

オーディオ用パワーアンプの試作（出力段の L, R, C 回路）

今回は、パワーアンプ（以後“アンプ”と記載します）の出力部にある LR 並列回路と RC 直列回路について検討します。

アンプの回路図は図 1 ですが、この中の R10, L1, R11, C10 について検討します。

どちらも、アンプの安定度を高める等の表現を見かけたりしますが、どうもすっきりした説明を見かけません。

通常アンプを評価する場合、各種特性取得時には負荷として抵抗器を使用します。

ところが、スピーカーは抵抗器ではなく大雑把に抵抗器とコイルが直列に接続されたインピーダンス特性を有しています。この時にアンプがどのような挙動をするのかは、概ね大丈夫だと設計者は思っていますが、やや心配も残ります。

この心配を解決するのが、R-C の直列回路であり、L-R 並列回路です。

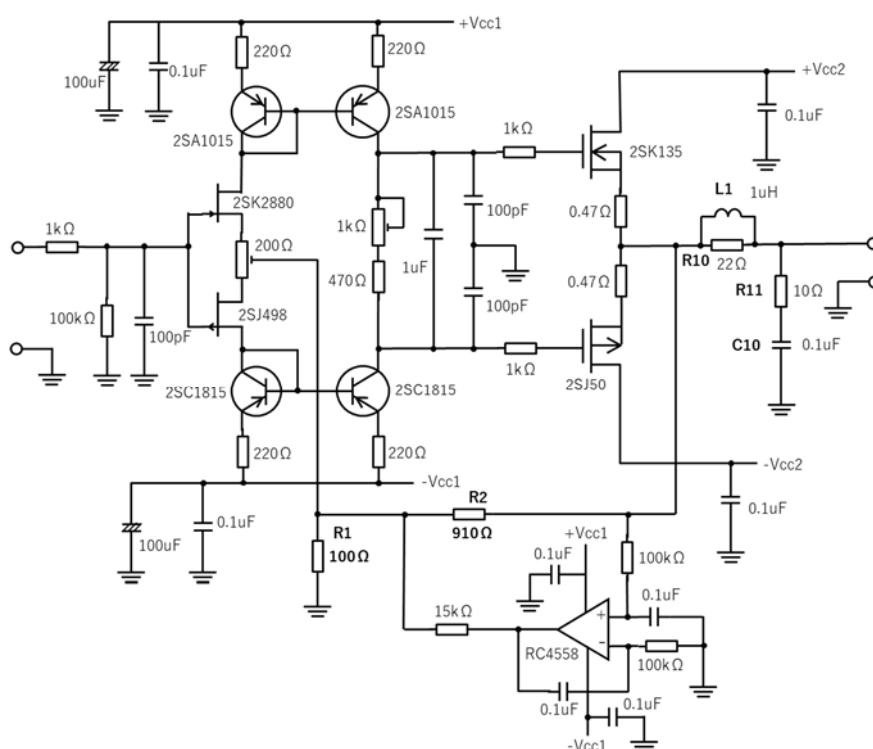


図 1. 試作アンプ回路図

●RC 直列回路について

ほとんどのスピーカーはボイスコイルを駆動するタイプなので、低域ではほぼ直流抵抗値（≒定格インピーダンス）となりますが、高域ではコイルのインダクタンス成分によりインピーダンスが高くなります。

