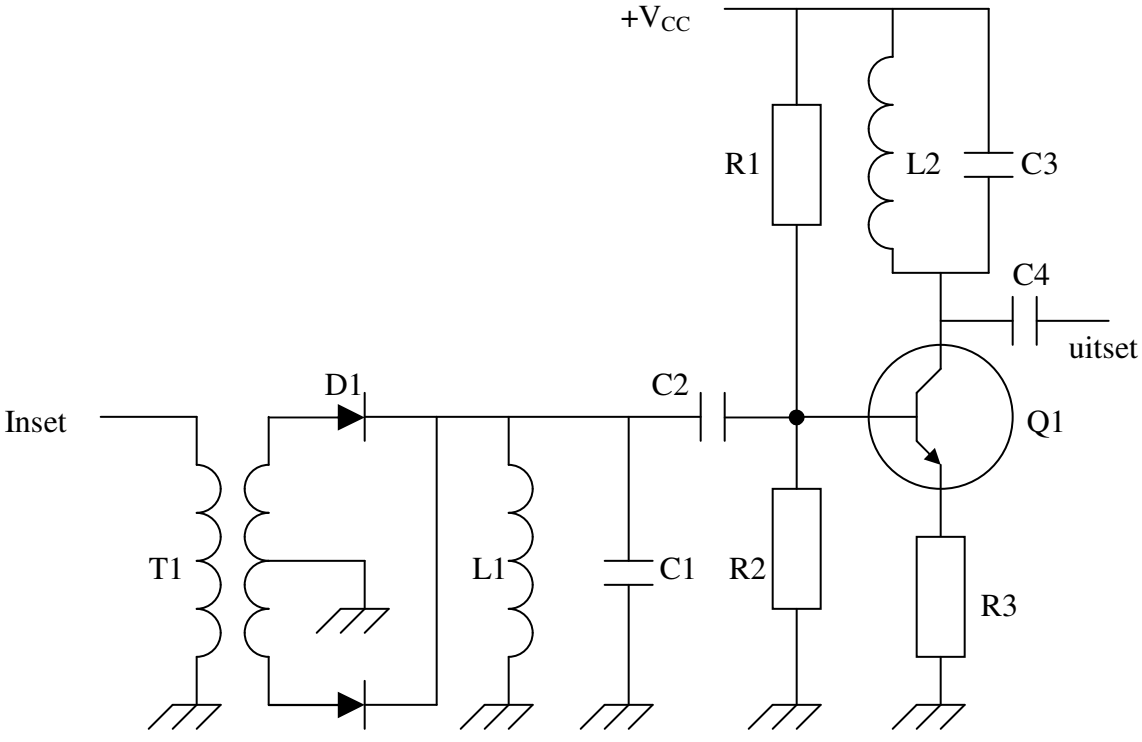
Hoofstuk 19 – Frekwensie-omsetters

Ossillators word gebruik om seine van verskillende frekwensies op te wek wat in senders en ontvangers gebruik word. Dit is egter dikwels handig om ‘n sein van ‘n spesifieke frekwensie vanaf seine van ander frekwensies op te wek. By voorbeeld, dit mag baie voordelig wees om ‘n sein teen ‘n spesifieke uitsetfrekwensie, wat die gebruiker gekies het, vanaf ‘n uiters stabiele verwysings en wat teen ‘n vaste frekwensie werk, op te wek. Die wat ons gebruik om dit mee te bereik, word frekwensie-vermenigvuldigers, frekwensie-sintetiseerders en -mengers genoem.

