

방송 장비의 심장, SMPS에 대하여

강혜련 포항MBC 방송기술센터 사원

방송 장비는 대부분 고가이기 때문에, 한번 구매하면 10년 이상 오랫동안 사용하는 경우가 많다. 따라서 장비 수명을 연장하기 위한 유지보수가 중요하다. 물론 장비에 문제가 발생하면 외부 업체에 수리를 맡기거나 새 장비로 교체할 수도 있겠지만, 시간을 절약하고 비용을 절감하기 위해 일부 자체 정비(PCB 정비)를 진행하고 있다.

그렇다면 가장 빈번하게 문제가 발생하는 부분은 어디일까? 방송 장비는 종류도 다양하고 역할도 다르지만, 놀랍게도 장비 고장의 90%는 전원부에서 발생한다. 전원부가 가장 일을 많이 하기 때문이다.

본 글에서는 방송 장비의 심장과도 같은 전원부, 즉 SMPS(Switching Mode Power Supply)에 대해 살펴보고, 간단한 점검 방법을 공유해보고자 한다.

I. SMPS(Switching Mode Power Supply)란?

AC-DC 컨버터의 일종으로, 고주파 스위칭 동작을 통해 AC 전원을 DC 전원으로 변환하는 장치이다. 과거에 많이 사용되던 선형 전원 공급 장치(Linear Power Supply)를 점차 대체하고 있으며, 장비의 소형화와 더불어 SMPS의 중요성이 커지고 있다.

선형 전원 공급 장치는 단순한 구조로 안정적인 DC 출력을 제공하지만, 크기가 크고 무겁다는 단점이 있었다. 특히 AC 전원을 DC 전원으로 변환하는 과정에서 열 손실이 많이 발생해 큰 방열판이 필요했고, 낮은 주파수(Hz)에서 동작하므로 큰 변압기를 사용해야 했다. 이러한 이유로 효율이 낮았다.

반면, SMPS는 고주파(kHz, MHz) 스위칭 기술을 활용하므로 이러한 문제들을 해결할 수 있다. 주파수가 높을수록 변압기의 크기도 작아지기 때문에, 크기와 무게를 줄일 수 있게 된 것이다. 또한 FET 같은 스위칭 소자가 고속으로 켜고 끄는 동작을 할 때 전력을 거의 소모하지 않기 때문에, 효율도 매우 높은 편이다. 일반적으로 SMPS는 상용 220V AC 전원을 입력받아 5V, 12V 등 필요한 DC 전원으로 변환하여 사용한다. 그러나 사용 가능한 입력 전압 범위가 넓어 220V AC뿐만 아니라 다양한 국가의 전원 환경에서도 안정적인 DC 전압으로 변환할 수 있다는 점에서 큰 장점을 가진다.

● 참고 - 왜 주파수가 높아지면 변압기의 크기가 작아질까? ●

1. 렌츠-패러데이 법칙

변압기 출력 전압은 전자기 유도 원리에 기반하며, 이 유도 전압을 설명한 공식이 렌츠-패러데이 법칙이다.

$$E = -N \frac{d\phi}{dt}$$

- E : 유도 기전력
- N : 권선 수
- $\frac{d\phi}{dt}$: 시간에 따른 자속 변화율

즉, $d\phi/dt$ 가 클수록(자속 변화가 빠를수록), 유도되는 전압이 커진다.

2. 변압기 범용 EMF 방정식(변압기 유도 전압 방정식)

렌츠-패러데이 법칙을 바탕으로 도출한 변압기 범용 EMF 방정식은 다음과 같다.

$$E = -N \frac{d(B_{peak} * A * \sin \omega t)}{dt} = -N * B_{peak} * A * \omega * \cos \omega t$$

실제 변압기에서 사용하는 값은 rms(root mean square, 제곱 평균 제곱근) 값이므로, cos 함수의 rms값 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 을 적용하면 다음과 같은 식이 나온다. 이 식이 변압기 범용 EMF 방정식이다.

$$E_{rms} = \frac{2\pi f N A B_{peak}}{\sqrt{2}} = 4.44 f N A B_{peak} = 4.44 f N \phi_{peak}$$

- E_{rms} : 유도 기전력(변압기 출력 전압)
- N : 권선 수
- f : 주파수
- A : 코어의 단면적
- B_{peak} : 자속밀도

3. 주파수와 변압기 크기

필요로 하는 변압기 출력 전압이 5V라고 가정해보자. f 가 낮을수록 동일한 5V를 얻기 위해서는 나머지 $N * A * B$ 값이 커져야 한다. 이로 인해 변압기 크기와 무게가 커지는 것이다.

