

SCPC衛星通信の電力増幅器

増幅器が **非線形** 領域で動作すると、相互変調積が生じて信号と異なる周波数が発生する

この為単一波に比べて複数波の時は、帯域内の出力電力が **減少** する

増幅器の動作点である **入力バックオフ** とは、
 $\text{単一波入力電力}P_1[\text{W}] \div \text{複数波入力電力}P_2[\text{W}]$ をdBで表し、**正** の値をとる

出力バックオフとは
 $\text{単一波出力電力}P_3[\text{W}] \div \text{複数波出力電力}P_4[\text{W}]$ をdBで表したもの

相互変調積を軽減するには入力バックオフを **大きく** する

SCPC衛星通信

- 1つのチャンネルに **12** の搬送波、**周波数分割** 多元接続方式
- 要求割当方式は、固定割当方式に比べて、通信容量が **小さい**
- ボイスアクティベーションは、**音声信号がある** 期間だけ送信
単一搬送波当たりの電力の利用効率 を改善
- 固定割当・・・トラフィック変動が小さいネットワーク
- 要求割当・・・通信容量が小さい、多数の地球局が共同使用

航空管制用レーダー

・**MTI** は **一次レーダー**

・**DME** (距離測定装置)は **二次レーダー** で **UHF**

・ドプラ周波数→パルス繰り返し周期の **n倍** (nは正の整数)

・ASR **50~70** 海里

・ARSR **200** 海里

・**ドプラ効果** で反射パルスとの **差** で反射パルスを除去

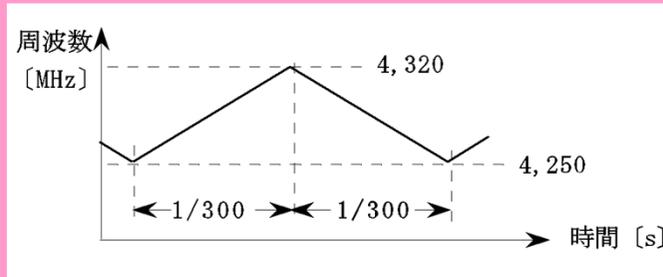
●FDMA

- ・割り当てられた **周波数** を使う。**周波数** により相手を識別する
- ・FM波PM波の同時中継 **できる**
- ・入力バックオフを **大きく** して非線形増幅を軽減
- ・チャンネル間衝突防止に **ガードバンド** を設ける

●TDMA

- ・アナログ波の中継が **できない**
- ・バーストの送出回数を変える事が **できる**
- ・各地球局の **送信タイミング** を制御する
- ・移動局から基地局へ要求→空いているチャンネルを **基地局から移動局** に指定
- ・上りの制御チャンネルの空き情報を **移動局** が確認
- ・ハンドオーバーとは新しい通信チャンネルの決定、
切替指示を **基地局から移動局** に行う

航空機の対地高度計



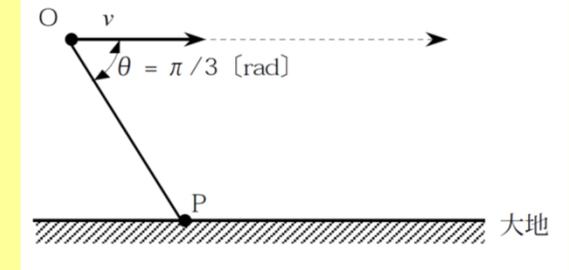
航空機の対地高度計

点Oからの送信周波数 4275 [MHz]

点Pから反射によるドプラ周波数偏移 2850 [Hz]

対地速度 ν は?

$$\nu = \frac{Cf_d}{2f \cos \theta} \quad [\text{m/s}]$$



$$\cos \pi/3 = \cos 60^\circ = 0.5$$

$$\nu = 300 \times 10^6 \times 2850 / 2 \times 4275 \times 10^6 \times 0.5$$

$$= 200 \quad [\text{m/s}]$$

$$= 720 \quad [\text{km/h}]$$

スペクトル拡散(SS)通信方式の一つである直接確認(DS)方式について

広帯域の受信波に混入した狭帯域の妨害波は、
逆拡散処理によりさらに **広帯域** 化されるので、受信波に妨害を与えない。

衛星通信回線の雑音温度

- 等化雑音温度 T_e 。
周囲温度 T_o 。

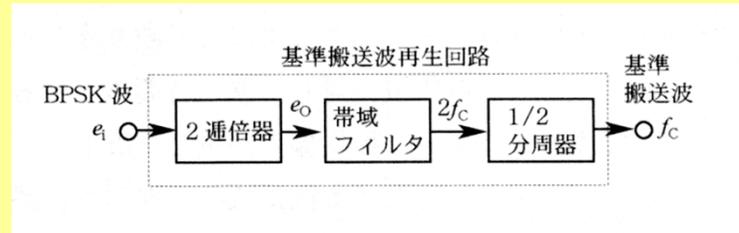
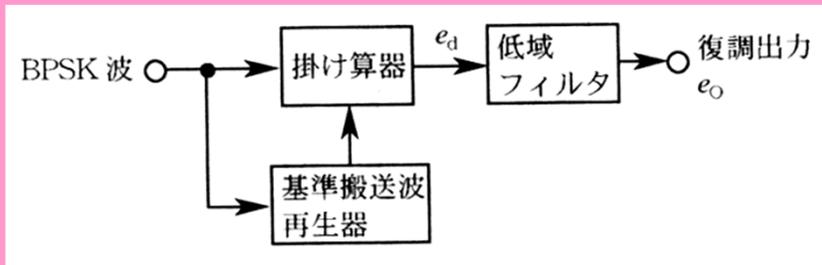
$$F = 1 + (T_e/T_o)$$

- システム雑音温度 T_s 。
周囲温度 T_o 。

$$F_{op} = T_s/T_o$$

BPSK復調器

- ・入力BPSK波が変化しても **2週倍** した出力の位相は同相なのを利用する
- ・掛け算器出力の高周波成分の角周波数は **2ω** [rad/s]
- ・低域フィルタ出力は **$(AB/2) \times \cos \phi$** [V]



