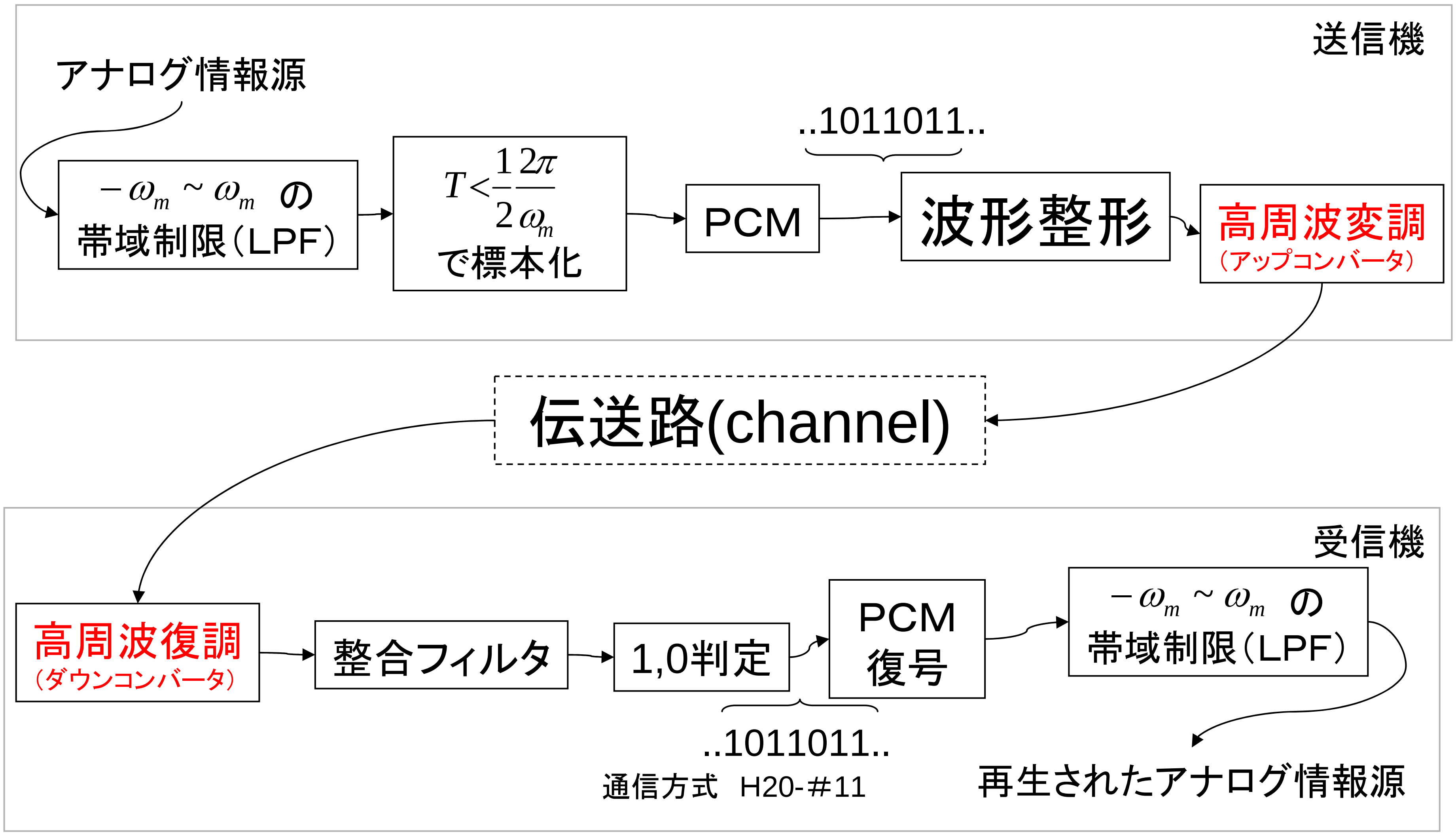
通信方式＃11

H20－12－24

古川　浩

情報伝送系
～アナログ音声信号の伝達例



変(復)調の分類

	ベースバンド変調	高周波変調
アナログ	パルス変調(6.2節～6.5節) Pulse Amplitude Mod. (PAM) Pulse Width Mod. (PWM) Pulse Position Mod. (PPM)	アナログ変調(3, 4, 5章) Amplitude Mod. (AM) Frequency Mod. (FM) Phase Mod. (PM) Single SideBand Mod. (SSB)
デジタル	パルス符号変調(7章) Pulse Code Mod. (PCM) Delta Mod. (⊿M) Delta-Sigma Mod. (⊿-ΣM) Differential PCM (DPCM) Adaptive ⊿M (A⊿M) Adaptive PCM (APCM) Adaptive DPCM (ADPCM)	ディジタル(高周波)変調(8章) Amplitude Shift Keying (ASK) Frequency Shift Keying (FSK) Phase Shift Keying (PSK) Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

角度変調, Angle Modulation

(でもAMとは言わない！)

$$f_c(t) = A_c \cos\theta(t)$$

$$= A_c \cos[\underbrace{\omega_c t}_{\text{搬送波}} - \underbrace{\theta_s(t)}_{\text{被変調波}}]$$

