

技術動向

電氣車의 초퍼제어방식과 최근의 動向

韓慶熙*

目 次

1. 序 論	3. 電鉄에의 응용
2. 초퍼제어의 基本原理	3.1 回路方式
2.1 各種초퍼방식의 動作原理	3.2 實用上의 問題點
2.2 時比率의 制御方式	4. 기타에의 応用
2.3 轉流回路	5. 檢討
2.4 多相多重초퍼	參考文獻

1. 序 論

直流電動機는 토크가 크고 高效率로서 우수한 制御性을 갖고 있는 관계상 工業 및 輸送등의 可變速 制御를 要하는 分野에 광범위하게 利用되고 있다. 특히 輸送用에서는 直流電鐵化 및 電池를 電源으로 하는 電氣自動車등 一定電壓의 直流를 電源으로하는 경우가 많다. 이 경우 從來에는 電動機와 直列로 연결한 저항(起動器)을 變化시켜 出力을 制御하는 原始的方法이 쓰여져 왔다.

여기에 1960年代初에 탄생한 싸이리스터(thyristor)와 함께 새로등장한 싸이리스터초퍼(chopper)는 싸이리스터의 高壓化, 大容量化와 함께 現在는 大電力의 DC-DC 變換器로서 工業 및 輸送分野에 크게 貢獻하고 있다.^{3)~5)} 초퍼는 語源이 英語의 chop(자르다)에서 온 것으로, 入力電壓을 高速度로 斷續시켜 즉 導通·차단동작을 행하므로서 負荷에 加하여지는 平均電壓을 任意로 變化시킬 수 있는 장치를 말한다. 入力電壓으로서는 交流와 直流가 있으나 보통 초퍼라하면 DC電壓을 制御하는 DC-DC 變換장치로서 直流變壓器로 간주할 수 있다. 이 초퍼에 의한 直流電動機의 可變速制御는 1970年代初부터 本

格的인 實用化가 추진되어 現在는 一般化되어 있다. 이와같은 急速한 發展을 보인 理由로서는 종래의 起動器에 의한 制御와 比較하여 ①抵抗에 의한 損失이 없고, 回生制動이 可能하기 때문에 省力化, 省에너지化가 可能하다. ②無接點이기 때문에 保守性이 향상된다. ③아크레스(arcless), 스텝레스(stepless)로 制御가 可能하여 制御의 信賴性이 높다. ④應答性이 빠르다. 등의 利點때문이다.^{3)~7)}

또한 直流電動機의 초퍼制御에 依한 電氣車로서 電鐵以外에도 新交通기관, 電氣自動車 및 電氣버스등의 應用에도 퍼져 나가기 시작하고 있다.^{1)~7)}

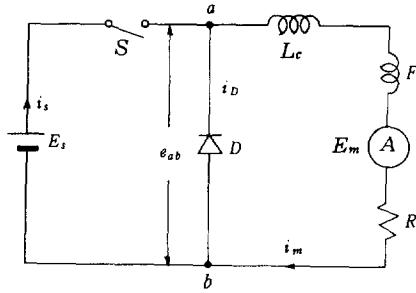
이하 直流電動機의 초퍼제어에 대한 基本原理로부터 最近의 應用까지 簡單히 紹介한다.

2. 초퍼제어의 基本原理

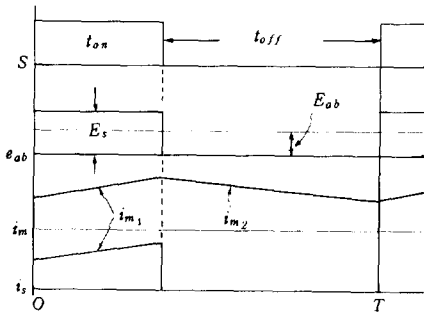
2.1 各種초퍼방식의 動作原理

電氣車의 直流電動機를 초퍼제어하는 방법에는 크게 둘로 나눌 수 있다. 그 하나는 電氣車를 驅動할 때이며, 또 하나는 브레이크를 걸때이다. 驅動時, 一般的으로 使用되고 있는 초퍼제어의 基本原理圖를 그림 1(a)에 표시한다.^{7)~8)} 여기에서 E_s 는 電源電壓, L_c 는 平滑用리액턴스, F 는 直捲界磁, E_m 은 電機 A 의 逆起電力, R 은 電動機回路的 抵抗分, D 는 환류다이오드이며 스위치 S 가, 초퍼部가 된다. S 의 온

*正 會 員: 明知大學 電氣工學科 助教授·工博

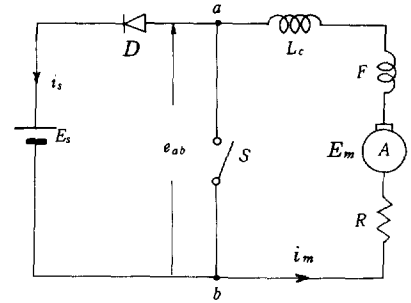


(a) 遞降漕퍼의 基本回路

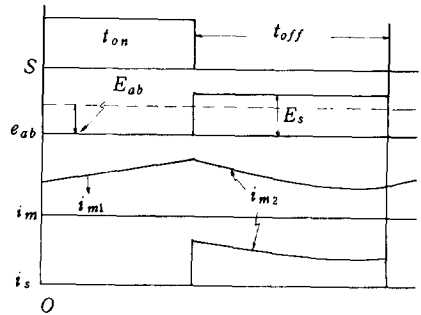


(b) 各部波形

그림 1. 遞降漕퍼와 各部波形



(a) 遞昇漕퍼의 基本回路



(b) 各部波形

그림 2. 遞昇漕퍼에 의한 再生制動 및 各部波形

(on), 오프(off)에 따른 各部의 波形을 同圖(b)에 표시한다. 즉 S가 온(on) 일 때에는 $E_s - S - L_c - F - E_m - R - E_s$ 의 경로로 電流 i_{m1} (= 電源電流 i_s)이 흐른다. 그리고 다이오드 D의 양단에는 電源電壓 E_s 가 印加된다. 다음에 S가 오프(off) 일 때에는 L_c 에 蓄積됐던 에너지에 의해 $L_c - F - E_m - R - D - L_c$ 의 경로로 환류 電流 i_{m2} 가 흐른다. 이때 D양단에 걸리는 전압은 零이된다. 이회로에서 D의 양단에 걸리는 電壓 e_{ab} 의 平均值 E_{ab} 은 그림 1(b)로부터

