



Het kiezen van frequenties bij de bouw van een transceiver

H.L. Rutgers, PAoSU, Eindhoven

Samenvatting

Wanneer we een zender of ontvanger bouwen voor de amateurbanden en kiezen voor het heterodyne principe, dan moeten er keuzen gemaakt worden betreffende de verschillende frequenties: De middenfrequentie, de oscillatorfrequentie en de VFO-frequentie. Er kunnen verschillende methoden gehanteerd worden bij het mengen van de frequenties: Voor het samenstellen van de oscillatorfrequentie kan een meng-VFO gebouwd worden of een synthesizer met een VCO. We kunnen van een vaste of een variabele middenfrequentie uitgaan. In alle gevallen moet scherp gelet worden op de ~~intermodulatie~~ intermodulatieproducten die ontstaan. De keuzen van de frequenties en de methoden worden hierdoor bepaald. Alle mogelijkheden worden op een rijtje gezet en keuzen worden gemotiveerd.

Uit een vooronderzoek is al gebleken dat bovenmenging in alle gevallen een beter resultaat oplevert dan ondermenging. Ook bleek dat, van de twee signalen die aan een mengtrap worden toegevoerd, die met de hoogste frequentie het grootst moet zijn voor zo min mogelijk hinderlijke intermodulatieproducten. Een goede pre-selectie bleek bijna alle intermodulatieproblemen het hoofd te bieden.

Bij een breedband¹ transceiver, met een middenfrequentie van 9 MHz, is het opmerkelijk hoe goed een synthesizer uitpakt met een VFO die loopt van 1,5 tot 2 MHz. Zo'n VFO is heel stabiel te maken. Voor een meng-VFO blijken 2,5-3 MHz of 4,5-5 MHz de enige redelijke keuzen voor de VFO-frequentie.

Een vaste middenfrequentie van 9 MHz blijkt niet ideaal, vooral bij 10 meter en 'de nieuwe banden'. Voor 18 MHz is dat helemaal een ramp. Een transvertor-transceiver met 10 meter als variabele middenfrequentie, is niet gunstig.

Over het algemeen kan gezegd worden dat een harmonische relatie tussen de werk-band en de middenfrequentie, voor zenden en ontvangen, een slechte keuze is.

¹ Voor elke band een filter

Inleiding

Nu tien jaar geleden heb ik een aantal artikelen gepubliceerd over een zelfgebouwde transceiver met halfgeleiders. In de loop van de jaren zijn daar nogal wat wijzigingen in aangebracht. Dank zij de modulaire opzet (voor elke functie een doosje) is het ding nog steeds niet 'versleuteld' en hoeft er dus nog niet echt iets nieuws gebouwd te worden. Een groot aantal keuzen van toen blijken nog steeds

band (m)	F ₀	F ₁	F ₂	F ₁ /F ₂	F ₀ /F ₂	spurious (MHz)	demp. (dB)		opm
							1	2	
80	3,5	5,5	9,0	0,61	0,39	8F ₁ -4F ₂ = 8; 5,6	77	>90	on- der
	3,8	5,2	9,0	0,57	0,42	6F ₁ -3F ₂ = 6; 4,2	54	85	
						4F ₁ -2F ₂ = 4; 2,8	75	86	
						4F ₂ -6F ₁ = 3; 4,8	77	>90	
						2F ₂ -3F ₁ = 1,5 2,4	67	75	
						6F ₂ -8F ₁ = 3; 4,8	>90	>90	
	3,5	9,0	12,5	0,72	0,28	6F ₁ -4F ₂ = 4; 2,8	90	>90	bo- ven
	3,8	9,0	12,8	0,70	0,30				
40	7,0	2,0	9,0	0,22	0,78	2F ₂ -6F ₁ = 6; 6,6	77	87	on- der
	7,1	1,9	9,0	0,21	0,79	2F ₂ -5F ₁ = 8; 8,5	66	74	
						4F ₁ = 8; 7,6	63	47	
						3F ₁ = 6; 5,7	52	36	
						8F ₁ -4F ₂ = 8; 7,6	>90	>90	
						6F ₁ -3F ₂ = 6; 5,7	91	>90	
	7,0	9,0	16,0	0,56	0,44				bo- ven
	7,1	9,0	16,1	0,56	0,44				
20	14,0	5,0	9,0	0,55	1,56	6F ₁ -2F ₂ = 12; 14,4	77	87	on- der
	14,4	5,4	9,0	0,59	1,59	4F ₁ -4F ₂ = 16; 14,4	82	>90	
						3F ₁ = 15; 16,2	52	36	
						3F ₂ -6F ₁ = 15; 16,2	91	>90	
						4F ₁ -F ₂ = 13; 12,6	79	>90	
	14,0	9,0	23,0	0,39	0,60				bo- ven
	14,4	9,0	23,4	0,385	0,61				
15	21,0	9,0	12,0	0,75	1,75	5F ₁ -2F ₂ = 21; 20	71	>90	on- der
	21,5	9,0	12,5	0,72	1,72	4F ₂ -3F ₁ = 21; 23	55	>90	
						8F ₁ -4F ₂ = 24; 22	>90	>90	
						7F ₂ -7F ₁ = 21; 24,5	60	>90	
						6F ₂ -6F ₁ = 18; 21	93	>90	
						6F ₁ -F ₂ = 24; 23,5	86	>90	
	21,0	9,0	30,0	0,30	0,70	2F ₂ -4F ₁ = 24; 25	82	>90	bo- ven
	21,5	9,0	30,5	0,295	0,70				
10	28,0	9,0	19,0	0,47	1,47	3F ₁ = 27	51	87	on- der
	30,0	9,0	21,0	0,43	1,43	5F ₁ -F ₂ = 26; 24	70	>90	
						2F ₂ -F ₁ = 29; 33	39	39	
						8F ₁ -2F ₂ = 34; 30	>90	>90	
						2F ₂ -5F ₁ = 29; 33	71	>90	
						3F ₁ = 27	51	87	
	28,0	9,0	37,0	0,24	0,76				bo- ven
	30,0	9,0	39,0	0,23	0,77				

