Inhoudsopgave

16 Storing en immuniteit 16-2
16.1 Wat leer je in dit hoofdstuk 16-2
16.2 Soorten storingen in ontvangstapparatuur en LF-versterkers 16-2
16.2.1 Blokkering 16-2
16.2.2 Interferentie van gewenst en ongewenst signaal 16-3
16.2.3 Intermodulatie en kruismodulatie 16-3
16.2.4 Laagfrequentdetectie (LFD of LF-inpraten) 16-3
16.2.5 Faseruis, chirp en tjoep 16-4
16.3 Mogelijke oorzaken van storingen 16-4
16.3.1 Veldsterkte 16-4
16.3.2 Ongewenste uitstralingen 16-4
16.3.3 Ongewenste beïnvloeding van apparatuur 16-4
16.4 Storingen voorkomen en verhelpen 16-5
16.4.1 Algemeen 16-5
16.4.2 Filteren 16-5
16.4.3 Ontkoppelen 16-7
16.4.4 Afschermen 16-10
16.4.5 Oscillator stabiliseren (faseruis, chirp en tjoep) 16-11

© 2021-2026, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

16 Storing en immuniteit

16.1 Wat leer je in dit hoofdstuk

Praktisch elke zendamateur die met enige regelmaat actief is op amateurbanden, krijgt vroeg of laat te maken met storingen in apparatuur in zijn/haar nabije omgeving. Elke storing in of door radioapparatuur gaat via een elektromagnetisch veld en elke zender straalt nu eenmaal zo'n veld uit. Zonder EM-veld geen radioverbinding.

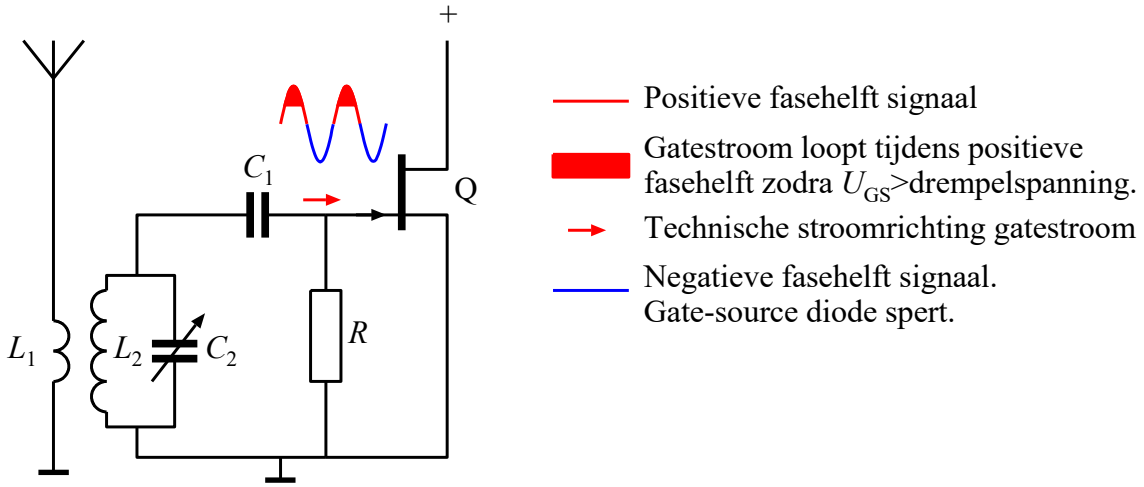
We behandelen de storingen blokkering, interferentie, intermodulatie, laagfrequentdetectie, faseruis, chirp, tjoep en hun oorzaken.

Uiteindelijk moet de oorzaak van een storing worden gevonden en de storing zo mogelijk worden verholpen. Ook daarover gaat dit hoofdstuk.

16.2 Soorten storingen in ontvangstapparatuur en LF-versterkers

16.2.1 Blokkering

Als een sterk signaal op de ingang van een versterkend element staat, kan dit leiden tot gelijkrichting van een deel van een halve periode. We kennen het verschijnsel uit de hoofdstukken 9 en 10, als een versterkertrap of oscillator zichzelf in klasse C "trekt". Als dit door een ongewenst signaal gebeurt, heet dat *blokkering* (Engels: *blocking*). Blokkering kan behalve in een ingangstrap voorkomen in een mengtrap of een MF-versterker. Figuur 16.2-1 laat aan de hand van een J-FET-schakeling zien wat er gebeurt.



