

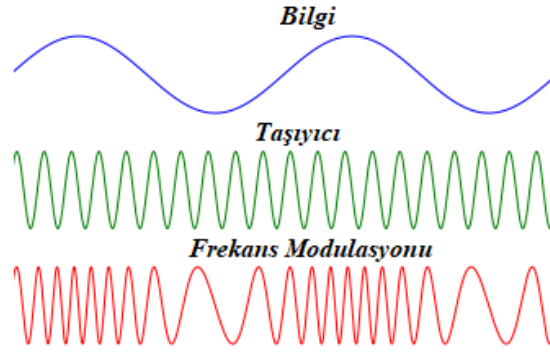
DENEY: 3

FREKANS MODULASYONUNUN (FM) İNCELENMESİ

HAZIRLIK BİLGİLERİ

FREKANS MODÜLASYONU (FM)

Frekans modülasyonu (FM), taşıyıcının genliği yerine frekansını değiştirmek için bilgi işaretinin genliğini kullanan sistemlerdir. Bu durumda FM işaretinde taşıyıcı genliği değişmez. Böylece FM işaretin zarfı sabit olur. FM sistemler genlik değişimlerinden çok az etkilenirler. Bu GM sistemlerine göre en büyük üstünlüğü gürültüye daha az duyarlı olmasını sağlar. Aşağıdaki şekilde FM sisteminin giriş ve çıkış dalgaları görünmektedir.



Formüller :

Bilgi işareti: $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$

Taşıyıcı işareti: $c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)$

FM : $y(t) = A_c \cos(2\pi \int_0^t f(\tau) d\tau) \Rightarrow y(t) = A_c \cos(2\pi \int_0^t [f_c + K_f m(\tau)] d\tau)$

$y(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + 2\pi K_f \int_0^t m(\tau) d\tau)$, (**Genel FM**), Bilgi tek cosinüs olursa,

$\int_0^t m(\tau) d\tau = \int_0^t A_m \cos(2\pi f_m \tau) d\tau = A_m \frac{\sin(2\pi f_m t)}{2\pi f_m}$ Bu durumda

$y(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \frac{A_m K_f}{f_m} \sin(2\pi f_m t))$ olur.

Δf : Frekans sapması (Hz)dir. $\Delta f = K_f A_m$ ($K_f = \text{Sapma Hassasiyeti (Hz/V)}$)

Bilgi işaretinin maksimum genliğinde taşıyıcı frekansının kayma miktarını gösterir.

$$y(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \frac{\Delta f}{f_m} \sin(2\pi f_m t))$$

Modülasyon indeksi $\beta = \frac{f_\Delta}{f_m}$ ile ifade edilir.

$$y(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t))$$

FM Frekans Spektrumu :

Bilgi işareti: $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$

Taşıyıcı işareti: $c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)$

FM: $y(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t))$ ifadesini açarsak;

hatırlatma: $\cos(a + b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b$

$$y(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) * \cos(\beta \sin(2\pi f_m t)) - A_c \sin(2\pi f_c t) * \sin(\beta \sin(2\pi f_m t))$$

$\beta \ll 1$ için $\cos(\beta \sin(2\pi f_m t)) \approx 1$ ve $\sin(\beta \sin(2\pi f_m t)) \approx \beta \sin(2\pi f_m t)$ yazılabilir.

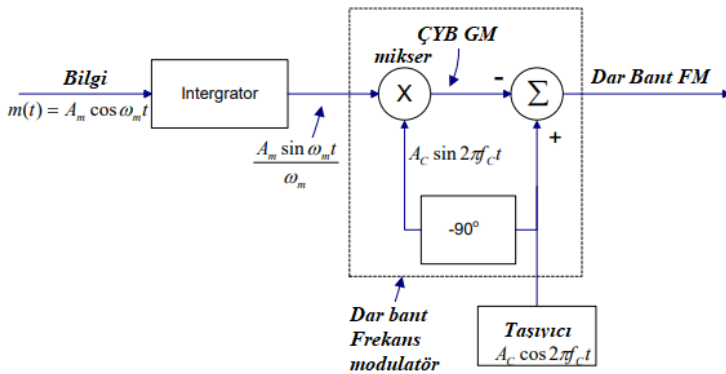
$$\beta \ll 1 \text{ (Dar Bant FM) için } y(t) \approx A_c \cos(2\pi f_c t) - \underbrace{\beta A_c \sin(2\pi f_c t) * \sin(2\pi f_m t)}_{\text{ÇYB GM}}$$

