1K−3

# ファジィ理論を応用したアナログ電子回路の故障判定法

岩田 吉広　　橋爪 正樹　　為貞 建臣

(徳島大学)

## 1. まえがき

アナログ回路はディジタル回路と異なり，故障の判定基準が，あいまいである．そこで我々は，あいまい性を扱うことのできるファジィ理論を応用した，アナログ回路の故障判定法を検討したので報告する．

## 2. アナログ回路の故障判定法

アナログ回路が故障しているか否かは，回路の各特性を正常回路のものと比較した結果から決定される．例えば図1に示すエミッタ接地一段増幅回路が故障しているか否かは，回路の振幅特性，電力特性，周波数特性および動作点などの評価項目が，どの程度正常回路のものと異なるかを評価し，その各結果を総合的に評価することで判定できる．

故障判定結果を求めるための評価項目は，人間がメンバーシップ関数により評価特性を定義できる設計仕様に関する評価項目と，他の評価項目の評価結果から推論により求めなければならない評価項目に分類できる．図1の回路を故障判定するための各評価項目間の関係は図2のように表すことができる．図2の有向枝はどの評価項目を推論するかを表す．他の多くのアナログ回路の場合も図2のような評価項目間の関係に表すことができる．本故障判定法では，まず図2のような評価項目間の関係を定義する．その後，回路の各設計仕様値から求まるメンバーシップ値$\mu_i(x)$（但し$0 \leqq \mu_i(x) \leqq 1$）を設計仕様に関する評価項目iの評価結果とし，有向枝に沿って次の評価項目を推論し，最終的に回路の故障判定結果$\mu_T$を導出する．

各評価項目は推論する評価項目の評価結果に及ぼす影響に差があるため，この影響の差が推論結果に現れるように，本手法では評価項目iに重み係数$w_i$（但し$0 \leqq w_i \leqq 1$）を与える．

回路の故障判定を行う時，回路が故障しているという立場と正常であるという立場では，評価項目の評価結果が異なるのが一般的である．そこで本故障判定法では，回路が故障しているという命題を満たす度合い$\mu_F$(「故障度」と呼ぶ)と，回路が正常であるという命題を満たす度合い$\mu_N$(「正常度」と呼ぶ)を異なった推論方法で導出する．

故障判定では，故障回路を正常と判定しないためにも，実際の値よりも故障度は大きく，正常度は小さく推論する方がよい．

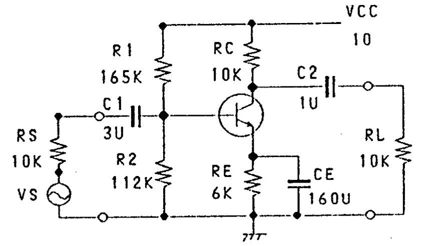



図1 エミッタ接地一段増幅回路

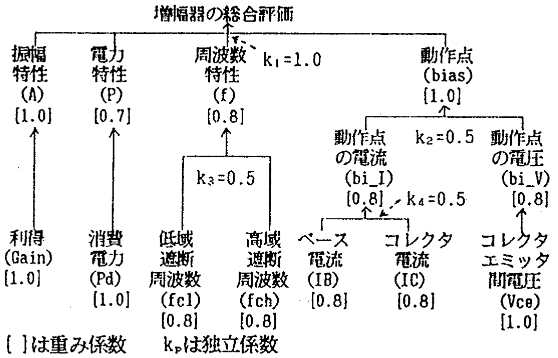



図2 図1の回路の評価項目間の関係

そこで，本手法では次の方法で故障度と正常度を導出した．

故障度の推論では相乗効果を考慮する必要がある．例えば図2で$\mu_{FT}$を導出する場合，振幅特性と電力特性の故障度が各々0.6，0.4，その他の故障度が0.0とすると，$\mu_{FT}$は0.6より大きくなるべきである．そこで，$W_A \cdot \mu_A \geqq W_B \cdot \mu_B$の場合，$\mu_A$と$\mu_B$から得られる故障度$\mu_{FT}$は式(1)で示す．

$$\mu_{FT} = W_A \cdot \mu_A + K_p \cdot (1 - W_A \cdot \mu_A) \cdot W_B \cdot \mu_B \qquad (1)$$

