

2005年度秋期実用マイクロ波講座

無線機設計におけるRF技術のすべて

2005年 9月～12月

松下電器産業(株) 上野 伴希(工学博士)

研修アジェンダ

1. システム設計概要
2. 低雑音アンプ(LNA)その1
3. 低雑音アンプ(LNA)その2
4. ミクサ
5. ローカル発振器
6. 変復調その1
7. 変復調その2
8. パワーアンプ(PA)
9. その他の回路
10. ダイレクトコンバージョンRX / TX

6 . 変復調その1 (アナログ変調)

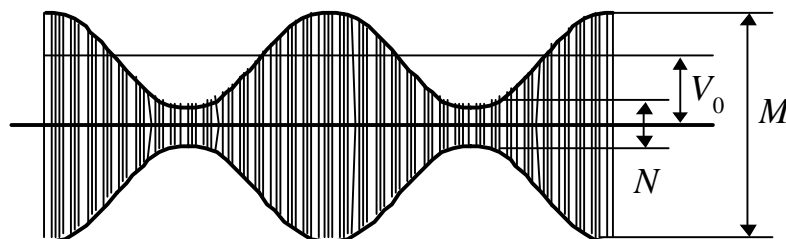
2005年 11月16日(水)

- 1 . AMとは
- 2 . AM復調回路
- 3 . AM変調回路
- 4 . FM (PM) とは
- 5 . PM変調原理
- 6 . FMスレシヨルド
- 7 . FM復調 (検波) 回路
- 8 . FM変調回路

AMとは

AM表現

AM波形



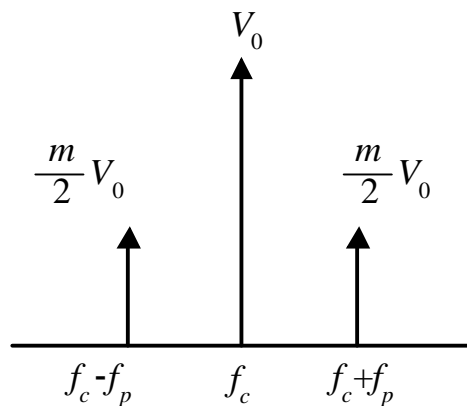
$$m = \frac{M - N}{M + N}$$

AM信号の瞬時値

$$v_s = V_0 (1 + m \cos \omega_p t) \cos(\omega_c t + \theta)$$

$$v_s = V_0 \left\{ \cos(\omega_c t + \theta) + \frac{m}{2} \cos((\omega_c - \omega_p)t + \theta) + \frac{m}{2} \cos((\omega_c + \omega_p)t + \theta) \right\}$$

$m \leq 1$: 変調指数



AMのスペクトル

複素数表現

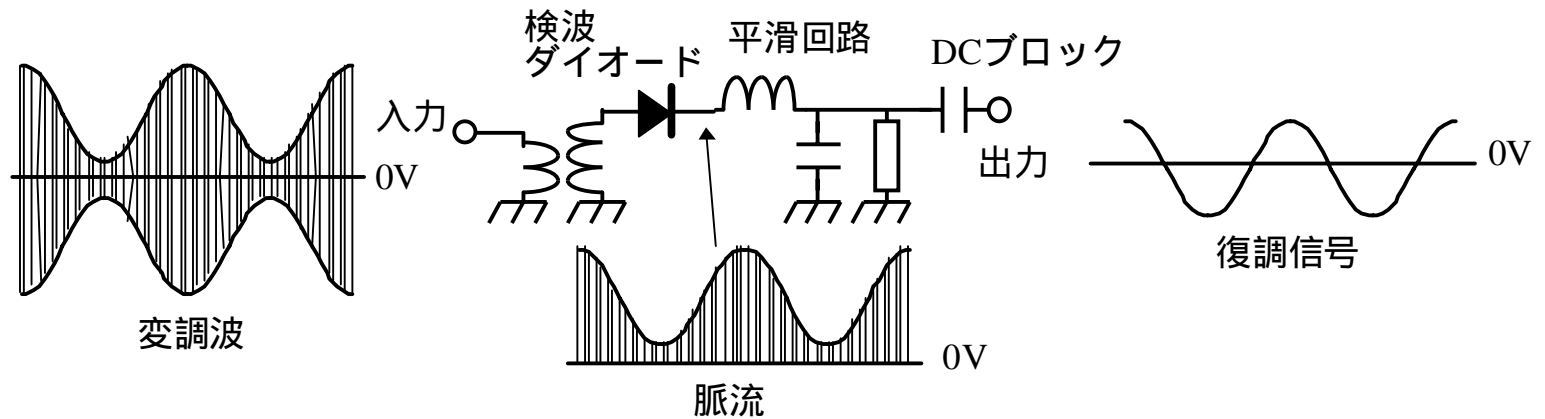
$$V_s = V_0 e^{j\theta} \left(e^{j\omega_c t} + \frac{m}{2} e^{j(\omega_c - \omega_p)t} + \frac{m}{2} e^{j(\omega_c + \omega_p)t} \right)$$

