

直流電力調整器 (Thyristor DC Chopper)

— 차 레 —

1. 概 要
2. DC Chopper의 基本回路
3. DC Chopper의 應用
4. 高調波의 輕減方法

1. 概 要

Thyristor는 많은 電力機器와 結合되어 電氣機器全般的 樣相을 크게 變化시키고 있다. 例를 들면 變壓器의 불꽃없는 變換이나 回轉機의 整流子에 代置되는 無整流子電動機와 그리고 開閉器, 遮斷器의 代用등을 생각할 수 있다.

電力變換裝置로서는

(1) 直流電力을 調整하는 目的으로 Thyristor를 一種의 스위치로써 直流電壓을 斷續시켜 直流平均電力을 制御하는 DC Chopper(直流電力調整器)

(2) 交流電源에 두개의 Thyristor를 逆並列接續하여 交流電流의 通電期間을 位相制御에 의하여 交流를 制御하는 AC Chopper(交流電力調整器)

(3) 直流를 交流로 變換하는 自動式 inverter 등이 있다.

이와 같이 Thyristor가 電力變換裝置에 많이 利用되는 理由는 Thyristor가 Thyatron이나 水銀整流器가 가지고 있는 필라멘트나 點弧裝置가 必要없고 運轉溫度의 制御도 必要없으며 또 回路構成上 陰極을 共通電位로 해야 할 制約도 없으므로 應用의 範圍가 擴大된 것이다. 또 特性面으로 보아도 順逆의 阻止電壓에 比較하여 順方向電壓降下가 적으며 특히 Turn off時間이 數十 μ 秒이며 이것은 水銀整流器의 數百 μ 秒에 比較하여 아주 짧음으로 轉流에 必要한 蓄電器나 리액터등의 回路要素 費用이 적어지고 轉流用 附加裝置로 強制轉流方式이 實用化되어 여러가지 應用回路가 開發되었다. 또 Thyristor는 逆弧와 같은 偶發的인 現象이 없으므로 運轉의 信賴性도 높다.

本 解說에서는 紙面關係上 D.C Chopper 방식에 대한 基本回路와 그의 利用만을 취급한다.

2. DC Chopper의 基本回路

蓄電池등의 一定電源에서 이것과 그 크기가 다른 定

電壓 또는 可變電壓의 直流을 얻으려고 할때 直流 Chopper가 使用된다.

즉 直流 Chopper는 直流電流를 週期的으로 斷續시켜 半波의 交流를 發生시키는 것으로 直流電源을 on, off하는 時間比率를 바꾸는 原理에 의한 것이다.

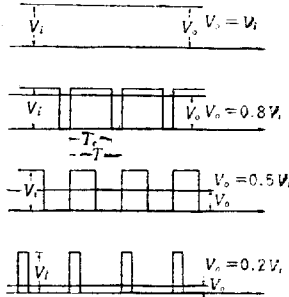


그림 1. DC Chopper에 의한 直流電壓의 調整

$$V_o = V_i \frac{T_c}{T}$$

(1)

그림 2는 DC Chopper의 基本回路이다. 回路原理說明에서 素子の 順電壓降下, 漏洩 電流와 Turn on時間과 Turn off時間의 過渡狀態를 考基慮하지 않은 것으로한다. 負荷의 電源이 接續되고 있는 期間 T_c (그림 3參照)는 主 Thyristor S_1 의 點弧時刻 t_4 에서 消弧用 Thyristor S_2 의 點弧時刻 t_6 까지의 期間이다. S_2 가 點弧한 다음 轉流蓄電器 C가 反轉充電할 때까지의 時間($t_3 - t_1$)는 極히 짧다. 따라서 負荷에 電源이 끊어져 있는 時間은 $(T - T_c)$ 로

