

GENLİK VE FREKANS MODÜLASYONU

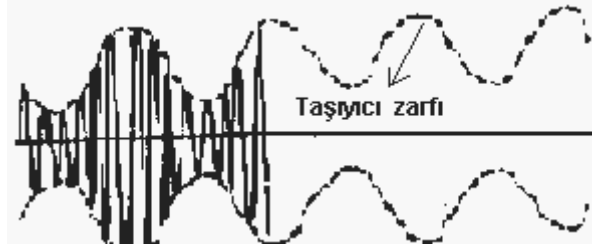
1. Giriş

Modülasyon bildiri işaretini iletme daha uygun bir biçime sokmak için yapılır. Modülasyon yönteminin amacı, sesleri varolan bir haberleşme kanalına uydurmaktır. Bu yüzden modülasyon türü; mevcut gürültü, bant genişliği ve verici gücüne bağlı olarak seçilir.

Periyodik bir işaretin (taşıyıcı), herhangi bir özelliği bildiri işaretin (modülasyon işareti) bağlı olarak değiştirilir. Elde edilen işarete “modülasyonlu işaret” denir.

2. Genlik Modülasyonu

İletilecek olan bildiri işaretinin modüle edilmiş genliği, genliği değiştirilebilen taşıyıcı tarafından ayarlanabilir. $A_o \cdot \cos(\omega_o t + \phi)$ gibi sinüsoidal taşıyıcının genliği bildiri işaretine bağlı olarak değiştiriliyorsa, bu modülasyon türüne “genlik modülasyonu” denir.



Şekil 1 : $f_c = 16f_m$

Genlik modülasyonun üç türü vardır:

1. Tam genlik modülasyonu (FAM)
2. Çift yan bantlı bastırılmış taşıyıcı genlik modülasyonu (DSBSC AM)
3. Tek yan bantlı genlik modülasyonu (SSB AM)

2.1 Tam Genlik Modülasyonu

Bu çoğu zaman basit genlik modülasyonu, ama bazen zarf modülasyonu olarak da adlandırılabilir. Başka bir deyişle, tam modülasyonu tek frekanslı taşıyıcı olarak, genliğini bildiri işaretinin genliğiyle orantılı olarak değiştirilebilecek şekilde elde edebiliriz. Bunları açıklayacak olursak;

$$\text{Taşıyıcı} : V_c = E_c \cdot \cos \omega_c t$$

$$\text{Bildiri işareti} : V_m = E_m \cdot \cos \omega_m t$$

ise V_m 'i değiştirerek E_c 'yi düzenleriz. Fakat E_c hiçbir zaman negatife gitmemelidir. Bu şu anlama gelirki ; $E_m \leq E_c$ olması şartıyla E_c 'nin yerine $E_c + E_m \cdot \cos \omega_m t$ alarak, elde edilen modüle edilmiş sinyali yazacak olursak;

$$V_{AM} = (E_c + E_m \cdot \cos \omega_m t) \cos \omega_c t$$

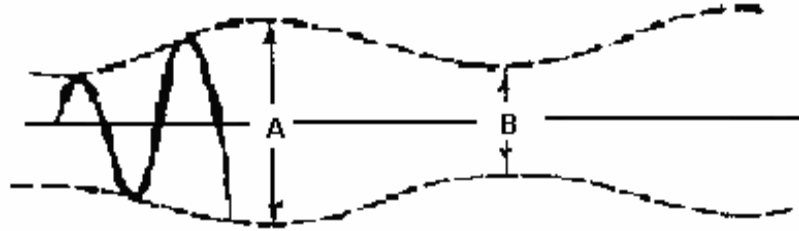
$$V_{AM} = E_c (1 + E_m/E_c \cdot \cos \omega_m t) \cos \omega_c t$$

$$V_{AM} = E_c (1 + m \cdot \cos \omega_m t) \cos \omega_c t$$

Yukarıdaki denklemlerde m : modülasyon faktörü $= E_m/E_c$, $f_c = \omega_c/2\pi$: taşıyıcı frekansı, f_m : bildiri işaretinin frekansı, E_c : taşıyıcı genliği, E_m : bildiri işaretinin genliği ve V_{AM} : genlik modülasyonlu işaret olarak gösterilmiştir.

M modülasyon faktörünün değeri 0-1 arasında değişir. Örneğin; %60 modülasyon verilmişse $m=0.6$ anlamına gelir. $f_c \geq f_m$ olmalıdır. f_c ile f_m arasındaki fark büyürse taşıyıcı tepeleri (modülasyon zarfları) arasındaki mesafe artar.

M dalga şekillerinin tepeden tepeye gerilim değerleri olan A ve B 'nin ölçülmesiyle doğrudan hesaplanır.



Şekil-2 : $m = A - B / A + B$

Bu modülasyona uğramış taşıyıcı kesinlikle tek bir frekans değildir. Bunun spektrumu aşağıda ki analizlerden elde edilebilir.

$$V_{AM} = E_c(1 + m \cos \omega_m t) \cos \omega_c t$$

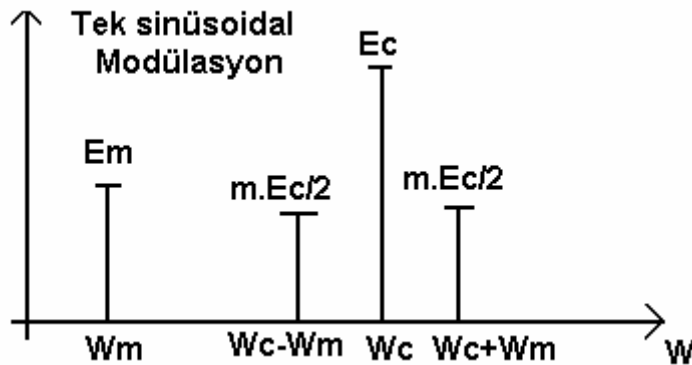
$$V_{AM} = E_c \cos \omega_c t + m E_c \cos \omega_c t \cos \omega_m t$$

$$V_{AM} = E_c \cos \omega_c t + \frac{1}{2} m E_c [\cos(\omega_c - \omega_m)t + \cos(\omega_c + \omega_m)t]$$

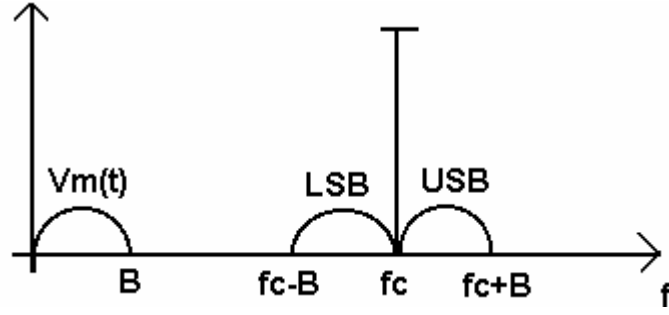
Modülasyonlu işaretin tayfı $V_{AM}(f)$, $V_{AM}(t)$ olan modülasyonlu işaretin fourier dönüşümü ile verilir.

$$V_{AM}(f) = E_c/2 [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] + m E_c/2 [V_m(f - f_c) + V_m(f + f_c)]$$

Burada $\delta(f)$ darbe işlevini, $V_m(f)$ 'de bildiri işaretinin tayfını (fourier dönüşümü) göstermektedir.



Şekil-3



Şekil-4

Sonuçta elde edilen orijinal modüle edilmemiş taşıyıcının iki tane yeni frekansı oluşur, biri f_c 'den daha küçük diğeri ise f_c 'den daha büyüktür. Artış yada azalış miktarı eşittir. Bu frekanslar üst yan frekansı (f_c+B) ve alt yan frekansı (f_c-B)'dir. Her ikisinin genliği $m.E_c/2$ 'dir.

Bir band frekansına sahip ve bir tek sinüsten oluşmayan bir bildiri işaretiyle analog durumlar beraberce yukarıdaki şekilde görülmektedirler. Bildiri işaretinin bilgisini taşıyan yan bantlarında ne kadar küçük bir güç taşıdığını görelim. Bunu şöyle ifade edebiliriz.

$$\text{Taşıyıcı gücü} = \frac{E_c^2}{2} \quad \text{Yan frekans gücü} = 2 \cdot \frac{(mE_c)^2}{4} = \frac{m^2 E_c^2}{2}$$

$$\frac{\text{Taşıyıcı gücü}}{\text{Yan frekans gücü}} = \frac{2}{m^2} \geq 2 \quad \text{Bütün } m \text{ değerleri için}$$

En az iletilen gücün 2/3'ü kadar taşıyıcıda olup hiçbir bilgi taşımaz. Gücün 1/3'ü kullanılır. m ayrıca modüle edilmiş spektrumlarından sadece yan bant genliği ve taşıyıcı genliği oranıyla da bulunabilir.

$$\frac{\text{Yan bant genliği}}{\text{Taşıyıcı genliği}} = \frac{m.E_c}{2.E_c} = \frac{m}{2}$$

Pratikte bu özel ölçüm bir spektrum analizörünü bir tarafındaki genlik skalası kullanılarak (dB) yapılabilir.

$$\text{Ölçülen değer (dB)} = 20 \log(2/m)$$

$$M = 2 / \log_{10}(\text{ölçülen değer}/20)$$

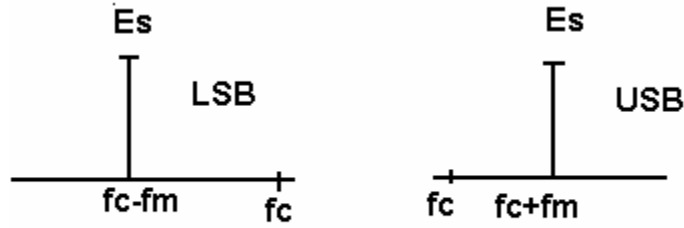
$$\text{Örneğin 6 dB'de } m = 2 / \log_{10}(6/20) = 2/2 = 1 = \%100$$

Bant genişliği spektrum tarafından da görülebilecek bir tam AM sinyalinin iletimine ihtiyaç duyar bu ikiz temel bandın genişliği $2B$ Hz'dir. $B/W = 2B$ 'dir.

