

전력 VDMOSFT 의 V_{GS} 와 V_{DS} 전압 검출에 의한 온도측정

김재현 이우선 정헌상 윤병도*
 조 선 대 학 교
 중 앙 대 학 교*

Temperature Measurement by V_{GS} and V_{DS} Method of Power VDMOSFET.

Jae-Hyun Kim, Woo-Sun Lee, Hun-Sang Chung, Byung-Do Yoon*
 CHO-SUN University
 CHUNG-ANG University*

Abstract

Double-diffused metal oxide power semiconductor field effect transistors are used extensively in recent years in various circuit applications. The temperature variation of the drain current at a fixed bias shows both positive and negative resistance characteristics depending on the gate threshold voltage and gate-to source bias voltage. In this study, the decision method of the internal temperature measurement by V_{GS} and V_{DS} are presented.

1. 서론

전력VDMOSFET (Vertical Double-diffused Metal oxide semiconductor Field Effect Transistor)는 최근 상용화가 되면서 온도특성에 대해서 많이 연구 되고 있다. 1) - 3)

이 device는 바이폴라 트랜지스터에 비해서 빠른 스위칭 속도와 좋은 열적 안정도를 가지고 있다.

전력 MOSFET는 UMOS, VMOS, VDMOS 크게 세가지 종류로 나눌 수 있다. 어떤 전력 MOSFET 나 특성 측정으로 온도특성에 대한것은 기본적인 사항이다.

반도체 device에서 가장 중요한 특성중 하나는 온도에 관한것이기 때문이다.

온도는 반도체의 동작이나 신뢰도 또는 수명을 결정하는데 대단히 많은 영향을 미치게 되고 device의 전기적인 특성에도 많은 영향을 미친다. 특히 전력 MOSFET 제조시에는 정확하고 신뢰성있는 device 온도 측정법이 요구 된다. 또 온도 측정시에는 device

의 파괴가 없어야 한다. 따라서 본 연구에서는 제조된 전력 VDMOSFET 에 대한 정확한 온도측정을 위하여 drain-source 간 전압을 검출하여 전력

VDMOSFET 의 내부 온도를 측정하는 방법(V_{DS} 법)과 gate-source 간 전압을 검출하여 전력 VDMOSFET 의 내부온도를 측정하는 방법(V_{GS} 법)의 2가지방법에

대하여 실험회로를 설계 구성하였고, 이 회로를 서로 다른 전력 VDMOSFET 2개에 직접적용하여 내부 온도를 측정한 결과를 보고하고자 한다.

2. 전력 MOSFET 온도 측정을 위한 전압검출. 온도측정을 위한 전압검출은 MOSFET 내부의 온도측정을 위해서 하였다. 그러나 이 전압검출법은 실제적으로 반도체 device 에 적용할 때에 다음과 같은 제한 요소가 있다. 이 제한요소를 첫째, 측정된 온도 변화값을 읽을 수 있도록 측정전압값이 충분히 커야 하고 다른 회로에 응용이 가능하도록 충분한 온도 결정을 할 수 있어야 한다.

일반적으로 이 측정전압에 의한 온도검출 값은mV/°C로 나타낸다.

둘째로, 온도를 전기적으로 검출하는 방법의 의해서 측정된 온도값은 선형적으로 변화 해야 한다.

왜냐하면 이것은 온도값과 검출전압값의 관계를 정의하는 calibration(온도 교정값)의 결정이 쉽기 때문이다.

셋째로, 전기적인 값의 변화에따른 온도변화값은 반복 실험 측정에서도 변하지않아야 한다.

넷째로, 측정된 온도는 다른 외부에서 기인하는 온도를 제외한 device 내 그 자체의 온도를 측정할 값이어야 한다.

Device 의 신뢰성과 수명을 고려할때 검출 온도는 device 의 최적값이 되어야하고 온도측정은 쉽고 빠르게 할 수 있어야 한다.

일반적으로 n-channel 전력 Vertical Double Diffused MOSFET 에서 전류가 통전 상태에 있을때의 단면을 그림1에 나타낸다.

본 실험에서 전기적인 변화값에 의한 온도 측정은 이 그림1에 구조와 같은 구조로 하였다. 여기서 전류는 drain 과 source 사이에 이중 수직으로

흐르고 gate 와 source 간 bias 전압에 의해서 제어된다.

3. 온도측정과정

정상상태에서의 온도측정은 과도상태에서도 온도측정에 적용할 수 있어야 한다.

본 연구에서한 온도측정은 MOSFET 에 정상 전류가 흐르는 상태의 heating 상태에서 MOSFET 에 정상전류가 흐르지 않고 온도측정을 위한 전류가 흐르는 상태인 측정상태 (measurement 상태)로 급속히 상태를 바꾸어 주어서 온도 측정을 하였다.