式(1)の右辺第二項は相乗効果の大きさである．相乗効果は評価項目同士がどの程度異なった回路の特徴量に対する評価項目であるかにより定められる．回路の特徴量が同じ場合は相乗効果は存在しない．その性質を推論手法に組み込むため，式(1)では独立係数$k_p$(但し$0 \leqq k_p \leqq 1$)を与えれるようにしている．ここで，pはp番目の推論箇所に対応する記号である．

3個以上の評価項目の故障度$\mu_i$から推論により故障度$\mu_F$を導出する場合は，$\mu_i$を小さい順に並びかえた$\mu_j$(j=1,・・・,N)に対し次式を順に適用して，最終的な$\mu_{Fj}$を$\mu_F$とする．

---

Fault Evaluation of Analog Circuits based on Fuzzy Sets Theory

Yosihiro IWATA, Masaki HASHIZUME, Takeomi TAMESADA
The University of Tokushima

$$\mu_{Fj}=\begin{cases} W_j\cdot\mu_j & j=1\text{の時} \\ W_j\cdot\mu_j+k_p\cdot(1-W_j\cdot\mu_j)\cdot\mu_{Fj-1} & j=2,\cdots,N\text{の時}\end{cases} \quad (2)$$

しかし，ある評価項目の故障度が大きくなり，それだけで明らかに故障と断定できる場合がある．そこで，各評価項目に上限値$H_i$を与え，上限値よりも大きい故障度の評価項目がある場合は，式(3)に示すように回路全体の故障度を1.0の値にする．

$$\mu_{FT}=\begin{cases} 1.0 & \mu_i \geqq H_i\text{となる}i\text{が存在する場合} \\ \mu_F & \text{それ以外の場合}\end{cases} \quad (3)$$

正常度では相乗効果を考えず式(4)により正常度を推論する．つまり各評価項目がある下限値$L_i$以上であれば各評価項目の重み付き平均値で$\mu_N$を求め，それ以外の時は正常度の最小値を$\mu_N$とする．故障度の推論方法と同様に図２の有向枝に従って評価項目の正常度$\mu_N$を繰り返し求め，回路全体の正常度$\mu_{NT}$を導出する．

$$\mu_N=\begin{cases} \sum_{i=1}^{N}(W_i\cdot\mu_i)/\sum_{i=1}^{N}W_i, & \text{全ての}i\text{が}\mu_i\geqq L_i\text{の時} \\ \min(\mu_i), & \text{それ以外の時}\end{cases} \quad (4)$$

## ３．故障判定実験

図１のエミッタ接地一段増幅回路に対して本手法を適用し，各抵抗値が変化したときの故障判定を試みた．回路の特性は回路シミュレータPspiceを使用して求めた．

図２の$k_j$と$w_i$を用い故障判定を行った．各設計仕様のメンバーシップ関数は図３の曲線を用い，故障度を表す関数は式(5)を，正常度を表す関数は式(6)を用いた．メンバーシップ関数を規定する各パラメータを表３に示す．また，各評価項目に与える故障度の上限値と正常度の下限値を表４に示す．

$$\mu_i(x)=\begin{cases} 0.0 & Xfmin\leqq x\leqq Xfmax \\ \exp\left(\dfrac{-8\cdot(Rfmin-x)^2}{(Rfmin-Xfmin)^2}\right) & x<Xfmin \\ \exp\left(\dfrac{-8\cdot(Rfmax-x)^2}{(Rfmax-Xfmax)^2}\right) & x>Xfmax\end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_i(x)=\begin{cases} 1.0 & Rnmin\leqq x\leqq Rnmax \\ \exp\left(\dfrac{-8\cdot(Rnmin-x)^2}{(Rnmin-Xnmin)^2}\right) & x<Rnmin \\ \exp\left(\dfrac{-8\cdot(Rnmax-x)^2}{(Rnmax-Xnmax)^2}\right) & x>Rnmax\end{cases} \quad (6)$$

