

논 단

# 과도전압억제장치 (Transient Suppressor)의 신뢰성 평가

## Conclusion

Auditor & Consultant 계 문 호

### Contents

- ① 서론
- ② Transient Suppressor에 대한 Military Standard
- ③ transient Suppressor의 회로 설계
- ④ Stress Analysis 및 Derating Estimation
- ⑤ 신뢰성 평가
- ⑥ 결론

## 1. 서론

Transient Suppressor는 전원장치나 전자장치의 입력단에 외부로부터 들어오는 서지나 노이즈 등의 신호들이 전원 장치나 기타 전자 장치 등으로 입력되지 못하도록 억제하는 장치를 말한다. transient의 발생 원인으로는 주변에 있는 장치가 shutdown되거나 Short하는 등의 스위칭이 있는 경우에 발생하여 주변으로 영향을 주게 된다. 특히, 전원 장치에 대한 외란 또는 서어지 등의 transient 전압에 대한 규정으로는 민수용 항공기에 적용하는 DO-16, Military용 항공기에 적용하는 Mil-Std-704와 선박용으로 적용하는 Mil-Std-1275등이 있는데, 주로 nominal voltage가 28V(22V-29V)인 low voltage의 경우와 270V(250V-280V) high voltage에서 사용하는 경우로 나누어서 기술하고 있다. 본 원고에서는 전원장치의 경우에 외부로부터 입력되는 에너지를 억제하고 소모시키기 위한 transient suppressor의 회로 설계와 신뢰성 평가를 통한 평균 고장시간을 계산해 보고자 한다. Stress analysis와 derating 평가를 하여 회로의 특성을 점검하고 전원장치가 적용되는 환경조건들 및 application software에 입력하는 내용에 따른 MTBF의 변화에 관하여 기술한다.

이와 같은 과정들을 통하여 얻은 데이터로부터 이 회로에 대하여 stress analysis를 수행하고 military 부품을 기준으로 하여 신뢰성평가를 하고자 한다. 이후 부품들의 품질 등급을 향상시키면서 결과를 비교하고, 동작 온도를 바꾸는 경우(0℃에서 70℃까지의 변화)와 환경이 변화하는 경우(GB 환경에서 CL 환경까지의 변화)에 대하여 본 장치의 신뢰성이 변화하는 내용을 기술하고자 한다.

현재 시중에서 판매되고 있는 신뢰성 평가용 Application Software로는 다음과 같이 크게 3개 회사에서 제작하여 판매하고 있는데, Item Software, RELAX, Real Calc라고 명명한 T-CUBED software 등의 제품이 있는데, 이와 같은 software를 많은 다양한 종류의 전자장비, 전원장치와



system에 적용하는데, 기본적으로 사용하는 것은 MIL-HDBK-217에 의한 신뢰성 평가이며 본 원고에서도 이런 관점에서 기술하고자 한다.

## 2. Transient Suppressor에 대한 Military Standard

Mil-Std-704는 전투기 등의 공중에서 사용되는 전원에 관하여 규정하고 있으며, Mil-Std-1275은 해상에서 사용되는 전원장치에 관하여 규정하고 있는데, 그림 1은 Mil-Std-704E(1980)에 있어서 28V DC system의 경우에 해당되는 voltage transient의 파형을 보여준다. high voltage transient와 low voltage transient가 있는데, 뒷단의 장치(DC-DC Converter)가 28V에서 동작하므로 low voltage transient는 별로 걱정할 필요가 없고, high voltage transient에 대해서만 고려해 보도록 한다. Voltage Peak 전압이 50V이고 29V까지 약 0.14초동안 선형적으로 감소하는 모양이다.  $28V\ 10A\ 280W$ 의 장치에 대하여 transient에 의하여 입력되는 에너지를 계산해보면,  $(50-29)V \times 10A \times 0.14s = 29.4J$ 로써 무시할 수 없는 량이다. 이만큼의 에너지가 transient suppressor에서 열로써 소모될 경우에 장치는 노이즈 없이 효과적으로 동작한다고 말할 수 있다.

