

현장실무자를 위한 설비진단 테크닉(11)

전기는 응용하는 기술의 발달에는 실로 눈부신 바가 있다.

전기를 깨끗하고 안전한 에너지원으로써

또, 컴퓨터나 통신에 이용되는 정보전송의 매체로서

널리 사용되어 최근에는 광이나 초음파의 분야도 포함하여

얼줄 모르는 진보를 계속하고 있다.

우리들은 그 전부를 볼수는 없으나, 미래기술이라는 거대한 양상에 대하여

비록 기술의 단편이라도 많이 모아 쌓이면 많은 참고가 될 것이다.

본고에서는 이를 위해 전 13장을 번역 게재할 예정이다.

글 실는 순서

- | | | | |
|-----|-------------------|------|-----------------------|
| 제1장 | 예지보존에의 기초기술 | 제7장 | 케이블 열화의 간이측정 |
| | • 이상예지를 위한 데이터 처리 | 제8장 | 롤러베어링의 진단 테크닉 |
| | • 열화 프로세스에서의 이상예지 | 제9장 | 전력전자 기기의 수명예측 |
| 제2장 | 운전감시로 되는 상태의 추정 | 제10장 | 콘덴서 개폐와 보수유지 |
| | • 운전감시로 되는 상태의 추정 | 제11장 | 큐비클의 방식기술 |
| | • 이상 발생후의 상태진단 | 제12장 | 보전용 계기와 사용법 |
| 제3장 | 기기에 의한 외부진단 테크닉 | 제13장 | 센서에 사용되는 여러가지 성질과 활용법 |
| 제4장 | 가스절연기기의 내부진단 | | |
| 제5장 | 리모트 센싱에 대한 설비진단 | | |
| 제6장 | 변압기의 예지보전 | | |

제 9 장 전력전자기기의 수명예측

역/대한전기기사협회

서 론

전력전자기기의 전력용 반도체소자로는 다이오우드(Diode), 사이리스터, 파워 트랜지스터 등이 대표적이다. 현재 다이오우드나 다이리스터에서는 내압 4kV, 전류 3kA급품이 제품화되고 종래에는 작은 신호의 분야이었던 트랜지스터도 전력용 디바이스로서 개발되고, 내압 600~1,200V, 전류 100~300A급품이 제품화되어서 취급하는 전력도 사이리스트에 가까워지고 있다.

이러한 전력용 반도체 디바이스의 수명과 신뢰성은 해마다 개량되고 정격 특성을 만족시키는 것은 물론 생산성과 가격도 고려하여 위에 말한 정격외 특성을 갖는 디바이스가 출현하고 있다. 사용자로서 이러한 전력용 디바이스의 신뢰성 파악은 중요하며 다음에 전력용 디바이스의 고장, 열화, 수명 및 보전성에 대하여 설명한다.

1. 디바이스의 고장분류

(1) 초기고장

수명 초기에 발생하는 고장은 소자를 제조하는 공정중의 결함에 의한 것이 많다. 예를 들면 하메틱실(Hermetic Seal)의 밀봉불량으로 인하여 주위의 습기나 산소 등과 같은 불순물이 들어 가서 표면 특성의 열화에 의한 내압저하 또는 리드선의 접속불량에 의한 부동작이나 이상온도 상승에 따른 단락고장 등이다. 이러한 종류의 고장은 기계적인 진동, 충격시험,

열 사이클, 열충격 시험, 전기적으로는 전압인가 시험, 전력통전 시험(연속, 단속), 기밀 시험 등의 스크리닝 시험(Screening Test)에 의하여 제거할 수가 있다. 특히 전력용 디바이스는 각각 위에 말한 시험을 실시하여 관리되어 있기 때문에 이러한 종류의 고장은 적다고 본다.

(2) 돌발고장

돌발적으로 파괴하는 고장이며 리드선의 단선이나 접합 파괴에 의한 단락 고장 등이다. 이 고장에는 초기 고장 또는 열화 고장이 진행된 경우도 있다. 전력용 디바이스는 그 특성이 이상일 때에는 적용 회로상, 낮은 임피던스에 이르는 경우가 많기 때문에 대전류가 흐르고 접합의 용해 단락이나 리드선의 단속 오픈에 이르는 경우가 많다. 이런 경우에 디바이스의 기능은 완전히 상실되고 있다. 이 고장은 불규칙하게 생기고 미리 예측하는 것이 어려우나 전력용 디바이스에서는 디바이스의 동특성에 대한 회로 설계상, 그 책무가 심한 경우에 많다. 공통 책무로는 서지 전압(Surge Voltage)과 서지 전류의 인가 사이리스터에서는 펄스 전류, di/dt 책무, 전류 실패일 때의 서지 전류, 트랜지스터에서는 베이스 영역의 수평방향 전압 강하에 의한 ON상태일 때의 프런징 효과에 따른 순바이어스 ASO, OFF 일때의 핀치인 효과에 따른 역바이어스 ASO 등, 어떠한 동작상태에서도 디바이스의 정격을 넘지 않는 설계와 검사를 함으로써 이러한 종류의 고장은 감소시킬 수 있다.

(3) 열화고장

디바이스의 특성이 서서히 변화하고 적용 회로상 지장을 초래하고 고장이 되는 것이다. 예를 들면 트랜지스터에서는 직류전류 증폭률 h_{fe} 가 저하하고 소정의 전류가 흐르지 않는 콜렉터 차단 전류 I_{CBO} 가 증대하며 발열량 증가에 의한 서멀 런어웨이 등이 다.

