Analog Haberleşme

Açı modülasyonu (FM): üretim, demodülasyon, gürültü

Orijinal not: Ders13.pdf

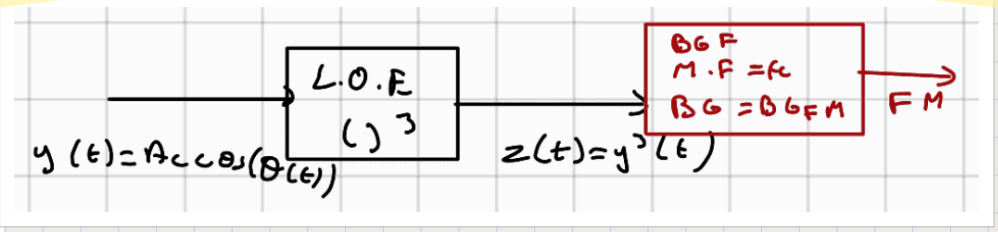
UYARI Bu belge, el yazısı ders notlarından Claude (Anthropic) yardımıyla dijitale aktarılmıştır. Yardımcı kaynak olarak hazırlanmıştır; hata veya eksik içerebilir. Lütfen orijinal notları ve ders kaynaklarını esas alın.

NOTICE *This document was transcribed from handwritten lecture notes with the help of Claude (Anthropic). It is meant as a supplementary resource and may contain errors or omissions. Always check against the original notes and official course material.*

orj. s. 1

Açı modülasyonun lineersizliğe dayanıklığı

(Immunity of angle mod. to nonlinearity)



orijinal çizim, s. 1

GM (AM)?

$$y(t) = A_c\, m(t) \cos(2\pi f_c t)$$

$$z(t) = y^3(t) = A_c^3 \underbrace{m^3(t)}_{\times \text{ mesaj işareti}} \cos^3(2\pi f_c t)$$

$$z(t) = A_c^3 \cos^3(\theta(t)) = \frac{3A_c^3}{4}\cos(\theta(t)) + \frac{A_c^3}{4}\cos(3\theta(t))$$

$$\cos^3(a) = \frac{3}{4}\cos(a) + \frac{1}{4}\cos(3a)$$

$$= \overbrace{\frac{3A_c^3}{4}\cos\left(2\pi f_c t + 2\pi k_f \int m(\tau)\,d\tau\right)}^{f_c\text{'de FM}} + \underbrace{\frac{A_c^3}{4}\cos\left(2\pi\, 3 f_c t + 2\pi\, 3 k_f \int m(\tau)\,d\tau\right)}_{3f_c\text{'de FM}}$$

* Açı modülasyonu lineersizliğe dayanıklıdır. Serbest uzayda gönderilen işaret taşıyıcının karesi ile ters orantılı olarak zayıflar. Yüksek frekanslarda lineer haberleşmek zor.

Gürültüye GM'e göre FM daha iyi baskılar. (Armstrong)

* Signal-to-Noise Ratio (SNR) — Alıcının son katında hesaplanır

? $\sigma \propto BG^2$ {Bant genişliğinin karesi ile orantılı} FM'de
Bant genişliğine büyük yapınca

β yükseltirsek yükselir

$$\beta = \frac{\Delta f}{B}, \quad \Delta f = k_f \cdot \underbrace{\text{maks}|m(t)|}_{m_p}$$

Daha az güçle daha yüksek performans. Uydu haberleşmesine çok uygundur. ?Gereken gücü düşük, az güç demek daha az karmaşık ve daha hafif bir sistem demek.

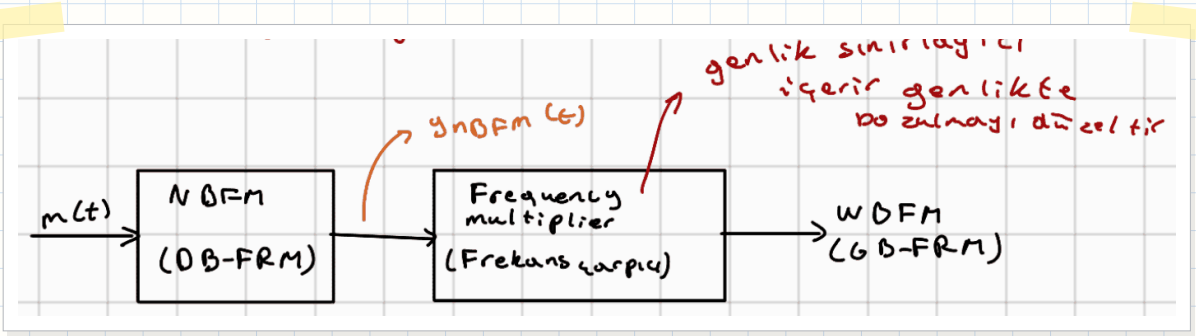
orj. s. 2 Ayrıca zarfının sabit olması, sönümlenmeye karşı ?yüksek bir bağışıklık kazandırıyor.

