

同期發電機에 있어서 Brushless 勵磁方式

—차 례—

- 1. 序 論
- 2. Brushless勵磁方式의 必要性
- 3. Brushless勵磁方式의 信賴性
- 4. Brushless勵磁方式의 種類

1. 서 론

最近 同期發電機에 각종 brushless勵磁方式이 考案되고 있으나 共通된 開發 目標인 信賴도와 經濟성에 있다.

이것은 構成材料의 發達과 半導體의 開發이 크게 作用하였으며 從來의 直流勵磁機에 비하여 電氣的인 摺動部의 완전 除去와 同時에 보다 小型輕量化된 同期發電機의 改革이 필요하다고 본다.

실제 同期發電機에서 電機자와 界磁사이의 energy傳達는 불가피한 基本原理로서 電機的인 方式과 磁氣的인 方法으로 구분할수 있다.

前者는 導體의 摺動 즉 commutator, seipring brush의 摩耗와 機械的 損失이 있어 信賴도가 낮은 반면 적은 勵磁電力으로 可能하나 磁氣的인 방식은 空隙의 reluctance로 인하여 勵磁電力이 增加한다. 이러한 問題점을 해결할 手段으로서 commutatorless, static excitation, exciterless, harmonics excitation 方式 등이 考案되고 있으나 摺動部의 완전除去란 불가능하여 本稿에서는 同期發電機를 중심으로 Brushless勵磁方式의 種類와 原理에 대하여 理論的으로 解說하고자 한다

2. Brushless勵磁方式의 필요성

同期發電機는 종래의 商用發電에서 점차 使用環境이 可酷한 分野에 확대되어 가고 있으며 重化學工業의 발달로 인하여 要求되는 特性이 各種各樣으로 변천되어 가고 있다. 또한 單機容量의 增加추세 역시 原子力發電등으로 인하여 크게 진보된것으로 예상하여 brushless勵磁方式의 불가피성을 다음과 같이 區分한다.

(i) 運轉速度의 上昇은 小型輕量化의 경제성을 높이고져 3,000 또는 3,600r.p.m으로 運轉되는 turbine 發電機와 航空機와 誘導爐 등에서 400~1,600Hz 範圍라면 3,000~24,000r.p.m에서 운전되어야 할것이다.

이런 경우 直流勵磁機로서 電流限界와 brush의 集電能力, 그리고 brush의 壽命에서 制限을 받는다.

(ii) exciter의 용량은 主機의 速度와 용량에 따라 다르나 예로서 1,500MW級 主發電機라면 8MW의 勵磁電力이 소요되며 DC 500~600V 10,000A 혹은 그 이상의 電流를 整流 혹은 集電하여야 하므로 直結用 直流勵磁機로서는 制限을 받는다. 이러한 難問題의 解決策으로 勵磁機의 減速, 別置의 M-G set, 혹은 double armature 방식등이 생각되나 역시 過擔한 經濟問題가 따르게 된다.

(iii) 摩擦損失이  $N^3$ 에 比例하여 증가된다.

(iv) 發電機의 使用環境에 따라 鹽素 gas, 亞硫酸 引火油氣 또는 空海上에서 防蝕과 防爆의 完全성이 향상된다.

(v) 航空機의 主發電機에서 Liquid cooling 혹은 turbine發電機에서 直接冷却과 水素 gas shield法에서 brush의 摩耗粉末의 處理困難하다.

3. Brushless勵磁方式의 信賴度

brushless勵磁方式이 회기적으로 發達된 배경에는 半導體素子의 信賴性에 있었다.

이것은 回轉整流器와 電壓調整回路에 心臟部 역할을 하고 있어 發電機의 信賴도를 左右시킨다. 대표적인 silicon整流素子는 靜止器에서 充分한 인정을 받았으나 回轉部에 사용될 경우 신중하여야 한다.

3.1 交流勵磁機의 電機子卷線

交流勵磁機의 電機子卷線과 整流方式은 主發電機에 대한 最大 勵磁電力, 電壓, 電流, 力率등이 주어지므로 相數, 結線法, 整流方式이 결정된다.

