

追尾フィルタの動作限界

田中, 具治 / TANAKA, Tomoharu / 塚田, 昌弘 / 一ノ瀬, 要
/ ICHINOSE, Kaname / TSUKADA, Masahiro

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Bulletin of the Faculty of Engineering, Hosei University / 法政大学工学部
研究集報

(巻 / Volume)

14

(開始ページ / Start Page)

57

(終了ページ / End Page)

65

(発行年 / Year)

1978-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00004172>

追尾フィルタの動作限界

田中具治*・塚田昌弘**・一ノ瀬 要**

The Driving Limit of the Frequency Tracking Filter

Tomoharu TANAKA, Masahiro TSUKADA and Kaname ICHINOSE

Abstract

In order to extract the maximum power frequency component (M.P.F.C) from a signal, the frequency tracking filter (F.T.F) has been studied. This F.T.F has the center frequency, which can follow automatically near by the M.P.F.C of the input signal, and can be controlled by the output voltage of the F.T.F.

In this paper, the driving limit of this F.T.F, which is excited by a sinusoidal input signal, has been analyzed by the theory of the stability criterion for equilibrium point.

§1. 緒言

非定常な周波数分布をもつ信号の中から、最大パワー周波数成分を抽出することを目的とするフィルタを考えた。このフィルタは単峰特性をもつ帯域通過フィルタで、その中心周波数が自動的に最大パワー周波数成分の近くに追随するので、追尾フィルタと呼ぶ。これは、フィルタの構成素子に自身の出力電圧を制御信号としてフィード・バックして、中心周波数を制御したものである。

この追尾フィルタに、単一の正波波を入力として与えた時の追尾特性について解析した結果、中心周波数を制御する信号の定数項 ω_{r0} が変化すると、追尾フィルタに動作限界が存在する場合と、存在しない場合とがあることがわかった。前に発表した論文¹⁾では、この点が明確にされていなかったもので、以下に示す。

§2 理 論

2.1 追尾フィルタの原理

ここで取扱う追尾フィルタの構成を (Fig.1) に示す。この追尾フィルタは、1次の低域通過 RC フィルタと1次の高域通過 RC フィルタとを緩衝用の増幅器をあいだに入れて直列に接続して構成した2次の帯域通過フィルタである。また、フィルタの抵抗素子 $R(E_0)$ は、フィルタ自身の出力電圧の実効値である直流電圧 E_0 で制御される電圧制御型可変抵抗素子である。 $R(E_0)$ と E_0 の関係を(1)に示す。但し、 k_0 は正の定数、 a は任意定数である。

* 電気工学科教授

** 大学院電気工学専攻

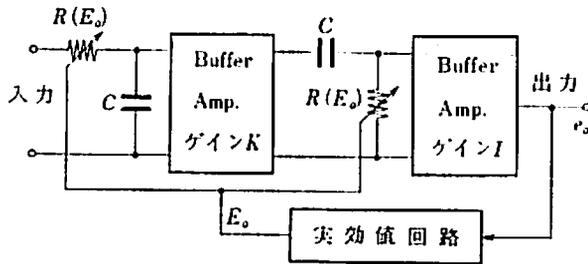


Fig. 1 追尾フィルタの構成図

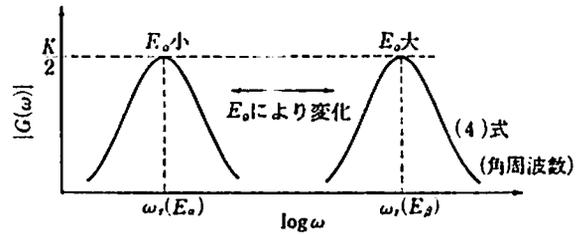


Fig. 2 ゲイン特性曲線の移動

$$R(E_0) = 1 / \{k_0(E_0 + a)\} \tag{1}$$

この可変抵抗素子 $R(E_0)$ により、追尾フィルタの中心角周波数 $\omega_r(E_0)$ は、フィルタ自身の実効出力電圧 E_0 で制御される。 $\omega_r(E_0)$ と E_0 の関係を(2)式に示す。但し、 c と k は正の定数、 ω_{r0} は任意定数である。 $(\omega_{r0} = ak, k = k_0/c)$

$$\omega_r(E_0) = 1 / \{CR(E_0)\} = k(E_0 + a) = kE_0 + \omega_{r0} \tag{2}$$

追尾フィルタの定常状態における伝達関数 $G(s)$ は(3)式で表わせる。但し、 K はゲイン定数

$$G(s) = \frac{KCR(E_0)}{s\{1 + CR(E_0)s\}^2} \tag{3}$$

また、(2)式と(3)式よりゲイン特性を求めれば、(4)式を得る。

$$|G(\omega)| = \frac{KCR(E_0)\omega}{1 + \{CR(E_0)\omega\}^2} = \frac{K\omega\omega_r(E_0)}{\omega^2 + \omega_r(E_0)^2} \tag{4}$$

