

Spårledningar.

Härtill figurblad XIX-1...

En spårledning är en strömkrets, vari en avisolerad sträcka av sinsemellan med kontaktförbindningar förbundna räler ingå som ledare. Spårledningens uppgift är att kontinuerligt registrera om en spårsträcka, vari spårledningen är belägen, är belagd eller fri från järnvägsfordon. Småfordon få ej påverka spårledning, varför hjulen skola vara isolerade från varandra.

Principsschemat för en spårledning är mycket enkelt. I ena änden eller på mitten å den avisolerade sträckan matas en elektrisk ström in på spåret. Å spårledningens andra ände är ett relä anslutet mellan skenor. Skensträngarna, som utgöra resp branscher i ledaren, hava således motsatt polaritet mot varandra. Då inget kortslutande fordon finnes på sträckan kan strömmen flyta fram från strömkällan via rälererna till reläet, som därvid är attraherat. Kommer ett kortslutande hjulpar in på sträckan, flyter strömmen över detta och reläet mister strömmen och utlöser.

Isolationen mellan de båda rälssträngarna är icke fullständig utan en del av strömmen flyter direkt över mellan dessa. Det motstånd, som förefinnes mellan rälssträngarna, kallar man för ballastmotståndet. Detta motstånd varierar högst betydligt beroende på syllarnas innehåll av mer och mindre ledande impregneringssalter och fuktighet. Temperaturen inverkar ävenledes i hög grad på ledningsförmågan. Således är ballastmotståndet lägst vid hög temperatur och fuktig väderlek. Vid kall väderlek då fuktigheten är frusen är ballastmotståndet högt. För jämförelsen räknar man med en sträcka av 1000 meter. Vid frusen ballast kan motståndet gå upp till 200 ohm och mer. Vid hög temperatur och fuktiga syllar kan motståndet gå ned till 1 ohm.

Rälsmotståndet är beroende på rälsarean samt kontaktförbindningarnas ledningsförmåga. Som regel kan man för likström räkna med c:a 0,1 ohm resistans i en 1000 m:s sträcka, d v s 2000 m lång rälssträng. För växelström bliver motståndet eller impedansen betydligt högre, vari strömmens periodtal ingår som faktor.

För isolering av rälerna över lång vid spårledningens ändpunkter, användes isolerskarvar med fiberinlägg. En hel mängd sådana detaljer, beroende på mångfalden av rälsmodeller, måste finnas i lager. En del av de vanligaste använda fiberdetaljerna äro uppräknade å blad XIX-2. För erhållande av god förbindning mellan rälerna över lång användes kontaktförbindningar. Konstruktionen av dessa har under årens lopp ändrats åtskilligt. Anslutning av strömkälla och relä till spårledning sker medelst kabel avslutad i en kopplingstrumma. Förbindelsen från trumman till rälssträngarna sker medelst anslutningsledningar av kopparvajer. Som av ovanstående framgått användes som strömkälla för spårledningar i vissa fall likström och i andra fall växelström. Vid SJ användes i övervägande grad likströmsspårledningar, som i det följande först beskrivas.

Likströmsspårledningar äro i princip visade å blad XIX-5. Fig 1 visar en spårledning å ångbana där båda rälssträngarna äro isolerade. Matningen sker från ett primärbatteri bestående av ett antal parallellkopplade caustic-soda celler. Å fig 2 består strömkällan av ett ackumulatorbatteri laddat med en likriktare. Vid elektrifierad bana måste den ena rälen vara obruten för återledning av banströmmen. Genom spänningsfallet i återgångsrälen, eller som man vanligen kallar den minusrälen, åstadkommet av banströmmen, uppstår störströmmar i matningsanordningen och spårreläet. För nedbringandet av denna störström, insattes en drossel i serie med reläet och även ibland vid matningen.

Fig 3 visar en likströmsspårledning av det vanliga utförandet vid elektrifierad bana.

