

Storingen op radioverbindingen, afkomstig van eigen materieel

door ir. W. C. PAYMANS en ir. F. E. MAUSER, res. Tweede Luitenants.

In De Militaire Spectator nr 7 van juli 1957, blz. 309—318, beschrijft Majoor B r e e t, in een artikel over elektronische oorlogvoering, welke mogelijkheden een vijand ten dienste staan om onze radioverbindingen opzettelijk te storen, teneinde daarmee het overbrengen van de gewenste informatie te hinderen of zelfs onmogelijk te maken.

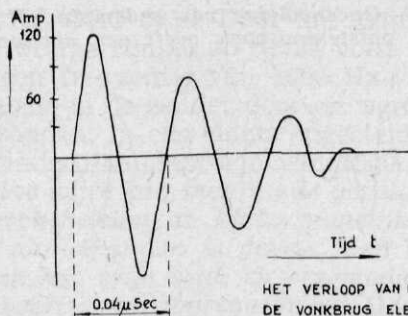
Behalve de in dat artikel vermelde methoden, kan nog een andere oorzaak van storing worden genoemd, die niet van de zijde van de vijand komt, doch uit het eigen kamp. Uit het dagelijkse leven is voldoende bekend, dat stofzuigers, scheerapparaten, elektromotoren, ontstekingsmotoren enz. de goede ontvangst van het radio- en televisieprogramma op hinderlijke wijze kunnen beïnvloeden. In moderne legers, waar voertuigen en elektromotoren in zo grote getale aanwezig zijn, moet met deze bronnen van storing ook terdege rekening worden gehouden.

Een voordeel is, dat reeds in vreedstijd de nodige maatregelen kunnen worden genomen. Vooral in Engeland heeft men zich na het einde van de laatste wereldoorlog intensief met deze problemen bezig gehouden. Omstreeks 1950 werd door de Ned. P.T.T., in samenwerking met de Rijksautomobilcentrale, een aanvang gemaakt met een onderzoek. Omstreeks diezelfde tijd werd ook door R.V.O./T.N.O. enig werk op dit gebied verricht ten behoeve van de Koninklijke Landmacht en in latere jaren namen zowel de Koninklijke Marine als de Koninklijke Landmacht zelf onderzoeken ter hand.

Het Duitse leger heeft in 1957 een aantal metingen aan voertuigen verricht en ook in het Franse leger houden technici zich met dit probleem bezig. In Engeland zijn sinds 1953 in de civiele sector voorschriften voor het nemen van maatregelen wettelijk van kracht geworden; in Duitsland en in Nederland wordt aan het opstellen van dergelijke voorschriften gewerkt.

Het is bekend, dat deze storingen zich op verschillende manieren kunnen uiten: van een reeks korte tikken bij ontstekingsmotoren tot een continue ruis bij elektrische machines. In beide gevallen kan de oorzaak worden teruggebracht tot de vorming van vonken, die gepaard gaan met sterke hoogfrequente stromen, waardoor elektromagnetische golven worden voortgebracht. Dit verschijnsel, dat door Heinrich H e r t z in 1888 is ontdekt, werd vóór de uitvinding van de radiobuis reeds toegepast in de zg. vonkzenders. De opgewekte elektromagnetische golven planten zich met de lichtsnelheid in de ruimte voort.

De elektrische trillingen die bij vonkoverslag optreden, sterven zeer snel uit (afb. 1) ten gevolge van demping, die ontstaat door warmteverliezen in het circuit en door de genoemde uitstraling van hoogfrequente energie. Deze energie wordt niet in één bepaalde frequentie uitgestraald maar in een frequentiegebied van grote omvang, als gevolg van de abrupte stroomstoot direct na de doorslag: hoe steiler de flank hiervan is, des te uitgestrekter wordt het frequentiespectrum. Dit was een van de nadelen van de vonkzender (weinig selectief).



Afb. 1

HET VERLOOP VAN DE STROOM BIJ DOORSLAG TUSSEN DE VONKBRUG ELEKTRODEN VAN EEN VONKZENDER.

Overall waar in elektrische circuits vonken optreden, kan men het beschreven verschijnsel verwachten. De uitgestraalde energie wordt opgevangen in de antenne van een in de omgeving opgestelde ontvanger en werkt storend op de communicatie. Deze storing kan zo hevig zijn, dat doorgeven van informatie onmogelijk wordt gemaakt.