$2f_c$ の成分以外に **直流** 成分も含まれる

QPSK変調器の構成

並列形である

入力搬送波 e_c を $E_c \cos \omega \tau$ [V]

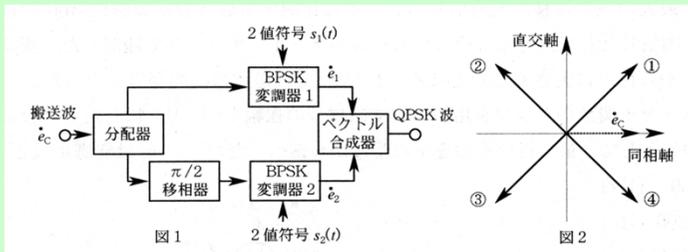
$\pi/2$ 移相器は入力搬送波を $\pi/2$ [rad]遅延させる

$e_1 = E_c \cos(\omega t + \pi s_1(t))$ [V]で表され、

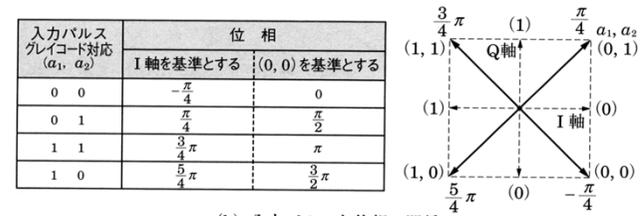
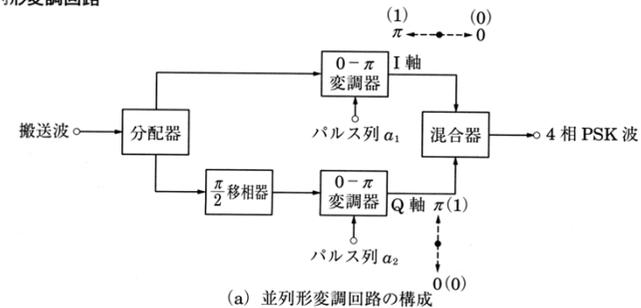
$e_2 = E_c \cos(\omega t - \pi/2 + \pi s_2(t))$ [V] ($\pi/2$ 遅れる為)

s_1 が0、 s_2 が0の時は**④**

s_1 が0、 s_2 が1の時は**①**



(2) 並列形変調回路

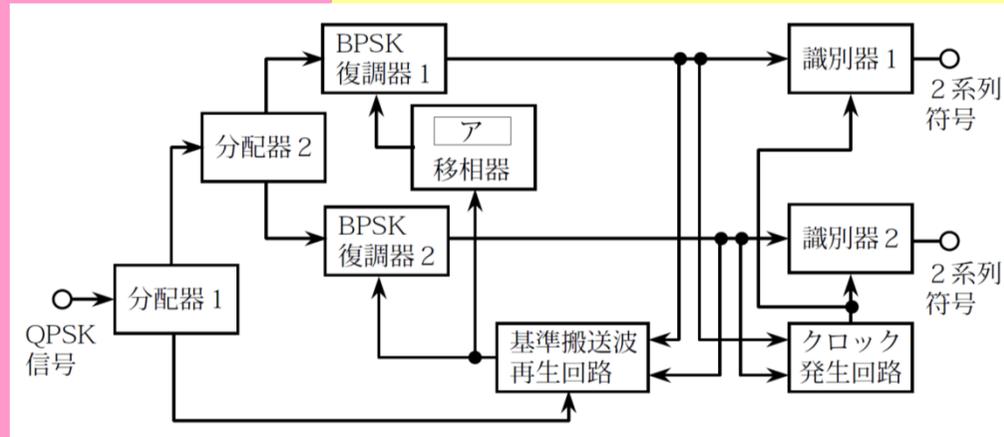


(b) 入力パルスと位相の関係

図 3-16 並列形変調回路

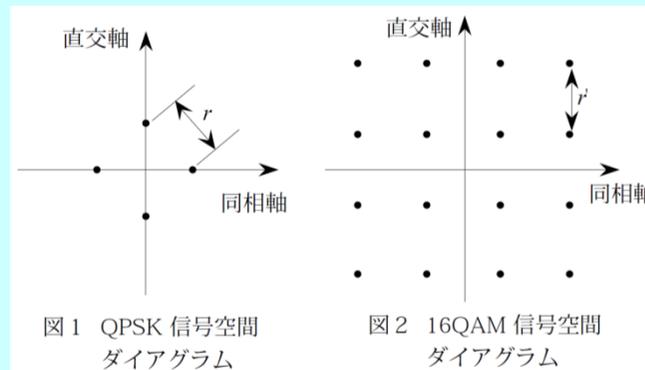
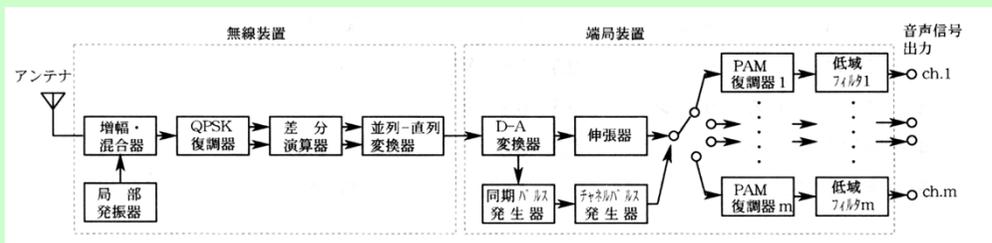
QPSK復調器

- 移送器は $\pi/2$
- 2つの搬送波を **掛け算** する
両者の位相差に対応した **振幅** を出力
- 基準搬送波再生回路は **位相変調** する
- 識別器は **振幅** を判定する



QPSK多重受信装置

- ・2つの復調用信号は位相が常に $\pi/2$ 異なる
- ・伸張器の伸張率は信号の振幅が大きいほど **大きい**
- ・**量子化波形** の信号を出力する



● QPSKの最大振幅は $r/\sqrt{2}$

● QPSK = BPSK × 2 [W]
● 16QAM = QPSK × 9 [W]

