

# Merki og mótun

Námskeið ÍRA til amatörprófs

Vilhjálmur Þór Kjartansson, TF3DX

# Formáli

Þetta hefti var skrifað sem glærur fyrir kennslu á námskeiði ÍRA til amatörleyfis vorið 2011 og gefið út til reynslu sem bráðbirgðaútgáfa 9. maí 2011. Svo var það uppistaðan í almennu erindi sem haldið var í félgasheimili ÍRA 27. október sama ár.

Nú kemur 2. útgáfa út með þó nokkrum lagfæringum á texta og 2 leiðréttingum. Í kaflanum **“Dæmi með tölum”** var mótunarkerkið sagt vera 1 kHz í texta, en er 2 kHz á 6. mynd. Prentvillan í textanum er nú leiðrétt.

Í kaflanum **“Einhliðarband, SSB”** var slegið fram þeirri útbreiddu skýringu á hefðinni fyrir LSB á lægri böndunum og USB á þeim efri, að 9 MHz millitíðni og 5 - 5,5 MHz VFO skilaði einmitt LSB á 80 m og USB á 20 m eftir því hvort mismunartíðni eða summutíðni er valin. Þegar höfundur flutti fyrirlesturinn í ÍRA rann það upp fyrir honum að þetta gæti ekki staðist. Það er góð æfing fyrir lesendur að rökstyðja það, nú eða hrekja ef svo kynni að bera undir!

Að öðru leyti er aðferðin góð einföldum fyrir heimasmíði ef 80 m og 20 m nægja. Kannski tæki í bakpokann með 80 m fyrir innanlandssambönd og 20 m fyrir DX? Með þessari útfærslu þarf ekki að hliðra VFO-merkinu til í tíðni eftir bandi. Og með einum kristal í viðbót og skiptara er hægt að fá bæði LSB og USB. Hvernig?

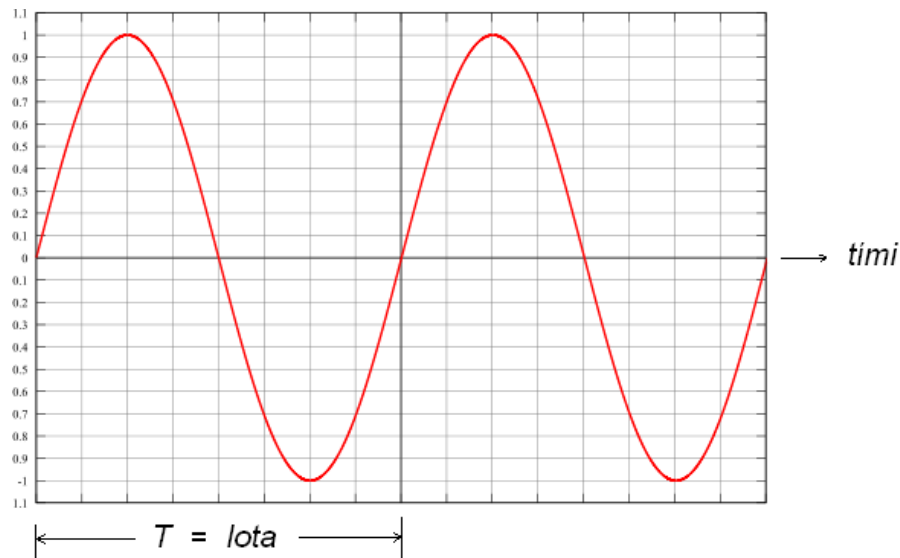
Þar sem áður voru 16 síður með teikningum og dæmum úr öðrum námskeiðsheftum, er núna listi sem vísar til þeirra.

*24. janúar 2016, TF3DX*

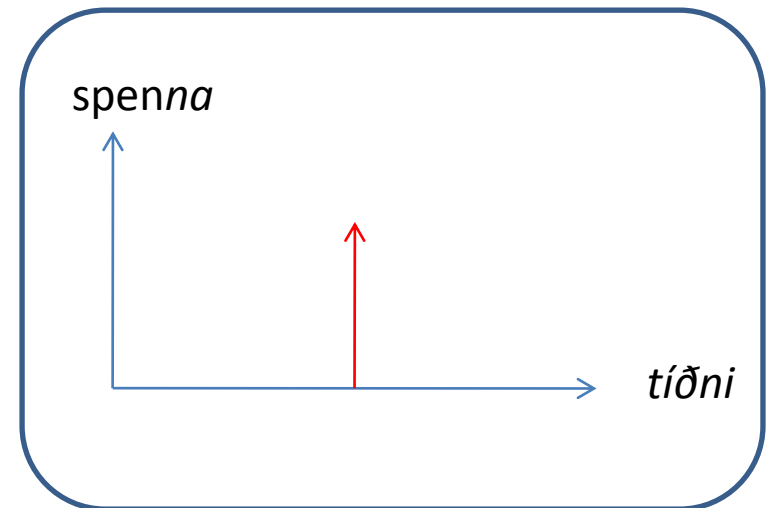
## Hinn hreini tónn

Nóbelskálidið okkar sendi Garðar Hólm út í hinn stóra heim til að finna hinn eina og sanna hreina tón. Radíóamatörar vita betur, sínusbylgjan er þessi tónn. Hún er eina bylgjuformið sem inniheldur aðeins *eina tíðni*.

### Á sveiflusjá



### Á rófsjá



1. mynd *Sínusbylgja inniheldur aðeins eina tíðni*

## Lögmál

Minnsta frávik frá sínuslögum þýðir að aðrar tíðnir eru með í spiliinu.

Strangt til tekið þarf hrein sínussveifla því að hafa verið til frá örófi alda og verða til um alla framtíð!

Tíðniliðir, sem stafa af því að kveikt er á sínussveiflu eða slökkt á henni, deyja út á örskömmum tíma. En ef það er endurtekið í sífellu, eins og þegar mors er sent, verða þeir þó viðvarandi.

**1. regla:** *Sínuslögum er eina bylgjuformið sem inniheldur aðeins eina tíðni.*

Þetta má líka orða þannig:

**2. regla:** *Allt bylgjuform, annað en hreinn sínus, inniheldur fleiri en eina tíðni.*

Frávik frá sínuslögum gerist með tvennum hætti:

**bjögun  
mótun**

## Bjöguð sísvæfla

2. mynd sýnir síndurtekna sveiflu sem er **ekki hrein** sínussveifla. Þá segir **2. regla** að fleiri en ein tíðni koma við sögu. Nú kallast  $T$  grunnlotu og  $1/T$  grunntíðni.

Til að sveifla yfir eina grunnlotu líti eins út og næsta sveifla á undan, þurfa **allir** tíðniliðir að vera í **sömu stöðu** og einni grunnlotu fyrr. Af þessu leiðir reglan:

### **3. regla:**

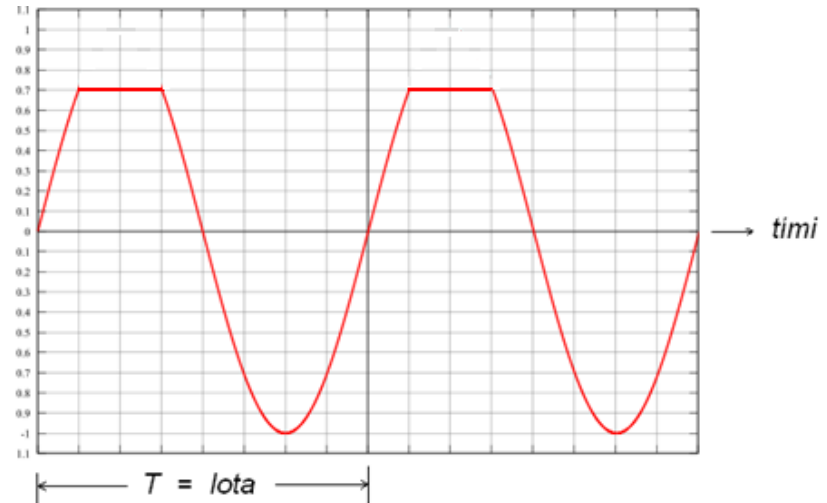
*Lota sérhvers tíðniliðar verður að ganga upp í grunnlotunni  $T$*

sem jafngildir því að segja:

### **4. regla:**

*Nýju tíðnirnar eru heiltölumargfeldi af grunntíðninni.*

Þær kallast yfirsveiflur (*harmonics*).