이러한 원인은 여러가지가 있으나 근래에는 그 대부분이 디바이스의 표면 열화에 의한 것이 많다. 여기서 말하는 표면이란 반도체 디바이스의 패키지 표면이 아니고 트랜지스터나 다이오드와 같이 pn접합을 갖는 반도체의 pn접합의 표면을 말한다. 반도체 표면에 부착하거나 진입한 습기 불순물 또는 산화막 속에 있는 각종 이온이 전기적인 응력인 전계에 의하여 이동하고 pn접합 표면에서 p형 반도체의 표면이 n형으로 반전하는 현상(또는 n형 반도체의 표면에서는 p형으로 반전)인 채널을 형성하며 pn접합을 단락하고 역전류 증가와 내압 열화를 일으키거나 표면 재결합을 증가시켜서 직류 전류 증폭률의 저하나 게이트 트리거 전류의 증대 등 전기적인 특성의 변화를 일으킨다. 이와 같이 접합 표면상태는 습기와 불순물에 대하여 매우 민감한 성질인 활성을 가지으며 반면에 둔감한 성질인 불활성으로 하는 연구와 개발이 이루어지고 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 고내압 대전류 디바이스나 값이 싼 구조인 플라스틱 모듈드형의 디바이스가 출현하였다.

또한 표면 열화의 특징으로서 반도체 디바이스의 열화 특성은 접합 표면에 생기는 채널층 및 그것에 기인하는 표면 재결합의 증가이며 저주파 직류 특성인 정특성에 영향이 있다. 이에 대하여 표면 노출부에 관계없는 고주파나 동특성에는 별로 관계가 없다. 이것은 표면 열화에 기인하는 열화 교정을 미리 검사하고 파악하는 데는 정특성의 측정과 검사로 충분한 것을 나타내고 있다.

(4) 마모고장

일반 기구 부품과 달리 기계적인 마모부분이 없기

때문에 현재로 보아 전력용 반도체 디바이스에서는 마모고장 기간까지 된 것은 관측되고 있지 않다. 금속 부분의 습기에 의한 부식과 전식 등에 의하여 결정되는 것이나 전력용 디바이스에서는 구조 형상으로 보아 상당히 긴 값이라고 추정된다.

2 열화의 기구

디바이스의 열화 모우드란 다이리스터의 OFF전류 증가에 의하여 OFF전압 특성이 저하하는 것과 같이 열화된 상태를 말한다. 이러한 열화 모우드를 유발하는 원인을 고장의 기구(Mechanism)라고 하며 동일한 열화 모우드에서도 여러가지 고장의 메커니즘이 있다. 다시 말하면 고장 메커니즘이란 디바이스가 열화 모우드로 되는 화학적, 물리적인 반응으로 변화하는 과정이다. 또한 위와 같은 반응 변화를 증진 가속시키는 것이 스트레스(응력)이며 기계적인 스트레스, 열적인 스트레스, 전기적인 스트레스 및 습기 환경 등과 같은 스트레스로 분류된다.

(1) 고장의 스트레스와 조합 스트레스

<표 1>에 반도체 디바이스의 고장 메커니즘과 그 스트레스를 나타내고 있다.

구조의 결함은 디바이스의 기계적인 설계불량 또는 제조공정상의 결함에서 전극의 불량, 리드선의 본딩 불량, 납땜 접속 불량 등으로 초기 고장에 속하는 것이 많다. 전력용 디바이스에서는 접합부분에 발생하는 전력이 큰 것과 펄스 사이즈의 대형화에 따라 접합부나 전극 재료의 열팽창 계수가 다른 데 따른 열응력 변형 또는 납땜층에 가해 지는 소신호 디바이스에 비하여 큰 것이 특징이다. 이 변형은 전력 사이클마다 반복 인가되고 접합 부분의 파괴 단락이나 납땜층의 열피로에 의한 열저항의 증대와 이상 온도 상승에 의한 접합 파괴 단락의 모우드로 된다. 이러한 변형 응력에 대하여 전력 디바이스는 수명상 문제가 없도록 전극과 납땜에 대하여 평가 설계되고 있다.

<표 1> 고장의 메커니즘과 조합스트레스

| 스트레스 | | 기계적 | | 열적 | | 전기적 | | 기타 | | | |
|-------------------|-----------------|-----|----|----|----|-----|-----|-----|----|----|----|
| | | 정적 | 충격 | 진동 | 압력 | 정전압 | 충전류 | 정전력 | 부하 | 마모 | 은방 |
| 고장의 메커니즘 | 구조결함 | · | · | · | · | · | · | · | | | |
| | 약한 부품 | · | · | · | · | · | · | · | | | |
| | 약한 결합 | · | · | · | · | · | · | · | | | |
| | 완만한 입자 | | · | · | | | | · | | | |
| | 열피로 | | | | · | · | | · | | | |
| | 외단기결함 | | | · | | · | | | · | · | · |
| | 내부불순물 | | | | · | · | | | | | |
| | 흡착하고 있는 불순가스 | | | | · | · | | | | | |
| | 흡착하고 있는 이온화 불순물 | | | | · | · | | | | | |
| | 베이스층의 소수 캐리어 트랩 | | | | · | · | | | | | |
| 이온 전도 | | | | · | · | | · | · | | | |
| 물구식 | | | | · | · | | · | · | | | |
| 재료의 전기적결함 집합의 불안전 | | | | | | | · | · | | | |
| 금속화산 | | | | · | | | | · | | | |
| 방사능민감성 | | | | | | | | | | · | |

외위기(외부를 둘러싸고 있는 부분)의 결합은 하 메탈실의 기밀성이 불완전하여 불순물이 들어가서 집합 표면을 열화시킨다. 기밀 시험이나 열적 스트레스에 의한 스크리닝 시험으로 제거된다. 금속으로 밀 봉된 전력용 디바이스에서는 이러한 고장 사례가 적다. 한편 플라스틱 모듈형의 디바이스가 100~300A급의 전력용 다이오드나 트랜지스터 또는 다이리스터에 적용되고 모듈형으로서 제품화되고 있다. 이러한 디바이스는 현장에서 사용한 일도 별로 없고 열피로나 습기 등과 같은 불순물에 의한 열화 등 현장에서 데이터의 관측은 앞으로 해야 할 과제이다.

