

System화된 새로운 電動機

技術解説

-Thyristor Motor-

朴 旻 鎬*

— 차 례 —

- 1. 緒論
- 2. Electronic Commutator
- 3. Thyristor motor의 動作原理
- 4. System要素
- 5. 結論

1. 緒論

「Thyristor motor」 또는 「Commutatorless motor」는 특수한 電動機의 명칭이 아니라 分配器를 사용한 自制式인버터에 의해 制御되는 同期電動機 System의 總稱이고 특히 이와 같은 system에 적합한 同期電動機의 研究는 Alexander¹⁾, Stöhr²⁾의 無整流電動機의 理論的考察에서부터 시작하였다.

Thyristor motor는 최근의 다이리스터의 發達에 따라 이 素子의 Switching 回路를 多相化하여, 直流電動機의 整流子, 브러시를 다이리스터에 의한 스위칭作用으로 置換시키고, 直流電動機와 거의 等價되는 特性을 얻도록 研究되었고, Thyristor motor의 탄생을 「Motors have graduated from the laboratory into commercial applications³⁾」라고 發表하였다.

여기서 다이리스터를 사용한 可變周波數에 의한 同期電動機의 速度制御 system으로서의 具體的인 2~3의 回路例로서 이 새로운 電動機를 解説하고자 한다.

2. Electronic Commutator

電動機의 速度制御라 하면 가장 머리에 먼저 떠오르는 것이 直流電動機이고 一定速度라고 하면 同期電動機를 연상하게 된다. 이러한 면에서 보아 두 電動機는 對立된 電動機라 하겠지만 그 構造를 分析하여 보면 勵磁은 모두 直流이고 電機子는 交流이고 合成起磁力은 磁極과 어떠한 角으로 一致한다. 여기서 다시 한번 直流電動機와 同期電動機의 差異點을 생각해 보면 同期電動機는 直接交流가 入力이 되는데 비해 直流電動機의 경우는 直流入力이 機械的整流子에 의해 電機子內에서 交流로 變換되고 速度에 比例되는 周波數로 된다. 이상의 說明을 同期電動機의 固定子에 適用시키면 그림 1과 같이 되고, 그림에서 브러시를 回轉시키면 回轉子磁極은 브러시速度와 同一 速度로 회轉하게 된다(脫調는 없다고 한다).

그림 1의 브러시 및 整流子의 役割을 等價인 Thyristor로 사용한 스위칭回路를 그림 2에 표시한다. 그리고 그림 1과 그림 2의 對應은 표 1과 같다.

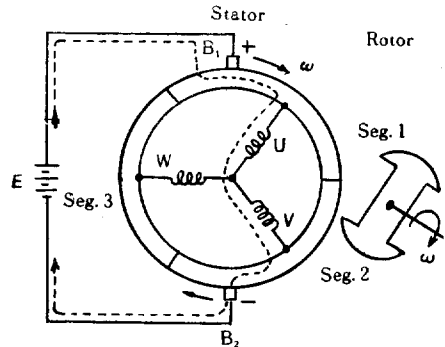


그림 1. 整流子를 가진 同期電動機
Fig. 1. Synchronous motor with commutator

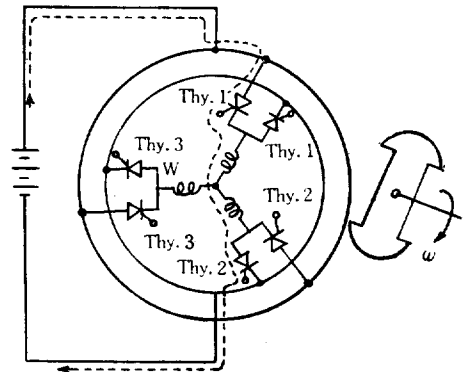


그림 2. 다이리스터모터
Fig. 2. Thyristor motor

整流子를 다이리스터로 代替시키는 경우 整流子는 兩方面에 電流를 흘리나 어느 方向에 흘리는가 하는 것은 그림 1에서 브러시의 位置에 왔을 때 흐르는 方向과 같이 결정된다. 다이리스터는 한 方向에만 電流가 흐르므로 1개의 整流子에 2개의 다이리스터를 對應시키고, 브러시의 位置에 왔을 때 다이리스터를 導

