Inhoudsopgave

16 Storing en immuniteit 16-3
16.1 Wat leer je in dit hoofdstuk 16-3
16.2 Soorten storingen in ontvangstapparatuur en LF-versterkers 16-3
16.2.1 Blokkering 16-3
16.2.2 Interferentie van gewenst en ongewenst signaal 16-4
16.2.3 Intermodulatie en kruismodulatie 16-4
16.2.4 Laagfrequentdetectie (LFD of LF-inpraten) 16-5
16.2.5 Faseruis, chirp en tjoep 16-5
16.3 Mogelijke oorzaken van storingen 16-6
16.3.1 Veldsterkte 16-6
16.3.2 Ongewenste uitstralingen 16-7
16.3.3 Ongewenste beïnvloeding van apparatuur 16-7
16.4 Storingen voorkomen en verhelpen 16-8
16.4.1 Algemeen 16-8
16.4.2 Filteren 16-8
16.4.3 Ontkoppelen 16-10
16.4.4 Afschermen 16-15
16.4.5 Oscillator stabiliseren (faseruis, chirp en tjoep) 16-16
16.5 Opgaven 16-17
16.5.1 Opgave 16-1 16-17
16.5.2 Opgave 16-2 16-18
16.5.3 Opgave 16-3 16-19
16.5.4 Opgave 16-4 16-20
16.5.5 Opgave 16-5 16-21
16.5.6 Opgave 16-6 16-22
16.5.7 Opgave 16-7 16-23
16.5.8 Opgave 16-8 16-24
16.6 Uitwerkingen van de opgaven 16-25
16.6.1 Uitwerking van Opgave 16-1 16-25

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

16.6.2 Uitwerking van Opgave 16-2 16-26
16.6.3 Uitwerking van Opgave 16-3 16-27
16.6.4 Uitwerking van Opgave 16-4 16-28
16.6.5 Uitwerking van Opgave 16-5 16-29
16.6.6 Uitwerking van Opgave 16-6 16-30
16.6.7 Uitwerking van Opgave 16-7 16-31
16.6.8 Uitwerking van Opgave 16-8 16-32

© 2021- 2025, 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, dan wel in de eigen spullen. Het gaat in dit hoofdstuk om storingen die worden veroorzaakt door een elektromagnetisch veld. Elke zender straalt nu eenmaal zo'n veld uit.

We beginnen met een aantal soorten storing. Dat zijn blokkering, interferentie, intermodulatie, kruismodulatie, laagfrequentdetectie, faseruis, chirp en tjoep.

We gaan ook in op oorzaken: de veldsterkte van het uitgezonden signaal, ongewenste ofwel parasitaire uitstralingen en ongewenste beïnvloeding van elektronische apparatuur.

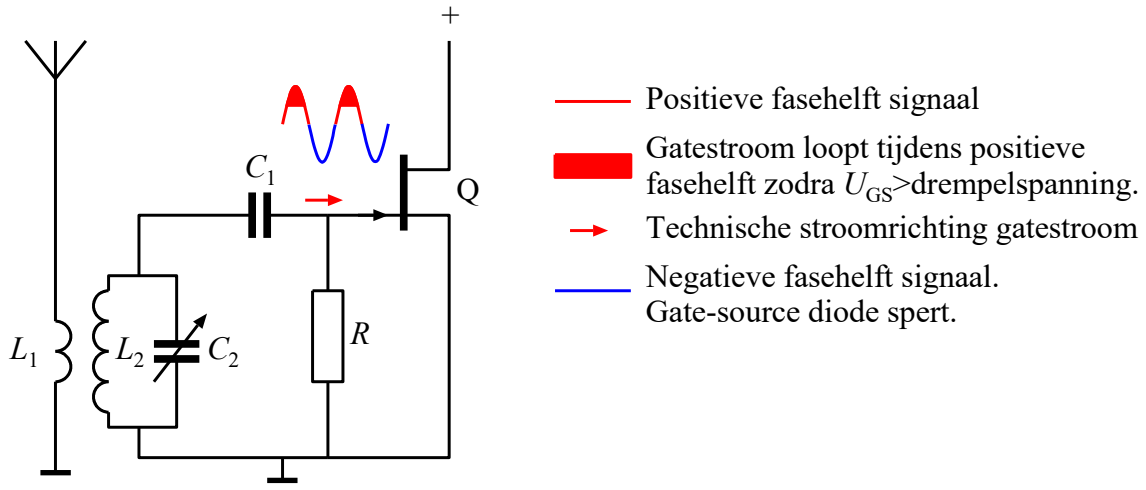
Uiteindelijk moet de oorzaak van storingen worden gevonden en de storing zo mogelijk worden verholpen. Ook daarover zullen we het hebben.

16.2 Soorten storingen in ontvangstapparatuur en LF-versterkers

16.2.1 Blokkering

In hoofdstuk 13 hebben we het verschijnsel *blokkeren* (*blocking* in het Engels) kort besproken. Een sterk signaal aan de ingang van de HF-trap kan de HF- en MF-versterker dichtdrukken door gelijkrichting. Door gelijkrichting van signaal verandert de spanning op basis, gate of stuurrooster van het versterkende element. Dat betekent verschuiving van het werkpunt. Dat verschijnsel kennen we al van het van het in klasse C trekken van het versterkende element in een versterker (hoofdstuk 9) of oscillator (hoofdstuk 10).

Figuur 16.2-1 geeft een plaatje met een voorbeeld met J-FET-schakeling. Bij buis- of transistorschakelingen werkt het op een vergelijkbare manier.



Figuur 16.2-1. Het proces van blokkering.

- Het storende signaal komt binnen via de antenne. In dit voorbeeld belandt het via de inductieve koppeling L_1-L_2 op de kring van L_2 en C_2. Omdat de selectiviteit van een ingangskring beperkt is, kan het storende signaal op een andere frequentie of zelfs een andere dan de beluisterde frequentieband zijn uitgezonden.
- Via C_1 komt het signaal op de basis van FET Q terecht. R is met massa (aarde) verbonden. Daardoor staat op de gate een zuivere wisselspanning
- Maar… Als de drempelspanning van de gate-source-diode wordt overschreden (met rood gevulde deel van de positieve fasehelft), loopt er gatestroom. Er lekt positieve lading weg en de gate wordt negatief.
- In de negatieve blauwe fasehelft spert de gate-sourcediode. Het ladingverlies wordt niet of te weinig gecompenseerd via weerstand R en het werkpunt verschuift naar een lagere gatespanning. Daardoor wordt de FET in meerdere of mindere mate afgeknepen.

16.2.2 Interferentie van gewenst en ongewenst signaal

Interferentie ontstaat door menging van signalen. We zagen in hoofdstuk 13 dat het proces van menging allerhande frequenties kan opleveren. Daardoor kunnen op de eigen TV of radio of die van buren storingen ontstaan.

Geen enkele zender is vrij van uitgezonden harmonischen of andere onbedoelde frequenties. Die horen weliswaar sterk verzwakt te zijn, maar vlak bij de zendende antenne kunnen ze toch hinder veroorzaken.

Geen enkele versterker is volledig lineair. Dat betekent dat er altijd wel ergens menging optreedt. Bij menging heeft het ene signaal invloed op de versterking van het andere. AM is niets anders dan dat, maar in extreme vorm. De modulatie bepaalt de versterking van de draaggolf. Een versterker van goede kwaliteit -zo lineair mogelijk dus- zal de minste interferentie geven, maar een storend signaal kan zo sterk zijn dat zelfs die uitstekende versterker toch in een minder lineair deel van zijn karakteristiek wordt getrokken.

