

Ruis

Citation for published version (APA):

Knol, K. S. (1957). *Ruis*. Wolters.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1957

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

RUIS

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING VAN HET
AMBT VAN GEWOON HOOGLEERAAR IN DE
AFDELING DER ELEKTROTECHNIEK
AAN DE TECHNISCHE HOGESCHOOL
TE EINDHOVEN
OP DINSDAG 17 DECEMBER 1957

DOOR

DR K. S. KNOL

J. B. WOLTERS - GRONINGEN, DJAKARTA - 1957

*Mijne Heren Curatoren,
Mijne Heren Leden van de Senaat,
Mijne Heren Adviseurs,
Mijne Heren Leden van de wetenschappelijke staf,
Mejuffrouw en Mijne Heren Studenten dezer Technische Hogeschool en voorts Gij allen, die deze plechtigheid met Uw tegenwoordigheid vereert.*

Zeer gewaardeerde toehoorders,

Bij de officiële aanvaarding van het ambt van hoogleraar in de afdeling elektrotechniek met de opdracht om onderwijs te geven in de elektronica vraag ik Uw aandacht voor enige beschouwingen over een klein deel van dit uitgestrekte gebied. De verbijsterende snelheid, waarmee de elektronica zich de laatste jaren ontwikkelt, de talloze publikaties die dagelijks het licht zien getuigen hiervan, maakt het voor de enkeling onmogelijk het gehele terrein te overzien. Ik zou mij daarom willen beperken tot een deel der elektronica en wel tot het gebied, dat men pleegt aan te duiden met de korte naam: ruis. Ondanks deze korte naam zal ik slechts in staat zijn enkele zeer globale aspecten te belichten, want ook dit onderdeel zelf is al weer zeer uitgebreid.

Wanneer wij ons radiotoestel eens, om welke reden dan ook, op een ver verwijderde of zwakke zender proberen af te stemmen, dan wil het wel eens voorkomen, dat wij het gewenste programma niet helder en duidelijk uit onze luidspreker te horen krijgen, maar dat het verloren gaat in een min of meer krakend en sissend geluid, dat we met „geruis” plegen aan te duiden. Bijzonder karakteristiek hoort men dit geruis uit een ontvanger voor frequentiegemoduleerde signalen, kortweg een f.m.-ontvanger, als deze niet afgestemd is op een zender. Dit geruis verdwijnt meestal geheel zodra men op een voldoende sterk station heeft ingesteld.

Bezitters van een televisieapparaat, die graag eens een programma willen zien van een zender, die niet binnen de voor een goede ontvangst noodzakelijke afstand ligt, ontwaren meestal op het scherm een beeld, dat meer lijkt op een sneeuwbus, dan op de weergave van het in de studio opgenomen tafereel.

Beide verschijnselen, geruis uit de luidspreker en sneeuw op het beeldscherm, hebben dezelfde oorzaken. In de vaktaal worden zowel de verschijnselen als de oorzaken gewoonlijk „ruis” genoemd. Het woord „geruis”, dat het hoorbare gedeelte toch goed weergeeft, heeft zich bij ons niet ingeburgerd. Het woord „ruisen” zou voor een dergelijk onaangenaam verschijnsel beslist niet op zijn plaats zijn. Bij ruisen denken we veeleer aan iets welluidens, zoals Guido Gezelle doet, wanneer hij dicht:

„O ’t ruischen van het ranke riet!
hoe menig mensch aanschouwt U niet
en hoort Uw zingend’ harmonij,
doch luistert niet en gaat voorbij!”

De radioluisteraar, zelfs de poëtische, zal de ruis zeker niet als „zingend harmonij” beschouwen, die hem tot luisteren noodt. Voor de geïnteresseerde onderzoeker daarentegen biedt de studie van de ruis en het zoeken naar middelen om de door de natuur gestelde grens van de versterking van signalen zo dicht mogelijk te benaderen, veel boeiende problemen. Ik moge U hiervan in de loop van mijn betoog enkele noemen.

De eerste vraag, die in dit verband rijst, luidt: ontstaat de ruis binnen of buiten het ontvangtoestel? Het antwoord luidt: beide gevallen kunnen optreden. Beschouwen we eerst zeer in het kort de ruis, die buiten het toestel ontstaat en die dus veroorzaakt wordt door storende signalen, die via de antenne of de leiding van het elektrisch net het toestel binnenkomen. Deze kunnen komen van dichtbij en van verre. Die van dichtbij kunnen hun ontstaan vinden in elektrische apparaten als motoren, gasontladingslampen, hoogfrequentverhittingsapparaten, ontstekingsmechanismen van auto’s en bromfietsen, waarbij elektrische ontladingen optreden. De Engelse vaktaal spreekt hierbij van „man-made noise”. Deze storingen moeten en kunnen ter plaatse van hun ontstaan bestreden worden.

Een tweede oorzaak is iets verder van huis te zoeken, maar is eveneens van een zeer aardse oorsprong. Een onweer binnen enkele km van de ontvanger geeft bij elke ontlading een korte krak in de luidspreker, die echter nog niet als ruis aangemerkt wordt. De vele onweders, die vrijwel onafgebroken in de gehele wereld en in ’t bijzonder in de tropen woeden, veroorzaken door het grote aantal ontladingen een voortdurend kraken met het karakter van een ruisende storing. Wij merken deze op golfengten, die in den regel langer zijn dan ongeveer

10 m, daar deze via meervoudige reflecties tussen de ionosfeer en het aardoppervlak over een zeer grote afstand tot ons kunnen komen.