På grund av störströmmar i jorden förorsakade av s.k. "magnetiska oväder" uppstå spänningar över lång i den obrutna

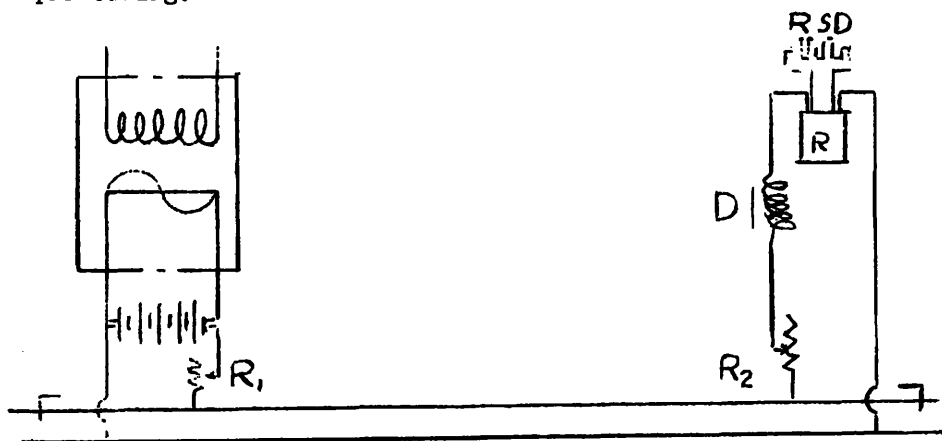
rälen av varierande värde. Spänningsfall upp till 4 å 5 volt av växlande polaritet har blivit uppmätta mellan skenorna vid störningstillfällena. Dessa spänningar kunna icke shuntas bort med hjulparen, därför utgöra störningarna en viss fara för trafiksäkerheten. För att eliminera denna risk har man gått in för att höja spänningen å matningsbatteriet till ett så högt värde att utlösningsspänningen mellan rälererna ligga i nivå med eller över störspänningarna. Därför måste man dels sätta högre förkopplingsmotstånd vid matningen och även motstånd i relätillledningen.

På senaste tiden har man börjat använda ett slags spårreläer som endast attrahera för ström i en riktning. Dessa reläer äro hittills av amerikanskt fabrikat och kallas av dem Biased Neutral Relais. Reläernas selectivitet grundar sig på att de äro försedda med en permanent magnetisk shunt av mycket stark polstyrka. Om det elektromagnetiska fältet har samma riktning som det permanenta blir det inga kraftlinjer kvar att attrahera ankaret. Först när strömmen genom spolen är av sådan riktning att det elektromagnetiska fältet ligger mot det permanenta, attraherar reläet. Selectiviteten är 1:400, d.v.s. om reläet attraherar för 1 volt likspänning i "rätt" riktning måste det läggas på 400 volt i andra riktningen för att reläet skall attrahera. Man utnyttjar denna egenskapen hos dessa reläer på så sätt att ett relä placeras i vardera änden av spårledningen och matningen sker på mitten. En störspänning påverkar båda reläerna med samma polriktning varemot den normala matningen påverkar reläerna i motsatta polriktningar. En spårledning av detta slag visas å fig 4. Ett relä av ovan angivna slag visas å blad XI-10 under kapitlet reläer.

En spårledning skall vara så inrättad att reläet utlöser vid så högt shuntvärde som möjligt för att å andra sidan attrahera vid ett värde som ej ligger för långt från det ovan angivna. För att uttrycka detta mera konkret så skall ett spårrelä som löser ut vid 0,5 ohms shunt helst attrahera vid 1 ohms shunt mellan rälererna. Detta är ett önskemål som eftersträvas vid beräkningen och inställningen av spårledningar.

På grund av variationen i ballastmotståndet måste spårledningen uppfylla stora krav för att fungera tillfredsställande. Spårledningen måste så att säga vara följsam. Det har utformats en regel vilken säger att den bästa balansen erhålles om spänningen å matningskällan är dubbelt mot spårspänningen. Detta är sanning om det inte är något motstånd inkopplat mellan spåret och reläet. Om för stort motstånd är inlagt mellan matningen och spåret, blir spårledningen för känslig, d.v.s. den löser ut för en relativt hög shunt och reläet har svårt för att åter attrahera.

I det följande visas ett fall på beräkning och avbalansering av en spårledning. De anförda siffrorna utgöra blott ett exempel på huru man överslagsvis kalkylerar en likströms spårledning.



Batterispänning E_1	=	6,5 volt
Spårspänningen E_2	=	3,0 "
Ballastmotst. B_m	=	42 ohm
Rälsmotstånd R_m	=	0,1 "
Drosselns motst. D_m	=	2,75 "
Relämotst. R	=	4 "
Reläshuntmotst. M	=	3 "
Reläet attraherar säkert för		0,12 amp
Reläet utlöser för		0,05 amp.

