

전원 장치의 신뢰성 평가와 향상 기법

계 문 호 (桂文浩)

1. 들어가는 말

기술이 진보됨에 따라서 반도체 부품들을 대집적화하고 있으며, 그 부품들로 구성된 전원장치의 소형, 경량화, package화가 진행되고 있고, 또한 이에 대한 사용자의 요구도 따라서 높아가고 있다. 이에 따라서 사용하는 기기와 부품의 축소화, compact화가 필요하게 되었다. 이와 같은 기술의 진보에 부응하여 기존의 전원 장치들은 신뢰도 향상에 대한 노력도 함께 기울여야 할 것이다. 신뢰도 평가를 하게 되면, 장치가 사용되어지는 환경에서 정상적인 동작 중에 고장이 발생하는 기간을 예측하여 나타냄으로써 사용자에게 대한 판단의 근거자료로 사용될 수 있다. 그러나 신뢰도 평가로부터 만족할 만큼의 신뢰도가 안 될 경우 기존의 동작기능을 변경시키지 않으면서 약간의 회로를 추가로 가감하거나, 규격이 정하는 부품의 등급을 규격에 정해진 방법으로 향상시키는 등의 방법으로 장치의 신뢰성을 향상하도록 하는 방법을 적용할 수 있다.

일반적으로 전원장치의 고장은 장치의 신뢰성 부족과 사용자의 사용 경험 미숙 등에 기인하여 발생할 수 있는데, 여하한 경우에도 이같은 고장이 발생하면 사용자측의 손실은 제조자측에 대한 의존도가 높은 만큼 제조자 측에서의 신뢰도 확보가 더욱 요구된다. 특히, 전원장치는 computer system이나 통신 system, 항공기나 미사일 등의 전체 system에 부속되어 동작되므로 전원장치의 고장이 발생할 경우 심리적, 경제적인 문제뿐만 아니라 인명에 관한 위험성, 큰 사회적 책임문제도 나올 수 있어 사용자측과 제조자측 모두에게 제품의 신뢰성은 특별히 확보되어야 할 사항이라고 말할 수 있다.

통상적으로 전원장치는 사용 중에 다음과 같은 경우들이 발생하는 바 이를 요약해보면,

- 전체 system의 확실한 동작과 기능을 유지하여야 하며,
- 제품의 구조와 기능이 복잡하여 경험에 의한 고장 부위의 판단이 곤란하여, 고장 보수에 오랜 시간이 걸리는 경우.
- 사용하고 싶을 때에 정상 동작하지 않는 경우
- 장치 내에서 고장이 자주 나는 부분이 있는 경우

- 장치의 동작 수명이 짧은 경우

등이 있을 수 있다. 따라서 이러한 경우들에 대응하기 위하여 제조사측의 좀더 많은 시간과 노력이 요구된다 하겠다.

〈표 1-1〉은 신뢰성과 관련되어 많이 사용되는 용어들이다. 본 기술 보고에서는 전원장치를 포함하는 전자 장비에 대응하는 MTBF를 중심으로 MIL-HDBK-217F에 의거하여 기술하고자 한다.

〈표 1-1〉 신뢰성의 정의와 용어의 의미

명칭	단위	대응용어	비고
ER	신뢰성 확보	-	Established reliability 제품 및 부품에 표시
FR	고장율	1/(시간)	Failure Rate 1,000,000시간에 발생할 수 있는 평균 고장 발생율
MTBF	평균 고장시간	시간	Mean Time Between Failure 평균 고장 발생 시간
MTTF	고장까지의 평균시간	시간	Mean Time To Failure 유지 보수를 위한 기본 자료

본인이 실제로 수행한 경험을 바탕으로 하여 신뢰성을 평가하는 방법 및 순서를 기술하고, 신뢰성을 향상시키기 위한 기법등을 차례로 설명하고자 한다. 신뢰성 평가시에는 여러가지 종류의 오류가 발생할 수 있는데, 이는 적절하지 못한 입력 데이터와 잘못된 해석 및 software의 사용 미숙 등에 기인하는 경우가 많으므로 경험이 필요하며 또한 많은 시간이 소요된다. 이는 본인도 경험한 바이며, 많은 시행착오와 인내가 요구되는 바 새로이 접근하고자 하는 전원장치 제조사측의 설계 엔지니어들이 이하 기술하는 내용들을 통하여 시간과 노력을 줄이는 데 도움이 되기를 바라며, 또한 신뢰성 평가를 이행함으로써 제조사 및 설계자는 다시 한번 자신들이 만든 장치를 꼼꼼이 생각하고 분석하는 기회를 갖게 되어 내가 만든 전원 장치가 요구되는 환경아래에서 규격에 정해진 만큼 동작한다는 확신을 갖게 될 것으로 사료된다.

본 기술 보고에서는 신뢰성의 평가와 향상 기법에 관하여 다음과 같은 내용으로 순서대로 기술하고자 한다.

1. 신뢰성 평가를 위한 데이터 수집

Thermal Analysis 및 Stress Analysis에 관하여

2. 신뢰성 평가 산출

신뢰성 평가를 위한 Software 및 부품별 요구사항에 관하여

3. 신뢰성 향상을 위한 제언 및 방법

Derating 과 Cost에 관하여

4. 실제 적용 예 및 결론

DC-DC Converter에의 적용 예

2. 신뢰성 평가를 위한 데이터 수집

흔히들 하는 말로 고 신뢰성은 좋은 부품을 사용하면 이루어진다고 하는데, 당연한 말이지만 꼭 그렇지 않다. 장치가 사용되는 환경 조건에 맞추어서 부품을 선택하여야만 장치 가격에도 경쟁력이 있을 것이기 때문이다. 신뢰성과 장치 가격사이에 절충이 요구된다.