2. mynd *bjöguð sínussveifla*

## Grunntíðni og yfirsveiflur

grunnsveifla	f	t.d.	7 MHz
2. yfirsveifla	2 f		14 MHz
3. yfirsveifla	3 f		21 MHz
o.s.frv.			

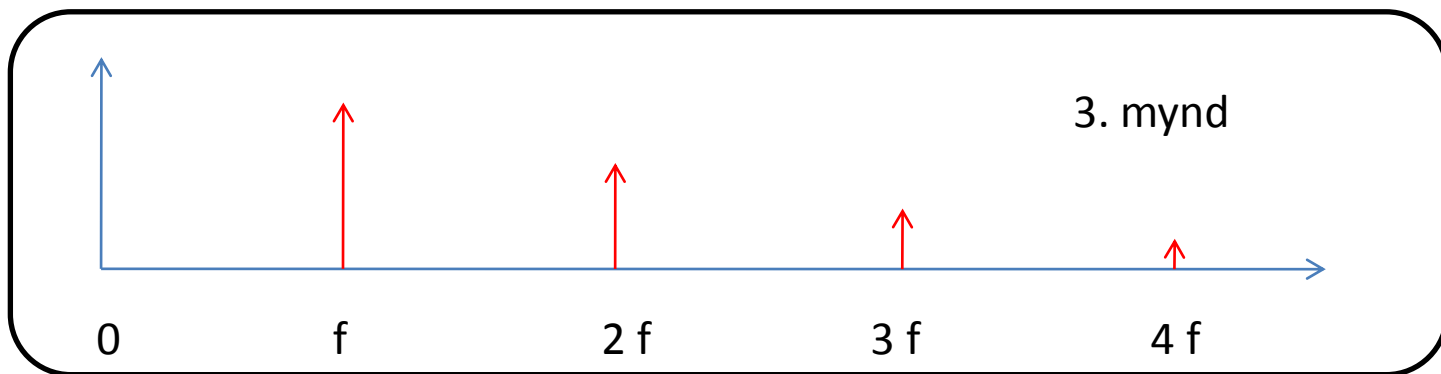
Athygli vekur að það sem kallast 2. yfirsveifla er í raun fyrsta **yfirsveiflan!** Málvenjan er að miða samt við margeldisstuðulinn, eins og gert er á öðrum tungumálum. Íslenska orðið yfirsveifla er ekki bein þýðing á alþjóðlega orðinu *harmonic*, sem vísar til **samhljóms**.

Bæði grunnsveifla og yfirsveiflur eru hver um sig ein tíðni. Þær eru því alltaf **sínussveiflur** óháð bylgjuformi samettu sveiflunnar.

Almennt leiðir bjögun sínussveiflu til þess að **allar hugsanlegar** yfirsveiflur myndast. Samhverfa af mismunandi gerð getur þó leitt til þess að annað hvort oddamargfeldin eða sléttu margfeldin vanti.

**Öll rafeindatól**, eins og díóður, nórar og fetar eru ólínuleg og búa til yfirsveiflur með því að bjaga sveifluna. Þess vegna þarf **alltaf** að vera band- eða lághleypisía aftast í sendi til að hann heyrir ekki langt á yfirsveiflum.

## Yfirsveiflur á rófsjá



Almennt dofnar styrkur yfirsveiflu með hækkandi margfeldi, þó ekki sé það algilt. T.d. er 3. yfirsveifla í kassabylgju  $1/3$  af styrk grunnsveiflu, 5. yfirsveifla  $1/5$  o.s.frv. Sléttu yfirsveiflurnar vantar ef hástaða kassabylgju varir jafn lengi og lágstaðan. Að senda röð af punktum með morssendi er eins og að styrkmóta sendinn með slíkri kassabylgju. Stafræn merki eru kassalaga og mislöng. Það tíðkast þó ekki að styrkmóta sendi beint með þeim.

Yfirsveiflur eru hlutfallslega langt frá grunnsveiflu, nefnilega 100% , 200 % o.s.frv. í tíðni. Því er auðvelt að deyfa þær með síu, t.d. lághleypisíu.

Ef allar yfirsveiflur, hvaða bylgjuforms sem er, eru fjarlægðar með síu er aftur komin **hrein** sínussveifla, það leiðir af **1. reglu**.

## Mótun

Það er hægt að aflaga sínussveiflu með því að auka og minnka í sífellu sveifluviddina á lóðréttan veginn, það er **styrkmótun** (AM).

Það er líka hægt að þjappa og teygja sveifluna sífellt á láréttan veginn, það er **tíðni-** eða **fasamótun** (FM eða PM).

Með þessu móti er hægt að flytja upplýsingar með sveiflunni. Sveifla sem aldrei breytist neitt veitir engar upplýsingar.

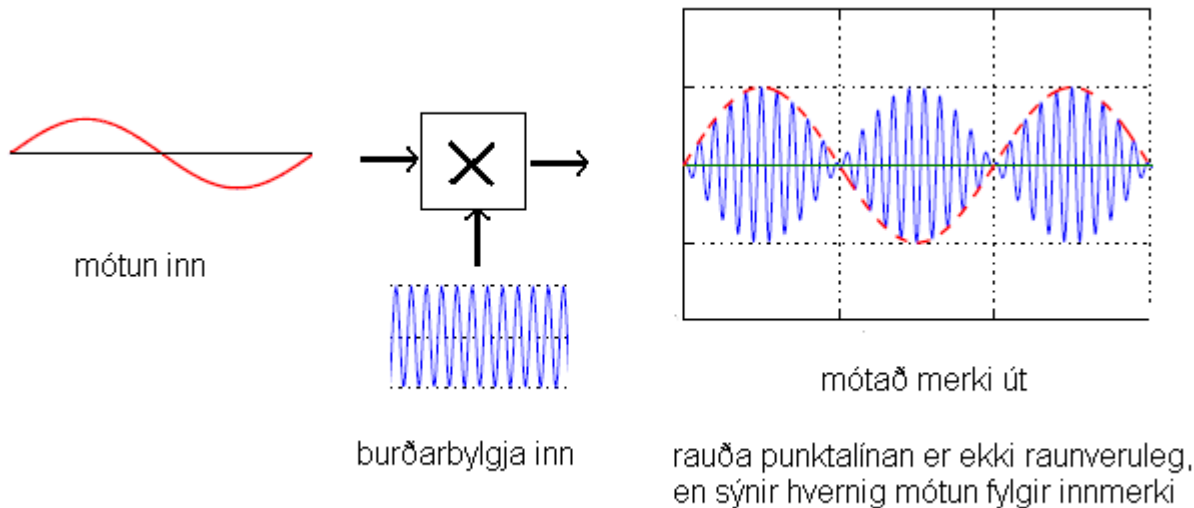
Aflögun sínusbylgjunnar sem leiðir af mótun kallar á nýja tíðniliði. Þess vegna krefst flutningur upplýsinga tíðnisviðs, ein tíðni dugir ekki. Breidd þess er að jafnaði því meiri sem upplýsingastreymið er hraðara, en mótunaraðferðin hefur þar líka áhrif. Talað er um **bandbreidd** merkisins.

