspoelen (populair genoemd: snuffels) die vóór de voorste wielstellen zijn bevestigd. De opneemspoelen zijn vlak boven de spoorstaven gemonteerd en werken als antennes die z.g. codestromen in de spoorstaven kunnen opvangen.



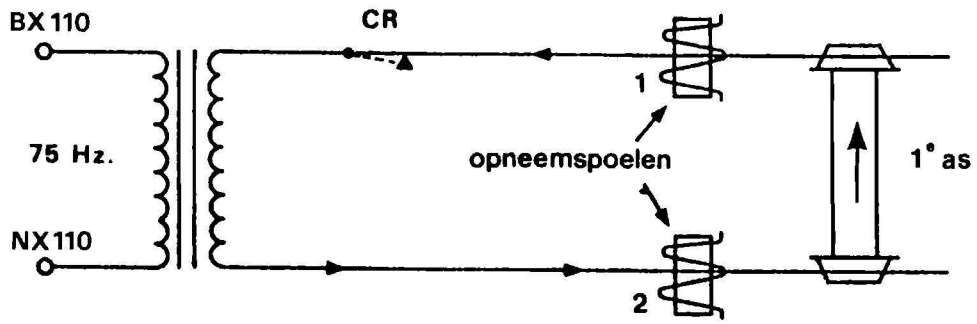
De snelheid die een trein mag rijden in een bepaald blok is afhankelijk van de stand van het sein dat toegang geeft tot dat blok. Rekening moet daarbij ook gehouden worden met de in dat blok geldende baanvaksnelheid.

Rijdt een trein een blok binnen dan zal het toelatende sein stop tonen zodra de trein dit sein passeert. Vóór de trein uit tot aan het volgende sein blijft de ATB-code in het blok bestaan onder voorwaarde dat de secties in dat blok vóór de trein uit onbezet blijven en dat aan alle voorwaarden (zoals het gesloten zijn van bruggen etc.) eveneens voldaan wordt.
Tevens wordt de code in de bezette sectie voor de trein uit door de spoorstaven getransporteerd.

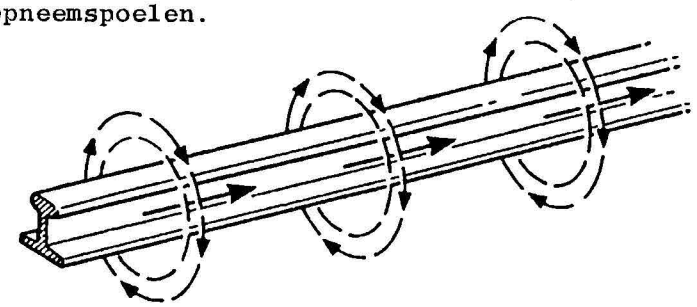
Verandert het sein waar de trein naar toe rijdt van beeld en zou deze verandering ook tot gevolg gehad hebben (bij onbezet blok) dat het toelatende sein meeverandert, dan zal ook de ATB-code die de trein ontvangt, veranderen.

6.1.2 Codestromen

In de eenvoudigste situatie rijdt een trein in de richting van de voedingszijde van een geïsoleerde sectie. Om de sectie geschikt te maken voor code-overdracht wordt de sectie gevoed met een wisselspanning van 75 Hz en is een contact van het CodeRelais (CR) aangebracht. Dit contact is bij onbezette sectie gesloten.

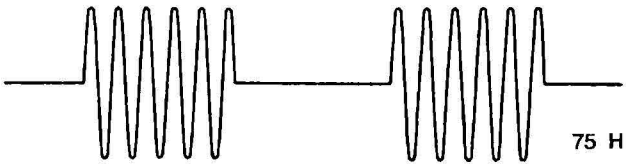


Zodra de trein de sectie bezet zal het spoorrelais afvallen. Het afvallen van het spoorrelais laat het toe dat het CR-contact dan in een bepaald ritme kan gaan openen en sluiten. De voedingsspanning van de sectie wordt zodoende ritmisch onderbroken. De eveneens ritmisch onderbroken stroom die dientengevolge loopt, vloeit onder de opneemspoelen door via de kortsluiting die de eerste as van de trein veroorzaakt tussen de parallelle spoorstaven.
De ATB-stroom heeft een magnetisch veld rondom de spoorstaven tot gevolg en dit veld wordt "opgevangen" door de opneemspoelen.



Opm.: De bespreking van de schakeling die ervoor zorgt dat het CR in het juiste ritme gaat schakelen nadat het TR afgevallen is, valt buiten het bestek van dit boek.

De stroom onder opneemspoel 1 en daarmee ook het magnetische veld van spoel 1 heeft de volgende vorm.



De stroom onder opneemspoel 2 is met deze stroom in tegenfase. Dit wordt in de trein als extra veiligheidsmaatregel gecontroleerd.

In de bovenstaande tekening zijn twee "pulsen" van een ATB-code getekent. De duur van een puls is even lang als de tijd tussen twee pulsen. Door het aantal pulsen per minuut te variëren is het mogelijk verschillende opdrachten aan de trein door te geven.

Men spreekt b.v. van code 220 als bedoeld wordt dat deze code overeenkomt met 220 pulsen per minuut. Grofweg gelden de volgende snelheden bij de volgende codes (Op uitzonderingen wordt in dit kader niet verder ingegaan).

Code	Betekenis
96	max. 140 km/uur
120	max. 120 km/uur
180	max. 80 km/uur
220	max. 60 km/uur
75	uitschakelen ATB
geen code	max. 40 km/u

Opmerking:
Na het ontvangen van de uitschakelcode kan daarna met elke snelheid gereden worden, zonder dat de ATB-apparatuur ingrijpt. Zodra de trein echter weer een gebied binnenrijdt dat wel voorzien is van ATB-baanapparatuur - en wordt dus weer code ontvangen - dan zal de ATB-treinapparatuur weer ingeschakeld moeten worden, door het drukken van een z.g. attentieknop.

De eerste sectie die een trein berijdt bij het binnengaan in een "ATB-gebied" heet een inschakelsectie Deze sectie onderscheidt zich van andere secties, omdat in deze sectie altijd een code gegeven wordt, behorende bij een snelheid hoger dan 40 km/uur, ongeacht van de stand van het sein dat toegang geeft tot het volgende blok. Meestal wordt voor de inschakelsectie een code gehanteerd die overeenkomt met de maximaal toelaatbare snelheid in die sectie.

Onder "geen code" wordt verstaan ofwel een continu hoog signaal, ofwel een continu laag signaal. De hoogte van een puls moet overeenkomen met een 75 Hz stroom onder de opneemspoelen van 6,5 A of meer. In de "uittijd" tussen twee pulsen moet de stroom onder de opneemspoelen lager zijn dan 3 A. Men zegt dan: "de ruis mag niet hoger zijn dan 3 A".

Het gebied tussen 3 A en 6,5 A wordt aangeduid als het "verboden gebied". Deze ruime marge is nodig om te voorkomen dat de trein zelf (valse) codes genereert, of de voor hem bestemde code verminkt. De opneemspoelen reageren op een bepaalde veldsterkte. De opgevangen veldsterkte is evenredig met de sterkte van de stroom door de spoorstaven, maar neemt ook af naarmate de opneemspoel zich verder van de spoorstaaf verwijdert en neemt toe naarmate deze de spoorstaaf nadert.

Bij een trein die met een redelijk hoge snelheid over de baan rijdt kunnen de opneemspoelen in een bepaald ritme omhoog en omlaag bewegen t.g.v. de vering van de wielstellen of t.g.v. schokken etc. Door dit steeds in hoogte variëren van de opneemspoelen zullen deze een afwisselend zwakker en sterker veld opnemen, waardoor de

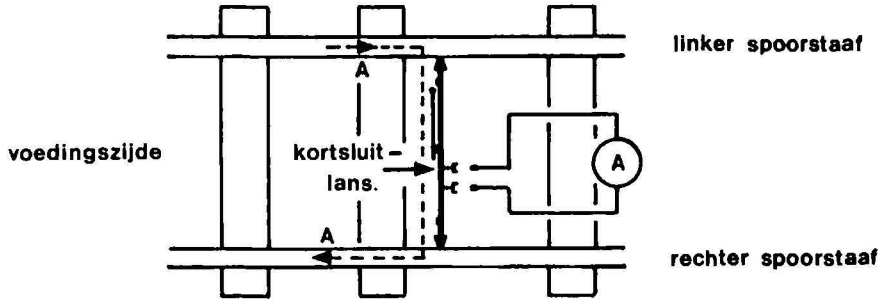
treinapparatuur ten onrechte een code kan genereren of de eigen code kan verminken wanneer het verboden gebied te smal is. Het verminken van codes kan inhouden dat het "gat" tussen twee pulsen "opgevuld" wordt of dat pulsen wegvallen. Hierdoor ontstaat een lagere code die overeenkomt met een hogere toelaatbare snelheid.
Behalve het eventuele gevaar van deze "fantoom"-codes zijn deze codes bijzonder hinderlijk voor de machinist.

De gekozen marge tussen 3 A en 6,5 A is in de praktijk groot genoeg. Een extra maatregel voor situaties, waarbij toch code-stromen in het verboden gebied vallen, wordt verkregen door de drempelwaarden van beide opneemspoelen verschillend in te stellen, n.l. op 3,7 A en 4,7 A. Ook deze maatregel blijkt in de praktijk goed te voldoen, omdat in die situatie een veldsterkteverandering t.a.v. de beweging van de opneemspoelen niet groter is dan een stroomverandering in het gebied van 3,7 tot 4,7 A.

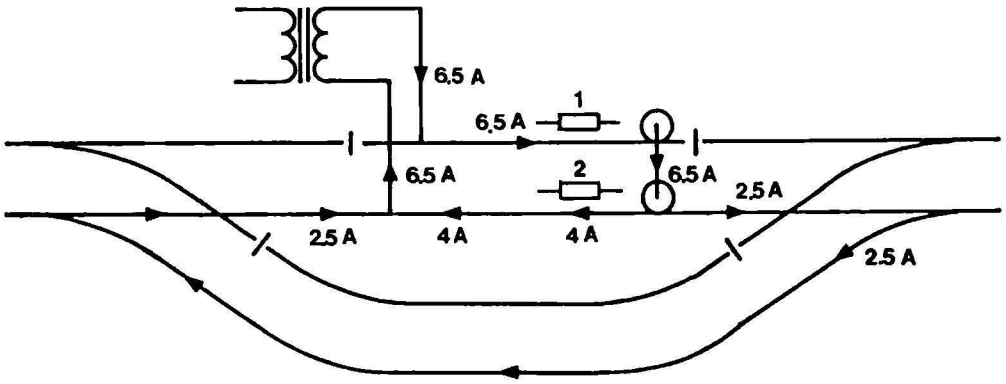
6.1.3 Omloopstromen

In feite is de beste methode om te meten of de niveaus van de ATB-codestroom aan de eisen voldoen, het meten in de trein zelf. Daarvoor heeft men een meetrijtuig ontwikkeld, waarmee voortdurend controle-ritten worden uitgevoerd.

In de praktijk zal men de niveaus controleren door een treinbezetting na te bootsen door een kortsluitlans in het spoor aan te brengen en dan door middel van een (voorgeschreven) ampèremeter, te meten hoeveel stroom er door de lans gaat. In het algemeen zal men op deze wijze een goede indruk verkrijgen of de ATB-stroom aan de gewenste waarden voldoet.



Men moet zich echter realiseren dat het niet gaat om de stroom door de kortsluitlans, maar om de stroom door de spoorstaven. Met name bij enkel-benig geïsoleerde secties kan op dit punt een afwijking bestaan. Het volgende voorbeeld maakt dit duidelijk.
Getekend is een enkelbenig geïsoleerde sectie op een emplacement.