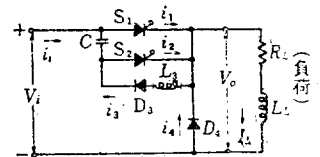


그림 2. DC Chopper의 本回路

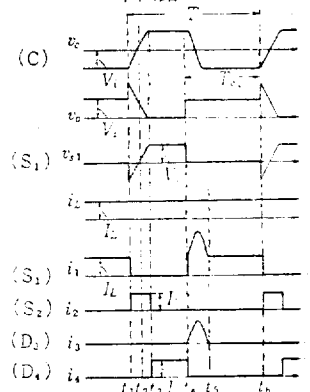


그림 3. DC Chopper 各部의 電壓電流波形

* 正會員: 高大理工大教授(工博)當學會財務理事

보아도 無妨하며 前述한 (1)式이 成立된다. 이 回路의 動作原理를 說明하면 다음과 같다. 主 Thyristor S_1 이 ON의 狀態에 있는것으로 한다. 이때 轉流蓄電器는 아래쪽이 (+)이고 위쪽(直流電源의 正極에 接續된 端子)이 (-)로 充電된 狀態로 된다. 電源電壓 V_i 는 S_1 을 거쳐 負荷 R_L-L_L 에 接續된다. 이 後의 動作順序는 그림 3과 같이 時刻 t_1 에서 主 Thyristor S_1 를 消弧하기 위하여 消弧用 Thyristor S_2 를 點弧하면 轉流蓄電器의 電壓이 S_2 를 거쳐 S_1 에 逆方向으로 加하여져 S_1 의 電流通電이 없어진다. 그러나 負荷가 誘導성이기 때문에 電流의 瞬間的變化는 일어날수 없고 轉流期間중에는 一定電流가 接續되는 것으로 보아도 無妨하다. 負荷에는 電源의 電壓 V_i 와 電流蓄電器의 電壓의 合이 加해져 負荷電流는 S_2 를 거쳐 一定值 I_L 로 同一方向에 계속 흐른다. 轉流蓄電器는 時刻 t_1 에서 다음 說明하는 바와 같이 V_i 의 電壓으로 充電되었던 것이 電流 I_L 가 흐르면 蓄電器電壓 v_c 는 다음과 같이 된다.

$$v_c = V_i - (t - t_1) I_L / C \quad (2)$$

t : t_1 부터의 經過時間

즉 v_c 는 直線的으로 내려가 $t=t_2$ 에서 v_c 는 零이 된다 主 Thyristor S_1 는 t_2 에서 이것에 加하여진 逆電壓이 零되고 이때 부터 順電壓이 加하여 진다. 따라서 S_1 는 (t_2-t_1) 사이에 順阻止能이 回復되어야 한다. 轉流蓄電器에서는 t_2 부터 反對 極性으로 充電이 始作되고 t_3 에서는 電源電壓 V_i 와 같은 크기까지 充電된다. 萬一 D_4 의 Diode回路가 없다면 負荷의 인덕턴스 L_L 는 自己의 電流流動을 維持하기 위하여 誘起되는 $L \cdot \frac{di}{dt}$ 의 電壓이 電源電壓 V_i 와 直列이 되어 轉流蓄電器를 V_i 以上の 電壓까지 充電하는 結果가 된다. 그러나 D_4 의 回路가 있음으로 $L \cdot \frac{di_L}{dt}$ 의 電壓은 이 임피이던스가 없는 D_4 回路를 거쳐 I_L 를 흘릴수 있음으로 C에 흐르는 電流 i_2 는 t_2 에서 消滅된다. 여기에 負荷는 電源에서 完全히 떨어져서 負荷에서 消費되는 에너지는 負荷自身의 인덕턴스에 貯藏된 에너지에 의하여 維持되는 狀態가 된다. 時刻 t_4 에서 主 Thyristor S_1 는 또다시 導電期가 되어 點弧된다. S_1 의 點弧에 의하여 D_4 에는 當然히 電源電壓 V_i 가 加해져 逆阻止狀態가 되어 I_L 電流는 곧 S_1 으로 옮겨진다. 이때 轉流蓄電器에 대하여서는 S_1 의 點弧로 $C-S_1-L_3-D_3$ 의 無損失閉路가 形成되고 C는 放電하고 또 L_3 의 誘起電壓으로 反轉充電이 된다 i_3 의 電流에 의하여 轉流蓄電器가 逆方向의 V_i 로 充電될때까지의 電流時間積分은 다음과 같다.

$$\int_{t_4}^{t_5} i_3 dt = \int_{t_1}^{t_2} i_2 dt \quad (3)$$

이 같은 消弧 Thyristor가 (t_1-t_3) 사이에 行한 反轉한 反轉充電때의 電荷와 같다.

