

# 發電領域을 갖은 自勵型 brushless 充電發電機에 關한 研究

The Study of Self excited type brushless charging Generator,  
it has generated region.

吳 炳 仁\*  
(Byung in Oh)

## [ABSTRACT]

In this method the condenser excite winding has the phase angle of 90 electrical degree, with the load winding in stator.

The condenser excite wing is connected with the condenser while the load winding is with the full rectifier. Direct and quardrature axis components of rotating field winding are composed, of balanced two phase winding, and each one of them is connected with half wave rectifiers.

Initically, small amount of lead current can be induced at the condenser excite winding by residual magnetism of rotor.

The induced lead current forces the rotating field winding to be excited by synchronous alternatcnig magnetic field. The speed electromotive force, there for, induced in rotating field winding shall electro magnetize the rotating field pole by rotating half wave rectifiers.

In the case of the charging generator directly coupled with engines at the operation of wide range speed, the generated region, such as vehicles, aircraft, ships etc, is occured. In conclusion, we can take the advantage of, omitt ing of voltage regurator and current limiter for charging load and reducing the consumption of fuel using the generated region which can be devided in to Impossible generated region, Generated region, and suspension generated region.

### 1. 序 論

自動車와 船舶 等 Engine 에 直結된 充電發電機와 一般 列車에 使用되는 正逆回轉 充電發電機는 從來, 無下特性 直流 充電發電機에서 他勵型 交流 充電發電機<sup>(1)</sup> 로 그 方式이 달라지고 있다.

이것은 半導體의 開發로 그 特性和 經濟성이 높이 評價되고 있으나 亦是他勵式임과 同時에 brush 型이 그 缺點이다. 一般의으로 엔진에 直結된 充電發電機로서는 振動과熱, 濕度와有害 gas 혹은 鹽分等 使用上 極히 苛酷한 環境條件과 非定速運轉에서 機械的으로 小型輕量化되어야 한다.

充電發電機의 出力은 回轉速度에 關係하므로 이것은 市街와 高速道路 運行, 晝間과 夜間運轉에 있어서 充放

電率의差, 혹은 Cell 의 充電狀態에 구에없이 恒常 定電流 無下特性이 絕對的인 要素이다. 近來, 一般化되고 있는 交流充電發電機는 電機子捲線에 誘起된 交流起電力을 固定된 SR 에 依하여 整流되므로 從前의 直流 充電發電機에서 必要로한 Cut out relay의 除去와 보다 高速化로 因한 發電機의 輕量化, 通信障碍의 減少等 特性和 經濟面에서 보다 優秀하기는 하나 亦是 電氣的인 振動部分을 갖고 있다.

故로 Brushless 化할 手段으로서 Commutatorless 方式과 Harmonics 를 利用한 exciterless 方式等이 考案되고 있으나 이것은 速應性和 容量에 制限을 받으며 此外에도 SECSYN 型<sup>(2)</sup> Lundell 型<sup>(3)</sup> 그리고 Volkmann 氏가 考案한 S.C.R.位相制御 充電發電機<sup>(4)</sup> 亦是 이를 自勵型 brushless 方式으로서 一般的인 實用化에는 여러가지 問題點이 있을 것으로 본다.

\*正會員: 朝鮮大學校 電氣工學科 電氣機器擔當

本 自動型 brushless 充電發電機는 이미 報告된 突極型 回轉子에 單軸界磁捲線方式<sup>(3)(6)</sup> 圓筒型 回轉子로 改良하여 回轉界磁捲線을 2軸捲線으로 하였다. 이것은 電機子捲線에 誘起되는 起電力의 波形改善과 reaction torque 의 減少, 그리고 發電領域의 變域을 目的으로 한 一種의 自動型 brushless 單相交流發電機로서 電機子捲線에 接續된 SR 에 依하여 全波整流되므로 이를 充電發電機라 하였다. 特히 發電機가 廣範圍한 運轉速度에서 發電領域<sup>(7)</sup> 發生함을 特徵으로 그 自動發電의 原理概要와 基礎的인 試驗結果를 報告한다.

2. 回路構成 및 基礎方程式

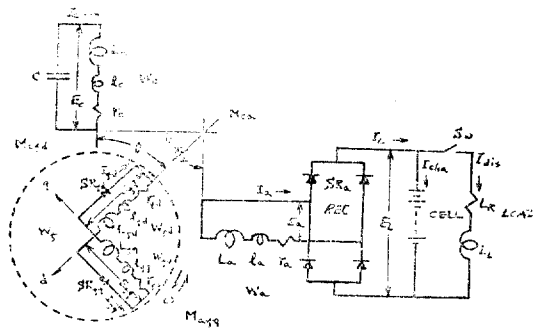


그림 1. 自動型 brushless 充電發電機의 基本回路

Fig. 1. Schematic diagram of brushless charging generator.

<2.1> 回路構成

그림 1은 解析을 目的으로 한 基本回路圖로서 固定子側의  $W_c$ 는 큰 권선 勵磁捲線,  $W_a$ 는 電機子捲線으로 兩捲線은  $\pi/2$ 의 相差角을 이룬 不平衡 2相捲線이다.  $W_c$  捲線端에는 進相用 Condenser C로 短絡되어 있으며  $W_a$ 에는 固定된 金屬整流器  $SR_a$ 가 接續되어 있다. 한편 回轉子側  $W_f$ 는 回轉界磁捲線으로서 直軸分  $W_{fd}$ 와 橫軸分界磁捲線  $W_{fq}$ 가 圓筒型 回轉子에 平衡2相分布捲線으로 감겨있다. 여겨에서  $W_{fd}$ 와  $W_{fq}$ 의 兩捲線端에는 回轉整流器  $SR_{fd}$  및  $SR_{fq}$ 가 接續되어 各기 自己半波整流回路를 構成하고 있다. 또한 自動發電時,  $W_a$  捲線에 誘起된 單相交流電力은  $SR_a$ 에 依하여 全波整流되므로 蓄電池 CELL과 放電負荷인  $LR$  및  $LL$ 에 直接 供給된다. 回轉子の 角速度  $\omega$ 는 正逆回轉에 自動發電함을 意味하며 그림 1에서

$L, l, M$ : 添字捲線의 自己인덕턴스, 漏洩인덕턴스, 相互인덕턴스,

$r$ : 添字捲線의 抵抗,

$e, i$ : 各回路의 電壓, 電流의 實効值,

$\omega$ : 回轉子の 角速度  $\theta/t$ .

$\theta$ :  $W_c$  捲線軸과  $W_{fd}$  捲線軸이 이루는 電氣角.

整流器  $SR_a$  및  $SR_{fd}$ ,  $SR_{fq}$ 는 強制 位相制御가 없는 金屬整流器로서  $W_{fd}$ 와  $W_{fq}$  捲線은 綜合的으로 90도의 位相差를 갖은 2相半波整流回路로 본다.