Tabel 1. Deze tabel geeft de berekeningen weer die nodig zijn om in de intermodulatiekaart de spurious te vinden. Onder "demp." wordt de demping van de ongewenste frequenties gegeven. Degenen die binnen de band vallen en dus op generlei wijze zijn uit te filteren, zijn onderstreept. Onder 1 staat: Signaal -0dBm en oscillator +7dBm, onder 2 staat: Signaal -10dBm en oscillator +17dBm.

goed. Het enige dat faliekant verkeerd uitpakte was de keuze van de oscillator-frequenties. Ik heb er steeds mee rondgelopen en er af en toe iets over gepubliceerd maar kon het ei maar niet leggen. Daar ik een software-man ben, heb ik er toch maar eens een computer bijgehaald. Dat versnelt enorm. Nu kan ik in een avond zaken nagaan waar ik anders niet aan had hoeven te denken.

Wat heb ik gedaan? Ik heb in BASIC (helaas) een programma geschreven dat de ~~intermodulatie~~ intermodulatieproducten berekent bij:

- zenden met een vaste middenfrequentie,
- ontvangen met een vaste middenfrequentie,
- het daarbij behorende meng-VFO, of
- de daarbij behorende synthesizer met VCO,
- ontvangen met convertors en een variabele middenfrequentie en
- zenden met transvertors en een variabele middenfrequentie.

Het programma is zo opgezet dat ik voor elke willekeurige keuze de resultaten kan

berekenen. Tijdens een vooronderzoek (voor zenden), met het handje in de afgelopen jaren, is duidelijk gebleken dat bovenmenging altijd gunstiger uitpakt dan ondermenging. Bij een middenfrequentie van 9 MHz is het b.v. voor 80 meter dus veel beter om een oscillatorfrequentie van 12,5 - 12,8 MHz dan van 5,5 - 5,2 MHz te nemen. Zie Tabel 1. In die tabel staan een heleboel dingen die alleen van belang zijn om in een zgn. intermodulatiekaart te kijken (zoals F₁/F₂ en F₀/F₂). Deze tabel heb ik alleen toegevoegd om te laten zien dat ondermenging steeds slechter is dan bovenmenging (Zie rechter kolom 'opm'. Daarin staat 'onder' of 'boven'). Het computerprogramma maakt dus ook alleen maar berekeningen met bovenmenging.

Bij het mengen worden twee signalen van verschillende frequenties aan een mengtrap toegevoerd. Voor het beste resultaat blijkt de hoogste frequentie steeds het grootst in spanning te moeten zijn. Ook daar wordt vanuit gegaan bij het computerprogramma.

In dit verhaal laat ik zien welke middenfre-



quentie het beste is voor zenden en ontvangen van 80, 40, 20, 15 en 10. Voor een meng-VFO en voor een synthesizer zoek ik de beste VFO-frequentie op die hoort bij een middenfrequentie van 9 MHz.

De Bandfilters

Wanneer er smalle bandfilters worden gebruikt die afgestemd worden bij het tunen dan kun je je bijna alles permitteren wat de keuzen van de verschillende frequenties aangaat. Ik ga er vanuit dat er steeds filters gebruikt worden die niet afgestemd worden. Zulke filters zullen steeds een amateurband beslaan. In mijn computerprogramma was het niet eenvoudig mogelijk om de werkelijke doorlaatkromme van die filters op te nemen. De doorlaatkromme is rechthoekig beschouwd. De breedte van het filter is instelbaar, zodat gekeken kan worden of de bandbreedte kritisch is. Voor de bandfilters in een meng-VFO geldt hetzelfde.

De Mengtrappen

Voor de mengtrappen zijn de meetgegevens van een DBM (double balanced mixer) van Watkins-Johnson gebruikt. Deze zijn te vinden in Tabel 2. De toegevoerde oscillatorfrequentie heeft een sterkte van +17 dBm. Het signaal (of de zgn. radio frequency) is steeds 0 dBm (geval B in Tabel 2). Vooral de 0 dBm is voor ontvanger-berekeningen nogal groot, maar je moet de zaken niet mooier voorstellen dan ze zijn. Wanneer echter gerekend wordt met -10dBm (geval E in Tabel 2) dan nemen de intermodulatieproducten zo'n 20 dB af in sterkte! Het is zaak het signaal met de hoogste frequentie zo groot mogelijk te kiezen (* 17 dBm = 1,7V over 50 ohm, ook voor mixers die voor kleinere signalen gespecificeerd zijn) en het andere signaal niet groter te maken dan strikt noodzakelijk is. Bij ontvangers, zeker op de lagere banden, geen voorversterking gebruiken dus!