$$\text{Dar Bant FM) } y(t) \approx A_c \cos(2\pi f_c t) + \frac{1}{2} \beta A_c [\cos(2\pi(f_c + f_m)t) - \cos(2\pi(f_c - f_m)t)]$$

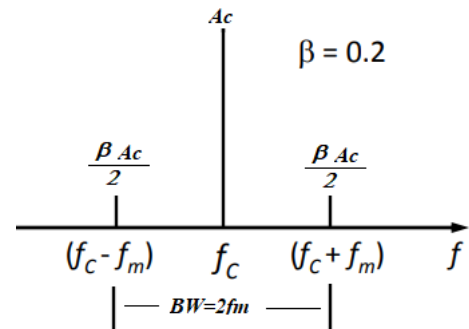
Dar bant FM işareti, yukarıda görüldüğü gibi girişleri sinüs işareti olan bir ÇYB GM in taşıyıcı işaretinden çıkartılması ile oluşturulur. İfadede ki eksi (-) işaret faz farkını gösterir. Dar bant FM işareti bant genişliği (BW);

$\beta \ll 1$ için $BW = 2f_m$ olur.

Diyagramı ve frekans spektrumu aşağıda çizilmiştir;



Dar Bant FM Üretimi



Dar Bant FM Frekans Spektrumu

$\beta \geq 1$ için **Geniş Bant FM** $y(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t))$

$$y(t) = A_c [\cos(2\pi f_c t) * \cos(\beta \sin(2\pi f_m t)) - \sin(2\pi f_c t) * \sin(\beta \sin(2\pi f_m t))]$$

FM işareti $y(t)$; taşıyıcı frekansı (f_c) bilgi frekansının (f_m) tam katı olmadığı sürece periyodik değildir. Burada taşıyıcı frekansının bilgi işareti bant genişliğine kıyasla çok büyük olduğunu biliyoruz. Ayrıca Geniş bant FM lineer olmayan bir işlemdir. Bu nedenle geniş bant FM frekans analizi için FM işaretinin Fourier dönüşümü alınması gerekir. Bunun için öncelikle lineer

olmayan bu işaretin Fourier serilerine açılması gerekir. Aşağıdaki eşitlikleri kullanırsak;

$$\cos(\beta \sin(2\pi f_m t)) = J_0(\beta) + \sum_{n \text{ çift}}^{\infty} 2J_n(\beta) \cos(n2\pi f_m t)$$

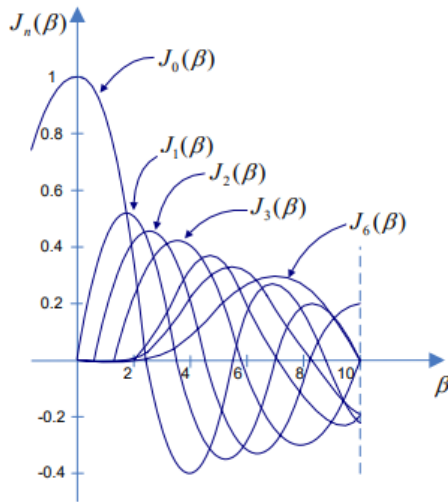
$$\sin(\beta \sin(2\pi f_m t)) = \sum_{n \text{ tek}}^{\infty} 2J_n(\beta) \sin(n2\pi f_m t)$$

(Burada n pozitif tam sayı olmak üzere, $J_n(\beta)$ n inci dereceden β değerindeki Bessel fonksiyon katsayısıdır. Bessel Fonksiyonu aşağıdaki şekilde verilmiştir.)

