

高周波センスによるアナログ設計

12 高周波増幅回路の負帰還技術

広畑 敦
Atsushi Hirohata

オーディオやPLL回路で何かと話題になる負帰還技術は、高周波増幅回路においてもとても重要です。そこで今回は、高周波増幅回路ならではの負帰還の効果とそのテクニックを紹介します。高周波では、ゲイン・コントロールだけでなく、周波数特性の改善や入力インピーダンスの制御などに応用されています。

● 高周波増幅回路における負帰還の目的

高周波では、低周波の負帰還とは違い、増幅された出力信号自身やフィードバック・ループなどにリアクタンス成分を含んでいるため、位相の管理が容易ではありません。そのため、**出力信号のひずみ改善を目的とすることはあまりありません。**

高周波における負帰還の目的と利点をまとめると次のようになります。

- ゲインのコントロール
- 周波数特性の改善
- 入出力のインピーダンスの制御

入出力インピーダンスが広帯域にわたって一定になれば、前後の回路やフィルタとの整合が容易になり、

安定動作や周波数特性の改善につながります。

負帰還によるインピーダンス制御

■ 負帰還の方法と入出力インピーダンスの変化

負帰還は、出力側から信号を取り出して、入力側へ帰還する技術です。

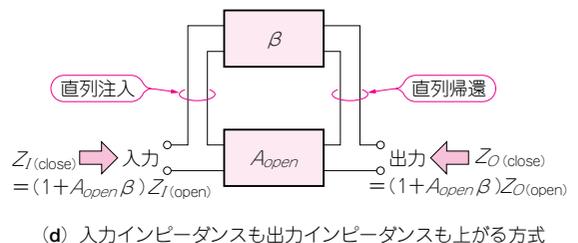
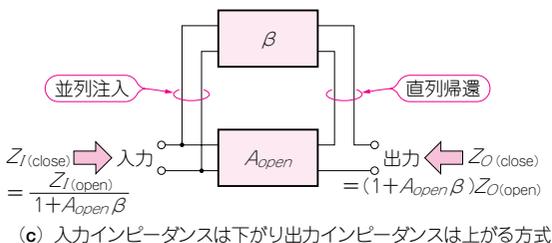
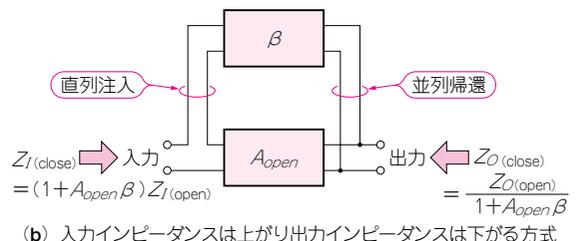
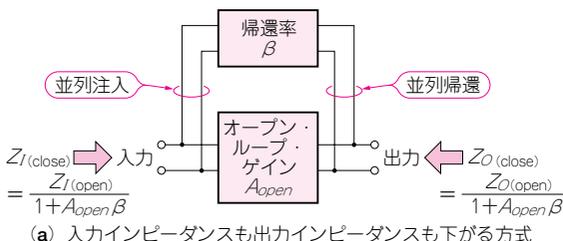
負帰還の方法には、図12-1に示すようにいくつかの方法があり、それぞれ入力インピーダンスと出力インピーダンスに与える影響が異なります。

図12-1から各負帰還回路の形式と入出力インピーダンスの関係をまとめると次のようになります。

▶ 並列に取り出すと出力インピーダンスが下がる

図12-1(a)と(b)に示すように、出力信号を並列に取り出して帰還すると、出力端子の電圧が一定になるように制御されて、出力インピーダンスの低い定電圧出力回路になります。

〈図12-1〉 負帰還の方式と入出力インピーダンスの変化



▶直列に取り出すと出力インピーダンスが上がる

図12-1(c)と(d)に示すように、出力信号を直列に取り出して帰還すると、出力端子の電流が一定になるように制御されて、出力インピーダンスの高い定電流出力回路になります。