Werkwijze

Het programma geeft schermen te zien zoals in Figuur 1. In dit geval wélke intermodulatieproducten er ontstaan in het onderste deel van de 10-meterband bij het gebruik van een middenfrequentie van 9 MHz. Het bovenste scherm betreft de zend-situatie, de onderste die voor ontvangen. Per regel wordt: de demping, de herkomst en het betreffende frequentiegebied aangegeven, met de opmerking of het in de band valt of niet. Van zo'n 'meting' kunnen er natuurlijk meer gedaan worden. In Tabel 3 zie je een tabel waarin een groot aantal van dergelijke computerruns is verzameld. Wanneer op het scherm helemaal geen intermodulatieproducten te zien waren werd in de tabel

7	79 99 999	69 79 999	80 999 999	74 78 999	83 999 999	63 78 999	78 999 999	60 81 999	71 99 999
6	90 999 999	86 999 999	91 999 999	91 999 97	90 999 999	84 999 999	91 999 999	84 999 999	88 999 98
5	72 93 999	70 71 95	71 87 999	52 72 95	77 88 999	48 66 999	75 85 999	45 64 90	71 87 999
4	80 96 88	79 80 91	82 76 999	77 80 97	82 95 90	76 82 93	77 88 87	72 78 94	77 90 87
3	51 63 91	48 58 73	53 65 83	51 60 89	55 65 85	48 55 68	54 64 85	53 54 64	58 66 87
2	69 68 84	67 77 999	69 87 999	50 78 945	77 999 999	47 75 999	74 85 999	44 77 89	74 88 999
1	75 86 78	75 75 83	74 86 75	70 75 79	71 86 40	66 76 80	69 87 77	64 74 82	69 86 79
0	25 25 24	3 5 5	19 19 15	15 11 11	45 30 42	22 16 19	54 59 30	37 19 39	59 59 19
	75 73 75	10 10	35 39 36	13 13 11	40 46 42	24 14 18	45 62 49	28 19 37	49 53 49
		16 19 19	45 42 39	32 44 32	63 58 29	45 37 75	60 65 77	71 49 30	84 73 29
		28 47 18	13 11 10	39 36 23	20 47 14	41 36 19	53 51 17	49 37 21	51 63 19

Legend: A, B en C: signaal 0dBm, oscillator op resp. +7, +17 en +27 dBm. D, E en F: signaal -10dBm, oscillator op resp. +7, +17 en +27 dBm.

Tabel 2. In deze tabel staan de sterkten van de verschillende intermodulatieproducten vermeld als functie van de signaalgrootte en de grootte van het oscillatorsignaal voor Watkins-Johnson double balanced mixers. Deze tabel is gevonden in *Microwaves*, november 1973, blz. 49.

Band: 28-28,5 MHz mf: 9 MHz Oscill: 37-37,5 MHz P = 1,05

De ongewenste intermodulatie-producten voor ZENDEN zijn:
 87 dB 2 x Fosc - 5 x MF : 29 - 30
 63 dB 3 x MF : 27
 Moet het meng-VFO ook berekend worden (j/n):? —

Band: 28-28,5 MHz mf: 9 MHz Oscill: 37-37,5 MHz P = 1,05

De ongewenste intermod.-producten voor ONTVANGER met vaste MF zijn:
 65 dB 2 x Fosc - 3 x F-in : 4.8 - 15,8
 60 dB 4 x Fosc - 5 x F-in : 0 - 17
 99 dB 5 x Fosc - 6 x F-in : 5.45 - 27,9
 78 dB 5 x Fosc - 7 x F-in : 0 - 24,5
 99 dB 6 x Fosc - 8 x F-in : 0 - 12,2
 95 dB 7 x Fosc - 9 x F-in : 0 - 23,1

Een andere P proberen (j/n)? —

Fig. 1. Een voorbeeld van de berekening die het programma uitvoert voor het zenden en ontvangen met een vaste middenfrequentie (van 9 MHz op het onderste deel van de 10-meterband). De bandbreedte van het bandfilter op de werkfrequentie is 10% groter gekozen dan de doorlaatband (P=1.05 dus aan beide zijden 5% er bij). De intermodulatieproducten die hier getoond worden liggen voor het zenden buiten de band (boven). Een beter bandfilter op de werkband zou ze dus laten verdwijnen! Onder toont hoe de producten "over de middenfrequentie lopen" bij ontvangen.

een '-' (streepje) ingevuld. Wanneer de demping van een of meer regels steeds groter was dan 90 dB dan werd een '0' (nul) ingevuld en wanneer het scherm regels met dempingen kleiner dan 90 db te zien gaf dan werd het aantal daarvan in de tabel vermeld. Ik heb dat in Tabel 3 gedaan voor vijf banden. Daarbij werd het programmadeel gebruikt dat convertors berekent. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat een convertor bestaat uit een breedbandige preselector, een mixer en een Xtal-oscillator. Zo'n convertor wordt ook wel 'transvertor' genoemd wanneer hij zowel voor zenden als ontvangen werkt. Zo'n ding bedoel ik. In Tabel 3 staan twee kolommen per band. De ene met een 'z' er boven en de andere met een 'o'. De kolom met de 'z' is voor zenden en die met de 'o' voor ontvangen. In de tabel zien we nu snel welke

gebieden gevaarlijk zijn. Gebieden die veilig zijn voor alle banden zijn dus te prefereren. Deze techniek heb ik ook toegepast bij het kiezen van frequenties voor een meng-VFO en een synthesizer met VCO. Ik zal daarbij niet alles laten zien of behandelen wat het programma kan of wat ik allemaal onderzocht heb. Het verhaal moet ook weer niet te lang worden. Trouwens de lezer is het meest geïnteresseerd in de resultaten denk ik.

De Middenfrequentie

Om een snelle indruk te krijgen van waar de problemen liggen werd eerst gekeken welke variabele middenfrequentie (de band van de 'achterzet' dus) voor vijf amateurbanden het beste is. De uitkomst staat in Tabel 3. *Opvallend is dat voor zenden en ontvangen dezelfde resultaten*



worden gevonden! Dat toon ik nog eens aan met twee computerschermen die dezelfde frequenties behandelen. Het ene scherm geldt voor zenden, het andere voor ontvangen. (resp. Figuur 2 en Figuur 3). Uiteraard zorgen verschillende mengproducten voor de ellende, maar het zijn er even veel.