MOSFET case 온도는 사용한 방열판에 의해서 계속 일정히 유지하였다.

측정시간 동안에 온도측정을 위한 전압값을 검출하고 시간의 함수로서 측정된 전압파형을 오실로 스크로프에 의하여 추적하였다.

측정시간동안 온도검출값으로 MOSFET 의 측정비를 결정하는데 매우 중요하고 MOSFET 상태에서 측정상태로 바꾸어 주는때 중요하게 작용한다.

전기적인 검출전압에 의한 온도측정에 만들어진 calibration curve는 MOSFET 내부에 인가된 heating 전력이 없고 단지 외부에서 온도를 인가하여 MOSFET 내부에 전압을 측정한 curve 이다.

실측에 의한 MOSFET 온도를 결정하기 위해서 측정기간동안 얻어진 검출전압에 의한 온도값은 calibration curve 에서 구하였다.

온도측정을 위해서는 MOSFET 가 온도 측정하는 동안 온도측정 점에서 일정한 온도로 유지 되어야한다. 본 연구에서 선택한 온도측정점은 MOSFET 내부 반도체 chip부분 바로밑 트랜지스터 case 부분에서 하였다. 온도는 MOSFET case 바로 밑 부분인 방열판과 MOSFET 사이에 끼어넣은 thermocouple 에 의해서 전압을 측정할 수 있고 이 전압을 온도로 환산하여 측정 온도도 하였다. 여기서 사용한 thermocouple은 동-콘스탄탄을 사용하였다.

MOSFET 가 고정된 방열판은 평판하게 하였으며, MOSFET 고정은 나사못으로 2중 고정하였다.

Source-gate 전압에 의한 온도측정은 MOSFET 의 on, off 상태를 변화하여 여기서 측정된 전압을 온도로 환산하였다.

Threshold 전압 V_T 는 MOSFET 가 turn-on하는데 필요한 전압 V_{GS} 의 값과 거의 같은 전압값이다.

이 V_{GS} 는 측정온도값이 되고 turn-on 전압이다. 그러나 실제적인 V_{GS} 값은 $V_{GS} - V_T$ 값이 된다. 여기서 drain 전류 I_{DS} 는 다음식으로 된다.

$$I_{DS} = A\mu (V_{GS} - V_T)^2$$

윗식은 MOSFET 가 포화상태에 있을때 성립한다.

즉, 이때의 drain 전압 V_{DS} 는 $V_{DS} > V_{GS}$ 일때이다.

그림 2(a)는 drain-source 간 전압을 이용하여 온도 측정하는 회로이다.

본 회로에서 I_{DS} 는 10mA 정도로 적은 값이다.

V_T 온도변화는 MOSFET 채널부분에서의 온도변화값에 의한다.

Gate-source 간 전압에 의한 온도측정값은 주로 MOSFET 채널부분의 온도값이다.

이 회로는 MOSFET, 4개의 power supply, 4mA 전류원, 6개의 트랜지스터로 구성되었다. 온도측정시 PNP 트랜

지스터가 모두 turn on 하게 된다.

V_{GS} 와 V_{DS} 전압은 heating 상태의 drain 전류 I_{DS} 를 조정한다. 온도측정시 PNP 트랜지스터가 모두 turn on 하게 된다.

Gate는 접지되고 전류원 4mA를 온도측정시 인가되는 전류로 drain 과 source 사이에 인가된다. 인가된 전압은 극성이 반대인 역전압이 된다. 즉 drain 은 source 에 대하여 부성이다. 이전류원의 크기는 10mA 이하로 하였다 drain 과 source 전압은 전류원을 일정히 유지 하도록하였다.

온도측정으로서 gate-source 간 전압을 이용하여 온도를 측정하는 회로를 그림 2(b)와 같이 구성하였다. 이 회로는 MOSFET, 1개 전류원, 3개 power supply, 4개의 트랜지스터로 구성되어 있다. Heating 상태에서 NPN 트랜지스터가 모두 turn-on 한다.

Drain 전류가 I_{DS} 이고 drain-source 간 전압은 V_{DS} 이다.

온도를 측정하기위하여 PNP 트랜지스터가 모두 turn on 하면 drain 전류 I_{DS} 까지 변화한다. 즉 MOSFET

heating 예서는 회로에서 PNP 트랜지스터가 모두 turn on 하고 measurement 예서는 PNP 트랜지스터가 모두 turn on 하여 heating 과 measurement 상태를 만든다.

또, source-gate 전압은 온도측정상태에 따라서 가감된다.