2.2 Tek Yanband Genlik Modülasyonu

Bant genişliği B olan bir bildiri işaretinin genlik modülasyonu sonucu elde edilen modülasyonlu işaretin tayfı $2B$ bant genişliğindedir. Bu tayfın taşıyıcının altında ve üstünde kalan bölgelerinin (altyan bant, üst yan bant) her birinde bildiri işaretinin tüm özellikleri mevcuttur. Bu eşitlik bize sinüsoidal bir işaretin genlik modülasyonu sonucu elde edilen tayfın, taşıyıcının hem altında hem de üstünde birbirine eşit iki bileşenden oluştuğunu göstermektedir.

Alt ve üst yan bandın her birinin bildiri işaretinin tüm özelliklerini taşımalarından dolayı bu bantlardan yalnızca birinin iletilmesi bildiri işaretinin iletilmesi için yeterlidir. Böyle bir iletme tek yan bant (SSB) iletimi denir. Tek yan bant modülasyonunda bazı hallerde önemli olan bant genişliğinde %50 tasarruf sağlanmaktadır.



şekil-5 SSB spekturumları

Bildiri işareti $V_m = E_m \cdot \cos \omega_m t$

Bir cosinüs olan taşıyıcı işareti $V_c = E_c \cdot \cos \omega_c t$

Alt yan bant (LSB) için $V_{AM} = E_s \cdot \cos(\omega_c - \omega_m)t$

Üst yan bant(USB) için $V_{AM} = E_s \cos(\omega_c + \omega_m)t$

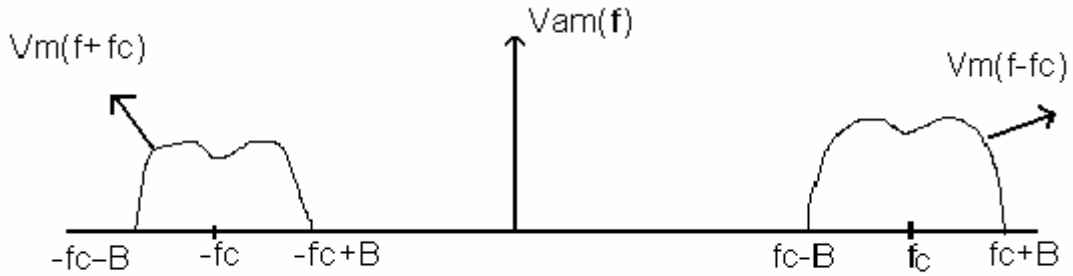
SSB'de bant genişliği $B/W = f_m = B$ 'dir. Bildiri işaretini taşıyan yan bantlar gücün $1/3$ 'ünü kullanır, fakat iletilen gücün $2/3$ 'ü ise işe yaramaz.

2.3 Çift Yanband Bastırılmış Taşıyıcılı Genlik Modülasyonu

Genlik modülasyonunda, bildiri iletilmediği halde taşıyıcı da bildiri işareti ile birlikte gönderilmektedir. Bu verici gücün tutumsuz kullanılması demektir. Genlik modülasyonunda taşıyıcının atılması bildiri işaretini değiştirmez.

$$V_{AM} = E_c \cdot \cos \omega_c t \cdot E_m \cdot \cos \omega_m t$$

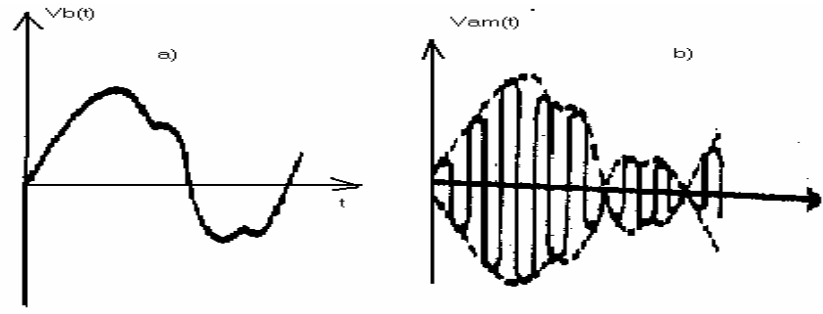
Modülasyonlu işaret tayfında bildiri tayfı genlik modülasyonunda olduğu gibi $\pm f_c$ kadar kaymıştır. Ancak genlik modülasyonunda farklı olarak taşıyıcı ortadan kalkmıştır. $V_{AM} = E_c \cdot \cos \omega_c t \cdot E_m \cdot \cos \omega_m t$ yee DSBSC denir. Tayfı ise



şekil-6 DSBSC AM

$$V_{AM}(f) = E_c \cdot (V_m(f-f_c) + V_m(f+f_c))/2$$

Genlik modülasyonunda olduğu gibi $V_{AM}(t)$ 'nin zarfı bildiri işaretini vermemektedir. Bildiri işaretinin 0'dan geçtiği noktalarda modülasyonlu işaretinin fazı 180° 'lik bir sıçrama (faz değişimi) yapmaktadır. Bildiri işaretinin modülasyonlu işareten elde edilebilmesi için bu faz sıçrama anlarının da bilinmesi gerekir.



Şekik-8

Band genişliği $B/W = 2f_m = 2B$ 'dir. Bildiri işaretinin bilgisini taşıyan yan bantlar gücün $2/3$ 'ünü taşır. En verimli genlik modülasyonu budur.

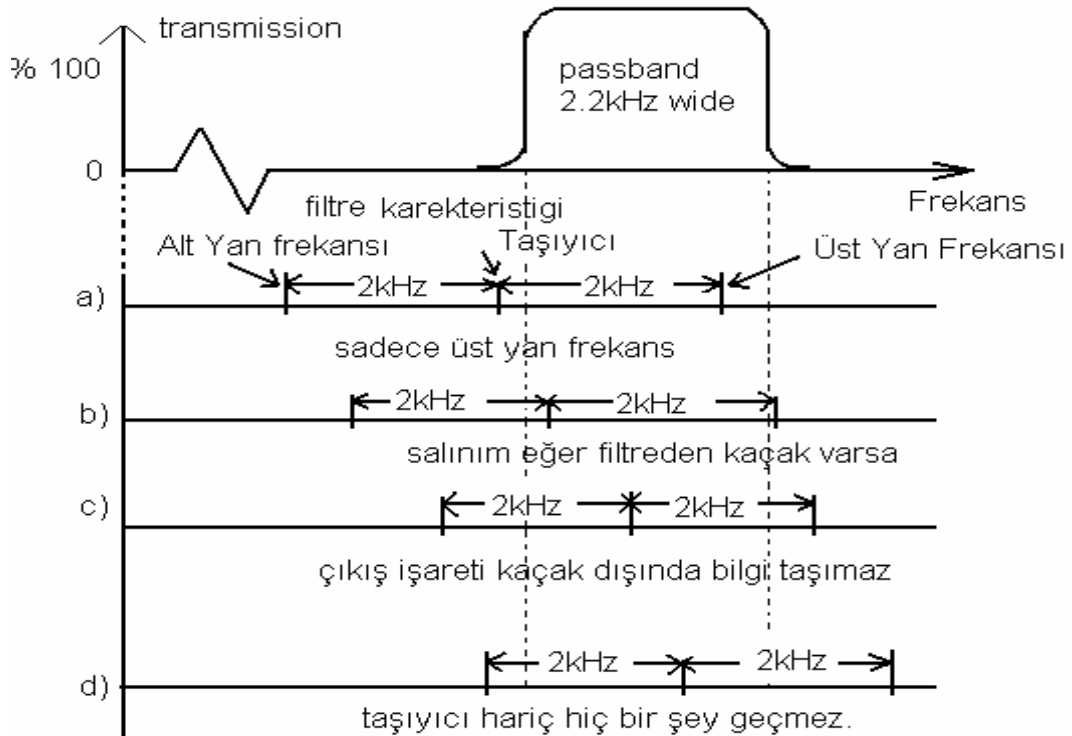
Orta Dalga : Alıcıların giriş sinyallerinin MW frekansları 530kHz'dir. Çıkış sinyallerindeki MW frekansları ise 455kHz'dir. Osilatörün sınırlı frekansı hem giriş hem çıkış sinyallerinin toplamıdır. Filtrenin bant genişliği 12 kHz'dir. Bundan dolayı $455 \pm 6\text{kHz}$ 'i geçebilir. Yani 449 ile 461 arasındadır.(çıkış için)

Kısa Dalga : Telsiz sinyalleri 300Hz ile 3kHz arasında değişir. Gerekli olan bant genişliği ise DSBSC AM için bant genişliği 6kHz'dir,SSB için ise 2.7kHz'dir.

