

전자식 안정기에 사용되는 주요부품 <다이오드, 트랜지스터, PCB, 저항>

조 석 근 <금호전기기술연구소 과장>

박 해 광 <금호전기기술연구소 과장>

전자회로의 스위칭 소자로 전자안정기에 사용되는 대표적인 소자는 DIODE, TR, OPAMP 등으로 사용되는 회로 각부에 따라 요구되는 동작특성의 세심한 검토가 요구된다.

1. 다이오드

다이오드는 용도에 따라 정류용, 스위칭용, 검파용으로 분류할 수 있으며 다이오드형명의 분류는 EIAJ 등록품종이나, 각 메이커의 독자적 형명, 또는 해외 규격에 근거한 형명이 붙여진다. 다음은 EIAJ등록의 다이오드 분류표이다.

표 1. EIAJ등록 다이오드 분류표

접두	분 류
1SE	TUNNEL DIODE
1SE	GUNN DIODE, 소신호용 DIODE(SWITCHING, 검파, SCHOTTKY DIODE)
ISR	정류 DIODE
IST	AVALENCH DIODE
1SV	VARICAP
1SZ	ZENER DIODE
1S	DIODE

정류용 다이오드는 사용시 교류전원에서 3배의 Margin을 취하고 역전압에 따라 내전압에 주의해야

한다.

안정기 스위칭소자의 0[V] Crossing 동작에서는 스위칭소자의 턴-온 바로 직전에 역병렬로 접속된 다이오드가 먼저 턴-온 되어 스위칭양단전압이 0이 되어 스위칭소자가 0[V]스위칭이 되므로 턴-온 손실이 없도록 한다. 이때, 사용되는 다이오드를 일반 정류 다이오드로 사용했을 때 다이오드의 역방향 회복시간 t_{rr} 동안 순간적인 Capacitor로 동작하게 되어 다이오드자체의 발열을 유발하므로 다이오드의 턴-온/오프 동작시 내부 축적 Carrier가 작도록 설계된 Fast Recovery Diode(이하 FR diode)를 사용해야 된다.

Schottky diode의 경우는 FR diode보다 고속의 턴-온/오프 동작을 하도록 금, 백금 등을 불순물 소재로 사용하였고 내전압이 작은 관계로 고속으로 동작하는 20~30V의 스위칭부에 주로 사용되고 있다. Zener diode는 안정기의 스위칭 소자를 MOSFET로 사용했을 때 FET 구동단인 Gate단의 전압을 일정하게 유지함으로써 FET 채널 폭을 조절하여 I_D 의 과도한 증가를 제어함으로써 FET를 보호하는 동작을 부터 전압이 급격히 저하하는 수[μ s] 또는 그 이하의 level에 따라 결정되며 FET의 턴-온/오프 동작시 중요한 요소로 안정기 회로 설계시 고려해야될 주요한 항목이다.

2. 트랜지스터

전자안정기용 스위칭소자로 사용되는 Power Transistor는 주로 Bipolar Junction TR, FET, IGBT 등이 사용되고 있다.

스위칭 주파수에 따른 TR의 EIAJ 형명 분류를 다음표로 나타냈다.

표 2. EIAJ등록 TR 분류표

	접두	분 류	비 고	
BJT	2SA	PNP TR	5039	고주파용
	2SB	PNP TR	5022	저주파용
	2SC	NPN TR	BUL46	고주파용
	2SD	NPN TR	BUL730	저주파용
FET	2SJ	P Channel FET	싱글 게이트용	
	2SK	N Channel FET	싱글 게이트용	
	3SJ	P Channel FET	듀얼 게이트용	
	3SK	N Channel FET	듀얼 게이트용	

다이오드와 마찬가지로 각 메이커의 형명이나 해외규격에 근거해서 형명이 붙여진다. BJT의 경우 고주파용과 저주파용을 구분하는 기준은 천이주파수 f_T 에 따르나 확실하게 구분하지는 않는다. f_T 란 Emitter 접지 증폭률(h_{FE})가 1이 되는 주파수로 TR의 사용주파수의 5배 이상의 f_T 를 가지면 고주파용이라 할 수 있다. 또한 직류전류 증폭률[h_{FE}]에 따라 전력용과 소신호용으로 구분하기도 한다. 일반적인 전력용 TR의 경우 h_{FE} 값이 30~50 정도의 것이 사용되는데 국내에서 일반적으로 사용된 예는 S社의 C5039, C5022, ST社의 BUV46, BUL730, M社의 BUL50 등으로 Package 형태는 TO-220으로 부착 탭이 수지로 완전 몰드된 것과 일반 방열판 형태로 된 것이 사용되고 있다.