<2.2> 自動確立 過程에 있어서 基礎方程式.

發電機의 回轉子가  $\omega$ 의 速度로 回轉할 境遇,  $W_c$  捲線의 進相권선으로 인한 強制增磁作用과  $W_{fd}$ ,  $W_{fq}$  捲線에 誘起되는 2倍周波數의 逆相分 起電力을 自己半波整流하므로서 일어나는 自動現象을 併用한 發電方式로서 좀더 說明을 簡便히 하고자 다음 事項을 假定한다.

- (i) 角速度  $\omega$ 는 一定하게 回轉한다.
- (ii) 起電力과 flux 波形은 等價的으로 Sin波로 본다.
- (iii) harmonic's는 考慮하지 않는다.
- (iv) 磁氣的 飽和와 reluctance의 非直線性을 考慮하지 않는다.
- (v) Cell에 充電되는 負荷는 純抵抗性 直流負荷로 假定한다.

이러한 假定下에 電氣的인 過渡現象을 包含한 發電機의 實捲線軸에 對한 回路 임피던스

$$[Z_g] = \begin{bmatrix} Z_c(P), & 0, & PM_{fac}, & 0 \\ 0, & Z_a(P), & 0, & PM_{faq} \\ PM_{cfd}, & P\theta M_{cfd}, & Z_{fd}(P), & P\theta L_{fd} \\ -P\theta M_{cfq}, & PM_{cfq}, & -P\theta L_{fd}, & Z_{fq}(P) \end{bmatrix} \dots (1)$$

$p = d/dt$

$$\left. \begin{aligned} Z_c(P) &= r_c + P(L_c + l_c) + \frac{1}{PC} \\ Z_a(P) &= r_a + P(L_a + l_a) \\ Z_{fd}(P) &= r_{fd} + P(L_{fd} + l_{fd}) \\ Z_{fq}(P) &= r_{fq} + P(L_{fq} + l_{fq}) \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

解析을 簡單히 하고자

$$\begin{aligned} r_{fd} &= r_{fq} = r_f \\ L_{fd} &= L_{fq} = L_f \\ M_{cfd} &= M_{fd} = M_d \\ M_{cfq} &= M_{fq} = M_q \end{aligned}$$

$l_c, l_a, l_{fd}, l_{fq}$ 는 無視하고 (2)式에서  $Z_a(P)$ 에는 負荷 Impedance가 包含된 것으로 假定하면 自動確立 過程에 있어서 殘留電壓에 依한 微少한 界磁電流  $i_{dr}, i_{qr}$ 는  $W_{fd}, W_{fq}$ 가 回轉하므로

$$\begin{bmatrix} i_c \\ i_r \\ i_{fd} \\ i_{fq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 1, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & \cos\theta, & \cos(\theta + \lambda/2) \\ 0, & 0, & \sin\theta, & \sin(\theta + \pi/2) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_c \\ i_a \\ i_{dr} \\ i_{qr} \end{bmatrix} \dots (3)$$

인 關係가 成立한다.

(1)式的  $[Z_g]$ 을 回轉行列로 變換하고  $[A]$ 에 依하여 다

시 2相對稱座標變換하면 發電機의 回路임피던스는

$$p.t.o \quad [A] = \begin{pmatrix} 1, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 1, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & 1/\sqrt{2}, & 1/\sqrt{2} \\ 0, & 0, & -j/\sqrt{2}, & j/\sqrt{2} \end{pmatrix}$$

$$[Z_g] = \begin{pmatrix} Z_c(P), & 0, & 1/\sqrt{2}PM_d\epsilon^{j\theta}, & 1/\sqrt{2}PM_d\epsilon^{-j\theta} \\ 0, & Z_a(P), & -j/\sqrt{2}PM_q\epsilon^{j\theta}, & j/\sqrt{2}PM_q\epsilon^{-j\theta} \\ 1/\sqrt{2}PM_d\epsilon^{-j\theta}, & j/\sqrt{2}PM_q\epsilon^{-j\theta}, & Z_f(P), & 0 \\ 1/\sqrt{2}PM_d\epsilon^{j\theta}, & -j/\sqrt{2}PM_q\epsilon^{j\theta}, & 0, & Z_f(P) \end{pmatrix} \dots (4)$$

(4)式을 整行列 [K]로 變換하면 다음과 같은 電壓方程式이 成立한다.

$$\begin{pmatrix} Z_c(P), & 0, & 1/\sqrt{2}PM_d, & 1/\sqrt{2}PM_d \\ 0, & Z_a(P), & -j/\sqrt{2}PM_q, & j/\sqrt{2}PM_q \\ 1/\sqrt{2}M_d(P-j\omega), & j/\sqrt{2}M_q(P-j\omega), & Z_f(P)(P-j\omega), & 0 \\ 1/\sqrt{2}M_d(P+j\omega), & -j/\sqrt{2}M_q(P+j\omega), & 0, & Z_f(P)(P+j\omega) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} i_c \\ i_a \\ i_{dr}\epsilon^{j\theta} \\ i_{qr}\epsilon^{-j\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ E_{fg} \\ E_{fq} \end{pmatrix} P \pm j\omega = \epsilon^{\pm j\theta} \cdot P \cdot \epsilon^{\pm j\theta} \dots (5)$$

또 (5)式에서  $W_c$  捲線에는 콘덴서  $C$ 가,  $W_a$  捲線에는 負荷가 接續되어 있는것으로 보면  $E_c=0, E_a=0$  이므로 自動確立 過程에 있어서

$$\left. \begin{aligned} E_{fg} &= E_{fr}/\sqrt{2}(1-j)\epsilon^{-j\theta} \\ E_{fq} &= E_{fr}/\sqrt{2}(1-j)\epsilon^{-j\theta} \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

여기에서  $E_{fr}$  는 固定子 鐵心に 依하여 回轉界磁捲線에 誘起되는 殘留電壓, 반면 回轉子 鐵心に 依하여 固定子 側  $W_r$  와  $W_a$  捲線에도 殘留電壓  $E_{cr}, E_{ar}$  가 誘起된다.

<2.3>  $E_{cr}$  를 初期電壓으로한 電流解 自動確立에 必要한 初期條件으로서 殘留電壓,  $E_{cr}, E_{fr}$  를 생각한다. 即  $E_{cr}$  와  $E_{fr}$  는 發電領域과 電壓上昇에 있어서 支配的인 條件으로 일단 自動確立에 突入하므로써 同一한 波形과 周波數로서 正常電壓  $e_r, e_f$  로 變換되기 때문이다.