* 正會員 · 서울工大 教授(工博) · 當學會調査理事

표 1. 直流電動機와 다이리스터모터의 對應

Table 1. Thyristor motor compared with D.C. motor

等價直流電動機(그림 1)	다이리스터모터(그림 2)
B ₁ +Seg.1	Th.1
B ₁ +Seg.2	Th.2
B ₁ +Seg.3	Th.3
B ₂ +Seg.1	Th.1'
B ₂ +Seg.2	Th.2'
B ₂ +Seg.3	Th.3'

通狀態로 하면 이 다이리스터는 브러시와 똑같은 作用을 한다.

이 스위칭 回路가 「Electronic Commutator」이다. 이렇게 되면 Commutatorless motor의 定義는 整流子가 없는 것이 아니라 從前의 機械的整流子를 電子의整流子로 代替된 것이라고 할 수 있다.

여기서 다시 直流電動機와 이것을 比較하면 直流電動機의 速度는 印加電壓에 따라 調整하는 것과 같이 Thyristor motor는 다이리스터의 點弧位相制御로서 印加電壓을 變경시켜서 速度를 調整한다.

중래 넓은 범위로 效率 좋게 速度制御가 되는 電動機로서의 直流電動機, 交流整流子機 등은 모두 機械的整流子를 가지고 있었다. 이 機械的整流子는 긴 歷史를 가지고 있고 技術的으로나 經濟的으로 우수한 것으로 성장하여 왔으나, 保守의 點, 閃絡의 危險性등의 問題가 남아있다. 또 整流子片間의 絶絶(25V) 技術상에서의 回轉數(6000rpm), 使用電壓(1KV)로 制約되어 있으므로 容量상의 限界가 있다. 그래서 直流電動機에서 整流子를 除去하려고 많은 研究가 이루어졌고, 그 結果 오늘에 와서 Electronic Commutator를 가지고 있는 Thyristor motor의 形態가 具現된 것이다.

3. Thyristor motor의 動作原點

同期電動機는 그림 3과 같이 인버터에 의한 同期驅動과 Thyristor motor의 區別을 우선 말하면 전자

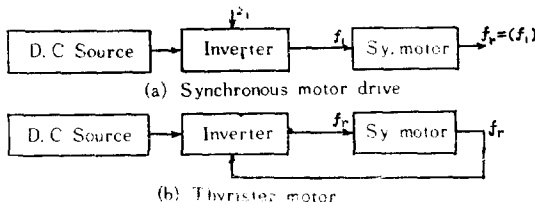


그림 3. 同期電動機驅動과 Thyristor motor의 區別
Fig. 3. Difference between synchronous motor drive and Thyristor motor

는 open loop이고, 후자는 closed loop이므로 Thyristor

motor는 絶對脫調은 일어나지 않고 速度는 直流機와 같이 磁極의 세기와 電源電壓의 크기에 의해 결정된다. Thyristor motor의 給電方式에는 交流를 다이리스터브러시 回路에 의해 일단 直流로 變換하여 給電하는 方法과 Cyclo-Converter 방식의 2종류가 있다. 또 이러한 給電電壓의 制御에는 自然과 強制轉流方式이 있다.

(a) 自然轉流方式

이 動作基本回路를 그림 4에 표시한다. 直流電源에 直列로 電流平滑用의 Reactor L를 插入하고 3相다이리스터 인버터와 同期電動機 電機子 各相을 接續한다. 또 각 다이리스터에 信號를 分配하기 위해 回轉子位置檢出器를 만들어 電動機의 回轉子(磁極)와 直結한다. 分配器는 항상 120°의 通電角을 가지고 分配順序는 그림과 같이 각 다이리스터 브리지가 導通短絡을 이

