

독립전원특성에 따른 UPS 기술분류

배 정 환

(큐아이티 대표이사)

전 세계적으로 전기에너지의 사용량은 꾸준히 증가해 왔고, 향후 지속적 증가가 예상된다. 전기에너지 사용자는 단전없는 공급을 기대하고 있으나, 예기치 못한 정전 발생은 사용자 측에 심각한 문제를 제기할 수 있다. 본 원고는 상용의 전기 에너지를 지속적으로 공급 받을 수 있도록 하는 UPS 등의 장비와 독립전원으로 활용할 수 있는 장비와 관련된 쟁점을 다룬다.

1. 서론

산업발달에 따라 전기에너지 사용이 급격하게 증가되고 있다. 일반적으로 전기에너지는 공급자와 사용자가 하나의 대형전력망으로 연결되어, 발전과 동시에 소비되는 특징을 가지고 있다. 대형전력망을 이용한 전기에너지의 전송기술 발전으로 인해서 전기 사용자는 안정적인 전기에너지의 공급을 당연하게 여기고 있다. 그러나 2011년 9월 15일에 발생한 국내 정전과 일본 후쿠시마 원전사고로 인해 국가기간망인 대형 전력망에서의 정전사고 가능성을 인지하게 되었다. 또한 전력원 확충의 어려움, 송전선로 건설의 사회적 이슈, 화석연료 사용에 대한 환경문제 등으로 대형 전력망의 전력공급 강화에도 난항을 겪고 있다.

국내의 경우, 수년전까지만 해도 전력피크 문제는 냉방기 수요가 급증하는 7, 8월 하절기에 국한되었다. 그러나 근간의 전력피크 문제는 동절기와 하절기에 동일하게 발생하며, 전기기기 사용이 증가하여 전체적인 전기에너지 사용량은 계속 증가하는 추세이다.

전기전자 기술발전에 따라 고정밀기기가 많이 활용되고 있다. 고정밀기기(컴퓨터, 의료기기, 고정밀측정기기 등)는 전원 품질에 영향을 받으므로 안정적 운영을 위해서 고품질의 전기에너지 공급이 필수적이다.

최근 전기에너지 사용자는 전원공급의 불확실성이 증가되는 현실에서 독자적으로 안정된 전원을 확보하는 방안을 마련하려 노력하고 있다. 이에 따라 독립전원으로 활용될 수 있는 UPS(Uninterruptible Power Supply, 이하 UPS), 태양광 독립 발전시스템, 독립운전이 가능한 ESS(Energy Storage System, 이하 ESS) 등에 대한 관심이 증가하고 있다.

본 원고에서는 UPS 활용을 중심으로한 독립형 전원시스템의 종류와 기술적 특징 등을 알아보기로 한다.

2. UPS의 일반적 구성기술

무정전 전원공급장치인 UPS는 전력망의 전압강하 및 정전시에 내부 Battery를 활용하여 부하에 정전없이 안정된 전기 에너지를 공급하는 장치이다. UPS는 상시 전력망에 접속되어 전원을 감지, 전력망의 전기에너지 공급의 이상발생 유무를 확인하고, 이상 발생 시, 내부 Battery의 에너지를 활용하여 부하 측으로 전기에너지를 공급한다.

UPS는 전원을 공급하기 위한 H/W (Hardware, 이하 H/W) 장치와 H/W를 운용하는 S/W (Software, 이하 S/W) 로서 구분할 수 있다.

UPS의 기능은 다양하지만 대표적으로 AC출력전압을 유지하기 위한 DC/AC 인버터 제어기능, 전력계통 감시기능, 절체 기능, 통신기능 등이 있다.

2.1 UPS H/W

UPS의 H/W는 AC/DC컨버터, DC/AC인버터, 동기절체부 등으로 구성되어있고, 출력/입력전압에 따라 220V, 380V/440V급 등으로 구분할 수 있으며, 출력/입력상수에 따라 단상, 삼상으로 구분한다. 통상 220V급은 단상출력, 380V/440V급은 3상 출력이 일반적이다.

