



Inhoudsopgave

12	Radio: modulatie en zenders.....	12-3
12.1	Wat leer je in dit hoofdstuk	12-3
12.2	Analoge modulatie	12-3
12.2.1	Wat is modulatie en waartoe dient het?.....	12-3
12.2.2	Modulatiemethoden	12-4
12.2.3	Amplitudemodulatie (AM).....	12-4
12.2.4	Het frequentiespectrum van AM	12-8
12.2.5	De bandbreedte van een AM-signaal	12-8
12.2.6	Het vermogen van een AM-signaal; Peak Envelope Power (PEP)	12-9
12.2.7	Waarin zit het vermogen van een AM-signaal?.....	12-10
12.2.8	Enkelzijbandmodulatie (EZB)	12-11
12.2.9	Morse-telegrafie (CW)	12-12
12.2.10	Frequentiemodulatie (FM)	12-13
12.3	Modulatoren en zenders	12-19
12.3.1	Inleiding	12-19
12.3.2	Een zender zonder modulator	12-19
12.3.3	Mengschakelingen en het maken van EZB	12-20
12.3.4	Schakelingen voor CW	12-22
12.3.5	Schakelingen voor FM.....	12-23
12.4	Ongewenste HF-uitstralingen en antenne-aanpassing	12-25
12.5	Opgaven	12-26
12.5.1	Opgave 12-1	12-26
12.5.2	Opgave 12-2	12-27
12.5.3	Opgave 12-3	12-28
12.5.4	Opgave 12-4	12-29
12.5.5	Opgave 12-5	12-30
12.5.6	Opgave 12-6	12-31
12.5.7	Opgave 12-7	12-32
12.5.8	Opgave 12-8	12-33



12.5.9	Opgave 12-9	12-34
12.5.10	Opgave 12-10.....	12-35
12.5.11	Opgave 12-11.....	12-36
12.5.12	Opgave 12-12.....	12-37
12.5.13	Opgave 12-13.....	12-38
12.5.14	Opgave 12-14.....	12-39
12.6	Uitwerkingen van de opgaven	12-40
12.6.1	Uitwerking van Opgave 12-1	12-40
12.6.2	Uitwerking van Opgave 12-2	12-41
12.6.3	Uitwerking van Opgave 12-3	12-42
12.6.4	Uitwerking van Opgave 12-4	12-43
12.6.5	Uitwerking van Opgave 12-5	12-44
12.6.6	Uitwerking van Opgave 12-6	12-45
12.6.7	Uitwerking van Opgave 12-7	12-46
12.6.8	Uitwerking van Opgave 12-8	12-47
12.6.9	Uitwerking van Opgave 12-9	12-48
12.6.10	Uitwerking van Opgave 12-10	12-49
12.6.11	Uitwerking van Opgave 12-11	12-50
12.6.12	Uitwerking van Opgave 12-12	12-51
12.6.13	Uitwerking van Opgave 12-13	12-52
12.6.14	Uitwerking van Opgave 12-14	12-53



12 Radio: modulatie en zenders

12.1 Wat leer je in dit hoofdstuk

Modulatie maakt dat een laagfrequent signaal (LF), zoals spraak of tekst, met een hoogfrequent signaal (HF) van zender naar ontvanger kan “meeliften”. Zonder modulatie geen radio.

Het over te brengen LF-signaal wordt zó in het HF-signaal verpakt, dat LF en HF samen één HF-signaal worden. Dat kan op een aantal manieren en zowel analoog als digitaal. We beperken ons tot analoge modulatievormen omdat digitale voor het N-examen niet worden gevraagd.

De analoge modulatievormen zijn amplitudemodulatie (AM) en de daarvan afgeleide vormen dubbelzijband (DZB) en enkelzijband (EZB); CW (morsetelegrafie met onderbroken draaggolf) en frequentiemodulatie (FM). Bij CW gaat het om tekst. Bij de andere modulatievormen gaat het om geluid, vooral spraak. Ook digitale signalen kunnen met analoge modulatie worden overgebracht.

Hierna volgen de zenders en modulatieschakelingen in blokschema voor de diverse analoge modulatievormen. De inhoud van de blokken blijft grotendeels achterwege, maar hun functie komt wel ter sprake.

Dit hoofdstuk omvat niet de ontvangers, zoals in vorige versies van de F-cursus wel het geval was. Die komen in hoofdstuk 13 aan de orde.

12.2 Analoge modulatie

12.2.1 Wat is modulatie en waartoe dient het?

We hebben kennis gemaakt met wisselspanningen en -stromen en met frequenties. Om een signaal van een zender naar een ontvanger te krijgen, hebben we een hoge frequentie nodig; in elk geval één die heel wat hoger is dan de frequenties die ons oor aankan. Ons oor verwerkt audiofrequenties. De term is afgeleid van het Latijnse *audio*, “ik hoor”. Voor verstaanbare spraak ligt het frequentiegebied ongeveer tussen 300 Hz en 3 kHz. De bandbreedte ervan is $3 \text{ kHz} - 300 \text{ Hz} = 2,7 \text{ kHz}$. Soms ook gaat men uit van een bandbreedte van 2,4 kHz voor het frequentiegebied tussen 300 Hz en 2,7 kHz.

Die audiofrequenties van 300 tot 3000 Hz moeten tussen de zender en de ontvanger die soms zelfs op een ander werelddeel staat, meeliften op een signaal van (veel) hogere frequentie. De vraag is, hoe je dat voor elkaar krijgt. Het hoogfrequente deel mag niet voor elk station dezelfde frequentie zijn. Dat zou leiden tot de (on)verstaanbaarheid van een zaal vol mensen die allemaal door elkaar heen praten.

De ene frequentie “verpakken” in de andere heet *moduleren*. Bij moduleren gaat het om een *informatiesignaal* en een *draaggolf*. Het informatiesignaal kan bijvoorbeeld spraak zijn; de draaggolf is de hogere frequentie waarin het informatiesignaal meelift.

Als draaggolffrequenties verschillen, hoeven we ze aan de ontvangerkant “alleen maar” van elkaar te scheiden om niet te vervallen in de onverstaaenbaarheid van de volle zaal met door elkaar pratende mensen. Je stemt af op één signaal. Je hoort alleen dat ene signaal en de rest niet. Zoals vaker het geval is, is de werkelijkheid weerbarstiger dan de theorie. Maar daarover zal het in hoofdstuk 13 gaan. Dat gaat over ontvangers. Nu eerst de vraag, hoe je een informatiesignaal in een draaggolf verpakt. Daarvoor bestaan verschillende methoden. We behandelen er hier drie.

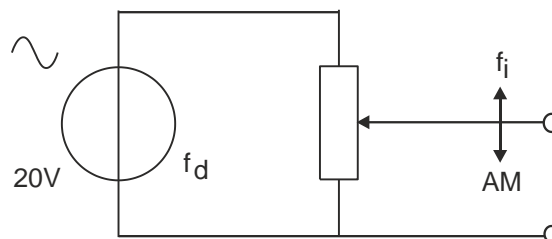
12.2.2 Modulatiemethoden

Dat zijn in dit hoofdstuk:

- Amplitudemodulatie (AM) en het daarvan afgeleide enkelzijband (EZB of SSB)
- Morse- telegrafie
- Frequentiemodulatie

12.2.3 Amplitudemodulatie (AM)

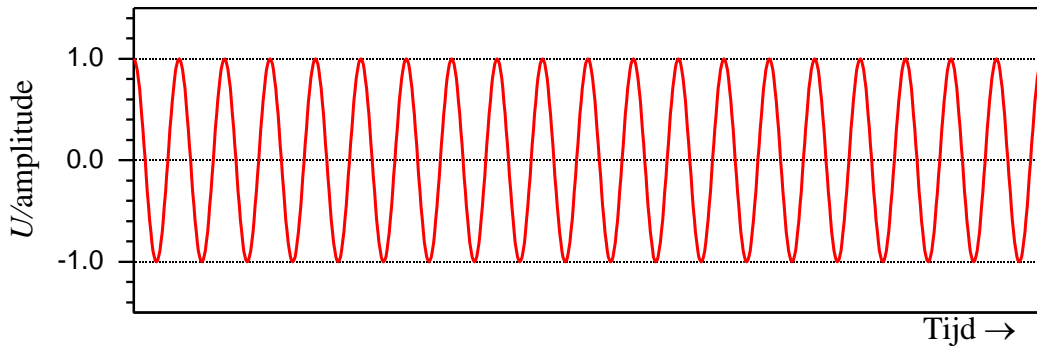
Bij AM varieert de amplitude van de draaggolf met die van het audiosignaal. Dat is voor te stellen met een potentiometer waarmee een frequentie in amplitude kan worden gevarieerd (Figuur 12.2-1).



Figuur 12.2-1. Het principe van amplitudemodulatie.

De loper van de potentiometer loopt in het ritme f_i op en neer. Daardoor loopt de amplitude van de draaggolffrequentie f_d op de uitgang van de schakeling mee met f_i . Dat lukt bij een potentiometer alleen bij een heel lage frequentie van f_i . Daarom is de schakeling van Figuur 12.2-1 in de praktijk onbruikbaar. Ze is alleen bedoeld om snel een idee te geven van wat AM is.

Een ongemoduleerde draaggolf is een sinusvormig RF (radiofrequent) signaal (Figuur 12.2-2).

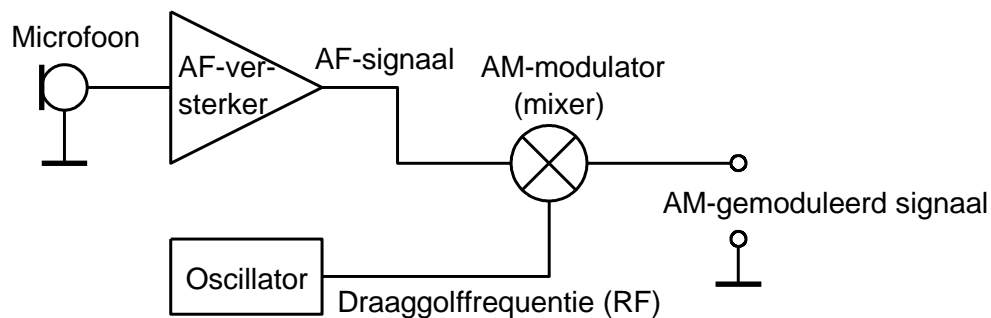


Figuur 12.2-2. Ongemoduleerde draaggolf.

De vraag is nu, hoe je de amplitude van de draaggolf kunt laten variëren met de momentele waarde van het audiosignaal (AF, audiofrequent signaal). Als die op zijn laagst is, is de amplitude van de draaggolf ook op zijn laagst. Is de momentele waarde van het audiosignaal maximaal, dan is de amplitude van de draaggolf dat ook.

Daarvoor dient een schakeling die *modulator* heet. Erin gaan het draaggolfsignaal en het audiosignaal en het gemoduleerde signaal komt eruit. Modulatie is geen simpele optelling van twee signalen. Dat zou leiden tot twee afzonderlijke frequenties waarvan er één, het audiosignaal, in een zender onmiddellijk sneuvelt, omdat daarin filters zitten die alleen het hoogfrequente signaal doorlaten. Dat geldt ook voor de antenne. Op deze manier blijft van het AF niets over.

