

단독계통 환경에서 UPS 수동절체 시 전압왜곡을 줄이기 위한 전략

조인준, 한응수, 홍진욱, 박기우, 강호현, 김희중
엘에스일렉트릭

Strategy to reduce voltage distortion during manual UPS transfer in a single-gird environment

In-Joon Joe, Eung-Su Han, Jin-Wook Hong, Kiwoo Park, Ho-Hyun Kang, Heejung Kim
LS ELECTRIC

ABSTRACT

무정전 전원 공급 장치(UPS)는 중단 없는 운영을 보장하기 위해 병원, 반도체 공장, 데이터 센터와 같은 중요 시설에서 점점 더 많이 사용되고 있다. 중요한 부하가 증가함에 따라 안정적인 성능에 대한 필요성이 더욱 중요해지고 있다. 온라인 UPS 시스템에서는 Thrupass 작동 중에 장치 검사가 필요할 때 시스템이 수동으로 Bypass 모드로 전환하고, 이 수동 절체 중에는 출력 전압 왜곡이 발생하지 않는 것이 중요하다. 그러나 독립형 시스템에서는 순간적으로 바이패스와 스루패스가 동시에 켜지면서 순환 전류 경로가 생성되어 전압 왜곡이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 단독계통에서 Bypass 수동절체 시 최적화된 스위칭 시퀀스를 구현하여 독립형 시스템에서 UPS 모드 전환 중 전압 왜곡을 최소화하는 전략을 제시한다.

1. 서론

UPS 초기 개발 제품은 계통의 이중화를 고려하여 설계되었다. 하지만 다수 현장에서 단독 계통으로 UPS를 운영을 하는 경우가 있어 시퀀스 및 제어를 변경하게 되었다. 2장에서는 계통 구성에 따른 UPS 제어전략에 대해 설명하고, 3장에서는 시험 결과를 통해 제안하는 제어전략에 대해 검증한다.

2. 계통 구성에 따른 UPS 제어전략

2.1 계통 이중화

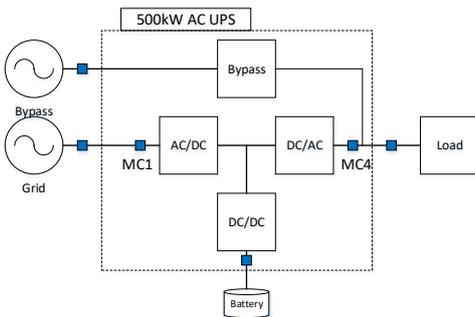


그림 1 계통 이중화 UPS 시스템 구성도

Figure 1 Grid Redundancy UPS Configuration Diagram

위의 그림1은 계통 이중화 UPS 시스템 구성도이다. 전류 흐름이 AC/DC, DC/AC에서 Bypass에서 넘어가는 시점을 Bypass 수동절체라 한다. 해당 모드는 UPS의 유지보수 필요시 사용하는 모드이다. Bypass Mode로 넘어가는 시퀀스는 아래 그림 2와 같다.

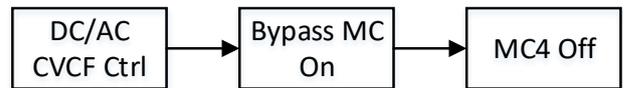


그림 2 이중계통에서의 Bypass 수동절체 시퀀스
Figure 2 Thrupass Manual Transfer Sequence in a Dual System

Thrupass Mode 운전 중(DC/AC CVCF Control)에 Bypass 수동절체 명령이 내려오면 Bypass MC가 On이 된 이후에 MC4 Off 되는 시퀀스이다. 해당 시퀀스는 DC/AC 출력 전압과 Bypass 전압의 위상과 크기의 차이가 크지 않다면 출력전압에 왜곡이 적은 방식이다. 하지만 만약 계통이 두개가 아닌 하나의 경우라면 순환전류가 발생하면서 MC4 Off 시에 출력전압의 왜곡이 기존보다 커지게 된다.