Tek yanbantı çoklanmış işaretler mikrodalga ile iletirken kullanılır. TV'de görüntü için VSB ses için FM

FRM (FM)'nin üretilmesi

1) Dolaylı metod (Indirect method)

(Armstrong tekniği)



orijinal çizim, s. 2

– Genlik ve faz bozulmasına sebep olur

$$y_{NBFM}(t) = A_c \left[\cos(2\pi f_c t) - \phi(t)\sin(2\pi f_c t)\right]$$

$$a\cos x + b\sin x = c\cos(x+\theta)$$
$$c = \sqrt{a^2+b^2}, \quad \theta = \tan^{-1}\left(\frac{-b}{a}\right)$$

$$= A_c E(t)\cos\left(2\pi f_c t + \alpha(t)\right)$$

$$E(t) = \sqrt{1+\phi^2(t)}$$

$$\alpha(t) = \arctan(\phi(t)), \qquad \phi(t) = 2\pi k_f \int m(\tau)\,d\tau$$

$$\alpha(t) = \arctan(\phi(t))$$

$$f_i(t) - f_c = \frac{1}{2\pi}\frac{d\alpha(t)}{dt}$$

$$= \frac{1}{2\pi}\frac{\dot{\phi}(t)}{1+\phi^2(t)} = \frac{1}{2\pi}\frac{2\pi k_f m(t)}{1+\phi^2(t)}$$

$$f_i(t) - f_c = k_f m(t) \underbrace{\left[1 - \phi^2(t) + \phi^4(t) - \cdots\right]}_{1/(1+\phi^2(t))}$$

fazda bozulma

orj. s. 3

2) Direk metod (Direct method)

* Voltage controlled Oscillator (VCO)

Gerilim kontrollü Osilatör (GKO)

↪ Girişine uygulanan gerilimle çıkış frekansı değişiyor

FM: $f_i(t) = f_c + k_f m(t)$

GKO: (Razitin kitabı)

- İşlem kuvvetlendiricisi + histerik karşılaştırıcı) (Schmitt tetikleyici devre)
- Bir osilatörün L,C parametreleri oynanarak gerçekleştirilebilir.

varicap: gerilime göre kapasite değişir

Hartley veya Colpitt osilatörlerinde osilasyon frekansı:

$$f_i(t) = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \qquad \underbrace{C}_{\text{varactor}} = C_0 - k\cdot m(t)$$

$$= \frac{1}{2\pi\sqrt{L\left[C_0 - k\,m(t)\right]}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_0\left[1 - \frac{k\,m(t)}{C_0}\right]}}$$

$$= \underbrace{\frac{1}{2\pi\sqrt{LC_0}}}_{=f_c} \cdot \frac{1}{\left[1 - \frac{k\,m(t)}{C_0}\right]^{1/2}}$$

$$= f_c\left[1 - \frac{k\,m(t)}{C_0}\right]^{-1/2}$$

* $|x| \ll 1 \Rightarrow (1+x)^n \simeq 1 + nx$

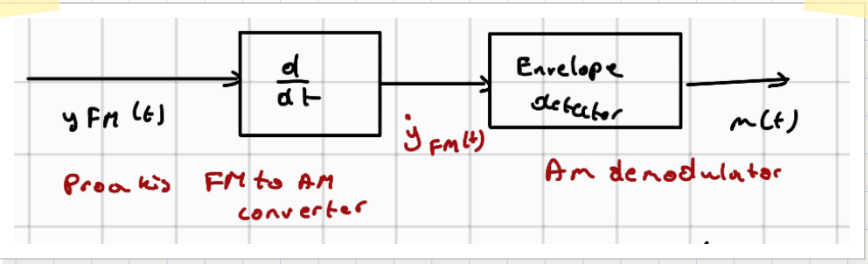
$$\frac{k\,m(t)}{C_0} \ll 1 \Rightarrow f_i(t) \simeq f_c\left[1 + \frac{k\,m(t)}{2C_0}\right]$$

$$f_i(t) = f_c + \underbrace{\frac{kf_c}{2C_0}}_{k_f} m(t)$$

– frekans kararlılığı çok iyi değil onun için freq kararlılığı iyi olan bir osilatörle karşılaştırılır.

