

プリント基板加工機を用いたフィルタ回路の設計製作

○丸山益史^{A)}、山崎高幸、川端哲也、濱口佳之、岡本 渉^{B)}

^{A)} 教育・研究技術支援室 計測・制御技術系

^{B)} 工学系技術支援室 装置開発技術系

1. まえがき

平成 21 年度名古屋大学技術職員研修にてプリント基板加工機を使った電子回路基板製作実習を行った。実習では OP アンプを用いたフィルタ回路を設計・製作した。今回はフィルタ回路の設計からフリーソフト PCBE を用いたプリントパターンの作成および加工機を使った基板の製作までを報告する。また、特性の異なるフィルタを複数製作したので、その比較評価についても述べる。

2. フィルタの設計

フィルタとは、必要な周波数帯域の信号を通過させ、それ以外の帯域の信号を減衰させるもので、信号の通過帯域によって以下のように分けられる。

- Low Pass Filter (LPF) : 低域通過
- High Pass Filter (HPF) : 高域通過
- Band Pass Filter (BPF) : 帯域通過
- Band Elimination Filter (BEF) : 帯域除去

今回基板加工の実習のために設計したフィルタはアクティブフィルタといわれるもので OP アンプ (演算増幅器)、抵抗、コンデンサで構成されている。

また、フィルタ回路は、バターワース、ベッセル、チェビシェフ等様々な種類がありこれらの種類は設計周波数での減衰度等の特徴によって分かれている。

我々は、通過帯域の平坦さを重視する最もよく使われるバターワースタイプでフィルタを作ることにした。

次に設計周波数、増幅度を決め、BPF については、先鋭度 (Q) を決める必要がある。

設計したフィルタは、増幅度が 1 の LPF (図 1)、HPF (図 2)、増幅度が 1 で Q が 10 の BPF と、増幅度が 10 で Q が 20 の BPF (図 3) の計 4 種類である。周波数はどのフィルタも 2kHz を目標にした。これらの条件・種類から、コンデンサ C と抵抗 R を決定した。

ちなみに Q は「中心周波数 ÷ 通過域の幅」で表され Q 値が高い程、通過域の狭いフィルタとなる。通過域の幅は高域側、低域側共に 3dB 減衰された利得の周波数の差である。

今回使用した OP アンプは TL081 (JFET、TEXAS INSTRUMENTS 社製) である。

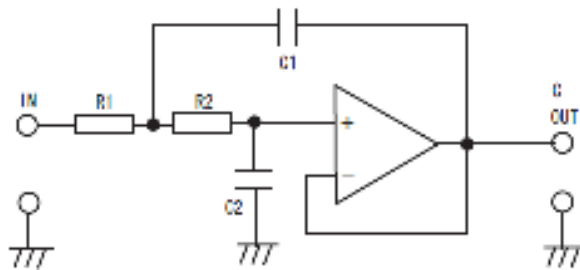


図1 バタワース型 2次 LPF

図1は LPF の回路である。2次 (C と R の組み合わせ) で、部品定数は $C1 = 10000\text{pF}$ 、 $C2 = 5000\text{pF}$ 、 $R1 = R2 = 11\text{k}\Omega$ とした。増幅度は 1 とした。

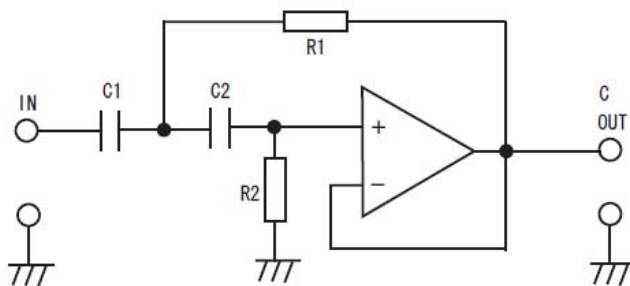


図2 バタワース型 2次 HPF

図2は HPF の回路である。2次 (C と R の組み合わせ) で、部品定数は $C1 = C2 = 1000\text{pF}$ 、 $R1 = 56\text{k}\Omega$ 、 $R2 = 120\text{k}\Omega$ とした。増幅度は 1 とした。

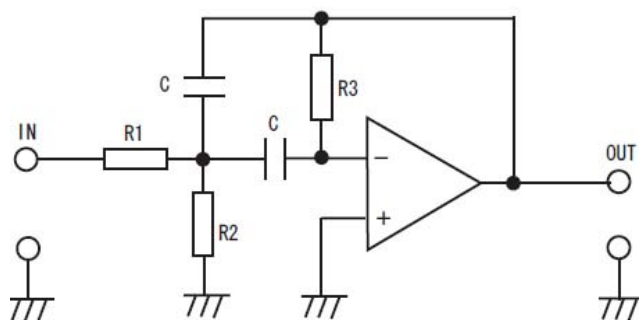


図3 負帰還方式 1次 BPF 回路図

図3は負帰還方式の1次 BPF の回路である。増幅度 1、 $Q=10$ の BPF は $C1 = C2 = 16000\text{pF}$ 、 $R1 = 50\text{k}\Omega$ 、 $R2 = 247\Omega$ 、 $R3 = 100\text{k}\Omega$ とした。また増幅度 10、 $Q=20$ の BPF は $C1 = C2 = 10000\text{pF}$ 、 $R1 = 16.5\text{k}\Omega$ 、 $R2 = 220\Omega$ 、 $R3 = 330\text{k}\Omega$ を設計し、増幅度と Q の違いを確認するようにした。