Die Frekwensie-vermenigvuldiger

Enige golfvorm, anders as ‘n sinusgolf, bevat harmonieke sowel as die fundamentele frekwensie. Harmonieke kan gevind word by enige heelgetalveelvoud van die fundamentele frekwensie. By voorbeeld, ‘n 10 MHz-sein, wat nie ‘n sinusgolf is nie, mag harmonieke by 20, 30, 40,50, 60 en 70 MHz ens. hê. Dit kan gebruik word om ‘n frekwensie-vermenigvuldiger te maak. Die insetsinusgolf word doelbewus vervorm, wat ‘n sein tot gevolg het wat ryk is aan harmonieke. Die verlangde harmoniek ward dan gekies deur gebruik te maak van ‘n banddeurlaatfilter, wat ‘n sein lewer wat ‘n heelgetalveelvoud van die insetsein is. Die mees gebruiklike vermenigvuldigers is 2 en 3. By voorbeeld, ‘n 7 MHz-sein aangewend aan die inset van ‘n x2 frekwensie-vermenigvuldiger, sal ‘n 14 MHz-sein lewer of aangewend aan ‘n x3 vermenigvuldiger sal ‘n 21 MHz-sein lewer.

Verskillende tipes van vervorming ontstaan in verskillende hoeveelhede van die verskillende harmonieke. Met die ontwerp van ‘n frekwensie-vermenigvuldiger, word daarmee gepoog om die verlangde harmoniek te maksimaliseer. By voorbeeld, vir ‘n frekwensie-verdubbelaar (‘n x2 vermenigvuldiger) kan van ‘n volgolfgelykrigter gebruik gemaak word om die uitsetgolfvorm te vervorm, aangesien die gevolglike gelykgerigte sinusgolf ‘n baie hoë tweede harmoniekinhoud het. “n Tipiese kring lyk as volg:



Kringdiagram van ‘n frekwensie-verdubbelaar.

Die insetsein word volgolfgelykgerig deur T1, D1 enD2. L1 en C1 vorm ‘n parallel ingestemde kring wat resonant is by die uitsetfrekwensie (dubbel die insetfrekwensie). Dit kortsluit die GS-komponent van die volgolfgelykgerigte sein na grond en verswak die ongewenste hoërordeharmonieke. Transistor Q1 met weerstande R1, R2 en R3 vir ‘n gemeenskaplike emittorversterker. Daar is ‘n ander parallelingestemde kring wat uit L2 en C3 in die kollektorbaan van die versterker bestaan, wat die ongewenste harmonieke (3, 4, 5 maal die insetfrekwensie) verder verswak. C2 en C4 is GS-blokkeringskapasitors. Die uitset is ‘n sinusgolf teen dubbel die frekwensie van die insetgolf.

‘n x3-vermenigvuldiger mag ‘n klas C-versterker gebruik om die nodige vervorming teweeg te bring, aangesien die uitset van ‘n klas C-versterker ‘n hoë derdeharmoniekinhoud het. By BHF- en UHF-toepassings word varicapdiodes (ook bekend as varaktordiodes) dikwels gebruik as die nieliniêre komponent om die insetsein te vervorm en harmonieke te veroorsaak.

Omdat frekwensie-vermenigvuldigers vervorming teweegbring, kan hulle nie gebruik word met seine wat ‘n reeks frekwensie bevat nie, soos met oudioseine, of amplitude-gemoduleerde en enkelsyband RF-seine nie. Indien hulle sou gebruik word, dan sal die baie verskillende frekwensie-komponente van die seine met mekaar interaktief wees wat ongewenste vervormde sein dmv. intermodulasie tot gevolg sal hê,, wat te na aan die verlangde seine sal wees om doeltreffend uitgefiltreer te kan word. Hulle kan egter met veiligheid gebruik word met ongemoduleerde seine, of met gelykgolf (morsekode), frekwensie gemoduleerde (FM) en fasegemoduleerde seine.

Frekwensie-vermenigvuldigers is slegs nuttig vir vermenigvuldiging met redelik klein syfers, soos 2, 3 of 4. Hulle kan nie gebruik word om met groot syfers te vermenigvuldig nie, – sê 100 – aangesien dit te moeilik sal wees om ‘n filter te maak om die 100ste harmoniek van die 99ste of 101ste harmonieke te skei en dat dit ook die eienskap van frekwensie-vermenigvuldigers is dat hulle ‘n mate van meeste harmonieke opwek.