orj. s. 4

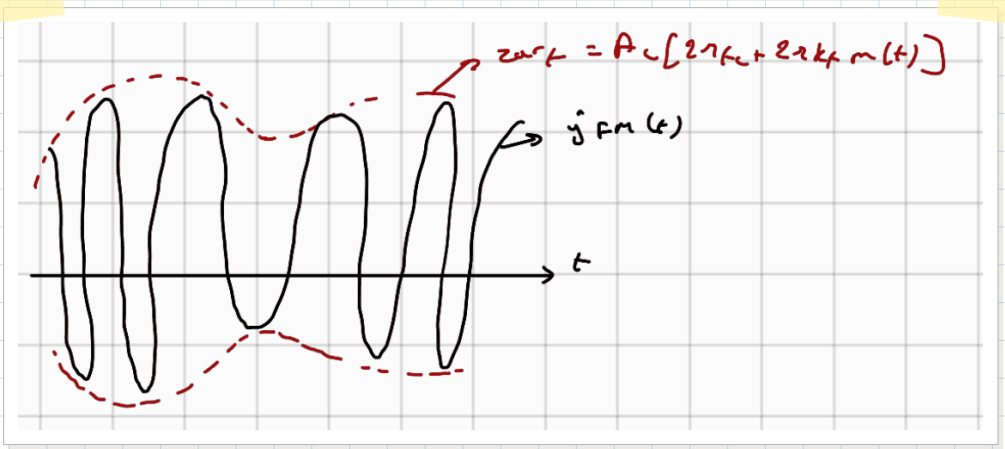
FRM (FM)'nin Dönüşümü



orijinal çizim, s. 4

$$y_{FM}(t) = A_c \cos\left(\underbrace{2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_{-\infty}^{t} m(\tau)\,d\tau}_{\theta(t)}\right)$$

$$\frac{dy_{FM}(t)}{dt} = -A_c \underbrace{\left[2\pi f_c + 2\pi k_f m(t)\right]}_{\text{zarf (envelope)}} \sin(\theta(t))$$



orijinal çizim, s. 4

$$\frac{dy_{FM}(t)}{dt} = -A_c \underbrace{\left[2\pi f_c + 2\pi k_f m(t)\right]}_{\text{zarf (envelope)}} \sin(\theta(t))$$

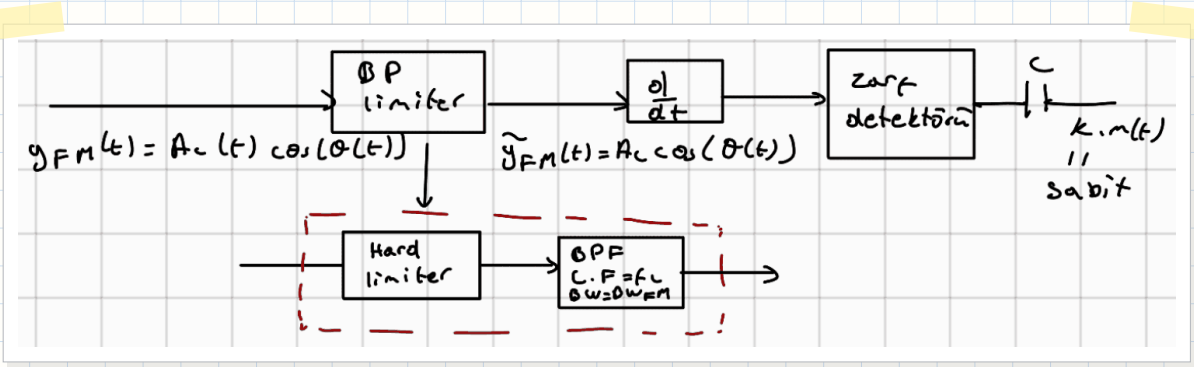
$\forall t \quad A_c\left[2\pi f_c + 2\pi k_f m(t)\right] > 0$ olması gerekir.