$$E_{ab} = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \times E_s = E_s \cdot \frac{t_{on}}{T} = E_s \cdot \alpha \quad (1)$$

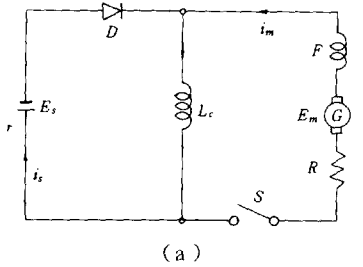
여기에서 T는 S가 온·오프하는 周期이며, t_{on} 은 S가 온하는 時間, t_{off} 는 오프하는 時間으로 $T = t_{on} + t_{off}$ 이다. $t_{on}/T = \alpha$ 를 時比率이라 부르고 있다. (1)式으로부터 알 수 있는 바와 같이 전동기側に 걸리는 平均電壓 E_{ab} 는 時比率 α 를 0에서 1까지 制御하므로서 0~ E_s 까지 連續的으로 制御可能이다. 이러한 漕퍼방식을 遞降(step-down) 漕퍼라 부른다. 電氣車의 驅動時는 直流機에 걸리는 電壓을 零에서부터 定格電壓까지의 範圍內에서 印加하면 되므로 一般으로 遞降漕퍼가 適用되고 있다.

한편 再生制動時에는 定格速度以下에서는 낮은 전압(발전기전압)으로부터 높은 전압(전원전압)에 에너지를 再生한다는 관점에서 一般으로 遞昇(step-up) 漕퍼가 使用되고 있다. 基本原理圖를 그림 2(a)에 표시한다.^{1),7),8)} 이때 S의 온·오프에 따른 各部의 波形은 (b)圖와 같다. S가 온일 때에는 $E_m - F - L_c - S - R - E_m$ 의 경로로 電流 i_{m1} 이 흘러 L_c 에 에너지가 蓄積되며 이어서 S가 오프하면 $E_m - F - L_c - D - E_s - R - E_m$ 의 경로로 L_c 에 蓄積된 에너지와 E_m 가 직렬로 연결되어 전원 E_s 에 再生電流 i_{m2} 를 흘린다. 이때에 스위치 S양단에 걸리는 전압 e_{ab} 의 平均值 E_{ab} 는 (2)式과 같이 된다.

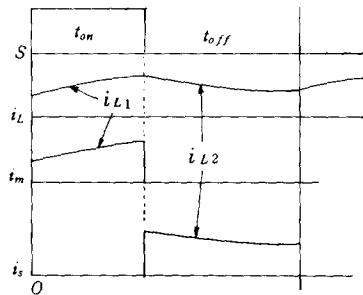
$$E_{ab} = E_s(1 - t_{on}/T) = E_s \cdot (1 - \alpha) \quad (2)$$

α 는 0~1의 값을 가지므로 $0 \leq E_{ab} (= E_m) \leq E_s$ 의 領域에서 再生制御가 可能하다.

電氣車에는 아직 利用되고 있지 않은 방식이긴 하지만 上記兩漕퍼의 特性을 갖고 있는 昇降壓(step-up and step-down) 漕퍼(別名: 極性反轉型 漕퍼)



(a)



(b)

그림 3. 昇降壓초퍼 (極性反轉型초퍼) 와 各部波形

를 소개한다.⁶⁾ 再生制動時의 경우를 들어 그 原理圖 및 各部의 電流波形을 그림 3에 표시한다. S가 온 일 때에는 $E_m - F - L_c - S - R - E_m$ 의 경로로 電流 $i_{L1}(=i_m)$ 이 흘러 L_c 에 에너지가 저축된다. 이어서 S가 오프하게 되면 $L_c - E_s - D - L_c$ 의 경로로 L_c 에 저축된 에너지에 의해 再生電流 $i_{L2}(=i_s)$ 가 흐르게 된다. 이때에 $R=0$ 로 하면 E_m 와 E_s 의 관계는 (3)式이

$$E_m = E_s \cdot \frac{1 - \alpha}{\alpha} \quad (3)$$

된다. 즉 α 를 0~1까지 變化시키므로서 $E_s \leq E_m$ 의 全領域에서 連續的으로 再生制動動作이 可能하다.