$$v_s = \text{Re}[V_s]$$

AM復調回路

半波整流 / プロダクト検波

ダイオード検波

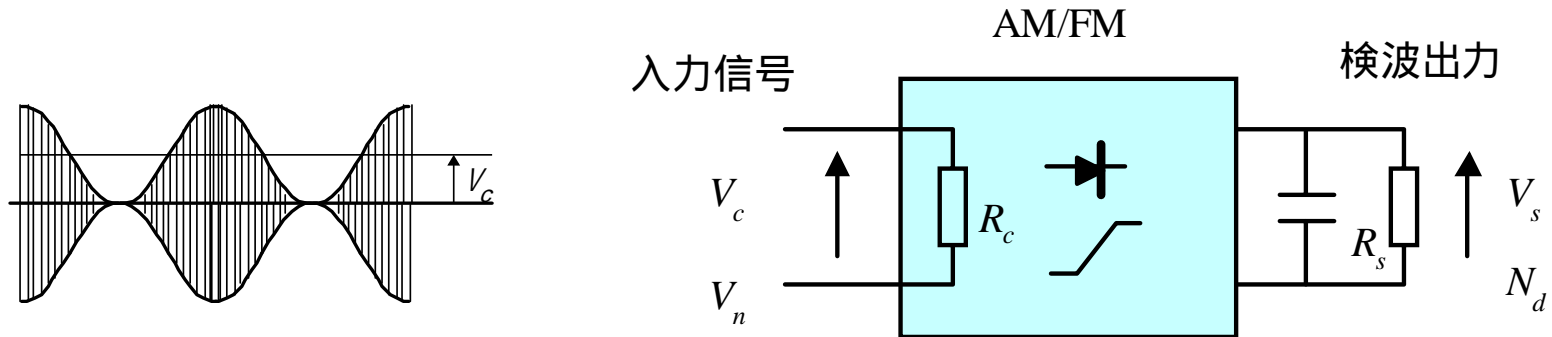


プロダクト検波の原理

$$y = (1 + m \cos \omega_p t) \cos \omega_c t \times \cos \omega_c t = (1 + m \cos \omega_p t) \frac{1 + \cos 2\omega_c t}{2}$$

AM復調回路

CNとSN



入力CN $C = \frac{V_c^2}{2R_c}, \quad \frac{V_n^2}{2R_c} = N_o df, \quad N = \int_B N_o df$

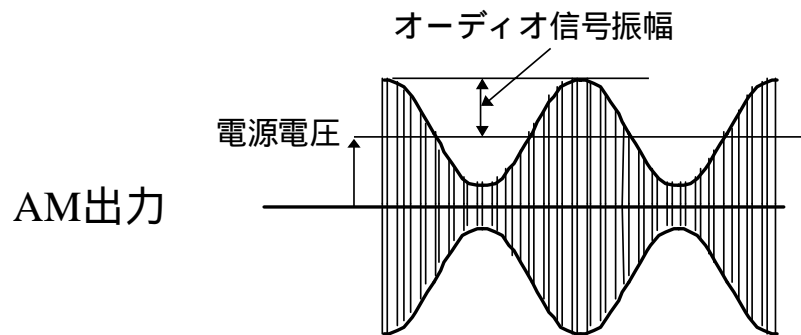
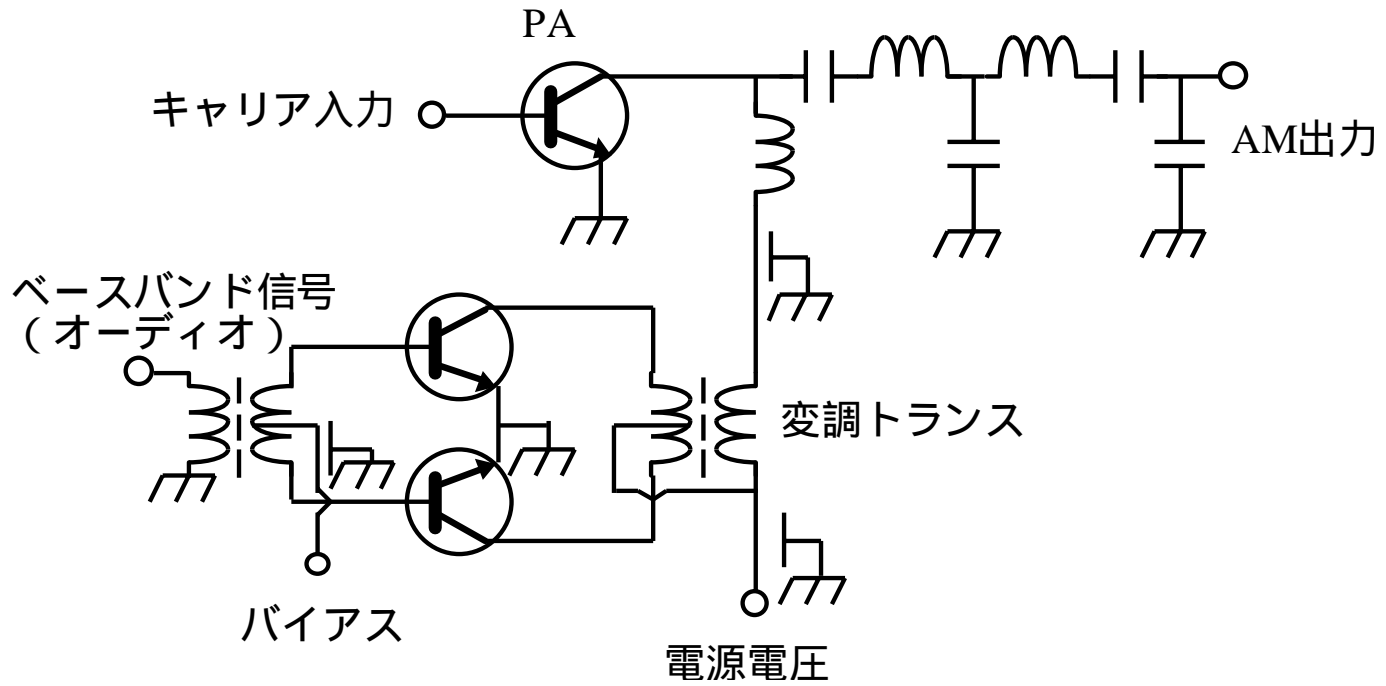
出力SN $S = \frac{(\alpha V_c)^2}{2R_s}, \quad N_a df = \frac{(\alpha V_n)^2}{2R_s}, \quad N_d = \int_B N_a df$