(4)式における $\omega_r(E_0)$ をゲイン特性曲線の中心角周波数とし、 E_0 をパラメータとして、角周波数 ω を変化させると、ゲイン特性曲線{(4)式}は (Fig. 2) のように表わされ、 E_0 が変化すると(2)式により $\omega_r(E_0)$ が変化する。

追尾フィルタに、電圧の実効値 E_i 、角周波数 ω_i の単一の正弦波 (E_i, ω_i) が入力信号として加えられると、フィルタに出力電圧が生じ、その実効値に比例してフィルタの中心角周波数が (Fig. 2) に示したように移動し、(4)式で決まるフィルタの出力電圧と、(2)式により決まるフィルタの中心角周波数を維持する為に必要な電圧とが釣り合った所で、フィルタは平衡状態となり、中心角周波数が決まる。この中心角周波数を、入力 (E_i, ω_i) に対して定まる追尾角周波数 $\omega_r(E_0)$ という。これより、追尾角周波数 $\omega_r(E_0)$ は、(2)式と(4)式を用いて、(5)式の2元連立方程式を解けば求まる。

$$E_0 = \frac{KE_i\omega_i\omega_r(E_0)}{\omega_i^2 + \omega_r(E_0)^2} \tag{5-1}, \quad \omega_r(E_0) = kE_0 + \omega_{r0} \tag{5-2}$$

また、2元連立方程式{(5)式}から E_0 を消去すれば、 $\omega_r(E_0)$ は(6)式に示す3次方程式の根として求まる。但し、(6)式の根のうち追尾角周波数として意味をもつのは正実根のみである。

$$\omega_r(E_0)^3 - \omega_{r0}\omega_r(E_0)^2 + (\omega_i^2 - KkE_i\omega_i)\omega_r(E_0) - \omega_{r0}\omega_i^2 = 0 \tag{6}$$

2.2 平衡点の安定判別

追尾フィルタに入力 (E_i, ω_i) を加えた時の、平衡状態における入力角周波数 ω_i と追尾角周

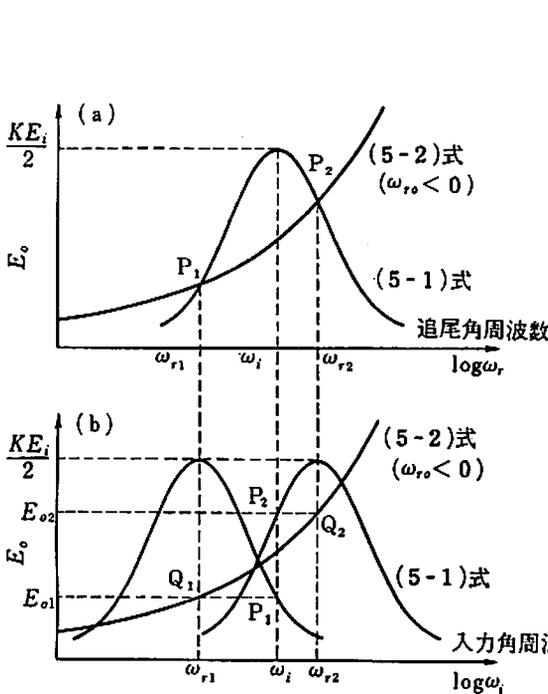


Fig. 3 平衡点と中心角周波数との関係図

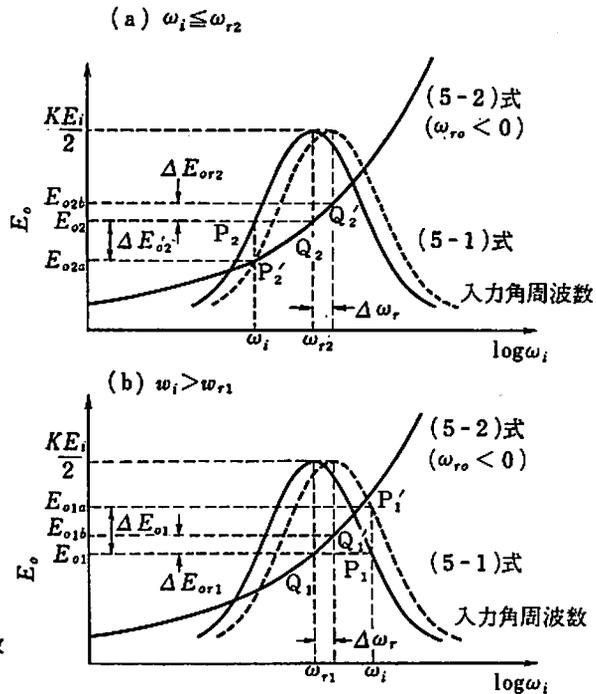


Fig. 4 平衡点の安定性の説明図

波数 ω_r と出力電圧 E_0 との関係を、2元連立方程式{(5)式}を用いて(Fig. 3), (Fig. 4)に示した。これらは、(5-2)式の定数項 ω_{r0} の値を負とした場合である。