내부의 불순물은 집합 표면을 열화시키고 외위기의 결합과 같이 주로 전기적인 특성 열화를 초래한다. 일반적으로는 시간과 함께 서서히 열화되는 경향을 나타낸다. 이러한 열화는 디바이스의 정특성 변화에서 관측되기 때문에 정기적으로 정특성을 측정해서 경향을 파악할 수 있다. <표 1>과 같이 열 및 전기 스트레스의 2가지로 의존하고 있으며 사용은

도, 전압, 전류, 전력을 정격보다 감정격(Derating)해서 사용하는 것은 고장률을 감소시키는 데는 유효한 수단이다. 또한 위와 같은 스트레스는 스크리닝 조건에도 들어 있다.

재료의 전기적인 결함과 금속 확산 및 방사성 민감성의 메커니즘은 현재의 전력 디바이스로 보아 일반적인 사용 환경 조건하에서 열화 고장을 관측하는 데는 적다.

<표 2> 다이오드의 열화에 의한 변동특성

| 특성항목 | 기호 | 특성의 변동 경향 | 고장모우드 트러블 상 |
|-------|-----------|-----------|------------------------|
| 역 전 류 | I_{RRM} | ↑ | 전류증가에 의한 내압분담이상, A-K쇼트 |
| 순 전 압 | V_{FM} | ↑ | |
| 역회복시간 | t_{rr} | | |
| 열 저항 | R_{th} | ↑ | |

↑ 증가경향을 표시. 굵은 선은 강한 경향, 가는 선은 약한 경향

↓ 감소경향을 나타낸다.

<표 3> 트랜지스터의 열화에 의한 변동특성

| 특성항목 | 기 호 | 특성의 변동 경향 | 고장모우드 트러블 현상 |
|---------------|-------------------------------|-----------|--------------------------|
| 커패터, 에미터간 전압 | V_{CEr} (sus) | ↓ | |
| 커패터차단 전류 | I_{CBO} | ↑ | 전류증가에 의한 내압저하 A-K쇼트 |
| 에미터차단 전류 | I_{EBO} | ↑ | |
| 직류전류 증가율 | h_{fe} | ↓ | 툼온하지 않고 출력이상 손실증대에 의한 파괴 |
| 커패터에 미터 포화 전압 | V_{CC} (sat) | | |
| 베이스·에미터 포화 전압 | V_{BE} (sat) | | |
| 스위치 시간 | t_{on} t_{de} t_r | | |
| 커패터 출력용량 | C_{ub} | | |
| 열 저항 | R_{th} | ↑ | |

(2) 고장모우드와 발생하는 트러블 현상

<표 2> ~<표 4>에 전력용 다이오드와 트랜지스터 및 다이리스터의 특성 항목과 열화 진행에 따른 고장 모우드와의 관계 및 이에 따른 트러블 현상을 나타내고 있다.

열화에 의한 특성값의 변동은 직류 정특성에 강하게 나타난다. 트러블 현상은 적용 회로 조건에 따라 크게 다르기 때문에 대표적인 항목을 나타내었다. 특히 전력용 디바이스는 그의 적용회로 임피던스가 낮고 디바이스의 열화 진행이 어느 한계값을 넘으면 대전류가 흐르고 접합용해나 단락으로 장치 이상 또는 정지에 의하여 이상을 발견하는 일이 많다. 또한 임피던스가 낮은 것과 함께 트랜지스터와 다이리스터는 ON-OFF의 스위칭 동작으로 사용하기 때문에

<표 4> 다이리스터의 열화에 의한 변동특성

| 특성항목 | 기 호 | 특성의 변동 경향 | 고장모우드 트러블 현상 |
|-------------|------------------------|-----------|-----------------------|
| 오프전류 역 전류 | I_{DRM} I_{RRM} | ↑ | 전류증대에 의한 내압저하, 전압분담이상 |
| 온 전압 | V_{RM} | ↑ | |
| 게이트 트리거 전압 | V_{GT} | ↑ | 트리거하지 않고 출력이상전류실패 |
| 게이트 트리거 전류 | I_{GT} | ↑ | 트리거하지 않고 출력이상전류실패 |
| 게이트 비 트리거전압 | V_{GD} | ↑ | |
| 게이트 비 트리거전류 | I_{GD} | | |
| 툼온시간 | t_{on} | | |
| 툼오프 시간 | t_{off} | | |
| 역회복시간 | t_{rr} | | |
| 보존전류 | I_H | | |
| 임계오프 전압상승률 | dV/dt | | |
| 열 저항 | R_{th} | ↑ | |

특성이 약간 열화해서 변동해도 동작 중에 적용장치의 출력 특성 등으로 이러한 열화를 파악하고 감시하는 것이 어려운 것도 전력용 디바이스를 적용하는데 대한 특징이다. 사전에 디바이스의 열화를 파악하는 데는 정기적인 특성 검사의 실시 또는 값은 비싸게 되지만 디바이스의 직병렬수를 증가시켜서 적절한 열화 회로를 부가하는 방식을 채용하지 않으면 안된다.

