



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년06월24일  
(11) 등록번호 10-1531018  
(24) 등록일자 2015년06월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01R 31/26 (2014.01)

(21) 출원번호 10-2014-0088429

(22) 출원일자 2014년07월14일

심사청구일자 2014년07월14일

(56) 선행기술조사문헌

JP2008154420 A

WO0017927 A1

KR100708307 B1

KR1020140054657 A

(73) 특허권자

한국전기연구원

경상남도 창원시 성산구 불모산로10번길 12 (성주동)

(72) 발명자

강인호

경상남도 진주시 강남로 45, 115동 402호(주약동, 금호석류마을아파트)

문정현

경상남도 창원시 성산구 동산로 124, 103동 704호(상남동, 토월성원)

방욱

경상남도 창원시 성산구 원이대로 774, 504동 502호(상남동, 성원아파트)

(74) 대리인

특허법인부경

전체 청구항 수 : 총 5 항

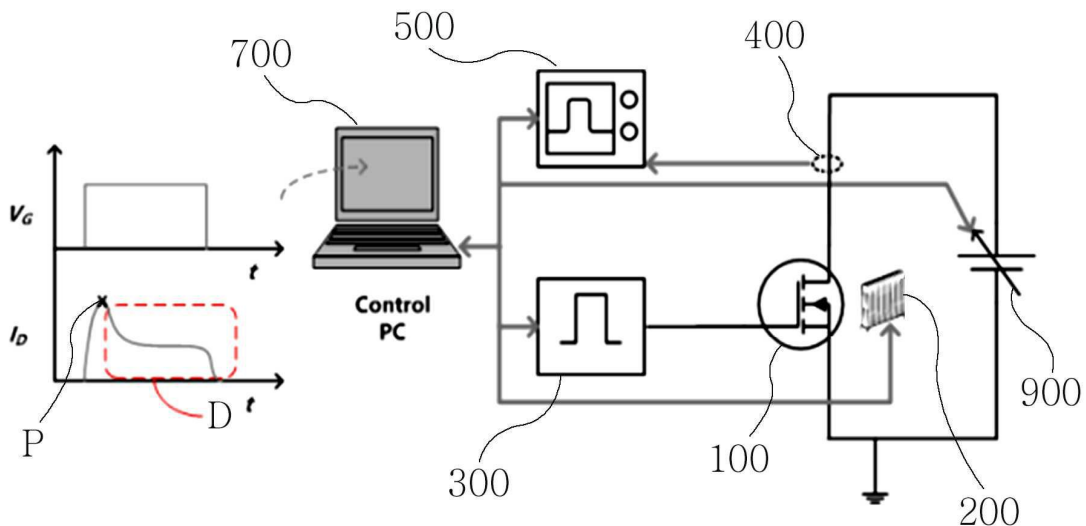
심사관 : 박근용

(54) 발명의 명칭 전력반도체소자의 불량 예측 방법

(57) 요약

본 발명은 전력반도체소자의 불량 예측 방법에 관한 것으로서, 동작중인 전력반도체소자에 별도의 신호를 인가하지 않고 전력반도체소자의 불량을 예측할 수 있도록 하는 것을 목적으로 하며, 이러한 목적 달성을 위한 본 발명의 실시예에 따르면, 상기 전력반도체소자의 접합부 온도에 대한 드레인저항을 교정하여 온도-드레인저항 관계식을 생성하는 교정단계와; 상기 전력반도체소자의 게이트전류, 드레인전압 및 드레인전류를 측정하는 측정단계; 및 상기 온도-드레인저항 관계식으로부터 상기 전력반도체소자의 접합부 온도를 계산하고 상기 게이트전류와 상기 접합부 온도를 기설정된 기준값과 비교하여 상기 전력반도체소자의 불량 발생 가능성을 출력장치를 통해 경고하는 알림단계;를 포함하는 것을 기술적 요지로 한다.