2.2 時比率의 制御方式

이상 各種초퍼방식의 基本動作에 대해 살펴보았다. 다음은 제어방식에 대해 고찰한다. 이상은 그림 4의 周期(T)가 一定인 PWM(Pulse Width Modulation) 制御를 표시했으나, 그림 5와 같은 PFM(Pulse Frequency Modulation) 制御방식도 있다.^{7),8)}

그림 5(a)는 스위치 S의 t_{on} 기간을 一定值로 定해 놓고 주파수를 變化(즉 주기 T를 變化)시키는 방법이며 (b)는 t_{off} 기간을 一定值로 하여 주파수

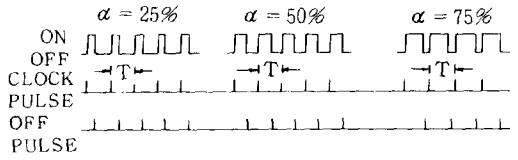
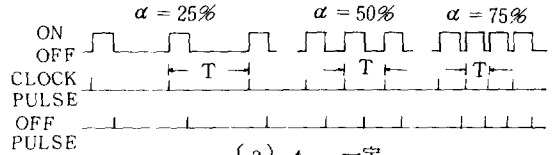
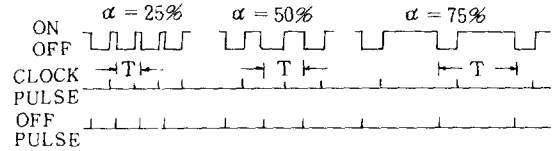


그림 4. PWM 制御



(a) t_{on} 一定



(a) t_{off} 一定

그림 5. PFM 制御

를 變化시키므로서 時比率 α 를 制御하는 방식이다. 實用에 있어서는 PFM 방식은 주파수를 變化시키므로서 通信계통등에 유도장해를 유발시킬 우려가 많다. 그러므로 유도장해가 가장 적은 주파수로 固定시켜 t_{on} 期間을 變化시키는 PWM 방식이 채용되고 있다.^{7),8)}

2.3 轉流回路

直流電動機의 速度制御를 펄스(pulse) 電壓에 의해 制御하기 위한 스위치 S 즉 초퍼部는 機械의 스위치를 利用하는 방법과 半導體素子를 利用하는 방법이 있다. 機械의 스위치를 利用한 例로서는 1940年 도 이취에서 發表되었는데 온·오프의 한 주기는 0.4秒 (2.5 Hz) 였다고 한다.⁷⁾ 이에 대해 PNP 半導體素子인 싸이리스터(thyristor) 스위치를 利用하는 경우 1 주기는 數ms ~ 1ms (數百Hz ~ 1KHz)의 빠른 속도로 온·오프가 가능하다. 싸이리스터素子는 여러가지가 있으나 그중에서도 高效率로서 高壓化·大電流化에 뛰어난 SCR(Silicon Controlled Rectifier)素子가 가장 많이 利用되고 있다.^{11)~1)}

그런데 SCR素子는 트랜지스터나 GTO(Gate Turn Off SCR)와 달리 素子자체가 턴·오프(Turn-Off) 할 능력이 없는 단점이 있다. 그러므로 2·1節에서 例를 든 초퍼回路에서 스위치 S에 이 SCR을 使用하는 경우에는 素子를 강제로 오프시키기 위한

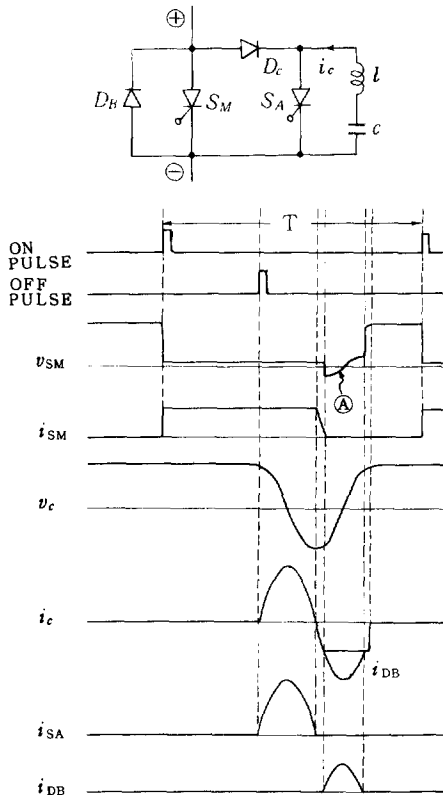


그림 6. 並列消弧形反發펄스式 초퍼

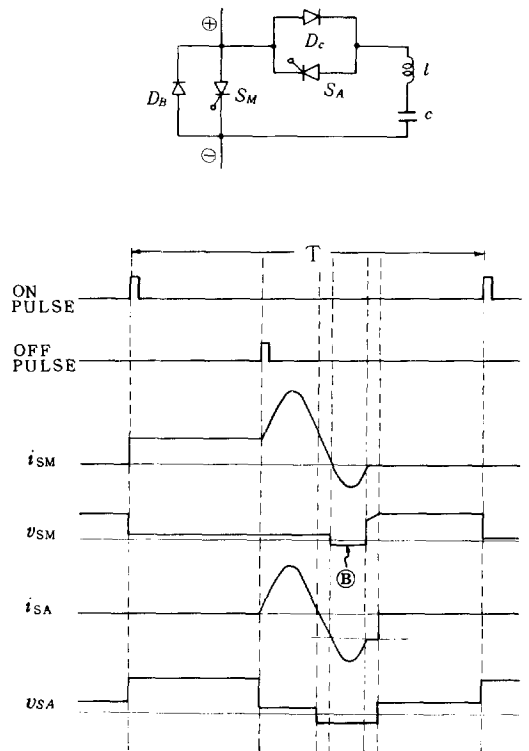


그림 7. 直列消弧形反發펄스式 초퍼

회로가 必要하게 되는데 이 회로를 轉流回路라 하며 스위치 S (초프部)와 轉流回路를 합쳐서 초퍼(chopper)라 부르고 있다.⁷⁾

轉流回路는 인덕턴스와 캐패시턴스에 의한 共振전류를 利用하는 것이 보통이며 초퍼회로의 構成要素에 의해 여러가지 轉流回路가 使用되고 있다. JONES 회로等 여러 종류가 있으나, 現在 가장 많이 實用되고 있는 反發펄스式 초퍼회로로서 並列消弧型을 그림 6에 直列消弧型을 그림 7에 素示한다.^{1), 7)}

送導通싸이리스터 2個로 代치할 수 있는 (S_M 와 D_B , S_A 와 D_C) 直列消弧形反發펄스式초퍼회로는 素子數의 減少와 回路의 簡素化가 可能하고, 主싸이리스터 S_M 의 逆바이아스時間을 有效하게 利用(그림 6의 A와 그림 7의 B) 할 수 있기 때문에 轉流리액터 및 轉流콘덴서의 小型化가 可能한 것 등의 長點을 갖고 있다.