Als derde oorzaak van de ruis die van buitenaf ons radiotoestel kan binnendringen, kan nog genoemd worden de buitenaardse ruis, die uit de wereldruimte tot ons komt, de z.g. kosmische ruis. De bestudering hiervan heeft de laatste jaren geleid tot een volkomen nieuwe tak van wetenschap n.l. de radio-astronomie, die met recht een verrijking van de aloude astronomie mag heten.

De recente resultaten ervan hebben het wereldbeeld, dat de oude astronomie ontwikkeld had, in vele opzichten aangevuld. Het zij echter opgemerkt, dat de door van de Hulst voorspelde straling, die speciaal meer licht geworpen heeft op de structuur van ons melkwegstelsel n.l. de 21 cm lijn van waterstof, moeilijk als ruis te betitelen is. Deze straling is evenwel zo zwak, dat hij niet dan met bijzondere middelen van de ruis van het ontvangtoestel is te onderscheiden. De tijd ontbreekt helaas om hier met U op dit interessante gebied nader in te gaan.

Laten wij, na dit wel zeer vluchtige overzicht, onze aandacht richten op de verschijnselen, die de ruis binnen ons toestel veroorzaken en die in het algemeen een grens zullen stellen aan de gevoeligheid van het apparaat.

De studie van deze elektrische fluktuatieverschijnselen dateert pas van het begin van deze eeuw en is dus nog betrekkelijk jong.

De elektrische waarnemingsmethoden waren voordien nog zo weinig ontwikkeld, dat het niet wel mogelijk was deze verschijnselen aan te tonen.

Evenwel was een onregelmatige beweging van zeer kleine deeltjes, die in een vloeistof zweven, reeds in 1827 opgemerkt door de Engelse botanicus Brown. Pas veel later werd hiervoor een bevredigende verklaring gevonden. Deze „Brownse beweging” bleek veroorzaakt te worden door de temperatuurbeweging van de vloeistofmoleculen, die botsingen uitvoeren met de grotere, door een mikroskoop zichtbare, deeltjes, waardoor deze hun grillige baan beschrijven. Het waren Einstein en onafhankelijk van hem Smoluchowsky, die in 1906 het gemiddelde kwadraat van de verplaatsing van een deeltje in een bepaalde tijd wisten te berekenen. Deze bleek evenredig te zijn met de absolute temperatuur. Interessant is ook, dat Smoluchowsky in 1912 de Brownse beweging van een galvanometerspoeltje voorspelde. Pas in 1925 konden deze spontane uitslagen van een galvanometer werkelijk worden aangetoond. Moll en Burger publiceerden toen n.l. een

methode om een galvanometer zeer gevoelig te maken met behulp van een „thermorelais”. Hun galvanometer werd zelfs zo gevoelig, dat hij spontane uitslagen vertoonde. Zij schreven deze toe aan mikroseismische storingen. Ising kon echter laten zien, dat men deze fluktuaties voor een belangrijk deel kon verklaren met de theoretische voorspellingen van Smoluchowsky.

Het is duidelijk, dat spontane volkomen grillige zij het geringe fluktuaties van een galvanometerspoeltje een grens zullen stellen aan de nog zinvolle gevoeligheid, die men een galvanometer kan geven.

Uit 1912 stamt ook de nu nog vaak geciteerde dissertatie van Mevr. de Haas-Lorentz, die in 1913 in Duitsland werd uitgegeven onder de titel: „Die Brownsche Bewegung und einige verwandte Erscheinungen”, waarin zij onder meer de invloed van de thermische beweging van de elektronen in elektrische ketens bestudeerde, hierbij voortbouwende op het werk van Einstein, die ook hiermee reeds begonnen was.

In 1928 toonden Nyquist en Johnson aan, dat ook de temperatuur-beweging der elektronen in weerstanden gebruikt in versterkers van elektrische signalen de gevoeligheid hiervan begrenst.

Nyquist berekende op thermodynamische basis het gemiddelde kwadraat van de ruisspanning, in een klein frequentiegebied, die over een weerstand ontstaat. Deze bleek nu eveneens evenredig te zijn met de absolute temperatuur en bovendien met de waarde van de weerstand en de breedte van het frequentiegebied, doch onafhankelijk van de frequentie.

Later is dit resultaat van verschillende zijden bevestigd. Zo hebben Bakker en Heller in 1939 de ruisstroom in een draad, die de weerstand kortsluit, berekend door het effect van de bewegingen van alle elektronen in de weerstand te sommeren, waarbij zij een analoge uitkomst kregen als Nyquist.

Bij al deze berekeningen werd verondersteld, dat de weerstand geen stroom voert, zodat men alleen te maken heeft met de thermische beweging der elektronen, kortweg met thermische ruis.