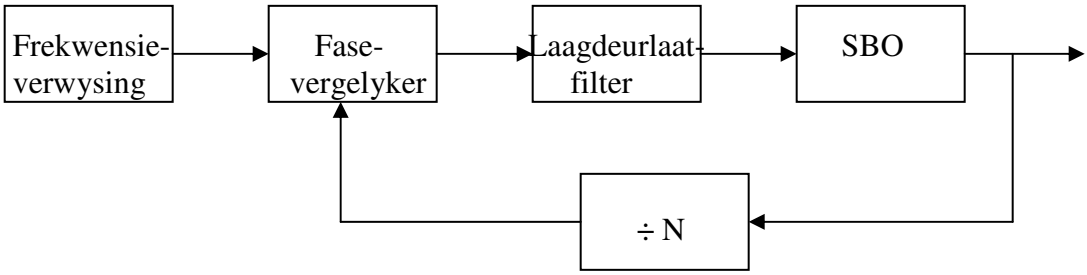
Die Frekwensiedeler

Digitale geïntegreerde kringe is beskikbaar wat in staat is om die frekwensie van ‘n insetgolf deur enige heelgetal te deel – of ‘n vaste getal, of een wat dmv. ‘n mikroprosesseerder geprogrammeer kan word. Die uitset van hierdie “digitale delers” is ‘n tipiese vierkantgolf, wat ‘n hoë harmonieke inhoud het, (vernaamlik onewe harmonieke teen 3, 5 en 7-maal die insetfrekwensie ens.). Hierdie harmoniekinhoud kan verwyder word deur gebruikte maak van ‘n geskikte laedeurlaat- of banddeurlaatfilter by die verlangde frekwensie.

Die Fasesluitlusfrekwensie-sintetiseerder

Alhoewel veranderbare frekwensie-ossillators gebruik kan word om ‘n sein op te wek wat deur die gebruiker gekies word, ly hulle aan die probleem dat dit moeilik is om hulle baie stabiel te laat werk, en hulle frekwensie neig om te skuif as gevolg van teperatuurveranderings en vinnige ekskursies te maak indien gestamp of andersins mishandel te word. Kristalossillators daarenteen is baie stabiel selfs met temperatuurveranderings en meganiese skokke. Hulle baie beperkte instembereik maak hulle egter ongeskik vir gebruik as ‚sê, die hoofossillator vir ‘n sender wat ‘n hele amateurband moet dek.

Die mees algemene oplossing in moderne amateurtoerusting is om ‘n frekwensiesintetiseerder te gebruik. Dit is ‘n kring wat baie programmeerbare frekwensies kan lewer wat gebaseer is op ‘n enkele verwysingsfrekwensie wat voorsien word deur ‘n stabiele kristalossillator. Alhoewel daar heelwat verskillende tipes frekwensie-sintetiseerders bestaan, sal hierdie afdeling slegs een daarvan dek nl. die fasesluitlus-frekwensiesintetiseerder. Die blokdiagram van ‘n eenvoudige FSL-sintetiseerder word hieronder getoon:



Blokdiagram van 'n FSL-frekwensie-sintetiseerder

Die uitset van die frekwensie-verwysing word ingevoer na 'n fasevergelyker. Hierdie is 'n kring wat die fases van twee seine vergelyk en 'n uitset opwek wat afhanklik is van die faseverskil tussen die twee seine. Hierdie spanning word gelyk gemaak dmv. 'n laedeurlaatfilter en word gebruik om die frekwensie van 'n spanningsbeheerde ossilator te beheer. Die sein wat deur die SBO opgewek word, is die inset aan 'n frekwensiedeler wat die insetfrekwensie deur 'n heelgetal N (gewoonlik programmeerbaar) deel. Die uitset van die frekwensiedeler is die tweede inset na die fasevergelyker.