4. 실험결과

본 연구에서는 온도 측정법으로 V_{GS} , V_{DS} 의 전압을 이용하는 2가지 방법에 대한 실험을 하였다.

실험에 사용한 MOSFET 의 최대정격 전압은 직류 500V 40A pulse이며 디바이스 사양은 표1과 같다. 본

실험에서는 n-channel power MOSFET 로 하였다. 그러나 P-channel Power MOSFET 에서도 본 실험 결과와 거의 같게 될 것으로 생각된다.

Table 1. Maximum ratings.

	V _{DS} (V)	V _{GS} (V)	I _{DS} (A)	R _{DS} (Ω/CM)	P(W)
#1	500	20	32 (M)	0.85	125
#2	400	20	40 (M)	0.55	125
#1 : IRF840, #2 : IRF740					

내부 온도 측정 방법은 drain 전류를 본 방법에서는 본 고정하고서 gate 전압을 조정하여 동온상태에서 그림3과 같은 calibration curve 를 실험하여 만들어 그다음 device 를 실험하여 여기에서 측정 한 gate 전압을 calibration curve 일치 시켜서 전력 MOSFET 의 내부 온도를 구하였다. 이 calibration curve 본 선형으로 변화하였다. 그림3에는 Power n-channel MOSFET 인 IRF 840 에서 측정 한 V_{GS} 와 V_{DS} 의 calibration curve 의 비교를 나타낸 것으로 V_{DS} 에 의한 측정이 V_{GS} 보다 안정되었다고 V_{DS} 에 의한 방법이 V_{GS} 에 의한 방법보다 측정 전압이 낮았다. 소형 전기모터에 이용하여 전력 MOSFET device 전체에 일정한 온도를 인가하여 생긴 V_{DS} 와 V_{GS} 의 전압을 검출하여 calibration curve 를 만든 다음 MOSFET 정격전압 인가상태에서 (순방향 바이어스상태) 전류가 흐를 경우 발생된 열을 MOSFET case 와 MOSFET 를 고정하고 있는 병렬판 사이에 thermocouple 을 연결하여 측정된 전압을 calibration curve와 비교하여 측정된 온도를 표2에 나타냈다.

Table 2. Temperature measurement using V_{DS}, V_{GS} method.

NO	I _{DS} (A) / V _{DS} (V)	V _{GS} (°C)	V _{DS} (°C)
1	0.5 / 60	31.0	28.8
2	0.5 / 60	35.0	36.5

MOSFET 온도는 전체의 device 에 걸쳐서 일정하므로 표2의 결과는 대략 peak 온도의 80 - 100%에 해당된다고 본다. 또 이 두 실험 MOSFET 의 전력인 V_{DS} × I_{DS} 는 같으므로 전력에 의한 온도 방사는 두 device 모두 같은 것으로 간주한다.

5. 검토

회로에서 MOSFET 가 측정상태에서 heating 상태로 전환될때의 파형은 외부적인 요인에 의한 것이 포함되게 된다.

Calibration 동안에는 전기적인 상태는 존재하지 않고 측정상태에서 heating 으로 전환이 없다.

따라서 회로에서의 스위칭 상태는 즉시 파형으로 본 간하기 어렵다. 왜냐하면 device 측정상태에서 cooling이 되므로 온도의 감소가 일어나기 때문이다.

V_{DS} 의 경우 측정상태에서의 파형은 그림4의 모양과 같다.

이 파형에서 시간 t<30us 경우 device 를 heating 이 되고 t>30us 에서 device 는 cooling 된다.

또, V_{DS} 경우는 스위칭 시간이 V_{GS} 보다 길다. MOSFET V_{GS} 의 전기적인 스위칭 시간은 source-drain 과 channel 각각에 대한 gate 정격용량의 크기 에따라서 제한된다. 즉 drain-source 의 영역은 매우 넓고 거의 MOSFET 전류가 흐르는 모든 부분이 된다.

때문에 이부분에서 정전용량이 전압에 미치는 정도가 매우 크다고 보며 역방향 전압이 걸려서 역 전도층이 존재한다.

MOSFET case 의 측정위치에서의 온도는 온도 측정하는 동안에 계속 일정히 유지 되어야 한다.

왜냐하면 case 의 온도는 위치에 따라 균일하지 않기 때문이다. 따라서 온도 측정은 항상 일정한 부분에서 계속해야한다. 본 실험에서 온도 측정 위치 선정은 반도체 chip 바로 밑부분에 해당되는 case 의 부분을 선정하여 행하였다.

MOSFET 의 열이 병렬판 접촉부분에서 방사될지라도 온도경사는 MOSFET case 밑바닥에 존재하게된다.