Op TV kan interferentiestoring zichtbaar worden in de vorm van warrelingen in het beeld. Oorzaak kan bijvoorbeeld storing zijn door een 144 MHz-amateurzender (2-meterband). De vierde harmonische van 144 MHz is 576 MHz. Die valt in kanaal 34 van de UHF-TV-band (574-582 MHz). Tot 145,5 MHz valt de vierde harmonische in die band.

16.2.3 Intermodulatie en kruismodulatie

Intermodulatie

Intermodulatiestoring ontstaat als de som- of verschilfrequentie van twee sterke signalen of harmonischen daarvan (vrijwel) gelijk is aan de beluisterde frequentie. Aan dit probleem valt door filtering niets te doen. Als het filter de storende frequentie onderdrukt, onderdrukt het ook de beluisterde frequentie. Na detectie zullen dan ook beide signalen uit de luidspreker komen. Intermodulatie speelt vooral een rol bij luisteren naar zwakke signalen. Wordt een sterk signaal beluisterd, dan zal dit vaak het

intermodulatieproduct overstemmen. Intermodulatie is een gevolg van niet-lineariteit in het ingangscircuit (HF- en mengtrap).

Een rekenvoorbeeld. We luisteren op 144,3 MHz. Dat is in de 2-meterband de gebruikelijke aanroepfrequentie voor EZB. Tegelijkertijd zijn signalen buiten de 2-meterband in de lucht op 152,15 MHz en op 160 MHz. Op het eerste gezicht lijkt dat weinig kwaad te kunnen. Maar kijk eens naar de tweede harmonische van die 152,15 MHz. Die is 304,3 MHz. Die frequentie hoeft niet via de antenne binnen te komen, maar kan binnen de ontvanger ook in de voorversterker of mengtrap ontstaan. Trek er 160 MHz vanaf en je houdt 144,3 MHz over.

Kruismodulatie

Ook kruismodulatie is een gevolg van niet-lineariteit in het ingangscircuit. Daarbij ontstaan geen nieuwe frequenties, maar wordt de modulatie van het (sterke) storende signaal als het ware overgedragen op het (meestal zwakkere) beluisterde. Voorbeelden: AM op een CW-signaal (tegenwoordig heel weinig meer bij gebrek aan AM-stations) of twee FM-signalen door elkaar. Twee voor de prijs van één, maar gewenst, nou nee...

16.2.4 Laagfrequentdetectie (LFD of LF-inpraten)

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

AM veroorzaakt woordelijk te verstane taal, DZB en EZB iets onverstaanbaars in spraakritme. Niet alleen de naaste buren kunnen er last van hebben. Uw schrijver heeft ooit via een babyfoon op 150 m afstand de oppas flink aan het schrikken gemaakt. Apparatuur als deze babyfoon mag je overigens beschouwen als inferieur. 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. In paragraaf 16.4 besteden we aandacht aan remedies.

CW-signalen kunnen plopgeluiden veroorzaken bij het in- of uitschakelen van de zender via de seinsleutel. Een FM-signaal kan een versterker in meerdere of mindere mate dichtdrukken.

Er zijn regels voor wat betreft 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 hoort ergens op de buitenkant van apparatuur te staan die aan immunisatieregels voldoet of dat hoort te doen.

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** komt voor bij CW (morsetelegrafie). Het ontstaat door tijdelijke parasitaire oscillatie na indrukken van de

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

seinsleutel. **Tjoep** is het geluid dat ontstaat als de oscillator na het indrukken van de sleutel via een hoorbare frequentieverandering “op gang” komt. Beide termen zijn geluidsnabootsingen, net als bijvoorbeeld de vogelnaam “koekoek”.

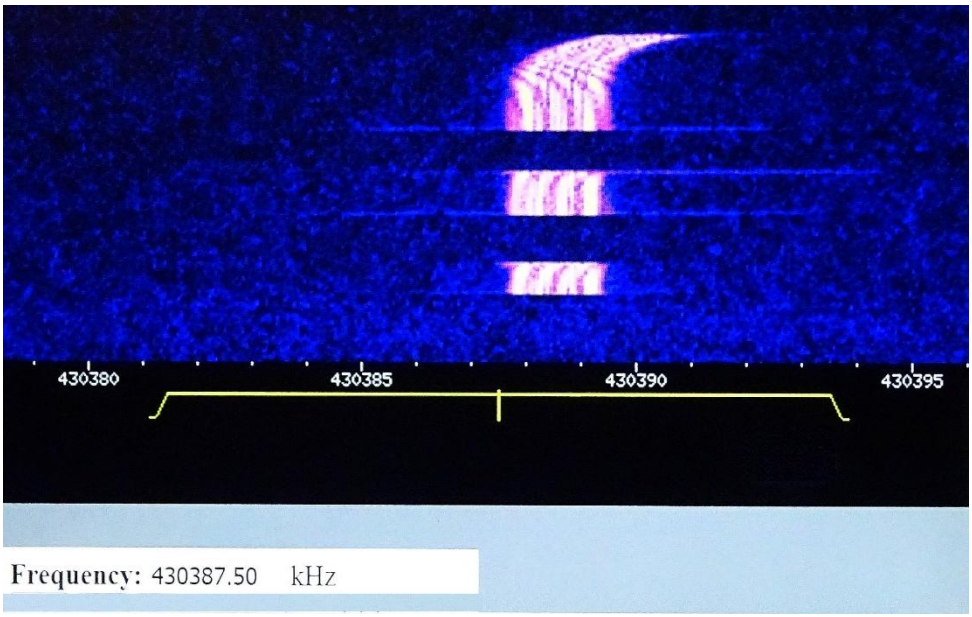


Foto 16.2-1. Omgekeerd watervalplaatje van een “tjoep”. Het beeld loopt omhoog; het oudste deel zit dus boven. De grote “tjoep” bovenin ontstaat na het voor het eerst indrukken van de seinsleutel. Bij volgende keren is er nauwelijks een tjoep; blijkbaar is er de eerste keer iets in de zender geactiveerd dat “aan” blijft, Overigens is dit signaal voor CW nogal breedbandig. (Foto: PA9JOO).

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. De oplettende lezer zal opvallen dat dit om het elektrische veld gaat. Magnetische veldsterkte gaat in A/m. Op enige afstand van de antenne is de één uit de ander af te leiden. Het is dus niet nodig, beide te meten. Elektrische en magnetische veldsterkte nemen lineair af met toenemende afstand tot de antenne. Afstand 2x zo groot, veldsterkte 2x zo klein. Vermogensdichtheid is elektrisch en magnetisch veld samen: $(\mathrm{V/m}) * (\mathrm{A/m}) = \mathrm{W/m^2}$ en die neemt kwadratisch af met de afstand (hoofdstuk 14). De kans op storingen neemt daardoor met toenemende afstand tot de zendende antenne snel af.

Bundeling door bijvoorbeeld een Yagi-antenne maakt dat de ERP bij een betrekkelijk klein zendvermogen in één richting toch aanzienlijk kan zijn. De grootste kans op storingen zit in de stralingsrichting van de antenne. Schotelantennes met een diameter die ruim groter is dan de golflengte geven een sterkere bundeling dan een Yagi.

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

16.3.2 Ongewenste uitstralingen

Onder ongewenste uitstralingen valt alles buiten de bandbreedte van draaggolf en de noodzakelijke bijbehorende modulatieproducten. Een veelzeggende term is *parasitaire uitstralingen*. Parasitaire uitstralingen zijn onder meer onvoldoende onderdrukte frequenties die in de zender zijn ontstaan, zoals

- Oscillatorfrequenties;
- Som- of verschilfrequenties die bij gewenste of ongewenste menging zijn ontstaan en verschillen van de zendfrequentie;
- Harmonischen van het uitgezonden signaal. Geen enkele eindtrap is volkomen lineair, zodat harmonischen altijd ontstaan. Dat gebeurt het minst in een klasse A-eindtrap, het meest bij klasse C;
- Bij oudere zendapparatuur die nog met frequentievermenigvuldiging werkt, horen -op de gewenste frequentie na- harmonischen van de oorspronkelijk opgewekte frequentie ook tot de parasitaire uitstralingen;
- Faseruis. In de hoofdstukken 10 en (vooral) 13 hebben we faseruis besproken.