Om te verstaan hoe hierdie kring werk, veronderstel dat die frekwensie van die SBO presies N keer die verwysingsfrekwensie is. Die fasevergelyker sal dan 'n GS-uitset frekwensie opwek wat afhanklik is van die faseverskil tussen die twee seine. Die GS-spanning sal deur die laedeurlaatfilter gaan en sal die frekwensie van die SBO beïnvloed. Veronderstel die effek is om die frekwensie van die SBO effens te verhoog. Soos die frekwensie toeneem, sal die fase van die SBO se uitsetsein begin om te verskuif relatief tot die fase van die verwysingsein, wat die uitsetspanning van die fasevergelyker, wat die SBO-beheerspanning is, sal verander.
Die kring is so ingerig dat indien die frekwensie van die SBO effens toeneem, dan sal die resulterende uitsetspanning van die fasevergelyker die frekwensie van die SBO weer verminder om dit terug te bring na die korrekte frekwensie wat N-maal die verwysingsfrekwensie is. Soortgelyk, indien die frekwensie van die SBO effens afneem, sal die resulterende uitsetspanning van die fasevergelyker reageer om die frekwensie van die SBO te verhoog wat dit weer terugbring na N-maal die verwysings frekwensie. In hierdie toestand word gesê dat die SBO se frekwensie *fasegesluit* is aan die verwysingsfrekwensie, aangesien enige verandering in die faseverwantskap tussen die twee seine (veroorsaak byv. deur 'n verandering in die SBO-frekwensie) op die SBO sal inwerk op so 'n manier dat dit sal terugkeer na die korrekte faseverhouding met betrekking tot die verwysingsfrekwensie. Hierdie is 'n voorbeeld van *negatiewe terugvoering.*

Indien jy gewonder het, die rede vir die laedeurlaatfilter is omdat meeste fasevergelykers in werklikheid 'n redelik komplekse uitsetsein lewer wat 'n GS-komponent (of laefrekwensiekomponent) het wat die faseverskil tussen die twee insette verteenwoordig plus komponente van die verskillende insetfrekwensies aan die fasevergelyker. Die laedeurlaatfilter verwerp die hoëfrekwensieuitsette, en laat alleen die laefrekwensie fasevergelykende spanning agter.

Ons het dus nou 'n kring wat 'n frekwensie kan lewer wat N-keer 'n stabiele verwysingsfrekwensie is en fasegesluit is aan die verwysingsfrekwensie, sodat dit amper so stabiel as die verwysingsfrekwensie self is. Egter, deur die waarde van N te verander, kan ons die uitsetfrekwensie verander na enige heelgetalveelvoud van die verwysingsfrekwensie. Indien die verwysingsfrekwensie laag genoeg is, – sê 10 Hz – dan kan ons enige frekwensie wat 'n veelvoud van 10 Hz is opwek. By voorbeeld, indien die verwysings frekwensie 10 Hz is, en die verdeler N is 1 402 000, dan sal die uitsetfrekwensie 10 * 1 402 000 = 14 020 000 Hz wees. Indien N met 1 vergroot word, dan sal die uitsetfrekwensie 14 020 010 Hz wees. Dit laat ons toe om feitlik enige verlangde frekwensie vanaf 'n enkele stabiele verwysingsfrekwensie op te wek. In moderne radios word die verdeler N, wat

die finale uitsetfrekwensie bepaal, gewoonlik voorsien deur ‘n mikrprosesseerder in reaksie op ‘n inset deur ‘n gebruiker, soos die draai van ‘n knop virfrekwensiekeuse.

Die enigste oorblywende probleem is om ‘n stabiele 10 Hz verwysingsfrekwensie vir ons sintetiseerder op te wek. Ons kan nie direk van ‘n kristalossillator gebruik maak nie, aangesien 10 Hz heeltemaal ‘n te lae frekwensie vir ‘n kwartskristal is. Wat kan ons dus doen om ‘n kristalossillator teen ‘n meer bruikbare frekwensie te bedryf, – miskien 100 kHz – en dan die digitale deler te gebruik om die frekwensie na die benodigde verwysingsfrekwensie te verander. In hierdie geval om die 100 kHz-ossillatoruitset met ‘n faktor van 10 000 te deel, sal ‘n 10 Hz-verwysingsfrekwensie voorsien.