반면, 주파수가 높아지면 동일한 5V를 얻기 위해 $N * A * B$ 값을 줄일 수 있어, 변압기의 크기와 무게가 작아진다.



II. SMPS 회로

220V AC 전원을 9V DC 전원으로 변환하는 SMPS 회로이다. PCB 앞면과 뒷면에 주요 소자들을 표시해 두었는데, 아래 SMPS 블록 다이어그램 및 동작 원리 내용과 함께 이 회로를 비교해보면 이해가 더욱 쉬워질 것이다.

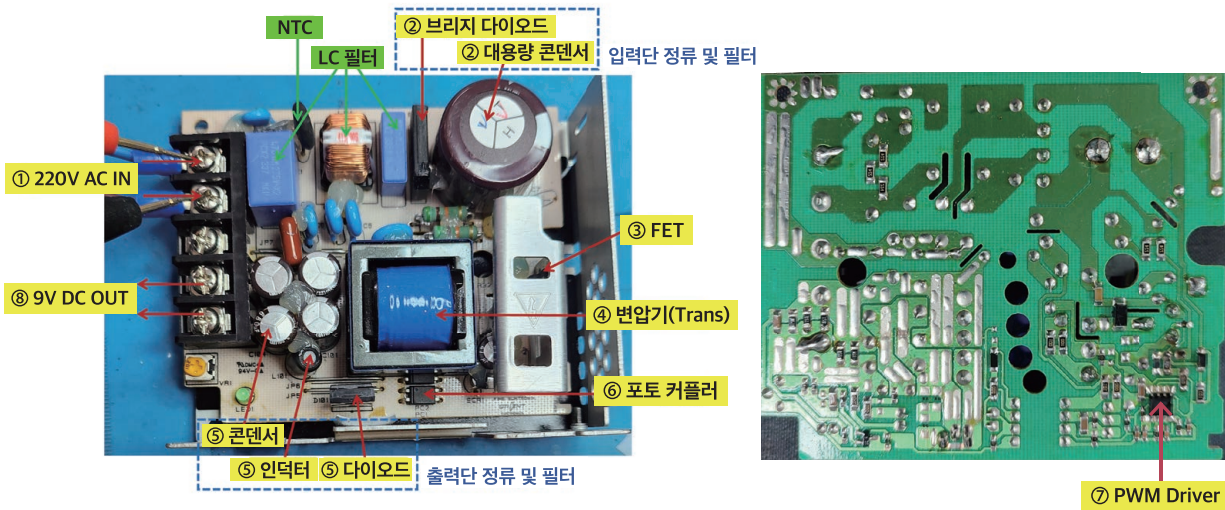


그림 1. SMPS(220V AC → 9V DC) PCB 앞면, 뒷면

III. SMPS 블록 다이어그램 및 동작 원리

㉠ 블록 다이어그램

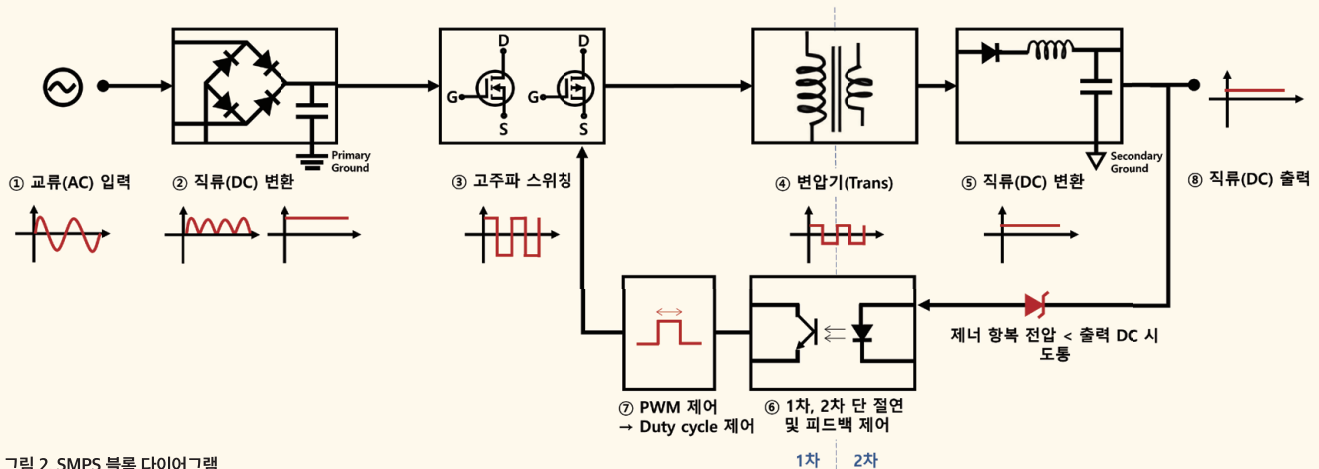


그림 2. SMPS 블록 다이어그램

㉠ 동작 원리

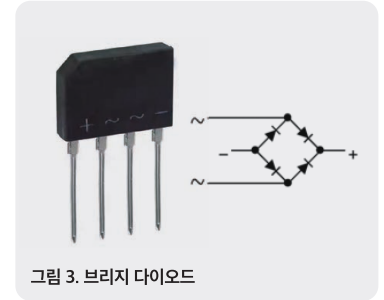
① 220V AC 입력

SMPS는 220V AC 전원을 입력받아 동작을 시작한다.

② 브리지 다이오드 및 대용량 콘덴서

정류와 평활 과정을 거쳐, 220V AC 신호를 311V DC 신호로 변환하는 과정이다. 여기서 220V AC는 RMS 신호이므로, $200 \times \sqrt{2} \approx 311V$ (이론적인 피크 값)이 출력되지만, 실제로는 다이오드 전압 강하 등의 손실로 인해 약 300V 정도의 값이 출력된다.