Parasitaire uitstralingen kunnen allerlei storingen veroorzaken, zoals bij ontvangst van radio en TV, telefoon- en mobilofoonverkeer en het functioneren van luchtvaart en hulpdiensten.

16.3.3 Ongewenste beïnvloeding van apparatuur

In een boek uit het buizentijdperk over het repareren van defecte radio-ontvangers stond een zin: “Hoogfrequent kruipt waar het niet gaan kan”, vergezeld van een plaatje waarop iemand was afgebeeld die in zijn achterste werd getroffen door een soort bliksemschicht. Die schicht was overdreven, maar de rest klopt: het EM-veld van een zendantenne kan via allerlei wegen apparatuur binnendringen en daar storing veroorzaken. We noemen:

- Antennes en antenneleidingen
- Netsnoeren,
- CD-, DVD- en gramofoonaansluitingen (terug van weggeweest)
- Luidsprekersnoeren
- 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. Dat wil niet zeggen dat analoge ontvangst daarmee is verdwenen, omdat vaak een omzetter wordt gebruikt om alsnog een analoog signaal naar de TV-ontvanger te sturen. Daarvoor worden oude analoge frequenties gebruikt, zodat we daar voorlopig nog niet vanaf zijn. Dat neemt niet weg dat antennes en hun kabels grotendeels zijn verdwenen ten gunste van

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

behoorlijk afgeschermde coax-kabels van kabel-TV of -nog beter- glasvezel. Problemen met instraling via antenneleidingen komen daardoor minder voor, maar ze zijn niet weg.

16.4 Storingen voorkomen en verhelpen

16.4.1 Algemeen

Fabriekstransceivers voldoen praktisch altijd aan de officiële eisen voor amateurzenders. Wie in staat is tot zelfbouw of eigenhandige modificatie van fabrieksapparatuur, zal in het algemeen ook in staat zijn, de maatregelen die in deze paragraaf zijn beschreven, indien nodig, zelf uit te voeren.

Algemene regel: beperk je zendvermogen tot wat nodig is om een verbinding tot stand te brengen, zeker als je op een plek met dichte bebouwing woont. Daar is de afstand tot stoorbare apparatuur nu eenmaal al snel klein.

Zorg dat de aanpassing van zender naar antenne zo goed mogelijk is. Een lage SWR tussen zender en kabel betekent niet automatisch dat de SWR van kabel naar antenne ook goed is. Verbind symmetrische en asymmetrische aansluitingen met een passende balun om mantelstromen aan de buitenkant van de mantel van de coax-kabel te vermijden. Anders straalt de kabel. Loopt de kabel dan ook nog op korte afstand langs je huis of dat van de buren, dan is dat vragen om problemen. Zorg ook dat de antenne straalt en niet de kabel.

Nog erger is een enkele antennedraad die rechtstreeks of via een tuner op de antenne-uitgang is aangesloten. 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;
- Ontkoppelen van verschillende soorten leidingen;
- Afschermen van schakelingen die hoogfrequente stralingsbronnen kunnen zijn.
- Stabiliseren van de oscillator in een zender.

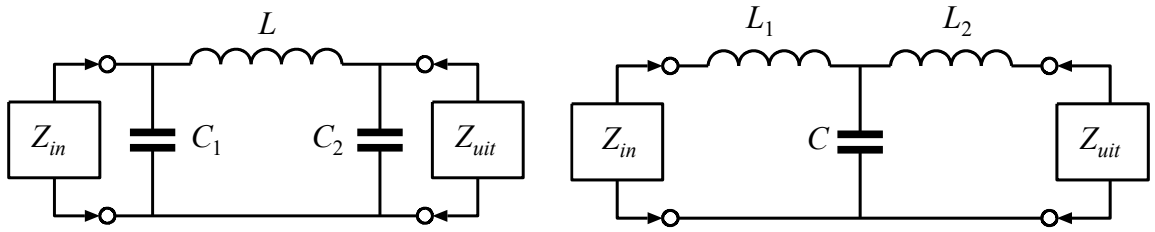
16.4.2 Filteren

In of direct achter de zender

Tussen zenderuitgang en antenneleiding kunnen harmonischen worden onderdrukt door één 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).

Bij gebruik van een T-filter **is het enige goede filter één met twee spoelen tussen de signaalaansluitingen 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 Voor impedantie-aanpassing werkt zo'n filter goed, maar voor het onderdrukken van harmonischen is het zinloos.



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

Voor liefhebbers en zelfbouwers, géén examenstof!
Voor wie filters zelf wil berekenen, is hier een link naar een Excel-bestand (klik aan voor downloaden) waarmee dat mogelijk is. De gebruikte methode is die van Rothammels Antennenbuch (zie ook de paragraaf over pi- en T-filters in hoofdstuk 14). Het werkblad berekent ook voor enkele Amidon poederijzer-ringkernen het aantal windingen dat nodig is om de berekende zelfinductie van de spoelen te realiseren.

Een zogenoemde *ferrietklem* kan helpen tegen mantelstromen. Zo'n klem is een omhulling van ferriet die op de stralende kabel wordt geklemd (Foto 16.4-1).

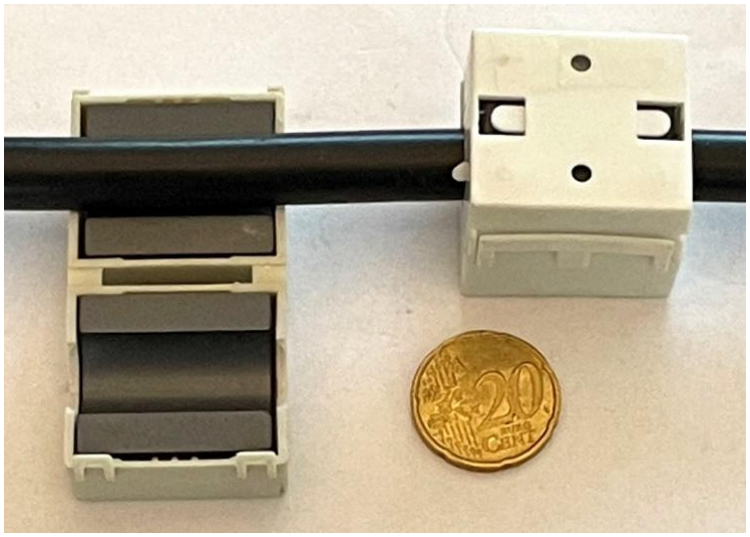


Foto 16.4-1. Coax-kabel (10 mm dia.) met ferrietklemmen. Links: klem open; rechts: klem gesloten. Het muntje geeft de grootte aan.

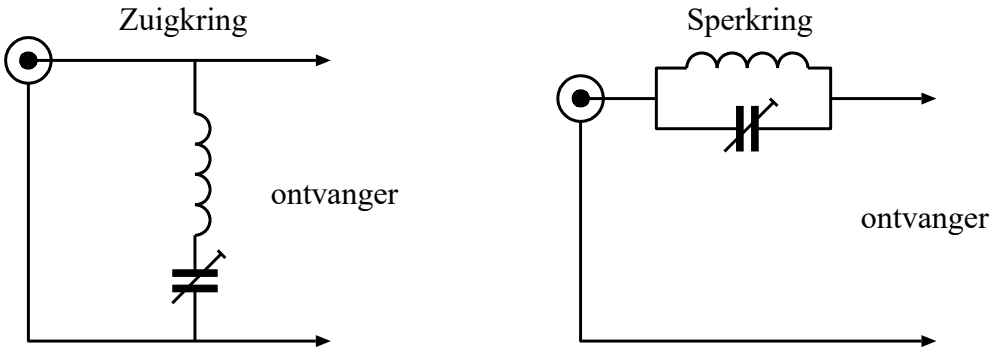
De klem verhoogt door zijn hoge magnetische permeabiliteit de zelfinductie op de mantel van de coax-kabel. Zo worden mantelstromen onderdrukt. Eventueel kan meer dan één klem in serie worden aangebracht.

