

Het belang van (Bleeker) elektrische meetapparatuur

Dr. A.C. Labrujere, natuurkundige

Inleiding

De Stichting voor Historische Microscopie beschikt over een aanzienlijke collectie van zeer nauwkeurige Bleeker meet- en regelapparatuur. In de collectie zijn onder meer vele decadebanken, potentiometers, weerstandsbruggen (Wheatstone en Thomson), microvoltmeters en compensatoren opgenomen. Deze apparatuur werd vanaf begin vorige eeuw tot de jaren zeventig in de Bleeker-fabrieken ontwikkeld en geproduceerd. De [prijzen](#) waren voor die tijd erg hoog en we krijgen vaak de vraag waarom deze dure en nauwkeurige apparatuur noodzakelijk was. In dit document zullen we kort ingaan op het belang van deze apparatuur bij de ontwikkeling en het onderzoek van elektrische apparaten.

Ontwikkeling van elektrische apparaten

De rol van elektriciteit is tegenwoordig vanzelfsprekend. Iedereen maakt dagelijks gebruik van elektrische verlichting, TV, radio, computers, mobieltjes en tablets, kookapparatuur, elektrische fiets; noem maar op. Elke dag zet iedereen actief honderden keren apparaten aan en uit, of stelt men ze in (harder of zachter, ander kanaal of programma, ...). Dit gebeurt nog veel vaker onbewust in allerlei geautomatiseerde elektrische netwerken die zich in auto's, treinen en vliegtuigen bevinden, en natuurlijk ook in fabrieken, ziekenhuizen en telecom- en elektriciteitsnetwerken.

Deze ontwikkeling heeft zich circa 250 jaar geleden ingezet. In bijgevoegde tabel staat een

aantal belangrijke uitvindingen vermeld, maar het is duidelijk dat er nog vele duizenden andere voorbeelden op te noemen zijn. Om deze apparaten te ontwikkelen, moest men beschikken over zeer goede meetapparatuur om de gebruikte componenten te testen en keuren. Eén foute component in een radio en je zou nooit je favoriete radioprogramma ontvangen; een fout onderdeel in een GPS-systeem en je bereikt nooit je plek van bestemming; een foute component in de cockpit van een vliegtuig en Kortom, hoge kwaliteit meetapparatuur heeft aan de basis gelegen van alle apparaten die we nu zo gedachteloos en vol vertrouwen gebruiken.

Jaartal	Uitvinder	Product
1752	Benjamin Franklin	Bliksemafleider
1800	Alessandro Volta	Batterij
1820-1832	Faraday, Sturgeon, Davenport	Elektromotor
1876	Alexander Bell	Telefoon
1877	Thomas Edison	Fonograaf (platenspeler)
1879	Thomas Edison (op ontwerp van Joseph Swan)	Gloeilamp
1895	Guglielmo Marconi	Radio
1928	Vladimir Zworykin	TV (Kathodebuis)
1935	Robert Watson Watt (Christian Hülsmeyer)	Radar
1944	USA	ENIAC-computer
1947	William Schokley e.a.	Versterker
1960	Theodore Maiman	Laser
rond 1970	Meerdere bedrijven (TI, Intel, ...)	Microprocessor

Tabel. Een aantal belangrijke doorbraken van elektronische apparatuur in de afgelopen 250 jaar.

Noodzaak van meet- en regelapparaten

Zonder kennis van elektriciteit en zonder ontwikkeling van nauwkeurige meet- en regelapparatuur hadden we dus nooit gebruik kunnen maken van al deze elektrische toepassingen. Dr. C.E. Bleeker richtte zich met name op het meten en regelen van de drie basiselementen van elektriciteit: Spanning, Stroom en Weerstand. Ze ontwikkelde zeer geavanceerde apparatuur die veel werd toegepast in wetenschappelijke omgevingen en in test- en meetlaboratoria voor de productie van nieuwe producten. Ze ontwikkelde daarbij drie typen producten:

1. **Meetapparaten**, die zeer nauwkeurig spanningen, stromen en weerstanden konden bepalen.
2. **Regelapparaten**, die in staat waren spanningen, stromen en weerstanden gecontroleerd in te stellen.
3. **Ijkelementen**, met een zeer nauwkeurig bepaalde weerstand of spanning, die gebruikt werden als referentie voor de meetapparaten.

De basis: wet van Ohm

Bleeker richtte zich met name op de drie basiselementen van elektriciteit: Spanning (V), Stroom (I) en Weerstand (R). De wet van Ohm geeft een relatie tussen deze drie grootheden:

$$V = I \times R$$

Deze wet zegt dat wanneer er een spanning (V, eenheid Volt (V)) over een apparaat wordt aangebracht er een stroom (I, eenheid Ampère (A)) gaat lopen. De grootte van de stroom is afhankelijk van de weerstand (R, eenheid Ohm (Ω)) die die tegenkomt.

Men kan de wet van Ohm vergelijken met een berghelling waarover water naar beneden stroomt. Hoe snel het water stroomt, is afhankelijk van twee factoren. In de eerste plaats zal het water op een steilere helling sneller gaan stromen dan op een minder steile helling. Een grotere steilte (een grotere spanning) zorgt dus voor een grotere stroom. Ten tweede zal de snelheid bepaald worden door de hoeveelheid

stenen en takken en andere objecten die het tegenkomt. Meer objecten (meer weerstand) zorgen voor een lagere snelheid, en dus voor een kleinere stroom.

