

Transistor 方式인가 ?

Thyristor 方式인가 ?

농형 유도전동기는 견고하고 보수가 용이할 뿐만 아니라 가격이 저렴하여 여러 분야에 적용되고 있으나, 이를 효율 좋게 속도제어하는 것은 어렵다고 여겨져 왔다.

그러나 Thyristor (SCR : 정식명칭은 逆阻止三端子 Thyristor 이나 이하 Thyristor 라함) 가 발표된 이래 이러한 Thyristor 를 이용한 Inverter 가 급속히 개발되어 Inverter 에 의한 유도전동기의 1차 주파수제어가 널리 보급되었다. Power Electronics (전력전자) 에 있어서 가장 발달된 분야가 이분야라고 해도 과언이 아니다.

그러나 유도전동기의 속도제어에 있어서 어떠한 방식이 좋다는 것은 알고 있어도 이를 소용량전동기에 사용하는데에는 Thyristor Inverter 로서는 경제적인 문제가 있으므로 급일과 같이 中·大容量은 물론 小容量에 까지 Inverter 가 보급된 것은 두말할 나위도 없이 Power Transistor 와 GTO Thyristor 등의 自己消弧形素子の 실용화에 있다고 하겠다.

이러한 素子は 최근 수년간의 대용량화, 低價化가 진행되어 급격히 Inverter 분야에 침투 Power Electronics 의 주역이던 Thyristor 를 몰아내고 있는 형세이다.

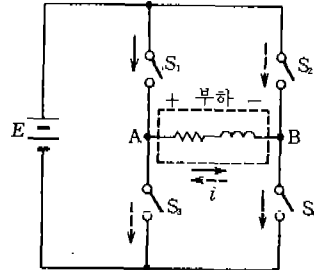
그러나 현재도 Thyristor 는 Inverter 에 사용되고 있다. 그래서 유도전동기의 速度制御를 대상으로 할 경우 Thyristor, Power Transistor, GTO Thyristor 중 어떠한 소자가 적합한가에 주목하여 검토하고자 한다.

1. 電圧形 Inverter

Inverter 에는 전압형과 전류형이 있으며 그 출력 파형은 매우 다르다. 양자의 차이점을 이해하기 위해 우선 전압형 Inverter 에 대하여 기술한다.

(1) 誘導性 負荷時의 無効電力의 處理

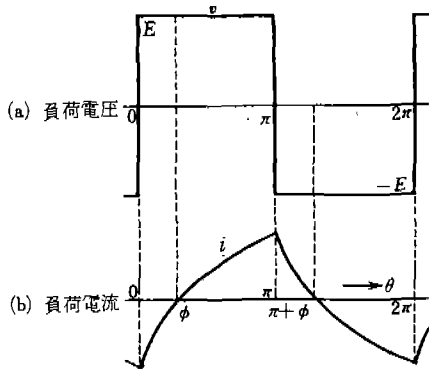
그림 1 은 가장 간단한 전압형 Inverter 의 원리를 단상회로로 나타낸 것이다.



〈그림 - 1〉 단상전압형 인버터의 원리

4 개의 Switch 를 브리지형 (Bridge 形) 으로 배치하여 S_1 과 S_4 를 동시에 ON 하고 다음에 S_2 와 S_3 를 동시에 ON 한다. 이를 번갈아 반복함으로써 부하에는 그림 2 (a) 에 표시된 方形波電壓이 인가된다.

여기에 부하가 그림 1 과 같은 저항과 Inductance 를 직렬접속한 유도성 부하라면, 방형파전압을 인가한 경우의 부하전류는 그림 2 (b) 와 같은 정현파에 가까운 파형이 된다. 여기서 문제가 되는 것은 그림상의 0~ ϕ 의 期間이다. 이 기간 중에는 전압은 \oplus 이나 전류는 \ominus 가 된다. 다시 말하면 S_1 과 S_4 가 ON 되어 그림 1 의 A 축이 \oplus 극이 되나, 부하에는 그림상에 점선으로 표시된 방향으로 전류가 흐른다. 이때문에 S_1, S_4 는 그림의 실선의 화살표방향과는



〈그림-2〉 誘導性負荷時의 電壓電流波形

역방향으로 전류를 흘리지 않으면 안된다. 즉 이 기간에는 부하Inductance에 축적된 Energy를 전원에 귀환하게 된다.