대표도 - 도4



**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

전력변환시스템에서 동작중인 상태의 전력반도체소자에 대한 불량률 예측하기 위한 방법으로서,  
 상기 전력반도체소자의 접합부 온도에 대한 드레인저항을 교정하여 온도-드레인저항 관계식을 생성하는 교정단계;  
 상기 전력반도체소자의 게이트전류, 드레인전압 및 드레인전류를 측정하는 측정단계; 및  
 상기 온도-드레인저항 관계식으로부터 상기 전력반도체소자의 접합부 온도를 계산하고 상기 게이트전류와 상기 접합부 온도를 기설정된 기준값과 비교하여 상기 전력반도체소자의 불량 발생 가능성 여부를 출력장치를 통해 경고하는 알림단계;  
 를 포함하는 것을 특징으로 하는 전력반도체소자의 불량 예측 방법.

**청구항 2**

제1항에 있어서,  
 상기 교정단계는,  
 상기 전력반도체소자에 기설정된 펄스를 인가하는 단계와,  
 상기 전력반도체소자의 드레인전압 및 드레인전류 파형을 측정하는 단계와,  
 상기 드레인전류 파형의 최고점(peak) 및 상기 드레인전류의 파형이 최고점일 때의 드레인전압을 이용하여 드레인저항을 계산하는 단계 및  
 상기 전력반도체소자의 외부 온도와 상기 드레인전압을 변화시키며 온도-드레인저항을 추출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 전력반도체소자의 불량 예측 방법.

**청구항 3**

제1항에 있어서,  
 상기 교정단계에서 상기 온도-드레인저항 관계식은 다음의 수학적식

$$r_{ds}(T) = \sum_{i=0}^{N-1} a_i T^i$$

(여기서,  $a_i$ 는 맞춤 계수이고,  $T^i$ 는 온도 변화이다.)

에 곡선맞춤하는 것을 특징으로 하는 전력반도체소자의 불량 예측 방법.

**청구항 4**

제1항에 있어서,  
 상기 알림단계에서 계산된 접합부 온도가 기준값 이상이면 상기 전력반도체소자의 접합부 온도가 과열된 것으로 판단하여 상기 출력장치를 통해 제1경고메시지를 출력하고,  
 상기 알림단계에서 게이트전류가 기준값 이상이면 상기 전력반도체소자의 게이트 절연막이 손상된 것으로 판단하여 상기 출력장치를 통해 제2경고메시지를 출력하는 것을 특징으로 하는 전력반도체소자의 불량 예측 방법.

**청구항 5**

제1항에 있어서,

상기 계측단계에서 측정된 드레인전압을 기설정된 기준값과 비교하는 드레인전압 비교단계를 더 포함하며,  
 상기 드레인전압이 기준값 이상이면 상기 출력장치를 통해 제3경고메시지를 출력하는 것을 특징으로 하는 전력 반도체소자의 불량 예측 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 전력반도체소자의 불량 예측 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 동작 중인 전력반도체소자에서 측정을 위한 별도의 신호를 인가하지 않고 전력반도체소자의 불량을 예측하는 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 전력반도체소자는 큰 전류의 흐름을 제어할 수 있는 반도체로서 MOSFET 및 IGBT와 같은 스위치소자와 다이오드 등으로 구성된다. 이들 소자는 수천 볼트 혹은 수백 암페어의 전류를 흘릴 수 있을 정도로 내구성이 강하지만 부하의 운전조건 혹은 주변환경(진동, 열, 잡음)에 따라 쉽게 파괴될 수도 있다.

[0003] 전력반도체소자는 전기에너지를 효율적으로 사용할 수 있게 할 뿐만 아니라 정보통신기술과 융합하여 편리하게 사용할 수 있게 만들기 때문에 최근에는 자동차나 가전 산업 등의 영역에서 폭 넓게 사용되고 있다. 이와 동시에 자동차 산업에서 사용중인 전력반도체소자는 예상치 못한 불량으로 인해 전력변환시스템을 불안정하게 만들어 큰 사고를 발생시킬 수 있는 가능성이 증가하고 있다. 따라서 전력반도체소자의 상태를 모니터링하고 불량을 예측할 수 있는 방법을 개발하는 것이 중요 문제로 대두되고 있다.