これより

$$\frac{S}{N_d} = \frac{V_c^2}{V_n^2 B} = \frac{C}{N}$$

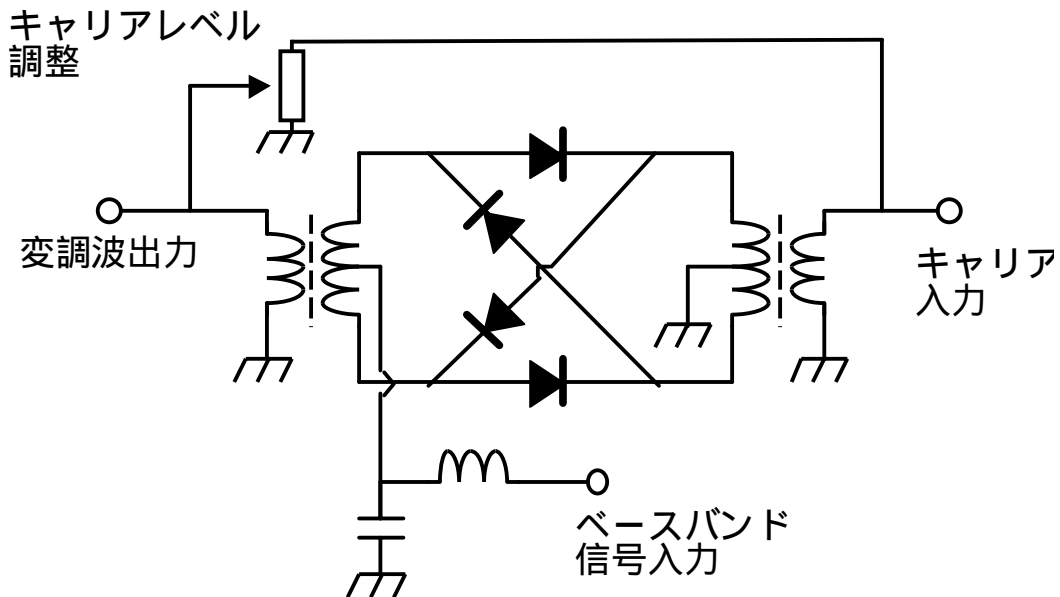
AM変調回路

コレクタ変調

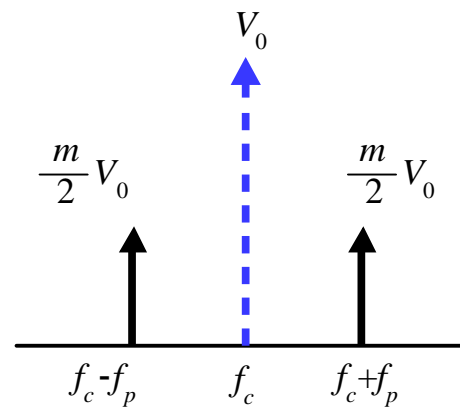


AM変調回路

DBMによる変調



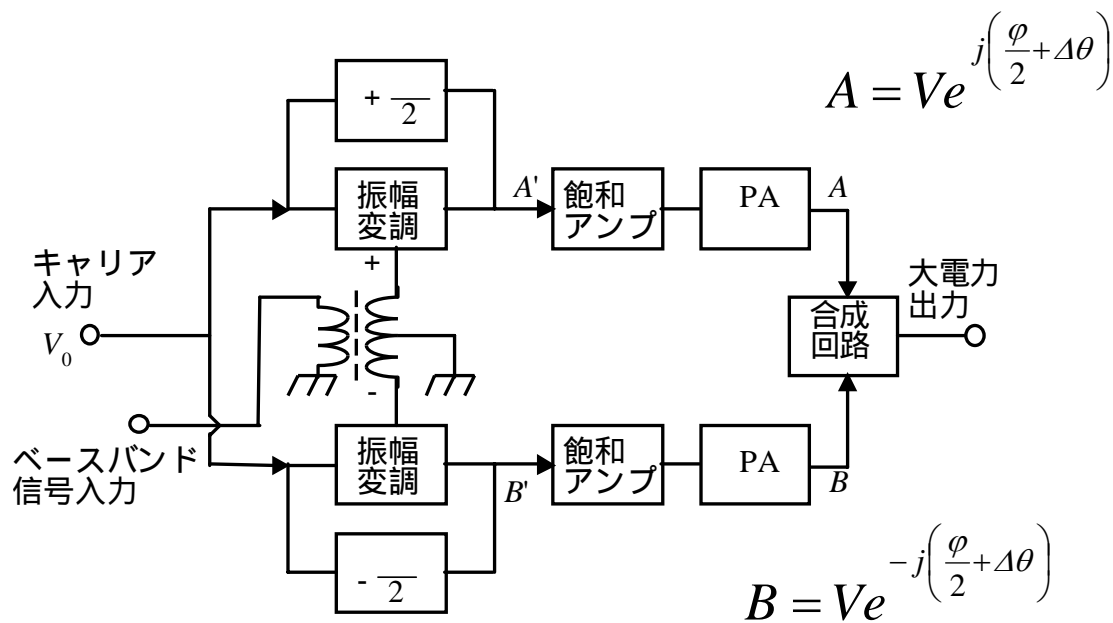
$$y = m \cos \omega_p t \times \cos \omega_c t$$
$$= \frac{m}{2} \left\{ \cos(\omega_c + \omega_p)t + \cos(\omega_c - \omega_p)t \right\}$$