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

In ontvangers

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 storende signaal. De kring komt tussen antenne-ingang en aarde (Figuur 16.4-2 links).

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



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

Bezwaar: ook frequenties aan weerskanten van de storende frequentie worden, afhankelijk van de Q van de kring en hun afstand tot de resonantiefrequentie van de kring, ook al zijn ze meer of minder 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 te ontvangen frequentie, gebruik dan een laagdoorlaatfilter tussen antenne en ontvanger. Is het storende signaal lager in frequentie, gebruik dan 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 TV-ontvanger uitkomst bieden.

16.4.3 Ontkoppelen

Algemeen

Een storend signaal kan via allerlei wegen een elektronisch apparaat (ontvanger, versterker, elektronisch orgel, noem maar op) binnenkomen.

De route via de antenne hebben we behandeld, maar er blijft een keur aan andere mogelijkheden over, die we al hebben opgesomd in sub-paragraaf 16.3.3.

Het gaat hierbij vooral, maar niet alleen, om LFD, laagfrequent detectie (subpar. 16.2.4).

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

Het lichtnet

Om te controleren of het storende HF-signaal via het lichtnet binnenkomt, kan een laagdoorlaatfilter in de netaansluiting van het gestoorde apparaat worden opgenomen. Een lichtnetfilter bij de zender zal zelden een positief effect hebben, omdat het zendersignaal voorbij dat filter allerlei mogelijkheden heeft om alsnog lichtnetkabels binnen te komen.

Voorzie de lichtnetaansluiting van een netfilter. Begin simpel. Een platte keramische condensator van 1 à 10 nF met een doorslagspanning van 1 kV of meer kan genoeg zijn. Dit type condensatoren heeft rechte, niet gewonden elektroden. Daardoor is de inwendige zelfinductie klein. Het diëlektricum is geschikt voor hoge frequenties. De condensator komt over de netaansluiting van het apparaat. Is de condensator niet voldoende, dan kan vaak een ferrietringkern helpen. Wikkel het snoer een aantal keren door de ring. Foto 16.4-2 toont zo'n bewikkelde ringkern, samen met twee platte keramische condensatoren. Voor meer zelfinductie zet je twee ringkernen op elkaar of je neemt een grotere. Monteer het filter veilig in een niet-geleidende behuizing, zoals PVC-buis met schroefafsluiting. In elke bouwmarkt te koop.



Foto 16.4-2. Van links naar rechts: ferriet-ringkern bewikkeld met netsnoer, keramische condensator van 1 nF, max. 7,5 kV, keramische condensator van 2,2 nF, max. 3 kV. Wegens de lagere doorslagspanning en daarom dunner diëlektricum is de 2,2 nF kleiner dan die van 1 nF. Voor 240 V netspanning is 1 kV ruim voldoende.

Het filter komt zo dicht mogelijk bij de netaansluiting van de versterker of, indien mogelijk, erbinnen. Geef het stoorsignaal zo min mogelijk kans!

Heeft het 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. Het gaat niet alleen om AF-versterkers voor muziek, maar ook om AF-trappen van radio en TV. Luidsprekerleidingen zijn vaak een

aantal meters lang en bieden zo alle gelegenheid voor HF (of hogere frequenties) om daarin een flink signaal op te bouwen. Als een versterker waarin LFD- storing optreedt, niet reageert 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. Gelijkrichting betekent detectie van AM en de andere leden van de AM-familie: CW, DZB en EZB, zagen we in hoofdstuk 13. Eigenlijk gaat het dan om een soort onbedoelde kristalontvanger, maar dan één zonder afstemkring.

Soms is het aanbrengen van een condensator van circa 1-10 nF met goede HF-eigenschappen (plat keramisch) tussen de twee aders van de luidsprekerleiding al afdoende. Zorg dat de reactantie X_C voor de storende frequentie circa 1 ohm of minder is. $X_C = {}^{1}/_{(2\pi fC)}$. De condensator komt zo dicht mogelijk op de luidsprekeraansluiting van de versterker of beter, over de twee polen van het chassisdeel van de aansluiting. Een laagspanningstype is genoeg, want luidsprekeraansluitingen zijn laagohmig.

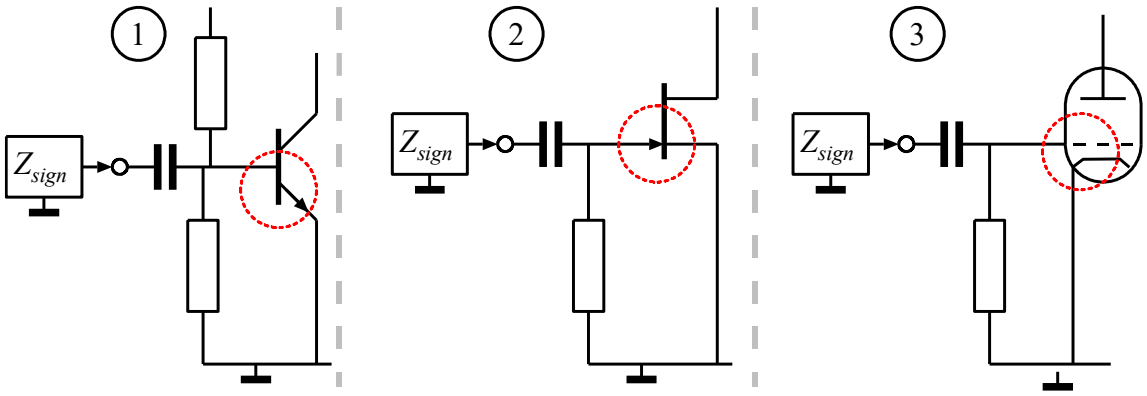
Helpt dat onvoldoende, dan kan met de condensatoren ferriet worden toegepast. Dat gaat op dezelfde manier als bij netaansluitingen. Op de doorslagspanning van de condensatoren na zijn de recepten, inclusief Foto 16.4-2, voor beide eigenlijk gelijk.

Signaalleidingen

Ook via audio-signaalleidingen kan LFD ontstaan. De frequentie van HF- of VHF-signalen is orden van grootte hoger dan die van het audio-signaal waarvoor de versterker bedoeld is. Dat maakt het recept tegen LFD-storingen eenvoudig: een HF-dicht laagdoorlaatfilter.

Controleer eerst of het geluidsvolume van de storing reageert op de volumeregelaar. Is dat het geval, dan komt de storing binnen via een signaalleiding. Is er daarvan maar één, dan is de bron van het probleem duidelijk. Zijn er meer, haal dan alle signaalleidingen los, verbind ze één voor één en controleer bij elke leiding of de storing weer optreedt.