[0004] 도1은 종래기술에 따른 전력반도체소자의 동특성을 측정하기 위한 계측장치의 블록도이다.

[0005] 도1을 참조하면, 4개의 전력반도체소자(12,14,16,18) 케이스(10)에 열전도대(32,34,36,38)를 연결하고 측정된 온도는 아날로그-디지털 변환기(50)를 통하여 신호처리를 위한 단말기(70)에 전달하여 온도가 특정값 이상을 넘어가면 알람을 발생시킨다.

[0006] 그러나, 상기한 종래기술은 전력반도체소자의 케이스 온도만을 측정하기 때문에 돌입전류나 과부하에 기인한 핫스팟(hot spot)으로 인해 발생하는 반도체 접합부의 온도 상승은 측정하기 어려운 문제점이 있다. 도2는 종래기술에 따른 전력반도체소자의 동특성 파형을 나타내는 그래프이며, 도1과 같은 상태에서 RC 사다리형 열회로를 이용하여 모델링하고 그 결과를 보여주고 있다. 즉, 핫스팟이 지속적으로 발생하거나 과도한 경우, 전력반도체소자 칩과 케이스 혹은 기판 사이에 간극이 발생하여 열임피던스를 증가시킨다(high  $Z_{th}$ ). 열임피던스가 클 경우 반도체 접합부 온도와 케이스 온도 사이에 큰 괴리가 발생하는데, 이와 같은 괴리는 전력반도체소자의 불량 예측을 힘들게 한다.

[0007] 종래의 다른 기술로, 전력반도체소자의 문턱전압 또는 내부 바디 다이오드(body diode)를 이용해 온도를 검출하여 불량을 예측하는 방법이 있다. 도3은 종래기술에 따른 피드백을 이용한 전류 파형을 나타내는 그래프이며, 문턱전압 또는 내부 바디 다이오드를 이용해 온도를 검출하는 과정을 설명할 수 있다. 이러한 종래기술은 비교적 정확하게 전력반도체소자의 접합부 온도를 측정할 수 있지만 정확한 온도 검출을 위해 별도의 검출신호(A)를 발생시켜야 하는 문제점이 있다. 뿐만 아니라 ESD(Electro-Static Discharge)에 의해 발생한 불량은 예측이 불가능하다는 문제점이 있다.

[0008] 종래의 또 다른 기술로, 드레인 저항을 측정하여 온도를 추출하는 방법을 사용하는 방법이 있지만, 온도-드레인 저항을 교정하는데 있어 순간적인 온도 변화를 측정하지 못하고 열적 평형 상태에서의 온도로 교정함으로써 내부 접합부 온도를 정확하게 측정하지 못하는 문제점이 있다. 뿐만 아니라 ESD에 의한 불량 예측은 불가능한 문제점이 있다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0009] (특허문헌 0001) KR 10-1386139 B1

(특허문헌 0002) KR 10-1323314 B1

(특허문헌 0003) KR 10-0708307 B1

(특허문헌 0004) KR 10-2014-0054657 A

**비특허문헌**

- [0010] (비특허문헌 0001) In-situ health monitoring of IGBT power modules in EV applications, 박사학위논문, 뉴캐슬대학
- (비특허문헌 0002) Power electronics Specialist Conference, 2003, pp.901-906

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0011] 앞선 배경기술에서 도출된 문제점을 해결하기 위한 본 발명의 목적은, 동작중인 전력반도체소자에 별도의 신호를 인가하지 않고 전력반도체소자의 불량을 예측할 수 있도록 하는 방법을 제공하는 것이다.

