

DA02625
2000
E15

複素係数フィルタの構成と
その周波数特性の測定法に関する研究

工学研究科
筑波大学

2001年3月

庄野和宏

寄	贈
庄野和宏氏	平成 年 月 日

01003453

目次

第1章	序論	6
1.1	研究の背景	6
1.2	各章の概要	10
第2章	複素フィルタ	13
2.1	実フィルタ	14
2.2	複素フィルタ	17
2.3	複素フィルタの実現法	20
2.3.1	信号経路の分割	20
2.3.2	ジャイレータを用いた虚数抵抗の直接実現	21
2.4	複素フィルタによる実信号処理	23
2.5	複素フィルタの応用例	25
2.5.1	直交変復調装置	25
2.5.2	抑圧搬送波帯 (SSB) 通信	27
2.6	素子感度特性	29
2.7	まとめ	32
第3章	理想トランスを用いた複素フィルタの実現とその演算増幅器によるシミュレーション	33
3.1	ジャイレータを用いた複素フィルタの構成	34
3.1.1	虚数抵抗の実現	34
3.1.2	実一端子対素子の実現	35
3.1.3	構成例	35
3.2	理想トランスにより虚数抵抗を実現した複素フィルタ	37
3.2.1	理想トランスによる虚数抵抗の実現	37
3.2.2	双対回路	38
3.2.3	構成例	40
3.3	演算増幅器によるシミュレーション	41
3.3.1	理想トランスの除去	41
3.3.2	FDNR シミュレーション	43
3.4	素子感度	47
3.5	実験	51
3.5.1	フィルタの仕様	51
3.5.2	測定装置	53
3.5.3	位相差分波器	53
3.5.4	測定システム	55
3.5.5	実験結果	55
3.6	まとめ	58

第 4 章	受動実現に適した複素伝達関数の構成とその受動実現	59
4.1	受動実現に適した周波数変換	60
4.1.1	周波数変換	60
4.1.2	素子変換	62
4.2	複素フィルタの受動実現	63
4.2.1	理想トランスを用いた複素フィルタ	63
4.2.2	密結合トランスへの変換	64
4.3	構成例	64
4.4	素子感度	66
4.5	実験	67
4.5.1	フィルタの仕様	67
4.5.2	測定方法	70
4.5.3	測定機器	70
4.5.4	測定治具	71
4.5.5	測定システム	72
4.5.6	実験結果	72
4.6	まとめ	76
第 5 章	実バンドパスフィルタを基にした複素バンドパスフィルタの構成	77
5.1	提案手法	77
5.1.1	場合 1(周波数シフト法)	79
5.1.2	場合 2(ELHT 法)	80
5.1.3	場合 3(R^iCR 構成)	80
5.1.4	場合 4(LR^iR 構成)	81
5.2	安定性	82
5.3	周波数特性例	83
5.4	素子感度	88
5.5	まとめ	89
第 6 章	複素フィルタの周波数特性の測定法に関する考察	90
6.1	従来法における測定誤差	91
6.2	提案する測定方法	97
6.2.1	測定方法 1	97
6.2.2	測定方法 2	99
6.3	提案手法の測定誤差	100
6.4	実験	102
6.4.1	被測定フィルタ	102
6.4.2	測定機器	103
6.4.3	測定システム	103
6.4.4	実験結果	105
6.5	まとめ	109
第 7 章	結論	110

付録 A 付録	115
A.1 複素伝達関数のための振幅自乗関数	115
A.2 被測定フィルタの周波数応答	116
A.2.1 正の周波数領域における応答	116
A.2.2 負の周波数領域における応答	116