Rälsmotståndet som normalt uppgår till 0,1 ohm kan i denna beräkning försummas, likaså uppledningsmotstånden.

Motstånden R_1 och R_2 skola beräknas samt utlösningss- och attraktionsshuntarna.

Beräknas.

$$\text{Reläspänningen} = 4 \cdot 0,12 = 0,48 \text{ volt}$$

$$\text{Reläshuntströmmen} = 0,48 : 3 = 0,16 \text{ amp}$$

$$\text{Strömmen från spåret} = 0,12 + 0,16 = 0,28 \text{ amp}$$

$$\text{Motståndet i reläkretsen} = 3 : 0,28 = 10,7 \text{ ohm.}$$

Motståndet i reläkretsarna är sammansatt av relä parallellt med shunten i serie med drosseln och regleringsmotståndet.

$$R_2 + D + \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R_{sh}}} = 10,7 \text{ ohm}$$

$$R_2 + 2,75 + \frac{1}{\frac{1}{4} + \frac{1}{3}} = 10,7 \text{ ohm}$$

$$R_2 + 2,75 + 1,71 = 10,7$$

$$R_2 = 6,23 \text{ ohm}$$

Summamotståndet av ballastmotståndet B_m och reläkretsen

$$= \frac{1}{\frac{1}{10,9} + \frac{1}{2}} = 1,67 \text{ ohm}$$

$$\text{Strömmen till spåret} = 3 : 1,67 = 1,8 \text{ amp}$$

$$\text{Spänningsfallet i motst } R_1 = 6,5 - 3 = 3,5 \text{ volt}$$

$$\text{Motståndet i } R_1 = 3,5 : 1,8 = 1,96 \text{ ohm.}$$

Beräkning av utlösningsshunten

Först beräknas utlösningsspänningen mellan skenorna.

Reläets utlösningsspänning förhåller sig till arbetsspänningen som utlösningssströmmen till arbetsströmmen d.v.s. som $0,05 : 0,12 = 0,417$.

Utlösningsspänningen är således $0,417 \cdot 3 = 1,26$ volt.

Ett motstånd av x ohm skall parallellkopplas med ballastmotståndet som är 2 ohm vilka tillsammans = y ohm förorsaka

att spänningen mellan skenorna skall dragas ned till 1,26 volt.

Spänningsfallet över R_1 skall bli 6,5 - 1,26 = 5,24 volt.

Utgående strömstyrkan I blir då

$$I = 5,24 : 1,96 = 2,69 \text{ amp}$$

vilka fördela sig på 2 och x ohm vid spänningen 1,26 volt.

$$y = 1,26 : 2,69 = 0,47 \text{ ohm}$$

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{x} = \frac{1}{0,47}$$

$$0,47x + 0,47 \cdot 2 = 2x; \quad 0,94 = 1,53x$$

$$x = 0,61 \text{ ohm.}$$

Reläet attraherar vid ett ballastmotstånd av 2 ohm och utlöser enl. beräkning då detta parallellkopplas med 0,61 ohm. Stiger detta ballastmotståndet till - säg 100 ohm - blir utlösningen försvårad genom att ett något lägre motstånd måste apteras mellan skenorna för att reläet skall utlösa.

Vid ibruktagande av en spårledning bör man inställa den samma för ett lägsta ballastvärde som ^{man} antager kan uppstå vid fuktig ballast. Detta kan lämpligen ordnas genom att shunta spårledn. med ett motstånd så att detta tillsammans med ballastmotståndet ger t.ex. 2 ohm. Därefter företages inställning av förkopplingsmotståndet vid matnings- och reläänden så att reläet får sin arbetsström.

Räls- och ballastmotstånden skola förut vara uppmätta genom att inkoppla en amperemeter i matartilledningen samt en voltmeter mellan skenorna varvid rälsmotståndet erhålles genom att kortsluta skenorna vid reläänden och avläsa det erhållna spänningsvärdet och strömvärdet samt dividera dessa med varandra, varvid värdet på rälsmotståndet erhålles. Detta bör ligga omkring 0,1 ohm per 1000 m spår. Ballastmotståndet erhålles med samma instrumentinkoppling med att bryta relätiledningea. Dett erhållna spänningsvärdet divideras med strömvärdet varvid erhålles ballastmotståndet. Det är önskvärt att detta är så högt som möjligt och helst icke under 2 ohm per 1000 m spår. Avsikten med dessa två mätningar är att konstatera att spårledningen är funktionsduglig innan det göres någon inställning av motstånd.