**과제의 해결 수단**

- [0012] 상기한 목적은, 본 발명의 실시예에 따라, 전력변환시스템에서 동작중인 상태의 전력반도체소자에 대한 불량을 예측하기 위한 방법으로서, 상기 전력반도체소자의 접합부 온도에 대한 드레인저항을 교정하여 온도-드레인저항 관계식을 생성하는 교정단계와; 상기 전력반도체소자의 게이트전류, 드레인전압 및 드레인전류를 측정하는 측정단계; 및 상기 온도-드레인저항 관계식으로부터 상기 전력반도체소자의 접합부 온도를 계산하고 상기 게이트전류와 상기 접합부 온도를 기설정된 기준값과 비교하여 상기 전력반도체소자의 불량 발생 가능성 여부를 출력장치를 통해 경고하는 알림단계;를 포함한다.
- [0013] 여기서, 상기 교정단계는, 상기 전력반도체소자에 기설정된 펄스를 인가하는 단계와, 상기 전력반도체소자의 드레인전압 및 드레인전류 파형을 측정하는 단계와, 상기 드레인전류 파형의 최고점(peak) 및 상기 드레인전류의 파형이 최고점일 때의 드레인전압을 이용하여 드레인저항을 계산하는 단계 및 상기 전력반도체소자의 외부 온도와 상기 드레인전압을 변화시키며 온도-드레인저항을 추출하는 단계를 포함할 수 있다. 이때, 상기 교정단계에

$$r_{ds}(T) = \sum_{i=0}^{N-1} a_i T^i$$

서 상기 온도-드레인저항 관계식은 다음의 수학적  $\dots$  에 곡선맞춤할 수 있다. (여기서,  $a_i$ 는 맞춤 계수이고,  $T^i$ 는 온도 변화이다.)

- [0014] 한편, 상기 알림단계에서 계산된 접합부 온도가 기준값 이상이면 상기 전력반도체소자의 접합부 온도가 과열된 것으로 판단하여 상기 출력장치를 통해 제1경고메시지를 출력하고, 상기 알림단계에서 게이트전류가 기준값 이상이면 상기 전력반도체소자의 게이트 절연막이 손상된 것으로 판단하여 상기 출력장치를 통해 제2경고메시지를 출력한다.
- [0015] 그리고, 상기 측정단계에서 측정된 드레인전압을 기설정된 기준값과 비교하는 드레인전압 비교단계를 더 포함할 수 있으며, 상기 드레인전압이 기준값 이상이면 상기 출력장치를 통해 제3경고메시지를 출력한다.

**발명의 효과**

- [0016] 상기한 실시예에 따른 본 발명은, 동작중인 전력반도체소자에 별도의 신호를 인가하지 않고도 전력반도체소자의 불량을 예측할 수 있으므로 전력변환시스템에서의 신뢰성을 담보할 수 있으며 측정 자동화를 용이하게 구현할 수 있는 효과가 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0017] 도1은 종래기술에 따른 전력반도체소자의 동특성을 측정하기 위한 측정장치의 블록도이고,

