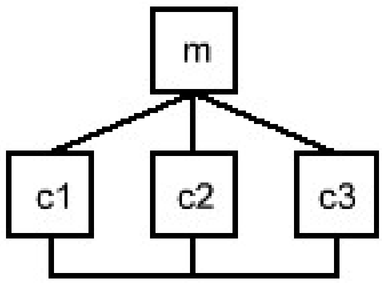
III complex FM

De eenvoudigste vorm van complex FM is een operatorconfiguratie met meerdere carriers die samen worden gemoduleerd door één en dezelfde modulator. Het spectrum vinden we hier eenvoudig door voor elke carrier de bekende formule toe te passen.



$| c_1 \pm nm |$, $| c_2 \pm nm |$ en $| c_3 \pm nm |$

Deze configuratie is met name bruikbaar voor het opwekken van klanken met duidelijk onderscheiden formanten.

parallelle modulatie

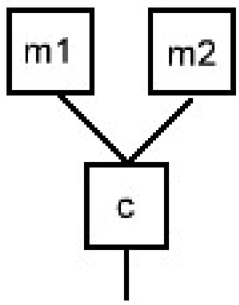
Van parallelle modulatie spreken we als één carrier wordt gemoduleerd door meerdere modulatoren. Zoals valt te verwachten wordt het gevormde spectrum in dit geval nog complexer dan in het de basisconfiguratie, simple FM.

We moeten nu de inmiddels bekende formule $| c \pm nm |$ toepassen voor zowel modulator 1 als modulator 2. Dit resulteert dan in:

$| c \pm nm_1 |$ en $| c \pm nm_2 |$

Behalve echter deze frequenties worden er ook nog zijbanden gevormd door de modulatie van de som- en verschilfrequenties van de verschillende modulatoren.

In het onderstaande voorbeeld zullen we dus de volgende frequenties in het spectrum aantreffen.



m_1 = 2,
m_2 = 11,
c = 1

carrier c = 1

| c + nm_1 | genereert: 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, …
| c – nm_1 | genereert: 1, -3, 5, -7, 9, -11, 13, …

| c + nm_2 | genereert: 12, 23, 34, 45, 56, 67, 78, …
| c – nm_2 | genereert: 10, -21, 32, -43, 54, -65, 76, …

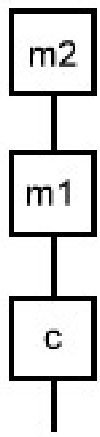
| c + $n(m_1 + m_2)$ | > 14, 27, 40, 53, 66, 70, 92, …
| c – $n(m_1 – m_2)$ | > 8, -17, 26, -35, 53, -62, 71, …

Voor zijbandfrequenties die ontstaan door m_1 en m_2 gaat dat zoals we kunnen zien in de afbeelding van de Besselfuncties. Echter voor zijbandfrequenties die worden gevormd door $n(m_1 \pm m_2)$ kunnen we de amplitude vinden door het vermenigvuldigen van de desbetreffende Besselwaarden. (Zie Besselfuncties in FM-synthese II.pdf)

Modulatie, parallel, met meerdere sinusvormige modulatoren, kunnen we beschouwen als modulatie door een complexe golfvorm.
Voor elke harmonische van deze golfvorm worden dus som- en verschifrequenties gevormd. Maar ook nog voor de som- en verschilfrequenties van die harmonischen met de carrierfrequentie.

seriemodulatie, modulators in serie ofwel in cascade

Een dergelijk complex spectrum verkrijgen we eveneens door middel van seriemodulatie met meerdere modulatoren. Bijvoorbeeld in het volgend algoritme.



Hier zien we dat operator m_2, operator m_1, moduleert. Het uitgangsspectrum van m_1 bevat dus weer de componenten
$| m_1 \pm nm_2 |$.
Deze twee modulatoren kan men beschouwen als één paar simple FM, m_1 fungeert nu als carrier van m_2 . Het complexe uitgangangssignaal van m_1 is nu de complexe modulatiegolfvorm voor de carrier.

Ook volgens dit algoritme worden de zogenoemde combinatiezijbanden gevormd door de afzonderlijke frequenties waaruit het uitgangssignaal van modulator 2 bestaat. En ook nog door de som- en verschilfrequenties van de deelfrequenties in het modulator 2 signaal. Deze seriemodulatie lijkt heel veel op de voorgaande parallelle modulatie. Echter doordat de modulatoren in serie staan geschakeld fungeert modulator 2 als een *scaler* van modulator 1.

Bij zowel parallelle als cascademodulatie neemt de spectrumdiensiteit cumulatief toe met het toenemen van het aantal modulatoren. We kunnen ons dan afvragen of het wel zin heeft om heel precies uit rekenen uit welke spectrumfrequenties met welke sterkte de uiteindelijke klank bestaat.

Een ervaringsvuistregel: naarmate de spectrumdichtheid van klanken toeneemt neemt het belang van de individuele deelfrequenties af. Veel belangrijker voor de waarneming is dan of het spectrum harmonisch, niet-harmonisch of deels harmonisch is, overheersend oneven harmonisch, of juist duidelijk meer even harmonisch. Dus: bij toenemende spectrale dichtheid: meer luisteren, minder rekenen.

FM, een samenvatting in formules

De carrierfrequentie is altijd de grondtoon als:

c : m = 1 : 1 en als m a 2c

waarin
m = modulatiefrequentie
c = carriefrequentie

De verhouding van carrier- en modulatorfrequentie bepaalt het spectrum alsvolgt:

| c ± nm | voor n = 0, 1, 2, 3 …

Het spectrum met de grootste harmoniciteit wordt gevormd door:

c : m = 1 : 1

Analoog hieraan produceren alle c : m verhoudingen in de vorm :

N : n = N : 1 voor N = 1, 2, 3, …

hetzelfde harmonisch spectrum, waarbij de carrier de de Nde harmonische in dat spectrum is.

De modulatie-index, I, vinden we uit de volgende formule:

$$I = Dc : m$$

waarin Dc = maximale afwijking in Hz van de carrierfrequentie

Als vuistregel voor het aantal relevante zijbanden voor de waarneming:

$$n = I + 2$$

Hoe groter de modulatie-index, des te breder het gevormde spectrum.

Bepaalde c : m verhoudingen kunnen principieel een spectrum vormen van dezelfde categorie. Dit spectrum wordt dan opgebouwd vanuit een andere carrierfrequentie. Volgens de volgende formule vinden we gegeven een bepaalde c : m verhouding alle andere c : m verhoudingen die een spectrum opleveren dat tot dezelfde categorie behoort.

$$| c \pm nm | : m$$