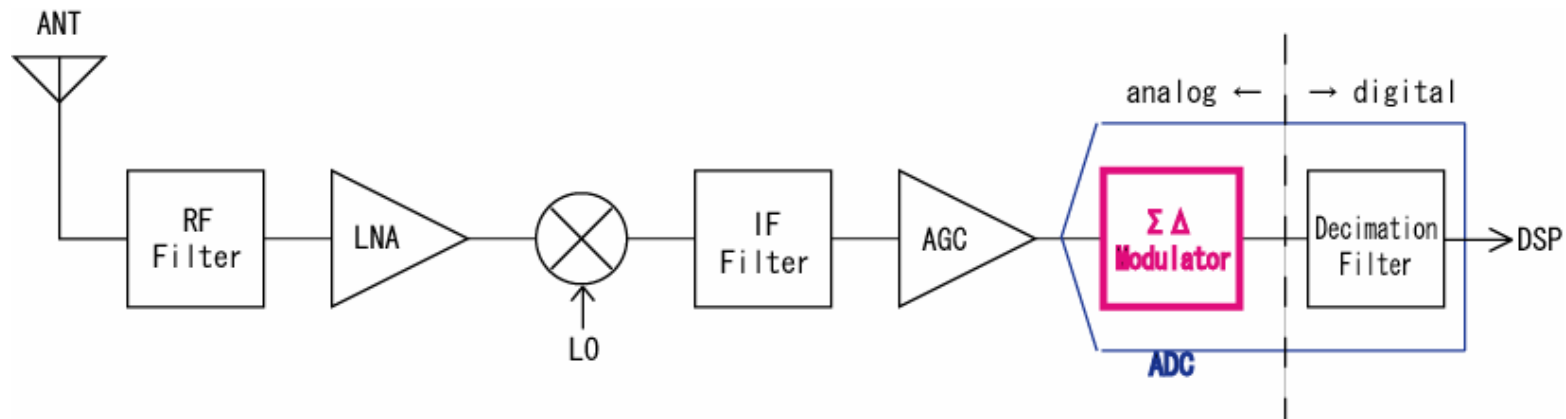


# 集積回路設計 第10回目 講義資料

杉本 泰博

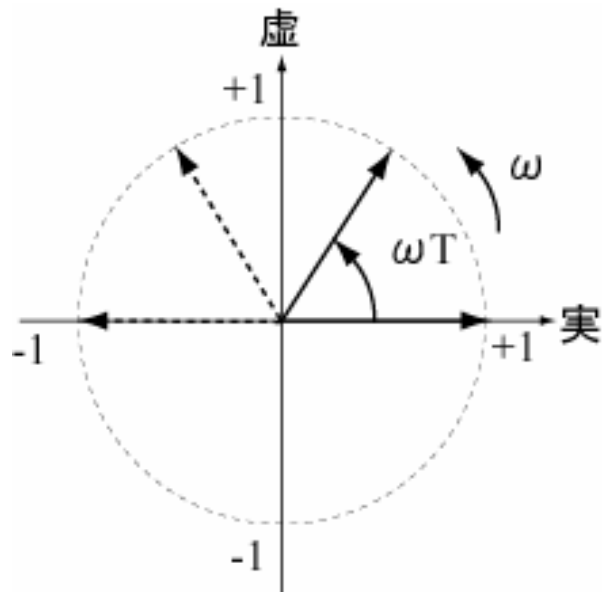
# AD変換器

変調器の使用例: 無線通信システムの受信部、AD変換器



他に、オーディオ機器の24ビットADC、心臓のペースメーカー、携帯電話・・・etc  
高精度を要求する信号処理系で広く利用されている。

# Z変換



角速度  $\omega$  で回転する大きさ1のベクトルがある。

T秒後には角度で  $\omega T$  回転している。先端の座標は

$(\cos \omega T, \sin \omega T)$  である。

これを実軸、虚軸の座標で表すと、

$\cos \omega T + j \sin \omega T = e^{j\omega T}$  となる。

$e^{j\omega T}$  は「Tの時間の進み」を表す。

また  $e^{-j\omega T}$  は「Tの時間の遅れ」を表すものである。

ここでラプラス変換は

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt$$

である。これに対しZ変換は

$$F(z) = \sum_{n=0}^{\infty} f(nT) e^{-j\omega nT}$$

となる。つまり連続積分を、 $nT$ 毎の離散値で代用した形である。

# 離散システムにおける微分

現在の入力から一つ前の入力を引き算したものが微分。

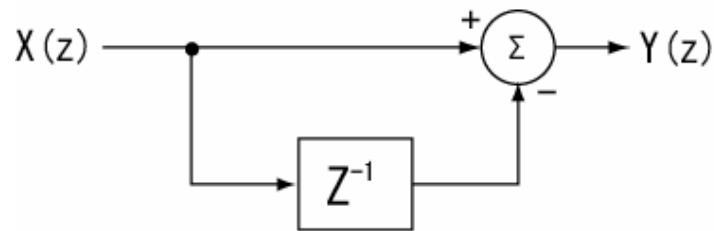


図:微分器

$$Y(z) = X(z) - z^{-1}X(z)$$
$$\therefore Y(z) = (1 - z^{-1})X(z)$$

$$Y(j\omega T) = (1 - e^{-j\omega T}) \cdot X(j\omega T)$$
