

온도변화에 따른 스위칭 소자 출력 특성 실험

임종웅, 한상훈, 임용배* 최규하
건국대학교 전력전자연구소

Output Characteristics of Electronic Power Systems under Unusual Climate Situations

Jongung Lim, Sanghun Han, Yongbae Lim*, Gyuha Choe
Power Electronics Lab., Konkuk Univ., KESCO*

국문요약

본 논문에서는 향후 기후환경 변화에 따른 전력변환장치의 특성을 분석하기 위해 많은 소자들 중에서 전력용 스위치의 출력 특성을 분석하였다. 전력변환장치는 일반적으로 페루프 제어를 함으로써 출력특성의 변화를 보상해 주어 온도변화에 대한 스위치 자체의 특성을 관찰하기가 어렵다. 따라서 본 논문에서는 타이머 555IC, DSP320F28335를 이용하여 고정된 듀티를 출력할 수 있도록 회로를 구성하고, 온도변화를 주어 스위치의 출력 특성을 보고자 한다.

1. 서론

최근 기후 및 전기환경 변화에 따른 문제가 심각해지고 있다. 점차 고온, 다습한 환경으로 변화됨으로써 최초 그러한 변화를 고려하지 않고 설계된 많은 전력전자설비들의 문제가 제기되고 있다. 지난 8월 폭염으로 인해 전기차 급속충전기의 통신모듈에 이상이 생겨 정상시의 충전속도보다 2~3배, 시간으로는 1시간 이상 평균충전시간보다 지연되고 있다. 이와 같이 초기 설계 및 제작시에는 문제가 없지만, 열화 등으로 인해 설비의 문제가 발생하고 있으며 이에 대한 대책도 필요하다.

또한 대부분의 설비들이 전기로 작동되는 곧 전하의 진행이 매우 신속히 이루어지고 있다. 에너지원 또한 전기에 의존하고 있는 상황으로 되어 전기환경 역시 많은 변화가 예고되고 있다. 점차 분산전원, DC배전 등 전력계통이 스마트화 되어야 되는 상황에서 온도 변화는 반드시 고려해야 될 사항이다[1].

특히, 기후환경의 변화로 전력전자설비의 경우 출력특성의 변동이 예측되며 이런 문제가 기후 및 전기환경 변화와 함께, 어떠한 요인에 따라 크게 좌우되는지에 대한 사전연구가 필요해지고 있다. 따라서 본 연구에서는 전력전자설비에서 가장 많이 사용되는 전력용 스위칭 소자의 특성을 기후 및 전기환경의 변화 측면에서 분석하고자 한다.

2. 환경 변화에 따른 전력전자설비 특성

전력전자설비는 기본적으로 전력반도체 소자와 여러 수동소자로 이루어져 있다. 이러한 소자들은 여러 가지 공정을 통해 만들어지기 때문에 각각의 오차율을 가지고 있으며 주변 환경에 대해 영향을 받게 된다. 최근 기후환경이 급격히 변하면서 우리나라의 경우 일교차가 커지고 계절간 온도차이가 극명하게

나타나면서 전력전자설비의 안정성에 대한 문제가 제기되고 있다. 전력전자설비를 이루는 모든 소자들은 각각의 기생저항, 기생인덕터, 기생커패시터 성분을 가지고 있어 이상적인 상태와 차이를 보이게 되며 이들은 온도 및 습도에 따라 값이 달라지는 종속적인 요소이다. 이러한 모든 요소들에 대한 모델링은 매우 힘들기 때문에 시스템 설계시 오차를 가질 수밖에 없으며 온도가 달라짐에 따라 값이 변하게 된다. 여름철 높은 온도와 습도로 인해 설비가 오동작을 일으킬 수 있으며 심한 경우 시스템 파괴를 불러올 수 있다.

