

# 微小直流入力用メカニカルチョッパーについて

## (I) 変換出力と接触率

松 山 潔\*

(昭和37年7月31日受理)

### 1. はしがき

メカニカルチョッパーが直流入力信号を交流に変換するという本来の動作について変換出力と接触率との関連を考察し設計、使用上の一基準を得ておこうとするものである。

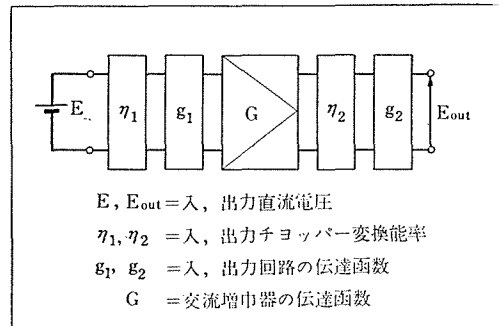
即ち第1図に示す様なチョッパー増巾器の一般的ブロック線図において、

$$E_{out} = E \cdot \eta_1 \cdot g_1 \cdot G \cdot \eta_2 \cdot g_2$$

の  $\eta_1$  は理想的なものを仮定して、これ以外の個々、または全体について色々な解析法、回路形式が考察されているが本稿は  $\eta_1$  だけをチョッパー自体の問題として接触の様様を中心に考察せんとするものである。ここで入力チョッパーの変換能率  $\eta_1$  は通常

$$\eta_1 = (\text{出力交流電圧実効値}) / (\text{入力直流電圧})$$

とした。

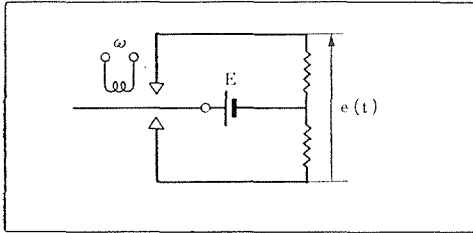


第1図 チョッパー増巾器原理回路

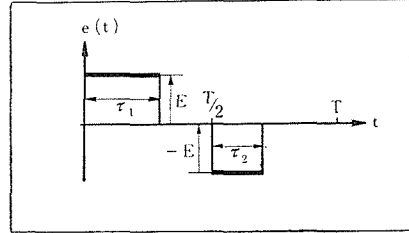
### 2. 変換出力基本式図表

雑音を発生しない、また雑音を拾わない接点系が定常的に、接触不良、チャッターなしに入力直流信号を ON, OFF するチョッパー本来の動作だけを考えると第2図の原理回路で第3図の様な変換出力があるとして充分であろう。第2図、第3図において、 $E$  = 入力直流電圧、 $T = 1/f = 2\pi/\omega =$  チョッパーの駆動周期、 $\tau_1, \tau_2 =$  夫々の接点の ON 期間、 $e(t) =$  変換出力電圧、 $\delta_1 = \tau_1/T, \delta_2 = \tau_2/T =$  夫々の接触率、 $D = \delta_1 - \delta_2 =$  非対称度である。これらの表示をフーリエ級数展開式に代入整理すると次式を得る。

\* 通信工学教室、助教授



第2図 変換原理回路



第3図 変換出力電圧波形

$$\begin{aligned}
 e(t) = & D \cdot E + 2E/\pi \sum_{n=1}^{\infty} 1/2n \cdot \sin(2n\pi \cdot D) \cdot \cos(2n\omega t - \sqrt{\tau_1 + \tau_2}/2) \\
 & + 2E/\pi \sum_{n=1}^{\infty} 1/(2n-1) \left[ 1 - 2 \cdot \cos(\sqrt{2n-1} \cdot \pi \cdot D) \cdot \cos\{(2n-1) \right. \\
 & \quad \times (2\pi \cdot \delta_1 - \pi \cdot D)\} \\
 & \left. + \cos^2(\sqrt{2n-1} \cdot \pi \cdot D) \right]^{1/2} \cdot \sin(\sqrt{2n-1} \cdot \omega t + \alpha_n)
 \end{aligned}$$

ここに,

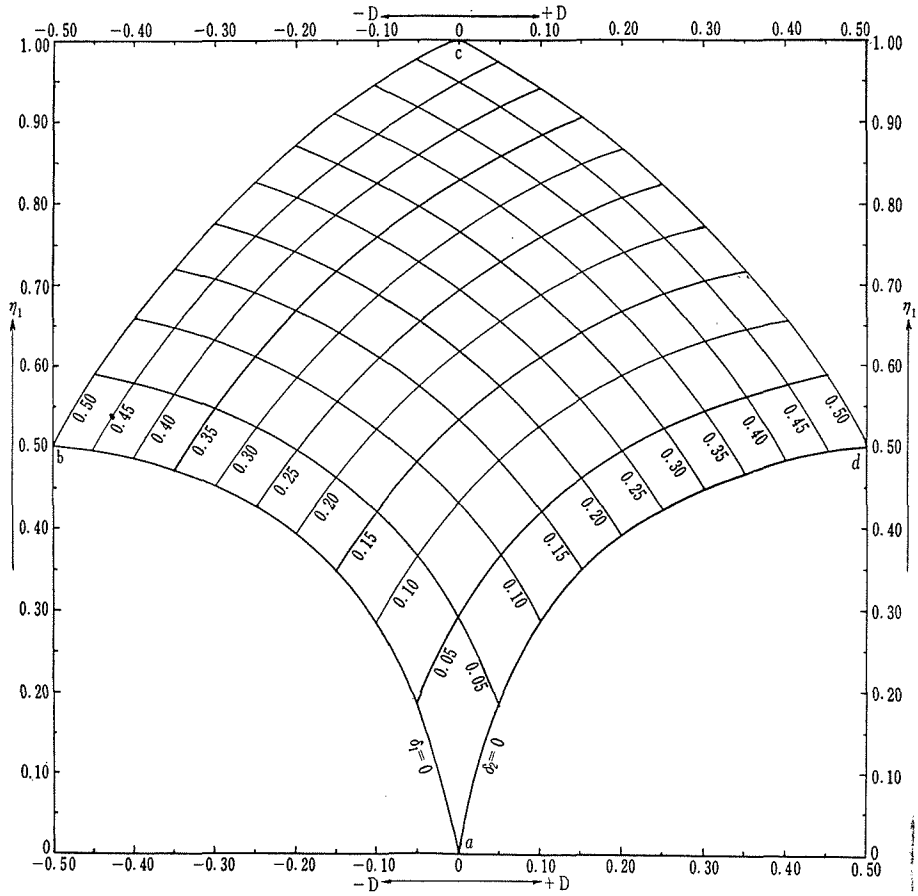
$$\begin{aligned}
 \alpha_n = & \tan^{-1} \left[ \cos(\sqrt{2n-1} \cdot \pi \cdot D) \cdot \sin\{(2n-1)(2\pi \cdot \delta_1 - \pi \cdot D)\} / \right. \\
 & \left. [1 - \cos(\sqrt{2n-1} \cdot \pi \cdot D) \cdot \cos\{(2n-1)(2\pi \cdot \delta_1 - \pi \cdot D)\}] \right]
 \end{aligned}$$

この式から  $\eta_1$  を求め、 $D$  との関係を図表とすると第4図の様な使い易い図表を得る。

ここで一応注意しなければならないことは図表上の任意の一点に対応する実際の接触形式は一般に二通りある。即ち B. B. M. 形式 ( $\delta < 1/2$ ) と M. B. B. 形式 ( $\delta > 1/2$ ) とである。図表の  $\delta$  は何れも B. B. M. 形式にしてあるから M. B. B. 形式を設計する場合等では適当に換算しなければならない。例えば第4図の bc 線上の点は ( $\delta_2 = 1/2, 0 \leq \delta_1 \leq 1/2$ ) と夫々に ( $1/2 - \delta_1$ ) を加えた ( $\delta_2 \geq 1/2, \delta_1 = 1/2$ ) の二つの接触形式を示す。

第4図から直ちに知れる様に、他の解析結果から接触の最適条件とされている  $\delta_1 = \delta_2 = 1/2$  ( $D = 0$ ) は当然の事ながら図表上の c 点で最大変換能率 100% として示される。その上に c 点を外れた時の状態も直ちに読み取れる。また実際のチョッパーでは一般に対称接触形式を採る様にしているが、振動系の安定度、使用条件等で非対称接触形式が好都合の時には(例えば One Side Bias を強くかける)非対称度を補う程度に一方の接触率を他方のそれよりも増せば変換能率不変の非対称接触を得るが、このことも図表から直読出来る。これらの模様を第4図の一部を拡大した第5図について説明する。

対称接触形式  $\delta_1 = \delta_2 = 0.3, \eta_1 \approx 77\%$  を表わす  $C_1$  点を通り横軸 ( $D$  軸) に平行な直線を引き cd 線との交点を  $C_3$ , また  $D = 0.2$  なる  $D$  軸上の点  $D_1$  から縦軸 ( $\eta_1$



第4図  $\eta_1: D$  曲線

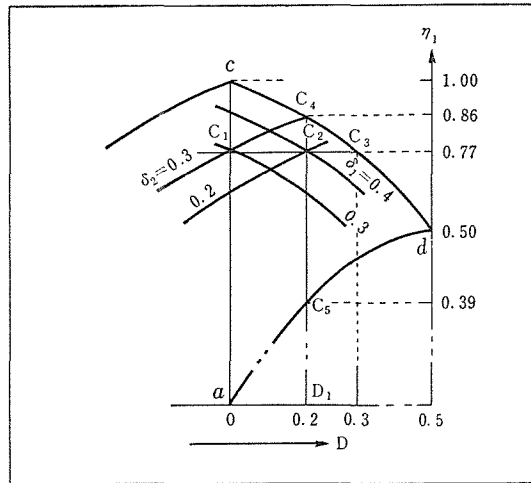
軸) に平行な直線を引き  $cd$  線との交点を  $C_4$ ,  $da$  線との交点を  $C_5$ ,  $C_1C_3$  線との交点を  $C_2$  とすると,  $C_2$  ( $\delta_1 = 0.3 + 0.1 = 0.4$ ,  $\delta_2 = 0.3 - 0.1 = 0.2$ ,  $\eta_1 \approx 77\%$ ) 点は始めの  $C_1$  点と同じ変換能率で  $D = 0.2$  なる非対称接触形式にした点である。

$C_4$  ( $\delta_1 = 0.5$ ,  $\delta_2 = 0.3$ ,  $\eta_1 \approx 86\%$ ) 点は  $D = 0.2$  の時達し得る最大変換能率  $\eta_1 \approx 86\%$  を与える点である。

$C_5$  ( $\delta_1 = 0.2$ ,  $\delta_2 = 0$ ,  $\eta_1 \approx 39\%$ ) 点は逆に最小変換能率を与える点である。

$C_3$  ( $\delta_1 = 0.5$ ,  $\delta_2 = 0.2$ ,  $\eta_1 \approx 77\%$ ) 点は  $\eta_1 \approx 77\%$  を不変に保つ時許し得る最大非対称度  $D = 0.3$  を与える点である。

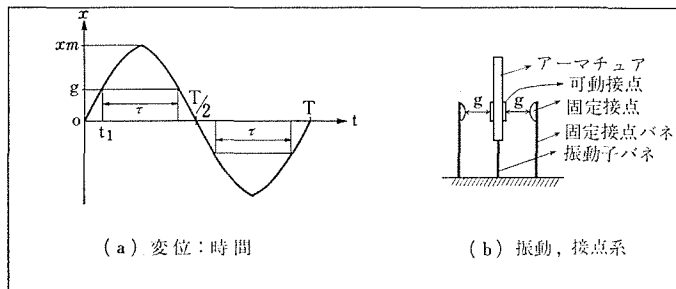
この様な数値の直読により設計, 調整等の遂行を容易にすることが出来る。



第5図 第4図の部分拡大図

### 3. 接点間隙と接触率

チョッパーの振動系は定常的には駆動入力と同一周期で振動する。その間において接点間隙を有限の速度で可動接点が Traverse するので接触率はこのことに依存する。



第6図 振動変位原理図

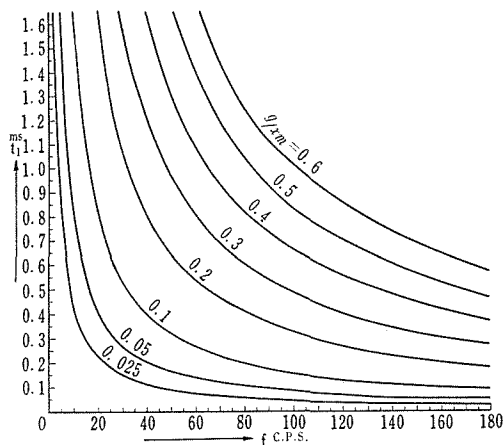
接点系は第6図 (b) に示す様に振動子バネ、固定接点バネの運動によって変位するが、これらの運動には衝突、接触、開離を伴い微細にはかなり複雑であろうが、問題を簡単化するために第6図 (a) に示す様に可動接点変位を正弦状、対称接触と仮定する。

第6図で  $x$  は変位、 $\tau$  は接触時間、 $g$  は中央から測った接点間隙である。

接点間隙  $g$  を可動接点が Traverse するのに要する時間  $t_1$  は第6図から、

$$t_1 = 1/w \cdot \sin^{-1} g/x_m$$

となり,  $x_m, g$  のみならず  $\omega$  にも依存する. 変化の様様を第7図に示す.

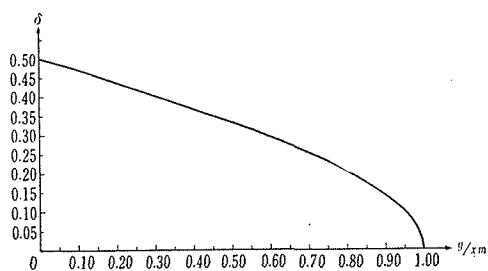


第7図  $t_1 : f$  曲線

つぎに接触率はこれから

$$\delta = \tau/T = 1/2 - 1/\pi \cdot \sin^{-1} g/x_m$$

となり,  $x_m, g$  のみによって定まる. その  $g/x_m$  に対する変化の様様を第8図に示す.



第8図  $\delta : g/x_m$  曲線

#### 4. Traverse time と接触状態

駆動入力を増大させたり, 駆動周波数を上昇させると接触不良, チャタリング, 時には接触形式が B. B. M. と M. B. B. との間をフラックことがしばしば観測される. このことは根本的には振動論的に解析される可きものであるが, 現象としては前述の Traverse time  $t_1$  の結果からも一応説明される.

$t_1 = 1/\omega \cdot \sin^{-1} g/x_m$  であるから,  $\omega$  即ち駆動周波数, または  $x_m$  即ち駆動入力を大

にすると  $t_1$  は上式に従がい第7図の如く減少する。故に振動系は極めて短い時間  $t_1$  内に  $g$  なる距離を Traverse しなければならないので、その甚大な速度 (加速度) のために接触不良, チャタリングが起り、その変位が正弦状でなくなる。また  $t_1$  が小になるにつれ接触率は前述の様に  $1/2$  に近接し、かつ上述の振動系不安定と相俟って  $1/2$  を前後する。これが B. B. M. と M. B. B. との間を移行するフラツキに外ならない。

かりに  $\delta = 49.5\%$  とすると、 $g/x_m \doteq 0.01$ 、また  $\omega = 2\pi \times 60$ 、 $g = 0.5^{mm}$  とすると  $t_1 \doteq 4 \times 10^{-5}$ 、そこで  $g/t_1$  なる平均速度を考えると  $12^m/sec$  という甚大な値になる。

## 5. 設計への適用

前項までの考察結果はチョッパーの設計に対し、次に示すように適用することができる。

(i) まずチョッパー増巾器の回路形式等から入力変換能率  $\eta_1$  およびその変動  $|\Delta\eta_1|$ 、さらに接触形式が定められたとする。例えば  $\eta_1 = 80\%$ 、 $|\Delta\eta_1| < 0.01$ 、対称 B. B. M. とすると第4図から  $\delta = \delta_1 = \delta_2 \doteq 32\%$ 、 $|\Delta\delta| < 0.01$  と読み取れる。また第8図から  $g/x_m \doteq 0.6$ 。

さらに変動については、

$$\begin{aligned} |\Delta\delta| &= \left| \frac{\partial\delta}{\partial g} \cdot \Delta g + \frac{\partial\delta}{\partial x_m} \cdot \Delta x_m \right| = \frac{g/x_m}{\pi\sqrt{1-(g/x_m)^2}} \cdot \left| \Delta x_m/x_m - \Delta g/g \right| \\ &\leq \frac{g/x_m}{\pi\sqrt{1-(g/x_m)^2}} \cdot \{ |\Delta x_m/x_m| + |\Delta g/g| \} \end{aligned}$$

の関係があるから、駆動系、振動系、接点系の各論的研究により  $g$ 、 $x_m$  の何れか一方とそれらの変動  $|\Delta g|$ 、 $|\Delta x_m|$  の何れか一方とが定まれば、 $g$ 、 $x_m$ 、 $|\Delta g|$ 、 $|\Delta x_m|$  はすべて定まる。これを上記の数値例に適用する。まず、各論的研究 (例えば耐圧等) から、 $g = 0.5^{mm}$ 、かつ工作精度、接点の摩耗、変形、熱膨脹等を考慮して  $|\Delta g| < 0.005^{mm}$  とそれぞれ定められたとすると、

$$g/x_m \doteq 0.6 \doteq 0.5/x_m, \text{ 故に } x_m \doteq 0.83^{mm}.$$

$$|\Delta\delta| < 0.01, |\Delta g| < 0.005, g = 0.5, x_m = 0.83, \text{ を上式に代入して } |\Delta x_m| < 0.054^{mm}.$$

(ii) 上記とは逆にチョッパーの各系の各論的研究の結果から  $g$ 、 $x_m$  およびそれらの変動の程度が定まれば、前項と逆の順序によって  $\delta$ 、 $\eta_1$  およびそれらの変動の程度が決定される。

## 6. 結 論

チョッパーの変換出力基本式から出発して  $\delta$  と  $\eta_1$  とに関する使用に便利な図表を作製した。また接点間隙と  $\delta$  との関係を考察した。

これらの結果を利用して、設計に適用する方法を例示、また接触状態不安定に関する

現象説明を与えた。

最後に絶えず御指導を賜る東工大粟屋教授に厚き感謝の意を表す。

## 文 献

- (1) 粟屋, 当麻: “チョッパー回路の伝達函数”, 電学会誌837号, p.187
- (2) S. Hayashi: “Periodically Interrupted Electric Circuits”, 1961 Denki-Shoin, Inc. Kyoto, Japan
- (3) N. Kato and J. Ikenoue: “A study on the Input Circuit of the Contact Modulated Amplifier”, Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyoto University Vol. XVIII. No.11. p.112

## 附 記

第4図の出力基本式図表において出力基本式は接触率, 非対称度に関する無限級数展開式であるので, 図表上の各点は実用上差支えない程度までの近似数値計算を克明に実行すれば定まるが相当の手数を要する。然し乍らつぎの様な事項を承知して置けばこの手数も省け, 出来上った図表の吟味になり, また図表の考察, 使用にも便利である。

(1) 非対称度  $D$  の同じ絶対値に対し,  $\eta_1$  は同じ値であるから図表は  $D=0$  線 (図表の ac 線) に対し対称である。

(2) 図表の a, b, c, d の各点は解析的にその値が定まる。即ち a ( $D=0, \eta_1=0$ ), b ( $D=-0.5, \eta_1=0.5$ ), c ( $D=0, \eta_1=1$ ), d ( $D=0, \eta_1=0.5$ ) である。

(3)  $\delta_1, \delta_2$  なる等接触率線の交点は  $D=\delta_1-\delta_2$  なる線上に在る。

### Summary

#### On the Mechanical Chopper for the Chopper Amplifier

##### (Part I) — The Relation Between the Conversion Efficiency and Contact Rate

Kiyoshi MATSUYAMA

(Department of Communication Engineering, Faculty of Engineering)

Though the various studies on the chopper amplifier (the contact modulated amplifier) have been reported, but those on the chopper itself are not so many.

In the formers, the chopping action is assumed to be an ideal ON - OFF action.

This paper deals with chopping action itself.

First, the conversion efficiency on the function of contact rate and its asymetricity is formulated, and then the useful and convenient nomograph of the conversion efficiency, contact rate, and its asymetricity is plotted.

With this nomograph, the numerical design data of the chopper can be readily determined, and this is illustrated by an example.

From the consideration of the traverse time between the chopper contacts, the phenomena of chopper unstable action which consist of imperfect contact, chattering, and fluctuation between B. B. M. and M. B. B. is also explained in the paper.