Duidelijk is te zien dat door het geïsoleerde been de volle stroom loopt, maar dat niet alle stroom direct via het retourbeen terug loopt naar de voedingszijde. Een deel loopt via een parallelweg. Deze weglekkende stroom noemt men een "omloop"-stroom. Zou men nu ter plaatse van de kortsluiting voldoende "hoog" niveau meten dan kan men nog niet stellen dat de ATB-stroom goed is ingesteld. Onder opneemspoel 1 loopt 6,5 A, maar onder opneemspoel 2 loopt b.v. slechts 4 A. Dit laatste is onvoldoende.
Om deze reden worden in de meet- en instelvoorschriften bij enkelbenig geïsoleerde secties speciale instelwaarden voor de kortsluitstroom gehanteerd, die hoger liggen dan 6,5 A. Bij dubbelbenig geïsoleerde secties

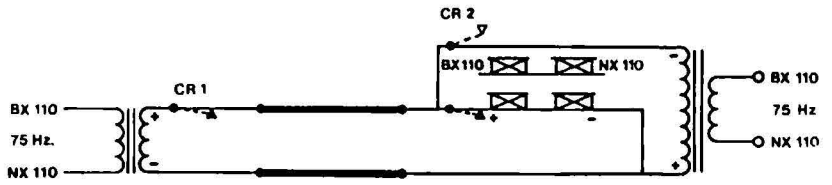
doet dit probleem zich echter niet voor en stelt men dan ook wel in op 6,5 A.

Ook in wissels dient men met het verschijnsel van deze z.g. omloopstromen rekening te houden. Speciale maatregelen t.a.v. de retourverbindingen zijn dan noodzakelijk.

Het omgekeerde verschijnsel doet zich óók voor, n.l. dat ongewenste 75 Hz-stromen via het verschijnsel van de omloopstromen in de sectie terecht komen.
Deze stromen kunnen ertoe leiden dat de marge van 3 A t.b.v. de ruis wordt overschreden. Om deze reden hanteert men bij secties binnen ET-gebied een verboden gebied van 2,5 tot 6,5 A in plaats van een gebied van 3 A tot 6,5 A. Voor secties buiten ET-gebied is deze verruiming van het verboden gebied niet nodig omdat dáár omloopstromen voorkomen kunnen worden.

6.1.4 Principeopbouw van een ATB-sectie

Tot nu toe is alleen sprake geweest van code-overdracht in de situatie dat een trein in de richting van de voeding rijdt. Om een goed begrip te hebben van de ontwerpmogelijkheden van ATB-secties en de instelvoorwaarden die zich daarbij voordoen is in het onderstaande schema de principe-opbouw van een ATB-sectie getekend die in beide richtingen met ATB bereden kan worden.



Rijdt de trein naar de voedingszijde dan zal in principe alleen het CR aan de voedingszijde (CR 1) gaan coderen. Dit kan worden bereikt door het bedienen van de rijrichtingsknoppen op de verkeersleiderspost. Het CR aan de relaiszijde (CR 2) staat dus stil en is afgevallen. Het TR is dus met de sectie verbonden. Als de trein de sectie verlaat en de volgende sectie bezet dan zal CR 1 stilstaan en kan het TR zonder problemen opkomen.

Is de rijrichting zó ingesteld, dat er een treinbeweging naar rechts is dan zal het CR aan de relaiszijde (CR 2) gaan coderen, nadat het TR afgevallen is. Zodra CR 2 aantrekt wordt het TR afgeschakeld (hierdoor verandert er aan de stand van het TR niets, omdat het TR al afgevallen was) en wordt een 75 Hz voedingsspanning op het spoor aangesloten. De eerste aantijd van de ATB-puls wordt beëindigd door het afvallen van CR 2; de voeding wordt afgeschakeld en er loopt geen codestroom meer vanaf de relaiszijde naar de trein toe. Vervolgens trekt CR 2 weer aan en ontstaat de 2e ATB-puls etc. Als de trein de sectie verlaat dan zorgt de aanwezigheid van de trein in de aangrenzende sectie ervoor dat CR 2 stilgezet wordt.(Dit is uiteraard de afgevallen toestand). Het TR kan dan op normale wijze opkomen. Anders wordt het als het TR door tijdelijke oorzaak (niet een trein, maar b.v. door het even wegvallen van de voedingsspanning) afvalt. Het is dan mogelijk dat beide CR-en gaan "klapperen" als geen rijrichting ingeseld is. Het TR moet dan op een puls opkomen, maar zelfs deze puls kan nog verminkt doorkomen omdat het CR aan de relaiszijde toevallig op dit tijdstip aantekt.

Het is noodzakelijk dat een ATB-sectie zó ingesteld is dat het spoorrelais aantrekt onder de omstandigheid dat één van beide CR-en "klappert". Men noemt dit de eis van zelfherstellendheid. Deze test moet gedaan worden bij de hoogst voorkomende code, omdat in dat geval het spoorrelais het minst makkelijk aantrekt.
Een extra veiligheidsmaatregel is ingebouwd door de

ATB-voeding aan de relaiszijde een zodanige polariteit te geven dat het onverhoopt gesloten blijven van het maakcontact van het CR in afgevallen toestand niet tot gevolg kan hebben dat het TR bekrachtigd wordt en blijft als een trein de sectie binnenrijdt. De polaritit is zó gekozen dat juist het relais "afgedrukt" wordt.

Bij het instellen van spoorstroomlopen dient altijd de volgende volgorde in belangrijkheid aangehouden te worden:

1. Een veilige werking van de spoorstroomloop bij het detecteren van treinen.
2. Een juiste instelling van de ATB-stroom.
3. Een betrouwbare werking van de spoorstroomloop.

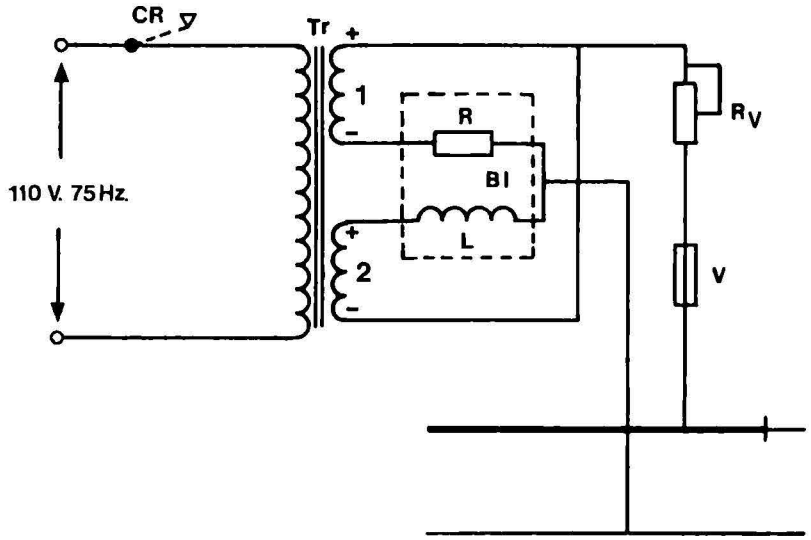
Kan aan deze drie aspecten niet voldaan worden, dan is de sectie blijkbaar niet instelbaar en moet naar de oorzaken van dit feit worden gezocht.

6.2 DE ENKELBENIG GEISOLEERDE SECTIE MET ATB

6.2.1 Voedingszijde gecodeerd

In het onderstaande schema is aangegeven hoe de voedingszijde van een enkelbenig geïsoleerde spoorstroomloop met ATB in ET-gebied is uitgevoerd. Het CR-contact is aan de primaire zijde van de voedingstransformator T geplaatst. Wordt het front-contact van het CR gesloten dan wordt de trafo gevoed met een 75 Hz spanning.
De transformator T heeft twee secundaire wikkelingen die op verschillende spanningen af te takken zijn. Steeds echter moeten beide op dezelfde spanning staan, omdat anders de werking van de balansimpedantie BI, opgebouwd door de weerstand R en de spoel L, verstoord wordt.

De wikkeling I verzorgt de ATB-voeding en de voeding voor het TR via de variabele weerstand Rv en de zekering V in de +tak en via de weerstand R van de BI in de -tak.

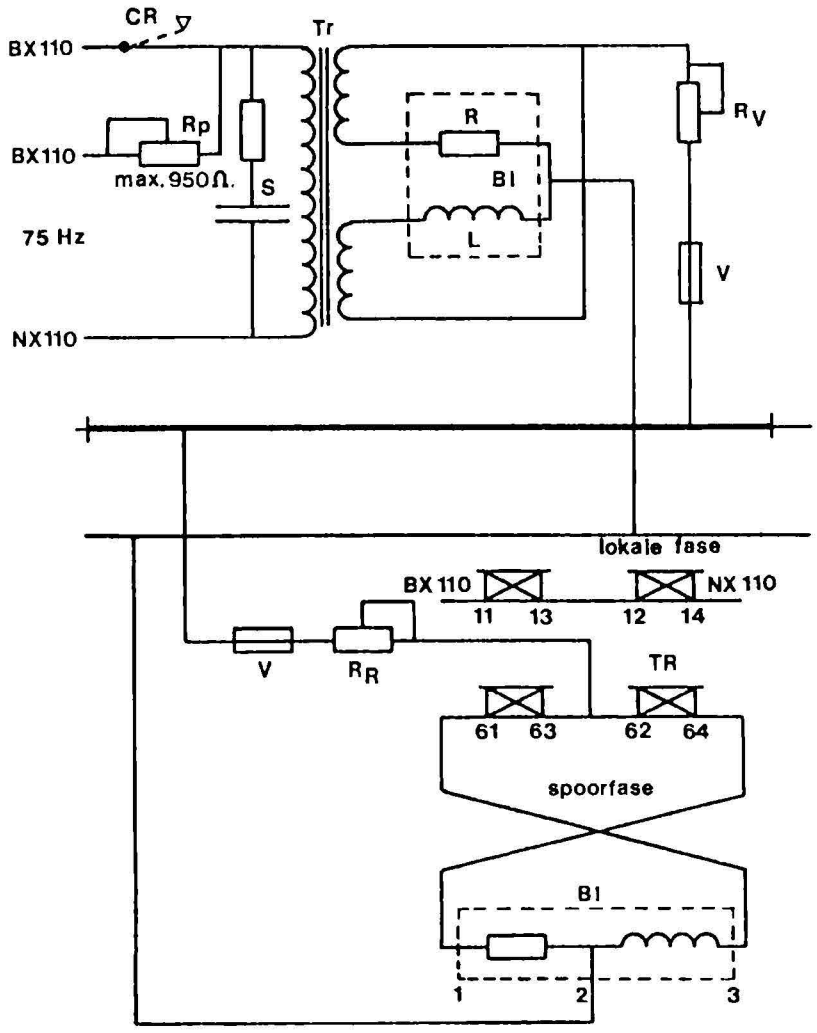


De wikkeling II vormt een belasting voor wikkeling I. De aanwezigheid echter van de spoel L maakt dat deze belasting relatief klein is, omdat de spoel voor het 75 Hz signaal een hoge weerstand vormt.
Anders is het voor een eventuele tractie-gelijkstroom. Voor gelijkstroom vormen de weerstand R en de spoel L dezelfde weerstand. De gelijkstroom verdeelt zich dan over beide secundaire wikkelingen op een zodanige wijze dat de door deze stromen in de trafo veroorzaakte magnetische velden elkaar tegenwerken en opheffen. Dat bij dit type schakeling ook een balansimpedantie aan de voedingszijde gebruikt wordt komt mogelijkerwijs omdat de voedingstrafo relatief veel stroom moet leveren t.b.v. het ATB-signaal (ca. 10 A). Tengevolge van aanwezige tractie-gelijkstroom zou deze trap zonder BI oververzadigd kunnen raken en zou het ATB-signaal hierdoor verminkt kunnen worden.

Instelling van de ATB-stroom kan geschieden op twee manieren:

1. door het kiezen van de juiste aftakking van de secundaire wikkeling I. Wikkeling II moet dan op dezelfde wijze afgetakt worden om de juiste werking van de BI te garanderen.
2. door het regelen van de variabele weerstand Rv.