In praktiese FSL-sintetiseerders werk dit uit dat daar ‘n newe voordeel bestaan tussen die spoed waarteen die sintetiseerder sy frekwensie kan verander (die instemspoed, indien jy so verkies) en die resolusie van die sintetiseerder (sy “stapgrootte”). Dit is omdat die resolusie van die sintetiseerder bepaal word deur die verwysingsfrekwensie, dus ‘n hoë resolusie vereis ‘n lae verwysingsfrekwensie. Maar dit vereis ‘n lae afsnyfrekwensie vir die laedeurlaatfilter, wat die spoed beperk waarteen die sintetiseerder op frekwensie-veranderings kan regeer . Een oplossing is om die uitsette van twee sintetiseerders te kombineer, een met ‘n hoë verwysingsfrekwensie wat maklik groot frekwensie-veranderings kan doen, maar lae resolusie het, en die ander een met ‘n klein stapgrootte wat tussen die ontbrekende frekwensies kan invul, maar waarvan nooit verlang word om groot frekwensie-veranderings te doen nie (omdat die “growwe” sintetiseerder daarna omsien). Dit is bekend as die veelvuldige lussintetiseerder.

FSL-sintetiseerders is baie veelsydig en is die basis van meeste moderne sendontvangers, wat hulle in staat stel om hoë stabiliteit te handhaaf gekombineer met ‘n wye frekwensiedekking. Maar, hulle het sekere nadele. In die besonder, vroeë sintetiseerders, soos dié gebruik in amateurtoerusting vanaf die vroeë 1980’s, het gely aan aansienlike fasegeraas, met die fase en frekwensie van die uitsetsein wat effens verander het soos die lus gewerk het om die sein aan die verwysingsfrekwensie gesluit te hou. Moderne sintetiseerders is in hierdie opsig baie beter.

Die Menger

‘n Ander kring wat algemeen vir frekwensie-verandering in beide senders en ontvangers gebruik word, is die *menger*. Dit is gebaseer op die interessante matematiese resultaat dat indien jy twee sinusgolwe met mekaar vermenigvuldig, ‘n golfvorm ontstaan wat uit twee komponente bestaan: een met ‘n frekwensie wat die *som* van twee insetfrekwensies is, en die ander een wat die *verskil* tussen die twee insetfrekwensies is.

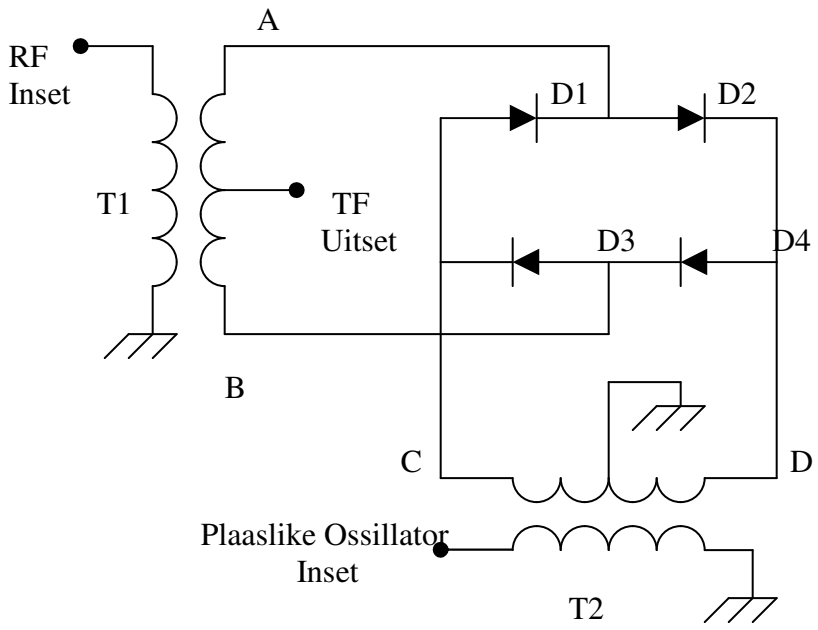
Vir die wiskundegeneigdes, die betrokke wiskundige identiteit is:

$2 \sin(A) \cos(B) = \sin(A+B) + \sin(A-B)$

Indien jy $A = 2\pi f_1 t$ and $B = 2\pi f_2 t$ stel, dan verteenwoordig die linkerkant “2 sin(A) cos(B)” twee sinusgolwe van frekwensie f_1 en f_2 met ‘n faseverskil van 90° en met mekaar vermenigvuldig, terwyl die regterkant “sin(A+B) + sin(A-B)” die superposisie (saamtelling) van sinusgolwe, met frekwensies $f_1 + f_2$ en $f_1 - f_2$, die som en verskil, verteenwoordig. Effens meer ingewikkelde wiskunde toon dat die presiese faseverskil tussen die insetseine nie belangrik is nie. By voorbeeld, indien jy ‘n 9 MHz-sein met ‘n 6 MHz-sein vermenigvuldig, Jy eindig met twee gesuperponeerde seine, een met ‘n frekwensie van 15 MHz, (die som van die insetfrekwensies) en die ander met ‘n frekwensie van 3 MHz (die verskil tussen die insetfrekwensies). Elektroniese kringe wat dit doen, word *mengers* genoem.

Dit blyk nou dat dit nie so maklik is om twee sinusgolwe met mekaar te vermenigvuldig nie sonder om aanmerklike vervorming in die uitset aan te bring nie. Een algemene oplossing is om ‘n skakelende menger te gebruik. In plaas daarvan om werklik die twee seine met mekaar te vermenigvuldig, word een van die insetseine

gebruik om die ander insetsein af te skakel, of om sy rigting om te keer. Hieronder is ‘n tipiese kringdiagram vir ‘n skakelmenger:



‘n Dubbelgebalanseerde diodemenger

In hierdie menger word diodes as die skakel-elemente gebruik. ‘n Sterk insetsein (gewoonlik deur die lokale ossilator voorsien) word aan die punt gemerk LO aangewend, terwyl ‘n heelwat swakker radiofrekwensiesein aan die punt gemerk RF aangewend word. Die uitsetsein word geneem van die punt gemerk TF, vir “tussenfrekwensie”. Die rede vir hierdie name sal duidelik word wanneer ons die ontwerp van radio-ontvangers onder oë neem.

Die sterk LO-sein word gebruik om die swakker RF-sein te “kap”, met die uitset wat dan by die TF-poort verskyn. Hier is hoe dit werk. Veronderstel dat die LO-sein se polariteit so is dat punt C positief is relatief tot punt D. Diodes D1 en D2 sal geleidend (aangeskakel) wees terwyl diodes D3 en D4 niegeleidend (afgeskakel) sal wees. Indien die diodes behoorlik gebalanseerd is, dus met identiese voorspannings, dan sal die punt tussen D1 en D2 by dieselfde spanning wees as die middeltap op die sekondêre winding van T2, dit is onderstel-(aard) spanning. Dit sal punt A op die sekondêre winding van T1 aard. Indien die polariteit van die sein aangewend aan die RF-poort so is dat punt A positief relatief tot punt B, dan sal A ook positief wees relatief tot die TF-uitsetpoort, dus sal die TF-poort negatief wees relatief tot punt A, wat ons gesien het geaard is.

Veronderstel nou dat die polariteit van die LO-sein omkeer, terwyl die RF-sein bly soos dit was. Punt D is positief relatief tot C, dus sal diodes D3 en D4 gelei, wat punt B effektief aard. Aangesien die RF-sein punt A positief relatief tot punt B maak, sal dit ook die TF-uitset positief relatief tot punt B, wat geaard is, maak.

Dus, gedurende een halfsiklus van die LO- (skakelende) inset, maak die RF-sein die TF-uitset *negatief* relatief tot die aarde, terwyl gedurende die ander halfsiklus die RF-sein die TF-utiset *positief* relatief tot aarde maak. Die resultaat is dat die LO-sein effektief die polariteit van die RF-sein omskakel soos dit by die TF-uitset verskyn.

