

位相マージンの測定

電源制御ループの位相マージンの測定

位相マージンは、クローズド・ループ制御システムの安定性を示す重要な指標です。位相マージンの測定は、電源システムの設計検証で行われる最も一般的な測定の1つになっています。

位相マージンとは、オープン回路の制御ループのゲインが1のときの周波数における制御ループの入出力間の位相差を指します。位相マージンの測定は、フィードバック制御ループのオープン・ループ特性を解析する目的だけではなく、クローズド・ループの構成においても非常に良く実施されています。図1のブロック図は、クローズド・ループの構成を維持したまま、位相マージンやゲイン・マージンなどのオープン・ループ特性を測定するときの一般的な方法を示しています。回路の正常な動作に干渉しない制御ループ内の箇所に小さな広がり抵抗器（この例では20Ω）が挿入されています。変圧器からは、弱い正弦波信号が入力されています。その周波数を変化させながら、オシロスコープや周波数レスポンス・アナライザを使用して電圧と位相差を測定することで、ループを1周したときのゲイン差と位相差を測定することができます。

ループ・ゲインは、チャンネル2で測定されたループの出力を、チャンネル1で測定されたループの入力で割った比率です。位相差も、ループの入出力間で直接測定されます。図2に、ループの位相

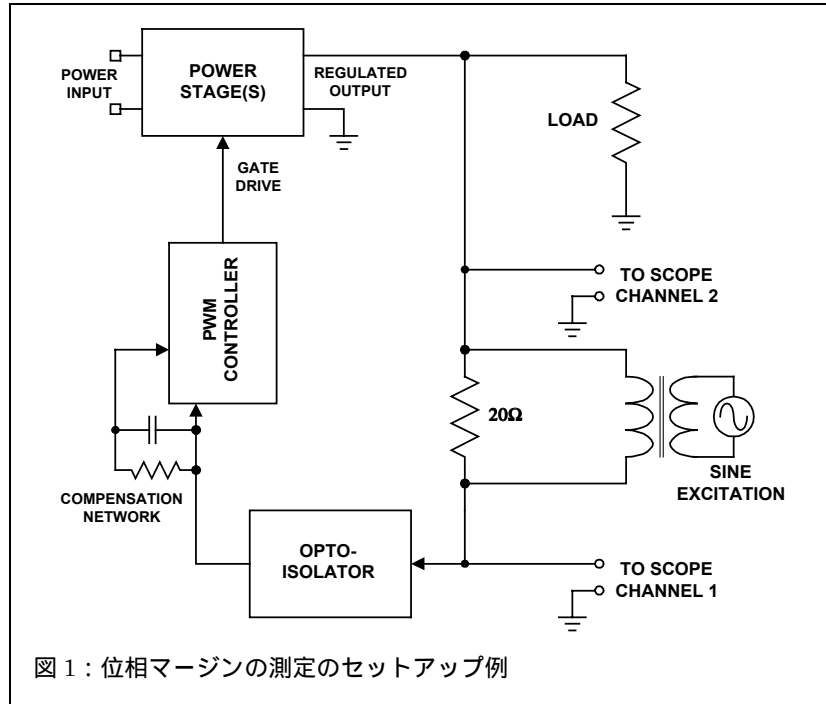


図1：位相マージンの測定のセットアップ例

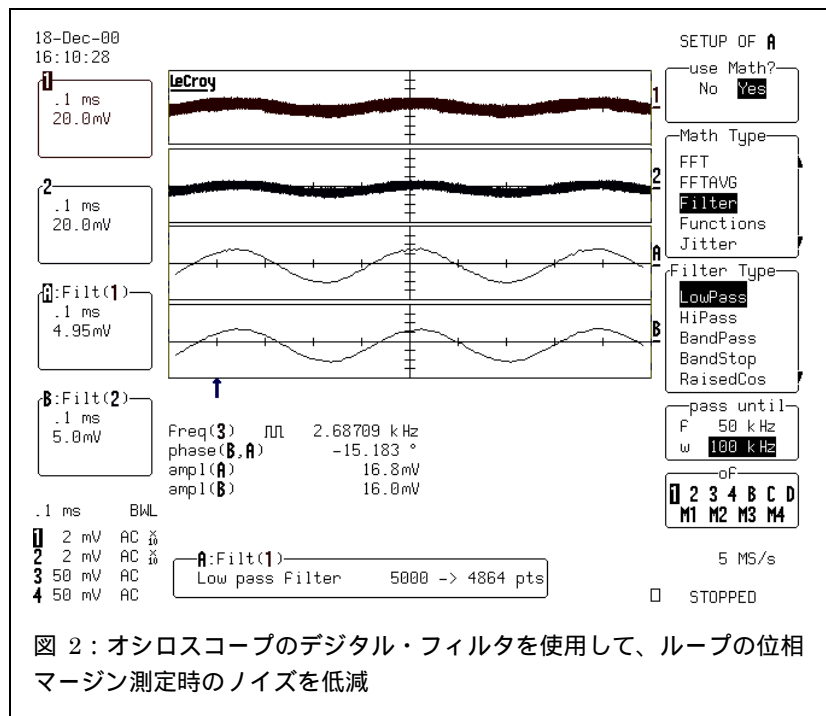


図2：オシロスコープのデジタル・フィルタを使用して、ループの位相マージン測定時のノイズを低減

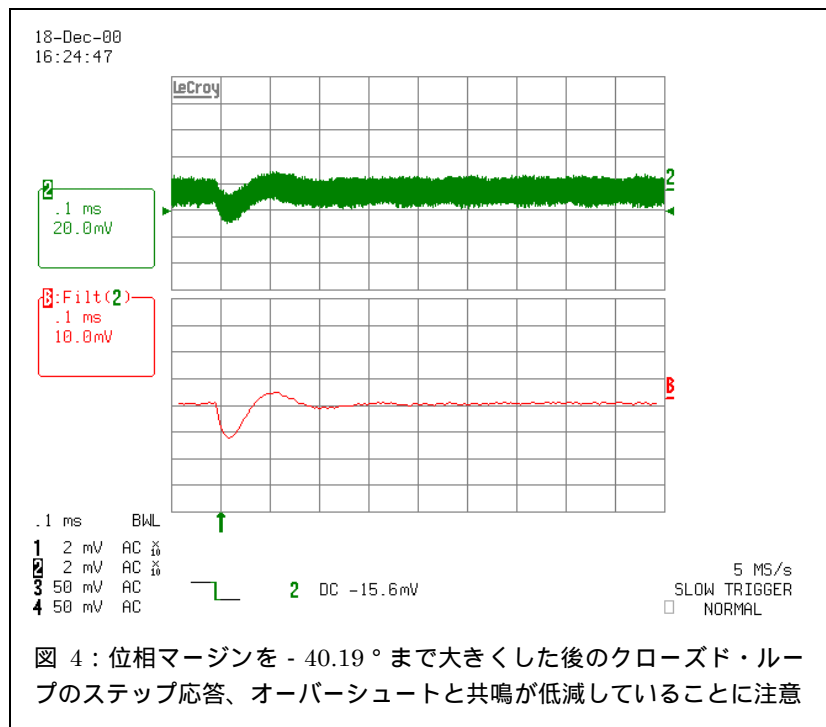
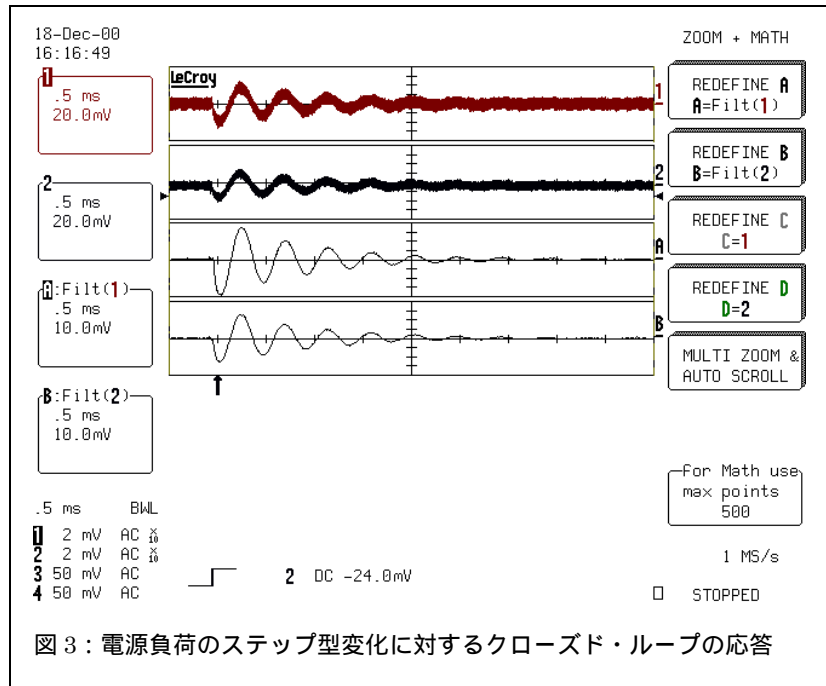