Sveiflan sem móta skal kallast **burðarbylgja**. Nýju tíðniliðirnir koma fram sitt hvorum megin við burðarbylgjuna í svo kölluðum **hliðarböndum**. **Efra hliðarband** (USB) og **neðra hliðarband** eru spegilmynd hvors annars um burðarbylgjuna.



## Hliðrænn margfaldari

Með vissum aðferðum er hægt að búa til rás sem hefur 2 innganga og 1 útgang og vinnur þannig, að útspennan á hverju augnabliki er í réttu hlutfalli við **margfeldi** spennunnar á inngöngunum. Þá er hægt að setja burðarbylgjuna á annan innganginn og stjórna stærð hennar frá útganginum með spennunni inn á hinn innganginn.



### 4. mynd *Hliðrænn margfaldari*

Rauða merkið gæti komið frá hljóðnema sem AF merki og bláa merkið frá RF sveifluvaka. Útmerkið er DSB-SC (*double sideband - suppressed carrier*).

## Hvaða tíðniliðir eru í útmerkinu?

Fljótt á litið mætti ætla að það sé aðeins burðarbylgjutíðnin sem kom inn, merkið á þeirri tíðni væri bara missterkt. En reyndin er önnur!

Útmerkið getur **ekki** verið hrein sínusbylgja, því hún hefur fastan styrk! Að auki víxlast fasi útmerkisins í hvert sinn sem mótunarmerkið inn (rauða) skiptir um formerki!

Í framhaldsskóla er kennd hornafalljafnan:

$$\sin A \cdot \sin B = \frac{1}{2} \cos(A - B) - \cos(A + B)$$

**Nei**, þið þurfið hvorki að kunna né skilja þessa jöfnu hér! En þá verðið þið líka að trúa niðurstöðunni. Tíðnin inn á annan innganginn er þáttur í A og tíðnin inn á hinn er þáttur í B. Jafnan sýnir að þegar sínusföll eru margfölduð saman koma út 2 kósínusföll, annað með **mismunartíðni** innmerkjanna, hitt með **summutíðni**. Kósínusfall er í raun sínusfall, bara flýtt um 90° í fasa, sem gildir einu í þessu tilviki.

## 5. regla

Ef inn á hliðrænan margfaldara fara sveiflur með tíðnina  $f_1$  og  $f_2$ , koma út úr honum sveiflur með tíðnina:

$$f_1 - f_2 \text{ og} \\ f_1 + f_2$$

Takið eftir því að hvorki  $f_1$  né  $f_2$  eru í útmerkinu frá **fullkomnum** margfaldara.

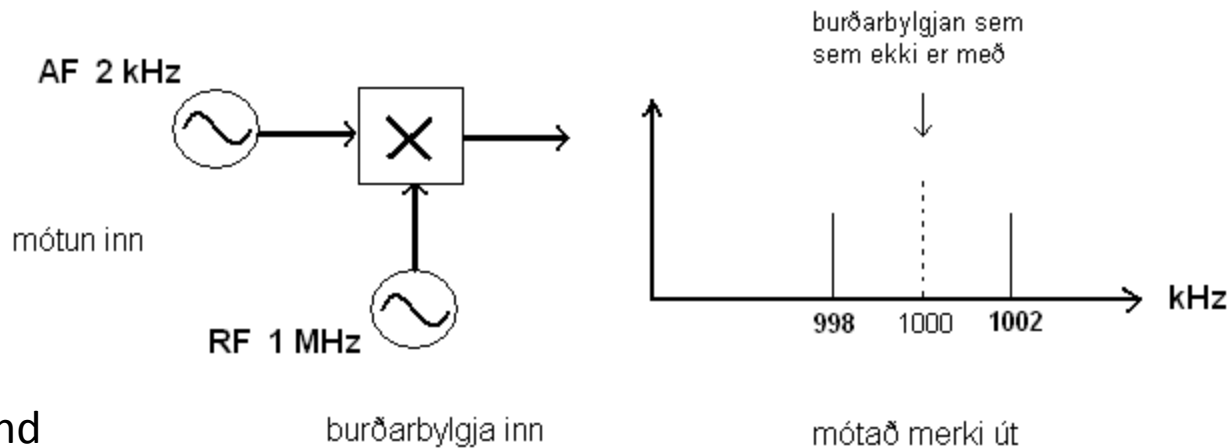
Þvert á það sem halda mætti í fyrstu, er burðarbylgjan því **ekki til** í útmerkinu frá svona mótara! En enginn marfaldari er þó alveg fullkominn, því er talað um niðurdregna burðarbylgju, eða SC (*suppressed carrier*).

Segja má að  $f_1$  og  $f_2$  núllist út vegna jafnvægis í rás mótans. Stundum núllast bara annað merkið og þá er talað um jafnvægan mótara, en tvíjafnvægan ef bæði núllast.

Ef annað innmerkið er á heyrítíðni AF, en hitt á radiótíðni RF, er óþarfi að núlla AF merkið vegna þess hve auðveldlega það síast í burtu í radiótíðnirásunum sem á eftir fara. Burðarbylgjan væri hins vegar á RF og þarf að núllast þegar ekki á að senda hana út. Oft er í sendum fínstillipéttir til að ná sem bestu jafnvægi fyrir þessa núllun.

## Dæmi með tölum

Gerum nú ráð fyrir að annað innmerkið sé 2 kHz prufumerki frá tóngjafa inn á hljóðnemainngang, en hitt 1 MHz = 1000 kHz burðarbylgja á miðbylgju.