2.1.1 AC/DC 컨버터 H/W Part

AC/DC 컨버터는 일반적으로 Diode 정류기를 사용하며, 입력단에 고조파 전류가 발생한다. 이러한 전류고조파(Total Harmonic Distortion i, 이하 THDi)를 낮추기 위해 일반적으로 AC reactor/DC reactor를 사용하며, 적용 시 THDi의 함유율을 약 30%정도까지 낮출 수 있다. THDi는 시스템에 흐르는 전류의 크기에 따라 함유율이 달라지며, 전류가 많이 흐르면 THDi는 개선된다.

단상 소용량 제품은 역율보상 및 THDi 개선을 위해 PFC(Power Factor Collector, 이하 PFC)를 활용한다.

3상시스템은 일반적으로 Diode정류기로 구성되어, 역율이 낮고 고조파 함유율은 높은 특징을 갖는다. All IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor, 이하 IGBT)제품이라 불리는 고성능 UPS는 입력부에 PWM제어가 가능한 정류기를 탑재하고 있어 고역율(0.99이상), 낮은 THDi(3% 미만)의 성능을 갖는 특징을 갖는다.

2.1.2 DC/AC 인버터 H/W Part

DC/AC 인버터는 스위칭 소자로 IGBT를 주로 사용하며, DC link의 DC 전압을 IGBT PWM 제어를 통해 AC전압으로 변환한다. AC전압을 만들기 위한 DC/AC 인버터는 IGBT, IGBT 구동용 Gate Driver, 출력전류 검출용 전류센서, 평활용 캐패시터, 스너버 회로 등으로 구성되어있다. 또한 DC/AC 인버터 출력 측에는 전압을 pure sine wave로 만들기 위한 sine wave filter, 전압 matching용 변압기 등으로

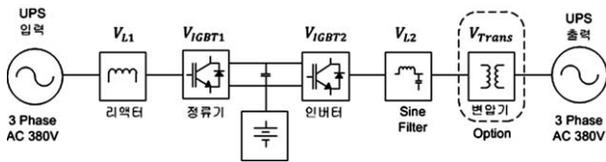


그림 1 UPS System 내부 voltage Drop 요소

복잡하게 구성되어 있다.

UPS운전 시에 발생하는 가청대역의 스위칭 소음을 줄이기 위해 IGBT 스위칭 주파수를 10kHz이상으로 설정한다. 높은 스위칭 주파수로 인해서 인버터 출력측의 AC 고조파 필터 사이즈는 줄어든다. 그러나 스위칭 주파수를 높이면 IGBT 스위칭 손실이 증가하므로 적절한 균형값을 취하는 것이 중요하다. 최근에는 스위칭 스트레스 및 손실 저감을 위해서 3 level 인버터 기술이 개발되어 적용되고 있다.

입력단이 Diode 정류기인 경우에는 출력전압의 크기를 안정화시키기 위해서 인버터 출력단에 변압기를 설치한다. 만일, 출력단에 변압기가 없는 경우에는 입력전압을 증폭하여 높은 DC 전압을 유지시켜야 안정적인 AC전압을 출력할 수 있다. 그림 1은 UPS System의 구성도이다.

2.1.3 전원 절체 시스템 Part

전원감시부가 전압강하 또는 정전을 감지하면 UPS는 Battery에 충전되어 있는 에너지를 부하 측에 공급한다. 또한 복전이 되는 경우에도 지속적으로 UPS는 출력을 유지하고 있기 때문에 부하는 전압강하 및 정전에 대한 영향없이 운전하게 된다.

만일, UPS가 고장 및 점검/수리하는 경우에는 UPS내부에 취부되어 있는 AC 스위치를 동작시켜 전원을 Bypass시킬 수 있다. 이때, 고속 응답특성을 유지하기 위한 절체용 AC스위치로 일반 기계접점스위치인 MC보다 응답속도가 빠른 Triac이나 Thyristor 스위치를 사용한다. 절체시간은 일반적으로 4mSec이내에 동작이 완료가 되는 것이 일반적이나, UPS의 성능을 좌우하는 중요한 파라메타이기 때문에 UPS Maker에서는 고속의 절체시간을 특징으로 해서 소개하는 경우도 있다. 그림 2는 고기능 절체스위치가 포함된 UPS의 구성도이다.