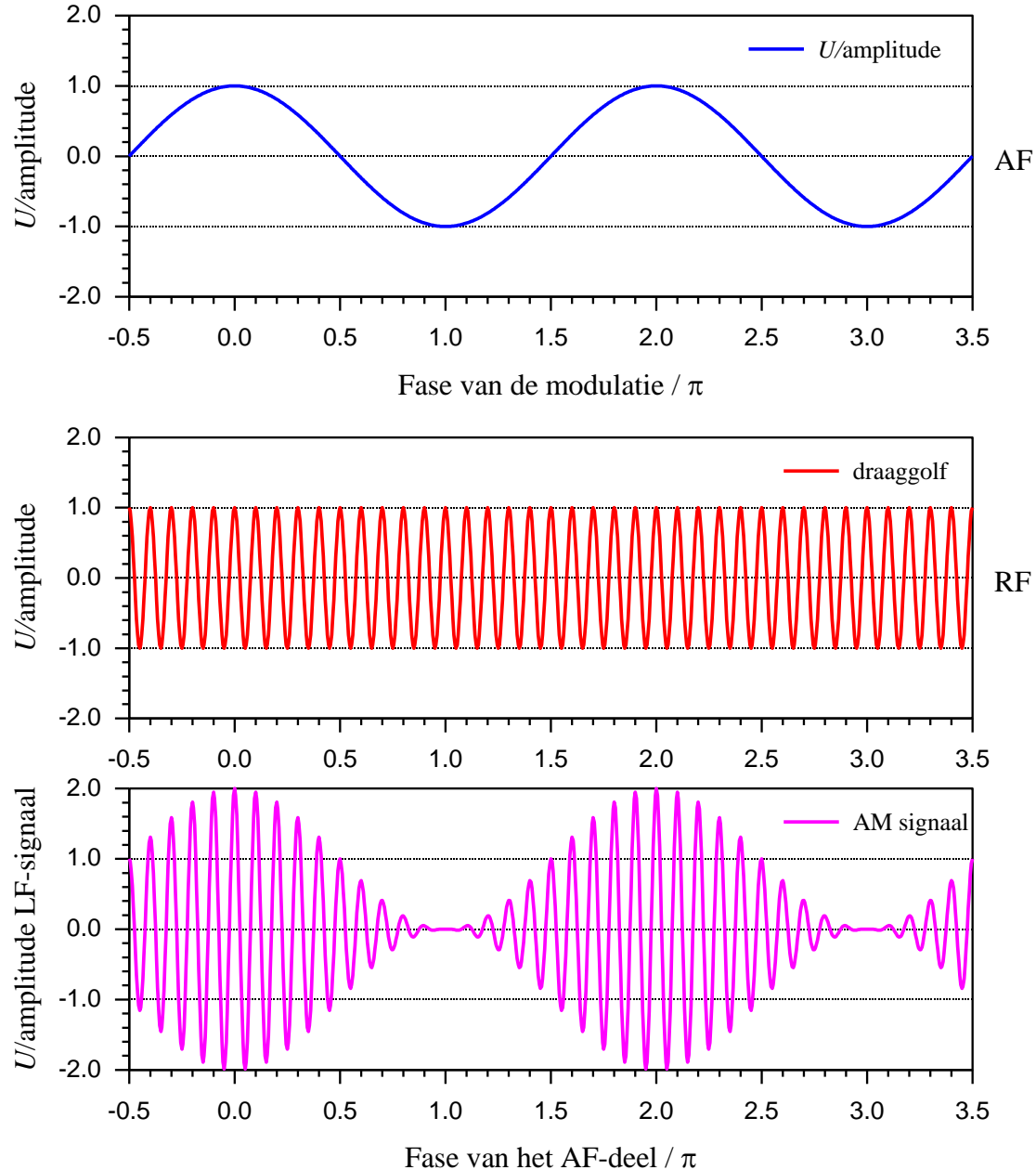
Wiskundig gezien is amplitudemodulatie het onderling vermenigvuldigen van beide signalen. Hoe dat elektronisch in zijn werk gaat, is geen N-examenstof. In blokschema ziet dat eruit als in Figuur 12.2-3. Het audiofrequente signaal (afgekort *AF* en meestal spraak) wordt in de microfoon van luchttrilling omgezet in een kleine wisselspanning. Die wordt versterkt in de AF-versterker. De oscillator levert het hoogfrequente signaal, de draaggolf. Beide komen terecht in de modulator die er een AM-gemoduleerd signaal van maakt.



Figuur 12.2-3. Blokschema met AM-modulator, microfoonversterker en draaggolfoscillator.

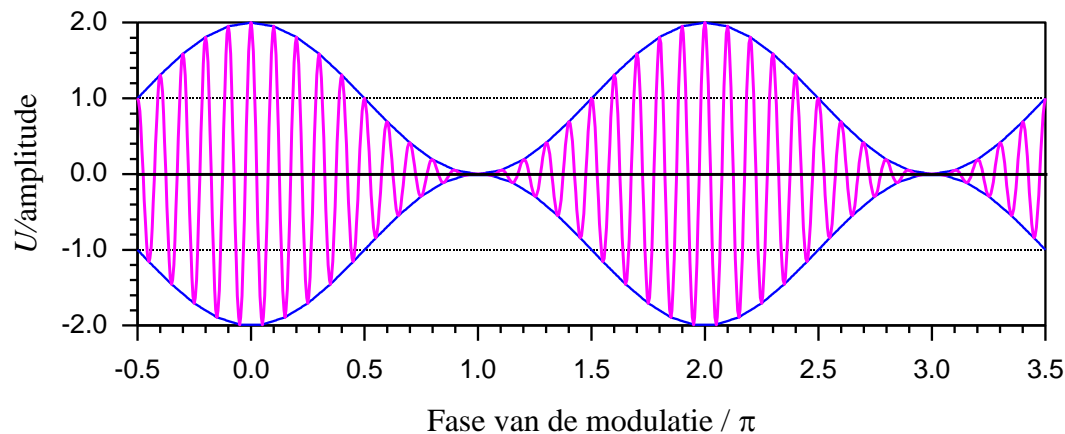
Figuur 12.2-4 geeft een indruk van de golfvormen. De verticale as geeft steeds het signaal gedeeld door zijn amplitude, zodat AF en HF beide tussen +1 en -1 variëren. De horizontale as geeft steeds de fase van het AF-deel (het modulerende signaal of kortweg

modulatie) in eenheden π (2π is hetzelfde als 360 graden, 1 volle sinusperiode). Een 1 op de horizontale as betekent daarom $1 \cdot \pi = \pi = 180^\circ$.



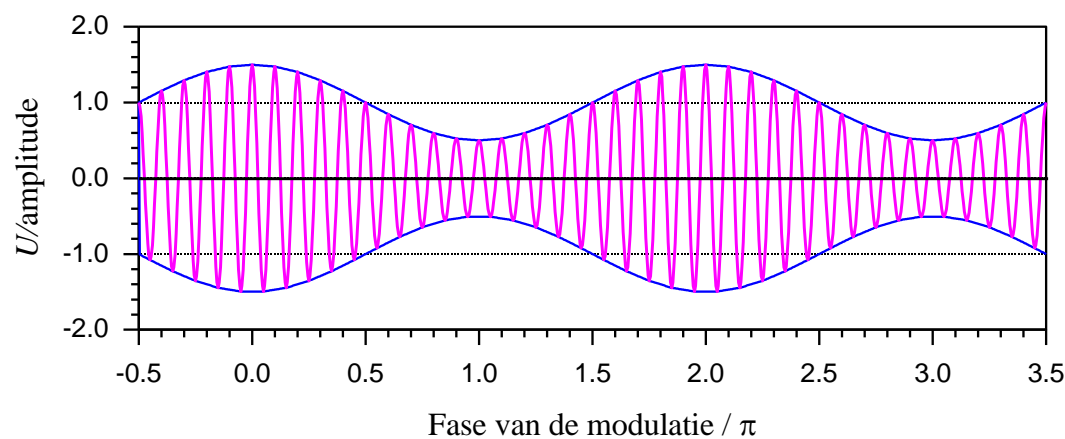
Figuur 12.2-4. Van audiosignaal (AF) en HF-draaggolf naar amplitudegemoduleerd HF-signaal.

Het AF-signaal in de AM-grafiek wordt duidelijker als we de bovenkanten van het AM-signaal onderling verbinden en hetzelfde doen met de onderkanten (Figuur 12.2-5).



Figuur 12.2-5. AM-sigitaal uit Figuur 12.2-4 met omhullende. De vorm van de omhullende is dezelfde als die van het oorspronkelijke AF-sigitaal: één keer zoals in de tweede grafiek van Figuur 12.2-4 en één keer het spiegelbeeld ervan.

Samen heten die twee krommen de *omhullende* of in het Engels *envelope*. De vorm is in beide krommen die van het modulerende sigitaal, de een gespiegeld ten opzichte van de ander. In Figuur 12.2-5 hebben ze dezelfde amplitude als de draaggolf. Daardoor wisselt de amplitude van het gemoduleerde sigitaal tussen 2x en 0x de draaggolfamplitude, gemiddeld 1x. De omhullende mag ook een kleinere amplitude hebben, bijvoorbeeld de helft (Figuur 12.2-6). De gemiddelde draaggolfamplitude blijft 1x de oorspronkelijke.



Figuur 12.2-6 AM-sigitaal als in Figuur 12.2-5, maar met AF-sigitaal met amplitude die de helft is van dat in Figuur 12.2-5,

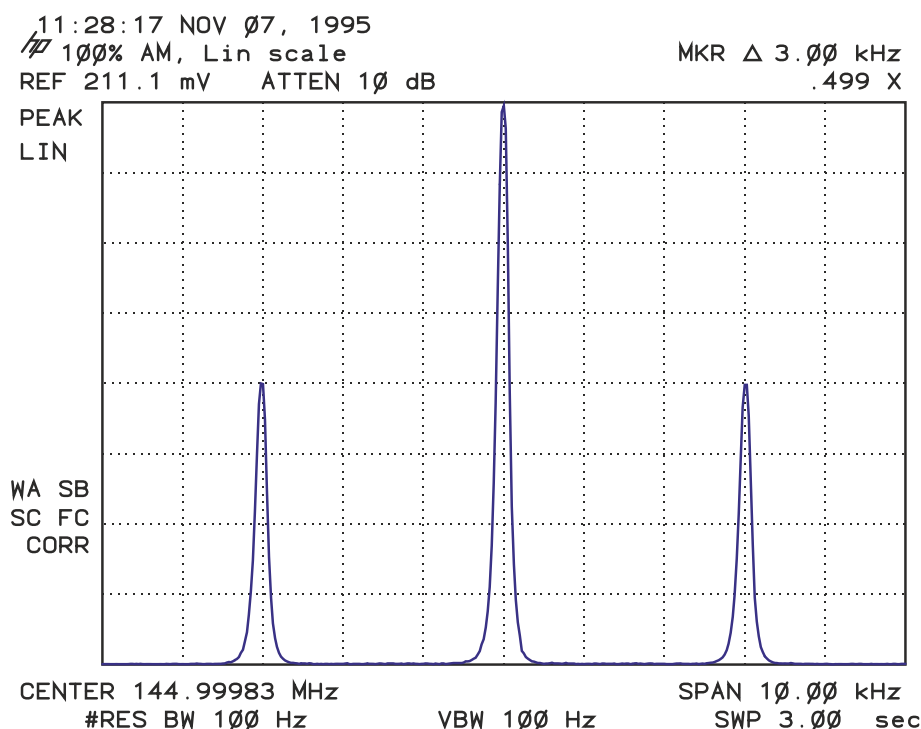
Pogingen om de modulatie een grotere amplitude te geven dan in Figuur 12.2-5 hebben geen zin. Die leiden tot overmodulatie. Overmodulatie betekent vervorming. Figuur 12.2-5 toont de maximale *modulatiediepte*, zoals dat bij AM heet. Minder modulerend sigitaal zoals in Figuur 12.2-6 kan, maar geeft bij ontvangst een zwakker geluid.

12.2.4 Het frequentiespectrum van AM

Hoewel de AM-signalen van Figuur 12.2-5 en Figuur 12.2-6 geen zuivere sinussen zijn, bevatten ze geen harmonischen. Ze zijn een optelsom van drie frequenties:

1. De draaggolffrequentie
2. De som van draaggolffrequentie en audiofrequentie
3. Het verschil van draaggolffrequentie en audiofrequentie

Figuur 12.2-7 laat het zien: een draaggolf op (praktisch) 145 MHz met amplitudemodulatie van een AF-sigitaal van 3 kHz. De figuur is afkomstig van een spectrumanalyzer. Dat is een instrument dat de frequentiesamenstelling (het spectrum) van een signaal laat zien.



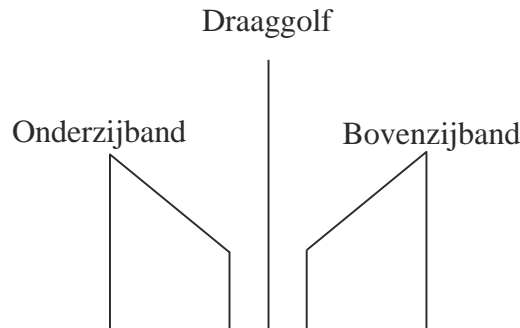
Figuur 12.2-7. Spectrum van een AM-sigitaal op 145 MHz met zijbanden 3 kHz erboven en 3 kHz eronder. Als amplitudes van de draaggolf en die van het modulerend sigitaal even groot zijn, dan zijn die van de zijbanden half zo groot (VRZA-cursus 1999, iets aangepast). Let niet op de bijschriften in de figuur.

Figuur 12.2-7 toont de amplitude van de draaggolf in het midden, geflankeerd door de som- en verschilfrequentie van draaggolf (HF) en modulerende frequentie (AF). De zijbanden, de som- en verschilfrequentie dus, hebben een amplitude die hoogstens half zo groot is als die van de draaggolf. Ze bevatten daarmee elk hoogstens een kwart van het draaggolfvermogen.