신뢰성 평가를 하기 위하여 전자회로를 분석하여야 하므로 전원 장치에 대한 정확한 데이터를 수집하여야 하는데, 먼저 각 부품들의 데이터를 확보한다. 이는 전원장치뿐 아니라 어떠한 전자 장비의 경우에도 적용될 수 있는데, 여러 반도체 부품들이 장치 내에서 전압과 전류, 열 등이 복합된 다양한 스트레스를 받으면서도 부품들이 정격값 범위 내에서 어느 정도의 신뢰성을 유지하는지 계산하고 평가하여 그 각각의 값을 합산하여 전체 장치의 신뢰성으로 평가한다.

그 각각의 부품들이 갖을 수 있는 신뢰도는 MIL-HDBK-217F에서 이미 다양한 여러 가지의 부품 종류별로 분류하여 계산식으로 만들어져 있는 상태로써 많은 파라미터를 갖는다. 부품의 사용 환경 조건에 맞도록 파라미터값들을 입력하므로써 원하는 MTBF를 얻게 된다. 즉 탄소 피막저항, 권선 저항, 전해콘덴서등의 각 부품 종류별로 분류하여 설정하였고, 각각의 신뢰성을 Failure Rate (FR:1,000,000시간 동안에 고장날 확률)로 표시하며, 많은 계산식들과 파라미터들을 계산하기 위하여 Computer Program이 사용된다. Computer는 전원장치가 포함하는 전체 부품들의 FR을 합산하여 그 역수를 취함으로써 MTBF를 구할 수 있다.

장치가 동작하는 환경조건들, 부품들의 등급, 스트레스의 량 등의 파라미터값들에 따라서 MTBF는 달라지는데, 근본적으로 각각의 부품들이 갖는 정격값들에 비하여 실제로 각각의 부품들에 인가되는 전압, 전류 및 열 등의 스트레스에 의하여 계산된다고 말할 수 있다. 예를 들면 각 부품들이 갖는 정격 전압과 장치내에서 인가되는 인가 전압을 비교하면, 그 비율에 따라서 그 부품이 장치를 구성하여 어느 정도의 스트레스를 받으면서 동작하는지를 판단하는 기준이 된다는 것은 지극히 당연한 원리라 할 수 있다. 전류 및 열 등의 항목도 모두 같은 원리로 신뢰성을 평가할 수 있지만 이러한 것들이 복합되어 적용되고, 또한 각 부품의 종류에 따라서 적용하는 항목이 일정하지도 않으므로 간단히 정량화 할 수 없으며, 여기에서 여러 가지 실수와 오류가 발생할 수 있다.

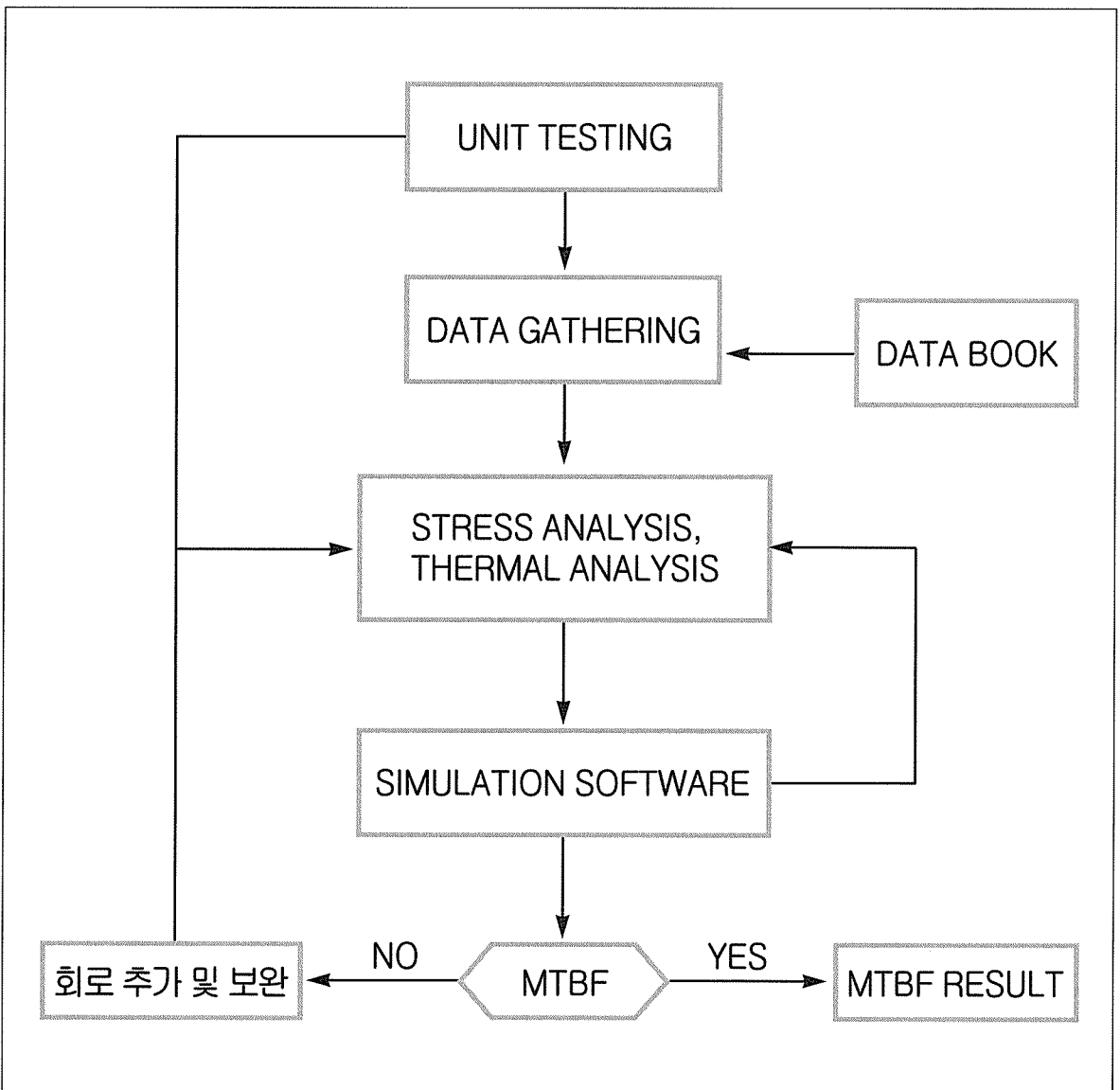
MTBF를 구하기 위한 순서도는 그림 (1-1)에서 보이는 바와 같은데, 장치를 항온조 속에 넣고 장치의 규격이 정하는 온도 범위로 상온, 고온 및 저온에서 장치가 규격에 있는 기능들이 만족하는 것을 확인한다. 장치의 상세 회로도 와 부품데이터들을 확보하여, 각 부품들에 대한 Stress Analysis를 행한다. 장치의 Testing 데이터와 회로도의 해석으로부터 Thermal Analysis를 이행한다. 이러한 Analysis들을 통하여 나