故로 (5), (6)式에서 콘덴서 勵磁電流

$$i_c = \frac{1}{\Delta} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} PM_d \left[ \left\{ \frac{1}{2} PM_q^2 (P+j\omega) \right\} + \left\{ \frac{1}{2} PM_r^2 (P+j\omega) \right\} - \left\{ r_f + L_f (P+j\omega) Z_a(P) \right\} \cdot E_{fr}/\sqrt{2} (1+j)\epsilon^{j\theta} + \frac{1}{\Delta} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} PM_d \left\{ \frac{1}{2} PM_q^2 (P-j\omega) \right\} + \left\{ \frac{1}{2} PM_r^2 (P-j\omega) \right\} - \left\{ r_f + L_f (P-j\omega) Z_a(P) \right\} \right] \cdot E_{fr}/\sqrt{2} (1-j)\epsilon^{-j\theta}$$

$$= \frac{(1+j)E_{fr}}{2} \epsilon^{j\theta} \left\{ \frac{PM_d \{1/2 PM_q^2 (P+j\omega) + 1/\sqrt{2} PM_r^2 (P+j\omega)\} - r_f + L_f (P+j\omega) Z_a(P)}{\Delta} \right\}$$

$$P=j\omega + \frac{(1-j)E_{fr}}{2} \epsilon^{-j\theta} \left\{ \frac{PM_d \{1/2 PM_q^2 (P-j\omega) + 1/\sqrt{2} PM_r^2 (P-j\omega)\} - r_f + L_f (P-j\omega) Z_a(P)}{\Delta} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} &+ \frac{1/2 PM_q^2 (P-j\omega)}{\Delta} \left\{ -r_f + L_f (P-j\omega) Z_a(P) \right\} \Big|_{P=-j\omega} \\ &= -E_{fr} \left\{ (1+j) \frac{j\omega M_d \{2(\omega M_q)^2 - r_f + 2j\omega L_f\} (r_a + j\omega L_a)}{\Delta} \right. \\ &\quad \left. \epsilon^{j\theta} R_c \right|_{R_c} \\ &R_c, I_m \text{은 實數部와 計數部} \dots (7) \end{aligned} \right\}$$

여기에서

$$\Delta = Z_c(P) \{ [Z_f(P)]^2 + \omega^2 L_f^2 \} Z_a(P) - r_f + L_f \left\{ \frac{1}{2} PM_d^2 (P^2 + \omega^2) \right\} Z_a(P) - r_f + L_f \left\{ \frac{1}{2} PM_q^2 (P^2 + \omega^2) \right\} Z_c(P) \dots (8)$$

(7) 式에서  $i_c$  는  $E_{fr}$  에 比例하여 增加되며 角速度  $\omega$  인 sin 波가 된다. 結果的으로 電壓確立 過程에 있어서  $i_c$  는  $\omega$  의 上昇에 따라 增加되는 進相電流로서 固定子 鐵心に 同期交香磁界를 形成하고, 同時에 回轉界磁捲線에 對한 勵磁電流로서  $W_r$  捲線回路를 循環하게 된다.

같은 方法으로 電機子 捲線의 電流

$$i_a = -E_{fr} \left\{ (1+j) \frac{\omega M_a \{ (r_f + 2j\omega L_f) (r_c + j\omega L_c + \frac{1}{j\omega r_c}) + 2(\omega M_a)^2 \} \epsilon^{j\theta}}{\Delta_{P=j\omega}} \right\} \Big|_{R_c}$$

로 表示되므로  $i_c$  와  $\pi/2$ 의 位相差를 이룬다. (5)(6)(8) 式에서  $i_{fd}, i_{fq}$  를 求하기 위하여

$$i_{1f}' = \epsilon^{j\theta} \cdot i_{1f}$$

$$= \left\{ \frac{Z_c(P) [Z_a(P) \{ r_f + L_f (P+j\omega) \}] - Z_a(P) \left\{ \frac{1}{2} PM_d (P+j\omega) \right\} - Z_c(P) \left\{ \frac{1}{2} PM_q^2 (P+j\omega) \right\} E_{fr}/\sqrt{2} (1+j)\epsilon^{j\theta}}{\Delta} \right\} \Big|_{P=j\omega}$$

$$+ \left\{ \frac{Z_a(P) \left\{ \frac{1}{2} PM_d^2 (P-j\omega) \right\} - Z_c(P) \left\{ \frac{1}{2} PM_q^2 (P-j\omega) \right\} E_{fr}/\sqrt{2} (1-j)\epsilon^{-j\theta}}{\Delta} \right\} \Big|_{P=-j\omega} \dots (10)$$

$$i_{2f}' = \epsilon^{-j\theta} \cdot i_{2f}$$

$$= \left\{ \frac{Z_c(P) [Z_a(P) \{ r_f + L_f (P-j\omega) \}] - Z_a(P) \left\{ \frac{1}{2} PM_d^2 (P-j\omega) \right\} - Z_c(P) \left\{ \frac{1}{2} PM_q^2 (P-j\omega) \right\} E_{fr}/\sqrt{2} (1-j)\epsilon^{-j\theta}}{\Delta} \right\} \Big|_{P=-j\omega}$$

$$+ \left\{ \frac{Z_a(P) \left\{ \frac{1}{2} PM_d^2 (P+j\omega) \right\} - Z_c(P) \left\{ \frac{1}{2} PM_q^2 (P+j\omega) \right\} E_{fr}/\sqrt{2} (1+j)\epsilon^{j\theta}}{\Delta} \right\} \Big|_{P=j\omega} \dots (11)$$

위에서

$$i_{1f} = \frac{r_c j \omega L_c + \frac{1}{j \omega_c} \{c(r_a + j \omega L_a(r_f + 2j \omega L_f)) - r_a + j \omega L_c\}}{(\omega M_d)^2 - r_c + j \omega L_c + \frac{1}{j \omega c} (\omega M_q)^2} - r_a + j \omega L_c$$

$$\frac{\Delta P = j \omega}{\frac{E_{fr}}{\sqrt{2}}(1+j) + \frac{r_a + j \omega L_a(\omega M_d)^2 - r_c + j \omega L_c + \frac{1}{j \omega c} (\omega M_q)^2}{\Delta P = -j \omega} \cdot \frac{E_{fr}}{\sqrt{2}}(1-j)\epsilon^{-j\theta}} \dots (12)$$

$i_{2f} = i_{1f}^*$  ..... (13)

(12)式的  $i$  項을 整理하면

$$r_c + j \omega L_c + \frac{1}{j \omega c} \{r_a + j \omega L_a(r_f + 2j \omega L_f)\} - r_a + j \omega L_a$$

$$\frac{(\omega M_d)^2 - r_c + j \omega L_c + \frac{1}{j \omega c} (\omega M_q)^2}{r_f + 2j \omega L_f} \dots (14)$$