12.2.5 De bandbreedte van een AM-sigitaal

We zijn tot nu toe uitgegaan van een modulerend sigitaal dat bestaat uit 1 frequentie. Spraak bevat een heleboel frequenties tegelijk met evenzoveel amplitudes. Een amplitudemodulator levert van elke frequentie in het spraaksigitaal een setje van twee

zijbandfrequenties. Zo ontstaan aan weerszijden van de draaggolf twee frequentiegebieden die elkaars spiegelbeeld zijn. Figuur 12.2-8 laat ze in gestileerde vorm zien.



Figuur 12.2-8. Gestileerd frequentiespectrum van een AM-sigitaal met audiomodulatie (VRZA-cursus 1999).

De twee frequentiegebieden lopen van binnen naar buiten op. Dat is om te laten zien waar zich de lage en hoge spraakfrequenties bevinden. Met de amplitude van verschillende frequenties binnen het modulerende signaal heeft het niets te maken.

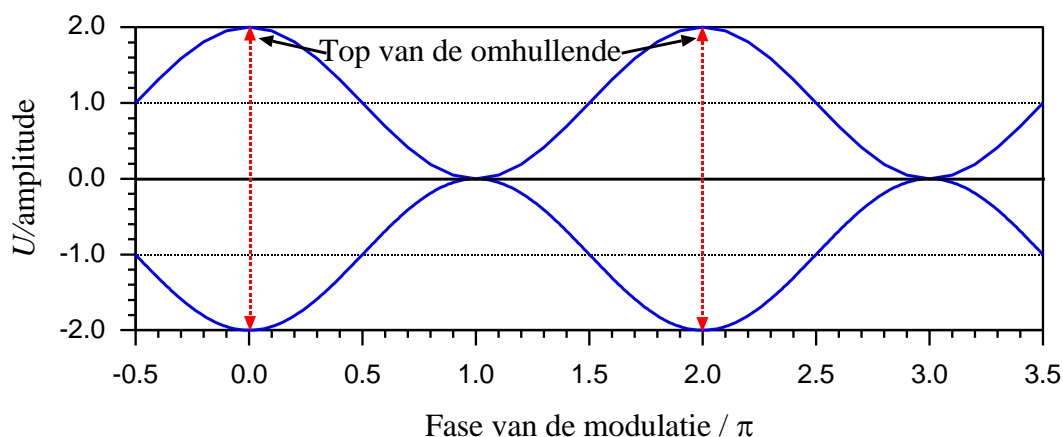
Bij spraakmodulatie met frequenties tot 3 kHz strekt de onderzijband zich uit tot 3 kHz onder de draaggolffrequentie en de bovenzijband tot 3 kHz erboven. Dan is de totale bandbreedte van dit AM-sigitaal 6 kHz. De bandbreedte van een AM-sigitaal wordt dan ook bepaald door de modulatie. Die is 2x de hoogste frequentie in het modulerende sigitaal. Om elkaar niet te storen, moeten daarom de draaggolffrequenties van twee AM-stations tenminste 1 bandbreedte uit elkaar liggen.

12.2.6 Het vermogen van een AM-sigitaal; Peak Envelope Power (PEP)

Zoals voor elke wisselspanning en -stroom geldt voor het gemiddelde vermogen P van een periode

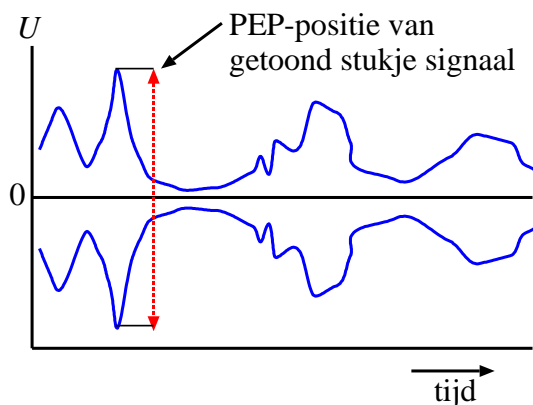
$$P = U_{eff} \cdot I_{eff} \quad (12.2-1)$$

Als alle perioden gelijk zijn zoals bij een “gewone” wisselstroom of -spanning, levert vergelijking (12.2-1) voor alle perioden dezelfde uitkomst. Maar bij een AM-sigitaal verandert de amplitude voortdurend. Dan is de uitkomst van vergelijking (12.2-1) voor elke signaalperiode anders. Daarom gaan we uit van het vermogen op het maximum van de signaalamplitude. Dat wordt aangeduid met de afkorting *PEP*. Die heeft niets met oppeppen te maken, maar staat voor *Peak Envelope Power*. Dat is een wat verwarrende term, want een omhullende is geen stroom of spanning. Het is niet meer dan een verbindingscurve. Die heeft geen vermogen. “Het gemiddelde vermogen van de periode bij de top van de omhullende” is een betere omschrijving. De top is in Figuur 12.2-9 aangegeven (de twee gestippelde verticale rode pijlen).



Figuur 12.2-9. Vorm van de omhullende (envelope) als de amplitude van draaggolf en modulerende frequentie gelijk zijn.

Bij een gemoduleerd spraaksignaal is het beeld veel rommeliger door het gelijktijdig optreden van allerlei frequenties met hun amplitudes. Figuur 12.2-10 geeft een wat meer “uit het leven gegrepen” voorbeeld van AM-spraakmodulatie met een plek waar een *PEP* zou kunnen vaststellen.



Figuur 12.2-10. Positie van PEP-punt in een stukje AM-modulatie dat wat meer “uit het leven gegrepen” is dan in vorige grafieken.

12.2.7 Waarin zit het vermogen van een AM-signaal?

We grijpen terug op Figuur 12.2-7, het plaatje uit de spectrumanalyser. Daarin staan de drie frequenties die in een AM-signaal zitten, als dat gemoduleerd is met 1 frequentie bij maximale modulatie diepte. De amplitude van de draaggolf is daar 2x zo hoog als die van beide zijbanden.

Dat betekent dat de vermogensverhouding onderzijband : draaggolf : bovenzijband gelijk is aan 1:4:1. Bij 100 W aan draaggolf en 2 x 25 W aan zijbanden hebben we 150 W aan signaal. Daarvan is maar een derde deel, 50 W, voor informatie. Het is zelfs nog erger: die informatie zit er dubbel in, want de ene zijband is het spiegelbeeld van de andere. Bij een



kleinere modulatie zoals in Figuur 12.2-6, is het rendement nog slechter. De vraag dringt zich op of dat niet wat efficiënter kan. Het antwoord is 'ja'.

Om te beginnen is de draaggolf een energievreter die geen informatie bevat, want die laatste zit in de zijbanden. Die mag dus weg. Dan bevat elke zijband nog eens dezelfde informatie, dus daarvan mag er ook één weg. Het signaal dat je dan overhoudt, bevat nog steeds alle informatie. Van onze 150 W van daarnet hebben we voor de informatieoverdracht dus eigenlijk maar 25 W nodig. Dat scheelt een factor 6. Bovendien wordt de bandbreedte 2x zo klein, dus er kunnen 2x zoveel stations op een stukje amateurband als bij AM.

Deze van AM afgeleide modulatie heet *Enkelzijband*, afgekort EZB of in het Engels *Single Side Band*, afgekort *SSB*. Er is zowat geen amateur die nog klassieke AM gebruikt, behalve soms bij nostalgische gelegenheden. Op EZB gaan we meteen hierna verder in.

12.2.8 Enkelzijbandmodulatie (EZB)

Er zijn twee vormen van EZB. Bij beide vormen houd je één zijband over, anders is het geen EZB, maar DZB (*dubbelzijband*). Soms is dat de bovenste zijband, dat is de zijband die het hoogst in frequentie is, op zijn Engels *Upper sideband (USB)*. In het andere geval gaat het om de onderste zijband, de band met de laagste frequenties; op zijn Engels *Lower Sideband (LSB)*.

Het hangt van de amateurband af, welke van de twee de voorkeur heeft. Op de banden met lagere frequenties (beneden ongeveer 10 MHz) is het over het algemeen LSB, op de banden met hogere frequenties USB.

Technisch maakt het niets uit of USB of LSB wordt toegepast. De bovenzijband bevat de som van de modulatiefrequentie en de oorspronkelijke draaggolffrequentie en de onderzijband het verschil. Iets meer rekenkundig uitgedrukt: draaggolffrequentie plus AF-frequenties (USB) of draaggolffrequentie min AF-frequenties (LSB). De amplitude van de modulerende frequentie zit in alle twee. Is er geen AF, dan wordt er in theorie niets en in de praktijk bijna niets uitgezonden.

Samengevat zijn de voordelen van EZB in vergelijking met AM in de vorm van (bijvoorbeeld) een 150 W-sigitaal met gelijke amplitudes van draaggolf en modulerend signaal de volgende.

- Efficiëntie: 25 W in plaats van 150 W voor dezelfde informatie;
- Nauwelijks de halve bandbreedte (2x zoveel ruimte op een amateurband).

Die voordelen zijn (weer eens) niet gratis. Het maken van EZB-modulatie is een ingewikkelder proces dan het maken van AM. Dat weegt op tegen de nadelen van AM. Er is dan ook praktisch geen zendateur te vinden die zich nog van AM bedient. EZB heeft in de amateurwereld de positie van AM nagenoeg helemaal overgenomen.

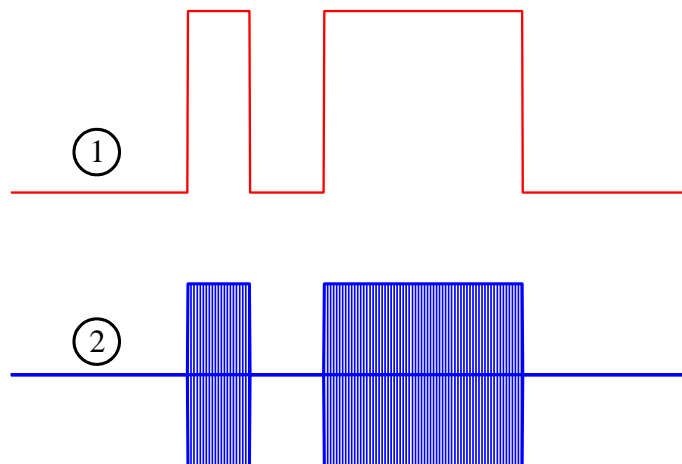
Doordat bij AM en zijn varianten (onder meer EZB) de informatie deels in de amplitude zit, zijn zendertrappen in klasse C (hoofdstuk 9) ongeschikt voor deze modulatiesoort. In klasse C wordt de omhullende vervormd en daarmee ook het overgebrachte AF-sigitaal.

12.2.9 Morse-telegrafie (CW)

Morse-telegrafie is de oudste manier om via radiogolven berichten over te brengen. Onder amateurs wordt deze manier van signaaloverdracht meestal aangeduid met de afkorting CW van *Continuous Wave*. Men wekte ooit signalen op door elektrische vonken tussen twee contactpunten te laten overspringen. Door het vonkapparaat met een seinsleutel in- en uit te schakelen, kon men een bericht overseinen. De Duitse woorden Funkamateer voor radioamateer en Rundfunk voor omroep herinneren eraan.

CW heeft in de wereld weinig betekenis meer, maar onder zendateurs leeft het volop. De belangrijkste redenen zijn dat een zender met weinig onderdelen is te maken en met weinig vermogen toch grote afstanden kunnen worden overbrugd.

Je kunt er geen spraak mee overbrengen, wel tekst. De modulatie is niet meer dan draaggolf aan, draaggolf uit. Tegenwoordig zou je het digitaal kunnen noemen, 0 of 1, maar het is ook te zien als een extreme vorm van AM. Figuur 12.2-11 laat het zien.

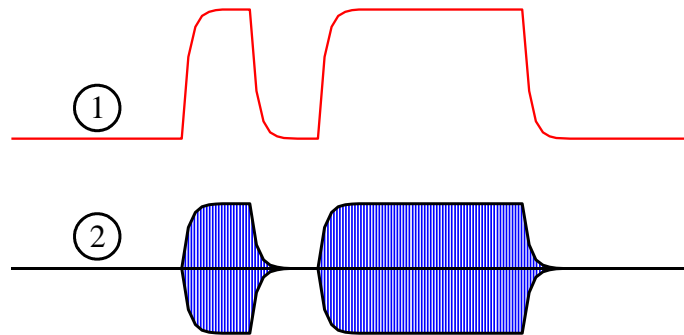


Figuur 12.2-11. Signaalvorm bij morse-telegrafie (CW). (1): bron (seinsleutel); (2) gemoduleerd signaal. De figuur toont de letter a.