- 도2는 종래기술에 따른 전력반도체소자의 동특성 곡형을 나타내는 그래프이고,
- 도3은 종래기술에 따른 피드백을 이용한 전류 곡형을 나타내는 그래프이고,
- 도4는 본 발명의 실시예에 따른 전력반도체소자의 불량 예측 방법을 설명하기 위한 회로모델이고,
- 도5는 본 발명이 적용된 full-bridge 모터구동시스템의 일실시예이고,
- 도6은 본 발명의 실시예에 따라 전력변환시스템에서 동작중인 상태인 전력반도체소자의 게이트전압, 게이트전류, 드레인전류, 드레인전압의 곡형을 나타내는 그래프이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0018] 이하, 첨부된 도면들을 참조하면서 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 상세히 설명하기로 한다. 한편, 해당 기술분야의 통상적인 지식을 가진자로부터 용이하게 알 수 있는 구성과 그에 대한 작용 및 효과에 대한 도시 및 상세한 설명은 간략히 하거나 생략하고 본 발명과 관련된 부분들을 중심으로 상세히 설명하도록 한다.
- [0019] 본 발명은 전력변환시스템에서 동작중인 상태의 전력반도체소자에 대한 불량을 예측하기 위한 것이다. 이를 위한 본 발명은, 상기 전력반도체소자의 접합부 온도에 대한 드레인저항을 교정하여 온도-드레인저항 관계식을 생성하는 교정단계와, 상기 전력반도체소자의 게이트전류, 드레인전압 및 드레인전류를 측정하는 측정단계와, 상기 온도-드레인저항 관계식으로부터 상기 전력반도체소자의 접합부 온도를 계산하고 상기 게이트전류와 상기 접합부 온도를 기설정된 기준값과 비교하여 상기 전력반도체소자의 불량 발생 가능성 여부를 출력장치를 통해 경고하는 알림단계를 포함한다.
- [0020] 상기 교정단계는 구체적으로, 상기 전력반도체소자에 기설정된 펄스를 인가하는 단계와, 상기 전력반도체소자의 드레인전압 및 드레인전류 곡형을 측정하는 단계와, 상기 드레인전류 곡형의 최고점(peak) 및 상기 드레인전류의 곡형이 최고점일 때의 드레인전압을 이용하여 드레인저항을 계산하는 단계 및 상기 전력반도체소자의 외부 온도와 상기 드레인전압을 변화시키며 온도-드레인저항을 추출하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0021] 이를 도4를 참조하여 설명하기로 한다.
- [0022] 본 발명이 적용될 수 있는 전력변환시스템에서 전력반도체소자는 완전히 턴온(trun on)된 상태와 턴오프(turn off)된 상태를 사용한다. 예를 들면, MOSFET의 게이트에 +15V와 0V를 인가하여 턴온과 턴오프를 구현한다. 드레인저항은 측정하려는 전력반도체소자(100)가 완전히 턴온된 상태에서 발생하는 도통저항을 의미하는 것이므로 상기 전력반도체소자(100)의 게이트에 +15V 펄스를 인가하여 측정한다
- [0023] 펄스를 인가하는 이유는 드레인전압을 증가시켜 드레인전류가 증가하게 되면 드레인에서 전력 손실이 커지게 되어 전력반도체소자의 접합부에서 열이 발생하고 이 열은 드레인저항을 증가시켜 드레인전류를 감소(D)시키는 현상이 발생하기 때문이다.
- [0024] 즉, 게이트전압을 인가하고 충분한 시간이 지나면 상기 전력반도체소자(100)의 접합부에서 발생한 열은 드레인전류를 감소시켜 외부와의 열적 평형 상태에 도달하여 부정확한 접합부 온도를 읽을 수 있기 때문이다.
- [0025] 한편, 상기 접합부에서 발생한 열이 외부와 평형 상태에 이르기 전, 즉 드레인전류가 감소하기 전의 값(P)은 상기 접합부의 온도를 정확하게 반영한 상태라고 가정할 수 있다. 따라서 정확한 접합부 온도를 측정하기 위해서는 상기 P값을 드레인전류로 설정한다.
- [0026] 교정을 위한 단말기(700)는 드레인전압을 인가하기 위해 전원공급장치(900)를 낮은 전압, 바람직하게는 0.1V 이하에서부터 작은 간격, 예를 들어 0.1V 간격으로 인가하고 신호발생기(300)에는 +15V의 펄스, 바람직하게는 100  $\mu$ s 미만의 펄스폭을 갖는 펄스를 전력반도체소자에 인가하도록 제어한다. 이때, 전류센서(400)를 통해 드레인전류, 게이트전압 및 드레인전압의 곡형을 오실로스코프(500)를 통해 측정한다.
- [0027] 그리고, 드레인전압을 증가시키면서 드레인전류를 측정하고, 전력반도체소자(100)의 외부에 설치된 히터(200)의 온도를 증가시키면서 온도에 대한 드레인저항을 교정한다. 이때, 드레인저항( $r_{ds}$ )은 다음의 수학적식1에 곡선맞춤할 수 있다.