位相変調、Phase Modulation [PM]

$$f_c(t) = A_c \cos\left[\omega_c t - k_{PM}\, f_s(t)\right]$$

つまり、 $\theta_s(t) = k_{PM}\, f_s(t)$

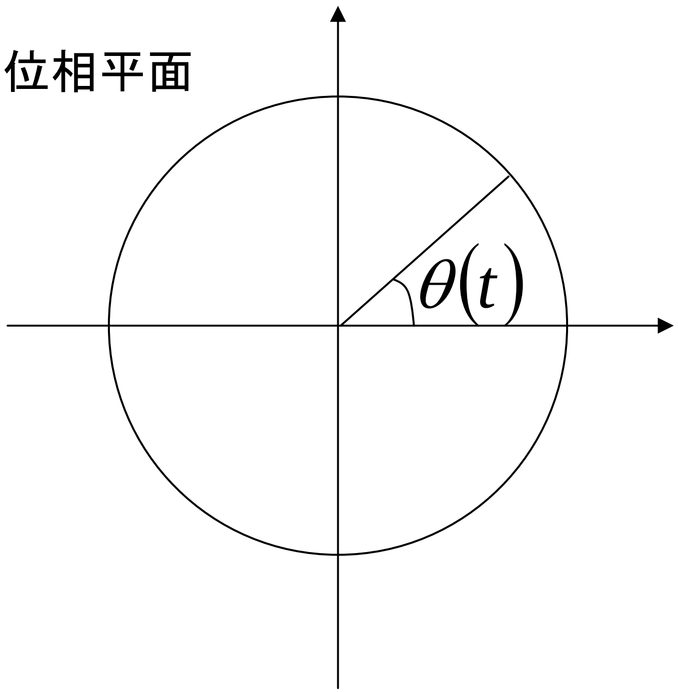
周波数変調、Frequency Modulation [FM]

$$f_c(t) = A_c \cos\left[\omega_c t - k_{FM}\int_{-\infty}^{t} f_s(t)dt\right]$$

つまり、 $$\theta_s(t) = k_{FM}\int_{-\infty}^{t} f_s(t)dt$$

（角）周波数ωとは・・・

位相平面



$\cos\omega t$ 、つまり位相の回転する速さである。

FM変調波の位相 $\theta(t)$ の回転速度は・・・

$$\frac{d}{dt}\theta(t)=\omega_c-\underbrace{k_{FM}\,f_s(t)}=\omega_c-\underbrace{\omega_s(t)}$$

定義

となり、周波数に情報を乗せている。
ゆえに周波数変調と呼ぶ

PMとFMの類似性

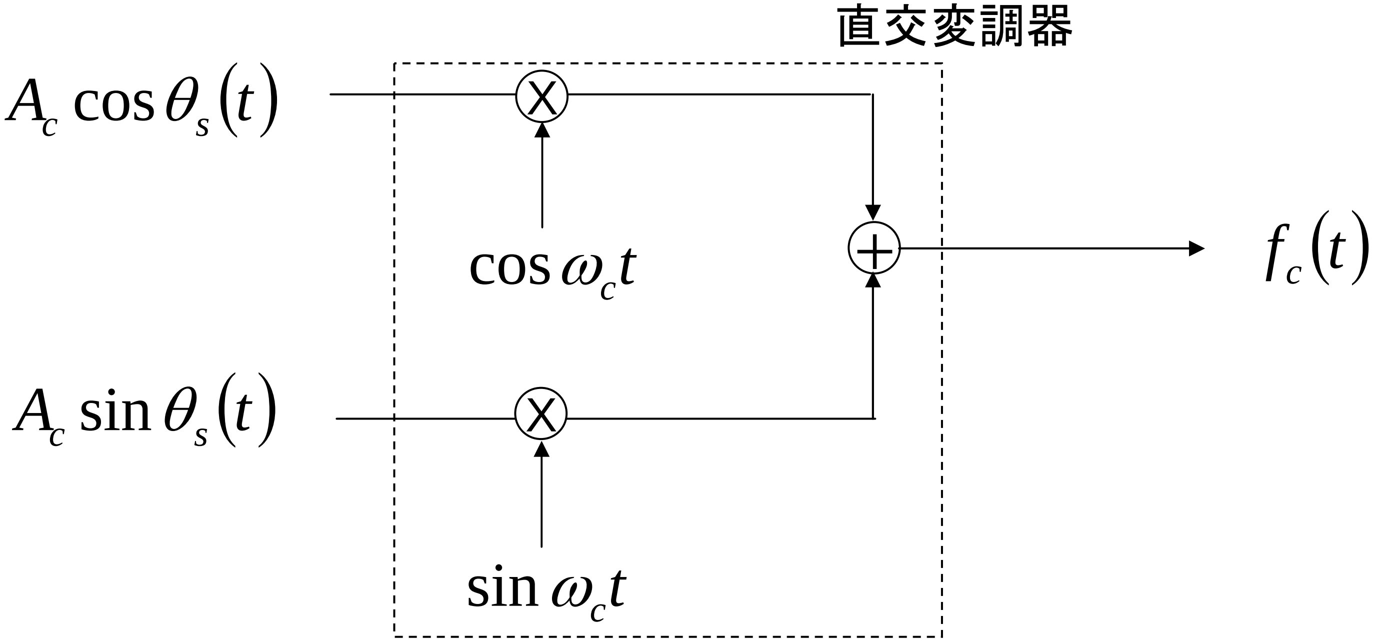
PMは $$\frac{d}{dt}\theta_s(t) = k_{PM}\frac{d}{dt}f_s(t)$$ を被変調波とするFMとみなせる。