De figuur toont de letter “a” in morseschrift. 1x kort, 1x lang of in telegrafistentaal: één *dit* en één *dah*. Een ontvanger maakt er een korte en een lange toon van.

In de praktijk wordt de plotselinge overgang van geen signaal naar signaal en omgekeerd gedempt via een laagdoorlaatfilter in het circuit van de seinsleutel. Dat is van belang omdat zo’n scherpe overgang ongewenste harmonischen veroorzaakt die je bij ontvangst (en als het tegenzit uit een luidspreker of koptelefoon bij de bureu) hoort als zogenaemde *sleutelclicks*.

Als die demping wordt doorgegeven naar het CW-sigitaal, ziet het beeld van Figuur 12.2-11 er in werkelijkheid ongeveer uit als in Figuur 12.2-12.



Figuur 12.2-12. Signaalvorm bij CW met filtering. (1) bron; (2) gemoduleerd signaal.

Het voordeel van CW is dat het heel smalbandig is. Filters voor CW in zendontvangers hebben doorgaans een bandbreedte van 200-500 Hz. Dat is ongeveer 8-20% van de bandbreedte van een gebruikelijk EZB-filter (circa 2400 of 2700 Hz). Dat leidt tot overeenkomstig minder ruis. Bovendien hoef je geen woorden met veel klanken te verstaan; het ritme van de piepjes kunnen volgen is genoeg. Nadeel: je hebt er leertijd voor nodig. Een half of een heel jaar elke dag een kwartiertje tot een half uurtje oefenen is voor de meeste mensen noodzakelijk (en vaak voldoende).

CW kan door een in klasse C geschakelde eindtrap zonder meer worden verwerkt, want de informatie zit in de afwisseling van wel en geen draaggolf. Bij de andere klassen van instelling werkt CW overigens ook.

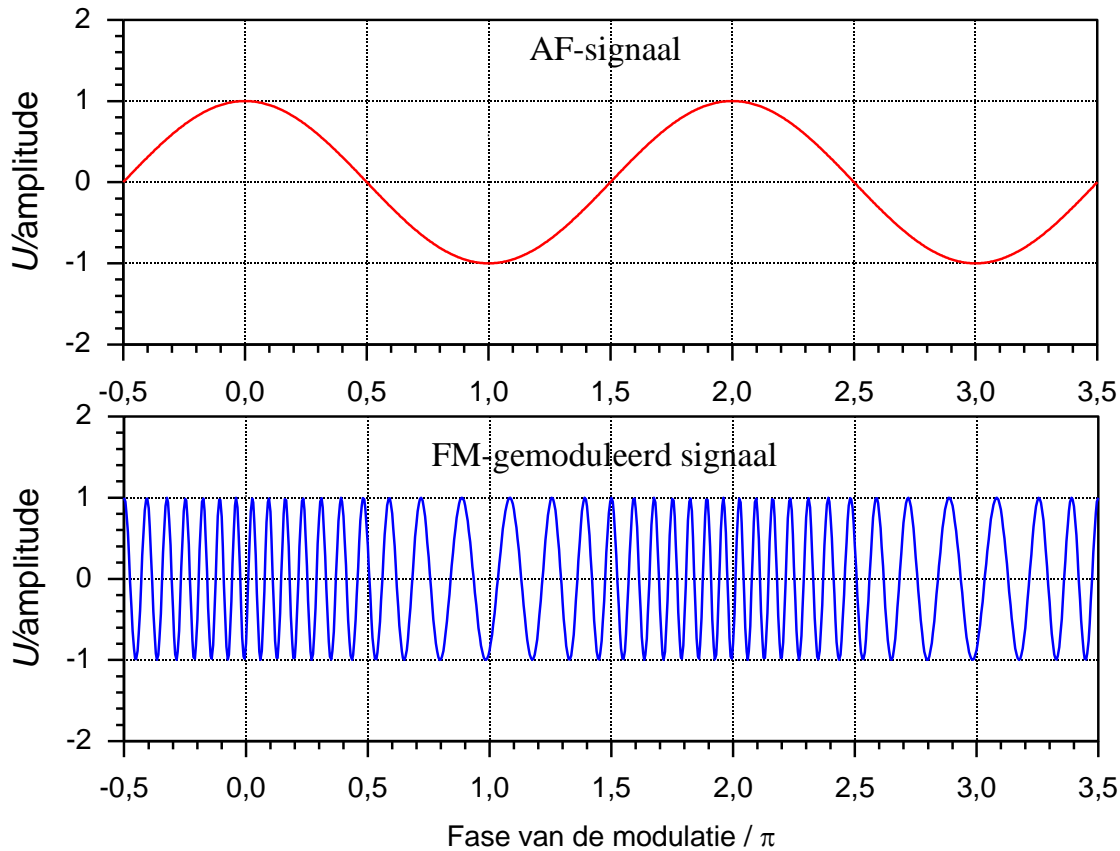
12.2.10 Frequentiemodulatie (FM)

De golfvorm

Het nadeel van alle vormen van AM is, zoals eerder opgemerkt, de gevoeligheid voor storingen. Storingen hebben bijna altijd een AM-karakter. De klik in een schakelaar, een elektromotor en vele andere zaken waarbij een stroom even loopt of even wordt onderbroken. Dat heeft mede geleid tot de ontwikkeling van andere modulatievormen die ongevoelig zijn voor de amplitude van het signaal. FM, frequentiemodulatie, is zo'n vorm. Die moduleert niet de hoogte, maar de breedte van elke draaggolfperiode, dus de periodetijd. Als je periodetijd T met het modulerende signaal laat variëren, varieer je de frequentie f , want

$$f = \frac{1}{T} \quad (12.2-2)$$

Figuur 12.2-13 laat een voorbeeld zien van een AF-sigitaal en een ermee gemoduleerd FM-sigitaal.



Figuur 12.2-13. FM-sigitaal in grafiekvorm. Boven het AF-sigitaal, onder het FM-gemoduleerde sigitaal.

Ter wille van de zichtbaarheid in de figuur is de frequentieverandering in het FM-gemoduleerde sigitaal flink overdreven. De *frequentiezwaai* Δf (de Δ spreek je uit als *delta*) is het verschil tussen de draaggolffrequentie f_d en de hoogste momentele frequentie f_{max} in het gemoduleerde sigitaal:

$$\Delta f = f_{max} - f_d \quad (12.2-3)$$

Als f_{max} en f_{min} even ver van f_d liggen, is de modulatie symmetrisch. Dan geldt ook

$$\Delta f = f_d - f_{min} \quad (12.2-4)$$

Een goede FM-modulator levert symmetrische modulatie. 1 V omhoog of omlaag op het modulerende sigitaal geven een even grote maar omgekeerde frequentieverandering.

De modulatie-index m is de verhouding van de frequentiezwaai en de modulerende frequentie f_i (met de *i* van *informatie*). Die laatste is het AF-sigitaal in de bovenste grafiek van Figuur 12.2-13:

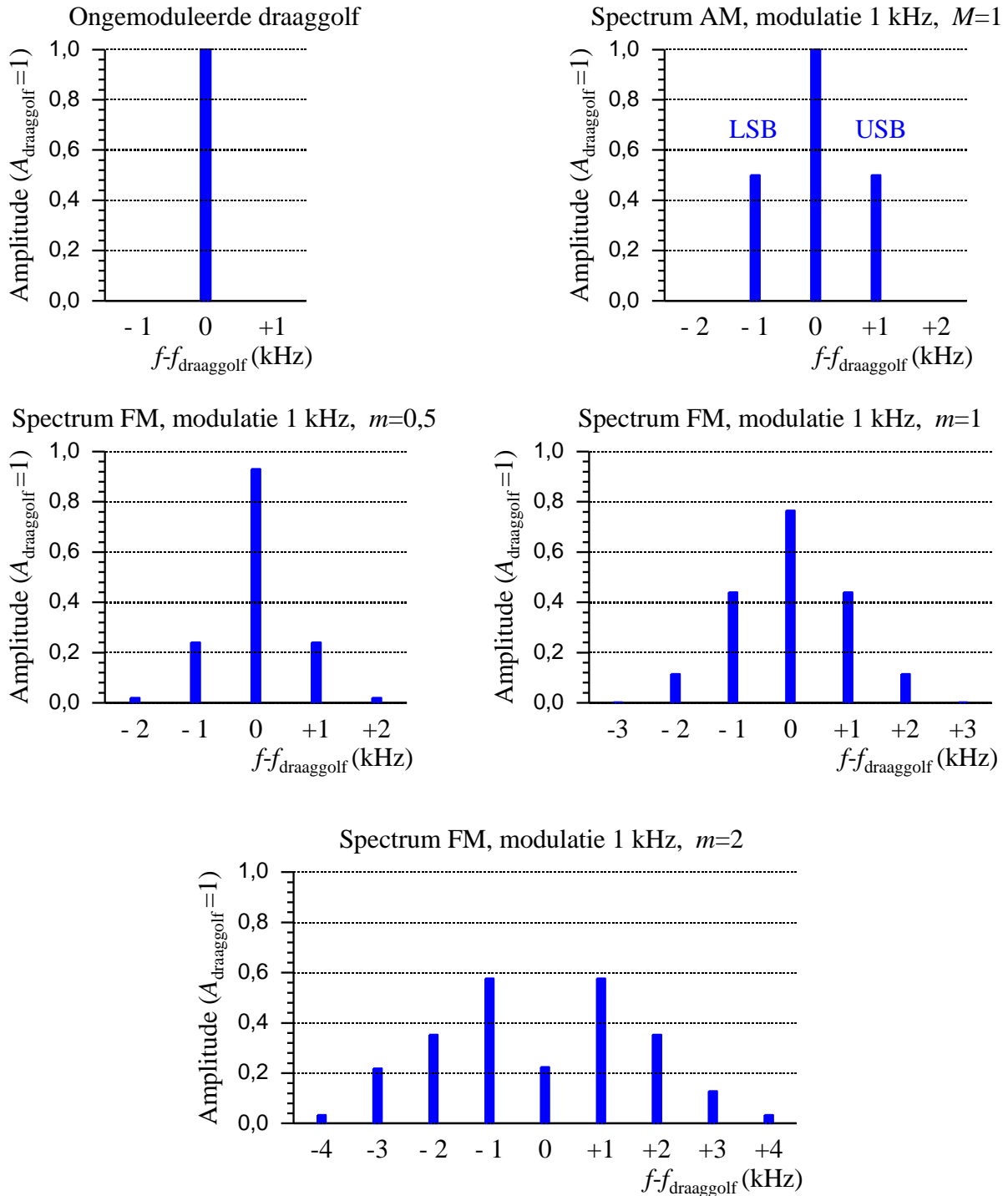
$$m = \frac{\Delta f}{f_i} \quad (12.2-5)$$



Bandbreedte van FM

De oplettende lezer zal zich misschien hebben afgevraagd of de frequentieverandering in een FM-gemoduleerd signaal een afwijking van de zuivere sinusvorm betekent. Dat is het geval. Dat betekent zijbanden en zijbanden betekenen meer bandbreedte. Het spectrum van een FM-signaal omvat de draaggolfrequentie met aan weerskanten frequenties op afstanden die hele veelvoudigen zijn van de modulerende frequentie. Een draaggolf van bijvoorbeeld 1000 kHz die met 1 kHz is gemoduleerd, bevat de draaggolf zelf, frequenties van 1001 en 999 kHz, 1002 en 998 kHz, 1003 en 997 kHz, enz. Hoe verder van de draaggolf, des te kleiner wordt hun amplitude. In theorie gaat dat oneindig ver door. In werkelijkheid worden deze modulatieproducten met toenemend verschil met de draaggolfrequentie zo klein dat ze in de ruis verdwijnen. De modulatie-index m bepaalt het aantal zijbanden waarmee rekening moet worden gehouden.

Figuur 12.2-14 laat enkele spectrumgrafieken zien. Als vergelijkingsmateriaal is ook een AM-spectrum opgenomen.



Figuur 12.2-14. Spectra van een draaggolf (linksboven), een AM-sigitaal met 100% modulatie diepte (rechtsboven), FM-modulatie met modulatie-index $m=0,5$ (midden links), $m=1$ (midden rechts) en $m=2$ (onder). Alle modulerende frequenties zijn 1 kHz.

De FM-grafieken laten zien dat bij toenemende modulatie-index m het spectrum breder wordt. Het vermogen op de draaggolffrequentie wordt als het ware “opgegeten” door de



zijbanden. Bij een m van 2,5 bijvoorbeeld, krijgt de draaggolfamplitude een negatieve waarde. Dat betekent dat die frequentie in tegenfase is met de oorspronkelijke draaggolf!

