

Kurs
för
vagnelektriker

Brev 1

I denna kurs kommer huvudvikten att läggas vid redogörelser för den elektriska utrustningen på vagnar samt vid anvisningar om hur denna utrustning skall skötas och hur eventuella fel skola avhjälpas. I den elektriska utrustningen ingå en mångfald olika maskiner och apparater. För att rätt förstå hur de verka och hur de skola skötas fordras emellertid även en grundläggande kännedom om elektriciteten och dess verkningar.

1. Elektricitet

Benämningen härleder sig från det grekiska namnet på bärnsten, elektron. Det var nämligen vid gnidning av bärnsten med skinn, som man först iaktog, att vissa ämnen efter gnidning erhålla förmåga att dra till sig lätta föremål såsom små pappersbitar och dylikt. Denna förmåga kallades elektricitet.

Vad elektricitet egentligen är, kan tyvärr icke förklaras på ett enkelt och lättfattligt sätt. Praktiskt taget allt vårt vetande om elektriciteten har länge inskränkt sig till kännedom om hur elektriciteten beter sig, eller hur den reagerar vid påverkningar av olika slag. Under de senaste årtiondena har man emellertid lyckats få en viss uppfattning om, vad den kan vara.

Vid försök att förklara vad elektricitet är, kommer man in på det intima sambandet mellan elektricitet och materia.

Man har förutsatt, att alla ämnen bestå av ytterst små partiklar. Dessa benämnas molekyler. Molekyler, som tillhöra samma ämne, äro alla lika. Mellan molekylerna verka krafter, som sträva efter att föra dem intill varandra och hålla dem samman. Äro dessa krafter tillräckligt stora, bilda molekylerna tillsammans en fast kropp.

Vid sönderdelning av molekylen har man funnit, att de byggnadsstenar varav molekylen är uppbyggd till sina egenskaper i många avseenden skilja sig från den ursprungliga molekylen. Dessa byggnadsstenar benämnas atomer. Man känner nära hundra olika atomer. Kombinerade på olika sätt och i olika antal uppbygga de alla molekyler, som ingå i och karakterisera de olika slagen av materia.

Atomen består av en kärna, och kring denna kretsas i vissa bestämda banor små partiklar, som fått benämningar elektroner. Antalet sådana cirkelbanor samt antalet elektroner, som kretsas på varje cirkel, äro karaktäristiska för varje grundämnes atomer, se bif bildblad!

En väteatom, den lättaste av alla, består sålunda av en kärna med en enda kring denna kretsande elektron. Kring heliumatomens kärna kretsas på samma cirkel två elektroner. Granskar man en natriumatom, skall man finna, att kring dessa kärna kretsas på en innersta cirkel två elektroner på en utanför denna liggande åtta elektroner samt på en tredje ytterst liggande cirkel en elektron. På liknande sätt äro alla de övriga grundämnenas atomer uppbyggda.

Man har funnit, att även atomkärnan är uppbyggd av små grundstenar av två olika slag. Dessa benämnas positroner och neutroner. Positronen är till sin natur besläktad med elektronen. Båda sakna praktiskt taget vikt och förekomma i samma antal i den fria atomen. Neutronen bestämmer atomens vikt.

Elektronen och positronen anses vara mycket små kvantiteter av vad vi i dagligt tal brukar kalla elektricitet. Till denna uppfattning har man kommit bland annat av den orsaken, att i rörelse stadda elektroner och positroner, som under kontroll frigjorts från sina kärnor, giva precis samma verkningar, som en på vanligt sätt åstadkommen elektrisk ström.

Eftersom alla positroner och elektroner äro lika till sina belopp, och dessutom äro de minsta kvantiteter, som kunna påvisas, kallas positronen en positiv enhetsladdning och elektronen en negativ enhetsladdning. Den fullständiga atomen har lika många elektroner som positroner och ter sig följaktligen utåt som en elektriskt neutral enhet. En atom däremot, som berövats exempelvis en elektron och härigenom mist en del av sin negativa laddning, kommer utåt att te sig som ett positivt element.

2. Spänning

Liksom en enstaka atom eller molekyl kan också ett helt komplex av sådana, exempelvis en fast kropp, bringas att antaga en elektrisk laddning. Storleken på denna blir beroende på överskottet av positiva eller negativa enhetsladdningar.

Enkla försök visa, att elektriskt laddade föremål utöva kraftverkan på varandra. Om de äro laddade med samma slags elektricitet, stöta de bort varandra. Äro de däremot laddade med olika slags elektricitet, närma de sig varandra.