Wag so ‘n bietjie. Ons het begin deur te praat van die vermenigvuldiging van twee seine met mekaar, nou praat ons van die gebruik van een sein om die polariteit van die ander sein om te skakel. Wat is die verbintenis? Wel dit blyk dat deur die LO-sein te gebruik om die polariteit van die RF-sein om te skakel ekwivalent is aan die vermenigvuldiging van die RF-sein deur ‘n vierkantgolf +1 en -1. (Vermenigvuldig met +1, bly die polariteit

onveranderd, vermenigvuldig met -1, is dit omgekeerd). Een effek hiervan is dat, omdat ‘n vierkantgolf nie net uit die grondgolf bestaan nie, maar ook uit baie harmonieke, en hierdie harmonieke ook effektief met die insetsein gemeng word. Dus, in stede van om net die som- en verskilfrekwensies te verkry, verkry on ook die som- en verskilfrekwensies van die RF-sein en al die harmonieke van die LO-sein. Die ongewenste mengprodukte kan gewoonlik uitgefiltreer word met geskikte filters wat na die menger volg.

Diodemengers soos hierdie een vereis ‘n redelik hoë inset by die LO-poort – tipies +7 dBm (5 mW) of meer. Hulle toon gewoonlik ‘n omsettingsverlies van 6 tot 7 dB wat beteken dat elk van die uitsetseine 6 tot 7 dB laer as die RF-insetsein is. Hulle word egter baie in baie in amateurtoepassings gebruik omdat hulle goeie vervormingseienskappe het

Hierdie mengerontwerp is bekend as “dubbelgebalanseerd” omdat die RF-insetsein sowel as die LO-insetsein nie in die uitset voorkom nie. ‘n Ongebalanseerde menger sal toelaat dat beide die RF- en die LO-seine deurgaan na die TF-uitset, terwyl ‘n “enkelgebalanseerde” menger slegs een van die seine (tipies die swakker sein en daarom die mins steurende sein) tot by die uitset sal deurlaat.

Daar is baie ander mengerontwerpe wat van transistors, gespesialiseerde geïntegreerde stroombane en ander komponente gebruik maak.

Een groot voordeel van mengers bo ander frekwensie-omsetters (frekwensie-vermenigvuldigers ens.) is dat behoorlik ontwerpte mengers nie aanmerklike vervorming in die seine teweegbring nie, en hulle dus met alle tipes seine gebruik kan word, insluitende amplitudegemoduleerd (AM), enkelsyband (ESB) en oudioseine.

Opsomming

Frekwensie-vermenigvuldigers vervorm die insetgolfvorm om harmonieke op te wek en kies dan die verlangde harmoniek deur die gebruik van ‘n banddeurlaatfilter. Hulle kan gebruik word om frekwensies met klein heelgetalle, tipies 2 of 3, te vermenigvuldig. Frekwensie-vermenigvuldigers kan nie gebruik word met seine wat baie frekwensies bevat nie, soos AM- of ESB-seine, aangesien dit te veel vervorming veroorsaak. Hulle kan egter met GG- en FM-seine gebruik word.

Digitale geïntegreerde kringe is beskikbaar wat ‘n frekwensie deur enige heelgetal kan deel. In die fasesluitlusfrekwensie-sintetiseerder is die uitsetfrekwensie gesluit aan ‘n heelgetalveelvoud van ‘n stabiele verwysingsfrekwensie. Deur die veelvoud te verander, kan verskillende frekwensies vanaf ‘n enkele verwysingsfrekwensie verkry word. Die uitset van ‘n FSL-sintetiseerder het soortgelyke stabiliteit as die verwysingsfrekwensie, alhoewel dit addisionele fasegeraas sal hê.

Die uitset van ‘n menger sal frekwensies bevat wat die som van die frekwensies van die insetseine en die verskil tussen die frekwensies tussen die insetseine insluit.