De figuur laat zien dat een hogere modulatie-index en een hogere modulatiefrequentie beide tot een grotere bandbreedte leiden. De bandbreedte van een FM-sigitaal is dan ook groter dan die van een AM-sigitaal, laat staan die van een EZB-sigitaal.

Een lastig punt bij FM is dat je niet kunt zeggen, waar het spectrum ophoudt. Strikt genomen houdt het nergens op. Daarom wordt de bandbreedte van een FM-sigitaal vaak gedefinieerd als het frequentiegebied waarbinnen 99% van het uitgezonden vermogen zit. Dat betekent dat 1% buiten deze "bandbreedte" ligt. Een veel gehanteerde vuistregel voor deze bandbreedte B bij een m die niet veel groter mag zijn dan 1 (frequentiezwaai en modulerende frequentie zijn gelijk), is dat B ongeveer twee keer de som van frequentiezwaai en modulerende frequentie is. Deze regel staat bekend als de regel van Carson die hem publiceerde in 1922, toen hij bij AT&T werkte. In de vorm van een vergelijking:

$$B \approx 2(f_i + \Delta f) \quad (12.2-6)$$

Als je f_i buiten de haakjes zet, wordt dat

$$B \approx 2f_i \left(1 + \frac{\Delta f}{f_i}\right)$$

In het rechterlid van (12.2-6) herkennen we vergelijking (12.2-5) voor de modulatie-index m . We mogen de regel van Carson dus ook schrijven als

$$B \approx 2f_i(1 + m) \quad (12.2-7)$$

De vergelijkingen (12.2-6) en (12.2-7) vertellen hetzelfde. Hieronder volgt een getallenvoorbeeld om een idee te geven van de bijbehorende bandbreedten.

Op amateurbanden wordt meestal een hoogste audiofrequentie f_i gehanteerd van 3 kHz. Als de maximale frequentiezwaai, of kortweg *zwaai*, gelijk is aan diezelfde 3 kHz, is $m=1$ en dan vinden we voor B :

$$B \approx 2f_i(1 + m) = 2 * 3 * (1 + 1) \text{ kHz} \approx 12 \text{ kHz}$$

Voor $m = 0,5$ wordt dat

$$B \approx 2f_i(1 + m) = 2 * 3 * (1 + 0,5) \text{ kHz} \approx 9 \text{ kHz}$$

Vergelijk dat met de bandbreedte van EZB (SSB): voor een f_i met een frequentiegebied tussen 300 Hz en 3 kHz is dat 2,7 kHz!

Een FM-ontvanger moet die grote FM-bandbreedte kunnen verwerken. Maken we de bandbreedte van het FM-sigitaal te groot voor de ontvanger, dan kan de ontvanger het oorspronkelijke sigitaal niet goed detecteren. Het geluid dat je dan hoort, lijkt op dat van



overmodulatie bij AM. Een verschil is dat bij AM en daarvan afgeleide modulaties de vervorming al in de zender ontstaat en bij FM in de ontvanger.

Bij FM is de amplitude van het gemoduleerde signaal constant. Kijk maar naar Figuur 12.2-13. Bij AM en daarvan afgeleide modulatievormen is dat niet zo. Bij een EZB-signaal bijvoorbeeld, varieert de amplitude van het gemoduleerde signaal met die van het modulerende signaal. Het gevolg is dat FM nauwelijks gevoelig is voor storingen die een AM-karakter hebben, zoals piekjes op het lichtnet, oude elektrische koffiemolens of onweer.

FM kan door een in klasse C geschakelde eindtrap goed worden verwerkt, want de informatie zit in de frequentie en die verandert bij klasse C niet. Ook de andere klassen van instelling kunnen FM probleemloos verwerken.

Nadelen van FM

- In tegenstelling tot AM en zijn varianten levert een FM-zender altijd evenveel vermogen, ook al is het modulerende signaal afwezig. Een zendervoeding wordt met FM dan ook een flink stuk warmer dan met EZB bij eenzelfde PEP.
- Door de minstens 3x zo grote bandbreedte is FM minder geschikt dan EZB voor het overbruggen van grote afstanden. Aan de ontvangstkant wordt dan namelijk ook minstens 3x zoveel ruis ontvangen (evenredig met de bandbreedte dus).
- De bandbreedte maakt FM minder geschikt voor de toch al drukke amateurbanden op de korte golf. Je vindt FM dan ook voornamelijk op de hogere amateurfrequenties waar de beschikbare frequentieruimte groter is.

Voordelen van FM

- De afstemming bij ontvangst is weinig kritisch. Van een afstemfout van 1 of 2 kHz merk je weinig.
- De constructie van de zender is eenvoudiger dan bij EZB. HF-trappen kunnen worden ingesteld in klasse C, want de amplitude speelt geen rol bij de informatieoverdracht.
- FM heeft minder last van storingen dan EZB omdat die merendeels beïnvloeding van de amplitude inhouden. Je kunt ze in de ontvanger onderdrukken met een schakeling die de amplitude begrenst door alles wat boven een bepaalde amplitude zit, “op maat te knippen”. Zo’n schakeling heet niet voor niets een *clipperschakeling*. Een soort schaartje dat de rafelrandjes glad knipt.
- De beïnvloeding van FM door andere elektronische apparaten is gering, doordat ook die vooral amplitudeveranderingen produceren. Daar trekt een FM-ontvanger zich niets van aan.
- Bij gebruik van FM is er nauwelijks kans dat je stem (vervormd) uit de luidspreker bij de burens komt. Bij EZB is dat wel anders. Daarover zullen we het in hoofdstuk 16 hebben. Een zendateur moet in staat zijn, zulke storingen te verhelpen.

12.3 Modulatoren en zenders

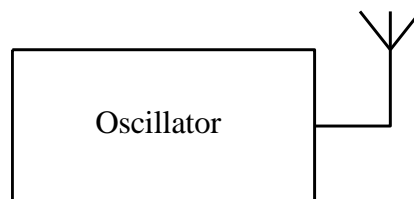
12.3.1 Inleiding

Een zender bevat een aantal deelschakelingen. Een oscillator is een onmisbaar element, anders is er niets om uit te zenden. We zullen in deze paragraaf zenders weergeven in de vorm van blokschema's. Elk blok vervult een functie. Sommige blokken hebben we in voorgaande hoofdstukken al zien 'langskomen'. Een uitzondering zijn modulatoren. Die komen daarom in deze paragraaf ook aan bod. We beginnen zo eenvoudig mogelijk, waarna we geleidelijk blokken toevoegen.

12.3.2 Een zender zonder modulator

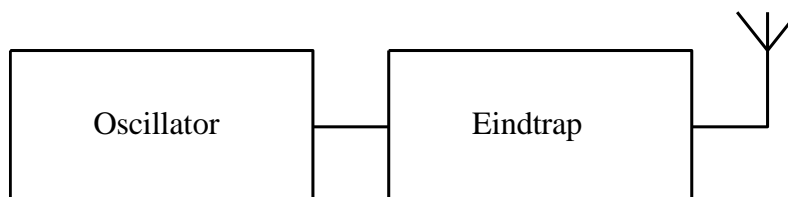
Een zender zonder modulator kan alleen een draaggolf uitzenden. Door de draaggolf te onderbreken, kan informatie worden overgebracht. Dat is de telegrafie- of CW-zender.

De simpelste uitvoering is een oscillator met een antenne eraan en een seinsleutel voor de signaalonderbreking. Die laatste tekenen we terwille van de eenvoud niet in. Figuur 12.3-1 toont het plaatje.



Figuur 12.3-1. Blokschema van een zender die alleen bestaat uit een oscillator.

Een zender als in Figuur 12.3-1 kan alleen goed werken als de oscillator ongevoelig is voor belastingvariaties. Een variatie in de belasting heeft gevolgen voor de frequentie. Een vogel die op de antenne gaat zitten is in beginsel voldoende om de frequentie merkbaar te laten veranderen. Bovendien is het voor de frequentiestabiliteit nodig dat de oscillator zo min mogelijk van temperatuur verandert. Dat betekent dat onze oscillator minimaal vermogen moet leveren. Voor meer vermogen en een frequentie die onafhankelijk is van de belasting, moet er een versterker komen tussen oscillator en antenne. De versterker tussen de eigenlijke zender en de antenne is de *vermogensversterker*. Toepasselijker is *eindtrap*. Zie Figuur 12.3-2. De term *vermogensversterker* komt wel eens voor in examenopgaven.



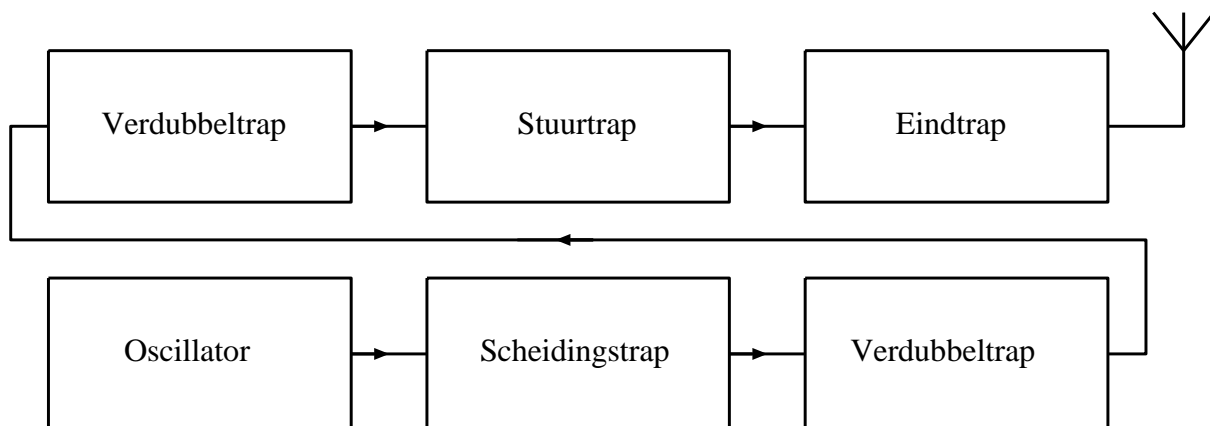
Figuur 12.3-2. Blokschema van een zender die bestaat uit een oscillator en een eindtrap.

Ook nu wordt de oscillatortrap nog steeds belast, want de eindtrap neemt vermogen uit de oscillator op. Voldoende extra versterking tussen oscillator en eindtrap neemt dat nadeel weg. Dat gebeurt door een zogenoemde *driver* of *stuurtrap* die de eindtrap aanstuurt en de belasting van de oscillator verder verkleint. Dan krijgen we Figuur 12.3-3.



Figuur 12.3-3. Blokschema van een zender die bestaat uit een oscillator, een eindtrap en een stuurtrap ertussen

Vrijlopende oscillatoren, dat zijn oscillatoren gebaseerd op een LC-kring, zijn over het algemeen stabiel, naarmate hun frequentie lager is. Als toch een hogere frequentie gewenst is, is frequentievermenigvuldiging een optie. Dat laatste proces komt er kort gezegd op neer dat een sinusvormige wisselspanning flink wordt vervormd. Dat leidt tot harmonischen. Uit die harmonischen wordt via een afgestemde kring de gewenste frequentie, soms de tweede, vaak de derde harmonische, geselecteerd, waarna die verder wordt versterkt (Figuur 12.3-4).



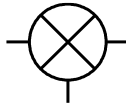
Figuur 12.3-4. Blokschema van een zender als in Figuur 12.3-3, aangevuld met twee trappen voor frequentievermenigvuldiging, in totaal dus een verviervoudiging van de frequentie.

Hoe hoger de harmonische, des te kleiner de amplitude. In Hoofdstuk 5 hebben we dat in een filmpje laten zien voor een blokgolf. Wie het nog eens wil zien, klikt [hier](#). Het is een goede reden om geen hogere harmonische dan de tweede of derde te kiezen.

12.3.3 Mengschakelingen en het maken van EZB

Inleiding, schemasymbool

Mengschakelingen zijn schakelingen die een som- en een verschilfrequentie maken uit twee frequenties. Sommige laten de oorspronkelijke frequenties ook door. Ze hebben twee ingangen, voor elke frequentie één. Er is één uitgang voor de mengproducten. Figuur 12.3-5 toont het schemasymbool.



Figuur 12.3-5. Schemasymbool van een mengschakeling (mixer) met aansluitingen.