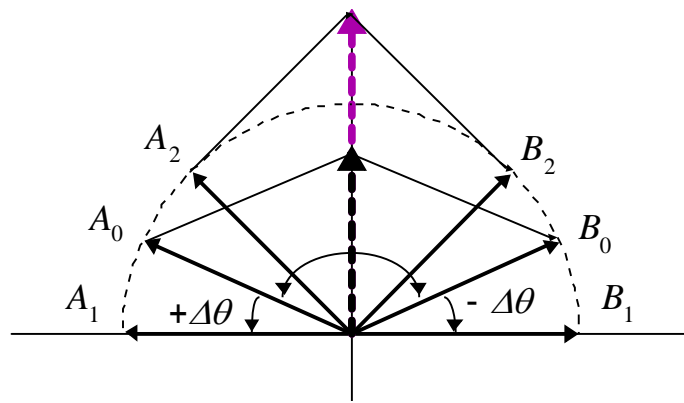
DSB出力

AM変調回路

シレー変調



PM波合成によるAM

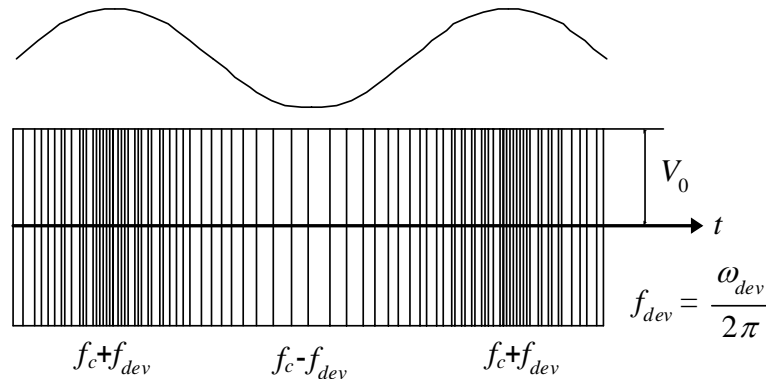


PM波合成ベクトル図

FM(PM)とは

FM表現

FM波形



FM信号表現 (瞬時周波数)

$$v_s = V_0 \cos((\omega_c + \omega_{dev} \cos \omega_p t)t + \theta)$$

瞬時周波数

$$\omega_f = \omega_c + \omega_{dev} \cos \omega_p t$$

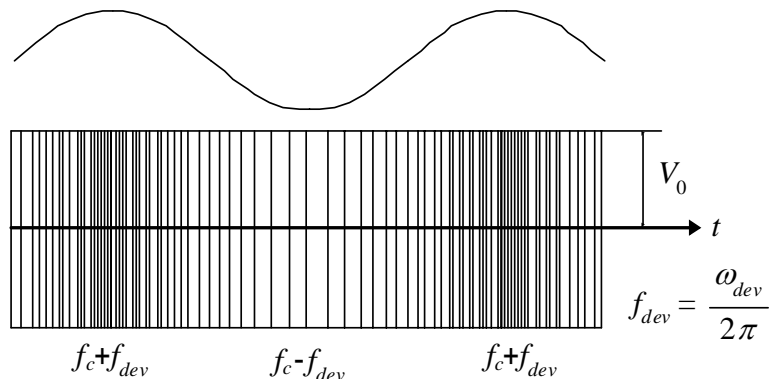
FM信号の複素数表現

$$V_s = V_0 e^{j((\omega_c + \omega_{dev} \cos \omega_p t)t + \theta)}$$

FM(PM)とは

PM表現

FM波形



FM信号表現 (瞬時周波数)

PM信号の複素数表現

$$\frac{d\psi(t)}{dt} = \omega_c + \omega_{dev} \cos \omega_p t \quad \text{周波数}$$

$$V_s = V_0 e^{j\psi(t)} = V_0 e^{j(\omega_c t + \beta \sin \omega_p t + \theta)}$$

$$\psi(t) = \omega_c t + \beta \sin \omega_p t + \theta \quad \text{位相}$$

FM信号の複素数表現

$$V_s = V_0 e^{j((\omega_c + \omega_{dev} \cos \omega_p t)t + \theta)}$$

$$\beta = \frac{\omega_{dev}}{\omega_p} = \frac{f_{dev}}{f_p} \quad \text{: 変調指数}$$

FMとは、ベースバンド信号を積分し位相変調すると得られる。

FM(PM)とは

FMスペクトル



FM信号の
瞬時値表現

$$v_s = V \left[J_0(\beta) \cos \omega_c t + \sum_{n=1}^{\infty} J_n(\beta) \left(\cos(\omega_c + n\omega_p)t + (-1)^n \cos(\omega_c - n\omega_p)t \right) \right]$$

