

複数のファジィ仕様を用いた多目的知的回路設計方式

○安藤和也 澁谷長史 安信誠二 (筑波大学)

A multi-objective intelligent design of electronic circuits by a set of fuzzy specifications

*K. Ando, T. Shibuya and S. Yasunobu (University of Tsukuba)

Abstract— This paper proposes a multi-objective intelligent design of electronic circuits by a set of fuzzy specifications. In designing electronic circuit, it is required to consider degree of satisfaction of a set of specifications. However, it is difficult, because it is impossible to simply compare degrees of satisfaction of several different specifications. In this paper, a method to solve this difficulty by embodying them by a set of fuzzy specifications is proposed. It is confirmed that proposed method enables to design single transistor amplifier automatically and appropriately.

Key Words: Fuzzy specification, Intelligent design, Electronic circuits

1 はじめに

電子回路設計は知識や経験を必要とする難しい技術であり、自動化が望まれている。そこで、回路設計の自動化に関する研究が多く行われている。例えば、遺伝的アルゴリズムや遺伝的プログラミングの進化的計算手法を適用する研究¹⁾²⁾や設計方法を保存し再利用する研究³⁾などがあるが、いずれも実用化の段階には至っていない。

回路設計の自動化実現に向けて、著者らはファジィ仕様にもとづく知的回路設計方式⁴⁾を提案している。周波数に対する望ましいゲイン特性を表すファジィ仕様の例を Fig. 1 に示す。ファジィ仕様により設計仕様の特性に対する必要性や十分性を設計に取り入れることができる。さらに解決すべき問題点として、回路設計では設計仕様の複数事項について考慮しなければならないことが挙げられる。例えば、ゲイン特性やノイズ特性といった複数の設計仕様を同時に満足するように設計しなければならない。一方で回路設計の熟練者はこの問題をうまく解決し、回路設計を行うことができる。

そこで、本研究では熟練者による回路設計手順に着目し、設計仕様の複数事項を考慮した回路設計方式を構築することを目的として、複数のファジィ仕様を用いた多目的知的回路設計方式を提案する。

本方式では、先に開発した回路素子パラメータ自動決定部⁶⁾と回路シミュレータを用いて回路特性を取得する。そして、設計仕様をファジィ化したファジィ仕様を複数用いた多目的評価を行い、満足度が高い回路を設計結果として出力する。ゲイン特性とノイズ特性を設計仕様の例としたトランジスタの選定を含む1段トランジスタ増幅回路設計により有効性を示す。

2 回路設計自動化における課題

回路設計とは設計仕様を満足するように、回路構成と素子パラメータを決定することである。設計仕様の事項が一つである場合、それを満足するように回路素子パラメータの調整は試行錯誤的に行えばよい。しかし、設計仕様の事項が複数ある場合には、ある設計仕様の事項について他の設計結果よりも優れている設計結果が、別の設計仕様の事項については他の設計結果

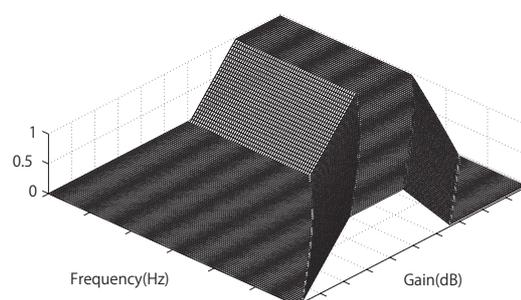


Fig. 1: A fuzzy specification.

