

第1章 デジタル・アンプを 理解するための第1歩

デジタル・アンプのあらまし

近藤 光
Hikaru Kondo

デジタル・アンプとは、無駄な電力を消費せずに信号を増幅できる、スイッチング技術を利用したオーディオ増幅器のことですが、ピンと来ない人も多いでしょう。そこで本章では、従来のオーディオ・アンプ(アナログ・アンプ)と比較しながら、その動作や特性の違いについて見てみます。

アナログ・アンプと何が違うの？

● アナログ・アンプとの決定的な違い…スイッチング増幅とリニア増幅

図1と図2に示すのは、アナログ・アンプとデジタル・アンプの増幅の原理を説明するものです。どちらも1個のトランジスタを使った同じ増幅回路です。図1では正弦波状の信号が入力されていますが、図2では方形波状の信号が入力されています。

▶ アナログ・アンプの出力段はリニア増幅動作している

図1(a)に示す回路には、電圧値の異なる正弦波信号がベースに加えられています。

図1(b)を見ると、ベースに正弦波状の電圧を入力すると、トランジスタの $V_{BE}-I_C$ 特性に応じて、出力電流 I_C (コレクタ電流)が変化することがわかります。コレクタ電流の変化は、抵抗 R_1 両端の電圧の変化となって現れます。ただし、入力信号とは位相が反転します。

入力信号レベルがある程度小さい場合は、**入力信号波形と出力電流波形は同じ正弦波**になります。このような増幅動作を**リニア増幅動作**と言います。

従来のアナログ・アンプに使われているトランジスタは、このように入力信号と相似な波形を増幅して出力するように動作しています。

▶ デジタル・アンプの出力段はスイッチングしている

図1において、入力信号の電圧を大きくしていくと、

出力波形がクリップし始めます。クリップしている期間、出力電圧は電源電圧(V_{CC})またはグラウンド(0V)のどちらかになります。

さらに、入力信号電圧を上げると、トランジスタは、スイッチのように振る舞うようになり、入力信号は正弦波ですが、出力信号は最高電圧が V_{CC} 、最低電圧が0Vの方形波に近づきます。デジタル・アンプの出力段にあるトランジスタは、このように常にクリップして動作しています。

実際のデジタル・アンプの出力段では、きれいな方形波を出力することが望まれるので、図2に示すように**パルス状の信号を入力して、トランジスタをスイッチング駆動させています**。このようにすることで、出力信号の電圧の遷移期間、つまり立ち上がり時間や立ち下がり時間が短くなり、理想的なパルス波形に近づきます。

● アンプは出力段の動作によって分類できる

増幅回路は、その出力段の形態や動作によっていくつかの方式に分類できます。代表的なものに**A級**、**AB級**、**B級**、**D級**があります。

図3にその違いを示します。図からわかるように、D級以外は同じような回路で、これらは多くのアナログ・アンプの出力段に使われています。それぞれ、バイアス電流 I_{idle} の大きさによって分類されています。

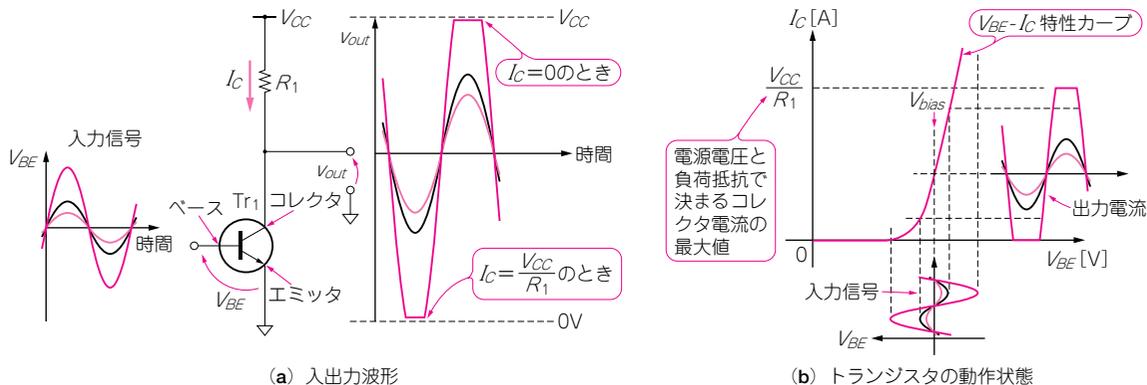
▶ A級 [図3(a)]

