

# 高周波信号処理用アナログヒル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

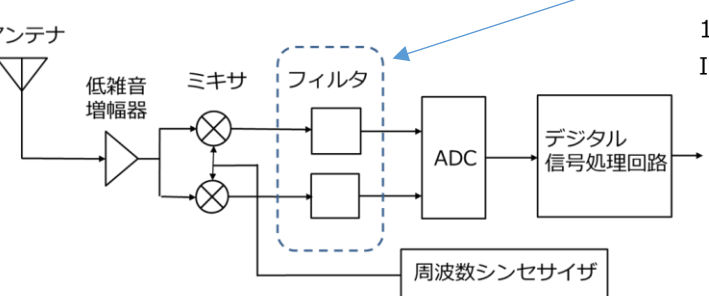


## 1.研究目的

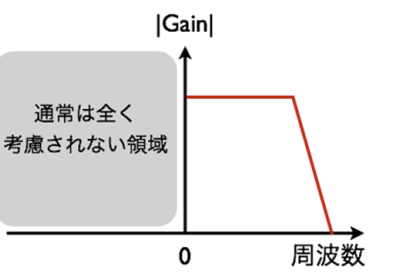
## RCポリフェーズフィルタ

## ヒルベルトフィルタ

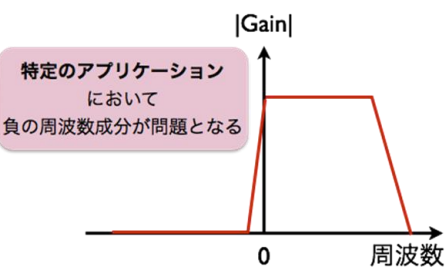
- 特徴
  - ・受動素子R, Cで構成
  - ・アナログバンドパスフィルタ
  - ・複素信号処理



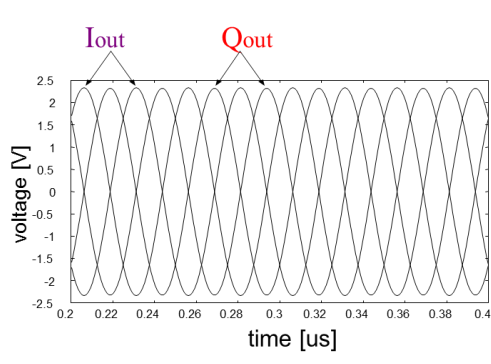
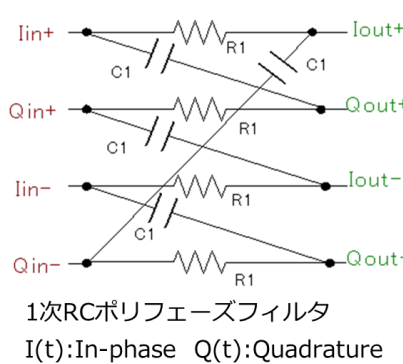
- 重要な役割
  - ・直交波形生成
  - ・イメージ信号除去



通常の実フィルタ回路  
正の周波数を取り扱う



複素フィルタ回路  
正の周波数と負の周波数を取り扱う



- 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たい  
 $x(t) \rightarrow x(t) + jy(t)$

