

StudentZone — 2018年12月 「ADALM1000」で、SMUの基本を学ぶ トピック12:バンドパス・フィルタ

著者: Doug Mercer、Antoniu Miclaus

Share on 💟 🚹 in

アナログ・ダイアログの2017年12月号から、アクティ ブ・ラーニング・モジュール「ADALM1000」について 紹介しています。今回も引き続き、このSMU(ソース・ メジャー・ユニット)モジュールを使用し、小規模かつ 基本的な測定を行う方法を説明します。ADALM1000に 関する以前の記事は、こちらからご覧になれます。



図1. ADALM1000のブロック図

目的

この実験の目的は、以下の2つです。

- ローパス・フィルタとハイパス・フィルタをカスケード 接続することによって、バンドパス・フィルタを構成 します。
- フィルタの周波数応答の取得を通して、ボーデ・プロッタというソフトウェアの使い方を学びます。

背景

バンドパス・フィルタ(以下、BPF)とは、特定の範囲 の周波数だけを通過させ、それよりも低域または高域の 周波数成分を遮断(減衰)させるフィルタのことです。 つまり、BPFは、2つのカットオフ周波数の間の周波数 だけを通過させ、両カットオフ周波数の外側の周波数を 減衰させます。

BPFの代表的なアプリケーションの1つは、オーディオ 信号の処理です。本来のサウンドに対応する特定の範囲 の周波数信号だけを通過させ、残りの部分は減衰させま す。その他の用途としては、通信システムが挙げられま す。様々な信号の中から特定の信号だけを選択するため に、BPFが使用されます。 BPFは、RL(抵抗、インダクタ)で構成したハイパス・ フィルタとRC(抵抗、コンデンサ)で構成したローパ ス・フィルタをカスケード接続することによって実現で きます。ハイパス・フィルタのロールオフ周波数がf_Lで、 ローパス・フィルタのロールオフ周波数がf_Hであるとす ると、両周波数が以下のような関係になるように各部品 の値を選択します。

$$f_L < f_H \tag{1}$$

低い方のカットオフ周波数f_Lは次式で決まります。

$$f_L = \frac{R}{(2 \pi L)} \tag{2}$$

高い方のカットオフ周波数f_Hは次式で決まります。

$$f_H = \frac{1}{(2 \pi RC)} \tag{3}$$

通過帯域は以下の式で表すことができます。

$$BW = f_L < f_H \tag{4}$$

 f_L より低い周波数成分、または f_H より高い周波数成分は BPFによって減衰され、その間の周波数成分だけが通過 します。



図2. BPFの回路例

以前の記事で、並列LC回路の共振について取り上げました。そのとき示した共振周波数の式を使えば、BPFの中 心周波数を求めることができます。共振角周波数ω。は次 式で表されます。

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

したがって、共振周波数f。は以下のようになります。

$$f_o = \frac{1}{(2 \pi \sqrt{LC})} \tag{6}$$

周波数応答

フィルタ回路は、必要な周波数応答が得られるように設計されます。フィルタ回路の周波数応答は、出力電圧の振幅を周波数の関数としてプロットすることで得ることができます。周波数応答を確認すれば、回路の設計が適切であるか否かを把握することが可能です。図3に示したのは、BPFの標準的な周波数応答です。





図4. 図3のBPFの実現方法



図5. BPFを構成するためのブレッドボード上の接続

準備するもの

- ► ADALM1000
- ▶ 抵抗:1MΩ
- コンデンサ: 0.047μF
- ▶ インダクタ:20mH
- 手順

(5)