Få de beröra varandra, sker en utjämning mellan laddningarna, så att föremålen efteråt verka elektriskt neutrala.

Olika laddningars strävan att utjämna varandra kan betraktas som en kraft, vilken driver enhetsladdningarna i sådan riktning, att en utjämning inträffar. Denna kraft benämnes i elektricitetsläran elektrisk spänning eller endast spänning.

Spänningen mätes i volt (V) med instrument, som kallas voltmetrar.

I vagnarna finnas elektriska spänningar av olika slag. Belysningsbatteriets urladdningsspänning exempelvis är c:a 24 V, och den genomgående värmeledningens spänning är 800-1000 V.

3. Ström

Om två föremål, mellan vilka spänning råder, förenas med en metallisk ledare, uppstår en elektrisk ström.

Strömmen mätes i ampere (A) med instrument, som kallas amperemetrar.

En apparat, som avger ström, kallas en elektrisk strömkälla.

Är strömkällan så beskaffad, att den kan utsända ström endast i en riktning, säges den alstra likström. Den pol, från vilken strömmen anses utgå, kallas positiva polen och den andra negativa polen.

Utsändes strömmen från strömkällan omväxlande i båda riktningarna, säges den alstra växelström.

4 a. Ledare

I en fast kropp transporteras elektriciteten som elektroner. En av spänningen utstött elektron rör sig ett stycke, tills den stöter emot en annan elektron. Denna frigöres och sättes i rörelse, medan den första elektronen stannar på den andras plats. Elektron nr två stöter därefter emot en elektron nr tre och denna emot en elektron nr fyra o s v. I stort sett händer alltså samma sak, som om den ursprungliga elektronen utan sammanstötningar hade passerat tvärs igenom hela materialet. Ett material säges vara en god ledare för den elektriska strömmen om någon av dess elektroner sitter löst budden vid sin kärna och därför utan svårighet kan lösgöras av andra elektroner. Till de goda ledarna räknas huvudsakligen metallerna.

Elektronerna äro som tidigare nämnts negativa enhetsladdningar. En elektronström är därför negativ och utgår från den negativa polen. Verkan blir emellertid densamma, som om strömmen vore positiv, och i allmänhet anses därför sedan gammalt att strömmen är positiv, d v s utgår från den positiva polen.

En del vätskor såsom flertalet syror och många i vatten lösta salter och baser äro goda ledare.

Även i gaser särskilt i mycket förtunnade gaser kan ej elektriciteten transporteras av elektroner. Detta sker genom s k gasurladdningar, vilka komma att behandlas i samband med lysrörsbelysningen.

4 o. Isolerade ledningar

Av isolerade ledningar finnas en mängd olika typer, det är därför av vikt att känna till dessa ledningars konstruktion, deras elektriska och mekaniska egenskaper, samt var och hur de olika ledningstyperna skola användas.

Ledaren består av en eller flera mjuka förtenta koppartrådar. Med hänsyn till ledarens konstruktion endelas de isolerade ledningarna i följande fyra grupper, entrådig, fåtrådig, mångtrådig, och extra mångtrådig ledning.

Mångtrådiga och extra mångtrådiga ledningar har den största hållfastheten mot böjningspåkänningar, och på vagnar användas uteslutande dessa båda ledningstyper med hänsyn till förekommande vibrationer.

Ledarhöljet består vanligen av bomullsomspinning och ledargummi. Tjockleken på ledargummit är bestämmande, för vilken högsta spänning ledningen får användas. De vanligast förekommande ledningarna äro utförda för en högsta spänning av 750 V. Dessutom tillverkas ledningar för spänning över 750 V upp till² och med 3.300 V. Som exempel kan nämnas att på en ledning med area 10 mm² är ledargummits tjocklek 1,2 mm på en ledning av den förstnämnda typen och 2,2 mm på en ledning av den sistnämnda typen.

På vagnarna användas vanliga standardledningar för belysning- och ventilationsanläggningar m m, medan däremot för tågvarmeledningen, med driftspänning 1.000 V, användes speciella ledningar med tjockare ledargummi.

Utanpå ledargummit finnes i regel ett mekaniskt skydd, vilket kan vara utfört på olika sätt, beroende på var ledningen skall användas. Detta ledningshölje består vanligen av en impregnerad garnomflätning. Ledningar, som äro utsatta för mekanisk åverkan eller för oljor, skola ha ett ledningshölje bestående av en blymantel med eller utan järntrådsomflätning. Ledningar för den elektriska tågvarmeledningen på vagnar äro skyddade med en omspinning av hårddragen koppartråd.

