

まずは:アナログ通信の信号と変調

- まず音声、映像情報を電気信号に
- 電気信号を通信のためのキャリア変調
- 振幅変調(AM変調)
 - 搬送波(キャリア)の信号強度包絡線を変化
 - DSB(搬送波パワーを省略)パワー節約
 - SSB(両翼サイドバンドを片翼に)周波数節約
 - S/Nはどうなる?
- 位相変調(PM)、周波数変調(FM)←あとで勉強します

アナログ伝送のための変調方式

- 振幅変調(AM)
- 角度(位相・周波数)変調(PM・FM)
 - 搬送波の位相タイミング・中心周波数をずらす
- キャリア周波数 ω_c より変調周波数 ω_m はずっと遅い
- 高速変調には装置の高速化、電波の帯域幅必要

何を変調する?:

振幅: AM

$$f_{AM}(t) = A_c(1 + ms(t))\cos\omega_c t$$

位相: PM

$$f_{PM}(t) = A_c\left\{\cos(\omega_c)t + \theta_c + ms(t)\right\}$$

周波数: FM

$$f_{FM}(t) = A_c\left\{\cos(\omega_c)t + \theta_c + m_f \frac{ds(t)}{dt}\right\} = A_c\left\{\cos\omega_c t + \frac{m}{p}\sin pt + \theta_c\right\}$$

振幅変調 (AM)

信号波形(アナログ)×搬送波がアナログ変調→そのときのスペクトルは?
三角関数 積和の公式

例えば信号S(t)が角周波数pのcos波の場合
キャリア振幅 変調度 情報信号 キャリア成分 情報信号成分

$$f_{AM} = A_c(1 + m \cos pt)\cos\omega_c t = A_c \cos\omega_c t + \frac{mA_c}{2}\{\cos(\omega_c + p)t + \cos(\omega_c - p)t\}$$