$$\cong j\omega T \cdot X(j\omega T)$$

これは微分動作を表す式となっている。  $\left( \text{ただし } e^{-j\omega T} = 1 - j\omega T + \frac{(j\omega T)^2}{2!} + \dots \right)_4$

# 離散システムにおける積分

現在の入力に一つ前の出力を足し算したものが積分。

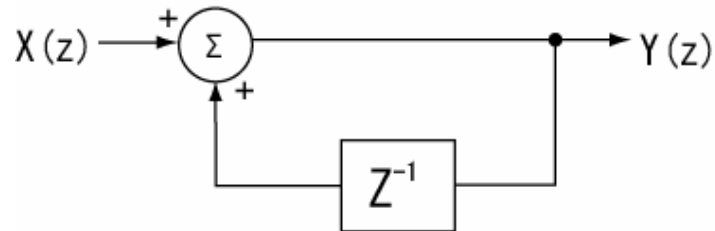


図:積分器

$$Y(z) = X(z) + z^{-1}Y(z)$$

$$\therefore Y(z) = \frac{1}{1 - z^{-1}} X(z)$$

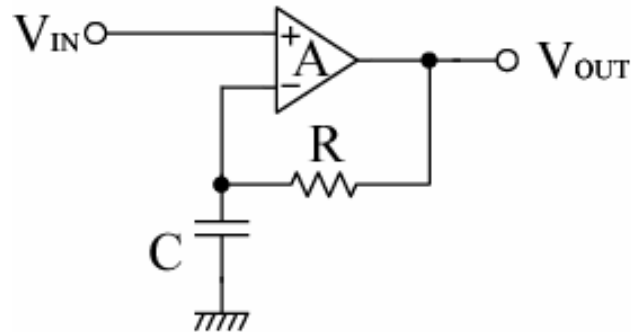
$$Y(j\omega T) = \frac{1}{1 - e^{-j\omega T}} \cdot X(j\omega T)$$

$$\cong \frac{1}{j\omega T} \cdot X(j\omega T)$$

これは積分動作を表す式となっている。  $\left( \text{ただし } e^{-j\omega T} = 1 - j\omega T + \frac{(j\omega T)^2}{2!} + \dots \right)$  5

# ノイズシェーピング

信号成分はそのまま通し、量子化雑音はその周波数特性を変えて出力する手法。



図では、オペアンプの負帰還路にRC回路が挿入されている。この回路の周波数特性は次のように考えられる。

## 低周波数領域

キャパシタ $C$ のインピーダンスが大きいので $C \rightarrow 0$ 、 $R \rightarrow \infty$ と等価と考えて良い。よって回路の電圧利得は1倍に近い。 $V_{in}$ (ノイズ等)はそのままの大きさを $V_{out}$ 端子に出力される。

