

## Een vreemde Thornton voor AC-berekeningen

Chris Hakkaart

### Merkwaardige aanduidingen

Op de A.G.Thornton, A.C. Electrical Slide Rule PIC no 144/PC22 staan een aantal niet veel voorkomende codes. Zie figuur 1. Deze rekenliniaal zou in een catalogus uit 1957 staan en voorkomen in een Thornton Book uit 1937.



In het boek met Gauge Marks, in 2006 geschreven door Panagiotis Venetsianos, staan de op dat moment gesignaleerde *Gauge Marks* op rekenlinialen. Een boekje van 68 pagina's dat ik nog wel eens gebruik om vreemde tekens op te zoeken. Maar dat lukt niet altijd.

Op de Thornton komt een merkwaardige schaal aanduiding voor: Z met een verticaal streepje door de letter Z. Een speurtocht op internet (waarover verderop meer) leidde niet tot een vondst. Wat is die Z met een verticaal streepje?

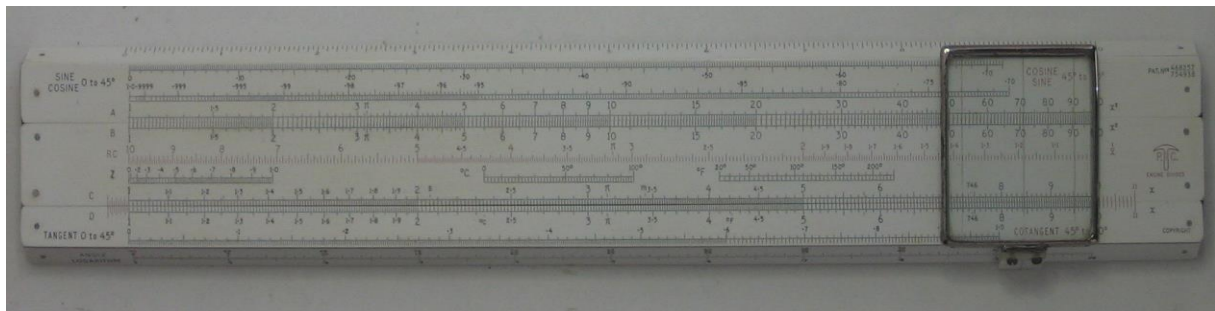


Fig. 1. De Thornton PIC 144.

### Reciproke schaal

Allereerst is er een rode schaal op de tong met links de code RC en rechts  $1/x$ . Het is dus een reciproke schaal, die gerelateerd is aan de C schaal. De code RC zal wel reciproke betekenen. De afkorting RC is niet in het Gauge Marks boek opgenomen. Bij nader inzien klopt dat ook: het genoemde boek heeft betrekking op indicaties tussen de cijfers van een schaal, niet op schaal aanduidingen.

### Temperatuurschalen

Tussen de RC schaal en de C schaal zijn een drietal korte schalen opgenomen. Rechts de  $^{\circ}\text{F}$  schaal van 20 tot 230 (figuur 3) en in het midden de  $^{\circ}\text{C}$  schaal van 0 tot 100 (figuur 2). Blijkbaar zijn temperaturen beneden het vriespunt niet relevant (op een rekenliniaal voor elektrische berekeningen).

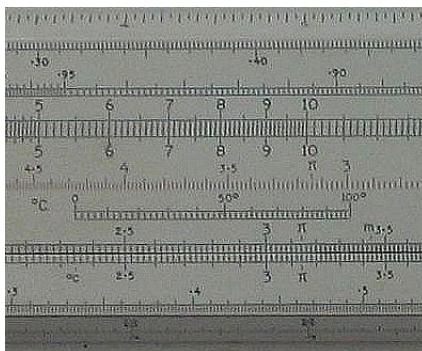


Fig. 2. Detail  $^{\circ}\text{C}$ - schaal.