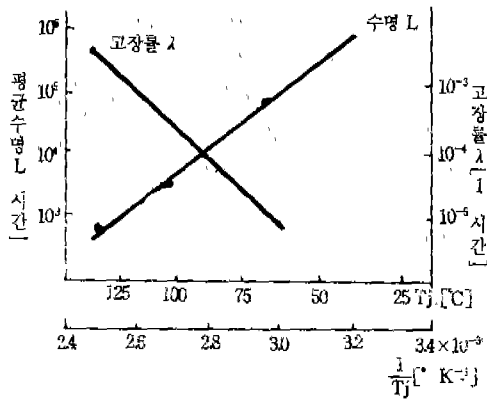
3. 열화의 진행속도와 온도 의존성

(1) 열화의 진행속도와 온도 의존성

<표 1>과 같이 고장의 메커니즘을 갖는 디바이스는 반응하기 쉬운 각 스트레스에 의하여 물리·화학적 변화로 반응하고 열화 고장이 된다. 이러한 물리적, 화학적으로 반응하는 과정은 가해진 온도나

전기 등의 스트레스 정도 또는 이들을 조합시킨 정도에 따라 그 반응 속도는 다르다.

특히 온도 의존성이 있는 고장 메커니즘에 대해서는 아레니우스의 반응 법칙이 잘 일치한다. 활성화 상태에 있는 물질의 물리·화학적인 변화의 온도의 의존성과 그의 반응속도 K는 다음 식으로 표시된다.



<그림 1> 수명의 온도 의존성 예

$$K = A \cdot \exp(-E/kT) \dots\dots\dots (1)$$

또는

$$\ln k = \ln A - E/kT = A_1 - B_1/kT \dots\dots\dots (2)$$

여기서 K : 반응속도

E : 활성화 에너지

k : 볼츠만 상수(Boltzmann Constant)

T : 온도(절대 온도 ° K)

A, A₁, B : 상수

디바이스의 열화 고장에 의한 수명 L은 반응속도 K의 역수에 비례하고 또한 고장률 λ는 K에 비례하는 양이기 때문에 다음 식으로 표시된다.

$$\ln L = A_2 + B_2/T \dots\dots\dots (3)$$

$$\ln \lambda = A_3 - B_3/T \dots\dots\dots (4)$$

여기서 A₂, A₃, B₂, B₃ : 상수

이상으로 부품의 수명과 고장률을 log 눈금으로 세로축에, 가로축에 절대 온도의 역수(1/T)로 플롯하면 <그림 1>과 같이 온도에 대하여 직선으로 나

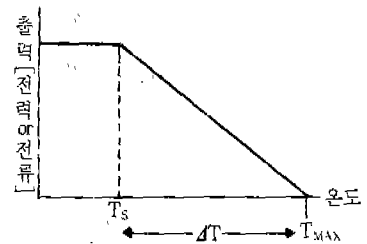
타난다. 또한 직선의 기울기는 (2)식의 제2항에서 활성화 에너지 E를 나타내며 각 디바이스의 특유한 값이다.

이와 같이 열화의 진행 속도와 수명의 온도 의존성은 아레니우스의 반응 법칙으로 표시되고 여러가지 수명과 온도 의존성은 아레니우스차 반응 법칙으로 표시되고 여러가지 수명과 온도 의존성의 시험결과에서 식과 잘 일치하고 있는 것이 보고되고 있다. 각 디바이스의 온도와 수명의 관계는 각 디바이스 메이커의 카탈로그나 기술 자료에 기재되어 있으므로 참조하기 바란다. 수명과 온도에는 이상과 같은 깊은 관계가 있으며 온도를 저감시켜서 사용하는 것은 수명을 길게 하고 고장률을 저감시키는 데 유효하다. 또한 가속 시험 방법의 수단으로서 받아들이고 있다.

온도 이외의 스트레스에 대한 열화 진행 모델로서는 아이링의 반응 법칙에 의한 모델이나 MIL-HDBK-217C에 의한 모델이 있으며 전압 스트레스나 전력 스트레스에 의한 시험 결과가 있다.

(2) 스트레스와 수명예측

디바이스의 수명 예측법으로서 MIL-HDBK-217(1979년)의 방식에 대하여 설명한다.



<그림 2>

<표 5> 기준고장률의 정수

| | A | N _T | T _V | P | ΔT |
|--------------|------|----------------|----------------|------|-----|
| Si npn 트랜지스터 | 0.13 | -1052 | 448 | 10.5 | 150 |
| Si 정류용 다이오우드 | 0.9 | -2138 | 448 | 17.7 | 150 |
| 다이리스터 | 0.82 | -2050 | 448 | 9.6 | 150 |

<표 6> 실리콘 npn 트랜지스터(MIL-S-19500)의 기본고장률 λ_b

단위(1/10⁶H)