Isolerade ledningar kunna vara enledare, tvåledare ----- flerledare beroende på hur många ledningsparter som finnas inom samma ledningshölje. Vid flerledare består ledningshöljet i regel av en gummiisoleringsring kallad slanggummi och utanpå detta något mekaniskt skydd.

Vid flerledare äro ledningsparterna märkta med olika färg nämligen

vid 2-ledare: grå, svart
" 3-ledare: grå, svart, röd
" 4-ledare: grå, svart, röd, blå

Ledningarna äro även försedda med en märktråd, som anger vilken fabrikant, som tillverkat ledningen. Sålunda äro ledningar, tillverkade på Liljeholmens Kabelfabrik, försedda med en ljusröd märktråd, och ledningar, som äro tillverkade av Sieverts Kabelverk, äro försedda med en grön och vit märktråd.

Ledningarnas konstruktion anges genom bokstavs-beteckningar.

Nu gällande beteckningar äro sammanställda i bifogade tabell. En av de vanligast förekommande beteckningarna är MWI, och av tabellen framgår att detta betyder: mångtrådig ledare, vulkaniserad gummiisolerings, impregnerat ledningshölje.

Som förut nämnts består ledarhöljet i regel av gummi, men under de senare åren har framkommit en helt ny typ av ledningar, de s k termo-plast- eller pv-ledningarna. Pv är en förkortning av polyvinylklorid, vilket är det material, som ersätter gummit som ledarhölje.

Gummi- och pv-isolerade ledningar äro i huvudsak likvärdiga. Vissa olikheter, som det är av vikt att känna till, finnas emellertid.

Både naturgummiisolerings och pv-isolerings åldras med tiden, d v s materialet hårdnar och mister en del av sin mekaniska hållfasthet. Om ledningstemperaturen icke överstiger 50°C, åldras de båda slagen av isolering praktiskt taget lika. Isolerade ledningar böra normalt icke utsättas för högre temperatur än 50°C. I vissa fall, t ex i elektriska kaminer och på andra varma platser, är det oundvikligt, att ledningarna få högre temperatur, och på sådana platser bör gummiisolerade ledningar användas.

För tågvarmeanläggningar i vagnar tillverkas nu en ledning, som är isolerad med två lager konstgummi. Närmast ledaren finnes ett lager butylgummi, vilket åldras mycket långsamt även om temperaturen är så hög som 100°C. Utanpå butylgummit finnes ett lager neoprengummi, vilket har goda åldringsegenskaper och dessutom är mycket slitstarkt.

Även vid låg temperatur är gummiisoleringen överlägsen pv-isoleringen.

Gummiisolerade ledningar kunna användas inom temperaturgränserna -50° och +90°C, medan däremot pv-isolerade ledningar kunna användas endast inom gränserna -20° och +70°C.

De mekaniska egenskaperna äro praktiskt taget lika. Pv-isoleringen har någon större draghållfasthet men något lägre elasticitet än gummiisolering. Pv-isoleringen har emellertid avsevärt större hållfasthet mot avnötning och rivning. Pv-isolerade ledningar sakna därför yttre omflätning och äro därigenom nära 1 mm klenare än motsvarande gummiisolerade ledningar. Pv-isolerade ledningar kunna erhållas i olika färger, vilket i vissa fall kan vara en fördel.

Gummi brinner häftigt, medan däremot pv-isolering icke kan underhålla förbränning.

Gummi skadas av direkt solbestrålning, vilket däremot pv-isolering icke gör.

Gummi sväller i oljor. Pv-isolering är däremot fullständigt beständig mot oljor.

Normal gummiisolering är föga beständig mot svårare påkänningar av syror men däremot beständig mot alkalier. Pv-isolering är beständig mot syror och i regel även mot alkalier.

Som jämförelse beträffande de elektriska egenskaperna kan nämnas, att genomslagshållfastheten för gummi är ca 18 kV/mm, och för pv-isolering är den ca 28 kV/mm.

4 c. Isolermaterial

Ett material är oledande och kallas därför även isolermaterial, om elektronerna äro så fast förbundna med sina kärnor, att de icke låta sig lös-göras från dessa.