In de principeschakeling (zie hoofdstuk 6.1.4) is een CR verbreekcontact (back-contact) in het voedingscircuit opgenomen. Dat in het bovenstaande schema gewerkt wordt met een CR-maakcontact (front-contact) aan de primaire zijde van de voedingstrafo ligt waarschijnlijk in het feit dat hiermee aan de relaiszijde een transformator kan worden uitgespaard. Er is n.l. geen transformator nodig voor het regelen van de lokale fasespanning van het TR. Dit gebeurt nu met de weerstand Rp. E.e.a. kan verduidelijkt worden aan de hand van het onderstaande schema waarin de gehele schakeling getekend is.



Voordelen van het plaatsen van het CR aan de primaire zijde van de voedingstrafo T zijn:
- een lagere te schakelen stroom
- er loopt geen gelijkstroom over de contacten.

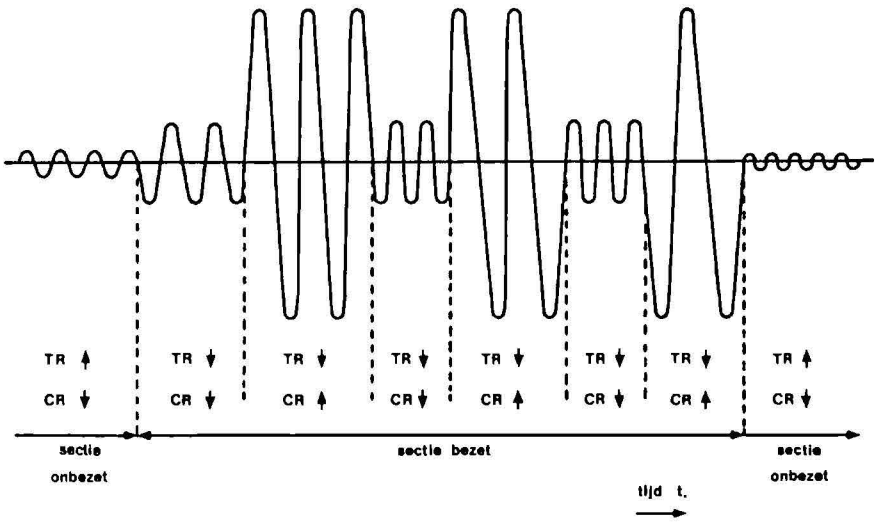
Men ziet dat aan de relaiszijde eveneens een balansimpedantie is toegepast en dat de spanning van de lokale fase van het spoorrelais 110 volt bedraagt.

Bij onbezette sectie zal het TR aangetrokken zijn en zal het CR dientengevolge afgevallen zijn. De sectie wordt nu gevoed via de weerstand Rp. Door een juiste keuze van Rp, Rv en Rr en een juiste aftakking van de secundaire wikkeling van de tranformator T kan men bereiken dat:

1. Het spoorrelais veilig afvalt
2. De stroom door een kortsluitlans bij afgevallen CR minder is dan 2,5 A (over de gehele sectie).
3. De stroom door een kortsluitlans bij aangetrokken CR groter is dan 6,5 A. (over de gehele sectie, een eventuele marge t.b.v. omloopstromen buiten beschouwing gelaten).
4. Het spoorrelais bedrijfszeker opblijft.

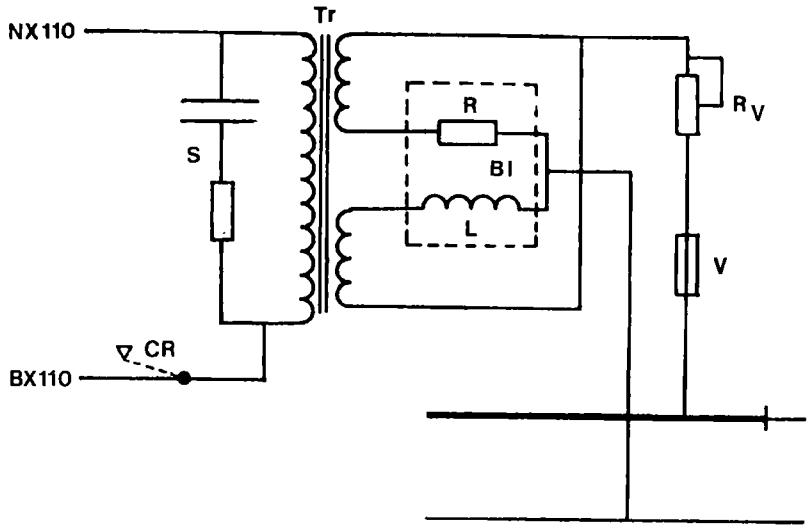
Hoe men op een adequate wijze door een juiste keuze uit de 4 instelmogelijkheden komt tot een instelling waarbij aan de 4 bovengenoemde eisen wordt voldaan, staat vermeld in het desbetreffende MIV.

De RC-combinatie S vormt een suppressor die vonkvormig over de CR-contacten voorkomt.
De ATB-kortsluitstroom zal bij deze schakeling afwisselend voldoende hoog en voldoende laag zijn en zodoende een veld produceren dat ook afwisselend voldoende sterk en voldoende zwak is. De stroomwaarde mag daarbij nooit in het z.g. verboden gebied vallen.
De volgende schets geeft een beeld van de stromen die in een spoorstaaf optreden als een trein de sectie binnenrijdt en weer verlaat.



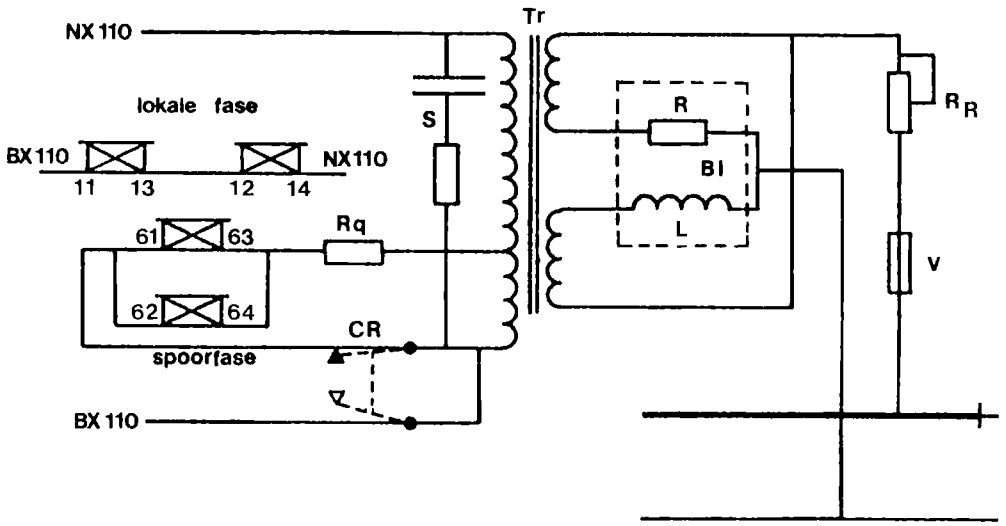
6.2.2 Relaiszijde gecodeerd

In het onderstaande schema is aangegeven hoe de ATB-voeding verzorgd wordt wanneer de relaiszijde gecodeerd wordt. Wat dit gedeelte van de schakeling betreft past men dezelfde opbouw toe als bij codering aan de voedingszijde. De weerstand parallel aan het CR-contact ontbreekt echter omdat nu geen voedingsstroom aan een spoorrelais geleverd hoeft te worden. (verg. hoofdstuk 6.2.1).



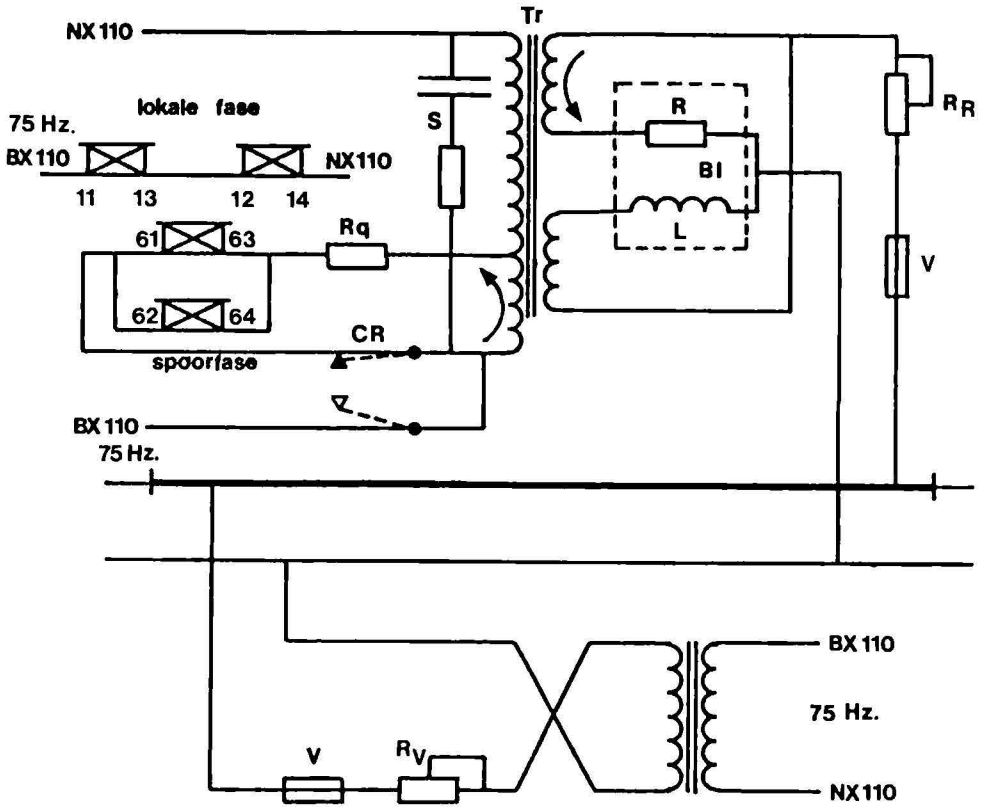
De balansimpedantie BI en de transformator T zijn van hetzelfde type als aan de voedingszijde.
Zij hebben ook hier ten doel verzadiging van de voedingstrafo te voorkomen.

Het spoorrelais wordt aangesloten op een aftakking van de primaire spoel van de transformator T. Op deze wijze wordt voor wat betreft de voeding van het spoorrelais de transformator als het ware in omgekeerde richting gebruikt.

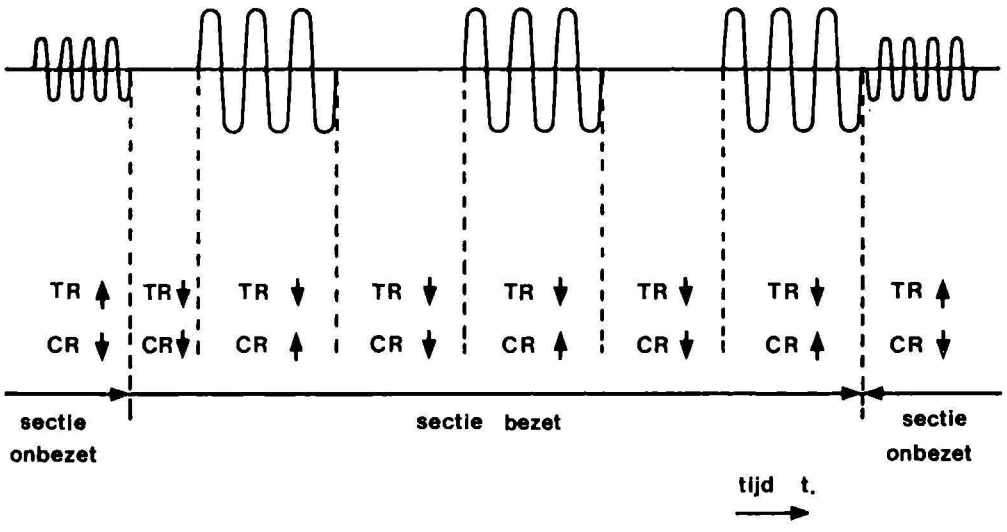


In het circuit van de spoorfase van het relais zijn verder nog opgenomen een fase-corrigerende weerstand R_q en een CR-backcontact om het relaiscircuit te verbreken zodra de schakeling de ATB-kortsluitstroom moet leveren.

