

# 電気回転機的设计合理化と新しい 自動計算法

帝国工業電機KK\*

岩 岸 巖\*\*

## Rationalization and new Automatic Calculation on the Design of Electric Rotary Machines.

Rationalization and Automatic calculation on the design of Electric Rotary Machines have long been aimed by many of the designers.

But even to this day, little is yet proposed on the designing methods which satisfy these objects.

The writer's new idea to solve this question is to calculate the designs as to the electric machines of various kinds by the form of the same styled formulas in which to be able to substitute the choiced numerals suitable for the definite specification.

These formulas are started from  $V_t$  (Volt per turn) of the machine and all suitable for automatic calculation by any operator who has little knowlege of engineering. The accuracy and quite coincidence of the important results as compared to the past prominent data of designers are shown in this paper.

### 1. はし が き

電気回転機的设计については、すでに Arnold<sup>(1)</sup> Gray<sup>(2)</sup> 田中<sup>(3)</sup> 上田<sup>(4)</sup> 竹内<sup>(5)</sup> 諸氏の方法が使われているが、いずれも過去の統計的の Data から出した計算式または Chart によるもので、これに使用する係数、指数の値は各機種によつて異り、未だ合理的に統一されていない。

およそ電気機器の使用材料は日進月歩であつてその性能が進歩し、一方冷却方法的设计上の進歩と使用者側の制御からみた要求が変わり、これに対して機器固有の性能からみた制限条件があるがために、過去の統計的に出し

た Data による設計法では満足が出来なくなつた。

また不統一である複雑した設計法によると切角進歩した自動計算機を充分活用する上にも不便が多い。

これ等の観点から、筆者はすでに多年機器を設計、製作した経験から、設計計算法の合理化、統一を研究したが、この結果案出したものが、ここに述べる  $V_t$  法による計算法である。

この理論については“新しい電気機械構成理論とその設計簡易化への応用”として電気学会誌<sup>(18)</sup>の5月号に公表した。

以下述べるところは、主として実務機器の設計を取り扱われる技術者にこの計算法を理解していただく目的で適用方面についての要領を書くことにした。

本設計法の理論式による計算の結果は与えられる条件が同じならば、従来の末尾に挙げた著名の優秀な設計の Data と全く一致することが確認せられる。

本方法は一般に各機種を通じて標準形は勿論、特殊の条件、制限条件のあるものでも、同じ形式を用いて、それに代入すべき要素の値さえ定めれば、後は自動式に簡易に計算ができる。

### 2. 従来の設計法

従来の設計法の主なるものを大別すると、次の3つになる。

(a)  $D^2I$ 法 (Arnold<sup>(1)</sup>, Gray<sup>(2)</sup>法)

$$\textcircled{1} \rightarrow \left( \frac{D}{l} \right) \rightarrow D^2I \leftarrow K_0 \left\{ \begin{array}{l} D \\ l \end{array} \right. \rightarrow N_{ph}$$

(統計)

選定:  $K_0, \alpha, \beta$

但し,  $T = 974 \times KW / 60n_s$

$$K_0 = \frac{2}{\pi} p (I/D)$$

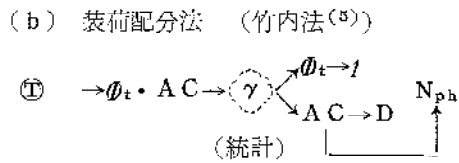
$$\alpha = AC / \pi D$$

$$\beta = \frac{2}{\pi} Bg$$

\*大阪市西淀川区舞鶴島町259

\*\*社長, 技術士

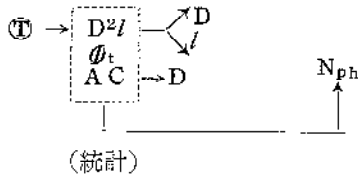
電気回転機設計製作およびコンサルタント



選定:  $\alpha, \beta$

統計:  $\gamma$  の値  
C の値 但し  $\phi = CA\gamma$

(c) 統計式による方法 (上田法<sup>(4)</sup>)



選定:  $a, \beta$

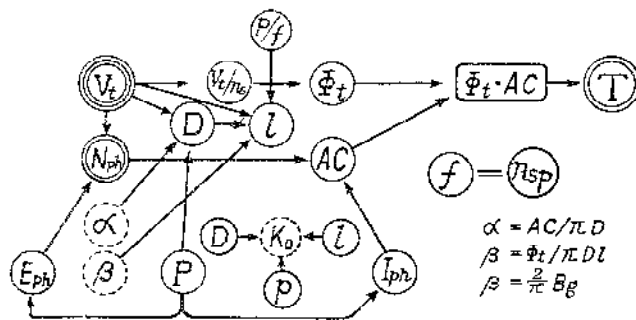
### 3. 新しい $V_t$ 法

以下に述べるものは、新しく筆者の考案した設計方法<sup>(13)</sup>である。

#### 3.1 $V_t$ 法の特徴

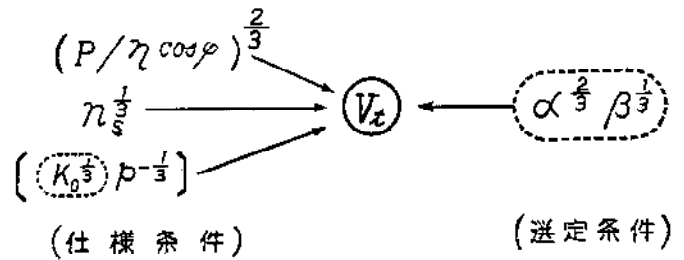
- a, 各機種を通じて同形式の計算式に合理化することができる。
- b, 過去の統計的のグラフは、単に参考として、専ら理論式に重点をおく。
- c, 最初に単刀直入に  $V_t, D, l, N_{ph}$  を出すことができる。
- d,  $V_t$  を先に出す利点
  - (i)  $V_t$  は  $D, l, \phi_t, N_{ph}$  に直結している。
  - (ii) 直流機、整流子機の設計では、整流子片間電圧を制限して無火花整流を望むことになるが、この目的には、予め  $V_t$  に制限値を与えておく必要がある。
- e, 装荷配分の手順を省くことができる。
- f,  $K_0, \alpha, \beta$  の値を設計条件に応じて予め自由に決定しておくことができる。

#### 3.2 設計因子の関連



(a) 設計因子の関連

Flowing Diagram Showing the Relation of Design Elements



(仕様条件)

(選定条件)

$K_0$ : 仕様又は選定

$$V_t = 1.6 n_s^{1/3} (P/\eta \cos \phi)^{2/3} (K_0/p)^{1/3} \{ \beta^{1/3} \alpha^{-2/3} \}$$

(b)  $V_t$  式の構成

第1図  $V_t$  基本式の構成と設計因子の関連

Fig 1 Construction of  $V_t$  Fundamental Formula and Relation of Design Elements.

#### 3.3 自動式計算に使用する主なる新しい基本式

電気回転機械の各種のものを設計することができる合理化した基本式を下記に示す。

これ等の式が誘導せられた理論的経路はすでに電気学会誌<sup>(13)</sup>に公表したものを御覧下さい。

##### [1] $V_t$ 基本式

$$V_t = 1.6 n_s^{1/3} (P/\eta \cos \phi)^{2/3} (K_0/p)^{1/3} (\beta^{1/3} \alpha^{-2/3}) \dots \dots \dots (1)$$

ここに,  $K_0 = l/C = 0.637p(l/D)$

$$K_0/p = 0.637(l/D)$$

##### [2] 主寸法基本式

$$\left. \begin{aligned} D &= \left( \frac{2}{\pi} P / V_t \alpha \eta \cos \phi \right)^{1/3} \\ l &= \left( \frac{2}{\pi} p V_t / 4.24 f \beta D \right)^{1/3} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

但し, ACM で 4.24, DCM で 4 をとる。

この基本式を直接計算式の形式に誘導すると,

$$\left. \begin{aligned} D &= 0.398 (P/\eta \cos \phi)^{1/3} n_s^{-1/3} (K_0/P)^{-1/3} (\alpha \beta)^{-1/3} \\ l &= 0.61 (P/\eta \cos \phi)^{1/3} n_s^{-1/3} (K_0/P)^{-1/3} (\alpha \beta)^{-1/3} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3)$$

$$\left. \begin{aligned} D^2 l &= 0.096 (P/\eta \cos \phi) n_s^{-1} (\alpha \beta)^{-1} \\ D &= 0.0326 (K_0/p)^{1/3} (P/\eta \cos \phi \times n_s)^{0.288} \\ l &= 0.0500 (K_0/p)^{1/3} (P/\eta \cos \phi \times n_s)^{0.288} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4)$$

##### [3] 巻回数基本式

$$\left. \begin{aligned} N_{ph} &= 0.618 (m)^{-2/3} (p^2/K_0)^{1/3} (f)^{-1/3} \\ &\quad (E_{ph}/I^2_{ph}) (\alpha^2/\beta)^{1/3} \\ N_{ph} &= E_{ph}/V_t \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (5)$$

##### [4] 装荷とトルクの基本式

$$\left. \begin{aligned} \phi_t &= 0.47 (V_t/n_s) \\ AC &= (2p)(\tau \alpha) \text{ 但し } \tau = \pi D/2p \\ T &= \phi_t \cdot AC / \pi^2 C_m \\ T' &= 0.974 (P/60 n_s) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ここに,} \\ C_m' &= 1/0.1 \frac{\pi}{2} \epsilon_E k_w \eta \cos \phi = \sigma / \eta \cos \phi \\ V_t' &= 4.24 \phi f k_w \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (7)$$

[4] 選定する  $\alpha, \beta$  の値の算定の標準

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= 135 \times 10^2 (C_s)^{0.11} \\ \beta &= 0.267 (C_s)^{0.04} \\ \alpha\beta &= 3.6 \times 10^8 (C_s)^{0.15} \end{aligned} \right\} \dots\dots(8)$$

但し,  $C_s = \frac{P(1/\eta \cos \phi)}{60n_s}$

(註) 第(8)式は従来すでに統計<sup>(7)</sup> がとられているものから決めた値も考慮して開放形のもので一応出した。

特別の条件ではその条件を考慮し幾分の変更が生じる。

第(1)(2)(3)(5)(6)(7)式はいずれも自動計算からみて便利な形式に筆者が誘導した純理論的なものである。

第(4)式は第(3)(8)式から誘導したものである。

4. 設計条件の合理的活用

本設計法は、各機種を通じて同じ形式の計算式が使用できる如く、理論的に式を誘導した。<sup>(13)</sup> 機器の設計では、共通的の主要なる仕様条件としては、第(1)式に示す  $m, E, f, IP$  (または  $KVA$ )  $P, n_s, \eta, \cos \phi$  が与えられる。本論で使用する記号の説明は末尾に掲げた。

また付加条件として、全閉、半閉、冷却法、周囲温度、定格時間、運転頻度等も要求せられる。(第9章参照)

一方機種によつて、制限条件がある。例えば直流機 ( $V_t \leq 25V$ )、整流子機 (3.5V) などである。これは  $V_t$  の値の制限値として予め決定する必要がある。この値は機種による製作最大許容限界と関連する。

上記のこれ等の条件に適した、選定条件の関数たる  $K_0, \alpha, \beta$  を合理的に決定して、これを合理化した  $V_t$  式にはめ込むことが本誌の最も便利な点である。

5. 条件適用上の注意

(1)  $V_t, N_{ph}$  一次回路 (電流の入ってくる回路) の毎相直列導体の巻回数 (Turns) を  $N_{ph}$  とし、この回路の相電圧を  $E_{ph}$  とし、この回路で  $V_t = E_{ph}/N_{ph}$  として  $V_t$  の値を考える。

ゆえに3相交流では  $\Delta$  と  $\triangle$  で区別して使用することを要する。

誘導機では固定子巻線、整流子機では固定子給電形と回転子給電形によつて区別し、前者は固定子巻線、後者は回転子一次巻線と考え、同期機および直流機では発電子巻線で  $V_t$  をみる。

直流機では、 $N/a$  を刷子間の巻回数とみて、 $N = Ea/V_t$  によつて巻回数を出し、また  $pn_s = f$  の周波数が生じているものとして扱う。

直流機、整流子機の設計では、予め  $V_t$  を制限値以内

に押えて数値を決定して、 $K_0, \alpha, \beta$  の値をこれに追いつくように選定する。

発電機の設計では、電流の出て行く回路で  $V_t$  を考えるがゆえに  $\eta, \cos \phi$  は使わない。

(2) 容量 (P)

m相の交流機で、発電機では、

$$(KVA) = mE_{ph}I_{ph}10^{-3}$$

電動機では、

$$(KVA) = 0.736(IP)/\eta \cos \phi$$

直流機では、

$$\text{発電機で, } KW = EI10^{-3}$$

$$\text{電動機で, } KW = 0.736(IP)/\eta$$

整流子機では、定トルクであるから同期速度における出力で容量をみて  $P$  を適用する。

$P$  は Watt の単位として第(1)(2)基本式に使用する。

(3) 電圧係数 (KV)

第(2)式で 4.24 とあるは、3相交流に使用する値であつて、直流機は 4 の値にする。<sup>(13)</sup>

(4) 効率 ( $\eta$ ), 力率 ( $\cos \phi$ )

効率、力率は特に指定を受けることもあるが、通常は規格による値を用いる。発電機の設計には、 $\eta, \cos \phi$  を基本式に使わない。

(5)  $K_0$  の選定

①  $K_0$  については、Arnold 氏<sup>(1)</sup> は、 $K_0 = l/\tau = (0.6 \sim 1.0)$  といひ、Gray 氏<sup>(2)</sup> は、 $K_0 = 0.6 \sim 0.9$  にすることが経済的だと述べている。

② 執行氏<sup>(10)</sup> は、 $K_0 = 1$  の条件は正方形極として経済的になる計算例を掲げている。

③ 筆者の研究<sup>(13)</sup> では、第(1)式に示す  $K_0 = \frac{2}{\pi} P (l/D)$  において  $K_0 = 1$  の条件で、 $A/\phi = \alpha/\beta, A^2/\phi = \alpha^2/\beta$  の完全合理性が成立する。普遍的には

$$l : D = (\phi/\beta) : \frac{1}{\pi} (AC/\alpha)^2 \dots\dots\dots(9)$$

の関係が成立する。一方  $\phi/AC = l\beta/\alpha$  が一般条件である。これ等の理由から、 $K_0 = 1$  は、従来簡単に考えられている標準の条件ではあるが、これには例外がある。すなわち大容量では

(a) 材料強度、振動、掘付寸法等の機械的条件から  $l$  に制限<sup>(10)(13)</sup> がある。

(b) また  $\beta, \alpha, \nu$  にも制限を受けるから  $l$  を長くする。この理由は

$$P = \alpha \beta l \nu^2 / n_s \dots\dots\dots(10)$$

によつて容量が決まるからである。

この場合には  $K_0$  は  $\alpha, \beta$  と関連してその値を決めなければならぬ。

この一例として、

Allis-Chalmer 製発電機で、121,000 KVA、4極では  $D = 1.3, l = 7.14$  がある。

ゆえに  $K_0$  の値の選定は、単に経済的のみならず、機器の合理性、周辺速度 ( $v$ )、機械的条件よりみて、 $\alpha$ 、 $\beta$  の選定と至大の関連性がある。

本設計法は、予め  $K_0$  の値を検討して、これ等の必要条件から適当な  $K_0$  の値を決定し、これを  $V_t$  基本式に代入することができる特徴がある。筆者は特にこの問題を重要視している。

(6)  $\alpha$ 、 $\beta$  の選定

① 一般的には、 $\alpha$  は容量、導体とスロットの寸法、温度上昇電流密度からも考える必要があり、 $\beta$  は  $B_{gmax}$  からみて無理のないものでないと無負荷電流、歯の温度を上昇さす原因となる。詳しいことは電学誌(19)に記した。

② 第(8)式は、統計と経験からみた傾向であつて、従来の設計家もその著書(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)(10)にその値を挙げている。しかし最終的の値の決定に際しては、上記の各条件並びに  $K_0$  との関係をも考慮して、 $V_t$  基本式に適する  $\alpha$ 、 $\beta$  の値を定めることが無難であり、かつ合理的な方法である。

$V_t$  基本式は各設計条件を総合的に合理化した最後の表現をしているものといえる。ゆえに各設計条件は、Case by Case によつて慎重に決定することが必要である。

(7) Slot の決定と D の検討

D と Slot (溝) の決定ができれば、主要な基礎的の設計がかたずいたこととなるが、スロットについては

- ① 毎相毎極当りのスロットの数、
- ② 鳴音、③ 死点、④ 導体の選定、⑤  $\beta$  の選定、
- ⑥ 経済的、技術的にみた寸法。

等の問題に関係し、加うるに電機自体の性能もスロットの数によつて影響する。すなわち、

$$\text{① は } N_z = 2mpq \dots\dots\dots(11)$$

によつて決定する。q の値のとり方は従来の数(7)に従う方が無難である。

② の鳴音は、通風、主磁束の脈動、歯の震動、漏洩磁束とスロット数及び回転数、スロットのピッチ等による原因から鳴音の周期も決めるが、従来の経験も考慮すべきである。

③ 死点は、回転子のスロット数が相、極、固定子の毎相毎極のスロット数の公約数であつてはならぬ、という原則(7)に従うことが無難である。またスロットをスキューする工作法によつても解決ができる。

電流積立(7)は、

$$\left. \begin{aligned} t_1 \alpha &= N_c I \\ N_c &= t_1 \alpha / I \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(12)$$

によつて決められるが、多くの場合において、スロットピッチは  $t \approx 1.6 \sim 2\text{cm}$  の範囲になつてくる。

2極で溝の少ないものでも2.2cm位になる。

④ スロットの寸法と鉄心の直径との関係は、導体数、導体の太さ、使用電圧、スロットの数などによつて変更せられることがある。

しかし鉄心直径、スロット数、導体の並べ方によつて

$$t_1 / Z_{min} = B_{tmax} / B_g = 3$$

$$\gamma_3 = 2.1 (C / N_z)$$

} .....(13)

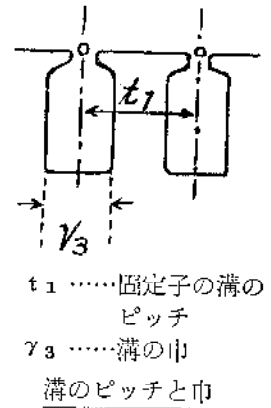
にもつてゆくことを原則(7)

としている。故に、

$$D \approx \frac{1}{2.1} \gamma_3 N_z \dots\dots\dots(14)$$

からみて、最後に D を確定する以前に、幾分の直径の修正を行なう必要が生じる。ゆえに第(4)式でみる如く、D の値は  $P, p, n_s, \eta, \cos \phi$  を確

定しても、上記の条件から  $K_0$  の値を変更する場合も生じることを覚悟の上、根よく再計算の必要が生じることに留意せなければならぬ。



6. 新設計法適用の順序と検算法

第1図 a は  $V_t$  基本式による設計要素の関連を示したもので、最初に  $V_t, N_{ph}$  の値は第(1)(5)式から単独に出しえられる。

これがためには、一般的には、第1図 b に示した第(1)式の  $V_t$  基本式の関数に、仕様条件と選定条件の各値を代入して  $V_t$  の値を決定する。

$V_t$  の制限を受ける機械、すなわち直流機 ( $V_t \leq 25V$ )、整流子機 ( $V_t \leq 3.5V$ ) では、右項の選定条件たる関数の値をしてその積がこの制限値以下になるように選ぶ必要がある。

$V_t$  を知れば  $D_{1l}$  は第(2)式から決定ができるが、一方第(3)(4)式から単独に出してこれを対比チェックすることができる。

装荷 ( $\phi_t \cdot AC$ ) とトルク (T) は(6)(7)式から求めて  $T \approx T'$  になればよいことになる。

ここに  $T'$  は  $P/n_s$  から計算せられるから後日製作の上 Dynamometon による実測値と対比してチェックができる。

なお  $V^1$  は  $\phi, f, k_w$  の如き、従来の設計の Data から計算しうる値であるから、第(1)式に示す  $V_t$  基本式による計算の結果と、これを比較して一致するならば、その設計の正確度を確認することができる。

7. 新旧設計法の比較

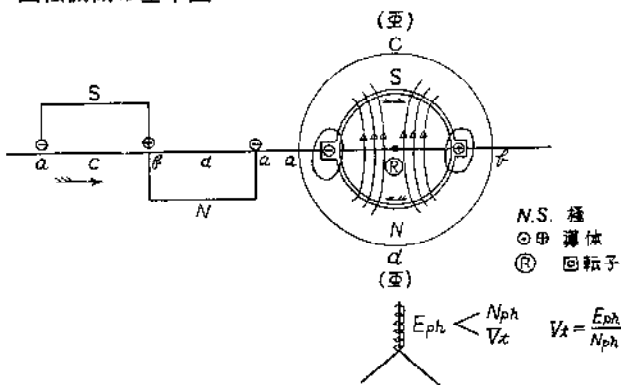
次表で簡単に新旧の設計の系統を対比する。旧法は、

P, n<sub>s</sub> から T を出し, これをパラメーターとして  $\Phi_t \cdot AC$  の積を配分して  $\Phi_t \cdot AC$  を分離し, また  $\Phi_t \cdot AC$  の曲線を使つて, 別に  $\alpha, \beta$  を仮定して D, l 並びに N<sub>ph</sub> を決めている. また T から D<sup>2</sup>l を出して D, l に分離している. この場合に多く K<sub>0</sub>≒1 として扱っている.

新しい V<sub>t</sub> 法は, 観点を逆にして, 初めに設計条件を V<sub>t</sub> に集中し, これによつて N<sub>ph</sub>, D, l を出し, また単刀直入にこれを決定することができる. しかして面倒なる装荷配分の手数を省いている.

また従来設計で使われている計算式の主要なるものは統計的の実験式であるが, 新法は新しい設計条件を基礎として各機種を通じて同一の形式に合理化統一した.

回転機械の基本図



V<sub>t</sub>, N<sub>ph</sub>, D, l の関係

N<sub>ph</sub> 毎相直列導体巻回数 E<sub>ph</sub> → V<sub>t</sub> → D, l  
 E<sub>ph</sub> 毎相電圧  
 V<sub>t</sub> Voltper Jum

基本原則

$\Phi_t$  全磁束  $\Phi_t = (2P)\Phi, AC = mI_{ph}(2N_{ph}), (\alpha) = \frac{AC}{\pi D}, (\beta) = \frac{\Phi_t}{\pi D l}$   
 $\Phi$  毎極磁束

AC 全アムペア線数  $\Phi_t \cdot AC = (\pi^2 C_m) T = \pi^2 (\alpha \beta) (D^2 l)$

T トルク

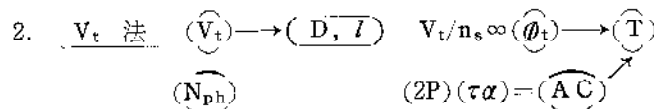
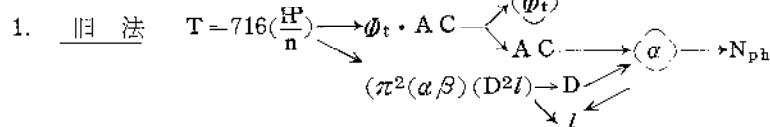
C<sub>m</sub> 係数

D 回転子の径

l " 長

$$C_m = 1 / (0.1 \frac{\pi}{2} \epsilon_E k_w \eta / \cos \varphi) = 6 / (\eta \cos \varphi)$$

P 極数の半数



K<sub>0</sub> = l/τ

τ = πD / (2P)

α : 電気比製荷

β : 磁気比製荷

$$(\alpha) = \frac{AC}{\pi D}$$

$$(\beta) = \frac{\Phi_t}{\pi D l}$$

$$V_t = 1.6 \left[ \left( n_s^2 \left( \frac{P}{\eta \cos \varphi} \right) \left( \frac{K_0}{P} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \right] \left[ \beta^{\frac{1}{2}} \alpha^{-\frac{1}{2}} \right]$$

← 仕様 ← 選定 →

8. 新しい設計法による計算例

3 相交流誘導電動機

仕様 : 標準型, 8 極, 200HP, 3,000V, 50c/s, 750rpm,

入 (η=0.91, cosφ=0.87, K<sub>0</sub>=0.845)

選定条件 : α=340×10<sup>2</sup>, β=0.465

第(1)式から,

$$V_t = 1.6 (12.5)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{200 \times 0.736}{0.91 \times 0.87} \times 10^3 \right)^{\frac{1}{2}} (0.845/4)^{\frac{1}{2}} (0.465)^{\frac{1}{2}} (340 \times 10^2)^{-\frac{1}{2}} = 5.3$$

$$N_{ph} = (3,000 / \sqrt{3}) / (5.3) = 326$$

第(2)式から,

$$D = \frac{2}{\pi} (200 \times 0.736 \times 10^3) / (5.3) (340 \times 10^2) (0.91) (0.87) = 0.655$$

$$l = K_0 \tau = (0.845) (\pi \times 0.655 / 8) = 0.216$$

第(6)式から,

$$\Phi_t = 0.47 (5.3 / 12.5) = 0.2$$

$$AC = (2P)(\tau \alpha) = (8) \times (0.255 \times 340 \times 10^2) = 695 \times 10^2$$

$$\Phi_t \cdot AC = 139 \times 10^2$$

$$T = \Phi_t \cdot AC / \pi^2 C_m = 139 \times 10^2 \{ \pi^2 \times 6 / (0.91 \times 0.87) \} = 1,880$$

これを T' = 716 × 200 / 750 = 1,900 と比較する.

(註) ①同期発電機, 直流機, 整流子電動機, 電圧調整器, 移相器についての計算例は電学誌(13)で御参照下さい.

②溝数, 導体の太さ, 巻線法は従来設計法によることのできるから, これを省略する.

### 9. 従来の優秀な設計 Data と比較

機種	誘導機	同期発電機	直流機	電圧調整器
資料	竹内 <sup>(5)</sup> p-109	電気学会 <sup>(8)</sup> p-187	竹内 <sup>(6)</sup> p-124	清家 <sup>(7)</sup> p-456
仕様	3 ph, 5 HP 200V 50c/s 4極 1,500r/m △	3 ph, 7,500KVA 6,600V 60c/s 20極 360r/m 入	450HP 600V 6極 300r/m	3 ph 13.65KVA 3,300V 60c/s 2次 e ±15V 2極 入
選定	$\alpha : 200 \times 10^2 \beta : 0.382$	$\alpha : 5.3 \times 10^4 \beta : 0.475$	$\alpha : 3.65 \times 10^4 \beta : 0.627$	$\alpha : 80 \times 10^4 \beta : 0.157$
Data (従来の設計)	D =0.172 l =0.082 N <sub>ph</sub> =207 V <sub>t</sub> =0.95	D =1.78 l =0.48 N <sub>ph</sub> =67 V <sub>t</sub> =29	D =1 l =0.407 N =414 V <sub>t</sub> =8.6	D =0.3 l =0.23 N <sub>ph</sub> =490 V <sub>t</sub> =3.86
V <sub>t</sub> 法による 計算の結果	D =0.17 l =0.082 N <sub>ph</sub> =218 V <sub>t</sub> =0.92	D =1.79 l =0.48 N <sub>ph</sub> =69 V <sub>t</sub> =28	D =1 l =0.407 N =418 V <sub>t</sub> =8.6	D =0.3 l =0.23 N <sub>ph</sub> =480 V <sub>t</sub> =3.9

(註) 整流子電動機、移相器についての比較は電学誌<sup>(13)</sup>に掲載しているが、大体においてよく一致している。

### 10. 使用者側より要求を受くる条件 に対する考慮

#### (1) 過負荷容量の増大

元來過負荷容量は、

$$W_{m \max} = m E \frac{I_{sh} - I_0}{2(1 + \cos\varphi_{sh})} \dots\dots\dots(15)$$

で示される。

これを増大するには、

①  $\cos\varphi_{sh}$  を小さくする。

これには(A) 抵抗 $\gamma$ の減小(B) イムピーダンス  $Z_{sh}$  を大にとることである。ここに、 $\gamma$ を小さくせんとせば  $\gamma_{sh}$ を増大せしむることになる。この場合に $(1 + \cos\varphi_{sh})$ の増大よりも  $I_{sh}$ の増大の方が大きくなるから、悪い結果も来す。

②  $I_{sh}$  を大にすること。

$E$ は定まっているから、 $Z_{sh}$ を小さくせなければならぬ。そのためには、

(A)  $\gamma$ を小さくする。すなわち

a. コイルを小さくする。 b. 導体を太くする。

(B)  $X_{sh}$ を小さくする。これがためには、

a. 導磁率を小にする。

(i) スロットの巾を広くして、浅くする。

(ii) 歯部の工作。

$\alpha$ . スロットおよび空隙を大にする。

$\beta$ . スロットピッチ( $t$ )を小さくする。またはスロットの数を増加する。

b. 巻線を減少させる。

但し、無負荷電流をそのままにしておくには  $D^2l$ を大きくとることである。

#### (2) 無負荷電流の減少

これには、① 空隙を小さく、② 磁束密度( $\beta$ )を小さく、③ 巻回数を増加。

但し、①③は過負荷容量と正反対である。

#### (3) Slip の減少

2次抵抗を小さくする。

#### (4) 力率、効率に対する要求

① 力率をよくするには、(a) 無負荷電流の減少、(b) もれりアクタンスの減少、(c) スロットを open にしないこと、(d)  $D^2l$ を大にとる。

② 効率をよくするには、(a) 銅損、鉄損の減小、(b)  $D^2l$ の増加。

#### ③ $\eta$ , $\cos\varphi$ の更正式

$$\left. \begin{aligned} C_{sh} &= \frac{1 - \eta}{1 - \eta'} \left( \frac{KVA \times 10^3}{n} \right) \\ C_{sh} &= \frac{1 + \cos\varphi'}{1 - \cos\varphi'} \times \left( \frac{1 - \cos\varphi}{1 + \cos\varphi} \right) \left( \frac{KVA \times 10^3}{n} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots(16)$$

#### (5) 全密閉形と寸法

全閉形では熱の放散から考え、損失の少ないものがよい。すなわち、

① 銅損減少の目的からは、

a. 電流密度( $\sigma$ )を低くする。すなわち  $2 \sim 2.5 A/mm^2$ 。

b. 巻回数を減少させる。ゆえに  $D^2l$ は大きくなりアムペア導体は開放形の80%位にとる。

- ② 鉄損減少の目的からは、
- a. 固定子，鉄心の磁束密度を低くする。  
すなわち，歯部で  $\beta_{tm} = 0.35 \sim 0.51$ ， $B_{tm} = 0.6 \sim 0.8$   
鉄心で  $\beta_{tm} = 0.45 \sim 0.57$ ， $B_{tm} = 0.7 \sim 0.9$
  - b.  $B_g$  は開放形の90%程度にする。
  - c. 結局，銅線の増大，歯部および鉄心部の磁束密度の増大は， $D$ を大きくする。  
ゆえに  $D^{2l}$ が増すから等価出力  $C_{st}$  は，開放形に比し  $C_{st} = (1.35 \sim 1.5)C_{so}$ .....(17)

にとることを要する。

(6) 間歇運転形と寸法

起重機用等の如く intermittent に使うものは1時間定格が多い，これには、

① 電流密度は開放形の1.2~1.5倍，② 磁束密度はこれに応じて多くとる。

過負荷容量は250%位で，一般のものではすでに260~300%のものもある。ゆえに、

無負荷電流は開放形の1.5倍に昇る。

間歇使用のものの定格時間  $t$  に対し等価比出力  $C_{si}$  は開放形に比して、

$$C_{si} = \sqrt[3]{\frac{t}{4}} C_{so} \dots\dots\dots(17)$$

ゆえに  $C_{si} = 0.63C_{so}$  (1 hr 定格)

$C_{si} = 0.5 C_{so}$  (30min 定格)

となる。この  $t$  は (hr)

(註) 本章は清家<sup>(7)</sup>氏の著作を参照した。

上記の条件は，多く使用者側から発註の場合に条件づ

けられるが，従来の設計法は人によつてまちまちにやつており，かつ標準形の設計になれていることと，合理化した統一的の基本式がないために，少しでも与える条件が変わるとその要求をみだす上に困難している真相であつた。V<sub>t</sub>法の基本式とすでに研究せられている本章の条件を合せ活用することによつて今後使用者側より受くる各種の条件を満足する設計が可能となつた。

11. むすび

上記の新しい電気機械設計計算法は従来グラフや統計的の実験式からピック・アップして得たる資料による複雑な設計法を簡易化するため180°の観点をかえて，直接製作に必要な巻回数と寸法を早期に理論式から算出するところに特徴がある。これによつて自動計算機の使用も簡単になる。この方法の長所は従来行なわれていた装荷配分の手数を省き，直接に  $N_{ph}$ ， $D$ ， $l$  を求めることもできる。また検算が自由にできるように考案した。

なお溝数の選定より以降の設計法は大体従来のやり方に従うことができる。

すでに従来の電気機器の設計法は，たとえ装荷配分をしてもなお比装荷 ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) を使わなければならぬから，むしろ後者を研究の対象とすべきであるとの意見<sup>(9)</sup><sup>(10)</sup>も有力であつたが，その具体的の方法については各機種を通じて正確な結果をうるに基本とすべき統一した理論式がなく，各設計者も困っている現状であつた。

この時に，本設計法を御利用になれば，計算上便宜が多いと思われる。

参 考 文 献

- (1) E. Arnold : Die Wechselstrom-technik. IV, 858, 596. (1913)
- (2) Gray : Electrical Machine Design, 133(1928)
- (3) 田中竜夫 : 電機設計の基礎. 118. (大10)
- (4) 上田輝雄 : 電気機械構成学説. 6. (昭10)
- (5) 竹内寿太郎 : 電気設計大学講義. 93, 109. (昭28)
- (6) " : 電気機器設計学. 129, 124, 159. (昭28)
- (7) 清家正 : 誘導電動機の計算, 98, 456, 470. (昭3)
- (8) 電気学会 : 電機設計概論. 187. (昭30)
- (9) " : ハンドブック. 781. (昭32)
- (10) 執行岩根 : 電気機械設計論. I. 154. (昭33)
- " " : " II. 518, 523. (昭33)
- (11) 岩岸巖 : 電学誌. 77, 409. (昭32)
- (12) " : " 77, 830. (昭32)
- (13) " : " 82, 884. (昭37)
- (14) Richer : Elektrische-maschinen. (1930)

記 号 説 明

a : 並列回路の数	n : rpm (毎分回転数)
A : 毎極の電気装荷	n <sub>s</sub> : rps (毎秒回転数)
AC : 全電気装荷	P : 出力(W), 容量(VA)
B <sub>g</sub> : 空隙の磁束密度	p : 極数の半数
B <sub>tmax</sub> : 歯部最大磁束密度	q : 毎相毎極スロット数
C <sub>s</sub> : 比容量	T : トルク(kg-m)
C <sub>m</sub> : 寸法係数	t : スロット・ピッチ
D : 回転子直径(m)	t <sub>1</sub> : 固定子スロット・ピッチ
E : 端子電圧(V)	V <sub>t</sub> : Voltper Turn(V)
E <sub>ph</sub> : 毎相電圧(V)	Z <sub>min</sub> : 歯の最小巾
ε <sub>E</sub> : 波形率	v : 周辺速度(m/S)
I <sub>ph</sub> : 毎相電流(A)	α : 電気比装荷(A/m)
I : 直流(A)	α <sub>i</sub> : ポールアークとτの比(b/τ)
f : 周波数(f)	β : 磁気比装荷(W <sub>b</sub> /m <sup>2</sup> )
K <sub>0</sub> : 寸法比:l/τ	σ : 電流密度(A/m <sup>2</sup> )
k <sub>w</sub> : 巻線係数	τ : 極間隔(m)
l : 回転子有効積厚(m)	Φ : 毎極磁束数(W <sub>b</sub> )
N : 刷子間巻回数(直流)	Φ <sub>t</sub> : 全磁束数(W <sub>b</sub> )
N <sub>ph</sub> : 毎相直列導体の巻回数	γ <sub>s</sub> : スロットの巾
N <sub>c</sub> : 毎スロット等価導体数	
N <sub>z</sub> : スロットの数	