2.4 多相多重초퍼

앞에서 說明한 바와 같이 초퍼制御는 入力側電源을 斷續(chopping)시키는 方法이기 때문에 入力

電流 및 出力電流는 脈動하게 되므로 抵抗(起動器) 制御時에서 볼 수 없는 問題點이 생긴다.^{2), 4), 7)}

예를들면 要源에 發生하는 高調波發生에 의한 誘導障害의 問題 및 直流機電流의 脈動에 의한 整流狀態의 惡化 등의 問題가 入어난다. 이것들의 對策으로 ①초퍼의 動作周波數를 높게 한다. ②電源側에는 콘덴서와 리액터로 構成되는 大容量의 濾터를 설치한다. ③出力側에는 커다란 平滑用리액터를 삽입한다. 등의 對策이 생각된다.⁷⁾

그러나 싸이리스터의 턴오프時間에 의해 動作周波數가 制限되며 重量, 크기, 價格 등의 面에서 濾터 및 平滑用리액터의 容量이 制約된다.

이와 같은 理由로 因하여 電源側의 高調波成分 및 入出力要流의 脈動分을 작게 하기 위하여 초퍼를 多相多重化하고 또 平滑리액터容量을 작게 하기위하여 結合리액터를 使用하는 方法 등이 취하여지고 있다.⁷⁾

(1) 基本回路

多相多重초퍼의 基本回路를 그림 8에 表示한다.^{7), 9)} 일반적으로 2相 2重이상을 말하며 이경우에는 n相 n重초퍼가 된다.

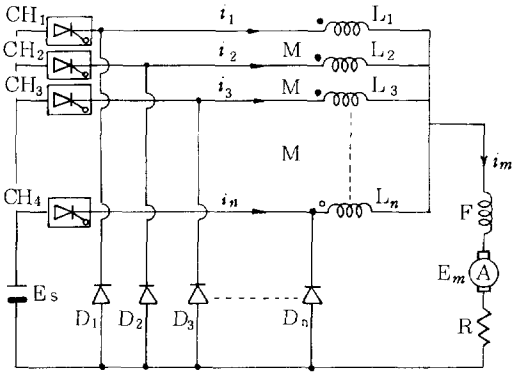


그림 8. 多相多重 (n 相 n 重) 초퍼의 기본회로

CH₁~CH_n은 轉流回答를 생략한 초퍼회로이며 각 초퍼는 動作周期 T를 n 등분한 위상만큼 차이를 두어 順番的으로 온·오프動作을 한다. 초퍼의 數 또는 平滑리액터의 數가 相數가 되며 $i_1, i_2 \dots i_n$ 의 n 個의 전류가 합쳐서 電動機電流 i_m 가 된다는 의미에서 n 重이라 부르고 있다.^{7),9)}

(2) 脈動率

n 相 n 重초퍼는 單相초퍼와 比較하여 出力脈動周波數가 n 倍로 되어 出力電流의 最大脈動率 (μ_{max})은 (4)式과 같이 된다. 즉 $1/(\text{相數})^2$ 의 比率로 감소한다.

$$\mu_{max} = \frac{E_s \cdot T}{8n^2(L + nF) \cdot I_{ou}} \quad (4)$$

여기에서 n은 相數, I_{ou} 는 單相초퍼出力 電流이다. n 相 n 重초퍼의 出力電流의 脈動率을 그림 9에 表示한다. 또한 電源電流의 脈動은 $1/n$ 이 되어 高調波의

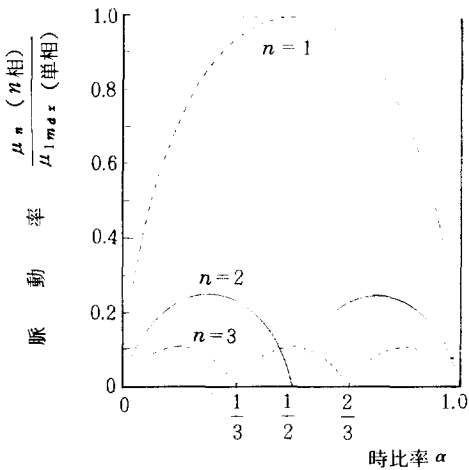


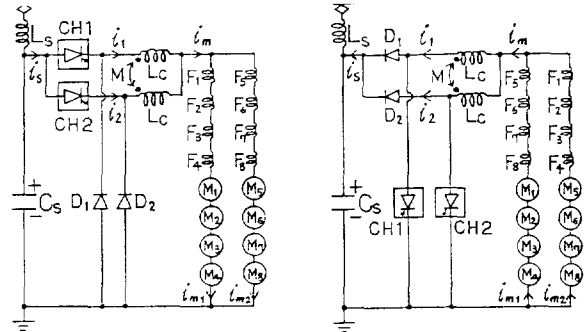
그림 9. 多相多重초퍼의 出力電流脈動率

含有量은 $1/(\text{相數})^3$ 比例하여 減少한다.^{7),9)}

이러한 觀點에서 出力電流의 脈動率을 一定值로 유지하는 경우 各個의 平滑리액터의 값은 單相초퍼와 比較할때 작게 할 수 있다. 그러나 平滑리액터는 電動機(出力) 電流의 脈動率을 작게 하는 역할외에 초퍼가 轉流失取했을 때의 電動機電流의 急上昇을 抑制하는 역할도 갖고있기 때문에 實用上은 後者의 條件으로 부터 平滑리액터의 임피던스가 定해지는 경우가 많다. 이러한 觀點에서 多相多重化한다고 하여도 平滑리액터의 容量을 함부로 적게 할 수 없는 實定이다.⁷⁾

