

전기 기본이론

(Basic Theories of Electrical Engineering) - XI

11. 무정전 전원설비

연재목록

1. 전류
2. 전기와 자기
3. 임피던스
4. 발전기
5. 전동기
6. 변압기
7. 전력
8. 접지
9. 전기안전
10. 노이즈
11. 무정전 전원설비

글.
이재언 전기기술사 사이버학원 원장

현대의 문명사회에서는 순간의 정전도 허용되지 않고 또한 정전으로 인한 영향이 치명적인 부하설비, 예를 들어 은행의 컴퓨터, 방송국의 방송설비, 각종 공공설비의 컴퓨터 등에는 무정전, 정전압, 정주파수의 전원이 필요하게 되는데, 이런 고품질의 전력을 공급하기 위한 목적으로 사용되는 것이 무정전 전원설비(UPS : Uninterruptible Power Supply) 이다.

무정전 전원설비 개요

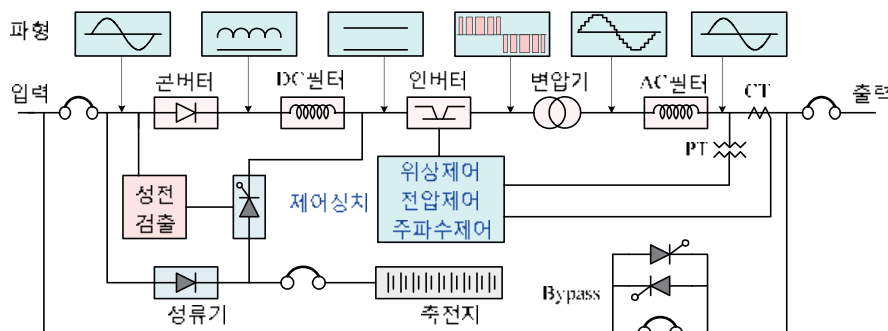
전기품질은 정전시간, 전압 변동율, 주파수 변동율 및 고조파로 인한 파형 왜형을 등으로 결정된다. 그러나 전기는 “생산과 동시에 소비가 이루어지는 상품”이기 때문에 아무리 전기품질을 높인다고 해도 완전히 무정전, 정전압, 정주파수로 전기를 공급한다는 것은 불가능한 일이다.

사용전원은 멀리 떨어진 발전소로부터 송전선과 배전선을 거쳐서 수용가에 공급되기 때문에 때로는 대용량 기기의 기동돌입 전류로 인한 전압강하나 낙뢰로 인한 순시정전 등이 발생해서 공급 신뢰도가 저하되는 것을 피할 수 없는 경우가 많다.

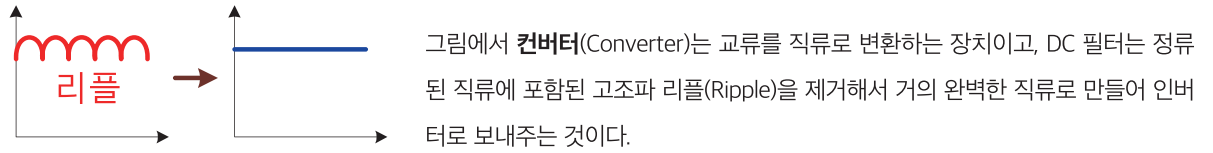
순간의 정전도 허용되지 않고 또한 정전으로 인한 영향이 치명적인 부하설비, 예를 들어 은행의 컴퓨터, 방송국의 방송설비, 각종 공공설비의 컴퓨터, 인터넷 데이터센터 등에는 무정전, 정전압, 정주파수의 전원이 필요하게 된다.

전압 및 주파수를 안정시키는 장치를 정전압 정주파수 장치 (CVCF : Constant Voltage Constant Frequency)라 하며, CVCF에 축전지를 설치하여 정전 시에도 순간정전이 없이 전력을 공급할 수 있는 장치를 무정전 전원장치 (UPS : Uninterruptible Power Supply)라고 한다.

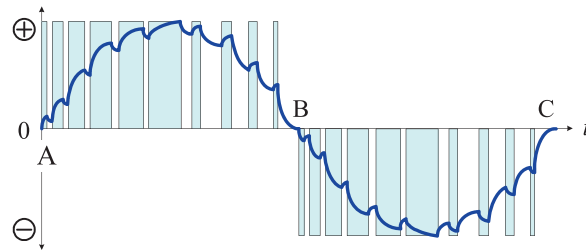
정지형 무정전 전원설비



정지형 무정전 전원장치(Static Uninterruptible Power Supply)는 그림과 같이 **컨버터**, **DC 필터**, **인버터**, **변압기**, **AC 필터** 및 **축전지** 등으로 구성된다.