Een tweede vorm van fluktuatieverschijnselen treedt op, waar men te maken heeft met een weliswaar continue stroom van deeltjes, die echter niet, als een troep goed geoefende soldaten, precies in de pas lopen, maar die zich geheel willekeurig over de tijd verdeeld voortbewegen. Men zou dit kunnen vergelijken met het vallen van hagelkorrels in een hagelbui. Zou men het aantal hagelkorrels tellen, dat in een bepaalde tijd op een zeker oppervlak valt en zou men die telling

op verschillende momenten uitvoeren, dan zou men aantallen vinden, die niet steeds gelijk zijn, doch fluktuieren om een zeker gemiddeld aantal. Hetzelfde heeft men b.v. met de elektronen in een elektronenbuis, die van de katode naar de anode gaan, of met het aantal quanten in een Röntgenbeeldversterker dat op een bepaald oppervlak valt. Deze fluktuaties veroorzaken eveneens ruis, die bij ons wel met „hagel-effekt” wordt aangeduid. Schottky, die deze soort ruis in 1918 ontdekte gaf er de naam „Schroteffekt” aan, waarbij hij kennelijk meer aan schiet hagel dacht, evenals de Engelsen die dit effect „shoteffect” doopten. Wellicht waren de vier voorafgaande jaren van de eerste wereldoorlog hieraan niet vreemd.

Schottky nu berekende een formule voor de ruisstroom in een verzadigde diode, waarbij het kwadraat van deze stroom evenredig bleek met de gelijkstroom door de buis, met de grootte van de lading van het elektron, met de breedte van het frequentiegebied en weer onafhankelijk van de frequentie. Hierdoor komt het korpusculaire karakter van de elektronenstroom wel sterk tot uiting. Dit bood de mogelijkheid om uit ruismetingen de grootte van de lading van één elektron te bepalen, een eerste toepassing van ruismetingen als hulpmiddel bij het fysisch onderzoek. De eerste poging, ondernomen door Hartmann, om de elementaire lading te meten leverde geen eenduidig resultaat op. Om die reden herhaalde Johnson de berekeningen van Schottky en ontdekte dat deze zich ergens een faktor 2 in de berekening vergist had, waarmee echter de ruismetingen van Hartmann toch nog niet geheel kloppend waren. Later zijn bij nauwkeuriger uitvoering der metingen uitkomsten gevonden die overeenkwamen met de op andere wijze verkregen waarden.

De verzadigde diode, waarvoor Schottky zijn formule opstelde, wordt heden ten dage als standaardruisbron in vele laboratoria nog dagelijks toegepast.

Een gelukkige omstandigheid bleek, dat de ruis in elektronenbuizen in de meeste gevallen lang niet zo groot was als die van een verzadigde diode.

Bij buizen, die in het ruimteladingsgebied werken, waar dus voor de katode een potentiaalminimum aanwezig is, bleek de ruisstroom in de anodeketen door de ruimtelading sterk verminderd te zijn. Berekeningen hierover komen o.a. van Schottky, Spenke, Rack en North.

Als een verdere oorzaak van ruis in meer gekomplieerde buizen b.v. met meerdere roosters, zoals in tetroden, pentoden en hexoden, zouden we nog kunnen noemen de z.g. verdelingsruis, die ontstaat als een

elektronenstroom zich kan verdelen over twee positieve elektroden. Het kanospel der elektronen van het wel of niet bereiken van een elektrode veroorzaakt fluktuaties in de stroom naar deze elektroden.

In buizen met sekundair emitterende elektroden treedt door incidentele fluktuaties in het aantal der sekundair vrijgemaakte elektronen per primair elektron eveneens een extra ruisstroom op.

Wat wij tot dusver besproken hebben geldt eigenlijk alleen voor elektronenbuizen bij niet extreme frequenties. In de elektronische hulpmiddelen, die halfgeleiders bevatten, zoals de uit de oertijd der radio bekende kristaldioden en de moderne transistoren, kan men voor een zeker, men zou kunnen zeggen „middelbaar”, frequentiegebied, dus niet te hoog en niet te laag, de ruis in grote trekken ook onderscheiden in thermische ruis en hageleffekt. Dit middelbaar frequentiegebied is echter niet hetzelfde als voor vacuumbuizen. Dit is ook niet te verwonderen, daar het hier in hoofdzaak een diffusieproces op kamertemperatuur betreft, met een veel geringere snelheid van de ladingsdragers in de halfgeleiders dan in vacuumbuizen. Daardoor zijn de looptijden der ladingsdragers in halfgeleiders veel groter en zullen looptijdeffekten eerder een rol kunnen gaan spelen.

Bij transistoren echter, die in de laatste tijd ontwikkeld zijn en waarbij gebruik gemaakt wordt van een inwendig versneld veld, kan men de invloed van de looptijdeffekten naar veel hogere frequenties verschuiven. Voor ik op deze looptijdeffekten inga zou ik U eerst nog op een zeer belangrijk ruisgebied attent willen maken, dat zowel bij vacuumbuizen als bij halfgeleiders een grote rol speelt. Bij zeer lage frequenties n.l. blijkt de ruis van vacuum- zowel als halfgeleiderbuizen opvallend groot te worden. Het kwadraat van de ruisstroom is hier meestal omgekeerd evenredig met de frequentie. Vooral de eerste puntkontaktransistoren bleken erg veel van deze ruis te bezitten.