라 하면 (12)(13)(14)式에서 界磁電流의 交流分

$$i_{fd} = \left[ \frac{E_{fr}}{Z_f'} \right] (\omega M_d)^2 + E_{fr} \frac{\{Z_a(P)(\omega M_d)^2 - Z_c(P)(\omega M_q)^2\}}{\Delta P = j \omega}$$

$$(1-j)\epsilon^{-j2\theta} \Big|_{R_c} \dots (15)$$

$$i_{fq} = \left[ \frac{E_{fr}}{Z_f'} \right] (\omega M_d)^2 + E_{fr} \frac{\{Z_a(P)(\omega M_d)^2 - Z_c(P)(\omega M_q)^2\}}{\Delta P = -j \omega}$$

$$(1-j)\epsilon^{-j2\theta} \Big|_{I_m} \dots (16)$$

$[Z_f'] = r_f + 2j \omega L_f \omega L_f$

(15)(16)式에서  $i_{fd}$  및  $i_{fq}$  는  $E_{fr}$  外에 2倍周波數의 交流分이 重畳되어 있다. 實際  $E_{fr}$  는 發電不能領域에서 微小한 값에 不過하나 回轉界磁捲線의 電壓降下分과 回轉整流器의 順方向降下分の 和보다 큰값이 되면서  $SR_{fd}$ 와  $SR_{fq}$  에 依하여 半波整流되므로 回轉界磁電流의 直流分  $\bar{i}_{fd}$ ,  $\bar{i}_{fq}$  는 回轉子鐵心을 電磁化 시킨다.

即  $i_c$  와  $\bar{i}_{fd}$ ,  $\bar{i}_{fq}$  는 相對的으로 勵磁를 強化 혹은 增磁作用을 促進시키 發電機에 어떤 自動條件을 滿足시킨 回轉速度에 到達하면 只今까지 殘留磁氣에 依한 永久磁石發電機가 突然, 自動型 Brushless單相同期發電機로 轉된다.

### 3. 發電領域

그림 2에서 發電領域이란 角周波數  $\omega$  變動에 따라  $\omega_0 \omega_b$  를 發電不能領域,  $\omega_a \omega_r$  를 自動發電領域, 그리고  $\omega_r \omega_b$  를 發電停止領域으로 區分한다. 即  $\omega_b$  에서 自動發電을 開始하고  $\omega_r$  에서 發電停止하므로  $\omega_b < \omega_r$  인 條件에서 理論이 成立될 수 있다. 故로 自動發電이 維持되는 角周波數는  $\omega_a \omega_r$  인 中間範圍에 限한다.

#### 〈3.1〉 發電不能領域

發電不能領域  $\omega_0 \omega_b$  는 自動確立에 이르기까지 過度의 過程의 延長으로 본다. 即 殘留電壓  $E_{cr}$  가 漸次 上昇하

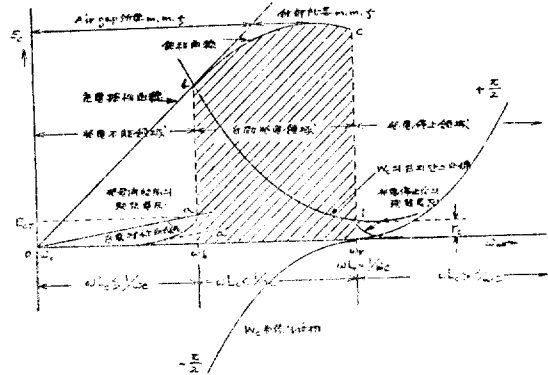


그림 2.  $\omega$ 에 對한 發電領域.  
Fig. 2. Generated region for  $\omega$ .

여 跳躍(Step jump)現象을 일으키기 까지의 極限은 相當한 回轉速度 範圍를 維持하므로 이것은  $W_c$  捲線이 鐵心을 갖은  $r_c, L_c C$  直列回路로서  $\omega$ 에 對한 一種의 Ferro resonance 에 起因한다.

故로  $W_c$  捲線에 誘起되는 電壓은 假定 (iv)와 充電特性을 無視하면

$$\dot{E}_c = -j \frac{1}{\omega c} \dot{I}_c = E_{cr} - (r_c + j \omega L_c) \dot{I}_c \dots (17)$$

이므로

다음 두 境遇로 區分할 수 있다.

$$\bar{E}_c = E_{cr} / \omega c \sqrt{r_c^2 + \left(\frac{1}{\omega c} - \omega L_c\right)^2} \dots (18)$$

$$E_c' = E_{cr} / \omega c \sqrt{r_c^2 + \left(\omega L_c - \frac{1}{\omega c}\right)^2} \dots (18')$$

(18)式은 增磁作用에 依한 電壓上昇時,

(18')式은 減磁作用에 依한 降下를 意味하므로 (2)式

에서  $[Z_c] \epsilon^{-j\theta}$ 는

$$\varphi_c = \tan^{-1}(x_c - x_L) r_c \dots (19)$$

$$x_c = 1 / \omega c, \quad x_L = \omega L_c$$

$$x_d = \omega M_d, \quad x_g = \omega M_g$$

여기에서  $r_c = 0$  이라하면

$$\left. \begin{aligned} x_c > x_L & \quad -\pi/2 \leq \varphi_c < 0 \\ x_c = x_L & \quad \varphi_c = 0 \\ x_c < x_L & \quad \pi/2 \leq \varphi_c > 0 \end{aligned} \right\} \dots (20)$$

인 順序로  $\omega$  增加에 따라 回路成分이 變換한다. 發電機의 回路定數는  $x_c \geq x_L$  로 設計되므로  $\varphi_c < 0$  를 維持할 수 있으며  $\omega_0 \omega_b$  및  $\omega_a \omega_r$  의 兩領域은 (20)式의 容量性 임피던스 範圍에서 이루어 지게 된다. 그리고  $E_{cr}$ ,  $E_{fr}$  는  $x_d/[Z_c]$ ,  $x_d^2/[Z_f']$  의 增加, 回轉子 鐵心の 材質과 型狀, 그리고 前回 發電停止時의 狀態에도 關係함이 實験

| n(r.p.m) | 殘 留 電 壓  |          |          |
|----------|----------|----------|----------|
|          | $E_{cr}$ | $E_{ar}$ | $E_{fr}$ |
| 1,000    | 0.45     | 0.09     | 0.20     |
| 1,500    | 0.86     | 0.25     | 0.45     |
| 2,000    | 1.20     | 0.46     | 0.90     |
| 2,500    | 3.50     | 0.93     | 1.61     |

표 1,  $\omega_0\omega_b$  領域에서 殘留電壓.  
Table 1, Residual Voltage in  $\omega_0\omega_b$  region.