수학식 1

$$r_{ds}(T) = \sum_{i=0}^{N-1} a_i T^i$$

[0028]

여기서,  $a_i$ 는 맞춤 계수이고,  $T^i$ 는 온도 변화이다.

[0029]

상기와 같은 방법으로 얻어진 드레인저항에 대해 곡선맞춤한 수학식1을 이용하여 동작중인 상태의 전력반도체소자의 불량을 예측하기 위해 도5의 실시예를 참조할 수 있다.

[0030]

도5는 본 발명이 적용된 full-bridge 모터구동시스템의 실시예이다.

[0031]

도5에 도시된 모터구동시스템은 각 전력반도체소자의 게이트전류를 측정하는 전류계(610,620,630,640)와, 각 전력반도체소자의 드레인전압을 측정하는 전압계(810,820,830)와, 드레인전류를 측정하는 전류계(690)와, 상기 게이트전류와 드레인전압 및 드레인전류를 디지털신호로 변환시키는 디지털변환부(720)와, 상기 디지털신호로부터 전력반도체소자의 접합부 온도를 계산하며 게이트전류 변화 및 접합부 온도 변화를 감지하여 불량을 예측하는 마이컴(740)으로 구성된다.

[0032]

각 전력반도체소자의 게이트전류, 드레인전압, 및 드레인전류를 측정하는 과정은 full-bridge에 있는 소자 하나에 대해 예를 들어 설명할 수 있다. 도5와 같이 게이트에 인가되는 펄스를 트리거신호로 하여 상기 게이트전류, 드레인전압, 및 드레인전류를 샘플링한다. 게이트전류는 파형을 보고 게이트전압이 +15V 근처의 값들을 측정한다, 바람직하게는 14V 이상의 전압에서 두 포인트 이상의 전류값을 측정한다. 만약 ESD(Electro-Static Discharge)에 의해 게이트 절연막이 손상되었다면 높은 게이트전압에서 게이트전류값이 증가하기 때문에 가능하면 높은 게이트전압에서 게이트전류를 측정하는 것이 유리하다. 드레인전류와 드레인전압을 읽을 때에는 가능하면 전력반도체소자가 턴온된 초기 단계를 읽는 것이 유리하다. 하지만 스위칭이 발생한 직후의 값을 읽을 때에는 스위칭 노이즈에 의한 영향을 받기 때문에 스위칭 직후 최소 10 $\mu$ s 이상이 경과한 후 측정하는 것이 바람직하다. 또한 적어도 두 포인트 이상의 전류 및 전압을 측정하는 것이 바람직하다. 이때, 온도가 상승하면 드레인전압은 파선과 같이 증가한다. 드레인전압 및 드레인전류로부터 드레인저항이 계산될 수 있으며, 상기 교정단계에서 얻어진 온도-드레인저항 관계식으로부터 온도를 계산할 수 있게 된다.

[0033]

한편, 상기 알람단계에서 계산된 접합부 온도가 기준값 이상이면 상기 전력반도체소자의 접합부 온도가 과열된 것으로 판단하여 상기 출력장치를 통해 제1경고메시지를 출력하고, 상기 알람단계에서 게이트전류가 기준값 이상이면 상기 전력반도체소자의 게이트 절연막이 손상된 것으로 판단하여 상기 출력장치를 통해 제2경고메시지를 출력한다.

[0034]

그리고, 상기 계측단계에서 측정된 드레인전압을 기설정된 기준값과 비교하는 드레인전압 비교단계를 더 포함할 수 있으며, 상기 드레인전압이 기준값 이상이면 상기 출력장치를 통해 제3경고메시지를 출력한다.

[0035]

상기한 제1 내지 제3 경고메시지는 디스플레이 및 사운드 출력 중 적어도 어느 하나를 포함하는 것이며, 각 경고메시지에 적합한 내용이 출력될 수 있도록 한다.