## 高周波数領域

キャパシタ $C$ のインピーダンスが小さくなって、オペアンプの - (マイナス)入力端子がグラウンドに接地された形となる。この時の電圧利得は $A$ 倍に近い。したがって $V_{in}$ (ノイズ等)の大きさも $A$ 倍される。

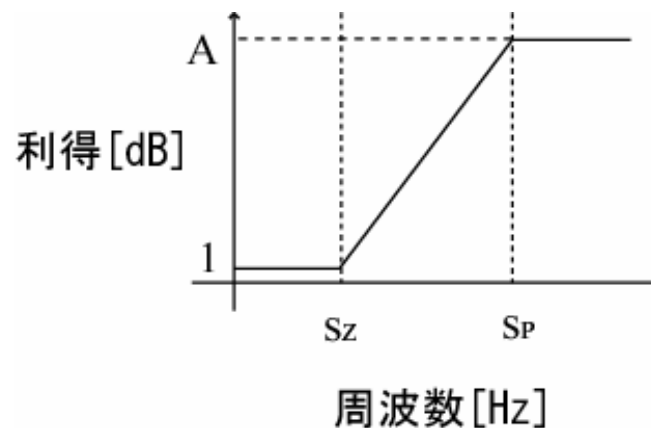
# 周波数特性

伝達関数は

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{OUT} = A(V_{IN+} - V_{IN-}) \\ V_{IN-} = \frac{1/sC}{R + 1/sC} V_{OUT} = \frac{1}{sCR+1} V_{OUT} \end{array} \right. \quad \text{より} \quad V_{OUT} = A \left( V_{IN+} - \frac{1}{sCR+1} V_{OUT} \right)$$

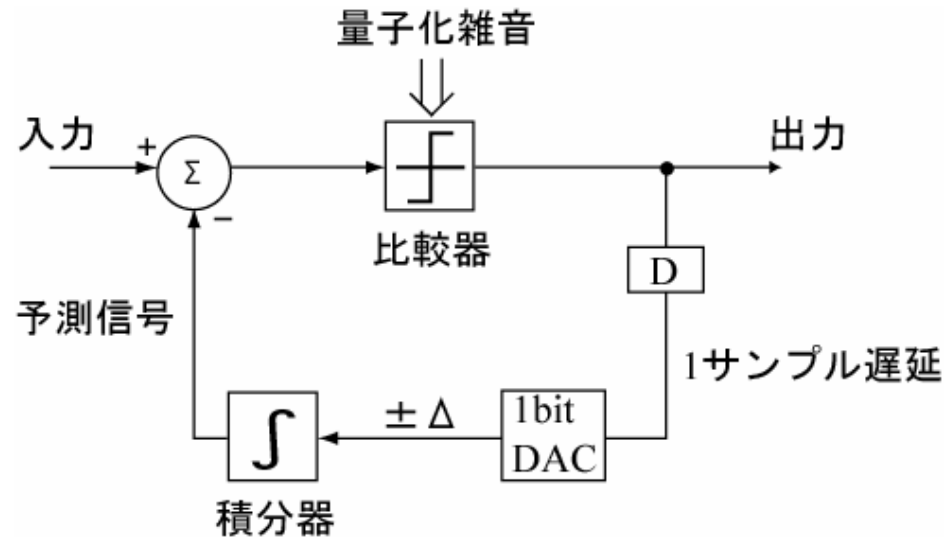
$$\therefore \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{A}{1 + \frac{A}{sCR+1}} = \frac{A(sCR+1)}{sCR+1+A}$$