Figuur 16.2-1. Het proces van blokkering.

Als door een sterk signaal de drempelspanning van de gate-source-diode wordt overschreden (het met rood gevulde deel van de positieve fasehelft), geleidt de diode. Daardoor wordt positieve lading aan koppelcondensator C_1 onttrokken. In de negatieve blauwe fasehelft spert de gate-sourcediode. Het ladingverlies wordt via de gateweerstand R niet of te weinig gecompenseerd. Het werkpunt verschuift daardoor naar een lagere

© 2021-2026, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

gatespanning, tot bij de maximale waarde van de ingangsspanning net genoeg gatestroom loopt om het ladingverlies via weerstand *R* te compenseren. De FET kan zover worden afgeknepen dat hij (vrijwel) niet meer geleidt. Bij buis- of transistorschakelingen werkt het op een vergelijkbare manier.

16.2.2 Interferentie van gewenst en ongewenst signaal

Geen versterker is volledig lineair. Dat betekent dat altijd wel ergens menging optreedt. Bij menging beïnvloedt het ene signaal de versterking van het andere. AM-, DZB- en EZB-modulatoren zijn er een extreme vorm van.

Interferentie ontstaat door menging van signalen. We zagen in hoofdstuk 13 dat het proces van menging allerlei harmonischen en som- en verschilfrequenties kan opleveren. Daardoor kunnen op de eigen TV of radio of die van buren allerlei storingen ontstaan.

Op TV kan interferentiestoring warrelingen in het beeld veroorzaken. Voorbeeld: de vierde harmonische van een signaal tussen 144 en 145,5 MHz (2-meterband) ligt tussen 576 en 582 MHz in kanaal 34 van de UHF-TV-band (574-582 MHz)

16.2.3 Intermodulatie en kruismodulatie

Intermodulatiestoring ontstaat als de som- of verschilfrequentie van twee sterke signalen of een harmonische daarvan (vrijwel) gelijk is aan de beluisterde frequentie. Filteren helpt niet, want het frequentieverschil tussen het storende en het gewenste signaal is daarvoor te klein. Na detectie komt de modulatie van beide signalen uit de luidspreker. Intermodulatie is hinderlijk bij het luisteren naar zwakke signalen. Een sterk gewenst signaal overstemt dan meestal het intermodulatieproduct.

Bij kruismodulatie ontstaan geen nieuwe frequenties, maar wordt de modulatie van een sterk ongewenst signaal als het ware overgenomen door het beluisterde signaal. Je hoort dan twee signalen tegelijk. Beide verschijnselen worden veroorzaakt door niet-lineariteit in HF- en/of mengtrap.

16.2.4 Laagfrequentdetectie (LFD of LF-inpraten)

In een LF-versterkertrap kan een EM-veld een HF-frequentie opwekken die AM-detectie ondergaat in een halfgeleider of een buis in het audiodeel van de schakeling. Apparatuur waarin dit gebeurt, is soms onvoldoende afgeschermd.

AM veroorzaakt woordelijk te verstane taal, EZB en DZB onverstaanbaar geluid in spraakritme. Onvoldoende geïmmuniseerde apparatuur hoeft in Nederland niet (meer) door de “storende” amateur te worden ontstoord, maar omwille van de verstandhouding met de buren zullen veel amateurs dat toch wel doen.

CW-signalen kunnen plopgeluiden veroorzaken bij het in- of uitschakelen van de zender via de seinsleutel. Een FM-signaal hoor je niet, maar het kan wel het werkpunt van een versterkerschakeling verschuiven, net als bij blokkeren (16.2.1).

© 2021-2026, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

Er zijn regels voor de maximale veldsterkte waarbij een apparaat normaal hoort te werken. Die staan in de EMC-richtlijnen (afkorting van ElektroMagnetische Compatibiliteit). De Europese aanduiding is CE. Die afkorting hoort ergens op de buitenkant van apparatuur te staan die aan immunisatieregels voldoet of hoort te voldoen.