2.4. Deney (Kenar Frekansların Varlığı)

Kenar frekanslarının varlığını inceleyelim. Bunu için generatör kısmı kullanılacaktır. Fakat receiver kısmı kullanılmayacaktır. Osiloskop'un Y1kanalına 10.7 MHz 'lik modülatörün çıkışına, bant geçirgenlik filtresinin ardından bağlayıp, Y1 skalasını 0.2V/div ve zaman skalası 0.2ms/div'e ayarlayınız. Mic/tone anahtarını tone durumuna getiriniz, generatörü 2 kHz 'lik duruma getiriniz. Kazanç kontrol düğmesini orta pozisyona ayarlayınız.

Taşıyıcı osilatörün dalga ayarını değiştirerek osiloskoptaki dalgalanmaları inceleyiniz. Dalga ayarını 10.6985'ten 10.7015'e getirirken ,aşağıdaki etkileri gözlemlenebilir.



Taşıyıcı frekansı	Etkisi
a)10.6985	Sabit genlikli r.f sinyali.
b) fb	Genliği azaltarak sinyalin zarfında bir ripple gözlenir.
c) fc	Sinyalin sıfırı kestiği noktalarda özel noktalar oluşacaktır. Sinyalin alt ve üst zarflarında işaret değişimi meydana gelir.
d)fd	Sinyaller düşük bir sabit gerilim alarak, önceki tepeden tepeye ripple genliği ile karşılaştırılabilir.

Yukarıda olduğu gibi inceltilmiş bir karakteristikli bir filtreden geçirilir. Filtreden 10.7MHz'lik her iki kenarın 1.1kHz yayılmış olan sinyaller kolayca geçerler. Buna bant genişliği denir. Bu bandın dışında hemen hemen hiçbir sinyal geçmez. 2kHz'e getirilince +/- 2kHz uzaklıkta iki kenar frekansı üretilir.

2.5 Deney (Radyo dalga yayınının çift yan bastırılmış taşıyıcı sinyalleri)

Pratikte, frekansları tamamen doğru ayarlamak için çok iyi dikkat etmek gereklidir. Başlayabilmek için, taşıyıcı frekansı çok iyi ayarlanmış bir generatöre gerek vardır. Bunu elde etmek için;

- mic/tone anahtarını tone durumuna getiriniz.
- Generatörün 2 kHz'lik anahtarı 'off' durumuna ,1kHz 'lik anahtarı 'on' durumuna getiriniz.
- Osilaskopun Y1 kanalı 10.7MHz modülatörün çıkışına bağlanmalıdır.

Generatörün taşıyıcı osilatör frekansını yan bandların (10.7MHz her iki tarafındaki) genlikleri eşit oluncaya kadar ayarlayınız. Burada Y1 sinyalindeki sıfır geçişleri net bir şekilde görülecektir ve ayar skalası dsb pozisyonuna yakın olduğu durumda oluşacaktır. Sıfır geçişlerinin derinliği eşit olmayabilir, bu önemli değildir. Y1 bağlantısını generatörün çıkış sinyaline bağlayınız ve benzer dalga şekilleri kapsadığını gösteriniz. (elbette taşıyıcı frekansı değişecektir.). Y1 bağlantısını değişken kazanç yükseltecinin çıkışına bağlayınız ve skalasını 0.1V /div'e ayarlayınız. Alıcının (Receiver) çıkışını Y2 kanalına bağlayınız ve skalasını 0.2V/div'e ayarlayınız. Kısa dalga yapay yük anahtarını 'in' konumuna getiriniz. Alıcının doğru bir şekilde ayarlanması gerekir.

Ayar düğmesiyle sinyal taraması: Sinyal taramasında ayar kontrolü yapılmaya çalışıldığında, karışık olan değişik parazitlerle karşılaşılacaktır. Ayarlama işlemi eğer ileri yönde döndürülmeye devam edilirse çok kolay olacaktır,

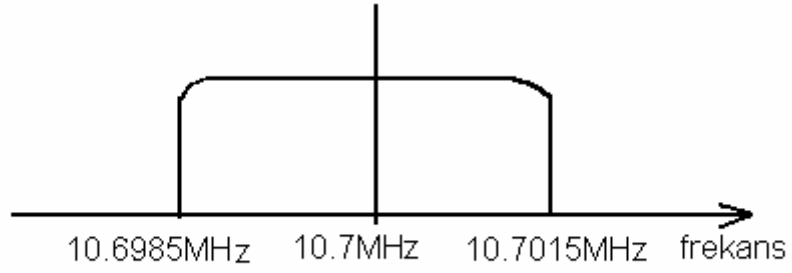
- Generatör için
 - Generatörün tüm anahtarlarını 'off' konumuna getiriniz, ama mic/tone anahtarını tone durumunda bırakınız.
- Receiver için
 - _BFO dsb pozisyonuna ayarlayınız.
 - _Fine tune düğmesini orta durumuna getiriniz.
 - _Volume düğmesini saat yönünde istediğiniz kadar döndürünüz.
 - _Main ayar düğmesini yaklaşık 3.7MHz'e ayarlayınız ve daha sonra bir hışırtı için tarama yapınız.

- Hışırtı sesini duyabileceğimiz duruma kadar ayarlayınız.
- Generatör için
 - Mikrofonun anahtarını (on) açınız. İki veya üç saniye sonra bazı çeşitli gürültüler Receiver ile Generatör arasında akustik geri besleme tarafından üretilmektedir.
- Receiver için
 - Çok yavaş ve dikkatlice, fine ayarı akustik geri besleme gürültüsü cızırtı yapmaya başlayınca ya kadar değiştiriniz, bu da gürültünün tekrar tekrar durup başladığı ayarı bulur. Bunu mümkün olduğunca yavaş yapınız. Değişiklikler kritiktir, yaklaşık olarak doğru olduğunda, BFO ayarı son kez küçük bir değişiklik için kullanılabilir. Elinizi deney setinin yakınında hareket ettirdiğinizde ayar değişikliklerini görebilirsiniz., bir kapasite gibi ,bunları engellemek için alınan önlemler olduğu yer hariç, elin kapasitans etkileri tamamen ortaktır.
- Aynı sebepten dolayı ,kontrol tepeleri ve diğer bütün elemanlara dokunmamaya dikkat edin. Doğru ayara ulaşıldığı an mic/tone anahtarını tone durumuna ve generatörü 1kHz'lik duruma getiriniz. Bir radyo dalga şekli göreceksiniz, ama küçük bir frekansta genliği tamamen değiştirilebilir.
- Radyo dalga şeklini yavaş olarak değişken bir genlikte görebildiğimiz ana kadar BFO ayarını dikkatlice yeniden yapabilirsiniz.
- Radyo dalga şeklini tamamen titremeyen bir şekilde görmek istiyorsak, BFO'nun net bir şekilde doğru frekansta olması gerekir.

Tek yan bant radyo dalga yayını (SSBSC)

X-Y eksenli bir osiloskop kullanın. Aksi takdirde iki y kanalını 0.2ms/div skalası bir zaman ekseniiyle kullanabilirsiniz. Her iki durumda osiloskobun girişlerine aşağıdaki bağlantıları yapınız.

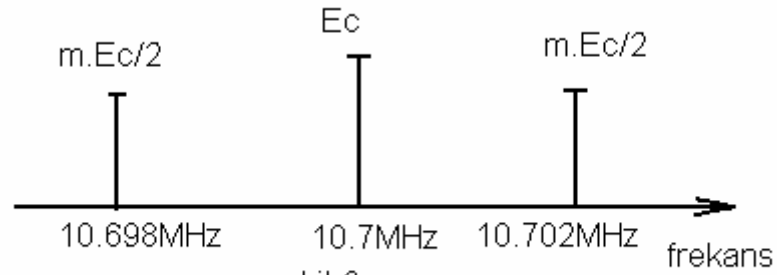
- Girişin birimi generatörün değişken kazanç kuvvetlendiricisinin çıkışına bağlayınız.
- Diğer girişi receiver'in product detector çıkışına bağlayınız.
- Kazanç düğmesini orta pozisyona ayarlayınız. Osiloskop ayarını en iyi görüntünün elde edilmesi için ayarlayınız.
- Receiver 'deki MW/SW anahtarını düzenli kısa dalga (SW) radyo dalgaları alabilmek için SW durumuna getiriniz. İki SW anten soketlerini bağlama kablolarıyla bağlayınız. Generatördeki taşıyıcı osilatörü ayar düğmesini 'lsb' pozisyonuna getiriniz.
- Ayrıca receiver'in BFO ayar düğmesini de 'lsb' pozisyonuna getiriniz.
- Generatörün mic/tone anahtarını tone durumuna ve 2kHz durumuna getiriniz. Receiver'in ayar düğmesini en güçlü sinyali bulmak için tarama yapınız.
- Bunu ayarladıktan sonra fine tune ayarının da aynı değeri ,yani orijinal tondaki sinyal çıkış frekansı 2kHz'e ayarlanmalıdır.
- Taşıyıcı frekansı 10.7MHz ,10.6985 ve 10.7015 arasında ayarlanabilmektedir. Sette kullanılan filtrenin bant genişliği olan BW=2.2kHz'dir .bu filtrenin karakteristiği aşağıdaki gibidir.