2.2 단독 계통

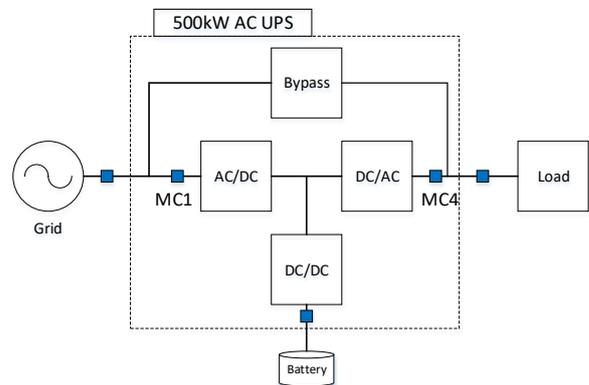


그림 3 단독계통 UPS 구성도
Figure 3 Single-Grid UPS Configuration Diagram

위의 그림3은 단독계통에서의 UPS 구성도이다. Bypass Mode로 수동절체 그림2와 같은 시퀀스를 사용할 경우 출력전압 변동률이 5% 이상 발생하여 시험기준을 통과하지

못했다. 전압 변동률이 크게 나타나는 이유로는 크게 2가지 이유가 있다. 첫번째는 Thrupass에서 출력하던 유효전력과 무효전력이 한 순간에 Bypass로 넘어가면서 생기는 전압왜곡, 두번째는 순환전류에 의해 MC4 Off시에 출력전압의 왜곡이 발생하는 경우이다. 이 두가지 이슈에 대해 아래와 같은 시퀀스를 적용했다.

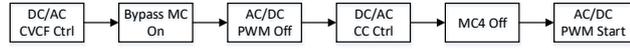


그림 4 단독계통에서의 Bypass 수동절체 시퀀스
Figure 4 Bypass Manual Transfer Sequence in a Single-Grid

단독계통에서의 Bypass 수동절체 시퀀스 그림4와 같다. Thrupass Mode로 운전 중 Bypass MC가 On이 되고, 동시에 AC/DC PWM Off, DC/AC 0전류 제어를 하게 된다. AC/DC PWM Off를 하게 되면 순환전류루프가 끊기게 되고 DC/AC는 출력하던 전류에서부터 0전류까지 Ramp로 부하를 줄임으로써 Bypass로 부하를 천천히 넘기게 된다. 그러므로 MC4에 흐르는 전류는 0에 가깝게 제어가 되고 있어 이 상태에서 MC4가 Off를 하면 출력 전압왜곡이 발생하지 않는다.

3. 실험

본 절에서는 단독계통에서 Bypass 수동절체 시 출력전압 품질을 확인하고 제안하는 절체 시퀀스에 대한 성능을 검증한다.

표 1 시스템 파라미터
Table 1 System parameter

Parameter	Value
Input Voltage	450[Vac]
Output Voltage	450[Vac]
Battery Voltage	450[V]
Output Power	500[kW]

3.1 기존 시퀀스

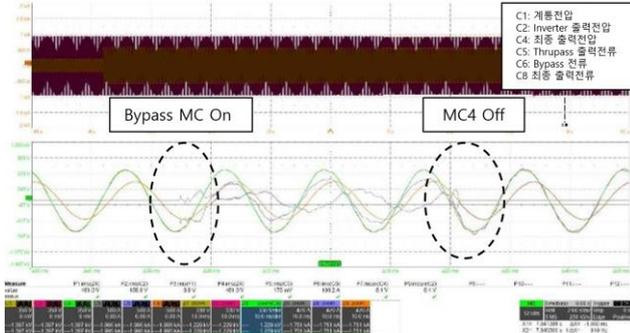


그림 5 Bypass 수동절체 파형(기존 시퀀스)
Figure 5 Bypass Manual Transfer Waveform (Existing Sequence)

그림5는 그림2의 시퀀스를 사용하여 수동절체 했을 때의 결과 파형이다. Bypass MC On 시점에서 출력전압이 빠지는 구간이 발생하고, MC4 Off 시 DC/AC 인버터가 출력하고 있던 필터전류가 Bypass 계통으로 순간적으로 넘어가면서 계통전압에 끌림이 발생하는 한다. 이때 발생하는 전압변동률은 8%이며, 정상전압까지 회복시간은 5ms 정도 소요된다.

