

第 1 章

オーディオ用増幅回路

見
本

Walt Jung / 訳：石井 聡

オーディオ信号用のプリアンプ(preamplifier ; 前置増幅器)は、現代の IC を使ったオーディオ回路において、比較的低レベルの信号を扱うものだといえます。一般に、10 mV 以下の信号レベルを増幅するアンプはプリアンプに属するといえます。この章の前半では、以下に示すような基本的なオーディオ用プリアンプについて説明していきます。

マイクロホン：ダイナミック型、エレクトレット型*1、ファントム給電型*2などのマイクロホン用のプリアンプ。トランス結合入力回路を使用しており、両電源または単一電源で動作する

フォノ・カートリッジ：MM(Moving Magnet)型と MC(Moving Coil)型のフォノ・カートリッジ用のプリアンプ。いろいろな回路方式が用いられており、この章では応答特性について詳細な解析/検討を行う

一般に 1 mV 程度まで低下したレベルの信号を取り扱う場合、良好な SN 比(Signal-to-Noise Ratio ; SNR)と広いダイナミック・レンジを実現するうえでのキーポイントは、システム内において一番最初に増幅作用を行う増幅段、すなわち初段で発生する入力ノイズになります。たとえば、入力初段の回路内部で発生するノイズが 1 μ V で、入力信号電圧が 1 mV であるならば、SN 比は最良でも 60 dB までにしかありません。

通常、実使用状態では入力電圧レベルと信号源インピーダンスの両方が決まっていま

* 1 : 【訳注】electret . electricity + magnet から造られた造語。永久的に電荷が充電されたままになっている材料をこう呼ぶ。

* 2 : 【訳注】phantom powered . phantom は「幻影」などの意。マイクの音響信号伝送用リード線に電源電圧を重ねさせる方式。電源として特に線を用意するわけでもないのので、こう呼ぶ。

す。そのため、最良のSN比を実現するためには、想定される信号源が接続されて動作しているときに、初段の増幅回路において発生する入力換算ノイズを最小にする必要があります。これはプリアンプの設計を複雑にする決定的な要因です。低インピーダンスにおけるロー・ノイズ回路と高インピーダンスにおけるロー・ノイズ回路とでは、動作が大きく異なってくるからです。

適切に増幅器の入力ノイズを最小化するためには、全ノイズに影響を与える、多岐にわたるすべての要因を完全に理解することが必要です。これはデバイス自体、さらには増幅回路に使われている周辺回路も含まれます。実際問題として、ノイズを最小化し、ダイナミック・レンジと忠実度を最大化するという点において、回路を取り巻くすべての要素を考慮することが必要です。

回路設計においてさらに難しい点は、基本的なゲインや信号レベルのスケーリング機能を実現するのみならず、信号の周波数特性も目的とする伝達関数にマッチするように設定する必要があるということでしょう。

マイクロホン用プリアンプは、広い帯域にわたる平坦な周波数特性とロー・ノイズが要求される増幅回路の典型例といえるでしょう。これとは対照的にレコード・カートリッジ用プリアンプは、信号を増幅(スケーリング)するだけでなく、その回路に必要とされる規定の周波数応答特性を実現することが必要です。この章の第2節で説明するRIAAフォノ・プリアンプ回路設計の主要なポイントは、「理路整然とした解析手法」です。これを理解することにより、部品や定数を理論的に選定でき、最適な周波数応答特性を実現できます。また、非常に精密な回路機能を実現可能にし、計算機ベースの設計値(シミュレーション)と実測値との高い相関性を維持できます。

1-1 マイクロホン用プリアンプ

マイクロホン用プリアンプ(マイク・プリアンプ)は、低いレベルのオーディオ信号の増幅という基本的機能が要求されます。レベルが非常に広い範囲にわたる可能性のある信号、さらにマイクロホンの種類とそれらのインピーダンスなどを考慮した場合、マイク・プリアンプはいろいろな回路方式を想定することができます。これらの要素は、それぞれ個別の用途に対する回路の最適化に大きな影響をもちます。

この節では、高インピーダンス/低インピーダンスそれぞれのマイクロホンが接続されるマイク・プリアンプ、およびファントム給電の有無、またトランス入力段をもつものなどについて説明していきます。