6. mynd

burðarbylgja inn

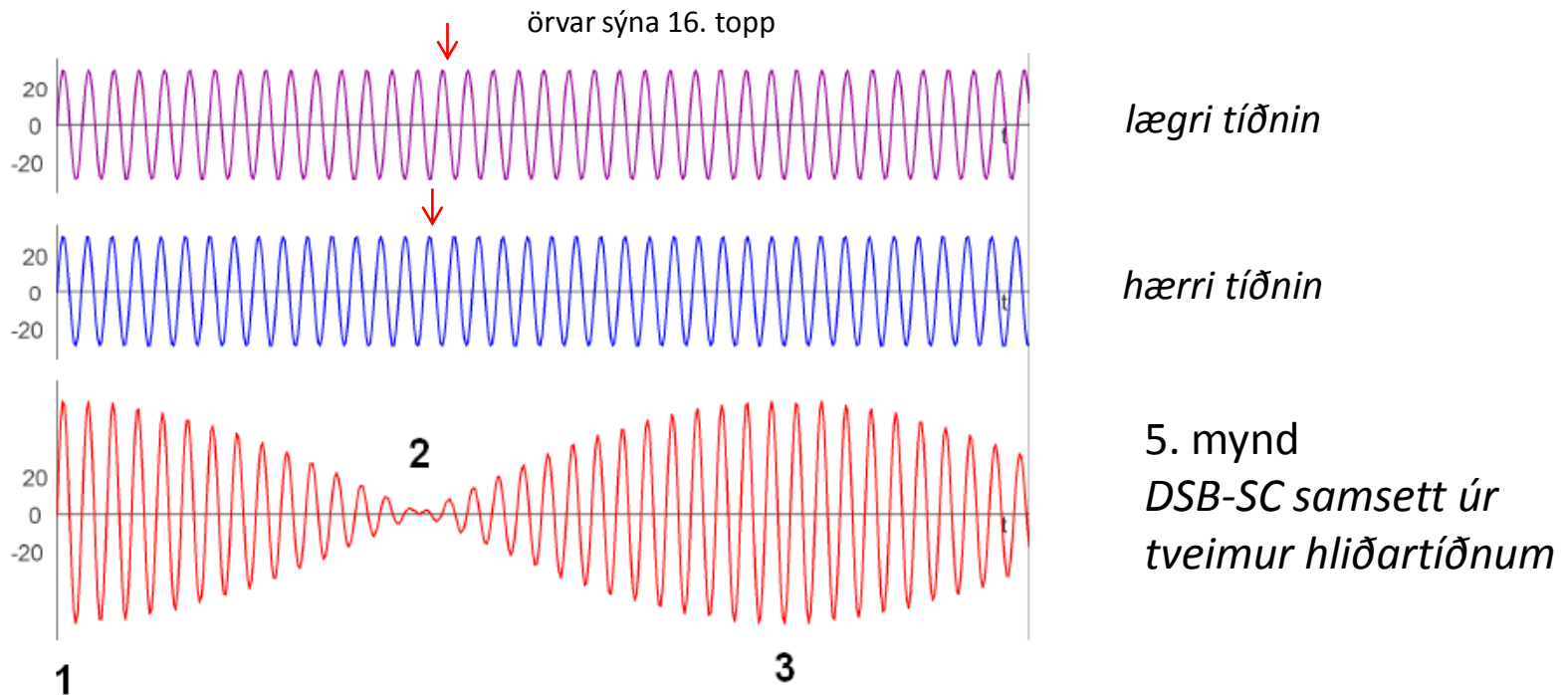
mótað merki út

**mismunartíðni**       $1000 \text{ kHz} - 2 \text{ kHz} = 998 \text{ kHz}$       **neðri hliðartíðni**

**summutíðni**       $1000 \text{ kHz} + 2 \text{ kHz} = 1002 \text{ kHz}$       **efri hliðartíðni**

## Samliðun

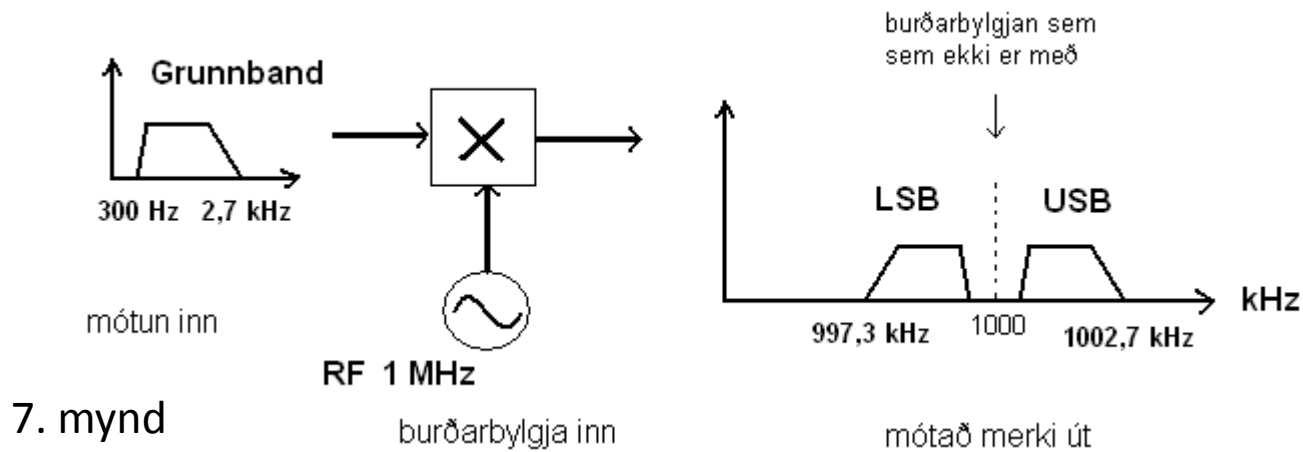
5. mynd sýnir hvernig tvær hreinar sínussveiflur með mismunandi tíðni mynda mótaða merkið með samanlögðum áhrifum.



Þær byrja samfasa við 1 og leggjast að fullu saman. Lægri tíðnin dregst aftur úr uns sveiflurnar ganga í mótfasa við 2 og upphefja hvor aðra. Við 3 er munurinn orðinn heil sveifla og þær eru aftur samfasa.

## Hliðarbönd, LSB og USB

Tal og tónar innihalda samtímis margar tíðnir innan tíðnisviðs sem kallast grunnband. Við móttun flyst hver einstakur tíðniliður upp og lendir sitt hvorum megin við burðarbylgjutíðnina með sama hætti og 6. mynd sýnir. Þannig flyst tíðnisvið grunnbandsins upp á RF tíðni.



Þetta er tvíhliðarbandsmerki með niðurdreginni burðarbylgju, DSB – SC. Hliðartíðnirnar vegna móttunar með grunnbandinu koma fram sem:

- neðra hliðarband LSB (lower sideband)
- efra hliðarband USB (upper sideband)

## Bandbreidd sendingar

Heyritíðni spannar u.þ.b. 15 Hz – 15 kHz. Ef senda ætti út allar tíðnir sem heyrast yrði bandbreidd útsendingarinnar 30 kHz með þessari aðferð. Það er of mikið bruðl með tíðni á LF, MF og HF. Útvarpsstöðvum er heimilt að AM-móta með tíðni sem er hæst 4,5 kHz og er því raðað niður með 9 kHz millibili. Talsending síma og fjarskipta er talin nógu góð ef mótað með tíðni á bilinu **300 Hz - 2,7 kHz**.

## Einhliðarband, SSB

Talmótað DSB merki tekur samkvæmt ofansögðu um 5,4 kHz. Efra og neðra hliðarband eru spegilmynd hvort af öðru um burðarbylgjutíðnina. **Hvorugt** flytur því upplýsingar sem ekki eru **fólgna í hinu**. Þess vegna er snjallt að senda aðeins út annað hliðarbandið. Bandbreiddin fer þá niður í  $2,7 \text{ kHz} - 0,3 \text{ kHz} = \mathbf{2,4 \text{ kHz}}$  u.þ.b. Jafnframt er hægt að losna við suðið úr því hliðarbandinu sem ekki er notað í móttökunni.

Þá kallast þetta **einhliðarbandsmerki**, SSB (single sideband). Hægt er að nota hvort sem er USB eða LSB. Af einhverjum (sjá formála) sögulegum ástæðum notuðu amatörar gjarnan LSB á 80 m og USB á 20 m í upphafi, sem leiddi til þeirrar venju að nota LSB á lægri böndunum og USB á 20 m og ofar.

Öll þjónusta í MF og HF tíðnisviðum, önnur en amatörar, notar eingöngu USB.

## SSB-mótun með síu

Algengasta aðferðin í talstöðvum er að búa fyrst til DSB-SC eins og áður er lýst og skera svo annað hliðarbandið frá með **síu**. Slík sía þarf að greina á milli RF merkja sem eru aðeins í um  $2 \times 300 \text{ Hz} = 600 \text{ Hz}$  fjarlægð hvort frá öðru. Sían þarf því að hafa hlutfallslega litla bandbreidd og mjög **brattar hliðar**.

