

StudentZone—2020年6月 ADALM2000による実習： NPN トランジスタで構成した エミッタ接地回路

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、バイポーラ・トランジスタ (BJT) を使用して構成したエミッタ接地回路について検討します。

背景

1段構成の基本的なアンプのトポロジは、3種に分類できます。そのうちの1つがエミッタ接地回路です。バイポーラ・トランジスタを使用する場合、電圧を反転増幅するアンプ回路として機能します。トランジスタのベース端子が入力、コレクタ端子が出力です。入力と出力に対し、エミッタが共通に使われる（グラウンドまたは電源に接続）ことから、共通エミッタ・アンプと呼ばれることもあります。

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
- ▶ 抵抗：5 個
- ▶ 可変抵抗（ポテンショメータ）：50k Ω （1 個）
- ▶ 小信号 NPN トランジスタ：「2N3904」（1 個）

説明

図1に示した回路は、NPNトランジスタをエミッタ接地で使用する例です。出力負荷抵抗 R_L は、エミッタ電流 I_C に対して、 V_{CE} に現れる電圧が正の電源電圧 V_P （5V）の約1/2になるように選択します。また、可変抵抗 R_{POT} と抵抗 R_B により、NPNトランジスタ

のQ1のバイアス動作点 I_B を設定し、 I_C が所望の値になるようにします。抵抗 R_1 、 R_2 で構成した分圧回路は、ADALM2000の任意波形ジェネレータ（AWGのW1）からの入力信号が十分に減衰されるように選択します。このように構成するのは、Q1のベースに現れる信号 V_{BE} がやや小さくなるので、それを観測しやすくするためです。減衰されたW1の信号は、4.7 μF のコンデンサを介してQ1のベースにAC結合されます。それにより、DCバイアスに影響が及ばないようにします。

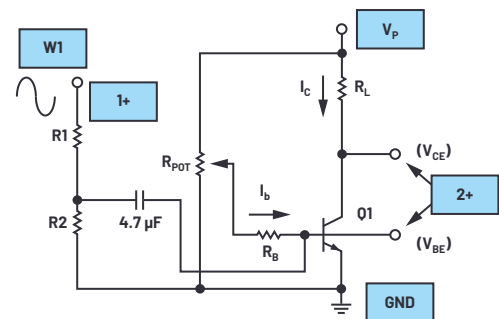


図1. NPNトランジスタを使用して構成したエミッタ接地回路

ハードウェアの設定

AWGのW1は、ピークtoピークの振幅が3V、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。オシロスコプのチャンネル1（1+）は、W1の出力を表示するように接続します。チャンネル2（2+）は、Q1のベースとコレクタにおける波形を交互に測定するために使用します。