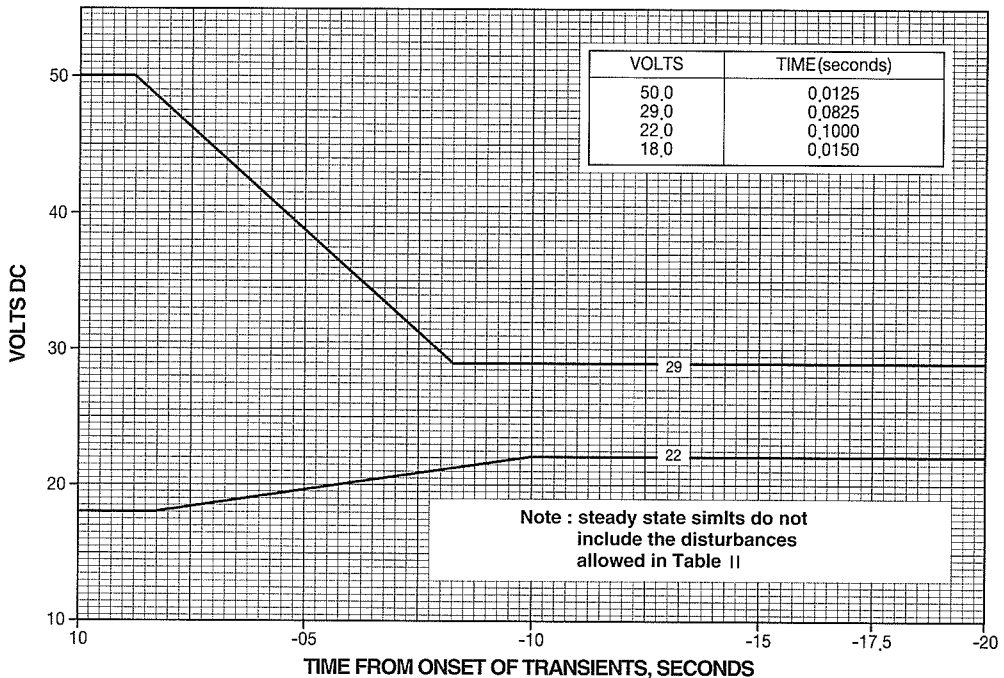


그림 1. Envelope of normal voltage transient for 28V DC system



Mil-Std-704E가 최신 버전인데 규정이 조금씩 완화되고 있다. D 버전의 경우는 80V 전압이 100ms동안 유지되는 것으로 되어 있고, Mil-Std-1275의 경우는 100V 0.1초로 규정하므로 아주 가혹하다.

그림 2는 Transient Suppressor unit을 설계하기 위한 회로 개념도로써, 스위치가 정해진 시간에 On/Off 하면서 transient surge를 입력시키면 그림 2에서 보이는 바와같이 surge의 peak를 뒷단의 DC-DC converter에서 허용되는 범위로 억제하여 출력하도록 한다.

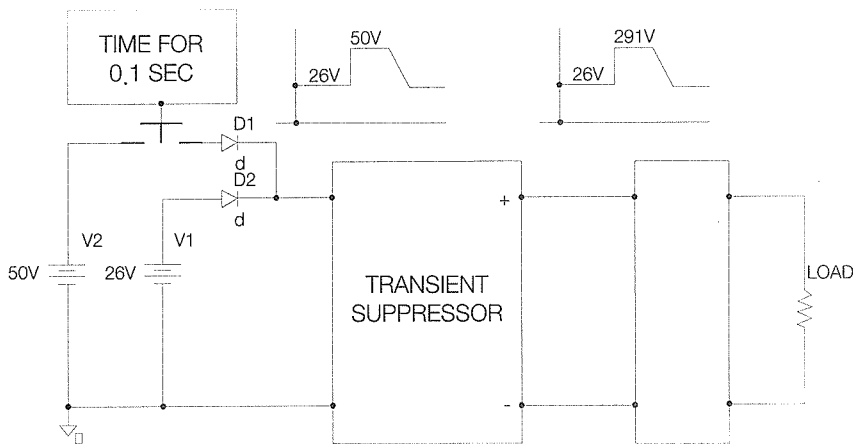


그림 2. Transient Suppressor의 개념도

### 3. Transient Suppressor의 회로 설계

그림 3은 transient suppressor의 회로인데, MOSFET을 기준으로 하여 감지회로인 opto-coupler를 사용하여 입력과 출력의 Ground를 분리하여야 한다. 즉, 회로의 기본적인 동작은 MOSFET의 동작 영역(Operating Region)을 이용하는 것으로써, 평상시에는 saturation영역(도통 상태)에서 있으며, 과도상태의 전압이 입력되는 경우에 이미 정해진 전압 이상을 감지하여 MOSFET을 active 영역에서 동작하도록 하는 것이다. 이때 MOSFET에는 고저항의 소자가 되어 감지한 전압을 기준으로 설정한 만큼의 전압이 걸리게 된다. 이렇게 되면 MOSFET에서 스위칭이 발생하지 않으므로 스위칭 노이즈가 발생하지 않으면서 효과적으로 입력단에 들어오는 Transient를 억제하게 된다.