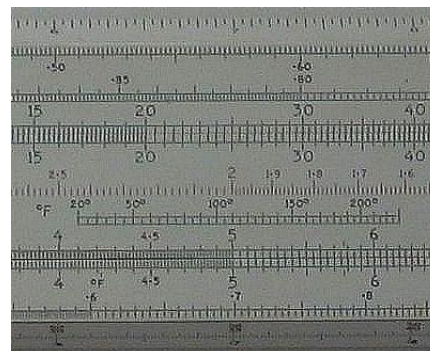


Fig. 3. Detail  $^{\circ}\text{F}$ -schaal.

Opmerkelijk is dat de °F-schaal start met 20° in plaats van 32°, een temperatuur die overeenkomt met de laagste waarde 0° op de °C-schaal. Blijkbaar komen vriestemperaturen niet voor bij koperen leidingen?

Mij was eerst onduidelijk op welke wijze deze schalen te gebruiken zijn, maar na agendering voor de KRING videomeeting stuurde David Rance me een handleiding toe. Die gaf veel inzicht, alhoewel ik me als civiel ingenieur wel moest inwerken in de elektrotechniek. Het betreft de temperatuur-weerstand schaal voor het in de elektrotechniek veel toegepaste koper, in zowel °C als °F. Hiermee is de verandering in ohmse weerstand te berekenen, afhankelijk van de verandering in temperatuur. Enkele voorbeelden hierna in °C. Dezelfde handelingen voor °F met de °F- schaal.

### Voorbeeld 1

De initiële temperatuur is 18 °C. De temperatuuroptoeame van de draad is 52.5 °C. Plaats de haarlijn op de 52.5 op de D-schaal en de 18 van de °C-schaal erboven. De procentuele toename in weerstand is af te lezen onder de 1 van de C-schaal op de D-schaal, namelijk 20.8. De D-schaal geeft de weerstand weer.

### Voorbeeld 2

De temperatuuroptoeame veroorzaakt door toename van de weerstand is 24.5%, bij een temperatuur van 12 °C: Plaats de 1 op schaal C boven de 24.5 van schaal D. Onder de initiële temperatuur op schaal C schaal is op schaal D de temperatuuroptoeame 60.4 °C af te lezen. De D-schaal geeft de weerstand.

### Voorbeeld 3

Bepaling van de eindtemperatuur na toename van de weerstand. De weerstand is 15.2 Ohm. Plaats de haarlijn op 15.2 van schaal D en de initiële temperatuur van 12 °C op de °C-schaal onder de haarlijn. Verschuif de haarlijn naar de eindwaarde van de weerstand van 18.4 Ohm op schaal D en lees de eindtemperatuur af onder de haarlijn op °C-schaal op 64 °C.

### Voorbeeld 4

Bepaling van de eindweerstand na toename temperatuur. Plaats de haarlijn op de initiële weerstand van 32.6 Ohm op schaal D. Schuif de initiële temperatuur van 18 °C op de °C-schaal onder de haarlijn. Schuif de haarlijn naar de eindtemperatuur 62 °C op de °C-schaal en lees de eindwaarde van de weerstand van 38.3 Ohm af op schaal D.

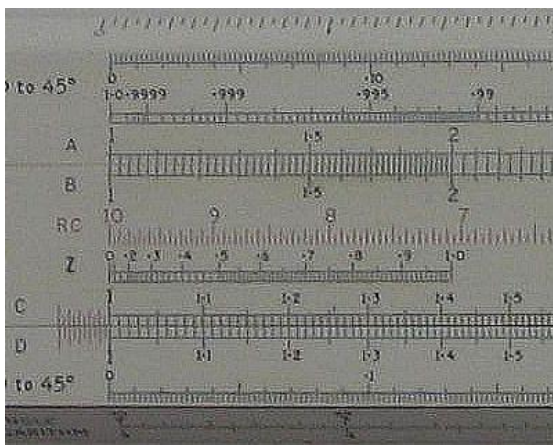


Fig. 4. Detail van de Z met verticaal streepje schaal. Merk op dat dit schaalje parallel loopt aan het segment 1 tot 2 van A en B. De schaalverdeling van dat schaalje is niet-lineair, maar ook niet logaritmisch!

### Referentiepunten

Voor het omrekenen van °C naar °F zijn een tweetal Gauge Marks (referentiepunten) op de D-schaal aangebracht, de °C bij 2.34 en de °F bij 4.2. De afstand tussen beide is gerelateerd aan de afstand tussen de °C- en °F-schaal op de schuif. De 0 °C komt overeen met de 32°F.