I vagnelektriska anläggningar förekomma flera olika isolermaterial. Då dessa material ha mycket olika mekaniska, termiska och elektriska egenskaper lämnas i det följande en kortfattad redogörelse för dessa.

De olika isolermaterialen kunna sammanföras i grupper enligt följande tabell, i vilken endast sådana material, som förekomma i vagnelektriska anläggningar, upptagits.

Gummi	{ Mjukgummi Ebonit	
Plastmaterial	{ Termoplaster Hårdplaster (Bakelit)	{ Polyvinylklorid Flexiglas Formpressgods Laminat
Keramiskt material	{ Porslin Steatit	
Glimmer		
Asbest		

Mjukgummi användes huvudsakligen, som förut nämnts, som ledarhölje på gummisolerade ledningar. Det består numera huvudsakligen av naturkautschuk, som vulkaniserats med några få procent svavel. En sådan fullgod gummikvalitet är grå till färgen. Under krigsåren, då det rådde brist på naturkautschuk, användes mest gummiskrot, regenerat, till de isolerade ledningarna. Denna gummikvalitet var svart till färgen och är avsevärt sämre än den normala. Mjukgummits viktigaste egenskaper äro nämnda i föregående moment, 4 b.

Ebonit, hårdgummi eller järngummi äro olika benämningar på ett isolermaterial, som består av vulkaniserat gummi med en svavelhalt av ca 45 %. Eboniten, som har en hornartad konsisten, har goda mekaniska hållfasthetsegenskaper vid normal rumstemperatur. Den mjuknar redan vid ca 100°C. De elektriska egenskaperna äro goda, genomslagshållfastheten är ca 30 kV/mm. Ebonit användes i tågvarmeströmbrytarna dels i skyddskåpan för de strömförande detaljerna och dels som fäste för den kamskiva med vilken kontakterna manövreras. Upphållningsisolatorerna för cellerna i belysningsbatterierna äro även utförda av ebonit.

Plastmaterial är den gemensamma benämningen på en mängd olika material, vilka alla ha den gemensamma egenskapen, att de äro oledande för elektrisk ström. Plastmaterialen kunna indelas i två huvudgrupper termoplaster och hårdplaster.

Termoplasterna ha fått sitt namn därav, att de kunna göras plastiskt formbara genom uppvärmning hur många gånger som helst. De vanligaste termoplasterna mjukna vid temperaturer mellan 60 och 90°C, men det finnes även termoplaster, som mjukna först mellan 120-150°C. Termoplasterna bestå av benhårda konsthartsar, vilka blandats med olika lösningsmedel. Mängden lösningsmedel bestämmer termoplasternas hårdhet. Polyvinylklorid, vilken, som förut nämnts, användes som ledarhölje på isolerade ledningar, har en gummiliknande konsistens, medan däremot plexiglas, som användes som skyddsskärmar på lysrörsarmaturer, är i det närmaste benhårt. Då lösningsmedlen avdunsta med tiden, hårdna termoplasterna och bli spröda.

Hårdplaster mjukna, då första gången uppvärmas, så att de bliva plastiskt formbara, men under uppvärmningen sker en förändring. Plasten stelnar eller hårdar. Om uppvärmningen får fortgå tillräckligt länge, blir plasten fullkomligt fast och mjuknar icke längre vid fortsatt eller förnyad uppvärmning. Hårdplasterna få emellertid icke utsättas för högre temperatur än 150°C.

Den mest kända hårdplasten är bakelit. Den framställes av fenol och formalin och ingår i en mängd olika produkter. Dessa kunna indelas i två huvudgrupper, formpressgods och laminat.

Formpressgods pressas av pulver i uppvärmda formverktyg. Presspulvret består av bakelitharts, som uppblandats med olika slag av armeringsmaterial. Vanligen användes trämjöl. Grupp- och generatorsäkringstavlorna för tåg-belysningen samt de nya bakelitgenomföringarna på lådorna för värmsäkringarna äro formpressade av trämjölsbakelit. Om större mekanisk hållfasthet erfordras, inblandas textilt fibrer eller småbitar av riven väv. Genom att inblanda asbest eller glimner kan man även framställa relativt värmebeständigt material, lämpligt till gnistskärmar för kontakter. Man kan alltså av bakelitharts, vilket tjänstgör som bindemedel och olika slag av armeringsmedel komponera formpressgods med olika egenskaper.

