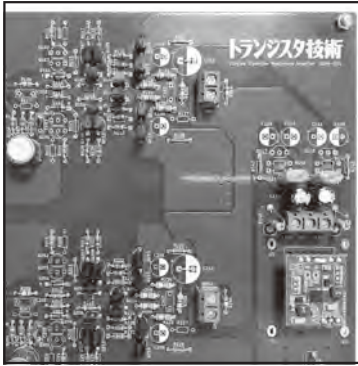


# 連載



無料LTspice/KiCad/Fusion 360 フル回転で  
プロ並みDIYに挑戦!

## 製作! 電流アシスト付き 超低ひずみヘッドホン・アンプ

第4回 なじみのうすい電流帰還アンプの  
挙動を実験で確かめる

吉田 誠 Makoto Yoshida

- ①回路の考察とイメージ
- ②LTspiceで動作を確認
- ③部品選定
- ④KiCadで基板パターン作成
- ⑤Fusion 360で構造を検討
- ⑥製作

今回はココ!

図1 「超低ひずみヘッドホン・アンプ」製作…6つのステップ

本連載では、電流アシスト付きの超低ひずみヘッドホン・アンプの設計や製作方法を紹介しています。裏テーマは、無料のCADやシミュレータを活用して、回路動作の考察と回路設計、基板設計、機構構造検討まで一気通貫で行うDIYです(図1)。〈編集部〉

今回製作したアンプは、電圧帰還アンプと電流帰還アンプの特徴を併せもっています。ここでは、あまり触れる機会がない電流帰還アンプの挙動を確認します。ループ・ゲイン $A(s)\beta$ の変化のようすをLTspiceでシミュレーションするとともに、実際に簡単な電流帰還アンプを製作し、実測して確認します(写真1)。

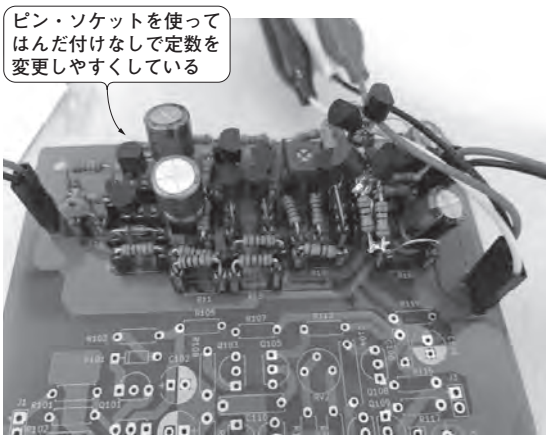


写真1なじみのうすい電流帰還アンプの挙動を実験で確かめるために製作した電流帰還ヘッドホン・アンプ  
部品定数を変更しやすいようにディスクリート部品を使った

### 「電圧」帰還アンプと「電流」帰還アンプの違いをおさえる

● 電圧帰還アンプのループ・ゲイン $G_L$ は帰還率 $\beta$ に依存する

電圧帰還アンプと電流帰還アンプの動作原理を図2に示します。

電圧帰還アンプのゲインを求める式はOPアンプの学習で目にしたことがあるかもしれません。

図2(a)の増幅回路は $V^+$ と $V^-$ の電圧の差分を増幅して出力される回路となっており、差動増幅回路により増幅された電圧が、バッファ回路通して出力され、帰還抵抗 $R_a$ 、 $R_b$ で出力電圧が分圧され $V^-$ 端子に帰還されています。このとき $V^+$ と $V^-$ ともに入力インピーダンスは高く、電流はほとんど流れ込みませんので帰還信号は電圧の信号として帰還されています。これらの信号を用いてアンプは絶えず $V^+$ と $V^-$ の電圧の差分を増幅して出力しています。

アンプのゲイン $A(s)$ はオープン・ループ・ゲインともいい、帰還をかけていないときの裸の増幅度です。周波数特性をもっているため図ではラプラス変換の記号を使って $A(s)$ と表しています。

仕上がりゲイン $G$ は出力信号と入力信号の比率で、帰還量 $\beta$ を $\beta = R_a / (R_a + R_b)$ とすると次式のように表せます。

$$G = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{A(s)}{1 + A(s)\beta} \dots\dots\dots (1)$$

負帰還ループを一巡したときのゲインであるループ・ゲイン $G_L$ は次式の通りで、電圧帰還アンプでは特別な場合を除いて基本的には外付けの定数では $A(s)$ はほとんど変化ないと考えてよいです。

$$G_L = A(s)\beta \dots\dots\dots (2)$$

よってループ・ゲインは $\beta$ が同じであれば、比率を決める抵抗値の絶対値には依存しないことになります。例えば $R_a = 1\text{ k}\Omega$ 、 $R_b = 1\text{ k}\Omega$ や、 $R_a = 10\text{ k}\Omega$ 、 $R_b = 10\text{ k}\Omega$ では $\beta$ はどちらも同じなのでループ・ゲイン $G_L$ も同じになります。