şekil-2

1.Bildiri işareti (taşınmak istenen işaret) 2kHz olması durumunu inceleyelim.

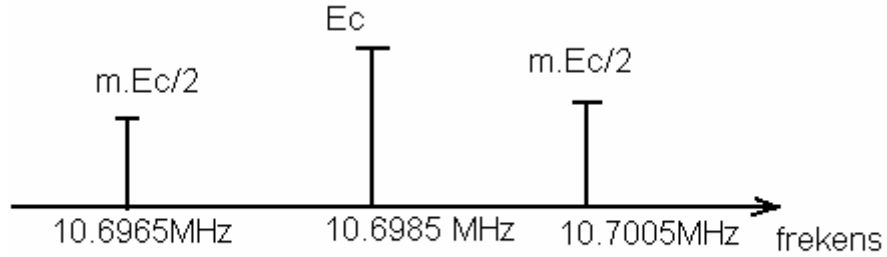
a)Taşıyıcı işaret 10.7MHz olması durumunda ;



şekil-3

Şekil –3’ten de görüldüğü gibi bu karakteristiğe sahip işaret filtreden geçirildiğinde sadece E_c ile gösterilen taşıyıcı bu filtreden geçer.

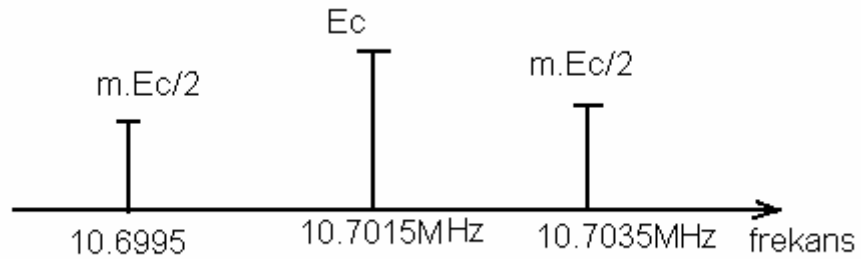
b)Taşıyıcı işaret 10.6985 olması durumunda;



şekil-4

şekil-4’ten de görüldüğü gibi sadece usb(üst yan band) filtreden geçmektedir. Böylece SSB gerçekleşmektedir.

c)Taşıyıcı frekansı 10.7015 olması durumunda ;

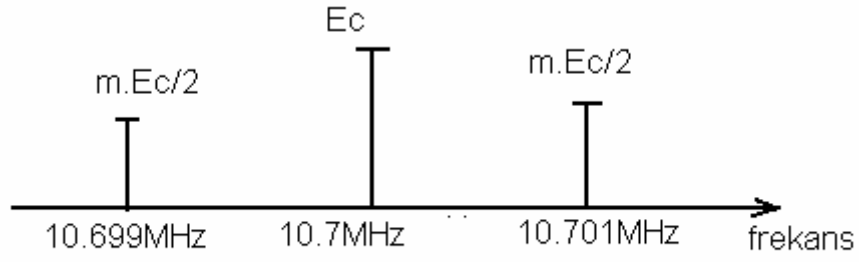


şekil-5

şekil-5’ten de görüldüğü gibi bu durumda sadece lsb(alt yan band) filtreden geçmektedir. Böylece SSB gerçekleşmektedir.

2. Bildiri işareti 1kHz olması durumunu inceleyelim.

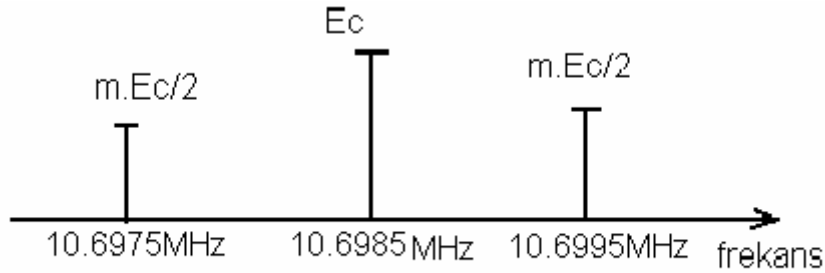
Taşıyıcı frekans 10.7MHz olması durumunda ;



şekil-6

Şekil-6'dan da görüldüğü gibi hem taşıyıcı hem de lsb,usb filtreden geçmektedir. Böylece DSB meydana gelmektedir.

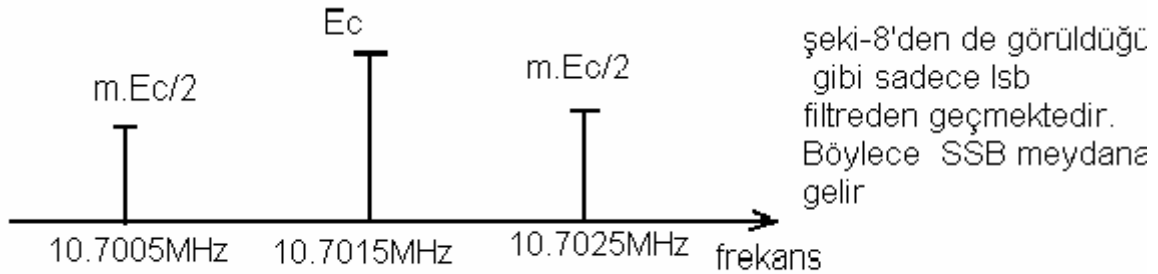
b)Taşıyıcı frekansı 10.6985MHz olması durumunda ;



şekil-7

şekil-7'den de görüldüğü gibi sadece usb filtreden geçmektedir. Böylece SSB meydana gelmektedir.

c)Taşıyıcı frekansı 10.7015MHz olması durumunda ;



şekil-8

şeki-8'den de görüldüğü gibi sadece lsb filtreden geçmektedir. Böylece SSB meydana gelir

3. Frekans Modülasyonu

3.1 Tanım

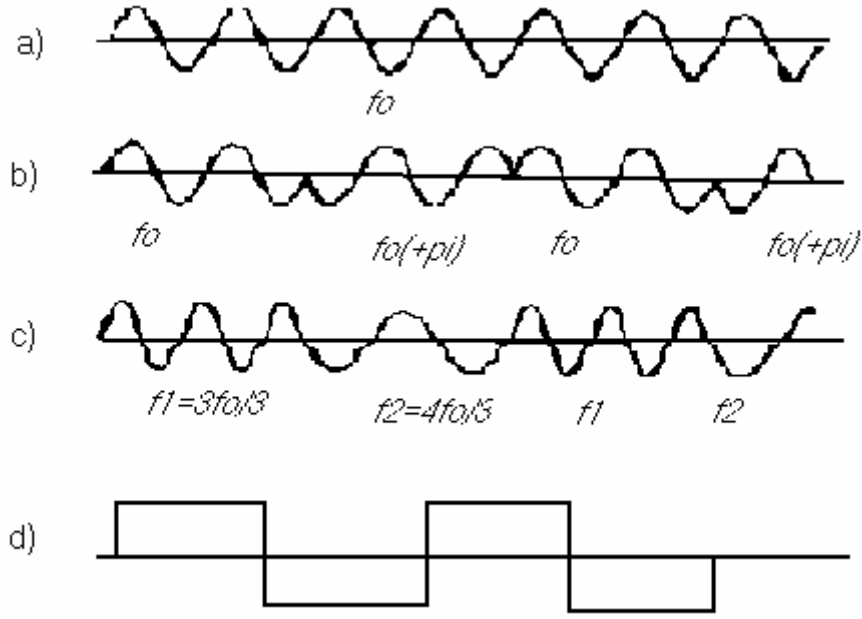
$$V_c = E_c \cdot \cos \theta_c = E_c \cdot \cos(\omega_c t + \phi)$$

$$E_c \cdot \cos \theta_c = A_c \text{ modülasyonu}$$

$$\omega_c t = \text{FM}$$

$$\phi_c = \text{PM}$$

E_c 'yi değiştirerek yapılan modülasyona genlik modülasyonu (AM) denir. FM ve PM modülasyonları ise temel bantla θ_c 'de yapılan değişiklikler sonucu oluşur. ω_c 'de değişiklik yapılıncı frekans modülasyonu, ϕ_c 'de yapılan değişiklikler de faz modülasyonuna neden olur. Son iki modülasyon tipi kullanım açısından sık sık birbirine çok benzer görünüyorlar ve benzer analitik işlemleri olmasına rağmen pratikte tamamen etlileri farklıdır. Bu farkı şekil-9'deki kare dalga base band için net bir şekilde görebiliriz, ama sürekli değişen bir temel band için bu farkı görmek zordur.