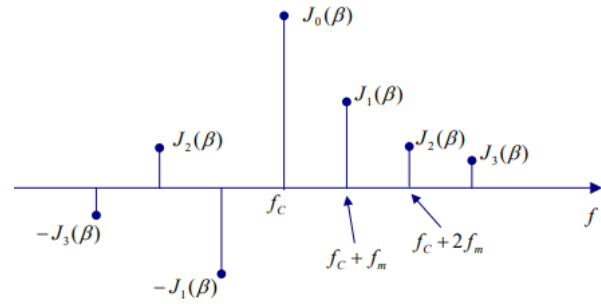
$$y(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t)) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\beta) \cos(2\pi(f_c + n f_m)t)$$

tek ton bilgi işareti FM $y(t)$ nin rastgele bir β değeri için Fourier serilerine açılmış halini buluruz. Frekans spektrumu için Fourier dönüşümünü alırız.

$$F(y(t)) = Y(f) = \frac{A_c}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\beta) [\delta(f - (f_c + n f_m)) + \delta(f - (f_c - n f_m))]$$

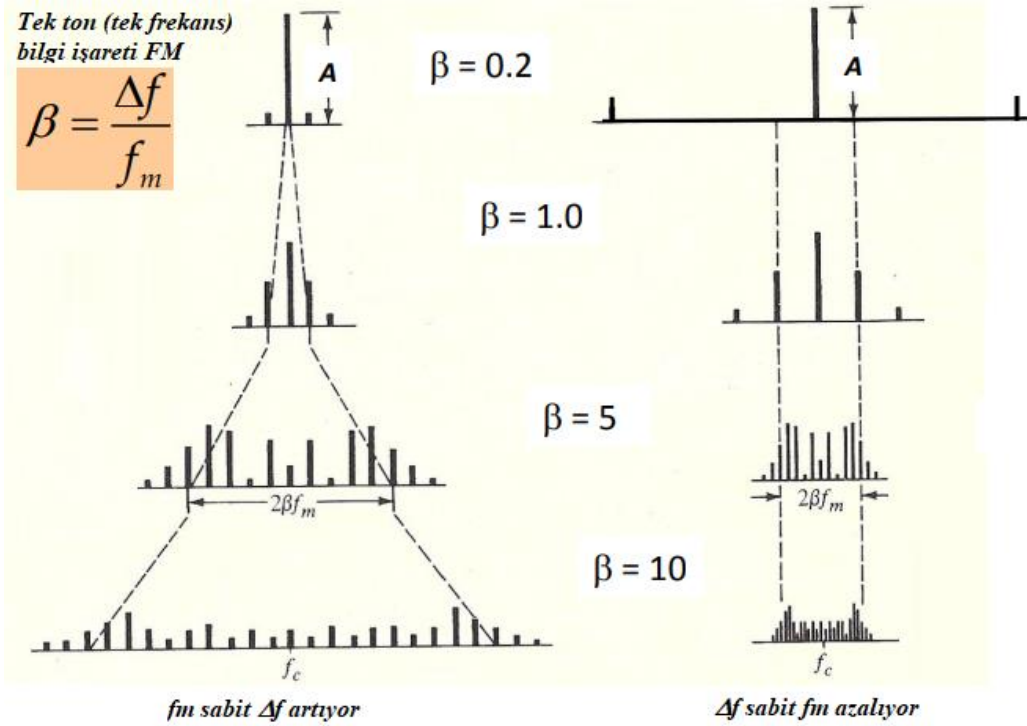


n 0 dan 6 ya kadar Bessel fonksiyonları
($0 < \beta < 10$ için)



FM Frekans Spektrumu

FM işaretin spektrumu, bir taşıyıcı bileşen ve taşıyıcı frekansın her iki tarafında simetrik bulunan sonsuz sayıda yan bant içerir. Bazı β değerleri için $Y(f)$ aşağıda çizilmiştir. Çok frekanslı bilgi işareti iletilen FM haberleşme sisteminde f_m bilgi işaretinin en yüksek frekansı seçilir.