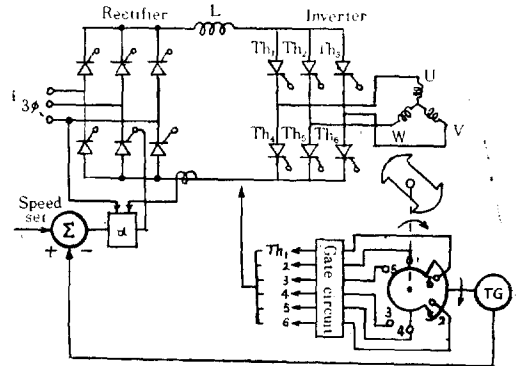


그림 4. 自然轉流制御回路
Fig. 4. Natural commutation control circuit

르키지 않도록 결정한다. 여기서 磁極의 位置와 導通다이리스터의 切換 Timing은 대단히 중요하고 整流에 대해 앞선 位置(γ)를 취한다.

지금 다이리스터 Th₁ 및 Th₆의 導通狀態에서 Th₂ 및 Th₆의 切換狀態를 생각해 보면 Th₂가 導通하면 Th₁에는 γ의 位相遲延分の 逆電壓이 印加되고 Th₁이 turn off된다. 여기서 問題가 되는 것은 Th₁의 逆電壓의 크기 및 逆電壓 印加時間이고, 이것이 다이리스터가 가지고 있는 turn off 時間이내인 경우는 轉流失敗가 된다. 이 상태가 Th₄의 on 時間까지 계속되면 電源 短絡을 일으키고 事故가 일어난다.

設定轉流進角 γ는 보통 36~60°의 範圍로 設定되고 이것이 너무 크면은 電動機效率이 低下되고 또 너무 적으면 過負荷時의 轉流가 不安定하기 때문에 狀況에 따라 適當值로 設定된다.

Thyristor motor의 回轉子에는 TG(tachometer generator)에 의한 速度의 feed back에 의해 整流器의

다이리스터의 位相制御 α 에 의해 電壓을 가감하여 一定設定速度를 유지하고 있다.

(b) 強制轉流方式

다이리스터를 轉流하는 方法은 현재까지 많이 發表되어 있으나, 여기서는 LC 共振回路를 사용한 強制轉流方式을 說明한다.

이 制御回路는 그림 5와 같다. Th_1, Th_6 의 導通狀態에 있어 Th_1 에서 Th_2 의 轉流狀況을 생각한다. 轉流前에는 轉流 condenser C_1 및 相間 Condenser C_{WV} 는 그림과 같은 極性으로 充電되어 있다.

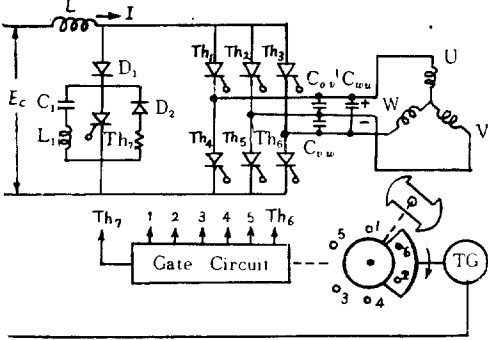


그림 5. 強制轉流制御回路
Fig. 5. Forced commutation control circuit

여기서 Th_2 에 게이트信號를 주는 同時에 補助다이리스터 Th_7 에도 信號를 보낸다. 이때문에 Th_7 은 turn on 하므로 直流母線은 E_S 에서 0로 되고 이때까지 導

通하던 Th_1, Th_6 은 $V_{CWV} (\approx E_S)$ 값의 逆電壓이 加해지고 turn off된다. 따라서 브리지에 流入되는 電流는 영이 되고 直流電流는 Th_7 에 옮겨진다. 동시에 Th_7 에는 C_1 의 放電電流가 흐르나 C_1, L_1 의 共振에 따라 反轉하고 直流電流 I 는 C_1, L_1 回路에 옮겨진다. 이때 C_1 의 逆流電流가 I 보다 크도록 하고 餘分 電流는 D_2, R 回路에 分流시킨다. 이때 R 에 生기는 逆電壓으로 Th_7 을 turn off시킨다. 또 C_1 의 電壓은 처음의 極性으로 바뀌어지고 E_S 로 上昇되고 Th_2 와 Th_6 를 導通시켜서 轉流를 完了한다.