Şekil.9 Kare dalga temel bantla frekans ve faz modülasyonu

Modüle edilmemiş taşıyıcı dalga şekli w_c ve sabit ϕ_c

Basamak basamak fazı değiştirerek modüle etmek $\Delta\phi_c=180^\circ$

Basamak basamak frekans değiştirerek modüle etmek $f_1=3.f_c/4$, $f_2=4.f_c/3$

Kare dalga temel bandı

3.2 FM için genel ilkeler

Frekans modülasyonunun temel prensibi temel bant gerilimi (V_m) taşıyıcı frekansını lineer bir şekilde küçük bir miktar değiştirir. ($\delta f_c \ll f_c$ olması şartıyla) Bu yöntemde frekans alıcı tarafından alınabilen taşınan bilgiyi değiştirir. Bu temel eşitlik $\delta w \propto w_m$ yada $\delta w_c = kV_m$.

K modülasyon duyarlılığı olup birimi rad S V, ayrıca pratikte kHzmV olarak ta ifade edilir. δw temel band tarafından oluşturulan taşıyıcı frekansın bir miktarıdır.

$$w_i = w_c + \delta w$$

$V_{f_m} = E_c \cdot \cos w_i \cdot t$ olduğunu düşünebiliriz. Ama bu doğru olmayabilir. w_i 'nin önceki bilinmeyen ek faz terimlerin değerlerinden dolayıdır.

$V_{f_m} = E_c \cdot \cos \theta_i$ taşıyıcının faz açısı θ_i 'dir ,ve temel düşünce frekans fazın değişim oranıdır.

$$w_i = d\theta_i / dt \text{ 'dir.}$$

θ_i için doğru olan ifade w_i 'nin 0'dan t'ye kadar integraliyle bulunabilir.

$$d\theta_i = \int w_i \cdot dt \text{ bundan dolayı}$$

$$\int_0^{\theta_i} d\theta_i = \int_0^t w_i \cdot dt \quad \Theta_i = \int_0^t (w_c + \delta w) \cdot dt = \int_0^t (w_c + kV_m) \cdot dt = \int_0^t w_c \cdot dt + \int_0^t kV_m \cdot dt$$

$$V_{f_m} = E_c \cdot \cos(w_c \cdot t + k \int_0^t V_m \cdot dt) \quad \Theta_i = w_c \cdot t + k \int_0^t V_m \cdot dt$$

Bu genel ifade tamamen taşıyıcıdaki herhangi modüle edilmiş temel bant sinyal frekansı içindir.

Tek sinüsoidal işaretle yapılan frekans modülasyonu

Bu frekans modülasyon olayıyla taşıyıcıda üretilen spektrumlar hakkında özel hiçbir fikir vermez.

Bunu anlamak için AM de olduğu gibi bir tek frekanstan oluşan temel bandın analizini sınırlandırır. Bu görüldüğü gibi sınırlamaz, çünkü herhangi bir gerçek sinyal belli bir sayıdaki onun gibi tek frekans sinyallerinden oluşur. Bu hepsi için geçerlidir ve kullanmak elverişlidir.

$$V_m = E_m \cdot \cos w_m \cdot t \quad \delta w = k V_m$$

$$\delta w = k \cdot E_m \cdot \cos w_m \cdot t = \Delta w \cdot \cos w_m \cdot t = 2\pi \Delta f \cos w_m \cdot t$$

$\cos w_m \cdot t = \pm 1$ olduğundan Δw ve Δf maksimum sapma olurlar. Bütün bu nicelikler sadece sapmaları kapsar. Herhangi bir fm sistemi için önemli parametrelerdir.

$$\Delta w = k E_m \quad \Delta f = k E_m / 2\pi$$

Son olarak V_{fm} 'in genel ifadesi için V_m 'i yerine koyarsak ;

$$V_{f_m} = E_c \cdot \cos(w_c \cdot t + k \int_0^t E_m \cdot \cos w_m \cdot t dt) = E_c \cdot \cos(w_c \cdot t + \Delta w \int_0^t \cos w_m \cdot t dt)$$

$$V_{f_m} = E_c \cdot \cos(w_c \cdot t + (\Delta w / w_m) \cdot \sin w_m \cdot t)$$

$\Delta w / w_m$ niceliği β gibi bir sabiti verir.

$$V_{f_m} = E_c \cdot \cos(w_c \cdot t + \beta \cdot \sin w_m \cdot t)$$

Herhangi bir FM haberleşme sistemi için önemli bir nicelik olan β modülasyon indeksidir.

$$\beta = \Delta w / w_m = \Delta f / f_m$$

β 'nin değeri doğrudan fm ile değişir, bundan dolayı β bir bandın sinyal frekansının üstündeki değerlerde de değişebilir ve çok geniş bir aralığa sahip olabilir. Örneğin 300Hz'lik bir dalga 75kHz'lik bir sapma ile değeri 250 olan β 'yı verir ,eğer dalga frekansı 15kHz olursa $\beta=5$ olur.

V_{fm} genel ifadesinin bir basamak daha ilerlemiş analizi şöyle olur :

$$V_{fm} = E_c \cdot \cos w_c \cdot t \cos(\beta \cdot \sin w_m \cdot t) - E_c \cdot \sin w_c \cdot t \sin(\beta \cdot \sin w_m \cdot t)$$

Dar bant frekans modülasyonu(NBFM)

β 'nın küçük bir değer aldığı varsayımı yapılarak , gerçekten çok küçük olan β , $\beta \sin w_m \cdot t$ 'nin de küçük bir değer almasını sağlar.

$$\cos(\beta \sin w_m \cdot t) = 1, \quad \sin(\beta \sin w_m \cdot t) = \beta \sin w_m \cdot t$$

Bu varsayımlar için geçerli olan genel kriter $\beta \leq 0.2$ rad olmasıdır. Şimdi V_{fm} 'in ifadesi daha çok basitleştirilmiş şekilde yazılabilir.

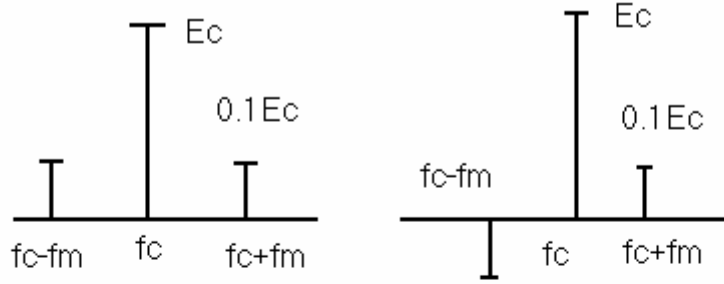
$$V_{fm} = E_c \cdot \cos w_c \cdot t \cdot 1 - E_c \cdot \cos w_c \cdot t (\beta \sin w_m \cdot t)$$

$$V_{nbfm} = E_c \cdot \cos w_c \cdot t - \frac{1}{2} \cdot E_c \cdot \cos(w_c - w_m) \cdot t + \frac{1}{2} \beta E_c \cdot \cos(w_c + w_m) \cdot t$$

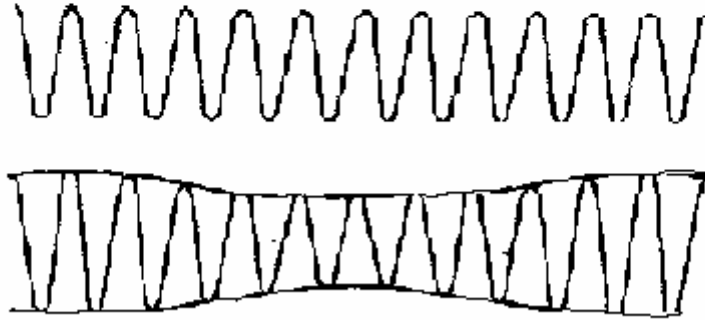
Tam AM 'de olduğu gibi bir taşıyıcı ve benzer yan bant çiftinden oluşur, sadece farkı β 'nın yerine m kullanılır ve alçak yan bant negatiftir. İki spektrum şekil.'de karşılaştırılmıştır. Bu spektrum için β 'nın değeri m'in ölçüldüğü gibi ölçülür. Bu durumda alt yan bandın negatif olması çok önemlidir ve şekil.3'te de görüldüğü gibi modüle edilmiş dalga şekillerini tamamen farklı yapar.

Çok küçük $\beta=0.2$ değerindeki NBFM 'i frekansı (βf_m f_c ile karşılaştırıldığında) gözle görülebilecek şekilde gösterilemiyor. $M=0.2$ olan bir zarf sinyalindeki değişimlere benzemiyor. Negatif alt yan bandın etkisi grafiksel olarak şekil.4'de ki sabit fazör diyagramlarının anlatımıyla yeterince görülebilir. Alçak yan bant sinyalindeki değişikliklerin ,

sadece tam AM genlikli bir NBFM'in faz açısında sebep olduğu değişiklikleri net bir şekilde görebiliriz. Ayrıca FM bir faz modülasyon etkisinin ($\beta = \Delta f / f_m$) nasıl üretildiğini gösterir. Ayrıca NBFM 'in genliğinde küçük bir miktar değişim olduğuna (max %3 civarında) dikkat edin,ama bu önemli değildir bir FM demodülatörü bu değişimi ihmal edilecektir.