Växelströmsspårledningar hava i huvudsak kommit till användning vid anläggningar på större bangårdar. Motivet för detta är att man hittills erhållit större kontaktantal å växelströmsreläer. Dels äro växelströmsreläer snabbare i fällningen än likströmsreläer. Matningen från en gemensam kraftkälla, vilket är fallet vid växelströmsanläggning, ställer sig gynnsammare än många likströmsmatare. Dessutom giver växelströmssystemet ännu en fördel, nämligen att man kan låta spårledningarna "gå i varandra" genom att båda spårledningarnas "plus" rälér gå parallellt. Därigenom fällas båda spårledningarna då fordon kommer in på denna gemensamma del. Detta system är illustrerat å blad XIX-3.

Växelströmsspårledningar kunna anordnas på olika sätt vilket framgår av blad XIX-6 fig 1, 2, 3 och 4.

Ett växelströmsspårrelä är alltid uppbyggt enl. Ferrarri-principen.

Å en del reläer produceras båda faserna genom strömmen från spårledningen. Dessa reläer taga således hela effekten från spåret, se blad XI-9, fig 1. Numera användas tvåfasreläer där hjälpfasen "lokalfasen" erhåller ström från det isolerade 110 eller 220 V nätet och en ringa del tagas från spåret "spårfasen".

Å blad XIX-6 fig 1 visas en "enfassspårledning" med ett Union Switch relä av skivtyp där förskjutningen mellan faserna sker medelst en kopparring inlagd i magnetpaketets polytors ena hälft. Se blad XI-9. Till förhindrandet av att reläet drager för lägre periodtal än vad som bestämts består skivan av två motarbetande skivor. Skänklarna å det ena magnetpaketet är omslutet av kopparringar som stoppa upp fältet i denna krets för 50 per eller högre. Dominerar 16 2/3 per "tryckes" reläet ner enär kopparringarna i detta fall ej stoppa fältet.

Fig 2 illustrerar en spårledning med G.R.S. relä där förskjutningen och riktningen mellan faserna sker i en Wheatstones brygga för växelström.

Fig 3 visar en spårledning med ett Westinghouses tvåfas skivrelä. Tillsammans med detta fall är visat att spårledningarna matas med två å samma axel anbringande förställbara generatorer så att en för reläerna lämplig fasförskjutning mellan matningsvektorerna erhålles.

Fig 4 visar en spårledning matad med en statisk frekvensgenerator där faserna äro förskjutna c:a 70° . Reläet är ett LME trumrelä av instickstyp.

Vid elektrifierad bana måste hänsyn tagas vid val av spårledningar till de störningar som banströmmens grundton i och för sig åstadkommer och dels de störningar som övertoner, alstrade i loktransformatorerna och rälsen, producera.

Å blad XIX-8 framgår huru stora de olika övertoner äro i förhållande till grundtonen. Spårledningen matas här med en 100 per/sek frekvens. Denna undersökning klarlägger att reläet måste vara så anordnat att ej banströmmen eller dess övertoner skola så inverka på spårreläet så att detta attraheras.

Vid beräkning och anordnandet av en spårledning med tvåfasrelä är det flera faktorer att räkna med än vid en likströmsspårledning. Genom att rälerna äro av stål innehålla det ett icke oväsentligt induktivt motstånd för växelströmmen varigenom en viss fasförskjutning mellan spänning och ström uppstår. Genom uppmätningar har konstaterats att växelströmsmotståndet vid 50 per/sek i 96 års räl är c:a 0,6 pr km, för 75 per/sek är motståndet 0,8 pr km och vid 100 per/sek 1,0 pr km spår vid en fasförskjutning av c:a 70°

Å bif diagram XIX-8 är visat en spårledning matad med två sinsemellan förställbara generatorer varav den ena matar lokalfasen och den andra spårfasen.

Spårkretsformler och deras härledning.

Om spänningen e och strömstyrkan i som erfordras vid spårreläanslutningarna, blocksträckans längd, rälsimpedansen med dess fasförskjutning och ballastens läckningsmotstånd äro

givna, så är det problem vi ställes inför att bestämma den kraft, som skall matas in i spåret vid transformatoränden.