Laminat är det gemensamma namnet på sådana bakelitprodukter, som ha bladstruktur. De bestå av ett större eller mindre antal skikt av armeringsmaterial, vanligen papper, som sammanhållas av bakelitharts. Laminaterna pressas ihop mellan varma plattor eller valsar. Bakelitprodukter av detta slag i form av plattor, rör eller stavar förekomma i många elektriska apparater.

Isolit är varubeteckningen av på Skånska Ättikfabriken, Perstorp, framställda bakelitprodukter.

Keramiskt isolermaterial användes på olika platser dels som fäste för strömförande delar i strömställare och vägguttag och dels på sådana platser, där isolermaterialet utsättes för hög temperatur, speciellt i elektriska kaminer och andra värmeapparater.

De vanligast förekommande keramiska isolermaterialen äro porslin och steatit. Porslin framställs i princip av tre huvudbeståndsdelar, lera, kvarts och fältspat, medan däremot steatit huvudsakligen består av magnesiumsilikat (talk) och en mindre mängd lera.

Utmärkande för steatiten är dess höga mekaniska hållfasthet, vilken är dubbelt så hög som för porslin. De termiska och elektriska egenskaperna äro praktiskt taget lika för båda materialen.

Genom en speciell sammansättning av steatitmassan, främst genom inblandning av viss mängd lera över den normala, erhålles en speciellt temperaturväxelsbeständig massa, kordieritmassa, som utmärkes framför allt av mycket liten värmeutvidgningskoefficient. Denna massa är något porös och har därför relativt stor vattenuppsugningsförmåga.

De nämnda keramiska isolermaterialen ingå i elektriska tågkaminer, elektriska värmebatterier, och vattenvärmare. Porslin användes som elementhållare, och anslutningsisolatorerna på elementen bestå av steatit. De detaljer, som uppbära värmspiralerna, och som därför äro utsatta för den högsta temperaturen, äro utförda av kordieritmassa.

Glimmer är ett mineral, som är beständigt mot höga temperaturer och som har goda elektriska egenskaper. Glimmer användes mest i form av fjäll, som i flera lager bindas tillsammans av en lack. På så sätt framställas plattor, s k mikanitplattor, glimmerrör och andra isolationsdetaljer. Den temperatur, som kan tillåtas, är beroende på bindlackens beständighet och ligger omkring 100°C. Ligger mikaniten i press, kan emellertid högre temperatur tillåtas, emedan glimmerfjällen då ligga kvar och fylla sin uppgift, även sedan bindlacken förstörts.

I äldre tågkaminer användes så kallade pressmantelelement, i vilka värmspiralen är isolerad med plattor av mikanit, som pressas ihop av två mantelplåtar.

För isolering mellan lamellerna i strömsamlare på elektriska maskiner användes även glimmer.

Asbest är ett fintrådigt mineral med stor värmebeständighet. Av asbesttrådarna tillverkas asbestpapp och plattor med olika bindemedel. Asbestprodukterna användas för värmeisoleringsändamål och som skydd mot ljusbågar från kontaktorer. Asbestplattor böra däremot icke användas som isolermaterial för elektrisk ström, då sådana plattor äro hygroskopiska och suga till sig fuktighet ur luften, varigenom isolationsmotståndet högst avsevärt nedsättes.

Likströmslära

5. Ohmskt motstånd

En metalls förmåga att leda elektrisk ström är, som tidigare nämnts, beroende på om elektronerna lätt kunna frigöras från sina kärnor. Omvänt gäller, att materialet bjuder större motstånd mot strömmen, i den mån elektronerna och atomkärnorna är fastare förbundna med varandra.

Motståndet mätes i ohm (Ω).

Olika material har olika motstånd. Med ett materials specifika motstånd avses motståndet i en jämntjock tråd av materialet med 1 m längd och 1 mm² area vid en temperatur av vanligen +20°C. Specifika motståndet hos olika material framgår av bifogade tabell.

Motståndet i en ledare är beroende av materialets specifika motstånd, längden och arean.

Kallas specifika motståndet ρ (grekisk bokstav, uttalas ro), längden l och arean a erhålles det totala motståndet R ur formeln:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{a} \quad (5:1)$$

Längden l skall alltid vara uttryckt i meter och arean a i kvadratmillimeter (mm²).

Exempel: Beräkna motståndet i en koppartråd av 200 m längd och 4 mm² area.