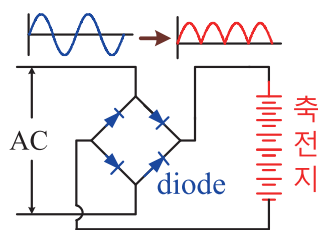
인버터는 **PWM**(Pulse Width Modulation) 방식으로 직류를 원하는 주파수의 교류로 만들어 주는 장치이다. 인버터 소자에는 과거에는 사이리스터가 많이 사용되었으나 근래에는 파워 트랜지스터나 GTO 사이리스터가 주로 사용되고 있다.



PWM 방식은 사이리스터나 파워 트랜지스터의 고속 스위칭 작용을 이용해서 직류를 그림과 같이 펄스 폭이 좁게 또는 넓게 자른다. 그림의 B-C구간에서는 전압 극성을 반대로 바꾸어 준 것이다.

이런 펄스를 변압기를 통과시키면 변압기 코일의 인덕턴스가 전류의 급격한 변화를 억제하기 때문에 그림의 파란 선과 같은 파형의 교류전압이 된다. 이 교류전압은 아직도 많은 고조파를 포함하고 있으므로 **AC 필터**를 통과시켜서 거의 완벽한 정현파를 만든다.

제어장치는 CT(변류기)와 PT(전압변성기)로부터 전압/전류의 크기와 주파수 및 위상을 검출, 인버터를 제어해서 인버터 출력이 원하는 전압/전류, 주파수 및 위상이 되도록 제어한다.



축전지는 정상상태에서는 정류기를 통해서 충전되어 있다가, 상용전원이 정전되면 사이리스터 스위치를 통해서 충전된 전력을 인버터에 공급해서 인버터 2차측 부하들이 무정전으로 동작하도록 한다.

정류기는 그림과 같이 다이오드 4개로 Bridge 회로를 구성해서 교류를 전파 정류해서 직류로 변성하여 축전지를 충전한다. 축전지를 충전하기 위한 목적으로는 리플이 있어도 지장이 없으므로 정류기 회로에는 일반적으로 DC 필터를 사용하지 않는다.

인버터에 사용되는 반도체 소자

사이리스터(Thyristor)

인버터 소자에는 과거에 사이리스터가 많이 사용되었으나 근래에는 파워 트랜지스터나 GTO 사이리스터가 주로 사용되고 있다. 그 이유는 사이리스터는 자체 소호능력이 없기 때문에 Turn Off 하기 위해서는 콘덴서와 리액터 등으로 구성되는 별도의 전류회로가 필요한데 비해서 파워 트랜지스터나 GTO는 자체 소호능력이 있기 때문이다.

파워 트랜지스터(Power Transistor)

파워 트랜지스터나 GTO(Gate Turn Off Thyristor)를 사용하면 별도의 전류(轉流)장치가 불필요하므로 기기가 소형으로 되고, 효율과 신뢰성이 높아지게 된다. 파워 트랜지스터는 GTO에 비해 전압이나 전류는 작으나 스위칭 특성이 우수하여 소용량 CVCF

또는 UPS에 적합하다. GTO는 높은 전압에 사용할 수 있고, 전류도 사이리스터 정도까지 사용할 수 있으므로 대용량 CVCF 또는 UPS에 적합하다.

트랜지스터의 Turn on, Turn Off

다음 [그림 1]의 **일반적인 트랜지스터**는 Sw가 Off 되어 있는 상태에서는 컬렉터 C와 이미터 E 사이에 전압을 걸어도 C→E 사이에는 전류가 흐르지 않다가, Sw가 On 되어 베이스 B와 이미터 E 사이에 전압이 걸려 작은 전류라도 흐르면 C→E 사이에도 큰 전류가 흐르게 되는데, 이와 같이 C→E 사이에 전류가 흐르게 된 상태를 트랜지스터가 Turn On 되었다고 한다. 이 상태에서 Sw가 Off 되면 트랜지스터는 Turn Off 된다.

[그림 2]의 **Photo Transistor**는 PN 접합부에 빛을 비추어주면 Turn On 되고, 빛을 비추지 않으면 Turn Off 된다. [그림 3]의 **전계효과트랜지스터(FET : Field Effect Transistor)**는 Gate에 전압을 가해주면 Turn On 되고, Sw를 Off 시켜서 전압을 가해주지 않으면 Turn Off 된다.