(Fig. 3)の(a)は、(5-1)式の ω_i を一定として $\omega_r(E_0)$ を変化させた場合で、(5-1)式と(5-2)式との交点 P_1, P_2 が、入力角周波数 ω_i に対して定まる追尾角周波数 ω_{r1}, ω_{r2} として存在可能な点であることを示している。

(Fig. 3)の(b)は、 ω_{r1}, ω_{r2} を(5-1)式の中心角周波数として一定とし、 ω_i を変化させた場合で、(5-1)式と(5-2)式の実効出力電圧 E_0 が、 E_{01}, E_{02} という2つの電圧値で一致し、点 Q_1, Q_2 が追尾フィルタの平衡点として存在可能な点であることを示している。

(Fig. 3)より、平衡点 Q_1, Q_2 は $(\omega_{r1}, E_{01}), (\omega_{r2}, E_{02})$ という座標で表わせる。(Fig. 4)は、平衡状態における追尾フィルタの平衡点 Q_1, Q_2 の安定性を調べる為に、追尾角周波数 ω_{r1}, ω_{r2} を $+\Delta\omega_r$ だけ微小変化させた場合の(5-1)式を破線で表わし、平衡状態での2元連立方程式{(5)式}の関係を実線で表わしたものである。

平衡点における追尾角周波数 ω_r には、入力角周波数 ω_i に対して、 $\omega_i > \omega_{r1}, \omega_i \leq \omega_{r2}$ の2つの場合があるので、(Fig. 4)の(a)に $\omega_i \leq \omega_{r2}$ の場合、(Fig. 4)の(b)に $\omega_i > \omega_{r1}$ の場合を示した。この時、 ω_i および(5-2)式は変化せず一定であると仮定している。

(Fig. 4)に基き、 $\omega_i \leq \omega_{r2}$ と $\omega_i > \omega_{r1}$ の2つの場合について平衡点の安定性を調べる。

(a) $\omega_i \leq \omega_{r2}$ の場合 {(Fig. 4)の(a)の場合}

追尾角周波数 ω_{r2} が $+\Delta\omega_r$ だけ微小変化したとすると、平衡点 Q_2 は平衡点 Q_2' に移る。 Q_2' を維持する為には、もとの平衡状態での出力電圧 E_{02} より ΔE_{0r2} だけ増加した出力電圧 E_{02b} が

必要となる。ところが、平衡点 Q_2' における出力電圧は E_{02} より ΔE_{02} だけ減少して E_{02a} となり、 Q_2' を維持する為の出力電圧 E_{02b} より小さいので、追尾フィルタは Q_2' を維持することができなくなる。故に、出力電圧 E_{02b} は、追尾角周波数が小さくなる方向に働く。つまり、微小変化分 $+\Delta\omega_r$ を減らす方向に働き、もとの追尾角周波数 ω_{r2} に戻そうとする。すなわち、平衡点 Q_2 に戻そうとするわけである。従って、 $\omega_i \leq \omega_{r2}$ の場合の平衡点 Q_2 は常に安定平衡点である。

(b) $\omega_i > \omega_{r1}$ の場合 [(Fig.4)の(b)の場合]

追尾角周波数 ω_{r1} が $+\Delta\omega_r$ だけ微小変化したとすると、平衡点 Q_1 は平衡点 Q_1' に移る。 Q_1' を維持する為には、もとの平衡状態での出力電圧 E_{01} より ΔE_{0r1} だけ増加した出力電圧 E_{01b} が必要となる。ところが、平衡点 Q_1' における出力電圧も E_{01} より ΔE_{01} だけ増加して E_{01a} となる。従って、 $\omega_i > \omega_{r1}$ の場合は、出力電圧 E_{01a} , E_{01b} の大小関係、すなわち、出力電圧の増加分 ΔE_{01} と ΔE_{0r1} との大小関係によって平衡点 Q_1 の安定判別を行う。