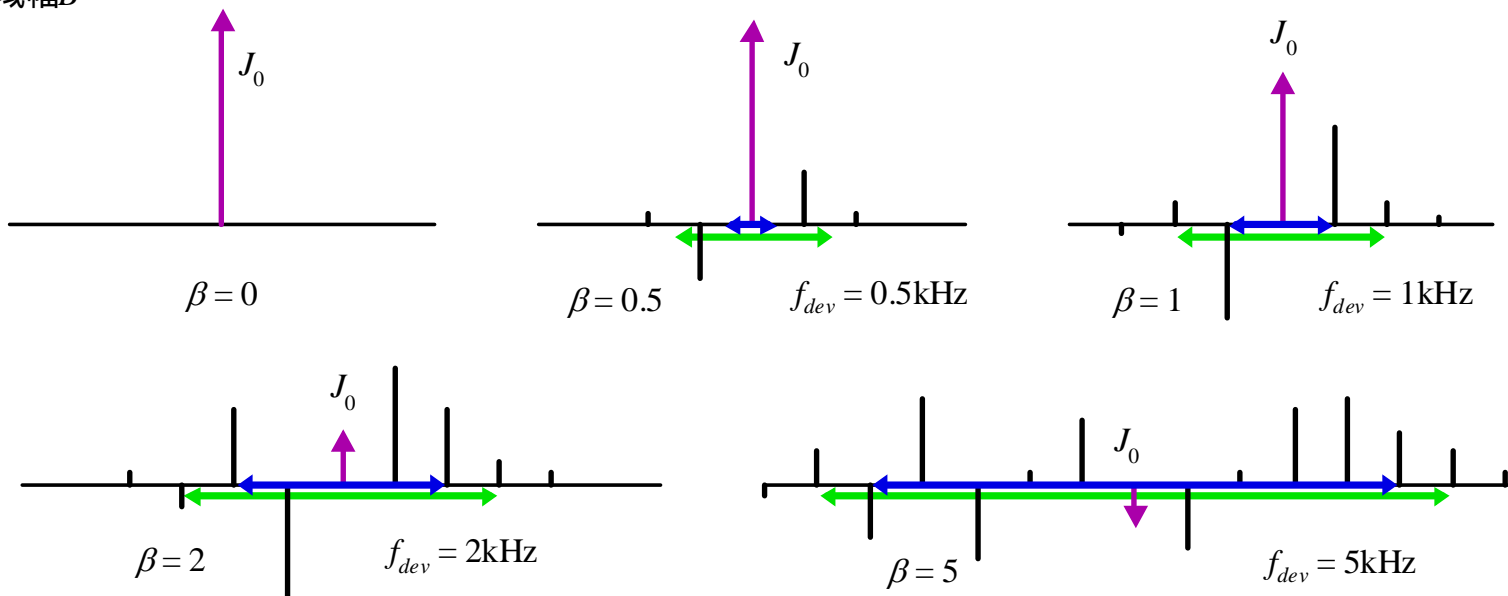
カーソン則

$$B_n = 2(f_p + f_{dev})$$

$$\beta = \frac{\omega_{dev}}{\omega_p} = \frac{f_{dev}}{f_p} : \text{変調指数}$$

 周波数偏移 f_{dev}
 帯域幅 B

変調周波数 $f_p = 1\text{kHz}$

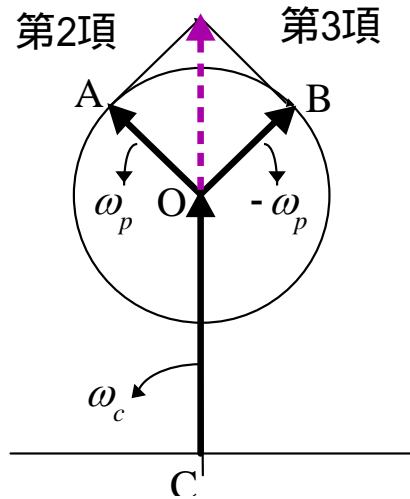


PM変調回路

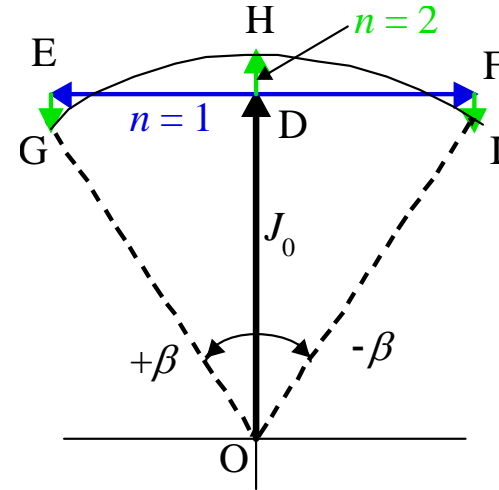
変調ベクトル図

$$V = Ae^{j\omega_c t}$$

A : フェーザ(複素数, ベクトル)



AM



FM

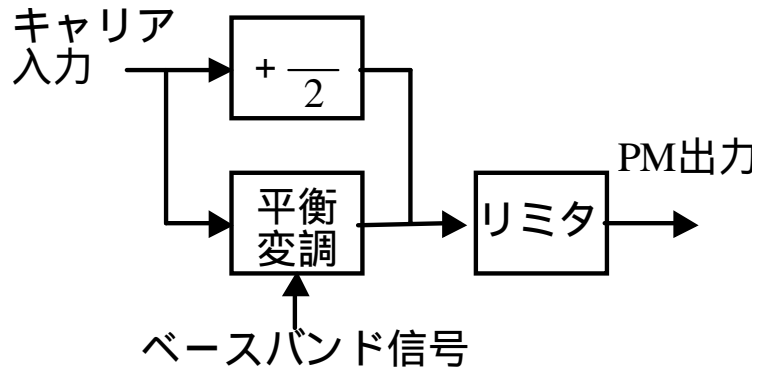
$$V_s = V_0 e^{j\omega_c t} e^{j\theta} \left(1 + \frac{m}{2} e^{j\omega_p t} + \frac{m}{2} e^{-j\omega_p t} \right)$$

$$V_s = V_0 e^{j\omega_c t} e^{j\theta} \left[J_0(\beta) + \sum_{n=1}^{\infty} J_n(\beta) \left(e^{jn\omega_p t} + (-1)^n e^{-jn\omega_p t} \right) \right]$$

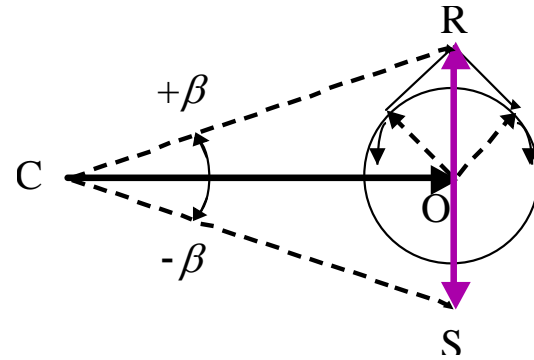
PM変調回路

変調原理

Armstrong方式



回路ブロック図

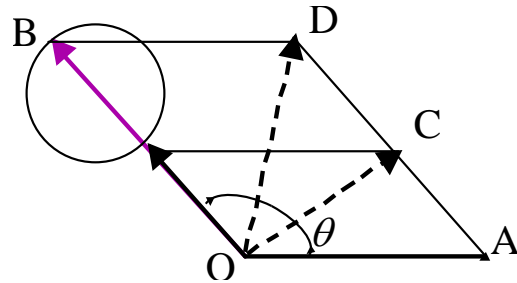


ベクトル図

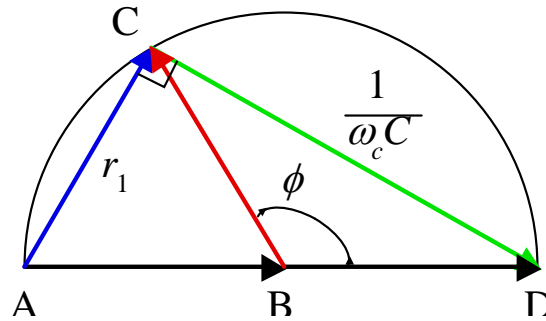
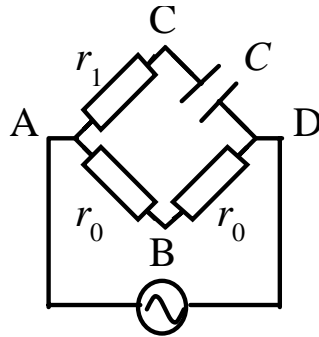
PM変調回路