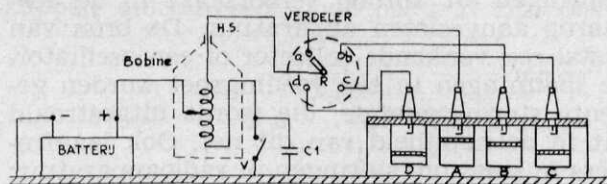
Met het oog op de later te behandelen ontstoringsmiddelen worden het ontstekingsmechanisme van de benzinemotor en de werking van de collector van de elektrische machine wat nader beschouwd.

Vooral de bougievonk, waarmee in de verbrandingsruimte van de benzinemotor het gasmengsel wordt ontstoken, vormt een belangrijke bron van storing. Eerst volgt daarom een korte beschrijving van het principe van de hoogspanningontsteking van een verbrandingsmotor, waarvoor een viercilinder viertakt motor als voorbeeld is gekozen (afb. 2).

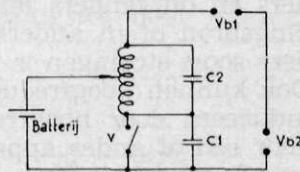
Bij onderbreking van de primaire batterijstroom door de onderbreker v ontstaat in de secundaire wikkeling van de bobine een hoge spanning (10.000 à 15.000 volt), die zich verdeelt over twee vonkbruggen. De eerste wordt gevormd door de luchtweg tussen rotorarm R en contact a, en de andere door de luchtweg tussen de bougie-elektroden in cilinder A.

Afb. 2 kan, elektrotechnisch gezien, worden weergegeven door het principeschema van afb. 3. Hierin stelt Vb1 de luchtweg in de verdeler voor, Vb2 de luchtweg in de bougie. Eerst slaat Vb1 door, waardoor de verdelervonk ontstaat. Direct daarop slaat Vb2 door, ten gevolge waarvan de bougievonk wordt gevormd. Pas als Vb2 is doorgeslagen, kan C2 — gevormd door de eigen capaciteit van de secundaire wikkeling van de bobine — zich ontladen.

Door de geringe aanwezige weerstand zullen sterke hoogfrequente stromen optreden in de elektrische trillingskring, gevormd door C2, de zelfinducties van de kabels tussen bobine, verdeler en bougie en de vonkbruggen. De warmte-ontwikkeling en de elektromagnetische stra-



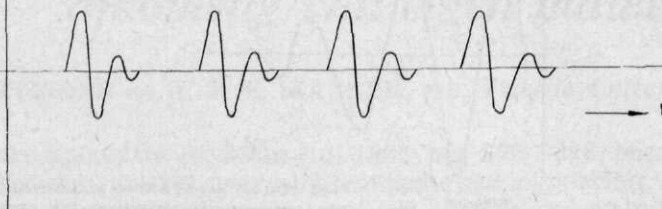
Afb. 2 Schematisch beeld van de hoogspanningsontsteking van een 4-cilinder 4-takt motor.



Afb. 3 Principeschema van een hoogspanningsontsteking

Amplitude
H.F. Stroom

Afb. 4 Opeenvolging van gedempte b.f. golven; elke ontstekingsvonk geeft een nieuwe golf.



ling zorgen voor de demping. Elke bougievonk geeft een gedempte hoogfrequente trilling, die als een tik in een ontvanger hoorbaar is. Bij een continu lopende motor ontstaat zo een „trein” van gedempte hoogfrequente golven, die elkaar in een laagfrequent ritme opvolgen en in een ontvanger als een ratel hoorbaar zijn (afb. 4). Het ritme hangt af van het toerental van de motor.

Zoals reeds gezegd, omvat de uitgezonden hoogfrequente energie een groot frequentiespectrum. Onderzoekingen hebben aangetoond, dat de ontstekingsstoring van benzinemotoren waarneembaar is in een ontvanger die wordt afgestemd op frequenties liggende boven circa 2 megahertz ($2 \cdot 10^6$ Hz). In het langegolf- en het middengolfgebied heeft men praktisch nog geen last van deze storing. Vanaf 2 MHz neemt de „sterkte” van de storing toe tot ca. 50 MHz en blijft voor nog hogere waarden gemiddeld vrijwel constant. Geconstateerd is, dat nog bij 1000 MHz storingen kunnen voorkomen.