정상동작시에 항상 MOSFET이 ON상태를 유지하고 있어야 하므로, 장치의 손실을 줄이기 위하여 가능한 한 Rdson resistance가 작은 것을 선택하여야 한다. 물론 억제해야 하는 에너지에 따라서 적당한 것을 선택하여야 하는데, 입력되는 전압이 클 경우에 주어지는 펄스의 시간과 전류 등을 고려하여 그림2에서와 같이 SOA(Safe Operating Area) 데이터로부터 선택하도록 한다. 주어진 시간이 100mS이므로 이 시간의 펄스에 대한 전압/전류 정격을 고려하여야 한다.

회로의 동작은 입력에 transient가 들어올 경우 zener diode와 opto-coupler로 구성된 회로에서 감지하여 트랜지스터 2N2222를 active 상태로 동작시키며, 이는 MOSFET의 게이트 전압을 조정하여 MOSFET을 active 상태에서 동작하도록 한다. 물론, 더욱 높은 전압의 transient가 들어올 경우 MOSFET은 active 상태를 거쳐서 cut-off상태로 가게 된다. 이때 출력전압은 최고 29V로 되어 본 장치의 출력단은 정상시와 같이 동작하게 되고, transient에 의한 나머지 에너지는 스위치(MOSFET)에 인가되어 MOSFET에서 열로써 소모되므로 MOSFET을 방열시키는 것이 중요한 요소가 된다.

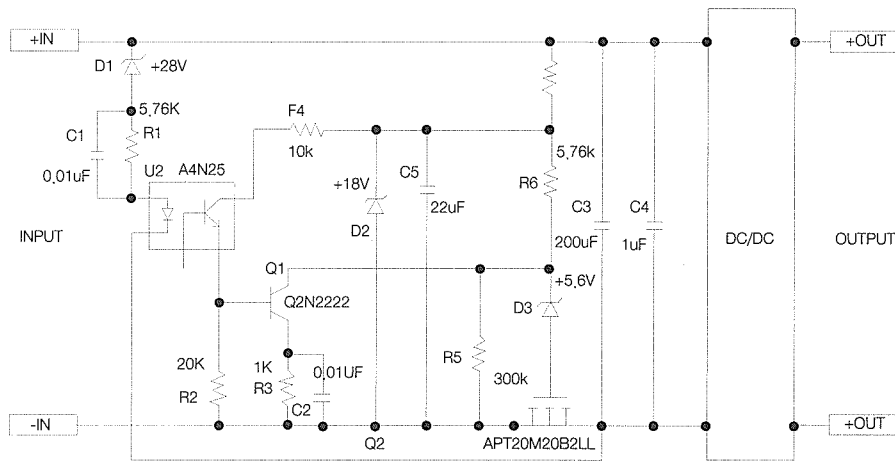


그림 3. Transient Suppressor 회로도

#### 4. Stress Analysis 및 Derating Estimation

그림 3의 회로를 stress analysis/ derating estimation을 하기 위하여 각 부품별로 표 1에서와 같이 만들고, 필요한 데이터를 얻었다. 그림 3의 회로에서 보이는 바와 같이 회로는 MOSFET을



기본 스위치로 하여 총18개의 부품으로 구성되는데, Stress Analysis 결과 모든 부품에서 NAVSOP-3641A:1999(구 NAVMAT P4588-1) 규격에서 제시한 guideline을 만족하였다.

<표 1>은 그림 3의 회로도로부터 사용되는 부품들 중에서 전기/전자 부품들만을 선택하여 worst case에서의 stress analysis를 수행한 결과이다. 각각의 부품군별로 작성하였으며, 적용 조건들을 기록하였으며, 이후에 appication software에서 요구되는 내용들을 포함하도록 하였다.

<표 1>에서 보듯이 전체 100W 용량의 장치에 대하여 98.6%의 효율을 갖는데, MOSFET에서 소모되는 전력은 전체 전력의 약75%이다.