(3) 2 相 2 重초퍼

(2)項에서 說明한 바와 같이 多相化하면 할 수록 초퍼제어의 의한 問題點(脈動에 의한 諸問題)은 해결되나 實用上에 있어서는 制御性 및 경제성의 關係상 그림 10과 같은 2 相 2 重 초퍼가 實用化되고 있다.^{1),6),7)} 초퍼제어의 의한 電氣車의 경우 1개의 초퍼장치로서 複數의 電動機를 운전하고 있는데 초퍼장치의 容量과 電動機의 定格電壓과의 협조상 電動機를 直並列로 운전하는 것이 현재의 實情으로 그림의 경우는 8臺의 直捲電動機를 4 臺씩 直列로 연결한 電動機群의 2 群을 並列로 接續한 경우이다.



(a) 驅動時 (b) 回生時

그림 10. 2 相 2 重초퍼의 기본회로

本方式은 單相 초퍼와 比較하여 兩초퍼의 合成周波數가 2 倍로 되어 電源電流의 脈動率은 $1/2$ 로 高調波成分의 最大振幅은 $1/8$ 로 電動機電流의 脈動率은 $1/4$ 로 減少한다. 驅動用 2 相 2 重초퍼(그림 10(a))에 있어서 各 초퍼의 온, 오프에 대한 各部의 波形을 $\alpha = \frac{L_{on}}{T}$ 이 $\alpha < 0.5$ 인 경우와 $\alpha > 0.5$ 인 경우로 나누어 그림 11에 表示한다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 ① 平滑리액터 Lc 의 電流는 單位초퍼의 周波數로 脈動하여 2 相化의 利點이 발揮되지 않는다. ② 초퍼 CH₁, CH₂의 時比率(α) 및 各相抵抗分의 약

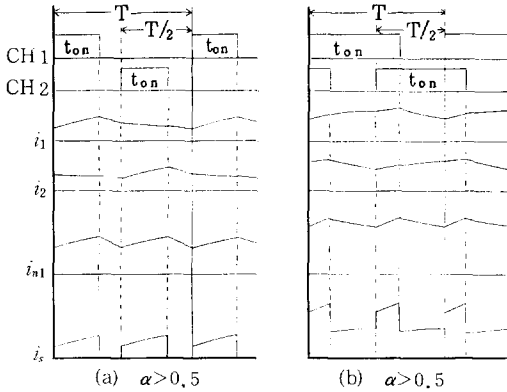


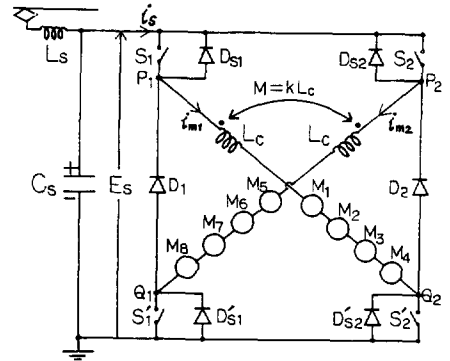
그림 11. 驅動時 2相2重 초퍼회로의各部波形

간의 차에 의해 각상의 평균電流는 大幅으로 差가 생겨 不平衡하게 된다. 그결과 單位초퍼의 周波數成分의 電流가 電源側에도 흐르게 되어 誘導障害의 原因이 된다. 이때문에 各相에 直流變流器(DC·CT)를 넣어 相電流를 檢出하여 相電流가 항상 平衡하도록 제어할 必要가 있다.^{7) 9)} ③各相電流(i_1, i_2)의 脈動率을 減少시키기 위하여 結合리액터를 使用하는 경우 結合係數 $k = -1/3$ 일때 i_1, i_2 의 脈動率은 최소가 되고 $k = 0$ 에 비해 約 84%로 減少하지만 出力電流 i_m 의 脈動率은 오히려 增加한다^{7), 10)}. ④2分割한 電動機群이 並列接續되기 때문에 分捲特性을 갖는 電動機를 驅動하는 경우에는 界磁制御를 하지 않으면 各電動機의 速度-토크특성의 差 및 各電動機群間의 임피이던스差等에 의해 各電動機群에 흐르는 電流 i_{m1}, i_{m2} 는 同一值가 안되어 토크分擔이 均一하게 안된다. 그러므로 現在實用하고 있는 초퍼방식은 交叉界磁制御가 가능한 直捲電動機를 對象으로 한 것이라고 볼 수 있다.⁷⁾

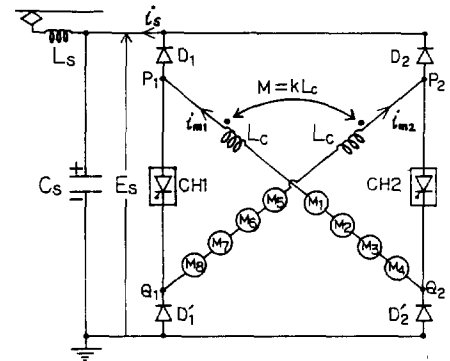
(3) 2分割2相초퍼

2分割2相초퍼는 筆者(共同研究者: 林和彦, 上田実)가 提示한 방식으로 아직 實用化는 되어 있지 않지만 간단히 소개하고자 한다. 본방식의 2分割이라는 이름은, 複數臺의 電動機를 1개의 초퍼로 제어하는 경우 2個의 電動機群으로 나누어 초퍼回路上에 접속한다는 의미로 붙인 것으로서 2相動作을 前提로한 방식이다. 電動機8臺를 대상으로 한 基本回路를 그림 12에 表示하며 驅動時에 초퍼에 온, 오프에 따른 各部의 波形을 그림 13에 表示한다.