In elektrische circuits vindt hetzelfde principe plaats: er gaat een stroom van kleine deeltjes (elektronen) lopen als er spanning over een geleidend materiaal wordt aangelegd. Deze zal weerstand ondervinden in de geleider, als gevolg van de eigenschappen van het metaal.

Een voorbeeld is een gloeilamp. Als een spanning (220 Volt) wordt aangebracht op de lamp ontstaat er een elektrische stroom. Doordat de stroom in de lamp bewust door een heel klein draadje wordt geperst, ondervinden de geleidende deeltjes (elektronen) veel weerstand. Er wordt daardoor warmte ontwikkeld, waardoor de lamp licht gaat uitzenden. Er zijn felle of minder felle gloeilampen, waarbij de lichtsterkte afhankelijk is van de elektrische weerstand.



Fig. 1. De ENIAC Computer (source Wikipedia) bevat 70.000 weerstanden.

In alle elektrische apparaten zijn elektrische weerstanden noodzakelijk. Een hele eenvoudige, oude radio uit 1940 bevat al snel minimaal 10 weerstanden en een TV een veelvoud daarvan. De eerste grote elektrische (super)computer in de USA (ENIAC ca. 1944) bevatte meer dan 70.000 weerstanden, 10.000 condensatoren en 6.000 schakelaars! Zonder de juiste weerstanden zouden deze apparaten simpelweg niet of onvoldoende werken. Het ontwerpen van circuits met de juiste elektrische weerstanden is een cruciaal onderdeel van elk productieproces.

Bleeker-instrumenten in de collectie van de Stichting voor Historische Microscopie

Dr. C.E. Bleeker heeft haar natuurkundige kennis gebruikt voor zowel optische apparatuur (microscopen) als geavanceerde elektrische meet- en regelinstrumenten. Deze laatste waren erg geschikt voor precisie metingen in research-laboratoria (bv. universiteiten), productiebedrijven voor hightech apparatuur (b.v. Philips) en testbedrijven (bv. TNO). Deze instrumenten kunnen ingedeeld worden in:

1. **Meetapparatuur.** Hiermee kunnen de spanning, stroom en weerstand van componenten zeer nauwkeurig bepaald worden. In de collectie hebben we:
 - a. Wheatstonebruggen. Hierbij wordt een schakeling van bekende en instelbare weerstanden gebruikt om de grootte van een onbekende weerstand te bepalen.



Fig. 2. Een Bleeker-Wheatstonebrug.

- b. Thomsonbruggen. Een Thomsonbrug is een modificatie van de Wheatstonebrug, en is geschikt gemaakt voor het meten van zeer lage weerstanden.
 - c. Weerstandsbruggen. Deze zijn waarschijnlijk ook gebaseerd op het Wheatstone-principe. Nader onderzoek zal moeten uitmaken hoe deze apparaten precies werken.
 - d. Compensatoren. Dit zijn schakelingen, waarmee een onbekende spanning bepaald wordt door het te compenseren met een bekende en instelbare tegenspanning. Door de totaalspanning naar nul te brengen, kan de onbekende spanning zeer nauwkeurig bepaald worden.



Fig. 3. Een Bleeker-compensator

- e. Diesselhorstcompensatoren. Dit zijn specifieke en zeer nauwkeurige compensatoren.
 - f. Microvoltmeters. Deze zijn waarschijnlijk door Bleeker op de markt gebracht maar elders geproduceerd.
 - g. Galvanometers. De stichting losse galvanometers en galvanometers die onderdeel zijn van een weerstandsbrug of compensator.



Fig. 4. Bleeker-galvanometers.

- h. Specifieke meetapparatuur (maatwerk), zoals een weerstandsbank voor het meten van effecten van rekproeven.
2. **Regelapparatuur.** Met deze elementen kunnen weerstanden, spanning en stroom nauwkeurig ingesteld worden. In de collectie hebben we de beschikking over:
 - a. Decadebanken. Met een decadebank kun je een elektrische weerstand stapsgewijs zeer nauwkeurig instellen. In de collectie bevinden zich tientallen decadebanken, variërend van 1 t/m 6 decaden.



Fig. 5. Decadebanken van Bleeker (1 t/m 6 decaden).

- b. Pot(entio)meters. Dit zijn ook instelbare weerstanden, maar de weerstand wordt nu ingesteld via een draaimechanisme (een contact dat instelbaar over een weerstand loopt). Ook bevinden er zich twee originele lange schuifweerstand in de collectie.
- c. *Geschakelde decadebanken* in specifieke opstellingen, zoals vertakkingsbanken.
- d. *Instelbare spanningsbronnen en spanningsdelers*, met name als

hulpmiddelen voor andere elektrische en optische apparaten.

- 3. **Ijkelementen.** Bij absolute metingen horen zeer nauwkeurige referentiewaarden. Bleeker ontwikkelde daarom ook nauwkeurige ijkelementen, waarvan er vele in de collectie terug te vinden zijn:
 - a. Normaalweerstand. Dit zijn hoogwaardige en zeer nauwkeurig bepaalde standaardweerstand. In de collectie hebben we weerstanden van $0,001 \Omega$ tot 100.000Ω .
 - b. Weston-normaalelementen, die een standaardspanning van $1,01865 \text{ V}$ leveren (op basis van verzadigd CdSO_4). Metingen moeten nog uitwijzen, welke typen Weston-normaalelementen in de collectie zijn opgenomen en hoe nauwkeurig ze na al de jaren nog zijn.