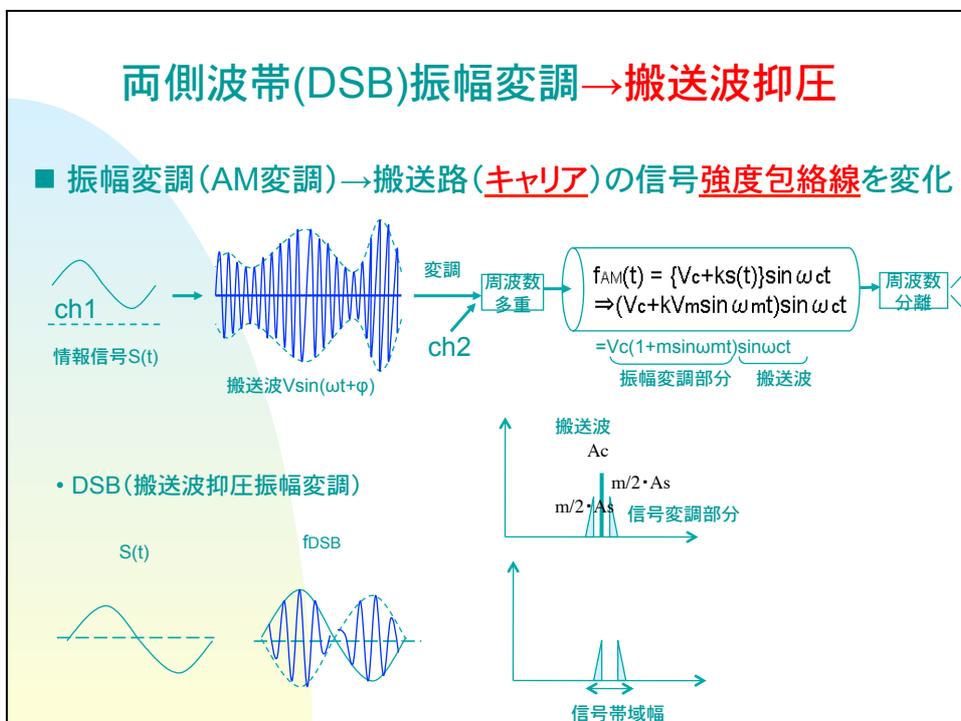
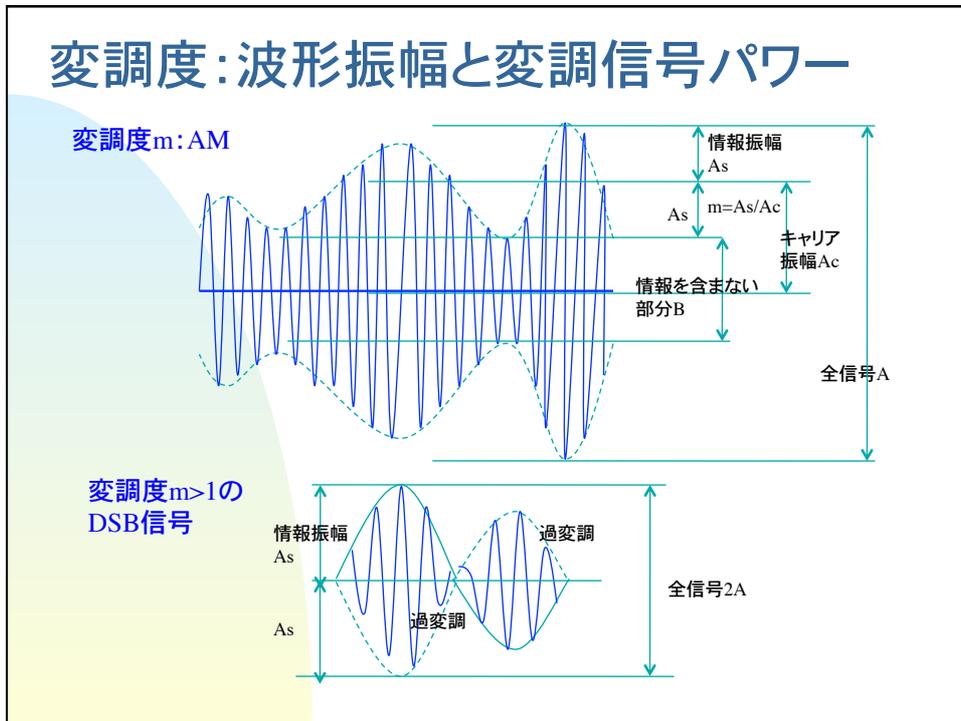
信号

搬送波

AM波

スペクトル

- **キャリア周波数により利用周波数がシフトできる**
- **高速変調は伝送帯域幅が最高周波数の2倍以上必要**



単側波帯(SSB)振幅変調

②キャリア伝送用に変調

③変調パワーと周波数の節約

DSB→SSB

注意！ 再生法：
 受信した後、**キャリア信号を再び乗算する。**
 片側側帯波信号からコピーして
 逆側側帯波を再生し、
もとの形に戻してから 信号処理をおこなう。

AM変調送信回路

$s(t) = A_s \cos p t$

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

Input
 $V_{in} = A_s \cos p t + A_c \cos \omega_c t$

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

$s(t) = A_s \cos p t$

非線形素子
トランジスタ

帯域通過
フィルタ

Nonlinear
 $V_{out} = c_0 + c_1 v_{in}(t) + c_2 v_{in}^2(t)$

倍角の公式
 $\sin^2 \alpha = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\alpha)$

どうやって実現？
信号を足し算して非線形なトランジスタに入れる
→非線形成分で足し算のかけ算成分が出る！
フィルタでそこだけ抜き出し！

$V_{out} =$

$$c_0 + c_1 A_c \cos \omega_m t + \frac{c_2}{2} (A_c^2 + A_s^2) - \frac{c_2}{2} (A_c^2 \cos 2\omega_c t + A_s^2 \cos 2\omega_m t)$$

$$+ c_1 \left(1 + \frac{2c_2 A_s}{c_1} \sin \omega_m t \right) \sin \omega_c t$$

AM変調送信回路

教科書:
P101,102

Input

$V_{in} = A_s \cos p t$ $A_c \cos c t$

搬送波
 $f_c(t) = A_c \cos c t$

信号波
 $s(t) = A_s \cos p t$

Nonlinear

$V_{out} = c_0 + c_1 in(t) + c_2 in^2(t)$

どうやって実現?