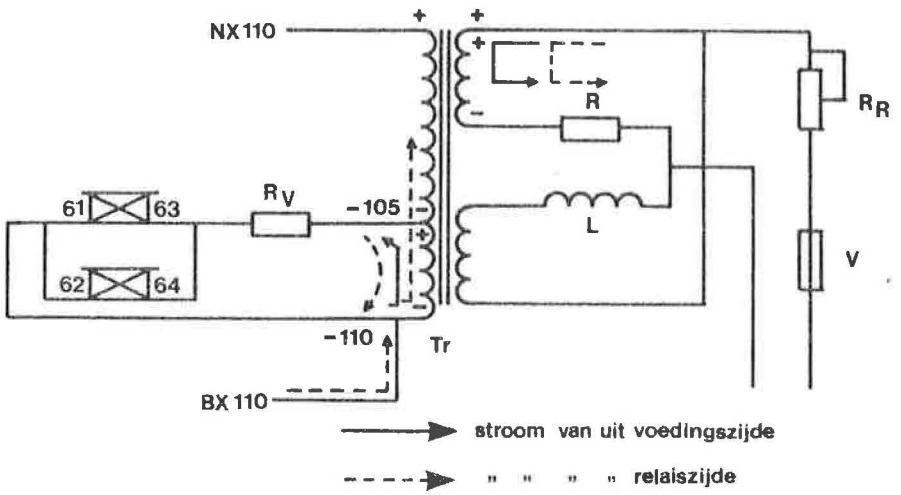
De volledige schakeling ziet er dan als volgt uit:



Desgewenst wordt aan de voedingszijde nog een BI geplaatst.
De ATB-code zal bij deze schakeling een stroom zijn die afwisselend aan en uit geschakeld wordt.
De volgende schets geeft een beeld van de stromen die in een spoorstaaf ter plaatse van de opneemspoel optreden als een trein een sectie aan de voedingszijde binnenrijdt en aan de relaiszijde weer verlaat. Het betreft dus de stromen in de spoorstaven tussen de relaiszijde en de trein. Achter de trein, dus tussen de voedingszijde en de trein loopt ook stroom door de spoorstaven. De opneemspoelen aan de achterzijde van de trein moeten daarom gegarandeerd zeker uitgeschakeld zijn!



In het schema van de volledige schakeling is de momentele richting getekend van de stroom die het relais bekrachtigd. Dit is belangrijk omdat getest moet worden of een defect CR-frontcontact (ten onrechte gemaakt) niet tot gevolg kan hebben dat het TR ten onrechte bekrachtigd wordt. De ATB voedingsspanning BX 110 - NX 110 moet daarom in de juiste fase op de voedingstrafo T aangesloten zijn.
Dit is verduidelijkt in het onderstaande schema:

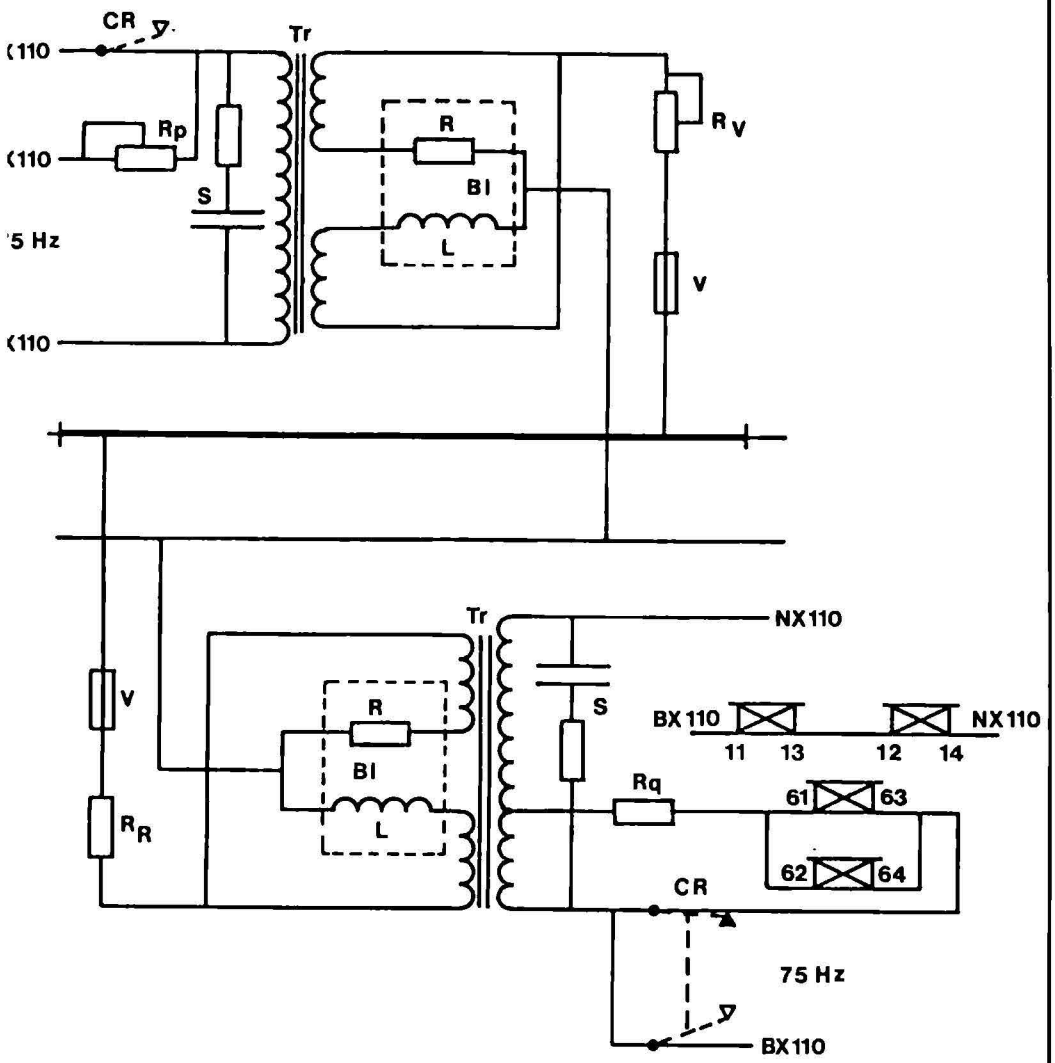


Getekend is de bekrachtigingsstroom vanuit de voedingszijde en de ATB-stroom vanuit de relaiszijde als het front-contact van het CR ten onrechte gemaakt is. Het deel van de primaire wikkeling van de transformator T waarop het relais is aangesloten, zal als spaartransformator gaan werken t.o.v. de aangesloten ATB-voedingsspanning. De stroom die als gevolg daarvan door de spoor fase van het relais gaat lopen is in tegenfase met de normale bekrachtigingsstroom. Het spoorrelais zal daardoor bij spoorbezetting niet ten onrechte opblijven.

Voor een juiste instelling van deze schakeling wordt verwezen naar de desbetreffende Meet- en Instelvoorschriften.

6.2.3 Beide zijden gecodeerd

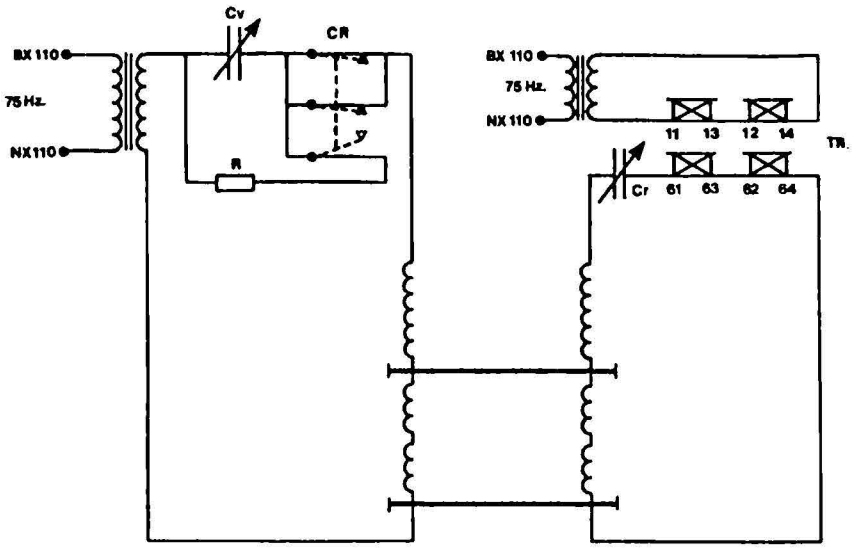
In het onderstaande schema is aangegeven hoe de schakeling eruit ziet als beide zijde code kunnen leveren en de sectie dus in beide richtingen met ATB-code bereden kan worden. Deze schakeling is een combinatie van de schakelingen met voedingszijde gecodeerd en relaiszijde gecodeerd.



6.3 DE DUBBEL-BENIGE SECTIE MET ATB

6.3.1 Voedingszijde gecodeerd (algemeen)

In het onderstaande schema is een dubbel-benig-geïsoleerde sectie getekend waarbij de voedingszijde gecodeerd wordt. De 75 Hz voeding wordt door het CR in het ritme van de gewenste code onderbroken.



Bij onbezette sectie is het CR verbreekcontact gesloten en wordt de voedingsspanning via de condensator C_V aan de railspoel van de voedingszijde aangeboden.

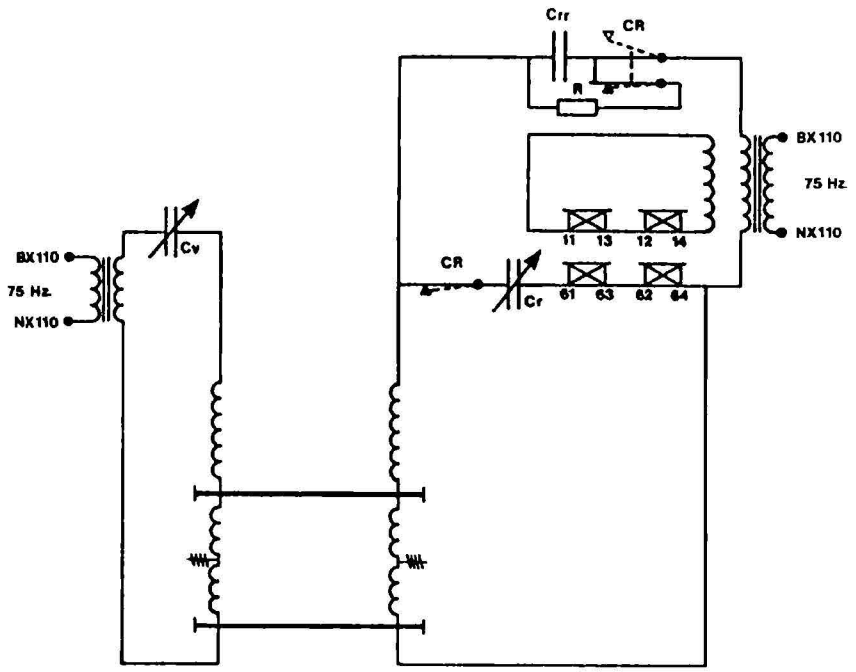
**Zodra de sectie wordt bezet en het CR gaat coderen dan worden de verbreekcontacten van het CR geopend.
Van het CR worden twee parallel geschakelde verbreekcontacten gebruikt omdat de zelfinductie van de railspoel de stroom die loopt in stand wil houden. Hierdoor kunnen op de zich openende contacten vlambogen ontstaan. Het verdelen van de stroom over beide contacten maakt dat de intensiteit van deze vlambogen minder is dan wanneer er slechts één contact wordt gebruikt. De levensduur van het CR wordt daardoor verlengd.**

Tevens wordt van het CR een maakcontact gebruikt om de condensator tussen twee pulsen te ontladen. Om de ontlaadstroom te begrenzen is in serie met het maakcontact een weerstand R opgenomen. Het ontladen van de condensator is nodig om te voorkomen dat ongewenste pieken aan de voorflank van de ATB-pulsen verschijnen. Zou men de condensator niet ontladen dan zal de condensator dit zonodig doen wanneer het CR verbreekcontact zich sluit. Via de voedingstranformator en de railspoel ontstaan dan korte vereffeningsstromen die als piekvormige stromen aan de voorflanken van de ATB-pulsen zichtbaar worden.