1. $\Delta E_{01} \geq \Delta E_{0r1}$ の場合

平衡点 Q_1' を維持する為の出力電圧 E_{01b} より大きい出力電圧 E_{01a} が追尾フィルタに働くので、追尾周波数の変化分 $+\Delta\omega_r$ はさらに増加する。つまり、平衡点 Q_1' が平衡点 Q_1 からさらに離れてゆく。従って、 $\Delta E_{01} > \Delta E_{0r1}$ の場合の平衡点 Q_1 は不安定平衡点である。また $\Delta E_{01} = \Delta E_{0r1}$ の場合、追尾フィルタは平衡点 Q_1' の所で平衡状態となる。つまり、平衡点 Q_1 から平衡点 Q_1' に移り、その状態を続けるわけである。故に、平衡点 Q_1 についてみれば不安定平衡点である。

2. $\Delta E_{01} < \Delta E_{0r1}$ の場合

平衡点 Q_1' を維持する為の出力電圧 E_{01b} より小さい出力電圧 E_{01a} が追尾フィルタに働くので、追尾角周波数の変化分 $+\Delta\omega_r$ は減少する。つまり、平衡点 Q_1' が平衡点 Q_1 に戻ってくる。従って、 $\Delta E_{01} < \Delta E_{0r1}$ の場合の平衡点 Q_1 は安定平衡点である。

次に、 $\omega_i > \omega_{r1}$ の場合の平衡点 Q_1 が安定平衡点となるための条件を示す。

追尾角周波数の微小変化 $+\Delta\omega_r$ による出力電圧の変化分 ΔE_{01} , ΔE_{0r1} は、2元連立方程式 [(5)式] の(5-1)式と(5-2)式を $\omega_r(E_0)$ について微分すれば式(7), (8)式で求まる。

$$\Delta E_{01} = \frac{KE_i\omega_i\{\omega_i^2 - \omega_r(E_0)^2\}}{\{\omega_i^2 + \omega_r(E_0)^2\}^2} \cdot \Delta\omega_r(E_0) \quad (7)$$

$$\Delta E_{0r1} = \Delta\omega_r(E_0)/k \quad (8)$$

出力電圧の変化分 ΔE_{01} と ΔE_{0r1} との差 ε を考えると、 ε の正、負によって、平衡点 Q_1 の安定性が判別でき、安定平衡点であるための条件も求まる。

$$\varepsilon = \Delta E_{01} - \Delta E_{0r1} = \frac{KkE_i\omega_i\{\omega_i^2 - \omega_r(E_0)^2\} - \{\omega_i^2 + \omega_r(E_0)^2\}^2}{k\{\omega_i^2 + \omega_r(E_0)^2\}^2} \cdot \Delta\omega_r(E_0) \quad (9)$$

(9)式の分母が常に正であることより、 ε の正、負の判別式として式(10)を得る。

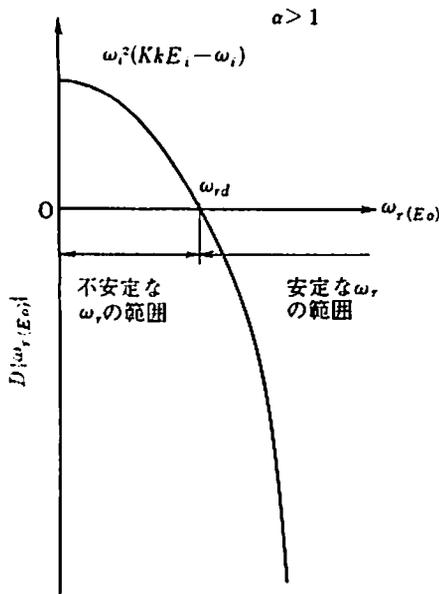


Fig. 5 ω_r の安定, 不安定範囲

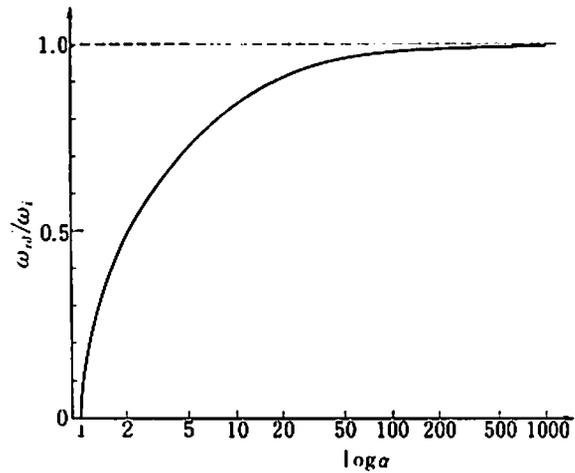


Fig. 6 入力(E_i, ω_i)と安定限界角周波数 ω_{rd} の関係

$$D\{\omega_r(E_0)\} = KkE_i\omega_i \cdot \{\omega_i^2 - \omega_r(E_0)^2\} - \{\omega_i^2 + \omega_r(E_0)^2\}^2$$

$$= -\omega_r(E_0)^4 - \omega_i^2(2 + \alpha)\omega_r(E_0)^2 - \omega_i^4(1 - \alpha) \quad (10)$$