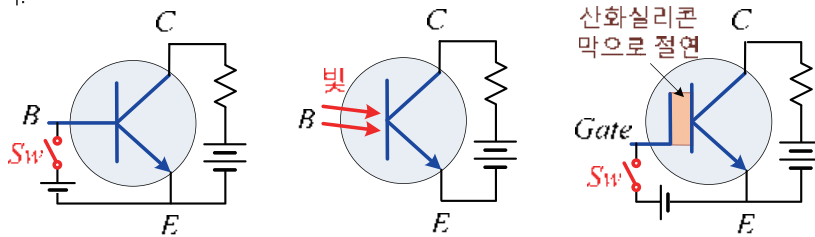


그림1

그림2

그림3

IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)

트랜지스터에 전류가 흐르는 것은 **전자** 또는 **정공**의 이동에 의한 것이다. 이와 같이 전류가 흐르게 하는 매체를 **Carrier**라고 한다. 그런데 **BJT**(Bipolar Junction Transistor)는 전자와 정공 모두가 Carrier로 작용해서 대전류 특성을 가지게 된다. **IGBT**는 게이트가 절연된 **FET**와 **BJT**의 대전류 특성을 결합시킨 소자로서 현재 전력용 반도체 소자로 각광을 받고 있는 소자이다.

UPS 용량산정

UPS 용량산정시 고려사항

- 부하용량 이상이어야 한다.
- 부하의 기동돌입 전류가 UPS의 출력 한계치를 초과하지 않아야 한다.
- 출력전압의 변동폭이 부하의 허용전압변동 이내이어야 한다.
- 출력 주파수 변동폭이 부하의 허용범위 이내이어야 한다.
- 장래 부하증가를 고려한다.
- 가능한 한 Maker의 표준용량을 선정한다
- 정류기 부하가 많은 경우에는 고조파 분이 많으므로 UPS 용량에 10~20% 정도의 여유가 있어야 한다.
- 과도용량이 특히 큰 부하에 대해서는 한류장치를 부가하도록 한다.

UPS용 축전지 용량선정

UPS에 사용되는 축전지 용량을 산정하기 위해서는 **정전 보증시간** 및 **기준전지온도**를 결정해야 하는데, **정전보증시간**이란 상용 전원 정전시 UPS의 운전시간을 말하는 것으로 보통 비상 발전기가 있는 경우는 5~10분, 발전기가 없는 경우는 30분 정도로 한다. **기준 전지온도**는 축전지 사용장소의 주위온도를 말한다. 축전지는 온도가 내려가면 용량이 감소하므로 온도가 계절에 따라 변화

하는 장소라면 되도록 낮은 온도를 **기준저온도로** 하는 것이 안전하다.

축전지는 과거에는 연축전지와 알칼리 축전지가 많이 사용되었으나, 근래에는 효율이 높고, 자기방전이 적으며, 다양한 크기와 형태로 제작할 수 있는 **리튬이온 축전지**가 많이 사용되고, 특히 대용량을 요하는 경우에는 **나트륨 유황전지**를 사용하기도 한다.

UPS에 사용되는 축전지의 방전전류는 다음식으로 계산한다.

$$\text{방전전류 } I = \frac{P \times pf}{E_f \times n \times \eta} \times 10^3 \quad [A]$$

식에서 P : UPS 출력(kVA), pf : 부하역율, η : UPS 효율, E_f : 방전종지전압(V/cell), n : 축전지 직렬개수

축전지 용량은 다음식으로 계산한다.

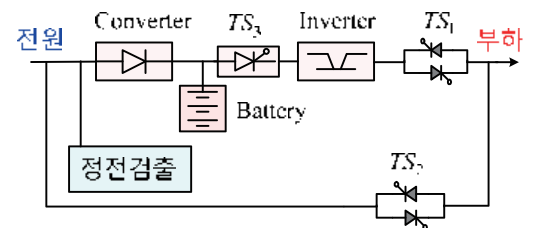
$$\text{축전지용량 } C = \frac{1}{L} KI \quad [Ah]$$