16.2.5 Faseruis, chirp en tjoep

Faseruis komt van een onstabiele oscillator in de zender. Het uitgezonden signaal bevat aan weerskanten van de bedoelde frequentie een meer of minder brede parasitaire frequentiewolk. Faseruis is in hoofdstuk 13 behandeld. **Chirp** en **tjoep** komen bij CW (morsetelegrafie) voor. Chirp ontstaat door een korte parasitaire oscillatie na indrukken van de seinsleutel. Tjoep doordat bij indrukken van de seinsleutel de oscillator hoorbaar van frequentie verandert. Beide termen zijn een nabootsing van het bijbehorende geluid.

16.3 Mogelijke oorzaken van storingen

16.3.1 Veldsterkte

Elke zendende antenne veroorzaakt een elektromagnetisch (EM-) veld. Hoe meer vermogen, des te groter de veldsterkte. Die wordt uitgedrukt in V/m, dus het elektrische deel. Samen met de magnetische veldsterkte (A/m) is het de vermogensdichtheid (W/m^2). Vermogensdichtheid neemt kwadratisch af met toenemende afstand tot de antenne. De storingskans neemt daardoor met toenemende afstand tot de zendende antenne snel af.

Bundeling door een antenne met richteffect maakt dat de ERP en dus ook de veldsterkte bij een betrekkelijk klein zendvermogen in één richting toch aanzienlijk kan zijn.

16.3.2 Ongewenste uitstralingen

Onder ongewenste of *parasitaire* uitstralingen valt alles buiten de bandbreedte van de draaggolf en de noodzakelijke bijbehorende modulatieproducten. Voorbeelden:

- Oscillatorfrequenties;
- Ongewenste som- of verschilfrequenties die bij menging zijn ontstaan;
- Harmonischen van het uitgezonden signaal. Een klasse A-eindtrap geeft ze het minst, een klasse C-eindtrap het meest;
- Bij oudere zendapparatuur die met frequentievermenigvuldiging werkt, kunnen parasitaire uitstralingen de oorspronkelijke frequentie en harmonischen ervan zijn.
- Faseruis. In de hoofdstukken 10 en (vooral) 13 hebben we die besproken.

16.3.3 Ongewenste beïnvloeding van apparatuur

Het EM-veld van een zendantenne kan langs vele wegen apparatuur binnendringen en daar storing veroorzaken. We noemen:

- Antennes en antenneleidingen
- Netsnoeren,
- CD/DVD-aansluitingen
- Luidsprekersnoeren

© 2021-2026, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

- Instraling op de printplaat zelf

Stoorsignalen via de antenne leiden meestal tot interferentie, intermodulatie of blokkering. De andere vier geven merendeels aanleiding tot *laagfrequentdetectie* (*LFD* of *laagfrequent inpraten*).

Sinds 2006 is in ons land de analoog uitgezonden TV vervangen door digitale. Daarmee is analoge ontvangst niet verdwenen. Vaak wordt een omzetter gebruikt om het TV-toestel te voorzien van een analoog signaal. Antennes en hun kabels zijn grotendeels verdwenen en vervangen door behoorlijk afgeschermde coax-kabels van kabel-TV of door glasvezel. Het aantal problemen met instraling via antenneleidingen is daardoor verminderd, maar niet verdwenen.

16.4 Storingen voorkomen en verhelpen

16.4.1 Algemeen

Fabriekstransceivers voldoen normaal gesproken aan de eisen in de voorschriften voor amateurzenders. Wie aan zelfbouw of aanpassing van fabrieksapparatuur doet, zal meestal ook in staat zijn, de maatregelen die in deze paragraaf zijn beschreven, zelf uit te voeren.

Zorg voor een zo goed mogelijke aanpassing van zender naar antenne. Verbind symmetrische en asymmetrische aansluitingen met een passende balun. Dat voorkomt stromen aan de buitenkant van de mantel van coax-kabel. Zorg dat de antenne straalt en niet de kabel.