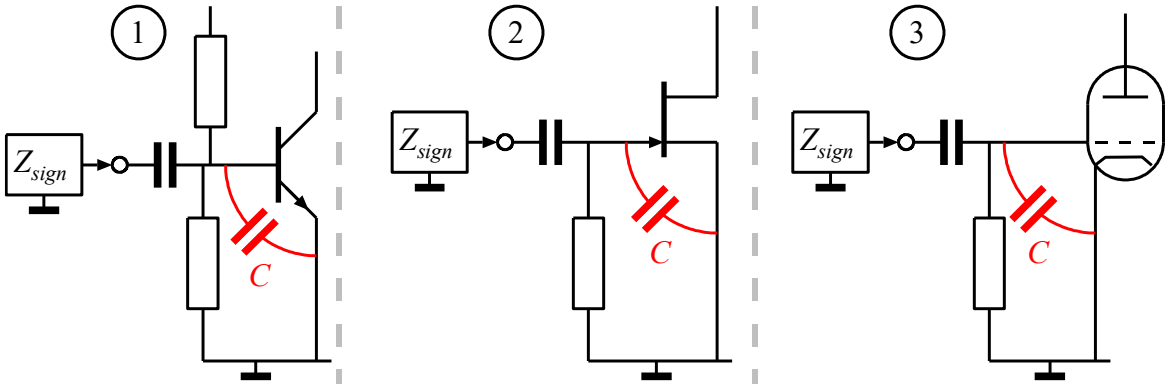
Het probleem zit meestal in het eerste versterkende element waarop het betreffende signaal terechtkomt. Het gaat om de in Figuur 16.4-3 aangegeven plekken.



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.

In alle gevallen ontstaat gelijkrichting als de amplitude van het storende signaal daarvoor groot genoeg is (Figuur 16.2-1 voor blokkering geldt evengoed voor LFD). Zoals gezegd, betekent gelijkrichting AM-detectie. AM leidt tot verstaanbare taal, DZB en EZB tot iets onverstaanbaars in het ritme van de stem en CW kan plopgeluiden en geluidsonderbrekingen in het ritme van het uitgezonden signaal veroorzaken. FM kan geluidsvermindering of -onderbreking veroorzaken, maar brengt zelf geen geluiden mee.

Nu de bestrijding. 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 voor een factor 10:

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

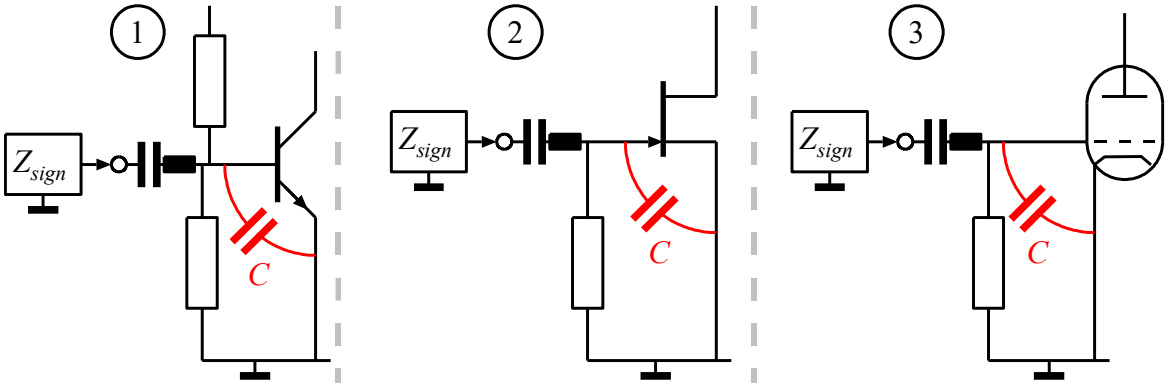
Een voorbeeld met getallen: Stel Z_{sign} is 500 ohm en de storende frequentie f is 3,7 MHz (80-meter amateurband). Dan vinden we $C \approx {}^{10\text{F}}/_{(2.\pi.3{,}7.10^6.5.10^2)} \approx 860$ pF. Voor de 10-meter band (frequentie een factor 8 hoger) zou dat uitkomen op ongeveer 110 pF.

Een bipolaire transistor vraagt door de laagohmige ingang een hogere capaciteit. Een platte keramische condensator van zo'n 3-10 nF werkt meestal. Ook dat is niet kritisch. In alle gevallen is de platte keramische condensator (Foto 16.4-2) er één voor lage spanning. 20 V is genoeg. Let er bij muziekversterkers op dat de hogere audiofrequenties (5-20 kHz) niet worden gedempt. Blijkt dat het geval, neem dan een kleinere capaciteit.

Het effect van de capaciteit kan worden vergroot door in de signaalleiding vóór de ontkoppel-C een of meer ferrietkralen (Foto 16.4-3,volgende bladzijde) toe te passen

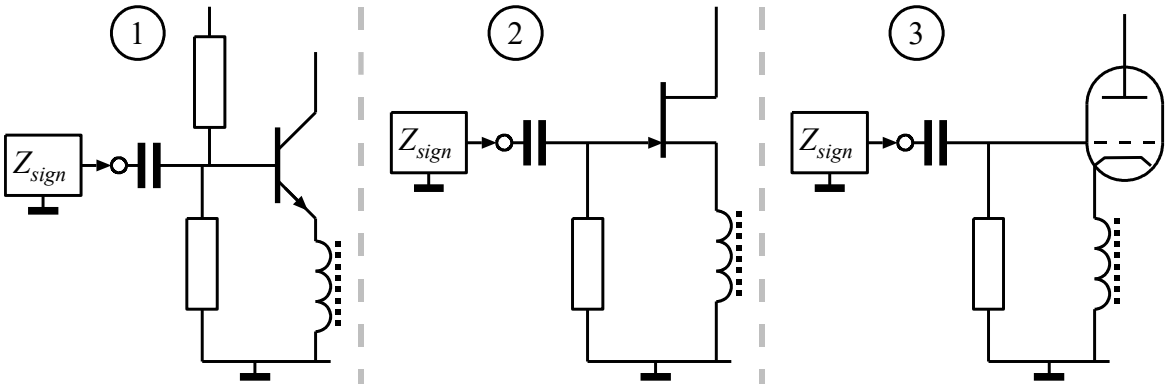
© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

(Figuur 16.4-5). Een kleine weerstand van enkele honderden ohm in plaats van ferriet kan ook goed werken.



Figuur 16.4-5. Dezelfde figuur als Figuur 16.4-4, maar met ferrietkra(a)l(en) (zwart) in de signaalleiding..

Het kan ook met een HF-smoorspoel in de emitter-, source- of kathodeleiding. Die vormt een sterkere tegenkoppeling naarmate de frequentie hoger is. Figuur 16.4-6 geeft drie schema's voor respectievelijk transistor, FET en buis. Combinatie met een ontkoppel-C als in Figuur 16.4-4 is in (zeldzame) hardnekkige gevallen ook mogelijk.



Figuur 16.4-6. LFD-ontkoppeling via een smoorspoel in de emitter- source- of kathodeleiding.

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 of met twee gaten ("varkensneusje"), waarin één of meer winding passen, afhankelijk van de draaddikte en de diameter van de "neus"gaten (Foto 16.4-3, volgende bladzijde).