BJT를 스위칭 소자로 사용했을 경우 주의해야 할 점을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, TR의 동작범위에 제한이 있다(TR의 동작점이 안정적인 동작점 영역내에 있어야 한다). 즉 이 말은 TR의 규격표에 제시된 최대전압 V_{max} , 최대전류 I_{Cmax} , 최대전력 P_{Dmax} 정격을 넘으면 소자가 손상될 위험이 있다는 뜻이다. 둘

째, 최대전압은 콜렉터 접합의 전압항복을 피하기 위해 보통 항복전압의 반 이하로 정해야 한다(그림에서 D 부분). 셋째, TR의 전류가 접합면에서 균일하게 흐르지 않고 국부적으로 집중되는 것을 피해야 한다(그림의 B 부분). 넷째 최대전력은 TR에서의 전력소비로 인한 접합의 온도상승이 허용치 이상으로 되는 것을 피하기 위해 제한(그림 C 부분)해야 한다.

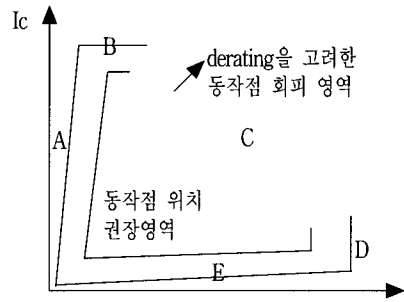


그림 1. BJT의 안전동작 영역

TR에서 전류가 흐를 때 콜렉터 접합에서 전압강하가 가장 크고 이곳에서 소비전력은 $P_D = V_{CE} \times I_C$ 로 정의된다. TR의 접합부 온도상승의 주원인으로 열폭주라고 하며 TR이 콜렉터 방열판 접합구조를 갖는 이유가 여기에 있다. 그리고 또 한가지 주의해야 할 점은 BJT를 대전력증폭기, 유도성 부하를 가진 회로에 사용할 경우 최대정격 이내에서 회로를 구성, 동작시킴에도 불구하고 TR의 열화, 파괴가 되는 일이 발생하는데 이 원인은 TR이 주위온도, 또는 베이스 바이어스 조건의 변화로 1차 항복이 발생한 후 전류(I_C)가 증가하여 전압 전류점(V_{SB} , I_{SB})에 달하면 콜렉터-에미터 전압이 급격히 저하하는 수[μS] 또는 그 이하의 저 임피던스 영역으로 TR의 동작점이 옮겨져 TR이 Break down을 일으키게 된다. 이러한 현상은 에미터-베이스간의 바이어스가 순방향, 역방향 모두에서 관찰되며 V_{CEO} , V_{CBO} 에서도 관찰된다. 따라서 BJT를 파워스위치로 사용할 경우 예상되는 최고 주위온도를 고려하여 허용 소비전력을 정하고 베이스 바이어스 조건에 따라 2차항복 돌입점(V_{SB} , I_{SB})이 달라지므로 바이어스 조건을 고려해야 한다. Data Book에는 Safe

Operating Area(SOA)라 하여 2차항복을 고려한 높은 신뢰도로 사용가능한 안전동작영역을 제시하고 있으므로 회로설계시 사전에 고려하여야 한다.