Wanneer we de resultaten van Tabel 3 bestuderen, zien we dat een harmonische relatie slecht uitkomt. Niet alleen naar boven maar ook naar beneden. Voor vijftien meter zijn 11 en 7 MHz even rottig als 42 MHz. We hoeven voortaan niet meer te rekenen wanneer we iets willen maken voor heel andere banden. Het is voorspelbaar geworden: De middenfrequentie mag niet liggen op 1/3, 1/2, (2/3), 1, (3/2), 2, 3, 4 of 5 maal de werkbandfrequentie.

De laagste middenfrequentie die draaglijk is voor de banden 80, 40, 20, 15 en 10 is (gelukkig) 9 MHz. Op 10 meter gaat het aan het begin van de band (dicht bij 27 MHz [3x9]) niet helemaal goed, maar vooruit. Figuur 1 laat daar wat van zien. Kijken we wat verder 'naar boven' in Tabel 3 dan zien we dat 12,5-13 en veelvouden daarvan zeer gunstig zijn. Pas op wanneer 10, 18 en 24 MHz ook mee moeten doen!

Lage middenfrequenties, in de buurt van 1 MHz, doen het ook goed. Dat blijkt niet zo uit deze tabel maar uit andere berekeningen. (Zie ook de tekst bij Tabel 3). Het vervelende is alleen dat je daarmee onvoldoende spiegelonderdrukking haalt. Wanneer je meelopende afstemming zou hebben bij een goede preselector dan was je uit de brand. Die oude buizenontvangers waren soms zo gek nog niet!

De Oscillatorfrequentie

Wanneer we bovenmenging toepassen dan worden de oscillatorfrequenties voor de betreffende banden bij een middenfrequentie van 9 MHz:

- 80 m 3,5 - 3,8 MHz = 12,5 - 12,8 MHz
- 40 m 7,0 - 7,1 MHz = 16,0 - 16,1 MHz
- 20 m 14,0 - 14,35 MHz = 23,0 - 23,35 MHz
- 15 m 21,0 - 21,45 MHz = 30,0 - 30,45 MHz
- 10 m 28,0 - 28,5 MHz = 37,0 - 37,5 MHz
- 28,5 - 29,0 MHz = 37,5 - 38,0 MHz
- 29,0 - 29,5 MHz = 38,0 - 38,5 MHz
- 29,5 - 29,7 MHz = 38,5 - 38,7 MHz

De vraag is nu: Hoe ga je die opwekken? Er zijn natuurlijk verschillende manieren. De eerste vraag is: Gaan we uit van een vaste- of variabele middenfrequentie? In het eerste geval is een aantal vrijlopende oscillatoren, die met een huff-and-puff van PAOKSB in het gareel gehouden worden, geen slechte oplossing. Wanneer alleen een ontvanger gemaakt wordt is het zeker het overwegen waard om een convertor-ontvanger te maken. Wanneer ik een knappe radio had staan die op 12,5 - 13; 24,5 - 25; rond de 38 of 50 MHz ontving, dan promoveerde ik die direct tot achterzet.

Hoogste m.f.	3,5-4	7-7,2	14-14,4	21-21,5	28-30
1	z o	z o	z o	z o	z o
2	3 3	0 0	--	1 1	--
3	4 5	0 0	0 0	--	--
4	2 2	0 0	0 1	0 0	2 3
5	7 7	--	0 0	0 0	1 2
6	1 1	0 0	4 3	--	0 1
7	1 2	--	0 0	0 0	0 0
8	4 3	6 7	3 4	4 3	1 1
9	4 3	--	--	--	1 1
10	0 0	0 0	0 0	0 0	3 4
11	1 1	--	0 0	--	4 5
12	3 4	0 0	0 0	3 2	4 5
13	2 4	0 0	--	--	4 4
14	0 1	--	--	0 0	0 0
15	1 1	4 3	7 7	2 2	3 3
16	1 1	--	2 2	0 0	3 3
17	0 1	--	--	0 0	3 3
18	0 0	0 -	--	0 0	3 3
19	1 0	0 -	0 0	--	0 0
20	1 0	--	0 0	--	2 1
21	- 0	--	--	--	2 1
22	0 0	3 4	1 2	7 7	2 2
23	0 0	1 1	0 0	7 7	2 2
24	0 0	--	0 0	--	0 0
25	0 0	0 -	--	--	0 0
26	0 0	--	--	--	1 0
27	0 0	--	--	0 0	2 1
28	0 0	1 1	4 3	0 0	7 6
29	0 0	1 0	4 3	0 0	7 6
30	0 0	--	--	--	--
31	0 0	--	--	--	7 6
32	0 0	--	--	0 0	7 7
33	0 0	--	--	0 0	2 1
34	0 0	--	--	0 0	1 0
35	0 0	1 1	--	--	0 0
36	0 0	1 0	--	--	0 0
37	--	--	--	--	0 0
38	--	--	--	--	0 0
39	--	--	--	--	0 0
40	--	--	--	--	0 0
41	--	--	--	--	0 0
42	--	0 0	3 2	4 3	1 0
43	--	0 0	3 3	4 3	1 1
44	--	--	1 0	1 0	1 1
45	--	--	--	--	1 1
46	--	--	--	--	1 1
47	--	--	--	--	1 0
48	--	--	--	--	0 0
49	--	--	--	--	0 0
50	--	--	--	--	0 0

Tabel 3. Dit zijn de resultaten voor een transvertor met een transceiver als variabele middenfrequentie. 10-meter als variabele middenfrequentie voor "alle banden" blijkt een slechte keuze. In de tabel is in de linker kolom steeds de hoogste middenfrequentie genoemd. De laagste middenfrequentie hangt af van de breedte van de band zoals die bovenaan de kolommen is weergegeven. Dit verklaart ook waarom bij 40-meter er veel scherpere afscheidingen zijn dan bij bv. 10-meter waar een band van 2 MHz in een keer is genomen. Op 10 kan dus pas bij 3 MHz worden begonnen.