여기에서 共通된 問題點은 誘起되는 起電力이 整流 과정을 거쳐 純誘導負荷인 界磁卷線에 공급되는 점이다.

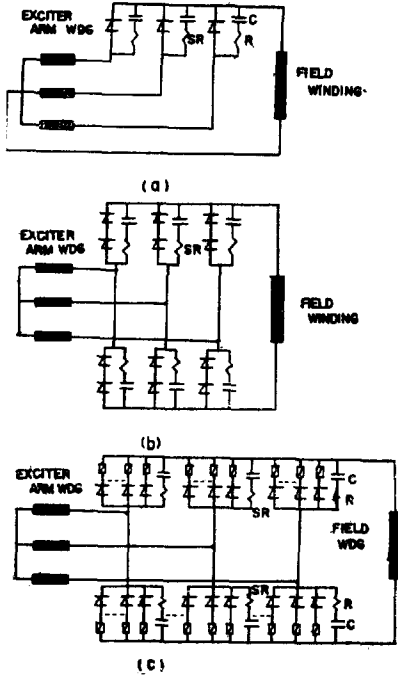
또한 固定子측에서 AC 혹은 DC로 勵磁되는 접과 電機子 反作用으로 인한 harmonics와 波型的 distortion 등을 고려하여 5相 혹은 그 이상을 택하는 경우도 있다. 勵磁機의 內部 周波數는 150~500Hz 程度의 높은것이 response에 有利하나 過하면 過電流損과 reactance 增

\* 正會員 · 朝鮮大電氣工學科教授

加로 制限을 받는다.

3.2 回轉整流裝置

整流方式은 그림 1에서와 같이 3相半波, 또는 3相全波整流回路가 一般의이나 電壓과 電流(표 1)에 따라直並列路回路를 構成하며 運轉중 保守가 불가능한점에서



(a) 3相半波回路  
(b) 3相全波回路  
(c) 3相全波並列回路

그림 1. 回轉整流器의 回路

充分한 餘裕가 필요하다.

rotary rectifier의 使用上 制限條件으로서 順方向電流, P.I.V, surge 逆耐壓, 등이 基本要件이나 定常狀態에 있어서 正方向電壓降下는 電流와 溫度의 expone

표 1. 整流電壓과 電流

整流器回路	半波	全波
整流電壓降下(DC)	$v_x = \frac{m}{2\pi} I_d X$	$v_x = \frac{m}{4\pi} I_d X$
發電機線間電壓	$v_l = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{2\pi}{m} v_{d0}$	$v_c = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\pi}{m} v_{d0}$
sin波線電流	$I_{l0} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{2}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} I_d$	$I_{l0} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{4}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} I_d$
線電流의 RMS	$I = \frac{1}{\sqrt{m}} I_d$	$I = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{m}} I_d$

ntial이므로 電壓變動에 關係하며 過渡狀態에 있어서는 發電機의 逆相分이 界磁에 加重된다. 또 同期脫出時 slip frequency의 交流分이 중첩하여 發生하는 異常電壓이 負性으로 素子의 端子에 나타난다. 이러한 모든 現象은 整流素子의 carrier蓄積效果때문에 轉流時에 짧은 時間동안 逆電流가 흐르고 整流素子는 純인덕턴스 L인 電源에 接續되어 있어 a相에서 b相에 轉流할때 過渡的으로 素子 1개에 逆方向으로 흐르는 循環電流가 생긴다. 이때 素子의 逆電壓 阻止特性이 回復하면 순환전류는 흐르지 못하게 되므로 L에 蓄積된 energy는 素子의 漏洩 capacitance C에 蓄積하게 되나 실제 SR의 C는 微少한 값이므로 높은 振動電壓이 發生한다. 그러므로 보호용 condenser C와 振動의 감쇄를 속히 制動시킬 抵抗 R을 並列接續하여 素子를 保護한다 (그림 1)

이외에도 rotary rectifier는 物理的으로 溫度上昇, 振動加速度, case와 接合部의 靜壓力이 關係되나 Henkels씨의 실험에서 充分히 確證된 事實이다.