온 데이터들은 컴퓨터 계산을 위한 데이터 입력의 기본적인 자료가 되는데, 이미 MIL-HDBK-217F에 근거한 여러 가지 복잡한 계산식을 몇 개의 Software회사에서 사용자가 사용하기 편리하도록 만들어져 판매되고 있으므로 이러한 Software를 이용하여 장치의 해석 데이터를 입력하여 차례대로 입력하여 넣음으로써 MTBF를 구할 수 있다.

위에서 이미 설명한 바와 같이 본 장에서는 Stress Analysis와 Thermal Analysis에 관하여 그 방법과 절차에 관하여 구체적으로 기술한다

[그림 (1-1) 신뢰성 평가의 순서도]



(1) STRESS ANALYSIS

신뢰성 평가를 위하여 행하여야 할 중요한 항목이며, 장치의 크기와 규모, 부품수 등에 따라서 시간과 노력이 가장 많이 소요되는 항목이다. Stress Analysis를 하면서 함께 Derating 평가를 하여 각 부품들이 어느 정도의 Derating을 유지하고 있는지 확인하며 부족할 경우는 직/병렬 연결을 통하여 만족하도록 한다. Derating 평가는 규격 NAVMAT P-1488에 근거하여 하는데, 제조사측과 사용자측의 협의에 의하여 장치가 사용될 환경에 맞추어서 정하기도 하지만, 각 부품들의 종류별로 Derating이 요구되는 Guide-line을 제시하여 Worst Case Operating인 경우에 대하여 이 Guide-line을 통과하기를 요구하고 있다. 제조사측에서는 비교자료로 활용하기 위하여 Normal Operating인 경우를 Analysis하여 광고를 위한 자료로 활용하기도 한다. 특히, 전원장치에 사용되는 부품들은 여러가지 스트레스가 복합된 상태에서 동작하는 경우가 많으므로 계산에 의거하여, 작성해 가면서, 아울러 실험을 통하여 확인 단계를 거치는 것이 바람직하다.

다음 계산식 (1-1)에서 보이는 바와 같이 각 부품들에 걸리는 Stress 비율은 Stress를 주는 대상이 전기적이던지 또는 열적이던지 부품의 정격에 대하여 그 부품에 실제로 적용되는 값들을 갖고 식 (1-1)로 계산한다.

<식 1-1>

$$\text{Stress (\%)} = 100 \times (\text{Actual Value}) / (\text{Rated Value})$$

Stress Analysis는 식 (1-1)을 회로에 포함된 모든 부품들에 대하여 이행하여 표를 만드는데, 부품들을 Resistor Block, Capacitor Block, Diode Block, Transistor Block, Magnetics Block 등의 그룹별로 나누어서 그 그룹에 속한 부품들을 Stress가 가해지는 전압, 전류 및 열의 항목으로 분류하여 작성하고 각각의 항목에 대한 Stress 비율을 Derating Guideline과 비교하여 통과 여부를 표시하는 Derating 평가를 함께 하도록 한다. 이 Derating 평가를 통하여 설계자는 장치 내에서 취약한 부분 (Weak Point: 고장이 잘 날 수 있는 부분)을 예측할 수 있고 또는 보완하여 신뢰성을 높일 수도 있다.

표<1-2>는 MicroSoft Accel을 이용하여 Stress Analysis를 실제로 이행한 예인데, 이후에 Computer-Program에서 필요로 되는 데이터를 제공할 수 있도록 가능한 한 많은 정보를 담고 있도록 하였다.

예를 들어 저항의 경우 필요한 데이터로는 저항의 종류(권선저항, 탄소 피막저항, 필름저항 등), 전력 스트레스값, 소모 전력 등의 값들이고, 캐패시터의 경우는 캐패시터의 종류(전해, polyester, polycarbonate 등), 전압 스트레스, 전류 스트레스값 등이며, 다이오드는 다이오드의 종류(Low Speed, Fast Speed, Shottkey 등), 전압 스트레스 값, 전류스트레스 값, 소모 전력 값, 온도 상승정보 등이다. 또한 Transistor류는 다이오드와 비슷하며, 이외에 Inductor 및 Transformer류는 종류와 소모 전력, 온도 상승정보가 요구된다.



