

ベース接地形トランジスタ増幅器の帰還特性の g パラメータによる解析

—誘導性負荷時のナイキスト線図による安定判別—

川 原 浩 一 郎*

(受理 昭和43年5月31日)

g-PARAMETER ANALYSIS OF FEED-BACK CHARACTERISTICS OF GROUNDED-BASE TRANSISTOR AMPLIFIER

—Stability Criterion by Nyquist's Diagram on Inductively Loaded—

Kōichirō KAWAHARA

Grounded-base type is stable in a common use of an amplifier. In case of a heavy inductive load it is supposed to be instable by negative input impedance which arises from internal current feed-back.

The author reported previously the usefulness of h-parameter analysis of the stability of grounded-collector. g-parameter is introduced into the approach of the critical behaviour of grounded-base in the aspect of duality. A rational manipulation of an amplification property and circuitry reveals the feed-back characteristics of grounded-base and -collector. Additionally a loop gain which is well introduced into this analysis contributes to the stability criterion.

1. ま え が き

トランジスタ増幅器の基本形の一つであるベース接地形は従来入出力間が静電的にしやへいされている関係で高周波増幅に賞用されているが、特に負荷が誘導性で動作周波数の上昇にともないそのリアクタンスがコレクタ抵抗と比較し得る程度の大きになると負荷に流れる電流が入力側へ影響を与え、その結果入力インピーダンスに負性抵抗が現われ、増幅回路としての機能が低下し、更に適当な条件を満足すれば発振を起すことが予想され、今回此等の点につき解析し、亦発振の発生を実験的にも確かめたのでここに報告する。

2. ベース接地形の不安定状態

この種の不安定現象は例えばコレクタ接地形の容量性負荷時に或る周波数域で起る入力負性抵抗において見られるごとくトランジスタの電流増幅定数の1次おくれ特性が容量性負荷に生じる帰還電圧の位相に影響をおよぼした結果生じるもの¹⁾²⁾と発生原因は全く双対的で、ベース接地では誘導性負荷に流れる帰還電流

の位相に内部定数の特性が影響をおよぼして発生する不安定現象であると考えられる³⁾。従つて此等の負性抵抗による不安定動作は外部帰還路を持つ普通の帰還発振器（例えばハートレ、コルピッツ形等）と違つて、帰還量に内部定数が本質的に関係するためその発振条件ならびに発振周波数の決定に通常非線形を有する等価回路のパラメータが影響を与え、更に発振時の大振幅動作と関連して、その解析を相当困難なものにしている。

次に一般の外部帰還発振器では増幅部が前述のごとき動作状態になれば発振周波数が外部素子の値で決らず、電流増幅定数の遮断周波数其他能動素子の内部パラメータの値の影響を受けるようになり発振器の動作範囲として不適当なものとしてされている。これはその発振器の動作形式が電圧・電流帰還のいずれかに従つて電流増幅定数の一次おくれ特性により発振条件、発振周波数が変化するためである。以上考察した諸点よりこの2つの形の内部帰還形の負性抵抗による振動現象を特に取り上げる理由は、その発振機構が未だ充分に解析されてなく、特にベース接地形ではその不安定域の利用が見当らないからであり、更に能動素子の内部

* 鹿児島大学工学部電気工学教室・助教授

抵抗による位相推移を用いるためリアクタンス素子が一ヶ小なくてすむ事 (これは水晶発振器に応用する際便利である), 負性抵抗が比較的簡単に得られる事等が挙げられる.

3. h, g パラメータの双対性による解析

四端子回路の入出力特性の解析における h, g パラメータの双対性は言うまでもないが, この関係を利用することにより h パラメータにおいて得られたコレクタ接地形の諸特性を g パラメータによるベース接地形の帰還特性の解析に応用出来る.