식에서 C : 축전기용량(AH), I : 방전전류, L : 보수율, K : 용량환산계수

UPS 운전방식

비상시 단독 운전방식

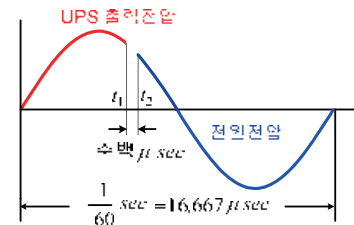
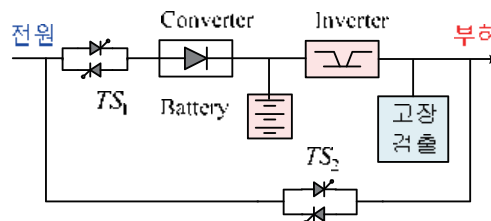
이는 상시에는 UPS를 운전하지 않고 있다가 정전 시에만 운전하는 방식으로, 상시에는 TS_1 과 TS_3 은 Off 상태이고 TS_2 만 On 상태로 있어서 상용전원으로부터 부하에 전력을 직접 공급하다가 정전되면 TS_2 를 Off 시킴과 동시에 TS_1 과 TS_3 을 On 해서 Inverter로부터 부하에 전력이 공급되도록 하는 방식이다. 이 경우에는 사이리스터의 스위칭 시간에 인버터의 응답시간(3~5 사이클)이 더 소요되므로 상시 운전방식보다 순간정전 시간이 길어진다.



상시 단독 운전방식

그림과 같이 UPS를 상시 운전하다가 UPS 내부에 고장이 났을 때만 상용전원으로 절환하는 방법이다. 상시 운전 중 그림의 TS_1 은 On 상태, TS_2 는 Off 상태로 있다가, UPS 내부에 고장이 발생하면 150μs 이내에 TS_2 가 On 됨과 동시에 TS_1 이 Off 되어 부하는 전원측으로 직접 연결된다. 이 경우 UPS는 전원과 동기운전을 유지해야 그림에서와같이 t_1 에서 고장이 나서 t_2 에 전원전압이 투입될 때 파형이 그대로 유지된다.

오른쪽 그림에서 수백정도의 극히 짧은 무전압 시간은 어떤 전자기기에든 전혀 악영향을 주지 않는다.



사이리스터 대신에 Magnetic Contactor를 사용할 수도 있겠으나 MC의 동작시간은 0.1~0.5초 정도가 걸리므로 사이리스터보다 순간정전 시간이 매우 길어진다.

병렬 대기 운전방식

이 방식은 2대의 UPS를 한대는 **상용**, 다른 한대는 **예비기**로 운전하다가, 상용 UPS가 고장나면 예비기를 운전하는 방식이다. 이 경우에도 절환시간이 소요된다.

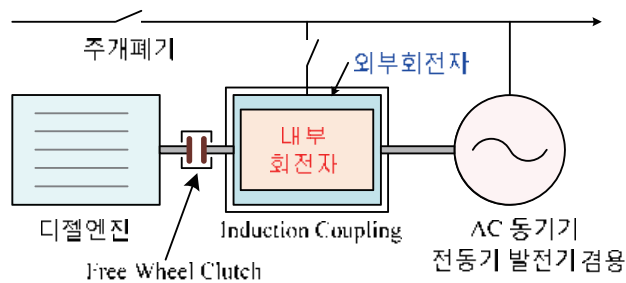
병렬 동시 운전방식

여러 대의 UPS를 병렬로 동시에 운전하여 부하에 전력을 공급하다가 1대가 고장 나면 고장 난 UPS를 회로에서 분리하고, 건전한 나머지가 전부하에 급전하는 방식이다. 이 경우는 한대가 고장 나도 절환시간이 필요하지 않다는 장점은 있으나, UPS **용량에 여유**가 있어야 하고, 병렬운전을 하기 위해서 각각의 UPS를 **동기화**시켜야 하며, 적절한 **부하분담**이 되도록 해야 하기 때문에 제어 방식이 복잡하게 되는 단점을 가지고 있다.

회전형 UPS (Dynamic UPS)

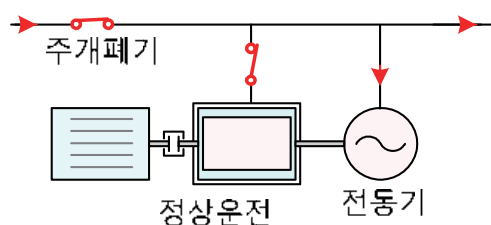
회전형 UPS의 구성

UPS의 종류를 크게 분류하면 Static(정지형) UPS와 Dynamic(회전형) UPS의 두 가지가 있다. 회전형 UPS는 그림과 같이 동기기 와 Induction Coupling 및 디젤엔진으로 구성된다.