In 1926 heeft alweer Schottky een theorie van dit ruis-effekt in vacuumbuizen gepubliceerd, die evenwel niet alle verschijnselen kon verklaren. Schottky nam bij zijn beschouwingen aan, dat op de katode z.g. emissiecentra optreden, die gedurende een bepaalde tijd, gedurende hun levensduur, een grote stroom geven. Uitgaande van een zekere levensduur van de emissiecentra kon hij het ruispektrum berekenen. De ruis zou dan voor zeer lage frequenties konstant moeten zijn en voor hogere frequenties ongeveer omgekeerd evenredig met het kwadraat van de frequentie moeten afnemen. De overgang tussen deze twee gebieden zou moeten liggen bij een frequentie, waarvan de trillingstijd van dezelfde orde van grootte is als de levensduur van

een emissiecentrum. In de praktijk is vrijwel voortdurend gebleken, dat het kwadraat van de ruisstroom zelfs tot zeer lage frequenties nog steeds ongeveer omgekeerd evenredig met de frequentie is. Bij halfgeleiders en weerstanden gevormd door zeer dunne metaal- of koallagen, waardoor een stroom vloeit, is het al niet anders. Rollins en Templeton hebben zelfs aangetoond, dat bij een dergelijke weerstand dit spektrum zich nog voortzet tot enkele perioden in 10.000 seconden, dit is ongeveer 1 periode per uur.

Uit de theorie van Schottky volgde ook hoe deze ruis door de ruimtelading onderdrukt zou moeten worden. Uit metingen bleek evenwel, dat de ruisonderdrukking geheel anders verliep als Schottky voorspelde, zodat men de theorie van de emissiecentra moest verlaten.

Toch zou men moeten verwachten dat in de gevallen, waarbij de ruis frequentieafhankelijk is, variabele processen een rol spelen. Een proces met een enkele levensduur is blijkbaar niet voldoende. Een superpositie van dergelijke processen met een grote spreiding der levensduren zou het gevonden spektrum wel kunnen verklaren. Onlangs heeft men de aanwezigheid van een dergelijke grote spreiding van levensduren van energietoestanden op het oppervlak van germanium langs heel andere weg als uit ruismetingen kunnen constateren. Men is daarom tegenwoordig geneigd aan te nemen dat een modulatieproces tengevolge van dergelijke energietoestanden met uiteenlopende levensduren het bewuste spektrum veroorzaakt. Overigens treft men ook wel spektra aan, die in meerdere of mindere mate afwijken van het type, dat omgekeerd evenredig met de frequentie verloopt.

Hoe het zij, deze laagfrequentruis heeft een zeer gekompliceerd karakter en vertoont bij verschillende materialen uiteenlopende verschijnselen. In de laatste tijd zijn door van der Ziel en zijn medewerkers belangrijke onderzoekingen gedaan over ruis bij lage frequenties in vacuumbuizen. Een bijzonder interessant resultaat is, dat zij uit hun ruismetingen aan oxydekatoden aanwijzingen konden vinden voor het optreden van een door Loosjes en Vink voorgesteld mechanisme van de geleiding door de oxydekatode n.l. de poriëngeleiding. Dit is een frappant voorbeeld van de toepassing van ruisonderzoek om inzicht te verkrijgen in andere fysische verschijnselen.

Richten wij nu onze aandacht op de ruis bij zeer hoge frequenties. De ruisoorzaken, die bij lage frequenties domineren, hebben daar praktisch geen invloed meer. Voor buitengewoon hoge frequenties zal ook de thermische ruis moeten afnemen n.l. als de invloed van de

quanta van het elektromagnetische veld zich laat gelden. Voor temperaturen zoals in onze omgeving voorkomen zijn de golflengten waarbij deze invloed merkbaar wordt nog zo klein, n.l. enkele honderste mm, dat wij voorshands geen mogelijkheid zien dat deze werkelijk praktische betekenis zullen krijgen. Wel zou men in het laboratorium bij de zeer lage temperaturen, die bereikbaar zijn en bij de zeer hoge frequenties der mm-golven de quantumeffecten moeten kunnen aantonen. Het ware te wensen, dat door samenwerking van een mikrogolfspecialist enerzijds en een lage-temperaturespecialist anderzijds een dergelijk onderzoek tot stand zou komen.

Wij hebben het woord looptijd al eens genoemd. Men verstaat eenvoudig onder looptijd van een elektron tussen twee elektroden de tijd, gedurende welke het elektron onderweg is. De invloed van deze uiterst korte looptijden der elektronen op de ruisverschijnselen openbaart zich echter op twee manieren:

1e. de tengevolge van het hageleffect aanwezige ruisstroom ondergaat veranderingen en 2e. verschijnselen, die men bij lagere frequenties niet opmerkte, doen bij hogere frequenties hun invloed gelden. Om de invloed van de looptijden der elektronen op de ruis, die ook bij lagere frequenties reeds aanwezig is, na te gaan, beschouwen we eens een diode met een potentiaalminimum tengevolge van de ruimtelading. Een theorie, die hiervan de fluktuaties in de anodestroom in alle details berekent, bestaat nog steeds niet. Men moet daarom zijn toevlucht nemen tot een geïdealiseerd model en veronderstelt dan, dat in of even voorbij het potentiaal-minimum een elektronenbundel begint te lopen met een bepaalde snelheid, terwijl de dichtheid en de snelheid van de elektronen fluktuaties vertonen om hun gemiddelden. Men zou deze dichtheids- en de snelheidsfluktuaties en hun onderlinge samenhang, hun korrelatie, in het potentiaalminimum graag willen berekenen, maar hier ligt theoretisch nog een groot probleem. Als men eenvoudig de vraag stelt: zullen de fluktuaties in het aantal elektronen, dat het potentiaalminimum passeert, verband houden met de fluktuaties van de gemiddelde snelheid, dan is de eerste natuurlijke reactie: dit zou me geenszins verbazen. Gaat men echter dieper op deze kwestie in, dan blijkt het onmogelijk met de bestaande theorieën een korrelatie aan te tonen. De meeste onderzoekers gaan er dan ook van uit dat er geen korrelatie bestaat. Van recente datum staat een berekening van enkele onderzoekers in Amerika o.a. Tien, die een veel ingewikkelder model hebben bestudeerd. Zij hebben n.l. getracht de banen en het gedrag van zeer vele betrekkelijk kleine groepen van willekeurige aantallen

elektronen, die achtereenvolgens in gelijke tijdsintervallen door de katode worden uitgezonden, in hun onderlinge wisselwerking te berekenen met behulp van een moderne rekenmachine. Zoals men zich gemakkelijk realiseert is dit een ontzagwekkend werk geweest. Het resultaat van de berekeningen was buitengewoon interessant wat betreft het te verwachten ruisgedrag van lopende golfbuizen, maar leverde geen korrelatie op tussen dichtheids- en snelheidsfluctuaties.

Uitgaande van de uit de theorie voor lage frequenties volgende dichtheids- en snelheidsfluctuaties in het potentiaalminimum kan men met de bestaande looptijdtheorieën de fluctuaties op een plaats verderop in de bundel of in de uitwendige keten berekenen. Hier dient vermeld het buitengewoon belangrijke werk van Cutler en Quate, die aangetoond hebben dat de ruis langs de bundel maxima en minima vertoont. Dit werk heeft geleid tot de konstruktie van ruisarme lopende golfbuizen.

Voor eenvoudige dioden en trioden zijn de looptijden meestal niet zo groot, dat zich golven kunnen vormen. Men kan hierbij volstaan met een theorie zoals die zich in de loop van de tijd heeft ontwikkeld en tenslotte door Llewellyn en Peterson is geformuleerd.

Verschijnselen, die bij hogere frequenties pas merkbaar worden, zijn b.v. de ruis tengevolge van de gehele emissiestroom, in het Engels de „total emission noise” en van de geïnduceerde roosterruis. De eerste ontstaat door de vele elektronen, die door de katode worden uitgezonden en voor het potentiaalminimum terugkeren. Hierbij zijn vrijwel alle geëmitteerde elektronen betrokken, vandaar de naam „total emission” ruis. Ze maken dus als het ware kleine uitstapjes in de katode-roosterruimte, maar keren direkt naar de katode terug. Een dergelijk elektron induceert hierbij twee gelijke maar tegenovergestelde stroomstootjes of stroomimpulsen, die onderling iets in de tijd verschoven zijn, in de katodeketen. Pas bij zeer hoge frequenties merkt men hierdoor deze in de katodeketen geïnduceerde ruisstroom.

De geïnduceerde roosterruis ontstaat doordat ieder elektron, dat van de katode door het rooster heen naar de anode loopt, in de keten van het rooster twee vrijwel even grote, ook weer iets in de tijd verschoven tegengestelde stroomimpulsen induceert. Bij hoge frequenties geven de impulsen van alle elektronen samen aanleiding tot een ruisstroom, die naar het rooster vloeit. Daar deze stroom zijn ontstaan dank aan de elektronenstroom door de buis zou hij volledig gekorreleerd moeten zijn met de ruisstroom in de anodeketen. Men zou hierin een middel moeten hebben om de anoderuisstroom te verminderen. Strutt en van der Ziel hebben aangegeven hoe men deze ruisvermindering

zou moeten bereiken. Helaas blijkt in de praktijk, dat de korrelatie tussen de geïnduceerde roosterruis en de anoderuisstroom niet zodanig is als men meende te mogen verwachten. Aan de oplossing van de hierbij nog steeds bestaande problemen, zowel op frequenties van enkele honderden als van enkele duizenden Megahertz, wordt in verschillende laboratoria gewerkt.

Nadat wij aldus enkele ruisoorzaken, die optreden in de elementen van een ontvanger van elektromagnetische golven, hebben genoemd, willen we ons afvragen hoe men in verband hiermede de gevoeligheid van een ontvanger zou moeten definiëren. Bij het luisteren naar een concert of het kijken naar een televisiebeeld is voor de storingsvrijheid natuurlijk belangrijk de verhouding van het signaal- en het ruisvermogen dat het weergegeven geluid resp. beeld teweeg brengt; men spreekt eenvoudig van signaal-ruis verhouding. Met het signaal ontvangt de antenne ook een zekere hoeveelheid ruis, die voor verschillende antennekonfiguraties niet steeds gelijk is.