<표 1> Worst Case Stress Analysis for DC-DC Converter

### WORST CASE STRESS ANALYSIS

MODEL NO : Stress Analysis  
July, 24, 2002

NUMBER OF TOTAL COMPONENTS	18
NUMBER OF PASSED COMPONENTS	18
NUMBER OF FAILED COMPONENTS	0
NUMBER OF ACCEPTABLE COMPONENTS	0

#### 1. RESISTER BLOCK

No.	Ref No.	Description Part No.	VOLTAGE				CUURRENT				POWER				DERATING		
			Rated	Applied	Stress	Derating	Rated	Applied	Stress	Derating	Rated	Applied	Stress	Derating	Pass	Fail	Accep
			V	V	%	%	A	A	%	%	W	W	%	%	P	F	A
1	R1	R 5,76k 1/4W	200	50.0	25	80	/	/	/	/	0.25	0.043	17.4	50	P		
2	R2	R 20k 1/10W	150	18.0	12	80	/	/	/	/	0.10	0.016	16.2	50	P		
3	R3	R 1k 1/10W	150	5.6	4	80	/	/	/	/	0.10	0.031	31.4	50	P		
4	R4	R 10k 1/10W	150	18.0	12	80	/	/	/	/	0.10	0.032	32.4	50	P		
5	R5	R 300k 1/10W	150	5.6	4	80	/	/	/	/	0.10	0.000	0.1	50	P		
6	R6	R 5,76k 1/4W	200	18.0	9	80	/	/	/	/	0.25	0.056	22.5	50	P		
7	R7	R 10k 1/10W	150	18.0	12	80	/	/	/	/	0.10	0.032	32.4	50	P		

SUB TOTAL POWER DISSIPATION(W)

0.2

#### 2. CAPACITOR BLOCK

No.	Ref No.	Description Part No.	VOLTAGE				CUURRENT				POWER				DERATING		
			Rated	Applied	Stress	Derating	Rated	Applied	Stress	Derating	Rated	Applied	Stress	Derating	Pass	Fail	Accep
			V	V	%	%	A	A	%	%	W	W	%	%	P	F	A
8	C1	C 0.01uF Ceramic	50	21	42.0	70	/	/	/	/	/	/	/	/	P		
9	C2	C 0.01uF Ceramic	50	5.6	11.2	70	/	/	/	/	/	/	/	/	P		
10	C3	C 200uF Electrolytic	50	18	36.0	70	/	/	/	/	/	/	/	/	P		
11	C4	C 22uF Ceramic	50	18	36.0	70	/	/	/	/	/	/	/	/	P		
12	C5	C 1uF Ceramic	100	29	29.0	70	/	/	/	/	/	/	/	/	P		

### 3. DIODE BLOCK

No.	Ref No.	Description Part No.	VOLTAGE				CUURRENT				POWER				Rth		DERATING		
			Rated	Applied	Stress	Derating	Rated	Applied	Stress	Derating	Rated	Applied	Stress	Derating	J-C	C-A	Pass	Fail	Accep
			V	V	%	%	A	A	%	%	W	W	%	%	C/W	C/W	P	F	A
13	D1	Diode Zenor, 28V	/	28,0	0,00	/	0,009	2E-04	1,667	60	0,3	0,0042	1,4	50	5	500	P		
14	D2	Diode Zenor, 18V	/	18,0	0,00	/	0,009	2E-05	0,222	60	0,3	0,0004	0,12	50	5	500	P		
15	D3	Diode Zenor, 5,6V	/	36,0	0,00	/	0,009	2E-05	0,222	60	0,3	0,0007	0,24	50	5	500	P		

SUB TOTAL PEAK POWER DISSIPATION(W)

0,01

### 4. TRANSISTOR/IC BLOCK

No.	Ref No.	Description Part No.	VOLTAGE				CUURRENT				POWER				Rth		DERATING		
			Rated	Applied	Stress	Derating	Rated	Applied	Stress	Derating	Rated	Applied	Stress	Derating	J-C	C-A	Pass	Fail	Accep
			V	V	%	%	A	A	%	%	W	W	%	%	C/W	C/W	P	F	A
16	Q1	2N2222A	60	18	30	65	0,10	0,020	20,00	60	0,75	0,10	13,33	50	0,83	100	P		
17	Q2	APT20M20B2LL	200	80	40	65	100,0	5,556	5,56	60	50	1,23	2,47	50	2,5	100	P		
18	U1	4N25	30	18	60	75	0,15	0,012	7,731	70	0,25	0,10	40,00	/	0,003	55	P		