şekil.2 NBFM(sağ) ve tam Am(sol)spektrumlarının karşılaştırılması



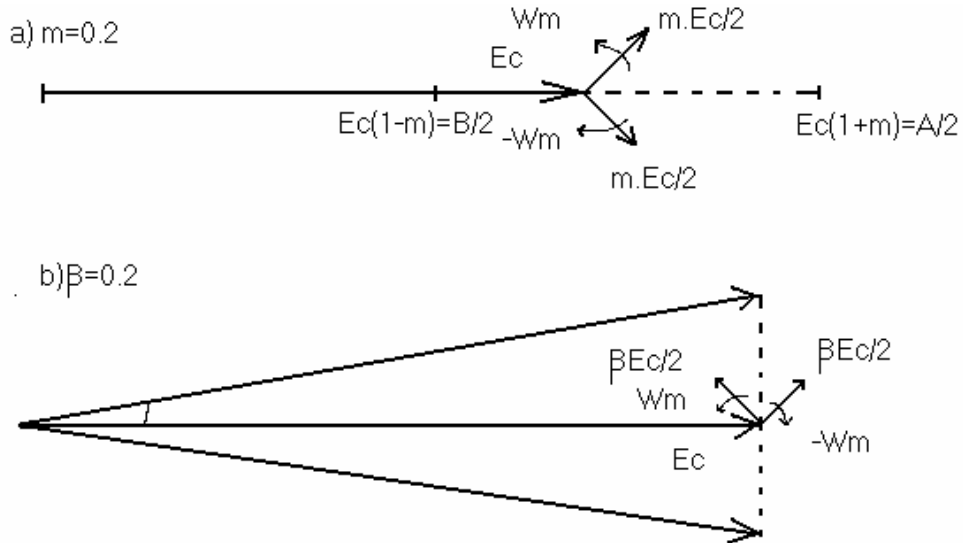
şekil.3 NBFM üst ve tam(alt)dalga şekillerinin karşılaştırılması

Şekil.3'ten NBFM sinyalinin bant genişliğinin tam AM sinyalinin bant genişliğiyle aynı olduğu görülebilir.

$B = 2f_m$ NBFM bant genişliği

Bu nedenle dar band (NBFM) geniş bant (WBFM) ile kıyaslanır.

NBFM bir çok FM sisteminin çok önemli bir bölümünü düzenler. Dar bant genişliğinden dolayı kısmen böyledir, ama ayrıca sapmanın çok küçük olmasından dolayı NBFM'i lineer yapmak kolaydır.



şekil.4 sabit fazör diyagramları için a)Tam AM ve b)NBFM

GENİŞ BANT FREKANS MODÜLASYONU (WBFM)

β 'nin 0.2'den daha büyük değerlerinde genel ifade bir önceki konuda olduğu gibi basitleştirilemez, olduğu gibi kullanılmalıdır. Kullanılması zor olan kısımlar aşağıdaki bağlantılar kullanılarak kolaylaştırılabilir.

$$\cos(\beta \sin w_m.t) = J_0(\beta) + 2.J_2(\beta)\cos 2w_m.t + 2.J_4(\beta)\cos 4w_m.t + \dots$$

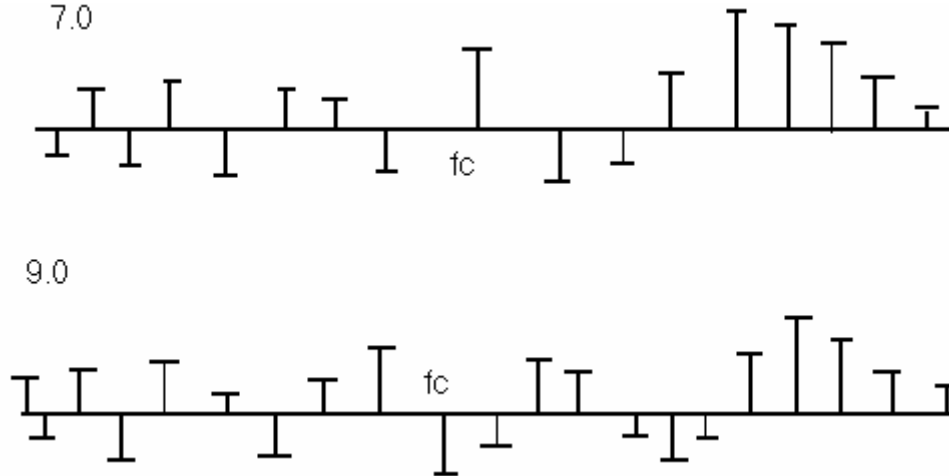
$$\sin(\beta \sin w_m.t) = 2.J_1(\beta)\sin w_m.t + 2.J_3(\beta)\sin 3w_m.t + 2.J_5(\beta)\sin 5w_m.t + \dots$$

β 'nin n sırasındaki Bessel fonksiyonlarıdır.

Bu ifadeleri kullanmak Bessel fonksiyonunu tam olarak anlamak için yeterli değildir, ama bu ifadeleri iyi bir şekilde kullanmak yararlıdır. Bu ifadeleri gerçek fiziksel durumlardan oluşan özel tip difarensiyel eşitlikleri çözmek için kullanılırlar. Ayrıca, nicelikli Bessel fonksiyonlarını kullanabilmek için tablo değerlerine bakmak gereklidir. Bu bağlantıların genel ifadenin WBFM 'den bir sinüsoidal temel bantlı modüle edilmiş taşıyıcı için etkilerini görelim.

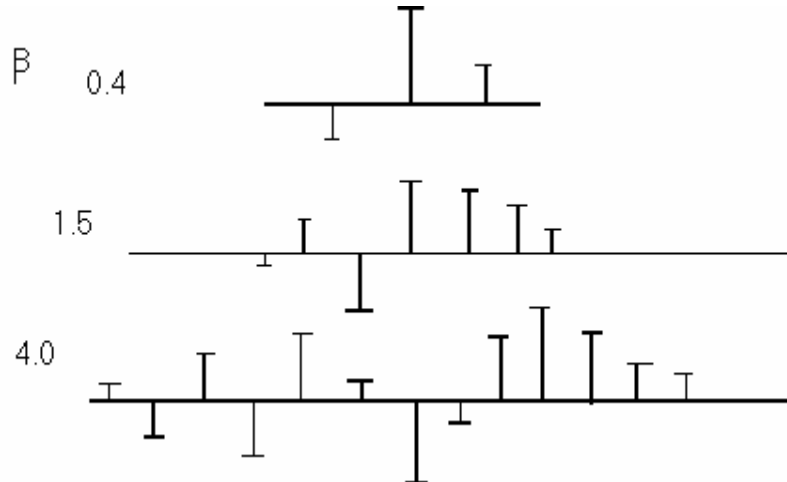
$$V_{bfm} = E_c \cdot \cos w_c.t \cdot \cos(\beta \sin w_m.t) - E_c \cdot \sin w_c.t \cdot \sin(\beta \sin w_m.t)$$

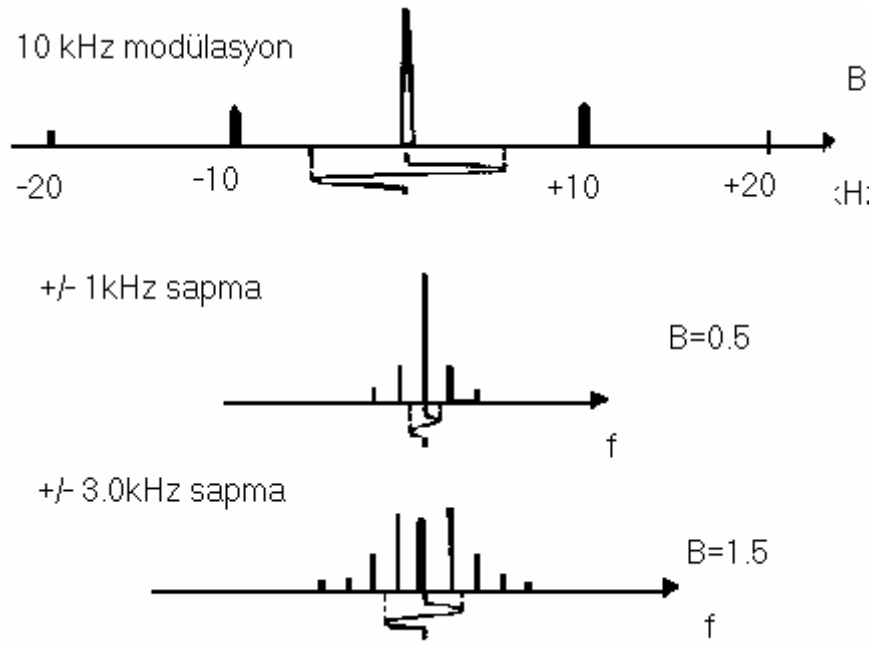
NBFM'den farklı olarak bir çok yan bant çifti olduğuna dikkat edin. Buna ait işaretlerin bir modeli olduğu görülür, en küçük tek indisli işaret hariç pozitifdir. Ama bu düzgün modellerin biçimi Bessel fonksiyon işaretleriyle normalde bozulurlar.