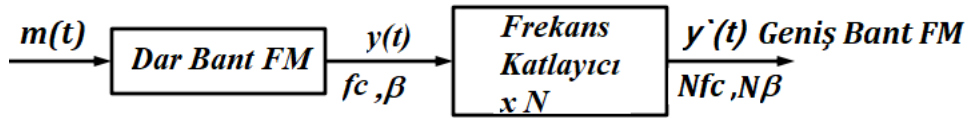


Bazı β değerleri için FM frekans spektrumu

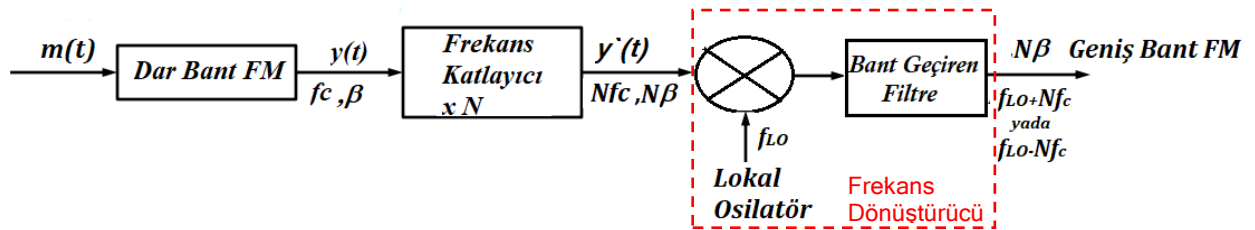
Sonsuz bileşene sahip olmasına rağmen **geniş bant FM** ($\beta \geq 1$) için BW (Carson Kuralına göre yayılan enerjinin %98 ini kapsayan bant genişliği)

$$BW = 2(f_m + f_\Delta) = 2f_m(\beta + 1) = 2f_\Delta(1 + \frac{1}{\beta}) \text{ dir.}$$

Geniş bant FM oluşturmak için Dar bant FM modülatörü çıkışı frekans katlayıcılar ve/veya frekans dönüştürücü (Filtre ile tek yan bant seçen GM modülatör yada mikser) ile yükseltilir. Bu yapılar birden fazla kullanılarak istenen frekansta FM üretilir. Diyagramlar aşağıda gösterilmiştir.



Frekans Katlayıcı ile Geniş Bant FM Üretimi



Frekans Katlayıcı ve Yukarı Frekans Dönüştürücü ile Geniş Bant FM Üretimi

FM Güç

FM işareti idealde sonsuz bileşenden oluşur. Toplam güç tüm bileşenlerin gücünün toplamı ile bulunabilir. Bur durumda;

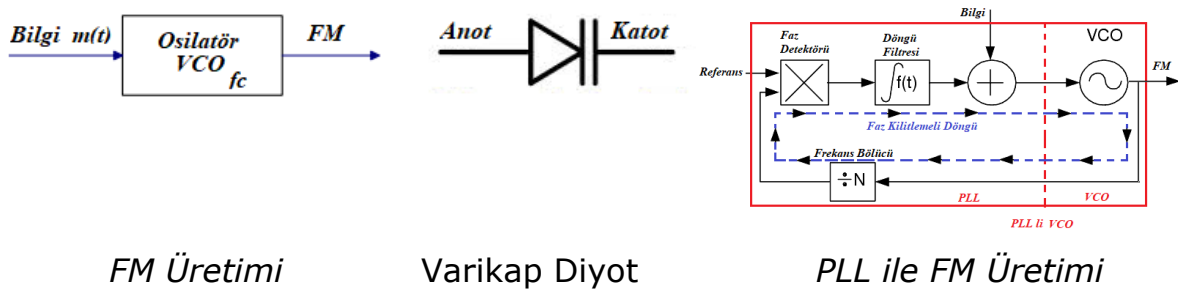
$$P_{FM} = \frac{A_c^2}{2R} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n^2(\beta)$$