FMは $$\int_{-\infty}^{t}\omega_s(t)dt = k_{FM}\int_{-\infty}^{t}f_s(t)dt$$ を被変調波とするPMとみなせる。

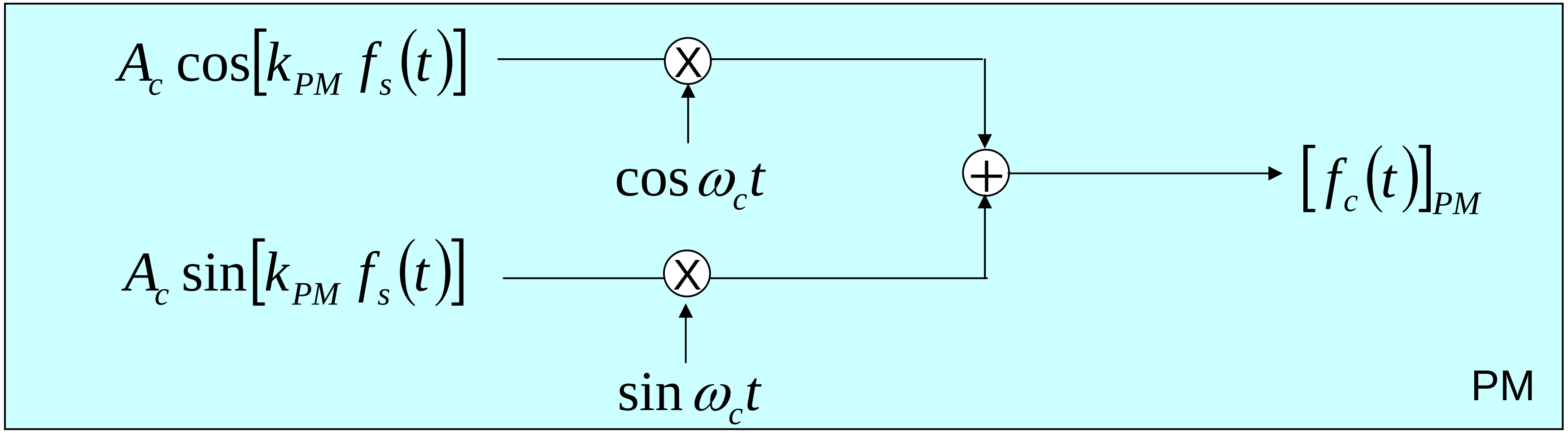
角度変調波の生成法

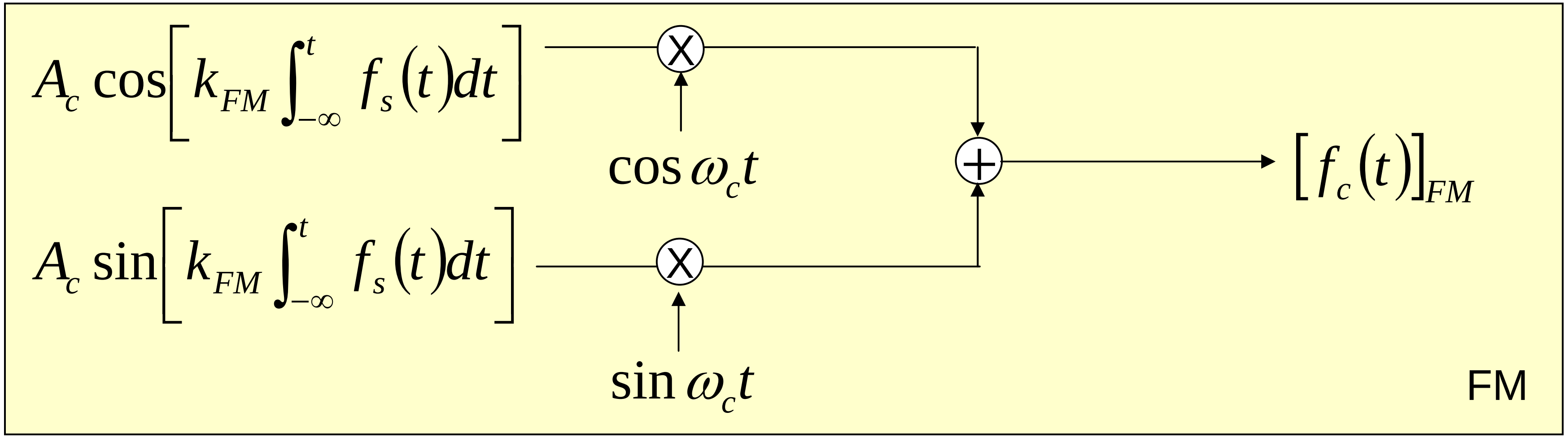
$$f_c(t) = A_c \cos[\omega_c t - \theta_s(t)]$$