但し, $\alpha = KkE_i/\omega_i (> 0)$ (11)

である。 $D\{\omega_r(E_0)\}$ の正, 負により, 平衡点 Q_1 の安定性は次のようになる。

$$\begin{cases} \cdot D\{\omega_r(E_0)\} > 0 \text{ の時 平衡点 } Q_1 \text{ は不安定平衡点} \\ \cdot D\{\omega_r(E_0)\} = 0 \text{ の時 平衡点 } Q_1 \text{ は安定限界平衡点} \\ \cdot D\{\omega_r(E_0)\} < 0 \text{ の時 平衡点 } Q_1 \text{ は安定平衡点} \end{cases} \quad (12)$$

(10)式の第1項, 第2項は常に負である。従って, 第3項の正, 負によって(10)式の正, 負が決まる。 $\alpha \leq 1$ を満たせば, 第3項も常に負となり(10)式は常に負となる。すなわち, $\alpha \leq 1$ を満たす入力 (E_i, ω_i) に対しては, 平衡点 Q_1 は常に安定平衡点である。故に, Q_1 が安定平衡点である為の入力 (E_i, ω_i) の条件として(13)式を得る。

$$KkE_i/\omega_i \leq 1 \quad (13)$$

$\alpha > 1$ の場合の(10)式の正, 負を判別するために, (10)式を $[D\{\omega_r(E_0)\} - \omega_r(E_0)]$ 平面に表わすと, (Fig. 5)となる。同図中の ω_{rd} は, (10)式を零とおいた方程式の正実根で, (14)式となり, 入力 (E_i, ω_i) に対する安定限界追尾角周波数を示す。

$$\omega_{rd} = \omega_i \sqrt{\frac{1}{2} \{\sqrt{\alpha(\alpha+8)} - (2+\alpha)\}} \quad (14)$$

入力 (E_i, ω_i) に対して, (5)式又は(6)式で求められた追尾角周波数 $\omega_r(E_0)$ のうち, 入力角周波数 ω_i より小さい ω_{r1} が ω_{rd} より大きい場合, (10)式は負となり, その時の平衡点 Q_1 は安定平衡点となる。これより, $\omega_i > \omega_{r1}$ の場合の平衡点 Q_1 が安定平衡点となるための条件式として, (15)式を得る。