- **브리지 다이오드** : AC를 DC로 변환하는 정류 역할을 한다.
브리지 다이오드를 통과한 DC 신호는 맥동(음의 사이클이 반전되어 양의 사이클로 전환된 신호)의 형태이다.
- **대용량 콘덴서** : 정류된 DC 신호의 리플을 제거하여 더 평활한 DC 신호로 만들어 준다. 참고로, 콘덴서의 정격 전압은 정류된 DC 전압보다 충분히 높아야 하므로, 최소 311V 이상은 되어야 한다.



③ FET(전계 효과 트랜지스터)

300V DC 신호는 FET를 통해 300V 고주파 AC 신호로 변환된다.

- **구성** : FET는 Gate(G), Drain(D), Source(S) 세 개의 단자로 이루어져 있다.
- **동작** : 1) Gate에 전압이 인가되면 Drain과 Source 사이에 전류가 흐른다.
2) Gate에 전압이 제거되면 Drain과 Source 사이에 전류가 차단된다.

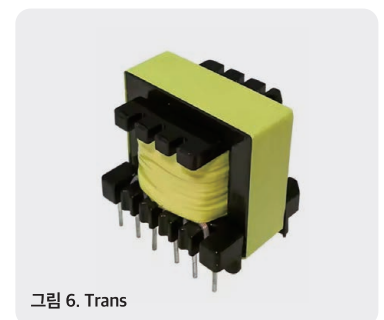


이렇듯 Gate에 전압을 매우 빠르게 인가하고 차단하는 고속 스위칭 과정을 통해, AC 신호가 생성된다. 이 AC 신호는 변압기로 전달된다.

④ 변압기(Trans)

고전압 AC 신호를 낮은 전압의 AC 신호로 변환해주는 과정이다.