Potentialskillnaden mellan rälerna faller från transformatorändens E till reläändens e och följaktligen minskas ballastläckströmmen i samma riktning. Ballastläckströmmen gör att en högre transformatorspänning måste påläggas för att nå värdet e vid reläänden. I förenklande syfte antar man ibland att ballastläckningen är koncentrerad till spårkretsens mittpunkt, men detta är icke alldeles befogat. Uppenbarligen är det koncentrerade ballastläckaget beläget närmare transformatoränden än reläänden, ty det är närmare transformatoränden som spänningen är högst och således ballastströmmen störst. Den riktiga bestämningen av ballastläckaget är därför en invecklad sak. Det kan emellertid bestämmas och började användas mycket i England för att sedan efterföljas i andra länder, som använder växelströmsspårreläer.

Det är uppenbarligen riktigtast att anse ballastledningsförmågan likformigt fördelas och med hjälp av de följande enkla formlerna framställda av Mr L.V. Lewis och först publicerade i The Signal Engineer (juli 1911), kan man enkelt beräkna transformatorändens E och I och deras fasförhållanden som funktion av reläspänning och reläström, e och i respektive Z, den totala impedansen hos rälerna erhållen genom att multiplicera värden å en växelströms spårkrets uttryckt i 1000 meter och G, totala ballastläckningen, som fås genom att multiplicera det inverterade värdet av ballastläckningsmotståndet räknat i ohm per 1000 meter med längden av spårkretsen i 1000-tal meter.

$$E = e \cosh \sqrt{ZG} + i \sqrt{\frac{Z}{G}} \sinh \sqrt{ZG} \quad (1)$$

$$I = i \cosh \sqrt{ZG} + e \sqrt{\frac{Z}{G}} \sinh \sqrt{ZG} \quad (2)$$

Termerna cosh och sinh (uttalade kosch och schin) äro cosinus och sinus hyperbolicus för en imaginär eller komplex vinkel representerad i detta fall av kvantiteten \sqrt{ZG} . Dessa formler kan fås i användbar form genom att utveckla funktionerna i deras motsvarande oändliga serier, vilka börja som följer.

$$\cosh x = 1 + \frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{24} + \frac{x^6}{720} + \dots \quad (3)$$

$$\sinh x = x + \frac{x^3}{6} + \frac{x^5}{120} + \frac{x^7}{5040} + \dots \quad (4)$$

där x representerar den hyperboliska vinkeln \sqrt{ZG} och tecknet \lfloor 1 t ex fallet $\lfloor 3$ trefakultet, d.v.s. $1 \times 2 \times 3 = 6$ o.s.v. Sålunda är

$$\cosh \sqrt{ZG} = 1 + \frac{ZG}{2} + \frac{(ZG)^2}{24} + \frac{(ZG)^3}{720} + \dots \quad (5)$$

$$\sinh \sqrt{ZG} = \sqrt{ZG} + \frac{\sqrt{(ZG)^3}}{6} + \frac{\sqrt{(ZG)^5}}{120} + \dots \quad (6)$$

Sätter man in (5) och (6) i (1) och (2) fås

$$E = \left(e + \frac{eZG}{2} + \frac{e(ZG)^2}{24} + \frac{e(ZG)^3}{720} + \dots \right) + \left(1\sqrt{\frac{Z}{G}}\sqrt{ZG} + \frac{1\sqrt{\frac{Z}{G}}\sqrt{(ZG)^3}}{6} + \frac{1\sqrt{\frac{Z}{G}}\sqrt{(ZG)^5}}{120} + \dots \right) \quad (7)$$

$$I = \left(1 + \frac{1ZG}{2} + \frac{1(ZG)^2}{24} + \frac{1(ZG)^3}{720} + \dots \right) + \left(e\sqrt{\frac{G}{Z}}\sqrt{ZG} + \frac{e\sqrt{\frac{G}{Z}}\sqrt{(ZG)^3}}{6} + \frac{e\sqrt{\frac{G}{Z}}\sqrt{(ZG)^5}}{120} + \dots \right) \quad (8)$$

Hysning av (7) och (8) ger

$$E = e + Zi + \frac{Z}{2}Ge + \frac{Z}{3}\frac{G}{2}Zi + \frac{Z}{4}\frac{G}{3}\frac{Z}{2}Ge + \dots \quad (9)$$

$$I = 1 + Ge + \frac{G}{2}Zi + \frac{G}{3}\frac{Z}{2}Ge + \frac{G}{4}\frac{Z}{3}\frac{G}{2}Zi + \dots \quad (10)$$

Där de fem givna termerna i högra ledet för alla praktiska tillfällen är tillräckliga. De som följa är vanligen små nog att kunna bortse från.

