

5. Merktekens op elektro-linialen (1): r_{Cu} en r_{Al}

Simon van der Salm

maart 2001

Abstract: Description of two of the most applied gauge marks on electro slide rules. What is their value, how can they be used?

Key words: gauge marks

Inleiding

Elektro-linialen worden niet alleen gekenmerkt door speciale schalen, zoals bijvoorbeeld de V-schaal of D/M-schaal, maar ook door speciale merktekens (gauge points) voor veelvoorkomende constanten die voor het vakgebied van de elektrotechniek specifiek zijn.

De numerieke waarden van deze constanten worden vaak vermeld in een lijst achter op de rekenliniaal. Zie bijvoorbeeld de *Nestler Elektro no 37* of de *Nestler Elektro no 0370*.

Twee van de merktekens die op elektro-linialen voorkomen, vertegenwoordigen standaardwaarden voor grootheden die weliswaar specifiek zijn binnen het elektrotechnische vakgebied, maar waarvan begrip en gebruik niet moeilijk te doorgronden zijn voor geïnteresseerden uit andere vakgebieden.

De bedoelde twee grootheden zijn ρ_{Cu} en ρ_{Al} , die, op een multiplicatieve macht van 10 na, respectievelijk de soortelijke (of specifieke) weerstand van koper en aluminium vertegenwoordigen. Hun numerieke waarden zijn 1,75 en 2,76.

Op elektro-linialen worden echter ook wel de reciproque waarden van deze constanten,

dus de waarden 5,71 en 3,62 van merktekens voorzien.

Elektrische weerstand

Elektrische stroom, een stroom van vrije elektronen, die door een geleider loopt, ondervindt weerstand. U kunt hierbij denken aan de draden van het bovengrondse hoogspanningsnet of aan de elektriciteitskabels waarmee uiteindelijk 220 Volt in uw huis wordt binnengeleid. Bij energietransport is die elektrische weerstand vaak een vervelende en beperkende eigenschap, maar elektrische weerstand kan ook op nuttige wijzen worden toegepast.

Als u het inwendige van een elektronisch apparaat bestudeert, ziet u een enorm aantal "weerstanden", die gebruikt worden voor het begrenzen of verdelen van elektrische stromen en elektrische spanningen, die in combinatie met andere elektronische componenten speciaal wisselstroomgedrag van het elektronische circuit bewerkstelligen of die worden gebruikt voor het instellen van het geluidsvolume in audioversterkers of de helderheid en kleurenverdeling van de televisie.

Als een *elektrische stroom* I (= intensité = hoeveelheid elektrische lading per seconde) door een geleider met *weerstand* R (=

résistance) loopt, komt er een *elektrische spanning* U tussen de twee uiteinden van die geleider te staan.

Het verband tussen de drie grootheden, stroom, weerstand en spanning, wordt beschreven door de *wet van Ohm*:

$$U = I \cdot R$$

De eenheid waarmee de elektrische weerstand wordt aangeduid, is "Ohm", genoemd naar de ontdekker van deze wet, *Georg Simon Ohm (1787 - 1854)*. De eenheid Ohm wordt in de natuurkundige en elektrotechnische literatuur aangeduid met de Griekse hoofdletter Ω .

Een lange draad van koper of van aluminium kan dus bijvoorbeeld een weerstandswaarde van 10 [Ω] bezitten; een bepaalde koolstofweerstand in een elektronische versterker kan een weerstandswaarde van 10 [$k\Omega$] = 10^4 [Ω] bezitten.

De eenheid van elektrische stroom is de Ampère [A]; de eenheid van elektrische spanning is Volt [V].

Als over een geleider 1 [V] aan elektrische spanning staat, terwijl er door die geleider een elektrische stroom van 1 [A] vloeit, dan is de weerstand van die geleider 1 [Ω]. De weerstandswaarde 1 [Ω] komt dus overeen met 1 [V] per 1 [A].

In elektronische apparaten hebben weerstanden (= componenten met een vastgestelde elektrische weerstandswaarde) gewoonlijk een vrij grote waarde, dat wil zeggen, een waarde tussen 10 [Ω] en 10^6 [Ω] = 1 [$M\Omega$], maar ook aanzienlijk grotere waarden kunnen voorkomen. Kleinere waarden dan 10 [Ω] komen maar weinig in elektronische apparatuur voor

In de elektrotechnische energietechniek wordt veelal gewerkt met weerstandswaarden in het bereik van 10^{-2} [Ω] tot 10 [Ω].

Omdat in dat onderdeel van de elektrotechniek voornamelijk gewerkt wordt

met kleine getallen voor de weerstand, heeft men daar voorkeur voor de reciproque waarde van de weerstand, de *geleiding* G . De eenheid van geleiding is Siemens, een eenheid die met [S] wordt aangeduid.

G ligt binnen het energietechnische gebied dus gewoonlijk ergens tussen 10^{-1} [S] en 10^2 [S].

Soortelijke weerstand

Iedere stof, niet noodzakelijk een metaal, heeft zijn eigen specifieke elektrische weerstand en dus ook een eigen specifieke elektrische geleiding.