零点は  $s_z = -\frac{1}{CR}$  極は  $s_p = -\frac{1+A}{CR}$  となる。以上から周波数特性は下図となる。



入力が量子化雑音(周波数特性は平坦)であれば、その量子化雑音は図のような周波数操作を受ける。

# 変調器



予測信号は入力信号を追っかける。予測信号に対し、

入力信号の方が大 出力"1", DACの出力を1ステップ増加

入力信号の方が小 出力"0", DACの出力を1ステップ減少

を繰り返す

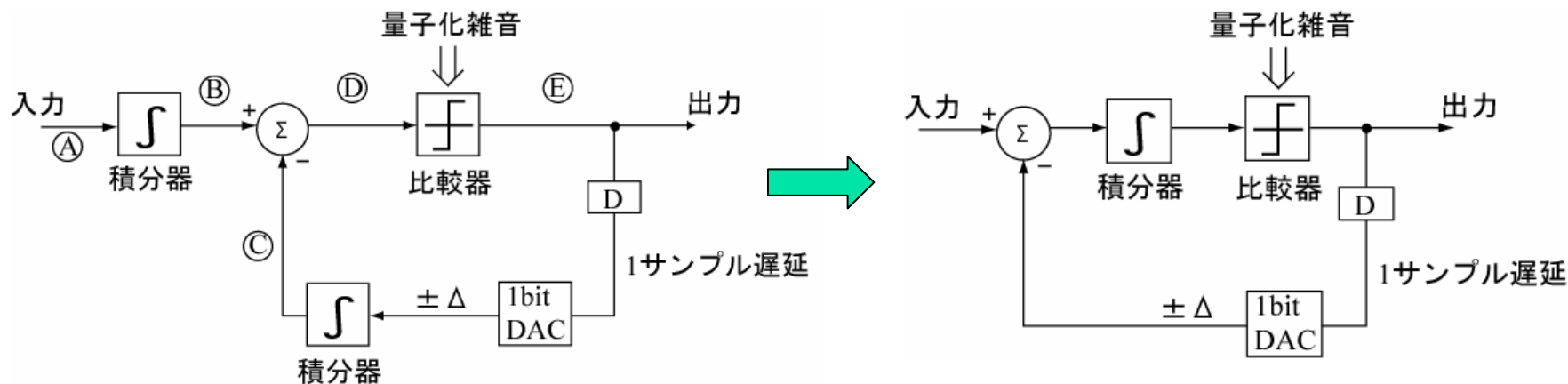
変調器は信号も量子化雑音も微分された形である。

正弦波が入力されたとしても比較器にて強制的に2値に丸められてしまうので、量子化雑音が発生する。



# 変調器

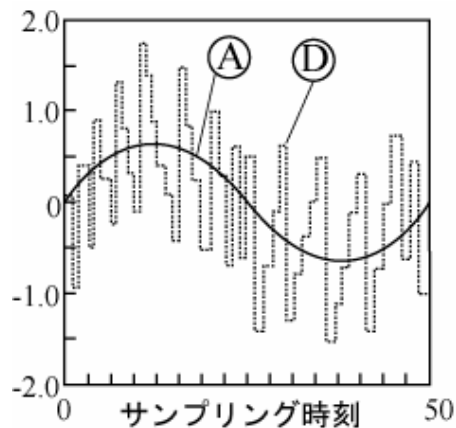
変調器の前に積分器を追加。このとき入力と帰還路にある積分器はひとつにまとまる。これが 変調器の構成である。



変調器では、積分した信号は 変調器で微分され元に戻って出力される。一方で量子化雑音は微分されたままである。つまり信号成分はそのままに量子化雑音成分だけを低減させることができる。