ρ enl tabellen = 0,017

$$R = 0,017 \cdot \frac{200}{4} = 0,017 \cdot 50$$

Svar: $R = 0,85 \Omega$

Om man vill beräkna den trådlängd, som erfordras för ett visst motstånd, användes följande formel, som kan härledas ur formeln 5:1,

$$l = \frac{R \cdot a}{\rho} \quad (5:2)$$

Exempel: Beräkna hur lång tråd av konstantan som erfordras, för att en värmspiral till en kamin skall få ett motstånd av 100 Ω . Tråden har en diameter $d = 0,4$ mm, och ρ är enl tabellen 0,49.

Först beräknas arean a ur formeln

$$a = 3,14 \cdot \frac{d \cdot d}{4} \quad (5:3)$$

$$a = 3,14 \cdot \frac{0,4 \cdot 0,4}{4} = 3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,1 = 3,14 \cdot 0,04$$

$$a = 0,126 \text{ mm}^2$$

Använd därefter formeln 5:2

$$l = \frac{100 \cdot 0,126}{0,49} = \frac{12,6}{0,49}$$

Svar: $l = 25,7 \text{ m}$

För att underlätta beräkningen av motstånd i ledare bifogas en tabell över koppartråds vikt och motstånd vid 15°C.

Motståndet hos koppar, liksom hos de flesta metaller, stiger, då temperaturen ökas. Motståndets ändring per $^{\circ}\text{C}$ kallas temperaturkoefficient. Denna är olika för olika material som framgår av bifogade tabell.

Om man känner ett motstånd, R_{20} , vid 20°C , kan man beräkna, hur stort det är vid en temperatur $T^{\circ}\text{C}$ ur formeln

$$R_T = R_{20} \cdot (1 + \alpha (T - 20))$$

där R betecknar motståndets storlek vid temperaturen $T^{\circ}\text{C}$, och α (grekisk bokstav, uttalas alfa) är temperaturkoefficienten.

Exempel: Motståndet i en spole av koppartråd är 25 ohm vid 20°C . Hur stort är motståndet vid 60°C ? α är enl tabellen 0,004

$$R_T = 25 (1 + 0,004 (60 - 20))$$

$$R_T = 25 + 25 \cdot 0,004 \cdot 40$$

$$R_T = 25 + 1000 \cdot 0,004$$

$$R_T = 25 + 4$$

$$\text{Svar: } R_T = 29 \Omega$$

I allmänhet ha metallerna sitt lägsta motstånd, då de förekomma i rent tillstånd. Så snart föroreningar finnas eller metaller sammansmältas till legeringar, ökas det specifika motståndet. Detta förhållande utnyttjas vid tillverkning av motståndstråd. Sådan förekommer av olika material, vanligast är kanthal, konstantan, nickelin och manganin. De nämnda materialen äro alla legeringar av olika metaller som framgår av den bifogade tabellen.

Kanthal är särskilt känt för sin höga smältpunkt och stora beständighet vid höga temperaturer. Konstantan och kanthal ha mycket låga temperaturkoefficienter, varför deras motståndsvärden bliva praktiskt taget oberoende av temperaturen.

Motståndstråd användes huvudsakligen vid tillverkning av värmespiraler för kaminer, kokplattor och ugnar.

Av tabellen framgår, att alla angivna rena metaller och flertalet metalllegeringar ha positiv temperaturkoefficient, vilket innebär, att motståndet ökar, då temperaturen stiger. Konstantan och kol däremot ha negativ temperaturkoefficient. Hos dessa minskar motståndet, då temperaturen stiger.

Ett isolationsmaterials isolationsförmåga får man en uppfattning om genom att angiva materialets specifika isolationsmotstånd. Detta är i regel mycket högt och brukar därför uttryckas i megohm, d v s millioner ohm.

Temperaturkoefficienten för isolationsmaterial är i regel negativ. Härigenom kan det ibland inträffa överslag i en tågkamin, då denna är uppvärmd, trots att kaminen i kallt tillstånd har god isolation.

6. Sammansatta motstånd

Om två eller flera motstånd kopplas efter varandra sägas motstånden vara seriekopplade.

Det totala motståndet R i en sådan serie är lika med summan av delmotstånden

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \text{ -----}$$

(6:1)

Exempel: En kontaktorspole på 55 ohm med ett förkopplingsmotstånd på 3,5 ohm är ansluten till en strömkälla med en ledning vars motstånd är 0,5 ohm. Hur stort är den nämnda kretsens totala motstånd?

$$R = 55 + 3,5 + 0,5$$

Svar: $R = 59$

Om två eller flera motstånd kopplas bredvid varandra säges motstånden vara parallellkopplade.