$$= A_c \cos\theta_s(t)\cos\omega_c t + A_c \sin\theta_s(t)\sin\omega_c t$$ より

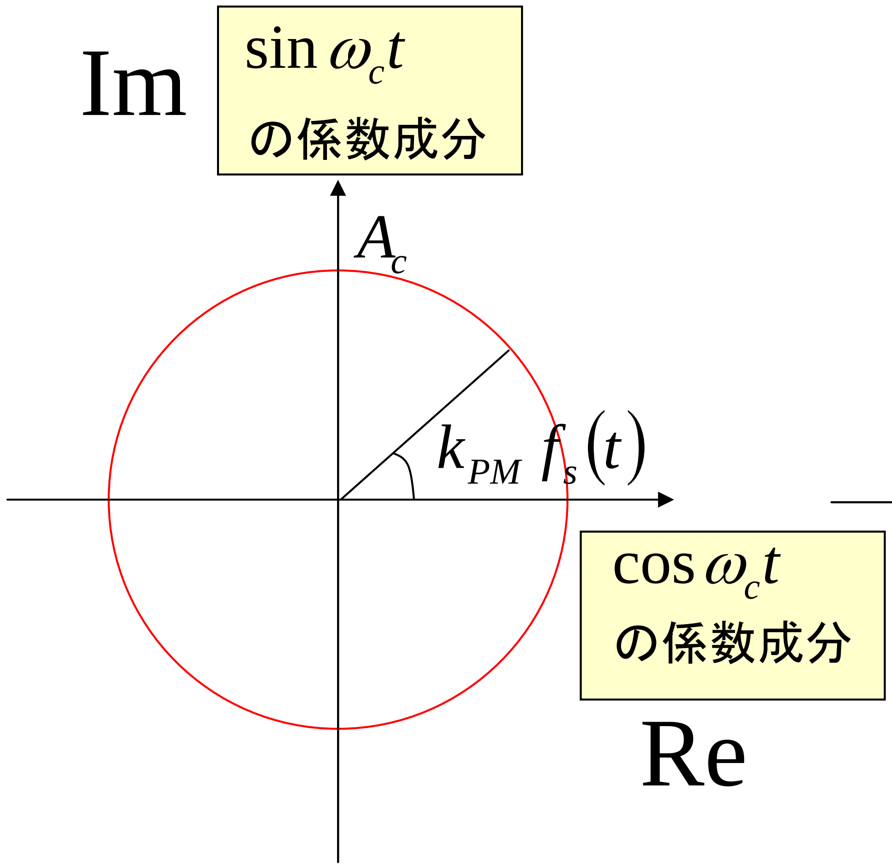


PM波、FM波の生成回路

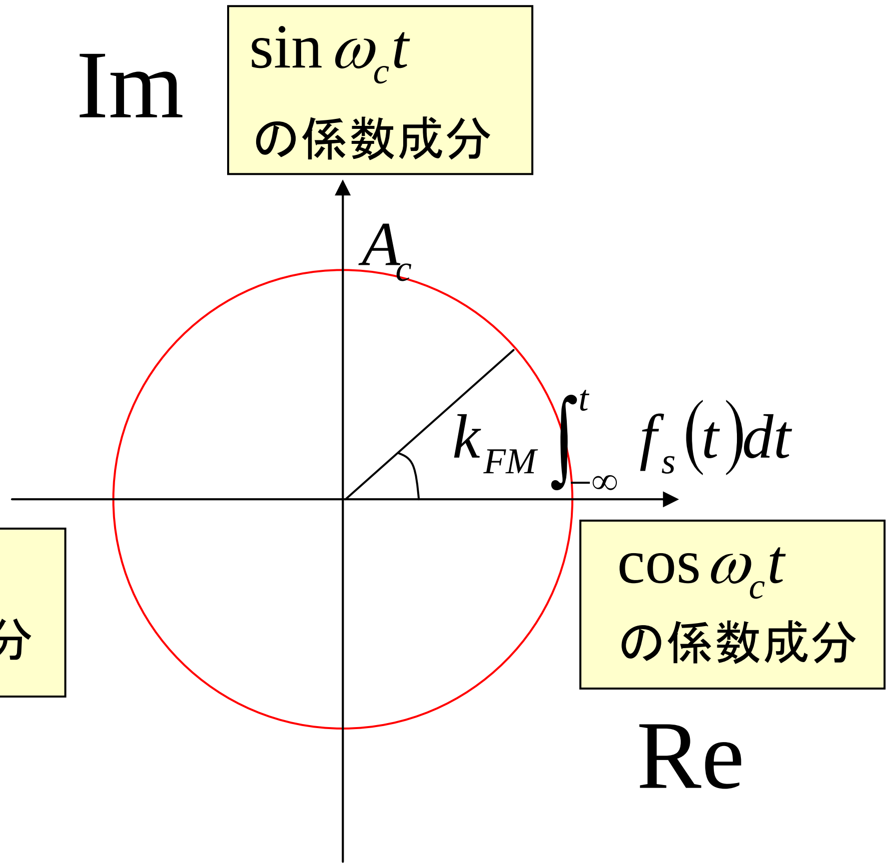




O－IF平面で眺めたPM波とFM波



PM波



FM波

狭帯域角度変調 (Narrowband Angle Modulation)

$$f_c(t) = A_c \cos\theta_s(t)\cos\omega_c t + A_c \sin\theta_s(t)\sin\omega_c t$$