Maak bij een eindgevoede antenne (hoofdstuk 14) in elk geval een symmetrische aansluiting tussen tuner en antenne (“kippenladder”). Een in het midden gevoede antenne (dipool) geeft minder kans op problemen dan een eindgevoede.

We bespreken enkele soorten methoden om storingen tegen te gaan of op te heffen:

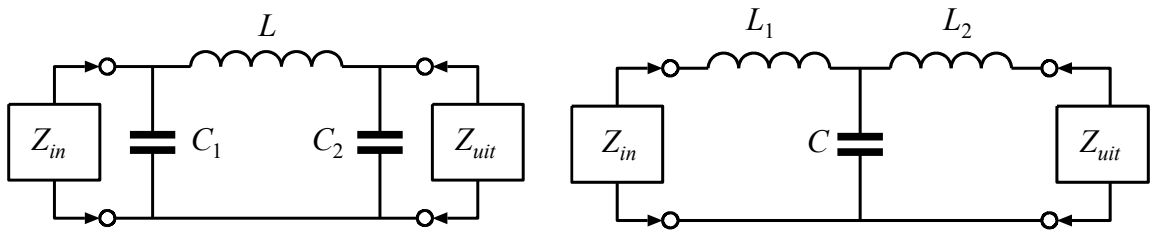
- Filteren, zodat parasitaire signalen niet worden uitgestraald of aan de ontvangkant de ingang van de ontvanger niet bereiken;
- Ontkoppelen van verschillende soorten leidingen;
- Afschermen van schakelingen die hoogfrequente stralingsbronnen kunnen zijn.
- Stabiliseren van de oscillator in een zender.

16.4.2 Filteren

In of direct achter de zender

Tussen zenderuitgang en antenneleiding kunnen harmonischen worden onderdrukt door een of twee extra laagdoorlaatfilters. Die moeten zo dicht mogelijk op de zenderuitgang worden geplaatst of, nog mooier, maar niet altijd haalbaar, in de zender tussen aanpassingsfilter en uitgang. Zo’n filter zal meestal een pi- filter (Figuur 16.4-1 links) of een T-filter zijn (Figuur 16.4-1 rechts).

© 2021-2026, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA



Figuur 16.4-1. CLC Pi-filter (links) en LCL-T-filter (rechts).

Het enige goede T-filter hierbij is een filter met twee spoelen tussen signaalin- en uitgang en een condensator als middenaftakking naar massa/aarde, zoals in Figuur 16.4-1 rechts. Eén met twee condensatoren in plaats van de spoelen en een spoel in plaats van de ene condensator is een hoogdoorlaatfilter. Dat is alleen goed voor impedantie-aanpassing.

Een zogenoemde *ferrietklem* kan helpen tegen mantelstromen. Zo'n klem is een omhulling van ferriet die op het begin van de stralende kabel wordt geklemd (Foto 16.4-1). Eventueel kan meer dan één klem worden aangebracht.