変調原理 2

その他の代表的PM生成法



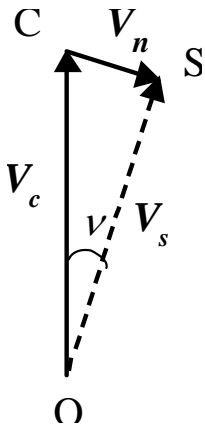
AM合成



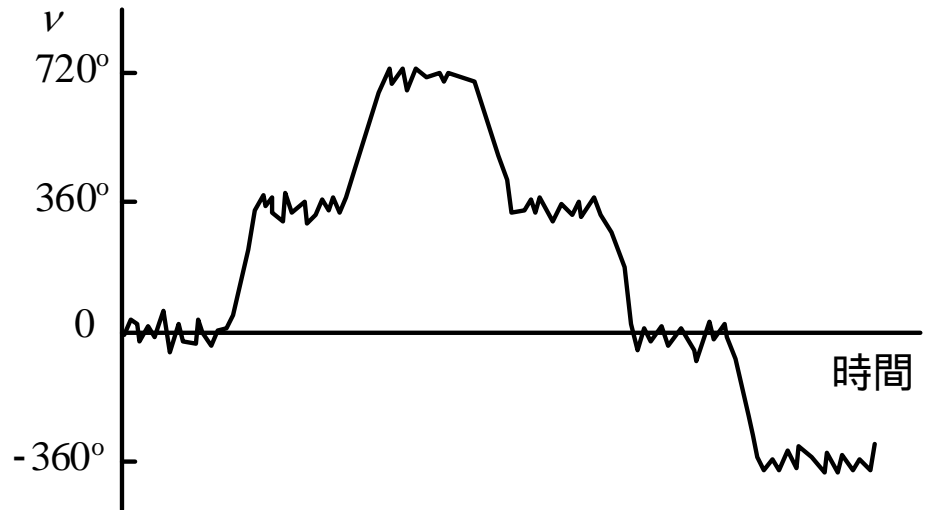
ブリッジ回路

FMスレシヨルド

ノイズの重畳



重畳ベクトル図



位相角 ϕ の時間変位

V_n が V_c をある確率で超える条件

$$\sqrt{2}V_f = 4\sigma$$

このとき

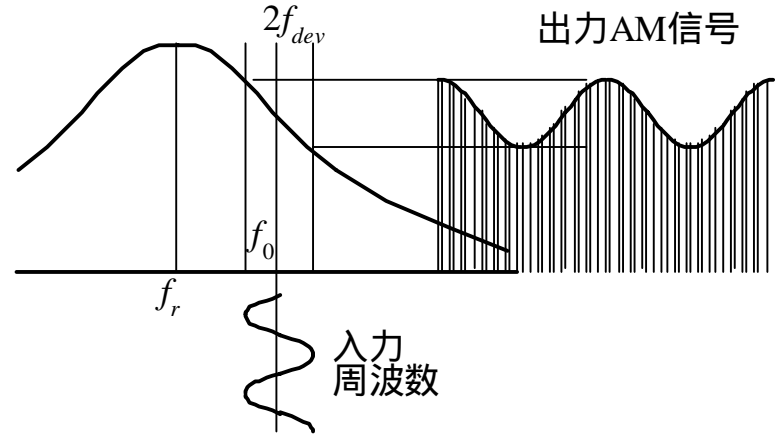
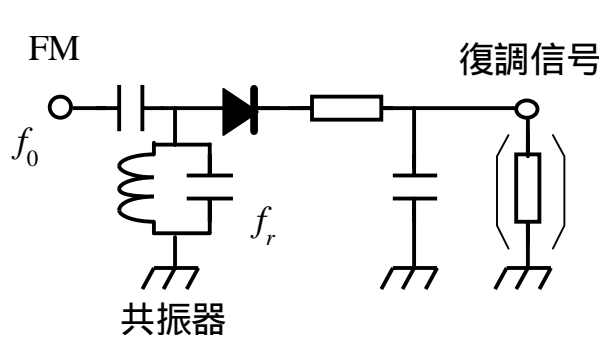
$$C/N = V_f^2 / \sigma^2 = 8 = 9[\text{dB}]$$

V_f : V_c の実効値

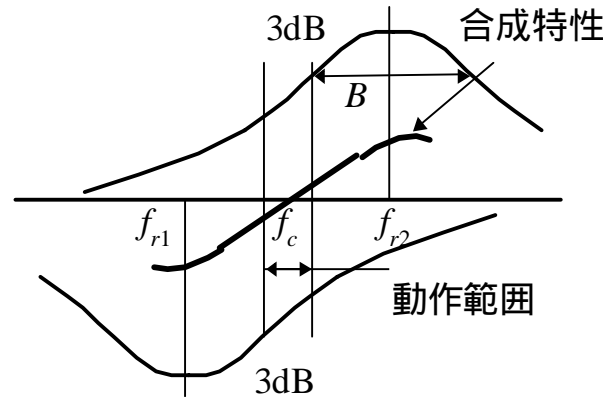
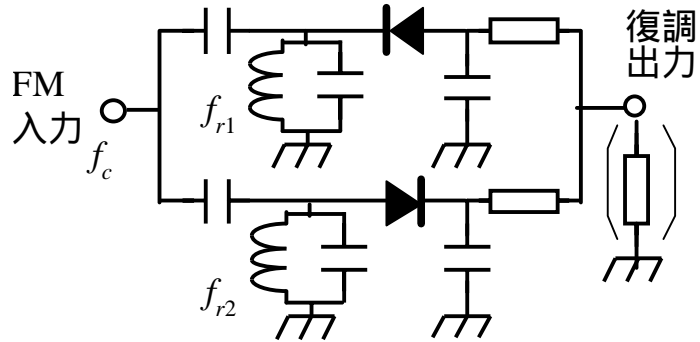
σ : V_n の実効値