Om een vergelijking van verschillende ontvangers mogelijk te maken neemt men nu aan, dat de stralingsweerstand van de antenne ruis produceert, die overeenkomt met thermische ruis op kamertemperatuur.

Om het ruisgedrag van een ontvanger te karakteriseren heeft Friis het begrip „ruisfactor” ingevoerd, dat aangeeft het quotiënt van de ruis-signaalverhouding aan het eind van de versterker en die aan de antenne. Deze definitie lijkt zeer eenvoudig en eenduidig, doch moet in de praktijk met de nodige omzichtigheid gehanteerd worden. De reden hiervoor is, dat men meestal de beste ruisfactor bereikt niet als de versterking maximaal is, doch bij een aanpassing van de antenne aan de eerste buis waarbij geen maximale energie-overdracht plaats vindt.

De apparatenbouwer, die een zo gevoelig mogelijk apparaat wil bouwen, moet natuurlijk zorgen dat de ruisfactor zo laag mogelijk is. Hij wil dus graag van de buizenfabrikant gegevens ontvangen, die het hem mogelijk maken die schakeling te kiezen, die rekening houdende met andere omstandigheden, als gewenste bandbreedte, enz., de laagst mogelijke ruisfactor oplevert. Hij vraagt daarbij meteen om buizen, die weinig ruis produceren.

De buizenfabrikant weet dus wat hem te doen staat. Aan de eerste vraag kan hij voldoen. Er bestaan methoden om de ruiseigenschappen van een versterkerbuis, transistor of kristaldiode te karakteriseren, zonder direkt op hun werkingswijze in te gaan. We willen hier een methode noemen, die zeer eenvoudig is, en die het eerst is voorgesteld

door onze kortgeleden gestorven stadgenoot Becking, die bijzonder belangrijk werk heeft gedaan, de laatste jaren vooral op het gebied van de ruis van transistoren. Becking toonde aan, dat men de bijdrage tot de ruis van een vierpool volledig kan beschrijven, door voor de vierpool een ruisspannings- en een ruisstroombron, die onderling gekorreleerd kunnen zijn, geplaatst te denken en verder de vierpool als ruisvrij te beschouwen. Elke ruisbron wordt gekarakteriseerd door twee grootheden, zodat men het ruisgedrag van de vierpool kan beschrijven door vier grootheden, die gemakkelijk gemeten kunnen worden. De kennis van deze grootheden maakt het mogelijk om voor elke ingangsschakeling de ruisfactor te berekenen en omgekeerd om die schakeling te vinden, die de laagste ruisfactor geeft. Hieraan heeft de apparatenbouwer genoeg.

De buizenonderzoeker, echter, neemt geen genoegen met het meten van de kenmerkende ruisgrootheden alleen. Hij zal hun waarden willen verbinden aan het fysische gebeuren in de buis. Dit levert verschillende problemen op, die het ruisonderzoek bijzonder interessant maken. We spraken reeds over de snelheids- en de dichtheidsfluctuaties in het potentiaalminimum, alsmede over de gebrekkige korrelatie tussen de geïnduceerde roosterruis en de anoderuis. Ook voor de ruis tengevolge van de „total emission” bestaat nog geen theorie, die de experimenten kwantitatief kan verklaren. Bij de halfgeleiders bestaan eveneens nog veel onbekende factoren, die in wezen analoog zijn aan die bij de buizen.

Men kan zich voor ieder concreet geval afvragen, welke ruisfactor de beste is, die bereikt kan worden. De antwoorden zullen voor verschillende frequentiegebieden zeer uiteenlopen. Beter dan 1 kan men nooit komen, want in dat geval zou de versterker helemaal niet tot de ruis bijdragen. Dit is een ideaal, dat niet te verwezenlijken is. In veel gevallen is het ook niet nodig om al te veel moeite te doen. Voor de normale omroepgolven is de ruis, die de antenne opvangt, meestal zo groot dat het weinig zin heeft om het toestel al te gevoelig te maken. Voor de z.g. korte golfbanden en de televisie-omroep is een verbetering van de ruisfactor nog steeds van waarde. Voor b.v. radar en verbindingen voor telefoon en televisie op cm-golven is de ruis nog steeds een struikelblok.

Voor deze cm-golven zijn met lopende golfbuizen tot dusver de laagste ruisfactoren bereikt. De triode is door zijn grote roosterruis in zijn huidige stadium aanmerkelijk slechter. Mogelijk is de ruisfactor hiervan door verdere kultivering van de toch al uiterst fijne techniek

en door uit verdieping van het theoretisch inzicht volgende maatregelen nog te verbeteren.

Voor opstellingen die bedoeld zijn om de kosmische ruis te meten is een zo laag mogelijke ruisfactor van zeer groot belang. De onderzoeker vraagt hiervoor nog steeds om ruisarmere buizen of andere elementen. Men zou hierbij kunnen denken aan de toepassing van een gas of vaste stof met zeer lage temperatuur, daar men dan de kans heeft, dat de ruis voor een deel bepaald wordt door thermische ruis, die hierbij zeer laag is. Verschillende mogelijkheden worden momenteel bestudeerd. Het laat zich b.v. zeer wel denken, dat er halfgeleiders te maken zijn, die juist bij lage temperaturen analoge eigenschappen hebben als de voor de huidige transistoren gebruikte materialen, silicium en germanium, op kamertemperatuur bezitten.