Het afregelen van de ATB-stroom gebeurt bij afgevallen CR. Aan de relaiszijde wordt het spoor op de voorgeschreven wijze kortgesloten met een voorgeschreven ampèremeter. Door nu de goede aftakking van de voedingstransformator te kiezen stelt men een kortsluitstroom in die voldoende hoog is (meer dan 6,5 A).

6.3.2 Relaiszijde gecodeerd (algemeen)

In het onderstaande schema is aangegeven hoe de schakeling eruit ziet als de relaiszijde gecodeerd wordt.



Er worden aan de relaiszijde in dat geval twee condensatoren toegepast. Bij onbezette sectie is het CR afgevallen en ontvangt het spoorrelais voeding "uit het spoor" via een gemaakt verbreekcontact en de condensator CR. Wordt de sectie bezet dan valt het TR af en zal het CR gaan coderen. Het CR trekt aan en schakelt het spoorrelais af. Het maakcontact van het CR wordt gemaakt en de ATB code wordt nu via de condensator C_{RR} aan de railspoel aan de relaiszijde aangeboden. De condensator C_{RR} is zodanig ingesteld dat de kring nagenoeg in resonantie is.

Valt het CR af dan wordt C_{RR} weer afgekoppeld van de voedingsspanning en wordt het spoorrelais weer met de railspoel verbonden. Intussen wordt via een verbreekcontact van het CR de condensator C_{RR} ontladen. Op deze wijze kan de volgende ATB-puls weer aangeboden worden. Dat de condensator CR ontladen behoeft te worden is voor zover bekend niet noodzakelijk.

Voor alle zekerheid is de spanning die via C_{RR} aan de railspoel aangeboden wordt ongeveer in tegenfase met de spanning die het spoorrelais krijgt aangeboden.

6.3.3 Het instellen van secties

Voor het instellen van een dubbelbenige sectie die aan de voedingszijde gecodeerd wordt geldt een 4-stappen filosofie.

1. **Stel de condensatoren C_V en C_R in op maximum**

2. **Stel vervolgens de voedingsspanning aan de voedingszijde zodanig in dat aan de relaiszijde de ATB-code 6,5 A bedraagt.**
3. **Regel nu de lokale spanning van het spoorrelais zo in dat bij kortsluiten aan de relaiszijde met 0,3 ohm het spoorrelais goed afvalt en bij kortsluiten met 0,5 ohm het spoorrelais nog juist aangetrokken blijft.**
4. **Controleer vervolgens of het spoorrelais op maximum koppel staat ingesteld. Herhaal zonodig deze 4 stappen uitgaande van de thans ingestelde voedingsspanningen.**

Raadpleeg het MIV voor de nadere uitwerking van deze 4 stappen. In deze 4 stappenprocedure zitten een aantal aannamen:

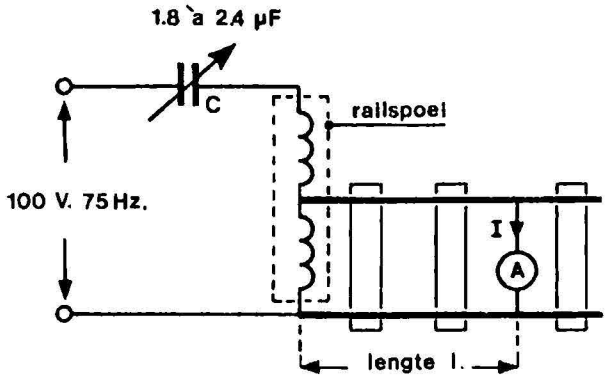
1. **De 0.3 - 0.5 ohm-test behoeft alleen aan het relaiszijde plaats te vinden. Voor de juistheid van deze aanname zie hoofdstuk 5.11.**
2. **Alleen aan de relaiszijde hoeft het ATB-niveau gemeten te worden. Op alle andere plaatsen in de sectie is de ATB-code altijd hoger dan 6,5 A. Hierop zullen wij in hoofdstuk 6.3.4 nader ingaan.**

Voor het instellen van een dubbelbenige sectie die aan de relaiszijde gecodeerd wordt geldt de bovenstaande 4 stappen filosofie met als extra stap het inregelen van de ATB-stroom vanaf de relaiszijde. Maak daartoe de voedingszijde stroomloos enmeet aan de voedingszijde van de sectie de ATB stroom bij afgevallen CR aan de relaiszijde. Stel de condensator C_{RR} aan de relaiszijde (zie schema van hoofdstuk 6.2.2) in op 2,25 µF en regel de ATB-voedingsspanning zo in dat er 6,5 A door de kortsluiting loopt. Controleer deze kortsluitstroom ook nog aan de relaiszijde en verhoog zonodig de spanning (voor een verklaring vanhet instellen op 2,25 µF: zie hoofdstuk 6.3.4)

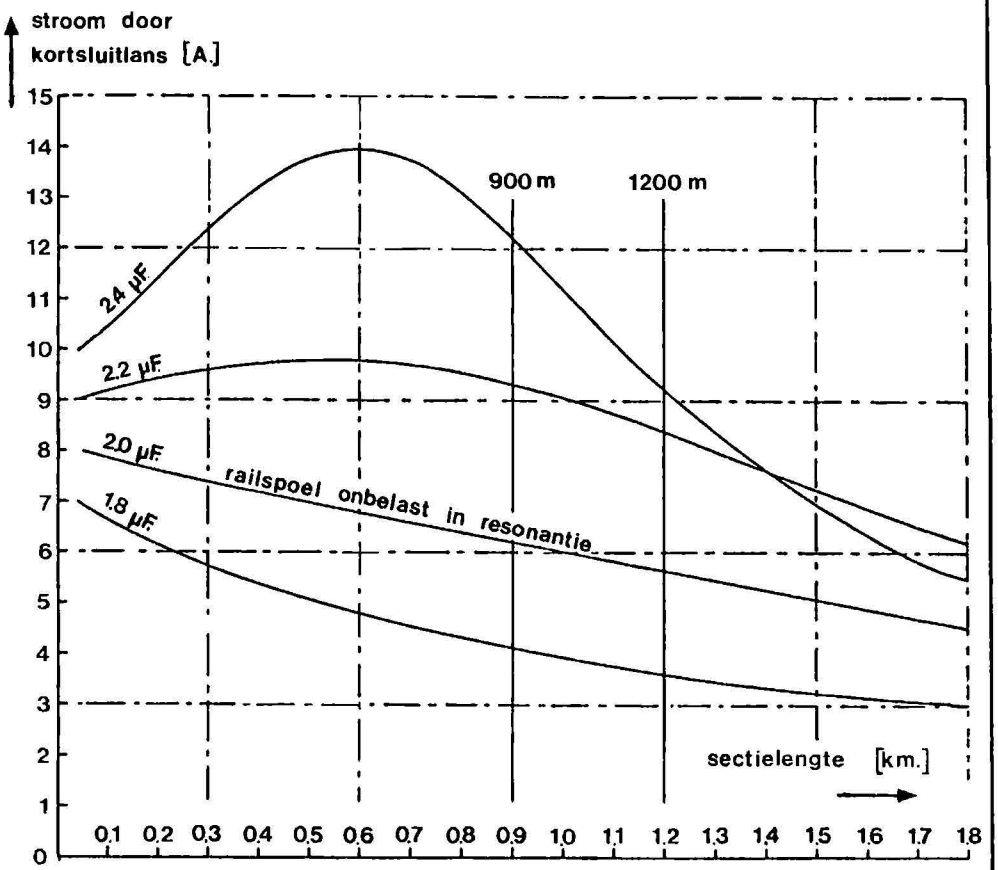
6.3.4 Verloop van het ATB-niveau

Het ATB-niveau in een dubbelbenige sectie wijkt sterk af van wat men zou verwachten. Bij enkelbenige secties meet men een steeds lager ATB-niveau naarmate men zich steeds verder verwijdert van het voedingspunt.
Bij dubbelbenige secties kan het omgekeerde voorkomen n.l. dat het ATB-niveau toeneemt naarmate men de amperemeter om het niveau te meten verder verwijdert van het voedingspunt (binnen zekere grenzen uiteraard)

In zijn eenvoudigste vorm ziet de ATB-voeding er als volgt uit:



In de onderstaande grafiek wordt de ATB-stroom I steeds gemeten als functie van de afstand tot het voedingspunt. De voedingsspanning is steeds 100V, 75 Hz, maar de condensator varieert men van 1,8 tot 2,4 µF.



Opmerking:
In de praktijk moet men rekening houden met afwijkingen op deze grafiek i.v.m. toleranties van de componenten als condensatoren en railspoelen.

Van de hier uitgezette grafiek is bekend dat de railspoel in resonantie is bij C = 2.0 µF.
Uit de grafiek is het volgende af te lezen:
Bij C = 2,0µF zien we dat de amperemeter, geplaatst aan de voedingszijde, 8 ampere aanwijst. Geplaatst op 900 meter vanaf de voeding is dit 6A en op 1200 m ca. 5 A.
Conclusie: is de kring op resonantie afgesteld dan neemt de ATB-stroom toe naarmate we het voedingpunt dichter naderen.
Bij C = 2,2 µF of 2,4 µF (dus "boven resonantie")wijst de amperemeter, geplaatst op ca. 500 m vanaf het voedingspunt méér aan dan bij het voedingspunt zelf. Dit komt omdat de lus die de parallelle spoorstaven en de amperemeter in dat geval maken een zekere zelfinductie teweegbrengen die parallel geschakeld is aan de "uitgang" van de railspoel. Dit parallelschakelen heeft tot gevolg dat de totale zelfinductie van de resonantie verlaagd wordt. Bij condensatorwaarden die oorspronkelijk hoger zijn dan voor resonantie gewenst is zal dit verlagen van de zelfinductie ertoe leiden dat de kring nu juist wel in resonantie kan raken. Omdat nu de sectie "meedoet" aan het resonantieverschijnsel neemt ook de stroom in de sectie toe. Wordt teveel parallel geschakeld dan neemt de ATB-stroom weer af.