に劣っていることも考えられ、単純にどちらがよいとは言えない場合がある。自動化において、複数事項を総合的に評価する方法が課題となる。

3 熟練者による回路設計方法

本研究では、トランジスタの選定を含む1段トランジスタ増幅回路の熟練者による設計方法を以下のようにとらえる。

1. あるトランジスタの規格について、素子パラメータを決定し、設計結果候補を作成
2. 設計結果候補を設計仕様の各事項に対して評価(特性評価)
3. 設計結果候補を設計仕様の複数事項に対して総合的に評価(多目的評価)
4. 1.2.3.を繰り返した後、総合評価がもっともよい設計結果候補を設計結果に決定

例えば、1段トランジスタ増幅回路設計においては、次の手順に相当する。

1. あるトランジスタの規格について、バイアス抵抗を決定
2. ゲイン特性とノイズ特性それぞれで評価
3. ゲイン特性とノイズ特性をまとめて評価
4. 評価にもとづいてもっともよい回路を設計結果に決定

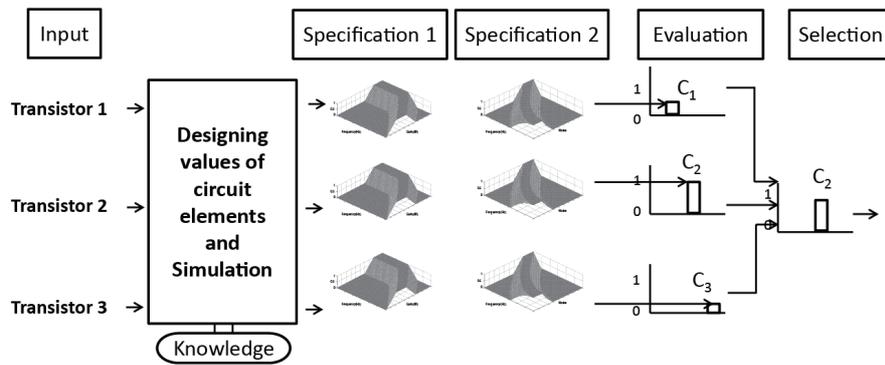


Fig. 2: A system of intelligent design of circuits by a set of fuzzy specifications.

4 複数のファジィ仕様を用いた多目的回路設計方式

熟練者の知識を工学的に表現・活用する技術としてファジィ理論の実用化が進められている⁵⁾。ファジィ理論を用いて望ましい特性をメンバシップ関数で表現することにより必要性和十分性を考慮し、さらに複数の設計仕様を考慮した設計方式の提案を行う。

4.1 ファジィ仕様

著者らは望ましい特性をメンバシップ関数で表現した仕様としてファジィ仕様を提案している。メンバシップ関数は集合の各要素に対してある概念に属する度合いを0.0から1.0の間の連続値で定義する。例えば、設計回路の周波数に対するゲイン特性について、望ましいゲインの値をメンバシップ関数により定義すれば、周波数とゲインの組を集合の要素として望ましいゲインの値に属する度合いを得ることができる。これをメンバシップ値と呼ぶ。ファジィ仕様を用いることで、設計回路の仕様に対する満足度を表すことができ、メンバシップ値が1に近いほど十分な特性であり、0より大きければ必要な特性は満たしているというように必要性和十分性を考慮した設計が可能となる。

さらに、複数のファジィ仕様から得られるメンバシップ値をファジィ推論に適用することにより、回路の多目的評価が可能となる。

4.2 システム構成

第2章で述べた熟練者による回路設計手順から構築した複数のファジィ仕様を用いた多目的回路設計方式による1段トランジスタ増幅回路設計システムをFig. 2に示す。

まず、トランジスタの規格を読み込んで、回路素子パラメータ自動決定部により、トランジスタ以外の回路素子パラメータを決定する。次に回路シミュレータLTspice⁷⁾を用いて、回路特性を取得する。得られた回路特性に対して、ファジィ仕様にもとづく特性評価、多目的評価を行い、設計回路の総合評価値を求める。以上を複数のトランジスタに対して行い、総合評価値が最も高い設計回路を出力する。この評価方法はファジィ推論法にもとづいている。