アンプが安定に動作するためには、アンプの負荷としてはなるべく抵抗負荷でかつ定格に対して大きく異なることが無いのが望ましいです。

上記のようにスピーカーのインピーダンスは高域で大きくなるので、そのための補償回路が必要と考えられます。

凄く簡略化したスピーカーのインピーダンス特性は、概ね図2のようになります。

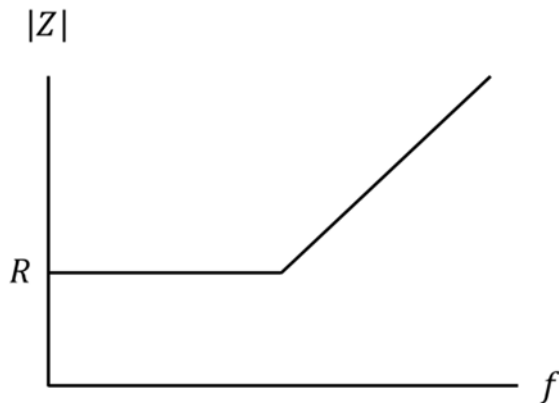


図2. スピーカーのインピーダンス特性

ということは、図3の特性をもつ回路をスピーカーに並列に接続すれば、ほぼ一定抵抗を実現できそうです。

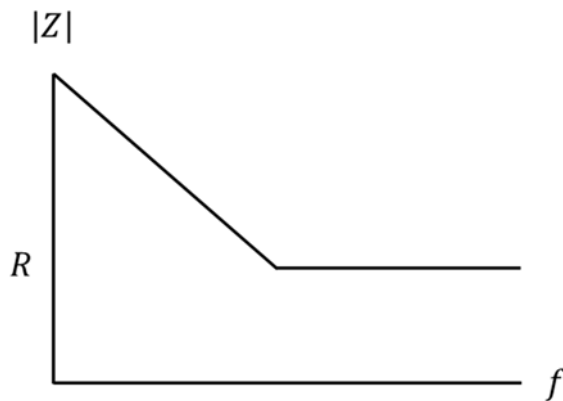


図3. 補償回路に必要とされるインピーダンス特性

図3の特性は、スピーカーの定格インピーダンスとほぼ同じ抵抗と、ある値を有するコンデンサを直列接続して実現できそうです。

次は、スピーカーの等価回路と補償回路を並列に接続した回路のインピーダンスが、Rとなる条件が本当に存在するのかが気になります。(図4参照)

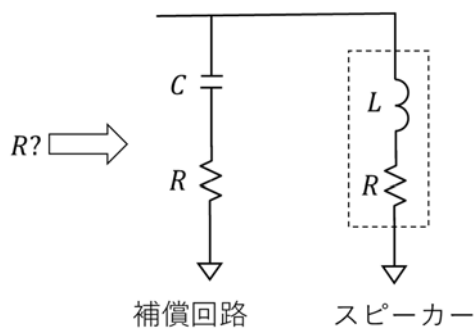


図4. スピーカーの等価回路と補償回路

実は、その条件は以下のように存在します。

$$C = \frac{L}{R^2}$$

次に具体的な定数を決めてゆきます。

自宅のスピーカーのインピーダンス特性を Digilent 社の Analog Discovery2 で 100Hz～10MHz の周波数で測定した結果は図5のようになりました。

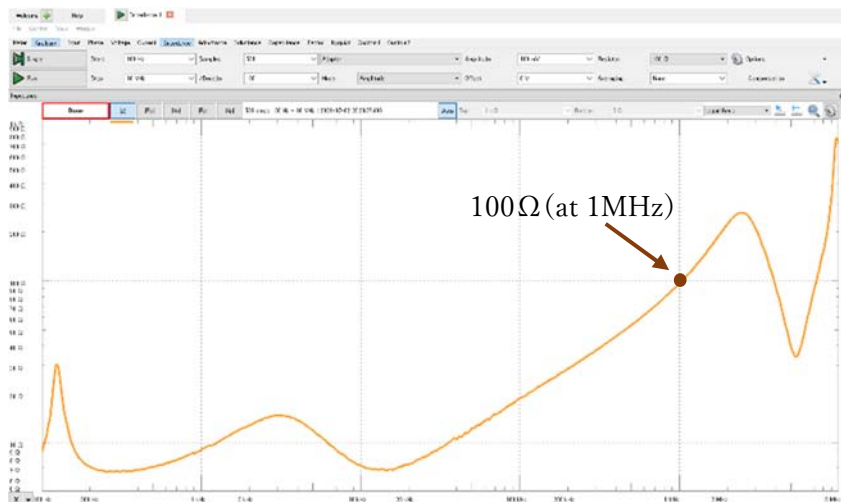


図5. スピーカーのインピーダンス特性例

きれいな LR 直列接続のインピーダンス特性とは言えませんが、概ね 1MHz で約 100Ωなので、 $L=16\mu\text{H}$ となります。(1MHz 以上の特性の乱れはここでは無視します。)

このスピーカーの定格は 6Ω なので $R=6\Omega$ とすると、 $C=16\mu\text{H}/(6*6)=0.44\mu\text{F}$ となります。実際は、スピーカーのインピーダンスは概ね似たような特性ですが、細かく見ると異なっており、またアンプは負荷が大きく変化しなければ安定なので、補償は少し控えめ (=補償回路の C は小さめで、R はやや大きめ) にするのが無難だと思います。