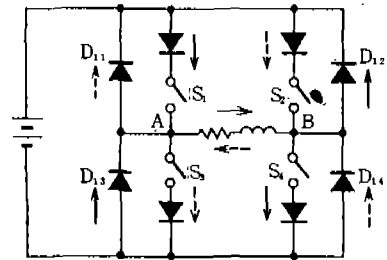
이와같이 직류를 교류로 변환할 때는 직류회로에는 없는 무효전력의 처리에 충분히 주의를 할 필요가 있다.

(2) 電壓形 Inverter의 原理

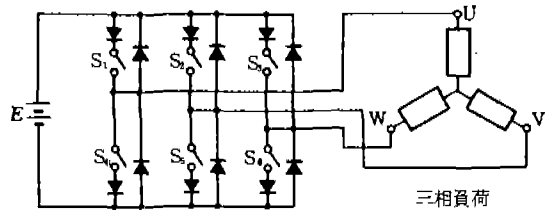
그림 1에 표시한 전압형Inverter에는 부하의 무효전력을 확실하게 처리하기 위해 각 Switch는 쌍방향성을 갖지 않으면 안된다.

그러나 이 Switch를 靜止化하기 위해 반도체소자를 사용할 경우 일반적으로 반도체소자는 일방향성만 가지고 있다. 따라서 그림 1의 Switch에 이러한 일방향성 반도체Switch를 대치하는 것만으로는 부하의 무효전력을 처리할 수 없다. 이것을 해결하는 것이 귀환 Diode이다. 이는 그림 3과 같이 일방향성Switch에 대하여 각각 역병렬로 Diode(이를 귀환Diode라 부른다)를 접속하는 방법이다. 이 귀환 Diode를 통하여 그림 2의 $0 \sim \phi$ 간의 역전류를 흘릴 수가 있다.

Inverter로 속도를 제어하는 유도전동기는 일반적으로 3상을 사용한다. 그림 3의 단상 전압형Inverter를 3상화하면 그림 4가 된다. 그림에서 Switch S_1 과 S_4 , S_2 와 S_5 , S_3 와 S_6 는 일주기360°에 대하여 각각 180°의 기간만큼 교대로 ON하고, S_1 ,

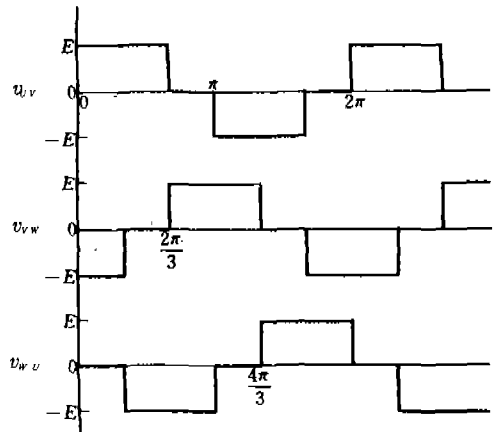


〈그림-3〉 일방향성Switch를 쓴 전압형 Inverter의 原理



〈그림-4〉 3상전압형Inverter의 原理

S_2 , S_3 는 각각 120°씩 위상을 지연시켜 ON시킨다. 이렇게 함으로써 Inverter의 출력선간전압은 그림 5에서와 같이 120°폭의 방형파 전압이 되고 각상은 120°씩 위상이 다른 3상 전압이 된다.



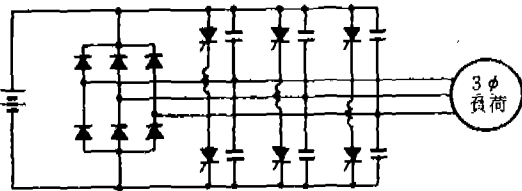
〈그림-5〉 3상전압형Inverter의 부하전압파형

(3) 電圧形 Inverter 의 回路構成

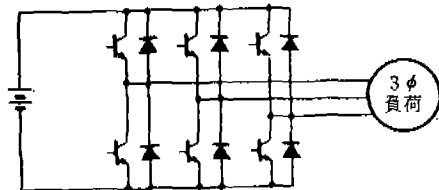
그림 4의 전압형 Inverter의 원리를 실제로 반도체 소자를 이용한 Static Switch로 구성할 때 어떠한 素子를 이용할 것인가가 문제로 된다. 예를들면 Thyristor를 이용할 경우에는 强制轉流回路가 필요하며, 한정된 轉流Energy를 어떻게 유효하게 사용할 것인가에 대하여 많은 연구가 이루어져, 이미 여러가지 방식이 제안되어 있다. 그림 6은 그 하나의 예 (McMurray 방식)이다

이 방식에 대하여 素子 자체에서 ON-OFF를 자유로이 할 수 있는 자기소호형 소자를 사용하면 그림 4의 Switch를 그대로 반도체 소자로 대체하면 된다.