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

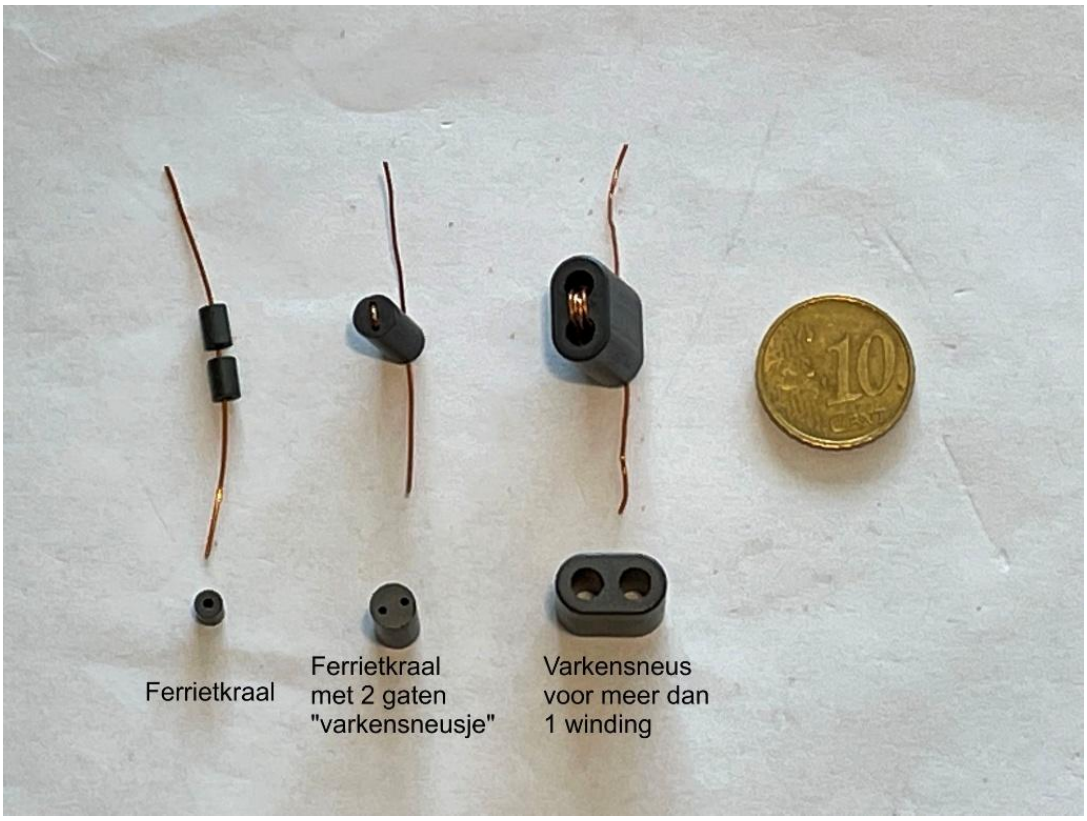


Foto 16.4-3. Drie ferrietvormen die voor een HF-smoorspoel in Figuur 16.4-6 kunnen worden gebruikt, van links naar rechts in volgorde van toenemende zelfinductie.

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 andere apparaten niet nadelig beïnvloedt;
- Een elektromagnetisch veld van buitenaf het binnenste van een apparaat niet bereikt of zover wordt verzwakt dat het daar geen kwaad kan.

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

- Om te voorkomen dat een zender parasitaire frequenties uitstraalt, wordt bij voorkeur alles dat een frequentie opwekt, afgeschermd. Dat wordt onder amateurs ook wel “inblikken” genoemd. Gaat het om fabrieksapparatuur, dan is de gebruiker er vrijwel van verzekerd dat de noodzakelijke afscherming in orde is. Wie zelf bouwt of verbouwt, moet daar zelf voor zorgen.
  In de handel zijn blikken doosjes met losse blikken afschermschotjes in allerlei maten te koop. Ga naar een radiobeurs van een beetje omvang en je vindt ze. Van printplaat zijn ook afgeschermde doosjes te maken. Ook dat is te koop op beurzen.
- 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).

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

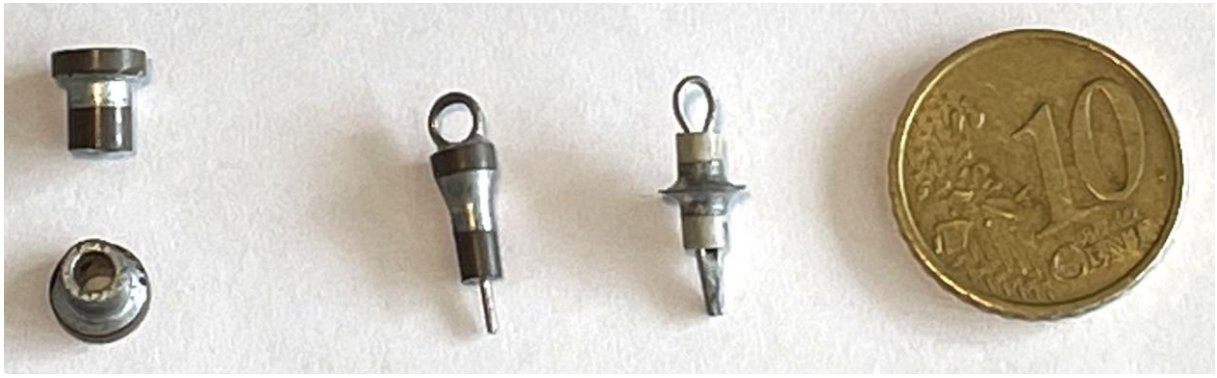


Foto 16.4-4. Doorvoercondensatoren met verschillende manieren van monteren. Links: leiding moet in de condensator worden gesoldeerd; midden: taps toelopende buitenkant met doorvoer (oogje en draadeind); rechts: met soldeerflens en doorvoer (oogje en draadeind).

- 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 met een geaard metalen plaatje om oscillatie te voorkomen. Dat geldt des te sterker naarmate meer versterkertrappen in serie staan.

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, om de kast aan de binnenkant te beplakken met aluminiumfolie en die te aarden. De buitenkant beplakken kan technisch gezien ook, maar dat zal vermoedelijk stuiten op bezwaren van de eigenaar.

16.4.5 Oscillator stabiliseren (faseruis, chirp en tjoep)

Dit kan nodig zijn bij problemen met faseruis, chirp en tjoep. Soms is een verbeterde stabilisatie of een extra ontkoppeling van de voedingsspanning met een platte keramische condensator voldoende. Een oscillator hoort mechanisch solide in elkaar te zitten zonder wiebelende draden en behoorlijk te zijn afgeschermd met goed vastgezet 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, bijvoorbeeld door het signaal uit de oscillator via een buffertrap en een door de seinsleutel bediende schakeltransistor of schakelende FET te laten lopen, voordat het verder wordt versterkt.

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

16.5 Opgaven

16.5.1 Opgave 16-1

Een amateurzender die uitzendt in de 21 MHz-band veroorzaakt storingen in de TV-ontvangst op de frequentie 61-68 MHz.

De storing kan worden opgeheven door:

A. In de modulatortrap een laagdoorlatend filter toe te passen
B. De eindtrap van de zender in klasse C in te stellen
C. Een laagdoorlatend filter in de antennekabel van de zender toe te passen
D. Een hoogdoorlatend filter in de antennekabel van de zender toe te passen

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking

16.5.2 Opgave 16-2

Een 10-meter zender veroorzaakt laagfrequentdetectie in een geluidsinstallatie. Om de storingen op te heffen, worden de laagohmige luidsprekeruitgangen ontkoppeld door middel van condensatoren, parallel aan de uitgangen.

De meest geschikte capaciteitswaarde is:

A. 10 pF
B. 10 nF
C. 10 µF
D. 10 mF

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

16.5.3 Opgave 16-3

De modulatievorm die de minste storing door laagfrequentdetectie veroorzaakt, is:

A. Amplitudemodulatie
B. Frequentiemodulatie
C. Enkelzijbandmodulatie
D. Morsetelegrafie

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking

16.5.4 Opgave 16-4

Een zendamateur heeft zijn zelfgebouwde telegrafiezender met dummyload, verzwakker en een geschikte oscilloscoop uitgeprobeerd en gaat nu verbindingen maken. Van enkele tegenstations hoort hij dat er chirp op het signaal zit. Wat kan hij het beste doen?