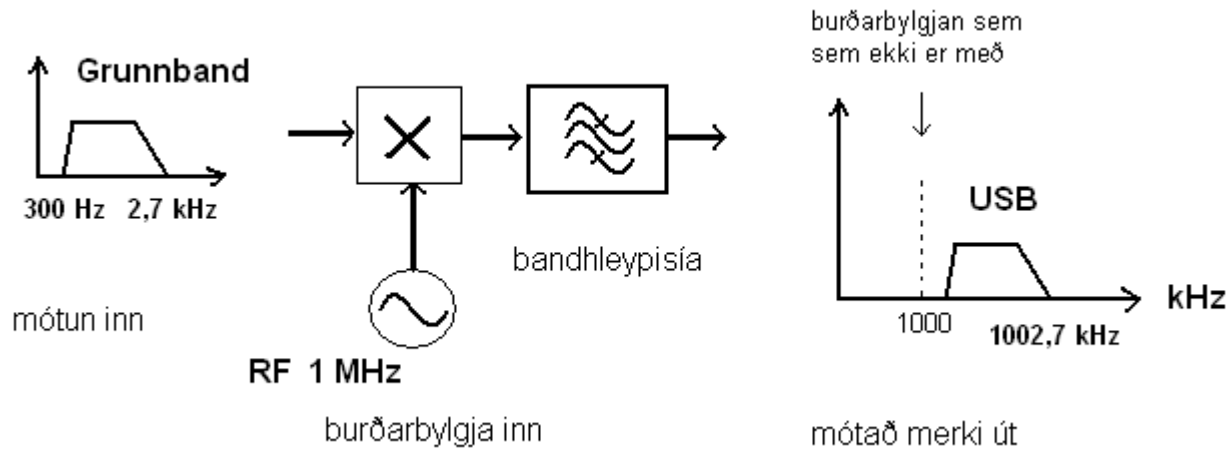
Þekkt er að bandbreidd sveiflurásar er resónanstíðnin deilt með gæðastuðli Q. Kvartskristallar hafa Q um 10.000 eða hærra, en spólur í LC rás aðeins um 100. Því er venjan að nota kvartskristalla í slíka síu. Tíðni á bilinu 5 - 10 MHz hentar vel.

Þá gæfi einn kristall allt að 1 kHz bandbreidd en ekki nægilega brattar hliðar. Því er raðað saman nokkrum kristöllum með aðeins mismunandi resónanstíðni til að auka bandbreiddina upp í 2,4 kHz eða svo. Jafnframt vinna þeir saman að því að deyfa tíðni til hliðanna svo þær verða nægilega brattar.

Lágmarksfjöldi kristalla fyrir sæmilegt SSB er um 5 en góðar síur nota allt að 10 kristalla. Fjöldi kristalla er jafnan tilgreindur sem **pólafjöldi** síunnar.

Kristallarnir vinna á fastri tíðni, sem kallast **millitíðni**. Síðan er SSB merkið flutt á senditíðnina. Millitíðnihlutinn er venjulega samnýttur í sendi og viðtæki.





## 8. mynd SSB með síuaðferð

Tíðni útsendingar hleypur til eftir því hvaða tíðniliðir eru í talinu og styrkurinn sveiflast í **einhverju** samræmi við talsveiflurnar. Því má segja að SSB-merki sé **sérstök blanda** af tíðnimótun FM (*frequency modulation*) og styrkmótun AM (*amplitude modulation*). Hvort tveggja þarf að varðveita í eftirfarandi meðferð og mögnun svo mótunin skili sér óbjöguð og **innan tilskilinnar** bandbreiddar.

8. mynd sýnir hvernig grunnbandið **hliðrast** upp sem nemur tíðni sveifluvaka burðarbylgjunnar.

Slík **tíðnihliðrun** er mikið notuð í allri radíótækni, bæði sendum og viðtækjum.

## Dulargervi margfaldarans

Hliðræni margfaldarinn birtist okkur því í margra kvikinda líki:

**mótari** (*modulator*): mótar burðabylgju með grunnbandi

**blandari** (*mixer*) **í viðtæki**: færir loftnetsmerki á millitíðni

**blandari** (*mixer*) **í sendi**: færir mótað merki af millitíðni á senditíðni

**blandarar** eru oft notaðir bæði í sendum og viðtækjum til að færa tíðni stillanlegs sveifluvaka (VFO) á réttan stað fyrir tiltekið tíðnisvið

**afmótari** (*demodulator*) færir merki aftur niður í grunnband  
**fleiri gerðir** afmótara en margfaldari eru þó til

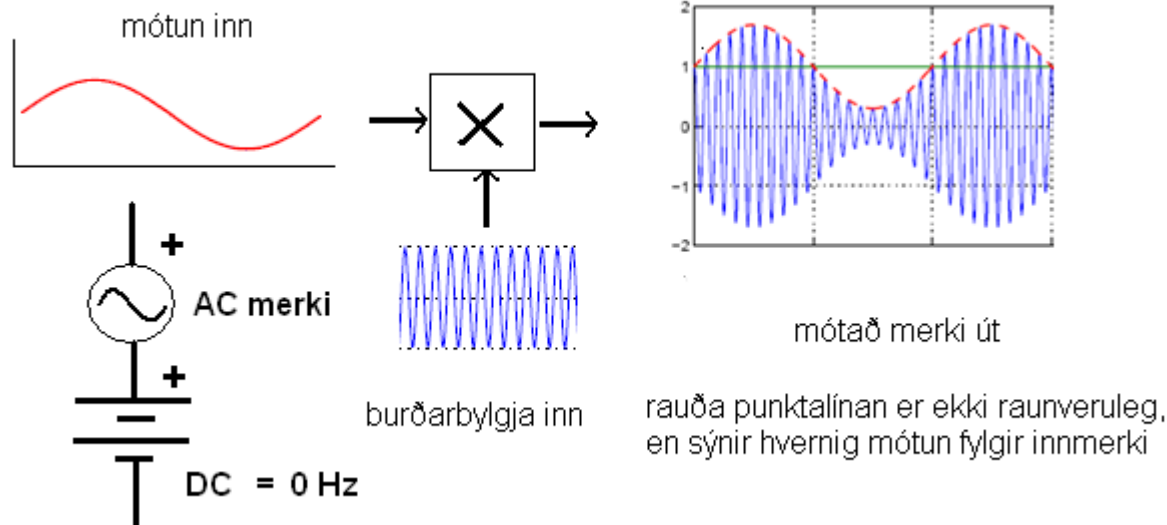
**skynjari** (*detector*) annað nafn á afmótara

**margfeldisskynjari** (*product detector*) skynjari sem einmitt notar **margfaldara**

**Í öllum tilvikum** hliðrast merki sem nemur tíðni sem er fengin frá sveifluvaka og sett inn á annan inngang hliðræna margfaldarans. Alltaf myndast bæði summu- og mismunartíðni, **velja þarf** réttu tíðnina með síun.

## Hefðbundin styrkmótun, AM

Við hefðbundna styrkmótun er send út **föst** burðarbylgja þegar ekki er mótað. Jákvætt útslag mótunarmerkis hækkar styrkinn en neikvætt útslag lækkar hann, mest niður í núll. Því verður **aldrei fasavending** eins og í DSB-SC.



9. mynd *AM mótun*

Jafnspennu er bætt við riðspennumerkið, þannig að heildarspennan fer aldrei niður fyrir núll. **Mótunarstuðull** segir hve sveiflan er stór hluti jafnspennunnar, á myndinni er hann 0,7 eða 70%. **Mest** má móta **100%**.