● 16QAMの最大振幅は $3r/\sqrt{2}$

● 16QAMはQPSKの **9倍** の送信電力が必要

PCM回線

- ・ジッタはパルス波形の **位相** が **平均値** を中心に揺らぐ
- ・ランダムジッタ・・・n段中継した時の総電力は、1段当たりの \sqrt{n} 倍
 - ・熱雑音が原因
 - ・伝送品質への影響は小さい
- ・パターンジッタ・・・n段中継した時の **低周波** の総電力は、1段当たりの n 倍
 - ・符号間干渉、タイミング回路の同調ずれが原因
 - ・伝送品質への影響が大きい

PCM回線

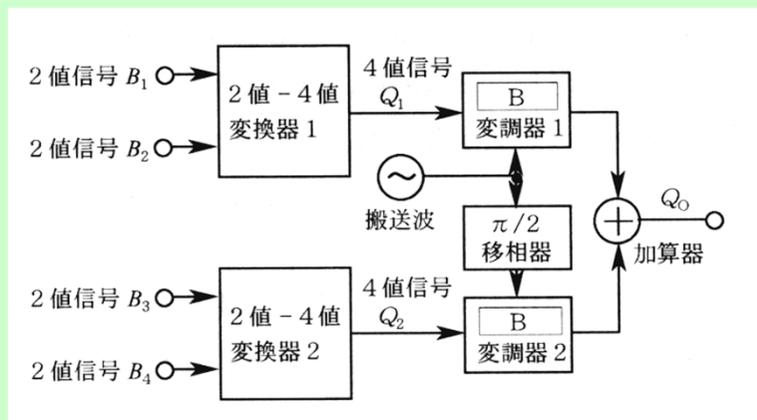
標本化周波数 f_0 4000[Hz]
 不要成分の周波数 2200[Hz]
 低域フィルタ周波数 2000[Hz]

の時の折り返し周波数は?

4000±2200[Hz]、8000±2200[Hz]、・・・が存在する
 4000-2200=1800[Hz]だけが低域フィルタを通過して折り返し雑音となる

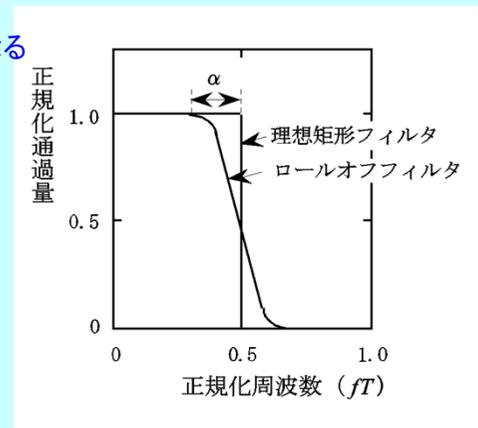
16QAM変調器

- ・4値信号 Q_1 、 Q_2 は **振幅** が4通りに変化する
- ・加算器の出力 Q_0 は2つの **振幅** 変調波を **加算** したもの
- ・ B_1 、 B_2 が変化する B_3 、 B_4 が変化しない時、出力 Q_0 は **振幅と位相が変化** する



デジタル変調ロールオフフィルタ

- 必要最小限の帯域 $1/(2T)$
- シンボル間隔 T の整数倍の時刻で **零** になる
- 符号間干渉は α が **小さい** ほど **多くなる**



PCM通信方式

- 量子化ビット数を1ビット増やすと **S/N** が **6dB** 改善

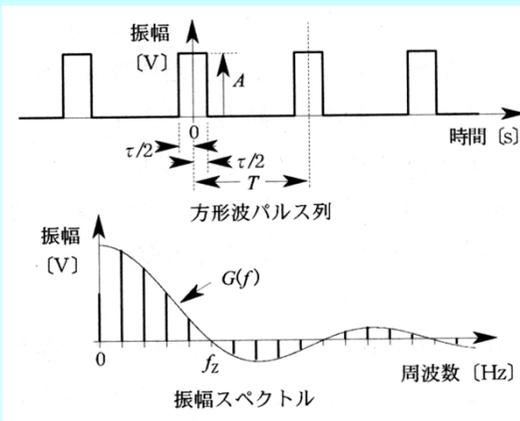
- 標本化周波数 $2f_0$ [Hz]
周波数 $1.2f_0$ [Hz]
遮断周波数 f_0 [Hz]
のLPFの時の折り返し雑音は?

$$2f_0 - 1.2f_0 = 0.8f_0 \text{ [Hz]}$$

- アパチャ効果で衝撃係数が **大きい** ほど **減少**

- S/Nは量子化ステップ **2倍** で **6dB大きく** なる

- 標本化周波数を **4倍** で量子化雑音電力 **1/4**、S/Nは **6dB** 改善



- 基本周波数
 $f_0 = 1/T$
- 最初に零になる f_z を表す式
 $f_z = 1/\tau$
- f_z が $5f_0$ の時
 $f_z = 5f_0 = 1/\tau$
 $5(1/T) = 1/\tau$
 $5/T = 1/\tau$
 $T = 5\tau$
- 方形波パルス列の直流成分
 $A\tau/T$
- Tが長いほどスペクトル間隔は **狭くなる**
- G(f)が零になる周波数は τ が大きいほど **低くなる**

$$G(f) = \frac{2A\tau}{T} \times \frac{\sin(\pi f \tau)}{\pi f \tau} \text{ [V]}$$

アナログテレビの水平同期パルスの周波数帯幅

高域で周波数特性が6[dB/oct]減衰
立ち上がり時間、立ち下がり時間は最大0.004H[s]
走査線数525本
フレーム数毎秒30枚

1.38[MHz]

搬送波電力 10 [kW]・・・ P_c
一方の正弦波の変調度 40 [%]・・・ m
もう一方の正弦波での変調電力 10.45 [kW]・・・ P_m

2つの正弦波で同時に変調したときの電力は?

$$\text{変調度 } m = \sqrt{\left(\frac{P_m}{P_c} - 1\right) \times 2}$$

一方
 $0.4^2 = (P_m/10 - 1) \times 2$
 $0.16 = 2(P_m - 10)/10$
 $1.6 = 2P_m - 20$
 $P_m = 10.8 \text{ [kW]}$
(答えと関係ない)