De "z" en de "o" boven de kolommen slaan op zenden en ontvangen. Merk op dat de resultaten voor zenden en ontvangen steeds gelijk zijn!

Bij 80-meter zijn lage middenfrequenties niet goed uit de verf gekomen. Relatief is 0,5 MHz natuurlijk een brede band en zullen er altijd componenten van 1/3, 1/2 of 2/3 maal de werkband in vallen.

Deze resultaten gelden natuurlijk ook voor een vaste middenfrequentie. Om daar preciesere uitspraken over te doen zijn er andere berekeningen gemaakt die te veel uitleg vragen en weinig aan deze uitkomsten toevoegen.

Band: 7 - 7,2 MHz Xtal: 28,2 MF-band: 21-21,2 MHz P = 1

De ongewenste intermod.-producten uit de transvertor-ZENDER zijn:

65 dB 2 x Fxtal - 3 x MF : 6,6 - 7,2 <<<< in de band!

88 dB 4 x Fxtal - 5 x MF : 6,8 - 7,8 <<<< in de band!

78 dB 7 x Fxtal - 7 x MF : 6 - 7,4 <<<< in de band!

95 dB 7 x Fxtal - 9 x MF : 6,6 - 8,4 <<<< in de band!

Andere middenfreq. voor deze band (j/n)? —

Fig. 2. Hier wordt getoond hoe de intermodulatieproducten er uit zouden zien wanneer we met een variabele middenfrequentie van 21 - 21,1 MHz een 40-meterband-signaal zouden opwekken via een transvertor. Er zijn drie producten die minder dan 90 dB zijn gedempt ten opzichte van het gewenste signaal. Voor alle producten is de herkomst (bv. 4x Fxtal - 5 x MF) gegeven en het bandje dat die producten beslaan. Wanneer een deel van dat bandje binnen de werkband valt komt er een waarschuwing: "<<<< in de band!"



Band: 7 - 7,2 MHz Xtal: 28,2 MF-band: 21-21,2 MHz P = 1

De ongewenste intermod.-produkten uit de converter-ONTVANGER zijn:

79 dB 1 x Fxtal - 7 x F-in: 20,8 - 22,2 <<<< in de band !

87 dB 2 x Fxtal - 5 x F-in: 20,4 - 21,4 <<<< in de band !

83 dB 3 x Fxtal - 9 x F-in: 19,8 - 21,6 <<<< in de band !

63 dB 3 x F-in: 21 - 21,6 > > > in de band!!!

Andere middenfreq. voor deze band (j/n)? —

Fig. 3. Hier wordt getoond hoe de intermodulatieprodukten er uit zouden zien wanneer we met een achterrol van 21 - 21,2 MHz de 40-meterband zouden ontvangen via een converter. Vergelijk dat met Fig. 2 en zie dat het aantal produkten vrijwel gelijk is. Hier speelt natuurlijk de derde harmonische van het ingangssignaal nog een woordje mee (de laatste regel) De filters zijn hier even breed gekozen als de werkband, zodat hier ook alleen maar produkten in de band ontstaan.

Om het nut van het computerprogramma verder te demonstreren laat ik twee mogelijkheden zien om de oscillatorfrequenties samen te stellen wanneer van een vaste middenfrequentie gebruik gemaakt wordt: We onderzoeken een meng-VFO en een synthesizer.

Meng-VFO

Het schema van een meng-VFO is te vinden in Figuur 4. Ook hier wordt weer bovenmenging toegepast, dus is de Xtal-frequentie zo hoog mogelijk. Deze is steeds de op te wekken oscillatorfrequentie plus de gekozen VFO-frequentie. Uit vooronderzoek is gebleken dat voor de minste intermodulatieprodukten de hoogste frequentie de grootste spanning moet hebben. We kiezen voor de output van de Xtal-oscillatoren een grootte van +17 dBm. Het VFO moet dan een signaal opwekken dat kleiner is dan 0 dBm anders krijgen we veel te veel intermodulatieprodukten die te hard zijn. Voordat we die produkten gaan bekijken moet nog opgemerkt worden dat het uitgangssignaal van de mixer in de schakeling -6 dBm is, bij een VFO-sigitaal van 0 dBm in een DBM. Een DBM geeft nl. een conversieverlies van 6 dB. Dat betekent dat het opgewekte oscillatorsignaal nog 23 dB versterkt moet worden willen we daarmee de ontvanger/zender-mixer fatsoenlijk kunnen sturen. Wanneer dat een DBM is zal daar ook

ongeveer +17 dBm in moeten. Nu eerst de intermodulatieprodukten.

We gaan op dezelfde manier te werk als bij het kiezen van de middenfrequentie. De op te wekken oscillatorfrequenties zijn bekend. We gaan nu verschillende VFO-frequenties, met de bijbehorende Xtal-frequenties, proberen om te zien welke het meest bruikbaar is. In Tabel 4 is met '-', '0', of een getal weergegeven hoeveel intermodulatieprodukten van ons van belang zijn, rekening houdend met de bandbreedte van het bandfilter. Hier wordt dus gekeken welke intermodulatieprodukten er binnen de oscillatorband vallen. Dat is bij de synthesizer anders zoals we straks zien.

Uit Tabel 4 blijkt dat alleen een VFO met een band van 2,5-3 of 4-4,5 een beetje draaglijk is.