4.3 ファジィ仕様を適用した特性評価、多目的評価と選択

ファジィ仕様を適用して設計結果候補に対して特性評価と多目的評価を行い、設計結果候補の総合評価値

を決定し、出力結果を選択する手順について具体的に述べる。

4.3.1 特性評価

それぞれの設計仕様の事項から作成したファジィ仕様に対する設計回路のメンバシップ値を取得する。例えば、ゲイン特性とノイズ特性をファジィ仕様とした場合、ゲイン特性のメンバシップ値とノイズ特性のメンバシップ値それぞれを取得する。また、ゲイン特性についてメンバシップ値を求める際には、いくつかの周波数を指定しメンバシップ値を取得して、それらの最小値を設計回路におけるゲイン特性のメンバシップ値としている。ノイズ特性の場合も同様である。

4.3.2 多目的評価と選択

ファジィ仕様にもとづく特性評価により得られた望ましい特性に属する度合いについて設計回路の総合評価を行い出力結果を選択する。その手段として、以下のルールを設定する。

- Select C_i , if a is A and b is B . ($i=1,2,\dots,N$)

これは、設計回路の候補 C_i について評価指標 a は A であり、評価指標 b は B であるならば、設計回路の候補 C_i を望ましい設計結果として出力することを意味する。 A , B は望ましい特性であり、それぞれファジィ仕様として表現される。各評価指標について特性評価を行い、メンバシップ値を取得する。複数のファジィ仕様に対するメンバシップ値全てにおける最小値を、その設計回路の総合評価値とする。総合評価値が最大となる設計回路、すなわち設計仕様に対して、望ましい設計回路を設計結果として出力する。

5 設計

文献⁷⁾を参考にして、第3章で述べた複数のファジィ仕様を用いた多目的回路設計方式により、1段トランジスタ増幅回路の動作点設計とトランジスタ選定を行う。対象とする1段トランジスタ増幅回路をFig. 3に示す。Fig. 3の R_2 , R_3 について回路素子パラメータを決定することで動作点を設計し、 Q_1 の選定を複数のファジィ仕様にもとづく特性評価と多目的評価により行う。

5.1 設計仕様と動作状態の指定

まず、回路素子パラメータ設計に必要な設計仕様を以下に示す。

- 増幅率: 20[倍] (26[dB])
- 直流電圧 V_1 : 20[V]

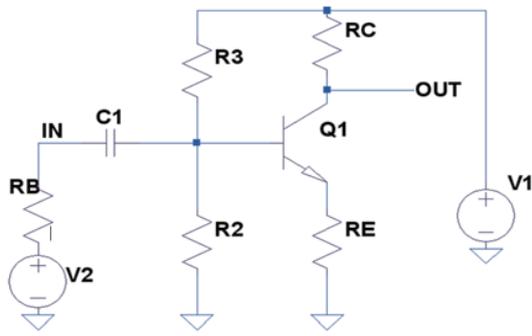


Fig. 3: A single transistor amplifier

- ・ 入力信号; 内部インピーダンス $R_B:10[\Omega]$

上述の設計仕様のほか、設計に必要な関係式は次の通りである。

- ・ $V_{OUT} = V_1/2$
- ・ $R_E = 1[\text{k}\Omega]$
- ・ $R_C = 20[\text{k}\Omega]$
- ・ $C_1 = 10[\mu\text{F}]$
- ・ $I_{RC} = 500[\mu\text{A}]$
- ・ $Q_1 I_B = 500/\beta$

β : トランジスタの直流電流増幅率

- ・ $I_{R2} = 20 * Q_1 I_B$

選定するトランジスタの候補は次の3種類である。

- ・ 2N2219A $\beta:255.9$
- ・ 2N3055 $\beta:73$
- ・ 2N5089 $\beta:1434$

特性評価、多目的評価は周波数 0.5[Hz], 1[kHz], 1[MHz] におけるゲインと周波数 0.5[Hz], 1[kHz], 1[MHz] における入力換算ノイズを評価指標としてファジィ仕様を設定して行う。ファジィ仕様はそれぞれの周波数においてゲインが 26[dB] 周辺でメンバシップ値が 1 になるメンバシップ関数とそれぞれの周波数において入力換算ノイズ $[\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}]$ が小さいほうが望ましいことを表すメンバシップ関数として与える。