Men definieert tegenwoordig in SI-eenheden de specifieke weerstand van een materiaal als volgt:

De soortelijke weerstand r van een stof is de elektrische weerstand van een cilindervormige geleider met een lengte van l [m] en een doorsnede van 1 [m^2] bij een temperatuur van 20 [$^{\circ}C$].

De soortelijke weerstand wordt daarom uitgedrukt in de eenheid [Ωm].

De soortelijke weerstand van koper en aluminium zijn respectievelijk:

$$r_{Cu} = 175 \cdot 10^{-10} [\Omega m]$$

en

$$r_{Al} = 276 \cdot 10^{-10} [\Omega m]$$

De waarden van deze specifieke constanten zijn onder andere afhankelijk van de zuiverheid van het materiaal waaruit de geleider is samengesteld. De vermelde constanten vormen dus min of meer een gemiddelde van de meest voorkomende waarden.

Tegenwoordig worden deze constanten zoveel mogelijk uitgedrukt in de standardeenheden van het SI-eenhedenstelsel, maar in de lijsten met constanten achter op rekenlinialen wordt de

specifieke weerstand ρ van materialen uitgedrukt in een voor elektrotechnische praktijk veel handiger eenheid, namelijk $[\Omega\text{mm}^2/\text{m}]$;

Deze eenheid is gemakkelijker hanteerbaar omdat in de praktijk van alledag de doorsneden van draden niet in $[\text{m}^2]$ worden gemeten, maar in $[\text{mm}^2]$.

Dus:

$$r_{Cu} = 175 \cdot 10^{-4} [\Omega\text{mm}^2 / \text{m}]$$

en

$$r_{Al} = 276 \cdot 10^{-4} [\Omega\text{mm}^2 / \text{m}]$$

Achter op de *Nestler Elektro no 37* zien we respectievelijk de waarden 0,0175 en 0,03 voor deze constanten.

Op de *Aristo Elektro 915* vinden we bij 1,75 op de D-schaal het merkteken ρ_{Cu} en bij 2,9 het merkteken ρ_{Al} ; op de D-schaal van de linialen *Nestler Elektro no 37* en *Nestler Elektro no 0370* vinden we op deze merktekens niet, maar wel het merkteken voor de reciproque waarde van de specifieke weerstand van koper. (Zie de volgende paragraaf).

Ook op rekenlinialen voor algemeen gebruik komt het merkteken ρ_{Cu} , of een andere equivalente aanduiding, bij de waarde 1,75 voor. Zo zien we bijvoorbeeld op de *Faber-Castell 57/88 Rietz N* bij 1,747 het teken ρ (dus niet ρ_{Cu}) staan, terwijl deze liniaal niet speciaal voor het elektrotechnische vakgebied is ontworpen

Soortelijke geleiding

Binnen de sterkstroomtechniek wordt meestal, om zeer kleine getallen voor de weerstandswaarde te vermijden, gewerkt met de reciproque waarde van de weerstand, dus de geleiding, van geleiders.

Dat betekent dat in dat vakgebied ook gewerkt wordt met de reciproque waarde van de soortelijke weerstand, dus met de soortelijke of specifieke geleiding van de stof waaruit de geleider bestaat.

De *soortelijke geleiding* g wordt uitgedrukt in de eenheid Siemens per meter, dus in $[\text{S}/\text{m}]$.

Voor de metalen die in de elektrotechnische energietechniek het meest gebruikt worden, koper en aluminium, vinden we dus de volgende specifieke geleidingen:

$$\begin{aligned} g_{Cu} &= \frac{1}{175 \cdot 10^{-10}} = \frac{10^{10}}{175} = \\ &= 57,14 \cdot 10^6 [\text{S} / \text{m}] \\ &= 57,14 [\text{Sm} / \text{mm}^2] \end{aligned}$$

en

$$\begin{aligned} g_{Al} &= \frac{1}{276 \cdot 10^{-10}} = \frac{10^{10}}{276} \\ &= 36,23 \cdot 10^6 [\text{S} / \text{m}] \\ &= 36,23 [\text{Sm} / \text{mm}^2] \end{aligned}$$

Men gebruikt bij voorkeur de eenheid $[\text{Sm}/\text{mm}^2]$ omdat in de praktijk alle doorsneden in $[\text{mm}^2]$ gegeven worden in plaats van in $[\text{m}^2]$.

Op de *Nestler Elektro no 37* en *Nestler Elektro no 0370* vinden we de aanduiding CU bij het getal 5,71 op de A, B, C- en D-schaal; op zowel de A- als B-schaal vinden we nog de aanduiding CU bij het getal 57,1. (De getallen in 3 significante cijfers).

Het ontbreken van een merkteken bij 1,75 duidt er misschien op dat deze Nestler-linialen meer bedoeld is voor de energietechniek dan voor de elektronica. Maar we kunnen hierbij ook bedenken dat het strikt genomen niet nodig is om beide merktekens op de liniaal te hebben. De getallen 1,75 en 5,71 zijn immers, op een macht van 10 na, elkaars reciproque, waardoor het altijd eenvoudig is de ene waarde te vinden als de andere wel op de liniaal is aangegeven.

