

ノッチ周波数可変な楕型フィルタの ノッチ間隔の一定性に関する考察

迫 和孝[†] 打矢 隆弘[‡] 内匠 逸[§]

^{†‡§}名古屋工業大学大学院 工学研究科

〒 466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町

1 はじめに

実信号を処理するにあたって，最初にアナログ信号からデジタル信号へと変換する（A/D 変換）．微弱な信号を A/D 変換する場合は，観測される信号に商用電源を起因とした雑音（以下，商用電源雑音）が混入することが多い．商用電源雑音は，50/60[Hz] とその整数倍の周波数成分である高調波で構成されており，楕型フィルタを用いて除去可能である．

しかし，商用電源雑音には基本波において ± 0.1 [Hz] 程度の周波数ゆらぎが存在する．従来の楕型フィルタは設計後にノッチ周波数の調整ができず，周波数ゆらぎに対応不可能である．そこで，本研究では周波数ゆらぎのある商用電源雑音を除去するため，ノッチ周波数を適応制御できるフィルタを提案する．また，そのフィルタ特性についての調査を行う．

2 従来の楕型フィルタ

楕型フィルタとは，周波数特性において等間隔でスパイク状の落込み（以下，ノッチ）を有するフィルタである．この特性により，基本周波数と高調波からなる周期的な信号の除去に有効である（図 1）．楕型フィルタのノッチは，全域通過フィルタによって特定周波数のみの位相が反転された信号と入力信号が打ち消しあうことにより実現する [1]．

従来の楕型フィルタの構造図を図 2 に示す．また，伝達関数は以下の式で表される．

$$H(z) = 1 + \frac{a - z^{-N}}{1 - az^{-N}} \quad (1)$$

ここで， N は遅延数， a はフィルタ係数であり，ノッチの急峻さのみを調整できる．また，楕型フィルタのノッチ周波数の間隔は，サンプリング周波数 f_s と遅延数 N から f_s/N で与えられ，設計後は変更や調整はできない．従って，商用電源雑音の周波数ゆらぎに対応できない．

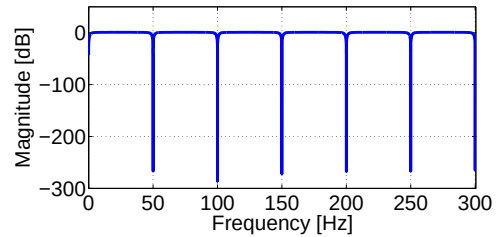


図 1: 従来の楕型フィルタの周波数特性

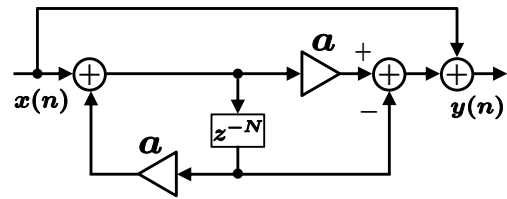


図 2: 従来の楕型フィルタの構造図

3 ノッチ周波数可変な楕型フィルタ

従来の楕型フィルタが周波数ゆらぎに対応できない問題を解決するため，ノッチ周波数が f_s/N の楕型フィルタと $f_s/(N+1)$ の楕型フィルタを融合させ，二つの楕型フィルタの足し合わせる比率を変えることで，ノッチ周波数を変化させる手法を提案する．

提案したノッチ周波数可変な楕型フィルタの構造図を図 3 に示す．また，伝達関数は以下の式で表される．

$$H(z) = 1 + \frac{a_2 + a_1 z^{-1} - z^{-(N+1)}}{1 - a_1 z^{-N} - a_2 z^{-(N+1)}} \quad (2)$$

提案手法は，二つの係数の値を変えることによりノッチの周波数と急峻さを調整可能である．

サンプリング周波数を 5000[Hz]，遅延数を $N = 100$ とし，係数の値を変化させた場合を図 4 に示す．図 4 より，サンプリング周波数 f_s や遅延数 N の変更なく，係数の値のみでノッチ周波数の調整が可能であると確認できた．これより，周波数ゆらぎに対応して最適な係数を設定し，動的にノッチ周波数を変化させることにより商用電源雑音の除去を達成する．

Discussion on Uniformity of Notch Interval in Frequency Variable Notch Comb Filter

[†]Kazutaka SAKO [‡]Takahiro Uchiya [§]Ichirō TAKUMI

^{†‡§}Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya, Aichi, 466-8555 Japan