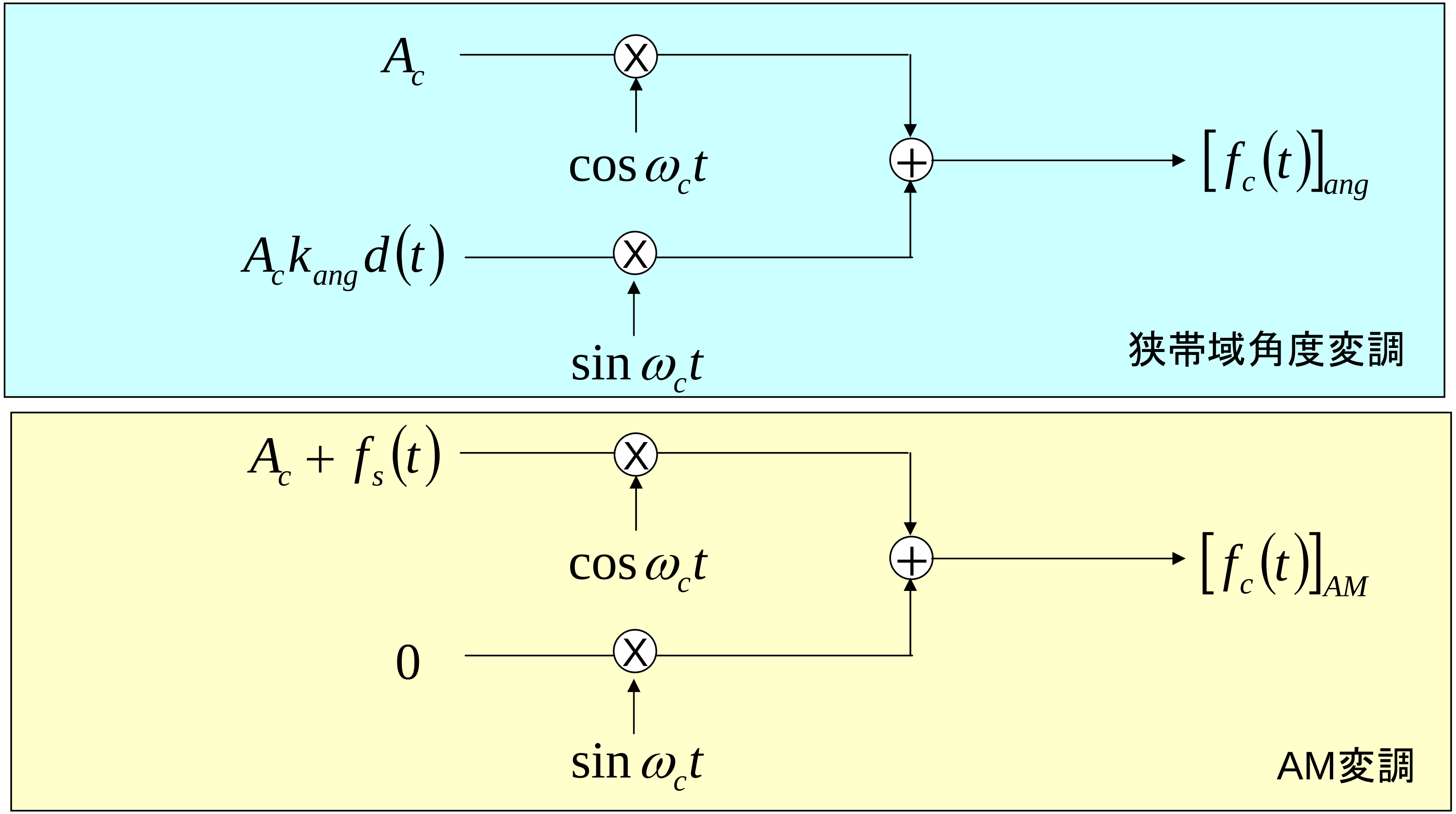
$$= A_c \underbrace{\cos\{k_{ang}d(t)\}}_{\approx 1}\cos\omega_c t + A_c \underbrace{\sin\{k_{ang}d(t)\}}_{\approx k_{ang}d(t)}\sin\omega_c t$$