的으로 判明되었으므로  $\omega_0\omega_b$  領域에 있어서  $E_{cr}, E_{ar}, E_{fr}$  를 求하고자  $C=10\mu F$   $SR_{fd}, SR_{fq}$  를 接續時 VTVM 로 測定值를 표 1에 표시한다.

그림3은 發電機의 回路를 All open狀態와  $SR_{fd}, SR_{fq}$  를 接續하고  $C=6, 10, 14\mu F$  로 可變時  $\omega_0\omega_b$  領域에서의 殘留電壓을 比較한다.

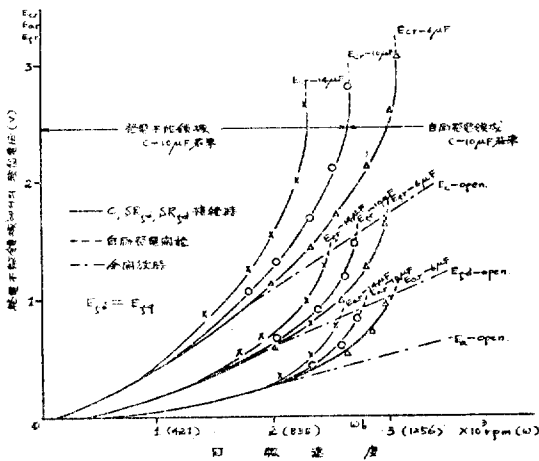


그림 3.  $E_{cr}, E_{ar}, E_{fr}$  曲線  
Fig. 3.  $E_{cr}, E_{ar}, E_{fr}$  Curve.

故로  $\omega_0\omega_b$  領域은  $\omega$  와  $E_{cr}, E_{fr}$  의 크기에 따라 大意的으로 判別되며  $x_c$  는  $\omega$  上昇에 따라 減少하고  $x_L$  는 減少하므로 그림 2에서  $E_{cr}$  는 充電特性曲線과 接하는點 a 에 到達하면 Step jump 現象에 依하여 b 點에 急上昇 한다. 同時에 發電機의 各回路는 自動電壓이 確立되므로  $\omega_b$  를 境界로 自動發電領域이 始作된다.

(3.2) 自動發電領域

$E_{cr}$  가 Step jump 現象을 일으키는 角周波數는  $\omega_0 < \omega_b < \omega_r$  의 範圍에 있으므로  $I_c = \omega_b \cdot C \cdot E_c$  인 콘덴서에 充

電電流가 흐르게 된다.

故로 自動條件을 滿足시킬 콘덴서 容量

$$C \geq \frac{1}{\omega_b} \cdot \frac{I_c}{E_c} \cdot \frac{\gamma}{1+\delta} \dots\dots\dots(21)$$

를 必要로 한다.

結局, 磁氣的으로 短絡比  $\gamma$  와 飽和率  $\delta$  가 發電領域에 關係함은 勿論 (20)式의  $x_c > x_L, \phi_c < 0$  인 條件下에 있으므로  $\gamma/1+\delta$  에 比例하여  $C$  가 增加되고  $f$  에 反比例하여 減少됨을 알 수 있다. 한편 假定 (ii)와 (15)(16) 式에서  $W_f$  의 直流電壓은

$$\begin{aligned} \overline{E_{fd}} &= \sqrt{2}/\pi \cdot E_{fd} \\ \overline{E_{fq}} &= \sqrt{2}/\pi \cdot E_{fq} \end{aligned} \dots\dots\dots(22)$$

인 平均値가 되고 回轉界磁線은  $L_{fd} = L_{fq}$  인 對稱構造로서  $L_{fd} \gg r_{fd}, L_{fq} \gg r_{fq}$  그리고 制御角  $\alpha = 0$  이므로 界磁電流

$$\overline{i_{fd}} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{E_{fd}}{r_{fd}}, \quad \overline{i_{fq}} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{E_{fq}}{r_{fq}} \dots\dots(23)$$

인 半波分이 흐르게 되나 實際整流過程에 있어서 捲線의 自己인덕턴스로 因하여  $\overline{E_{fd}}$  와  $\overline{E_{fq}}$  가 零이 되어도 (23)式의  $\overline{i_{fd}}$  와  $\overline{i_{fq}}$  는 電氣的으로  $2\pi$  가가운 區間을 延長하게 흐르게 된다. 이런 境遇  $r_{fd} = 0, r_{fq} = 0$  으로 假定하면 鎖交電束

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \phi_{fd} &= \frac{d}{dt} \phi_{fq} = 0 \\ \phi_{fd} &= \phi_{fq} = \text{一定} \dots\dots\dots(24) \end{aligned}$$

로서 回路抵抗을 無視하는 限  $\phi_{fd}$  와  $\phi_{fq}$  는 時間的으로 一定하다고 볼 수 있다.

또한  $\overline{i_{fd}}$  와  $\overline{i_{fq}}$  가 多少 脈動 하더라도  $SR_{fd}$  와  $SR_{fq}$  의 轉流가  $E_{fd}$  및  $E_{fq}$  와 同期하므로 이에 對한 過渡現象의 區間에서 磁束減少는 界磁回路의 時定數가 크기때 문에 거의 一定한 界磁束을 維持하게 된다.

이와같이 Condenser 로 因한 自動作用과 brushless 界磁作用은  $\omega_b \rightarrow \omega_r$  를 繼續하는 사이에  $W_c$  捲線과  $\pi/2$  의 相差를 가진  $W_a$  捲線에 對한 界磁極으로 作用한다.

(9)式에서 電機子電流  $i_a$  는  $[Z_f], [Z_r]$  의 增加와 負荷의 力率에 關係하나  $i_a$  는  $SR_a$  에 依하여 全波整流되므로 假定 (ii) (v)에서  $I_L = 2\sqrt{2}/\pi \cdot E_a/R_b$  가 Cell 에 充電 된다. 特別 廣範圍한 運轉速度에서  $I_L$  調整은 補助인덕턴스

$$L_{xc} = L_c/\omega^2 \cdot C \cdot L_c - 1 \dots\dots\dots(25)$$

를  $C$  와 並列接續, 혹은 發電停止에 必要한 Condenser

$$C = 1/4\pi^2 \cdot L_c = f_r^2 \dots\dots\dots(26)$$

를 加減하므로써 發電領域을 變域시킬 수 있다. 그림4는  $C$  를 可變하였을 境遇, 發電領域에 對한 無負荷  $E_a$  特性을 表示하였다.