本方式은 2相2重초퍼와 比較하여 素子の 數가 약간 增加되지만 上記(2)項에서 指摘한 2相2重초퍼의 欠點을 全部 제거하는 방식으로서 分捲特性의 電動機



(a) 2分割2相驅動用초퍼의 基本回路



(b) 2分割2相回生用초퍼의 基本回路

그림 12.

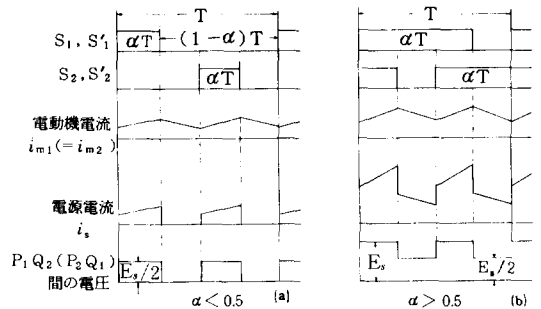


그림 13. 2分割2相驅動用초퍼의各部波形

의 운전도 가능한 방식이다.

3. 電鐵에의 응용

3.1 回路方式

電氣車의 電動機速度를 초퍼제어하는 방식에는 電機子초퍼 界磁초퍼 및 저항초퍼 등이 있다.⁷⁾

(1) 電機子초퍼 : 초퍼제어에 의해 直捲電動機의 電機子電壓・電流를 제어하는 방식이다. 上記 2章에서 說明한 초퍼들은 이 방식에 해당되며 實用例가 가장 많은 방식이다.^{1),7)} 制御방식은 電流歸還閉루프(loop)系의 PWM 制御방식이 主流로서 單相 초퍼에 의한 驅動時의 制御系를 그림 14에 表示한다.

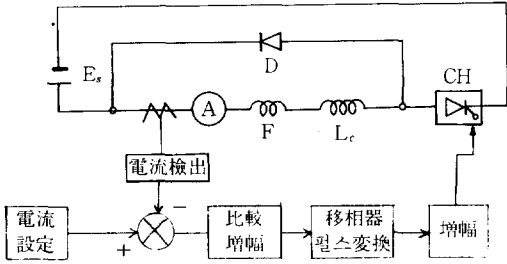


그림 14. 電機子 초퍼의 制御系

(2) 界磁초퍼

초퍼제어에 의해 電動機의 界磁電流를 制御하는 방식으로서 그림 15와 같이 複捲電動機의 分捲界磁電流를 초퍼제어하는 방식이다. 電機子回路에는 抵抗器를 使用하고 있지만 小容量의 초퍼로서 界磁電流를 제어할 수 있는 특징이 있으며 實用例도 많이 있다.¹⁾

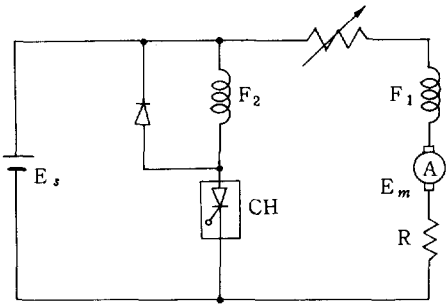


그림 15. 界磁 초퍼의 基本回路

(3) 저항초퍼

초퍼와 저항기를 조합하여 이것을 등가가변저항으로 제어하는 방식으로서 기본회로를 그림 16에 표시한다. 이 방식은 저항에 의해 큰 제동력을 얻을 수 있으나 저항에서의 電力損失은 피할 수 없다.

3.2 實用上의 問題點

電氣車의 초퍼제어는 그림 10과 같은 2相 2重方式을 채용하므로써 電源電流 및 電動機電流의 脈動率

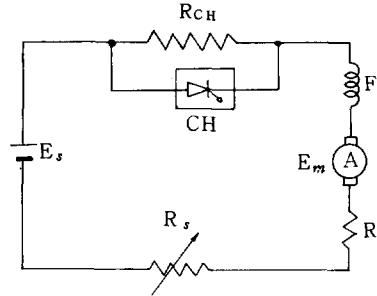


그림 16. 抵抗 초퍼의 基本回路

을 許容值以下로 억제가 가능한 상태이다. 그결과 동시계통에의 유도장해 및 電動機의 整流惡化문제는 거의 문제화되지 않을 정도로 確立되어 있다.^{7),11)}

또한 2相 2重초퍼는 앞에서 지적한 결점이 있지만 제어회로를 첨부하므로써 해결하고 있다. 이러한 관점에서 驅動時에는 별로 커다란 문제점은 없다고 볼 수 있으나 回生制動時에는 다음과 같은 커다란 문제점이 남아 있는 실정이다. 그림 10(b)의 回生用 2相 2重초퍼는 그림 2(a)의 遞昇초퍼를 2相 2重化한 방식으로 4臺의 電動機群의 全電壓이 電源電壓보다 작은 領域에서만 回生制動制御가 可能하다. 그런데 高速時 發電機의 發生電力은 대략 定格의 (制動時의 速度) / (定格速度) 배가 되며 最高速時는 이비가 普通 2를 넘는 일이 있다고 한다.⁷⁾ 그러므로 定格速度 以上의 高速領域에서도 回生制動을 行하기 위해서는 별도의 方策이 必要하게 된다. 즉 回生領域 擴大策이 問題가 된다. 이하 지금까지 實用 또는 提案된 회로방식을 소개한다.