2.2 UPS S/W

UPS의 S/W는 전체적인 운영을 위해 고기능의 Micro

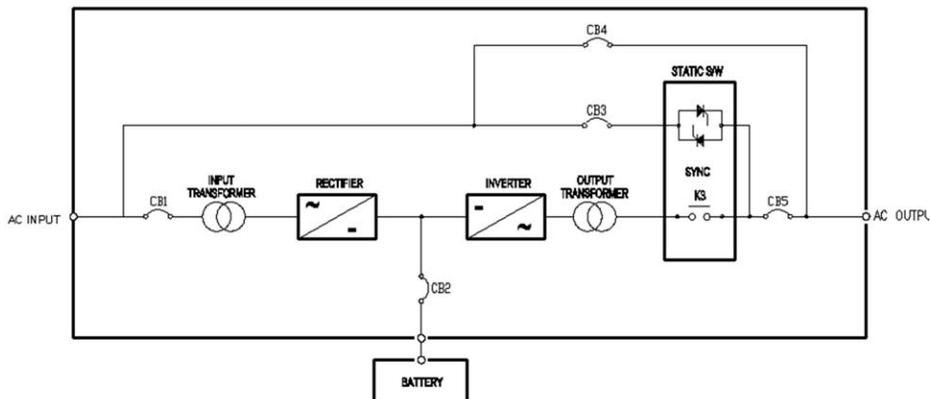


그림 2 고기능 UPS Power stage의 일반적 회로 구조

표 1 PWM 모듈레이션 방법에 따른 UPS 출력전압

	최대 출력 상전압 (기본파 PEAK)	최대 선간전압 (기본파 RMS)
Six Step	$\frac{2}{\pi}V_{DC} = 0.64V_{DC}$	$\sqrt{3}\frac{2}{\pi}V_{DC}\frac{1}{\sqrt{2}} = 0.78V_{DC}$
SPWM	$\frac{1}{2}V_{DC} = 0.5V_{DC}$	$\sqrt{3}\frac{1}{2}V_{DC}\frac{1}{\sqrt{2}} = 0.61V_{DC}$
SVPWM	$\frac{1}{\sqrt{3}}V_{DC} = 0.58V_{DC}$	$\sqrt{3}\frac{1}{\sqrt{3}}V_{DC}\frac{1}{\sqrt{2}} = 0.71V_{DC}$

controller(Digital signal processor, 이하 DSP)를 사용한다. S/W는 DSP로 운영되고, 출력 전압제어, 시퀀스 제어, 통신 등의 기능을 구현하게 된다. 또한 고기능의 UPS의 경우에는 입력측의 역률, THDi를 개선하기 위한 알고리즘을 적용하기도 한다.

2.2.1 출력 전압제어

UPS의 출력을 제어하기 위해서는 IGBT를 구동하기위한 PWM(Pulse Width Modulation, 이하 PWM) 신호를 만들어야 한다. PWM으로 DC/AC를 만들기 위해서는 DC전압 이용율이 문제가 될 수 있으므로 통상적으로 SVPWM(Space Vector PWM, 이하 SVPWM)을 사용하거나 유사한 기능의 PWM으로 제어한다.

일반적으로 인버터는 DC 전압의 50~64%정도 크기의 출력 상전압을 만든다. 출력전압제어방식에 따른 상전압의 크기는 <표 1>과 같다.

2.2.2 시퀀스 제어

UPS에 이상이 발생하거나 검사를 위해서 UPS를 전원계통과 분리하게 되는데, 이때 절체스위치를 활용하게 된다. 이러한 절체스위칭이 발생하는 경우 상전원과 동기(Synchronization)되어야 하며, 만일 비동기 상태에서 절체되면, 과전류로 인해서 UPS 또는 부하측 기기의 소손이 발생할 수 있다. UPS는 PLL(Phase Lock Loop 이하 PLL)을 활용하여 계통과 동기운전을 한다.

UPS의 정상적인 동작을 위한 시퀀스로 초기충전 시퀀스, AC 스위치 절체 시퀀스, 각종 스위치류 동작 시퀀스, 시스템 동작 시퀀스 제어 등이 있으며 UPS에 탑재되어 있는 DSP 등으로 제어하게 된다. UPS 내부 시스템을 모니터링 하기 위해 터치스크린 등의 HMI(Human Machine Interface, 이하 HMI)장치를 활용한다.