$\forall t \quad f_c + k_f m(t) > 0$

$\forall t \quad f_c > \underbrace{k_f \cdot \underbrace{\text{maks}|m(t)|}_{m_p}}_{=\Delta f}$

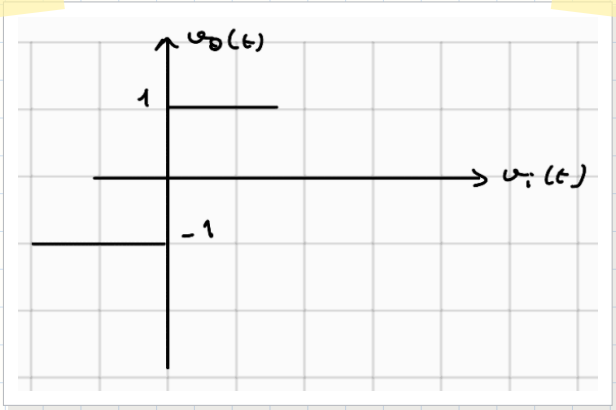
Bu metodun uygulanabilmesi için A_c'nin sabit olması lazım

$A_c(t)\,m(t)$



orijinal çizim, s. 4

orj. s. 5



orijinal çizim, s. 5

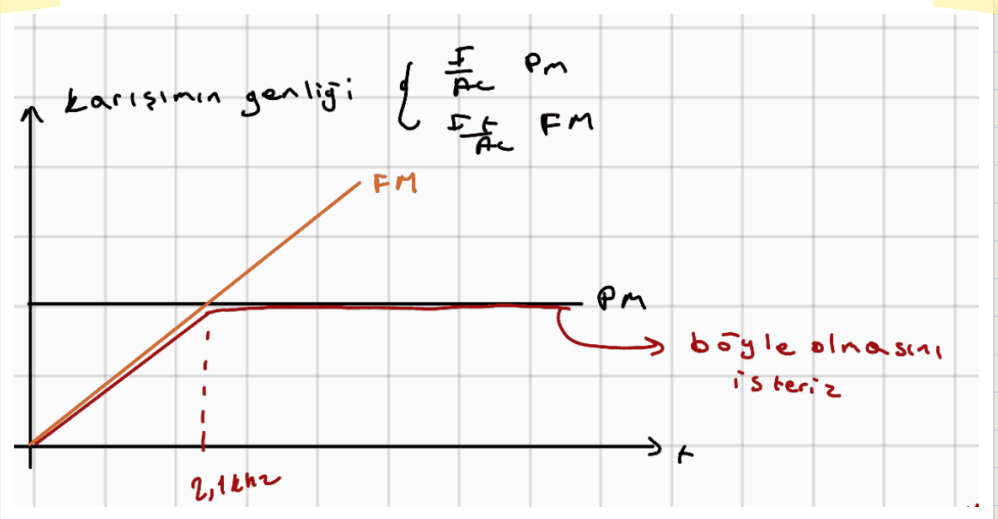
Pratik FM demodülatörleri

- Balanced modulators; Slope detector/ balanced discriminator; ratio detector
- Zero-crossed detector
- Phase Locked loop (PLL)
  Faz kilitlemeli döngü (FKD) (Düşük maliyetli ve yüksek performanslı diğerlerine göre)

Açı modülasyonunda karışım (interferance)

$$r(t) = \underbrace{A_c\cos(2\pi f_c t)}_{\text{Unmodulated carrier}} + \underbrace{I\cos\left[2\pi(f_c + f)t\right]}_{\text{karışım}}$$

$$\text{Demodülatör çıkışı: } y_d(t) = \begin{cases} \frac{I}{A_c}\sin(2\pi f t) & \text{PM} \\ \frac{If}{A_c}\cos(2\pi f t) & \text{FM} \end{cases}$$