(1) 自動可變界磁方式

自動可變界磁回路의 原理圖를 그림 17에 表示한다. 그림 2(a)의 直捲界磁 F를 F1과 F2로 나누어 F2를 초퍼와 직렬로 접속한 것으로 F2의 界磁電流가 초퍼에 時比率에 應해 自動的으로 制御되는 방식이다.

時比率 α 가 $\alpha \approx 0$ 근방에서 制御되는 最高速領域 근처에서 F2의 電流 i_{F2} 는 $i_{F2} \approx 0$ 가 되어 거의 F1 電流만의 의한 最弱界磁상태가 된다. $\alpha \approx 1$ 에서 제어되는 最低速度領域 근처에서는 $i_F \approx i_m$ 가

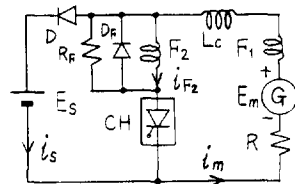


그림 17. 自動可變界磁 (AVF) 초퍼의 基本回路

되어 거의 全界磁상태가 된다. 발전기의 단자전압 E_m 은 (5)式이 된다.

$$E_m = K_s \cdot \phi \cdot \omega \quad (5)$$

여기에서 K_s 는 정수, ϕ 는 자속, ω 는 회전 각속도이다. 만약 ϕ 가 일정이라면 ω 가 定格速度를 넘게 되면 E_m 가 E_s 보다 크게 되므로 上昇分 만큼 ϕ 를 약하게 하여 $E_s \geq E_m$ 가 되도록 제어하는 방식이다. 最弱界磁率은 約 40% 정도가 한도로서 충분한 拡大는 아니지만 현재로서는 有効한 方法으로서 2相 2重초퍼에 適用하여 實用化되어 있는 방식이다. (1), (7), (14)

(2) 抵抗併用方式

變異초퍼에 抵抗을 併用하는 방식을 그림 18에 表示한다. $R=0$ 라 하면 발전기전류 i_m 의 平均值 I_m 는

$$I_m = \frac{E_m - E_s (1 - \alpha)}{R_s} \quad (6)$$

이식을 다시쓰면 $E_m = E_s (1 - \alpha) + I_m R_s$ 가 되어 變異초퍼에서의 $E_m = E_s (1 - \alpha)$ 와 비교하여 E_m 가 $I_m R_s$ 분 만큼 크다. 즉 발전기전압 E_m 가 전원전압 E_s 보다 큰 경우는 외부저항 R_s 의 전압강하분을 빼어 E_s 以下가 되도록 제어하는 방식이다. 定格速度 以下에서는 R_s 때문에 再生電力이 감소하므로 스위치 SW로 R_s 를 단락시킨다. 저항 R_s 의 값을 제어하므로써 全領域에서 再生制御가 可能한 방식으로 實用化되어 있으나 高速領域에서의 R_s , I_m 의 熱損失은 可할 수 없다.

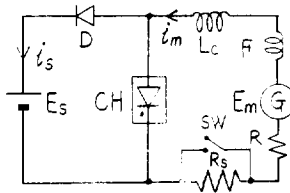


그림 18. 抵抗併用方式의 基本回路

(3) 기타의 방식 : 電動機의 定格전압을 電源전압보다 낮게 설정하여 過電壓領域에서 再生制御를 可能하게 하는 방법도 實用化가 있다. (7)

다음은, 아직 實用化가 未였지만 定格速度의 2배의 高速領域부터 再生制御가 可能한 방식의 主回路圖를 소개해 놓는다.

그림 19은 直並列초퍼 그림 20은 分壓 2相초퍼 그림 21은 4分割 2相초퍼의 基本回路이다. 直並列초퍼와 分壓 2相초퍼는 高速領域에서 低速領域으로의

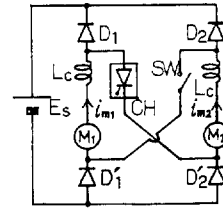


그림 19. 直並列초퍼의 基本回路

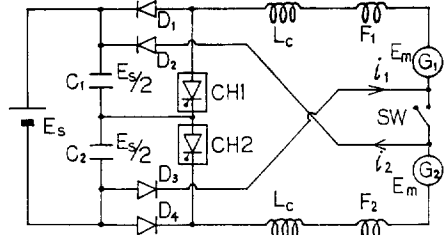


그림 20. 分壓 2相초퍼의 基本回路

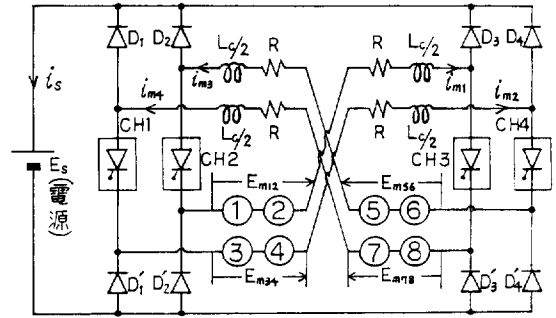


그림 21. 4分割 2相초퍼의 基本回路

切換분제가 복잡하며 (7), 4分割 2相초퍼는 2배의 高速領域에서 停止직전까지 連續的으로 再生制御가 可能하지만 素子數가 增加하는 난점이 있다. (15)