## Umlykja

Rauða **hjálp**arlínan með útmerkinu á 9. mynd sýnir styrksveiflu útsendingarinnar. Hún kallast **umlykja**. Líka hefur verið notað orðið hjúplína, en umlykja er beinni þýðing á erlenda orðinu *envelope*. Við **AM** er umlykjan einfaldlega eins og sveifla tals og tóna inn á mótaranann.

Við DSB-SC er umlykjan eins og **tölugildi** mótunarmerkisins, rétt eins og það hafi verið heilbylgjuafriðað. Fletta þarf neikvæða hluta rauðu hjálparlínunnar á 4. mynd upp á við til að hún sýni umlykjuna.

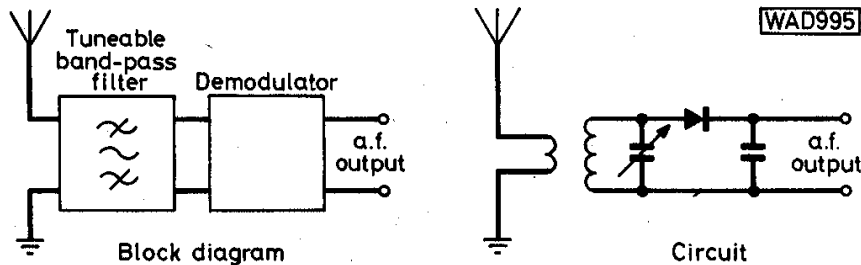
## Umlykjuskynjari

Hefðbundinn umlykjuskynjari frá árdaga útvarps og talsendinga er díóða sem **afriðar** hátíðnimerkið og skilar út “jafnspennu”, sem þó nær að fylgja eftir sveiflum í styrk hátíðnimerkisins. Svo kölluð kristaltæki voru vinsæl til beinnar móttöku á sterkum AM útvarpsstöðvum á öldinni sem leið. Í upphafi voru ýmsir hálfleiðandi kristallar notaðir, síðar Ge - díóður. Ekki rugla þessu saman við kvartskristalla, sem eru einangrarar.

**Nær allir** AM afmótarar enn þann dag í dag eru af þessari gerð, en vinna nú á millitíðni viðtækisins. DC spennan frá þeim, eftir að tal og tónar hafa verið jafnaðir út með hæfilega stórum þétti, er látin draga niður mögnun í fremri stigum viðtækisins, því meira sem sterkari stöð kemur inn. Þetta kallast **AGC** (*automatic gain control*).

## Rásir úr *Passport to Amateur Radio*

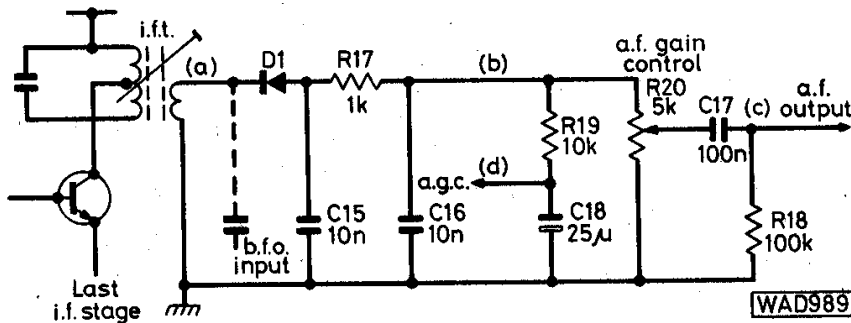
10. mynd



**Fig. 70: "Crystal Set"—absorption wavemeter**

Við útgang **kristaltækis** er tengt heyrnartól með háu viðnámi, 2-4 kΩ. Þéttinn á eftir díóðunni þarf að velja svo að spennan til heyrnartólanna geti fylgt mótunarsveiflunni.

Sama rás var notuð sem bylgjumælir fyrir sendistöð. Þá var settur jafnspennumælir í stað heyrnartólanna og hverfipéttirinn stilltur á mest útslag. Kvarði við hnapp þéttisins sýndi þá bylgjulengd sendisins.



**Fig. 76: Circuit of a basic a.m. (envelope) demodulator**

Næsta mynd sýnir **umlykjuskynjara** eftir millitíðnimagnara. Díóðu er snúið til að fá neikvæða AGC spennu, sem **lækkar mögnun** RF og IF stiga á **sterku merki**. Venjulega knýr sama spenna **S-mælinn**.

Langur tímastuðull R19 og C18, 1/4 sek, kemur í veg fyrir að AGC spennan elti mótunarsveiflu og bjagi þannig merkið.

## Tíðniliðir AM

Sveiflan í mótunarmörkinu inn á 9. mynd veldur hliðartíðnum nákvæmlega eins og við DSB-SC á 4. mynd. En hvað gerir **jafnspennan**?

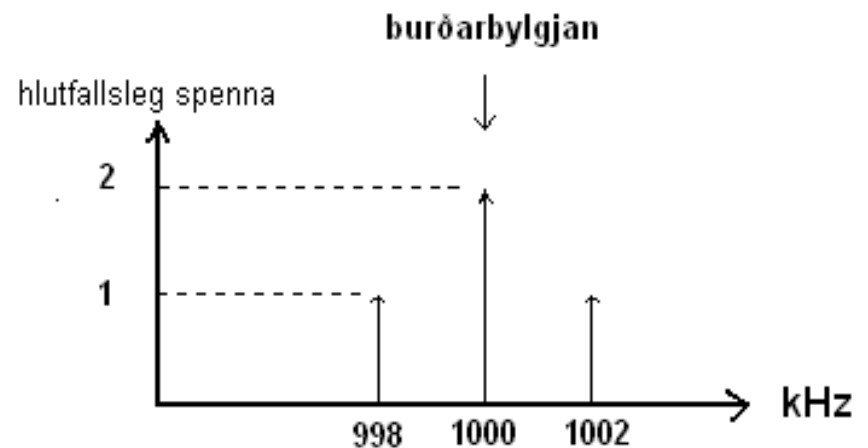
Hvað líður langur tími þangað til jafnspenna hefur lokið heilli sveiflu? Jú, óendanlega langur tími. Það þýðir að **tíðni jafnspennu er núll!**

Ef við notum töludæmið í 6. mynd fáum við “hliðartíðnir” jafnspennunnar:

<b>mismunartíðni</b>	$1000 \text{ kHz} - 0 \text{ Hz}$	$= 1000 \text{ kHz}$	<b>neðri hliðartíðni</b>
<b>summutíðni</b>	$1000 \text{ kHz} + 0 \text{ Hz}$	$= 1000 \text{ kHz}$	<b>efri hliðartíðni</b>

“Hliðartíðnir” jafnspennunnar eru því á sömu tíðni og samfasa. Þær leggjast saman og eru **burðarbylgjan sjálf**.

Hliðartíðnir sínussveiflunnar á 9. mynd eru hins vegar stakar, LSB og USB. Við 100 % mótun er spenna hvorrar því helmingur af spennu **burðarbylgjunnar**.



11. mynd *AM 100% mótað með sínuslaga merki*

## Afl í AM

Spennan í hvoru hliðarbandi er **helmingur** spennunnar í burðarbylgjunni við 100 % mótun. **Afl** fylgir spennu í **öðru veldi**, svo meðalaflið í hvoru hliðarbandi er **1/4** af afli burðarbylgjunnar þegar mótað er með sínussveiflu.