표<1-2>에서 Resister Block의 No.1은 Power Stress가 너무 크므로 Power Rating이 큰 1w 규모의 Power Resistor를 사용하거나 또는 현재의 1k Resistor를 4k로 바꾸고 병렬로 4개 사용하도록 하면 Power Stress가 90%에서 25%이하로 된다. 또 같은 Resistor Bolck의 No.13은 전압 Stress가 너무 크므로 357k Resistor를 157k 와 200k의 두 값으로 나누어서 직렬 연결하여 사용하면 Stress가 93.5%에서 50%이하로 내려가게 되며, 이와 같은 방법을 적용하여 저항, 캐패시터등의 경우 Derating을 통과할 수 있다. 이하 다른 그룹들에 대한 Derating 관련한 보완 방법은 다음 호에 게재할 Derating 관련된 내용을 참조하기 바란다.

Stress Analysis를 이행하여 생기는 기타 부수적인 효과로는 표<1-2>에서 보이는 바와 같이 각각의 부품들의 소비 전력은 80w로써 700w 용량의 장치에서 효율은 88.5%로 계산하게 되므로 장치의 효율을 예측하여 실험값과 비교할 수 있다.

[표1-2]Stress Analysis Sample

WORST CASE STRESS ANALYSIS

MODEL NO: DDC 500
COMPANY NAME & ADDRESS

1. RESISTER BLOCK																FEB. 11. 2002		
No.	Ref No.	Description Part No.	VOLTAGE				CUURRENT				POWER				DERATING			
			Rated	Applied	Stress	Derating	Rated	Applied	Stress	Derating	Rated	Applied	Stress	Derating	P	F	A	
			V	V	%	%	A	A	%	%	W	W	%	%				
1	R1	R, Film, 1K	200	15.0	7.5	80					0.25	0.225	90	50		F		
2	R2	R, Film, 10k	150	5.3	3.5	80					0.10	0.003	2.8	50	P			
3	R3	R, Film, 1K	200	15.0	7.5	80					0.25	0.225	90.0	50		F		
4	R4	R, Film, 10k	150	4.8	3.2	80					0.10	0.002	2.3	50	P			
5	R5	R, Film, 2K	350	120.0	34.3	80					5.00	0.72	14.4	50	P			
6	R6	R, Film, 75k	350	190.0	54.3	80					2.00	0.4813	24.1	50	P			
7	R7	R, Film, 75k	350	190.0	54.3	80					2.00	0.4813	24.1	50	P			
8	R8	R, Film, 2.21K	150	1.5	1.0	80					0.10	0.0002	0.2	50	P			
9	R9	R, Film, 10k	200	18.0	9.0	80					0.25	0.0324	13.0	50	P			
10	R10	R, Film, 274k	200	18.0	9.0	80					0.25	0.0012	0.5	50	P			
11	R11	R, Film, 2.43k	150	5.0	3.3	80					0.10	0.0103	10.3	50	P			
12	R12	R, Film, 10k	150	5.0	3.3	80					0.10	0.0025	2.5	50	P			
13	R13	R, Film, 357k	200	187.0	93.5	80					0.25	0.0933	37.3	50		F		
14	R14	R, Film, 357k	200	187.0	93.5	80					0.25	0.0933	37.3	50		F		
15	R15	R, Film, 200k	200	187.0	93.5	80					0.25	0.1748	69.9	50		F		
SUB TOTAL POWER DISSIPATION(W)											2.5							

2. CAPACITOR BLOCK

No.	Ref No.	Description Part No.	VOLTAGE				CUURRENT				POWER				DERATING			
			Rated V	Applied V	Stress %	Derating %	Rated A	Applied A	Stress %	Derating %	Rated W	Applied W	Stress %	Derating %	P	F	A	
1	C1	C, Electrolytic,1000uF	250	180.0	72.0	70	4.69	1.3	27.72	70							F	
2	C2	C, Electrolytic,1000uF	250	180.0	72.0	70	4.69	1.3	27.72	70							F	
3	C3	C, Ceramic, 68pF	100	8.0	8.0	75											P	
4	C4	C, Electrolytic,1000uF	250	180.0	72.0	70	4.69	1.3	27.72	70							F	
5	C5	C, Ceramic, 0.01uF	50	12.0	24.0	75											P	
6	C6	C, Ceramic, 470pF	100	6.0	6.0	75											P	
7	C7	C, Ceramic, 1uF	50	5.1	10.2	75											P	
8	C8	C, Ceramic, 1uF	50	5.0	10.0	75											P	
9	C9	C, Ceramic, 1uF	50	16.0	32.0	75											P	
10	C10	C, Ceramic, 0.1uF	50	16.0	32.0	75											P	

3. DIODE BLOCK

No.	Ref No.	Description Part No.	VOLTAGE				CUURRENT				POWER				Rth		DERATING		
			Rated V	Applied V	Stress %	Derating %	Rated A	Applied A	Stress %	Derating %	Rated W	Applied W	Stress %	Derating %	J-C C/W	C-A C/W	P	F	A
1	CR1	D, STTA3006	600	500	83.3	75	30	2.63	8.8	70		4.21			1.0	11.9			F
2	CR2	D, STTA806	600	127	21.2	75	8	2.63	32.9	70		3.29			2.2	12.2	P		
3	CR3	D, MURS160	600	500	83.3	75	1	0.10	10.0	70		0.10			13.0	200			F
4	CR4	D, STTA806	600	127	21.2	75	8	2.63	32.9	70		3.29			2.2	12.2	P		
5	CR5	D, 40TPS08	800	500	62.5	65	40	9.00	22.5	70		9.90			0.6	40	P		

SUB TOTAL POWER DISSIPATION(W)

