

## ■10 群 (集積回路) - 6 編 (アナログ LSI)

---

# 9 章 高周波回路

### 【本章の構成】

本章では以下について解説する.

- 9-1 低雑音増幅器
- 9-2 周波数混合器
- 9-3 電力増幅器
- 9-4 可変利得増幅器
- 9-5 分布定数増幅器
- 9-6 スパイラルインダクタ
- 9-7 バラクタ

## ■10 群-6 編-9 章

---

### 9-1 低雑音増幅器

## ■10 群-6 編-9 章

### 9-2 周波数混合器

(執筆者：香西昌平) [2009年6月 受領]

周波数混合器（ミキサ）は2つの入力の掛け算を行い、周波数の加算または減算、つまり周波数変換を行う回路である。周波数変換を行うことで周波数帯域の使い分けや、無線通信ではアンテナなどの受動素子の大きさを小さくできるという利点がある。ほとんどの場合、周波数混合器の一方の入力は、PLLによって生成された高周波の周期信号（LO 信号）で、もう一方の入力信号（IN）と区別される。

#### 9-2-1 周波数混合器の種類と特徴

ミキサの入出力の周波数の関係により、入力信号の周波数を低い周波数に変換して出力する場合をダウンコンバージョンミキサ、逆の場合をアップコンバージョンミキサという。

また、周波数を混合する方式によりスイッチングミキサと2乗ミキサとに大別される。スイッチングミキサは、LO 信号が入力するトランジスタをスイッチとして動作させ、入力信号の出力する方向を切り替えることで掛け算を行う。動作には比較的大きな振幅の LO 信号を必要とするが、出力信号の振幅が LO 信号の振幅によらない利点がある。2乗ミキサは、トランジスタなどの2乗特性を利用し信号の掛け算を行う。低電圧動作が可能であるが、出力信号の振幅が LO 信号の振幅に比例する特性を持つことが問題となることがある。

更に、IN のみが差動の場合をシングルバランスミキサ、IN と LO の両方が差動の場合をダブルバランスミキサと呼ぶ。シングルバランスミキサは、出力に LO 信号が直接観測されるのに対し、ダブルバランスミキサでは LO 信号が出力されないという利点がある。

#### 9-2-2 スイッチングミキサ

上記の理由から、LSI ではダブルバランスのスイッチングミキサがよく用いられ、**図 2・1** に MOS トランジスタで構成した回路を示す。LO 信号が入力するスイッチトランジスタに直流電流を流してバイアスするものをアクティブ型、バイアスしないものをパッシブ型と呼ぶ。ダブルバランスでアクティブ型のスイッチングミキサはその発明者の名前を取ってギルバート（Gilbert）ミキサと呼ばれることが多く、最も一般的なミキサである。

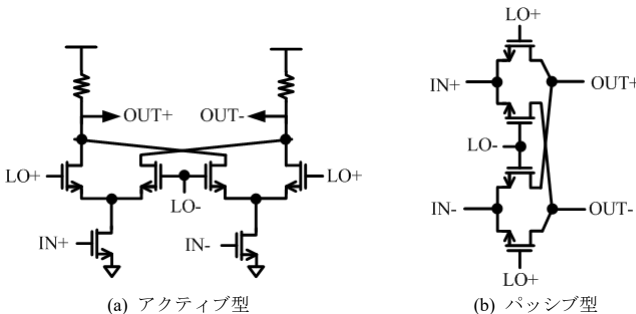


図 2・1 スイッチングミキサ

近年ではパッシブ型がよく用いられるようになってきた。これは低電圧動作が可能で、かつフリッカー雑音の影響を受けにくいためである。一方で、出力インピーダンスが小さい、利得がない、LO 信号に要求される振幅もアクティブミキサよりも大きくなるという問題もある。

## ■10 群-6 編-9 章

### 9-3 電力増幅器

(執筆著者：香西昌平) [2009年6月 受領]

電磁波は吸収、屈折、散乱、回折、反射されながら大気中を伝搬するため大きな減衰を受ける。減衰後も受信機で正常に受信できるように、送信する距離（数 mm～100 km 以上）などに応じ送信機の出力を十分に増幅する必要があり、これを行うのが電力増幅器である。電力増幅器にも 1 mW 以下から 100 kW 以上の送信電力のものまで様々で、増幅器のシステムも異なる。使用するデバイスも 1 W 以上の高出力では化合物が主流、100 mW 以下の低出力のものはシリコンが主流である。送信電力が 10 W 以上の増幅器は基地局で利用され、LSI でなく個別半導体で実現されることが普通である。LSI に集積されるのは端末用で、送信電力が数 W 以下に限られるとあってよい。電力増幅器のほとんどは 100 mW 以上の電力が必要とされ、電力増幅器が送受信機を構成するアナログ回路のうち最も巨大で最も電力を消費するブロックとなる。低価格化、特に低消費電力化に占める電力増幅器の影響は大きく消費電力と出力電力の比で表される電力効率が最も重要な指標である。