| T [°C] | S | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| | .1 | .2 | .3 | .4 | .5 | .6 | .7 | .8 | .9 | 10 |
| 0 | .0034 | .0014 | .0048 | .0057 | .0067 | .0079 | .0095 | .011 | .014 | .018 |
| 10 | .0038 | .0046 | .0054 | .0064 | .0075 | .0089 | .010 | .013 | .017 | .023 |
| 20 | .0043 | .0051 | .0060 | .0071 | .0084 | .010 | .012 | .015 | .020 | .029 |
| 25 | .0046 | .0054 | .0064 | .0075 | .0089 | .010 | .013 | .017 | .023 | .033 |
| 30 | .0048 | .0057 | .0067 | .0079 | .0095 | .011 | .014 | .018 | .025 | |
| 40 | .0054 | .0064 | .0075 | .0089 | .010 | .013 | .017 | .023 | .033 | |
| 50 | .0060 | .0071 | .0084 | .010 | .012 | .015 | .020 | .029 | | |
| 55 | .0064 | .0075 | .0089 | .010 | .013 | .017 | .023 | .033 | | |
| 60 | .0067 | .0079 | .0095 | .011 | .014 | .018 | .025 | | | |
| 65 | .0071 | .0084 | .010 | .012 | .015 | .020 | .029 | | | |
| 70 | .0075 | .0089 | .010 | .013 | .017 | .023 | .033 | | | |
| 75 | .0079 | .0095 | .011 | .014 | .018 | .025 | | | | |
| 80 | .0084 | .010 | .012 | .015 | .020 | .029 | | | | |
| 85 | .0089 | .010 | .013 | .017 | .023 | .033 | | | | |
| 90 | .0095 | .011 | .014 | .018 | .025 | | | | | |
| 95 | .010 | .012 | .015 | .020 | .029 | | | | | |
| 100 | .010 | .013 | .017 | .023 | .033 | | | | | |
| 105 | .011 | .014 | .018 | .025 | | | | | | |
| 110 | .012 | .015 | .020 | .029 | | | | | | |
| 115 | .013 | .017 | .023 | .033 | | | | | | |
| 120 | .014 | .018 | .025 | | | | | | | |
| 125 | .015 | .020 | .029 | | | | | | | |
| 130 | .017 | .023 | .033 | | | | | | | |
| 135 | .018 | .025 | | | | | | | | |
| 140 | .020 | .029 | | | | | | | | |
| 145 | .023 | .033 | | | | | | | | |
| 150 | .025 | | | | | | | | | |
| 155 | .029 | | | | | | | | | |
| 160 | .033 | | | | | | | | | |

반도체 디바이스의 온도 T, 전기 스트레스 S에 대하여 기본 고장률 λ_b 는 다음 식과 같다.

$$\lambda_b = A \exp\left\{ \frac{N_r}{273 + T + \Delta T \cdot S} \right\} \times \exp\left\{ \frac{273 + T + \Delta T \cdot S}{T_V} \right\}^p \dots \dots \dots (5)$$

여기서 A : 고장률 배분 계수

N_r, T_V, P : 형상 파라미터

ΔT : 정격 최고 접합 온도 T_{MAX} 와 감정격 (Derating) 시작의 주위 온도 또는 케이스 온도 T_s 와의 차이 온도 <그림 2 참조>

S : 사용 전기 스트레스

실리콘 npn 트랜지스터와 실리콘 다이오우드 및 다

<표 7> 실리콘 다이오우드, 일반용(MIL-S-19500)의 기본고장률 λ

단위(1/10⁶H)

| T [°C] | S | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | .1 | .2 | .3 | .4 | .5 | .6 | .7 | .8 | .9 | 1.0 |
| 0 | .0005 | .0007 | .0010 | .0014 | .0019 | .0025 | .0033 | .0043 | .0057 | .0082 |
| 10 | .0006 | .0009 | .0013 | .0017 | .0023 | .0030 | .0039 | .0052 | .0072 | .011 |
| 20 | .0008 | .0012 | .0016 | .0021 | .0027 | .0036 | .0047 | .0064 | .0095 | .016 |
| 25 | .0009 | .0013 | .0017 | .0023 | .0030 | .0039 | .0052 | .0072 | .011 | .020 |
| 30 | .0010 | .0014 | .0019 | .0025 | .0033 | .0043 | .0057 | .0082 | .013 | |
| 40 | .0013 | .0017 | .0023 | .0030 | .0039 | .0052 | .0072 | .011 | .011 | |
| 50 | .0016 | .0021 | .0027 | .0036 | .0047 | .0064 | .0095 | .016 | .020 | |
| 55 | .0017 | .0023 | .0030 | .0039 | .0052 | .0072 | .011 | .020 | | |
| 60 | .0019 | .0025 | .0033 | .0043 | .0057 | .0082 | .013 | | | |
| 65 | .0021 | .0027 | .0036 | .0047 | .0064 | .0095 | .016 | | | |
| 70 | .0023 | .0030 | .0039 | .0052 | .0072 | .011 | .020 | | | |
| 75 | .0025 | .0033 | .0043 | .0057 | .0082 | .013 | | | | |
| 80 | .0027 | .0036 | .0047 | .0064 | .0095 | .016 | | | | |
| 85 | .0030 | .0039 | .0052 | .0072 | .011 | .020 | | | | |
| 90 | .0033 | .0043 | .0057 | .0082 | .013 | | | | | |
| 95 | .0036 | .0047 | .0064 | .0095 | .016 | | | | | |
| 100 | .0039 | .0052 | .0072 | .011 | .020 | | | | | |
| 105 | .0043 | .0057 | .0082 | .013 | | | | | | |
| 110 | .0047 | .0064 | .0095 | .016 | | | | | | |
| 115 | .0052 | .0072 | .011 | .020 | | | | | | |
| 120 | .0057 | .0082 | .013 | | | | | | | |
| 125 | .0064 | .0095 | .016 | | | | | | | |
| 130 | .0072 | .011 | .020 | | | | | | | |
| 135 | .0082 | .013 | | | | | | | | |
| 140 | .0095 | .016 | | | | | | | | |
| 145 | .011 | .020 | | | | | | | | |
| 150 | .013 | | | | | | | | | |
| 155 | .016 | | | | | | | | | |
| 160 | .020 | | | | | | | | | |

이리스트에 대하여 위에서 말한 상수를 <표 5>의 값으로 하고 온도 T와 스트레스 S를 파라미터로서 기준 고장률 λ_0 가 주어 지고 값을 <표 5>, <표 6>, <표 7>에 나타내고 있다. 이것은 디바이스의 $T_s = 25^\circ\text{C}$, $T_{MAX} = 175^\circ\text{C}$ 로서 정규화된 값이다.