FET를 스위칭소자로 사용했을 경우 가장 큰 장점의 하나는 BJT에서처럼 열폭주가 없고 온도에 따라 거의 변하지 않는 동작점이 존재하므로 회로에서 동작시 열적특성이 우수하다는 것이다. 또한 FET 채널에 흐르는 전류 Carrier가 전자 또는 Hole만 흐르는 Unipolar 소자이기 때문에 BJT 보다 높은 주파수에서 스위칭을 하므로 안정기 회로의 효율을 높일 수 있다. 하지만 Gate에 전압을 인가하여 소자를 구동하므로 Gate의 SiO₂층에 순간적인 써지전압 인가에 의한 파손을 막기위해 Gate에 보호회로를 필요로 한다. 그리고 FET 스위칭 동작의 중요한 요소로는 채널 ON 저항과 V_{GS}의 전압 Level이 있다. 채널의 ON저항은 규정온도에서 최대전력손실 P_D를 넘지 않고 흘릴 수 있는 전류량을 제한하기 때문에 소자의 안정적 동작을 결정하는 중요한 요소다. ON저항은 게이트-소오스전압 V_{GS}에 의존하는 영역이 있고 ON저항을 최소로 하는데는 출력특성에서 동작영역이 저항영역이 되도록 게이트-소오스전압 V_{GS}를 일정전압 이상으로 해야하고 불필요하게 높은전압으로 구동하면 입력용량에 C_{iss}에 대해 과충전되어 OFF 시간이 길어진다. ON저항은 특히 온도에 대해 지수함수적으로 증가한다. MOSFET는 항복전압이 크면 ON저항이 크기 때문에 항복전압을 넘어 큰 전류를 흘리면 소자가 발열하여 파손되므로 주의하여야 한다. 항복전압은 V_{DSS}(드레인-소오스간 전압)에 대해 +10%의 내량 밖에 없으므로 유념하여야 한다. V_{GS}를 낮게 설계하면 포화특성이나 스위칭 시간이 단축된다. V_{GS}가 너무 낮을 경우 Noise 내성이 낮아져 오동작의 원인이 되기도 한다. 따라서 파워 MOSFET 스위칭 특성은 게이트 전압에 의해 제어되고 게이트전압의 상승, 하강 속도는 용량에 대한 충전 전 시상수에 의존한다. 저 임피던스로 구동하면 고속 스위칭이 가능하고 R_g를 1/2로 하면 스위칭 속도는 약 3배가 된다. 이러한 스위칭 동작시 BJT보다 우수한 열적동작특성과 주

파수동작특성을 가진 FET는 양산시 고른 특성을 얻기 어려워 가격이 다소 비싼 단점이 있었으나 안정기용으로 보급 확대와 양산기술의 진보로 점차 사용량이 증가하고 있다. 국내에서 사용되는 대표적인 MOSFET로는 IRF730, IRF830, 2N50, 2N52, 2SK2679 등으로 TO-220 Package가 사용되고 있으나 IRF420, IRF224, IRF310 등 소형화된 I-Package(TO-251)도 점차 사용이 증가하는 추세다.

3. PCB

전자회로의 구성에서 가장 기본적이면서 제품 전체의 안전도와 신뢰성을 좌우하는 부품이 바로 PCB(Printed Circuit Board)다. PCB는 제조에 사용되는 수지의 종류와 특성, 함유성분에 따라 미국의 ANSI에서 FR-1, FR-2, FR-3, FR-4, CEM-1, CEM-2, CEM-3, XPC Grade 등으로 분류하고 있으며 이에따라 PCB 원판 생산업체에서는 카달로그에 PCB grade를 표시하고 있다. PCB가 안정기에 탑재 되었을때의 안전도 확보를 위해 UL에서는 UL935 형 광램프용 전자식안정기 안전규격서 내에서 PCB의 grade별 수지에 대한 적용 UL규격번호와 요건을 규정하고 있는데 그 내용을 요약해보면 표 3과 같다.

표 3. UL규격번호 및 요건

규격번호	요건
UL94	PCB 수지에 대한 난연성
UL746A	PCB 수지에 대한 전기적 특성
UL746B	PCB 수지에 대한 열적 안정성 : Thermal Index (RTI로 표시)
D-495	PCB 수지에 대한 전기적 특성(ASTM 규격으로 UL에서 인용)

4. Major Properties

UL에서 규정한 PCB의 수지에 대한 UL승인 시험 항목별 결과를 수록한 Card를 Yellow Card라 하며 다음 표 4와 같이 Card에 수록하고 있다.