Likheterna (9) och (10) kan också utvecklas direkt ur Ohms lag, då $E = IZ$ och $I = EG$, och härigenom kan man förstå deras fysikaliska bakgrund. Till att börja med äro de två första termerna i (9) och (10), e och i , reläspänningen och reläströmmen och äro kända. Reläströmmen i som flyter genom rälsmotståndet ger $e_2 = Zi$ och likaså åstadkommer reläspänningen e anbringad längs hela spårsträckan en läckström $i_2 = Ge$. Si och Ge utgöra därför termerna nr 2 i respektive serier. Tydligt ökar $e_2 = Zi$ (där i är konstant) likformigt från

reläet till transformatorn och dess medeltal är därför $\frac{e_2}{2}$ och motsvarande ballastström $i_3 = \frac{e_2}{2} G = \frac{G}{2} Zi$; på liknande sätt kan visas att $e_3 = \frac{Z}{2} Ge$. Dessa sistnämnda kvantiteter utgöra sålunda tredje termen i ström- och spänningsserierna resp.

Utvecklingen av nästa spänningsterm e_4 ur i_3 bereder svårighet därför att vi icke ha någon anledning antaga ett medelvärde $\frac{1}{2} i_3$ för i_3 ; och detta är bevisligen ej heller medelvärdet, ty i_3 är produkten av två faktorer G och Z vilka variera med längden av spårkretsen, och i_3 ökar därför med kvadraten på avståndet från reläet. Det kan visas att i vilken som helst ekvation av den allmänna formen $y = x^n$ är medelvärdet av y mellan gränserna y och 0 $\frac{1}{n+1}$ av y 's maximalvärde. Därför är medelvärdet av i_3 ovan $\frac{1}{3} i_3$ och motsvarande elektromotoriska kraft är $e_4 = \frac{2i_3}{3} = \frac{Z}{3} \cdot \frac{G}{2} Zi$ och på liknande sätt $i_4 = \frac{G}{3} \cdot \frac{Z}{2} Ge$.

Dessa äro termerna ur nr 4 i motsvarande likheter och på detta vis kan man fortsätta tills (9) och (10) fullständigt efterliknats. Det är att märka att varje term i I-serien härledes ur föregående term i E-serien genom att multiplicera med G , dividerat med 1, 2, 3 o.s.v., vilket är strängt logiskt eftersom det är detta föregående spänningstal som åstadkommer strömmen ifråga. Omvänt får man varje term i E-serien ur föregående i I-serien genom att multiplicera med Z , dividerat med 1, 2, 3 o.s.v.

Jämförelse mellan metoderna centerläckning och fördelad läckning.

Om ovanstående termer utvecklas enligt centerläckningsmetoden där hela läckningen antas ske över ett enda motstånd mitt i blocksträckan, finna vi

$$E = e + Zi + \frac{Z}{2} Ge + \frac{Z}{2} \frac{G}{2} Zi \quad (11)$$

$$I = i + Ge + \frac{G}{2} \cdot Zi \quad (12)$$

De tre första termerna i ovanstående är identisk med motsvarande termer i (9) och (10). Fjärde termen i ekvation (11) är emellertid 50 % större än motsvarande i (9). Centerläckningsmetoden ger därför fullt tillfredsställande resultat där spårkretsen är kort nog att tillåta bortsyn från alla termer efter den tredje.

Användning av spårledningsformlerna å en växelströms-spårledning försedd med ett tvåfas skivrelä. Se blad XIX-9.

Vi skola nu använda formler 9 och 10 för beräkning av en 1000 meter lång spårledning försedd med ett tvåfas skivrelä. Som förut beskrivits är ett tvåfas spårrelä det mest ekonomiska och arbetar bäst när lokalfasen ligger 90° före spårfasen. Denna beräkning på spårledningen kan även tillämpas på ett enfasrelä.

Givna data för spårledningen.

Längd av spårledningen 1000 meter matad i ena änden.

Ballastmotstånd 6,5 ohm, $G = \frac{1}{6,5} = 0,154$.