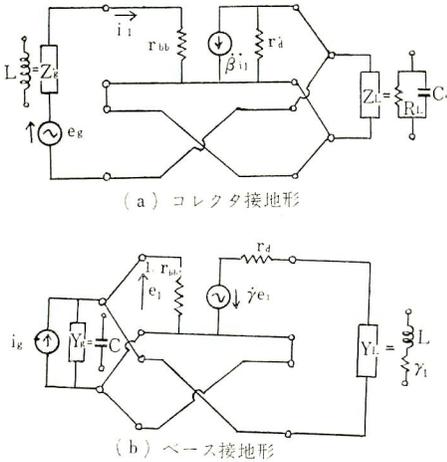


図1 コレクタ接地, ベース接地両基本形の h, g パラメータについての対応

今この両基本形をこのパラメータの双対性が明瞭に示され, また帰還量の入力加算点がこの両回路におけるごとき解放出来ない形において, 能動部と帰還部が分離出来るように変形した回路にて示されれば数式的なループゲインと具体的な回路構成との関連が明らかにされる. この事を示したものが図1 (a), (b), でコレクタ接地では入力は帰還電圧と直列, ベース接地では帰還電流と並列に印加される. 此等の帰還量はいずれも数式的にはこの点で解放されたものとしてループゲインに導入され, (この数式上における基準増幅度 $T(p)$; (2) 式ならびに B の値は一意的なもので $T(p)$ は $B=0$ でエミッタ接地形の増幅度の定数倍に一致する.) この周波数軌跡から両回路の安定性を論ずることが出来る. この両回路の増中特性は次式で与えられる.

$$\dot{A} = \frac{\dot{T}(p)}{1 + \dot{T}(p) \cdot B} \quad \dots\dots(1)$$

$$\dot{T}(p) \cdot B = \frac{(p + \mu + 1)}{(pQ + 1)(Kp + 1)(P + 1)} \cdot G \quad \dots\dots(2)$$

; \cdot は複素量なることを示す.

但し (2) 式の諸パラメータは表1に示される値を有する. (2) 式はこの両回路のループゲインを示し, これをもとにしてそのナイキスト線図より安定域, 不安定域を与える L, C の値を算出することが可能である.

表1 基準化パラメータ

パラメータ	エミッタ接地形	コレクタ接地形	ベース接地形
A	電流増中度 電圧増中度	電圧増中度	電流増中度
B	0	-1	1
K	$\omega_\beta C_e R_L$	$\omega_\beta C_e R_L$	$\frac{\omega_\beta L}{(r_a + r_i)}$
Q	$\frac{\omega_\beta L}{(R_g + r_{bb'})}$	$\frac{\omega_\beta L}{(R_g + r_{bb'})}$	$\frac{\omega_\beta C}{(1/R_g + 1/r_{bb'})}$
P	$j\omega/\omega_\beta$	$j\omega/\omega_\beta$	$j\omega/\omega_\beta$

但し, $r_{bb'}$: ベースひろがり抵抗, r_a : コレクタ抵抗 (エミッタ接地時), $\beta = \beta_0 / (1 + j\omega/\omega_\beta)$, ω_β : 遮断周波数 (エミッタ接地時), R_g : 電源抵抗, μ : β_0 又は $r(r_{bb'}/r_a \cdot \beta_0)$

4. ループゲインによる安定性の判別

(2) 式を実数部と虚数部に分けて, この周波数軌跡の実軸を切る点が一1の左側か右側かを調べるために, 先ず虚数部が零となる点の周波数を求めこれを実数部に代入し臨界状態を与える式を求めれば次のごとくなる.

$$f(K, G, Q) = \frac{\{K(1-Q\mu) + Q\}G}{(K+Q)(K+1)(Q+1)} + 1 \quad \dots\dots(3)$$

この式より次に示される判別が出来る.

$$f(K, G, Q) < 0: \text{不安定} \quad \dots\dots(4)$$

$$f(K, G, Q) = 0: \text{臨界} \quad \dots\dots(5)$$

$$f(K, G, Q) > 0: \text{安定} \quad \dots\dots(6)$$

従つて $f(K, G, Q) = 0$ は安定, 不安定の境界を与えるものでこの式を Q の2次式として解き各 μ, G, K の変化に対応する発振可能な Q の範囲を求める.