예를 들면 Power Transistor를 사용하면 그림 7 GTO Thyristor를 사용하면 그림 8의 구성으로 전압형 Inverter가 된다.



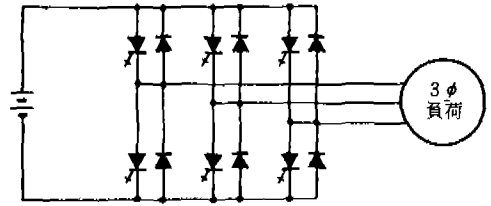
〈그림 - 6〉 Thyristor를 이용한 3상 전압형 Inverter (McMurray方式)



〈그림 - 7〉 Power-Transistor를 사용한 3상전압형 Inverter

(4) 各素子の 比較

그림 7, 8과 그림 6의 Thyristor Inverter를 비교해 보면 알 수 있듯이 자기소호형 소자를 사용하면 轉流Condenser나 Inductance 등의 강제 轉流 회로가 필요없어지므로 동일 용량의 Inverter를 Th-



〈그림 - 8〉 GTO Thyristor를 사용한 3상 전압형 Inverter

yristor로 구성하는 경우에 비하여 Power Transistor나 GTO Thyristor를 사용하는 쪽이 현저히 구조적으로 소형이고, 가격이 저렴해진다.

이에 따라 최근에는 전압형 Inverter는 대부분 자기소호형 소자를 사용하는 방식이 주류를 이루고 있다.

그렇다면 Power Transistor 방식과 GTO Thyristor 방식은 어느 쪽이 유리한가? Power Transistor는 ON 기간중에는 계속적으로 Base 전류를 흘려 주어야 하나, GTO Thyristor는 미소한 Pulse를 Gate에 인가하면 ON이 된다. 그러나 GTO Thyristor를 Off시키기 위해서는 단시간이지만 Anode 電流의 약 1/5~1/3 정도의 負pulse 전류를 Gate에 인가해 주지 않으면 안된다.

따라서 Power-Transistor에 비하여 GTO Thyristor의 제어회로는 복잡하고 또한 용량도 크게 하여야 한다. 이 때문에 소용량의 경우에는 GTO Thyristor보다도 Power-Transistor 쪽이 취급하기가 쉽다. 더욱 최근에는 후술하는 정현파 PWM 제어가 널리 보급되고 있고, 고주파수에서 ON-OFF 하기 위해서는 GTO Thyristor보다는 고주파에서 동작이 가능한 Power Transistor가 쓰여지고 있는 경향이 있다.

그러나 현재 Power Transistor 보다는 GTO Thyristor 쪽이 소자가 대용량화 되어 있어 수백KW의 Inverter가 되면 Power Transistor로서는 무리이며 GTO Thyristor를 사용한 Inverter가 중심이 되고 있다. 더욱 수천KW 이상이 되면 GTO Thyristor로서도 무리여서 통상의 Thyristor에 강제 轉流 회로를 부가한 Thyristor Inverter가 사용된다.

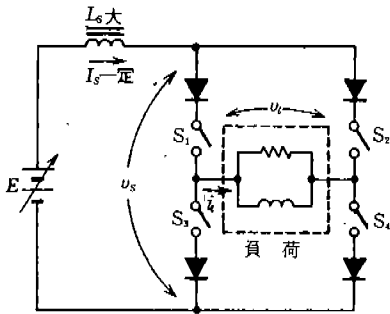
2. 電流形 Inverter

전장에서는 電壓形 Inverter에 대하여 기술했으나 이는 Inverter의 출력단자에서 볼 경우 전압원이 된다. 이에 대하여 전류원으로 보이는 Inverter를 전류형 Inverter라고 한다. 이하 이에 대하여 기술한다.