- **동작** : 전자기 유도 원리에 따라, 1차 코일에 전류가 흐르면 자기장이 발생하고, 그 자기장이 2차 코일에 전류를 유도한다. 즉, 1차 코일에 인가된 약 300V의 AC 신호를 권선비에 따라 2차 코일에 원하는 전압의 AC 신호로 변환한다.
- **특징** : 변압기는 AC 신호만 처리할 수 있다. DC 신호는 일정한 전류만 공급하므로 자기장의 변화를 일으키지 않아 2차 코일에 전류를 유도할 수 없기 때문이다. 따라서 ⑤ FET 고속 스위칭 과정을 통해, DC 신호를 고주파 AC 신호로 변환한 후 변압기에 전달하는 과정을 거친 것이다.



⑤ 다이오드 및 콘덴서, 인덕터

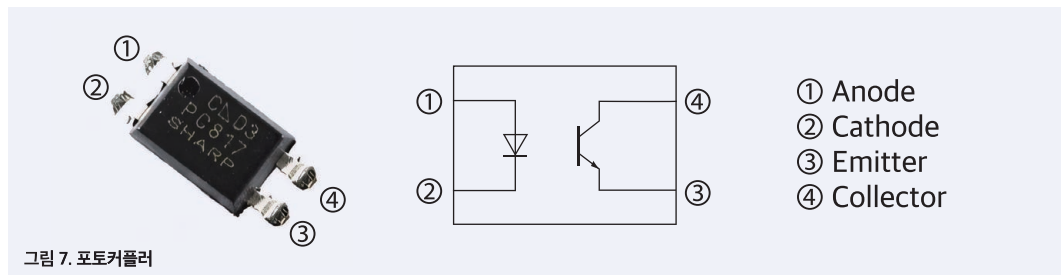
- **다이오드** : 변압기에서 출력된 낮은 전압의 AC 신호를 정류하여 맥동 형태의 DC로 변환한다. 보통 다이오드 2개로 전파 정류를 한다.
- **콘덴서와 인덕터** : 정류된 DC 전압의 리플을 제거하고, 최종적으로 필요한 안정적인 DC 전압을 출력하는 과정이다. 콘덴서는 리플을 제거해주고, 인덕터는 고주파 성분을 억제하여 평활한 DC 전압을 출력한다.

⑥ 포토커플러

광학 신호를 통해 변압기 1차 측과 2차 측을 전기적으로 안전하게 절연하고, 피드백을 통해 안정적인 출력 전압을 유지하도록 돕는다.

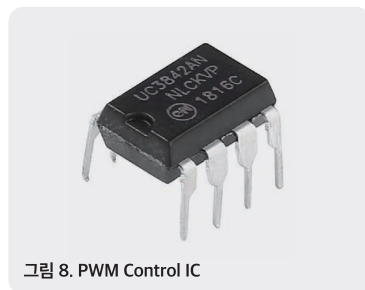
- **구성** : 발광다이오드(LED)와 포토트랜지스터(TR)로 이루어져 있다.
- **동작** : 1) **출력 전압 변화 감지** : 설계에 따라 회로는 달라질 수 있지만, 포토커플러의 LED 부분(2차 측)이 제너 다이오드와 연결되어 있는 경우를 예로 들겠다. 만약 출력 전압이 제너 항복 전압 이상으로 올라간다면, 제너 다이오드는 도통한다.
2) **피드백 신호 전달** : 제너 다이오드가 도통하면 포토커플러의 LED가 발광하고, 그 빛을 받은 포토트랜지스터(TR, 1차 측)가 활성화된다.
즉, TR의 Collector와 Emitter 사이에 전류가 흐르게 되면서 피드백 신호를 1차 측의 ⑦ PWM Driver로 전달하게 된다.

다시 말해, 출력 전압의 변화를 감지하고 그 정보를 다시 1차 측으로 전달해 ③ 스위칭 소자(FET)의 동작을 제어함으로써 ⑧ 출력 전압을 일정하게 유지시키는 원리이다.