この式の Q に関する2根は次式で与えられる.

$$Q_{1,2} = \frac{-\{(K+1)^2 + G(1-K\mu_0)\} \pm \sqrt{\{(K+1)^2 + G(1-K\mu)\}^2 - 4K(K+1)(K+G+1)}}{2(K+1)} \quad \dots\dots(7)$$

Q が実際存在し得るためには (7) 式の根号内が正又は零でなくてはならず、更に Q_1 , Q_2 共に正であることが必要である。そこで根号内の非負の条件を求めためこれを再び K をパラメータとした G の2次式

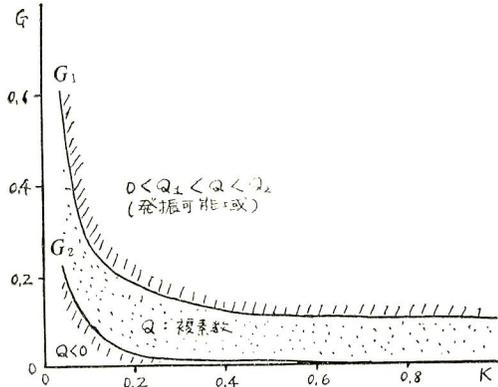


図2 K, G による Q の不安定域 (計算値)

(G_1, G_2 曲線は Q の2次式の根号内
が零となる値)

$\mu = 80$: コレクタ接地形

$\mu = 16000$: ベース接地形

$r_d = 20 K\Omega$

$r_{bb} = 100\Omega$

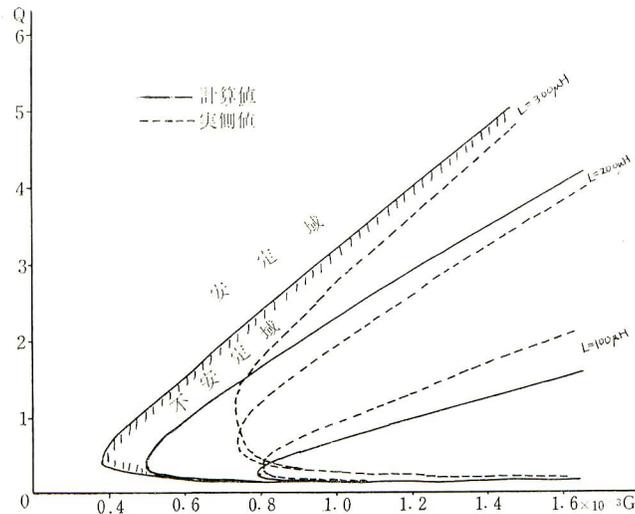


図3 ベース接地形の L 負荷時の不安定域

として解きその2根をそれぞれ G_1, G_2 として、計算した結果を図2に示す。この図より $G \geq G_1$ では $0 < Q_1 < Q < Q_2$ なる範囲で Q が正の実数として実在し、この Q の値より、発振を持続出来る L, C の値が求められる。 K の値をパラメータとして $G_1 \leq G$ なる値について Q の実在範囲を示したものが図3でこの斜線内の点における K, G, Q を使用すれば持続発振が得られ同時にその境界についての実験結果との対応を示す。

5. む す び

ベース接地における不安定状態はその発生する範囲が図3において示されるごとく、非常に限定されており、更に G の上限がほぼ 0.002 に抑えられるので、通常の動作状態ではコレクタ接地形ひんばんに発生することはないが装置の広帯域ならびに高周波化にともない、その存在の影響(例えばベース接地によるパルス増幅におけるリングングの発生等)亦2端子発振器としての利用にはまだ問題とすべき点が多々あると考えられる。発振発生の限界、発振波形、発振時の振幅の成育等についての詳細な議論は電流増幅度のベース電流依存性の数式化、コレクタ抵抗の大振幅特性等或る程度非線形性の導入によつてなされねばならないが、此等の点については今後検討を加える予定である。

終りに本文を進めるにあたり実験の進行ならびに結果の整理、検討に協力を受けた電気工学科古賀広昭君の労を謝するものである。

文 献

- 1) 川原：Hパラメータによるエミッタ・ホロワの帰還特性について、昭41全連大。
- 2) 川原：エミッタ・ホロワの負性抵抗による発振現象のナイキスト線図による解析、昭42全連大。
- 3) 川原：gパラメータによるベース接地形増幅器の帰還特性について、昭43全連大。