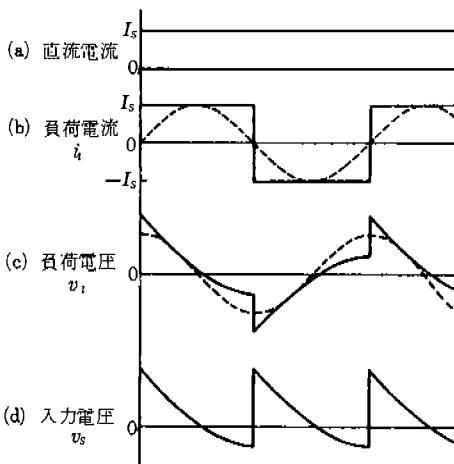
(1) 電流形 Inverter의 原理

그림 9는 전류형 Inverter의 원리를 나타낸 것이다. 그림 3의 전압형과는 달리 직류전원에 직렬로 대용량 Inductance를 삽입하여 그림 10(a)와 같이 전류를 맥동이 없는 평활한 직류전류로 만든다.

더우기 4개의 Switch $S_1 \sim S_4$ 는 귀환 Diode를 갖



〈그림 - 9〉 단상전류형 Inverter 원리



〈그림 - 10〉 電流形 Inverter의 전압전류파형

지 않는 일방향성 Switch라는 점이 전압형과는 다른 점이다.

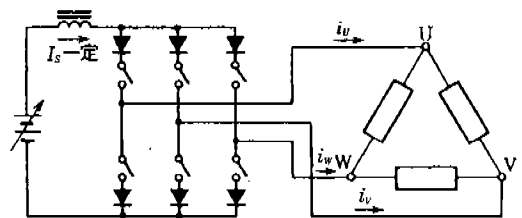
이회로에서 전압형과 같이 Switch S_1 과 S_4 를 동시에 ON하고, 다음에는 S_2 와 S_3 를 동시에 ON시킨다. 이렇게 ON·OFF를 동간격으로 교대로 행하면 부하로 유입되는 전류는 그림 10(b)의 방형파 전류가 된다.

부하로서 그림 3과 같은 RL 직렬의 유도성부하로서는 순시에 전류를 반전시키는 것이 불가능하나 그림 9와 같이 RL 병렬접속의 부하를 상정하면 그림 10(b)와 같은 방형파 부하전류를 흘릴 수가 있다.

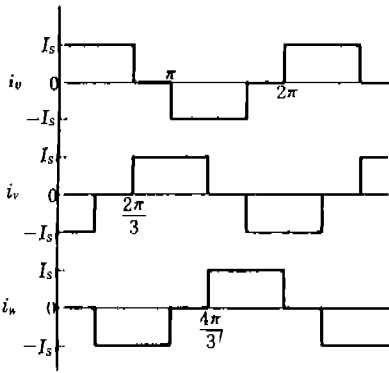
이 결과 부하 전압은 그림 10(c)와 같이 오히려 정현파에 가까운 파형이 된다. 그렇지만 전류에 대하여 이 전압은 위상이 진상이며 유도성의 조건을 만족하고 있다. 그리고 직류전압은 그림 10(d)와 같이 맥동을 하여 꺾기 되는 경우도 있다.

이상과 같이 그림 3의 전압형 Inverter에서는 부하전압은 方形波, 부하전류가 정현파에 가까운 것에 대하여 그림 9의 전류형 Inverter에서는 부하전류는 방형파, 부하전압은 정현파에 가까운 파형이 된다.

또한 전압형에서는 귀환 Diode로 부하의 무효전력을 처리하나 전류형에서는 Diode는 필요치 않다. 그러나 전류형에서는 직류전류를 평활하게 하기 위해 충분히 큰 용량의 Inductance를 필요로 하며, 또한 부하에 관계 없이 직류전류를 일정하게 할 수 있도록 직류전압을 가변할 필요가 있다. 이상은 단상 전류형 Inverter의 원리였으며 이를 3상으로 하자면 그림 11과 같이 구성된다. 이 경우 각 Switch를 120°기간 ON시키면 그림 12와 같이 각상의 선전류는 방형파가 된다.