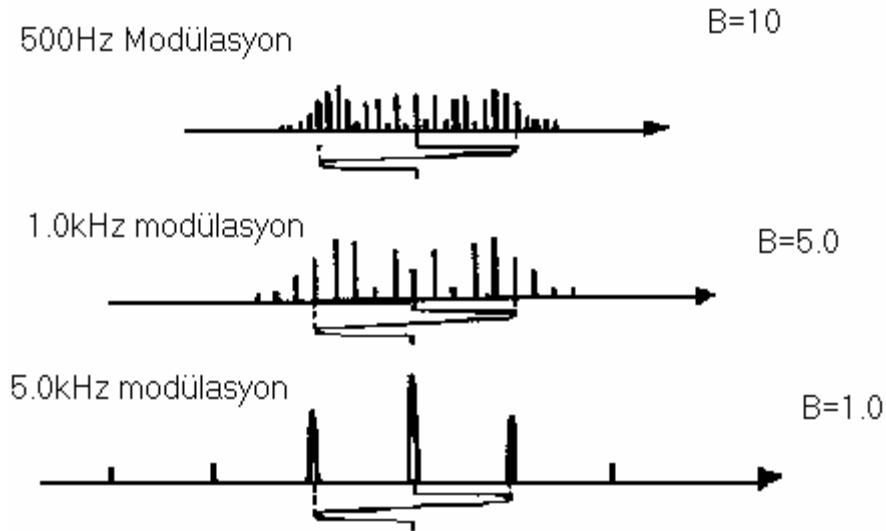
Bunlar şekil .5'te gösterilmiştir.

Şekil.5 değişik küçük β değerleri için toplam spektrumlar





Şekil .6 değişik β değerleri için genliği modüle edilmiş spektrumların frekansı a) Δf sabit (± 5 kHz), P_m ve β değişiyor) f_m sabit (1 kHz), Δf değişiyor.



WBFM 'İN BAND GENİŞLİĞİ

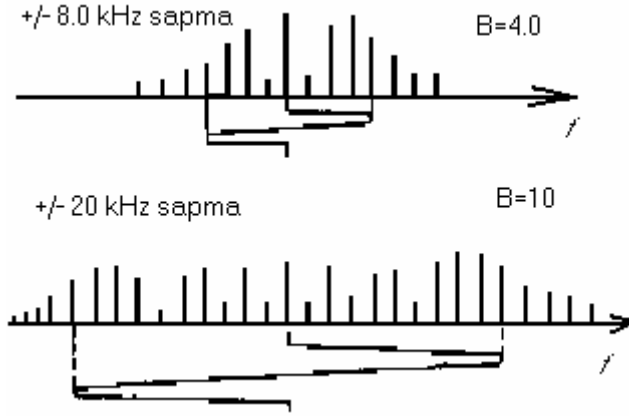
Şekil-6'da ki spektrumlardan da görüleceği gibi, WBFM'in band genişliği NBFM ve tam AM'de olduğu gibi kesin bir limite sahip değildir. Diğer tarafta ise, spektrum çubuk genliği sapma $\pm \Delta f$ 'den büyük değerlerinde hızlı bir şekilde düşer bundan dolayı bir belirsizlik uygun dar limitler içinde kalır. (Şekil-6'da görülebilir.) $2\Delta f$ 'in değeri nominal band genişliği olarak bilinmesi iyi bir bağıntıdır. Özellikle geniş β değerlerinde, ama genel kullanım için, çok nicelikli tanımlamalar istenir.

Bunların çoğunun ortak yanı, sinyal gücünün %98'inin geçmesine izin veren band genişliğine "carson band genişliği" denir. carson band genişliğinin yararı β 'nın herhangi bir değerinde yan band çiftleri için $\beta+1$ değerinin istenmesidir.

Spektrum çubukları f_m kadar uzakta oldukça, band genişliği β kadardır.

$$\beta = 2(\beta + 1)f_m \quad \beta = 2(\Delta f + f_m)$$

Bunun nominal band genişliğinden fazla bir çok yan band çifti içerdiğine dikkat edin, ama genişlik β büyükse önemsizdir.



$\beta=1$ için carson band with aşağıdaki değerleri verir.

$$V_{fm} = E_c \cos(\omega_c t + \sin \omega_m t)$$

$$p = \frac{1}{2} E_c^2$$

Ayrıca

$$v_{fm} = J_0(1) \cos \omega_c t - J_1(1) \cos(\omega_c - \omega_m)t + J_2(1) \cos(\omega_c - 2\omega_m)t + J_2(1) \cos(\omega_c + 2\omega_m)t$$

$$= 0.765E_c - 0.440E_c + 0.440E_c + 0.115E_c + 0.115E_c$$

Bundan dolayı

$$p = [0.765^2 + 2(0.440)^2 + 2(0.115)^2] E_c^2 = [0.4997] E_c^2$$

FM SETİNİN HAZIRLANMASI

Deney setinin çalışabilmesi için, generatör modülünü ve receiver modülünü +/-15 V 'luk güç kaynağına bağlamalıyız.

- Generatör için:
 - Her iki tane /microphone anahtarlarını “tone” durumuna getiriniz.
 - Her iki pre-emphasis anahtarlarını “on” durumuna getiriniz.
 - 19 kHz 'lik ve L-R kanal anahtarlarını “on” durumuna getiriniz.
 - Dummy load anahtarını “in” durumuna getiriniz.
 - Her iki sağ ve sol kanal gain controls'u (kazanç kontrolörleri) “auto” durumuna getiriniz.
 - Power (güç) ve frekans kontrolörleri saat yönünün tersinde dönebilecekleri en son duruma getiriniz.
- Receiver için :
 - AFC anahtarını “off” durumuna getiriniz .
 - Stereo/mono anahtarını “stereo” durumuna getiriniz.
 - Her iki de-emphasis anahtarını “on” durumuna getiriniz.
 - Mute kontrolörünü saat yönünde dönebileceği en son duruma getiriniz.
 - Her iki volume kontrolörlerini minimum duruma (saat yönün tersinde) getiriniz.
 - Güç kaynağını açınız.

Generatör Fault Anahtarlarını aşağıdaki gibi ayarlayınız.

1	Off
2	Off
3	Off
4	Off
5	Off
6	On
7	On
8	Off

Receiver Fault Anahtarlarını aşağıdaki gibi ayarlayınız.

1	On
2	Off
3	On
4	Off
5	Off
6	Off
7	On
8	Off

Sinyal şiddet göstergesi yanıt verinceye kadar receiver'in dalga ayarı kontrolörünü yaklaşık olarak 94 MHz 'e ayarlayınız. Maksimum sayıda lambanın yanması için dalga ayarını yapınız. Generatör modülündeki "power output "(güç çıkışı) kontrolünü değiştirerek doğru sinyalin bulunmasını sağlayınız ve değişken sinyal elde ediniz.

Bundan sonra her iki " volume" kontrolünü çevirmek mümkündür ve bir ton (ses) duyarsınız. Bu ton right (sağ) volume kontrolüyle yaklaşık 2.4kHz civarında, left (sol) kanal tonu 1.2 kHz civarında kontrol edilir.

Kulaklıkların tıkaçını yerleştiriniz ve tonların (seslerin) sol kanaldaki ses kulağın birinden ve sağ kanaldaki sesin diğer kulak tarafından duyulabildiğine dikkat ediniz.

Buradaki bütün anahtarların konumu değiştirildiğinde ,her iki kulağa gelen sesin aynı olduğuna ,her iki ses tonunun birleştirildiğine ve kulaklara gelen sesin değişebildiğine dikkat ediniz.

- Receiver'in stero/mono anahtarı
- Generatör'ün 19 kHz anahtarı
- Generatör'ün L-R anahtarı

Bu üç anahtar çıkış sinyalinde aynı etkiye sahiptir. Bu anahtarların ilk ikisi "off " konumuna getirildiğinde stereo göstergesinin (lambasının) sönmesine sebep olurlar.

Generatördeki 19 kHz ve L-R anahtarlarını "off " konumuna getiriniz. Sıradaki bu deneyde osiloskobun skalaları 2V/div ,0.2 ms/div 'a ayarlayınız.

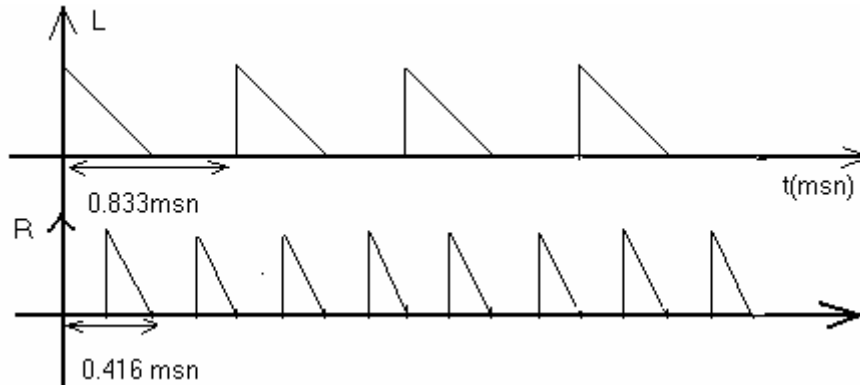
- Osiloskobu receiver'daki audio amplifier'in girişine bağlayınız.(toprak bağlantısını (0 V) unutmayın)
- Kanallardan birinin volume kontrolünü kulağın duyabileceği uygun bir duruma ve diğer kanalın volume kontrolünü sıfır durumuna ayarlayınız.
- Duyulan seste ufak değişiklikler elde ediliyorsa , osiloskopta hiçbir değişiklik olmuyorsa bu kanalın de-emph hiçbir anahtarını çalışıyor durumdadır.
- Duyulan seste ufak değişiklikler elde ediliyorsa ,osiloskopta hiçbir değişiklik olmuyorsa her iki kanal için generatördeki pre-emph anahtarları çalışıyor durumdadır.