그림 1에서는 온도상승으로 인해 파괴된 전력전자설비의 모습이다. 전력전자설비중 외부 환경에 대해 가장 큰 영향을 받는 요소는 전력반도체 소자이다. IGBT, MOSFET과 같은 반도체 스위치는 온도에 따라 게이트드라이버에 노이즈가 발생할 수 있고 이 경우 Unwanted turn on/off가 나타나며 회로단락과 같은 문제를 일으킨다. 스위치의 경우 방열이 매우 중요한 부분을 차지하는데 온도상승이 지속되면 병열조건이 열악해지며 시스템 전체의 온도를 상승시켜 안정성을 저하시키게 된다. 따라서 반도체 스위치에 대해 온도에 따른 분석을 통해 온도변화에 따른 대비가 필요하다.

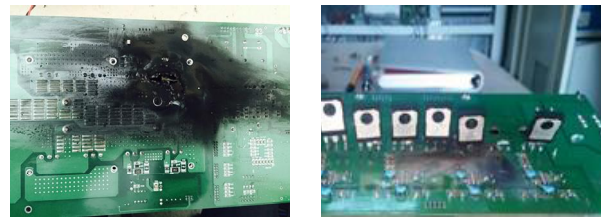


그림 1. 온도상승에 따른 전력반도체 소자 파괴
Fig. 1. Switching Device destruction for temperature increase

3. 온도에 따른 전력변환장치의 구성요소 출력특성

전력변환장치는 여러 전력반도체 소자와 수동소자로 구성되어 있다. IGBT, MOSFET과 같은 스위치 소자는 기생성분들을 가지고 있어 주변 온도가 상승하면 스위치의 전반적인 특성의 변화가 생기게 된다. 저항은 주변 온도가 높아짐에 따라 높아지는 비례관계를 가지고 있으며, 이와 반대로 커패시터는 온도가 높아질수록 정전용량이 낮아지는 특성을 가지고 있다.

3.1. 커패시터 모델링^[1]

커패시터의 등가모델은 그림 2와 같다. 여기서, C는 커패시터의 용량, R_L 은 누설전류, ESR과 ESL은 커패시터 기생저항, 인덕터 성분을 각각 나타낸다. 해당 파라미터는 온도와 사용조건에 따라 계속적으로 변화하는 값으로 정확한 값을 계산하는데 한계가 있다.

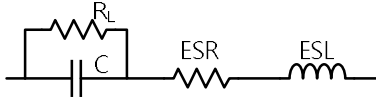
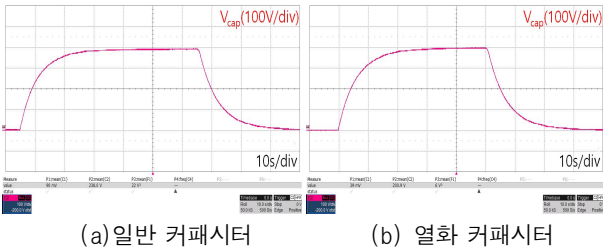


그림 2. 커패시터 모델
Fig. 2. Capacitor model

3.2. 커패시터 출력특성 분석

온도에 따른 커패시터의 정격용량을 분석하기 위하여 정상적인 커패시터와 100℃에서 열화를 진행한 커패시터를 비교하여 실험을 진행하였다. 실험에 사용한 커패시터는 CD294 120uF/400V 커패시터이다. 그림 3은 정격전압 400V를 인가하고 RC회로(120uF, 50kΩ)를 구성하여 얻은 커패시터의 출력전압 파형이다. 실험결과 기존 커패시터의 용량은 131uF로 측정되었고, 열화를 진행한 커패시터의 용량은 126uF으로 약 5uF의 차이를 나타냈다. 또한, 400V까지 충전될 경우 기존 커패시터는 80초가 소요된 반면 열화를 진행한 커패시터는 50초로 정전용량의 감소가 나타난 것을 확인할 수 있다.