De storing, die wordt veroorzaakt door elektrische machines, kan worden teruggebracht tot het overspringen van vonken tussen de koolborstels en de collector. De collector bestaat uit een aantal onderling geïsoleerde segmenten (lamellen), waarop de uiteinden van de ankerwikkelingen zijn aangesloten. De ankerstroom wordt door de borstels via deze lamellen afgenomen. Telkens als een lamel een borstel passeert, keert de stroom in de aan de lamel verbonden ankerwikkeling van richting om. Indien deze verandering van stroomrichting, commutatie geheten, niet op het juiste moment plaats vindt, zodat min of meer abrupte stroomveranderingen optreden, kunnen vonken ontstaan. Ook deze vonken worden begeleid door hoogfrequente stromen en zij veroorzaken dus elektromagnetische straling. Uit metingen is gebleken, dat het frequentiespectrum zich niet zo ver uitstrekt als dat ten gevolge van een bougievonk: de storing is het grootst in het langegolf- en het middengolfgebied.

Tot dusver werd slechts gesproken over storingen, uitgezonden in de vorm van hoogfrequente stralingsenergie. Behalve deze zijn ook van belang de storingen, die rechtstreeks via de voedingskabels in de zenders en ontvangers binnendringen en worden veroorzaakt in de voedingsbron of in andere daarop aangesloten apparatuur. De bron van deze soort storingen is meestal een vonkende collector of een oscillator. Ook kunnen hoogfrequente spanningen in een voedingsnet worden geïnduceerd door hoogfrequente storingsenergie, die wordt uitgestraald door een of ander apparaat in de nabijheid van dit net. Ook laagfrequente energie is via geleiders in staat om storingen in radioapparatuur te veroorzaken. Een praktisch voorbeeld hiervan vormt het 450 watt aggregaat PU-3002/U, dat o.a. ook bestemd is voor voeding van de zend-

ontvanger KL/GRC 3030. Door het aggregaat werd, vermoedelijk door de nog aanwezige rimpel op de 24 volts gelijkspanning, een stoorspanning met een frequentie van 1000 Hz veroorzaakt. Deze drong via de voedingskabels in de zender door en werd samen met het gewenste signaal uitgezonden. In een elders opgestelde ontvanger hoorde men daarvoor een hinderlijke stoortoon van 1000 Hz.

Op welke wijze kan men nu de gevolgen van de hierboven genoemde storingsverschijnselen zo klein mogelijk maken? Hiervoor zijn enige praktische aanwijzingen te geven. Men begint met de ontvangpost op te stellen in het vrije veld, zo ver mogelijk verwijderd van gebouwen, fabrieken, voertuigen, aggregaten e.d. De antenne dient zo hoog mogelijk te worden geplaatst en de lengte worde zodanig gekozen, dat een maximaal nuttig signaal wordt ontvangen.

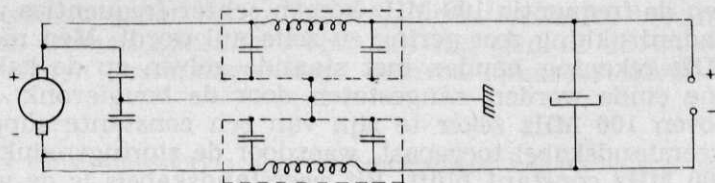
Indien de ontvanger een regelbare bandbreedte heeft, kan men soms de storing verminderen door deze bandbreedte kleiner te maken. Al deze genoemde praktische maatregelen komen er op neer, dat de signaalruisverhouding van de ontvanger wordt verbeterd, d.w.z. dat men de sterkte van het gewenste signaal tracht groot te maken t.o.v. de sterkte van het storend signaal.

Van veel groter belang is het, het stoorsignaal niet in zijn gevolgen, doch reeds bij de bron zelf te bestrijden, door zo veel mogelijk te verhinderen, dat de hoogfrequente energie de ruimte instraalt, of via geleiders wordt getransporteerd. Bij aggregaten kan men dit bereiken door een element aan te brengen dat de hoogfrequente stromen „smoort”, terwijl de gewenste stroom vrijwel ongehinderd wordt doorgelaten (smoorspoel in serie). Men kan ook een element aanbrengen waarlangs de hoogfrequente stromen gemakkelijk afvloeien, doch dat een versperding voor de gewenste stroom betekent (condensator parallel). Tenslotte kan men een combinatie van beide maken, hetgeen dan een ontstoringsfilter wordt genoemd en dat t.o.v. een condensator of smoorspoel het voordeel heeft over een grote frequentiebereik effectief te zijn.