5.2 回路素子パラメータ決定の実行

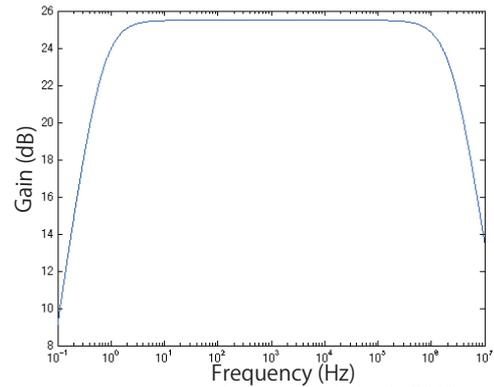
トランジスタの候補それぞれを用いた場合の R_2 , R_3 の回路素子パラメータ自動決定による結果を以下の Table 1 に示す。

Table 1: Results of R_2 and R_3

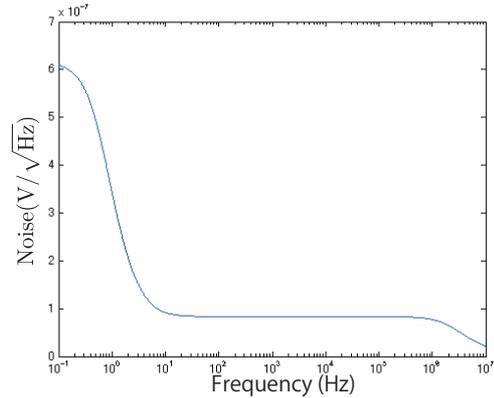
	R_2	R_3
2N2219A	30.7 [k Ω]	458 [k Ω]
2N3055	8.81 [k Ω]	130 [k Ω]
2N5089	172 [k Ω]	2.5 [M Ω]

5.3 複数のファジィ仕様を用いた特性評価、多目的評価と出力結果

回路素子パラメータ設計によって得られた回路について、シミュレーションで得られたゲイン特性とノイズ特性をトランジスタごとにそれぞれ Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6 に示す。

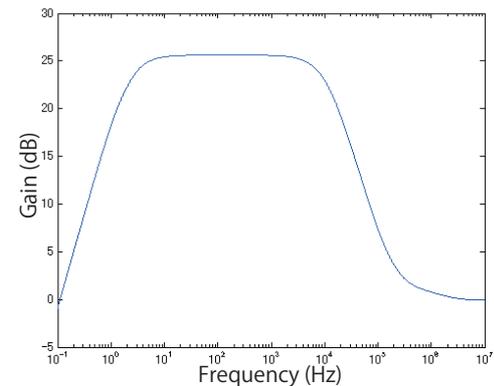


(a) Frequency-gain characteristic (2N2219A)

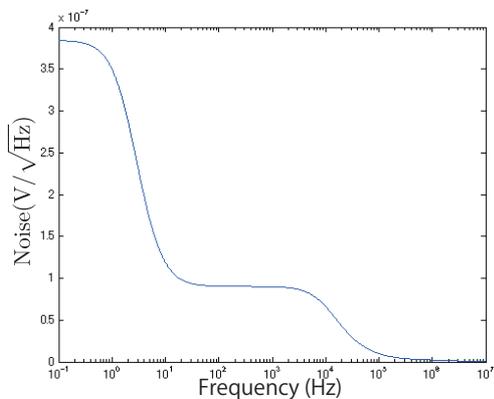


(b) Noise characteristic (2N2219A)

Fig. 4: A result of characteristics (2N2219A).