もう一方
 $m^2 = (10.45/10 - 1) \times 2$
 $= 2(0.45)/10$
 $= 0.09$
 $m = 0.3$
変調度30%

2つ合わせた変調度
 $m^2 = 0.4^2 + 0.3^2$
 $= 0.16 + 0.09$
 $= 0.25$
 $m = 0.5$

$0.5^2 = (P_m/10 - 1) \times 2$
 $0.25 = 2(P_m - 10)/10$
 $0.25 \times 10 = 2P_m - 20$
 $P_m = (2.5 + 20)/2$
 $= 11.25 \text{ [kW]}$

3次の相互変調積について

受信機の入力に6[dB]のATTを挿入すると、相互変調積は約 1/8 になる

全入力波の振幅が1/2になるので、
3次の相互変調積の大きさは、約 $(1/2)^3 = 1/8$ になる

電圧の場合

$$\text{変調度 } m = \frac{V_m(\text{正弦波})}{V_c(\text{搬送波})}$$

電流の場合

$$\text{変調度 } m = \sqrt{\left(\frac{I_m^2}{I_c^2} - 1\right) \times 2}$$

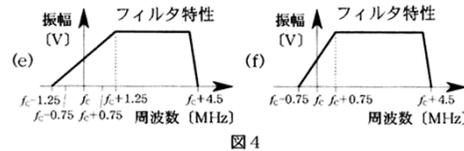
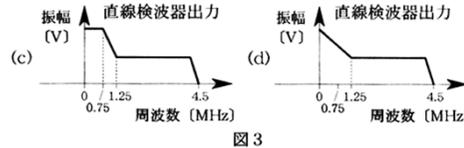
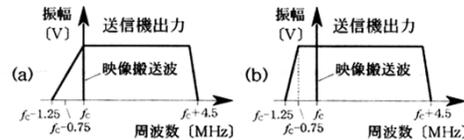
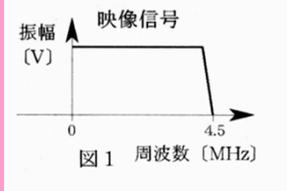
アナログテレビ残留側波帯(VSB)伝送方式

図1 入力信号

送信用VSB用帯域フィルタを通したら (b)

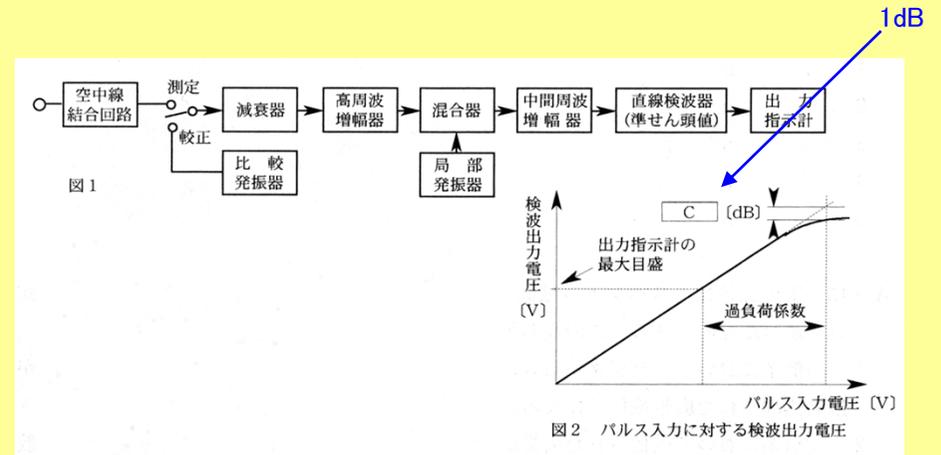
受信し、そのまま直線検波器を通したら (c)

受信し、(f) の特性のフィルタを通し、直線検波器に通したら図1を得られる



雑音電界強度測定器について

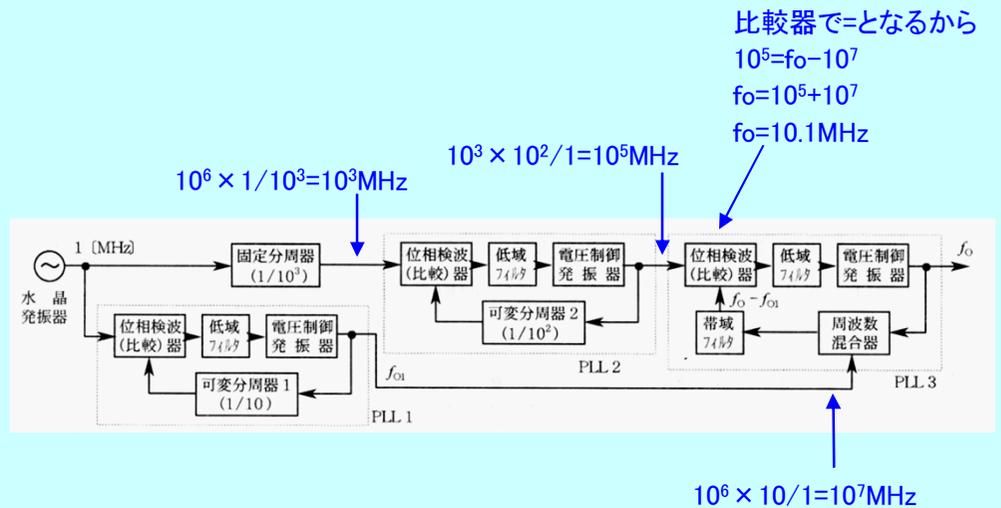
準尖頭値は規定の **充電および放電時定数** とを持つ直線検波器で測定



カラーテレビの赤 E_R [V]、緑 E_G [V]、青 E_B [V]