20.78

4. TRANSISTOR BLOCK

No.	Ref No.	Description Part No.	VOLTAGE				CUURRENT				POWER				Rth		DERATING		
			Rated V	Applied V	Stress %	Derating %	Rated A	Applied A	Stress %	Derating %	Rated W	Applied W	Stress %	Derating %	J-C C/W	C-A C/W	P	F	A
1	Q3	T, IXFH26N50	500	340	68.0	65	26.0	9.00	34.6	60	100.00	51.42	51.42	50	0.42	0.25			F
2	Q4	T, MTP4N100E	1000	800	80.0	65	4.0	0.02	0.5	60	23.00	0.10	0.43	50	0.83	100			F
3	Q5	T, IRPFR420	500	363	72.6	65	2.5	0.04	1.6	60	50.00	0.10	0.20	50	2.50	100			F
4	Q6	T, MMBT2222A	40	16	40.0	65	0.8	0.10	12.5	60	0.23	0.03	13.33	50	5.00	300	P		
5	Q7	T, MMBT2907A	60	16	26.7	65	0.6	0.10	16.7	60	0.23	0.03	13.33	50	5.00	300	P		

SUB TOTAL POWER DISSIPATION(W)

51.68



5. MAGNETICS BLOCK

No.	Ref No.	Description Part No.	VOLTAGE				CURRENT				POWER				Temp Rise		DERATING			
			Rated	Applied	Stress	Derating	Rated	Applied	Stress	Derating	Rated	Applied	Stress	Derating	Temp	Limit	P	F	A	
			V	V	%	%	A	A	%	%	W	W	%	%	C	C				
1																				
2	L1	INDUCTOR1		250				10.00					5.00			55	50			F
3	L2	INDUCTOR2		220				0.50					0.01			40	50	P		
4	L3	INDUCTOR3		220				2.63					0.10			40	50	P		
5	T1	Transformer		280				0.01					0.10			30	50	P		

SUB TOTAL POWER DISSIPATION(W)	5.21
---------------------------------------	-------------

TOTAL POWER DISSIPATION(W)

80

TOTAL INPUT POWER(W) / EFFICIENCY(%)

700 88.5

RESULT TABLE

NUMBER OF TOTAL COMPONENTS
NUMBER OF PASSED COMPONENTS
NUMBER OF FAILED COMPONENTS
NUMBER OF ACCEPTABLE COMPONENTS

NOTE:
P: PASS
F: FAIL
A: ACCEPTABLE

(2) THERMAL ANALYSIS

Thermal Analysis는 전원장치 내에서 열이 많이 발생하는 중요한 부품들에 대하여 이행하는데, 전원장치의 경우는 PWM IC, MOSFET Switch, DIODE Rectifier, IC, POWER Resistor 등으로써 발열이 많은 중요 부품들에 대하여 이행한다. 특히 장치가 Worst Case의 조건에서 동작하는 경우에 각 부품들이 장치 내에서 동작하면서 발생하는 온도 상승폭이 각각의 부품들이 갖고 있는 정격 동작 온도와 비교하여 어느 정도의 여유를 갖고 동작하는지 확인하는데 그 목적이 있다. 위에서 열거한 중요 발열 부품들에 대하여 직접 온도 센서를 이용하여 측정을 통하여 확인하는 방법과 각 부분의 전압과 전류 파형을 측정하여 발열을 계산하는 방법으로 Thermal Analysis를 행할 수 있다.

① Temperature 측정에 의한 해석

〈표1-3〉은 700W급 Full-Bridge AC-DC Converter에 Worst Case Operating 조건인 Low Line 입력, 85℃ Base Plate 온도, Full Load로 동작하는 상황에서 약 2시간여를 동작시키면서 장치내의 중요한 아홉 부품에 온도 센서를 부착하여 온도 상승 분포를 직접 측정한 예이다. 이와 같은 과정을 Thermal Mapping이라 부르는데, 직접 측정에 의하여 얻은 실제의 데이터므로 정확하게 확인이 가능하나, 전원 장치의 Base Plate의 온도를 고온(최대 정격온도)로 유지시키기 위하여 밀폐된 공간이나 항온조 안에서 동작시키면서 시간과 온도를 확인하여야 하므로 비교적 장치의 크기가 작거나 소용량의 장치에 대하여 시행한다.

〈표1-3〉은 직접 측정에 의하여 Thermal Mapping을 작성한 것으로서 PWM IC의 온도가 117℃로 IC의 최고 온도 범위인 125℃에 비하여 온도 마진이 별로 없으므로 현재 PWM IC에 공급되는 Vcc는 17V에서

이를 낮추어 14V로 유지하여 그 온도를 10℃ 낮게 유지하도록 조치하였다. 이외의 다른 부품들은 정격 온도와 비교하여 어느 정도의 여유를 갖고 동작하고 있음을 확인하였다.

[표1-3] TEMPERATURE MEASUREMENT(°C) : SETUP TIME: 5:00

Time Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5:30	27	94	73	84	77	76	81	77	80
5:42	28	104	80	93	84	85	90	84	89
5:55	28	112	85	99	88	91	94	89	93
6:15	29	118	85	101	88	96	95	89	93
6:27	29	118	85	100	88	96	93	88	90
6:40	29	117	85	100	88	96	94	89	91
6:50	29	117	85	100	88	97	94	89	92

NOTE: Thermocouple Probe Connections:

- 1 Lab Ambient
- 2 UC1825 in Socket
- 3 Baseplate: Solder Lug Glued to Baseplate at Output Buss Bar
- 4 HV Electrolytic Capacitor 381LX152M250A052(1500uF, 250V)
- 5 Output Rectifier FST20050
- 6 Ambient between PCB and Power Transformer
- 7 Main MOSFET IXFH26N50 Q1: Solder Lug Under Mounting Screw
- 8 SCR 40TPS08: For Inrush Current Protection
- 9 Main MOSFET IXFH26N50 Q2: Solder Lug Under Mounting Screw