표 4. UL의 YELLOW CARD상의 특성표(Major Properties 주요특성)

Description	Product Designation	ANSI	Min Thk (mm)	Temp. Index		HWI	UL94 Flame Class	HAI	HVTR	D-495	CTI
				Elec	Mech						
Industrial Laminate	DS-1107	FR-1	0.71	130	130	256	94V-0	200+	9.0	-	-
			1.45			300+		200+	9.0	-	-
			3.18			300+		200+	7.0	77	225
	DS-1107A	FR-1	0.71	130	130	256	94V-0	200+	9.0	-	-
			1.45			300+		200+	9.0	-	-
			3.18			300+		200+	7.0	77	600
	DS-1125	XPC	0.71	130	130	48	94HB	142	0	-	-
			1.45			97		200+	0	-	-
			3.18			97		200+	0	68	130
	DS-1202	FR-2	0.71	75	75	300+	94V-0	200+	12.0	-	-
			1.45	105	105	300+		200+	15.0	-	-
			3.18	105	105	300+		200+	15.0	68	600
	DS-1114B	-	0.74	115	115	234	94V-1	14+	5.8	-	-
			1.63			300+		36	3.8	-	500
	DS-1118	-	0.79	110	110	75	94V-1	23	7.9	-	-
			1.57			300+		40	6.7	126	135

1) Min Thk : 시험 시편의 두께
UL94, 746A, D-495에서 요구조건

2) UL94V(Vertical Burning Test)

시편을 수직으로 세워 시험하며 난연등급 정도에 따라 94V-2, 94V-1, 94V-0 등으로 나뉜다.

3) Thermal Index(RTI)

UL746B에서 규정하는 수지의 물성유지 정도를 표시하며 60,000Hrs 동안 동일조건에 노출되었을 때 물성변화가 50% 이내로 발생하는 최대온도치를 나타내며, TI가 100일 경우 100℃에서 60,000Hrs 동안 노출시켰을 때 물성변화가 50% 이내임을 나타낸다.

RTI는 3가지 부항목이 있는데 보기와 같이 UL Cadr상에 표기되어 있다.

보기 예)	RTI	
	Elec	Mech
		With imp W/O imp
130	110	120

Elec 밑의 숫자는 전기적 특성이 유지되는 온도를 말하며 Elec 130이면 시편을 60,000Hrs 동안 130℃에서 노출시켰을 때 전기적 특성이 50% 이내로 저하됨을 의미한다. Mech 항목에서 With imp는 표시된 온도에서 60,000Hrs동안 노출시켰을 때 충격강도를 포함한 물성을 나타내며 W/O imp는 충격강도를 제외한 기계적 물성이 50% 이상 유지되는 온도를 말한다.

4) UL746A 항목

(1) HWI(Hot Wire Ignition)

시편에 일정간격의 와이어를 감고 전류를 통해 시편이 변화할 때 까지의 시간을 측정하여 등급구분을 하는데 0등급부터 5등급까지 표시하며 측정단위는 [Sec]이다.

(2) HAI(High Current Arc Ignition)

40~20 Arc 사이의 전극수를 올려감에 따라 시편이 발화할때의 Arc수를 의미하며 Arc수가 많을수록 좋다.

(3) HVTR(High Voltage Arc Tracking Rate Index)

고전압 Arc에 의한 시편의 탄화 속도를 의미하며 0등급부터 5등급으로 구분하고 있다.

(4) CTI(Comparative Tracking Index)

전해질 용액을 시편 표면에 물린 두전극 사이에 30초 간격으로 50방울씩 떨어뜨려 탄화가 발생하지 않을때의 두전극에 인가된 전압을 의미하며 600V 이상을 1등급으로 하여 4등급으로 분류하고 있고 level 등급이 낮을수록 유리하다.

5) D-495

ASTM규격이나 UL에서 측정하는 항목으로 높은 전압과 저전류 Arc를 인가한 시편의 두전극 사이에 Conductive Path(탄화자극)이 생기기까지의 시간을 말하며 측정단위는 초[Sec]이다. 0등급부터 7등급까지 8개 등급으로 구분하여 등급이 낮을수록 자국발생 소요시간이 길어진다.