[0036]

지금까지 설명한 본 발명에 따르면, 동작중인 전력반도체소자에 별도의 신호를 인가하지 않고도 전력반도체소자의 불량을 예측할 수 있으므로 전력변환시스템에서의 신뢰성을 담보할 수 있으며 측정 자동화를 용이하게 구현할 수 있는 효과가 있다.

[0037]

전술한 내용은 후술할 발명의 청구범위를 더욱 잘 이해할 수 있도록 본 발명의 특징과 기술적 장점을 다소 폭넓게 상술하였다. 상술한 실시예들은 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 본 발명의 기술적 사상의 범위에서 다양한 수정 및 변경이 가능할 것이다. 이러한 다양한 수정 및 변경 또한 본 발명의 기술적 사상의 범위 내라면 하기에서 기술되는 본 발명의 청구범위에 속한다 할 것이다.

[0038]

부호의 설명

[0039]

100: 전력반도체소자

200: 히터

300: 신호발생기

400: 전류센서

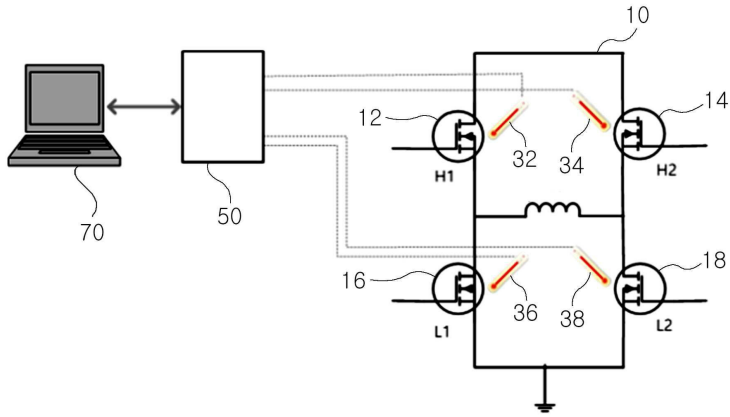
500: 오실로스코프

700: 단말기

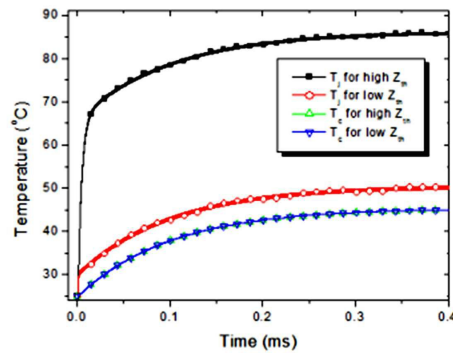
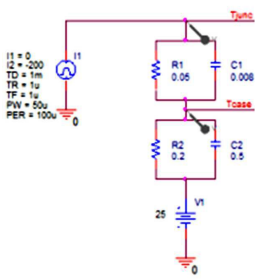
900: 전원공급장치