② 전압 / 전류 파형을 통한 열 해석

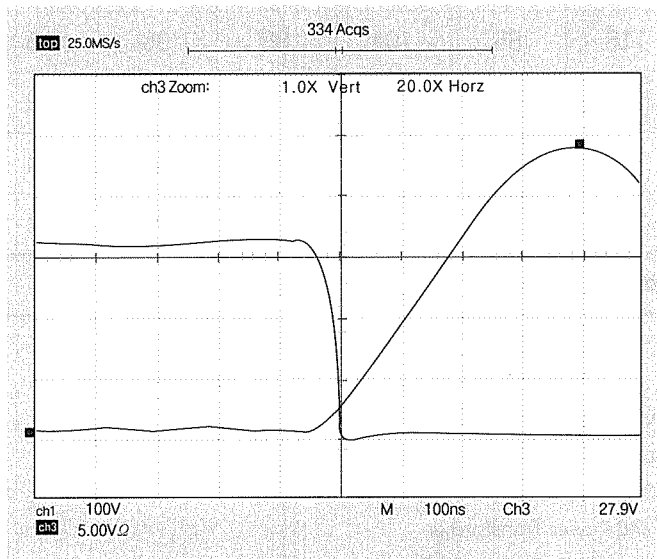
전압 / 전류의 파형으로부터 열 해석을 하기 위하여 주요 부품들에서 각각 발생하는 손실을 먼저 계산한다. 본 기술보고에서는 그 한 예로써 MOSFET의 손실의 경우와 In-Rush Current 보호용 SCR에 대한 전력 손실에 대하여 해석하고 그 부품들의 온도 상승을 계산해보고자 한다. 이를 근간으로 하여 다른 부품들의 열 해석도 같은 방법으로 행할 수 있을 것이다.

■ MOSFET의 온도 상승

MOSFET IXFH26N50 (500V 26A)은 150kHz의 스위칭 주파수로써 스위칭하는데, 이때 발생하는 손실을 세 부분으로 나누어서 해석할 수 있다. 즉, Turn On 손실, Turn Off 손실, Conduction 손실로써, 실험을 통하여 얻어지는 전압 / 전류 파형으로부터 주요 부품들에서 소모되는 스위칭 손실들을 계산을 통하여 얻는다.

A. MOSFET의 Turn ON 손실

그림 (1-2)은 MOSFET의 Turn On시에 MOSFET의 Drain과 Source사이에 인가되는 전압과 전류 파형이며, 그림 (1-3)에서 보이는 바와 같이 전압과 전류가 겹치는 구간이 약 50ns이고 이때에 인가되는 전압과 전류의 크기는 작아서 전체의 에너지도 아주 작아지므로 Turn On 손실을 무시하도록 한다.



그림(1-2) MOSFET Turn On시 전압/전류 파형

B. MOSFET의 TURN OFF 손실

Turn Off 손실은 그림 (1-3)에서 보이는 바와 같이 MOSFET의 Turn Off시에 걸리는 전압과 전류 파형의 곱을 적분하여 구하는데, 이로부터 전압식은 0s로부터 170ns까지의 구간에서

$$V(t) = (19 \times t) / (10 \times 10^{-9})$$

으로 선형화시킬 수 있으며, 또한 전류식은 두 개의 구간으로 나누어 다음과 같이 선형화시킨다. 즉,

$$I(t) = 31 - (23 \times t) / (80 \times 10^{-9}) \dots\dots\dots 0s에서 80ns 구간$$

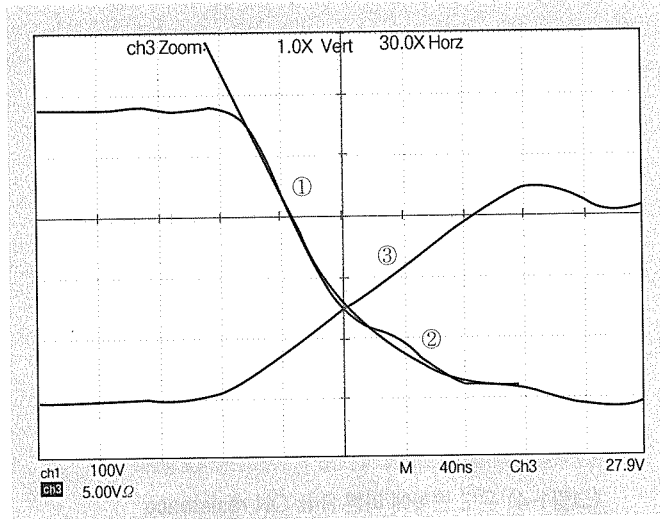
$$I(t) = 15.1 - (8 \times t) / (40 \times 10^{-9}) \dots\dots\dots 80ns에서 170ns 구간$$

따라서 MOSFET Turn Off시의 손실 Energy를 두 구간으로 나누어서 적분하여 그 합을 구하면

$$9.5 \times 10^{-5} \text{J} + 7.5 \times 10^{-5} \text{J} = 17 \times 10^{-5} \text{J}$$

여기서 Switching Frequency = 150kHz 이므로 전력 손실은

$$P = 17 \times 10^{-5} \text{J} \times 150 \times 10^3 \text{Hz} = 25.5 \text{W} \text{ 이다.}$$



그림(1-3) MOSFET Turn Off 시 전압/전류 파형

C. MOSFET의 Conduction 손실

MOSFET의 Conduction 손실은 MOSFET (IXFH26N50)의 Rds ON 저항이 25°C에서 0.20 ohm인데, 그림 (1-4)에서 보이는 바와 같이 85°C의 Case Temperature에서의 Rds ON 저항값은 1.6×0.2 ohm = 32 ohm 이므로 MOSFET에 흐르는 Worst Case (TJ=100°C, 최저 입력 전압 line, full load)에서의 평균 전류를 9.0A로 고려하면 한 개의 MOSFET에서 0.32 ohm×9² = 25.92w의 손실을 발생한다.