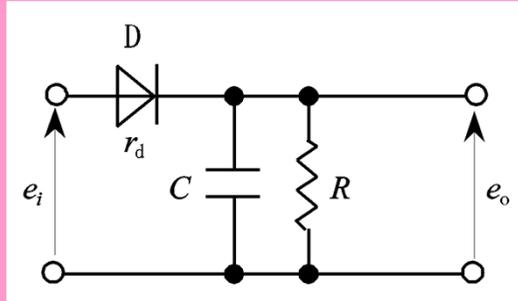
・輝度信号 $E_V = 0.30E_R + 0.59E_G + 0.11E_B$ [V]

・スペクトル感度が **人間の目と同じ** 特性になるように。



A3E受信機復調部

- $R \gg r_d$
- $CR \gg 1/\omega_c$
- $CR \ll 1/\omega_m$



● $e_o = E_d(1 + m \cos pt)$

● 振幅 $E = 1$ [V]

● 変調度 $m = 0.4$

● 検波効率 $\eta = 0.7$

● 復調電力 e_o の実行値 $= \frac{\eta m E}{\sqrt{2}}$ [V]

0.198 [V]

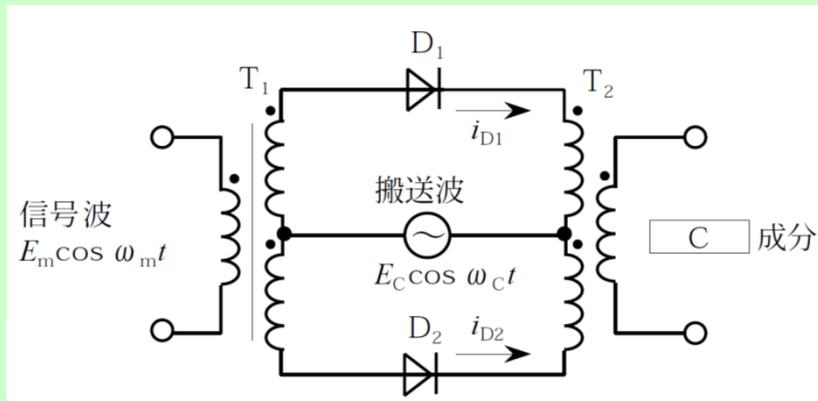
中波の精密同一周波放送

- 2つの局は **同一** の番組を放送する
- 周波数差が零の時、受信困難になる事が **ある**
- 受信電界強度の変動は **AGC回路** で緩和する

- 搬送波は D_1, D_2 に **同位相**

● $i_{D1} - i_{D2} = 2a_1 E_m \cos \omega_m t + 4a_2 E_c E_m \cos \omega_c t \cos \omega_m t$

- 出力は **両側波帯**

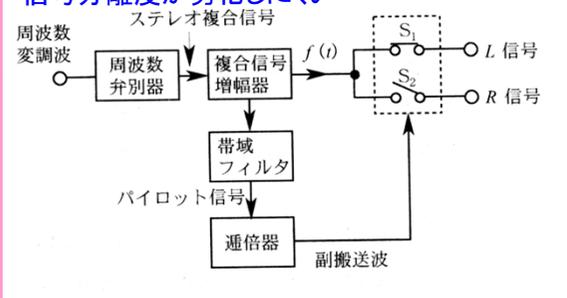


スイッチング方式ステレオ復調器

主チャンネル信号がL+R
副チャンネル信号が(L-R)sin ωt の時、
 $f(t)=L(1+\sin\omega t)+R(1-\sin\omega t)$

sin $\omega t=1$ の時、2L
sin $\omega t=-1$ の時、2R となる

この方式はマトリクス方式に比べ信号分離度が劣化しにくい

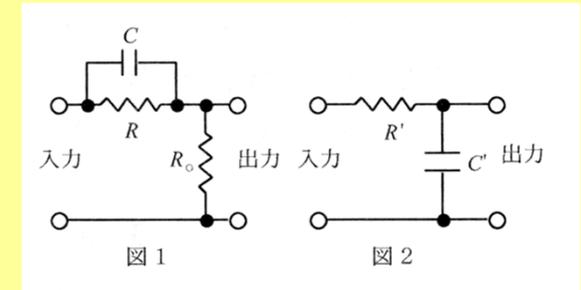


FMエンファシス

- ・送信機プリエン時定数 τ [S]と受信機ディエン時定数 τ' [S]は等しい
- ・75[μ s]と50[μ s]がある

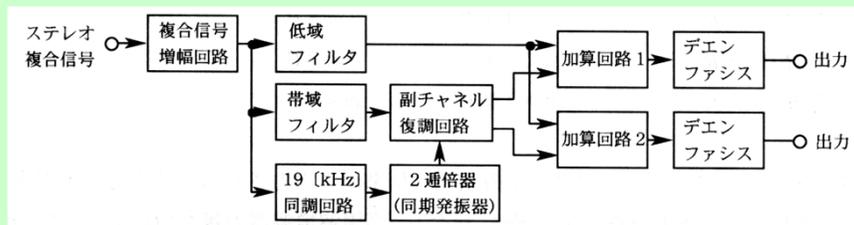
・図1がプリエン
 $[F_p(P)]^2 \cong 1+(P\tau)^2$

・図2がディエン
 $[F_D(P)]^2 \cong 1/[1+(P\tau')^2]$



マトリクス方式ステレオ復調器

- ・低域フィルタ出力はL+R
- ・帯域フィルタ出力は両側波帯(DSB)
- ・帯域フィルタ出力周波数は23~53kHz
- ・副チャンネル復調回路の2つの出力は極性が異なる



最大周波数偏移 45[kHz]
変調信号周波数 15[kHz]

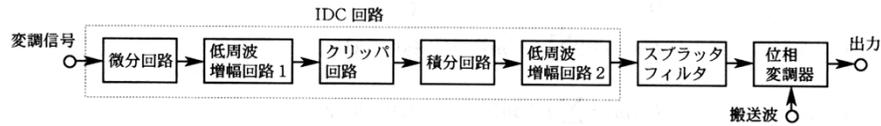
のときの占有周波数帯域幅は?