SUB TOTAL PEAK POWER DISSIPATION(W)

1,43

WORST CASE EFFICIENCY

98,56

## 5. MTBF Calculation

#### ■ 신뢰성 평가의 조건

지금까지의 데이터를 바탕으로 하여 신뢰성 평가를 통한 신뢰성 산출을 위하여 시중에 나와있는 application software를 사용하는데, 정확한 데이터를 입력하기 위하여 고려할 사항에 관하여 각각의 부품별로 요구되는 사항들이 있다. 이와 같은 요구사항을 만족시키지 못하고 입력할 경우 원하지 않으면 자신도 모르는 사이에 error가 발생하게 될 것이다. 따라서 다음과 같이 application software에 따른 표들을 만들어서 확인하는 과정이 요구된다.

RESISTORS		
QUALITY	COMMERCIAL	M CLASS
STYLE	RM - FIXED FILM CHIP ER	
CONNECTION TYPE	RESO - REFLOW SOLDER	
POWER STRESS	PER STRESS ANALYSIS	
POWER DISSIPATION	PER STRESS ANALYSIS	
ADJUSTMENT FACTOR	1	

과도전압억제장치의 신뢰성 평가

Conclusion

CAPACITORS		
QUALITY	COMMERCIAL	M CLASS
STYLE	CDR- CERAMIC CHIP ER CUR- ALUMINUM OXIDE ER	
CONNECTION TYPE	RESO - REFLOW SOLDER	
VOLTAGE STRESS	PER STRESS ANALYSIS	
CAPACITANCE	PER SCHEMATIC	
CIRCUIT RESISTANCE	0	
ADJUSTMENT FACTOR	1	

DIODES		
QUALITY	PLASTIC	JAN
JUNCTION TEMP CALC MODE	MODE 1 Full Model	
POWER DISSIPATION	PER STRESS ANALYSIS	
VOLTAGE STRESS	PER SCHEMATIC	
CONNECTION TYPE	RESO - REFLOW SOLDER	
NO. OF JUNCTION	1	
NO. OF PINS	2	
ADJUSTMENT FACTOR	1	
Theta CASE-AMBIENT	PER TESTING	
Theta JUNCTION-CASE	DATA BOOK	
CONSTRUCTION	METALLURGICALLY BONDED	

MICRO IC		
QUALITY	COMMERCIAL	B - CLASS B
JUNCTION TEMP CALC MODE	MODE 1 Full Model	
POWER DISSIPATION	PER STRESS ANALYSIS	
CONNECTION TYPE	RESO - REFLOW SOLDER	
NO. OF ACTIVE PINS	10	
ADJUSTMENT FACTOR	1	
NO. OF TRANSISTOR	24	
PACKAGE TYPE	NON-HERMATIC SMT	
Theta CASE-AMBIENT	PER TESTING	
Theta JUNCTION-CASE	DATA BOOK	

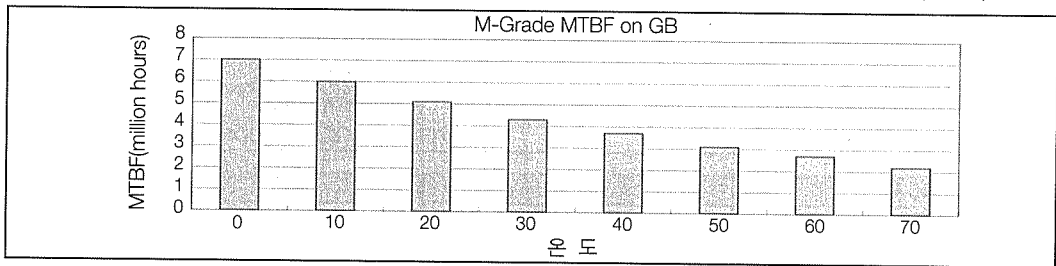
TRANSISTOR MOSFETS		
QUALITY	PLASTIC	JAN
JUNCTION TEMP CALC MODE	MODE 1 Full Model	
POWER DISSIPATION	PER STRESS ANALYSIS	
VOLTAGE STRESS	PER SCHEMATIC	
CONNECTION TYPE	HAWO - HAND SOLDER WITHOU WRAP	
POWER RATINGS	PER DATA BOOK	
NO. OF PINS	3	
ADJUSTMENT FACTOR	1	
Theta CASE-AMBIENT	PER TESTING	
Theta JUNCTION-CASE	DATA BOOK	

