

기후환경 변화를 고려한 전력전자설비의 출력특성 분석

임종웅, 윤춘기, 한상훈, 임용배*, 최규하
건국대학교 전력전자연구소

Output Characteristics of Electronic Power Systems under Unusual Climate Situations

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

국문요약

본 논문에서는 향후 기후환경 변화에 따른 전력변환장치의 특성을 분석하기 위해 전력용 스위치 MOSFET(K3878)를 더블펄스 테스터를 사용하여 턴 온, 오프 손실을 분석하였다. 온도가 증가할수록 스위치의 기생성분들의 변화하기 때문에 밀러턴온 등 원치않는 스위칭으로 인해 사고가 발생할 우려가 있다. 이에 대해 온도에 따른 스위칭 손실을 비교하고, 전력변환장치에 적용하고자 한다.

1. 서론

최근 기후 및 전기환경 변화에 따른 문제가 심각해지고 있다. 기후의 변화, 즉 한국의 경우 아열대와 같은 고온, 다습의 환경으로 변화됨으로써 최초 그러한 변화를 고려하지 않고 설계된 많은 전력전자설비의 출력특성에 많은 문제가 제기되고 있다. 또한 대부분의 설비들이 전기로 작동되는 곧 전화(Electrification)의 진행이 매우 신속히 이루어지고 있으며 전반적으로 에너지원 또한 전기에 의존하고 있는 상황으로 되어 전기환경 역시 많은 변화가 예고되고 있다. 뿐만 아니라 태양광, 풍력, ESS 등 다양한 계통연계형 프로슈머의 설비들까지 계통에 연결되어 전력계통이 특히 스마트화 되어야 되는 상황에서 고려해야 될 많은 문제들이 다발적으로 드러나고 있다.[1]

이러한 문제는 민감한 전력전자설비의 경우 심각한 출력특성에 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 전력반도체 소자(IGBT, MOSFET 등)의 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 달라지

는 중속적인 요소이다. 이러한 모든 요소들에 대한 모델링은 매우 힘들기 때문에 시스템 설계시 오차를 가질 수밖에 없으며 온도가 달라짐에 따라 값이 변하게 된다. 여름철 높은 온도와 장마에 의해 설비가 이상동작을 하는 것과 같이 이는 설비제어에 문제를 일으킬 수 있으며 심한 경우 시스템 과피를 불러올 수 있다. 온도변화뿐만 아니라 전기사용량이 증가함에 따라 부하변동이 급격해지고 전력사용량이 일정시간대, 일정시기로 집중되기 때문에 전력전자설비의 반응성 또한 매우 중요한 요소가 되었다. 이는 설비의 제어 속응성 및 안정도에 영향을 미치며 갑작스런 환경변화에도 빠르게 적응이 가능한 설비의 필요성이 높아지고 있다. 그림 1은 외부환경 변화에 대해 전력전자설비가 받을 수 있는 위험성을 개략적으로 나타낸 그림이다. 환경변화에 따라 설비가 이상동작을 할 경우 타 설비에 영향을 미칠 수 있으며 고압시스템의 경우 절연과피와 같은 문제가 생기며 스위치의 오작동으로 인한 과도한 단락전류가 발생할 수 있다. 그림 2에서는 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.

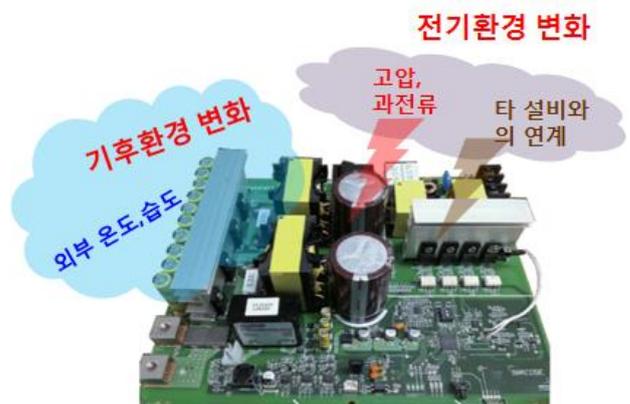


그림 1. 환경변화에 따른 전력전자설비의 위험성
Fig. 1. Risks of PCS for Climate Condition

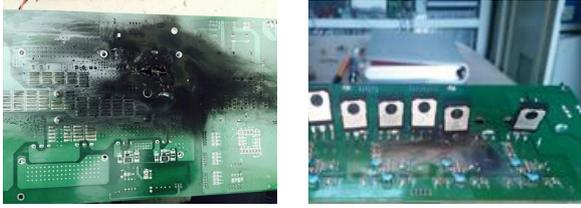


그림 2. 온도상승에 따른 전력반도체 소자 파괴
Fig. 2. Switching Device destruction for Temperature increase

3. 전력용 반도체 소자의 특성 분석

IGBT, MOSFET과 같은 스위치 소자는 기생성분들을 가지고 있다. 저항은 기본적으로 주변 온도가 높아짐에 따라 높아지는 비례관계를 가지고 있으므로 주변 온도가 상승하면 스위치의 전반적인 특성이 변화하게 된다.