(a) 기본고장률을 구하는 방법 사용 케이스 온도 또는 주위 온도를 구한다. 단, $T_{MAX} = 175^\circ\text{C}$ 로서 정

규화된 값이기 때문에 디바이스의 정격 최고 접합 온도가 175°C 이하인 경우에는 다음 식에 의하여 사용 온도 T를 보정한다.

$$T = T_a(\text{or } T_c) + (175 - T_{MAX})$$

여기서 T_a : 주위 온도, T_c : 케이스 온도 스트레스 S를 구한다.

트랜지스터인 경우
$$S = \frac{P_{OP}}{P_{MAX}} \times CF$$

다이오우드 및 다이리스터인 경우

$$S = \frac{I_{OP}}{I_{MAX}} \times CF$$

여기서 P_{MAX} : 정격 콜렉터 손실

P_{OP} : 동작 콜렉터 손실

I_{MAX} : 정격 평균 정류 전류

I_{OP} : 동작 평균 정류 전류

CF : 보정 계수이며 디바이스의 T_s

T_{MAX}에 따라 다음 식에 의하여 구한다.

(i) T_s = 25°C, T_{MAX} = 175 ~ 200°C CF = 1

(ii) T_s > 25°C, T_{MAX} = 175 ~ 200°C

$$CF = \frac{175 - T_s}{150}$$

(iii) T_s = 25°C, T_{MAX} < 175°C

< 표 8 > 다이리스터의 기본고장률

단위(1/10⁶H)

| T [°C] | S | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | .1 | .2 | .3 | .4 | .5 | .6 | .7 | .8 | .9 | .10 |
| 0 | .0006 | .0009 | .0013 | .0018 | .0024 | .0033 | .0044 | .0059 | .0081 | .011 |
| 10 | .0008 | .0012 | .0016 | .0022 | .0030 | .0039 | .0053 | .0072 | .010 | .014 |
| 20 | .0010 | .0015 | .0020 | .0027 | .0036 | .0048 | .0065 | .0090 | .012 | .019 |
| 25 | .0012 | .0016 | .0022 | .0030 | .0039 | .0053 | .0072 | .010 | .014 | .022 |
| 30 | .0013 | .0018 | .0024 | .0033 | .0044 | .0059 | .0081 | .011 | .017 | |
| 40 | .0016 | .0022 | .0030 | .0039 | .0053 | .0072 | .010 | .014 | .022 | |
| 50 | .0020 | .0027 | .0036 | .0048 | .0065 | .0090 | .012 | .019 | | |
| 55 | .0022 | .0030 | .0039 | .0053 | .0072 | .010 | .014 | .022 | | |
| 60 | .0024 | .0033 | .0044 | .0059 | .0081 | .011 | .017 | | | |
| 65 | .0027 | .0036 | .0048 | .0065 | .0090 | .012 | .019 | | | |
| 70 | .0030 | .0039 | .0053 | .0072 | .010 | .014 | .022 | | | |
| 75 | .0033 | .0044 | .0059 | .0081 | .011 | .017 | | | | |
| 80 | .0036 | .0048 | .0065 | .0090 | .012 | .019 | | | | |
| 85 | .0039 | .0053 | .0072 | .010 | .014 | .022 | | | | |
| 90 | .0044 | .0059 | .0081 | .011 | .017 | | | | | |
| 95 | .0048 | .0065 | .0090 | .012 | .019 | | | | | |
| 100 | .0053 | .0072 | .010 | .014 | .022 | | | | | |
| 105 | .0059 | .0081 | .011 | .017 | | | | | | |
| 110 | .0065 | .0090 | .012 | .019 | | | | | | |
| 115 | .0072 | .010 | .014 | .022 | | | | | | |
| 120 | .0081 | .011 | .017 | | | | | | | |
| 125 | .0090 | .012 | .019 | | | | | | | |
| 130 | .010 | .014 | .022 | | | | | | | |
| 135 | .011 | .017 | | | | | | | | |
| 140 | .012 | .019 | | | | | | | | |
| 145 | .014 | .022 | | | | | | | | |
| 150 | .017 | | | | | | | | | |
| 155 | .019 | | | | | | | | | |
| 160 | .022 | | | | | | | | | |

<표 9> 환경계수

| 환경 | π_C |
|--------|---------|
| 지상(온화) | 1 |
| 지상(고정) | 5 |
| 지상(가동) | 25 |
| 선박(유함) | 10 |
| 선박(무함) | 25 |

<표 10> 적용계수

| 적용 | π_A |
|--|---------|
| 리니어 | 15 |
| 스위치 | 0.7 |
| 고주파용 (>400MHz) 및 평균전력 (< 300mW) | 5.0 |

<표 13> 스트레스 계수

| 전압스트레스 S_2 [%] | π_{S2} |
|---------------------|------------|
| 100 | 3.0 |
| 90 | 2.2 |
| 80 | 1.62 |
| 70 | 1.2 |
| 60 | 0.88 |
| 50 | 0.65 |
| 40 | 0.48 |
| 30 | 0.35 |
| 20 | 0.30 |
| 10 | 0.30 |
| 0 | 0.30 |

<표 14> 구조계수

| 복잡도 | π_C |
|----------|---------|
| 싱글트랜지스터 | 1.0 |
| 듀얼(비정합) | 0.7 |
| 듀얼(정합) | 1.2 |
| 다릴톤 | 0.8 |
| 듀얼에미터 | 1.1 |
| 멀티에미터 | 1.2 |
| 컴플라멘타리페어 | 0.7 |

<표 11> 품질계수

| 품질레벨 | π_Q |
|-----------------|---------|
| JANTXV 급 | 0.12 |
| JANTX 급 | 0.24 |
| JAN 급 | 1.2 |
| Lower | |
| 하메틱형 (일반시판품) | 6.0 |
| 플라스틱형 | 12.0 |