マージンの一般的な測定例を示します。入力する正弦波の周波数を、入力と出力の波形の振幅が一致する（ゲインが1になる）まで変化させます。ある周波数でゲインが1になったとき、その周波数での

位相差がループの位相マージンに相当します。この測定で一番難しいのは、電源のスイッチング・ノイズがある中で、わずかな電圧を正確に測定しなければならない点です。このノイズの影響は、正弦波の加振と同期させて平均化するか、または信号にフィルタをかけることで大幅に取り除くことができます。この例では、レクロイ社のオプションのデジタル・フィルタ・パッケージ（DFP）を使用して、測定前に信号にロー・パス・フィルタをかけています。この電源のスイッチング周波数は 400 kHz ですが、50 kHz のロー・パス・フィルタをかけることで、ノイズはほとんど完全に除去されます。ロー・パス・フィルタのブレーク・ポイントは、測定に余計な位相シフトを与えない程度の高さになっています。

正弦波の振幅と位相は、オシロスコープの振幅と位相の測定パラメータから直接読み取ることができます。入力と出力の波形は、正弦波の加振によってループがオーバードライブされていないかどうかの良い目安になります。オーバードライブされている場合は、正弦波の波形は現れません。

測定した位相マージンは、 -15.18° と非常に小さい値です。これは、負荷にステップ型の変化を与え、それに対する電源応答を見ることでさらに確かめることができます。負荷電流が 100% 変化すると、図 3 に示したように非常に強くアンダーダンプした応答になります。

この位相マージンは、PWM コントローラの補正ネットワークを



調整することで -40.19° にまで大きくすることができます。これにより、図 4 に示したように、システムはさらに安定化し、共鳴することなく良好に制御された過渡応答を得ることができます。

デジタル・フィルタと電力測定オプションを搭載したレクロイ社の Waverunner シリーズのオシロスコープを使用すれば、これらすべての測定を行うことができます。