

追尾フィルタの解析

TANAKA, Tomoharu / FUJII, Masaru / 藤井, 勝 / 田中, 具治

(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)

12

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

6

(発行年 / Year)

1976-01

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00004209>

追尾フィルタの解析

田中 具治*・藤井 勝**

Analysis of a Frequency Tracking Filter

Tomoharu TANAKA and Masaru FUJII

Abstract

The controlled filters (CF), which can be moved or changed the frequency curve by the external signal, have been developed. If the output of the CF is feeded back to control some parameters of the CF itself, then this system can track its input signal frequency.

So, it is called as the frequency tracking filter (FTF). In this paper, the characteristics of the FTF are investigated by treating the CF as an nonlinear transducer. It's experimental data was explained sufficiently by analytical procedures.

§1. 緒 言

フィルタは、一般に、定係数の素子で構成され、周波数特性はきまっています変化せず、線形回路である。(入力電圧と出力電圧とは角周波数 ω を一定とすれば比例する。)

しかし、ここでは、LCRなどの素子の値を電圧や電流などで変化し、周波数特性を制御できる制御フィルタを扱う。さらに、入力角周波数 ω をとり、入力電圧の振幅は一定とし、出力電圧を出力信号とすると、これは非線形特性をもつ。フィルタのパラメータの制御信号として出力電圧をフィードバックすると、フィルタの周波数特性が入力 ω により自動的に変化する系がえられる。フィルタを単峰の同調特性をもつものとすれば、その同調周波数は、入力の周波数の近くにくる。この系を⁽¹⁾追尾フィルタと云う。前に発表したものよりかんたんな系により、追尾特性を解析することができたので、以下に示す。

§2. 理 論

2.1 制御フィルタ

実験に用いた制御フィルタを (Fig. 3) に示す。最もかんたんなLow-pass RCフィルタとHigh-pass RCフィルタとを、増幅器をあいだに入れて直列に接続して作ったBand-passフイ

*電気工学科教授 **大学院電気工学専攻

ルタである。その抵抗素子にCd-Se光伝導素子を用い、発光ダイオードからの光を照射して、その抵抗値を変える。この制御フィルタの制御特性を (Fig.2) に示す。

このフィルタの伝達関数は、かんたんのため $R_1=R_2=R, C_1=C_2=C$ として

$$G(j\omega) = \frac{K \cdot j\omega CR}{(1 + j\omega CR)^2} \quad (1)$$

$$|G(j\omega)| \text{の最大値は } \omega_r = 1/CR \quad (2)$$

でえられる。(2)を用いて(1)から

$$|G(\omega)| = \frac{K \cdot \omega / \omega_r}{1 + (\omega / \omega_r)^2} \quad (3)$$

CdSe光伝導体の抵抗Rは、発光ダイオードに流れる電流 I_c に逆比例する。

$$R = 1/k_1 I_c \quad (4)$$

(4)を(2)へ代入して

$$\omega_r = k_2 I_c \quad (k_2 = k_1/c) \quad (5)$$

入力電圧を単位にとると、角周波数 $\omega = \omega_r$ でのこのフィルタの出力電圧は(3)から $K/2$ の一定値で、 ω_r を制御しても変化せず、(Fig.2)に示す性質をもつことが分る。

(3)式は、 ω を一定とすれば、入力電圧と出力電圧とは比例し、線形系であることを示す。しかし、入力電圧振幅を一定とすると、 ω と出力電圧との関係は比例せず、非線形特性をもつ。その非線形特性は、やはり(3)式で表わされる。