<표 12> 정격계수

| 전력정격 | π_R |
|----------------|---------|
| ≤ 1 watts | 1.0 |
| > 1~5 | 1.5 |
| > 5~20 | 2.0 |
| > 20~50 | 2.5 |
| > 50~200 | 5.0 |

<표 15> 품질계수

| 품질레벨 | π_Q |
|-----------------|---------|
| JANTXV 급 | 0.15 |
| JANTX 급 | 0.3 |
| JAN 급 | 1.5 |
| Lower | |
| 하메틱형 (일반시판품) | 7.5 |
| 플라스틱형 | 15.0 |

$$CF = \frac{T_{MAX} - 25}{150}$$

(iv) $T_s > 25^\circ C$, $T_{MAX} < 175^\circ C$

$$CF = \frac{T_{MAX} - T_s}{150}$$

이상의 T와 S에서 기준 고장률 λ_b 를 구한다.

(b) 사용조건하에서의 고장률 실제로 사용하는 환경하에서는 여러가지 고장 메커니즘에 대한 보정을 받고 기준 고장률 λ_b 를 기초로 다음 식에서 사용 조건하에 대한 고장률 λ 를 구하게 된다.

트랜지스터 및 다이오우드인 경우

$$\lambda = \lambda_b \cdot (\pi_E \times \pi_A \times \pi_Q \times \pi_R \times \pi_{S2} \times \pi_C) \dots (6)$$

다이리스터인 경우

$$\lambda = \lambda_b \cdot (\pi_E \times \pi_Q \times \pi_R) \dots (7)$$

여기서 π_E : 환경 계수이며 각 디바이스 공통

π_Q : 품질 계수, 제품의 품질 레벨에서 MI-L S-1900으로 정의되어 있는 것

π_R : 정격 계수

π_A : 적용 계수, 회로 기능면에서의 영향

π_{S2} : 전압 스트레스 계수, 사용할 때에 전압 스트레스 S_2 에 의한 제2의 전기 스트레스 계수

단, S_2 는 다음 식에 의한다.

$$S_2 = \frac{\text{적용 } V_{CE} \text{ 전압}}{\text{정격 } V_{CEO} \text{ 전압}} \times 100[\%]$$

π_C : 복잡도 계수, 패키지에 있는 여러개의 디바이스에 의한 복잡도 및 구조에 의한 계수

이상과 같은 보정 계수의 곱에 의하여 사용 고장률 λ 를 구하게 된다. 트랜지스터의 각 계수를 <표 7>~<표 12>에, 다이오우드의 각 계수를 <표 13>~<표 17>에, 다이리스터의 각 계수를 <표 18>~<표 19>에 나타내고 있다. 환경계수는 공통이다.

(c) 고장률 계산에 사용조건: 실리콘 다이오드, JANTX급, 정격최대 정류 전류의 0.6에서 지상 고정, 60°C 케이스, 온도, 전력, 정류기로서 정격 전압의 40% 전압으로 사용 정격은 5A, $T_s=100^\circ C$ 케이스 온도, $T_{MAX}=150^\circ C$ 에서 메탈라이즈드 본드형(Metallied Bond Type)

계산용 보정 온도

$$T = T_C + (175 - T_{MAX}) = 60 + (175 - 150) = 85$$

$$\text{스트레스비 } S = 0.6 \times CF$$

$$\text{보정계수 } CF = \frac{T_{MAX} - T_s}{150} = \frac{150 - 100}{150} = 0.33$$

< 표 16 > 정격계수

| 전류정격 | π_R |
|----------------|---------|
| $\leq 1A$ | 1.0 |
| $> 1\sim 3A$ | 1.5 |
| $> 3\sim 10A$ | 2.0 |
| $> 10\sim 20A$ | 4.0 |
| $> 20\sim 50A$ | 10.0 |

< 표 18 > 스트레스계

| 전압스트레스 S_2 [%] | π_{S2} |
|---------------------|------------|
| 0~60 | 0.7 |
| 70 | 0.75 |
| 80 | 0.80 |
| 90 | 0.90 |
| 100 | 1.0 |

단 S_2 는 다음식에 의한다.

$$S_2 = \frac{\text{적용전압 } V_R}{\text{정격전압 } V_{Rr}} \times 100 [\%]$$

$$S = 0.6 \times 0.33 \times 0.2$$

< 표 7 >에서 $T=85^\circ C$, $S=0.2$, $\lambda_b=0.0039[1/10^4h]$

환경 계수는 < 표 9 >에서 지상 고정으로 $\pi_E=5.0$

품질 계수는 < 표 14 >에서 JANTX급으로 $\pi_Q=0.3$

정격 계수는 < 표 15 >에서 정격 5A로 $\pi_R=2.0$

적용 계수는 < 표 16 >에서 전력 정류기로 $\pi_A=1.5$

전압 스트레스 계수는 < 표 17 >에서 정격 전압의 40%로 $\pi_{S2}=0.7$

구조 계수는 < 표 18 >에서 메타라디칼 본딩형

(Metaradical Bonding Type)으로 $\pi_C=1.0$

이상에서 사용 고장률 λ 는

$$\lambda = \lambda_b (\pi_E \times \pi_Q \times \pi_R \times \pi_A \times \pi_{S2} \times \pi_C) = 0.012 [1/16^3h]$$

으로 구하게 된다.