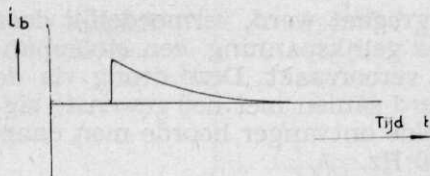
Als voorbeeld is in afb. 5 het ontstoringsfilter gegeven dat in het laadaggregaat PU-3002/U is aangebracht.

Bij de ontstekingsinrichting van een benzinemotor kunnen filters als bovenvermeld niet worden gebruikt. Zij zouden storend werken op de vorming van de vonk, die juist nodig is voor het verbrandingsproces; bovendien brengt de hoge spanning bepaalde constructieproblemen met zich mee. Men is er nl. niet op uit de vonk te dempen, integendeel: men wil een zo goed mogelijke vonk verkrijgen.

Om toch de hinderlijke hoogfrequente straling te voorkomen kan men de hierbij betrokken delen „inkapselen”: men brengt ze onder in een zg. kooi van Faraday. Dit werd door het Amerikaanse leger gedaan door het aanbrengen van metalen kappen over de bougies en over de stroomverdeler. Deze methode is echter verouderd, de bezwaren ervan zijn: de kappen moeten zeer goed passend zijn om stralingslek door miniem



Afb. 5 Ontstoringsfilter van laadaggregaat PU3002/U



Afb. 6 Aperiodiek verloop van de ontladingsstroom.

kleine spleetjes te voorkomen, de bevestiging ervan was erg onhandig en ze namen veel ruimte in.

Bij de nieuwe uitvoering, zoals deze wordt toegepast o.a. in de NEKAF jeep en de DAF voertuigen, is direct bij de fabricage al rekening gehouden met het ontstoringsprobleem: bobine en verdeler zijn ondergebracht in speciaal daarvoor ontworpen metalen huizen, voorzien van wartels; de verdelerkabels en de bougiekabels zijn met een gevlochten metalen afschermantel omgeven en worden eveneens met wartels bevestigd. Op deze wijze heeft men niet alleen een volledige elektromagnetische afscherming bereikt, maar men is tevens er in geslaagd het ontstekingsstelsel waterdicht te maken. In de bougie zelf is bovendien een serie-weerstand met een waarde van ongeveer 10 k Ω ingebouwd. Ook de dynamo wordt geheel afgeschermd. Het resultaat van een en ander is uitstekend, het nadeel is echter, dat deze uitvoering vrij kostbaar is.

Minder kostbaar en vrij gemakkelijk aan te brengen is een uitvoering waarbij men alleen maar gebruik maakt van weerstandsbougies.

Zoals in het begin van dit artikel is vermeld, ontstaat de storing, doordat bij het vormen van de vonk hoogfrequente stromen lopen in het betreffende circuit, ten gevolge waarvan elektromagnetische velden ontstaan. Nu kan men de elektromagnetische stralingsenergie sterk verminderen door het opnemen van een weerstand ergens in het circuit.

Het effect hiervan is, dat de aanvangsstroompiek direct na de doorslag aan de elektroden van de bougie sterk wordt gereduceerd, nl. van 100 à 200 ampère tot ca. 1 ampère. De condensator C2 uit afb. 3 ontladend zich niet meer periodiek, doch aperiodiek, d.w.z. dat de stroom niet meer snel van richting wisselt, maar geleidelijk afneemt: het duurt nu veel langer, voordat de stroom nul is geworden (zie afb. 6).

De ontstorende werking van weerstanden berust op de enorme reductie van de stroompiek. Uitgebreide onderzoeken hebben aangetoond, dat deze reductie de werking van de vonk in het verbrandingsproces in geen enkel opzicht benadeelt.

Men kan de weerstand aansluiten aan de verdelerkabel of aan de bougiekabel. Daar echter gebleken is, dat een weerstand zo dicht mogelijk bij de vonk het meeste effect heeft, zijn sinds enige jaren bougies in de handel, waarbij de weerstand is ingebouwd. Door alle vooraanstaande bougiefabrikanten worden weerstandsbougies in verschillende warmtegraden gefabriceerd. De waarde van de ingebouwde weerstand is van de grootte-orde van 10.000 ohm.

