

高周波信号処理用アナログヒルレベルトフィルタの理論検討

○田村善郎 関山燎 浅見幸司 小林春夫 群馬大学大学院電子情報部門

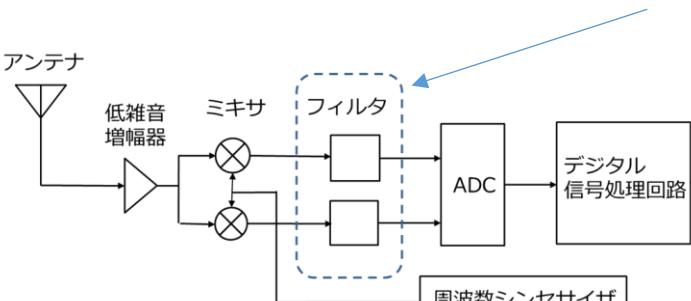
t161d062@gunma-u.ac.jp



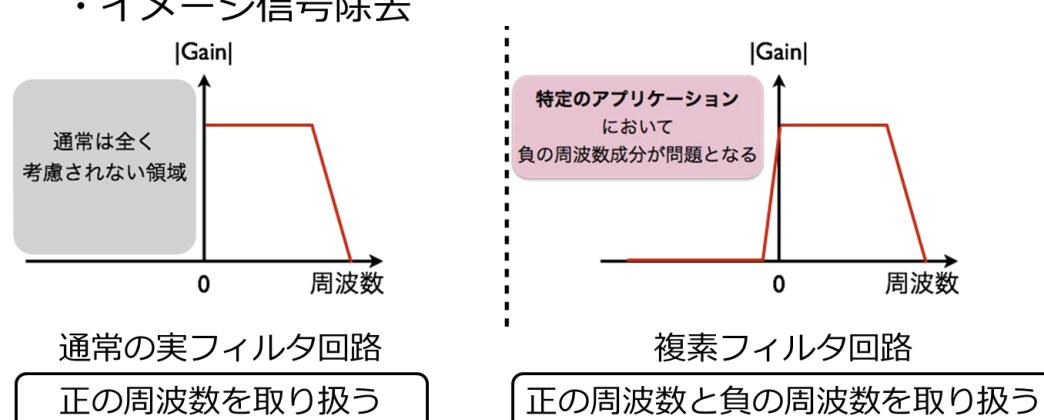
1.研究目的

RCポリフェーズフィルタ

- 特徴
 - 受動素子R, Cで構成
 - アナログバンドパスフィルタ
 - 複素信号処理



- 重要な役割
 - 直交波形生成
 - イメージ信号除去



ヒルレベルトフィルタ

- 特徴
 - もとの信号($\omega \geq 0$)から位相が $\pi/2$ 遅れた信号を生成
→ ヒルレベルト変換
 - 1入力2出力

- 用途
 - Single Side Band通信の90度移相
 - デジタル通信の周波数シフト

実数信号 $x(t)$ から複素信号を求める
 $x(t) \rightarrow x(t) + jy(t)$

ヒルレベルト変換

$$y(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{t - \tau} d\tau = x(t) * \frac{1}{\pi t}$$



1862-1943

複素(I,Q)入力 アナログ → 実数部(Vin)入力 デジタル

RCポリフェーズフィルタ

- 無線通信回路で使用
- ヒルレベルトフィルタの特性に類似性ありと考察

RCポリフェーズフィルタの特性を解析

ヒルレベルトフィルタとの関連性を示す

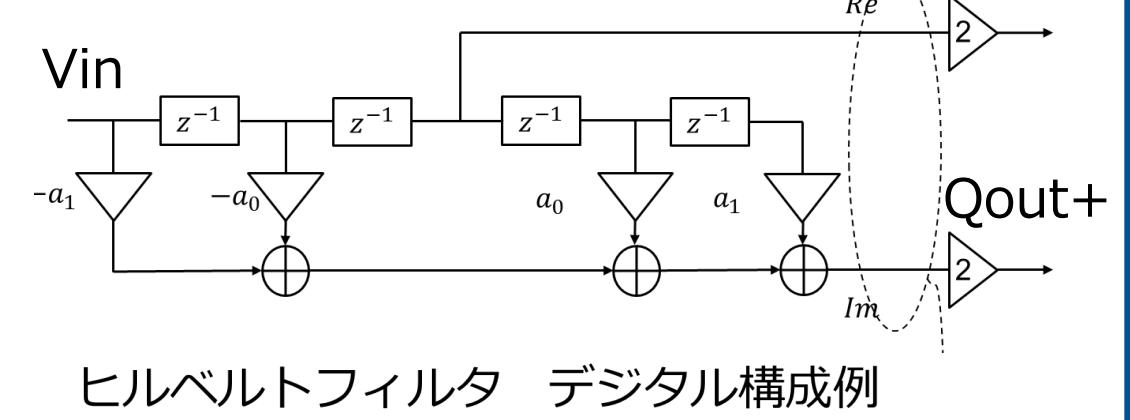
インパルス応答をフーリエ変換

$$h(t) = \frac{1}{\pi t} \leftrightarrow H(\omega) = \begin{cases} -j & (\omega \geq 0) \\ j & (\omega < 0) \end{cases}$$