OP アンプは差動増幅回路でありオフセットの調整が欠かせない。オフセット調節は可変抵抗を用いて行った。

3. プリント基板設計

回路の基板設計に PCBE を用いた。PCBE は、Printed Circuit Board Editor の略で、プリント基板配線や穴を描くソフト*2 である。PCBE は基板加工機にデータを読み込ませるガーバ・ファイルを出力する。ガーバ・ファイル出力ができる描画ソフトであれば何でもよいが、PCBE は、フリーで利用できるため利用した。PCBE は、基板サイズ $1000\text{mm} \times 1000\text{mm}$ まで作成可能で、作画した結果を部品ライブラリに登録することができるという特徴がある。PCBE では穴あけ、パターン溝、基板外形加工の 3 レイヤの設計が必要である。

4. 基板加工

プリント基板加工機は切削によりプリント基板の配線を形成することができる。この加工法は従来から行われているエッチング法に比べ、露光や現像といった工程がないため、化学薬品を使わない。またデータを作成後は穴あけ・切削を自動で行うため、手間が省けるといった利点がある。今回設計した回路を片面銅張積層板（FR-4）に加工機を使って加工した。この加工では、穴あけ（0.8mm）、パターン溝（0.3mm）、基板外形加工（2mm）の順番で加工される。出来た基板は図5である。また実際の加工機の使用にあたっては使用ドリルの確認や、ドリルの深さの調整が必要である。



図4 基板加工機 FP-31AT

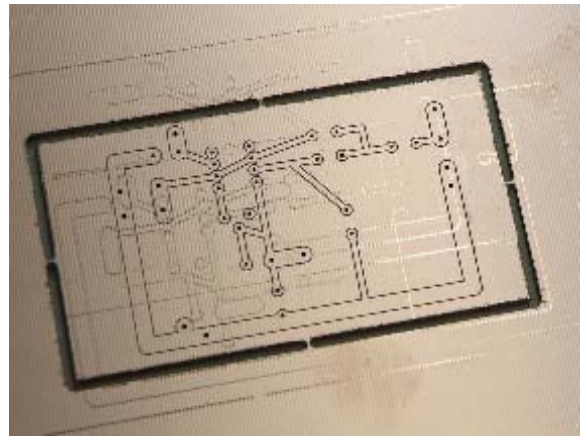


図5 加工後の基板

このプリント基板加工機（図4）はミツ株式会社製で共同教育研究棟1階工作室にて利用できる。主な仕様は以下の通り。

表1 MIT FPZ-31AT 仕様抜粋*3

Model	FP-31AT（接触方式）
加工範囲(mm)	325×325
制御軸	X, Y, Z（ステッピングモータ）
最小パターン幅（mm）	0.1
最小切削幅（mm）	0.1
分解能 **4	6.35 μm
最高加工速度 **1	45mm/sec
スピンドル回転数(min ⁻¹)	5000～40000
ドリル径	0.2～3.175
最高ドリル速度（回/min） **2	60（80も可能） **3
最大加工ストローク（mm）	40
工具交換	10本・自動
消費電力	270VA
寸法（mm）	575×700×450（約60kg）

**1 使用する工具の形状によっては加工時の速度を落とす必要がある

**2 最大ストロークに対応するドリル回数（移動距離は含まない）
小径のドリルでは速度を落とす必要がある

**3 80の場合、最大加工ストロークが短くなる（工場にて改造）

**4 各軸に指令できる最小ステップ値。各軸の位置決め精度を表すものではない。

5. フィルタの特性評価

フィルタ設計では遮断周波数を決め、部品定数を決めている。設計通りの特性が得られているか調べるために、周波数特性を調べた。図 6 にフィルタの特性測定実験をする際のブロックダイアグラムを示す。使用機器は以下の通り。