〈그림 - 11〉 3相電流形 Inverter의 원리



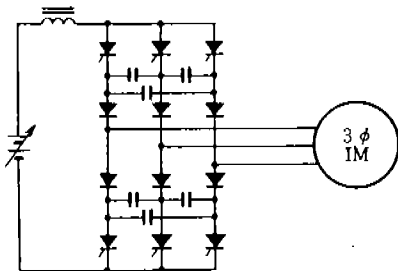
〈그림-12〉 相電流形Inverter의 부하전류파형

(2) 電流形 Inverter의 回路構成

그림 9 또는 그림 11과 같이 부하가 RL 병렬접속 또는 델타접속일 경우에는 방형파전류를 가할 수도 있으나 부하에 직렬 Inductance가 포함되어 있으면 전류를 순시에 반전시킬 수가 없다. 이 경우에는 Inductance의 축적 Energy를 Inverter 内部에 일시적으로 흡수하기 위한 회로를 부가할 필요가 있다.

한편 Thyristor를 이용하여 그림 11의 3φ 정지 Switch를 구성하기 위해서는 강제轉流회로가 필요하다. 이 양자의 기능을 모두 갖춘 방식이 그림 13의 직렬Diode 방식의 Thyristor Inverter이다. 그림 중 轉流Condenser가 Thyristor를 강제轉流시킬 뿐만 아니라 부하중의 Inductance의 Energy를 일시 흡수하기도 한다.

이에 비하여 Power Transistor나 GTO Thyristor 등의 자기소호형소자를 사용하면 그림 11의 Sw-



〈그림-13〉 3相電流形Inverter (직렬Diode방식)

itch를 대처할 수가 있어 Switch를 ON-OFF 함으로써 그림 12의 선전류를 얻을 수가 있다. 그러나 이 경우 부하에 직렬Inductance가 들어있으면 여기에 축적되는 Energy를 흡수할 곳이 없다.

실제는 소자를 보호하기 위해 병렬로 Snubber 회로가 들어있어 이회로에 포함되어 있는 Condenser 회로가 부하 Inductance의 축적Energy를 흡수한다. 이를 위해 Snubber 회로의 Condenser 전압은 매우 높아져 高耐壓의 소자를 사용해야 한다.

그러나 일반적으로 자기소호형 소자는 Surge 전압보호를 위해 소자에 역병렬로 Diode를 부가하는 경우가 많다. 이는 바꿔 말하자면 그림 3 또는 그림 4의 전압형Inverter에 있어서의 귀환 Diode로서도 동작을 하기 때문에 자기소호형 소자를 사용한 전류형Inverter를 구성하려면 이 역병렬 Diode를 제거하지 않으면 안된다. 이상과 같이 전류형Inverter에는 Power Transistor나 GTO Thyristor 등의 자기소호형소자를 사용하는 예는 아직 적고 대부분이 그림 13과 같이 직렬Diode방식을 채용한 Thyristor Inverter 방식이다.

3. 直流電源과의 組合

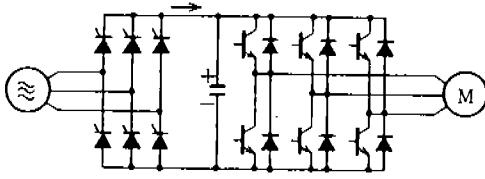
이상과 같이 전압형Inverter는 대용량에는 Thyristor, 中容量은 GTO Thyristor, 小容量은 Power Thyristor, 를 각각 사용한 Inverter가 주류를 이루고 있다. 한편 전류형Inverter는 대부분이 그림 13과 같은 전류형Inverter이다.

그렇다면 전압형Inverter가 좋은가? 전류형 Inverter가 좋은가? 여기서는 직류전원에 주목하여 검토해 보고자 한다.

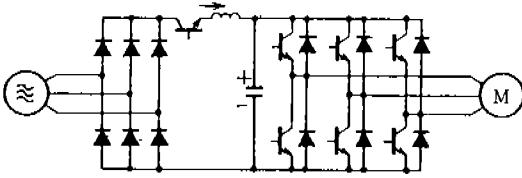
(1) 電圧形 Inverter의 直流電源

일반적으로 전압형 Inverter로 유도전동기를 속도 제어 할 경우, V/f 제어가 필요하며 이를 위해 Inverter의 出力電壓을 가변하지 않으면 안된다. 이의 전압제어 방법으로서 PAM 방식과 PWM 방식이 있다.

