

第6章 OPアンプ・モデルの使い分けから収束エラーの対策まで、LTspiceの能力を100%活用する

計測用高精度アンプのシミュレーション解析ノウハウ

中村 黄三 Kozo Nakamura

計測用I-V変換アンプ(トランスインピーダンス・アンプとも呼ばれる)は、CTスキャナ、PCR検査装置(測定部は分光蛍光光度計)、指尖酸素飽和度計、血液分析、クロマトグラフなど、さまざまな高精度光量測定器や分析装置に応用されています。図1に本アンプの回路構成を示します。

0.01lxクラスの光量を誤差なく測定するには、I-V変換段に使われるOPアンプの性能が重要です。入力バイアス電流は1pA、入力オフセット電圧ドリフトは1μV/°C、入力雑音電圧は1μV_{RMS}程度のOPアンプを利用するのが理想です。高精度タイプのOPアンプとして販売されていても、シミュレーション・モデルに入力バイアス電流や温度ドリフトの影響が組み込まれているとは限りません。図2に、一般的なOPアンプのシミュレーション・モデルと高精度なモデルとの入力バイアス電流対周囲温度を示します。

本稿では、光測定の基本である照度計に利用されるI-V変換アンプを例に、LTspiceの効果的なシミュレーション・テクニックを解説します。高精度なOPアンプ・モデルを利用すると、解析精度は向上しますが、収束エラーが発生する可能性があります。この対策方法も紹介します。

● 7月29日 19:00~20:00 オンライン・セミナー開催!
計測用高精度アンプのシミュレーション設計術
【講師】中村 黄三 【費用】無料(100名まで)
参加希望者は、タイトル部のQRコードにアクセスして登録を行ってください。 (編集部)

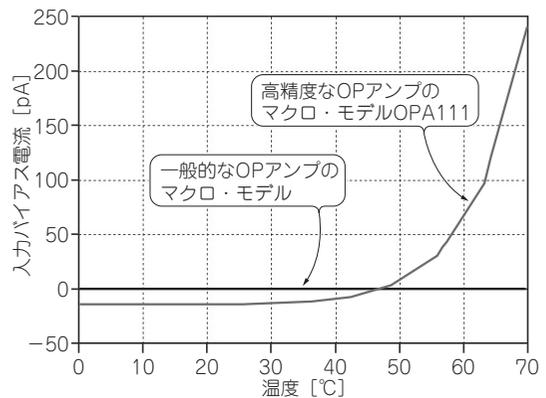


図2 高精度アンプのシミュレーションを実施するときは、誤差源となる入力バイアス電流や温度ドリフトを反映したOPアンプ・モデルを利用する

高精度なOPアンプ・モデルの I_B は、周囲温度の上昇に伴い増加する。一般的なOPアンプ・モデルは I_B が0Aになり、温度変化もないので、フォト・ダイオードの10pA程度の出力光電流を正しく測定できない

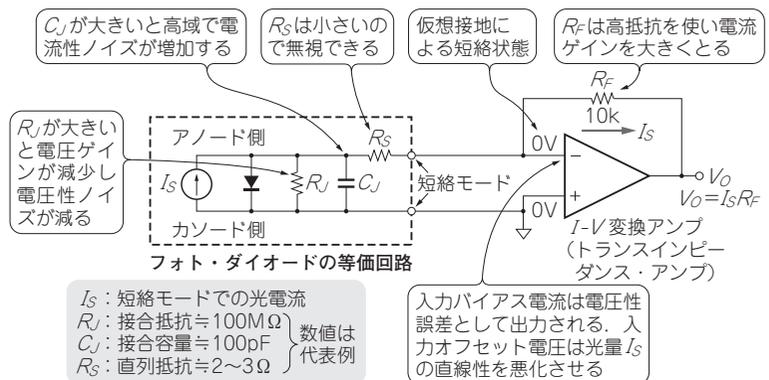


図1 高精度な光量測定器や分析装置に利用されているI-V変換アンプ

フォト・ダイオードをI-V変換アンプで受けると、出力両端がOPアンプのイマジナリ・ショートにより短絡モードで動作するので、入射光量に比例した直線性の良い光電流 I_S を取り出せる。本稿では、本アンプを例にOPアンプの選び方や、効果的なシミュレーション解析テクニックを紹介する

I_S : 短絡モードでの光電流
 R_j : 接合抵抗≒100MΩ
 C_j : 接合容量≒100pF
 R_S : 直列抵抗≒2~3Ω } 数値は代表例

入力バイアス電流は電圧性誤差として出力される。入力オフセット電圧は光量 I_S の直線性を悪化させる