⑦ PWM(Pulse Width Modulation, 펄스폭 변조) Driver

PWM Driver는 포토커플러로부터 피드백 신호를 받게 되면 (출력 전압에 변화가 감지되면), 이 정보를 바탕으로 스위칭 소자(FET)의 On, Off 시간을 조절한다. 즉, 스위칭 소자(FET)의 펄스폭 변조(PWM)를 제어하는 것이다. 출력 전압이 높으면, Duty Cycle(스위칭이 이루어지는 동안의 펄스폭, 스위칭 소자가 켜진 상태의 비율)을 줄여 전압을 낮추고, 출력 전압이 낮으면 Duty Cycle을 늘려 전압을 높이는 방식이다.



⑧ DC 출력

☞ 부가 회로

LC 필터

잡음을 제거하여 전원 공급의 안정성을 높이기 위해 사용한다. 고주파 스위칭에서 발생하는 노이즈로 인해 전자파 간섭(EMI, Electro Magnetic Interference)이 발생할 수 있는데, 이 문제를 해결하기 위해 EMI 필터를 달아준다. EMI 필터는 보통 인덕터(L)와 캐패시터(C)로 구성된다.

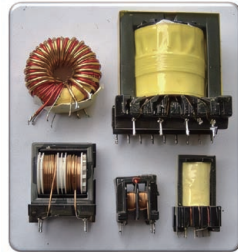


그림 9. 코일, 인덕터(L)



그림 10. X Capacitor, Y Capacitor

NTC(Negative Temperature Coefficient, 부성 온도 계수 저항)

높은 피크를 갖는 돌입 전류를 제한하기 위해 사용한다. NTC는 온도가 높아지면 저항이 커지는 성질이 있기 때문에, 회로에 흐르는 전류를 줄이거나 차단할 수 있다. 퓨즈와 비슷한 보호 기능의 역할을 하지만, NTC는 온도가 다시 낮아지면 저항이 줄어들어 정상적인 전류로 회복이 가능하다는 점에서 다소 차이가 있다.



그림 11. NTC

바리스터(Varistor)

낙뢰 등 순간적인 과전압(서지 전압)이 들어왔을 때 회로를 보호한다. 바리스터는 평소 매우 높은 저항을 유지하여 전류가 거의 흐르지 않지만, 과전압이 들어오면 저항이 급격히 낮아지며 전류를 접지로 흘려보내는 등 과전압을 흡수하는 원리로 작동한다. 전원이 들어오지 않는 경우, 퓨즈 확인과 더불어 바리스터 상태도 확인해봐야 한다.



그림 12. Varistor

IV. SMPS 점검 방법

SMPS는 내부 부품이 많아 고장 원인이 다양하다. 지금부터 간단한 점검 방법에 대해 설명하겠다.

☞ 육안 점검

콘덴서가 부풀어있는 경우

과전압이 흐르면 콘덴서 내부가 과열되어 전해액이 증발하고, 이 과정에서 가스가 발생해 콘덴서가 부풀어 오른다. 또한, 노후되어 성능이 저하된 콘덴서에서도 이 현상이 발생할 수 있다. SMPS 주요 고장 원인 중 하나가 콘덴서 불량인데, 동일 규격의 새 콘덴서로 교체하면 쉽게 해결할 수 있다.

납땜 불량

육안으로 기판을 확인했을 때 부품이 느슨하게 흔들리거나 제대로 고정되지 않으면 납땜 불량일 가능성이 높다. 이러한 경우, 다시 납땜 작업을 해야 한다.

계측기를 활용한 점검

소자의 상태를 점검할 때 주로 멀티미터와 LCR 미터를 사용한다. 그리고 신호 파형을 직관적으로 확인하고자 할 때는 오실로스코프를 활용한다. 아래는 주요 소자들을 계측기로 점검하는 방법이다.

멀티미터

회로 연결 상태를 확인하거나, 저항($R[\Omega]$), 다이오드, FET, 포토커플러 등을 측정할 때 사용한다. 전압 혹은 전류의 값을 간단히 측정할 때도 유용하다. 각 모드에 따른 측정 방법을 정리하자면 다음과 같다.

- **도통 모드** : 회로가 열려(open)있는지 닫혀(closed)있는지를 확인하는 모드로, 소자 간 연결 상태를 측정할 때 사용한다. 두 지점이 연결되어 있으면 멀티미터에서 ‘삐-’ 소리가 난다.
- **전압 모드** : 전압을 측정하고자 할 때 사용한다. 교류(AC)와 직류(DC) 측정 모드가 각각 따로 있으며, DC 전압을 측정할 때는 (+)와 (-) 극성에 주의해야 한다.