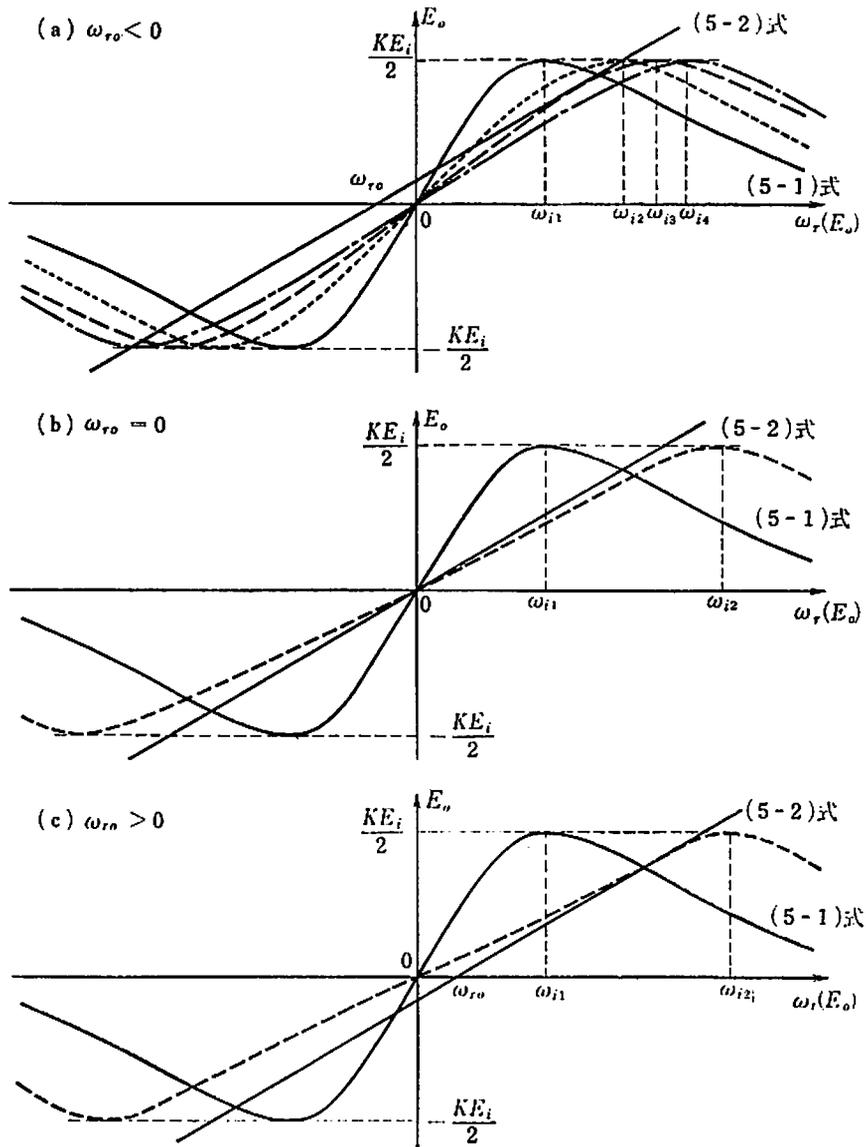


Fig. 7 ω_{r0} を変えた時の追尾角周波数の個数

$$\omega_{rd} < \omega_{r1} \tag{15}$$

(14)式の両辺を ω_i で割り、 α に対する ω_{rd}/ω_i の値を (Fig. 6) に示す。(Fig. 6) より、入力 (E_i, ω_i) に対する安定限界追尾角周波数 ω_{rd} の関係がわかる。

2.3 追尾フィルタの動作限界

追尾フィルタの追尾角周波数 $\omega_r(E_0)$ は、(5)式又は(6)式を用いて求めることができるが、実際の追尾フィルタの動作に関するものは、その根のうちの実根のみである。ところが、実根(追尾角周数)の個数は、追尾フィルタの中心角周波数 $\omega(E_0)$ を制御する信号の定数項 ω_{r0} の正、負の符号によって異なる。そこで、実根の個数を求めるのに2元連立方程式{(5)式}を用い ω_{r0} を正、負の場合に分けて、(5-1)式と(5-2)式との交点としてグラフ的に求めると(Fig. 7)となる。

(Fig. 7)の(a), (b), (c)におけるそれぞれの直線は(5-2)式を表わし, ω_{r0} が負, 零, 正の3つの場合のものであり, 曲線は実効入力電圧 E_i が一定で入力角周波数 ω_i を変えた時の追尾フィルタのゲイン特性曲線{(5-2)式}を表わす。簡単のため E_i を一定とした。

(Fig. 7)において, 追尾フィルタの追尾角周波数 $\omega_r(E_0)$ として意味をもつのは, $[\omega_r(E_0) - E_0]$ 平面の第1象限における(5)式の交点のみである。この交点の存在によって平衡点が存在し, その中の安定平衡点によって追尾フィルタに出力が生じ, フィードバック回路が動作して中心角周波数を制御するので, 追尾フィルタは動作する。

そこで, (Fig. 7)を用い, ω_{r0} を負, 零, 正の場合に分けて追尾角周波数 $\omega_r(E_0)$ になりうる平衡点の個数を求め, その中で安定平衡点となるものを, 平衡点の安定判別(2.2)の理論を用いて求める。これを利用して, 追尾フィルタの追尾特性を解析し, 動作限界を調べる。

追尾特性の解析は, 追尾フィルタの入力(E_i, ω_i)の実効電圧 E_i を一定とし, 角周波数を変化させて行う。

(a) $\omega_{r0} < 0$ の場合 [(Fig. 7)の(a)の場合]

入力角周波数 ω_i が小さい時(ω_{i1}), 追尾角周波数 ω_r の正実根は, $\omega_{i1} > \omega_{r1}$ と $\omega_{i1} < \omega_{r2}$ の2根が存在する。平衡点の安定判別の理論(2.2)より, ω_{r2} の平衡点 Q_2 は(2.2)-(a)の場合に相当するので安定平衡点である。故に, 追尾フィルタは追尾角周波数 ω_{r2} の平衡点 Q_2 に追尾する。

ω_i を大きくしていき, (5-1)式の頂点と(5-2)式が交わった時(ω_{i2}), ω_r の正実根は $\omega_{i2} > \omega_{r3}$ と $\omega_{i2} = \omega_{r4}$ の2根が存在する。この場合, (2.2)-(a)により ω_{r4} の平衡点 Q_4 が安定平衡点となり, 追尾フィルタは Q_4 に追尾する。この時の ω_{r4} が最大追尾角周波数である。

