

山城 正史 清山 浩司 田中 義人
(長崎総合科学大学)

1. はじめに

スイッチト・キャパシタ・フィルタ (以下、SCF と略記する) は、モノリシック IC 化が容易なアナログ・フィルタである。近年、SCF 技術は電話関係などの通信分野を中心に、広く使用されてきた。

従来の RC アクティブフィルタにおいて、フィルタの周波数特性は R と C の値の積によって決まる。この為、低周波帯のフィルタをつくるには、C の値が数 μF 、さらに、抵抗も大きなものが必要となり、モノリシック IC での実現が難しい。

本研究では、VDEC プロセスを用いて、遮断周波数 2 kHz のローパス・フィルタ (LPF) を SCF で設計し実現性を検討した。

2. 回路構成および設計法

図 1 は、SCF を使った 2 次フィルタの回路構成を示す。この回路は、RC 積分器の抵抗 R の部分をキャパシタ C とスイッチ に置き換えることで構成される。ただし、この図でスイッチ ϕ_1 と ϕ_2 は位相が反転している。この回路は、バイカッド・フィルタ (bi-quad filters) と呼ばれ、設計が容易で寄生容量に不感な特性を持つことから、一般的に用いられている方法である。

この回路の伝達関数は、

$$H(z) = \frac{V_o(z)}{V_i(z)} = -\frac{K_3 z^2 + (K_1 K_5 + K_2 K_5 - 2K_3)z + (K_3 - K_2 K_5)}{z^2 + (K_4 K_5 + K_5 K_6 - 2)z + (1 - K_5 K_6)} \quad (1)$$

と表される。

今回は、遮断周波数 2 kHz に対して、スイッチのサンプリングクロック周波数 50 kHz となる 2 次パワース型 LPF の設計を行った。ここで $K_1 \sim K_6$ の値は次のとおりになる。

$$\begin{pmatrix} \bullet K_1 = 0.230053 & \bullet K_4 = K_5 = 0.230053 \\ \bullet K_2 = 0 & \bullet K_6 = 1.294499 \\ \bullet K_3 = 1.323107 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

この条件から求められる伝達関数は、

$$H(z) = -\frac{1.323107 \times 10^{-4} z^2 + 52.659671 \times 10^{-3} z + 1.323107}{z^2 - 1.649273z + 0.702197} \quad (2)$$

となった。

C_1, C_2 を容量比 1 とした時、 $K_i C_i$ の最小の容量値を 0.7 pF とおいた時のそれぞれの容量値を図 1 に記した。ただし、() はレイアウト上で実際に設計した数値である。

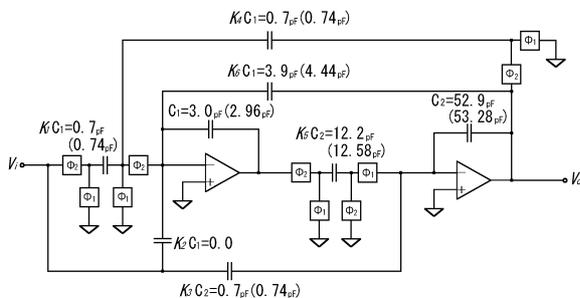


図 1 2 次 SC バイカッド LPF の回路図

3. レイアウト設計

今回のレイアウトの設計は、ROHM 社の 0.6 μm プロセスを使用し、Cadence のレイアウトエディタ上で設計した。

SCF 回路では、容量の絶対値ではなく、比精度が問題となる。容量

比精度の特性は、容量の面積の平方根に反比例して誤差が小さくなる。今回は、チップ面積は大きくなるが、平面的加工精度の誤差がシステムティックな容量誤差とならないよう、容量比の大きい方に単位容量を端数分だけ大きくして接続した。

図 2 は、試作したチップのレイアウトを示す。C の面積 ($104 \times 10^3 \mu\text{m}^2$) の割合は、全体の面積 ($257.6 \times 10^3 \mu\text{m}^2$) の約 40% になった。

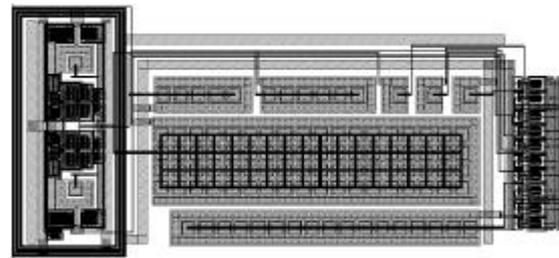


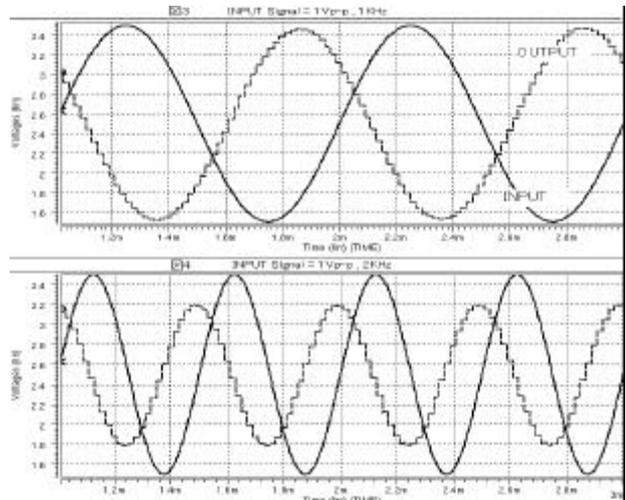
図 2 2 次 SC バイカッド LPF のレイアウト図

4. シミュレーション

実際に周波数 2 kHz で遮断されることを確かめるため、hspice を使用してシミュレーションを行なった。

図 3 は、入力電圧 1 V_{p-p}、周波数 1 kHz の正弦波を入力した時、図 4 は、1 V_{p-p}、2 kHz の正弦波を入力した時のシミュレーション波形を示す。階段状に示されているのが SCF の出力波形である。

図からわかるように、入力信号が 1 kHz の時は、増幅度 1 倍の波形が現れた。一方、入力信号が 2 kHz の時は、-3 dB (約 0.7 倍) 減衰して現れた。この結果、フィルタは計算どおり正しく動作することが確認できた。



5. まとめ

本研究では、VDEC プロセスを用いて 2 次バイカッド LPF の設計を行った。通常の RC アクティブフィルタを使用すると、($C_{\min} = 3\text{pF}$ 、 $R_{\min} = 1\text{M}$) ~ ($C_{\max} = 79.58\text{pF}$ 、 $R_{\max} = 26.53\text{M}$) の範囲で構成しなければならない。今回、SCF を用いることで (C_{\min} 、 C_{\max}) = (0.7 pF、53.28 pF) の範囲で構成できた。また、フィルタ全体も $257.6 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ 程度でレイアウトでき、C の専有面積も 40% 程度で実現できた。

本チップ設計は、東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通じ、ローム(株)および凸版印刷(株)の協力で行われたものである。