ヒルベルト変換

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



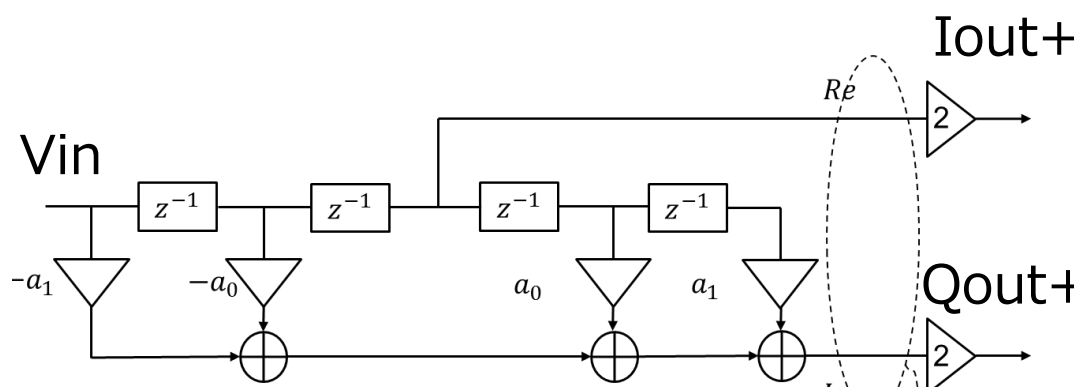
David Hilbert (独)  
1862-1943

インパルス応答をフーリエ変換

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

周波数特性 $H(\omega)$

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



ヒルベルトフィルタ デジタル構成例

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

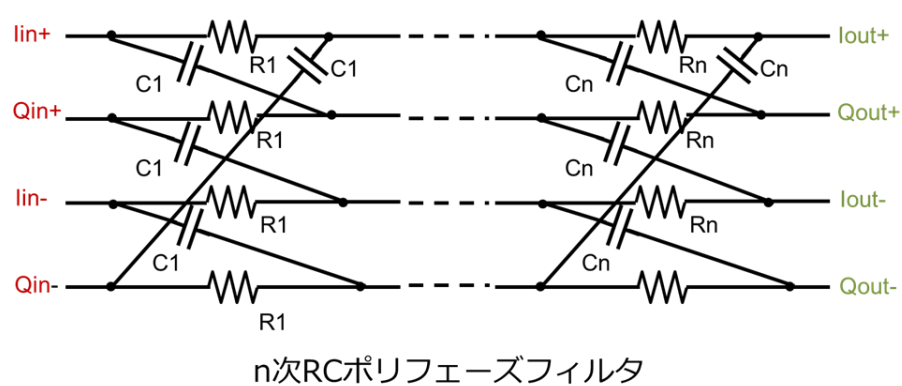
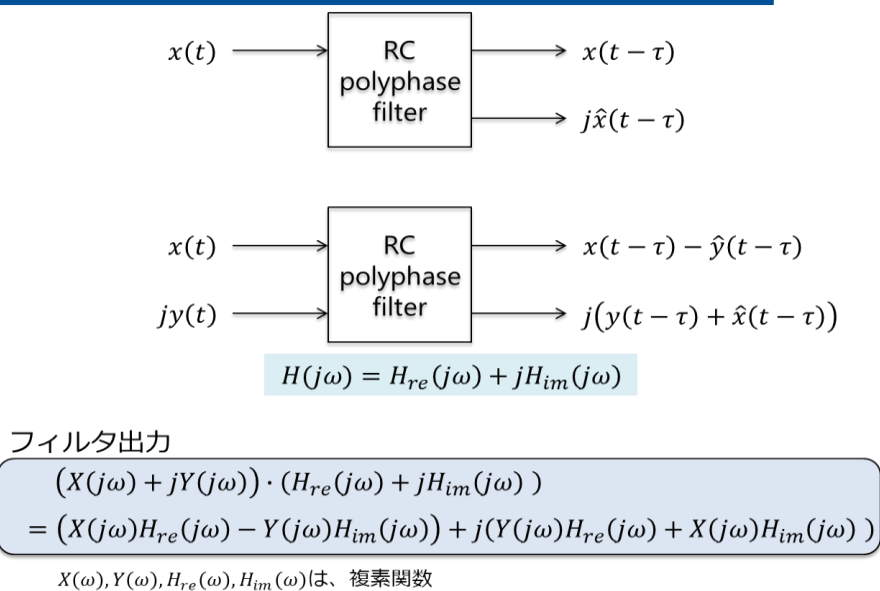
- 無線通信回路で使用
- ヒルベルトフィルタの特性に類似性ありと考察

