

StudentZone——2020年10月 ADALM2000による実習： NMOS トランジスタで構成した カレント・ミラー

著者: Doug Mercer、コンサルティング・フェロー
Antoniu Miclaus、システム・アプリケーション・エンジニア

目的

今回は、エンハンスメント型のNMOSトランジスタを使用して構成したカレント・ミラーの動作を調べます。

背景

2020年8月のStudentZoneでは、バイポーラ・トランジスタ (BJT) を使用して構成したカレント・ミラーについて説明しました。NMOS (n型金属酸化物半導体) で構成したカレント・ミラーも、理論上はそれと同じように動作します。その基本原理は、「ゲート・ソース間電圧 V_{GS} が等しい同一のトランジスタが2つあったとき、それらのドレイン電流 I_D の値は等しい」というものです。つまり、1つ目のトランジスタM1を流れる電流が、2つ目のトランジスタM2にミラーリングされるということです。MOSトランジスタの V_{GS} と I_D の間には、以下の関係があります。

$$I_D = \frac{\mu_n C_{ox}}{2} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th})^2 (1 + \lambda V_{DS}) \quad (1)$$

ここで $\mu_n C_{ox}/2$ (= K) と λ は、プロセス技術によって決まる定数です。

「同一のトランジスタ」というのは、 W/L とプロセス技術に依存する定数の値が等しいという意味です。カレント・ミラーは、2つのトランジスタの V_{GS} が等しくなるように構成します(図1)。そのため、 I_D の値も等しくなります。NMOSのゲート端子には電流は流れ込まないので、 $I_{IN} = I_{OUT}$ となります。

準備するもの

- ▶ アクティブ・ラーニング・モジュール [[ADALM2000](#)]
- ▶ ソルダレス・ブレッドボード
- ▶ ジャンパ線
- ▶ 抵抗: $1\text{k}\Omega$ (2 個。抵抗値ができるだけ近いものか、3 桁以上のもの)

- ▶ 小信号 NMOS トランジスタ: 「ZVN2110A」 (2 個) または NMOS アレイ 「CD4007」
- ▶ デュアルオペアンプ: 「ADTL082」 など (1 個)
- ▶ デカップリング・コンデンサ: $4.7 \mu\text{F}$ (2 個)

說明

図1の回路において、入力抵抗 R_1 と出力抵抗 R_2 の値はどちらも1k Ω です。カレント・ミラーの入出力電流を正確に測定するために、 R_1 と R_2 については実際の値を必ず正確に測定してください。 I_{IN} は、W2 (ADALM2000の任意波形ジェネレータの出力) の電圧を R_1 の値で割ることにより求められます。 I_{OUT} は、オシロスコープのチャンネル2で測定された電圧を R_2 の値で割ることによって求められます。ダイオード接続されたM1は、M2のゲート端子とソース端子の間に接続されています。

図1の回路で使用しているオペアンプは、カレント・ミラーの入力ノードが仮想グラウンドになるように機能します。また、W2から出力されるステップ状の電圧を、1kΩの抵抗を流れるステップ状の電流に変換する役割を果たします。

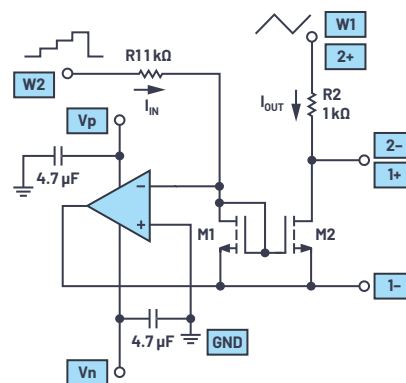


図1. NMOSで構成したカレント・ミラー

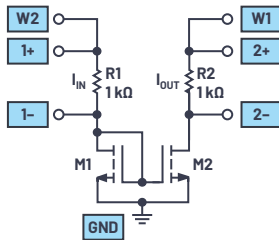


図2. シンプルな評価用回路

振幅を3Vp-p、オフセットを1.5Vに設定します。オシロスコープのチャンネル1（入力1+と1-）を使い、出力デバイスであるM2の V_{DS} を差動で測定します。カレント・ミラーの出力電流は、R2の両端に接続したオシロスコープのチャンネル2（入力2+と2-）を使って計測します。AWG1（W1）から周波数が40Hzの三角波を出力することにより、M2のドレイン電圧を掃引します。なお、図1の回路を使用する場合、オペアンプが電源 V_p （5V）と V_n （-5V）に正しく接続されていることを確認してください。

ハードウェアの設定

W2の出力電圧は、ファイルに収められたデータを基に生成します。ここでは、[stairstep.csv](#)というファイルを読み込むと共に、

手順

オシロスコープは、入力信号と出力信号の複数の周期を取得できるように設定します。図1の回路を使用している場合には、オペアンプの電源が投入されていることを確認してください。