위와같이 PCB 원판 업체에서 제시한 카탈로그상의 ANSI grade와 UL 인증취득에 따른 Yellow card 상의 승인등급을 참조하여 안전도를 고려한(UL규정에 따른) PCB 설계법의 한 예를보면 가장 먼저 PCB의 인접 foil trace(패턴 동박면)간의 전위차를 측정할 Vrms값이나 peak값에 따라 UL935에서 규정한 foil trace 간격을 찾아내고, PCB의 규정 foil trace 간격을 만족할 수 없는 상황인 때는 PCB를 conformal coating할 경우의 최소 foil trace 간격을 만족시키든지 아니면 UL840의 규정에 따라 PCB 수지의 CTI level과 foil trace간의 전위차 그리고 그 PCB를 탑재할 제품의 환경오염등급에 따라 foil trace 간격을 정하면 된다. 이와같이 PCB의 열적, 전기적 안전도에 따른 PCB 설계를 할 때 안정기 자체의 신뢰성과 안전이 확보될 것이다. 또한 입력전원 단자잡음(Conducting Noise)의 저감을 위해 입력전원부와 안정기 스위칭부 및 트랜스코어부의 근접을 회피한 설계 검토가 요구된다.

5. 저항

저항은 전자안정기에 사용되는 가장 기본적인 소자로 안정기 회로 각부에서 요구되는 특성에 맞는 것을 선택하지 않으면 안된다. 저항의 종류는 제조시 사용된 주 재료에 따라 탄소피막, 금속피막, 산화금속피막, 탄소계 혼합체, 금속계 혼합체, 저항선 등으로 분류하며 저항값의 정밀도, 온도계수 정격전력, 최대사용전압, 주파수특성 등이 달라진다.

전자안정기 뿐만 아니라 전자회로에서 폭넓게 사용되는 저항으로는 탄소피막저항, 금속피막저항, 권선저항으로 대별되며, 범용적으로 사용되고 있고, 가격도 저렴하며, 특성이 우수한 탄소피막저항은 $\frac{1}{2}W$, $\frac{1}{4}W$, $\frac{1}{8}W$ 가 주류를 이루고 있으며 그중에서도 $\frac{1}{4}W$ 가 가장 폭넓게 사용되고 있다. 또한 저항의 원재료가 Ni-Cr으로 거의 모든 특성에서 탄소피막저항보다 우수한 금속피막저항은 탄소피막 저항보다 고가이나 제조기술의 진보로 가격차가 좁아지고 있고, 정격전력은 $\frac{1}{8}W$, $\frac{1}{4}W$, $\frac{1}{2}W$, 1W, 2W, 3W정도로 주로 온도특성과 고정밀도가 요구되는 회로, 고주파에서 우수한 노이즈특성이 요구되는 회로에서 사용된다. 대전력용의 저항기는 세라믹등의 심에 금속선을 붙이고 절연처리한 권선저항으로서 절연재의 시방에 따라 명칭을 달리한다. 세라믹케이스에 삽입하고 특수한 시멘트로 충진한 것은 시멘트 저항, 범용으로 봉입한 것은 범량저항, 방열기를 외부에 접속한 메탈클레트저항이 있다.

저항을 사용할 때 충분히 고려해야할 점은 회로의 각부에서 요구되는 저항값의 크기, 편차, 온도특성, 동작주파수에 따른 노이즈특성 등을 고려하여야 한다. 예를들어 MOSFET 게이트단에 사용된 금속피막 저항의 경우는 병렬로 결합된 Capacitor와 함께 시상수를 결정하여 MOSFET 구동 타이밍을 결정하고, FET 게이트단으로 구동 신호 전달시 신호에 혼입된 노이즈의 억제 및 발생을 낮추기 때문에 저항용량 편차 5%내의 것이 권장되며, 고온에서 동작시 탄소

피막저항보다 노이즈 발생이 적기 때문에 사용이 권장된다. 또한 회로와 부품의 정밀도를 유지하기 위해서는 온도변동을 고려해야 하는데 저항의 오차 몇%는 어떤 정해진 온도에서의 편차를 말하며 저항기

자체에 전류가 흐르게 되면 발열하게 되어 저항의 편차 범위는 더욱 넓어지게 된다. 따라서 정밀도가 요구되는 회로의 경우 정격전력보다 여유를 둔 전력용량의 저항을 설정하는 것이 요구된다.

표 5. 저항의 종류