그림 13. 멀티미터

예) 220V AC 입력, 24V DC 출력인 SMPS



그림 14. 입력 전원 측정(220V AC)

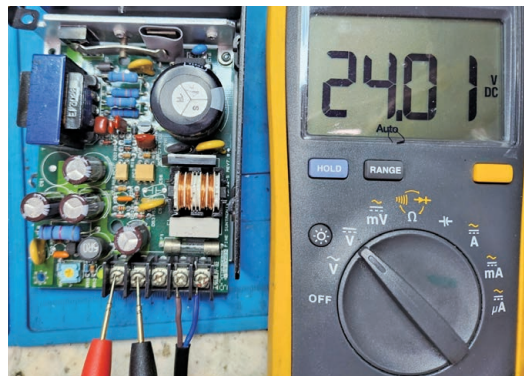


그림 15. 출력 전원 측정(24V DC)

- **다이오드 모드** : 다이오드는 순방향으로만 전류가 흐르고, 역방향에서는 전류가 흐르지 않는다. 정상인 경우 순방향으로 연결하면 순방향 전압 강하 값(데이터시트 확인)이 표시되고, 역방향으로 연결하면 OL(Over Limit) 또는 무한대 표시가 나타난다. 순방향 측정 시, (+) 프로브를 다이오드의 Anode(+)에 (+) 프로브를 연결하고, Cathode(-)에 (-) 프로브를 연결하여 측정한다. 역방향은 그 반대이다.

이 모드로 측정하는 대표적인 소자는 아래와 같다.

▶ 다이오드

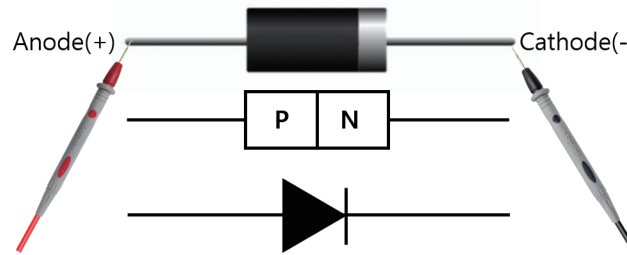


그림 16. Diode 순방향 측정

▶ FET(전계 효과 트랜지스터)

FET는 Gate(G)는 Drain(D), Source(S)와 절연되어 전류가 통하지 않고, Drain(D)과 Source(S)는 내부 다이오드로 연결되어 있다.

☑ N-Channel MOSFET

Drain에 (-) 프로브를, Source에 (+) 프로브를 대어 측정한다. 정상인 경우 순방향에서는 순방향 전압 강하 값(데이터시트 확인)이 표시되고, 역방향으로 연결하면 OL 또는 무한대가 나타난다.

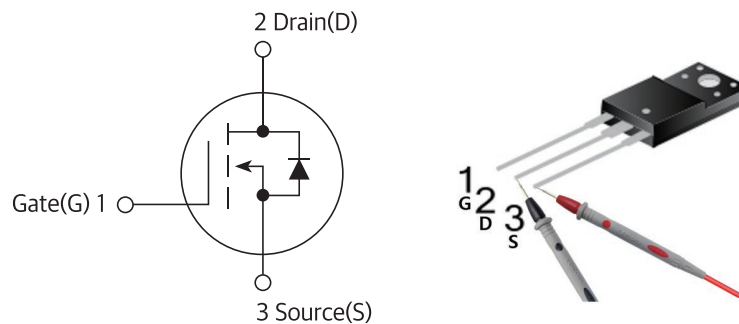


그림 17. N-Channel MOSFET 순방향 측정

☑ P-Channel MOSFET

Drain에 (+) 프로브를, Source에 (-) 프로브를 대어 측정한다. 정상인 경우 순방향에서는 순방향 전압 강하 값(데이터시트 확인)이 표시되고, 역방향으로 연결하면 OL 또는 무한대가 나타난다.