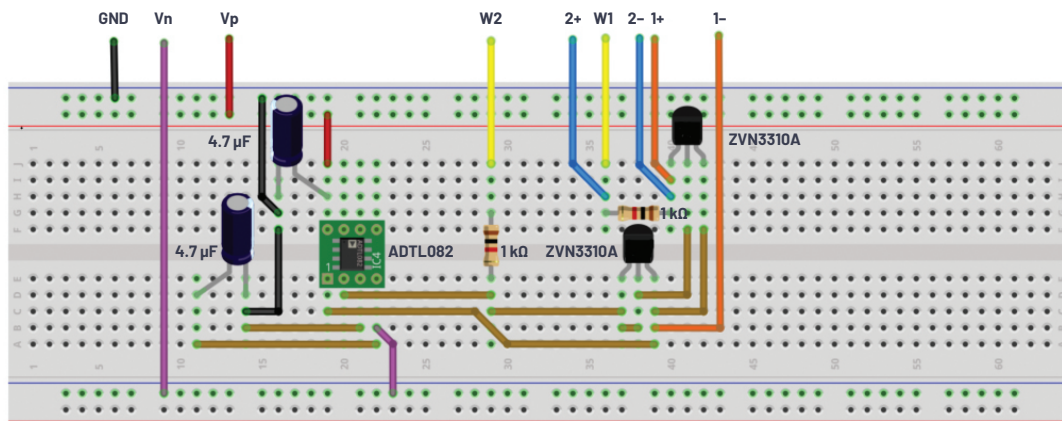


図3. 図1の回路を実装したブレッドボード

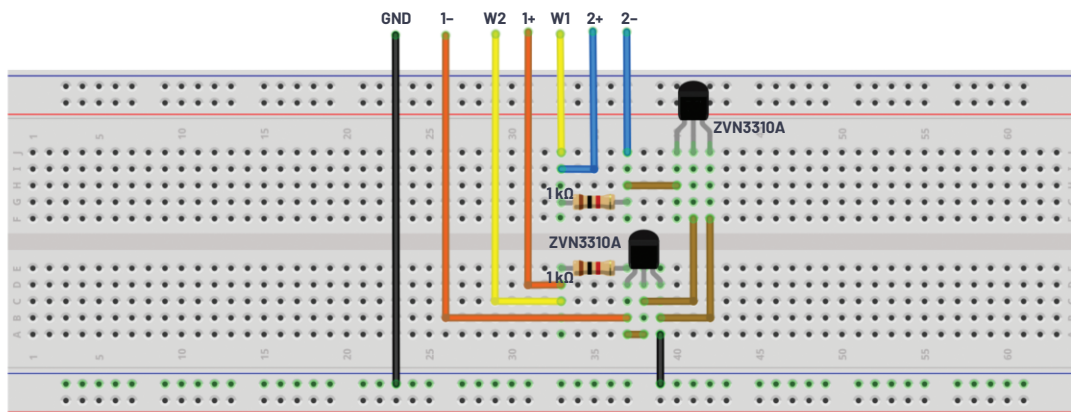


図4. 図2の回路を実装したブレッドボード

ソフトウェア・パッケージ「[Scopy](#)」を使用し、2つの波形をオシロスコープ機能によって取得してください。図5に、取得した波形の例を示します。また、LTspice[®]によって、この回路のシミュレーションを実行してみてください。



図5. Scopyで取得したカレント・ミラーの信号波形
(W2の周波数は10kHz)

次に、W1の周波数を200Hzに変更し、オシロスコープ機能によって2つの波形を取得します。この条件で、LTspiceによってシミュレーションを実行した結果を図6に示しました。

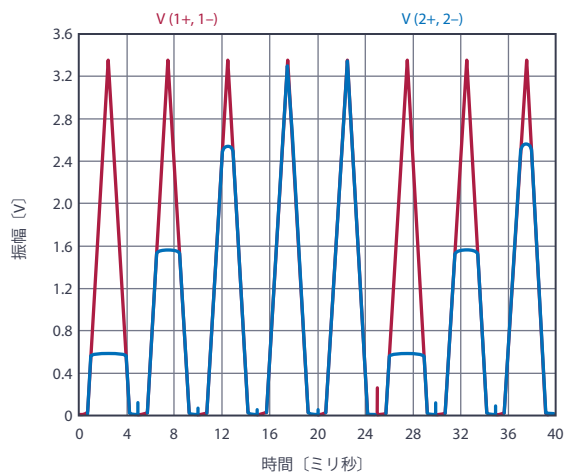


図6. LTspiceで取得したカレント・ミラーの信号波形
(W1は200Hz、W2は40Hz)

以上、今回は実験とシミュレーションによって、NMOSトランジスタで構成したカレント・ミラーの動作を確認しました。[ADALM2000](#)と[Scopy](#)の使い方ご理解いただけたでしょう。

問題

- ▶ バイポーラ・トランジスタで構成したカレント・ミラーと比較して、NMOSで構成したカレント・ミラーにはどのような長所がありますか。

答えは[StudentZone](#)で確認できます。



著者について

Doug Mercer (doug.mercer@analog.com) は、1977年にレンセラー工科大学で電気電子工学の学士号を取得しました。同年にアナログ・デバイセズに入社して以来、直接または間接的に30種以上のデータ・コンバータ製品の開発に携わりました。また、13件の特許を保有しています。1995年にはアナログ・デバイセズのフェローに任命されました。2009年にフルタイム勤務からは退きましたが、名誉フェローとして仕事を続けており、Active Learning Programにもかかわっています。2016年に、レンセラー工科大学 電気/コンピュータ/システム・エンジニアリング学部のEngineer in Residenceに指名されました。



著者について

Antoni Miclaus (antoni.miclaus@analog.com) は、アナログ・デバイセズのシステム・アプリケーション・エンジニアです。アカデミック・プログラムや、Circuits from the Lab[®]向けの組み込みソフトウェア、QAプロセス・マネジメントなどに携わっています。2017年2月から、ルーマニアのクルジュナポカで勤務しています。現在、バベシュボヨイ大学においてソフトウェア・エンジニアリングに関する修士課程にも取り組んでいます。また、クルジュナポカ技術大学で電子工学と通信工学の学士号を取得しています。