(a) 일반 커패시터 (b) 열화 커패시터

그림 3. 커패시터의 출력 전압
Fig. 3. Output voltage curve of capacitor

3.3 전력용 스위치 출력특성 분석

전력용 스위칭 소자는 온도에 따라 허용전류, 용량, 스위칭 특성이 변화하게 된다. 스위치 온도가 높아짐에 따라 허용전류는 낮아지며 통상적으로 100도 이상에서 전류정격이 기존의 약 50%로 줄어든다. 또한, 스위칭 특성이 변화하게 되면 스위칭 손실이 늘어나 소자의 스트레스가 지속적으로 발생하며 소자파괴의 위험성이 있다. 그림 4는 스위치의 출력 특성을 보기 위해 555IC를 이용하여 일정한 듀티를 낼 수 있도록 구성한 회로이다. 온도에 의한 스위칭 영향을 보기 위해 피드백 없이 일정한 듀티를 내도록 회로를 구성하였다. 그 이유는 펄스폭 제어시 외부적인 요소를 제어가 보장해 주어 듀티를 변경함으로써 출력의 변화가 크게 나타나지 않기 때문이다. 그림 4의 회로에서 주기와 듀티는 각각 식 (1), (2)로 나타낼 수 있다.

$$T_s = 0.7(R_1 + R_2)C_1 \quad (1)$$

$$d = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

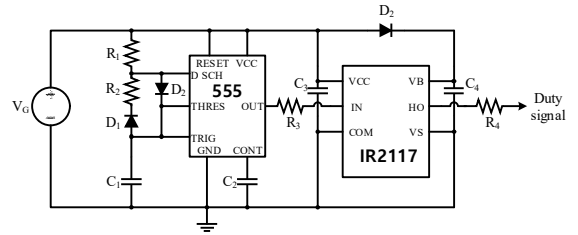


그림 4. 555IC를 이용한 오픈듀티 회로
Fig. 4. Open duty circuit using timer 555IC

그림 4의 회로에서 주기는 저항과 커패시터의 조합으로 얻을 수 있다. 앞서 언급했듯이 온도가 상승하게 되면 저항은 값이 커지게 되고, 커패시터의 정전용량은 작게 된다. 온도가 증가할수록 저항의 증가폭보다 커패시터의 감소폭이 크기 때문에 주기는 온도가 올라갈수록 점점 짧아지게 된다.

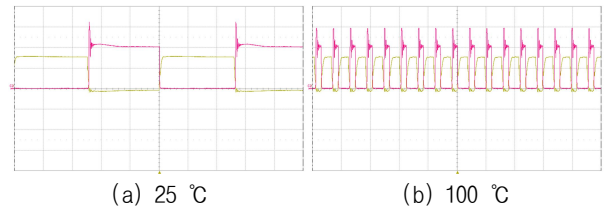


그림 5. 온도 조건에 따른 출력파형
Fig. 5. Output waveform under temperature condition

그림 5는 온도를 25 ~ 100℃까지 변경하며 얻은 출력파형이다. 그림 5.(a)는 25℃조건에서 듀티 50%, 10kHz 스위칭을 하고 있다. 그림 5.(b)는 온도가 100℃까지 상승했을 때 출력파형으로 듀티는 50%로 일정하지만 스위칭 주파수가 84kHz까지 상승하였다. 이는 식 (1)에서 온도가 상승하여 커패시터의 정전용량 감소로 스위칭 주파수가 빨라진 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 향후 기후환경의 변화 즉, 온도가 상승한다는 조건을 가정하고 챔버를 이용하여 100℃까지 올려 실험을 진행하였다. 전력변환장치에서 많이 사용되는 R, L, C의 경우 온도에 따라 출력특성이 변동되기 때문에 이에 대한 특성을 보고자 별도의 피드백 없는 회로에서 실험을 진행하였다. 듀티 50%, 스위칭 주파수 10kHz의 출력회로를 100℃까지 상승시킨 결과 스위칭 주파수가 84kHz까지 상승한 것을 확인할 수 있었다.

본 논문의 실험내용이 다소 실용적이지 않을 수 있으나, 고온으로 갈수록 수동소자의 값이 큰 폭으로 변동되어 향후 온도 변화에 대한 위험성을 제고하는데 큰 목표가 있다고 하겠다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20162220200010)

[1] C.G. Yoon, J.U. Lim, K.P. Kang, Y.B. Lim, G.H. Choe, "A Study on Output Characteristics of Power Conversion System according to Temperature condition" pp. 16, KIIEE, Nov. 2016.