PAM 방식은 그림 14와 같이 Thyristor정류회로를



(a) Thyristor 정류회로의 적용



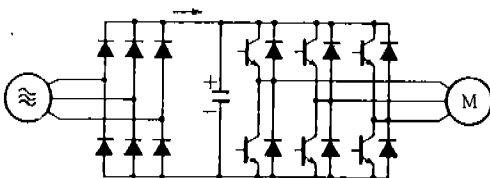
(b) Diode 정류회로와 Chopper의 적용

〈그림-14〉 PAM방식의 회로구성

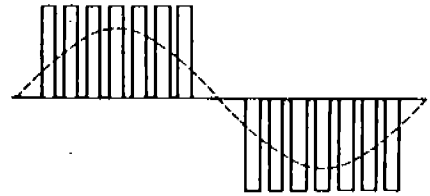
이용 위상제어를 하거나 Diode 정류회로에 Chopper를 조합하여 직류전압의 크기를 조정한다. 따라서 Inverter는 가변 주파기능만을 가지면 되고 Inverter의 입력측의 직류전압을 조정하여 Inverter의 출력전압을 변화시킨다.

PWM 방식은 방형파전압을 잘게 나누어 출력전압을 조정하는 방식으로 Inverter 자체가 가변주파기능과 동시에 가변전압기능을 갖추고 있어 그림15와 같이 직류전원은 Diode 정류회로와 평활용 Filter로 구성하면 된다.

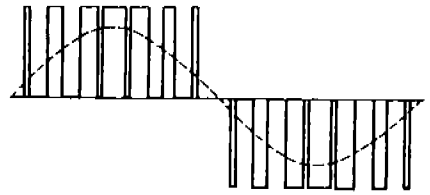
PWM 방식에는 그림16(a)와 같은 등 Pulse幅 방식과 (b)와 같은 不等Pulse幅 방식이 있다. 不等Pulse 방식은 부하전류가 정현파에 가깝고 Torque 맥동도 적으나 제어가 복잡하다. 그러나 최근의 Micro Computer 및 LSI의 발달로 후자가 PWM 제어의 주류를 이루어 가고 있으며 이를 정현파 PWM 제어라고 부르고 있다.



〈그림-15〉 PWM방식의 회로구성



(a) 等Pulse幅 PWM 방식

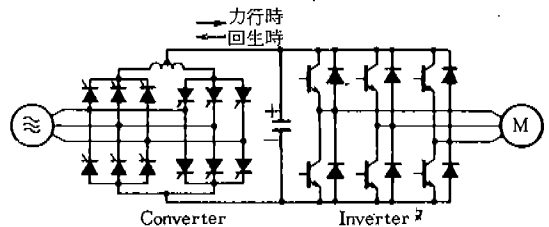


(b) 不等Pulse幅 PWM 방식

〈그림-16〉 PWM방식의 출력전압파형

이상은 전압형 Inverter로 유도전동기를 구동하는 경우만을 고려할 때의 직류전원이다. 그러나 유도전동기를 제동하는 경우를 고려하면 그림14, 15의 전원으로는 문제가 있다. 구동시에는 도시한 극성으로 Condenser가 충전되는 것은 물론이지만, 제동시에도 Inverter의 귀환Diode의 작용에 따라 Condenser에는 동일극성으로 충전이 된다. 이 때문에 Condenser에 병렬로 저항을 접속하면 發電制動을 하는 것은 가능하지만 이 Energy를 교류전원에 까지 회생하여 省Energy를 시도하는 것은 불가하다.

이에 대하여力行과 回生을 다 가능케 하기 위해서는 그림17과 같이 직류전원은 Thyristor 정류회로로 하나 이를 2組 逆並列로 접속해야 한다. 이에 따라力行시에는 그림의·실선의 방향으로 흐르고 있던 직류전류가 평활Condenser가 그림의 극성이라도 回生시에는 그림의 점선방향으로 흐를 수 있어



〈그림-17〉 電壓形 Inverter의 四象限運轉

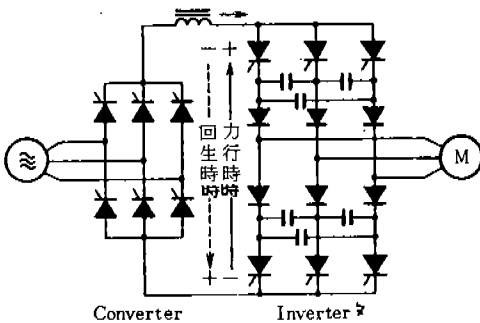
Condenser에 일시 축적된 부하의 Energy를 교류전원에 까지 반환할 수가 있다.