orijinal çizim, s. 5

Başta FM sonra PM gibi çalışsın isteriz

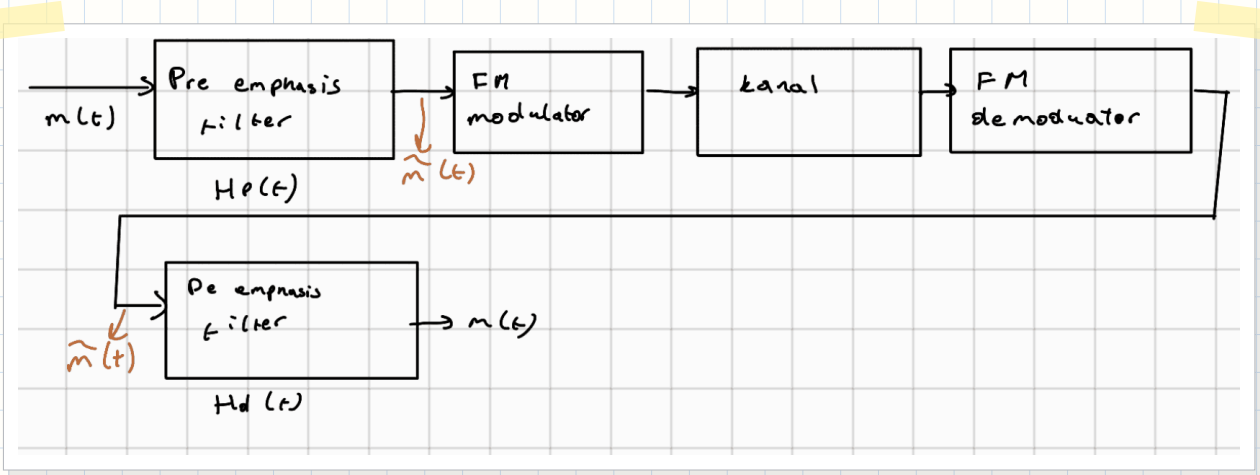
orj. s. 6

AWGN: kanal gürültüsü

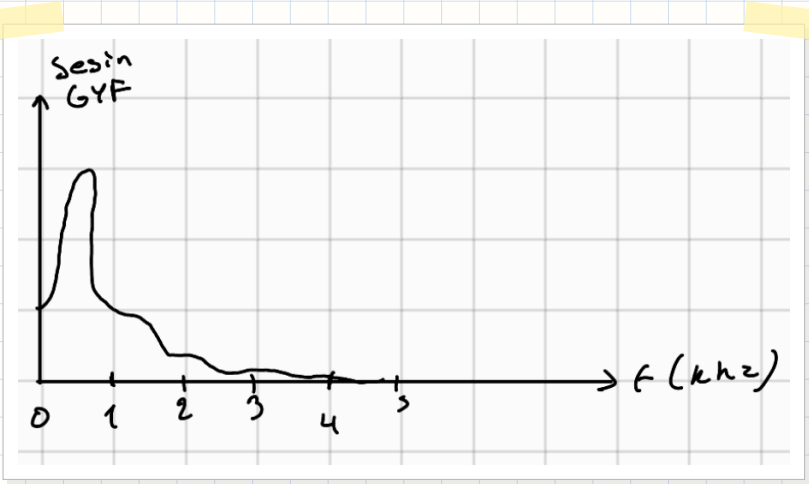
$$r(t) = \underbrace{y(t)}_{\text{modüle edilmiş işaret}} + \underbrace{n(t)}_{\text{AWGN}} \rightarrow \text{GYF: } S_n(f) = \frac{N_0}{2} = \text{sabit } \forall f$$



orijinal çizim, s. 6



orijinal çizim, s. 6



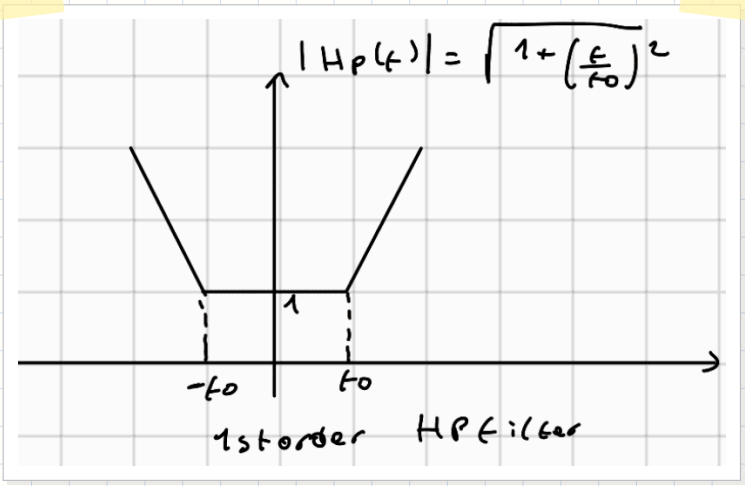
orijinal çizim, s. 6

2,1 khz kritik frekans

Sesin zayıf olduğu frekanslarda kuvvetlendirir gürültüye bağışıklık kazanır.