이와 같이 Th_1 에서 Th_2 에 轉流시키는데 Th_1, Th_6 을 turn off 시킨다음에 Th_2 에 새로히 그리고 Th_6 을 다시 turn on시키는 方法이다. 이때 V 相, W 相에 흐르는 電機子 電流는 電磁에너지 때문에 0이 되지 않고 일단 C_{UV}, C_{VW} 를 充電한다. 그러므로 轉流우에 電機子 인덕턴스와 콘덴서의 共振때문에 電機子電流가 振動한다.

(c) Cycloconven 方式

이 主回路構成은 그림 6에 표시된 바와 같이 電源側 3相, 電動機側 3相, 그리고 (+), (-)의 兩極性 때문에 $3 \times 3 \times 2 = 18$ 개의 다이리스터가 基本構成이 되어 있다.

電源이 3相交流이므로 R.S.T 相 각각에서 電動機端子에 각각 直流의 電位(즉, 電位가 걸리는 方向이 항상 同一方向이 되도록)가 걸리도록, 예를 들면 다이

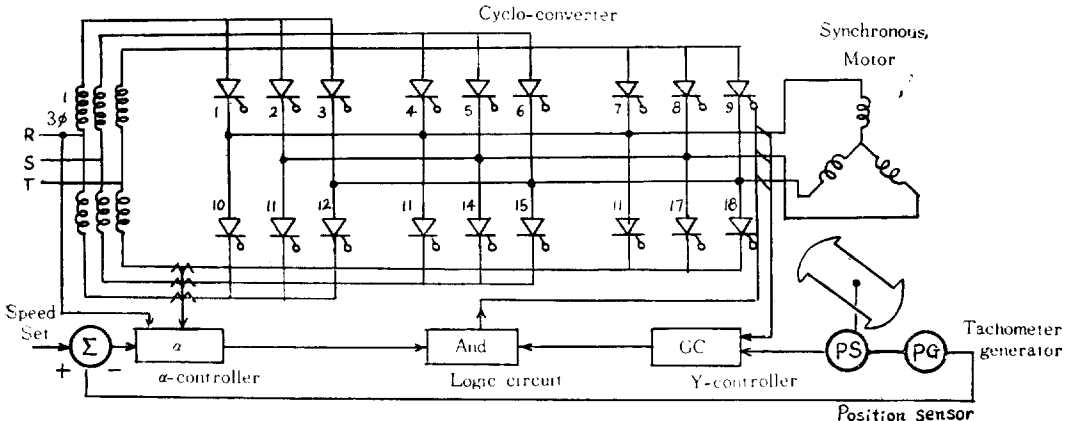


그림 6. Cyclo-converter 方式에 의한 Thyristor motor
Fig. 6. Thyristor motor circuit by cycle-converter method

리스터 Th_1, Th_2, Th_3 의 게이트制御를 한다.

R, S相다이리스터를 點弧하지 않고, T相다이리스터만 點弧하면 電動機에의 印加電壓은 낮게 되고, R, S, T相 모두 제일 높은 直流電壓을 주도록 點弧하면

電動機에는 최고의 電壓이 印加된다.

이 點弧位相을 制御하는 것이 그림의 GC回路이다. 이 電動機가 直流電動機, 誘導電動機와 다른 것은 그림 2에서 아는 바와 같이 電動機의 코일位置에 關하여

點弧시킬 다이리스터를 選擇해야 하므로 電動機回轉子
의 機械的位置에 따라 點弧해야 할 다이리스터를 選擇
하는 PS가 絕對必要하다는 것을 재차 강조한다.

4. System 要素

(a) 位置 Sensor

이것은 回轉子位置를 檢出하고 主 Thyristor에 게이
트信號를 주고, 轉流進角을 결정하는 것이고, 여기에
서 發生하는 信號는 整形處理, 增幅을 하는 回路로 構
成되어 있다.

檢出에는 主磁極의 位置를 檢出하는 것과, gap의 合
成磁束鎖交數를 檢出하는 2種으로 구별된다.