轉流蓄電器는 (t_4-t_5) 間의 反轉充電에 의하여 다음 S_1 을 消弧할 準備를 完了한다.

이 回路에서 轉流蓄電器의 充電電壓은 負荷電流와 關係없이 電源電壓 V_i 와 같고 主 Thyristor의 順阻止能回復을 위하여 주어지는 時間 (t_2-t_1) 과 蓄電器反轉充電時間 (t_3-t_1) 는 負荷電流에 比例한다. 負荷를 電源에 接續하지 않은 時間 (t_4-t_1) 의 最小必要時間은 前述한 條件때문에 負荷電流와 S_1 의 turn off 時間으로 制限되며 實際에 있어서는 $V_0=V_i$ 로 할 수는 없다.

DC Chopper에서는 一定週期 T 로 動作시키는 경우 負荷電流의 最小值에 따라 轉流蓄電器의 反轉充電所要時間 (t_3-t_1) 의 最大值가 決定되고 이것에 따라 出力電壓 V_0 의 最大值가 限定된다. 한편 主 Thyristor 點弧時에 생기는 轉流蓄電器의 反轉充電에도 (t_5-t_4) 인 時間을 必要로 한다. 그림 3에서 아나바와 같이 主 Thyristor消弧後의 (t_3-t_1) 時間중의 負荷電壓 平均은 V_i 이다. 따라서 $(t_5-t_4) + (t_3-t_1)$ 時間는 적어도 T_c 가 가져야할 時間이 된다. 이것이 DC Chopper의 最低出力電壓을 規制한다.

위의 說明에서는 Thyristor에 許容되는 $\left(\frac{di}{dt}\right)$ 와 實回路에 存在하는 임피이던스를 無視하였지만 위 基本回路에 아래의 것이 考慮된 .

- (1) 電源回路에 인덕턴스가 있는 경우
- (2) D_4 回路에 인덕턴스가 있는 경우
- (3) 主 Thyristor와 直列로 인덕턴스가 있는 경우
- (4) 消弧用 Thyristor와 直列로 인덕턴스가 있는 경우
- (5) 轉流蓄電器의 反轉充電素子를 Thyristor로 바꾼 경우
- (6) 轉流蓄電器의 反轉充電時間을 短縮하기 위한 Diode分路가 있는 경우
- (7) 無負荷에서 動作possible한 DC Chopper
- (8) 一定接續時間을 갖인 DC Chopper

등에 關한 回路의 解析과 構成이 이루어지고 있다.

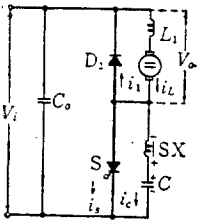
3. DC Chopper의 應用

(1) DC Chopper의 制御方式

D.C Chopper의 制御原理는 前述한 바와 같이 週期 T 와 接續時間 T_c 의 比率를 바꾸므로서 이루어지지만 이것에는 T 를 一定하게 하고 T_c 를 바꾸는 경우와 T_c 를 一定하게 하고 T 를 바꾸는 경우의 두가지 方式이 있다. 前者는 一定周波發振器에 T_c 을 決定하는 制御器를

附加함으로써 制御되며 특히 周波數와 負荷回路時定數의 關係가 固定되어 있으므로 電流脈動의 調波가 정해지고 制御率에 따라 그 振幅限界도 明確하다.