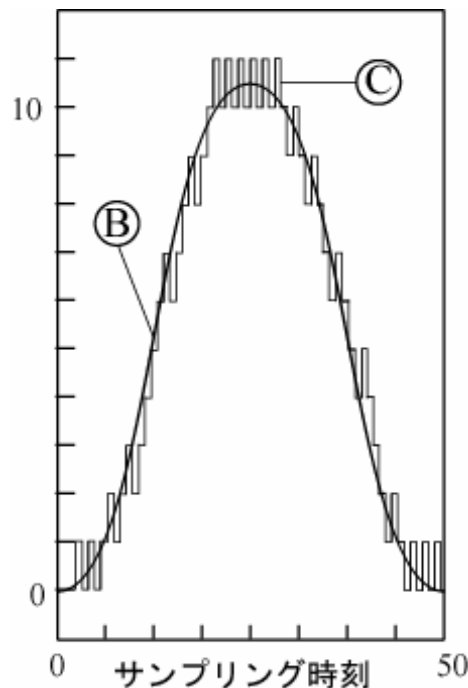
# 1次

# 変調器の各波形



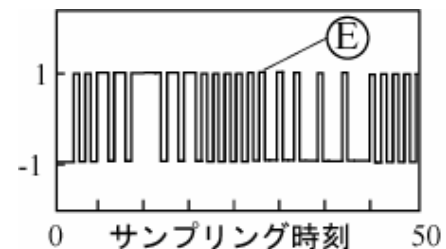
(a)信号入力Aと比較器入力D

↓  
比較器入力は平均すると  
入力信号の大小を併せ持  
つ。これを比較器で二つ  
の電圧値に分ける。



(b)仮想的な入力積分信号B  
と予測器出力(帰還信号)C

↓  
入力信号の積分と 変調器の関係

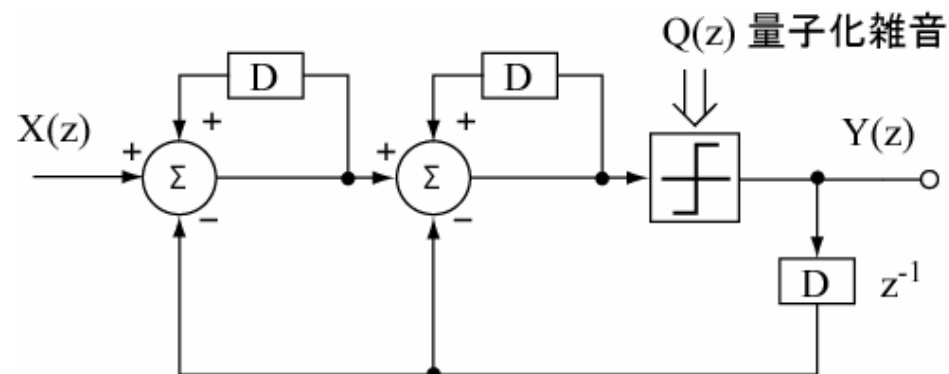


(c)出力コード

↓  
平均が大きい:出力1  
平均が小さい:出力0

## 2次

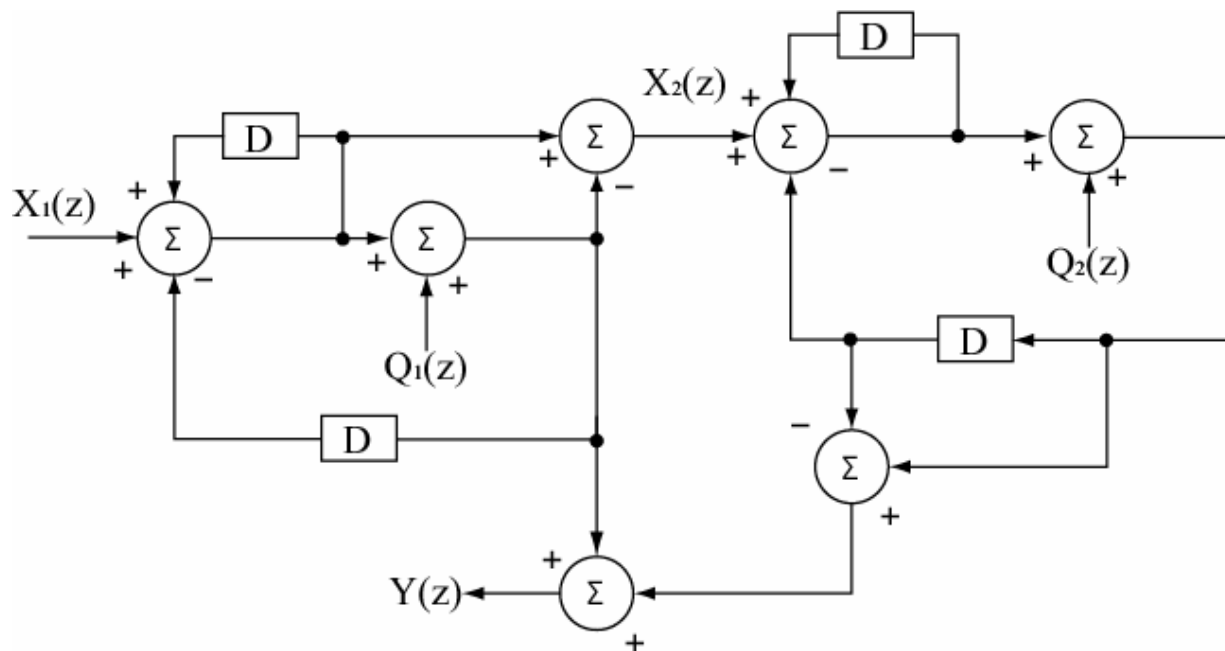
## 変調器 (演習10.1)