4. 보전성을 위한 데이터 수집

보전상 적용 장치가 고장나기 전에 각 디바이스의 특성을 정기적으로 측정해서 검사할 필요가 있다. 돌발 사고 이외의 열화 고장은 특성 값의 변화로

< 표 17 > 적용계수

| 적 용 | π_A |
|-------------------------------------|---------|
| 아날로그회로 ($\leq 500mA$) | 1.0 |
| 스위치 ($\leq 500mA$) | 0.6 |
| 전력용정류기 ($\geq 500mA$) | 1.5 |
| 전력용정류기 (고전압) $V_{max} > 600V$ | 2.5 |

< 표 19 > 구조계수

| 리드선의 접촉구조 | π_C |
|--------------------------|---------|
| 메타라디칼본드 | 1 |
| 비메타라디칼 본드 (스프링압접촉) | 2 |

< 표 20 > 품질계수

| 품 질 레 벨 | π_Q |
|--------------------------|---------|
| JANTXV 급 | 0.5 |
| JANTX 급 | 1.0 |
| JAN 급 | 5.0 |
| Lower 하메틱형 (일반시판품) | 25.0 |
| 플라스틱형 | 50.0 |

< 표 21 > 정격계수

| 정격평균은전류 | π_R |
|----------------|---------|
| $\leq 1A$ | 1 |
| $> 1\sim 5A$ | 3 |
| $> 5\sim 25A$ | 10 |
| $> 25\sim 50A$ | 15 |

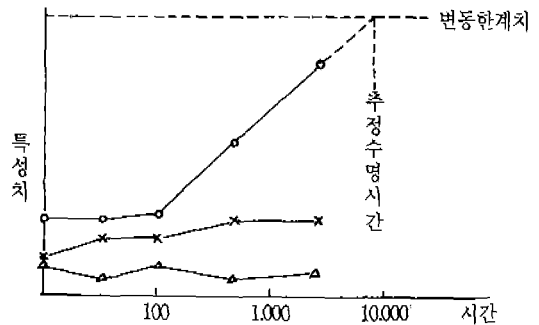
열화되는 경향을 파악할 수 있다.

앞에서 말한 바와 같이 디바이스 표면 열화에 기인하는 열화 모우드는 직류나 정특성의 경년변화로 현저하게 나타나고 또한 다른 것에 기인하는 열화도 정특성이 변화하는데 나타나는 것이 일반적이다. 이러한 것으로 보아 보전을 위한 측정 데이터는 측정도 관련한 정특성으로 충분하다. 각 디바이스의 보전 데이터로서 측정 항목을 < 표 22 >에 나타내고 있다.

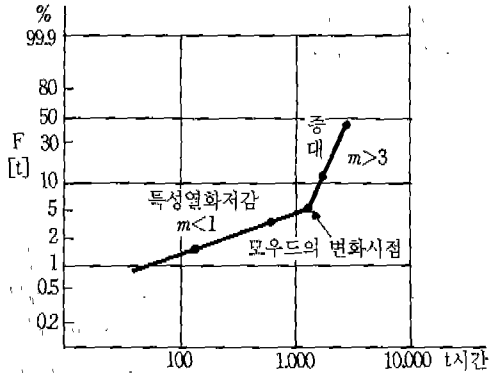
데이터의 해석으로 전력용 디바이스에서는 측정값을 < 표 3 >과 같이 시간으로 플롯하고 경년변화에서 변화율이 큰 것에 착안하며 그 경향에서 수명

< 표 22 > 디바이스 측정특성

| | |
|-------|--|
| 디바이스 | 열화판정을 위한 측정특성 |
| 다이오우드 | 역전류 (I_R) |
| 트랜지스터 | 컬렉터 차단전류 (I_{CEO}) 직류전류증폭률 |
| 다이리스터 | 오프 및 역전류 (I_n, I_r) 게이트트리거전압, 전류 (V_{gt}, I_{gt}) |



< 그림 3 > 특성의 경년변화 특성 예



<그림 4> 와이블 차트에 의한 수명예측 예

을 예측 추정하는 것이 일반적이다.

또한 고장에는 이르지 않아도 특성의 변화값이나 변화율을 실용적인 값보다 엄격한 값으로 설정하여 이 값을 수명 시점으로 설정하여 고장의 수를 구하고 <그림 4>와 같이 와이블 차트로 플로트해서 디바이스의 열화 경향이 감소 방향에 있는가 또는 증가 방향에 있는가를 예측할 수가 있다. 이것은 사용

모수에 비하여 고장율이 적은 경우에 한가지 방법인데 실용 장치에서는 별로 없는 일이나 실제의 고장수가 해석수에 유용한 수의 경우도 물론 유효한 수단이다.

결론

반도체 디바이스의 진보는 근래에 와서 현저하게 발달하였다. 전력용 반도체 디바이스도 예외는 아니며 그의 정격 특성과 생산성의 향상도 표면 안정화 방식 등에 대한 신뢰성면의 기술 진보와 함께 발달하여 모듈드형의 전력 디바이스가 출현하였다. 또한 GTO, GAT, SIT파워 트랜지스터 등과 같은 새로운 기능의 대전력 반도체 디바이스가 제품화되고 있다.

여기서는 극히 일반적인 디바이스의 신뢰성과 수명에 대해서만 언급하였으며 위에 말한 새로운 디바이스와 함께 열화 고장의 메커니즘이나 모우드도 디바이스의 고유한 것이기 때문에 앞으로도 이러한 디바이스의 신뢰성 정보에 정통할 필요가 있을 것이다.

명심보감

經目之事 恐未皆眞 背後之言 豈足深信

(눈으로 직접 본 일도 다 진실되지 아니할까 두렵거늘, 뒤에서 하는 말을 어찌 시원스럽게 깊이 믿을 것인가)

= 내용의 주제 =

내 눈으로 직접 본 일도 모두 진실이라고 볼 수 없는데 남의 하는 말을 듣고 그것을 그대로 받아들인다면 그것은 매우 어리석고 위험한 일이다.

남의 말을 믿지 않을 수도 없지만 남의 말만 듣고 그것을 깊이 믿는 것을 경계하라는 말