



18 DC-DCコンバータを安定に動作させる②  
 ~シミュレーションと実測で確認する~  
 馬場 清太郎  
 Seitaro Baba

DC-DCコンバータの負帰還安定度はどのように確認したらよいのでしょうか。発振すれば不安定なことはすぐわかりますが、正常に動作しているように見える場合の安定度を今回は測定します。

前回設計した降圧型コンバータの制御回路の安定度をシミュレーションにより確認し、再設計してから実際に動作させて、負帰還安定度を測定してみます。

**安定度をシミュレーションで予想**

前回設計した位相補償についてシミュレーションを行い、無視していたESRなどのパラメータを考慮して再設計します。

● 前回設計値のシミュレーション

使用したICの内蔵エラー・アンプの出力駆動能力が $\pm 40 \mu A$ のため、前回の設計値のインピーダンスを約4倍とし、入手容易な定数に変更して、シミュレーション用に書き直した回路が図18-1です。R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>は $K_{FB}(\beta)$ が1/2ですから、それに合わせて図のように変更しています。エラー・アンプとPWMコンバータ、スイッチング部はゲインを与えた電圧源にしました。R<sub>5</sub>, R<sub>6</sub>はシミュレーションの発散防止と、後述の寄生パラメータが入れられるようにしました。

図18-1でR<sub>5</sub> = R<sub>6</sub> = 1 m $\Omega$ として、文献(1)に収録されているPSpice(OrCAD Family Release 9.2 Lite

Edition)でシミュレーションした結果が図18-2です。クロスオーバー周波数 $f_c$ は設計値に近い8.6 kHzですが、位相余裕が約32°と少し小さくなっています。

● 無視していたパラメータを入れる

位相余裕を増加させるためには、ループ・ゲインを低下させる必要があります。そのために $f_c$ を低下させて、前回と同一の手法で再設計することも可能ですが、そのまえに無視した寄生パラメータであるインダクタの巻き線抵抗(R<sub>5</sub> = 74.8 m $\Omega$ )とコンデンサのESR(R<sub>6</sub> = 48 m $\Omega$ )の実測値(図18-1中に注記)を入れてシミュレーションした結果が図18-3です。ESRがゼロ(位相戻り)を与えるため、 $f_c$ が約15 kHzと高

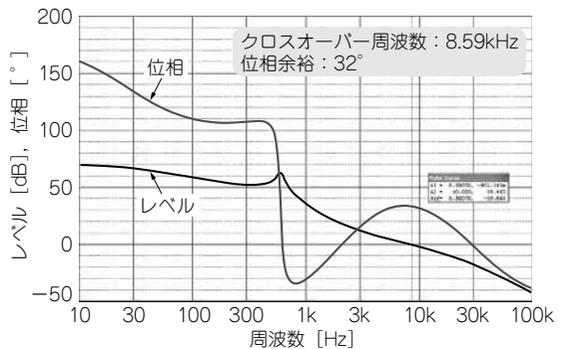


図18-2 前回の設計値のシミュレーション結果①  
 寄生パラメータなし(R<sub>5</sub> = 1 m $\Omega$ , R<sub>6</sub> = 1 m $\Omega$ )

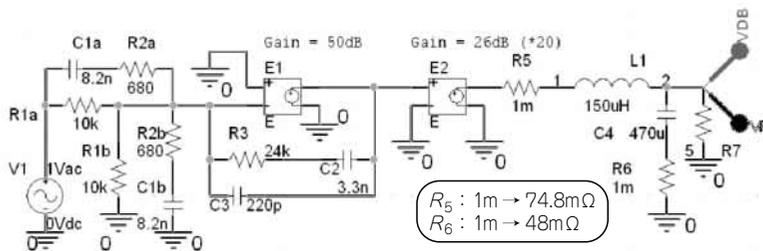


図18-1 前回の設計値における安定度をシミュレーションする回路  
 R<sub>5</sub>, R<sub>6</sub>は発散防止と寄生パラメータ挿入用

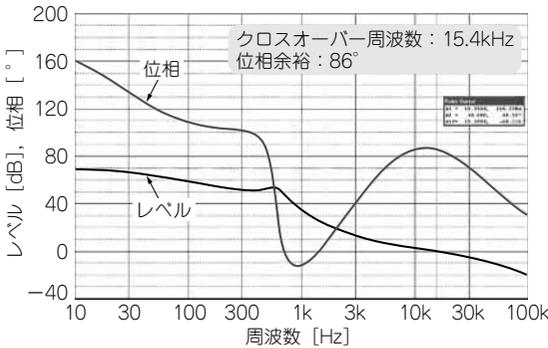


図18-3 前回設計値のシミュレーション結果②  
寄生パラメータあり ( $R_5 = 74.8 \text{ m}\Omega$ ,  $R_6 = 48 \text{ m}\Omega$ )