実はあとで知りましたが、今回の検討結果は、“定抵抗回路”に関するもので、“定抵抗回路”に関しては私の調べた数冊の電気回路のテキストのすべてに説明がありましたので、常識的な内容なのかもしれません。

●LR 並列回路について

回路図中の R10 と L1 の並列接続に関しては、アンプの安定性を確保するためという定性的な説明以外に見たことがありません。

以下では、私なりの考察になりますので、間違っているかもしれないことをご承知おきください。

自宅のスピーカーのインピーダンス特性を図5に示しましたが、そのうちの抵抗成分を図6に示します。

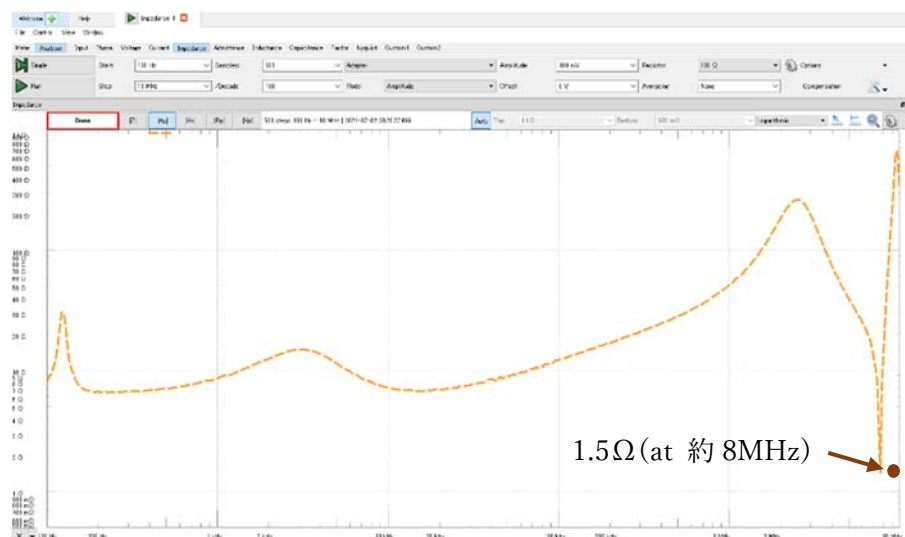


図6. スピーカーのインピーダンス特性と抵抗特性

図6の周波数8MHz 辺りで抵抗値が1.5Ωになっていますが、一般的に負荷の抵抗成分が小さくなるとアンプが不安定になりやすいと、私は思っています。

L1 と R10 の並列回路がスピーカーとの間に接続されていれば、8MHz だと概ね R10 が支配的なので、1.5Ωに R10 が直列に接続される形になり、R10 に適切な値を使用すれば安定性は大丈夫かと思えます。

なお、無線と実験の1985年4月号215頁には、L1は0.5~5μH、R10は10Ω程度、C10は0.033~0.22μF、R11は4.7~10Ωとの記載があります。

次に L1 の影響について考えてみます。

典型的な値として、 $L1=1\mu\text{H}$ とすると、インピーダンスは DC ではほぼ $0\ \Omega$ で、 20kHz では $0.12\ \Omega$ となり音声帯域ではほぼショートとみなしても大丈夫そうです。

ところで、雑誌の記事をいろいろ拝見したところ、C-R 直列回路を挿入する位置は、L-R 並列回路の前の場合もあれば後ろの場合もあることです。

実際どちらが良いのかという疑問が出てきますが、ここでは具体的に $L1=1\mu\text{H}$ 、 $R10=10\ \Omega$ 、 $C=0.1\mu\text{F}$ 、 $R11=10\ \Omega$ で考えてみます。

L1 のインピーダンスが $10\ \Omega$ となる周波数は、約 1.6MHz で、C10 のインピーダンスが $10\ \Omega$ となる周波数は約 160kHz となります。

160kHz では、L1 のインピーダンスは約 $1\ \Omega$ となり、 $10\ \Omega$ に対して十分に低いので、C-R 直列回路を L-R 並列回路のどちら側に付けても大きな違いは無いだろうという結論になります。

なお、今回のアンプ (図 1) で $R10=22\ \Omega$ としている理由は、たまたま $10\ \Omega$ の抵抗が無かったので $22\ \Omega$ で代用しただけです。通常、この程度の違いは問題にならないと判断しました。

〈松垣佳克〉