Mengschakelingen (mixers)

Een mixer voor AM levert aan zijn uitgang een mengsel van

1. Beide ingangssignalen
2. Hun som- en verschilfrequentie

Om AM-modulatie te krijgen waarin de zijbanden hun maximale amplitude hebben zoals weergegeven in Figuur 12.2-7, is een bijzondere vorm nodig. Die maakt geen onderdeel uit van de exameneisen voor N.

Een *gebalanceerde mixer* onderdrukt één van beide ingangsfrequenties. Die is bijvoorbeeld geschikt om de draaggolf te onderdrukken, zodat alleen de zijbanden en het AF-signaal overblijven.

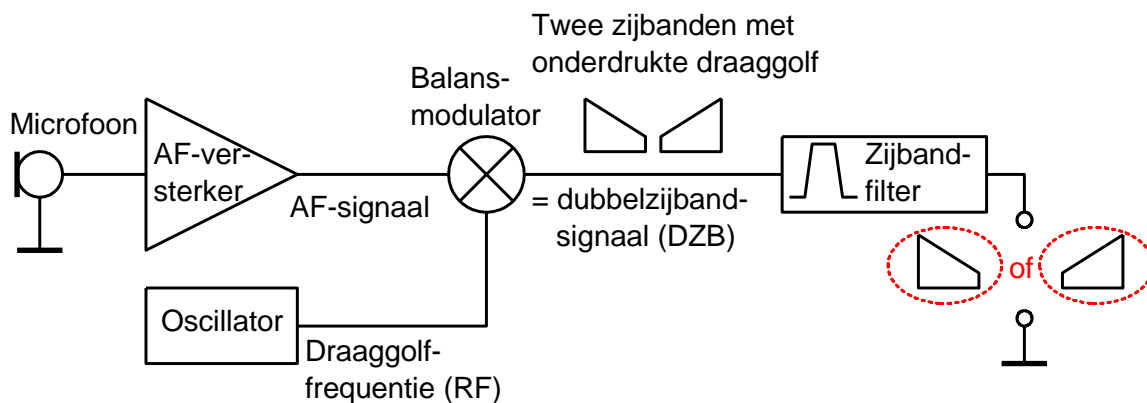
Een *dubbel gebalanceerde mixer* onderdrukt beide ingangssignalen, zodat alleen som- en verschilfrequentie overblijven.

Het maken van EZB

Het maken van EZB (enkelzijband) gaat meestal in twee stappen. Eerst worden de twee zijbanden zonder draaggolf aangemaakt, waarna door een scherp filter, doorgaans een kristalfilter, één van de twee zijbanden wordt onderdrukt en de ander doorgelaten. Deze methode staat bekend onder de naam *filtermethode*.

Er is een tweede manier, de fasemethode. Die valt niet onder de N-eisen en zelfs niet onder de eisen voor F. In hoofdstuk 12 van de F-cursus is er wel een kadertje aan gewijd, maar met de aantekening erin dat het ook voor F geen examenstof is.

Figuur 12.3-6 laat een EZB-modulator in blokschema zien.



Figuur 12.3-6. EZB-modulator in blokschema. De overgebleven zijband is rood omcirkeld. In het schema staan twee zijbanden met het woordje 'of' ertussen om aan te geven dat maar één van de twee overblijft.

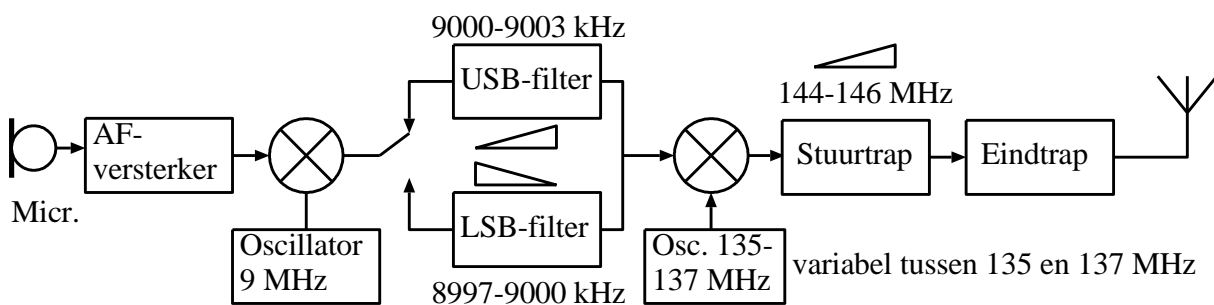
We lopen de schakeling van links naar rechts na. De toegepaste modulator is een balansmodulator. Daarin wordt via fase-omkering de draaggolf op listige wijze onderdrukt. Het restje dat ervan overblijft (1% of iets in die richting), mag worden verwaarloosd. De twee zijbanden blijven dan over. Die modulatie heet DZB, dubbelzijband. In N-examens komt die voor, maar altijd in een fout antwoord, want DZB zit niet in de N-exameneisen.

In het zijbandfilter wordt één van de twee zijbandfrequenties onderdrukt en de andere doorgelaten. Een zijbandfilter is doorgaans een kristalfilter. Voor omschakeling tussen USB en LSB heb je twee afzonderlijke filters nodig.

Vaak is de oscillator afstembaar. In schema's vind je dan vaak de afkorting VFO, de *Variable Frequency Oscillator*.

Voor EZB is een enkel gebalanceerde mengschakeling voldoende. Die moet zo zijn geschakeld, dat de draaggolf de ingangsfrequentie is die in het mengproces (modulatieproces) verwijderd wordt. Het overblijvende AF sneuvelt vanzelf in het zijbandfilter.

De EZB wordt vaak gemaakt op een andere frequentie dan de zendfrequentie. Een tweede oscillatorfrequentie leidt via een tweede mengtrap tot de eindfrequentie. De eerste oscillator levert dan een vaste frequentie en de twee zijbandfilters zijn kristalfilters op een eveneens vaste frequentie. Figuur 12.3-7 geeft een voorbeeld in de vorm van een blokschema van een EZB-zender voor de twee meterband (144-146 MHz)



Figuur 12.3-7. Blokschema van een zender voor de amateurband 144-146 MHz.

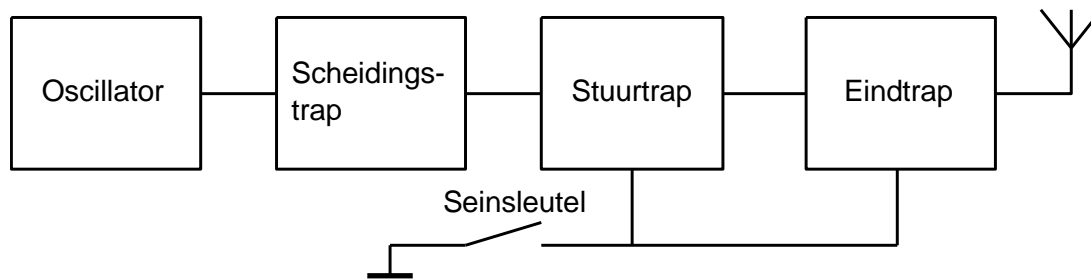
12.3.4 Schakelingen voor CW

Uit de tekst over EZB blijkt dat een EZB-zender geen eenvoudig apparaat is. Vergeleken daarmee is de CW-zender een wonder van eenvoud. Als we met een seinsleutel de eindtrap aan en uit kunnen schakelen in het ritme van het signaal, zijn we in theorie klaar. Zoals in 12.2.9 al is beschreven, moeten we wel maatregelen (laagdoorlaatfilter) nemen tegen sleutelclicks.

Aan/uit schakelen van een versterkertrap, wat bij morse-telegrafie in de modulatie is ingebakken, beïnvloedt niet alleen de trap zelf, maar kan ook de voorgaande trap

beïnvloeden. Dan moet die voorgaande trap niet de oscillator zijn. Dat zou leiden tot instabiliteit van de zendfrequentie en dat is niet de bedoeling. Daarom wordt vaak een tussentrap die meestal *scheidingstrap* heet, ingebouwd tussen oscillator en stuurtrap.

Nemen we Figuur 12.3-3 (Blok-schema van een zender die bestaat uit een oscillator, een eindtrap en een stuurtrap ertussenin) als uitgangspunt, dan ontstaat door de toevoeging van de scheidingstrap Figuur 12.3-8.



Figuur 12.3-8. Blok-schema van een CW-zender waarin de seinsleutel tegelijkertijd de stuurtrap en de eindtrap schakelt.

Zowel de stuurtrap als de eindtrap worden gesleuteld. De reden daarvoor is dat bij alleen sleutelen van de eindtrap bij open seinsleutel toch nog enig HF de antenne bereikt, want een open seinsleutel is ook een (kleine) condensator. Door de dubbele onderbreking wordt dat effect onderdrukt.

De oplettende lezer zal zich misschien afvragen hoe zo'n eindtrap met zijn grote stroomverbruik dan wordt gesleuteld. Dat gebeurt doorgaans niet in het emitter- of collectorcircuit waar de grootste stroom loopt, maar bij een transistor eindtrap via de basis. Bij een FET wordt dat de gate en bij een buis (geen examenstof) het stuurrooster.

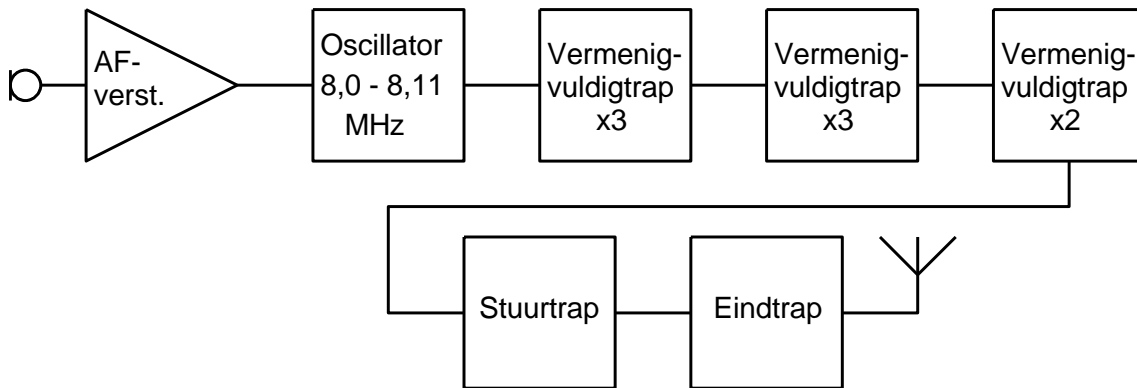
12.3.5 Schakelingen voor FM

De modulatie van een FM-zender wordt verkregen door het AF-signaal toe te voeren aan de oscillator van de zender. Die moet daarvoor een modulatie-ingang hebben. Eventueel kan die oscillator met de hand verder worden verstemd, zodat de draaggolffrequentie regelbaar is.

Het AF varieert de spanning over een afstemdiode die deel uitmaakt van de LC-kring van de oscillator. De afstemdiode kennen we uit hoofdstuk 7. Een halfgeleiderdiode in sperrichting gedraagt zich als een kleine condensator, waarvan de capaciteit afhangt van de grootte van die spanning. Daarvoor zijn speciale dioden verkrijgbaar. Dit soort diode is geen N-examenstof, maar komt desondanks voor in examenvragen, zij het altijd in een fout meerkeuze-antwoord. Zo'n diode heet ook wel *capaciteitsdiode* of *varicap*.

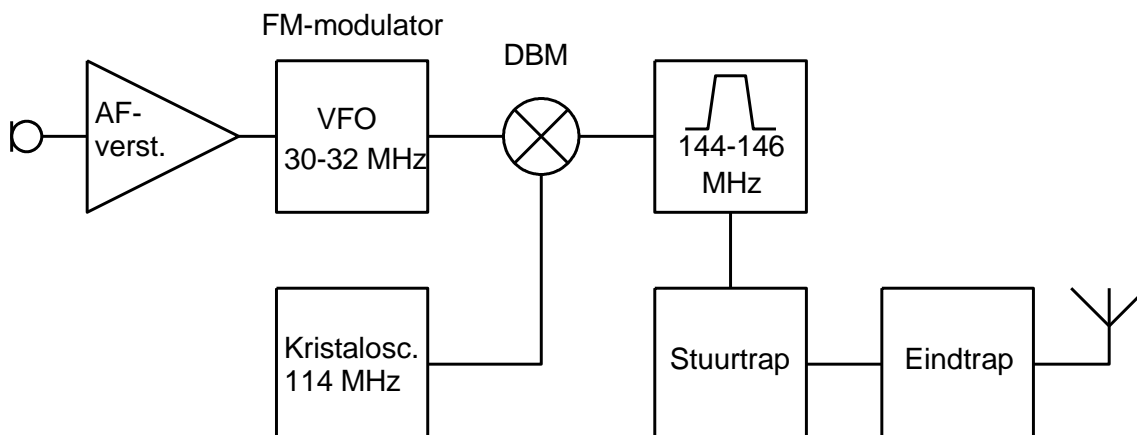
Een vrijlopende oscillator kan een goede keus zijn bij niet al te hoge HF-frequenties, maar voor hogere frequenties, bijvoorbeeld de 2-meter amateurband (144-146 MHz) is dat wegens te grote frequentie-instabiliteit niet aan te raden.