Synthesizer met VCO

Het schema van de synthesizer is te vinden in Figuur 5. Afgezien van de VCO zijn er een paar belangrijke verschillen met het meng-VFO. In het meng-VFO hebben we vijf bandfilters nodig. Bij de synthesizer maar een! Ik vergelijk in de fase-detector het verschil tussen de Xtal-frequentie en de VCO-frequentie met het VFO. Omdat hetzelfde VFO voor alle banden wordt gebruikt heb ik dus maar één filter nodig, op de VFO-frequentie achter de mixer. Alleen VFO-frequenties

Hoogste VFO-freq	80	40	20	15	10
1	1	1	2	2	4
1,5	1	1	1	2	2
2	-	-	1	1	2
2,5	-	-	1	1	1
3	1	-	-	1	1
3,5	2	-	-	-	1
4	4	-	-	-	1
4,5	2	-	-	-	-
5	-	4	-	-	-
5,5	1	4	1	-	-
6	3	-	1	-	-
6,5	3	-	1	-	-
7	1	-	4	1	-
7,5	-	2	4	1	-
8	2	3	4	-	-
8,5	2	1	2	1	1
9	-	-	-	2	1
9,5	-	-	-	4	1
10	-	-	-	5	1
10,5	-	2	2	5	1
11	2	2	3	2	2
11,5	3	-	3	-	4
12	9	-	3	-	4
12,5	..	-	1	-	4
13	8	-	-	-	4

Tabel 4. Voor een meng-VFO ziet het er niet zo rooskleurig uit. Er is niet echt een goede VFO-frequentie te noemen. Voor de metingen is steeds gerekend met bandfilters die 10% breder zijn dan de werkband. De 10-meterband is hierbij opgeknipt in drie delen van 0,5 MHz. Het slechtste deel is in de tabel opgenomen.

onder de 10 MHz komen in aanmerking. Gaan we hoger dan zal de stabiliteit afnemen. Bovendien, wanneer we toch naar hoge frequenties zouden gaan kunnen we beter 'vijf VFO's' maken, c.q. vijf vrijlopende oscillatoren voor de vijf banden.

Het grote verschil met het meng-VFO is dat hier gekeken wordt naar de intermodulatieprodukten die de mengtrap op de VFO-frequentie produceert. Die komen in de fase-lock loop voor. In feite worden er, bij een lage VFO-frequentie, twee frequenties die relatief weinig schelen van elkaar afgetrokken. Dat is een gunstige situatie. Opvallend is dat lage VFO-frequenties hier, in tegenstelling tot het

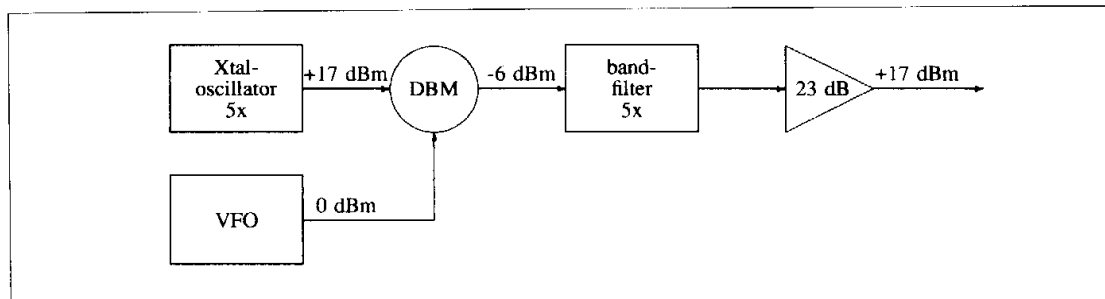


Fig. 4. Het schema van een meng-VFO. Het Xtal-sigitaal (hoogste frequentie) wordt gemengd met het VFO-sigitaal om het gewenste oscillatorsigitaal te krijgen. Het uitgangssigitaal van de DBM is 6 dB zachter dan de zwakste van de twee eerder genoemde signalen vanwege het conversieverlies van de DBM. Dat niveau moet dus weer 23 dB opgeknipt worden om de DBM in de ontvanger/zender te sturen. Er zijn voor vijf banden vijf Xtal-oscillatoren en vijf verschillende bandfilters nodig.

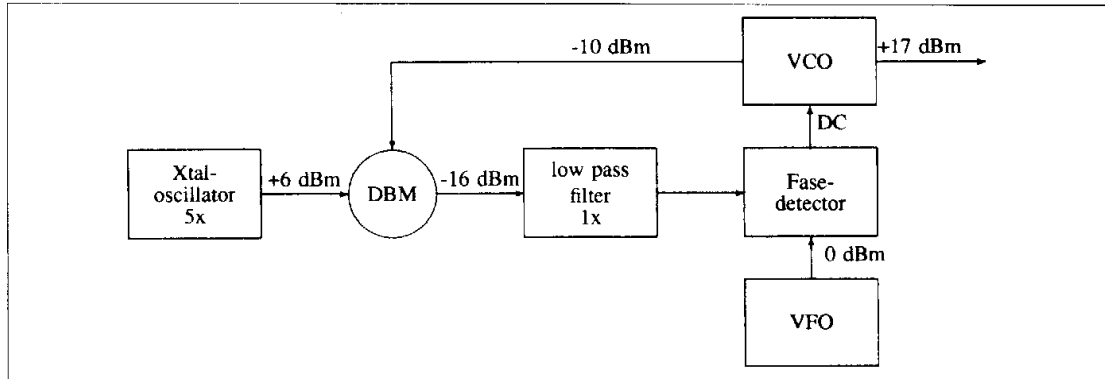


Fig. 5. Het schema van een synthesizer met VCO. Het Xtal-sig-naal (hoogste frequentie) wordt gemengd met het VCO-sig-naal om de gewenste VFO-frequentie te krijgen. Het uitgangssig-naal van de DBM is 6 dB zwakker dan het zwakste van de twee eerder genoemde signalen vanwege het conversieverlies van de DBM. Daar de fase-detector een actief element zal zijn vraagt die veel kleinere signaalspanningen dan een DBM. Er zijn voor vijf banden vijf Xtal-oscillatoren nodig. Omdat het verschil tussen de Xtal-frequentie en de VCO-frequentie steeds de VFO-frequentie oplevert (wanneer de VCO gelokt is) hoeft er maar een bandfilter op de VFO-frequentie gemaakt te worden.