RCポリフェーズフィルタの特性を解析

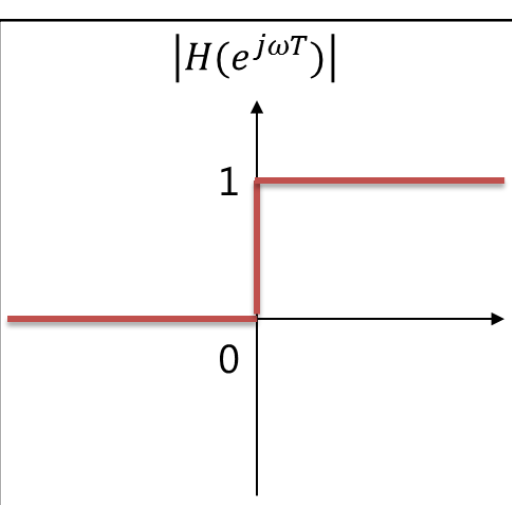
ヒルベルトフィルタとの関連性を示す

## 2.理論解析のゴール

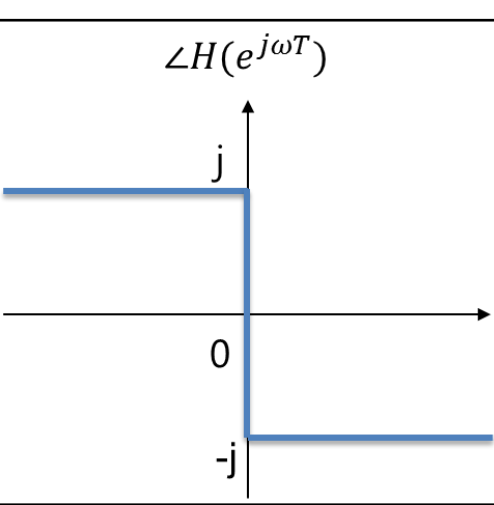
## N次RCポリフェーズフィルタの周波数特性を解析



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	$H_3(j\omega) = \frac{N_3(j\omega)}{D_{3R}(j\omega) + jD_{3I}(j\omega)}$ $N_3(j\omega) = (1 + \omega R_1 C_1)(1 + \omega R_2 C_2)(1 + \omega R_3 C_3)$ $D_{3R}(j\omega) = 1 - \omega^2[R_1 C_1 R_2 C_2 + R_2 C_2 R_3 C_3 + R_1 C_1 R_3 C_3 + 2R_1 C_2(R_2 C_2 + R_3 C_3)]$ $D_{3I}(j\omega) = \omega[R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_3 C_3 + 2(R_1 C_2 + R_2 C_3 + R_1 C_3)] - \omega^3 R_1 C_1 R_2 C_2 R_3 C_3$ $R_1 = 1k\Omega \quad C_1 = 10pF$ $R_2 = 3k\Omega \quad C_2 = 1pF$ $R_3 = 5k\Omega \quad C_3 = 0.2pF$		
4次	$H_4(j\omega) = \frac{N_4(j\omega)}{D_{4R}(j\omega) + jD_{4I}(j\omega)}$ $N_4(j\omega) = (1 + \omega R_1 C_1)(1 + \omega R_2 C_2)(1 + \omega R_3 C_3)(1 + \omega R_4 C_4)$ $D_{4R}(j\omega) = 1 - \omega^2[R_1 C_1(R_2 C_2 + 2R_3 C_3 + 2R_4 C_4) + R_2 C_2(R_3 C_3 + 2R_4 C_4) + R_3 C_3(2R_4 C_4 + 2R_1 C_1 + 2R_2 C_2) + R_4 C_4(2R_1 C_1 + 2R_2 C_2 + 2R_3 C_3)]$ $D_{4I}(j\omega) = \omega[R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_3 C_3 + 2(R_1 C_2 + R_2 C_3 + R_1 C_3)] - \omega^3 R_1 C_1 R_2 C_2 R_3 C_3$ $R_1 = 1k\Omega \quad C_1 = 10pF$ $R_2 = 3k\Omega \quad C_2 = 1pF$ $R_3 = 5k\Omega \quad C_3 = 0.2pF$ $R_4 = 7k\Omega \quad C_4 = 0.1pF$		

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

利得特性はゼロ点のみヒルベルトフィルタ

位相特性は完全にヒルベルトフィルタ

## 4.応用への展開

RCポリフェーズフィルタは複素入力のヒルベルトフィルタ  
高次になるほど、ヒルベルトフィルタの理想特性に近づく

RCポリフェーズフィルタ特性がヒルベルト変換に近似

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付かない高速・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。