A. Een laagdoorlaatfilter tussen zender en antenne opnemen
B. De voedingsspanning van de oscillator stabiliseren
C. De staandegolfverhouding verbeteren
D. Een hoogdoorlaatfilter tussen zender en antenne opnemen

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

16.5.5 Opgave 16-5

Een EZB-zender in de 2-meterband (144-146 MHz) veroorzaakt LFD in een muziekversterker met bipolaire transistoren. De storing verdwijnt bij het dichtdraaien van de volumeregelaar van de versterker. De meest kansrijke maatregel om de storing te verhelpen is:

A. Het aanbrengen van een weerstand van 220 ohm in de basisleiding van de ingangstransistor met een condensator van 100 pF tussen basis en emitter
B. Het aanbrengen van een weerstand van 220 ohm in de basisleiding van de ingangstransistor met condensator van 100 pF tussen basis en collector
C. De luidsprekeruitgang overbruggen met een condensator van 10 nF
D. De luidsprekerleiding deels om een ferrietring wikkelen.

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

16.5.6 Opgave 16-6

Aan een amateurband grenst een omroepband. Een radioluisteraar merkt dat met tussenpozen op de hele omroepband een onverstaanbaar signaal in spraakritme te horen is. Een straat verderop woont een zendamateur. Als onze luisteraar met de zendamateur contact opneemt, blijkt dat deze inderdaad radioverbindingen aan het maken was. De modulatiesoort en het soort storing waren:

A. FM en blokkering
B. AM en laagfrequentdetectie
C. AM en blokkering
D. EZB en laagfrequentdetectie

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

16.5.7 Opgave 16-7

Twee amateurzenders werken op respectievelijk 144,2 MHz en 144,5 MHz. Ze worden door een luisteramateur allebei tegelijk gehoord op 144,8 MHz. Dit is een geval van

A. Laagfrequentdetectie
B. Intermodulatie
C. Overmodulatie
D. Faseruis

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

16.5.8 Opgave 16-8

Een amateurstation zendt uit in de 2-meter amateurband met frequentiemodulatie (FM). Het station blijkt ook zwak te ontvangen in een bandje van ongeveer 100 kHz aan weerskanten van de gebruikte frequentie.

De meest waarschijnlijke oorzaak van dit verschijnsel is:

A. Intermodulatie
B. Niet-lineariteit van de eindversterker van de zender
C. Faseruis in de oscillator van de zender
D. Een slechte staandegolfverhouding

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking

16.6 Uitwerkingen van de opgaven

16.6.1 Uitwerking van Opgave 16-1

Een amateurzender die uitzendt in de 21 MHz-band veroorzaakt storingen in de TV-ontvangst op de frequentie 61-68 MHz.

De storing kan het best worden opgeheven door:

A. In de modulatortrap een laagdoorlatend filter toe te passen
B. De eindtrap van de zender in klasse C in te stellen
C. Een laagdoorlatend filter in de antennekabel van de zender toe te passen
D. Een hoogdoorlatend filter in de antennekabel van de zender toe te passen

Uitwerking

Vermenigvuldig 21 MHz met 3 en je vindt 63 MHz, de frequentie van de derde harmonische. Die valt binnen de TV-frequentie en is daarmee verdachte. Met een laagdoorlaatfilter in de antennekabel (direct achter de zender!) wordt die harmonische onderdrukt en de frequentie van 21 MHz doorgelaten. Antwoord C.

Opmerkingen

Een laagdoorlatend filter in de modulatortrap zal weinig zin hebben, omdat na de modulator een aantal versterkertrappen volgt, waarin harmonischen weer kunnen ontstaan. Een laagdoorlaatfilter na de eindtrap is daarom de beste oplossing.

Een eindtrap in klasse C zetten heeft een averechts effect.

Een hoogdoorlaatfilter doet in dit geval niets nuttigs.

Terug naar de opgave Naar de volgende opgave

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

16.6.2 Uitwerking van Opgave 16-2

Een 10-meter zender veroorzaakt laagfrequentdetectie in een geluidsinstallatie. Om de storingen op te heffen, worden de laagohmige luidsprekeruitgangen ontkoppeld door middel van condensatoren, parallel aan de uitgangen.

De meest geschikte capaciteitswaarde is:

A. 10 pF
B. 10 nF
C. 10 µF
D. 10 mF

Uitwerking

Om effectief te zijn, moet de reactantie van de ontkoppelcondensator (flink) lager zijn dan de impedantie van de in- of uitgang die moet worden ontkoppeld. Voor audiofrequenties is die laatste meestal 4 of 8 ohm. Voor HF kan de werkelijke impedantie hoger zijn, omdat dan ook zelfinducties in leidingen binnen en buiten de versterker een rol gaan spelen. Vuistregeltje (en niet meer dan dat): als de reactantie van de ontkoppelcondensator lager is dan grofweg 1 of 2 ohm, werkt de ontkoppeling van luidsprekerleidingen meestal goed. Om een idee te krijgen, kunnen we voor de 10-meterband (28 MHz) de reactantie X_C van een condensator van 10 nF uitrekenen. 28 MHz = $2{,}8.10^7$ Hz en 10 nF = 10^{-8} F. Dan geldt voor X_C:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1\Omega}{2\pi.\,2{,}8.\,10^7.\,10^{-8}} \approx 0{,}55\ \Omega$$

Voor 10 meter zou dat volgens het vuistregeltje genoeg moeten zijn.

Antwoord B

Opmerkingen

Om dit soort storingen op te heffen, zijn condensatoren in het nF-bereik, parallel aan de luidsprekeruitgangen vaak het meest geschikt. 10 nF geeft voor de wat hogere HF-frequenties meestal voldoende resultaat, maar experimenteren met waarden tussen 1 en 100 nF kan zin hebben.

De 10 µF van antwoord C, om nog maar niet te spreken over de 10 mF =10 000 µF van antwoord D, zal vrijwel altijd een elektrolytische condensator zijn. Die zijn alleen geschikt voor veel lagere frequenties en dus totaal ongeschikt om een ongewenste frequentie van 28 MHz de kop in te drukken.

Terug naar de opgave Naar de volgende opgave

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

16.6.3 Uitwerking van Opgave 16-3

De modulatievorm die de minste storing door laagfrequentdetectie veroorzaakt, is:

A. Amplitudemodulatie
B. Frequentiemodulatie
C. Enkelzijbandmodulatie
D. Morsetelegrafie

Uitwerking

Alle leden van de AM-familie, AM, DZB, EZB en CW hebben een variërende amplitude. LFD ontstaat door gelijkrichting, waarna de omhullende als wisselspanning/stroom overblijft, net als bij een kristalontvanger. Die hoor je als geluid. Frequentiemodulatie (FM) heeft een constante amplitude. Een FM-signaal bevat daardoor geen AM-achtige componenten. Resten van een FM-signaal hoor je na gelijkrichting dus ook niet.

Antwoord B.

Opmerking

Voor fasemodulatie (PM) geldt hetzelfde als voor FM.

Terug naar de opgave Naar de volgende opgave

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

16.6.4 Uitwerking van Opgave 16-4

Een zendamateur heeft zijn zelfgebouwde telegrafiezender met dummyload, verzwakker en oscilloscoop uitgeprobeerd en gaat nu verbindingen maken. Van enkele tegenstations hoort hij dat er chirp op het signaal zit. Wat kan hij het beste doen?

A. Een laagdoorlaatfilter tussen zender en antenne opnemen
B. De voedingsspanning van de oscillator stabiliseren
C. De staandegolfverhouding aanpassen
D. Een hoogdoorlaatfilter tussen zender en antenne opnemen

Uitwerking

Chirp is een gevolg van een korte parasitaire oscillatie bij het op gang komen van de oscillator na indrukken van de seinsleutel. Er zijn dan enkele mogelijkheden om daar wat aan te doen:

- De voedingsspanning van de oscillator zo stabiliseren dat die onmiddellijk op spanning is als de seinsleutel wordt ingedrukt
- De oscillator via een buffertrap verbinden met de rest van de zender, zodat de belasting van de oscillator door het indrukken van de seinsleutel niet verandert
- De oscillator permanent laten doorlopen en de voor CW noodzakelijke onderbrekingen van het signaal tussen oscillator en zender elders in de schakeling realiseren.

