

StudentZone——2021年8月 ADALM2000による実習： トランスレジスタンス・アンプの 入力段

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、トランスレジスタンス・アンプのシンプルな入力段について検討します。

背景

トランスレジスタンス・アンプは、入力された電流量に比例する電圧を出力する回路です。半導体分野においては、トランスインピーダンス・アンプと呼ばれることもあります。回路を解析する際、トランスレジスタンス・アンプは一般的に電流制御電圧源 (CCVS: Current Controlled Voltage Source) として表現されます。

標準的なオペアンプと1個の抵抗を使えば、反転型のトランスレジスタンス・アンプを構成できます。抵抗を介してオペアンプの反転入力と出力を接続し、非反転入力はグラウンドに接続します。オペアンプの出力電圧は、反転入力に対する入力電流の量に比例します。入力電流が増加すると減少し、減少すると増加します。

2021年6月の記事「ADALM2000による実習：バイポーラ・トランジスタで構成した差動ペア」と同7月の記事「ADALM2000による実習：MOSトランジスタで構成した差動ペア」では、入力インピーダンスが比較的高い電圧差動ペアを取り上げました。それとは対照的に、今回は（電流入力を前提とするので）入力インピーダンスが本質的に低い交流差動入力回路について検討します。なお、今回取り上げるのは基本的な回路構成です。完全なトランスレジスタンス・アンプを実現するには、より多くのゲイン段と出力ドライバ段を追加しなければならないことがあります。

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：1kΩ (3個)、2.2kΩ (2個)、47kΩ (1個)
- ▶ コンデンサ：10μF (2個)
- ▶ NPNトランジスタ：2N3904 (シングル) (2個) / SSM2212 (デュアル) (1個)
- ▶ PNPトランジスタ：2N3906 (シングル) (2個) / SSM2220 (デュアル) (1個)

説明

図1に示したのが、トランスレジスタンス・アンプ回路の例です。ADALM2000との接続も示してあります。NPNトランジスタQ1、Q2とPNPトランジスタQ3、Q4としては、入手可能なものの中からVBEのマッチングが最適なものを選択します。SSM2212やSSM2220、「CA3046」など、単一のパッケージ内にトランジスタのペアを収容したタイプの製品を使えば、より優れたマッチングが得られる可能性が高いでしょう。