電力増幅回路の級による分類を表 3・1 に示す。まずトランジスタの使い方で大きく 2 種類に分けることができる。一つはトランジスタをアナログ的な電流や電圧の増幅器として使う方法である。この場合、バイアス条件によって更に A 級、AB 級、B 級、C 級に分類される。A 級はトランジスタが常に ON するようにバイアスされるものをいう。バイアスをトランジスタの閾値に設定すると、入力信号の交流成分が正のときにトランジスタは ON し、負のときに OFF するので、1 周期区間のちょうど 50% だけ ON する。これを B 級と呼ぶ。AB 級は A 級と B 級の間で、ON する区間が 50% 以上 100% 以下のとき、C 級は 50% 以下のときである。電力効率は C 級が最も高く順に B 級、AB 級、A 級と劣化していく。しかし、C 級は出力電力が小さくなるためほとんど用いられない。A 級と AB 級が効率は低い線形な増幅が可能である。

表 3・1 電力増幅器の級による分類

級	最大電力 効率	トランジスタ 使用法	バイアス条件/ 波形成形方法	備考
A	50%	アナログ	100% ON	線形
AB	50-79%	アナログ	50-100% ON	線形
B	79%	アナログ	50% ON	
C	79-100%	アナログ	0-50% ON	出力小
E	100%	スイッチ	2次ダンピング特性	
F	100%	スイッチ	高調波終端	

もう一つのトランジスタの使い方にスイッチがある。スイッチングアンプではトランジスタのドレイン（コレクタ）にかかる電圧と電流が同時に高くならないように電圧、電流波形を成形でき効率が非常に高くできる利点がある。その代表的な方式として高周波では 2 次の過渡応答を利用する E 級、高調波を利用する F 級がある。入力正弦波ではなく方形波に近づけることが必要で、またスイッチングアンプは基本的に非線形な増幅器である。

以上のように様々な級があるが、用途によって使用される級は限られている。線形な増幅が必要ない周波数シフトキーイングを利用する GSM などでは高効率な E 級、F 級が多く用いられる。一方、近年使用される W-CDMA、WiMAX などの高速通信規格においては線形な増幅が

必要なため AB 級増幅器が主流である。AB 級の効率の問題を解決するため、B 級や C 級を使って高効率を実現するドハティークラス増幅器やスイッチング増幅器を用いて線形な増幅を高効率に行う、ポワラ変調や LINC といった方式も基地局を中心に実用されている。

## ■10 群-6 編-9 章

### 9-4 可変利得増幅器

(執筆者：渡辺 理) [2009年6月 受領]

#### 9-4-1 可変利得増幅器

演算増幅器と抵抗を用いた増幅器、トランスコンダクタと抵抗を用いた増幅器などの増幅器において、その利得を決定する抵抗値やトランスコンダクタンス ( $G_m$ ) 値を可変とすることにより実現する (図 4・1)。利得設定は増幅器外部からの制御信号により行われ、制御信号としてアナログ値 (制御電圧) が与えられるタイプ、デジタル値 (制御コード) が与えられるタイプがある。制御信号と利得の関係は、制御信号の変化に対して利得が指数的に変化するように (ログリニア) に設定されることが多く、そのため制御に対し抵抗値もしくは  $G_m$  がログリニアに変化するよう設計されることが多い。

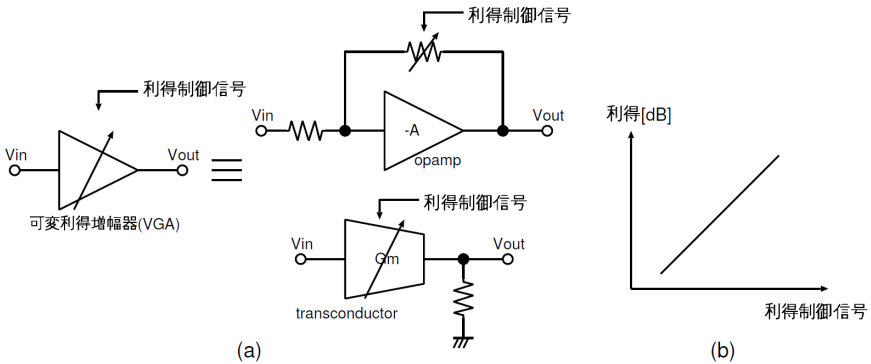


図 4・1 可変利得増幅器 (VGA) とその回路例(a), 制御信号と利得の関係(b)

#### 9-4-2 可変利得増幅器における DC オフセット除去

ベースバンド帯域において利得の高い増幅器を用いる場合には、その出力が DC オフセットにより飽和しないよう DC オフセット除去を行う。可変利得増幅器に DC オフセット除去を行う場合、利得変化の前後における増幅器の DC オフセット変動や高域通過フィルタのカットオフ周波数変動に注意した設計が必要となることが多い。図 4・2 にいくつかの DC オフセット除去方法を示す。

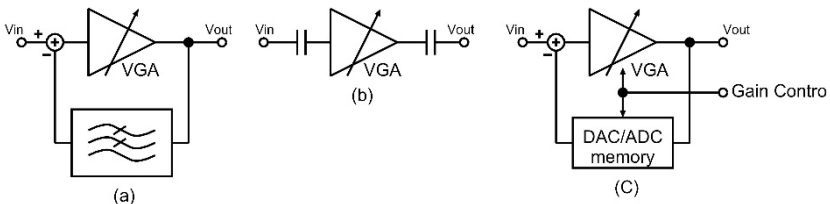


図 4・2 容量結合(a), アナログフィードバック(b), デジタルフィードバック(c), による DC オフセット除去の実現

■10 群-6 編-9 章

---

9-5 分布定数増幅器



■10 群-6 編-9 章

---

9-6 スパイラルインダクタ

■10 群-6 編-9 章

---

9-7 パラクタ