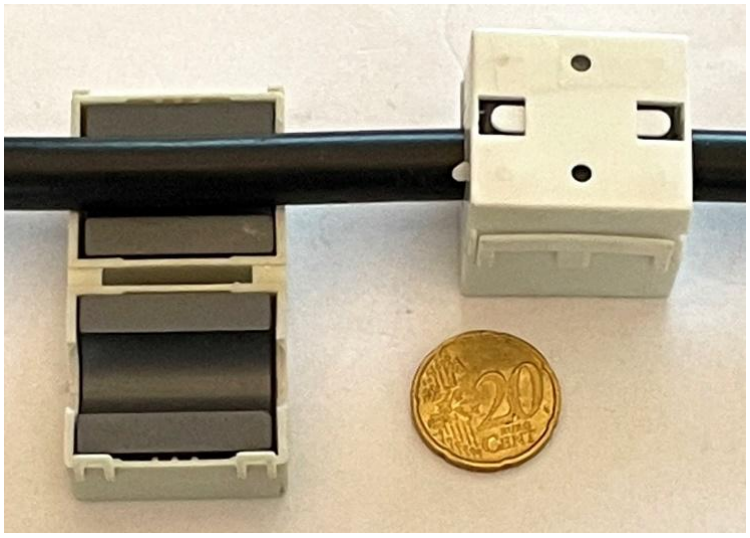
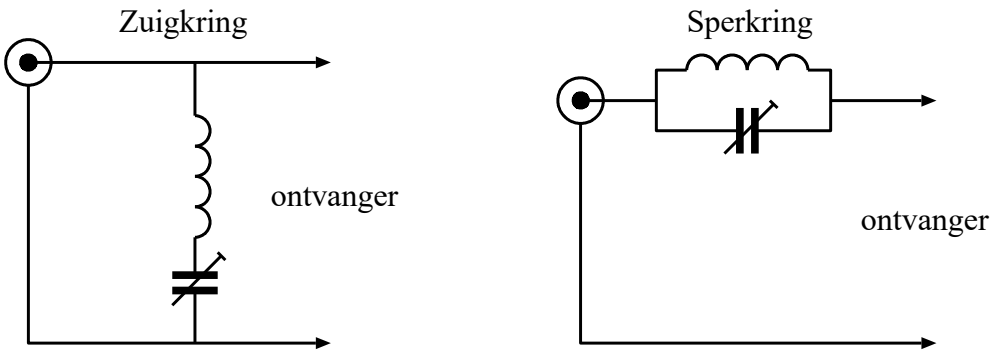


Foto 16.4-1. Coax-kabel (10 mm dia.) met ferrietklemmen. Links: klem open; rechts: klem gesloten. Het muntje geeft de grootte aan.

In de ontvanger

In ontvangers kan het amateursignaal storende harmonischen of een blokkade veroorzaken. In dat geval kan een *zuigkring* in de vorm van een LC-seriekring worden geplaatst. De resonantiefrequentie moet gelijk zijn aan de frequentie van het uitgezonden storende signaal. De kring komt tussen antenne-ingang en aarde (Figuur 16.4-2 links).

© 2021-2026, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA



Figuur 16.4-2. Zuigkring (links) en sperkring (rechts).

Hetzelfde kan met een *sperkring*. Dat is een LC-parallelkring. De resonantiefrequentie is weer gelijk aan die van het storende signaal. De kring wordt opgenomen in de signaalleiding direct na de antenne-ingang (Figuur 16.4-2 rechts).

Bezwaar: ook frequenties hoger of lager dan de storende frequentie worden, afhankelijk van de Q van de kring en het frequentieverschil, in zekere mate verzwakt.

Een laag- of hoogdoorlaatfilter tussen antenne en ontvanger is daarom vaak een betere optie. Is de frequentie van het storende signaal hoger dan de gewenste frequentie, gebruik dan een laagdoorlaatfilter; gebruik in het tegengestelde geval een hoogdoorlaatfilter.

Zit de zendfrequentie in het HF-gebied, dan zal deze altijd lager zijn dan de frequentie van een eventueel door de zender gestoord TV-signaal. Dan kan een hoogdoorlaatfilter in de antenneleiding van de ontvanger uitkomst bieden.

16.4.3 Ontkoppelen

Algemeen

Een storend signaal heeft een keur aan mogelijkheden om een elektronisch apparaat binnen te komen:

- Het lichtnet;
- Luidsprekerleidingen;
- Signaalleidingen, zoals aansluitkabels;
- Directe instraling op de print.

Het gaat hierbij vooral om LFD (sub-par. 16.2.4).

Het lichtnet

Om vast te stellen of het storende HF-signaal via het lichtnet binnenkomt, kan een laagdoorlaatfilter in de netaansluiting van het gestoorde apparaat worden opgenomen. Een platte keramische condensator van 1 à 10 nF met een doorslagspanning van 1 kV of meer over de netaansluiting is vaak genoeg. Zulke condensatoren hebben platte elektroden en hun inwendige zelfinductie is klein. Een ferrietring met het snoer een aantal keren door de ring kan helpen als alleen een condensator niet voldoende is (Foto 16.4-2).

© 2021-2026, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA



Foto 16.4-2. Van links naar rechts: ferriet-ringkern, bewikkeld met netsnoer, keramische condensator van 1 nF, 7,5 kV, keramische condensator van 2,2 nF, 3 kV. Door de lagere doorslagspanning en daarom dunner diëlektricum is de 2,2 nF kleiner dan die van 1 nF. Voor 230 V netspanning is 1 kV ruim voldoende.