目次

2.1	(a) 実フィルタの極配置 (b) ローパス形実フィルタの周波数特性例	16
2.2	実ローパスフィルタ	16
2.3	(a) 複素フィルタの極配置 (b) 周波数特性例	18
2.4	素子の変換	18
2.5	複素フィルタ	18
2.6	実信号処理系を用いた複素フィルタの等価実現	21
2.7	(a) 虚数抵抗 (b) ジャイレータを用いた虚数抵抗の実現 [28]	21
2.8	ジャイレータを用いた複素フィルタ	22
2.9	演算増幅器を用いて実現したジャイレータ	22
2.10	複素フィルタによる実信号処理	23
2.11	(a) 直交復調装置 (b) 各部の信号スペクトラム	26
2.12	(a)SSB 復調回路 (b) 各部の信号スペクトラム	28
2.13	位相差分波器及び加算器から構成される回路と複素フィルタの周波数特性例	29
2.14	抵抗両終端形フィルタの一般的表現	30
2.15	フィルタの特性例	31
3.1	(a) 虚数抵抗 (b) ジャイレータを用いた虚数抵抗の実現 [28, 29]	34
3.2	(a) 信号経路分割前 (b) 信号経路分割後	35
3.3	3次チエビシェフ形実ローパスフィルタ	36
3.4	複素フィルタ	36
3.5	ジャイレータを用いて実現した複素フィルタ	36
3.6	(a) 虚数抵抗 (b) 理想トランスを用いた虚数抵抗の実現	37
3.7	(a) 原回路 (b) 双対回路	39
3.8	理想トランスを用いて実現した複素フィルタ	40
3.9	(a) 理想トランスとインダクタ (b) 等価回路	42
3.10	理想トランスを除去した原形回路	42
3.11	Bruton 変換	43
3.12	GIC	43
3.13	接地形 FDNR の実現	44
3.14	Bruton 変換を施した複素フィルタ	44
3.15	NIC	44
3.16	フローティング素子	45
3.17	フローティング形負性抵抗	46
3.18	FDNR を用いて構成された複素フィルタ	46
3.19	原形回路の感度特性	47
3.20	演算増幅器によりシミュレートされた回路の感度特性	48
3.21	複素リーブフログシミュレーション法に基づいた複素フィルタ [21]	49
3.22	NIC を用いて実現したジャイレータを用いた複素フィルタ [28]	50

3.23	実験回路	52
3.24	位相差分波器	54
3.25	位相差分波器の位相特性	54
3.26	測定システム	55
3.27	実験結果	56
3.28	通過域付近の拡大図	57
4.1	提案する周波数変換	60
4.2	(a) 基準実フィルタ ($n = 3$) (b) 複素フィルタ	63
4.3	理想トランスを用いた複素フィルタ	63
4.4	(a) 理想トランス T_k とインダクタ L_k (b) 等価回路	64
4.5	構成例	65
4.6	感度特性	66
4.7	実験回路	67
4.8	実験に使用した密結合トランス	68
4.9	実験回路の写真	69
4.10	抵抗両終端形フィルタの伝達特性の測定	71
4.11	実験のために用意した増幅器	71
4.12	測定システム	72
4.13	実験結果	73
4.14	通過域付近の拡大	74
4.15	非理想分を考慮した回路	75
5.1	(a) 従来のローパス-バンドパス変換 (b) 提案する変換	78
5.2	(a) 虚数抵抗を含む 2 端子対複素フィルタ, (b) 4 端子対回路網	82
5.3	実バンドパスフィルタ	83
5.4	提案するフィルタ (a) 場合 1, (b) 場合 2, (c) 場合 3, (d) 場合 4.	84
5.5	周波数応答 ($B_W = 2\text{rad/s}$)	85
5.6	通過域付近の拡大 ($B_W = 2\text{rad/s}$)	86
5.7	通過域付近の拡大 ($B_W = 0.5\text{rad/s}$)	87
5.8	素子感度特性 ($B_W = 2.0\text{rad/s}$)	88
6.1	従来の測定法	91
6.2	複素フィルタの信号経路	91
6.3	複素 BPF の周波数-利得特性例	94
6.4	通過域付近の位相誤差の影響	95
6.5	減衰域付近の位相誤差の影響	96
6.6	提案測定法 1	97
6.7	提案測定法 2	99
6.8	被測定回路	102
6.9	提案測定法 1 のための測定システム	104
6.10	提案測定法 2 のための測定システム	104
6.11	実験結果	106
6.12	測定誤差	107
6.13	位相差分波器の位相特性	108