信号を足し算して非線形なトランジスタに入れる
→非線形成分で足し算のかけ算成分が出る!
帯域フィルタでそこだけ抜き出す!

*倍角の公式

$$\sin^2 \theta = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\theta)$$

V_{out}

$$c_0 + c_1 A_c \cos m t + \frac{c_2}{2} (A_c^2 + A_s^2) + \frac{c_2}{2} (A_c^2 \cos 2c t + A_s^2 \cos 2m t)$$

$$c_1 \left(1 + \frac{2c_2 A_s}{c_1} \sin m t \right) \sin c t$$

AM受信復調回路

包絡線検波

$s(t) = A_s \cos p t$

どうやって実現?
±の交流信号を整流して+信号に
受信した信号の高周波成分カット
低域フィルタで山の頭変化
だけ抜き出し!

入力AM信号

$$\left(1 + \frac{2c_2 A_s}{c_1} \sin \omega_m t \right) \sin \omega_c t$$

検波回路

低域通過フィルタ

AM復調回路:同期検波器

教科書:
P104-106

同期信号(搬送波と同じ周波数)
 V_{out}

搬送波発生器
 $\sin \omega_c t$

低域通過フィルタ

f_{out}

$s(t) = A \cos pt$

入力信号
 $c_1 \left(1 + \frac{2c_2 A_s}{c_1} \sin \omega_m t \right) \sin \omega_c t$

どうやって実現?
入力信号に搬送波と同じ周波数を掛けあわせ、受信した信号の高周波成分カット
低域フィルタで信号成分を抜き出す

$$V_{out} = c_1 \sin^2 \omega_c t + \frac{A_s C_2}{2} \{ 2 \sin \omega_m t - \sin(\omega_m + 2\omega_c)t - \sin(\omega_m - 2\omega_c)t \}$$