FM işareti incelendiğinde zarfının sabit olduğu ve maksimum genliğinin taşıyıcı genliğine eşit olduğu görülür. Böylece FM güç için aşağıdaki ifade yazılabilir;

$$P_{FM} \approx \frac{A_c^2}{2R}$$

FM Modülatör

Dar bant FM ve Geniş bant FM konularında bu işaretlerin nasıl üretileceği diyagramlar ile açıklanmıştır. O tür üretim yöntemleri doğrudan olmayan FM üretim yöntemleridir. Genelde doğrudan FM üretici ile çok yüksek frekanslara çıkmak için kullanılırlar. Doğrudan FM işareti üretmenin en temel yolu merkez frekansı taşıyıcı frekansına eşit voltaj kontrollü osilatör (VCO) kullanmaktır. Kontrol girişine bilgi işareti uygulanarak taşıyıcı frekansı değiştirilir ve FM işareti üretilir. VCO için osilatör devrelerinde frekans seçici kısmında üzerine uygulanan gerilimle kapasitans değeri değişen diyot (Varaktör diyot) kullanılır. Günümüzde FM üretimi de dahil olmak üzere genel işaret üretimi Faz kilitlemeli döngüler (PLL) ile kontrol edilen VCO larla sağlanır. Ayrıca bazı PLL entegre devreleri içerisinde VCO da içerebilir. Aşağıda FM modülatör diyagram, varikap diyot sembolü ve PLL`li FM üretimi diyagramı gösterilmiştir.



Hazırlık Soruları:

Soru1: Ülkemizde ticari FM Radyo yayın frekans aralığı nedir? Her bir kanal için ayrılan bant genişliği ne kadardır? Bu durumda aynı en fazla kaç istasyon yayın yapabilir? Kullanılan Bilgi işareti nedir ve üst frekansı kaçtır? Frekans sapması ve modülasyon indeksi kaçtır? Frekans sapması ve modülasyon indeksini kullanarak gerekli bant genişliğini hesaplayınız? Hesaplanan bant genişliği ile ayrılan bant genişliği farklı mı? Neden?

DENEYİN YAPILIŞI

Y-0024/003 modülünü devre şemasında gösterilen biçimde bağlayınız. Devreye enerjiyi veriniz.

Devre Şeması

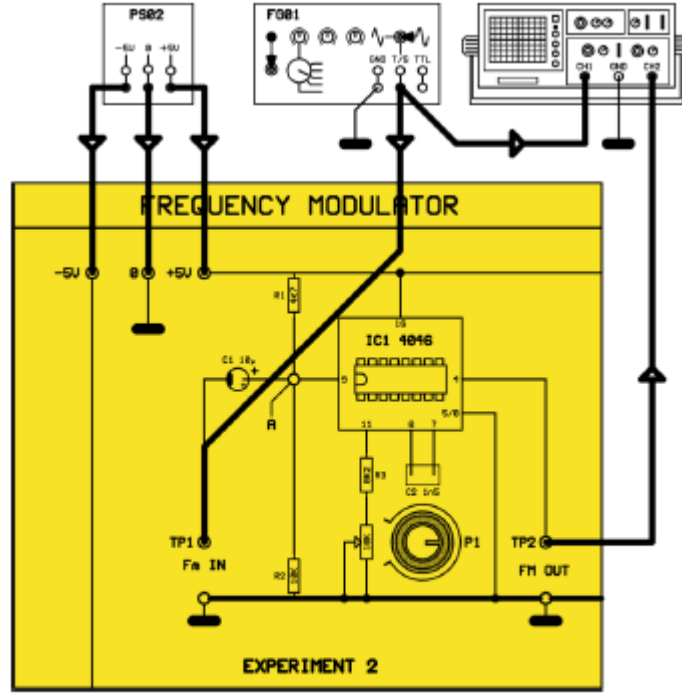


Figure 3.2.2

Deneyin Yapılışı

1. Fonksiyon üreticinin çıkış işaretini bir sinüse, frekansını $F_m=400\text{Hz}$ ve genliğini 1 Vpp olarak ayarlayın. Sinyal girişini Fm IN (TP1) soketinden ayırın. CH2 kanalını Fm OUT (TP2) soketine bağlayın. Bu sırada Fm OUT (TP2) soketinde 40KHz görene kadar P1 potansiyometresini ayarlayın ve iki işaretin şekillerini çizin ve yorumlayın.
2. Fonksiyon üreticinin çıkışını Fm IN (TP1) soketine bağlayın. İki burcun şekillerini çizin ve yorumlayın.