**Voorbeeld 5**

Zet de haarlijn boven de °C mark op de D-schaal. Zet 15 °C op de °C-schaal onder de haarlijn. Verschuif de haarlijn naar de °F-markering op de D-schaal. Lees 59 af onder de haarlijn op de °F-schaal.

**Z met een verticaal streepje?**

De meest intrigerende schaal is de Z-schaal met een verticaal streepje door de letter Z, aan de linkerkant van de liniaal. Zie figuur 4. Dat is een ongebruikelijke aanduiding, een symbool dat volgens Simon nergens in de wiskunde of elektrotechniek wordt gebruikt. Z met een verticaal streepje komt ook niet op toetsenborden voor of in de bekende symbool databases (daarover verderop meer). Andries ontdekte toch een Canadees font waarin een vergelijkbaar, maar hier helaas niet te gebruiken, super script symbool voorkomt. Daarom gebruiken we hier maar Z met een horizontaal streepje, dus  $\underline{Z}$ . De  $\underline{Z}$ -schaal loopt - niet lineair - vanaf het getal 0, in stappen van 0.1, naar 1.0.

De lettercombinatie A.C. op deze liniaal duidt op *Alternating Current*. We hebben te maken met een liniaal voor (vectoriële) wisselstroomberekeningen. Z staat voor de impedantie, de wisselstroomweerstand van een complex circuit met, door inductanties en/of capacitanties, veroorzaakte faseverschuivingen tussen wisselspanningen en -stromen.

Omdat mijn kennis als civiel hier tekort schiet, geeft Simon hier de volgende uiteenzetting over de impedantieberekening waarvoor deze schaal bedoeld is. Tijdens IM2007 heeft Bob Adams een presentatie gehouden over 160 elektro-rekenlinialen; een uitgebreidere uitleg over impedantie is daar te vinden.

In het complexe vlak wordt de impedantie voorgesteld door een vector. Die complexe impedantievector  $\underline{Z}$ , verantwoordelijk voor het schijnbare vermogen van een wisselstroomcircuit, bestaat uit een *actief* deel  $R$  (verantwoordelijk voor het actieve vermogen) en een *reactief* deel  $X$  (verantwoordelijk voor het blinde vermogen). We schrijven  $\underline{Z} = R + jX$ . Die  $X$  kan positief (capacitieve reactantie) of negatief (inductieve reactantie) zijn.

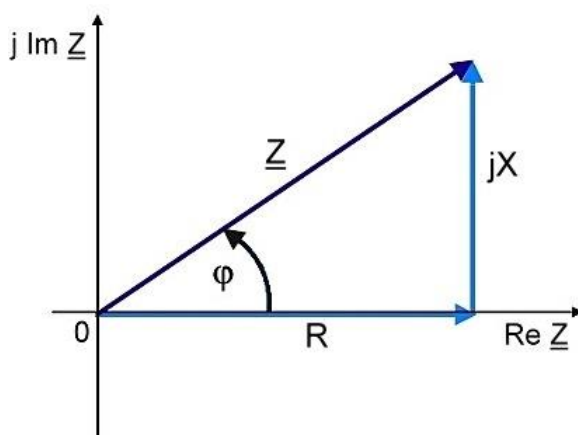


Fig. 5. De impedantiedriehoek van een (capacitief omdat  $X > 0$ ) wisselstroomnetwerk. Bron: Wikipedia.

De absolute waarde van  $\underline{Z}$ , d.w.z. de lengte van de complexe vector  $\underline{Z}$ , is de wortel uit de som van de kwadraten, namelijk  $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ . En daar zit nu net een probleempje: met een logaritmische rekenliniaal kun je niet optellen. Maar...

$$\text{Als } X > R, \text{ dan kun je het volgende berekenen } Z = \sqrt{R^2 + X^2} = |X| \sqrt{1 + \left(\frac{R}{X}\right)^2} = |X| \sqrt{1 + \underline{Z}^2}.$$

Als  $R > X$ , dan deel je door  $R$  i.p.v. door  $X$ .