(b) 電壓制御器

Thyristor motor에 있어 回轉速度는 電子整流子에
공급되는 DC 電壓의 調整에 의해 調節된다. Thyristor
ward Leonard device(그림 1)는 소위 位相制御에 의
해 D.C電壓을 조절한다. 또 逆方向運轉이나 制動은
Converter와 Commutator의 양쪽의 Thyristor signal
sequences를 同時에 shift시키면 된다. Cyclo-converter
에 의한 electronic commutator는 자유롭게 電壓調整
이 이루어진다.

Cyclo-converter와 DC Converter와의 두 回路에는
별차이가 없고 전자를 AC System이라 하고 후자를 D
C System이라고 부른다. AC System에서는 Thyris-
tor motor의 停止, 低速度에서 DC System보다 유리
하다. 왜냐하면 Line commutation이 효과적으로 이
루어지기 때문이다. 한편 DC System은 동작周波數
가 電源周波數보다 클 때 운전에 適合하다.

(c) 回轉機械

同期機에 있어 電機子卷線은 Y結線으로 Electronic
commutator에 연결되어 있다.

Thyristor commutation을 쉽게하기 위해 機械設計
者는 電機子反作用과 整流인덕턴스를 줄이는데 노력하
고 있다. 凸極形機械는 橫軸電機子反作用을 制限하는
점에서는 참 좋은 것이나, 磁極은 勵磁하기 위해서는
Slip ring과 브러시가 필요하다. 이 Slip ring機構를 없
애기 위해 Brushless exciter를 사용한다. 앞으로는 그
림 7의 Lundell 혹은 Claw-極機가 高速度用으로 필요
할 것이다.

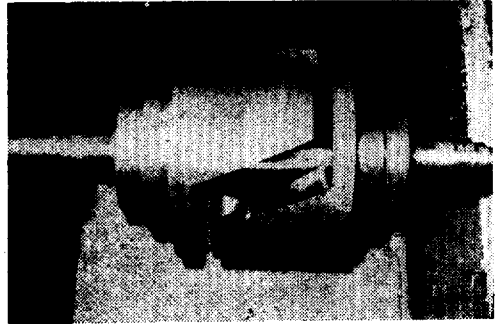


그림 7. Landell回轉子

Fig. 7. Landell rotor for thyristor motor

5. 結論

速度制御用の 電動機로서 特性이 우수한 直流電動機
가 있다. 그럼에도 불구하고 交流電動機의 速度制御가
요망되는 하나는, 自勵他制式인버터에 의한 同期電動
機의 制御라고 하는 간단하고 精度가 높은 速度制御가
언어진다는 利點도 있으나, 이 외에 整流子, 브러시의
保守의 번잡성이 없어진다는데 있다. 그리고 直流電動
機에 비해 高速化, 大容量化가 용이하다.

그러나 現在로서는 卷線의 인덕턴스가 크고, 轉流子
의 Overlap angle이 크고, 始動瞬時的 回轉子位置에
따라 始動토크가 脈動된다. 또 始動時 逆起電力 轉
流의 경우는 물론, 強制轉流에서도 일반적으로 轉極에
特別한 考慮를 하여야 한다는 것이 이후에 나온 重要
한 研究課題가 될 것이다.

이상과 같이 變換과 制御를 兼備한 System 化에서
이루어진 이 새로운 電動機인 Thyristor motor의 出現
은 電氣自動車를 위시하여 各方面에 그 應用이 擴大되
리라고 믿는다.

參考文獻

- (1) E.F.W. Alexanderson: The Thyatron Motor, E.E., 53(Nov.1934)
- (2) M. Stöhr: Die Typenleistung Kallektorlosser Stromrichter motoren bei der einfacher Sechsphasen Schaltung, Arch.für Elek., II (1938)
- (3) J.Inagaki, etc.: Commutators get the brush off, I.E.E.E Spectrum (June 1973)
- (4) B.R. Pelly: Thyristor Phase-controlled Converters and Cycloconverters, wiley-Interscience (1971)