雑音について

伝送路

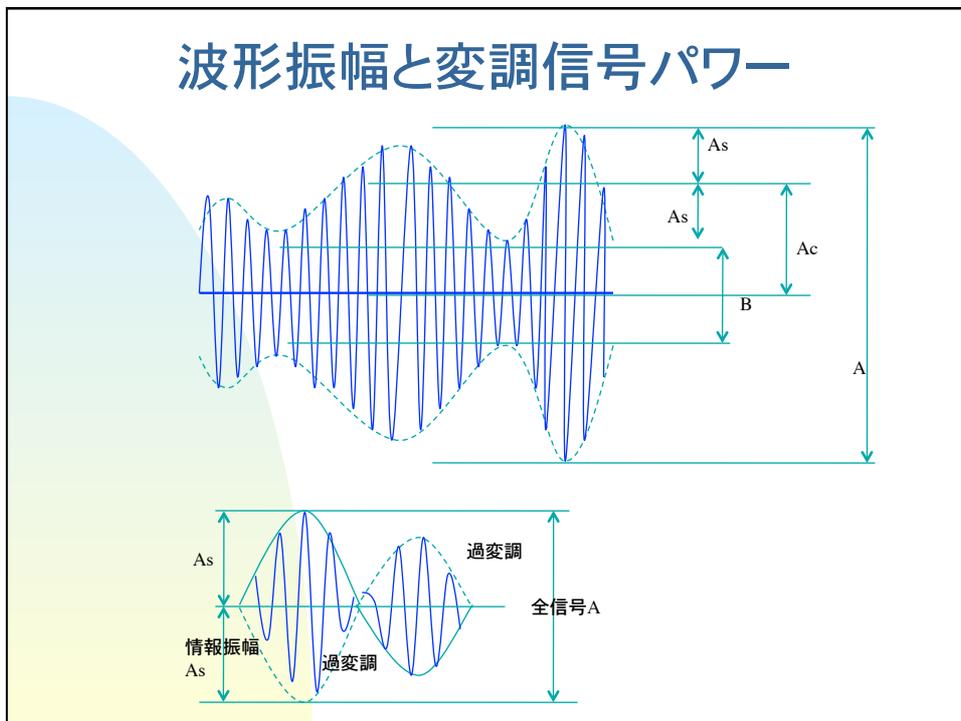
雑音

歪みが発生して、元信号とは変わってしまう

伝送路

白色雑音
・不規則に変化する周波数。
電力スペクトル密度をとるとどの周波数においても一定の大きさを持つ。

- 信号が伝送路を通過する際には雑音の影響を受けてしまう。
- 雑音の影響を受けた信号を正しく復調できなければ意味がない
- 信号の品質(正確さ)を評価することが通信において重要になる。
→SN比



パワーと帯域の節約

- どれくらい節約?

$$f_{AM} = A_c(1 + m \cos pt) \cos \omega_c t = A_c \cos \omega_c t + \frac{mA_c}{2} \{ \cos(\omega_c + p)t + \cos(\omega_c - p)t \}$$
- 搬送波パワー 信号側帯波パワー

$$P_c = \left(\frac{A_c}{\sqrt{2}}\right)^2 = \frac{A_c^2}{2} \qquad P_s = \left(\frac{m A_c}{2 \sqrt{2}}\right)^2 = \frac{m^2 A_c^2}{4} = \frac{m^2}{4} P_c$$
- トータルパワー

$$P = P_c + 2P_s = \frac{A_c^2}{2} \left(1 + \frac{m^2}{2}\right)$$
- m=0.5なら8/9はキャリア信号パワー m=1でも2/3

AM受信信号:雑音耐性

■ 振幅変調 (AM変調) 強度包絡線検波、白色雑音の場合

$$f_{AM} = A_c(1 + m \cos pt) \cos \omega_c t + noise(t) \quad \text{包絡線} \quad v_{out} \approx A_c(1 + m \cos pt) + noise(t)$$

信号電力

$$\frac{A_c^2}{2} \left(1 + \frac{m^2}{2}\right)$$

雑音電力

$$N_{in} = \frac{2\omega_m N}{2\pi}$$

S/N比

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{in,AM} = \frac{(2+m^2)A_c^2}{4N_{in}}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{in,AM} = \frac{m^2 A_c^2}{2N_{in}}$$

包絡線S/N

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out,AM, Hourakusem} = \frac{m^2 A_c^2}{4N_{in}}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out,AM} = \frac{m^2}{(2+m^2)} \left(\frac{S}{N}\right)_{in,AM}$$

同期検波S/N

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out,DSB} = \frac{A_c^2}{2N_{in}}$$

同期検波S/N

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out,SSB} = \frac{A_c^2}{4N_{in}}$$

■ (DSB)同期検波検波の場合

$$\frac{A_c}{2} \{ \cos(\omega_c + p)t + \cos(\omega_c - p)t \} + noise(t)$$

信号電力

$$P = 2P_s = \frac{A_c^2}{4}$$

雑音電力

$$N_{in} = \frac{2\omega_m N}{2\pi}$$

S/N比

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{in,DSB} = \frac{A_c^2}{4N_{in}}$$

■ (SSB)同期検波検波の場合→同様になる

雑音電力 $N_{in} = \frac{1\omega_m N}{2\pi}$

パワー半分S/N比半分→同じパワーで等価

各伝送方特徴

AM

DSB

SSB

雑音影響

包絡線検波
受信時の SN比劣化 $\left(\frac{S}{N}\right)_{out,AM} = \frac{m^2}{(2+m^2)} \left(\frac{S}{N}\right)_{in,AM}$ で決定