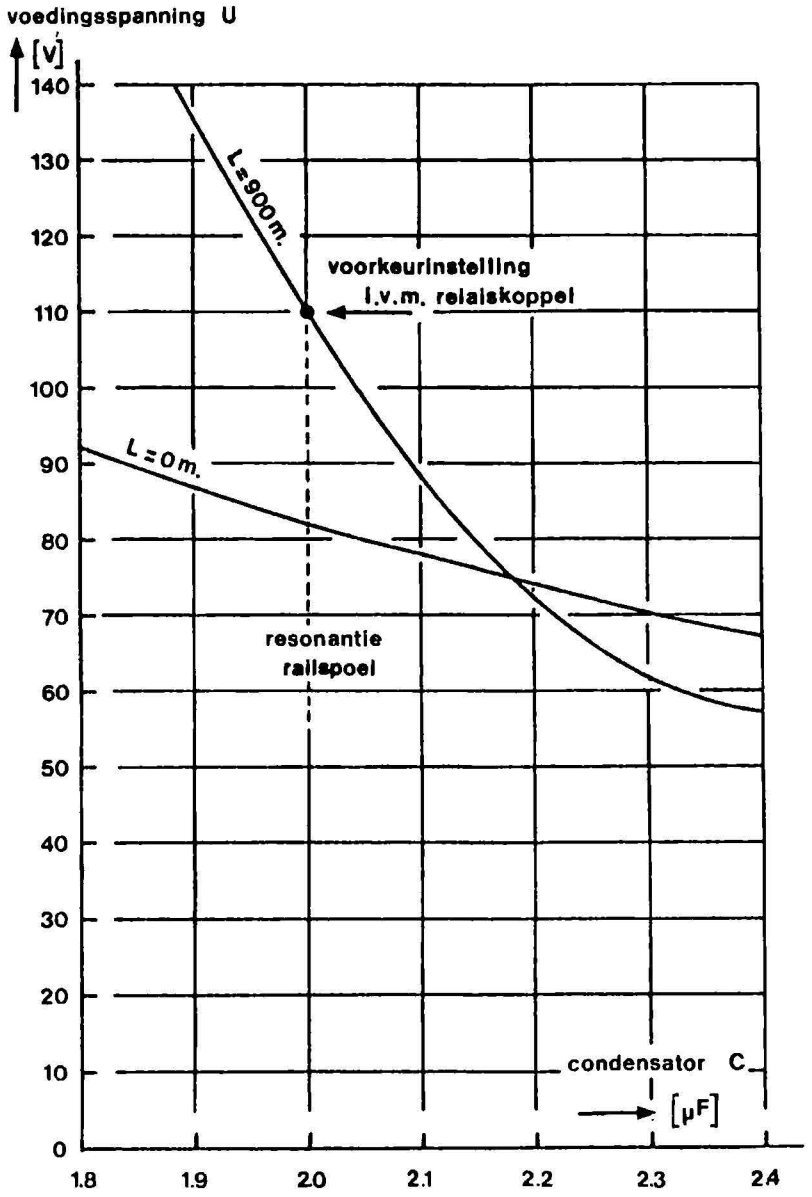
De stelling dat men bij instellingen waarbij het spoorrelais op maximaal koppel is afgeregeld en waarbij de railspoelen dus in resonantie zijn, de ATB-stroom alleen maar aan de relaiszijde hoeft te worden gemeten, is hiermee aannemelijk gemaakt.

Bij instellingen "boven resonantie", dus vooral bij gebruik van een vaste condensator van 2,25 µF moet men altijd zowel ter hoogte van het voedingspunt als wel ter hoogte van het "verre eind" van de sectie de ATB-stroom op zijn juiste waarde controleren.
Aan de relaiszijde wordt t.b.v. de condensator die de ATB-stroom levert (C_{RR} in het schema van hoofdstuk 6.3.2) vaak een condensator met een waarde van 2,25 µF gekozen omdat dan een zo "vlak" mogelijk verloop van de ATB stroom als functie van de plaats van de kortsluiting in de sectie wordt verkregen.

Dat men bij instellingen "boven resonantie" zowel aan het voedingspunt als aan het "verre eind" moet controleren of de eis van 6,5 A gehaald wordt, blijkt duidelijk uit de grafieken.

Uitgaande van het verloop van de ATB-stroom als functie van de plaats van de kortsluiting kan men voor een bepaalde lengte ook een grafiek maken van de benodigde voedingsspanning om 6,5 A te verkrijgen als functie van de toegepaste condensator.

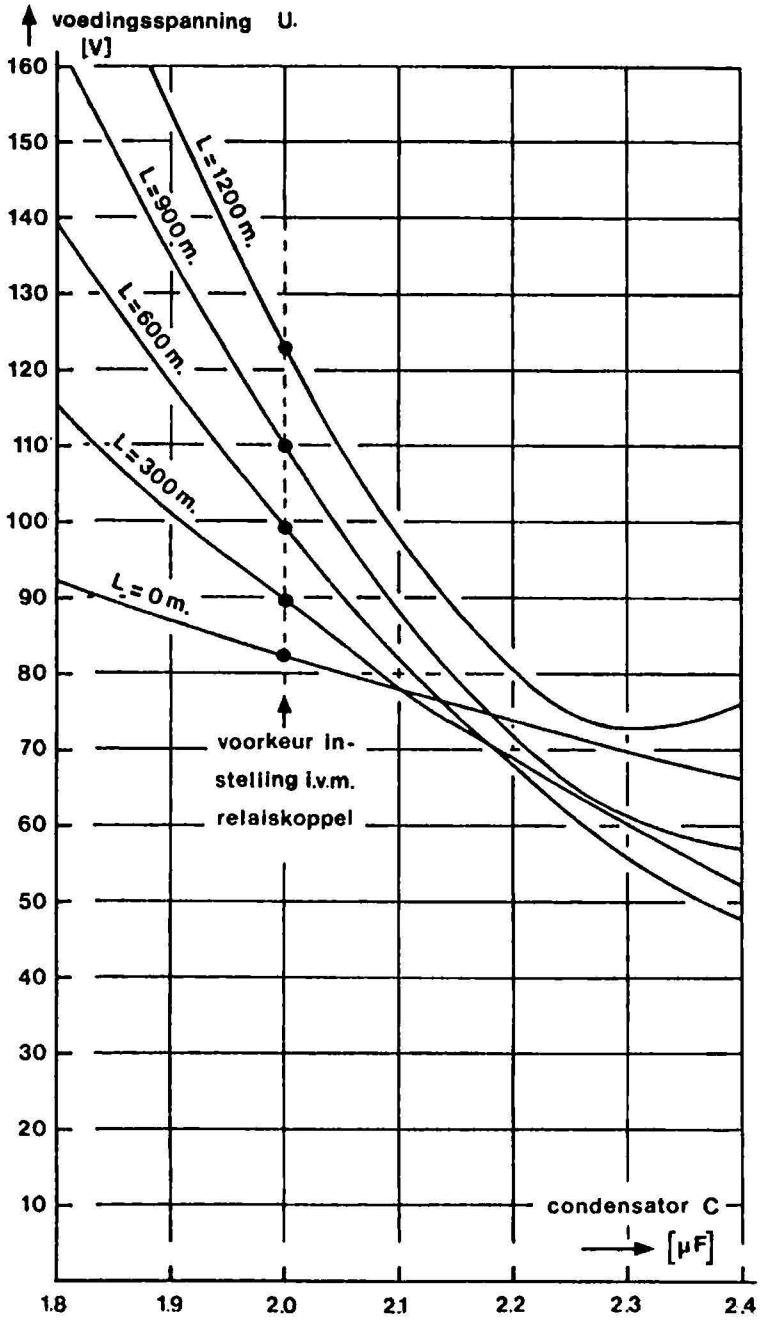
In het onderstaande voorbeeld is dit weergegeven voor een sectie van 900 meter.



Er zijn twee lijnen voor de benodigde voedingspanning getekend opdat 6,5 A kortsluitstroom verkregen wordt bij:
- 1 = 0 m (dus ter hoogte van het voedingspunt)
- 1 = 900 m (dus bij het "verre eind")

Men ziet dat de lijnen van 1 = 0 m en 1 = 900 m elkaar snijden bij C = 2,2 µF.
Wat dit betekent volgt uit het volgende voorbeeld.
Bij C = 2,3 µF kan men met U = 60 volt volstaan om 6,5A kortsluitstroom aan het "verre eind" (1 = 900 m) te verkrijgen. Meet men nu echter bij het voedingspunt (1 = 0 m) dan zal blijken dat men de spanning tot ca.70 volt moet opregelen om ook hier tenminste 6,5 A kortsluitstroom te verkrijgen.

Bij codering vanaf de voedingszijde brengt de instelling van de sectie op maximum koppel met zich mee dat C bij voorkeur op 2,0 µF staat. De benodigde voedingsspanning t.b.v. de ATB is dan in dit voorbeeld 110 volt.
Dat met lagere voedingsspanningen volstaan kan worden om voldoende ATB-stroom te verkrijgen is duidelijk.
Toch is de relatief hoge spanning van 110 volt de uit beveiligingsoogpunt meest gewenste instelling!

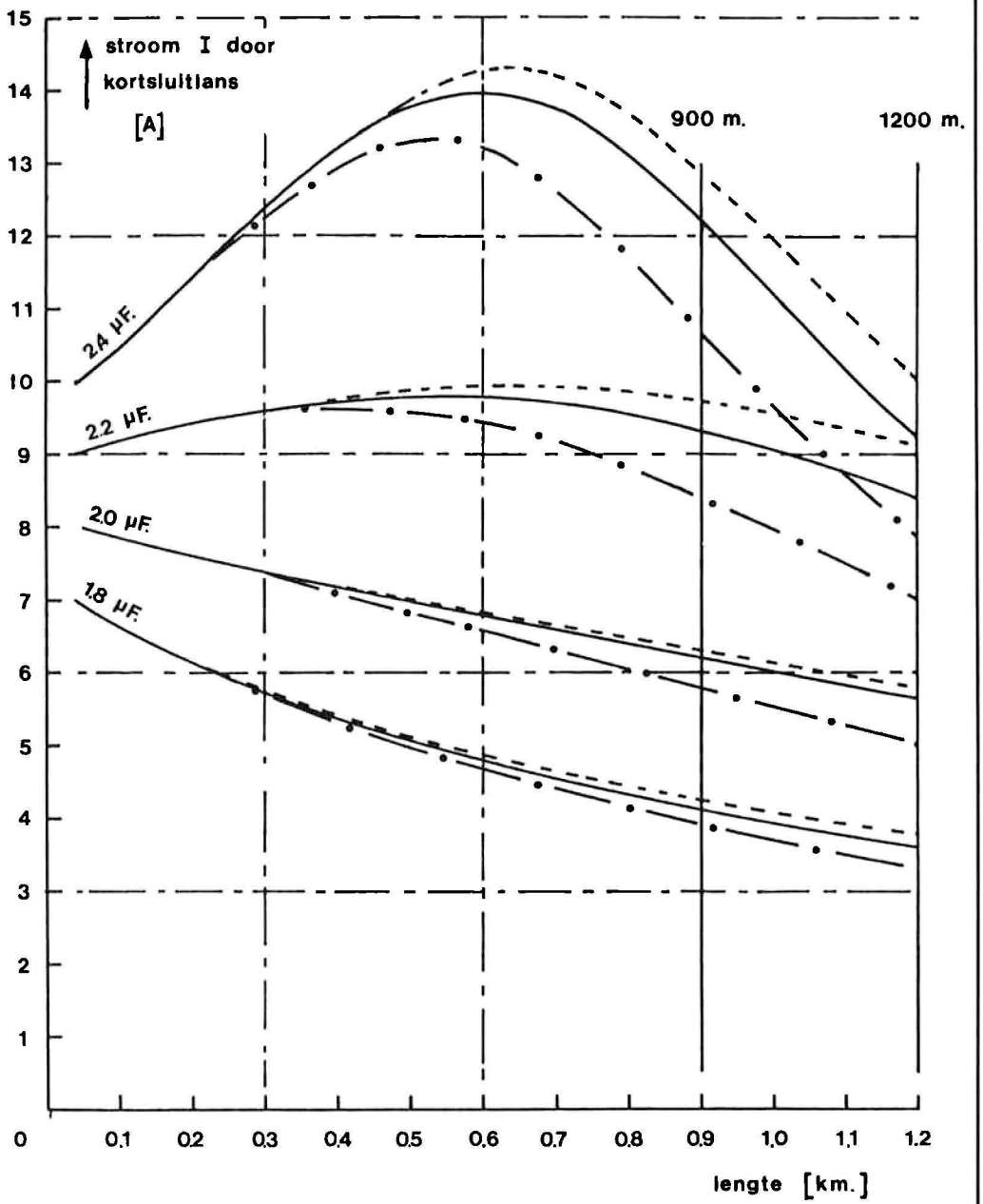

voedingsspanning U.
[V]
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
L=1200m.
L=900m.
L=600m.
L=300m.
L=0m.
voorkeur in-
stelling i.v.m.
relaiskoppel
condensator C
[µF]
1.8
1.9
2.0
2.1
2.2
2.3
2.4

6.3.5 ATB-stroom en ballastvariatie

In de onderstaande grafiek is de invloed getekend van de ballastweerstand op het verloop van de ATB-kortsluitstroom. De verschillende ballastwaarden zijn

------- 1000 ohm km (extreem hoog)
——— 5 ohm km (normaal)
-.-.-.- -1,5 ohm km (extreem laag)

Overige gegevens (zie ook gegevens van hoofdstuk 6.3.4)
U = 100 V, 75 Hz
Profiel NP 46
C = 1,8 - 2,4 µF



Men kan stellen dat de ballastvariaties op een sectie op de vrije baan begrensd worden tussen 1000 ohm.km en 5 ohm.km. Duidelijk is uit de grafiek af te lezen dat instelling rondom C = 2.0 µF ertoe leidt dat de invloed van de ballastimpedantie op het ATB-niveau verwaarloosbaar is.