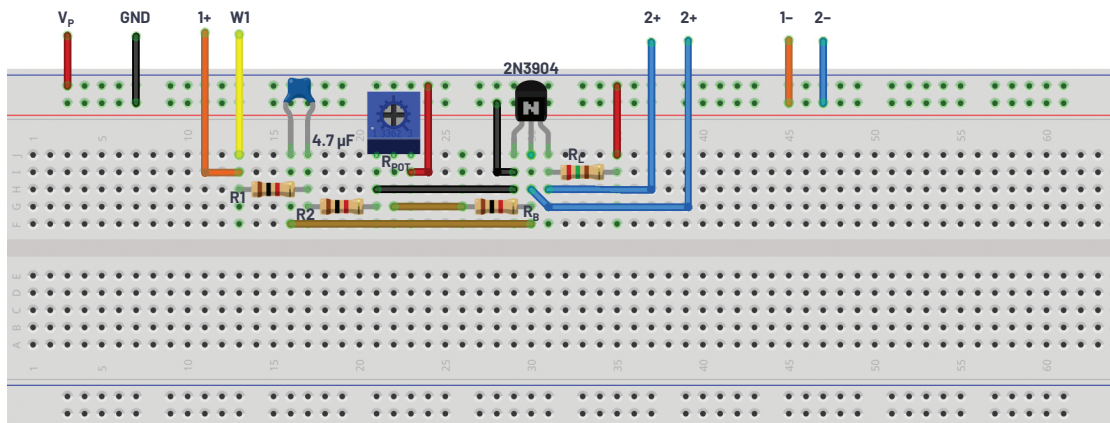


図2. 図1の回路を実装したブレッドボード

手順

Q1のコレクタに接続した電源 V_p (5V) をオンにします。オシロスコープは、数周期分の入力信号と出力信号が表示されるように設定します。

図3、図4は、LTspice[®]によって図1の回路のシミュレーションを行った結果です。

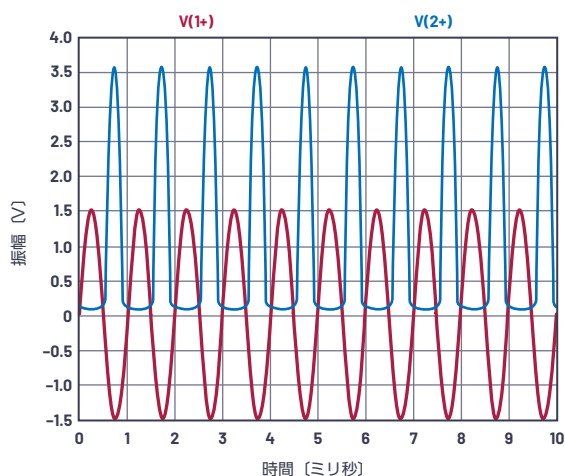


図3. 図1の回路における V_{IN} と V_{CE} のシミュレーション結果

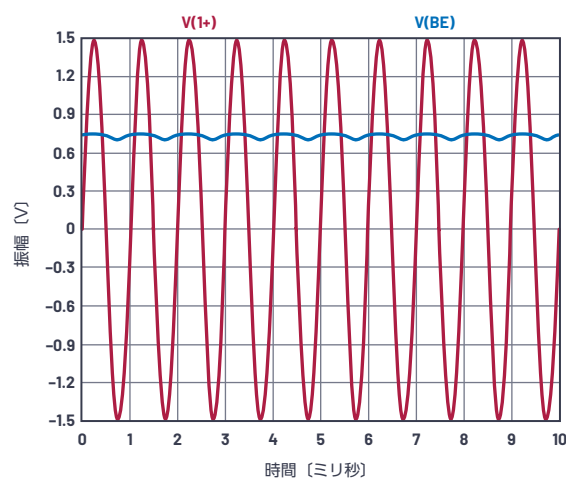


図4. 図1の回路における V_{IN} と V_{BE} のシミュレーション結果

エミッタ接地回路の電圧ゲイン A は、小信号等価モデルにおけるエミッタ抵抗 r_e に対する負荷抵抗 R_L の比で表されます。トランジスタのトランスコンダクタンス g_m は、コレクタ電流 I_C と熱電圧と呼ばれる kT/q の関数となります (以下参照)。

$$g_m = \frac{1}{r_e} = \frac{-qI_C}{kT} \quad (1)$$

ここで、 kT/q の値は室温で約25mVまたは26mVに近似できます。

エミッタ抵抗 r_e の値は $1/g_m$ で、エミッタと直列に存在すると見なすことができます。信号をベースに印加すると、 r_e と R_L には (ベース電流を無視すると) 同じ値の電流が流れます。したがって、ゲイン A は以下の式で表せます。

$$A = \frac{-R_L}{r_e} = \frac{-qI_C R_L}{kT} \quad (2)$$

図5に示したのは、エミッタ接地回路のもう1つの構成例です。図1の回路と大きな違いがあるわけではありませんが、小さなメリットが2つあります。1つは、ベース電流のバイアスが、ベース電圧 V_{BE} の指数関数に依存しないことです。もう1つは、W1からの小振幅のAC信号が、ベース用のバイアス回路とは独立して加算されることです。つまり、AC結合は必要ありません。小振幅のAC信号はオペアンプの非反転端子に入力され、負帰還によってQ1のベース（オペアンプの反転入力）にも現れます。