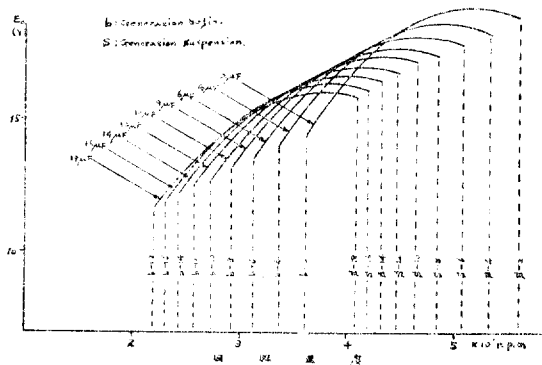


그림 4. C에 대한發電領域.

Fig. 4. Generated region with Variable C.

〈3.3〉發電停止領域

(2)式에서  $Z_c(P)$ 는  $\omega$ 의 上昇에 따라 (26)式의 C值를 滿足시킬 共振角周波數

$$\omega_r = 1/L_c \cdot C \text{ 혹은 } f_r = 1/2\pi \cdot \sqrt{L_c \cdot C} \dots\dots(27)$$

에 到達한다. 이때 (20)式의 回路成分은  $x_r = x_L, \varphi_c = 0$ 인 純抵抗性이므로

$$[Z_c] = [r_c] \dots\dots(28)$$

瞬間  $E_c$ 가 最大值를 維持할 周波數  $f_c = 1/2\pi \cdot \sqrt{\frac{1}{L_c \cdot C}}$

$\frac{r_c^2}{2L_c^2}$ 에서  $I_c$ 가 最大로 흐르게 되나 磁氣的으로  $L_c$ 에 電界的으로 C에 蓄積된 에너지의 크기와 鐵心の 飽和, 共振曲線의 銳敏한 選擇度 등에 依하여 瞬間的으로  $E_c$ 는 그림 2의 C에서 d點에 急降下, 自勵發電은 停止한다.

여기에서  $\omega$ 가 계속 上昇하였다고 하면 (20)式에서  $x_c < x_L, \varphi_c > 0$ , 結局  $[Z_c]$ 는 誘導成分으로 減磁作用을 일으켜 發電機의 回轉速度 增加에도 不拘하고 發電不能領域  $\bar{\omega}, \omega_\infty$ 를 持續하게 된다.

4. 實驗

本研究에 使用된 試驗機는 自動車用 交流充電發電機를 12V, 8P 200W로 改造, 固定子側 총 Slot數  $N_s = 24$ , 그중  $W_c = \frac{1}{3}N_s, W_r = \frac{2}{3}N_s$ 를 차지하고 回轉子側 총 Slot數  $N_r = 32, 9r = 2$ 를 平滑回轉子에 平滑2相分布捲으로 감고  $n = 0 \sim 12,000$  r.p.m 範圍에서 試驗하였다.

〈4.1〉充電負荷特性

充電負荷 狀態에서 容量別 自勵發電領域의 限界를 그림 5에 표시 한다.

定速度  $n = 2,500, 3,000, 3,500$  r.p.m,  $C = 2 \sim 60 \mu F$  範圍에서  $E_c$  特性으로 點線은 自勵發電한후 다시 C를 減少시킬 境遇 hysteresis's 現象으로 領域의 延長을 意味

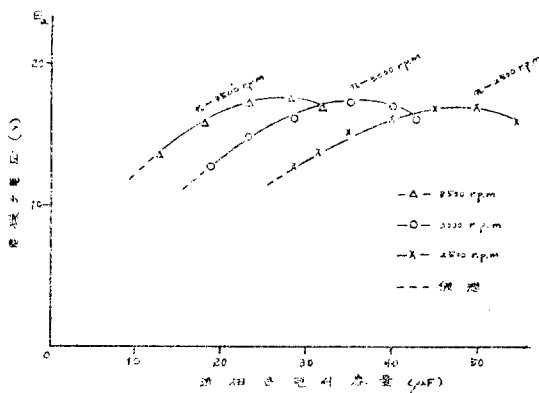


그림 5. C可變에서 自勵發電 限界.

Fig. 5. Limited of generated region in C Variable.

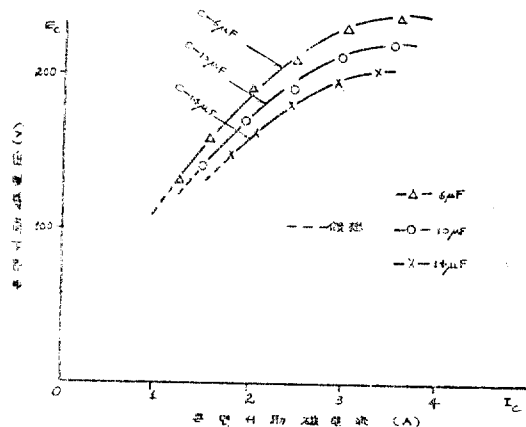


그림 6.  $I_c - E_c$  特性曲線

Fig. 6.  $I_c - E_c$  Curve.

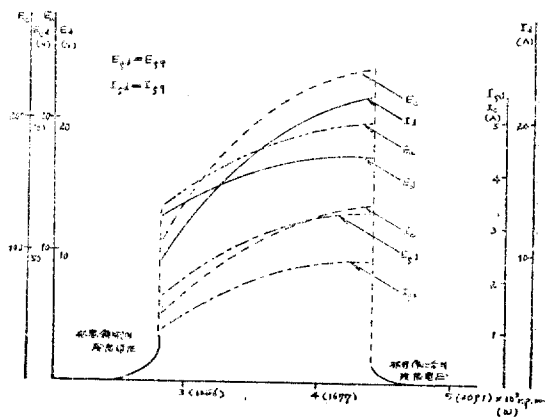


그림 7. 充電負荷特性

Fig. 7. Charging Characteristic's Curve.

한다. 그림 6은  $I_c-E_c$  특성곡선으로  $I_c$  增加에 對한 鐵心の 飽和는 各인덕턴스가  $\omega$ 의 Parameter 이므로 顯저한 非直線의 畵를 나타낸다.

$C=10\mu F$ 에서 綜合的인 電壓—電流 特性은 그림 7과 같이  $n=20,000\text{rpm}$ 에서 自動發電을 開始하고  $n=4,400\text{ r.p.m}$ 에서 停止한다. 勿論 充電에 必要한 電壓調整器와 電流制限器를 除去하고 直接 Cell에 充電可能하며  $\omega_0\omega_b$  領域에서 殘留電壓은 漸增加하고  $\omega_r\omega_\infty$  領域에서는 減少함을 나타낸다.

$P_a, P_c, P_{fd}$ 의 出力對比는 그림 8과 같이 一般 單相同期發電機에 比하여  $P_{fd}$ 對  $P_a$ 는 적은 便이나 進相큰 렌서  $C$ 의 短絡電流로 因하여  $W_c$  捲線에 抵抗損의 增加와 歪波現象이 豫想되며  $W_a$ 와  $W_c$ 의 不平衡은 內部 Hunting의 要因이 될것으로 본다.