4. 기타의 應用

최근 급속한 Motorization의 팽대로 인하여 연료자동차에 의한 排氣가스 및 소음등 소위 자동차공해가 커다란 社會問題로 대두되고 있다. 이로 인한 사회의 要求性和 초퍼제어技術의 발달에 의해 無公害, 高效率 및 省에너지性(再生制動) 등 우수한 制御性을 갖는 전기자동차 및 전기배스의 實用化를 위해 추진중이며, 現在는 性能上的 制約으로부터 市内버스, 우편차, 定期배달차 등과 같이 近距離를 몇번이고 왕래하는 自動車등 荷物を 운반하는 産業용차량에 制限되고 있는 실정이다. (11, 17)

電氣自動車の 直流電動機를 초퍼제어하는 것은 電鐵의 경우와 原理的으로 同一하지만 獨立된 電源 즉 蓄電池를 使用하는 關係상 外部에 미치는 誘導障害에 影響이 없으므로 單相초퍼방식이 可能하다. 電氣自動車を 燃料자동차와 比較하면

장점 ; ① 有害가스의 排出이 없다.

② 소음이 적다.

③ 운전경비가 싸다.

④ 운전操作이 간단하다.

단점 ; ① 제작비가 비싸다. (1.5 ~ 2 배)

② 성능이 떨어진다. (주행거리가 짧음, 最高速度가 낮음, 加速性이 떨어짐, 登坂力이 떨어짐)

③ 重量이 크다.

④ 에너지 보급이 燃料과 같이 容易하지 않다.

上記 단점의 原因은 거의 蓄電池의 의한 것으로 電氣自動車の 장래는 高性能 蓄電池의 開發여하에 달려 있다고 볼 수 있다.^{1) 7)}

電氣自動車는 초퍼제어 以外에 誘導電動機나 無整流子電動機를 使用한 방식도 발표되어 있지만 인버터 장치가 복잡하며 高價이기 때문에 아직 研究단계에 있다고 볼 수 있다.⁷⁾

5. 檢討

이 상으로 사이리스터초퍼제어의 의한 電氣鐵道를 主對象으로 基礎原理로 부터 最近應用에 이르기 까지를 개략적으로 살펴보았다. 今後에도 초퍼방식은 우수한 制御性 및 省에너지性的의 觀點에서 어느나라를 막론하고 需要가 增加함과 同時에 發展을 계속 하리라고 豫想된다. 더우기 轉流回路가 必要없는 大容量의 파워트랜지스터 및 GTO (Gate Turn Off SCR) 등의 새로운 素子の 應用과 함께 새로운 用途의 開發이 進行되리라 期待된다.

한편 誘導電動機는 直流電動機와 比較하여 구조가 간단하며, 大容量性, 保守性, 經濟性에 우수한 關係상 인버터制御에 의한 電鐵化에 研究가 活發하며 實用例도 發表되어 있다. 이러한 상황속에서 초퍼制御車가 今後도 發展하여 가기 위해서는 경제성을 第1위주로 無保守性, 制御性を 비롯하여 획기적인 대책이 要 望되는 時期라 볼 수 있다.

以上 초퍼제어에 대한 基本原理 및 應用에 대해 說

明하였으나 紙面관계 및 參考文獻을 充分히 조사하지 못하여 未備한 點이 너무도 많은데에 대해 사과를 드린다. 처음으로 초퍼공부를 하려는 여러분에게 다소나마 도움이 됐으면 하는 마음 간절하다.

參 考 文 獻

- 1) 電氣学会雜誌 (日本), 特集 "パワエレクトロニクス" vol. 98, No. 5, (1978 - 5)
- 2) 和田外 4 名; "最近の直流電動機駆動システム" 東芝レビュー, vol. 36, No. 2 (1981 - 2)
- 3) 佐々木; "チョップ制御電車" 電氣鐵道, vol. 27, No. 21 (1973 - 1)
- 4) 石津; "チョップ制御装置(Ⅲ)" 電氣鐵道, vol. 35, No. 1 (1981 - 1)
- 5) 刈田; "サイリスタチョップ制御電車の回生ブレーキ" 電氣学会雜誌, vol. 96, No. 8 (1976 - 8)
- 6) 宮上外 2 名; "直流電車用サイリスタチョップ装置" 日立評論, vol. 60, No. 7 (1978 - 7)
- 7) チョップ制御方式専門委員會編; "チョップ制御バンドブック" 電氣学会 (1980 - 1)
- 8) BARUCH BERMAN; "Design consideration pertaining to a battery powered Regenerative system" IEEE Trans, vol. IA - 8 (1972 - 3/4)
- 9) 大野, 赤松; "車両制御用多相多重サイリスタ DC チョップ方式の解析" 電氣学会論文誌, vol. 88, No. 954 (1968 - 3)
- 10) 秦泉寺外 2 名; "2 相 2 重チョップ制御装置" 電氣学会全國大會, No. 873 (1973)
- 11) 韓外 2 名; "二分割二相チョップの特性" 電氣学会論文誌 B, vol. 102, No. 12, (1982 - 12)
- 12) 韓外 2 名; "二分割二相力行チョップ装置" 公開特許公報, 昭56 - 148175 (1981 - 11)
- 13) 韓外 2 名; "多分割 2 相結合リアクトル型回生チョップ装置" 公開特許公報, 昭56 - 153974 (1981 - 11)
- 14) 芦谷外 4 名; "帝都高速度營團向け 8 号線 AVF チョップ制御装置" 三菱電機技報, vol. 47, No. 9 (1973 - 9)
- 15) 韓外 2 名; "4 分割 2 相回生チョップによる回生領域の拡大" 電氣学会論文誌 B, vol. 103, No. 2 (1983 - 2)