後者は 예를들면 그림 4와 같은 回路에서 Thyristor



S 한개만을 點弧하여 自動적으로 T_s 가 決定되고 制御回路도 單純하며 특히 出力電壓이 낮은 곳에서는 Thyristor의 스위칭損失이 前者에 比하여 적은것이 有利한 點이다.

第3의 方法으로는 2點電流制

御가 있다. 實際의 負荷回路에서 는 L_L 이 無限대가 아님으로 負荷

의 直流電流는 當然이 脈動한다. 그림으로 脈流의 幅을 定하여 놓고 電流가 어느 크기 以下 내려가면 ON으로 하고 또 電流가 어느 크기 以上 增加하면 off하는式으로 2點電流制御를 行하는 것이다. 그림 5는 이것의 原理圖로 DC CT 또는 Hall素子나 그 他에 의하여 直流電流瞬時值를 檢出하여 2點制御를 한다.

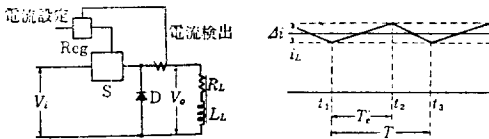


그림 5. 2點電流制御에 의한 DC Chopper

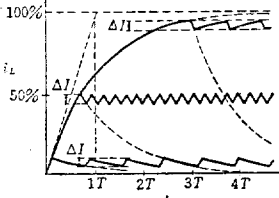


그림 6. 5%의 ΔI 에 의한 2點電流制御

그림 6은 100(%)負荷電流에 대하여 2點電流幅 5(%)로 動作하는 直流電流調整器로 定電流制御를 하는 경우의 脈動電流波形을 나타낸 것이다.

(2) DC Chopper에 의한 制動

負荷가 直流電動機인 경우에는 DC Chopper의 接續을 바꾸므로써 再生制動을 할 수 있다. 특히 蓄電池車 경우의 再生制動에서는 蓄電池의 充電도 되니까 一石二鳥가 되어 效果가 크다.

그림 7은 驅動時와 制動時의 接續이다. 制動時의 動

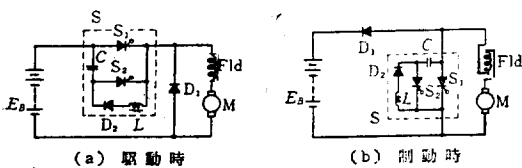


그림 7. 驅動과 制動時의 接續

작은 S_1 을 點弧하면 i_M 이 S_1 에 흐르면서 增加하고 어떤 電流值에 到達하면 S_2 로 S_1 을 off시켜 i_M 를 D_1 을 거쳐 蓄電池로 饋還시킨다. i_M 는 漸次 減少하므로 어떤 값 以下로 減少하였을때 S_1 을 點弧한다. 이런式으로 이와 같은 操作을 2點電流制御로 行한다.

(3) DC Chopper의 結合

그림 8은 2개의 DC Chopper의 結合에 의한 可逆直流變換方式이다. 이 回路의 動作은 S_1, S_2 가 ON의 狀態일때 負荷에는 V_i 가 正方向에 加해지고 S_1 과 S_2 가 off된 後에 負荷電流는 $D_2 - V_i - D$ 를 거쳐 흘러 負荷의 電壓은 極性が 反轉되어 $-V_i$ 가 된다. 따라서 負荷에 起電力 E_L 이 있어 負荷電流가 一定方向으로 斷續하지않은 條件이 되어있을 때는 T 와 T_s 의 比를

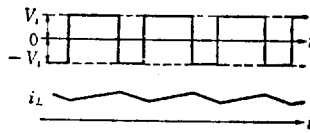
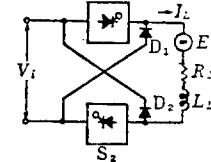


그림 8. 두개의 DC Chopper 結合

바꾸므로써 直流出力電壓 零($T_s/T=0.5$)로 하여 交流出力을 낼수도 있다. 또 $T_s/T < 0.5$ 이면 逆極性の 平均 出力電流電壓을 얻을 수도 있다.