$k_{ang} << 1$ のとき

≈ 1　　　$\approx k_{ang}d(t)$

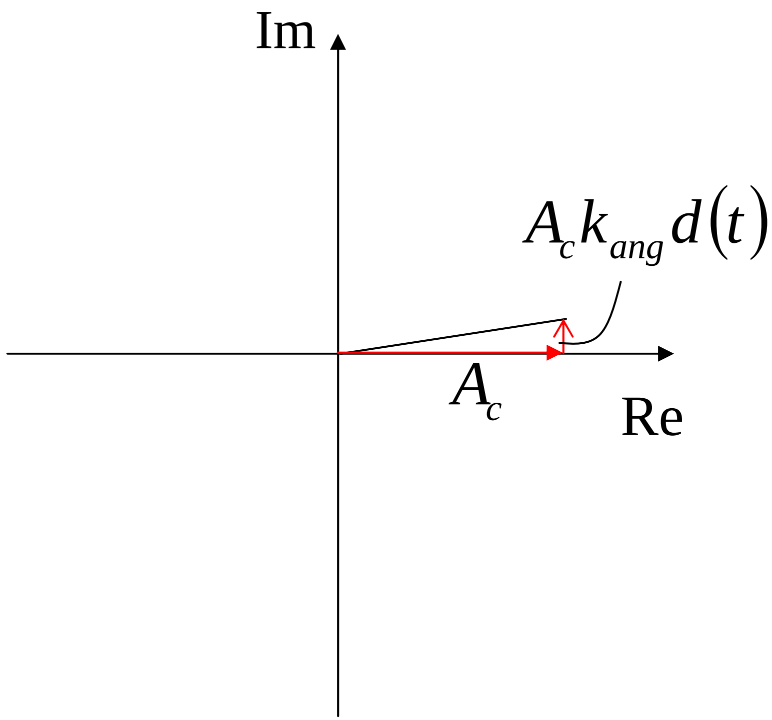
このような角度変調を特に狭帯域
FM(PM)という。

狭帯域角度変調波の発生方法 ～AM波との類似性

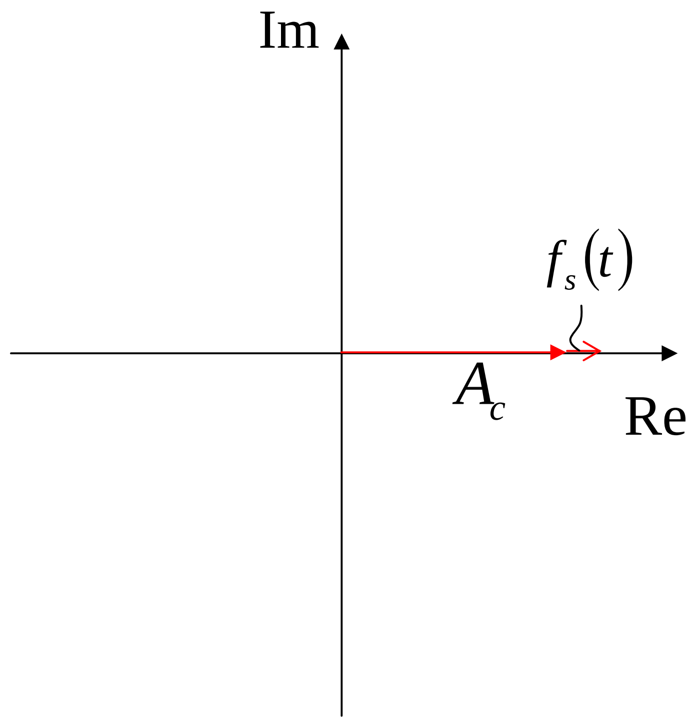


狭帯域角度変調波とAM波の類似性

狭帯域角度変調波



AM波



FM波の変調指数

被変調波として　$f_s(t) = A_m \cos \omega_m t$　を考える

$$[f_c(t)]_{FM} = A_c \cos\left[\omega_c t - k_{FM} \int_{-\infty}^{t} f_s(t) dt\right]$$ より、

$$= A_c \cos\left[\omega_c t - k_{FM} A_m \frac{\sin \omega_m t}{\omega_m}\right]$$

最大周波数偏移：変調指数、被変調波の振幅により変化

$$m_f = \frac{k_{FM} A_m}{\omega_m} = \frac{\Delta\omega}{\omega_m}$$ をFMの変調指数と定義する。