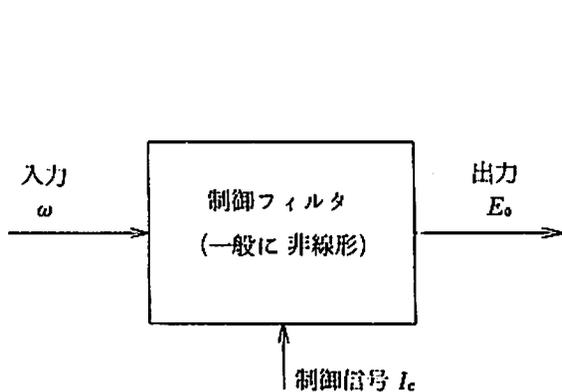


Fig. 1 制御フィルタ

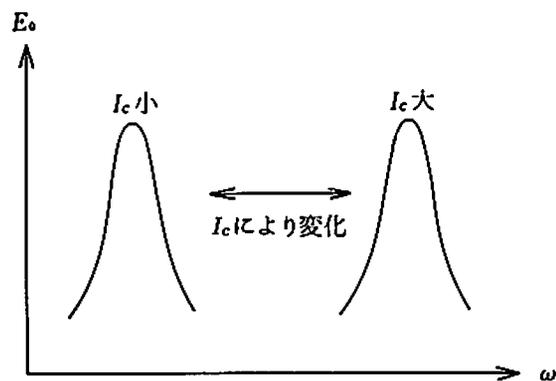


Fig. 2 フィルタの制御特性

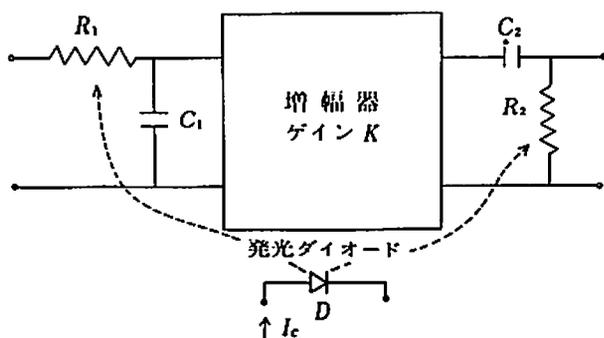


Fig. 3 実験に用いた制御フィルタ (R_1, R_2 はCdSe光伝導体)

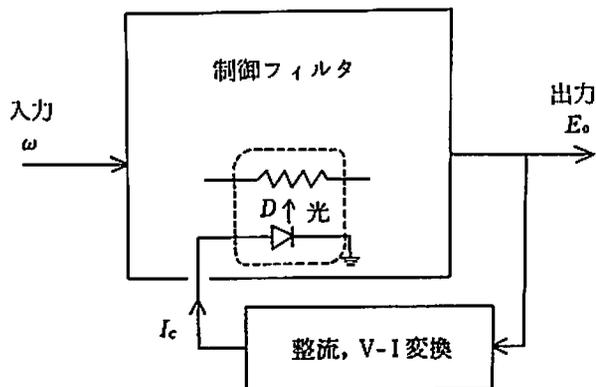


Fig. 4 追尾フィルタの構成図

2.2 追尾フィルタ

(Fig. 4) に示すように、制御フィルタの出力を整流、平滑し、V-I変換して、この電流を発光ダイオードに流す。その光をCdSe素子に照射してRを制御する。こうして、フィードバックすると、 ω_r が入力角周波数 ω に自動的に近づいてゆく、追尾フィルタとなる。⁽⁴⁾

次に、この追尾フィルタの実測結果と、その特性の解析を示す。入力電圧、出力電圧の実効値を E_i, E_o とする。フィードバック路の伝達特性は、比例要素とする。

$$I_c = k_3 E_o \tag{6}$$

(5), (6)から $\omega_r = k_4 E_o \quad (k_4 = k_2 k_3) \tag{7}$

(3)式から $E_o = \frac{K \cdot \omega / \omega_r \cdot E_i}{1 + (\omega / \omega_r)^2} \tag{8}$

ここで $\omega_r / \omega = a \tag{9}$

とおく、 $\omega \leq \omega_r$ で追尾特性をもち、 $\omega > \omega_r$ では追尾特性を失うので、(後で説明する)

$$a \geq 1$$

のはんだけ考える。(7), (8), (9), (10)から

$$\frac{E_i \cdot K \cdot k_4}{\omega} = 1 + a^2 \geq 2 \tag{10}$$

ゆえに $\omega_c = \frac{E_i K k_4}{2} \tag{11}$

とおくと $\omega \leq \omega_c \tag{12}$

で追尾特性をもち、 $\omega > \omega_c$ では追尾特性を失う。

ω_c は追尾可能な最大の入力角周波数である。

追尾フィルタの追尾特性を調べる。(Fig. 4)の回路で入力周波数 f と出力電圧 E_o 。(発光ダイオード電流 I_c)との関係を、入力電圧 E_i をパラメータとして測定した結果を(Fig. 6)に示す。矢印は追尾限界周波数を示し、この周波数をこえると出力は減少してゆく。この矢印のデータを、 f_c と E_i との関係として表わしたものが(Fig. 7)である。それは直線となり、(12)式が正しいことを示す。

次に、追尾フィルタの入力にある周波数 ω の信号を印加したとき、 ω_r はどのように決るかを調べる。追尾フィルタのフィード、バック回路の特性は(7)式で示され、前向き回路の特性は(8)式で表わされる。平衡状態では(7)の ω_r と(8)の ω_r とは一致す

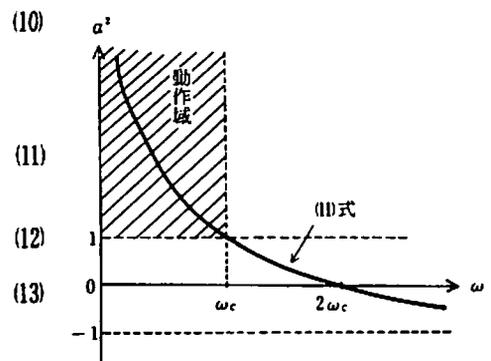


Fig. 5 追尾フィルタの動作域

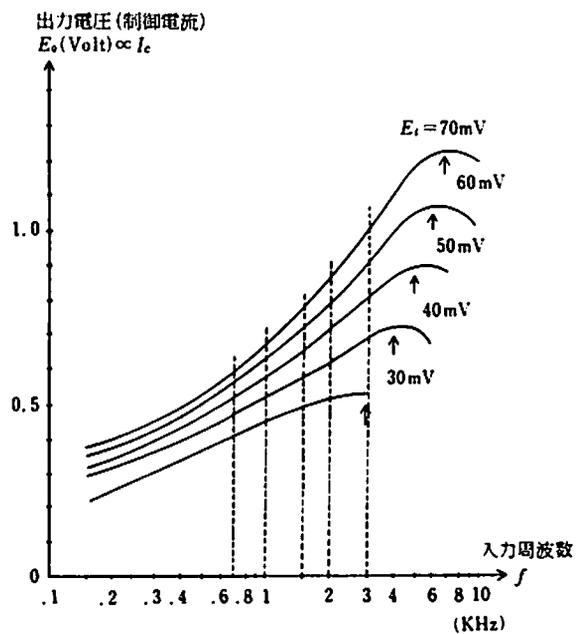


Fig. 6 追尾フィルタの測定結果

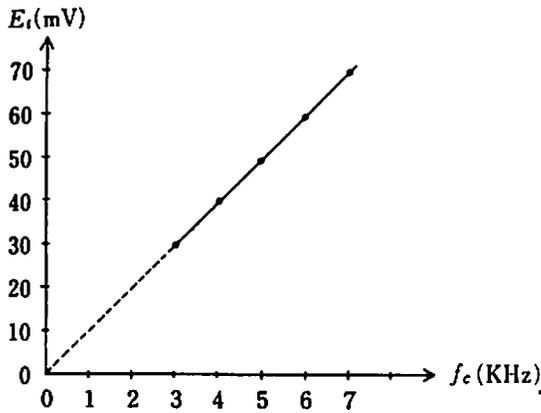


Fig. 7 入力電圧 E_i と追尾限界周波数 f_c との直線関係(12), 点は測定値

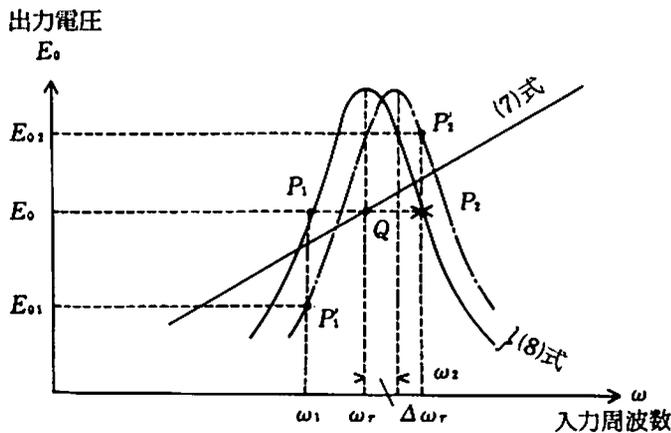


Fig. 8 安定点の説明図

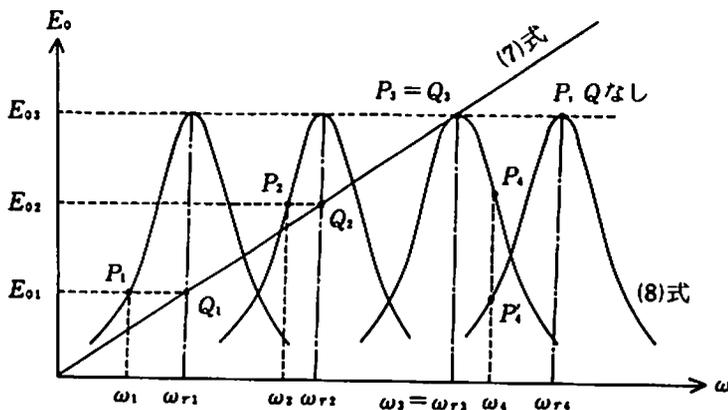


Fig. 9 追尾特性の説明図

る。(Fig. 8)に平衡状態での特性を実線で示した。Q点は(7), (8)の ω_r が一致した点で、このときのフィルタ出力が E_0 となる。この出力 E_0 を出すためのフィルタへの入力角周波数は、 ω_1 と ω_2 の2つの場合、(Fig. 8)の P_1, P_2 の2点がある。

非線形系の理論から、 P_1 が安定で P_2 は不安定であることが分る。次にこれを説明する。 ω_r が何からの原因で、 $+\Delta\omega_r$ 変化したとし、入力周波数は変化せず一定のままと仮定すると、 P_1 は P_1 に、 P_2 は P_2 に移る。このとき P_1 に対する出力 E_{01} は E_0 より小さく、変化 $\Delta\omega_r$ を打消す方向に働き、もとの P_1 点に帰ろうとする。 P_1 は安定平衡点である。一方、 P_2 に対する出力電圧 E_{02} は E_0 より大きく、 P_2 はますます P_2 から遠ざかってゆく。 P_2 は不安定点である。故にこのときの入力角周波数は ω_1 で、つねに入力 ω は ω_r より小さく、(10)式がなりたつ。

次に、追尾特性を上述の非線形性による方法で考える。数個の ω_r に対する同様な図を(Fig. 9)に示す。入力周波数 ω_1 のとき平衡点は P_1 で、出力電圧は E_{01} となる。入力 ω_2 のとき P_2, E_{02} となる。入力 ω_3 のとき P_3 と Q_3 とは一致し、出力は E_{03} となる。このとき、 $\omega_3 = \omega_{r3} = \omega_c$ で、これより大きい入力周波数では、(7)式の直線と(8)式を中心周波数との交点Qは存在しないので、追尾特性を失う。

たとえば、入力周波数が $\omega_4 > \omega_c = \omega_3 = \omega_{r3}$ のとき、閉ループは機能せず、追尾特性は失われ、中心周波数は ω_{r4} には動

かず、 ω_{r3} のままで、(Fig. 9) に示すように、 P_1 でなく、 P_1 に相当する出力を生じる。したがって、 $\omega > \omega_c$ では出力電圧 E_o はフィルタの周波数特性の中心周波数より高い側を下ってゆく。これが測定結果の (Fig. 6) の矢印より右に示されている。

次に、入力 ω 一定として、入力電圧 E_i を増加したとき、(Fig. 6) から分るように、出力電圧 E_o が増し、曲線は上方にずれ矢印の追尾限界周波数が高くなることを説明する。入力電圧を E_1 から $E_1' > E_1$ と増したときの関係を、(Fig.10) に示す。 ω は一定で PP' は E_o 軸に平行、また PQ 、 $P'Q'$ は ω 軸に平行である。この幾何的条件は(8)式を用いても解けるが、(Fig.10)の図形から理解する方が分かりやすい。 $E_1' > E_1$ のとき、 $\omega_{r3}' > \omega_{r3}$ となり、(Fig. 9) の最大出力電圧 E_{o3} に対応する E_{o3}' も増し、追尾限界周波数 $\omega_c = \omega_{r3}$ も高周波側にずれる。

測定結果を示す (Fig. 6) を、もう1つの側面から調べよう。入力周波数を一定とし、入力電圧 E_i を変えたとき、(Fig. 6) の点線上を動く。この特性を表わす式は、(7)、(11)から

$$E_o^2 = k_s E_i - (\omega/k_1) \tag{14}$$

ここで $k_s = K\omega/k_1$ (15)

(14)式の示す直線を調べ、(Fig. 6) の点線で示すデータから、入力 ω に対する k_s の関係を表わしたものが (Fig.11) である。実測値からのデータである黒点は、直線に近く、(15)が、かなりの精度でなりたっていることを示す。この直線の傾斜は K/k_1 となる。

以上から、追尾フィルタの追尾特性は、フィルタを、入力を周波数、出力を電圧とする非線形素子と考えることにより解析でき、測定結果をよく説明できた。

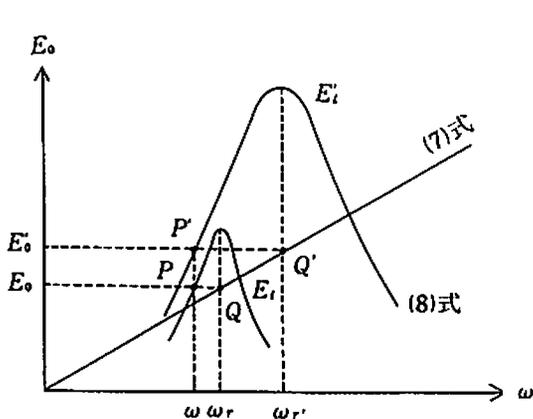


Fig. 10 入力周波数 ω 一定で入力電圧 E_i を変えたときの ω_r 、 E_o の変化

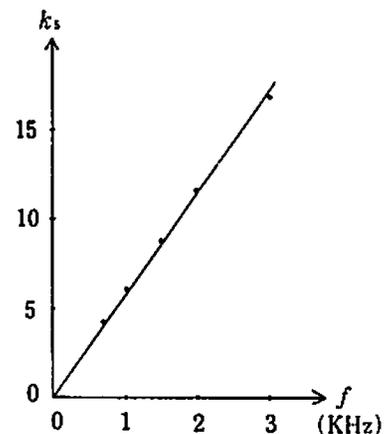


Fig. 11 入力周波数 f と定数 k_s の関係、(15)式

§ 3 あとがき

フィルタの出力を、制御フィルタのパラメータの制御信号として用いると、入力周波数の近くに、その同調周波数が自動的に動いてゆく追尾フィルタを構成できる。この追尾フィルタの追尾特性を、フィルタを非線形要素と考えて解析した結果、実験結果をよく説明することができた。

この系の応用目的としては、音声分析を考えてきたが、たとえばフェーズ-ロック-ループ(PLL)などにも用いられるかも知れない。⁽⁵⁾

この研究の費用の一部を、昭和48年度法政大学特別研究助成、および昭和49年度大学院研究補助金によっている。また多くの方々の御協力、御助言に心から感謝する。

文 献

- (1) 田中, 鷲頭:「CdSを用いた自動追尾フィルタ」法政大学工学部研究集報, 第1号, 1964年5月, p. 48
- (2) 田中, 「フィルタを非線形要素としてふくむ系」電子通信学会, 非直線理論研究委員会資料 1965年2月
- (3) 田中, 「フィルタを非線形要素とする系」昭和40年電気4学会連合大会予稿, 33
- (4) 田中・藤井:「追尾フィルタの特性」電子通信学会技術研究報告NLP75-1~4, 1975年6月
- (5) E. S. McVEY:「An Adaptive Low Pass Filter」IEEE Trans. vol. IECI-22, No. 1, 1975-2, p. 47