meng-VFO, zo goed scoren! (zie Tabel 5). Dat is zeer interessant. Zo'n VFO is heel stabiel te maken. Bovendien is met een frequentielineaire afstemcondensator een lineaire schaal te verkrijgen. Met name het gebruik van de afstem-C uit een BC 221 (die nu ook in mijn 5 - 5,5 MHz VFO zit) wordt dan zeer aantrekkelijk. Wanneer we Tabel 5 bekijken zien we dat

Hoogste VFO-freq	80	40	20	15	10
1	-	-	-	-	3
1,5	0	-	-	-	1
2	0	0	-	-	-
2,5	1	0	-	-	-
3	-	-	0	-	-
3,5	1	-	0	0	-
4	-	1	0	0	-
4,5	3	-	-	0	0
5	0	-	1	0	0
5,5	0	3	-	0	0
6	-	-	1	1	-
6,5	5	0	-	1	0
7	-	0	0	-	-
7,5	0	-	-	1	1
8	0	4	3	1	1
8,5	1	-	-	-	-
9	-	-	-	0	-
9,5	0	-	0	-	1
10	0	-	0	3	0
10,5	0	-	-	3	-
11	-	1	-	0	0
11,5	-	-	-	-	-
12	-	0	4	0	-
12,5	6	-	-	0	3
13	6	0	-	0	3

Tabel 5. De synthesizer doet het nog het beste. De beproefde banden, en dus ook het bandfilter, is steeds 0,5 MHz genomen. Desondanks zijn er verschillende VFO-bandjes te kiezen die werkelijk schoon zijn.

Voor alle duidelijkheid: De getallen in de linkerkolom geven steeds de hoogste VFO-frequentie aan. Dat betekent dus dat bij bv. een keuze waar in de eerste kolom een 9 staat de gemeten VFO-band 8,5 - 9 MHz is.

er veel meer schone gebieden in zitten dan bij het meng-VFO: 1,5-2; 6,5-7; 8,5-9 en 11-11,5 MHz. Bij de keuze van een lage VFO-frequentie moeten we er op letten dat het Xtal-sig-naal niet in de transceiver-mixer terecht komt! In dat geval zal de preselector onvoldoende demping geven voor de mengprodukten van signalen uit de doorlaatband en dit Xtal-sig-naal. Ook zal het VFO zeer goed afgeschermd moeten worden zodat harmonischen, die in de amateurbanden vallen, niet storend zijn. Dat moet kunnen. Er is nog een probleemje: De VCO kan gaan locken "op de spiegel-frequentie". De bedoeling is dat hij lockt op de Xtal-frequentie *min* de VFO-frequentie. Bij een lage VFO-frequentie kan hij ook locken op de Xtal-frequentie *plus* de VFO-frequentie. Er moet dus voor gezorgd worden dat de VCO "de spiegel niet kan bereiken". Wanneer voor elke band een VCO gebouwd wordt (of wanneer er op zijn minst vijf aparte kringen in zitten) dan is dat mogelijk.

Een bijkomstig voordeel van een lage VFO-frequentie is dat het filter een zeer eenvoudig RC-low-pass filter kan zijn!

Vergelijkingen tussen Meng-VFO en Synthesizer

Een synthesizer, zoals hier bedoeld, heeft een VCO nodig. Dat is een ding waar de afgelopen tien jaar nogal laatdunkend over is gesproken. Problemen daarmee wilde ik hier maar even laten voor wat zij zijn. Voordelen van de rest van de schakeling boven die van het meng-VFO zijn:

- de niveaus van de signalen van de Xtal-oscillatoren en het VFO kunnen veel kleiner zijn,
- er is slechts een eenvoudig filter nodig,
- minder intermodulatieprodukten en
- een VCO werkt als zeer selectief elektronisch filter zodat alleen de intermodulatieprodukten die in de VFO-

band vallen van belang zijn. De breedte van het bandfilter doet er minder toe.

Aan de ene kant is een synthesizer dus minder werk (minder harde signalen, minder bandfilters) aan de andere kant moet dat VCO dan toch maar gemaakt worden voor vijf banden.

Conclusies

Er mag geen harmonische relatie bestaan tussen de gebruikte band en de middenfrequentie. Dat wil zeggen: De middenfrequentie mag niet 1/3, 1/2, (2/3), 1, (3/2), 2, 3, 4 of 5 maal de werkbandfrequentie zijn. Dat geldt, wonderlijk genoeg voor zenden en ontvangen! Omdat ik een mooi middenfrequentbouwsel heb op 9 MHz wil ik dat niet zomaar in de steek laten. Met 9 MHz is nog een goede 5-banden transceiver te maken. Middenfrequenties van 13, 24, 38 en 50 MHz zijn ideaal voor de combinatie 80, 40, 20, 15 en 10.

Omdat de hoeveelheid werk voor het maken van een synthesizer met VCO niet meer is dan die voor een meng-VFO, valt mijn keuze op de synthesizer. De VFO-frequentie kan zeer laag zijn (stabiel, lineaire schaal). De niveaus van de signalen zijn veel kleiner dan in een meng-VFO. Er zijn minder hinderlijke ~~intermodulatieprodukten~~ intermodulatieprodukten. De moeilijkheden zijn: de ruis uit de VCO, de afscherming van de VFO en de Xtal-oscillatoren. Wanneer we echter naar het meng-VFO kijken dan zien we dat daar tussen de mixer van het meng-VFO en de mixer van de transceiver een versterker van 23 dB moet zitten. Hoe zit het daar dan met de (breedbandige) ruis?