Deze foto toont zo'n bewikkelde ringkern met twee platte keramische condensatoren. Het filter komt zo dicht mogelijk bij de netaansluiting van de versterker. Heeft zo'n filter geen effect op de storing, dan neemt het storende signaal blijkbaar een andere route. Verdachten zijn dan luidspreker- en signaalleidingen (volgende kopjes).

Luidsprekerleidingen

LFD via luidsprekerleidingen is berucht. Die leidingen zijn vaak een aantal meters lang. Alle gelegenheid om een flink HF-signaal op te pikken. Reageert het geluid van de LFD-storing niet op de stand van de volumeregelaar, dan is het meestal de luidsprekerleiding die het storende signaal oppikt. Het wordt dan ergens in de eindtrap gelijkgericht. Dat betekent detectie van AM of een ander lid van de AM-familie: CW, DZB en EZB.

Soms is een condensator van circa 1-10 nF met goede HF-eigenschappen (plat keramisch) tussen de twee aders van de luidsprekerleiding afdoende. De condensator komt indien mogelijk op de luidsprekeraansluiting van de versterker en anders zo dicht mogelijk erbij. Een laagspanningstype is genoeg. Luidsprekeraansluitingen zijn laagohmig.

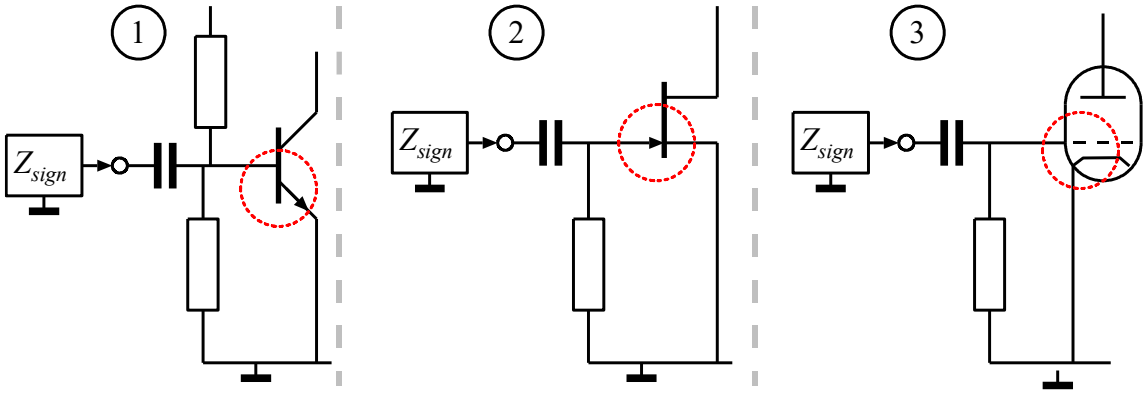
Helpt dat onvoldoende, pas dan behalve de condensatoren ook ferriet toe, op dezelfde manier als bij netaansluitingen. Het verschil is de doorslagspanning van de condensatoren. Voor de rest is Foto 16.4-2 ook van toepassing op luidsprekerleidingen.

Signaalleidingen

HF kan ook binnenkomen via audio-signaalleidingen en LFD veroorzaken. De frequentie van een HF- of VHF-signaal is vele malen hoger dan die van het audio-signaal dat de versterker hoort te verwerken. Dan is een laagdoorlaatfilter in de leiding de oplossing.

Reageert het geluidsvolume van de storing op de volumeregelaar, dan komt de storing via een signaalleiding binnen. Maak alle signaalleidingen los, verbind ze één voor één en controleer of de storing weer optreedt. Het probleem zit meestal in het eerste versterkende element dat het stoorsignaal tegenkomt op de in Figuur 16.4-3 aangegeven plekken.

