



第11章 Analog Discoveryに信号注入アダプタを接続して1 Hz ~ 100 kHzのFRAに変身させる

負帰還回路の安定度や発振しやすさを調べる技術

遠坂 俊昭 Toshiaki Enzaka

負帰還回路のループ・ゲインと位相の周波数特性から回路の安定性を評価できます。ループ・ゲインが1倍(0dB)となる周波数での位相が180°遅れると、正帰還になって発振することはよく知られています。位相が180°まであとどのくらいかを位相余裕と呼び、一般的には60°以上必要とされています。

DC電源は、出力が設定電圧を維持するように内部で負帰還がかかっています。そのループ測定を、信号注入アダプタとAnalog Discoveryを用いて実行できます⁽¹⁾。図1と表1に実際の計測例を示します。負荷電流によらず位相余裕が60°以上あることが分かります。

本章では、負帰還ループの測定原理とDC電源のループ測定に必要なアダプタの機能を解説し、スイッチング電源の測定例を示します。〈編集部〉

負帰還ループの計測原理

基本① ループ・ゲインは裸ゲインと仕上がりゲインの比(デシベル・グラフの差)

● 非反転アンプの負帰還動作

図2(a)は負帰還の動作を調べるためのシミュレーション回路です。負帰還をかける前のOPアンプの裸ゲイン(A_0)と負帰還後の特性を比較するため、 R_2 の

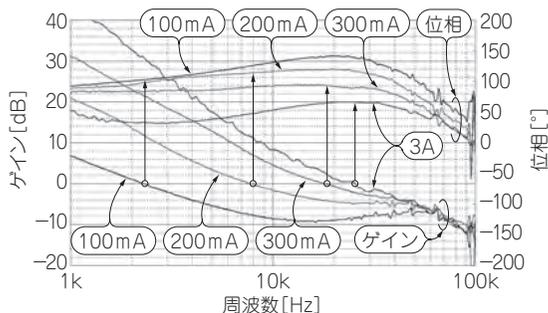


図1 Analog Discoveryと信号注入アダプタで計測したループ・ゲイン周波数特性の例
フォワード・コンバータ方式による絶縁型スイッチング電源のループ・ゲイン周波数特性

値を1 TΩと99 kΩに切り替えています。

負帰還をかけたときの仕上がりゲイン G は図2の式(1)で決まります。 R_1 が1 kΩ、 R_2 が99 kΩでは β が0.01になり、ほぼ100倍のゲインが得られます。

$1 \ll A_0 \beta$ の状態では式(1)の分母の「1+」が省略でき、負帰還をかけたときのゲインが $1/\beta$ になり β 回路でゲイン周波数特性が決まります。このため A_0 に含まれているひずみやドリフトが減少します。したがって大量の $A_0 \beta$ で負帰還がかけられれば理想的なアンプが実現できます。

基本② クロスオーバー周波数での位相の遅れが180°で発振する

● 複素平面で $A_0 \beta = -1$ はループ・ゲイン0 dBで位相が180°を意味する

A_0 や β はゲインだけでなく位相も含んだパラメータなので複素数として扱います。 $|A_0 \beta| = 1$ になった周波数で位相が180°遅れると $A_0 \beta = -1$ になり、式(1)の分母が0になって値が無限大になります。つまり回路が発振するのです。

負帰還では $|A_0 \beta| = 1$ (0 dB)になる周波数をクロスオーバー周波数と呼んでいます。したがって負帰還をかけるときにはクロスオーバー周波数で位相が180°遅れないように設計する必要があります。

基本③ 位相余裕は60°以上必要

クロスオーバー周波数で発振する180°遅れに対し、どの程度位相の余裕があるかを位相余裕と呼んでいます。通常のアンプでは、位相遅れ120°(位相余裕60°)までならゲインにピークが生じないので、これ以下の位相遅れ(位相余裕60°以上)になるよう設計します。

表1 図1のグラフから読み取ったクロスオーバー周波数と位相余裕
出力電流によらずクロスオーバー周波数での位相が60°以上あり回路は安定している

出力電流	100 mA	200 mA	300 mA	3 A
クロスオーバー周波数	2.29 kHz	7.76 kHz	17.8 kHz	25.1 kHz
位相余裕	102°	114°	94.8°	66.4°