▶並列に注入すると入力インピーダンスが下がる

図12-1(a)と(c)に示すように、入力に帰還信号を並列に注入すると、入力端子の電圧が一定になるように制御されて、入力インピーダンスが下がります。

▶直列に注入すると入力インピーダンスが上がる

図12-1(b)と(d)に示すように、入力に帰還信号を直列に注入すると、入力端子の電圧が一定になるように制御されて、入力インピーダンスが下がります。

■ 50Ω入出力の広帯域増幅回路の設計

● 回路の概要

広帯域にわたって、入出力インピーダンスが50Ω一定の負帰還増幅回路を設計してみましょう。

設計した増幅回路の前後に、インピーダンスが50Ω一定の回路や伝送線路を接続すれば、広帯域でゲインが一定のゲイン・ブロックを実現できます。

図12-2に示すのは、電流帰還と電圧帰還の二つの負帰還を使って、入力と出力のインピーダンスを50Ω一定に制御した広帯域増幅回路です。この増幅回路は、増幅素子のトランジション周波数 f_T より十分低い周波数(通常1/10以下)において、ゲインが一定になります。

ポイントになる部品は、 R_E 、 R_F と L_1 の1次側と2次側の巻き数比 N です。 R_E を追加していったん入力インピーダンスを上昇させ、次に R_E 、 R_F 、 N での負帰還量を調整して、入力と出力インピーダンスを50Ωに設定します。では、一つずつ見ていきましょう。

● R_E による電流負帰還で入力インピーダンスを上げる

増幅回路のオープン・ループ・ゲインが高ければ、図12-1に示した負帰還回路の中から適切なものを組み合わせることによって、入力インピーダンスや出力インピーダンスを上げたり下げたりすることができます。

図12-2に示すエミッタ抵抗 R_E の効果について考えてみます。

図12-3にコレクタ共通回路を示します。交流電流の流れるルートも書き入れました。

直領域では R_3 、 R_1 、 R_2 、 R_4 などによるさまざまな直流帰還がかかっています。

交流では、 C_3 によってコレクタがグラウンドと等価になっているため、 R_4 による帰還はありません。

R_1 と R_2 はトランジスタ素子 Tr_1 の入力インピーダンス Z_{ina} と並列に接続されます。

図12-3に示すように、 R_3 は入力と出力の電流ループに対して直列に入ります。これは、図12-1(d)に示す直列帰還直列注入タイプの負帰還回路に相当します。

この回路の Tr_1 のベースから見た入力インピーダンス Z_{ina} はおおむね次式で表されます。

$$Z_{ina} \approx (1 + h_{fe}) R_E \dots\dots\dots (12-1)$$

ただし、 h_{fe} ：トランジスタの電流増幅率

実際には、トランジスタ素子のエミッタ部の抵抗 r_e も考慮します。 r_e は次式で表されます。

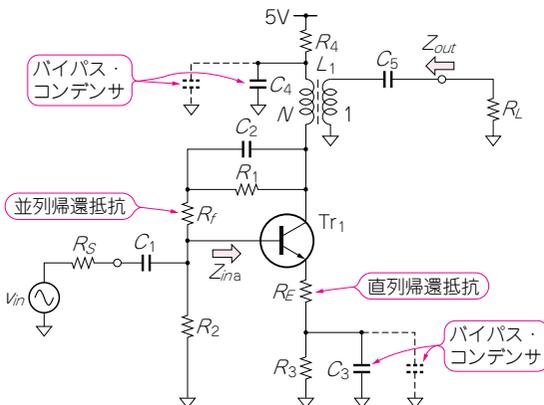
$$r_e = \frac{26}{I_E} \dots\dots\dots (12-2)$$

ただし、 I_E ：エミッタ電流[mA]

つまり、 Z_{ina} は次式で表されます。

$$Z_{ina} = (1 + h_{fe})(R_E + r_e) \\ = (1 + h_{fe})(R_E + 26/I_E) \dots\dots\dots (12-3)$$

〈図12-2〉 負帰還を施した広帯域増幅回路



注▶ C_3 と C_4 は扱う信号レベルや周波数によって、容量の異なるものを並列に接続する

〈図12-3〉 コレクタ共通回路のエミッタ抵抗による電流帰還