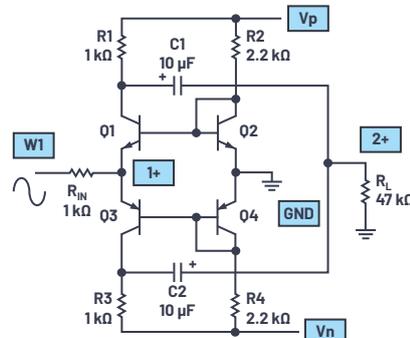


図1. トランスレジスタンス・アンプの入力段。
電流入力型の回路です。



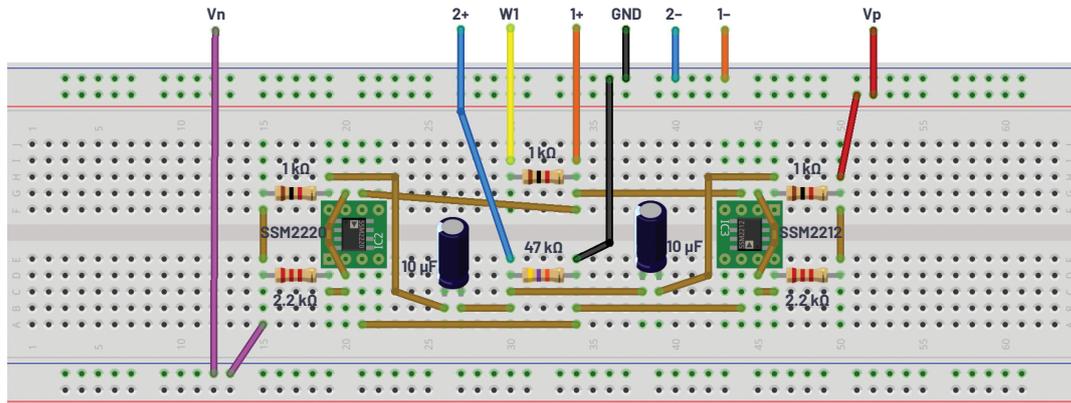


図2. 図1の回路を実装したブレッドボード

回路の動作確認を行う上で、オシロスコープのチャンネル1 (1+) は、Q1とQ3のエミッタを接続したノードだけでなく、Q1、Q3のコレクタに接続してみることもあるでしょう。Q1、Q3のエミッタを接続したノードは、電流を入力するノードです。このノードはインピーダンスが低くなるように構成するので、電流源によって駆動できます。ただ、ADALM2000の任意波形ジェネレータ (AWG) は、どちらかと言えば電圧源としての性質を重きをおいて設計されています。そこで、1kΩの抵抗 R_{IN} によって、AWGの電圧出力 (W1) を電流 ($I_{IN} = V_{IN}/1k\Omega$) に変換します。

ハードウェアの設定

AWG (W1) は、ピークtoピークの振幅が800mV、オフセットが0V、周波数が1kHzの正弦波を生成するように設定します。オシロスコープのチャンネル1は、W1の出力を表示するように接続してください。また、同チャンネル2は、この回路の出力信号を40mV/divで表示するように設定します。

手順

オシロスコープは、測定した2つの信号の数周期分が表示されるように設定します。ここでは、LTspice[®]で取得した波形の例を図3として示しておきます。

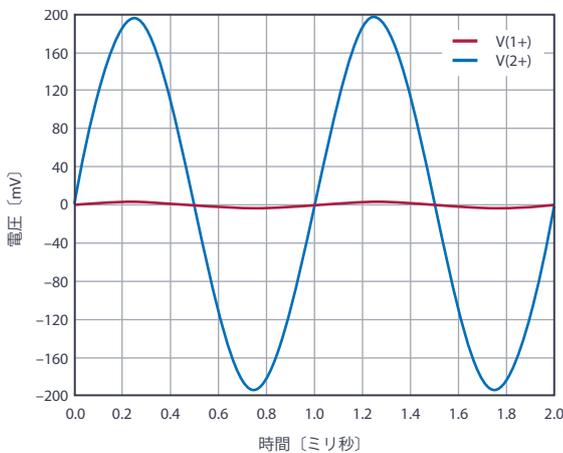


図3. トランスレジスタンス・アンプ (図1) の信号波形

抵抗 R_L における出力は、ACカップリングされたQ1、Q3のコレクタの信号の和になります。AWGの出力から R_L までの電圧ゲインを測定し、計算によって得た値と比較してみてください。また、Q1とQ3のエミッタを接続した電流入力ノード (1+) の信号の電圧振幅を観察します。この振幅に基づいて、入力電流の振幅 (R_{IN} の両端の電圧を同抵抗の値で割る) と、アンプの実効入力抵抗を計算します。それらの値を、計算によって得た値と比較してください。

電圧駆動型の構成

続いて、図1の回路に変更を加え、電圧駆動型の回路を構成してみましょう。

追加で準備するもの

- ▶ 抵抗：470Ω (1個)

説明

図4に示したように、 R_{IN} を470Ωの抵抗に置き換えて、その一端をグラウンドに接続します。また、Q2とQ4のエミッタをグラウンドから切り離し、AWGの出力 (W1) に接続します。