無信号時でも、**最大出力時の1/2のバイアス電流 I_{idle} が流れています**。各出力トランジスタのベース-エミッタ間には常にバイアス電圧(V_{BE})が加えられています。ひずみは小さいですが、無効電流が大きく、とても効率の低い方式です。発熱もとても大きく、大きな電力増幅器(パワー・アンプ)では、**巨大なヒートシンクで電力素子を放熱する必要があります**。

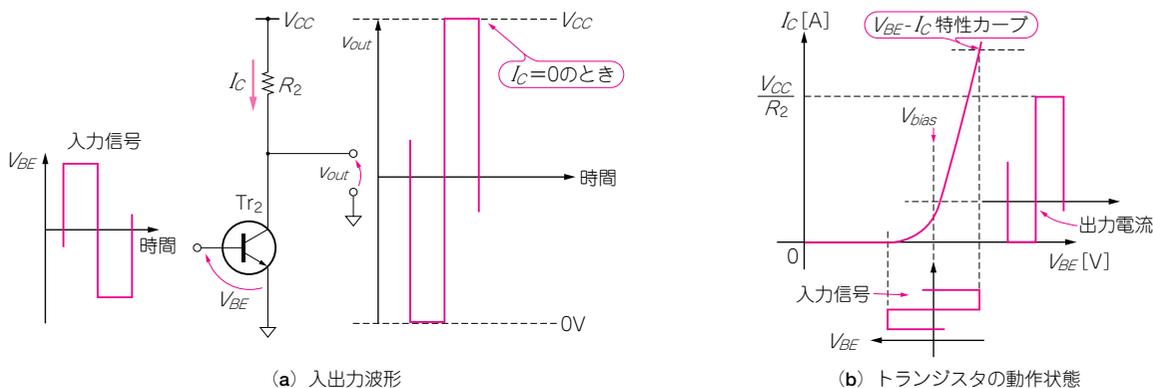
Keywords

デジタル・アンプ、アナログ・アンプ、スイッチング増幅、リニア増幅、D級出力段、出力LPF、フル・ブリッジ、ハーフ・ブリッジ、D級ドライブ回路、PWM信号、 $\Delta\Sigma$ 型ノイズ・シェーパ。

〈図1〉アナログ・アンプの出力段はリニア増幅動作している



〈図2〉デジタル・アンプの出力段はスイッチング動作している



▶ B級 [図3(b)]

無信号時のバイアス電流が0 Aになるような動作です。各トランジスタの出力電流は1/2周期の間ゼロになります。

バイアス電圧 V_{B3} が加えられていますが、その値は0.3～0.4 V程度しかないため、無信号時のバイアス電流が0 Aになるような動作です。各トランジスタの出力電流は1/2周期の間ゼロになります。

この動作は無信号時の無効電流が流れないので、一見効率が良さそうですが、出力信号が0 V付近を通過するとき、上下のトランジスタがOFFするので、**大きなひずみ(クロスオーバーひずみという)が発生します。**

▶ AB級 [図3(c)]

A級の低ひずみ特性とB級の高効率特性を両立させるために、**無信号時のバイアス電流を少し(25 m～50 mA程度)だけ流す方式**です。0.6 V程度のバイアス電圧をベース-エミッタ間に加えます。このようにすることで、入力信号が0 Vでもコレクタ電流が流れます。

入力信号が0 V以上に上昇すると、 Tr_1 のコレクタ電流が増大して、 Tr_2 が徐々にOFFします。逆に、

入力信号が0 V以下になると、 Tr_2 のコレクタ電流が増大して、 Tr_1 は徐々にOFFします。

負荷に流れる電流は、上下の出力電流を合成したものです。B級ほどではありませんが、クロスオーバーひずみが出ます。また**A級に比べて、無信号時の発熱は各段に少なくなります。**ただし、出力に伴う発熱はまだまだ小さくありません。AB級のパワー・アンプ(p.129)では、やはり大きなヒートシンクが必要です。

▶ D級 [図3(d)]

出力段のトランジスタがON/OFFスイッチのように動作します。パルス状の入力信号がベースに加えられる、出力電流は0 Aから最大値(V_{CC}/R_L)まで増減します。

スイッチON時は最大電流がトランジスタを通過しますが、このときのコレクタ-エミッタ間の抵抗値はとて小さく、原理的に損失はゼロです。スイッチOFF時は、電流が流れませんから、やはり損失はゼロです。

このように、**D級出力段は損失がとて小さいという特徴があります。デジタル・アンプは、このタイプの出力段を採用して、高効率を実現しています。**