또 300°C 이상의 蓄積想에 대비하여 gallium arsenide 혹은 silicon carbide 素子의 開發에서 解決될것이며 遠心力에 의한 接合部의 靜壓力 200kg 3,000時間 혹은 商業發電 750萬連續時間에서 安全度가 立證되었

3.3 Brushless 勵磁方式의 長點

앞에서 설명한 바와 같이 單機容量의 추세와 信賴度의 向上에서 直結用 直流勵磁機에 比하여

(i) 보다 小型輕量化되며 發電機의 길이가 短縮되므로 台床의 縮少와 振動이 防止된다.

(ii) 摩擦損이 減少되므로 効率이 向上되며 gas 폭발과 dust에 대한 安全性이 높다.

(iii) quick response로 인한 電壓調整과 過渡 및 定態安定度가 높으며 volt per cycle選定에 有利하다.

(iv) 通信障礙와 整流子 seasoning, brush의 bedding, brush交換등 維持 保守가 簡便하다.

(v) 發電機의 卷線設計에 制限을 받지 않으며 豫備 exciter를 考慮하지 않는다.

4. Brushless 勵磁方式의 種類

4.1 P. M. G

brushless化할 手段으로 界磁極을 高性能 永久磁石으로 代置하였다.

이 방식은 (i) 誘導子回轉型, (ii) P. M. 回轉型, (iii) 電機子回轉型등이 있다.

본 방식의 容量增加와 高速化는 出力電壓의 周波

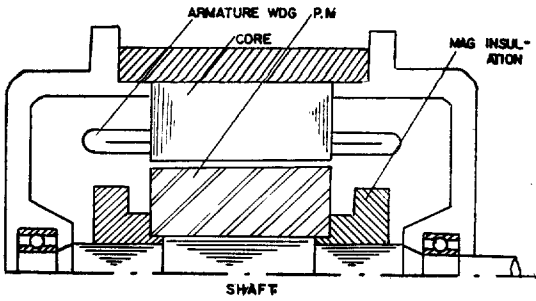


그림 2. P.M.G

數 制限을 받음과 동시에 負荷의 程度와 回轉速度에 따른 端子電壓의 固有變動과 電壓調整이 問題視된다.

電壓調整에 있어서는 電機子 卷線측에 飽和卷線을 설치하거나 調整回路에 N.F.B 혹은 機械的 入力部에 slip傳動裝置가 考案되어야 할 것이다.

P.M.G는 界磁極의 磁氣的 損失과 消失로 인한 永久的인 發電機로서 보다 定速 定負荷特性, 예로서 missile 혹은 航空機의 主發電機用 pilot exciter로서 殘留磁氣 消失防止와 速應性을 고려하여 使用하게 된다.

그림 2는 missile용 600VA 0.9 p.f 200V 3相 400 Hz 24, 000r.p.m으로 重量은 1.7kg이다.

4.2 Induction發電機

誘導發電역시 선천적으로 單獨運轉과 遲相無効電力의 發生이 문제가 된다. 널리 알려진 二次短絡誘導發

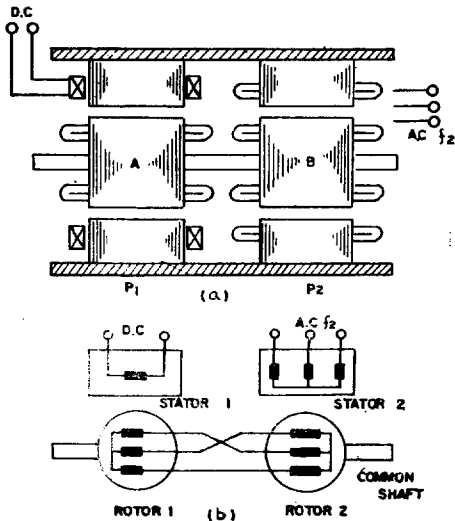


그림 3. Cascade誘導發電機

電機와 cage型誘導電動機의 一次에 進相 condenser를 接續하였을 경우 自動確立 혹은 Williams씨의 induction excite方式이 있으나 크게 實用성을 얻지 못하므로 여기에 그림 3과 같은 cascade誘導發電機에 대하

여 설명한다.