(2) 電流形 Inverter 의 直流電源

電流形Inverter에는 부하의 변화에 상관없이 직류전류를 일정히 할 필요가 있다. 이를 위해 직류전원자체에 가변전압의 기능을 갖추게 하여야 한다.

그림18과 같이 일반적으로 Thyristor 정류 회로를 직류전원으로 사용하는 예가 많다. 이 경우 전압형 Inverter와는 달리 그림18의 구성 그대로力行은 물론 回生도 가능하다.

전류형 Inverter를 회생제어할 경우 그림10의 과형으로 직류전류는力行시와 같은 극성으로 흐르지만 직류전압의 꺾의 기간이 커져서 그평균 전압이 낮아 된다.



<그림-18> 電流形 Inverter 의 四象限運轉

따라서 그림18에 표시한 바와 같이 Inverter의 직류축 전압이力行시에는 그림의 실선의 극성인데 반해 回生시에는 점선의 극성으로 역전한다. 전류의 흐르는 방향은力行도 回生도 동일 방향이므로 유도전동기의 회전 Energy는 정류회로가 역변환 동작을 행하므로 교류전원에까지 회생하는 것이 가능하다.

이상과 같이 Inverter의 직류전원을 고려하면 회생제동까지 필요하지 않는 경우는 그림 14, 15의 전압형Inverter로 충분하나力行, 回生, 正轉, 逆轉의 四象限運轉이 필요할 경우에는 차라리 전압형 Inverter보다는 전류형Inverter를 이용하는 편이 직류전원이 간단히 구성될 뿐만 아니라 경제적이다.

Inverter에는 전압형과 전류형이 있고 또한 사용 반도체소자가 Thyristor 인지, Power Transistor인지, GTO Thyristor인지에 따라서도 분류할 수가 있다. 그러나 이상에서 알 수 있는 바와 같이 실제로 채용되고 있는 것은 주로 다음 종류이다.

우선 전압형Inverter로서는 상기의 3종류의 소자가 전부 사용되며, 대체로 그 Inverter의 출력에 따라 사용소자가 결정된다. 그 척도로서는 대개 200KW 이하는 대부분 그림15와 같은 Power Transistor Inverter가 더욱더 큰 100KW이상의 대용량이 되면 強制轉流회로를 갖춘 Thyristor가 쓰여지고 있는 추세이다.

거기에 회생제동이 필요 없을 때는 그림14, 15의 구성으로 전압형Inverter를 채용하면 되나力行·回生·正轉·逆轉의 四象限운전이 필요할 경우에는 전압형Inverter로서는 그림17과 같이 회로가 매우 복잡해지므로 이때는 차라리 전류형Inverter가 많이 채용된다. 이 경우에는 대부분이 그림18의 구성으로 직렬Diode 방식의 Thyristor Inverter가 사용되며 Power Transistor나 GTO Thyristor를 사용하는 예는 아직 거의 없다.

이상과 같이 전압형Inverter에는 Power Transistor, GTO Thyristor, Thyristor 어느 것이라도 사용되고 있으며, 주된 차이는 Inverter의 용량에 관계가 있다. 한편 전류형 Inverter는 현재로는 대부분 Thyristor Inverter이다.

그러나 전류형 Inverter는 부하인 유도 전동기에 따라 轉流Condenser 등을 선정하여야 하므로 일반적인 범용Inverter라고 하기에는 어려운 면도 있다 하겠다.

이에 대하여 전압형Inverter는 일반적으로 부하에 관계없이 구성이 가능하여 범용성이 매우 높다. 특히 Power Transistor를 이용한 전압형 Inverter는 그림14, 15의 구성으로 소용량을 중심으로 보급되어 그 제어방법도 Vector 제어를 채용하는등 고도의 기술이 개발되어, Inverter의 보급에 많은 공헌을 하고 있다고 하겠다.

(전기기술정보센터위원회 제공)