FM復調(検波)回路

スロープ検波

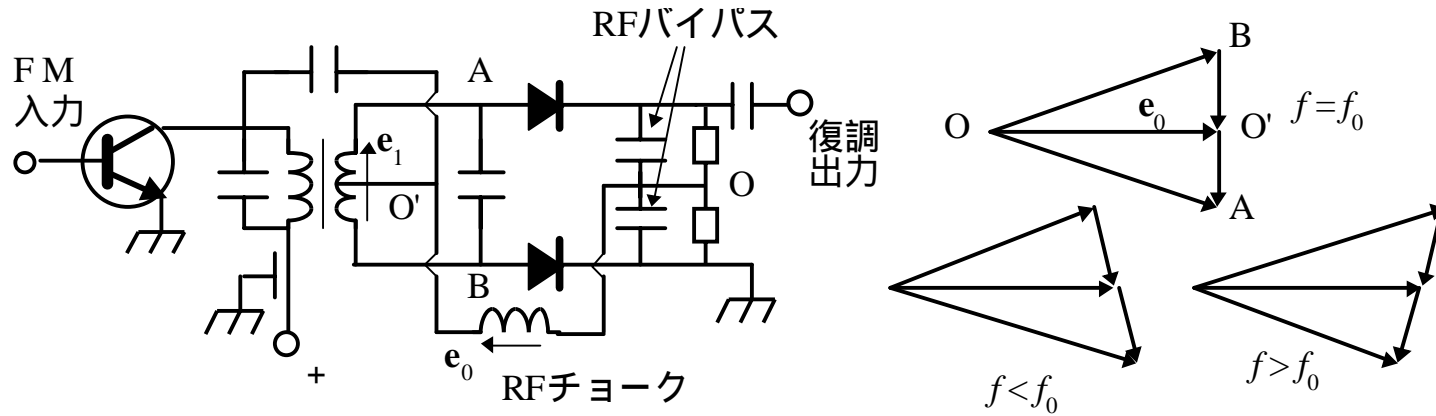


歪み補正形

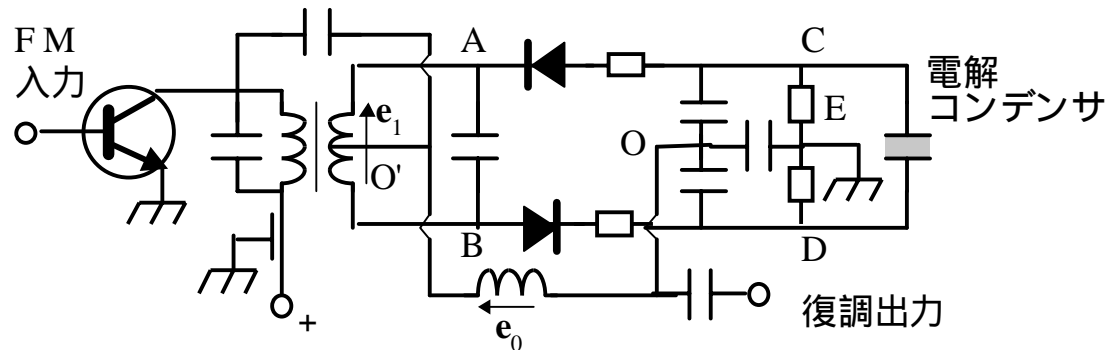


FM復調(検波)回路

フォスターシーリー弁別回路



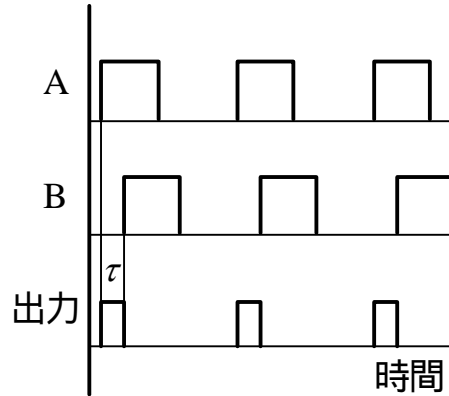
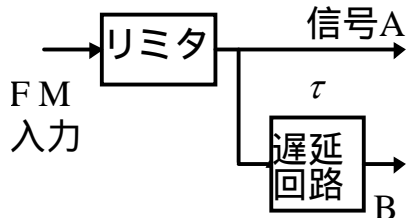
レシオデテクタ