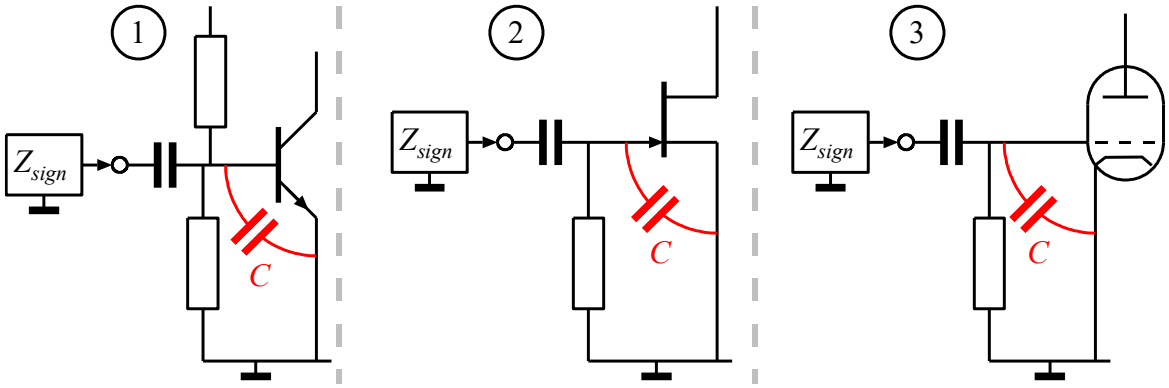
© 2021-2026, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA



Figuur 16.4-3. In de gestippelde rode cirkel zit bij de drie verschillende versterkende elementen de bron van LFD-storing: (1) de emitter-basisdiode; (2) de gate-source-diode en (3) stuurrooster/ kathode. Z_{sign} is de impedantie van de signaalbron.

Er ontstaat gelijkrichting als de amplitude van het storende signaal daarvoor groot genoeg is. Figuur 16.2-1 voor blokkering geldt ook voor LFD. AM geeft verstaanbare taal, EZB en DZB iets onverstaanbaars in het ritme van de stem. CW leidt tot plopgeluiden en geluidsonderbrekingen in het ritme van het uitgezonden signaal. FM veroorzaakt geluidsvermindering of -onderbreking, maar brengt zelf geen geluiden mee.

In alle gevallen moet worden voorkomen dat een (te) sterk HF-signaal in het versterkende element terechtkomt. De eerste en meestal afdoende mogelijkheid is ontkoppelen met een condensator (Figuur 16.4-4).



Figuur 16.4-4. LFD-ontkoppeling van de signaalingang met een condensator C (rood). (1) NPN-transistor; (2) N-kanaals J-FET; (3) buis.

Bij FET of buis is de signaalingang hoogohmig. Dan is de impedantie Z_{sign} van de signaalbron bepalend voor de capaciteit van C. Als de reactantie X_C van de condensator voor de storende frequentie grofweg een factor 10 lager is dan Z_{sign}, zal dat bijna altijd voldoende zijn. Die 10 is niet kritisch. 3 of 15 zal meestal ook werken. Vergelijking:

$$C \approx {}^{10}/_{(2\pi f Z_{sign})}$$

© 2021-2026, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

De werking van de capaciteit kan worden vergroot door in de signaalleiding vóór de ontkoppel-C een of meer ferrietkralen (Foto 16.4-3) toe te passen. Een kleine weerstand van enkele honderden ohm in plaats van ferriet kan soms ook goed werken.

Een HF-smoorspoel in de emitter-, source- of kathodeleiding opnemen is ook een optie. Die vormt een sterkere tegenkoppeling naarmate de frequentie hoger is. Combinatie met een ontkoppel-C als in Figuur 16.4-4 kan in een (zeldzaam) hardnekkig geval ook nut hebben.

De HF-smoorspoel is gemakkelijk zelf te maken met ferriet. In volgorde van toenemende grootte van de zelfinductie zijn dat één of meer ferrietkralen met één gat, met twee gaten ("varkensneusje") of (een) varkensneusje(s) met grotere gaten, waarin meer dan één winding past (Foto 16.4-3).