〈4.2〉 電壓電流의 波形

그림 9에서 (a)는  $\omega_b$ 에서 自動發電 開始現象, (b)는 正常 充電負荷에서 負荷의 on off, (c)는  $\omega_r$ 에서 自動停止 現象, (d)는 充電負荷狀態의 Oscillogram이다.

自動前後에 있어서 電壓電流波形을 그림 10에 표시한다.

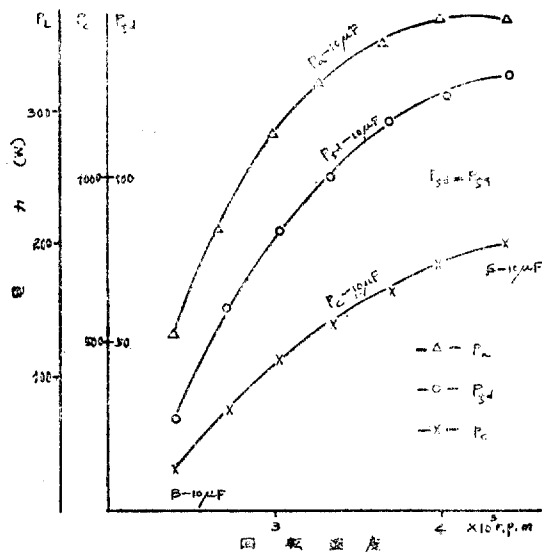
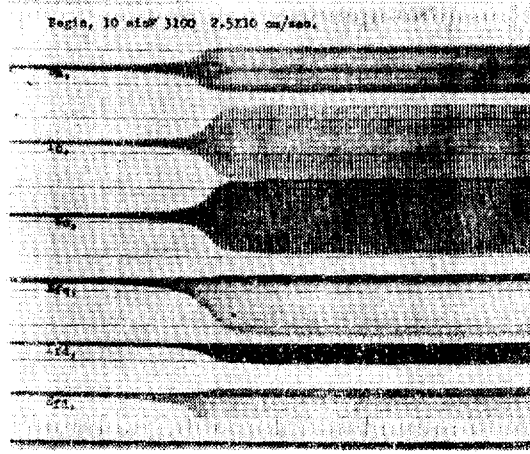
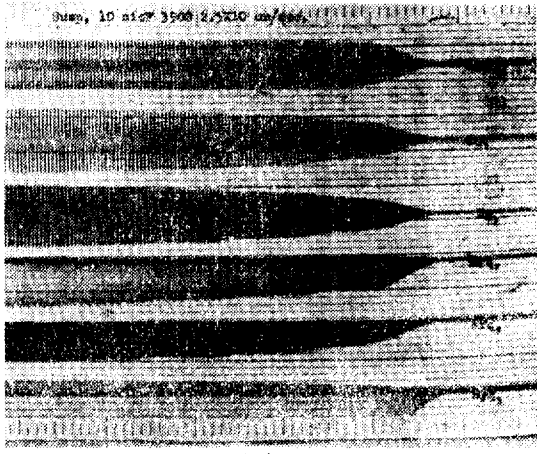


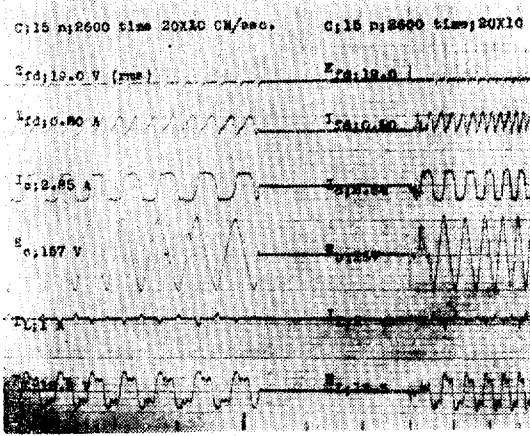
그림 8.  $P_a, P_c, P_{fd}$  ratio.  
Fig. 8.  $P_a, P_c, P_{fd}$  ratio.



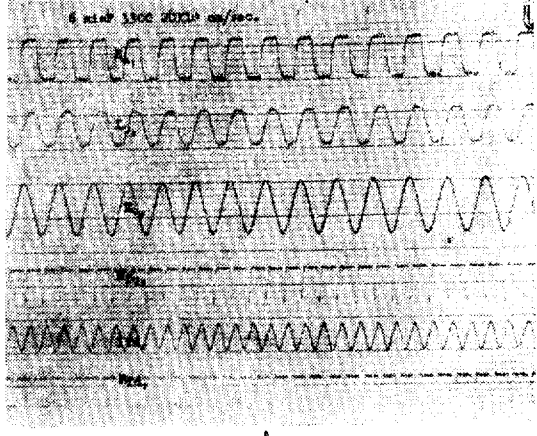
(a)



(c)



(b)



(d)

그림 9.  $\omega_b, \omega_r$ 에서의 오쓰시료. Fig. 9. Oscillogram in  $\omega_b, \omega_r$ .