Normal bir orta dalga radyo yayın bandı yaklaşık 0.55MHz 'ten 1.55 MHz'e kadar olan bir aralıkta 5 değişik FM kanalı bulunabilir. Bundan dolayı FM radyo yayını dışarıya çok yüksek frekanslı bir bandla taşınır, tipik olarak 88MHz'ten 108MHz 'e kadardır.

PRATİK 1.1

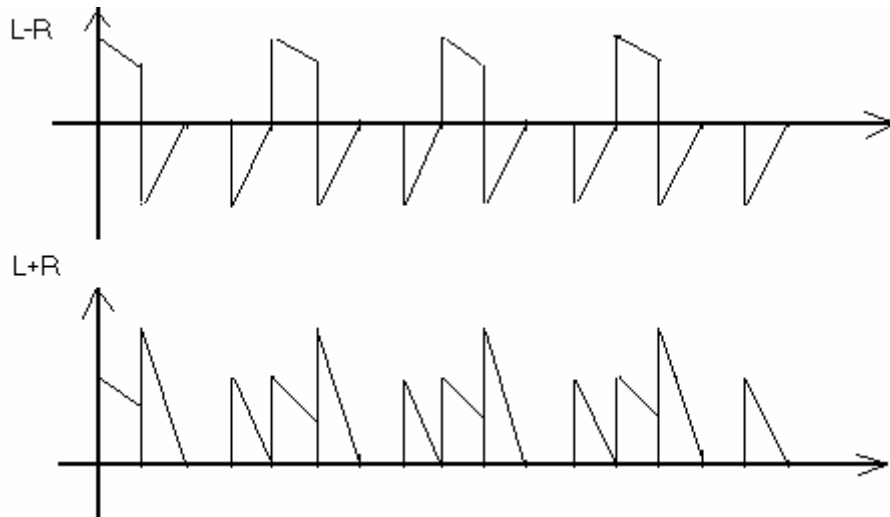
FM Generatörü

- Dummy load anahtarını “in” konumuna getiriniz. Güç kaynağını generatör modül kısmına bağlayınız.
- 1.2 kHz ‘lik osilatör veya micropone (sol mikrofon) tarafındaki gain(kazanç) kontrolünü en düşük konumuna getiriniz. Bu anahtar değişken kazanç kuvvetlendiricisine (variable gain amplifier) sinyal tonunu verir.
- Amplifier ‘in çıkışına osiloskop bağlayınız. Y skalasını 50 mV/div ve zaman skalasını 0.5ms/div ‘e ayarlayınız. Bir üçgen dalga şekli görülecektir ve bunun genliği gain kontrol ayarıyla değiştirilebilir.
- Giriş işareti olarak L ve R sinyalleri bulunmaktadır. Burada L (left) yani sol mikrofondaki sinyal R (right) yani sağ mikrofondaki işaretlerdir. Bunlar aşağıdaki gibi çizilebilir ve ayrıca osiloskopta gözlenebilir.



Şekil.1

L’nin frekansı 1.2kHz ,R’nin ise 2.4kHz’dir. Pre-emp anahtarları yardımıyla L ve R işaretlerinin 0 geçişleri keskinleştirilerek bir pik şekline dönüştürülebilir. Ayrıca bu sayede yüksek frekanslı sinyallerin gürültü etkileri de azaltılabilir. L ve R işaretleri L-R ve L+R şeklinde toplanıp çıkarılmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibi matematiksel olarak bulunabilir ayrıca osiloskopta da incelenebilir.



L-R işareti 38kHz’lik ve genliği 2.4V olan bir sinüsoidal işaretle modüle edilmektedir. Daha sonra modüle edilmiş işaret, L+R ve 19kHz ‘lik (genliği 0.01V olan) sinüsoidal işaret toplanarak VCO ünitesine gelmektedir. VCO ünitesinde antene gidecek olan işaretin hem gücü hem de frekansı ayarlanmaktadır. VCO’dan sonra işaret anten yardımıyla receiver kısmına iletilmektedir.

PRATİK 1.2

- Receiver modülünü güç kaynağına bağlayınız. Ama güç kaynağını açmayınız.
- Sağdaki ve soldaki volume kontrolörleri saat yönünde en son konuma getiriniz.
- Mute kontrolörünü de saat yönünün tersine bir miktar çeviriniz.
- Güç kaynağını on konumuna getiriniz.
- Eğer yakınıınızda FM radyo yayın istasyonları varsa, receiver'da ki anten soketine anten görevi gören kabloyu takınız ve dalga ayarını yaparak kaç tane radyo yayını alabileceğini gözleyiniz.
- Receiver'daki tuner unit'in yerini bulunuz. Tuner bölümü biraz yüksek tutulmuş bir pano olup, içinde mixer (çarpan), bir VCO (voltage controlled oscillator) ve 10.7 MHz'lik bir filtre görünür. Tuner'in çıkışı hemen panodan sonraki ilk sokettir. Osiloskobu tuner çıkışına bağlayınız. Y skalasını 20mV/div'e ve zaman skalasını
- 0.5 μ s/div'e yada bu değerlere yakın olacak şekilde ayarlayınız. Tetikleminin ayarlanabileceğinden emin olunuz. Bundan dolayı 10.7MHz'lik sinyal işaretinin sol tarafının son kısmında kesikli çizgiler olduğunu görebilirsiniz.
- Şimdi de generatörün her iki gain (kazanç) kontrolörünü çeviriniz bu seferde işaretin sağ tarafının son kısımları net görülmeyecektir.

PRATİK 2.1

FM DEMODÜLASYONU

- Generatör için:
 - Her iki tone /microphone anahtarlarını tone konumuna getiriniz .
 - Her iki pre-emphasis anahtarlarını “off” konumuna getiriniz.
 - Dummy load anahtarını “in” konumuna getiriniz.
 - Sol kanalın gain kontrolörünü auto (standart sinyal için)konumuna getiriniz.
 - Sağ taraftaki gain kontrolörünü minimum olacak konuma getiriniz.(0 sinyal için)
 - Power kontrolörünü saat yönünün tersine dönebileceği en son konuma getiriniz.
- Receiver için :
 - AFC anahtarını “off” konumuna getiriniz
 - Stereo/mono anahtarını mono konumuna getiriniz.
 - Her iki de-emphasis anahtarlarını off konumuna getiriniz.
 - Mute kontrolörünü saat yönünün tersine dönebileceği en son konuma getiriniz.(minimum)
 - Sağdaki volume kontrolörünü minimum olacak duruma getiriniz.
 - Soldaki volume kontrolörünü minimumun üstünde uygun bir değere ayarlayınız, bundan dolayı bazı şeyler(gürültü veya sinyal) duyulabilir.
 - Receiver için sinyal şiddet lambaları tarafından da görülebilecek en iyi sinyali ayarlayınız. Volume kontrolörlerinden birini(örneğin soldaki)ayarlayarak, 1.2 kHz'lik tonun alındığına dikkat ediniz. Generatörün frekansını değiştirilebildiğini hatırlayınız, eğer güçlü parazit bir sinyal varsa . Her iki modülü değişik frekanslara ayarlayınız.

NOT:

Osiloskop yüksek frekanslı sinyalleri ölçmek için kullanılıyorsa iyi izole edilmiş osiloskop bağlama telleri kullanmak önemlidir. Receiver modülünde bütün bağlama tellerini 0V soketine bağlamak gerekir.

OSİLOSKOP İÇİN:

- Y1 skalasını 20mV/div'e ayarlayınız .
- Zaman skalasını 5msn/div'e ayarlayınız.
- Tuner'in 10.7MHz'lik çıkışını göreceksiniz eğer dalga ayarı tam olarak doğru yapılmışsa sabit genlikli bir işaret olacaktır. Dalga ayarını yavaşça her iki yönden birine döndürmeye çalışın. Generatörün 1.2kHz'lik tonunda genlik modülasyonu oluştuğu görülecektir.
- Bu filtre basit bir L-C ayarlı devredir. Bitişik kanal yayınından gelecek parazitleri önlemek için yeterli değildir. Mesela istenmeyen radyo sinyallerinin istenen radyo sinyalinin frekansına yakın olması durumunda . bu sebepten seramik piezo elektrik filtre olan 280kHz geniş frekans bandı dışında keskin noktaları kesmeyi sağlayan ikinci bir filtreye ihtiyaç duyulur. Bu filtre FL1 olarak etiketlenmiş parça olup, üç elektrik teli uçlu seramik kapasitör görünüşüne benzer.
- Y1 bağlama telini limiter'in girişine bağlayınız. Osiloskobun skalasını hassas bir şekilde örneğin 5mV/div aralıklarla arttırınız.