60W 전력 방사를 하는 MOSFET 에서 동으로 만들어진 case 의 경우 반도체 chip 바로 밑 부분의 곳에서 실제의 반도체 chip의 온도와는 약 2°C 의 온도차로 된다. 또 알루미늄의 경우는 3°C , 텅스텐의 경우는 6°C 온도차가 된다.

그림5는 본 실험에서 사용한 인가전압 펄스 주기에 따른 온도 변화 관계를 나타낸다.

Drain 전류 I_A, 전압 40V 인가시에 측정을 하였으며, V_{DS} 와 V_{GS} 방법을 서로 비교하였다.

Long 펄스가 될수록 두 방법공히 온도가 하강하였고, short 펄스에서 온도는 상승하였다.

또, V_{DS} 와 V_{GS} 두 방법중 동일 조건일 같은 펄스에서 온도는 V_{GS} 법에 의한 방법이 높았다.

6. 결론

제조된 전력 VD - MOSFET 의 내부온도를 정확히 측정하기 위하여 2가지 특성이 서로 다른 MOSFET 를 택하여 전압을 검출하는 회로를 구성하고 이 회로에 의해서 검출된 전압을 측정하여 MOSFET 온도를 구하는 방법을 제시하고 본 방법에 대한 타당성을 입증하였다. 이 전압검출은 V_{GS} 와 V_{DS} 전압을 검출하는 방법으로 하여 heating 상태와 measurement상태로 나누어 설계하였다.

* 참고문헌

1. 이우선 "전력 VD MOSFET 의 온도변화 특성에 관한연구" 대한 전기학회 논문지 36권 7호 1986년 7월

2. D. Blackburn "Transient thermal response measurement of power transistors" IEEE IECE -22, No. 2, 1975.
3. D. Blackburn "Thermal characterization of power transistors" IEEE Electron Devices, ED-23, No. 8, 1976.

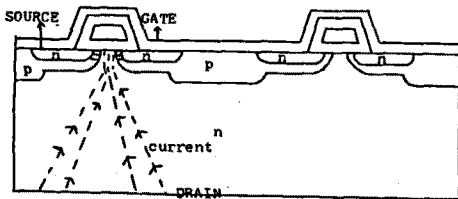


Fig. 1. A cross-sectional view of power VDMOSFET.

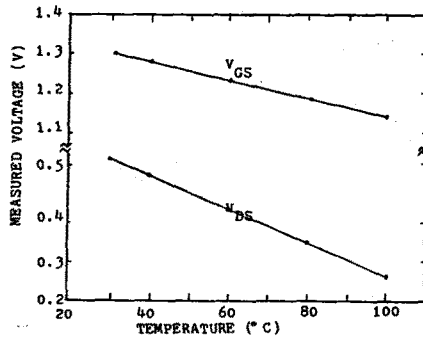


Fig. 3. calibration curve.

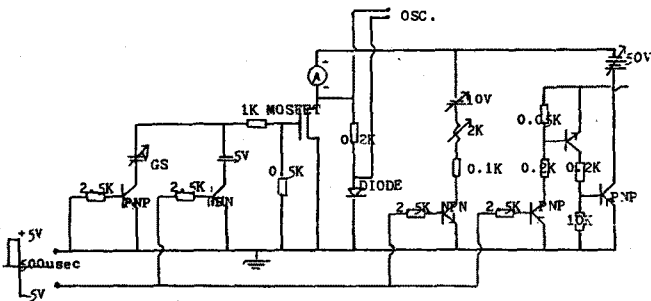


Fig.2(a) Internal temperature measurement by V_{DS} method.



Fig. 4. Waveform

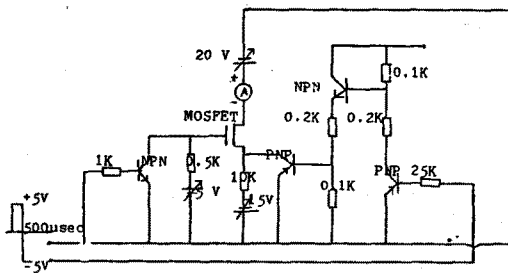


Fig.2(b) Internal temperature measurement by V_{GS} method.

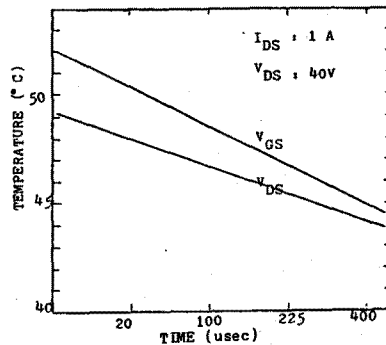


Fig. 5. Time vs. temperature obtained by V_{DS} , V_{GS}