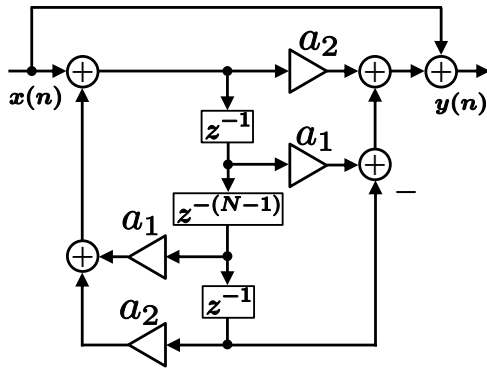


図 3: ノッチ周波数可変な楕型フィルタの構造図

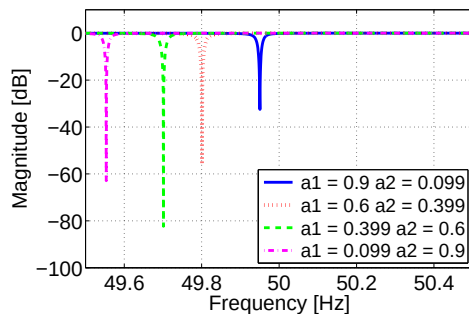


図 4: 提案手法の係数を変化させた場合の周波数特性

4 提案手法のノッチ周波数間隔の調査

商用電源雑音は、基本波の周波数が変化すると第2高調波は2倍、第3高調波は3倍変化し、各高調波の周波数は等間隔である。そのため、商用電源雑音を除去するには、提案手法のノッチ周波数の間隔（以下、ノッチ間隔）も等間隔とならなければならない。

ここで、サンプリング周波数を 5000[Hz]、遅延数を $N = 100$ 、第1ノッチ周波数を 50.1[Hz] に設定し、ノッチ間隔を調査した。この時、フィルタ係数は $a_1 = 0.9, a_2 = -0.399$ である。調査結果を図 5 に示す。図より、提案手法のノッチ間隔は、従来の楕型フィルタと異なり高周波数になるにつれ広がることが分かる。

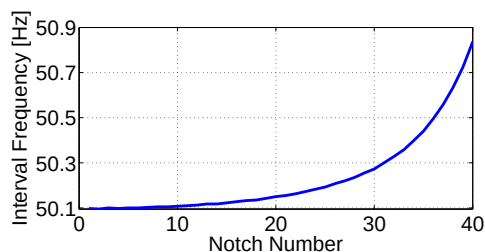


図 5: 第1ノッチが 50.1[Hz] の場合のノッチ間隔

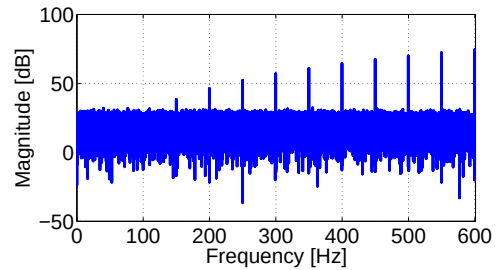


図 6: ノッチが急峻な場合の出力信号

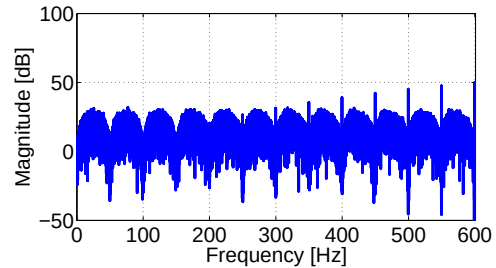


図 7: ノッチが緩やかな場合の出力信号

5 提案手法の除去性能の調査

提案手法のノッチ間隔が広がることにより、高周波数ほど商用電源雑音の周波数からずれ、除去量が低下すると推測される。周波数のずれによる除去量の低下は、ノッチの急峻さを緩和すると対応可能である。

そこで、ノッチの急峻さが異なる場合の除去性能を比較する。入力信号は 49.97[Hz] を基本周波数とする正弦波とその高調波（ともに同一レベル 110[dB]）、白色雑音の合成波を与える。また、サンプリング周波数を 5000[Hz]、遅延数を $N = 100$ とした。さらに、ノッチが急峻な場合のフィルタ係数を $a_1 = 0.9, a_2 = 0.015$ 、緩やかな場合を $a_1 = 0.5, a_2 = -0.43$ とした。ノッチが急峻な場合の出力信号を図 6 に、緩やかな場合を図 7 に示す。これらより、ノッチの急峻さを緩和すると、12 倍高調波 (600[Hz]) でも約 25[dB] の性能が向上した。

しかしながら、ノッチ周辺の周波数を余分に除去している事実も確認できる。

6 まとめ

本稿では、ノッチ周波数を可変にした楕型フィルタを提案した。提案手法のノッチ間隔を調査すると、高周波数ほど広がる現象を確認した。現在は、ノッチ間隔が広がる原因調査と問題解決法を検討している。

参考文献

- [1] 小林 正樹, 他, “2 次全域通過フィルタを用いた縦続構成適応ノッチフィルタのアルゴリズムと収束性”, 信学論 (A), vol.J83-A, No.5, pp.594-598, 2000.