Om dit soort problemen op te lossen, kan bijvoorbeeld de FM-modulator op een lage frequentie werken, waarna een frequentie uit een veel stabielere kristaloscillator via een mengschakeling de zaak op een hogere frequentie brengt. Frequentievermenigvuldiging kan ook worden toegepast, hoewel die op het moment van schrijven van deze tekst (2023) een wat achterhaalde techniek is geworden. Figuur 12.3-9 laat een voorbeeld zien.



Figuur 12.3-9. Blokschema van een FM-zender met frequentievermenigvuldiging voor 144-146 MHz.

Het kan ook met een kristaloscillator en een mengtrap. De frequentie van de afstembare oscillator (VFO) die tegelijkertijd als modulator dienst kan doen, wordt dan met behulp van een vaste frequentie uit een kristaloscillator en een dubbel gebalanceerde mengtrap 'opgetild' naar de eindfrequentie (Figuur 12.3-10).



Figuur 12.3-10. Blokschema van een FM-zender waarin de VFO-frequentie met behulp van de frequentie uit een kristaloscillator via een dubbel gebalanceerde mixer (DBM) wordt verhoogd, ook in dit geval naar de 2-meter band, 144-146 MHz.

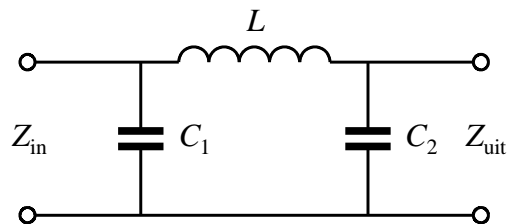
De VFO (*Variable Frequency Oscillator*) dient voor de afstemming en is tegelijk modulator. Het signaal gaat met dat van de kristaloscillator de DBM (*Double Balanced Mixer*) in. Die onderdrukt beide frequenties en levert de som- en de verschilfrequentie, dus 144-146 MHz en 84-86 MHz. Van die twee wordt in het bandfilter de hoogste (144-

146 MHz) doorgelaten, versterkt in de stuurtrap en doorgegeven naar de eindtrap en door de eindtrap aan de antenne.

12.4 Ongewenste HF-uitstralingen en antenne-aanpassing

Iedere zender maakt ongewenste frequenties. Dat kunnen harmonischen zijn, maar ook frequenties die in de schakeling ontstaan, bijvoorbeeld in een mengtrap of frequentievermenigvuldiger. In de stuurtrap zitten daarom praktisch altijd een of meer frequentiefilters om frequenties die bij anderen overlast kunnen geven, zo goed mogelijk te onderdrukken.

Een eindtrap vervormt het signaal altijd wel enigszins en in sommige gevallen zelfs sterk. Dat hangt samen met het feit dat schakelingen met het hoogste rendement ook de meeste vervorming veroorzaken. Vervorming betekent harmonischen. Die moeten vóór de uitgang naar de antenne worden onderdrukt. Tegelijkertijd moet ervoor worden gezorgd dat van het HF-vermogen uit de eindtrap zoveel mogelijk in de antenne terechtkomt. Die twee doelstellingen gaan prettig samen in de vorm van verliesarme laagdoorlaatfilters. Een goed voorbeeld is het pi-filter. Dat heet zo, omdat de vorm van het schema doet denken aan de Griekse letter voor onze p , de pi (π). Figuur 12.4-1 laat het zien.



Figuur 12.4-1. Een pi-filter.

Dit schema stelt een laagdoorlaatfilter voor. De route van ingang naar uitgang loopt via de spoel die met toenemende frequentie een toenemende reactantie heeft, waarbij de reactanties van de twee condensatoren juist afnemen. De hoge frequenties “ontsnappen” via de condensatoren.

Tegelijkertijd bepalen de condensatoren mede de in- en uitgangsimpedantie. Als de condensatoren en de spoel de juiste waarden hebben, ‘ziet’ de uitgang van de zendereindtrap zijn eigen impedantie in deingangsimpedantie Z_{in} en de antenne zijn eigen impedantie (waarover meer in hoofdstuk 14) in de uitgangsimpedantie Z_{uit} . Als die tweetallen impedanties onderling gelijk zijn, is de vermogensoverdracht maximaal.

Zulke filters zitten in vrijwel elke zendereindtrap. Hun hoofddoel is aanpassing van de zendereindtrap aan de antenne. De onderdrukking van harmonischen is daarbij mooi meegenomen, want ook die moet vrijwel altijd plaatsvinden.




12.5 Opgaven

12.5.1 Opgave 12-1

Een AM-zender van een zendateur wordt gemoduleerd met spraak. De bandbreedte van het HF-sigitaal is ongeveer

- A. 1 kHz
- B. 3 kHz
- C. 6 kHz
- D. 12 kHz

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



12.5.2 Opgave 12-2

Een FM-zender voor 145 MHz wordt gemoduleerd met spraak. De zwaai is 3 kHz en de modulatie-index 1. De bandbreedte van het HF-sigitaal is ongeveer:

- A. 1 kHz
- B. 3 kHz
- C. 6 kHz
- D. 12 kHz

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking





12.5.3 Opgave 12-3

In een enkelzijbandzender kiest men bij voorkeur voor een balansmodulator, omdat hiermee:

- A. Minder harmonischen ontstaan
- B. Modulatieverstoring van de eindtrap wordt voorkomen
- C. Het zendvermogen (PEP) van het uitgezonden signaal wordt verminderd
- D. De draaggolf wordt onderdrukt

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking





12.5.4 Opgave 12-4

Bij een FM-zender wordt door de modulatie het uitgangsvermogen:

- A. Vergroot
- B. Verkleind
- C. Niet veranderd
- D. Gevarieerd

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking






12.5.5 Opgave 12-5

Bij modulatie zonder dat sprake is van overmodulatie, is de amplitude van het uitgangssignaal van een EZB-zender:

- A. Constant, net als bij een FM-zender
- B. Het dubbele van de amplitude zonder modulatie
- C. Twee keer de draaggolfamplitude
- D. Ongeveer evenredig met de amplitude van het modulerende signaal

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



12.5.6 Opgave 12-6

De zendereindtrap kan worden ingesteld in klasse C bij

- A. FM en CW
- B. EZB
- C. Alleen CW
- D. Alleen FM

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking





12.5.7 Opgave 12-7

Welke modulatiesoort levert op de zenderuitgang een constant vermogen?

- A. Morsetelegrafie (CW)
- B. FM
- C. EZB
- D. FM en morsetelegrafie (CW)

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking





12.5.8 Opgave 12-8

Een balansmodulator is een vast onderdeel van

- A. Een FM-zender
- B. Een CW-zender
- C. Een EZB-zender met onderdrukte draaggolf
- D. Zowel een FM- als een CW-zender

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking





12.5.9 Opgave 12-9

Van een zender die Morsecode (CW) uitzendt, moet de eindtrap staan in

- A. Klasse A
- B. Klasse B
- C. Klasse C
- D. Eén van de klassen A, AB, B of C

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking






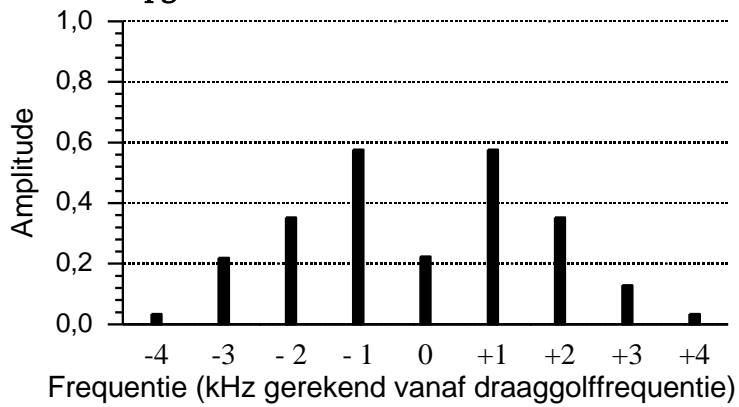
12.5.10 Opgave 12-10

Een audiosignaal varieert van 300 tot 3000 Hz. Het wordt gemoduleerd in EZB. De bandbreedte van het zo verkregen signaal is

- A. 3000 Hz
- B. 2700 Hz
- C. 5400 Hz
- D. 6000 Hz


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

12.5.11 Opgave 12-11

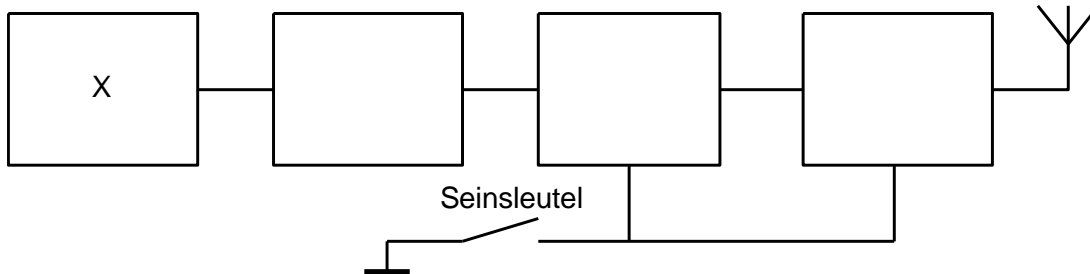


Deze grafiek stelt voor:

- A. FM-modulatie met een signaal van 1 kHz
- B. AM met een bandbreedte van 8 kHz
- C. Overgemoduleerde EZB
- D. 8 CW-zenders


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

12.5.12 Opgave 12-12

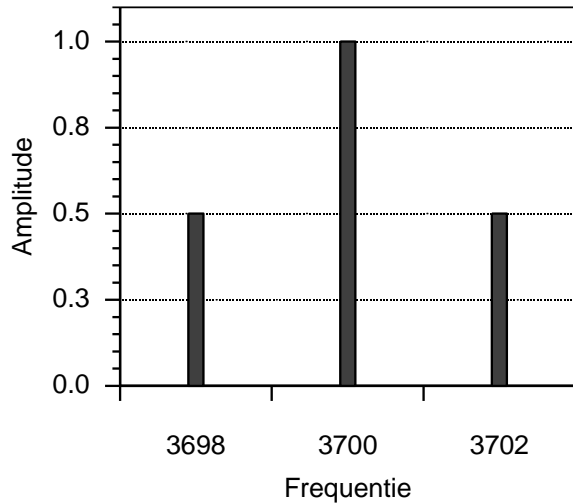


Het met X gemerkte blok is de

- A. Balansmodulator
- B. Stuurtrap
- C. Oscillator
- D. Scheidingstrap

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

12.5.13 Opgave 12-13

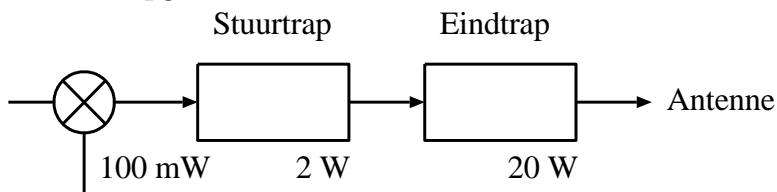


Dit is het spectrum van

- A. Een AM-signaal, volledig gemoduleerd met een enkele frequentie van 2 kHz
- B. Een AM-signaal, volledig gemoduleerd met een enkele frequentie van 4 kHz
- C. Een AM-signaal, gemoduleerd met spraak van 2 kHz bandbreedte
- D. Een AM-signaal, gemoduleerd met spraak van 4 kHz bandbreedte


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking



12.5.14 Opgave 12-14

Een zender heeft na de modulator een stuurtrap en een eindtrap. De stuurtrap ontvangt uit de modulatieschakeling een vermogen van 100 mW. De stuurtrap levert aan de eindtrap 2 W. De eindtrap levert vervolgens 20 W aan de antennekabel. Dit effect heet

- A. Modulatie
- B. Versterking
- C. Draaggolfonderdrukking
- D. Vervorming

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



12.6 Uitwerkingen van de opgaven

12.6.1 Uitwerking van Opgave 12-1

Een AM-zender van een zendateur wordt gemoduleerd met spraak. De bandbreedte van het HF-sigitaal is ongeveer

- A. 1 kHz
- B. 3 kHz
- C. 6 kHz**
- D. 12 kHz

Uitwerking

Bij amplitudemodulatie zit de modulatie in beide zijbanden. Goed verstaanbare spraak omvat frequenties tot ongeveer 3 kHz (300-3000 Hz). Dan loopt de frequentie van het gemoduleerde AM-sigitaal van draaggolffrequentie minus 3 kHz tot draaggolffrequentie plus 3 kHz. Tussen hoogste en laagste frequentie zit 2 maal 3 kHz is 6 kHz. Antwoord C is dus goed.