Rälsimpedans $Z = 0,9$ ohm för 75 per/sek, 65° fasförskjutning.

Reläets lokalfas 110 V, 75 per/sek, fasvinkel $\varphi_1 = 70^\circ$

Spårfas 4,5 volt, 0,152 amp, fasvinkel $\varphi_s = 70^\circ$.

Relätransf. spårledning 2 volt, resist 0,1 ohm, imp. 25 ohm och sek.lindning 8 volt, resist. 1 ohm.

Reläuppledningen 30 ohm.

Ledningsmotståndet mellan spår och relätransformator 0,1 ohm.

Spårtransformatorns primärlindning 110 volt och med ett antal sekundäruttag, som i regel passa för de erforderliga spänningarna.

Motståndet i ledning och förkopplingsmotstånd mellan spåret och spårmatningstransformatorn 2 ohm.

Givet: $e_r = 4,5$ volt, $i_r = 0,152$ amp.

Beräknas: e_s , e_{tp} , i , e_s , E_t , I_s , E_s .

Genom uppläggning av diagrammet XIX-9 erhåller man de olika vektorernas riktning. Storleken av dem erhålles genom formel 11 och 12.

Vi veta att fasskillnaden mellan spänning er 4,5 volt och reläströmmen i_r 0,152 amp är 70° . Strömmen ligger efter spänningen.

Spänningsfallet i kabelledningen (30 ohm) är 4,56 volt och ligger i fas med i_r . Den erhållna spänningen ets blir således 7,43 volt.

Spänningen å relätransformatorns spårside etp ligger 180° före ets och är på grund av transformatorns omsättningsförhållande $4/1 = 1,86$ volt. Transformatorns "spårström" ip ligger likaledes 180° förskjuten till i_r och är 0,61 amp.

Relätransformatorn har en tomgångsimpedans som är 25 ohm, varför tomgångsströmmen blir 0,0743 amp och ligger 90° efter etp. i blir således 0,654 amp.

et = spänningsfallet i kabeltilledningen är 0,654 amp gånger 0,25 ohm (Kabelledn.motstånd) blir 0,163 volt och ligger i fas med i.

es blir således = 2 volt.

Termen G_e är en funktion av inverterade värdet av ballastläckningen $\frac{1}{6,5} = 0,154$ multiplicerat med E_s som är 2 volt. E_e blir således = 0,308 amp och ligger i fas med es.

Z_1 (0,9 /rälsimpedansen/multiplicerad med i) = 0,589 V och ligger 70° före G_e .

$\frac{G}{Z} \cdot Z_1 = 0,077 \cdot 0,589 = 0,0453$ är nästa strömterm och ligger i fas med Z_1 .

$\frac{Z}{Z} \cdot G_e = 0,139$ ligger 70° före $\frac{G}{Z} \cdot Z_1$.

$\frac{G}{Z} \cdot \frac{Z}{Z} \cdot G_e = 0,0071$ och ligger parallellt med $\frac{Z}{Z} \cdot G_e$.

Utgående strömmen I_s blir 0,91 amp.

Spänningen E_t vid transformatoränden blir 2,18 volt.

Spänningsfallet $I_s \cdot r$ i kabeltilledningen blir 1,82 volt och ligger i fas med I_s .

Spänningen E_{ts} blir 3,8 volt.

Etp (primärvektorn å matningstransformatorn) kommer o:a 180° före och får en riktning av 120° eller 60° i förhållande till kabelfasens å spårreläet.

Vi se här att vid denna spårledning kommer lokalfasen från matarmaskinen att ligga 52° förskjuten till spårfasvektorn. Vid en kortare eller längre spårledning ändras de numeriska värdena å spänningen och strömmen, vilket förorsakar att de slutliga fasvinklarna bliva något annorlunda.

Vid en sådan analys, som nu angivits kan man med stor säkerhet få reda på huru fasvinkeln mellan lokal och spårfas å reläet ställer sig. Ävenså kan man med denna metod fastställa huru fasvinkeln blir vid kortslutning mellan rälerna vare sig vid relä- som transformatoränden. Det kan hända att vid en dålig kortslutning fasvinkeln förbättras i hög grad, vilket försvårar fällningen. Det är därför synnerligen nödvändigt att ställa om så att man får en gynnsam fasvinkel vid ett lagom ballastmotstånd ty då är man säker på att vid kortslutning vinkeln försämrars.