$$[f_c(t)]_{FM} = A_c \cos[\omega_c t - m_f \sin \omega_m t]$$

狭帯域FM

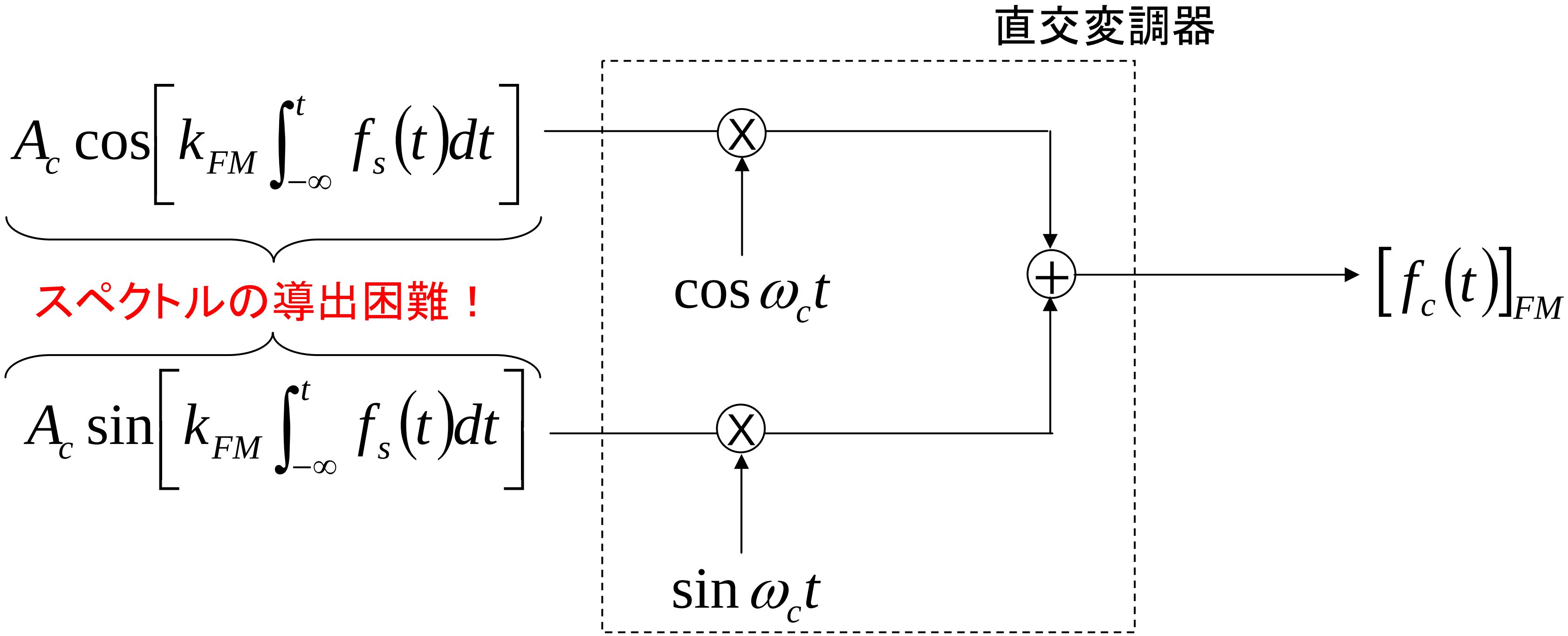
狭帯域FMとは、経験的に、

$$m_f \leq 0.5$$

の場合をさす

FM波のスペクトル

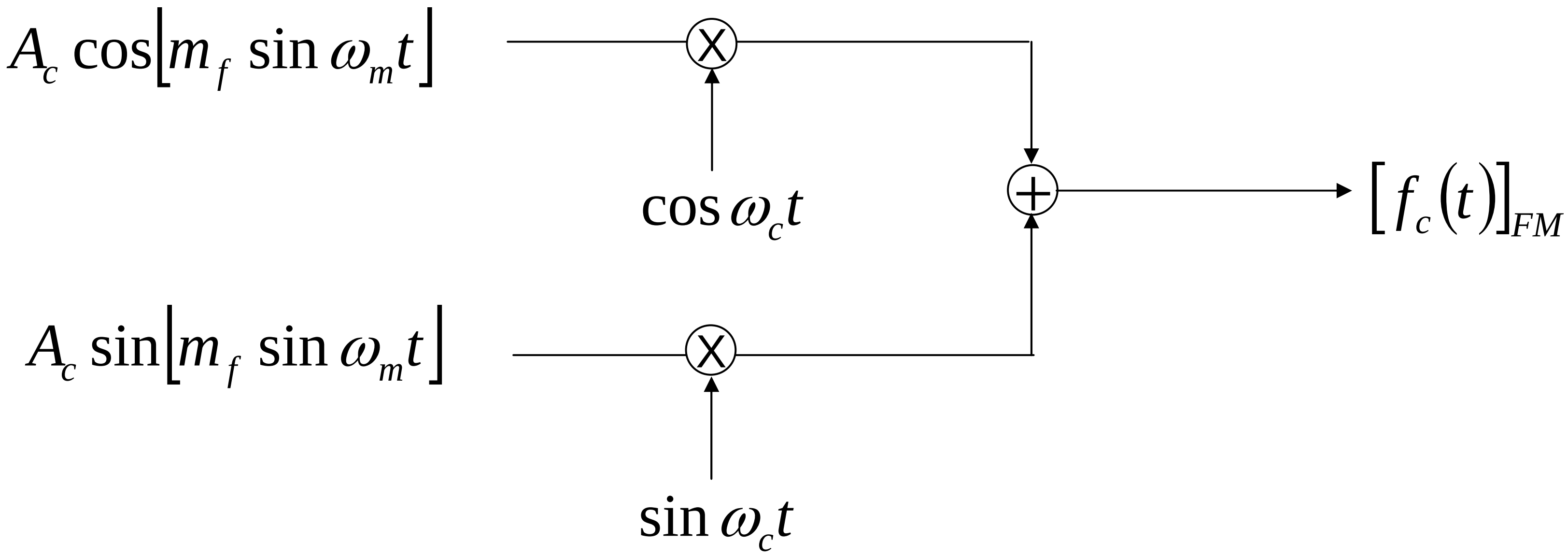
- 導出の考え方
  - FM波生成回路（直交変調器）への2つの入力信号のスペクトルを導き、それらのcos, sin変調後のスペクトルを足し合わせることで導く