In de laatste jaren is er een buitengewoon interessante ontwikkeling aan de gang, voornamelijk nog in Amerika, van waaruit enkele jaren geleden de wereld verrast werd door de „microwave amplification by stimulated emission of radiation”, of volgens de beginletters de „maser”. De eerste publikatie over de maser, werkende met een gas, kwam van Townes en zijn medewerkers in 1955; ongeveer een jaar later toonde Bloembergen aan, dat dit principe ook toe te passen is op vaste stoffen. Uit publikaties uit Rusland blijkt, dat men ook daar met sukses aan soortgelijke principes werkt.

Het is verheugend, dat een dermate belangrijke nieuwe ontwikkeling, die uit een zuiver fysisch onderzoek is ontstaan, direkt algemene belangstelling heeft, daar er nu allerwegen in fysische zowel als technische laboratoria aan gewerkt zal worden.

Volgens betrouwbaar lijkende berekeningen en voorlopige metingen laat het principe van de maser verwachten, dat hiermee wel zeer lage ruisfactoren te bereiken zijn. Bij de vaste-stoffen-maser zijn zeer lage temperaturen nodig. Aangezien de opstellingen vooralsnog zeer omvangrijk zijn, laat het zich niet aanzien, dat hier direkt een algemene technische toepassing in het verschiet ligt. Voor speciale doeleinden, als kosmische ruismetingen lijkt de toepassing van een maser in een niet te verre toekomst mogelijk.

Ik heb U tot dusver eigenlijk voornamelijk gesproken over de ruis, die als begrenzing van de gevoeligheid van ontvangers optreedt, en bezien vanuit het standpunt van de apparatenfabrikant en de buizenontwerper. Terloops heb ik even gewezen op resultaten van een ruisonderzoek, die belangrijk zijn voor het fysisch inzicht in bepaalde processen. In de meeste gevallen was echter het ruisonderzoek doel.

Men kan evenwel ook in veel gevallen het ruisonderzoek als middel gebruiken om fysische processen te bestuderen. Als bijzonder belangrijk voorbeeld noemden we reeds de radioastronomie. Ook de onderzoeken van van Vliet, vervat in zijn dissertatie: „Current fluctuations in semiconductors and photoconductors”, waaruit hij onder meer belangrijke konklusies kon trekken omtrent de elektronische overgangen in kadmiumsulfide éénkristallen, kan men hieronder rangschikken.

Een ander voorbeeld van ruisonderzoek, dat voor het fabriekslaboratorium van belang is als kontrôle van de emissie-eigenschappen van katoden, wordt toegepast door Dahlke. Het blijkt n.l. dat het effect van onvoldoende emissie van een oxydekathode zich veel duidelijker manifesteert door ruismetingen dan door de meting van b.v. de karakteristiek van de buis. Zo zouden er nog veel gebieden te noemen zijn.

Geachte toehoorders,

Ik geloof te mogen zeggen, dat er drie groepen onderzoekers zijn te onderscheiden, die, ieder naar zijn aard, aan de studie van de ruis deelnemen.

De eerste groep omvat de wetenschappelijke speurwerkers, die dit vak kiezen, hetzij om de theorieën te vervolmaken, waarbij zij beroemde mannen als Einstein, Smoluchowsky, Zernike, Ornstein, Uhlenbeck en vele anderen als hun voorgangers weten, hetzij om experimenteel de nieuwe theorieën te toetsen of de nog niet begrepen, ingewikkelde verschijnselen te ontwarren. Zolang men de processen die plaats vinden niet fysisch doorziet, kan men ook geen middelen aangeven om de invloeden van de ruis doeltreffend te bestrijden.

De tweede groep, die der buizenfabrikanten, zal trachten de door de eerste groep verworven inzichten toe te passen voor verbetering en vernieuwing van buiskonstrukties. Deze groep zal dan met de buizen de gegevens kunnen leveren, die het ruisgedrag van de buizen karakteriseren.

De derde groep, die der apparatenbouwers, zal deze service van de buizenfabrikanten dankbaar aanvaarden. Eigenlijk was de apparatenbouwer dit reeds lang gewend vooral waar het de andere buiseigenschappen als karakteristiek, capaciteiten enz. betrof. Ook hier heeft hij steeds de theorie van de buizen aan de buizenfabrikanten overgelaten. Hij zal echter met de verstrekte gegevens in staat zijn de schakeling te kiezen, die aan alle te stellen eisen zo goed mogelijk tegemoet komt.

Voorlopig blijft de ruis in vele gevallen nog een verschijnsel, waarop de apparatenbouwer vastloopt. Gedeeltelijk kan dit natuurlijk worden

ondervangen door het vergroten van het signaal, dus het bouwen van sterkere zenders, maar ook hiermee kan men slechts in beperkte mate doorgaan.

Men mag evenwel verwachten, dat door nauwe samenwerking van deze drie, op verschillende wijze in de ruis geïnteresseerde groepen van onderzoekers, de radioluisteraars en de televisiekijkers in de toekomst op een ontvangst mogen rekenen, die het volmaakte steeds dichterbij zal benaderen.