- 1. 1kΩの抵抗R1、0.047µFのコンデンサC1、20mHの インダクタL1を使用し、ソルダーレス・ブレッドボー ド上で、図4、図5に示すようなフィルタ回路を構成し ます。
- 2. チャンネルAの「AWG Min」の値を0.5に設定し、 「Max」の値を4.5Vに設定します。これにより、回路の入力電圧として、2.5Vを中心とする4Vp-pのサイン波が得られます。次に、「AWG A Mode」ドロップダウン・メニューで「SVMI」モードを選択します。続いて、「AWG A Shape」ドロップダウン・メニューでは、「Sine」を選択します。更に、「AWG B Mode」ドロップダウン・メニューで「Hi-Z」モードを選択します。
- ▶ 3. 「ALICE Curves」ドロップダウン・メニューから、表示のために「CA-V」と「CB-V」を選択します。また、「Trigger」ドロップダウン・メニューでは、「CA-V」と「Auto Level」を選択します。そして、「Hold Off」を2ミリ秒に設定します。画面のグリッド上に約2サイクル分のサイン波が表示されるまで、時間基準を調整してください。「Meas CA」ドロップダウン・メニューから、「CA-V」の下の「P-P」を選択します。「CB」についても、同様に設定します。更に、「Meas CA」メニューで「A-B Phase」を選択します。
- 4.低い周波数(この例では100Hz)からスタートし、 スコープ画面を使って出力電圧「CB-V」のピークto ピーク値を測定します。その値はチャンネルAの出力 よりもかなり小さいはずです。チャンネルBのピーク toピーク電圧がチャンネルAのピークtoピーク電圧の 約0.7倍になるまで、チャンネルAの周波数を少しずつ 上げていきます。Vp-pの70%を計算し、オシロスコー プ上でその値になる周波数を確認します。それが、こ のBPFにおいてRLで決まるハイパス部分のカットオ フ(ロールオフ)周波数になります。
- ▶ 5. 引き続き、チャンネルBのピークtoピーク電圧がチャンネルAのピークtoピーク電圧の約0.7倍に戻るまで、チャンネルAの周波数を上げていきます。その値になったところで、オシロスコープ上で周波数を確認します。それが、BPFにおいてRCで決まるローパス部分のカットオフ(ロールオフ)周波数です。BPFの場合、振幅が70%になるカットオフ周波数は、低域側と高域側にそれぞれ1つずつ存在することに注意してください。

ALICEのボーデ・プロッタによる周波数応答の

プロット

デスクトップ・ソフトウェアであるALICEを使えば、対象とする回路が周波数に対して、振幅、位相についてどのような挙動を示すのか確認することができます。つまりは、ボーデ線図を表示することが可能です。その手順は次のようになります。

ここでは、図4のBPFを対象とします。R1は1.0kΩ、C1 は0.047µF、L1は20mHです。この条件下で、入力周波 数を500Hzから12kHzまで掃引し、チャンネルAと同Bの 信号の振幅と、両チャンネルの間の相対的な位相角をプ ロットしてみます。 図4の回路をADALM1000に接続した状態で、ALICEを起動します。そして、ボーデ・プロッタを開きます。

「Mode」ドロップダウン・メニューの下で、「Peak Hold」モードを選択します。続いて、「FFT」ウィンド ウ・メニューの下で「Flat Top Window」を選択します。 次に、「+Samples」ボタンを何度かクリックして、4096 サンプルに設定します。更に、「Curves」メニューの下 で「CA-dBV」、「CB-dBV」、「Phase B-A」を選択 します。

続いて、「Option」ドロップダウン・メニューの下で 「Cut-DC」をクリックします。

ここで、「AWG Channel A Min」の値を1.086に設定 し、「Max」の値を3.914に設定します。それにより、 アナログ入力範囲の中央値である2.5Vを中心とする 1Vrms (0dBV)の振幅が得られます。「AWG A」モード を「SVMI」に設定し、「Shape」を「Sine」に設定しま す。続いて、「AWG Channel B」を「Hi-Z」モードに設 定します。ここで、「Sync AWG」チェック・ボックスが チェックされていることを確認してください。

「Start Frequency」ボタンを使い、500Hzから掃引を開 始するように設定します。また、「Stop Frequency」ボ タンを使って、12kHzで掃引を停止するようにします。掃 引するチャンネルとしては、「CH-A」を選択してくださ い。その上で、「Sweep Steps」ボタンを使って、周波数 のステップ数を入力します。ここでは700に設定します。

ここで、緑色の「Run」ボタンを押して周波数の掃引を 実行します。掃引の終了後(700ポイントの処理には数 分かかるかもしれません)、図6のような画面が表示さ れるはずです。プロットが画面のグリッドにフィットす るようにしたい場合は、「LVL」と「dB/div」ボタンを 操作してください。