● シングルエンド入力で単一電源の高インピーダンス・マイク用プリアンプ

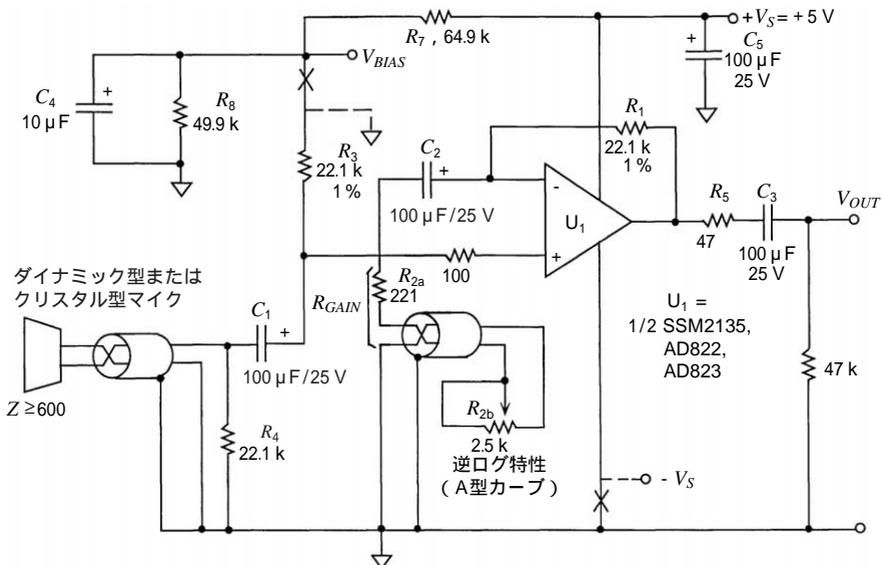
図1-1に非常に単純化したマイク・プリアンプ回路を示します。この回路は、シングルエンド入力をもつ非反転増幅回路の構成になっており、ダイナミック型や圧電型(クリスタル型)マイクなどの出力インピーダンスの高いマイクロホンへの用途に適しています。図に示すように、 R_{GAIN} によってゲインが20～40 dBの間で可変でき、600以上の信号源インピーダンスのオーディオ信号源(マイクロホン)に使うことができます。

OPアンプ U_1 が回路全体の性能に大きく影響を与えます。ひとつは増幅動作という基本的な点、もうひとつはここで示しているように単一電源動作への適応性という点です。ノイズ性能という観点からすれば、 U_1 は500以上の信号源に対して低い入力換算ノイズ・レベルでなければなりません。またこの場合、マイクロホンの信号源インピーダンスが全体のインピーダンスの支配項となるように外部回路の定数を決定しなければなりません。

5Vの供給電源電圧で非常にロー・ノイズな性能を示すものは、かなり少ない種類のデバイスに絞られてしまいます。2回路入りのSSM2135か、OP213、AD822/AD823が候補といえ、これらが設計段階最初のデバイス選定での推奨アイテムです。

ロー・パワーで消費電流の少ないデバイスとしては、たとえばAD8541が挙げられるでしょう。トータルの供給電圧が10V以上の場合であれば、そのほかの多くのロー・ノイ

図1-1 シングルエンド入力/単一電源のマイク・プリアンプ



ズのデバイス(たとえば OP275, OP270/470)がこの回路で有効に使えるでしょう。また後述するように、この回路は両電源供給の場合にも簡単に応用することができます。

この回路では、ゲインを設定する抵抗 R_1 と R_2 の並列接続値(ここで $R_2 = R_{2a} + R_{2b} = R_{GAIN}$)が、想定される信号源インピーダンス(この場合は 1 k 以下)よりも低くなるようにします。このことで、高いゲインのときでもゲイン設定抵抗による入力換算ノイズへの影響を最小にできます。前述したように、回路のゲインは抵抗 R_{GAIN} を経由した帰還経路により調整できます。

システムとしての観点からすれば、ここで示したケースのように、マイクロホンやその他の低レベル信号ラインの信号レベル・コントロールは、前段でいくらかゲインをもたせたいうで、後段で行ったほうがよいといえます。そのために、 R_{GAIN} を固定抵抗とすることも可能です。

単一電源動作のため、入出力との結合は極性のあるコンデンサが使えます。ここでは C_1, C_2, C_3 です。 C_4 はノイズ・フィルタで、 C_5 はバイパス用です。回路において最小のノイズ・レベルを実現するため、増幅器のバイパス回路によるノイズが発生しないようにする必要があります。バイパス回路から直接的/間接的に加わってしまうノイズから逃れるためです[参考文献(1)を参照]。

DC 電流が流れる抵抗には、低ノイズ*³ 特性の皮膜型抵抗を使うか、AC バイパスする必要があります。ここでは、 $R_1, R_2, R_3, R_4, R_7, R_8$ に金属皮膜型のもを使い、 R_7 と R_8 は AC バイパスしています。 R_7 - R_8 から供給される 2.2 V のバイパス電圧により、 U_1 の出力を電源電圧のほぼ中点になるように設定しています。

もし、より高い電源電圧が使われる場合には、使用する OP アンプで最大振幅が取り出せるように R_7 - R_8 を調整するとよいでしょう。また、低バイパス電流のレール・ツー・レール出力の OP アンプを使う場合は、 R_7 と R_8 は同じ値の高抵抗(100 k 以上)にすることが適切です。

インピーダンスの低い信号源で動作させる場合は、 U_1 には OP213 か SSM2135 が適しています。AD82x ファミリ(もしくは選別された CMOS 品)などの FET 入力タイプは、高インピーダンス信号源、たとえばクリスタル・マイクやセラミック・マイクに対して適しています。この要件に対応するために、 R_3 と R_4 は 1 M 以上、 C_1 は $0.1\text{ }\mu\text{F}$ のフィルム・コンデンサとしなくてはなりません。

OP213 か SSM2135 を使った場合の周波数帯域幅は、ゲインが最大のときに約 30 kHz です。AD822 か AD820 を使った場合、同様の条件下では、帯域幅は約 20 kHz です。歪みとノイズ特性は、OP アンプ U_1 と信号源インピーダンスに依存します。入力をショー

* 3 : 【訳注】原著では excess noise と説明している。これは過剰ノイズとも呼び、 $1/f$ ノイズとなる。