본 방식은 그림 3 (a)와 같이 構造가 簡單하여 堅固하나 效率은

$$\eta = \eta_s / n \tag{1}$$

로서 2.5 : 1 이상의 回轉速度에서 運轉이 理想的이며 效率 역시 40% 정도에 불과하다.

固定子측에서 直流勵磁로 發生되는 多相交流가 ROTOR 1에 誘起되면 그림(b)와 같이 ROTOR 2에 cascade 接續하여 STATOR 2에

$$f = n(p_1 \pm p_2) \tag{2}$$

인 周波數의 多相交流를 誘起시킨다. 回轉速度 n에서 發生한 周波數 관계는  $f_1 = p_1 n / 120$ ,  $f_2 = n(p_1 + p_2) / 120$  으로서 比較的 低速度에서 高周波 發生이 용이하므로 cascade inverter로 應用된다.

만약 固定子측에서 多相交流로 勵磁할 경우

$$f_1 \pm f_2 = n(p_1 \pm p_2) \tag{3}$$

여기에서 正 혹은 負號에 따라 同期 혹은 非同同期로 發電 Mode가 형성되며 主發電機로서 보다 高溫 定負荷 短時間 定格인 Robust generator로 適合할 것이다.

4.3 交流勵磁 回轉整流器型 brushless發電機

Miller씨에 의하여 提案되었으며 Selenium에서 silicon整流素子로 轉換하므로써 급격히 實用화 되었다.

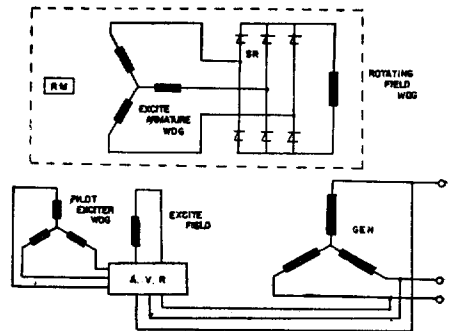


그림 4. 交流勵磁 回轉整流器型發電機의 基本回路圖 현재 小容量級에서 超大容量 商用發電機에 이르기까지 널리 採用되고 있는 型式이다. 構造는 그림 4와 같이 回轉電機子型과 回轉界磁型을 併合하여 brushless化하였으며 整流子와 slip ring을 回轉整流器로 代置한 것이다.

그러나 運轉中 界磁極의 諸量을 측정할수 없으므로 回轉勵磁機의 監視裝置가 研究되어야 한다.

예로서 交流勵磁機의 極間 air gap에 pick-up coil을 插入하여 橫軸磁束(橫軸磁束의 크기는 電機子電流에 比例)의 측정, 혹은 回轉部의 接地檢出 또는 strobo에 의하여 回轉整流器의 휴즈 熔斷등을 감시하는 裝

置가 考案되고 있다.

#### 4.4 Inductor 發電機

誘導子型 發電機는 負荷卷線과 勵磁卷線이 固定子에 위치하고 誘導子가 同期速度로 回轉하면서 鎖交流束을 變化시킨다.

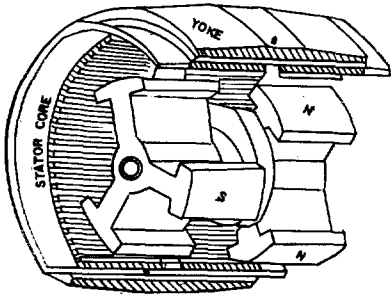


그림 5. Homopolar Inductor型 發電機

이것은

Inductor型 發電機 { 變磁束型 { 雙極型(Heteropolar)  
 { 定磁束型 { 單極型(Homopolar) ※  
 ※ { 單誘導子型  
 { 複誘導子型

으로 分類되나 어느 型式이나 界磁束이 誘導作用에 의하여 負荷卷線에 鎖交되는 Reluctance를 變化시키므로서 固定子측의 負荷差線에 e.m.f를 유기시킨다.