6.3.6 ATB-stroom en spoorstaafprofiel

In de onderstaande grafiek is aangegeven wat de invloed is van het toegepaste spoorstaafprofiel op het verloop van de ATB-stroom. De twee meest toegepast profielen zijn aangegeven

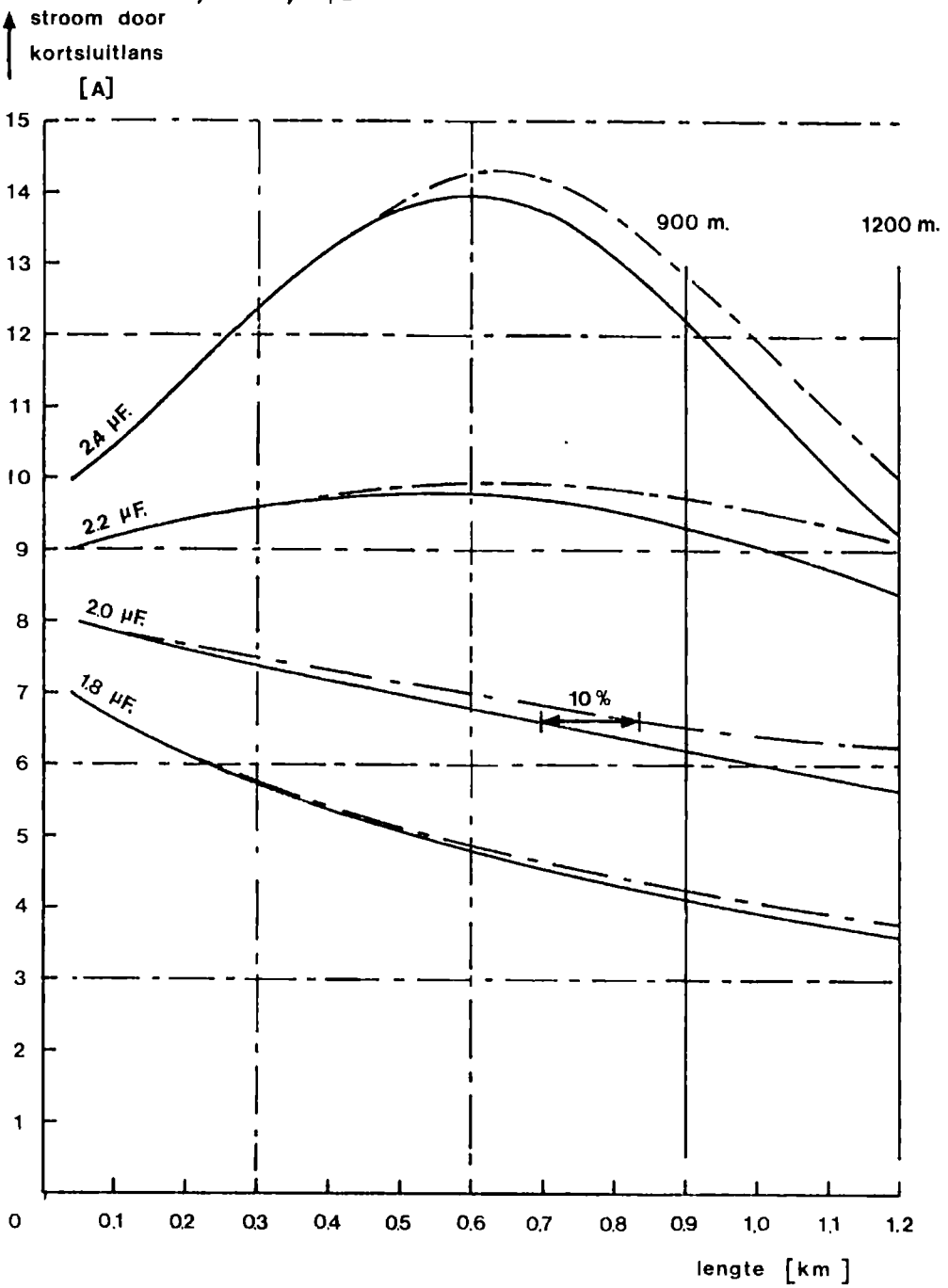
——— NP 46

----- UIC 54

Overige gegevens (zie ook schema van hoofdstuk 6.3.4)

U = 100 V, 75 Hz

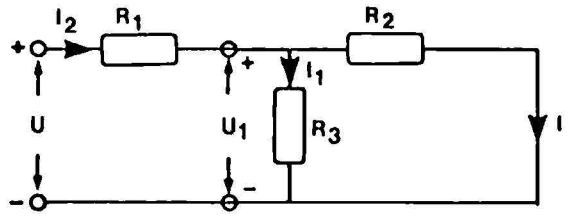
C = 1,8 - 2,4 µF



Het blijkt dat de beide grafieken gelijk zijn, met dit verschil dat de grafiek voor UIC 54 in de richting van 1 met ca. 10% uitgerekt is t.o.v. de grafiek van NP 46. Dit is te verklaren uit het feit dat de impedantie van de parallelle spoorstaven bij 75 Hz ook 10% lager ligt bij UIC 54 t.o.v. NP 46.

Bijlage 1

Uitgegaan wordt van de volgende spanning en stromen:



De spanning U is te schrijven als:

$U = I_2 R_1 + IR_2$ (1)

waarbij $I_2 = I_1 + I$ (2)

De stroom I_1 volgt uit:

$U_1 = IR_2$ (3)

$I_1 = \frac{U_1}{R_3} = \frac{IR_2}{R_3}$ (4)

Het resultaat van (4) wordt ingevuld in (2):

$I_2 = \frac{IR_2}{R_3} + I$ (5)

Het resultaat van (5) wordt ingevuld in (1):

$U = \left\{\frac{IR_2}{R_3} + I\right\} R_1 + IR_2$

uitwerken: $U = \frac{I R_1 R_2}{R_3} + IR_1 + IR_2$

$$\boxed{U = I \left\{R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}\right\}}$$

Bijlage 2

Een vierkantsvergelijking van de vorm:

$a\,x^2 + b\,x + c = 0$

waarbij a, b en c bekende constanten en x de onbekende is oplosbaar met de abc-formule.
Er zijn in principe twee oplossingen: x_1 en x_2.

$$x_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2}$$

$$x_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2}$$

De formule $R^2 + 6R - 30 = 0$ heeft dus in principe twee oplossingen n.l. R_1 en R_2. Verder geldt:

$a = 1$
$b = 6$
$c = -30$

Invullen:

$$R_1 = \frac{-6 + \sqrt{6^2 - 4.1(-30)}}{2.1} = \frac{-6 + \sqrt{156}}{2}$$

$$= \frac{-6 + 12.4}{2} = 3.2$$

dus een oplossing is: R = 3.2 ohm

De tweede mogelijke oplossing geeft:

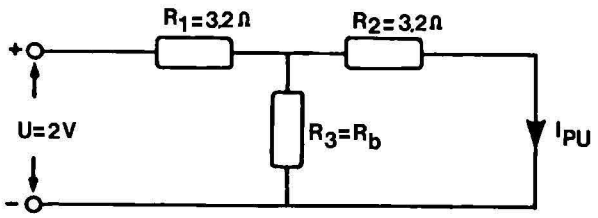
$$R_2 = \frac{-6 - \sqrt{6^2 - 4.1.(-30)}}{2} = \frac{-6 - \sqrt{156}}{2}$$

$$= \frac{-6 - 12.4}{2} = -9.2$$

De oplossing R = - 9.2 is hier niet bruikbaar omdat negatieve weerstanden niet bestaan.

Bijlage 3

De eerste instelling geeft bij onbezet spoor het volgende schema.



Bij onbezet spoor varieert R_3 van 1 ohm tot 20 ohm. Daarmee wordt een ballastvariatie van R_b van 1 ohm tot 20 ohm nagebootst.
In formule:

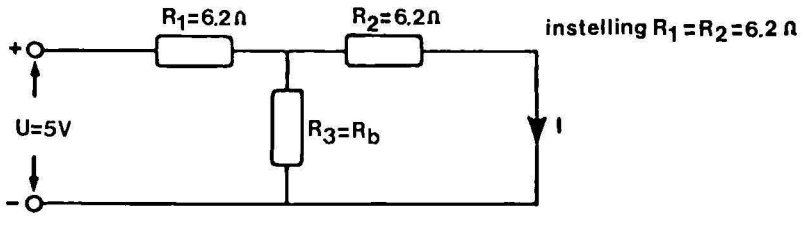
$$U = I_{PU} \left\{ R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3} \right\}$$

$$Z = I_{PU} \left\{ 3.2 + 3.2 + \frac{3.2 \times 3.2}{R_b} \right\}$$

$$Z = I_{PU} \left\{ 6.4 + \frac{10.24}{R_b} \right\}$$

$$\text{of: } I_{PU} = \frac{2}{\left\{ 6.4 + \frac{10.24}{R_b} \right\}} \qquad (1)$$

De tweede instelling geeft bij onbezet spoor het volgende schema.



In formule $U = I_{PU} \left\{ R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3} \right\}$

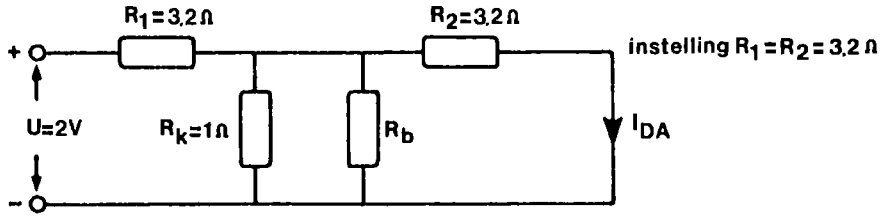
$$5 = I_{PU} \left\{ 6.2 + 6.2 + \frac{6.2 \times 6.2}{R_b} \right\}$$

$$\text{of: } I_{PU} = \frac{5}{\left\{ 12.4 + \frac{38.44}{R_b} \right\}} \qquad (2)$$

De formules (1) en (2) geven dus voor de beide instellingen de stroom door het relais bij onbezet spoor als functie van de ballastweerstand.

Vervolgens wordt voor beide instellingen uitgerekend wat de stroom door het relais is bij bezet spoor, d.w.z. wanneer de sectie kortgesloten is met een weerstand R_k van 1 ohm. Deze kortsluiting vindt plaats bij diverse waarden van de ballastweerstand.

Voor de eerste instelling geeft dit het volgende schema.