入力角周波数 ω_i が ω_{i2} になるまでは, 常に $\omega_i \leq \omega_{rx}$ を満たす追尾角周波数 ω_{rx} が存在していたので, 追尾フィルタは ω_{rx} の安定平衡点 Q_x に追尾し, $\omega_i > \omega_{ry}$ の平衡点の平衡点 Q_y には関係しなかった。ところが, ω_i が ω_{i2} より大きくなると, $\omega_i > \omega_{ry}$ を満たす追尾角周波数が2つ存在するようになり($\omega_{ry1}, \omega_{ry2}$), $\omega_i < \omega_{rx}$ の追尾角周波数は存在しなくなる。この場合は, (2.2)-(b)に相当するので, $\omega_{ry1}, \omega_{ry2}$ の平衡点 Q_{y1}, Q_{y2} のうちで, (2.2)-(b)の安定平衡点であるための条件を満たした方に追尾フィルタは追尾する。 Q_{y1}, ω_{y2} の両方が条件を満たした場合は, 追尾フィルタの追尾過程に依存し, すぐ前の平衡状態の時の安定平衡点に近い方の平衡点に追尾フィルタは追尾する。つまり, 追尾角周波数の大きい方の安定平衡点に追尾する。

さらに ω_i を大きくすると(ω_{i3}), (5-1)式と(5-2)式が接する。この時が, ω_r が正実根として存在する限界であり, 安定平衡点が存在する限界でもあるので, 追尾フィルタの動作限界である。 ω_{i3} より ω_i を大きくしても(ω_{i4}), 安定平衡点が存在しないので, 追尾フィルタは動作しない。

以上のことより, ω_{r0} が負の場合には, 追尾フィルタに動作限界が存在し, 入力(E_i, ω_i)の変化に関係していることがわかった。その動作限界は(5-1)式と(5-2)式が接する時, 言い換えれ

ば、3次方程式{(6)式}が正の重根をもつ時であることもわかった。

3次方程式の解法であるカルダノの解法を用い、(6)式が重根をもつための条件を求めると、(16)式となる。但し、 $A = KkE_i\omega_i$ である。

$$4A^3 + (\omega_{r0}^2 - 12\omega_i^2)A^2 + 4\omega_i^2(3\omega_i^2 - 5\omega_{r0}^2)A - 4\omega_i^2\{2\omega_i^2 + \omega_{r0}^2\}\omega_{r0}^2 + \omega_i^4 = 0 \tag{16}$$

(16)式が、 $\omega_{r0} < 0$ の場合の、追尾フィルタの動作限界条件である。(16)式を、 ω_{r0} をパラメータとして $[f_i - E_i]$ 平面に表わすと (Fig. 8) となる。(Fig. 8) の各曲線の右側においては、安定平衡点が存在するので、追尾フィルタは追尾可能であるが、左側においては、安定平衡点が存在しないので、追尾フィルタは動作不可能である。

(Fig. 8) の $\omega_{r0} = 0$ の場合については次に示す。

(b) $\omega_{r0} = 0$ の場合 {(Fig. 7) の(b) の場合}

3次方程式{(6)式}に、 $\omega_{r0} = 0$ の条件を代入して、正の追尾角周波数 $\omega_r(E_0)$ を求めると、(17)式となる。

$$\omega_r(E_0) = \sqrt{\omega_i(KkE_i - \omega_i)} \tag{17}$$

ところが、(17)式の $\omega_r(E_0)$ が正となるためには、入力 (E_i, ω_i) に(18)式の条件が必要である。

$$KkE_i \geq \omega_i \tag{18}$$

(18)式の条件を満たす入力 (E_i, ω_i) に対しては、(17)式で求められる正の $\omega_r(E_0)$ が常に存在し、入力角周波数 ω_i と $\omega_r(E_0)$ との大小関係によって、平衡点の安定判別の理論(2.2)を用いて安定平衡点を求めれば、 $\omega_{r0} = 0$