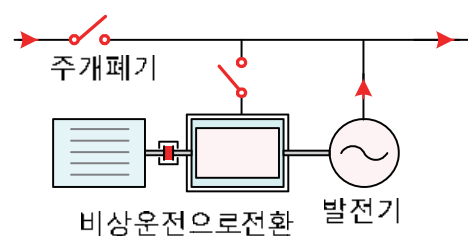


회전형 UPS의 동작원리

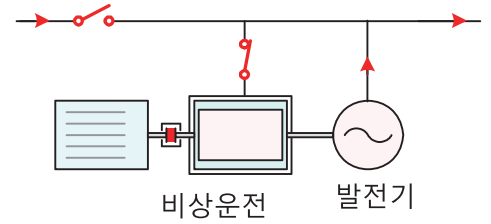
정상운전 상태에서는 그림과 같이 상용전원을 공급받아 전력 변환이 없이 직접 부하에 전력을 공급한다. 인덕션 커플링의 내부 회전자는 외부 회전자에 있는 3상 2극 교류권선에 의해 여자되어 3600rpm으로 회전하며 외부 회전자는 1800rpm으로 회전하여 내부 회전자의 절대 속도는 5400rpm이 된다. 이때 외부회전자는 동기전동기에 의해 1800rpm의 속도로 운전되고 프리-휠 클러치는 디젤엔진과 인덕션 커플링의 외부 회전자와는 완전히 분리되어 있다.



비상운전으로 전환할 때 주개폐기와 인덕션 커플링의 3상 AC 공급 회로의 개폐기는 상용전원이 정전될 때 차단된다. 동시에 Free Wheel Clutch가 체결되어 디젤 엔진이 기동되며, 인덕션 커플링의 외부 회전자에 의해 회전 중인 동기는 발전기로 동작하여 순간정전 없이 교류전력을 공급함으로써 정전 순간에도 무정지로 계속 운전된다. 인덕션 커플링의 내부 회전자의 회전이 5400rpm에서 1800rpm으로 서서히 감속되는 과정에서 내부 회전자의 운동에너지에 의해 디젤엔진이 기동된다.

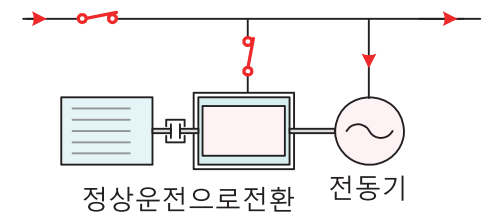


비상운전은 Induction Coupling의 내부회전자와 외부회전자의 결합을 푸는 순간에 시작된다. 이때 외부회전자 및 AC 동기기의 축은 디젤엔진 축에 직결되어 전력은 디젤엔진의 동력으로 동기발전기에서 발전된 전력으로 공급된다. 소모된 인덕션 커플링 내부 회전자의 비상 에너지는 외부 회전자에 있는 권선을 통해 순간적으로 여자되어 절대속도 5400rpm까지 가속된 후 정상 회전속도를 유지한다.



정상운전으로 전환은 상용전원이 다시 공급되는 순간에 시작된다. 상용전원이 다시 공급되면 자동으로 주개폐기가 폐로되고 상용전원은 전력변환 없이 직접 부하에 공급되며 동기기는 발전기 운전에서 전동기 운전으로 변환된다.

이때 디젤엔진과 인덕션 커플링의 외부 회전자를 연결하고 있던 프리휠 클러치는 자동으로 완전히 분리된다. 



정지형 UPS와 회전형 UPS의 비교

정지형 UPS	회전형 UPS
정지기이다.	회전기이다.
정전, 주파수조정, 전압조정을 모두 할 수 있으므로 전기품질이 매우 우수한 전력을 공급할 수 있다.	정전에 의한 피해만을 방지해 주는 것이므로 정지형에 비해 전기품질이 떨어진다.
축전지용량으로는 장시간 운전할 수 없으므로 Back Up 발전기가 필요하다.	Back Up 발전기가 필요 없다
컨버터 인버터에서 다량의 고조파를 발생시킨다.	고조파를 거의 발생시키지 않는다
회전형에 비해 공간을 적게 차지한다.	비교적 큰 공간이 필요하다
실내에 설치하기에 적합하다	실내에 설치하는 것은 곤란하다
축전지에 의존해야 하기 때문에 대용량은 곤란하다	발전기용량을 크게하면 대용량으로 할 수 있다
정지기이므로 유지보수가 용이하다	엔진과 발전기의 유지보수가 어렵다