3.1 스위치 특성 분석

그림 3은 온도 변화에 따른 R_{ds} 와, V_{th} 변화를 나타낸다. 온도가 증가할수록 R_{ds} 가 증가하는 경향을 보이며 이는 도통 손실을 증가시키는 요소로 볼 수 있다. 반대로 V_{th} 는 온도가 증가하면 감소함으로써 밀러턴온에 의해 스위칭 오동작 가능성을 예시하고 있다.

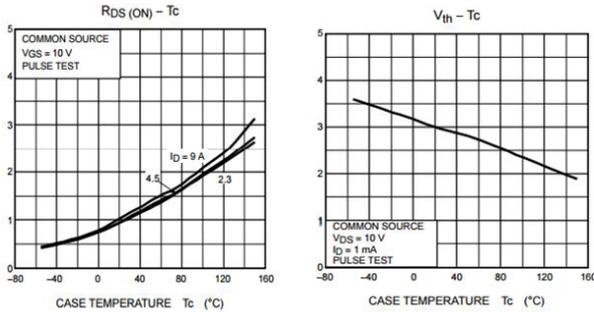


그림 3. 온도변화에 따른 스위칭 특성
Fig. 3. Characteristics of Switching for Temperature Condition

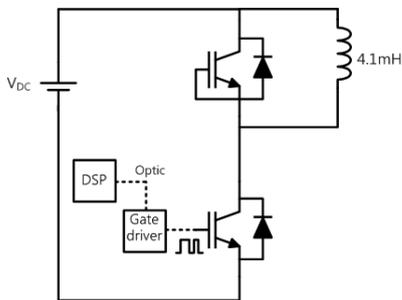


그림 4. 더블펄스테스터 기본회로
Fig. 4. Double-pulse Tester Circuit

3.2 더블 펄스 테스터

더블 펄스 테스터는 주로 스위칭 손실에너지를 측정하는데 사용된다. 구성은 그림 4와 같이 DC입력, DC링크 커패시터, 인덕터, 프리휠링 다이오드, 스위치로 구성된다. 스위치에 두

표 1. 온도변화에 따른 스위칭 손실

Table 1. Loss of Switching under Temperature

	30°C	50°C	70°C	90°C	110°C
Switching loss(mJ)	2.21	2.27	2.40	2.52	2.70
Conduction loss(W)	44.52	56.95	62.72	68.68	77.67

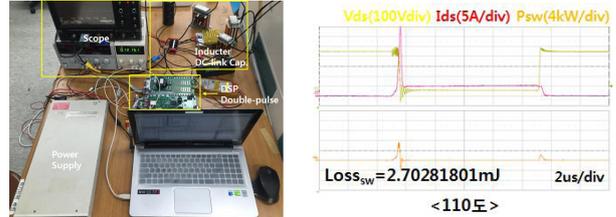


그림 5. 실험사진 및 파형
Fig. 5. Experimental Waveforms

번의 펄스를 인가하여 측정한다. 동작순서는 첫 번째 펄스를 인가하여 인덕터 전류를 정격까지 상승시킨다. 두 번째 펄스를 인가할 때까지 프리휠링 다이오드와 인덕터를 통해 전류를 유지하고, 두 번째 펄스 인가시 스위치의 전압과 전류를 측정하여 스위치 손실을 분석한다.

4. 실험결과 및 검토

그림 5는 K3878 MOSFET의 스위치 손실을 측정하기 위한 실험사진이다. 30도부터 110도까지 20도의 간격으로 스위칭 손실을 측정하였다. 이에 대한 측정 결과는 표 1에 나타내었다.

스위치 손실 30°C와 110°C를 비교했을 때 0.496[mJ]의 에너지 손실 차이를 보이며, 스위칭 20kHz일 경우 9.923W의 전력 손실이 발생한다. 도통 손실의 경우 33.15W의 전력차이가 발생하는 것을 볼 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 향후 기후환경의 변화에 따른 전력변환장치의 특성을 분석하였다. 아열대기후로 변화되는 상황을 고려, 온도 변화에 대하여 스위칭 소자의 손실을 분석하였다. 온도가 상승함에 따라 전력손실이 증가하고, 이에 따라 열에 대한 재해석이 필요할 것으로 사료된다.

추후 계통연계형 태양광 인버터 등 전력변환설비를 대상으로 온도에 대비하여 개선된 설계 및 보완방법을 적용하여 연구를 진행할 예정이다.

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

[1] Dirk Hirschmann, Dietmar Tissen, Stefan Schroder, Rik W. De Doncker, "Reliability Prediction for Inverters in Hybrid Electrical Vehicles," IEEE Trans. Power Electron., vol. 22, no. 6, pp. 2511-2517, Nov. 2007.