45/15=3 だからm=3
 $J_n^2(3)$ のn4が上下側帯波を含む99%周波数帯域幅なので
15[kHz] $\times 4 \times 2=120$ [kHz]

$n \backslash J_n^2(m)$	$J_n^2(1)$	$J_n^2(2)$	$J_n^2(3)$	$J_n^2(4)$
0	0.5929	0.0484	0.0676	0.1600
1	0.1936	0.3249	0.1156	0.0049
2	0.0121	0.1225	0.2401	0.1296
3	0.0004	0.0169	0.0900	0.1849
4	0	0.0009	0.0169	0.0787
5	0	0.0001	0.0016	0.0169

瞬間偏移制御(IDC)のFM送信機

- 入力の周波数と位相の **積** の **最大値** を制限、**位相** 変調器で出力
- 出力レベルは周波数が **高い** ほど **小さくなる**
- 位相変調器 低周波増幅回路1がクリップレベル以上の時、**FM波**
// 以下の時、**PM波**



音声信号を伝送する時の圧伸器(コンパンダ)

- ・ 雑音、漏話、誘導雑音の軽減対策として
音声信号の **振幅範囲** を圧縮伸張する
- ・ 圧縮比と伸張比は同じにする
- ・ **圧縮比** を **大きく** するほどS/N改善度は **大きく** なる

スーパーヘテロダイン受信機

- ・ 周波数変換器の前段に高周波増幅器を設けるのは **雑音制限感度** を改善する為
- ・ ダブルスーパーヘテロダイン受信機は、シングルスーパーヘテロダイン受信機に比べ **映像周波数妨害** の低減と **近接周波数選択度** の改善を両立する

全電力10[W]
の時の占有周波数帯幅は?

占有周波数帯幅は99%だから
 $10 \times 1\% = 0.1$
上下あるから $0.1 \div 2 = 0.05$

±加算値0.05は149995、150005

$150005 - 149995 = 10$

10[kHz]



表 2

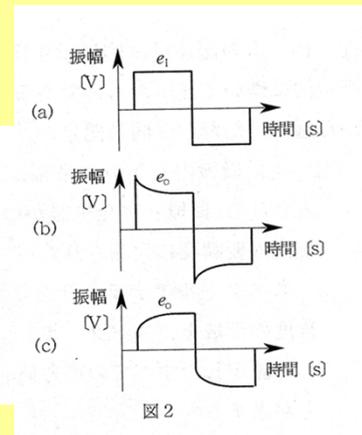
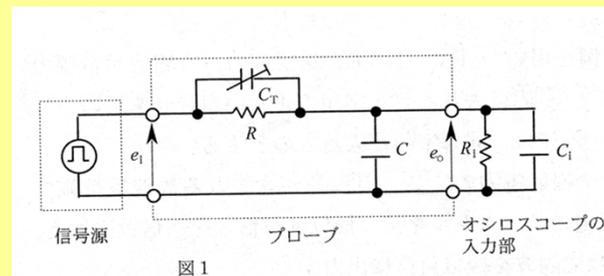
f_c [MHz]	電力の加算値 [W]	f_s [MHz]	電力の加算値 [W]
149.990	0.001	150.010	0.001
149.991	0.002	150.009	0.002
149.992	0.005	150.008	0.005
149.993	0.01	150.007	0.01
149.994	0.02	150.006	0.02
149.995	0.05	150.005	0.05
149.996	0.1	150.004	0.1
149.997	0.2	150.003	0.2

FFTアナライザ

- 周波数成分の **振幅、位相** が見れる
- 移動通信のバースト状信号等時間内の信号解析が **出来る**
- 解析可能な周波数の上限は **A-D変換器** の標本化周波数 f_s [Hz]で決まる
- エリアシング誤差が生じないように、入力周波数を **標本化周波数/2** [Hz] 以下に
- 被測定信号を再生表示するには **逆フーリエ変換** を用いる

オシロスコープのプロブの周波数特性の補正

(a)を入力し C_T を $(C+C_T)R=C_T R$ になるように調整すると e_o は(a)と同じになる
 C_T を大きくすると (b) になり、小さくすると (c) になる



・シリコン太陽電池

単結晶シリコン、多結晶シリコン、**アモルファス** シリコンが材料

1個の素子の開放電圧は **0.5~0.8V** 程度である

変換効率とは光エネルギーが電気エネルギーに変換される割合

理想的は変換効率は **約25%** だが、実際はその半分である

・1セルの電圧

鉛蓄電池が2V

ニッケル水素が1.2V

リチウムイオンが3~4V

マイクロ波カウンター(H₀₁型空洞周波数計)

空洞共振器の形状は **直円筒**

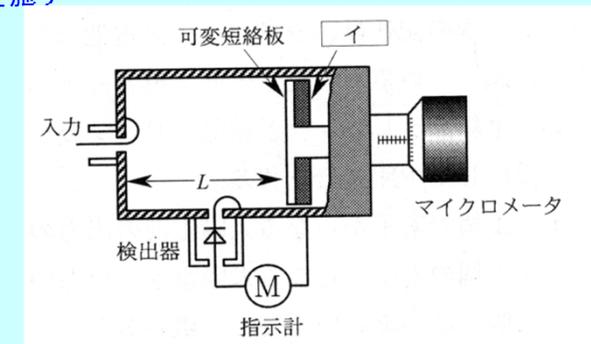
可変短絡板の裏にある **電磁吸収体** で裏に回り込むH₀₁以外のモードを除去する