Dæmi með tölum:

	burðarbylgja	100 W
	LSB	25 W
	USB	25 W
	<hr/>	
sendiafl alls		150 W

**2/3 hlutar** aflsins fara í burðarbylgjuna sem **ekki** flytur upplýsingar! Tal hefur lægra hlutfall meðalafls en sínusbylgja, svo þetta er enn óhagstæðara við sendingu þess.

Þetta var rakin ástæða til þess að **hætta að eyða** afli í burðarbylgju og nota DSB-SC. Þar að auki er oftast aðeins sent annað hliðarbandið nú til dags í fjarskiptum, **SSB**.

## PEP (*peak envelope power*)

PEP táknar “**aflið þegar umlykjan er í toppi**”. Frá 100 % mótuðum AM sendi er spennan við topp umlykjunnar **tvöföld spenna** burðarbylgjunnar einnar, sem afl AM sendis er venjulega miðað við. Á því augnabliki er aflið því **fjórfalt afl** burðarbylgjunnar.

Dæmi með tölum:

100 W AM merki er 400 W PEP

## Krafan um línuleika

Þegar magna þarf merki með sveiflandi umlykju (á ekki við um FM eða CW) má umlykjan **alls ekki bjagast!** Ef það gerist er eins og **mótað hafi verið** með **bjöguðu** merki sem inniheldur **yfirsveiflur** og hefur því **mikla bandbreidd**. Hliðarböndin frá þessari bjögun trufla út fyrir leyfilega bandbreidd sendingarinnar. Það kallast **skvettur** (*splatter*) inn á grannrásir og eru til vitnis um kunnáttuleysi þess sem sendir. Aflinu sem í þær fer er líka **kastað á glæ**, því það fellur utan bandbreiddar viðtækis þess sem hlustar.

Sendimagnarar fyrir AM, DSB-SC, SSB og önnur merki sem hafa sveiflandi umlykju eru gefnir upp fyrir að skila útspennu í réttu hlutfalli við innspennu **upp að vissu PEP**.



Sagt er að þeir séu **umlykjulínulegir** upp að því marki. Ef farið er yfir það fletjast mótunartoppar venjulega út með tilheyrandi bjögun og **skvettum**.

## Tal og SSB

**Meðalafli** óbjagaðs **tals** er talið um 1/14 eða **7 %** af toppaflinu. Það er **ekki** einfalt samhengi milli umlykju SSB og mótunarkerkis með þeim hætti sem áður var lýst fyrir AM og DSB-SC, en engu að síður er hlutfall meðalafli í umlykju SSB merkis svipað og í talinu sjálfu ef mótunin er óbjöguð. Ef notaður er SSB sendir sem er gefinn upp fyrir 100 W PEP, er **eðlilegt** að venjulegur aflmælir sýni **innan við 10 W** þegar talað er. Það væru **skelfileg mistök** að skrúfa upp í hljóðnema eða kný (*drive*) til útgangsins til að reyna að nálgast 100 W á aflmælinum.

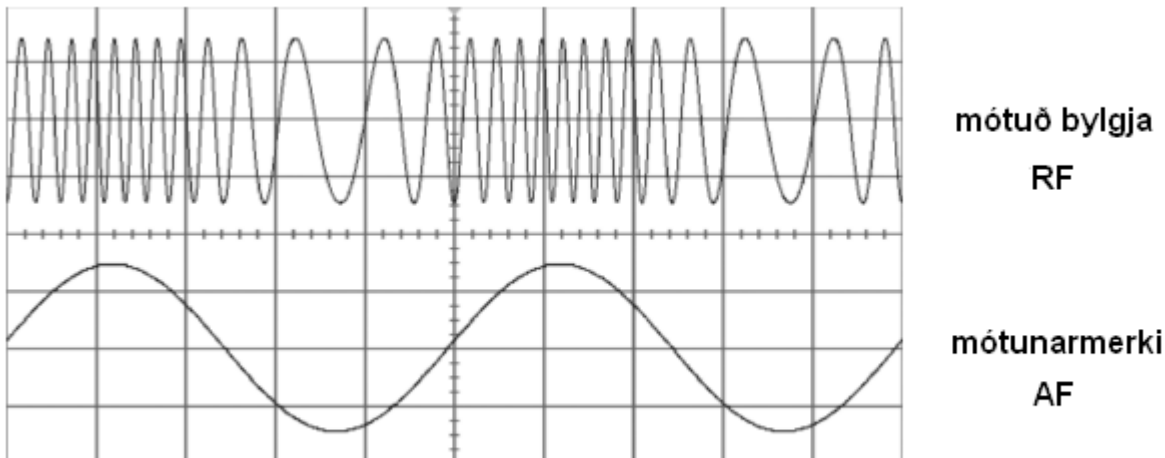
Til eru aflmælar sem grípa toppaflið og halda vísun í nokkra stund. Þeir sýna þá PEP. Með slíkum mælum ætti að stilla svo að þeir fari aðeins af og til upp að því afli sem útgangsmagnarinn er gerður til að skila.

## Þjöppun tals

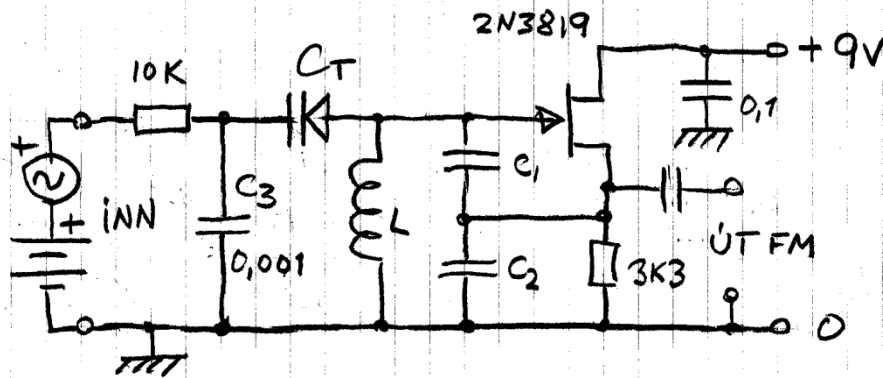
Þegar illa heyrast getur verið til bóta að auka meðalafli tals með þjöppun. Hún **bjagar** þó merkið og má **eingöngu** gerast **fyrir framan** kristalsíuna sem velur hliðarbandið. Sían **sker burt** það sem annars yrði skvettur og **tryggir** eðlilega **bandbreidd** útsenda merkis. Það má **aldrei** fletja toppana í **útgangsstigi** eða viðbótarmagnara!

## Tíðnimótun

Í stað þess að sveifla styrk með útslagi mótunarmerkis, er hægt að **sveifla tíðninni**. Það kallast tíðnimótun, FM (*frequency modulation*). **Hliðrun** frá ómótaðri tíðni burðarbylgjunnar er **í réttu hlutfalli við útslagið** á mótunarmerkinu á hverju augnabliki.



Tíðnin verður aðeins mótuð í **sveifluvakanum sjálfum**, það þarf að breyta gildi íhlutar sem ræður tíðninni. Hægt er að móta rýmdina í LC sveiflurás og nota til þess bakspennta kísildíóðu sem vinnur eins og lítill **spennustilltur þéttir**. Allar díóður hafa þennan eiginleika, en þær sem eru sérstaklega framleiddar til þess kallast **rýmdardíóður** eða “varicap”.



Myndin sýnir einfaldan Colpitts sveifluvaka. Heildarrýmdin sem ræður tíðni sveiflunnar ásamt spólunni er:

$$C_{alls} = C_T + \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

þar sem gert er ráð fyrir að  $C_3$  sé hæfilega stór til að skammhleypa RF en ekki AF.