結果を記録すると共に、スクリーン・キャプチャ・ツー ルを使ってボーデ線図を保存し、実験レポートの中に含 めておきます。



図6. ボーデ・アナライザの設定

このBPFの周波数特性について理解を深めるために、イ ンダクタを取り除いてローパスの周波数応答をプロット してみます。先ほどと同じように周波数掃引を行い、ゲ イン(CB-db - CA-dB)と相対位相(CA - CB)のス ナップショットを取得します。次に、コンデンサを取り 除き、インダクタを元に戻してハイパスの周波数応答を プロットします。図7のボーデ線図は、このようにして 得た結果です。ローパスとハイパスのゲインが等しくな り、相対的な位相の和がゼロになる(約70°と約-70°)周 波数は、共振周波数に等しいことに注目してください。



図7. ローパスとハイパスの応答

問題

式1と式2を使って、構成したBPFのカットオフ周波数を 求めてください。計算によって得た値と実験によって得 られた値を比較し、なぜ違いが生じるのか的確に説明し てください。

答えはStudentZoneブログで確認できます。

注記

アクティブ・ラーニング・モジュールを使用する記事で は、本稿と同様に、ADALM1000に対するコネクタの接 続やハードウェアの設定を行う際、以下のような用語を 使用することにします。まず、緑色の影が付いた長方形 は、ADALM1000が備えるアナログI/Oのコネクタに対 する接続を表します。アナログI/Oチャンネルのピンは、 「CA」または「CB」と呼びます。電圧を印加して電流 の測定を行うための設定を行う場合には、「CA-V」の ように「-V」を付加します。また、電流を印加して電圧 を測定するための設定を行う場合には、「CA-I」のよう に「-I」を付加します。1つのチャンネルをハイ・インピ ーダンス・モードに設定して電圧の測定のみを行う場合、 「CA-H」のように「-H」を付加して表します。

同様に、表示する波形についても、電圧の波形は 「CA-V」と「CB-V」、電流の波形は「CA-I」と 「CB-I」のように、チャンネル名とV(電圧)、I(電 流)を組み合わせて表します。

本稿の例では、ALICE (Active Learning Interface for Circuits and Electronics)のRev 1.1を使用しています。

同ツールのファイル (alice-desktop-1.1-setup.zip) は、 こちらからダウンロードすることができます。

ALICEは、次のような機能を提供します。

- ▶ 電圧/電流波形の時間領域での表示、解析を行うための2チャンネルのオシロスコープ
- ▶ 2チャンネルのAWG(任意信号発生器)の制御
- ▶ 電圧と電流のデータのX/Y軸プロットや電圧波形のヒ ストグラムの表示
- ▶ 2チャンネルのスペクトル・アナライザによる電圧信号の周波数領域での表示、解析
- スイープ・ジェネレータを内蔵したボーデ・プロッタ とネットワーク・アナライザ
- ▶ インピーダンス・アナライザによる複雑なRLC回路網の解析、RLCメーター機能、ベクトル電圧計機能
- ▶ 既知の外付け抵抗、または50Ωの内部抵抗に関連する 未知の抵抗の値を測定するためのDC抵抗計

- ▶ 2.5Vの高精度リファレンス「AD584」を利用して行うボードの自己キャリブレーション。同リファレンスはアナログ・パーツ・キット「ADALP2000」に含まれている
- ▶ ALICE M1Kの電圧計
- ▶ ALICE M1Kのメーター・ソース
- ▶ ALICE M1Kのデスクトップ・ツール

詳細についてはこちらをご覧ください。

注) このソフトウェアを使用するには、PCに ADALM1000を接続する必要があります。



図8. ALICE Rev 1.1のデスクトップ・メニュー

著者:

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 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。



Doug Mercer

この著者が執筆した 他の技術文書

StudentZone — 2018年11月 「ADALM1000」で、 SMUの基本を学ぶ — トピック11:周波数補償を 施した分圧器

Analog Dialogue 52-11

Antoniu Miclaus

この著者が執筆した 他の技術文書

StudentZone — 2018年11月 「ADALM1000」で、 SMUの基本を学ぶ — トピック11:周波数補償を 施した分圧器

Analog Dialogue 52-11

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、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。