2.2.3 통신

UPS는 독자적으로 운영될 수 있는 시스템이지만 시스템의 중요도에 따라 원격운전의 기능을 갖는다. 이를 위해서 UPS 제조업체측에서 운영하는 EMS(Energy Management

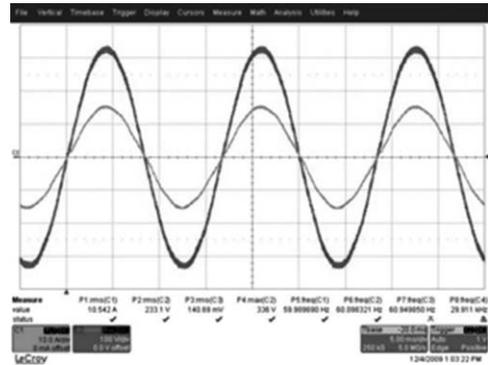


그림 3 UPS의 고역율, 저THD 입력전력제어 파형



그림 4 국내 시판되고 있는 50kVA ~100kVA UPS 제품

System, 이하 EMS)는 독자적인 프로토콜을 활용하여 UPS 상태를 감시하는 기능이 있으며, 경우에 따라 원격으로 UPS의 기능을 직접 조작한다. 이러한 원격통신을 위해서 UPS 제조업자는 Ethernet, RS485 등의 통신을 활용한다.

2.2.4 입력 역률제어

UPS에는 입력단 정류기에 IGBT같은 스위칭 소자를 채택하여 입력전류와 DC Link 전압을 제어하는 고기능 제품이 있다. 가격은 다소 비싸지만, 역률 0.99이상, THDi 3%미만의 친환경적으로 UPS를 동작시킬 수 있다. 그림 3. 은 고기능 UPS의 입력측 전압, 전류를 측정된 것으로 고역율 저THD의 입력파형을 보인다.

2.3 독립형 전원으로서의 UPS의 대표적인 기능

UPS는 전력계통과 분리되어 운전할 수 있는 기능이 있으나, 상시 독립형 전원이라고 논하기 어렵다. 그러나 UPS는 DC/DC 컨버터, DC/AC 인버터 등의 전력변환기로 구성된 대표적인 독립형전원의 형태를 갖고 있다.

UPS는 동작시간이 15~30분이고 단시간 Back-up 전력을 공급하는 보조전원이다. 이런 짧은 Back-up시간은 Back Up전원(비상발전기 등)의 기동 준비시간을 확보하기 위한 수단으로 활용된다. 국내의 정전시간은 대부분 30분미만으로 매우 짧다. 따라서, 전원이상이 발생하는 경우 비상발전기는

가동되지 않고, UPS만 가동되는 경우가 대부분이다. 그림 4. 는 국내에서 시판되는 50kVA~100kVA급 UPS 제품의 사진이다.

독립형 전원으로서의 UPS는 전력공급에 큰 문제가 없는 전력망 상태가 우수한 환경에서 활용할 수 있는 장비로서 의미가 있다.

3. 신 재생에너지를 활용한 독립전원 시스템

독립전원은 대형전력망에 연계되지 않은 시스템에서 전원을 독자적으로 공급하는 시스템이다. 신재생에너지를 활용하는 대표적인 독립전원 시스템으로 태양광발전시스템과 풍력발전시스템이 있다. 과거의 독립형 발전시스템은 소형전자기기 및 최첨단 인공위성 등에 활용되었다. 최근 독립형 발전시스템은 미전화(未電化) 지역에 전력 공급을 목적으로 하여 실용적 기술이 개발되고 있다. 3장에서는 신재생에너지를 활용한 독립형 전원시스템의 기술적 특화점을 UPS 시스템과 비교한다.