Jafnspennan inn fínstillir **burðarbylgjutíðnina**, en **tíðnisveiflan** fylgir **riðspennumerkinu**. Jafnspennan þarf að lágmarki að vera jöfn toppgildi merkisins til að tryggja að díóðan sé alltaf bakspennt.

Hliðrunin er mest þegar riðspennan er í toppi og kallast þá **tíðnivik** mótunarinnar, venjulega táknað með  $\Delta f$ . Tíðnivik talstöðva hefur gjarnan verið 5 kHz fram til þessa. Það er 0,0035 % við 144 MHz, svo mótaða rýmdin er aðeins lítill hluti heildarrýmdar. Reyndar má draga enn frekar úr áhrifum hennar með því að raðtengja lítinn þétti, eins og C á Fig. 58 í Passport to Amateur Radio. Með honum má stilla tíðnivikið.

## Tíðniliðir FM

FM mótuð bylgja er **ekki hrein** sínusbylgja og inniheldur þar af leiðandi **fleiri** en eina tíðni. Mótunin leiðir til hliðartíðna, rétt eins og við AM, en þó með þeirri viðbót að það koma líka **hliðartíðnir af yfirsveiflum** mótunartíðninnar. Þetta gerist þó mótunarkerkið sé tandurhrein sínussveifla og er eðlilegur **eiginleiki FM**. Ef lítið er mótað eru þessar hærri hliðartíðnir daufar, en stíga sveiflukennt með vaxandi mótun.

Það sem ræður styrkleika hliðartíðnanna er tíðnivikið sem hlutfall af mótunartíðninni. Það kallast **mótunartala**:

$$m = \frac{\Delta f}{f_m}$$

Þannig fást jafnstærkar hliðartíðnir með 1 kHz tíðniviki frá 200 Hz tóni og með 5 kHz tíðniviki frá 1 kHz tóni. En auðvitað liggja hliðartíðnirnar fimmfalt lengra frá burðarbylgjutíðninni í síðara tilfallinu, sem þýðir meiri bandbreidd.

Ef mótunartalan er um **1** eða minna, eru fyrstu hliðartíðnirnar **ráðandi**. Þá er talað um bandmjóa tíðnimótun, NBFM (*narrow band FM*).

Oft er FM búið til á **lægri** tíðni en senda skal á og notuð nokkur stig af tíðnimargföldun. T.d. 8 MHz x 2 x 3 x 3 = 144 MHz. Þá **margfaldast** tíðnivikið tilsvarandi.

## Bandbreidd FM

Regla kennd við Carson áætlar bandbreidd FM merkis sem:

$$BW = 2(\Delta f + f_m)$$

Lengi var miðað við að VHF/UHF talstöð hefði 5 kHz tíðnivik og mótaði með tíðni upp að 3 kHz. Þá gefur regla Carsons  $2(5 \text{ kHz} + 3 \text{ kHz}) = 16 \text{ kHz}$  bandbreidd, sem hentar vel 25 kHz rásabili. Í seinni tíð hefur 12,5 kHz rásabil unnið á með tilsvarendi minna tíðniviki.

Íslenska reglugerðin um starfsemi radíóamatöra leyfir okkur að nota mest 18 kHz bandbreidd á 2 m og 30 kHz á 70 cm. Eins og alltaf, skal líka hafa hliðsjón af þeirri þjónustu sem er í gangi á viðkomandi hluta bandsins og tilmælum IARU. Athugið að einangrun okkar frá umheiminum er rofin á þessu tíðnisviði af miklum fjölda gervitungla sem amatørar hafa smíðað og fengið puttafar fyrir út í geiminn.

FM útvarp notar 75 kHz tíðnivik og mótar með miklu hærri tíðni en talstöð. Það er WBFM (*wide band FM*) og fer langt út fyrir þau mörk sem FM skynjari í talstöð ræður við án bjögunar.

## Afl í FM

Heildaraflið í útsendingunni er **óbreytt** þó mótað sé, því sveifluviddin er alltaf sú sama. Þegar hliðarböndin styrkjast **dofnar** því upphaflega burðarbylgjan að sama skapi. Þegar mótunartalan nær gildinu **2,4** fer burðarbylgjan í gegn um **núll**. Það er hægt að nota til að finna hvaða stærð mótunarkerkis framkallar tiltekið tíðnivik svo hægt sé að **still**a það rétt án þess að ráða yfir tíðniviksmæli.

**Ekki** er nauðsynlegt að nota **umlyjulínulega** magnara fyrir **FM** (né CW), því það er engin sveiflandi umlykja sem gæti bjagast. Athugið að aflíð heldur fullu gildi allan tímann sem sent er (**100 % iðnilota**), sem gerir það að verkum að sendir þolir ekki að ganga á FM nema örstutta stund á sama afli og hann þolir sem toppafl við SSB eða lyklað CW.

## Tíðnilyklun

Frá upphafi RTTY (radio teletype) hefur tíðkast að lykla senditíðnina með stökki milli 2ja tíðna. Það kallast **FSK** (frequency shift keying). Þetta er í raun tíðnimótun út frá meðaltíðninni með kassalaga merki. Tíðnivikið er **helmingurinn** af mismun þessara tíðna og er haft nógu lítið til að bandbreidd sé lítil þrátt fyrir kassalögun og FM.

## Fasamótun

Í raun er fasamótun **PM** (phase modulation) og **FM** mótun af sama toga, annað getur **ekki verið** án hins. Hækkuð tíðni flýtir fasa en lækkuð seinkar. Munurinn er þessi:

**FM**      **tíðnihliðrun** er í réttu hlutfalli við útslag mótunarmerkis  
**PM**      **fasahliðrun** er í réttu hlutfalli við útslag mótunarmerkis

Í síðara tilvikinu verður **tíðnihliðrun** í réttu hlutfalli við **breytingarhraða** mótunarmerkis.

Breytingarhraðinn vex með hækkandi mótunartíðni. FM sem leiðir af PM **hyglir** því **hækkandi** mótunartíðni í vaxandi mæli. Ef merkið frá hljóðnema fer fyrst í gegn um síu sem deyfir það í réttu hlutfalli við tíðni og síðan inn á PM mótara, er útkoman eins og vera myndi frá venjulegum FM mótara. Það kallast **óbein tíðnimótun** og er oft notuð, einkum þegar kvartskristall stýrir senditíðninni. Þá gerir sá eiginleiki hans að vera stífur á sinni tíðni óhægt um vik með tíðnimótun.

PM er hægt að framkalla hvar sem er **á eftir** sveifluvaknum. Einungis þarf þverviðnám sem hægt er að móta til að spila nægilega á fasvik. Rétt eins og við beina tíðnimótun sveifluvaka eru rýmdardíóður mest notaðar nú til dags við fasamótun.

## Til hliðsjónar úr “Passport to Amateur Radio”

*Eftirfarandi myndir og tilheyrandi texti:*

mynd 73 (a) og (b)	bls. 45
mynd 79	bls. 47
mynd 59	bls. 39
mynd 78	bls. 46
mynd 71	bls. 44

## Valin æfingadæmi úr “Amatörpróf í raffræði og radiótækni, 1. útgáfa”

<i>próf</i>	<i>dæmi</i>		
október 1992	9.1	(9.2)	
nóvember 1993	10.1		
apríl 1994	9.1	10.2	(10.1)
júní 1996	9.2	(9.1)	
nóvember 1996	8.1	8.3	
september 1997	12.1		
maí 1999	8.1	8.2	
maí 2000	61.		