Van deze mogelijkheden staat er maar één in het rijtje antwoorden en dat is antwoord B.

Terug naar de opgave Naar de volgende opgave

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

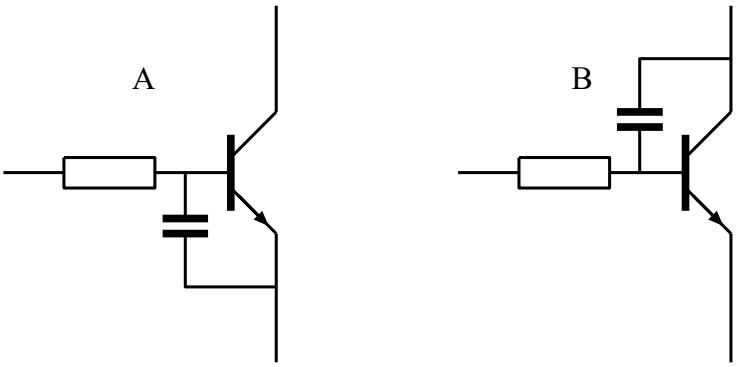
16.6.5 Uitwerking van Opgave 16-5

Een EZB-zender in de 2-meterband (144-146 MHz) veroorzaakt LFD in een muziekversterker met bipolaire transistoren. De storing verdwijnt bij het dichtdraaien van de volumeregelaar van de versterker. De meest kansrijke maatregel om de storing te verhelpen is:

A. **Het aanbrengen van een weerstand van 220 ohm in de basisleiding van de ingangstransistor met een condensator van 100 pF tussen basis en emitter**
B. Het aanbrengen van een weerstand van 220 ohm in de basisleiding van de ingangstransistor met condensator van 100 pF tussen basis en collector
C. De luidsprekeruitgang overbruggen met een condensator van 10 nF
D. Een deel van de luidsprekerleiding om een ferrietringkern wikkelen.

Uitwerking

Als de geluidssterkte reageert op de stand van de volumeregelaar zoals beschreven, is de kans het grootst dat de storing binnenkomt via de signaalleiding en de ingangstrap van de versterker. Het heeft dan waarschijnlijk weinig zijn, om aan de uitgangskant iets te doen.



Daarmee vervallen de antwoorden C en D en blijven A en B over. Die zetten we allebei in een stukje schema.

Schema A zal de basis-emitterovergang waar gelijkrichting plaatsvindt, ontkoppelen. Schema B zal hoogstens de weergave van hoge tonen verzwakken (frequentie-afhankelijke tegenkoppeling). Dat betekent dat antwoord A goed is.

Opmerking

De waarden van 220 ohm en 100 pF zijn niet kritisch.

Terug naar de opgave Naar de volgende opgave

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

16.6.6 Uitwerking van Opgave 16-6

Aan een amateurband grenst een omroepband. Een radioluisteraar merkt dat met tussenpozen op de hele omroepband een onverstaanbaar signaal in spraakritme te horen is. Een straat verderop woont een zendamateur. Als onze luisteraar met de zendamateur contact opneemt, blijkt dat deze inderdaad radioverbindingen aan het maken was. De modulatiesoort en het soort storing waren:

A. FM en blokkering
B. AM en laagfrequentdetectie
C. AM en blokkering
D. EZB en laagfrequentdetectie

Uitwerking

Een storing die over een hele omroepband te horen is, kan niets met de ingestelde ontvangstfrequentie te maken hebben. Omdat er aan de storing ook geluid te pas komt, kan het geen blokkering zijn, maar LFD (laagfrequentdetectie). Daarmee vervallen de antwoorden A en C. Als dat vastgesteld is, vervallen ze ook op grond van de modulatiesoort, samen met B, want FM geeft geen hoorbaar audio en AM geeft verstaanbare taal en geen onverstaanbaar gebrabbel.

De enige modulatiesoort in het rijtje die met LFD onverstaanbaar gebrabbel geeft, is EZB (SSB). Dat betekent dat antwoord D juist is.

Terug naar de opgave Naar de volgende opgave

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

16.6.7 Uitwerking van Opgave 16-7

Twee amateurzenders werken op respectievelijk 144,2 MHz en 144,5 MHz. Ze worden door een luisteramateur allebei tegelijk gehoord op 144,8 MHz. Dit is een geval van

A. Laagfrequentdetectie
B. Intermodulatie
C. Overmodulatie
D. Faseruis

Uitwerking

Dit lijkt een geval van intermodulatie van de tweede harmonische van de ene frequentie en de grondfrequentie van de andere. Een rekensommetje bevestigt dit:

$$2 * 144{,}5\ \text{MHz} - 144{,}2\ \text{MHz} = 144{,}8\ \text{MHz}$$

Dat betekent dat antwoord B goed is.

Opmerkingen

Tussen de twee werkfrequenties zit 300 kHz. 144,8 MHz is ook 300 kHz meer dan de hoogste van de twee werkfrequenties. Zou de frequentie van 139,9 MHz, dat is 300 kHz onder de laagste liggen? Dat rekenen we uit:

$$2 * 144{,}2\ \text{MHz} - 144{,}5\ \text{MHz} = 139.9\ \text{MHz}$$

Dat klopt en het brengt ons tot twee meer algemene conclusies:

1. De frequentie van een intermodulatieproduct ligt nooit tussen de grondfrequenties waarvan de intermodulatiefrequentie is afgeleid, maar is altijd hoger dan de hoogste of lager dan de laagste frequentie van die twee.

Noem de verschilfrequentie van de beide werkfrequenties $f_{verschil}$ (in dit geval 300 kHz).

2. Zijn de intermodulatiefrequenties verschilfrequenties van de **grondfrequentie** van de ene en de **tweede harmonische** van de andere frequentie, dan is:
   a. De frequentie van het kleinste intermodulatieproduct $f_{verschil}$ lager dan de frequentie van de laagste werkfrequentie
   b. De frequentie van het grootste intermodulatieproduct $f_{verschil}$ hoger dan de frequentie van de hoogste werkfrequentie

Voor intermodulatieproducten met tweede, respectievelijk derde harmonischen gelden vergelijkbare wetmatigheden, maar dan met $2f_{verschil}$.

Somfrequenties liggen zover van de oorspronkelijke frequenties af dat ze bij intermodulatie eigenlijk nooit aan de orde zijn

Terug naar de opgave Naar de volgende opgave

© 2021- 2025, Vereniging van Radiozendamateurs VRZA

16.6.8 Uitwerking van Opgave 16-8

Een amateurstation zendt uit in de 2-meter amateurband met frequentiemodulatie (FM). Het station blijkt ook zwak te ontvangen in een bandje van ongeveer 100 kHz aan weerskanten van de gebruikte frequentie.

De meest waarschijnlijke oorzaak van dit verschijnsel is::

A. Intermodulatie
B. Niet-lineariteit van de eindversterker van de zender
C. Faseruis in de oscillator van de zender
D. Een slechte staandegolfverhouding

Uitwerking

Dit type ongewenste uitstraling wordt zeer waarschijnlijk veroorzaakt door faseruis in de oscillator van de zender. Antwoord C dus.

Opmerking

Remedie: oscillator stabieler maken. Eerste verdachte: de voedingsspanning. Verder moet de oscillator van binnen stevig in elkaar zitten zonder wiebelende draden, te los gewikkelde spoelen of andere gammele constructie-elementen.

Terug naar de opgave