그림 5는 Homopolar 型의 1例로서 極數選定이 自由스런 特徵의에 Heteropolar型에 비하여 優先的으로 開發되는 理由는

- (i) 固定子の 全 slot가 出力差線으로 利用된다.
- (ii) 勵磁는 1個의 coaxial coil 즉 小電力으로 可能하다.
- (iii) 多相方式에서 相間 平衡이 간편한 點이다.

이 方式은 全般的으로 高調波에 의한 鐵損 또는 勵磁損 增加로 効率低下와 全節段差이므로 電壓變動 그리고 出力電壓型이 trepezoidal波동이 문제되나 航空機 적재용 誘導電動機의 小型輕量化를 위한 高周波電源 혹은 V.S.C.F (variable speed constant frequency) 電源, 磁氣增幅器, Radar, Carrier등 數W級 高周波 發電機와 自動交換機의 多周波 可聽周波數를 위한 signal에 適合하다.

#### 4.5 Solid rotor 發電機

Solid rotor型 發電機는 各種 改良된 方式이 考案되어 보통 商品名으로 불리우고 있다. 回轉子측에서 界磁卷線을 機械的으로 分離시켜 磁氣的으로 勵磁energy를 傳達하므로 平均 磁路가 길거나 主極의 air gap 外에 補助空隙을 通過하는 磁束에 損失이 增加한다.

機械의 共通된 特徵은 2개의 磁氣回路가 構成된다. 하나는 界磁卷線의 주위에 있어 固定子에 있고 또 다른 하나는 回轉子에 있으므로 主磁束과 界磁束이 通過된 空隙이 2개 또는 그 이상으로 다음과 같이 改良되었다.

##### (1) Lundell型 發電機

發電機의 圓筒型 yoke에 電機子 鐵心과 卷線이 그리고 그 兩端에 界磁코일이 回轉界磁型과 같이 되어 있다.

回轉子는 그림 6과 같이 2개의 極群으로 相互 NS極을 이루고 있으며 極性分離를 위하여 軸과 回轉子 사이를 磁氣的으로 絶緣시킨다. 固定子측에 발생한 界磁束은 兩端의 end plate, 補助 air gap을 통하여 흐르게 되나 突極機에 비하여 극히 적은 界磁電力이 所要되는 반면 渦流에 의한 bearing損傷을 방지하기 위하여 非磁性體로 보호한다. 回轉部에 卷線과 半導體가 없는 關係로 溫度上昇의 制限을 받지 않아 空冷式으로서도 25°C에서 運轉되는 例가 있다.

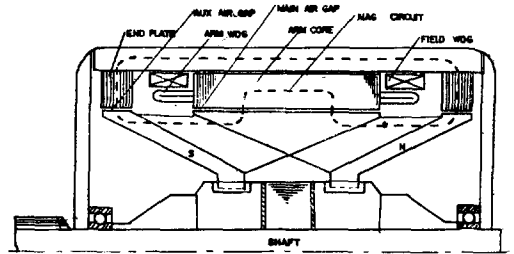


그림 6. Lundell型 發電機

또한 Lundell型은 發電機로서 보다 電動機로서 有利한 特徵이 있어 高壓 直流 Propulsion motor로서 短時間 定格 可變速度用에 適合하다.

##### (2) SECSYN 發電機

Bakey-Robinson에 의하여 stationary exciter coil synchronous로 命名됨과 同時 特許權의 所有者이다.

負荷差線과 2개의 還狀集中界磁卷線이 固定되어 있을뿐 比較的 簡單한 原理이나 回轉子의 工作이 困難하다(그림 7).

特性和 用途가 Lundell형과 비슷하나 磁氣回路가 짧아 磁性材料는 節減되며 設計的인 견지에서 4極 이하

<p. 34에 계속>