Opmerkelijk is dat we op de C- of D-schaal van deze linialen geen merkteken voor de specifieke geleiding g van aluminium

vinden. Wel staat op de B-schaal van deze liniaal het merkteken AL bij het getal 35, wat een niet al te beste benadering van 36,23 lijkt.

Op de *Aristo Elektro 915* daarentegen vinden we, op de C- en D-schalen, geen merkteken bij de waarde 5,71, dus voor de specifieke geleiding van koper. Op deze liniaal vinden we, op de C- en D-schalen, ook geen merkteken voor het getal 3,62, op een macht van 10 na de soortelijke geleiding van aluminium.

Op sommige linialen vinden we merkwaardigerwijs de letter ρ als merkteken bij het getal 5,71. Merkwaardig omdat de letter ρ in de elektrotechnische tekstboeken algemeen gebruikt wordt als aanduiding van de soortelijke weerstand en niet als aanduiding voor de soortelijke geleiding. In plaats van ρ vinden we op sommige linialen zelfs de letter R, de letter die weerstand aanduidt en dus geen geleiding.

Zo zien we op de *Sun Hemmi 642T* en op de Russische *ГОСТ 5161-72* ρ^0 als merkteken bij 5,71; op de *Graphoplex 647* vinden we gewoon de letter ρ zonder nadere aanduiding bij de waarde 5,71 terwijl op de *Pickett N 500 ES* en op de *Sun Hemmi Electronics 266* het getal 5,71 met R wordt gemerkt.

Weerstand en geleiding

Uit het bovenstaande betreffende soortelijke weerstand en soortelijke geleiding volgen voor de elektrische weerstand en geleiding van een cilindervormige geleider de volgende formules:

$$R = \mathbf{r} \cdot \frac{l}{A} [\Omega]$$

$$G = g \cdot \frac{A}{l} [S]$$

Hierin is:

R de elektrische weerstand in $[\Omega]$;

l de lengte van de geleider in [m];

A de doorsnede van de geleider in $[\text{mm}^2]$;

ρ de soortelijke (specifieke) weerstand in $[\Omega\text{mm}^2/\text{m}]$

(Bijvoorbeeld met ρ_{Cu} of ρ_{Al} aangeduid op rekenlinialen);

G de elektrische geleiding in [S];

g de soortelijke (specifieke) geleiding in $[\text{Sm}/\text{mm}^2]$

(bijvoorbeeld met CU of AL aangeduid op rekenlinialen).

Het werken met het merkpunt ρ_{Cu} (of met de reciproque hiervan) om de elektrische weerstand van een cilindervormige geleider te berekenen bevat niet veel moeilijkheden zoals het volgende voorbeeld laat zien.

Voorbeeld:

De weerstand van een koperdraad met lengte 400 [m] en doorsnede van 2 $[\text{mm}^2]$.

We gebruiken de formule:

$$\frac{l}{R} = \frac{A}{\mathbf{r}}$$

We zetten de waarde van de doorsnede A, dus 2, op de C-schaal boven het merkpunt ρ_{Cu} van de D-schaal. Op de D-schaal lezen we, onder de lengte 4 (x 100) [m] op de C-schaal de weerstand af: 3,5 $[\Omega]$.

Zo kunnen we voor iedere lengte op de C-schaal de bijbehorende waarde van de elektrische weerstand aflezen op de D-schaal.

We kunnen ook de formule:

$$\frac{G}{g} = \frac{A}{l}$$

toepassen. De doorsnede $A = 2 [\text{mm}^2]$ zetten we op schaal C boven de lengte 4(x100) [m] op de D-schaal. Boven het merkteken bij 5,71 van de D-schaal zien we de geleiding $G = 0,286 [S]$ op schaal C en dus de weerstand $R = 3,5 [\Omega]$ op schaal CI.

Deze methode werkt niet als de doorsnede van de draad boven 7 [mm²] bij de gegeven lengte zou komen.

Het is handiger om uit te gaan van de formule:

$$\frac{A}{G} = \frac{l}{g}$$

We zetten nu de lengte $l = 4 \text{ (x100) [m]}$ op de C-schaal boven het merkteken bij 5,71 op de D-schaal. Op de D-schaal, onder de doorsnede 2 [mm²] op de C-schaal, lezen we nu de geleiding $G = 0,286 \text{ [S]}$ af. Deze aflezing is mogelijk ongeacht de stand van de schuif. Als we nu de schuif in de neutrale

positie zetten, kunnen we op de CI-schaal de bijbehorende weerstandswaarde aflezen.

Berekening van de weerstandswaarde via de eerste formule:

$$\frac{l}{R} = \frac{A}{r}$$

vereist dat we het getal 1,75 kunnen vinden. Dit is, behoudens een macht van 10, de reciproque van 5,71. Als we het merkteken bij 5,71 op de C-schaal schuiven boven het getal 10 op de D-schaal, dan vinden we onder de 1 van de C-schaal op de D-schaal de precieze waarde van ρ_{Cu} .