■ 신뢰성 평가 결과

위의 조건들을 기준으로 하여 application software에 데이터를 입력하여 다음과 같은 결과를 얻었다. Ground Benign의 환경, 주위 온도 30℃에서 commercial등급의 부품들을 사용하였을 경우로 하여 0.73의 failure rate와 1,370,000시간의 평균 고장 시간을 갖으며, military 등급의 부품으로 교체하였을 경우에는 0.23의 failure rate와 4,300,000시간의 MTBF를 갖는다. 즉 부품 등급이 높을수록 평균 고장시간은 길어지지만 부품의 가격이 상승하게 되어 장치의 가격이 오르게 되므로 적당한 절충점을 찾아야 한다.

온도(℃)	0	10	20	30	40	50	60	70
MTBF of C-Grade Unit(hours)	7.0M	6.0M	5.1M	4.3M	3.7M	3.1M	2.7M	2.2M
FAILURE RATE	0.143	0.167	0.196	0.230	0.271	0.319	0.377	0.446

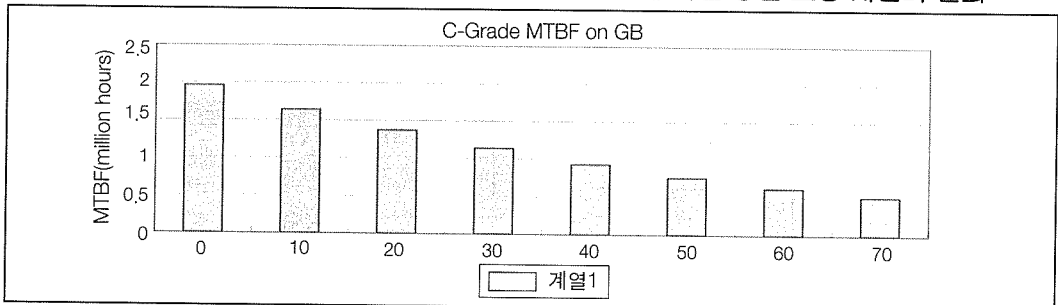
<표 2> military 등급의 부품을 사용한 경우 온도에 따른 평균 고장 시간의 변화



본 장치를 military에 적용할 경우와 commercial에 적용할 경우에 대하여 온도변화에 따른 신뢰성 결과를 표 2, 표 3에서 보인다. 주위 온도가 0℃에서 70℃까지 변화함에 따라서 위의 회로가 갖을 수 있는 평균 고장 시간은 온도가 올라 갈수록 시간이 짧아지고 있음을 알 수 있다.

온도(℃)	0	10	20	30	40	50	60	70
MTBF of C-Grade Unit(hours)	1.96M	1.64M	1.37M	1.14M	0.93M	0.76M	0.62M	0.51M
FAILURE RATE	0.51	0.61	0.73	0.88	1.07	1.31	1.61	1.98

<표 3> commercial 부품을 사용한 경우 온도에 따른 평균 고장 시간의 변화



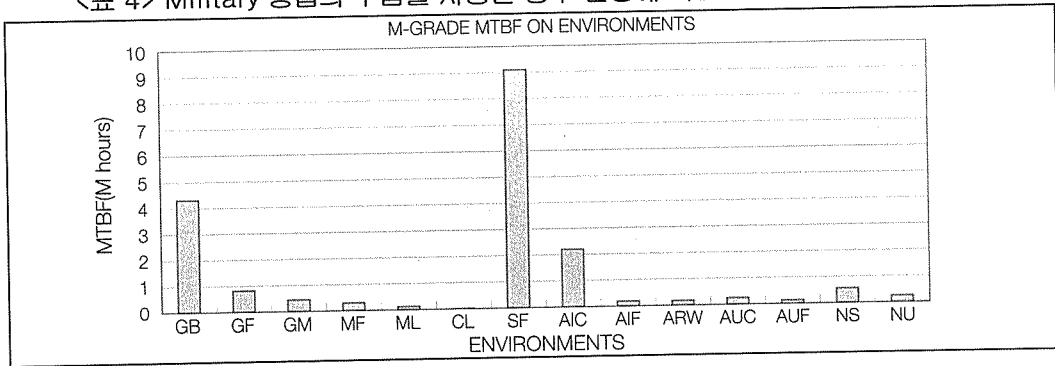




또한 <표 4>는 M-Grade의 부품을 사용하여 MIL-HDBK-271규격에서 정의한 환경 조건에 대하여 30℃의 주위 온도에서 구한 평균 고장시간(MTBF)와 Failure Rate이다. <표 4>에서 보이는 바처럼 가장 가혹한 환경은 CL이고 가장 좋은 환경은 SF로써 약 100배의 차이가 있다. 통상은 GB를 기준으로 삼는데, 장치를 적용하는 용도에 따라서 해당되는 환경을 설정한다.