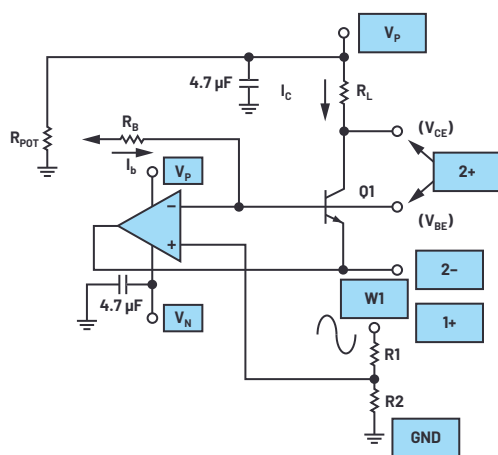


図5. エミッタ接地回路のもう1つの構成例

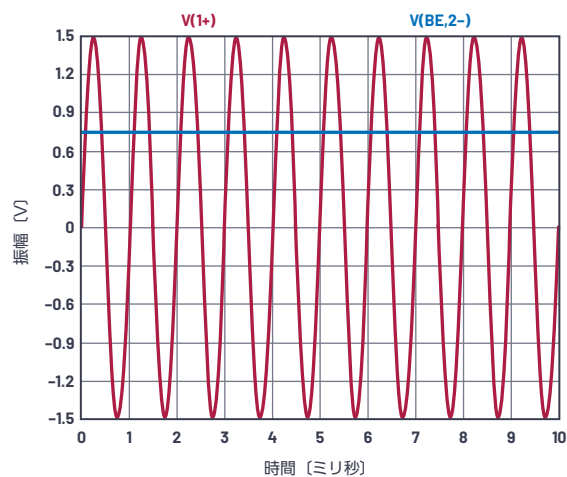


図7. 図5の回路における V_{IN} と V_{BE} のシミュレーション結果

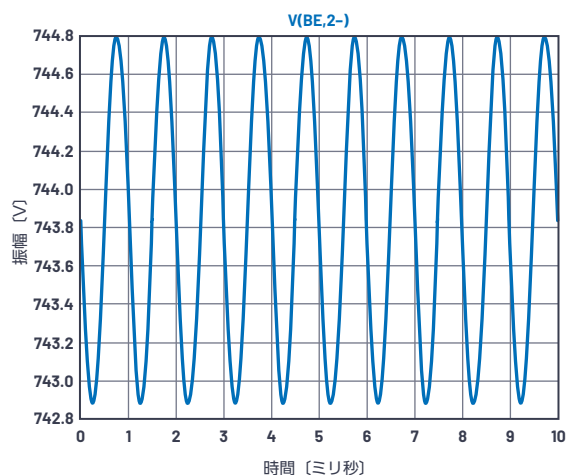


図8. 図5の回路における V_{BE} の拡大表示

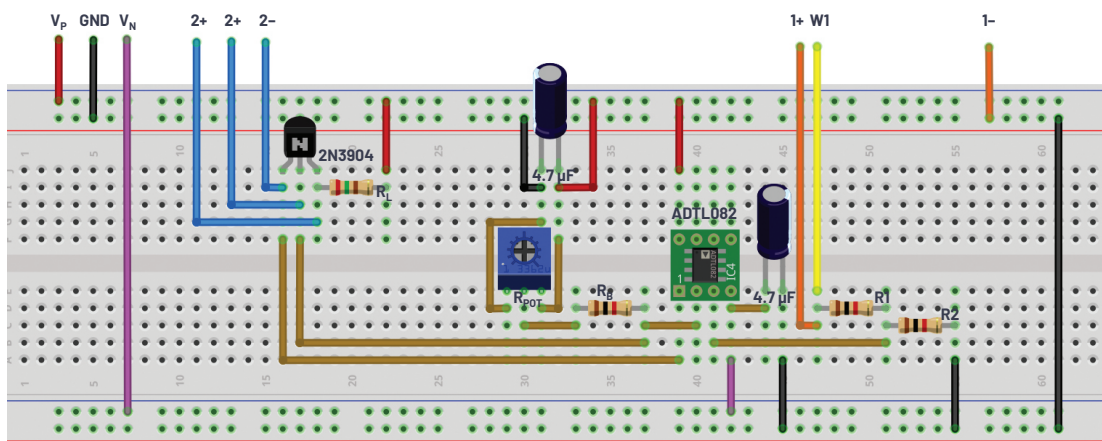


図6. 図5の回路を実装したブレッドボード

負帰還による自己バイアス回路

続いて、負帰還の追加により得られる効果について検討してみます。

目的

ここで検討するのは、負帰還の追加により、DC動作点がどのように安定化されるのかということです。トランジスタ回路で最もよく用いられるバイアス回路の1つが、自己バイアス方式のエミッタ用バイアス回路です。この回路では、1つ以上のバイアス抵抗を使用し、トランジスタに関する3つの電流 I_B 、 I_C 、 I_E の初期DC値を設定します。

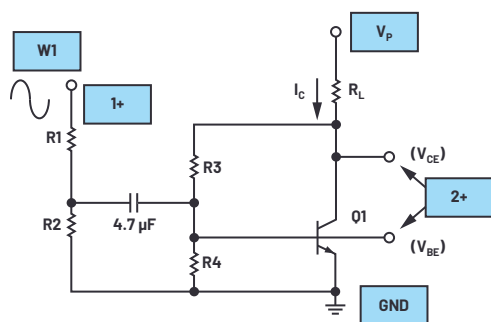


図9. 自己バイアス回路を適用したエミッタ接地回路

ハードウェアの設定

AWGのW1は、ピークtoピークの振幅が3V、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。オシロスコプのチャンネル1（1+）は、W1の出力を表示するように接続します。チャンネル2（2+）は、Q1のベースとコレクタにおける波形を交互に測定するために使用します。

手順

Q1のコレクタに接続されている電源 V_p （5V）をオンにします。オシロスコプは、数周期分の入力信号と出力信号が表示されるように設定します。

図11、図12は、LTspiceによって図9の回路のシミュレーションを行った結果です。

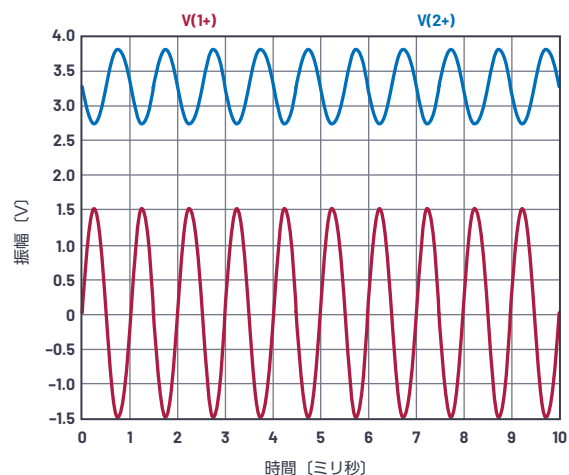


図11. 図9の回路の V_{IN} と V_{CE} のシミュレーション結果

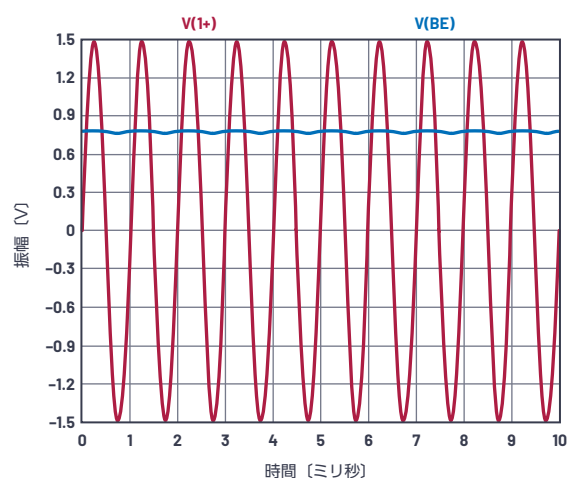


図12. 図9の回路の V_{IN} と V_{BE} のシミュレーション結果

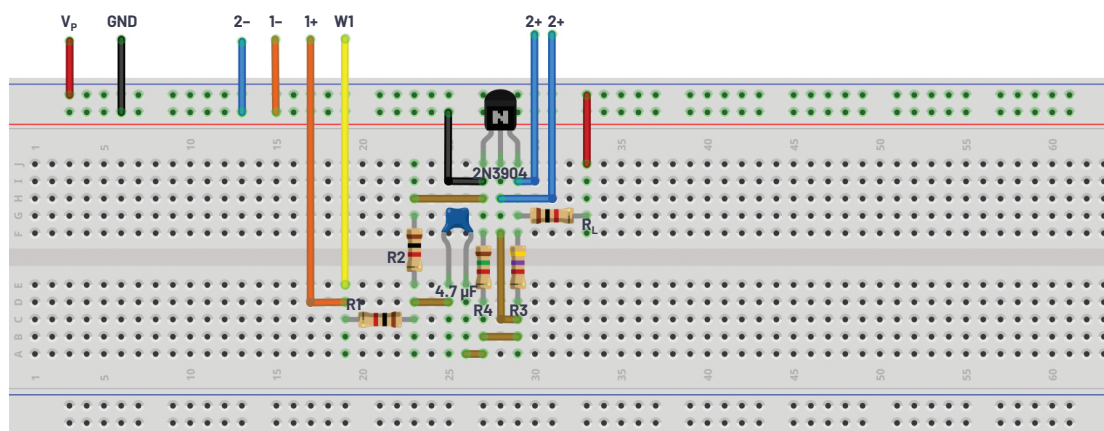


図10. 図9の回路を実装したブレッドボード

エミッタ・ディジェネレーションの追加

続いて、エミッタ・ディジェネレーションの例を示します。

目的

ここでは、エミッタ・ディジェネレーション用の回路を追加します。それによって得られる効果について調べてみましょう。

背景

エミッタ接地回路を使えば、非常にゲインが高い反転増幅回路を構成できます。但し、使用するトランジスタによっては、かなりのばらつきが生じる場合があります。ゲインは、温度とバイアス電流に大きく依存します。そのため、実際のゲインを予測するのは困難です。この問題は、値の小さい帰還抵抗をアンプ段に追加することにより解消することができます。つまり、回路の性能を改善することが可能になります。

追加で準備するもの

エミッタ・ディジェネレーションを施した回路を構成するために、追加の部品を使用します。

- ▶ 可変抵抗（ポテンショメータ）：5k Ω （1 個）

説明

図13に示すように、Q1のエミッタをグラウンドから切り離し、5k Ω の可変抵抗 R_E を追加します。Q1のコレクタに出力信号が現れるのを確認しつつ、 R_E の値を調整します。

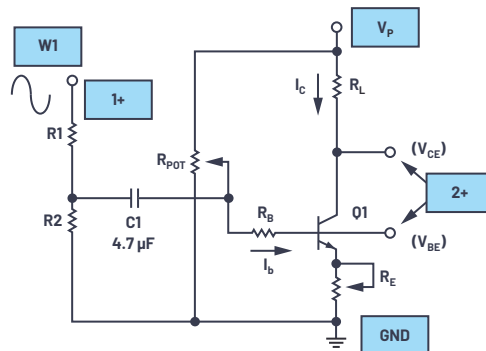


図13. エミッタ・ディジェネレーションを施した回路

ハードウェアの設定

AWGのW1は、ピークtoピークの振幅が3V、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。オシロスコプのチャンネル1（1+）は、W1の出力を表示するように接続します。チャンネル2（2+）は、Q1のベースとコレクタにおける波形を交互に測定するために使用します。

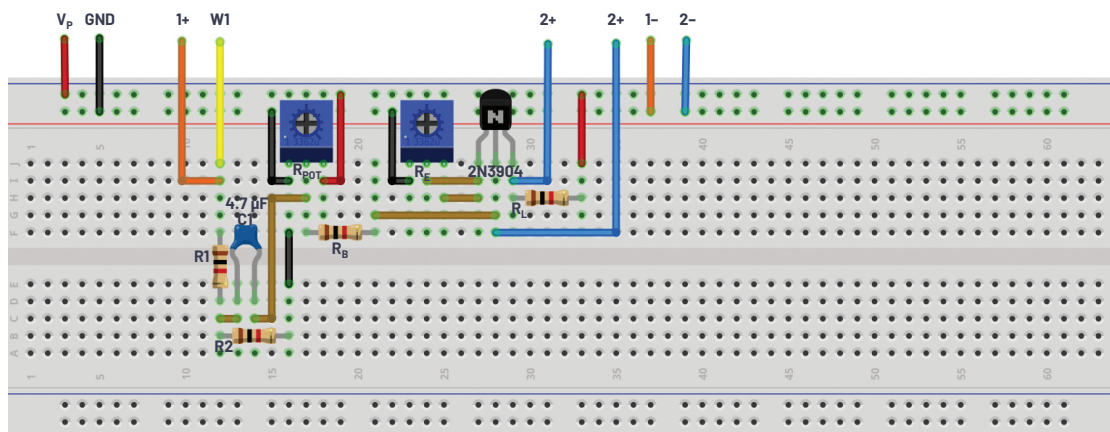


図14. 図13の回路を実装したブレッドボード

手順

Q1のコレクタに接続されている電源 V_p (5V) をオンにします。オシロスコープは、数周期分の入力信号と出力信号が表示されるように設定します。

図15、図16は、LTspiceによって図13の回路のシミュレーションを行った結果です。

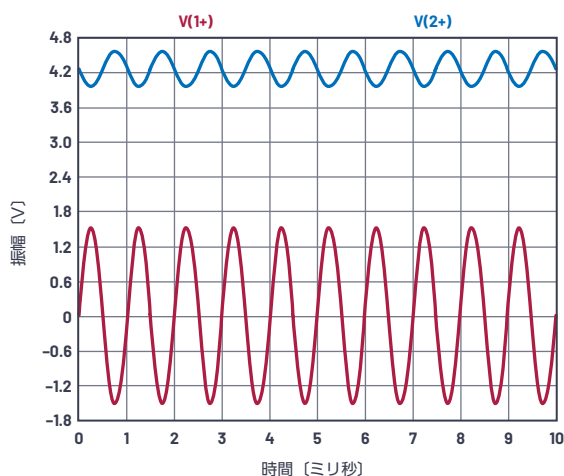


図15. 図13の回路の V_{IN} と V_{CE} のシミュレーション結果

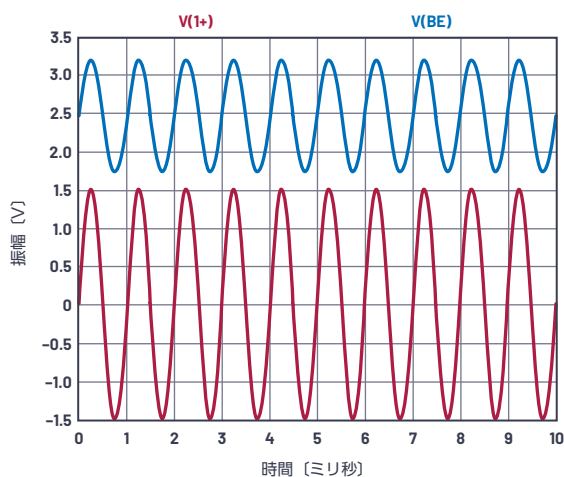


図16. 図13の回路の V_{IN} と V_{BE} のシミュレーション結果

エミッタ・ディジェネレーションによるACゲインの変化

エミッタ・ディジェネレーション用の抵抗を追加すると、DC動作点の安定性が高まります。その代わりに、アンプ回路としてのゲインが低下します。この問題に対応するためには、図17に示すようにコンデンサC2を R_E と並列に追加します。そうすることで、AC信号に対するゲインをいくらか高めることができます。

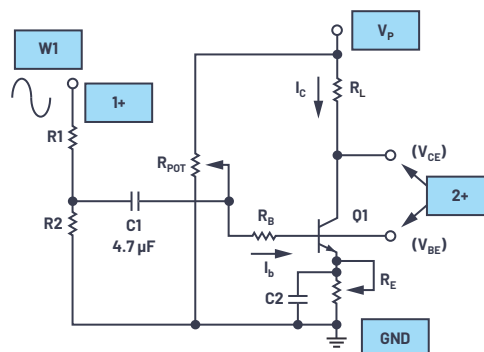


図17. C2を追加してACゲインを高めた回路

ハードウェアの設定

AWGのW1は、ピークtoピークの振幅が3V、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 (1+) は、W1の出力を表示するように接続します。チャンネル2 (2+) は、Q1のベースとコレクタにおける波形を交互に測定するために使用します。

手順

Q1のコレクタに接続されている電源 V_p (5V) をオンにします。オシロスコープは、数周期分の入力信号と出力信号が表示されるように設定します。

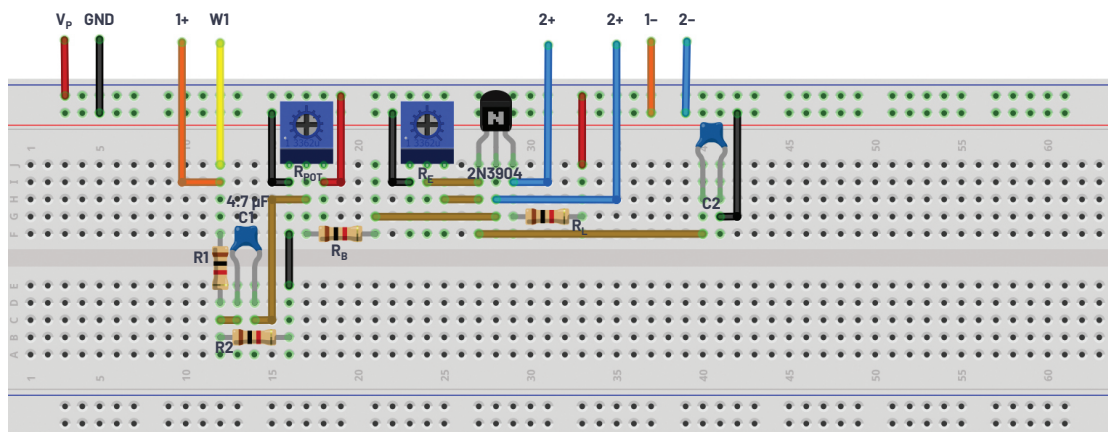


図18. 図17の回路を実装したブレッドボード

図19、図20は、LTspiceによって図17の回路のシミュレーションを行った結果です。

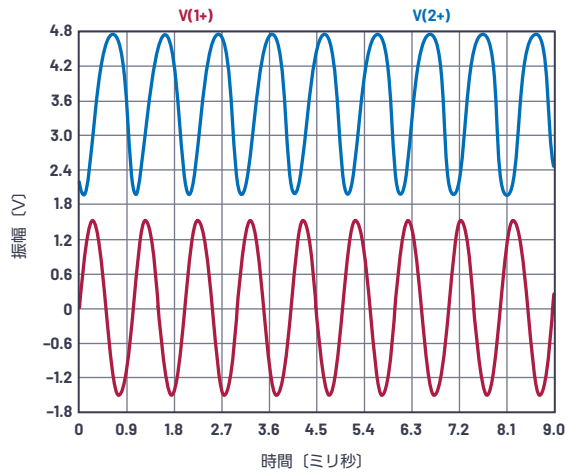


図19. 図17の回路の V_{IN} と V_{CE} のシミュレーション結果

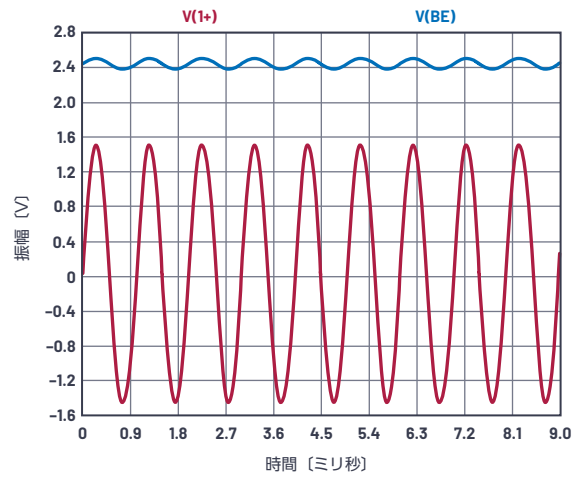


図20. 図17の回路の V_{IN} と V_{BE} のシミュレーション結果

問題

- ▶ エミッタ接地回路において、 R_L の値を大きくすると、電圧ゲインAにはどのような影響が生じますか。

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

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。