(a) Frequency-gain characteristic (2N3055)

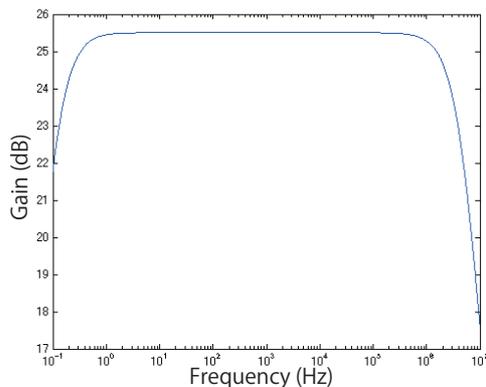


(b) Noise characteristic (2N3055)

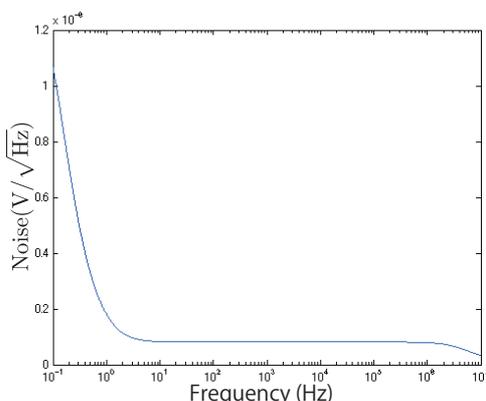
Fig. 5: A result of characteristics (2N3055).

Table 2: A result by a set of fuzzy specifications based characterization.

	Gain				Noise				All
	0.5[Hz]	1[kHz]	1[MHz]	All	0.5[Hz]	1[kHz]	1[MHz]	All	
2N2219A	0.2933	1	1	0.2933	1	0.8424	0.9106	0.8424	0.2933
2N3055	0	1	0	0	1	0.5134	1	0.5134	0
2N5089	1	1	1	1	1	0.9466	0.8396	0.8396	0.8396



(a) Frequency-gain characteristic (2N5089)



(b) Noise characteristic (2N5089)

Fig. 6: A result of characteristics (2N5089).

特性評価と多目的評価によって得られたゲイン特性とノイズ特性のメンバシップ値と回路の総合評価値をTable 2 に示す。

総合評価値が最大である 2N5089 を使用した 1 段トランジスタ増幅回路の設計結果が選択された。この結果から複数のファジィ仕様を用いることで多目的な設計が可能であることを確認した。

6 おわりに

本研究では、熟練者による回路設計手順に着目し、設計仕様の複数事項を考慮した回路設計方式を構築することを目的として、複数のファジィ仕様を用いた多目的知的回路設計方式を提案した。望ましい特性をメンバシップ関数で表現したファジィ仕様を適用することで、ファジィ推論により、設計仕様の必要性と十分性を考慮し、さらに複数事項についての多目的な設計が可能となる。構築した 1 段トランジスタ増幅回路の設計システムにより、ゲイン特性とノイズ特性をファジィ仕様とした設計を行い、多目的な設計が可能であり本方式が有効であることを示した。

参考文献

- 1) Manuel Barros, Jorge Guilherme, Nuno Horta: Analog circuits optimization based on evolutionary computation techniques, Integration, the VLSI Journal, Vol. 43, Issue 1, 136/155 (2010)
- 2) 矢野雄一, 加藤利次, 井上馨, 三木光範: 並列遺伝的プログラミングによるフィルタ回路設計, 電学論 (C), vol.124 no.11, 2208/2214 (2004)
- 3) 森江隆史, 小野寺秀俊, 田丸啓吉: アナログ回路設計手順の保存・再利用化手法, 信学論 (A), vol.J76-A, no.10, 1457/1464 (1993)
- 4) 安藤和也, 澁谷長史, 寫末政憲, 雨宮真一郎, 青木均, 安信誠二: ファジィ仕様にもとづく知的回路設計方式の提案, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2012 講演論文集 (SSI2012), 313/316(2012)
- 5) 安信誠二: ファジィ工学, 昭晃堂 (1991)
- 6) 安藤和也, 澁谷長史, 安信誠二: 熟練者の設計知識による回路素子パラメータ設計自動化の試み, 第 61 回 知的制御研究会論文集, 9/12 (2012)
- 7) 澁谷道雄: 回路シミュレータ LTspice で学ぶ電子回路, オーム社 (2011)