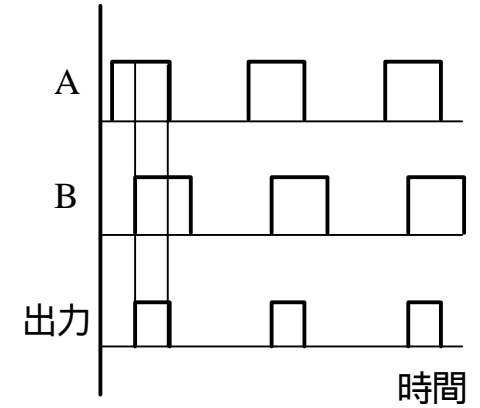
FM復調(検波)回路

デジタル方式

遅延回路方式



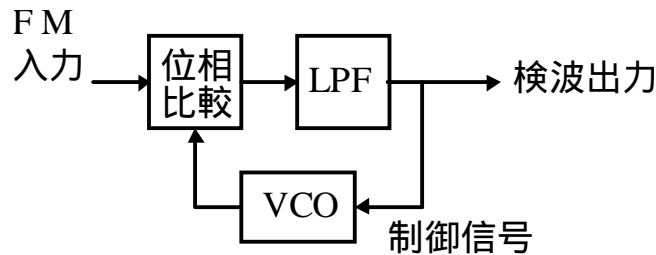
Set - Reset形



ANDゲート形

パルスカウント方式

PLL方式

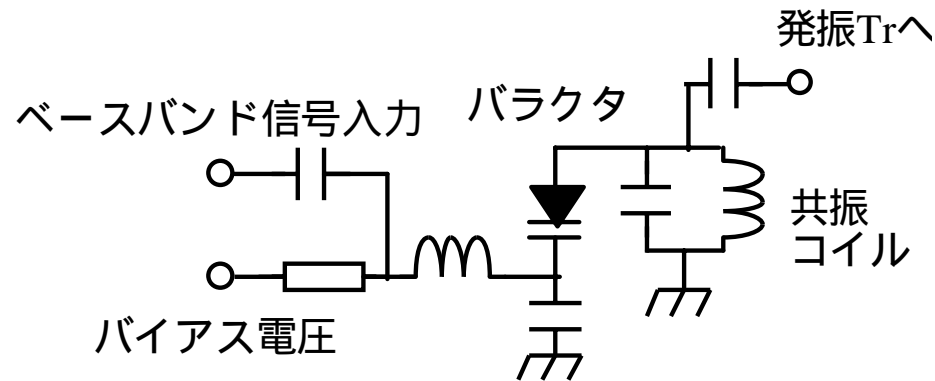


リミッタを用いない

スレシヨルド改善が可能

FM変調回路

リアクタンス変調

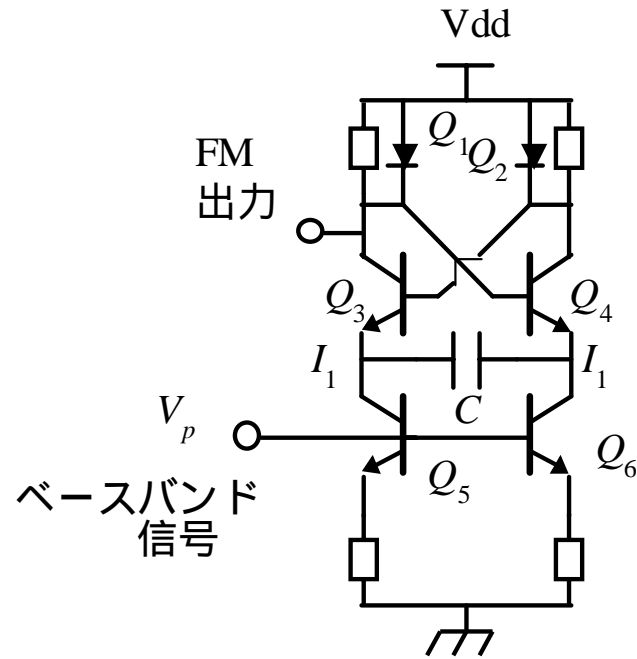


過倍 (変調度を上げる)

$$y = x^n = \cos^n(\omega_c t + \beta \cos \omega_p t) = \frac{\cos(n\omega_c t + n\beta \cos \omega_p t)}{2^{n-1}} + \dots$$

FM変調回路

マルチバイブレータ

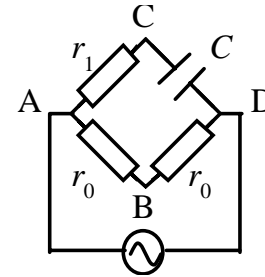
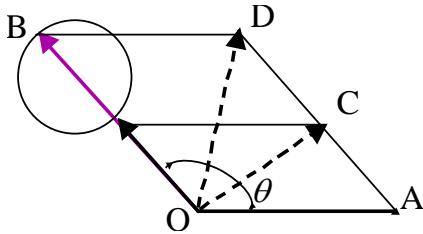
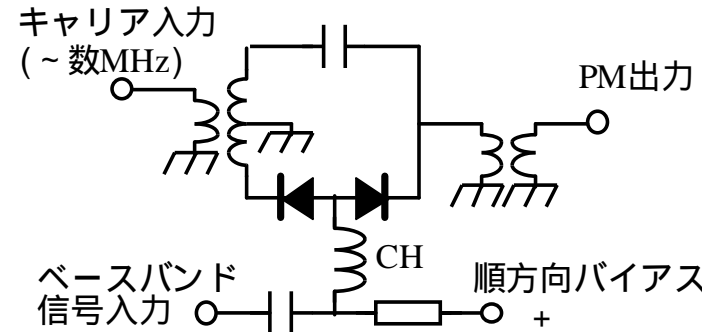
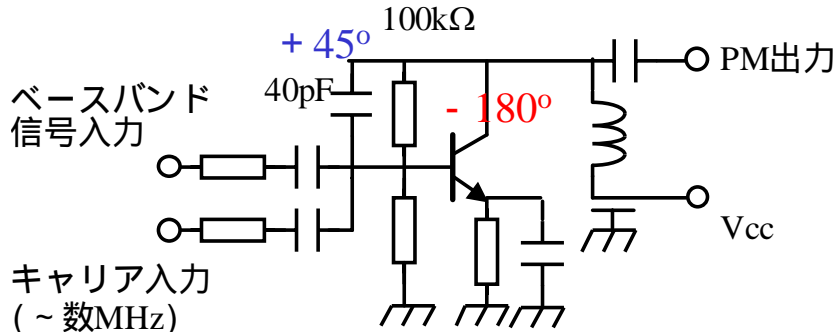


発振周波数

$$f_o = \frac{I_1}{4CV_{BE(on)}}$$

FM変調回路

PM変調



積分回路 PM FM