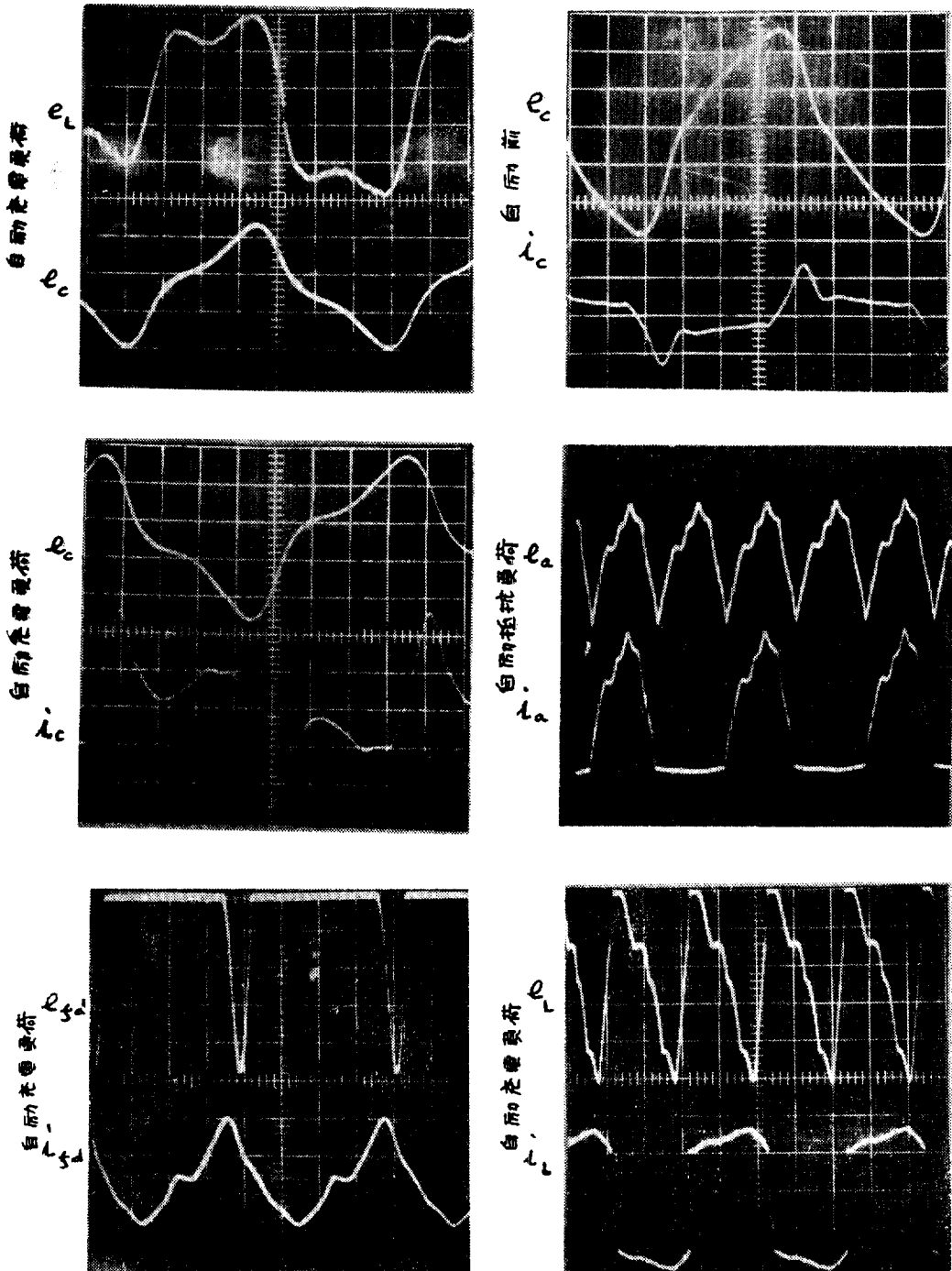


그림 10. 電壓電流 波形.

Fig. 10. Oscillogram of each Wave Shape.



一般的으로 電壓 보다 電流波形이, 그리고 無負荷에서 보다 重負荷에서 歪波現象이 甚하며 本機의 境遇, Condenser 로 因한 distortion 과 高速回轉磁界를 弱화시키기 渦流現象, 그리고  $W$  捲線의 倍數次 高調波의 影響으로 出力波形을 찌그러지게 하는 것으로 생각된다.

〈4.3〉 特性의 檢討

Engine 과 直結된 充電發電機는 보다 安全하고 信賴性이 要求되는 電裝品으로, 0~12,000r.p.m 의 運轉速度 範圍와, 時間的으로 負荷變動이 甚하다. 周圍의 溫度亦是  $-30\sim 120^{\circ}\text{C}$  인 範圍에서 運轉되며 局部的으로 加熱받기 쉬운 位置에 있다. 設計上 Volt per cycle 이 낮으며 無下特性이 要求된다.

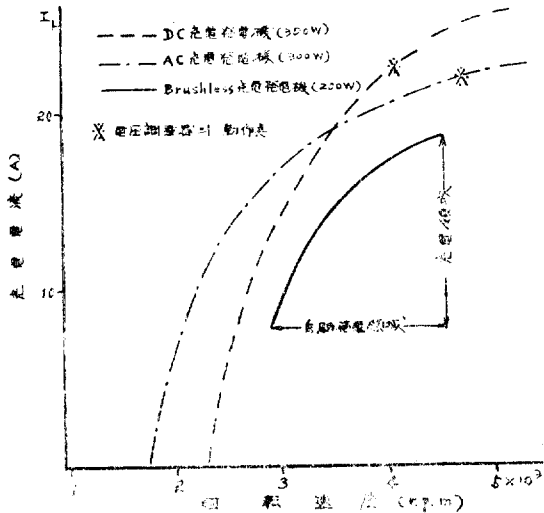


그림 11. 出力—速度特性

Fig. 11. Characteristics of out put-speed.

本方式은 從來의 充電發電機에서 必要로한 電壓調整器와 電流制限器가 省略되며 그配線과 調整等이 不必要하다. 同時에 發電機가 充電電壓에 對한 不足電壓과 過電壓 狀態를, 本方式에서는 發電不能領域과 電停止領域이 擔當하게 되므로 機關의 燃料가 節減되는 特徵을 갖고 있으며 그림 11에 他方式과의 出力速度特性을 比較하였다.

5. 結 論

以上 自動型 brushless 充電發電機의 一方式을 提案하고 自動確立과 發電領域에 對한 基礎的인 解析과 試驗結果에 對하여 論하였다.

定常狀態에 있어서 電流解는 回轉子의 殘留電壓을 初期電壓으로 삼고 發電領域에 對한 區分은 角周波數를 基準하여 線形的으로 取扱하였다. 即 殘留電壓은 自動確立過程에서와 같은 波形과 位相으로 跳躍現象을 거친後 正常電壓으로 擴大되기 때문이며 發電停止 關係는 敝共振現象으로 보기 때문이다.

이러한 發電領域을 갖은 充電發電機를 엔진 直結用으로 採用할 境遇, 充電에 必要한 電壓調整器와 電流制限器가 除去되며 燃料가 節減될것으로 생각된다.

끝으로 本研究을 指導해주신 九州大學 野中教授에게 感謝를 드린다.

(1969년 5월 2일 받음)

參 考 文 獻

- (1) 渡邊 外, 自動車用交流充電發電機의 一考案. 日立 評論 1965年 7月
- (2) K.M. Chirgwin et al, Precise frequency Power generator from an unregulated shaft, AIEE App & Ind Jan 1961.
- (3) A.W, Ford Brushless generator for A/C A review of Current development IEE Jan 1962.
- (4) W. K, Volkman, SCR Voltage regulator's for mobile Power generator IEEE Tran & Ind Vol IGA—2 Nov 1966
- (5) 野中 幸田, ฟู러쉬제스 自動型 單相同期發電機의 解析的研究. 日本電氣學會誌 1966年 7月
- (6) 野中 吳, 自動型 ฟู러쉬제스 充電發電機에 對하여. 日本電氣學會 九連大 1966年 11月
- (7) 野中 吳, 自動型 ฟู러쉬제스 充電發電機의 發電領域에 對한 研究. 日本電氣學會 全連大 1967年 4月
- (8) 足立 誘導機의 轉변저 自動現象. 日本電氣學會誌 1966年 7月.