積分器が2段従属に接続されている。これは2次のローパスフィルタを構成する。2次のローパスフィルタは1次のローパスフィルタに比べ、急峻な特性の変化をする。

$Y(z)$ を求めなさい。

# MASH方式

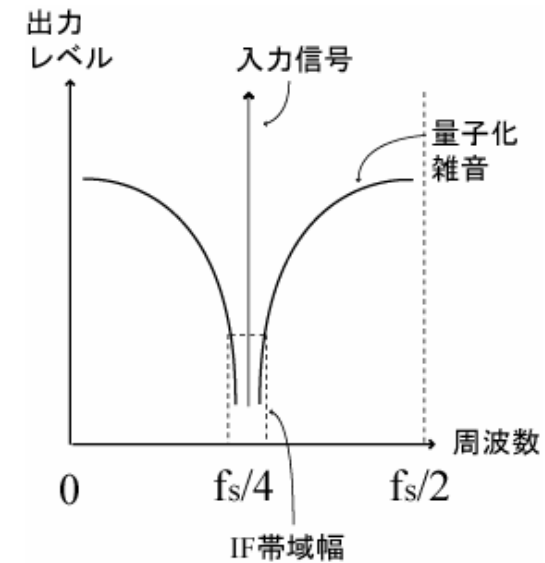
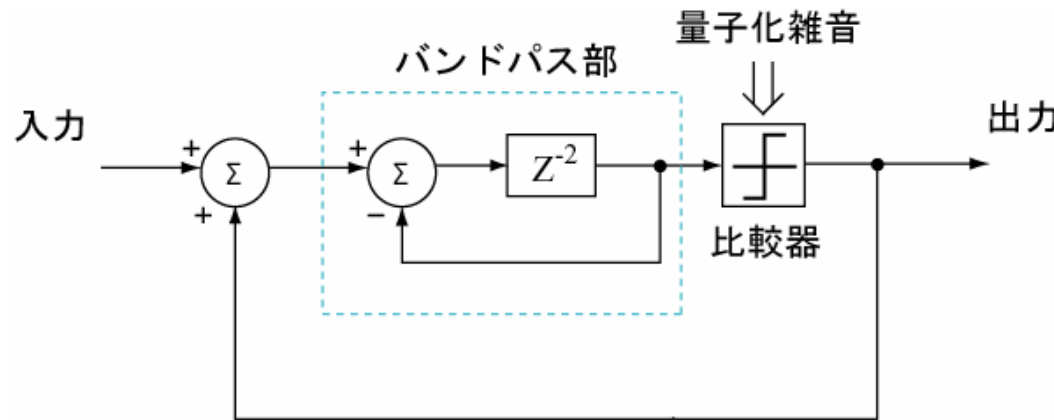


一次の 変調器を2つ従属に接続した形。

フィードバック経路は1次なので、安定的、S/Nもとれる

# バンドパス

# A/D変換



ループ内のフィルタがバンドパスフィルタになっている。

これにより特定の周波数帯の量子化雑音成分を最小にすることができる。

応用例) 低IFの受信機、スーパーヘテロダイン受信機