Opmerking

Soms kom je voor spraakfrequenties ook het bereik 300-2700 Hz tegen. Dan wordt de uitkomst 5,4 kHz. Dat is in deze opgave blijkbaar niet aan de orde.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





12.6.2 Uitwerking van Opgave 12-2

Een FM-zender voor 145 MHz wordt gemoduleerd met spraak. De zwaai is 3 kHz en de modulatie-index 1. De bandbreedte van het HF-sigitaal is ongeveer:

- A. 1 kHz
- B. 3 kHz
- C. 6 kHz
- D. 12 kHz

Uitwerking

De bandbreedte van een gemoduleerd FM-sigitaal is altijd groter dan die van het modulerende sigitaal. Dat sluit antwoorden A en B uit. Onder de bandbreedte van een FM-sigitaal wordt de frequentieband verstaan waarbinnen 99% van het uitgezonden vermogen valt. Die wordt bij een modulatie-index $m = 1$ bij benadering berekend met de vuistregel volgens vergelijking (12.2-6):

$$B \approx 2f_i \left(1 + \frac{\Delta f}{f_i} \right) = 2f_i(1 + m)$$

Daarin is f_i de bandbreedte van het modulerende sigitaal en Δf de zwaai. Beide zijn 3 kHz, want $m = 1$, zodat $B \approx 12$ kHz; antwoord D.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



12.6.3 Uitwerking van Opgave 12-3

In een enkelzijbandzender kiest men bij voorkeur voor een balansmodulator, omdat hiermee:

- A. Minder harmonischen ontstaan
- B. Modulatieverstoring van de eindtrap wordt voorkomen
- C. Het zendvermogen (PEP) van het uitgezonden signaal wordt verminderd
- D. De draaggolf wordt onderdrukt**

Uitwerking

In een balansmodulator wordt de draaggolf onderdrukt, zodat daarna alleen nog één zijband via een (kristal)filter hoeft te worden onderdrukt. Antwoord D.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





12.6.4 Uitwerking van Opgave 12-4

Bij een FM-zender wordt door de modulatie het uitgangsvermogen:

- A. Vergroot
- B. Verkleind
- C. Niet veranderd**
- D. Gevarieerd

Uitwerking

Bij FM-modulatie blijft de amplitude van het uitgangssignaal gelijk; alleen de frequentie verandert met de modulatie. Het vermogen volgt uit de amplitude, niet uit de frequentie. Dit betekent dat antwoord C juist is.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





12.6.5 Uitwerking van Opgave 12-5

Bij modulatie zonder dat sprake is van overmodulatie, is de amplitude van het uitgangssignaal van een EZB-zender:

- A. Constant, net als bij een FM-zender
- B. Het dubbele van de amplitude zonder modulatie
- C. Twee keer de draaggolfamplitude
- D. **Ongeveer evenredig met de amplitude van het modulerende signaal**

Uitwerking

Zonder modulatie is bij AM de amplitude van de zijbanden 0. Naarmate de amplitude van het modulerende signaal groter is, is de amplitude van de zijbanden evenredig groter.

Antwoord D.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





12.6.6 Uitwerking van Opgave 12-6

De zendereindtrap kan worden ingesteld in klasse C bij

- A. FM en CW
- B. EZB
- C. Alleen CW
- D. Alleen FM

Uitwerking

Klasse C in de zendereindtrap kan worden gebruikt als de amplitude van het gemoduleerde signaal constant is. Dat is het geval bij FM en CW, niet bij EZB. Antwoord A.

Opmerking

Let wel: er staat niet in de vraag dat klasse C noodzakelijk is. Ook de klassen A, B en AB werken bij FM en CW goed, maar hun rendement is lager dan bij klasse C.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



12.6.7 Uitwerking van Opgave 12-7

Welke modulatiesoort levert op de zenderuitgang een constant vermogen?

- A. Morsetelegrafie (CW)
- B. FM**
- C. EZB
- D. FM en morsetelegrafie (CW)

Uitwerking

CW levert aan de antenne (dus op de zenderuitgang) gedurende een teken een constant vermogen, maar tussen de tekens wordt niets uitgezonden en levert de eindtrap geen vermogen.

FM heeft een constante amplitude en levert daardoor een constant vermogen op de zenderuitgang, in tegenstelling tot EZB, waarbij het vermogen met de amplitude van het modulerende signaal varieert. Antwoord B.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





12.6.8 Uitwerking van Opgave 12-8

Een balansmodulator is een vast onderdeel in

- A. Een FM-zender
- B. Een CW-zender
- C. Een EZB-zender met onderdrukte draaggolf**
- D. Zowel een FM- als een CW-zender

Uitwerking

In een balansmodulator wordt de draaggolf onderdrukt. Dat is nodig in een EZB-zender met onderdrukte draaggolf. Antwoord C.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





12.6.9 Uitwerking van Opgave 12-9

Van een zender die Morsecode (CW) uitzendt, moet de eindtrap staan in

- A. Klasse A
- B. Klasse B
- C. Klasse C
- D. Eén van de klassen A, AB, B of C

Uitwerking

CW kan in alle klassen van instelling worden uitgezonden. De zender zendt wel of zendt niet. Elke versterkerklasse werkt daarom. Antwoord D.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



12.6.10 Uitwerking van Opgave 12-10

Een audiosignaal varieert van 300 tot 3000 Hz. Het wordt gemoduleerd in EZB. De bandbreedte van het zo verkregen signaal is

- A. 3000 Hz
- B. 2700 Hz**
- C. 5400 Hz
- D. 6000 Hz

Uitwerking

Bij EZB is de bandbreedte van het gemoduleerde signaal gelijk aan de bandbreedte van het modulerende signaal. Een signaal van 300 tot 3000 Hz heeft een bandbreedte van 3000 Hz min 300 Hz is 2700 Hz. Dat is ook de bandbreedte van het EZB-gemoduleerde signaal.

Antwoord B.

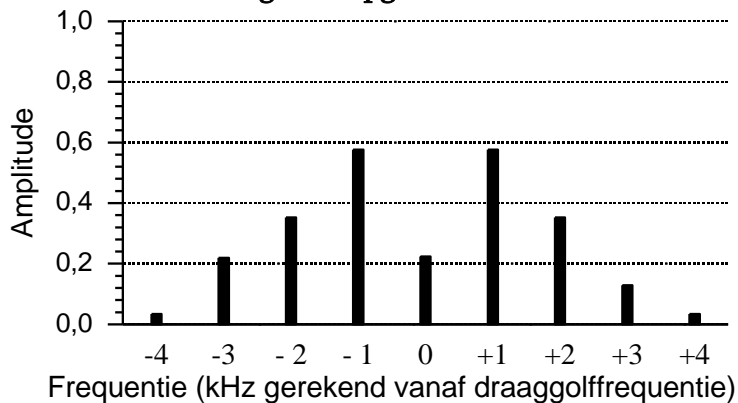


Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



12.6.11 Uitwerking van Opgave 12-11



Deze grafiek stelt voor:

- A. FM-modulatie met een signaal van 1 kHz
- B. AM gemoduleerd met een bandbreedte van 8 kHz
- C. Overgemoduleerde EZB
- D. 8 CW-zenders

Uitwerking

Een frequentie-gemoduleerde zender heeft zijbanden op frequentie-afstanden ter grootte van het modulerende signaal. Daaraan voldoet deze grafiek.

Je zou kunnen denken aan een 8 kHz breed AM-sigitaal, maar daarvoor heeft de draaggolfrequentie een te kleine amplitude

EZB kan ook niet, want dan zouden er negatieve frequenties in de modulatie moeten zitten en die bestaan niet.

Een stel CW-zenders zou met veel fantasie nog kunnen, maar dan zouden het er 9 moeten zijn en geen 8.

Kortom, antwoord A.

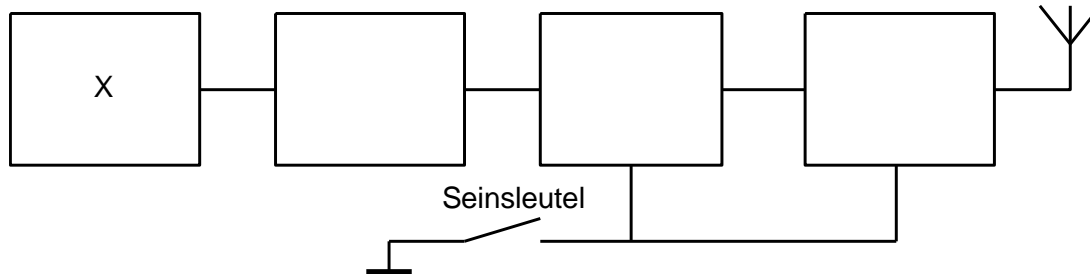


Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



12.6.12 Uitwerking van Opgave 12-12



Het met X gemerkte blok is de

- A. Balansmodulator
- B. Stuurtrap
- C. **Oscillator**
- D. Scheidingstrap

Uitwerking

De seinsleutel verraad dat het hier om een CW-zender gaat. Die begint met een oscillator. Antwoord C.

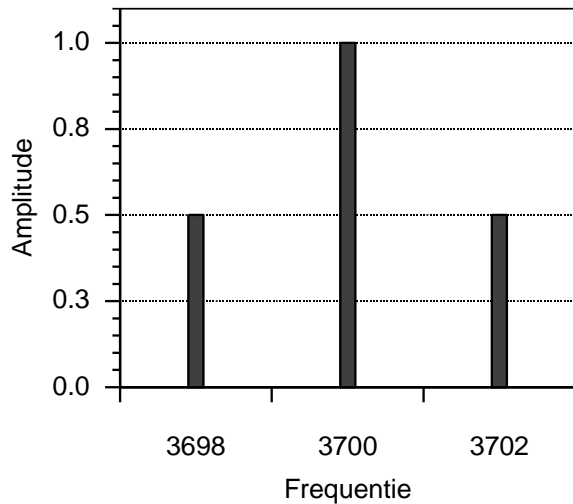


Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



12.6.13 Uitwerking van Opgave 12-13



Dit is het spectrum van

- A. Een AM-signaal, maximaal gemoduleerd met een enkele frequentie van 2 kHz
- B. Een AM-signaal, maximaal gemoduleerd met een enkele frequentie van 4 kHz
- C. Een AM-signaal, maximaal gemoduleerd met spraak van 2 kHz bandbreedte
- D. Een AM-signaal, maximaal gemoduleerd met spraak van 4 kHz bandbreedte

Uitwerking

AM heeft een draaggolf en twee zijbanden. Bij maximale modulatie met één frequentie hebben de zijbanden elk de halve amplitude van de draaggolf. De modulatie is hier maximaal, want beide zijbanden reiken tot de helft van de amplitude van de draaggolf. De zijbanden bestaan uit één enkele frequentie. Dat is geen spraak. Daarmee vallen de antwoorden C en D af, want spraak bevat nooit één enkele frequentie.

De frequentie-afstand tussen draaggolf en zijbanden is 2 kHz. Dan is de modulerende frequentie ook 2 kHz, waarmee antwoord A overblijft.

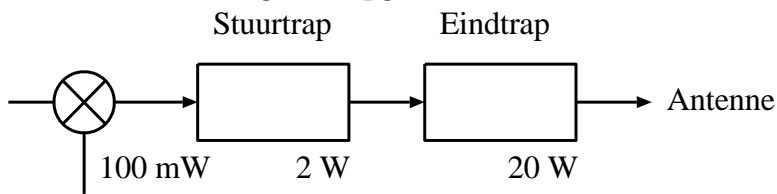


Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



12.6.14 Uitwerking van Opgave 12-14



Een zender heeft na de modulator een stuurtrap en een eindtrap. De stuurtrap ontvangt uit de modulatieschakeling een vermogen van 100 mW. De stuurtrap levert aan de eindtrap 2 W. De eindtrap levert vervolgens 20 W aan de antennekabel. Dit effect heet

- A. Modulatie
- B. Versterking**
- C. Draaggolfonderdrukking
- D. Vervorming

Uitwerking

Dit is versterking. Antwoord B.



Terug naar de opgave