共振周波数はLの値で決まる。指示計が **最大** になるようにLを調整する

空洞内と可変短絡板との間に電流は **存在しない** 為、空洞内と可変短絡板を

接触させる **必要がなく** Qを高くできる

空洞の内壁に **銀メッキ** などを施す



デジタル信号が受ける波形劣化を観測するためのアイパターンについて

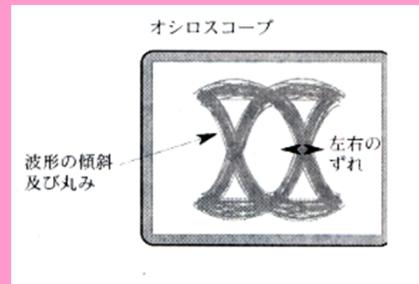
アイパターンを観測する事により受信信号の雑音に対するマージンを知れる

アイの横の開きは、クロック信号のゆらぎ(ジッタ)等のマージンの度合いを表す

アイパターンは、**定常的な状態**の観測に適している

ジッタは波形の **左右のずれ**

デジタル信号はオシロの **垂直軸** に入れる

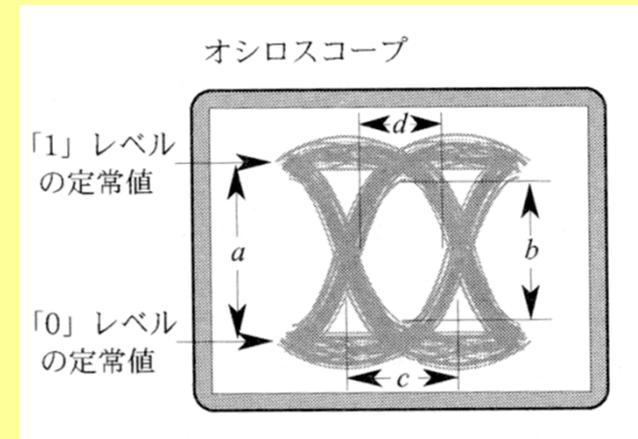


- a=0.5 [V]
- b=0.4 [V]
- c=0.2 [μs]
- d=0.9 [μs]

アイ開口率は?

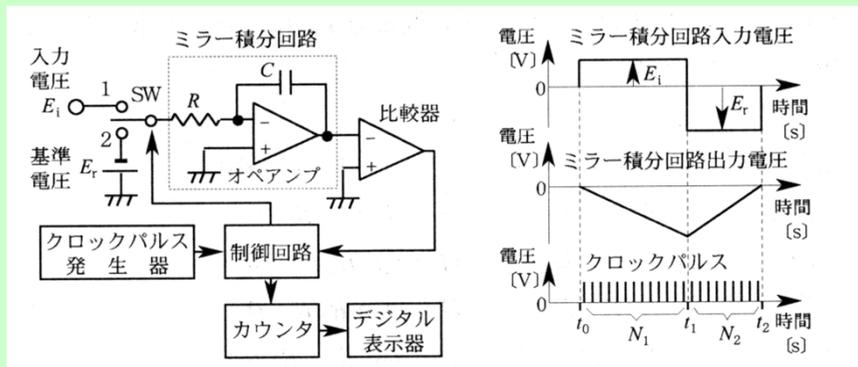
$$b/a = 0.4/0.5 = 0.8 \quad 80\%$$

アイ開口率が **1/2** になった時、S/Nを **6[dB]** 改善する必要がある



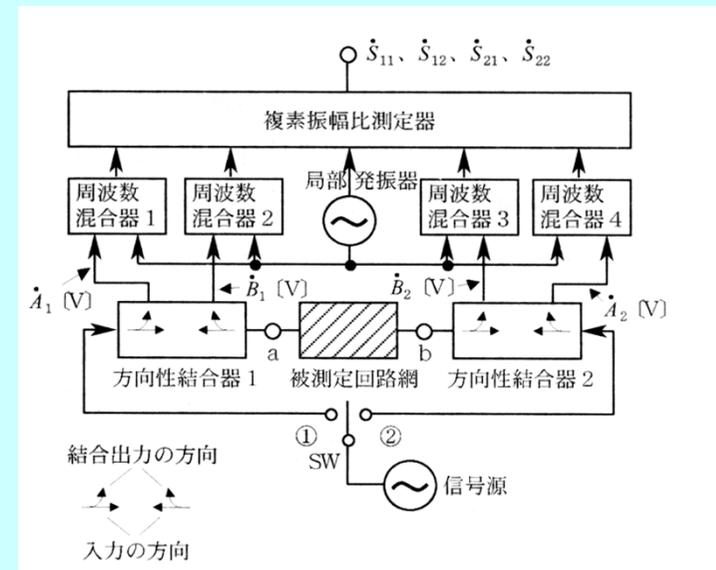
二重積分式(デュアルスロープ形)デジタル電圧計

- ・コンデンサC、抵抗Rの素子値の精度に依存 **しない**
- ・雑音が入力に加わった時、積分期間を雑音周期の **整数倍** にする事で打ち消せる
- ・ $E_i/E_r = N_2/N_1$ $E_i = E_r N_2/N_1$



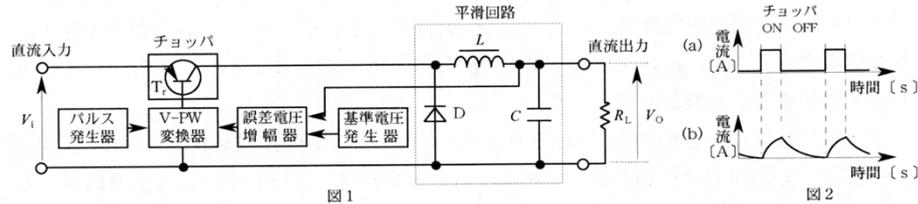
ベクトルネットワークアナライザ

SWが①の時、
 $S_{11} = B_1/A_1$
 $S_{21} = B_2/A_1$
 この他に
 B_1/A_2 、
 B_2/A_2 を測定し、
 反射誤差を補正する



パルス幅制御型チョッパ方式の安定電源

- 平滑回路の電流の **平均値** を変える為V-PM変換器でパルス幅を変化させチョッパのON時間を制御する
- 出力電圧が基準電圧発生器より **大きく** になるとチョッパのON時間が **短く** なる
- 平滑回路Lの電流は **(b)** のように変化する
- 出力電圧を入力電圧より高くすることは **できない**
- 平滑回路の **フライホイール** ダイオードはチョッパが **OFF** の時に蓄えられたエネルギーを Cに移す