De parallelschakeling van R_b met de kortsluitweerstand van 1 ohm vormen samen R_3.
In formule:

$$R_3 = \frac{R_k \times R_b}{R_k + R_b} = \frac{1 \times R_b}{1 + R_b}$$

De stroom I_{DA} wordt als volgt berekend:

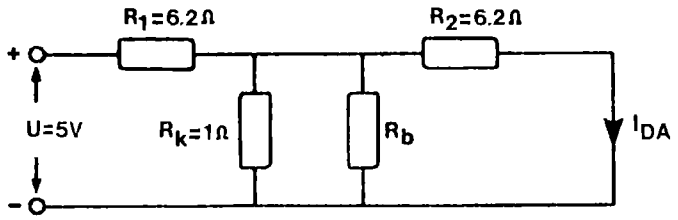
$$U = I_{DA} \left\{ R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3} \right\}$$

$$Z = I_{DA} \left\{ 3.2 + 3.2 + \frac{3.2 \times 3.2}{\frac{R_b \times 1}{R_b + 1}} \right\}$$

$$Z = I_{DA} \left\{ 6.4 + \frac{10.24\ (R_b + 1)}{R_b} \right\}$$

$$\text{of: } I_{DA} = \frac{2}{\left\{ 6.4 + \frac{10.24\ (R_b + 1)}{R_b} \right\}} \qquad (3)$$

De tweede instelling geeft bij bezet spoor het volgende schema.



De stroom I_{DA} bij deze instelling wordt als volgt berekend:

$$U = I_{DA} \left\{ R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3} \right\}$$

$$5 = I_{DA} \left\{ 6.2 + 6.2 + \frac{6.2 \times 6.2}{\frac{R_b \times 1}{R_b + 1}} \right\}$$

$$\text{of: } I_{DA} = \frac{5}{\left\{ 12.4 + \frac{38.44\ (R_b + 1)}{R_b} \right\}} \qquad (4)$$

De formules (3) en (4) geven dus voor de beide instellingen de stroom door het relais bij bezet spoor (d.w.z. kortgesloten met 1 ohm) als functie van de ballastweerstand.

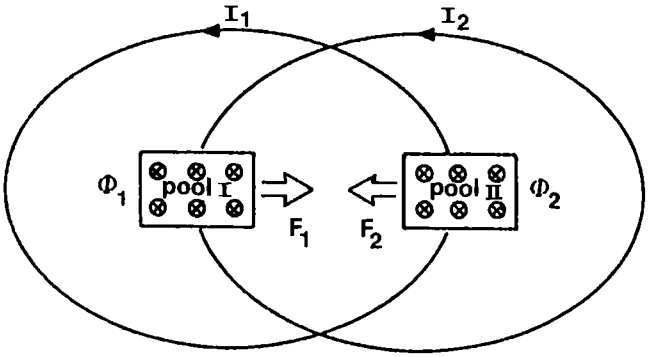
De uitkomsten van de formules (1) t/m (4) zijn als volgt:

	Instelling R_1 = 3.2 ohm R_2 = 3.2 ohm U = 2 volt		Instelling R_1 = 6.2 ohm R_2 = 6.2 ohm U = 5 volt	
Ballast weerst. R_b (ohm)	Sectie onb. I_{PU} (ampère)	Sectie bez. I_{DA} ampère	Sectie onb. I_{PU} ampère	Sectie bez. I_{DA} ampère
1	n.v.t.	0.074	n.v.t.	0.056
2	n.v.t.	0.092	n.v.t.	0.071
3	0.203	0.100	0.198	0.079
4	0.223	0.104	0.227	0.083
6	0.247	0.109	0.266	0.087
8	0.260	0.112	0.291	0.090
10	0.269	0.113	0.308	0.091
12	0.276	0.114	0.320	0.093
14	0.280	0.115	0.330	0.093
16	0.284	0.116	0.338	0.094
18	0.287	0.116	0.344	0.094
20	0.289	0.117	0.349	0.095

Hoewel niet van toepassing is ook I_{DA} berekend bij waarden van de ballastweerstand die liggen onder het aanvaardbaar minimum van 3 ohm, n.l. bij R_b = 1 ohm en R_b = 2 ohm.

Bijlage 4

Uit paragraaf 3.3.4 blijkt dat wanneer de velden ϕ_I en ϕ_2 op gelijke wijze veranderen, de kracht op het relais of de resulterende nul is.



De kracht F_1 is evenredig met I_2 en ϕ_1. Dus:

$F_1 \hat{=} I_2 \Phi_2$
evenzo: $F_2 \hat{=} I_1 \Phi_2$

De totale kracht F op de schijf is het verschil tussen beide krachten. Dus:

$F = F_1 - F_2$

Het veld Φ, verandert sinusvormig met de tijd.
Dus:

$\Phi_1 = \hat{\Phi} \sin(\omega t)$

waarbij $\hat{\Phi}_1$ = de maximumwaarde van Φ_1

ω = de hoeksnelheid in rad/sec
t = de tijd in sec.

De stroom I_1 t.g.v. het veld van Φ_1, verandert ook sinusvormig met de tijd, maar ijlt 90^o na op Φ dus:

$I_1 = \hat{I}_1 \sin(\omega t - 90^o)$

Wel is het zo dat $\hat{I}$, evenredig is met $\hat{\Phi}$, immers hoe groter het veld, hoe groter $\hat{I}$. Dus:

$I_1 \hat{=} \hat{\Phi}_1 \sin(\omega t - 90^o)$

$\hat{=} - \hat{\Phi}_1 \cos(\omega t)$

Stel nu dat tussen Φ_1 en Φ_2 een faseverschuiving γ bestaat. Φ_2 en I_2 zijn dan te schrijven als:

$\Phi_2 = \hat{\Phi}_2 \sin(\omega t + \gamma)$

$$I_2 = \hat{I}_2 \sin(\omega t + \gamma - 90^o)$$
$$= \hat{I}_2 (-\cos(\omega t + \gamma))$$

$$I_2 \hat{=} -\hat{\Phi}_2 \cos(\omega t + \gamma)$$

De koppelformule wordt dan:

$$F = F_1 - F_2$$

$$F \hat{=} I_2 \Phi_1 - I_1 \Phi_2$$

$$\hat{=} -\hat{\Phi}_2 \cos(\omega t + \gamma)\, \hat{\Phi}_1 \sin(\omega t) +$$

$$-\hat{\Phi}_1 \cos(\omega t)(-\hat{\Phi}_2 \sin(\omega t + \gamma))$$

$$\hat{=} \hat{\Phi}_1 \hat{\Phi}_2 \left(-\cos(\omega t + \gamma) \sin(\omega t) + \cos(\omega t) \sin(\omega t + \gamma)\right)$$

Uitwerken:

$$F \hat{=} \hat{\Phi}_1 \hat{\Phi}_2 \{(-\cos(\omega t)\cos\gamma + \sin(\omega t)\sin\gamma)\sin(\omega t) +$$

$$+ \cos(\omega t)(\sin(\omega t)\cos\gamma + \cos(\omega t)\sin\gamma)\}$$

$$\hat{=} \hat{\Phi}_1 \hat{\Phi}_2 \{-\cos(\omega t)\cos\gamma \sin(\omega t) + \sin^2(\omega t)\sin\gamma +$$

$$+ \cos(\omega t)\sin(\omega t)\cos\gamma + \cos^2(\omega t)\sin\gamma\}$$

$$\hat{=} \hat{\Phi}_1 \hat{\Phi}_2 \{\sin^2(\omega t)\sin\gamma + \cos^2(\omega t)\sin\gamma\}$$

$$F \hat{=} \hat{\Phi}_1 \hat{\Phi}_2 \sin\gamma$$

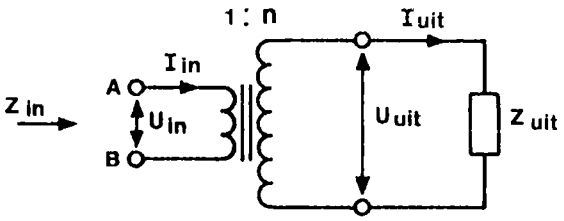
Omdat $\hat{\Phi}_1$ evenredig is met de stroom $\hat{I}_s$ door spoor fase en $\hat{\Phi}_2$ evenredig is met de stroom $\hat{I}_2$ door de lokale fase en omdat toevallig de fasehoek tussen Φ_1 en Φ_2 nagenoeg gelijk is aan de fasehoek tussen I_s en I_1, kan men stellen dat

$$F \hat{=} \hat{I}_s \hat{I}_1 \sin\gamma$$

Deze formule noemt men de koppelformule.
Als belangrijk resultaat van deze formule blijkt dat de kracht F maximaal is als $\gamma = 90^o$. Tevens blijkt dat voor gegeven I_s en I_1 de kracht F constant is en het relais dus zonder trillen aantrekt.

Bijlage 5

Stel dat de onderstaande ideale transformator een wikkelverhouding heeft van 1 : n en dat de transformator belast is met een impedantie Z_{uit}. Deze impedantie kan zuiver ohms zijn, inductief of capacitief.



Wat men wil weten is, hoe deze impedantie Z_{uit} "gezien" wordt aan de primaire zijde; dus men wil weten hoe Z_{in} zich verhoudt tot Z_{uit}:

$$Z_{uit} = \frac{U_{uit}}{I_{uit}} \qquad (1)$$

$$Z_{in} = \frac{U_{in}}{I_{in}} \qquad (2)$$

$$U_{uit} = n\, U_{in} \qquad (3)$$

$$I_{uit} = \frac{1}{n} I_{in} \qquad (4)$$

Invullen van (3) en (4) in formule (1) geeft:

$$Z_{uit} = \frac{n\, U_{in}}{\frac{1}{n} I_{in}} = n^2 Z \qquad (5)$$

ofwel

$$Z_{in} = \frac{Z_{uit}}{n^2} \qquad (6)$$

Voorbeeld 1

Stel dat in het bovenstaande schema de wikkelverhouding 1 : 100 bedraagt en dat de impedantie Z_{uit} 2000 ohm is. De schakeling vormt dan op de punten A en B een belasting van:

$$Z_{in} = \frac{Z_{uit}}{n^2} = \frac{2000}{100 \times 100} = 0{,}2 \text{ ohm}$$

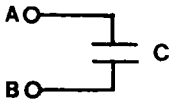
Voorbeeld 2

Bij het in resonantie brengen van de laagspanningsspoel van een railspoel heeft men een capacitieve impedantie Z_C nodig van 0.15 ohm. Zoals bekend geldt:

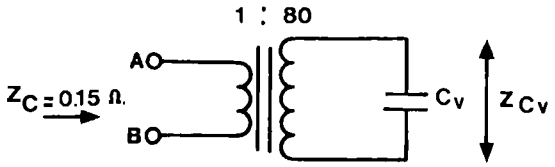
$$Z_C = \frac{1}{2\,\pi\,f\,C} \quad \text{ofwel} \quad C = \frac{1}{2\pi\,Z_C}$$

bij een frequentie f = 75 Hz is dus een capaciteit benodigd van:

$$C = \frac{1}{2 \times 3{,}14 \times 75 \times 0{,}15} = 14 \text{ mF}$$



Door nu een transformator toe te passen met een wikkelverhouding van 1 : 80 kan met een lagere capaciteit worden volstaan.



Toepassing van formule (5) geeft:

$$Z_{Cv} = n^2\,Z_C = 80^2 \times 0{,}15 = 960 \text{ ohm}$$

Dit komt overeen met een capaciteit C_v van 2,2 F die als volgt te berekenen is:

$$Z_{Cv} = \frac{1}{2\mu f C_v} \rightarrow C_v = \frac{1}{2\mu f Z_{Cv}}$$

$$C_v = \frac{1}{2 \times 3{,}14 \times 75 \times 960} = 2{,}2\ \mu\text{F}$$

Het blijkt dus dat een condensator C vervangen kan worden door een N^2 kleinere condensator C_v als men gebruik maakt van een transformator met een wikkelverhouding 1 : n.