3.1.태양광 독립형 발전시스템

태양광발전은 발전원의 특성상 상시 발전이 불가능하고 최소 1일을 기준점 주기적 발전시간을 가진다. 태양광이 있는 동안만 발전을 할 수 있으므로, 발전할 수 없는 시간에는 Battery bank에 저장되어 있는 전력을 사용하며, 다른 형태의 발전원(풍력, 디젤, 소수력 등)과 연계되어야 비교적 안정적인 독립전원으로 역할을 할 수 있다. 태양광 독립형 발전시스템은 태양전지 특성에 의한 최대출력점 운전제어와 한정적인 발전원을 제한적으로 활용하는 알고리즘이 필요하며, Battery bank의 최적 활용을 위한 운전방법이 필요하다. 그림 5는 캄보디아 프놈펜에 설치되어 있는 30kW급 독립형 태양광발전시스템의 Battery bank의 설치 사례이다.

독립형 전원시스템은 주로 소규모로 운영되고 있어서 저압 배전망에 효과적으로 활용된다. 또한 발전원 자체의 내부 임피던스가 매우 크기 때문에, AC 3상 시스템의 경우에는 상불평형에 대한 고려가 필요하다.

3.2.풍력 독립형 발전시스템

풍력에너지를 활용하는 풍력 독립형 발전시스템은 발전량의 예측이 어려워서, 대용량 Battery bank, Brake system, 비상디젤 발전기 등과 함께 설치되는 경우에는 시스템의 구성이 다소 복잡할 수 있다.

대형 전력망에 연결된 경우에는 부하와 Battery에 대한 문제를 크게 고려하지 않지만, 소규모 독립 전력망에서는 과충전, 발전전력 처리, 부족 부하상태 등과 같은 사항을 고려해야 한다.



그림 5 해외 독립형 태양광 발전시스템의 Battery Bank



그림 6 해외 독립발전용 디젤발전기

3.3.기타 독립형 발전시스템

기타 시스템은 소(小)수력, 디젤 및 하이브리드 형태를 독립전원 등을 사용한다. 소수력 발전시스템은 지역적 한계성으로 인해 설치 장소에 제한이 있는 것이 단점이다. 소수력 발전은 Over speed에 대해서 풍력발전기와 같이 민감하게 고려하지 않는다. 이는 소수력에서의 유속의 변화는, 풍력에서 풍향, 풍속 및 풍량의 변화처럼, 크게 발생하지 않기 때문이다.

디젤발전기는 현재 가장 많이 활용되는 독립형 발전시스템이며, 디젤유의 지속적 공급 필요, 고가 연료의 사용, 환경오염의 문제가 있다. 국내에서는 디젤발전기의 사용이 적은 편이나 국토가 넓은 국가, 전력망을 직접 연결하는데 큰 예산이 소요되는 국가, 개발도상국가 등에서는 여전히 많이 사용되고 있다. 그림 6은 인도네시아 발리섬에 설치되어 있는 디젤발전기 독립형 발전시스템이다.

3.4. UPS와 독립형 발전시스템

태양광, 풍력, 소수력, 하이브리드형의 독립형 발전시스템과 UPS는 구조적 형태가 비슷하다.

태양광 독립형 발전시스템은 부조일 수를 계산한 대형

Battery bank가 있고, UPS는 Back up 시간만 고려한 Battery bank가 있다. 태양광 독립형 발전시스템의 에너지원인 태양광은 불안정하나, UPS 에너지원인 전력망은 안정적이다.

풍력 독립형 발전시스템은 풍향, 풍속 및 풍량의 변화로 발전량 예측이 어렵고 Battery bank의 최적설계가 까다로워서, 전원 Back up을 위해 디젤 발전기와 병행하는 시스템이 많다.

독립형 발전시스템은 전문인력이 쉽게 접근하기 어려운 장소에 설치되는 경우가 많고, 운영을 위한 간접비가 많이 들며, 대형계통이 없기 때문에 발전원/소비부하의 한계성이 있어 정전압/정주파수를 정밀하게 유지하기 어려운 특징을 갖는다.

독립형 발전시스템의 기술 개발방향은 시스템의 안정적 운영과 발전된 전기에너지를 최적 활용에 있다. UPS장비의 목적은 전원 이상이 발생한 경우, 부하에 안정적이고 지속적인 전기에너지를 공급하는 것이다.

UPS와 독립형 발전시스템은 적용되는 형태는 비슷하지만 설치 환경이 다르므로, 핵심기술의 개발방향은 같지 않다.