図４にR1の変化に対する判定結果を示す．従来，各評価項目の評価結果から全体の評価を求める方法としてファジィ測度を用いた方法がある．そこで本手法との比較のためλ-ファジィ測度[1]を用いて正常度と故障度を導出してみた．その結果も図４に示す．ファジィ測度による判定結果では，正常度，故障度ともR1の変化に対しなめらかな曲線になっいない．また故障度が1.0，正常度が0.0になっていない．さらにR1の値が0.0Ω付近では故障度が小さくなり正常度が大きくなっている．これらは明らかに人間の故障判定結果を満たさない．それに対して本手法の判定結果はほぼなめらかな曲線となっている．また故障度が大きく正常度が小さくなっているので，故障検出時の誤判定の防止が期待できる．そのため，本手法の方がファジィ測度を用いた方法に比べ故障判定に適していると考えられる．

## ４．むすび

本稿では，ファジィ理論を用いたアナログ回路の故障判定法を提案した．今後は本手法を他のアナログ回路の故障検出問題に適用し，その有用性を検証する予定である．

［参考文献］

(1)本多,大里:"ファジィ工学入門",海文堂,pp.119-135

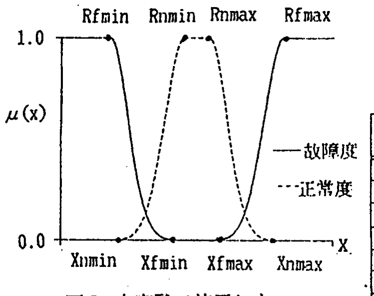


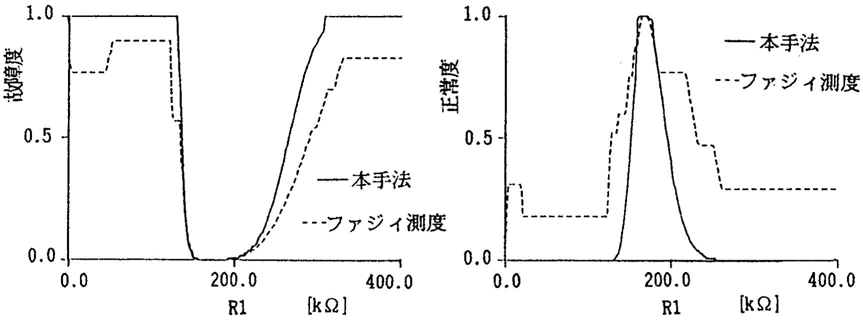

図３ 本実験で使用したメンバーシップ関数

表３ 使用したメンバーシップ関数を規定する各パラメータ

| 設計仕様名 | 故障度を規定するパラメータ | | | | 正常度を規定するパラメータ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Rfmin | Xfmin | Xfmax | Rfmax | Xnmin | Rnmin | Rnmax | Xnmax |
| Gain[倍] | −∞ | −∞ | 40 | 70 | 50 | 70 | +∞ | +∞ |
| Pd [W] | 5.5e-3 | 1.0e-2 | +∞ | +∞ | −∞ | −∞ | 5.5e-3 | 1.0e-2 |
| fcl [Hz] | 30 | 50 | +∞ | +∞ | −∞ | −∞ | 30 | 50 |
| fch [Hz] | −∞ | −∞ | 5.5e+5 | 1.0e+6 | 5.5e+5 | 1.0e+6 | +∞ | +∞ |
| IB [A] | 2.5e-6 | 4.0e-6 | 5.0e-6 | 6.0e-6 | 2.5e-6 | 4.0e-6 | 5.0e-6 | 6.0e-6 |
| IC [A] | 2.5e-4 | 4.0e-4 | 5.0e-4 | 6.0e-4 | 2.5e-4 | 4.0e-4 | 5.0e-4 | 6.0e-4 |
| Vce [V] | 0.5 | 1.5 | 3.0 | 6.0 | 0.5 | 1.5 | 3.0 | 6.0 |

表４ 各評価項目の上限値と下限値

| 評価項目 | 上限値$H_i$ | 下限値$L_i$ |
|---|---|---|
| Gain | 0.9 | 0.9 |
| Pd | 0.95 | 0.8 |
| fcl | 0.95 | 0.8 |
| fch | 0.95 | 0.8 |
| f | 0.95 | 0.8 |
| IB | 0.95 | 0.8 |
| IC | 0.95 | 0.8 |
| bi_I | 0.95 | 0.8 |
| Vce | 0.95 | 0.8 |
| bias | 0.9 | 0.9 |




(a)故障度　(b)正常度

図４ R1に対する故障判定結果