Proakis, S.294-295

$$|H_p(f)| = \sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}$$



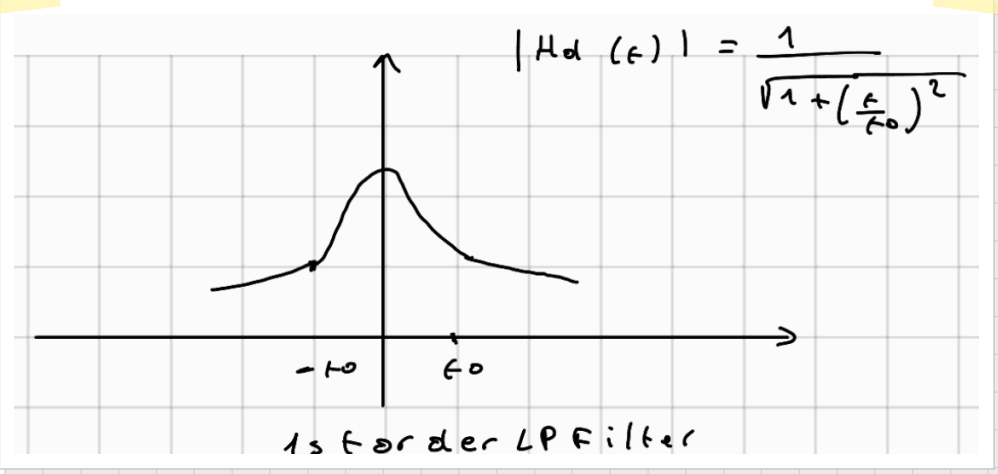
orijinal çizim, s. 6

Ticari FM yayınında $RC = 75\ \mu sn$

$$\Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 75 \cdot 10^{-6}}$$
$$\approx 2100\ Hz = 2{,}1\ kHz$$