Nawoord

Het gebruikte computerprogramma, geschreven in GWBASIC voor PC's, is voor iedereen die een 5-inch-floppy opstuurt in



band (m)	F ₀	F ₁	F ₂	F ₁ /F ₂	F ₀ /F ₂	spurious (MHz)	demp. (dB)		opm	
							1	2		
160	1,8	7,2	9,0	0,8	0,20	4F ₁ -3F ₂ = 1,8; 1,0	55	>90	on- der bo- ven	
	2,0	7,0	9,0	0,78	0,22	9F ₁ -7F ₂ = 1,8; 0,0	59	>90		
	1,8	9,0	10,8	0,83	0,17	10F ₁ -8F ₂ = 3,6; 2,0	>90	>90		
	2,0	9,0	11,0	0,82	0,18	5F ₁ -4F ₂ = 1,8; 1,0 6F ₁ -7F ₂ = 1,8; 3,0	77 84	>90 >90		
30	10,1	1,1	9,0	0,12	1,12	10F ₁ = 11	68	68	on- der	
	10,15	1,15	9,0	0,13	1,13	9F ₁ = 9,9	39	39		
						F ₁ = 8,8; 9,2	93	64		
						2F ₁ -9F ₁ = 8,1; 76,65	68	74		
						2F ₁ -8F ₁ = 9,2; 8,8	75	84		
						2F ₂ -7F ₁ = 10,3; 9,95	68	74		
						2F ₂ -6F ₁ = 11,4/1	77	87		
						2F ₂ -5F ₁ = 12,5/25	66	74		
						F ₂ = 9	25	23		
		10,1	9,0	19,1	0,47	0,53	2F ₂ -3F ₁ = 11,2; 11,3	53		87
	10,15	9,0	19,15	0,47	0,53	3F ₂ -5F ₁ = 12,3; 12,5	52	>90		
						F ₁ = 9	25	23		
16	18,06	9,0	9,06	0,99	1,99	2F ₁ = 18	69	86	on- der	
	18,17	9,0	9,07	0,99	2,00	2F ₂ = 18,12	45	31		
						3F ₁ -F ₂ = 17,945	49	77		
						4F ₁ -2F ₂ = 17,87	82	>90		
						5F ₁ -3F ₂ = 17,82	52	>90		
						6F ₁ -4F ₂ = 17,76	90	>90		
						7F ₁ -5F ₂ = 17,70	63	>90		
						ETC.				
		18,06	9,0	27,06	0,33	0,67	2F ₁ = 18	69		86
		18,17	9,0	27,17	0,33	0,67	7F ₁ -3F ₂ = 18; 18,51	74		>90
						5F ₁ -F ₂ = 17,88	70	>90		
						8F ₁ -2F ₂ = 7,66/88	>90	>90		
						4F ₂ -10F ₁ = 18,24/68	>90	>90		
						2F ₂ -4F ₁ = 18,12/34	82	>90		
12	24,8	9,0	15,8	0,57	1,57	4F ₂ -4F ₁ = 27,2; 28,0	82	>90	on- der	
	25,0	9,0	16,0	0,56	1,56	6F ₂ -8F ₁ = 22,8; 24,0	>90	>90		
						3F ₁ = 27	51	87		
	24,8	9,0	33,8	0,27	0,73	10F ₁ -2F ₂ = 22,4; 22,0	>90	>90		
	25,0	9,0	34,0	0,26	0,735	2F ₂ -5F ₁ = 22,6; 23,0	71	>90	bo- ven	
						3F ₁ = 27	51	87		

Tabel 6. Deze tabel geeft de berekeningen weer voor de minder gebruikte banden die nodig zijn om in de intermodulatiekaart de spurious te vinden. Onder "demp" wordt de demping van de ongewenste frequenties gegeven. Degenen die binnen de band vallen, en dus op generlei wijze zijn uit te filteren, zijn onderstreept.

Onder 1 staat: Signaal -0dBm en oscillator + 7dBm,
onder 2 staat: Signaal -10dBm en oscillator + 17dBm.

een deugdelijke verpakking, gratis verkrijgbaar. In het programma dat ik opstuur ga ik bij ontvangen uit van een "radio frequency"-sterkte van -10 dBm. Dat is meer realistisch. Bij de berekeningen in dit artikel was dat steeds 0 dBm, net als bij zenden. De resultaten voor ontvangen pakken dan beter uit dan die bij zenden. Het zou dus voldoende kunnen zijn alleen de intermodulatieprodukten bij zenden na te gaan om de keuze van de middenfrequentie te bepalen. Ik stuur de BASIC-source-code in ASCII-vorm zodat het naar believen kan worden gewijzigd. In mijn paperassen vond ik ook nog berekeningen uit het vooronderzoek van "de nieuwe banden" bij zenden met een middenfrequentie van 9 MHz. Voor de liefhebbers heb ik die toegevoegd (Tabel 6).

Discussies over de resultaten en het computerprogramma zijn welkom. Ik ben bijna altijd aanwezig op het Techno-net (Za. 15.00 uur op 3,75 MHz). Telefonisch

ben ik bereikbaar op (040)-410761. Ook wil ik best bepaalde ontwerpen helpen doorrekenen voordat ze gebouwd worden. Te zijner tijd, wanneer ik het een en ander gerealiseerd heb, zal ik de schakelingen ook publiceren.

Herbert, PAoSU

Later heb ik een programma geschreven in Pascal met een grafische interface. De gewenste- en ongewenste mengproducten komen daarbij op het scherm zoals een frequency analyser dat doet. De ontvanger kan daarin 'afgestemd' worden waarbij de producten over het scherm schuiven. Dit geeft meer inzicht.

Dit programma draait in een DOS-window (ook onder WindowsXP). Het spreekt voor zichzelf. Als je zelf wilt experimenteren, kun je het programma gratis bestellen met een mailtje aan: mail@by-rutgers.nl

Eindhoven, 12-1-2008,
73 de Herbert, PAoSU.