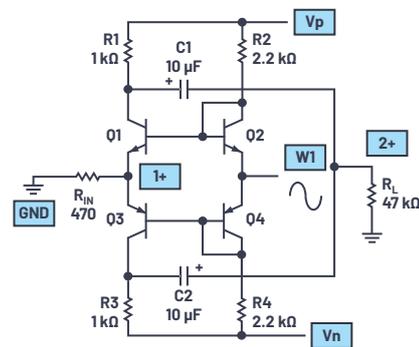


図4. 電圧駆動型に変更した回路

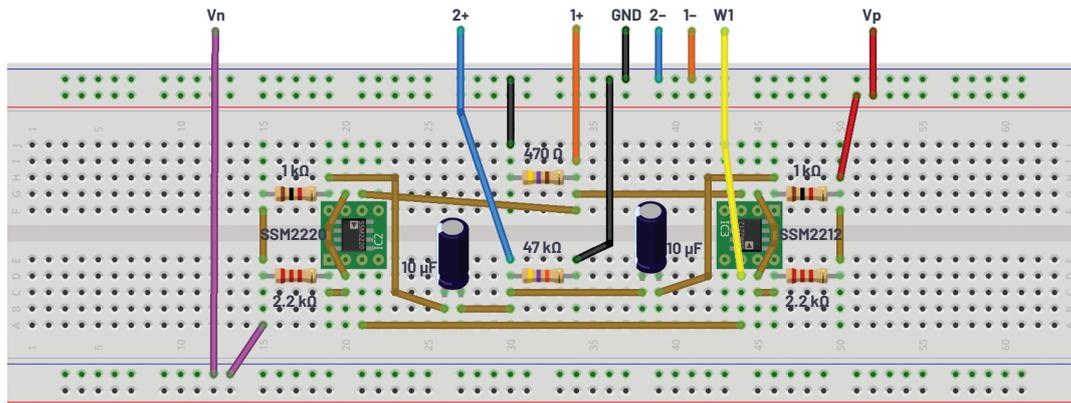


図5. 図4の回路を実装したブレッドボード

ハードウェアの設定

AWG (W1) は、ピークtoピークの振幅が800mV、オフセットが0V、周波数が1kHzの正弦波を生成するように設定します。オシロスコープのチャンネル1は、AWGの出力を表示するように接続してください。また同チャンネル2は、回路の出力信号を80mV/divで表示するように設定します。

手順

オシロスコープは、測定した2つの信号の数周期分が表示されるように設定します。ここでは、LTspiceで取得した波形の例を図6として示しました。

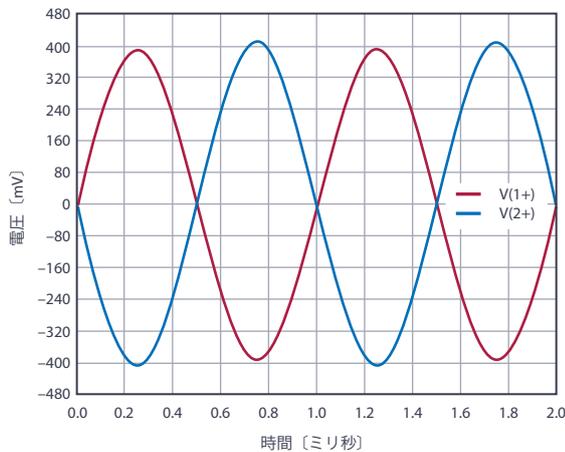


図6. トランスレジスタンス・アンプ (図4) の信号波形

R_L における出力は、ACカップリングされたQ1、Q3のコレクタの信号の和になります。AWGの出力から R_L までの電圧ゲインを測定し、計算によって得た値と比較してみてください。また、Q1とQ3のエミッタを接続した電流入力ノード (1+) の信号の電圧振幅を観察します。この振幅に基づいて、入力電流の振幅 (R_{IN} の両端の電圧を同抵抗の値で割る) と、アンプの実効入力抵抗を計算します。それらの値を、計算によって得た値と比較してください。

この電圧駆動型の構成において、入力ドライバ (W1) から求められる電流を測定するためには、AWG (およびQ2とQ4のエミッタ) と直列に1kΩの抵抗を挿入します。そして、オシロスコープの差動入力チャンネル1 (1+と1-) をその抵抗の両端に接続します。その結果表示される電圧を観察し、AWGの出力が±400mVの振幅を超えるときの電流を計算します。

問題

- ▶ トランスレジスタンス・アンプを定義づける主な特徴を挙げてください。
- ▶ トランスレジスタンス・アンプが使用されるのは、どのようなアプリケーションでしょうか。

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

Antoniu Miclaus (antoniu.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。



想像を超える可能性を
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

アナログ・デバイセズ株式会社

お住いの地域の本社、販売代理店などの情報は、analog.com/jp/contact をご覧ください。

オンラインサポートコミュニティEngineerZoneでは、アナログ・デバイセズのエキスパートへの質問、FAQの閲覧ができます。

©2021 Analog Devices, Inc. All rights reserved.
本紙記載の商標および登録商標は、各社の所有に属します。
Ahead of What's Possibleはアナログ・デバイセズの商標です。

AD5508-0-8/21

VISIT ANALOG.COM/JP