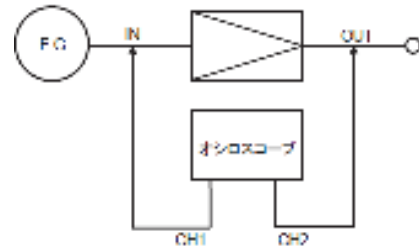


図 6 実験のブロックダイアグラム

オシロスコープ：Tektronix TDS 3014C 100MHz 1.25GS/s

ファンクションジェネレーター：Sandiego.Ca WAVETEX Model 193

測定で得られた利得の周波数特性を以下のグラフに示す（図 7）。

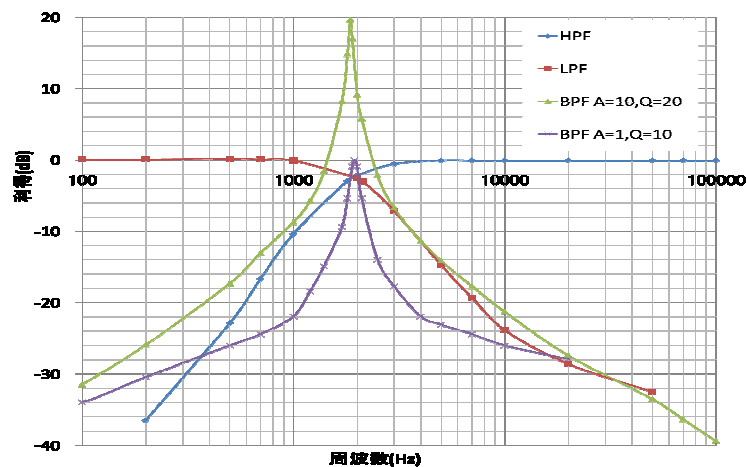


図 7 周波数特性比較

LPF、HPF の周波数特性は、バターワースの特徴である通過帯域が一定で平坦な傾向がでている。BPF については、2kHz 付近に頂点を持ち、高周波側、低周波では減衰している。

- ・ LPF の遮断周波数は 2135Hz となった。
- ・ HPF の遮断周波数は 1810Hz となった。
- ・ BPF（増幅度 1, Q10）の中心周波数は、1943Hz であった。
- ・ BPF（増幅度 10, Q20）の中心周波数は、1858Hz であった。

これらの 2kHz からのずれは設計時のコンデンサ選定の若干のずれを見過ごしたため、BPF（Q20）について再計算の中心周波数の理論値は 1866Hz であった。同様に LPF について再計算の理論値は 2046Hz、HPF については、1941Hz、BPF（増幅度 1, Q1）の再計算の理論値は 1986Hz であった。以下に実測と理論値をまとめた。

表 2 実測と理論値

フィルタ	実測(Hz)	理論値(Hz)
LPF	2135	2046
HPF	1810	1941
BPF A1 Q10	1943	1986
BPF A10 Q20	1858	1866

- ・ Q の設計値は 20 に対して実際の測定の Q は 21 であった。
- ・ Q の設計値は 10 に対して実際の測定の Q は 10 であった。

Q が高いと、中心周波数付近の通過域が狭くなることがグラフ（図 7）からわかる。また増幅度の違いも明らかである。

それぞれの理論設計値からの誤差を求めると、LPF は 4.3% (89Hz)、HPF は 6.7% (-131Hz)、BPF（増幅度 1、Q10）は 2.2% (-43Hz)、BPF（増幅度 10、Q20）は 0.4% (-8Hz) であった。（実測が低周波側へのずれは（-））これらのことから、フィルタの設計において参考資料*1 を基にした設計は十分に可能であると言える。

研修後、BPF（増幅度 10、Q20）のフィルタと同じ部品定数を使って、周波数特性を SPICE シミュレータで行った。中心周波数の結果は、1882Hz となった。実測との差も小さく十分シミュレータも設計に使えることがわかる。なおシミュレーションと実測の誤差は 1.3% (-24Hz) であった。

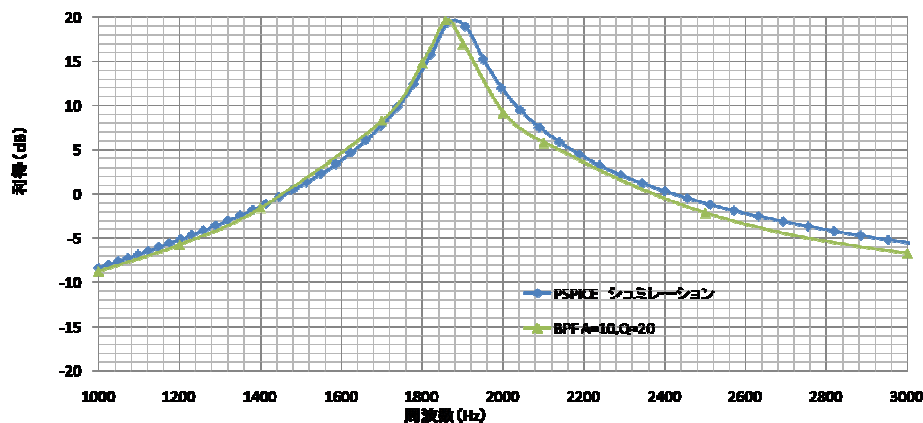


図 7 SPICE シミュレーションと実測との比較

6. まとめ

本研修を通して OP アンプの理解をより深めることができた。フィルタ設計では参考となる情報の正しさを確認でき、回路設計の幅が広がった。また、電子回路基板を製作するうえで基板加工機は非常に有用であることがわかったので、今後の業務でも使用したい。

7. 参考資料

- *1 島田公明 アナログ回路応用マニュアル 日本放送出版協会 1986 年
- *2 能登尚彦 プリントパターン作成ツール PCBE CQ 出版 2007 年
- *3 ミッツ株式会社 HP <http://www.mits.co.jp/>