De verhouding  $Z$  loopt daarom altijd van 0 tot 1. Door de extra relatie  $1 + Z^2$ , oftewel  $\sqrt{1 + Z^2}$ , op de rekenliniaal aan te brengen, die loopt van 1 tot 2 op A, en van 1 tot  $\sqrt{2}$  op C en D, kun je toch de absolute waarde  $Z$  van de complexe impedantie berekenen. Daarom laat deze Thornton het  $Z$ -schaaltje samenvallen met de getallen 1 t/m 2 op de kwadratische schalen A en B. Zie figuur 4.

Het quotiënt  $\frac{X}{R}$  (dus  $Z$  of  $\frac{1}{Z}$ ) bepaalt tevens de hoek  $\varphi$  van faseverschuiving tussen de aangelegde wisselspanning en de geleverde wisselstroom:  $\varphi = \arctan \frac{X}{R}$ . Deze hoek is zeer bepalend voor de reactieve belasting die het afnemende netwerk, bijvoorbeeld een schakeling met een inductiemotor, vormt voor het toeleverende netwerk, zoals het elektriciteitsnet.

De  $Z$  (steeds kleinste gedeeld door grootste) is  $\frac{X}{R}$  als  $X < R$  en  $\frac{R}{X}$  als  $R < X$ . Dus  $Z$  bepaalt ook de (complementaire) hoek van faseverschuiving.

### Voorbeeld 6

Stel actieve  $R = 3.63$  Ohm en reactieve  $X = 4.84$  Ohm. De waarde van  $Z$  is dan 0.75.

Vervolgens, zet je de 1 van schaal C op het grootste getal (4.84), en daarna de haarlijn op de waarde  $Z = R/X = 0.75$  op de  $Z$ -schaal. Lees onder de haarlijn op schaal D de absolute waarde van  $Z$  af, namelijk 6.05 Ohm. (Decimale punt goed zetten). Het kwadraat hiervan, namelijk 36.6, kun je onder K op schaal A aflezen.

De hoek van faseverschuiving is de inverse tangens van  $1/0.75 = 53.1$  graden. De complementaire hoek daarvan is 36.9 graden.

### Conclusie





De berekeningen blijken eenvoudig en snel te maken. Ik weet niet of dit soort vectoriële schalen op andere rekenlinialen voorkomt.

Verder zijn de logaritme- en trigonometrische schalen anders opgezet dan gebruikelijk. De PIC 144 van Thornton is een rekenliniaal die behoorlijk afwijkt van de standaard rekenlinialen.

### Addendum: websites met vreemde symbolen en pictogrammen

Tijdens mijn eerste zoektocht (dus voordat ik de handleiding had) naar de letter Z met een verticaal streepje vond ik de volgende gratis website met 137 000, ja u leest het goed, lettertekens: <https://www.babelstone.co.uk/Software/BabelMap.html>. Het downloaden gaat gemakkelijk. Daarna uitpakken met Winzip, waarop je een abonnement moet nemen, of met de gratis 7-Zip file manager die ik gebruik en die je voor nog veel meer doeleinden kunt gebruiken.

Babelmap bevat vele tekens van allerlei exotische talen en ook vele emoji's. Het lukte me de meeste te kopiëren naar een Word-bestand. Op mijn PC blijken echter niet alle symbolen zich te openen.

Een pictogram voor een rekenliniaal/slide rule staat er nog niet tussen. Wel voor enkele andere items die we wel eens gebruiken, zoals Straight ruler , Triangular ruler , computer , of wijnglas . De website was een eye opener. Het is ongelooflijk hoeveel codes en pictogrammen er bestaan.

Helaas heb ik de Z met verticale streepje niet tussen de 137 000 tekens kunnen vinden.

**Bronnen**

- Book of Instructions for the P.I.C A.C. Electrical Slide Rule, reprint UKSRC 2002
- Adams, Bob, ELEKTRO Slide Rules. Proceedings IM2007
- [http://home.exetel.com.au/jomlo/page\\_Thornton.html](http://home.exetel.com.au/jomlo/page_Thornton.html)
- <https://www.babelstone.co.uk/Software/BabelMap.html>