同期検波
DSB: SN比2倍
SSB: SN比同じ

信号電力
AM > DSB > SSB

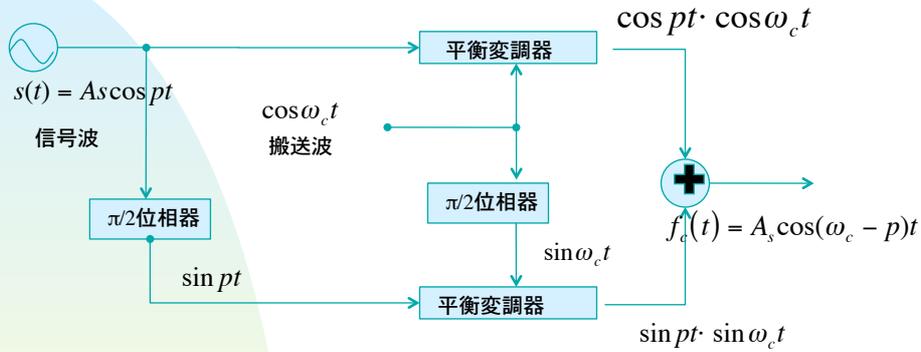
SN比
AM < DSB > SSB

周波数帯域幅
AM = DSB > SSB

SN比を良くする	電力節約	電波帯域節約	1chあたりの 多重ch増大
DSB SSB 同期検波器	DSB SSB	DSB SSB	SSB

FDM

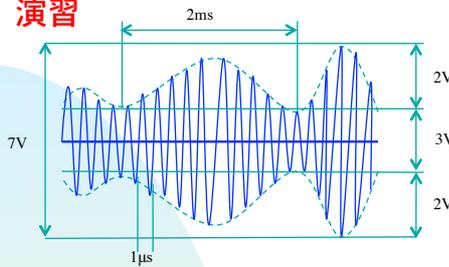
SSB変調送信回路の構成



どうやって実現?
 信号の直交位相の裏コピー作成
 搬送波の裏コピーも作成
 合波して $A_s \cos(\omega_c + p)t$
 成分キャンセル!

どのくらいの帯域? パワー?
 半分以下の帯域、 $m=1$ の
 AM変調の1/3のパワー、
 でも送信受信面倒

演習



$R=1[\Omega]$ のとき

- Ac (キャリア振幅)
- m (変調度)
- fc (キャリア周波数)
- fm (信号周波数)
- B (占有帯域幅)
- W (使用帯域)

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{AM in}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{AM out} \quad (\text{包絡線検波})$$

$$\frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{AM out}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{AM in}}$$

を求めて、

を求めよ。

解答

Ac=2.5[V]

As=1[V]

$m = \frac{A_s - 1}{A_c \cdot 2.5} = 0.4$

$f_c = \frac{1}{1 \cdot 10^{-6}} = 1[\text{MHz}]$

$f_m = \frac{1}{2 \cdot 10^{-3}} = 0.5[\text{kHz}] = 500[\text{Hz}]$

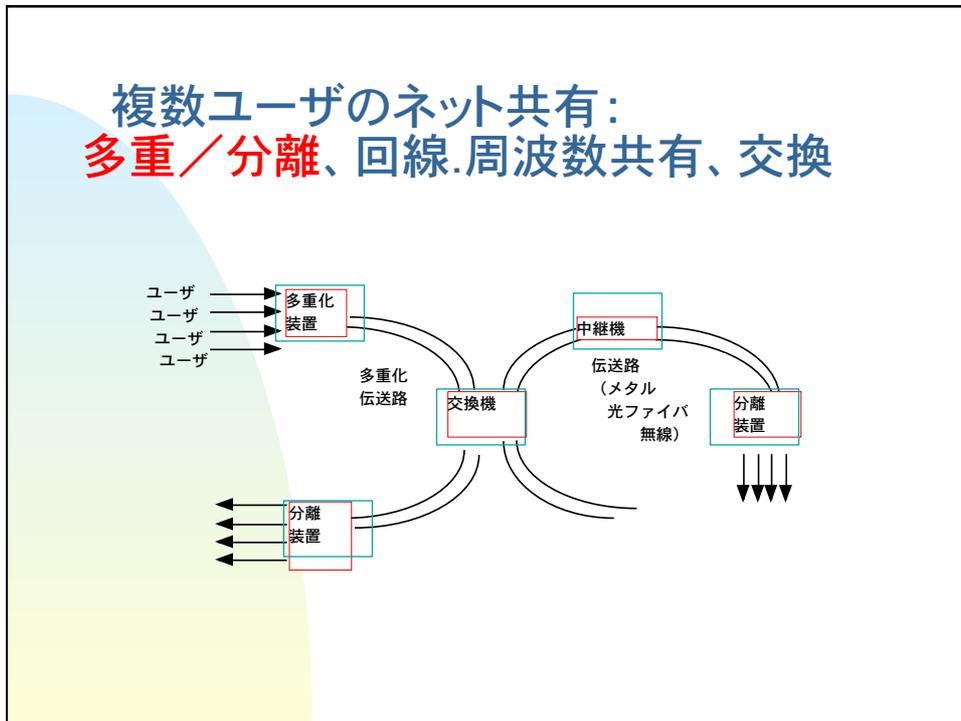
B:1[kHz]