Det totala motståndet R i en sådan krets kan beräknas med följande formel:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \text{ -----} \quad (6:2)$$

Exempel: Två lampor, den ena med ett motstånd på 25 ohm och den andra med ett motstånd på 12 ohm, kopplas parallellt. Hur stort blir det totala motståndet?

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{25} + \frac{1}{12}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{12}{25 \cdot 12} + \frac{25}{12 \cdot 25}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{12}{300} + \frac{25}{300}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{37}{300}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{8,1}$$

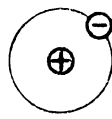
Svar: $R = 8,1$

Om n stycken lika motstånd vardera på R_1 ohm kopplas parallellt, erhålles det resulterande motståndet R ur följande formel:

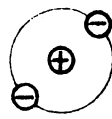
$$R = \frac{R_1}{n} \quad (6:3)$$

Serie- och parallellkoppling av motstånd visas på bifogade bildblad.

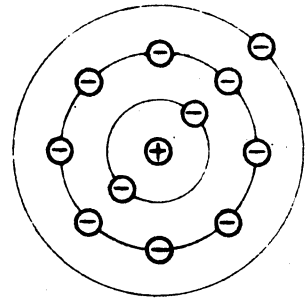
Observera att ordet motstånd användes dels som benämning på en egenskap och dels som benämning på ett föremål som i utpräglad grad har denna egenskap. Man säger sålunda att ett förkopplingsmotstånd har ett visst motstånd. För att undvika förväxling användes därför ibland ordet resistans i stället för motstånd som benämning på egenskapen.



a

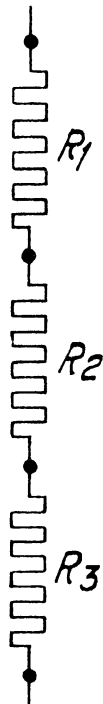


b



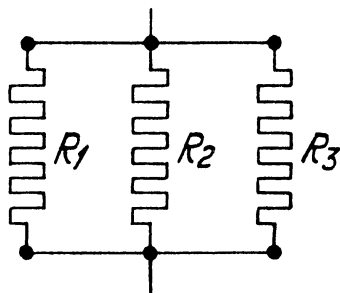
c

Schematisk framställning av a) väteatomens, b) heliumatomens samt c) natriumatomens byggnad



Seriekoppling av motstånd

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$



Parallellkoppling av motstånd

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Ledningsbeteckningar

1:sta bokstaven	Ledarens beskaffenhet	E F M R	entrådig fåtrådig mångtrådig extra mångtrådig
2:dra bokstaven	Isoleringens beskaffenhet	A D K V	asbestgarn eller asbestull vulkaniserat gummi samt därjämte hölje av vulkaniserat gummi PV eller likvärdigt material vulkaniserat gummi
3:dje bokstaven	Någon karaktéristisk del av ledningshöljet	A B C F G I K M R S U V X	asbestomspinning eller -omflätning hölje av bly hölje av lackerad garnfläta hölje av metalltrådsfläta hölje av glansgarn hölje av impregnerad garnfläta hölje eller slang av PV eller likvärdigt material hölje av mönjamålad garnfläta hölje av falsad plåt hölje av silke användes då en fjärde men ej tredje bokstav erfordras hölje eller slang av vulkaniserat gummi ledningen har formen av två eller flera intill varandra parallellt liggande cylindrar
4:de bokstaven	Ledningens användningsområde	A B F H K L R T U	anslutningsledning på bilar och flygmaskiner på fartyg i hissanläggningar vid hushållsapparater (strykjärn, dammsugare o.d.) i fuktiga lokaler för indragning i rör för flyttbara större motorer eller apparater under svåra förhållanden för upphängning av armaturer o.d.

Tobell över specifik vikt, specifikt ledningsmotstånd, temperaturkoefficient och smälttemperatur för olika material