환경조건	GB	GF	GM	MF	ML	CL	SF	AIC	AIF	ARW	AUC	AUF	NS	NU
MTBF Million hours	4.3	0.82	0.45	0.31	0.13	0.01	9.1	2.2	0.19	0.18	0.25	0.13	0.54	0.25
FAILURE RATE	0.23	1.22	2.21	3.18	7.53	92.3	0.11	2.53	5.23	5.61	4.03	7.93	1.84	4.08

<표 4> Military 등급의 부품을 사용한 경우 환경에 따른 평균 고장 시간의 변화



MIL 217 F Notice 2

06-08-102

System :

FR=0,212 fpmh MTBF=4.71e+6 hrs

Part/Block ID	FR (fpmh)	N	NxFR (fpmh)
01	0,00661	1	0,00661
02	0,0121	1	0,0121
03	0,0111	1	0,0111
04	0,179	1	0,179
PC Board	0,00323	1	0,00323

MIL 217 F Notice 2

06-08-102

Block:01

Analyst:MK

1xFR=0,00661 fpmh (1xCR=0,000966 fpmh) MTBF=1,51e+8 hrs

ENVI:GB, TEMP:25

Part/Block ID	FR (fpmh)	N	NxFR (fpmh)
R1	0,000932	1	0,000932
R2	0,000626	1	0,000626
R3	0,000957	1	0,000957
R4	0,00098	1	0,00098
R5	7,24e-5	1	7,24e-5
R5	0,00109	1	0,00109
R5	0,00098	1	0,00098

MIL 217 F Notice 2

Block:02

1xFR=0,0121 fpmh (1xCR=0,00069 fpmh) MTBF=8,25e+7 hrs

ENVI:GB, TEMP:25

Part/Block ID	FR (fpmh)	N	NxFR (fpmh)
C1	0,00355	1	0,00355
C2	0,00201	1	0,00201
C3	0,000437	1	0,000437
C4	0,00321	1	0,00321
C5	0,00223	1	0,00223

MIL 217 F Notice 2

Block:03

1xFR=0,0111 fpmh (1xCR=0,000414 fpmh) MTBF=9,01e+7 hrs

ENVI:GB, TEMP:25

Part/Block ID	FR (fpmh)	N	NxFR (fpmh)
D1	0,00523	1	0,00523
D2	0,00501	1	0,00501
D3	0,000439	1	0,000439

MIL 217 F Notice 2

Block:04

1xFR=0,179 fpmh (1xCR=0,00452 fpmh) MTBF=5,58e+6 hrs

ENVI:GB, TEMP:25

Part/Block ID	FR (fpmh)	N	NxFR (fpmh)
APT20M20B2LL	0,138	1	0,138
4N25	0,037	1	0,037
2N2222A	0,000179	1	0,000179

## 6. 결론

본 원고를 통하여서 기존의 전원 장치에 부가되어 있지 않는 기능 중에 하나인 transient suppressor unit에 대하여 회로를 소개하였고, 그 동작을 설명하였다. 몇 개 안되는 간단한 소자들로 회로를 구성하지만, 이는 많은 분야에서 응용되어 요구되고 있다. 뇌 서지나 전원의 스위칭 등의 문제가 발생할 경우가 많은 경우나 특별한 보호가 요구되는 상업용이나 군수용이나 항시 고려해야 할 과제 중의 하나인 것이다.

신뢰성 평가를 수행하기 위하여 stress analysis과 derating estimation을 수행하였고, Application Software에 적용하여 신뢰성을 평가하였다. 신뢰성 평가 결과 GB에서 약 4million hours 이상의 상당한 기간동안 동작이 가능함을 알게 되었다.

신뢰성 평가를 수행해보고자 하는 분들이나 Transient Suppressor에 관련되어 일하시는 engineer들에게 작은 도움이 되기를 바라는 마음이다.⊙