D. MOSFET의 총 손실

이상으로부터 계산한 Switching 손실과 Conduction 손실을 합하여서 한 주기에서 발생하는 총 전력 손실을 구해보면,

$$25.92 \text{w} + 25.5 \text{w} = 51.42 \text{w} \text{ 이다.}$$

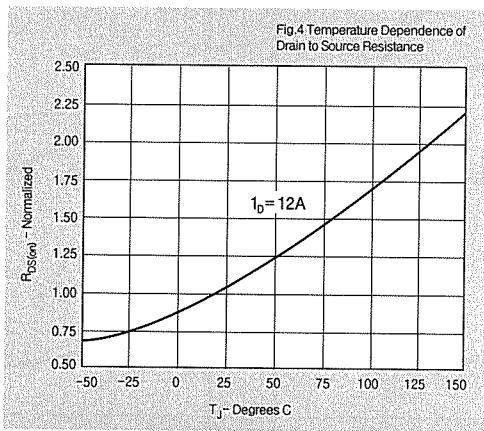
한편, 데이터북에서 제공하는 Case-to-Junction Thermal Resistance(RthCJ)는 0.42K/w 이고, Thermal Paper Sheet의 Thermal Resistance는 0.3K/w 이므로, Worst Case에서의 Base Plate에 대한 Junction의 온도 상승은

$$51.42 \text{w} \times (0.3 + 0.42) \text{K/w} = 37.02^\circ \text{C} \text{ 이다.}$$

장치의 정격 최대 동작 온도가 85℃의 Base Plate 온도이므로 Junction 온도는

$$85^{\circ}\text{C} + 37.02^{\circ}\text{C} = 122.02^{\circ}\text{C} \text{이다.}$$

데이터 북으로부터 MOSFET IXFH26N50 (500V, 26A)이 허용하는 동작 가능한 최대 Junction 온도는 150℃이므로 MOSFET은 25.7℃의 여유를 갖고 사용됨을 알 수 있다.



〈그림1-4〉 온도 변화에 따른 Rds ON resistance

■ SCR의 온도 상승

그림(1-5)는 일반적으로 사용되는 In-rush Current 보호용 회로로써 이 회로에 사용되는 SCR 40TPS08(800V 40A)은 초기 turn on 이후에는 상시 도통되어 있으므로 SCR의 Anode와 Cathod 사이에 인가되는 전압(VT)의 크기에 따라서 그 손실이 결정된다.

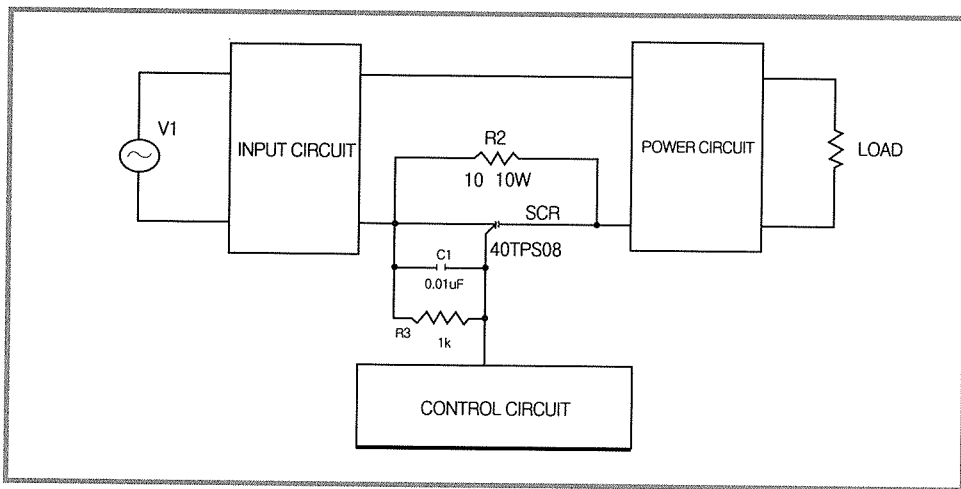


그림 (1-5) In-Rush Current 보호 회로

SCR을 통하여서 상시 흐르는 DC 평균 전류가 9.0A이고 최대 VT는 그림 (1-6)의 데이터로부터 1.1V로 고려하면 상시 발생하는 전력 손실은

$$9A \times 1.1V = 9.9w \text{ 이다.}$$

한편, 데이터 북으로부터 SCR의 Junction과 Case사이의 열 저항 (Thermal Resistance)은 0.6°C/w이고 또한 SCR과 Base Plate 사이에 있는 절연지 Sil-Pad의 열저항은 0.3°C/w를 고려하면 SCR의 온도 상승은

$$9.9w \times (0.6 + 0.3)^\circ C/w = 8.91^\circ C \text{ 이다.}$$

따라서 base plate 온도가 85°C인 경우 SCR의 Junction 온도는

$$85^\circ C + 8.91^\circ C = 93.91^\circ C \text{ 로써,}$$

정격인 최고 동작온도인 125°C에 비하여 상당한 여유가 있는 상태에서 SCR이 동작하고 있음을 알 수 있다.