3.2 제안하는 시퀀스

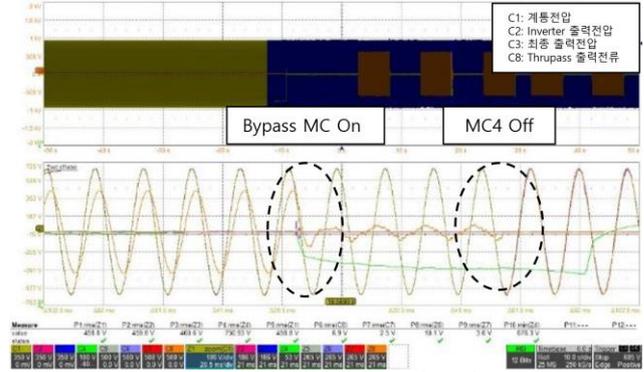


그림 6 Bypass 수동절체 파형(제안하는 시퀀스)
Figure 6 Bypass Manual Transfer Waveform (Proposed Sequence)

그림6은 Bypass 수동절체 시 제안하는 시퀀스로 했을 때의 시험결과 파형이다. Bypass MC On 시점에 DC/AC 인버터가 전류제어를 정격전류에서 → 0전류까지 Ramp로 하기 때문에 부하가 급격하게 Bypass 계통으로 넘어가지 않아 계통전압의 왜곡을 줄일 수 있다.

부하가 Bypass로 넘어간 것을 확인하면 MC4를 Off 시켜 Bypass Mode로 넘어간다. MC4 Off 시점에서는 DC/AC 인버터가 출력전류를 0으로 제어하고 있어 MC4에 흐르는 전류가 없어 Off 시에도 출력전압에 과도는 생기지 않는다. 이때 발생하는 전압변동률은 3%이며, 회복시간은 약 2ms 정도 소요된다. 해당 결과는 기존대비 전압변동률은 5%p 개선되었으며, 회복시간은 3ms정도 감소하는 효과를 얻을 수 있다.

제안하는 시퀀스는 절체 구간에서 DC/AC 인버터가 출력하는 에너지가 DC Link에 저장되어 있는 에너지로 충분하지에 대한 검토가 필요하다. UPS 제품의 경우 부하급변과 같은 상황에 대응하기 위해 DC Link 용량이 크게 설계되어 있어 이와 같은 시퀀스 적용이 가능하다.

4. 결론

본 논문은 무정전 전원공급장치의 Bypass 수동절체 시 출력전압 품질개선을 위한 새로운 시퀀스를 제안했다. 제안하는 방법은 DC Link에 충전되어 있는 에너지가 AC/DC PWM Off 이후 출력하는 에너지보다 충분하다면 적용가능한 시퀀스로 출력전압의 변동률을 5%p 개선, 회복시간 3ms 감소의 효과를 시험을 통해 검증했다.

참고 문헌

[1] J. M. Guerrero, L. Garcia De Vicuna and J. Uceda, "Uninterruptible power supply systems provide protection", IEEE Industrial Electronics Magazine, Vol. 1, No. 1, pp. 28-38, 2007, Spring.
[2] 우동훈, 김석민, 송보선, 안성국, 김왕래, 강호현. "교류 무정전 전원 공급 장치의 병렬 시스템 구성과 운영방안 개발", 전력전자학회 학술대회 논문집, 2022