Fourier

周波数特性 $H(\omega)$

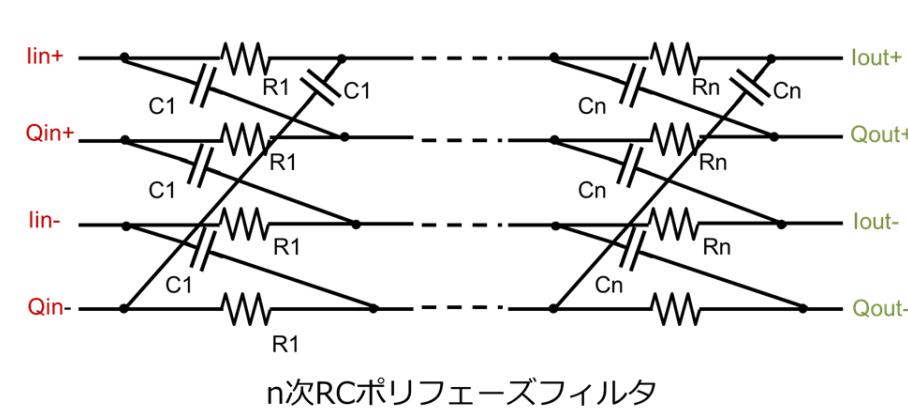
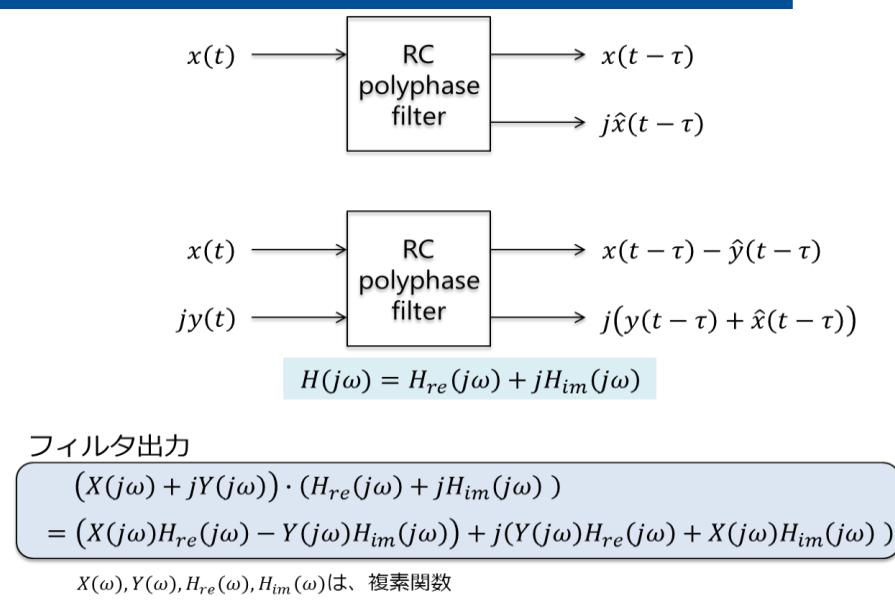
$$Y(\omega) = H(\omega)X(\omega) = \begin{cases} -jX(\omega) & (\omega \geq 0) \\ jX(\omega) & (\omega < 0) \end{cases}$$