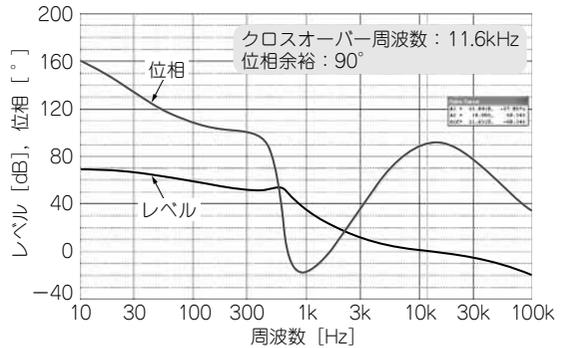


図18-5 位相補償実験回路のシミュレーション結果

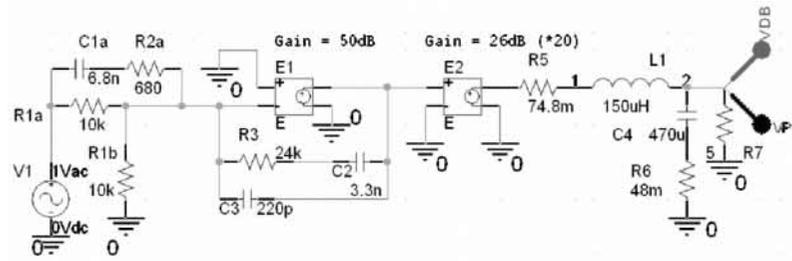


図18-4 位相補償実験回路

くなり、位相余裕は約86°と大きくなっています。

● 実験しやすいように再設計

再設計しなくてもこの定数なら十分に使用できますが、 $R_2$ ,  $C_1$ を2個ずつ使用するの面倒ですから、図18-4のように1個ずつだけにし、さらに入手しやすい定数としてコンデンサはE6系列、抵抗はE12系列にして、シミュレーションした結果が図18-5です。約90°と十分すぎる位相余裕が確保できたので、この定数で製作してみます。

ループ・ゲインの測定方法

負帰還ループを切らずにループ・ゲインを測定する方法を検討してみます。

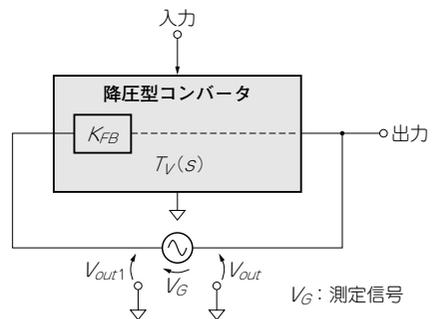
● ループ・ゲイン測定の原理

ループ・ゲインは、負帰還ループを1巡したゲインです。負帰還ループを切って測定しようとしても、大きすぎる直流ゲインが時間や温度により変動し、出力がすぐ飽和するため測定するのは困難です。

負帰還ループを切らずに出力電圧を一定にして測定するには、図18-6に示すように負帰還ループに測定信号  $V_G$  を注入して行います。注入する測定信号の内部インピーダンスをゼロにすれば、被測定回路である電源回路への影響はありません。

● ループ・ゲインの簡単な測定回路

図18-6の回路で測定する場合、絶縁された低インピーダンスの測定信号源を用意する必要があります。トランスを使用すれば回路は簡単になりますが、広帯域のトランスは高価で入手が難しいので、トランスを使わない図18-7の回路を考えました。使用OPアンプの特性は、図中の式(18-1)からわかるように、被測定ループ・ゲインには影響しませんが、負帰還ループに新たな遅れ要素を付加することになるので、安定に測定するためにはできるだけ周波数特性が良いOPアンプが望ましいです。



$$\text{ループ・ゲイン} = \frac{V_{out}}{V_{out1}} = T_V(s) \dots\dots (18-1)$$

図18-6 ループ・ゲインの測定原理  
負帰還ループを切らずに測定する