그림 18. P-Channel MOSFET 순방향 측정

LCR 미터

임피던스를 측정하는 측정기이다. 주로 L[H], C[F] 값을 보다 정확하게 측정하기 위해 사용한다.

• C

- 1) 콘덴서를 기판에서 분리한 후(납땜을 제거) 콘덴서의 (-), (+) 방향을 고려하여 LCR 미터로 측정한다.
- 2) 용량 : 제조사에서 제공하는 용량과 측정된 용량 값을 비교한다.
- 3) 위상각 : 이상적인 콘덴서는 전압이 전류보다 90° 뒤쳐지는 특성을 가지므로, 위상각이 -90° 에 가까워야 한다.



그림 19. LCR 미터



그림 20. 콘덴서 측정

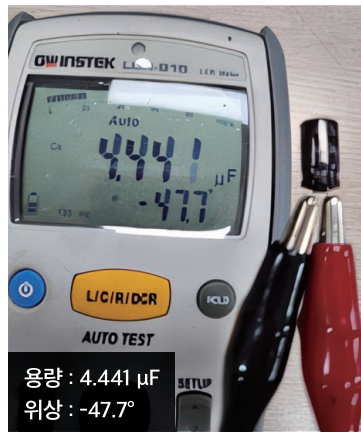


그림 21. 불량 콘덴서(10μF)



그림 22. 정상 콘덴서(10μF)

• L

- 1) 기판에서 납땜을 제거한 후 인덕터 양 단을 LCR 미터로 측정한다.
- 2) 인덕터는 코일이 감겨 있는 구조로, 과전류가 흘러 코일이 끊어지지 않는 이상 불량일 확률이 낮다.
- 3) 인덕턴스 : 제조사에서 제공하는 인덕턴스 값과 비교한다.
- 4) 위상각 : 이상적인 인덕터는 전압이 전류보다 90° 앞서는 특성을 가지므로, 위상이 $+90^\circ$ 에 가까워야 한다.



그림 23. 정상 인덕터(1:1 Trans, 20.1mH)



2차 단
인덕턴스 : 20.1mH 위상 : 85.8°

오실로스코프

신호의 파형을 직관적으로 확인할 수 있는 계측기이다. 예를 들어, 오실로스코프를 이용해 PWM IC를 점검해본다고 가정해보자. PWM IC는 스위칭 소자(FET)의 Gate에 주기적인 펄스 신호를 인가하여 스위칭을 제어하는 역할을 한다. 따라서 PWM IC의 Output 포트에 오실로스코프의 프로브를 연결했을 때, FET의 Gate로 전달되는 주기적인 펄스 신호가 확인된다면 이 IC는 정상 동작하는 것이다. 이렇듯 오실로스코프는 회로에서 발생하는 전압 변화를 시간에 따라 시각적으로 확인하여 신호의 이상 여부를 분석하고자 할 때 매우 유용하다.

V. 마치며

사실 이 글을 작성하게 된 계기는, 그동안 방송과기술 잡지를 꾸준히 구독하면서 SMPS에 대한 내용을 찾아보기 어려웠기 때문이다.

입사한 지 이제 2년 차가 되었는데, 짧으면 짧고 길면 긴 기간 동안 SMPS는 실무에 굉장히 중요한 부분을 차지했다. 오래된 방송장비들이 하나둘씩 고장이 나기 시작하면서 자체 정비가 필요한 장비들은 점점 늘어났다. 마이크 프리앰프 전원단, 모니터 전원단, DTV 중계기 Amp 전원단 등 수많은 SMPS를 정비하며 죽은 장비를 되살리시는 선배님 곁에서 많이 배울 수 있었다. 그리고 배운 내용을 방송기술 엔지니어분들께 공유하여, 실무에 조금이나마 도움이 되기를 바라는 마음으로 본 글을 작성하게 되었다.

어쩌면 조금은 레거시한 내용일 수도 있겠지만, 안정적인 방송 서비스를 제공할 의무가 있는 엔지니어로서 고장 난 장비를 유지보수하고 방송을 빠르게 정상화시키는 것은 중요한 부분이라고 생각한다. 이 글이 누군가에게 작은 해결의 실마리가 되기를 바란다. 🙏