도면

도면1

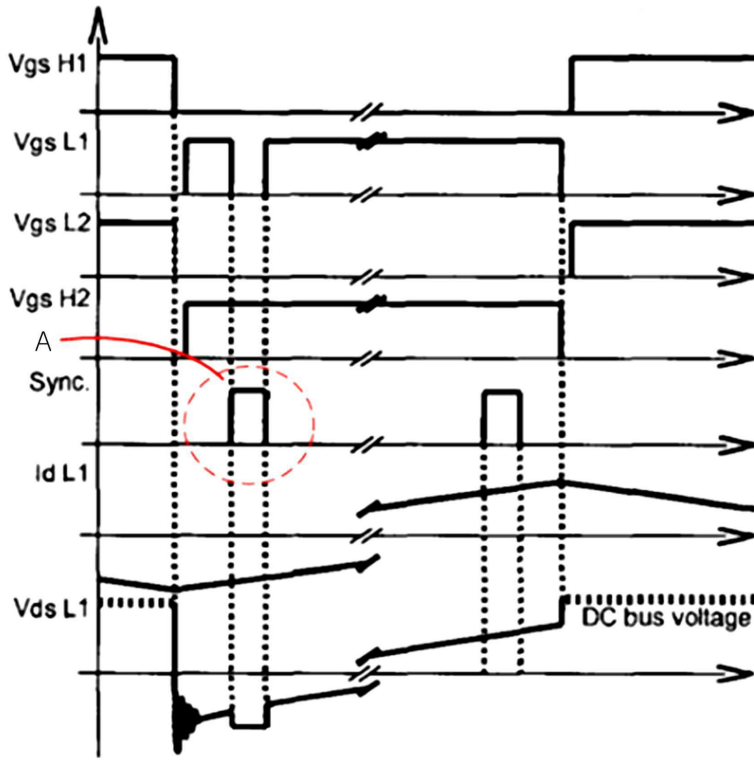


도면2

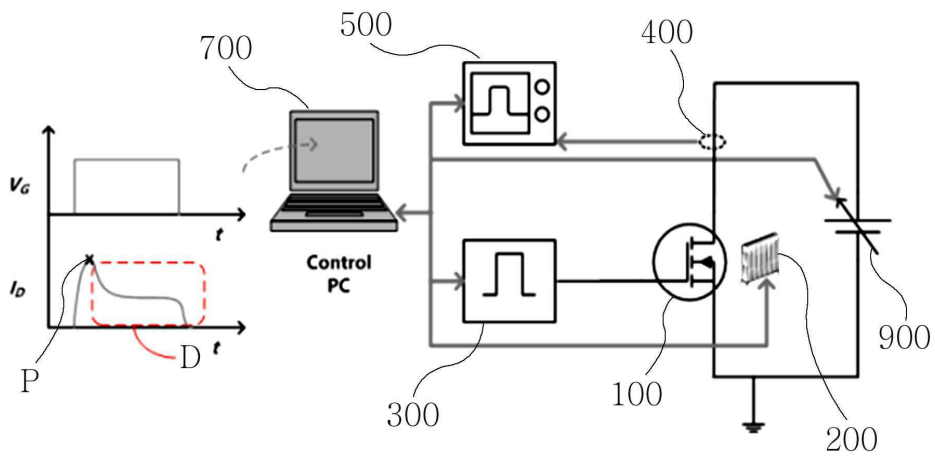




도면3

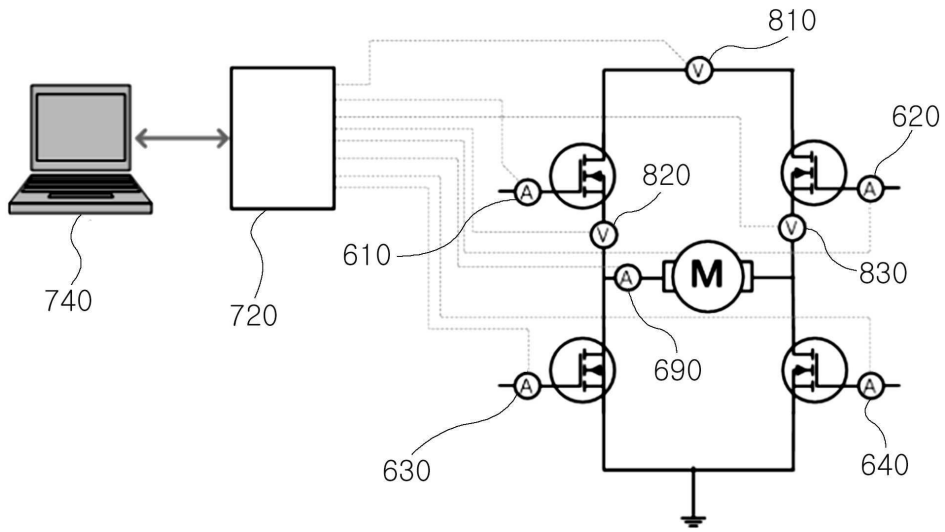


도면4





도면5



도면6