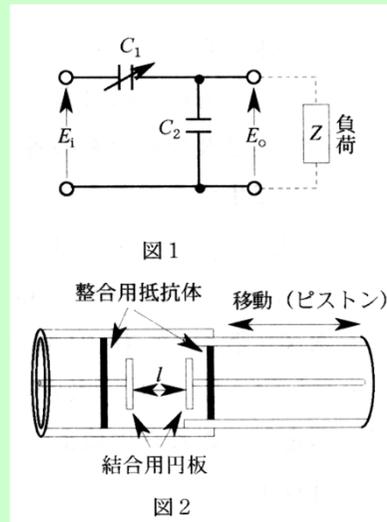


- ・ 整流回路のリプル率 γ
 負荷電流に含まれる直流成分 I_{DC} [A]
 交流成分の実効値 i_r [A]
 $\gamma = (i_r/I_{DC}) \times 100$ [%]
- ・ 電圧変動率 δ
 無負荷電圧 V_o [V]
 負荷に定格電流を流した時の定格電圧 V_n [V]
 $\delta = [(V_o - V_n)/V_n] \times 100$ [%]

- ・ 整流効率 η
 整流回路に供給される交流電力 P_1 [W]
 負荷に供給される電力 P_2 [W]
 $\eta = (P_2/P_1) \times 100$ [%]

容量性可変リアクタンス減衰器

- ・ 出力を開放した時の電圧比 $C_1 \ll C_2$ の時 $E_o/E_i = C_1/C_2$
- ・ ピストンを移動して結合容量を加減する
- ・ 定常的な **挿入損失** が生ずる欠点がある
- ・ 円形導波管の直径は **遮断波長** 以下で電磁波は管内を伝搬しない
- ・ 周波数特性は **非常に良く** GHzまで使用できる

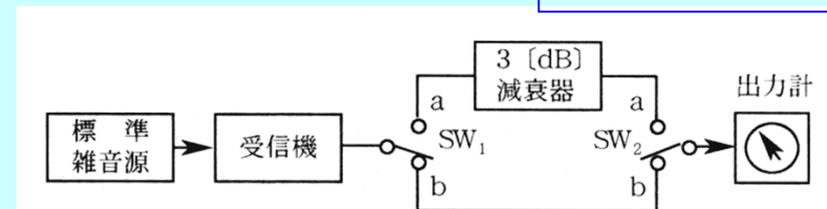


$kTB = 4 \times 10^{-18}$ [W]
 SGをOFF、b接の出力50[mW]
 SGをON、a接の出力 1.6×10^{-17} [W]
 受信機の雑音指数は?

$$F = \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o} = \frac{N_o}{G} \times \frac{1}{N_i}$$

$kTB = Ni$ で
 SGをON出力 $= N_o/G$ だから
 $F = 1.6 \times 10^{-17} / 4 \times 10^{-18}$
 $= 0.4 / 10^{-1}$
 $= 4$

b接でSG-OFFのノイズ N_o
 a接でSG-ONのノイズ $2N_o$
 // SG出力レベル N_o/G



サンプリングオシロスコープ

- サンプリングによって、**低い** 周波数に変換
- サンプリング周期を入力信号周期より **長く** しないと反転する
- 周波数 f_H [Hz] を n 個 サンプリングしたときの
所用高域遮断周波数は f_H/n [Hz]

- 図2の **整流効率** は図1の **2倍**
- 図2の **電流平均値** は図1の **2倍**
- 図2の **ダイオード電流** は図1の **1/2倍**
- 図2の **負荷の消費電力** は図1の **2倍**
- 図2の **ダイオードの逆耐電圧** は図1の **1/2倍**

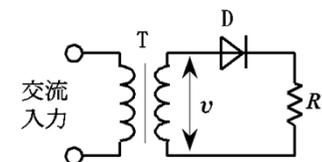


図1 単相半波整流回路

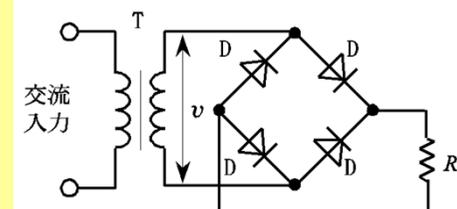


図2 単相ブリッジ形整流回路

C級電力増幅器

- **単一周波数** に対して効率良い増幅
- 2θ [rad] を **流通角**
- **基本波成分** と **高調波成分** と **直流成分** を **フーリエ級数展開**
- 電力効率は、 θ を **小さく** するほどよい

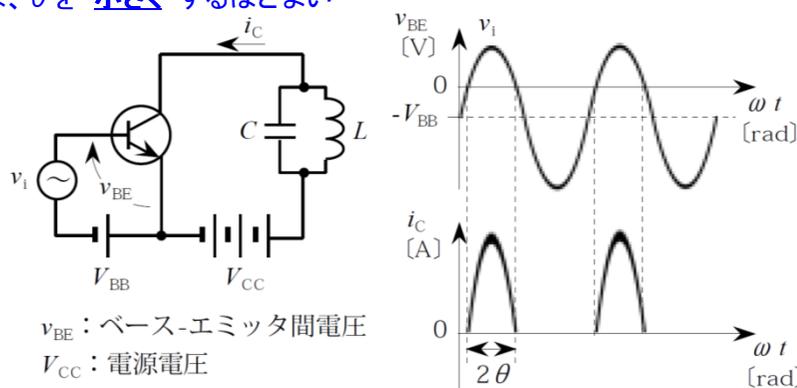


図1

図2

被測定増幅器に衝撃係数50%の方形波を加えオシロで観測
広域の周波数特性は6[dB/oct]減衰。
この被測定増幅器の広域遮断周波数は？

立ち上がり時定数 $\tau = 0.05 \mu s$

$$f = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi \times 0.05 \times 10^{-6}} \cong 3.18 \times 10^6 \cong 3.2 [\text{MHz}]$$

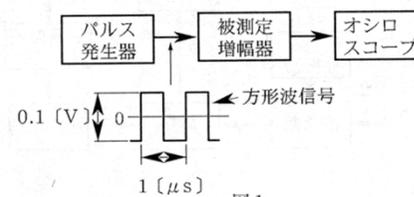


図1

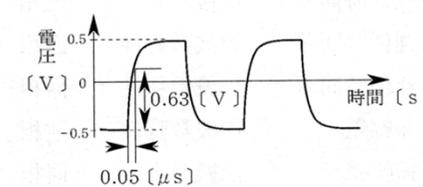


図2