FM波のスペクトル導出～1

$f_s(t) = A_m \cos\omega_m t$　の場合を考える。

変調指数　$m_f = \dfrac{k_{FM} A_m}{\omega_m}$　を考慮すると



FM波のスペクトル導出～2

FM変調波の複素ベースバンド表現

$$f_{c,BP}(t) = A_c \cos\left[m_f \sin\omega_m t\right] - jA_c \sin\left[m_f \sin\omega_m t\right]$$

$f_{c,BP}(t) \Leftrightarrow F_{c,BP}(\omega)$ とすると、求めたいFM変調波のスペクトルは、

$$\left[F_c(\omega)\right]_{FM} = F_{c,BP}(\omega - \omega_c) + F^*{}_{c,BP}(-\omega - \omega_c)$$

で与えられる。つまり、

$F_{c,BP}(\omega)$ が求められれば良い。

FM波のスペクトル導出～3

$$f_{c,BP}(t) = A_c e^{-jm_f \sin \omega_m t}$$ で表現できる。これは周期T=2π/ω_mの周期関数

したがって、フーリエ級数で与えられる。

$$f_{c,BP}(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n e^{jn\omega_m t}$$

$$F_n = \frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2} e^{-jm_f \sin \omega_m t} e^{jn\omega_m t} dt$$

$$= \frac{1}{T}\int_{-\pi/\omega_m}^{\pi/\omega_m} e^{j(n\omega_m t - m_f \sin \omega_m t)} dt$$

$$= J_n(m_f)$$

これを第1種ベッセル関数という。教科書の付録1参照

FM波のスペクトル導出～4

結局、

$$f_{c,BP}(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m_f) e^{jn\omega_m t}$$

となり、

両辺をフーリエ変換すると、

$$F_{c,BP}(\omega) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m_f) 2\pi\delta(\omega - n\omega_m)$$

となる。

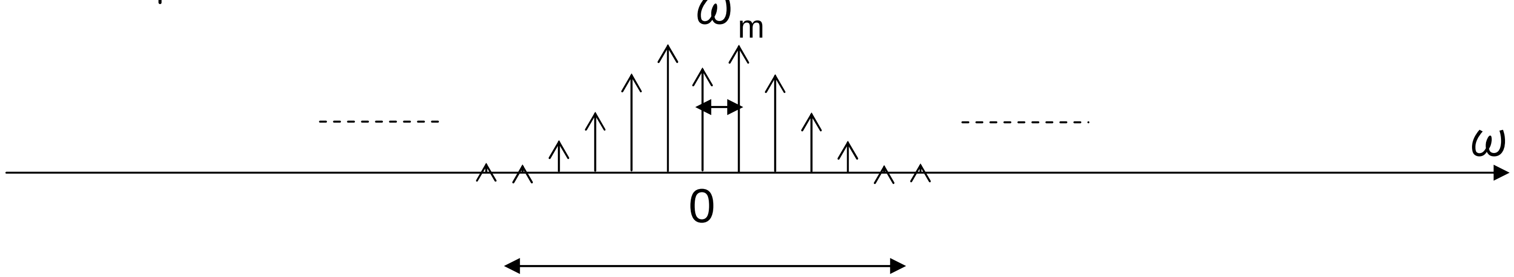
実際のFM波のスペクトルは、

$$[F_c(\omega)]_{FM} = F_{c,BP}(\omega - \omega_c) + F^*{}_{c,BP}(-\omega - \omega_c)$$

より、$\pm\omega_c$を中心とするスペクトルとなる。

FMスペクトルの一例

$$\left|F_{c,BP}(\omega)\right|$$



複素信号なので必ずしも偶関数ではない

$$\left|F_{c}(\omega)\right|$$

FMの帯域幅

定義 $$B = 2\left(m_f + 1\right)\omega_m$$

上記定義に従うと、帯域B内に変調信号の全送信エネルギーの90%以上が含まれる。それを帯域と定めるのである。厳密には帯域は∞である。

$$m_f = \frac{\Delta\omega}{\omega_m}$$ より、 $$B = 2\Delta\omega + 2\omega_m$$

m_f>>1ならば、周波数偏移$\Delta\omega$>>ω_mなので、 $$B \approx 2\Delta\omega$$

変調指数m_fが十分に大きい場合、FM変調波の帯域幅は被変調波の帯域幅によらない。

角度変調波の電力

$$f_c(t) = A_c \cos[\omega_c t - \theta_s(t)]$$ より

$$\overline{f_c{}^2(t)} = \frac{1}{2} A_c{}^2$$

となり、変調信号の振幅にのみ比例する。