Bij de aanvaarding van mijn ambt zij het mij vergund mijn eerbiedige dank te betuigen aan *Hare Majesteit de Koningin*, die mij heeft willen benoemen tot hoogleraar aan deze Technische Hogeschool.

Mijne Heren Curatoren dezer Technische Hogeschool,

Voor het vertrouwen, dat U in mij hebt gesteld door mij voor te dragen voor deze benoeming, moge ik U uit de grond van mijn hart danken.

Ik verzeker U te doen, wat in mijn vermogen ligt, om dit vertrouwen waardig te blijven.

Mijne Heren leden van de Senaat,

Ik voel het als een grote eer om tezamen met U mijn krachten te mogen wijden aan de verdere ontwikkeling van onze nieuwe hogeschool. Ik heb van U allen steeds de grootst mogelijke medewerking ondervonden. Ik hoop en vertrouw ook in de toekomst op Uw steun een beroep te mogen blijven doen.

In verband hiermede geloof ik, dat het zeer waardevol is, dat aanvankelijk de verschillende afdelingen in één gebouw gevestigd zijn. In de toekomst zal dit waarschijnlijk niet zo blijven en zullen de afdelingen ruimtelijk meer gescheiden moeten worden. Ik hoop echter, dat dan door de gevormde relaties de goede onderlinge samenwerking, zowel op organisatorisch als op wetenschappelijk gebied, gehandhaafd moge blijven.

Mijne Heren leden van de afdeling Elektrotechniek,

Met U mee te mogen werken aan de opbouw van het onderwijs in de elektrotechniek en aan de inrichting van een nieuw elektrotechnisch laboratorium stel ik op hoge prijs. De bijzonder hartelijke wijze van

samenwerking geeft mij het volste vertrouwen in de toekomst. Ik doe een beroep op Uw bijstand waar mijn kennis te kort schiet en weet dat dit niet tevergeefs zal zijn.

Hooggeleerde Jonker,

Onze kennismaking stamt al van twintig jaar geleden. In het eerste decennium was onze relatie vrij los, in het laatste vrij intensief. Ik wil U van deze plaats zeer bijzonder danken voor de wijze, waarop U mij die tien jaar onder Uw leiding hebt laten werken. Ik heb de samenwerking met U altijd op bijzonder hoge prijs gesteld. Toch waren onze interessen niet in alle opzichten dezelfde. Ik heb altijd gevoeld, dat we elkaar aanvulden juist door deze verschillende geaardheid. Ik ben U dankbaar dat U niet getracht hebt mij in Uw richting te leiden. Ik zou steeds leerling van de meester gebleven zijn.

Ik beschouw het als een groot voorrecht dat ik naast U een hoogleraarsambt aan deze Technische Hogeschool mag bekleden.

Ik ben er van overtuigd, dat onder Uw voorzitterschap de afdeling der elektrotechniek een goede koers zal varen.

Mijne Heren leden van de directie van het Natuurkundig Laboratorium der N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken,

U moet nu niet denken, na hetgeen ik zo juist tegen collega Jonker gezegd heb, dat ik met vreugde in mijn hart Uw laboratorium heb verlaten.

Ik heb altijd beseft, dat het op weinig plaatsen ter wereld mogelijk is onder betere omstandigheden wetenschappelijk werk te verrichten dan op het Nat. Lab. Men ontmoet dagelijks de meest voortreffelijke specialisten. Toch had mijn nieuwe taak voor mij zoveel bekoring, niet in de laatste plaats ook het vooruitzicht hier samen met studenten aan vele nog niet opgeloste problemen te kunnen werken, dat ik deze heb gekozen. Ik dank U zeer voor de medewerking, die U mij steeds hebt verleend. Ik zal het bijzonder waarderen ook in de toekomst het vriendschappelijk en wetenschappelijk contact met U en Uwe medewerkers te mogen blijven onderhouden.

Mejuffrouw en mijne Heren studenten in de afdeling der elektrotechniek.

Ik zie het als mijn taak U bij Uw studie leiding en richting te geven. Ik kan U het vak evenwel niet leren, U zult U zelf het noodzakelijke

inzicht en de nodige kennis moeten eigen maken. Ik wil U echter hierbij helpen.

Wanneer U het diploma van elektrotechnisch ingenieur behaald zult hebben, bedenkt dan, dat dit slechts een begin is. Ook dan zult U Uw kennis moeten blijven uitbreiden. U zult dan n.l. slechts van een beperkt aantal vakken de basis bestudeerd hebben en Uw krachten op een enkel wetenschappelijk onderzoek met redelijk of zelfs goed sukses beproefd. Ik hoop, dat U alsdan zult beseffen in genen dele volleerd te zijn doch dat U dan in staat zult blijken te zijn met deze basiskennis enkele van de vele problemen die zich aan U zullen voordoen te attaqueren en tot hun oplossing bij te dragen.

Het door U gekozen vak geeft U het onschatbare voorrecht de gelegenheid te hebben heel Uw leven te mogen of misschien wel te moeten blijven studeren.

Moge het U gelukken het geleerde te gebruiken voor het mensdom ten nutte strekkende technische toepassingen.

Ik heb gezegd.

BOEKDRUKKERIJ J. B. WOLTERS' U.M.