W:999.5~1000.5[kHz]

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{AM in} = \frac{(2+m^2)A_c^2}{4N_{im}} = \frac{(2+0.4^2)2.5^2}{4N_{im}} = \frac{3.375}{N_{im}}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{AM out} \quad (\text{包絡線検波}) = \frac{m^2 A_c^2}{4N_{im}} = \frac{0.4^2 * 2.5^2}{4N_{im}} = \frac{0.25}{N_{im}}$$

$$\frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{AM out}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{AM in}} = \frac{0.25}{3.375} = 0.07407\dots$$



152p
帯域の交通整理: 周波数をシフトさせ詰め込む

①情報信号スペクトル ②キャリア伝送用に変調AM ③変調パワーと周波数の節約

④異なる周波数のチャネル多重 ⑤群変調方式多重

- FDM(周波数分割多重): 詰め込む密度 AM,DSBなら最高周波数の2倍以上の帯域必要 SSBならベースバンドの帯域でOK

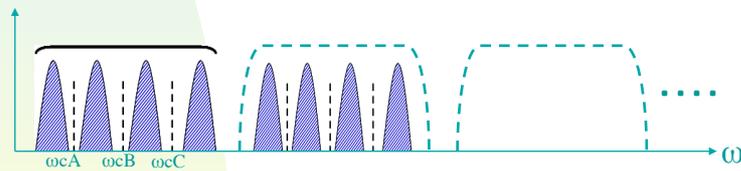
FDMハイアラキー:周波数分割多重通信

(教科書:p59~p60)

アナログ信号(ベースバンド)

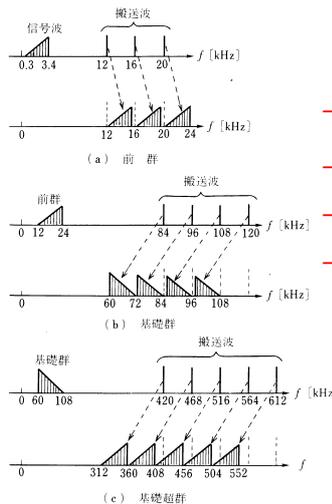
⇒異なる搬送波周波数に載せて変調 多重 FDM:周波数分割多重

1. ユーザチャンネルごとにキャリア周波数をずらす:→前群(かたまり)形成
2. 複数チャンネルを基本群としてまとめてキャリア周波数をずらす
→まとめてずらせた方が回路の種類も数も簡単



「群変調方式」の多段の群による多重の組み方:「FDMハイアラキー」

基幹系FDMハイアラキー



一人4kHz

一群12kHz

一群48kHz

一群240kHz
+32kHz

群の階層	チャンネル数	群の構成	周波数帯域	帯域幅
前群	3	3×音声	12~24kHz	12kHz
基礎群 G	12	4×前群	60~108kHz	48kHz
基礎超群 SG	60	5×基礎群	312~552kHz	240kHz
基礎主群 MG	300	5×基礎超群	812~2044kHz	1.232 MHz
基礎超主 SMG群	900	3×基礎主群	8.52~12.4MHz	3.872 MHz
基礎巨群 JG	3600	4×基礎超主群	42.6~59.7MHz	17.07 MHz

無線アクセス系：周波数はすでに輻輳ぎみ

●すいている5GHz帯を活用する