orj. s. 7

$$|H_d(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}}$$

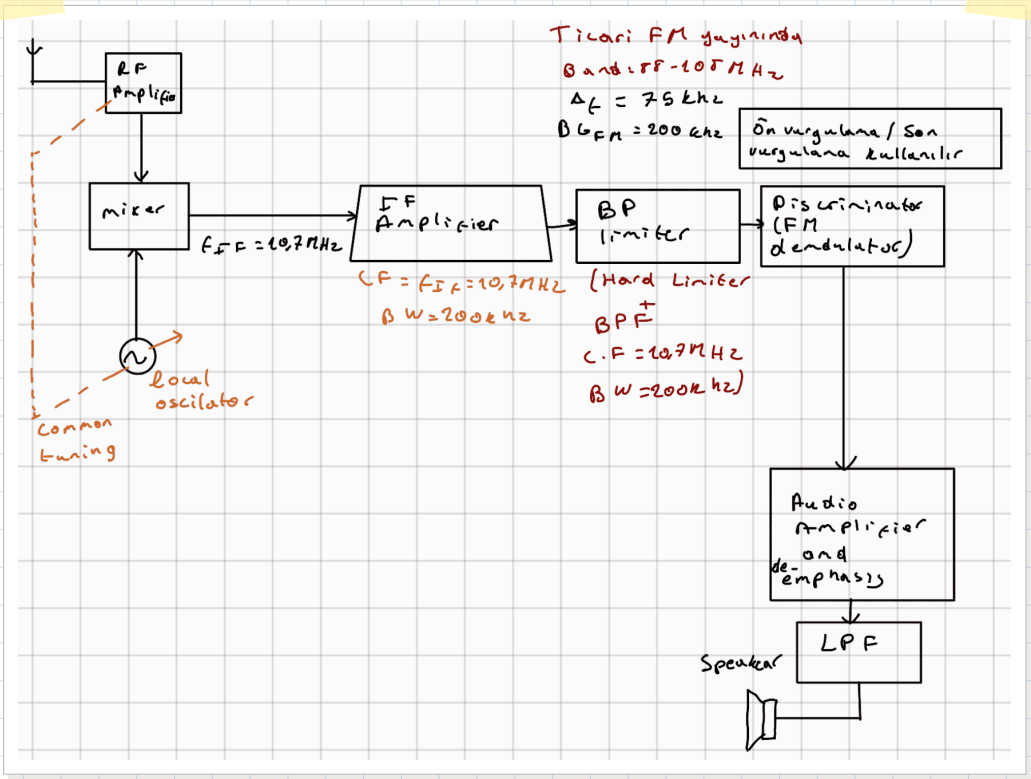


orijinal çizim, s. 7

gürültüyü azaltıyor ve performansı artırır

Ön vurgulama ve son vurgulama filtreleri SNR'yi 13,27 dB arttırır (21,23) kat

Süper heterodin FM alıcısı



orijinal çizim, s. 7

Ticari FM yayınında
Band: 88–108 MHz
Δf = 75 kHz
BG_{FM} = 200 kHz

Ön vurgulama / son vurgulama kullanılır

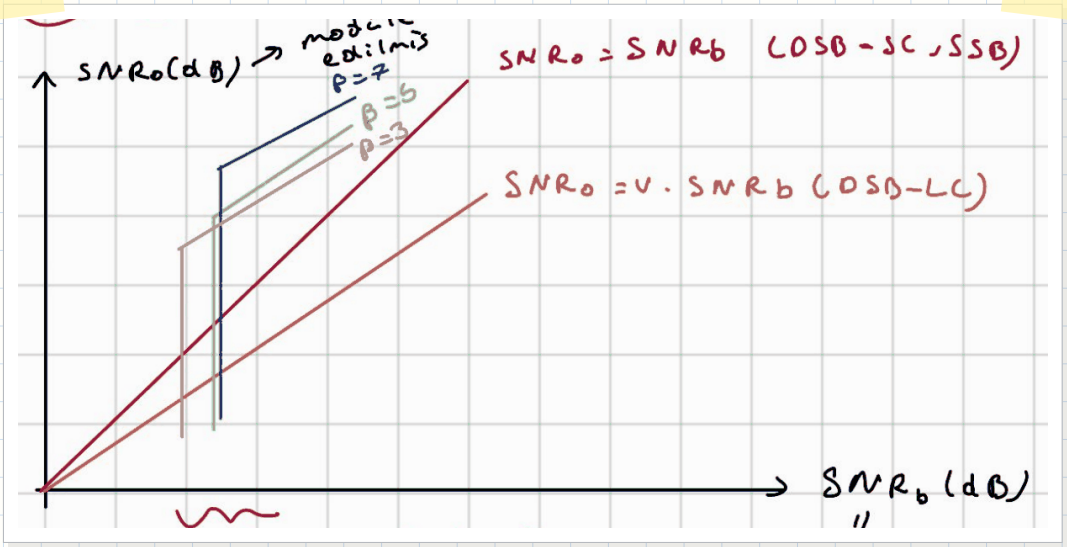
orj. s. 8

İlk yayın mono sonra stereo oldu

* Dezavantajı

Eşik değeri etkisi (Treshold effect)

sinüsoidal mesaj işaretleri için



orijinal çizim, s. 8

$$SNR_{b,th} = 20(\beta + 1)$$

SNR_b(dB) temel bantta (Girişteki gürültü gücü)

P_R = alınan güç

$\boxed{N_0 \cdot B}$ → gürültü gücü

↓ $\frac{N_0}{2} \cdot 2B$

Modülasyon Tekniklerinin karşılaştırılması

$$BG\{m(t)\} = B \text{ Hz}$$

BW efficiency	Power efficiency (SNR)	Complexity (Tx and Rx)
BW_{SSB} = B most efficient (voice transmission) BW_{VSB} = 1,25 B (video transmission) BW_{DSB} = 2B (Radyo yayını) $BW_{Angle} \geq 2B(\beta + 1)$ PM, FM (Telefon, uzay, radyo) least efficient	– FM most efficient – DSB-SC, SSB – DSB-LC=AM (radyo yayını) – VSB+C (TV) – SSB+C	1) Simplest receiver: DSB-LC=AM 2) FM receiver, VSB+C receiver 3) DSB-SC, SSB-SC (faz tahminli demodülasyon)

iridyum projesi