De ontstoring is effectief over een uitgestrekt frequentiegebied. Boven de frequentie 100 MHz komen echter frequenties voor, waarvoor de onderdrukking zeer gering en zelfs nul wordt. Men moet nl. boven 100 MHz rekening houden met staande golven op de kabels, die aan het ene einde worden aangestoten door de bougievonk. Om daarom ook boven 100 MHz zeker te zijn van een constante suppressie wordt zg. weerstandskabel toegepast, waardoor de storingsreductie tot tenminste 300 MHz constant blijft. Bij weerstandskabels is de weerstand als het

ware over de gehele lengte van de kabel uitgesmeerd, doordat de kern van koperdraadjes is vervangen door een kern van halfgeleidende rubber of door een kern van in grafiet gedrenkte textielvezels. Bij het bevestigen hiervan dient men enige voorzorgen te nemen, daar de kern zacht is. Men brengt hiertoe speciale aansluitklemmen in de handel.

Het aanbrengen van weerstandskabels en weerstandsbougies kan betrekkelijk snel plaats vinden en de kosten zijn relatief laag. Het bereikte resultaat is echter minder goed dan het resultaat bij het gebruik van speciaal aangebrachte metalen kappen en van kabels afgeschermd met een metalen omvlechting. Voertuigen die zijn voorzien van deze ontstoringsmiddelen noemt men „*volledig ontstoord*”, bv. radio-dragende voertuigen zoals jeeps (die een aparte generator hebben voor het voeden van een zend-ontvanger), gepantserde voertuigen en tanks. De eis hierbij is dat het storend signaal op 1 m afstand van de bron niet sterker mag zijn dan $0,5 \mu\text{V/m/kc}$ -bandbreedte (quasi-piek). Voertuigen die alleen zijn voorzien van weerstandsbougies en weerstandskabels noemt men „*algemeen ontstoord*”. Deze voertuigen mogen op 10 m afstand geen sterker stoorsignaal geven dan $0,5 \mu\text{V/m/kc}$ -bandbreedte (quasi-piek).

Militaire voertuigen die „*volledig ontstoord*” zijn, zijn gekenmerkt door een met witte verf op de motorkap of elders aangebrachte letter S, omgeven door een cirkel.

Het is het eenvoudigst de grens voor maximaal toelaatbare storing proefondervindelijk vast te stellen, zoals door de Amerikanen voor hun Military Specifications is gedaan. De hierin vastgelegde grenzen worden door de Koninklijke Landmacht aangehouden voor voertuigen die „*volledig ontstoord*” dienen te zijn. Kan worden volstaan met „*algemene ontstoring*”, dan gaat men in verband met de kosten ook niet verder. De eisen voor „*algemene ontstoring*” zijn zeer waarschijnlijk overeenkomend met de eisen die in de toekomst door de P.T.T. aan burgervoertuigen zullen worden gesteld. Dit is van zeer veel belang in geval van mobilisatie: de gevorderde voertuigen zullen reeds voldoen aan de eisen voor „*algemene ontstoring*”, of zullen in korte tijd van de nodige ontstoringsmiddelen kunnen worden voorzien, doordat bij ieder fabrikaat of type voertuig weerstandsbougies en weerstandskabel zonder meer kunnen worden toegepast.

Om bij afnamekeuring van militaire voertuigen en aggregaten, of na reparaties daarvan, te kunnen controleren of het totaal van de voortgebrachte storing de grenswaarde niet overschrijdt, heeft men meetapparatuur nodig. Deze apparatuur is in de vorm van veldsterktemeters in de handel. Deze meters zijn echter zeer gecompliceerd en omvangrijk en bovendien zeer duur. Zij zijn zeer geschikt om bij het nauwkeurig controleren van prototypen te worden gebruikt; echter niet om bij afnamekeuringen van grote series voertuigen of bij controle na reparaties in werkplaatsen dienst te doen. Daarvoor heeft men meer behoefte aan een eenvoudig te bedienen, klein en draagbaar apparaat, waarmee snel routinemetingen in de vorm „goed — niet goed” kunnen worden uitgevoerd. Het bezit van een dergelijk apparaat wordt ook in het buitenland van belang geacht, zodat het probleem internationaal in behandeling is genomen. *Binnen afzienbare tijd kan dus een in de West-Europese strijdkrachten gestandaardiseerd controle-apparaat worden verwacht.*

Literatuur

Ir. F. Möhring — Ontstekingsstoring door motorvoertuigen rapport uitgegeven door de RVO/TNO).