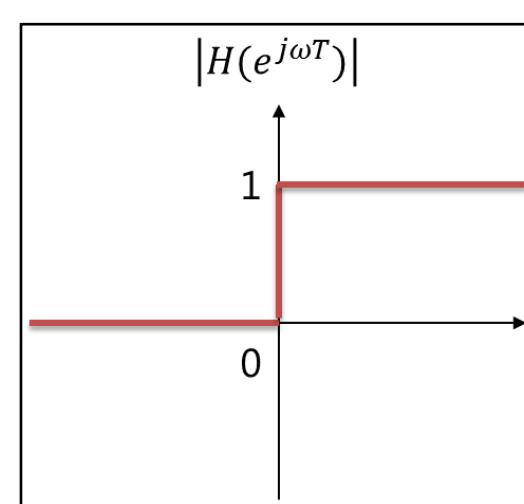
ヒルレベルトフィルタ デジタル構成例

2.理論解析のゴール

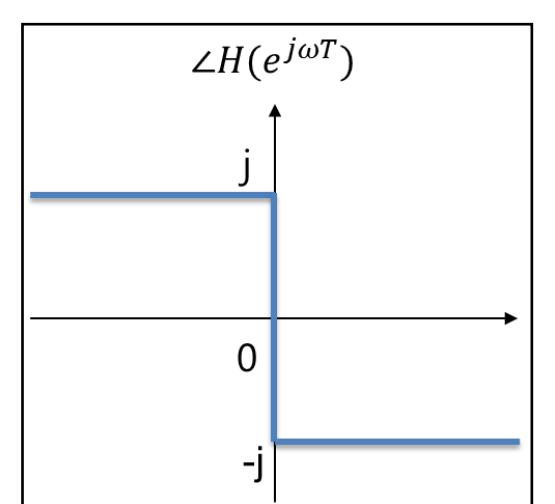
N次RCポリフェーズフィルタの周波数特性を解析



近似



利得特性



位相特性

3.得られた成果

1~4次RCポリフェーズフィルタの周波数特性を解析

	伝達関数	利得特性[倍]	位相特性[rad]
1次	$H_1(j\omega) = \frac{1 + \omega R_1 C_1}{1 + j\omega R_1 C_1}$ $R_1 = 1k\Omega \quad C_1 = 10pF$		
2次	$H_2(j\omega) = \frac{(1 + \omega R_1 C_1)(1 + \omega R_2 C_2)}{1 - \omega^2 R_1 C_1 R_2 C_2 + j\omega(R_1 C_1 + R_2 C_2 + 2R_1 C_2)}$ $R_1 = 1k\Omega \quad C_1 = 10pF$ $R_2 = 3k\Omega \quad C_2 = 1pF$		
3次	$H_3(j\omega) = \frac{N_3(j\omega)}{D_{3R}(j\omega) + j[D_{3I}(j\omega)]}$ $N_3(j\omega) = (1 + \omega R_1 C_1)(1 + \omega R_2 C_2)(1 + \omega R_3 C_3)$ $D_{3R}(j\omega) = 1 - \omega^2 [R_1 C_1 R_2 C_2 + R_2 C_2 R_3 C_3 + R_1 C_1 R_3 C_3 + 2R_1 C_3 (R_2 C_2 + R_2 C_1 + R_3 C_2)]$ $D_{3I}(j\omega) = \omega [R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_3 C_3 + 2(R_1 C_2 + R_2 C_3 + R_1 C_3) - \omega^3 R_1 C_1 R_2 C_2 R_3 C_3]$ $R_1 = 1k\Omega \quad C_1 = 10pF$ $R_2 = 3k\Omega \quad C_2 = 1pF$ $R_3 = 5k\Omega \quad C_3 = 0.2pF$		
4次	$H_4(j\omega) = \frac{N_4(j\omega)}{D_{4R}(j\omega) + j[D_{4I}(j\omega)]}$ $N_4(j\omega) = (1 + \omega R_1 C_1)(1 + \omega R_2 C_2)(1 + \omega R_3 C_3)(1 + \omega R_4 C_4)$ $D_{4R}(j\omega) = 1 - \omega^2 [R_1 R_2 (C_1 C_2 + 2C_1 C_3 + 2C_2 C_4 + 2C_2 C_3) + R_1 R_2 (C_1 C_3 + 2C_1 C_4 + 2C_2 C_3 + 2C_3 C_4) + R_1 R_3 (C_1 C_4 + 2C_2 C_4 + 4C_1 C_3 + 2C_2 C_3) + R_1 R_4 (C_1 C_4 + 2C_2 C_4 + 2C_3 C_4) + R_2 R_3 (C_2 C_3 + 2C_2 C_4 + 2C_3 C_4) + R_2 R_4 (C_2 C_4 + 2C_3 C_4) + R_3 R_4 (C_3 C_4 + 2C_2 C_3)]$ $R_1 = 1k\Omega \quad C_1 = 10pF$ $R_2 = 3k\Omega \quad C_2 = 1pF$ $R_3 = 5k\Omega \quad C_3 = 0.2pF$ $R_4 = 7k\Omega \quad C_4 = 0.1pF$		

一般の n 次 ($n=1, 2, 3, 4, 5, \dots$)においても成立と予想

利得特性はゼロ点のみヒルレベルトフィルタ

位相特性は完全にヒルレベルトフィルタ

4.応用への展開

RCポリフェーズフィルタ特性がヒルレベルト変換に近似

複素信号処理をアナログ信号のまま行える

高速、広帯域な通信や第5世代のミリ波通信で、デジタル処理が追いつかない高速・高周波信号処理に役立つと期待

5.詳細

[1] 田村善郎, 関山燎, 浅見幸司, 小林春夫
「複素アナログヒルレベルトフィルタとしてのRCポリフェーズフィルタの特性」
電気学会 電子回路研究会, ECT-16-046, 鶴岡 (2016年6月9日).

謝辞: 有意義なコメントをいただきました北見工業大学 谷本洋先生に感謝いたします。