Material	Specifik vikt i gram per cm ³	Specifikt ledningsmot- stånd vid - 20°C	Temperaturkoef- ficient vid - 20°C	Smälttem- peratur °C
Aluminium	2,70	0,03	0,004	658
Bly	11,34	0,21	0,004	327
Järn (plåt och tråd)	ca 7,8	ca 0,13	ca 0,0045	1 300—1 500
Kanthal A-1 (järn, krom, aluminium, kobolt)	7,1	1,39	—	—
Konstantan (koppar, nickel)	8,8	0,49	— 0,00005	1 275
Koppar (elektrolytisk)	8,93	0,017	0,004	1 083
Kromnickel (krom, nickel)	8,4	1,05	0,00013	ca 1 400
Kviksilver	13,6	0,96	0,0009	— 38,9
Manganin (koppar, mangan, nickel)	8,4	0,42	0,00001	—
Mässing (koppar, zink) ...	8,3—8,7	0,06—0,08	ca 0,0016	ca 900
Nickel	8,8	0,11	0,0044	1 450
Nickelin (koppar, nickel, mangan)	8,8	0,42	0,0002	1 140
Platina	21,4	0,10	0,0038	1 764
Silver	10,50	0,0165	0,0036	961
Stål	ca 7,6	0,1—0,25	ca 0,005	ca 1 350
Tenn	7,28	0,12	0,0044	232
Zink	7,1	0,063	0,0037	419
Kol (grafit)	ca 2,3	10—1 000	—0,0003 — —0,0008	ca 6 000

Koppartråds vikt och motstånd vid 15° C.

Cirkelformig genomskärning. Spec. vikt = 8.9. 1 m vanlig koppartråd av 1 kvmm area är antagen till 0.01745 ohm vid 15° C eller till 0.01651 ohm vid 0° C. Ledningsförmåga vid 15° C = 57.1.

Diam. i mm	Area i kvmm	Vikt pr m i gr	Antal meter per kg	Motstånd per m i ohm
1.000	0.785	6.991	143.04	0.02222
1.100	0.950	8.459	117.94	0.01836
1.128	1.000	8.90	113.36	0.01745
1.200	1.131	10.07	99.34	0.01543
1.300	1.327	11.81	84.64	0.01315
1.302	1.500	13.35	74.91	0.01163
1.400	1.539	13.70	72.98	0.01134
1.500	1.767	15.78	63.57	0.00987
1.600	2.011	17.90	55.88	0.00867
1.700	2.270	20.20	49.50	0.00768
1.783	2.500	22.25	44.94	0.00698
1.800	2.545	22.65	44.15	0.00685
1.900	2.835	25.24	39.62	0.00615
2.000	3.142	27.96	35.76	0.005555
2.100	3.464	30.83	32.44	0.005040
2.200	3.801	33.84	29.56	0.004591
2.258	4.000	35.60	28.09	0.004363
2.300	4.155	36.98	27.04	0.004200
2.400	4.524	40.27	24.83	0.003857
2.500	4.909	43.69	22.89	0.003555
2.600	5.309	47.26	21.16	0.003287
2.700	5.726	50.96	19.62	0.003048
2.762	6.000	53.40	18.73	0.002908
2.800	6.158	54.81	18.25	0.002834
2.900	6.605	58.79	17.01	0.002642
2.986	7.000	62.30	16.05	0.002493
3.000	7.07	62.92	15.97	0.002469
3.100	7.55	67.18	14.89	0.002312
3.200	8.04	71.59	13.80	0.002140
3.300	8.55	76.13	13.14	0.002040
3.400	9.08	80.81	12.37	0.001914
3.500	9.62	85.64	11.68	0.001822
3.565	10.00	89.00	11.24	0.001745
3.600	10.18	90.60	11.02	0.001714
3.700	10.75	95.71	10.45	0.001623
3.800	11.34	101.00	9.91	0.001538
3.900	11.95	106.36	9.41	0.001461
3.990	12.50	111.25	8.91	0.001396
4.000	12.57	111.8	8.940	0.001389
4.500	15.90	141.6	7.064	0.001097
4.526	16.00	142.4	7.022	0.001091
5.000	19.64	174.8	5.722	0.0008887
5.050	20.00	178.0	5.618	0.0008725
5.500	23.76	211.5	4.729	0.0007345
5.650	25.00	222.5	4.494	0.0006980
6.000	28.27	251.6	3.972	0.0006175
6.500	33.18	295.4	3.388	0.0005259
6.680	35.00	311.5	3.210	0.0004986
7.000	38.49	342.6	2.920	0.0004538
7.500	44.18	393.2	2.543	0.0003950
7.980	50.00	445.0	2.247	0.0003490
8.000	50.27	447.4	2.235	0.0003473
8.500	56.75	505.2	1.980	0.0003075
9.000	63.62	566.3	1.766	0.0002743
9.450	70.00	623.0	1.605	0.0002490
9.500	70.88	630.9	1.585	0.0002462
10.000	78.54	699.1	1.430	0.0002222