그림 9는 그림 8의 回路 2개를 串것으로 두 方向의 負荷電流에 대하여 出力電壓에 대한 極性反轉을 行할수 있는 回路이다.

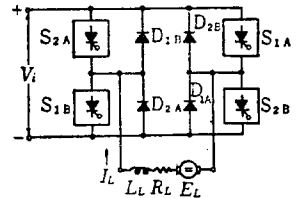


그림 9. 4개의 DC Chopper 2개를 串것으로 두 方向에 의한 可逆方式에 의한 極性反轉을 行할수 있는 回路이다.

4. 高調波의 輕減方法

그림 10과 같이 두組의 直流電力調整器를 使用하여 出力電壓의 高調波를 輕減시킬 수가 있다. 그림에서 S_1 과 S_2 가 ON인 경우 相間리액터(Interphase reactor) L_s 에는 S_1, S_2 를 흐른 電流가 같은 크기로 逆方向에 流入하므로 L_s 에서는 電壓降下가 일어나지 않고 入力電壓 V_i 가 그대로 負荷에 加해진다. S_1 을 off하면 (相間리액터의 勵磁電流를 無視하는 경우) S_1 에 흐르고 있던 것과 같은 크기의 電流가 D_1 을 거쳐 L_s 에 흘러 들어가며 이 電流와 또 電源에서 S_2 를 거쳐 L_s 에 흘러 들어가는 電流가 合쳐서 負荷에 流入한다. 이

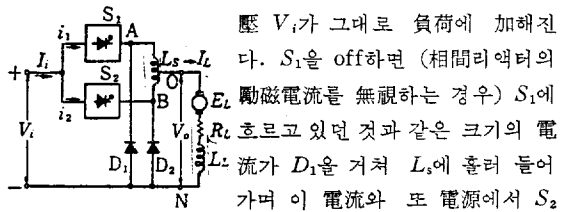


그림 10. 2組의 DC Chopper에 의한 高調波의 輕減

며 L_s 의 A點은 電源의 負極에, 또 B點은 S_2 를 거쳐 電源의 正極에 接續되므로 0點을 그 中點으로 하면 負荷電壓(ON때의 電壓)은 $V_i/2$ 가 되고 單一의 直流電力調產器에 比하여 펄스數가 2倍로 되어 脈動幅도 적어 짐으로 高調波含有量이 輕減된다. 또한 電源에서 취하는 電流 i_2 의 脈動도 輕減된다. 이 方法을 더욱 發展시켜 4개의 DC Chopper를 合成하여 運轉하면 最低次調波는 單一回路의 4倍 周波數가 되어 調波含有量도 低下한다. 펄스數 p 가 1, 2, 4일때의 出力電壓 100(%)에서 0에 이르는 波形이 그림 11에 表示된다.

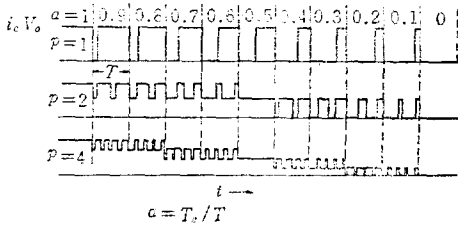


그림 11. DC Chopper의 並列接續에 의한 高調波의 低減

펄스數가 p 일때의 出力電壓과 入力電流의 調波次數 n 는 p 의 倍數로

$$n = m \cdot p \quad (4)$$

$(m : 1, 2, 3, \dots)$

이다. $n=1$ 일때 調波周波數는 勿論 單一直流電力調整器의 動作周波數가 된다.

n 次調波電壓과 電流 實効値는 다음과 같다.

$$V_o = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V_i \frac{1}{n} \sin(a \cdot n\pi) \quad (5)$$

$$I_{i_n} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} I_L \frac{1}{n} \sin(a \cdot n\pi) \quad (6)$$

여기서 $a = T_s/T$ 이다.

그림 12는 a 에 대한 各次調波實効値를 나타낸다.