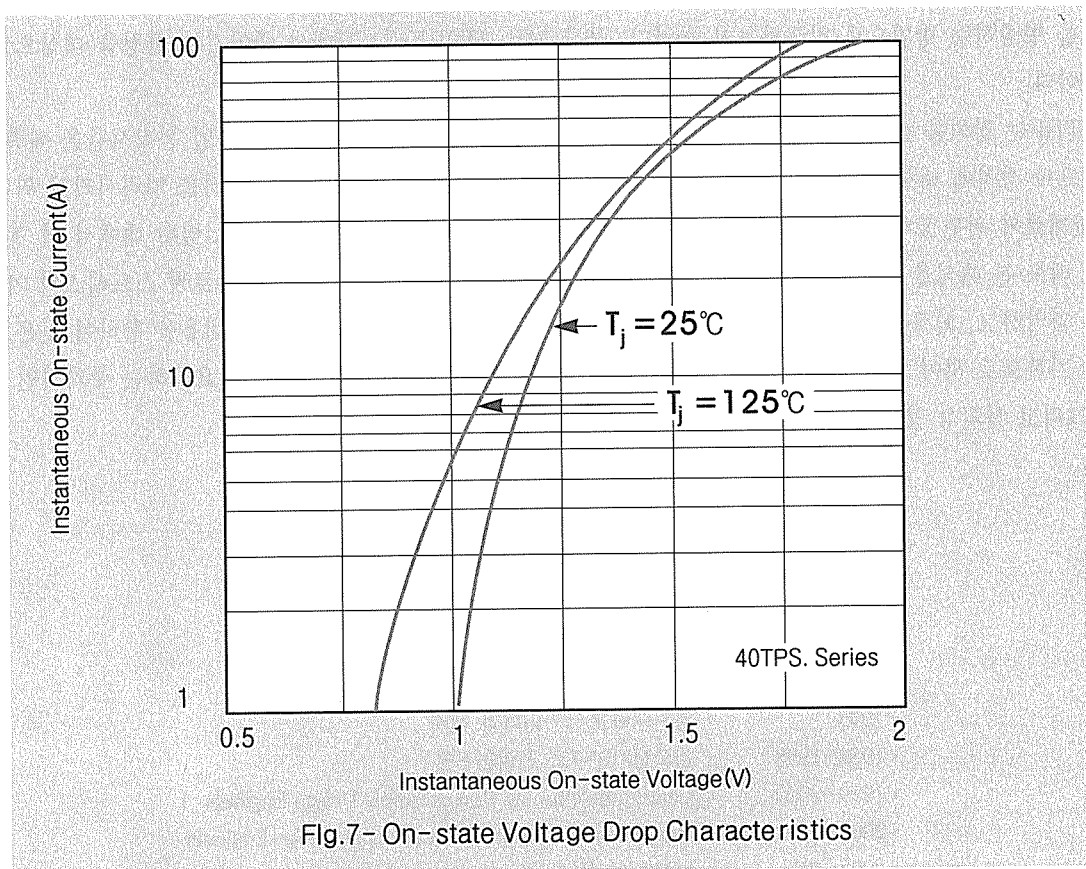


Fig.7- On-state Voltage Drop Characteristics

그림 (1-6) SCR의 온도 변화에 따른 V_T



3. 맺음말

MTBF (Mean Time Between Failure)로 표현되는 신뢰성 평가는 모든 장치들에서 당연히 유지되어야 할 항목으로써 본인이 미국에서 일하면서 느끼는 것은 새로운 모델을 개발할 경우 개발에 많은 노력과 시간이 요구되지만, 반드시 신뢰성 평가를 행하고 이를 장치의 기본자료로 확보하고 있으며, 사용자 측에서 요구할 경우 언제든지 제공하고 있다. 이러한 일을 통하여 제조자는 장치의 신뢰성을 향상시킴으로써 사용자의 요구를 만족시켜줄 수 있다.

신뢰성 향상을 위하여 먼저 장치의 규격 범위 안에서 많은 시험과 고장에 대한 경험이 요구되며 정상동작이 확보되어야 한다. 신뢰성 향상의 기본 개념은 장치를 구성하는 각각의 부품들의 신뢰성을 높임으로써 장치 전체의 신뢰성을 향상시킬 수 있다는 것이다. 그렇다고 High Quality의 값비싼 부품 (JANTX class, JANS class 또는 S class 등)으로 장치를 구성할 경우 장치의 값이 너무나도 비싸지게 된다.

본 기술 보고를 통하여 장치에 사용되는 부품을 가능한 한 그대로 유지하면서 해석하고, 평가한 후, 원하는 수준에 미달할 경우 직/병렬회로의 부가, 큰 정격의 부품으로 교체, 선정등을 통하여 가격의 큰 변동없이 신뢰성을 향상하는 방법으로 접근하고자 하였다. 물론 MIL-HDBK-217F에서 주어지는 환경을 대상으로 한 경우이다.

MTBF는 장치를 실제로 오랜 시간 동안 동작시키지 않은 상태에서 장치의 평균적인 동작시간을 예측하는 것으로써 장치에 대한 신뢰성 자료로 사용된다. 본 기술 보고에서는 MTBF에 데이터를 입력시키기 위한 준비 단계로써 전원장치의 해석부분을 기술하였는데, 비록 장치가 규격이 정하는 온도 범위 내에서 잘 동작한다고 해도 본 해석을 통하여 장치 내에서 동작하는 부품들의 스트레스를 계산해 봄으로써 스트레스의 여유정도를 파악하고, 회로를 보완하므로써 장치의 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 본 기술 내용을 통하여 얻은 데이터를 기본으로 하여 다음에는 Computer에 데이터를 입력하는 방법과 Software가 요구하는 추가적인 사항들, 그리고 신뢰성 향상 방법등의 순서로 설명하고자 한다.

작 · 가 · 약 · 력

계 문호(桂文浩) Moon Ho, Kye

- 1982 한양대학교 전자공학과, 학사
- 1993 창원대학교 전기공학과, 석사
- 1982-1998 한국전기연구소, 선임연구원
- 1999-2000 Century Electronics, Power Supply Design Engineer
- 2001-2002 Martek Power Abbott, Power Supply Design Engineer
- 2002-현재 EQAICC-PACIFIC, Auditor and Consultant
- E-mail mhkye@hanmail.net