4. ESS의 독립운전

전력계통의 전력수급 불균형의 문제를 해결하기 위해 Peak power shaving, Power level shifting 등의 기술이 개발되고 있다. 이 기술들은 ESS의 충방전 기능을 활용하여 전력계통의 전력수급을 조절하는 방법이다. ESS는 활용방법에 따라 신재생에너지의 계통접속에 따른 안정도 향상에 기여할 수 있다. 4장에서는 ESS를 활용한 독립운전의 기술적인 특화점에 대하여 알아본다.

4.1. ESS의 계통연계 운전 특성

ESS는 전력계통의 운전조건에 따라 전력계통의 전력을 Battery bank에 충/방전한다. ESS는 독자운전을 하기 위해 상시 전원상태를 감시하며, 경우에 따라 전력계통 안정화를 위해 독립적인 운전여부를 결정할 수 있어야 한다. 또한, 전력계통의 총괄운전을 관장하는 EMS와 연계되어 통합운영되기도 한다. EMS와 통신연계를 위해 적용되는 통신시스템은 DNP3.0 또는 IEC61850 등이 사용된다.

4.2. ESS의 독립운전 특성

ESS는 주로 전력계통과 연계되어 운영되고 있으나, 최근 독립 운전을 구현하는 기술이 개발되고 있다. 근간 한편에서 진행한 입찰에서 ESS의 계통 연계운전의 기본기능에 추가하여 Battery bank를 활용한 독립운전기능을 요구하였다. 이것은 계통과 분리되어 ESS 독립운전이 가능한 특수한 환경이 되었을 경우에, ESS를 독립전원으로 사용하기 위함이다.

ESS를 독립형 전원으로 사용하기 위해서 해결해야할 문제

는 ESS의 에너지 Bank에 저장된 에너지를 전부 사용하면, 추가로 수급받을 수 있는 에너지원이 없다는 점이다. 이는 ESS의 에너지 Bank의 Source는 전력계통이고, 부하도 전력계통이기 때문이다. 또한 ESS가 감당할 수 있는 부하용량이 한정되어 있기 때문에 ESS가 독립운전을 하는 경우에는 사전에 설정된 부하만으로 공급이 가능하게 된다.

5. 결론

본 원고는 UPS 관련기술을 독립전원시스템의 관점에서 고려한 특화점을 기술하였다.

UPS의 기본설명과 관련기술에 대한 설명을 진행하고, 신재생에너지를 활용한 독립형 전원시스템, ESS의 독립 운전을 각각의 기술측면에서 정리하였다. 각각의 응용분야와 적용기술은 다르지만, 관련기술의 배경은 전력전자를 기반으로 하고 독립전원을 공급할 수 있다는 점에서 기술의 목표점은 동일하다고 볼 수 있다. 거대한 전력망이 항상 상시 전원을 보장한다고 할 수 없으므로 독립형 전원에 기술개발 관심이 필요하다.

(주)큐아이티는 독립형 전원시스템에 대한 꾸준한 관심과 기술개발을 진행하고 있으며, 기술개발의 결과가 국내뿐만 아니라 해외에서도 적용될 수 있도록 매진하고 있다. 독립형 전원시스템은 국내 시장보다는 해외 시장이 더 크고 확대가능성이 높으므로 관련 기술개발은 국내시장보다는 해외 시장을 목표로 하는 것이 바람직 하다. ■■

참고 문헌

- [1] 주파수조정용 전력변환장치 (GS-6140-0003): 한전, 2014.6
- [2] 세계 무정전 전원장치 시장에 대한 분석: 전기산업진흥회, 2014.07
- [3] M. N. Marwali and A Keyhani, "Control of Distributed System-Part I: Voltage and current control," IEEE Trans. on Power Electron., Vol. 19, No. 6, pp. 1541-1550, 2004.
- [4] The GridWise alliance, <http://www.gridwise.org/>.

〈 필 자 소 개 〉



배정환(裴正煥)

1971년 10월 1일생. 1996년 명지대 공과대학 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2014년 8월 현재 성균관대 대학원 태양광시스템 협동과정 재학중(공박). 1999년~2012년 3월 인텍에프에이 사업부장/이사. 2012년 4월~현재 큐아이티 대표이사.