Afhangende van die tipe menger, mag dit ook seine bevat teen dieselfde frekwensie as een of beide van die insetfrekwensies – indien beide insetfrekwensies onderdruk is, dan is die menger “dubbelgebalanseerd”. Skakelmengers sal ook tipies mengprodukte bevat wat veroorsaak word deur menging van die verskillende harmonieke van die skakelende (LO) inset met die laevlak-RF-inset. Ongewenste mengprodukte moet met geskikte filters by die uitset verwyder word.

Hersieningsvrae

1 ‘n Frekwensie-vermenigvuldigerstadium word gewoonlik:
a. In nie-liniêre gebied bedryf.
b. As klas A bedryf.

c. Met terugvoering bedryf.
d. Gebruik in prosessering van ESB-seine.

2 Die kring wat die basis van ‘n frekwensie-sintetiseerder uitmaak is ‘n:
a. Fasesluitlus.
b. Outomatiese winsbeheer.
c. Klopossillator.
d. Kragversterker.

3 Frekwensie-vermenigvuldiging word dikwels in UHF-senders aangewend. Dit word gewoonlik gedoen deur RF-krag aan diodes en ingestemde kring aan te wend. So ‘n kring is ‘n:
a. Varaktor-vermenigvuldiger.
b. Heterodienmenger.
c. Diodedetektor.
d. Kragversterker.

4 Die verwysingsfrekwensie van ‘n FSL-frekwensie-sintetiseerder is 10 Hz en die programmeerbare deler is gestel om met 315 000 te deel. Die gesintetiseerde frekwensie sal wees:
a. 315 kHz.
b. 3,15 MHz.
c. 31,5 MHz.
d. 315 MHz.

5 Die afsnyfrekwensie van die laagdeurlaatfilter in ‘n FSL-frekwensie-sintetiseerder sal tipies:
a. Laer as die verwysingsfrekwensie wees.
b. Hoër as die verwysingsfrekwensie wees.
c. Dieselfde as die uitsetfrekwensie wees.
d. Hoër as die uitsetfrekwensie wees.

6 ‘n Frekwensie-vermenigvuldiger

‘n Frekewensie-vermenigvuldiger kan met die volgende seine gebruik word sonder om onaanneemlike steurings te veroorsaak:
a. ‘n Amplitude gemoduleerde (AM) sein.
b. ‘n Frekwensie gemoduleerde (FM) sein.
c. ‘n Enkelsyband- (ESB) sein.
d. ‘n Oudiofrekwensie spraaksein.

7 ‘n Lokale ossillatorsein teen 10 MHz word gemeng met ‘n 14 MHz sein. Die uitset van die menger sal die volgende frekwensies bevat:
a. 10 MHz en 14 MHz alleen.
b. 4 MHz, 24 MHz en moontlik ook ander frekwensies.
c. 4 MHz en 24 MHz alleen.
d. 10 MHz, 14 MHz en 24 MHz alleen..

8 Watter van die volgende kringe kan gebruik word om die frekwensie van ‘n amplitudegemoduleerde sein te verander?
a. ‘n Frekwensie-vermenigvuldiger.
b. ‘n FSL-frekwensiesintetiseerder.
c. ‘n Menger.
d. Enige van die bogenoemdes.

9 Behalwe die mengprodukte, sal die uitset van ‘n enkelsybandmenger ook die volgende produkte bevat:
a. Niks behalwe die harmoniekmengprodukte nie.
b. Een van die insetseine.
c. Beide die insetseine.
d. Die gemiddelde van die twee insetseine
.
10 ‘n Skakelmenger werk deur:
a. Die omkering van die polariteit van een van die insette afhangende van die polariteit van die ander.
b. Akkuraat die twee sinusgolwe met mekaar te vermenigvuldig.
c. Die twee seine by mekaar te tel en dan die resultaat te vervorm ten einde mengprodukte te lewer.
d. Staat te maak op die vierkantwet se oordrageienskappe van veldeffektransistore.