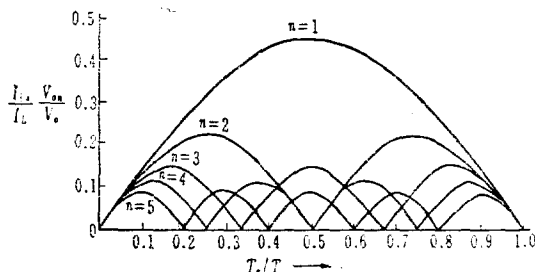


그림 12. T_s/T 에 대한 各次高調波(實効値)

(4) 入力電流 平滑化回路

그림 10의 回路에 의하여 入力電流의 高調波는 輕減되지만 특히 電源에서 취하는 高調波分이 많이 障害가 생길 경우에는 入力側에 濾波器를 두어 電源에서는 平

滑한 直流을 얻게한다.

電源과 負荷사이의 距離가 큰 경우 즉, 예를 들면 直流電化鐵道와 같이 變電所와 DC Chopper를 設置한 車輛의 位置가 떨어져 있는 경우는 線路의 인덕턴스가 커져 電源의 인덕턴스는 轉流蓄電器의 電壓을 低下시켜 主 Thyristor의 Turn off를 위한 逆電壓期間을 短縮하고 主 Thyristor의 順電壓을 생기게 하는 바람직하지 않은 作用을 하며 또 線路에 흐르는 高調波電流는 通信線에 障害를 일으키는 등의 問題가 생긴다. 入力側의 濾波器는 이와 같은 障害를 除去할 수가 있다.

그림 13은 入力側에 設置한 濾波器로 L 와 C 의 作用

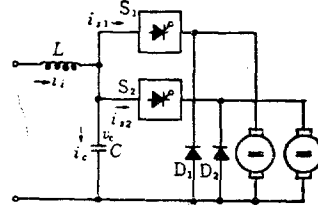


그림 13. 入力側濾波器

으로 電源에서의 入力電流 i_i 는 平滑하게 되고 高調波電流는 C 를 通하여 흐른다. 이때 濾波器는

$$\sqrt{LC} \gg T \quad (7)$$

가 되겠음 動作周波數보다 훨씬 높은 共振周波數가 된다.

그림 13은 두組의 Chopper S_1, S_2 로

電源側에 대한 高調波影響을 改善한 방식에 또 入力側濾波器를 追加한 것으로

자部의 波形은 그림 14와 같다.

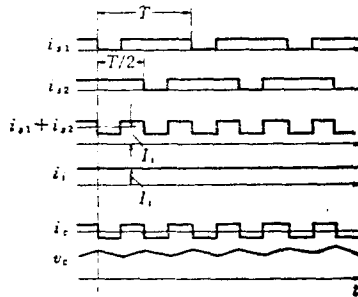


그림 14. 그림 13에서의 各部 電壓電流波形

(5) DC Chopper의 應用

直流電力調整器로서의 D.C Chopper는 直流電動機의 電機子制御와 界磁制御에 應用될때 그 長點이 發揮된다. 특히 蓄電池車에서는 制動시에는 電力을 饋還하고 走行時에는 普通의 抵抗制御와 같은 直列抵抗損이 없으며 蓄電池 使用時間을 延長한다. 直流電化鐵道에 應用할때도 그의 低損失, 無階制御, 無接點制御등이 車輛의 要求條件에 符合이 된다. 그러나 이경우 電源側의 高調波電流에 의한 誘導障害問題는 解決되어야 한다. 이 外에 直流電源과 抵抗器사이의 DC Chopper를 두고 可變抵抗器로 使用할 수도 있음으로 이것을 應用하여 電動機의 發電制動을 하거나 誘導電動機의 2次抵抗制御에 의한 速度制御를 할 수도 있다.

以上 概略적으로 Thyristor D.C Chopper方式에 대하여 說明하였지만 앞으로 紙面이 許容되면 Thyristor inverter에 대하여서도 略述코져 한다. <p.17에 계속>