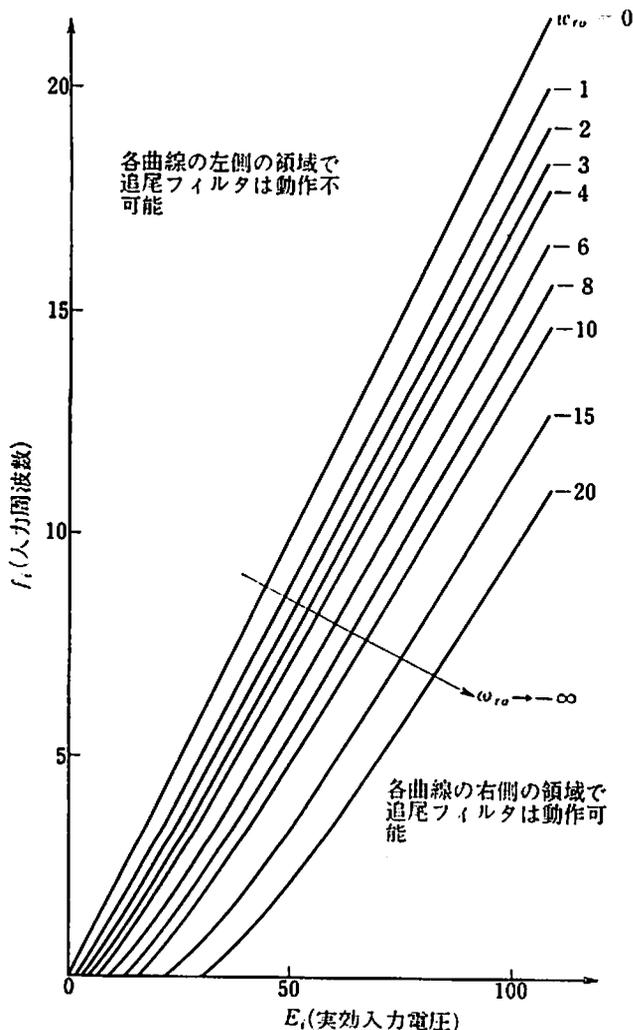


Fig. 8 動作限界条件曲線

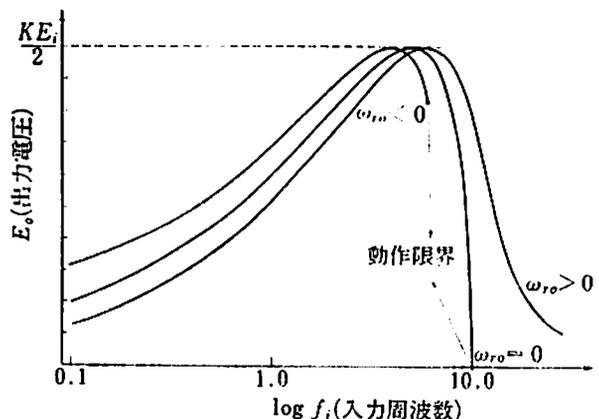


Fig. 9 追尾フィルタの追尾特性

の場合の、追尾フィルタの追尾特性が求まる。

以上のことより、 $\omega_{r0}=0$ の場合、(18)式の等号が成立する入力 (E_i, ω_i) の時が追尾フィルタの動作限界となる。故に、(18)式が動作限界条件となる。ところが、(18)式は、(16)式に $\omega_{r0}=0$ の条件を代入すると求められる。

(c) $\omega_{r0}>0$ の場合 {(Fig.7)の(c)の場合}

(Fig.7)の(c)より、どんな入力 (E_i, ω_i) に対しても、常に正の実根(追尾角周波数)が1つ存在する。この追尾角周波数の安定性を、平衡点の安定判別の理論(2.2)を用いて調べると、常に安定平衡点となる。

故に、 $\omega_{r0}>0$ の場合、どんな入力 (E_i, ω_i) に対しても、追尾フィルタは追尾特性をもつので、動作限界は存在しない。

(a), (b), (c)より、追尾フィルタの中心角周波数 $\omega_r(E_0)$ を制御する信号の定数項 ω_{r0} をパラメータとして変化させると、 ω_{r0} が負、零の場合に、追尾フィルタに動作限界が存在し、(16)式によって動作限界条件が求まることがわかった。また、 ω_{r0} をパラメータとして、追尾フィルタに入力 (E_i, ω_i) を加えた時の追尾特性が、(Fig.9)のように求まった。

§3. 結 言

実効入力電圧 E_i を一定とし、入力角周波数を変化させ、追尾フィルタの中心角周波数を制御する信号の定数項 ω_{r0} をパラメータとして、追尾フィルタの追尾特性を求めると、 ω_{r0} が負、零の場合に、追尾フィルタに動作限界が存在することがわかった。

この結果は、平衡点の安定判別の理論(2.2)を用いることによって明確に解析でき、理論より求めた追尾フィルタの追尾特性の計算結果と、実験結果とが一致した。

計算は FACOM 230-45 S を使用した。

この研究の費用の一部は、昭和52年度法政大学大学院教育研究補助金および昭和52年度特別研究助成金によっている。また、多くの方々の御助言に対し、厚く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 田中, 藤井: 「追尾フィルタの解析」法政大学工学部研究集報, 第12号, p.1~6。
- 2) 田中, 一ノ瀬, 塚田: 「追尾フィルタの2入力特性」電子通信学会技術研究報告, NLP 77-1~4, 1977年5月。