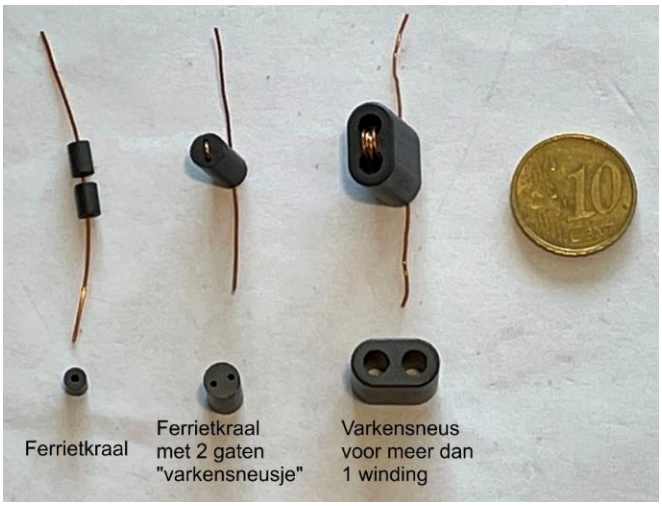


Foto 16.4-3. Drie ferrietvormen die voor een HF-smoorspoel kunnen worden gebruikt, van links naar rechts in volgorde van toenemende zelfinductie.

16.4.4 Afschermen

Afschermen komt neer op zorgen dat

- Een elektromagnetisch veld dat binnen een apparaat ontstaat in zijn verbreiding zo wordt beperkt dat het de werking van het apparaat niet nadelig beïnvloedt;
- Een elektromagnetisch veld van buitenaf het binnenste van een apparaat niet bereikt of zover wordt verzwakt dat het daar geen kwaad meer kan.

We beginnen met EM-velden die binnen een apparaat ontstaan.

- Scherm alles dat een frequentie opwekt, af. Dat wordt ook wel "inblikken" genoemd. Bij fabrieksapparatuur is de gebruiker er vrijwel van verzekerd dat de afscherming in orde is. De zelfbouwer moet daar zelf voor zorgen.
  In de handel zijn blikken doosjes met losse blikken afschermschotjes in allerlei maten te koop. Ook van nieuwe printplaat zijn afgeschermde doosjes te maken.

© 2021-2026, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

- Gebruik voor het doorvoeren van voedingsleidingen doorvoercondensatoren. Dat zijn condensatoren waarvan de buitenkant één elektrode is of daarmee verbonden is en de leiding die er doorheen loopt verbonden is met de andere (Foto 16.4-4).



Foto 16.4-4. Doorvoercondensatoren met verschillende manieren van monteren. Links: leiding moet in de condensator worden gesoldeerd; midden: taps toelopende buitenkant met doorvoer (oogje en draadeind); rechts: met soldeerflens en doorvoer (oogje en draadeind).

- Signaalleidingen worden uitgevoerd als afgeschermde kabels. Bij doorgang door een afschermschotje wordt de afscherming aan het schotje gesoldeerd.
- Het kan nodig zijn, uitgangen van versterkende elementen af te schermen van de signaalingang door er een geaard metalen plaatje tussenin aan te brengen. Dat beperkt de kans op oscilleren.

Storingen van buitenaf die direct instralen op de bedrading (print):

- Er zit weinig anders op dan het gestoorde deel te vinden en af te schermen (“in te blikken”). Heel vaak komt dit niet voor, maar het is één van de lastigst op te lossen storingsproblemen. Soms helpt het, de kast aan de binnenkant te beplakken met aluminiumfolie en die te aarden.

16.4.5 Oscillator stabiliseren (faseruis, chirp en tjoep)

Dit kan nodig zijn bij problemen met faseruis en chirp. Soms is een verbeterde stabilisatie van de voedingsspanning voldoende. Een oscillator hoort mechanisch solide in elkaar te zitten zonder wiebelende draden en behoorlijk te zijn afgeschermd met goed vastzittend plaatmateriaal.

Bij chirp en tjoep kan het nodig zijn, de oscillator tussen de CW-tekens gewoon door te laten lopen en de onderbreking elders te realiseren. Dat kan bijvoorbeeld door het signaal uit de oscillator via een buffertrap en een door de seinsleutel geschakelde transistor of FET te laten lopen.

© 2021-2026, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA