

StudentZone—2020年1月

ADALM2000で、ダイオード接続したBJTの電流 - 電圧特性を取得する

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

NPNトランジスタのダイオード接続 目的

今回は、ダイオードとして機能するように構成（ダイオード接続）したバイポーラ・トランジスタ（BJT：Bipolar Junction Transistor）を取り上げます。ダイオード接続したBJTにおいて、電圧に対する順方向／逆方向の電流特性を測定します。

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：1k Ω、またはそれに近い値のもの（1個）
- ▶ 小信号用のNPNトランジスタ：「2N3904」（1個）

説明

最初に、NPNトランジスタを例にとり、エミッタ・ベース接合の電流 - 電圧特性を測定します。それにはアクティブ・ラーニング・モジュールADALM2000を使用し、図1のような回路を構成します。まず、ブレッドボード上で抵抗R1の一端に任意波形ジェ

ネレータの出力W1を接続します。また、ここにはオシロスコープの入力2+も接続します。そして、図に示すように、NPNトランジスタQ1のベースとコレクタをR1のもう一端に接続します。残るエミッタはグラウンドに接続します。更に、オシロスコープの入力2-とオシロスコープの入力1+も、Q1のベース／コレクタのノードに接続します。オシロスコープの入力1-は、グラウンドに接続すればよいでしょう。

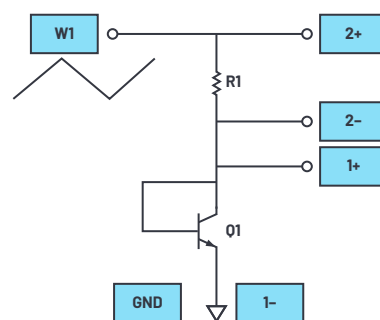


図1. NPNトランジスタのダイオード接続

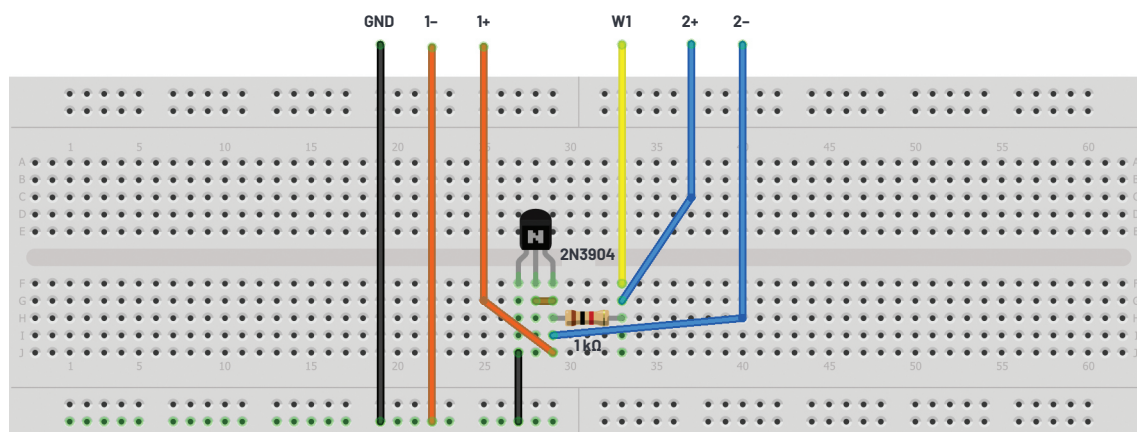


図2. 図1の回路を実装したブレッドボード

ハードウェアの設定

任意波形ジェネレータは、ピークtoピークの振幅が6V、オフセットが0V、周波数が100Hzの三角波を出力するように設定します。オシロスコプの差動チャンネル2 (2+, 2-) により、抵抗R1 (とトランジスタQ1) に流れる電流を測定します。オシロスコプのチャンネル1 (1+) は、Q1の両端の電圧を測定するために使用します。Q1を流れる電流の値は、2+と2-の電位差をR1の値 (1kΩ) で割ることで求められます。

手順

得られたデータを表計算ソフトウェアにエクスポートし、電流値を計算します。また、Q1の両端の電圧 (V_{BE}) と電流の関係のプロットします。なお、電流は逆方向には流れません。順方向の導通領域では、電圧と電流は対数の関係になります。そのため、電流値を対数目盛上にプロットすると、直線が得られるはずです。図3と図4に、測定結果を示しました。

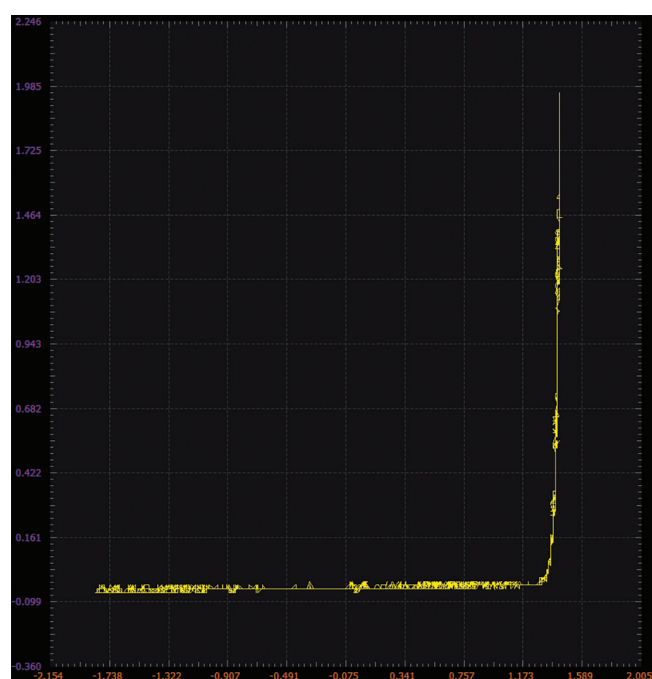


図3. ダイオード接続したNPNトランジスタのXYプロット

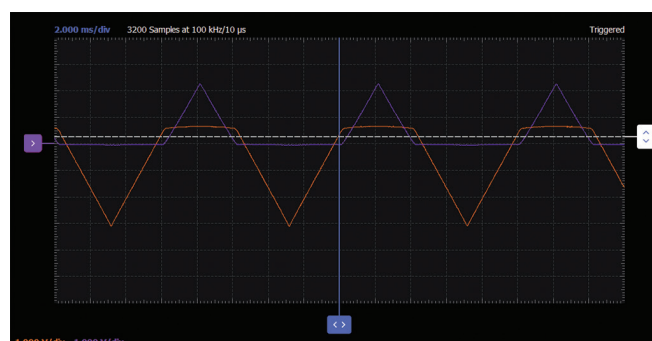


図4. ダイオード接続したNPNトランジスタの信号波形

逆降伏特性

目的

続いて、ダイオード接続したBJTにおけるエミッタ - ベース接合の逆降伏特性 (降伏電圧) を確認します。

準備するもの

- ▶ 抵抗: 100Ω (1個)
- ▶ 小信号用のPNPトランジスタ: 「2N3906」 (1個)

説明

図5に示すように、ブレッドボード上で100Ωの抵抗R1の一端に、任意波形ジェネレータの出力W1を接続します。また、R1のもう一端には、PNPトランジスタQ1のベースとコレクタを接続します。Q1のエミッタは、-5Vの固定電源に接続します。オシロスコプの入力1+はベース/コレクタのノード、入力1-はエミッタのノードに接続します。オシロスコプのチャンネル2 (2+, 2-) を使ってR1の両端の電圧を測定し、その結果を基にQ1に流れる電流の値を算出します。PNPトランジスタのエミッタ - ベース間に生じる降伏電圧は、ADALM2000を使って生成できる最大電圧である+10Vより小さくなります。NPNトランジスタでは、降伏電圧が10V以上になる可能性があるのですが、ここではNPNトランジスタ (2N3904) ではなく、PNPトランジスタ (2N3906) を使用しています。

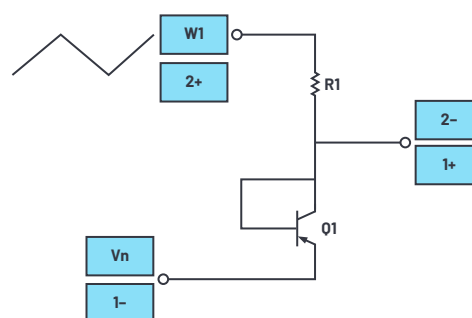


図5. エミッタ - ベース間の降伏電圧を測定するための回路。ダイオード接続したPNPトランジスタを使用して構成しています。

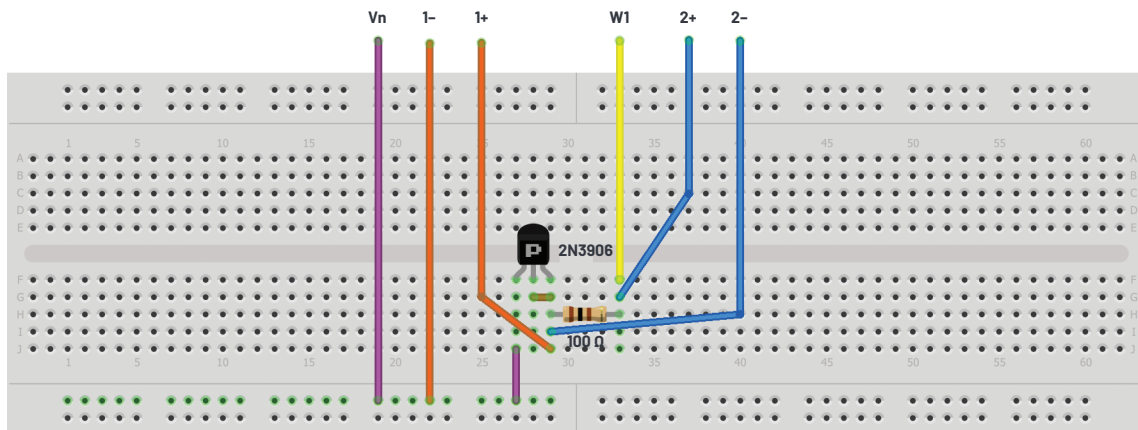


図6. 図5の回路を実装したブレッドボード

ハードウェアの設定

任意波形ジェネレータにより、ピークtoピークの振幅が10V、オフセットが0V、周波数が100Hzの三角波を出力します。Q1の両端の電圧を、オシロスコプのチャンネル1を使用して測定します。オシロスコプのチャンネル2は、R1の両端に接続されています。いずれのチャンネルも、1V/divに設定するとよいでしょう。Q1を流れる電流の値は、2+と2-で測定した電位差をR1の値（100Ω）で割ることにより求められます。

手順

ADALM2000では、最大給電電圧が10Vに制限されています。多くのトランジスタは、エミッタ - ベース間の降伏電圧がこれよりも大きな値になります。図5に示す構成では、0V～10V（W1のピークtoピーク振幅）の電圧を測定できます。図7に信号波形の例を示しました。



図7. PNPトランジスタのエミッタにおける信号波形

オシロスコプで波形を取得し、それを表計算ソフトにエクスポートします。この例で使用しているPNPトランジスタの場合、エミッタとベースの接合部における降伏電圧は約8.5Vとなります。

ダイオードの有効な順方向電圧を低下させる目的

続いて、ダイオード接続したBJTよりも順方向電圧が小さくなる回路を構成し、その特性を確認します。

準備するもの

- ▶ 抵抗：1kΩ（1個）、150kΩ（1個。100kΩと47kΩの抵抗を直列接続しても可）
- ▶ 小信号用のNPNトランジスタ：2N3904（1個）
- ▶ 小信号用のPNPトランジスタ：2N3906（1個）

説明

ブレッドボード上で、抵抗R1、抵抗R2、NPNトランジスタQ1、PNPトランジスタQ2を図8に示すように接続します。R1の一端には、任意波形ジェネレータの出力W1を接続します。Q1のエミッタはグラウンドに接続し、Q2のコレクタはVn（-5V）に接続します。抵抗R2の一端はVp（5V）に接続し、もう一端はQ1のベースとQ2のエミッタに接続します。オシロスコプのシングルエンド入力であるチャンネル2（2+）をQ1のコレクタに接続します。

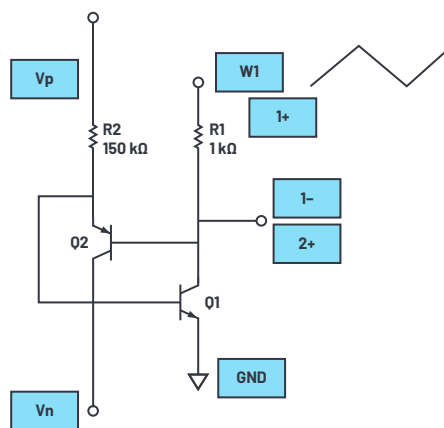


図8. 有効な順方向電圧を低下する回路

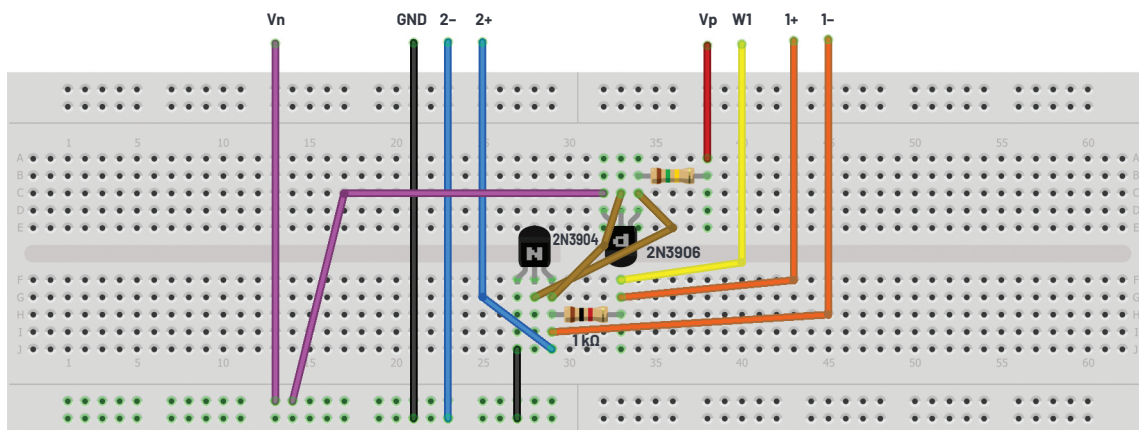


図9. 図8の回路を実装したブレッドボード

ハードウェアの設定

任意波形ジェネレータは、ピークtoピークの振幅が8V、オフセットが2V、周波数が100Hzの三角波を出力するように設定します。オシロスコプのチャンネル2（2+）を使って、Q1の両端の電圧を測定します。Q1を流れる電流値は、オシロスコプの入力1+と1-で測定した電位差をR1の値（1kΩ）で割ることによって求められます。

手順

最初の例では、BJTをシンプルにダイオード接続していました。その場合、ダイオードがターンオンする電圧は650mVでした。それに対し、図8の回路では、ターンオンする電圧が約100mVに低下します。任意波形ジェネレータの出力W1を掃引し、Q1の V_{BE} をプロットしてください。図10に測定した波形を示しました。



図10. 有効な順方向電圧を下げた場合の信号波形

V_{BE} 乗算器 目的

上記の例により、 V_{BE} を下げる方法がわかりました。続いては、 V_{BE} を高める方法を確認します。順方向電圧を高めた場合の特性を、ダイオード接続したBJTの特性と比較しましょう。

準備するもの

- ▶ 抵抗：2.2kΩ（2個）、1kΩ（1個）
- ▶ 可変抵抗（ポテンショメータ）：5kΩ（1個）
- ▶ 小信号用のNPNトランジスタ：2N3904（1個）

説明

ブレッドボード上に、図11に示すような回路を構成します。抵抗R1の一端には、任意波形ジェネレータの出力W1を接続します。トランジスタQ1のエミッタはグラウンドに接続します。抵抗R2、R3、R4によって抵抗分圧器を構成します。Q1のベースには、ワイパを備えるポテンショメータであるR3を接続します。Q1のコレクタは、R1の一端と抵抗分圧器の最上部となるR2の一端に接続します。オシロスコプのチャンネル2（2+）は、Q1のコレクタに接続します。

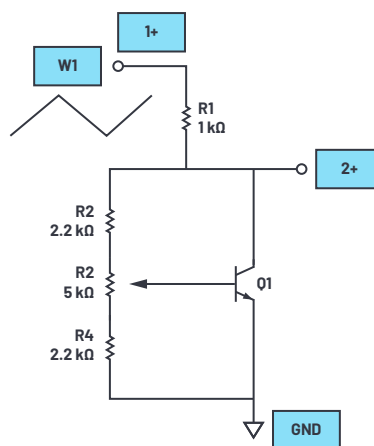


図11. V_{BE} 乗算器の回路

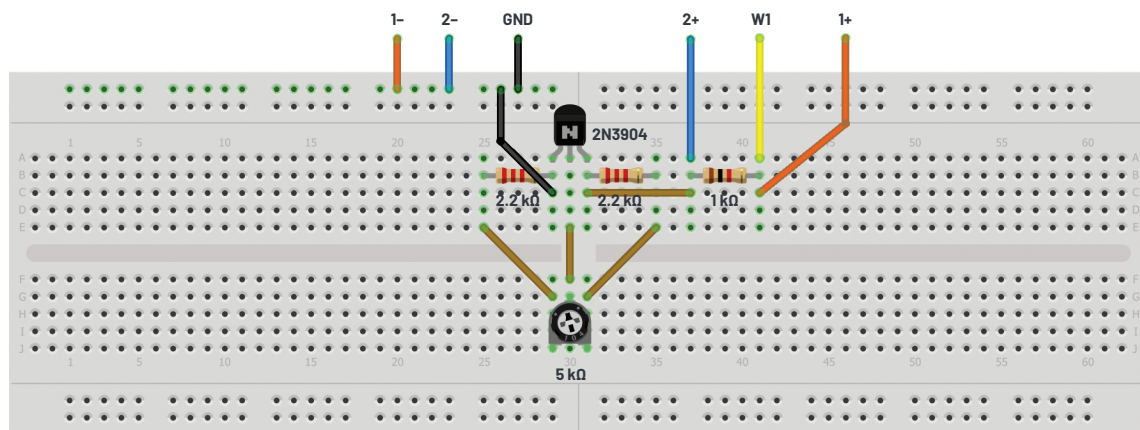


図 12. 図 11 の回路を実装したブレッドボード

ハードウェアの設定

任意波形ジェネレータにより、ピークtoピークの振幅が4V、オフセットが2V、周波数が100Hzの三角波を生成します。オシロスコープのシングルエンド入力2+を使って、Q1の両端の電圧を測定します。オシロスコープのチャンネル1はW1の出力を表示するために使用し、チャンネル2はQ1のコレクタ電圧を表示するために使用します。Q1を流れる電流の値は、オシロスコープの入力1+で測定したW1とオシロスコープの入力2+の電位差をR1の値（1kΩ）で割った値を使って求めることができます。

手順

まずポテンショメータR3を、設定可能範囲の中心値に設定します。すると、Q1のコレクタの電圧は V_{BE} の約2倍になります。R3の値を最小に設定すると、コレクタの電圧は V_{BE} の9/2（4.5）倍になります。R3の値を最大に設定すると、コレクタの電圧は V_{BE} の9/7倍になります。

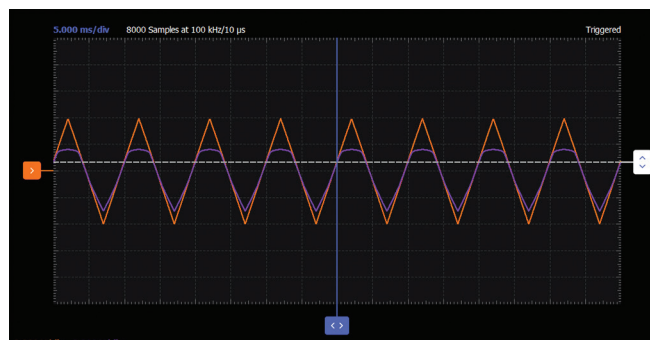


図 13. V_{BE} 乗算器の信号波形

問題

最後の V_{BE} 乗算器の電圧 - 電流特性は、ダイオード接続したシンプルなトランジスタ回路の電圧 - 電流特性と比べてどのようになりますか。

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・デバイセスに入社して以来、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・デバイセス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・デバイセスのシステム・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オートメーション、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。

