

특집

신에너지 시스템용 전력변환장치의 현황과 과제

유 권 중

(한국에너지기술연구소 신발전연구부)

최근 석유 대체에너지의 확보, 청정에너지화, 발전설비의 유효이용등을 목적으로 태양광발전, 풍력발전, 연료전지등에 의한 신발전시스템이나 신형전지, 초전도 코일 등에 의한 신전력 저장시스템의 실용화 연구가 추진되어 그 성과가 주목되고 있다. 이들 시스템은 발전전력, 저장전력이 직류전력이기 때문에 교류전력으로 변환하고, 상용전력계통과 연계하기 위하여서는 직류를 교류로 변환하는 전력전자 기술을 구사한 전력변환장치를 필요로 한다.

또한, 이들 신에너지 시스템은 기술적으로는 실용화 단계에 있는 면도 있지만, 경제성에서는 아직 충분하다고 할 수 없으며, 시스템을 구성하고 있는 전력변환장치의 저가화를 위한 기술개발이 적극 검토되고 있으며, 시스템의 저가화에 기대되고 있다.

본 절에서는 신에너지 시스템의 핵심 구성 요소기술이라고 할 수 있는 전력변환장치(여기서는 이하 인버터)기술에 관한 검토 결과와 향후 과제 및 전망에 대하여 기술하고자 한다.

1. 대상 시스템과 인버터의 사양

현재 기술적으로 실용화단계에 있는 신발전 시스템으로서는 태양광발전 시스템과 연료전지발전시스템을 들 수 있으며, 신전력 저장시스템으로서는 신형 2차전지 전력저장시스템과 SMES(초전도 코일 전력저장시스템)를 들 수가 있다. 그 외, 풍력발전시스템이나 프라이휠 전력 저장시스템등에서도 대개의 경우 인버터가 사용되지만 본 절에서는 상기의 4개의 시스템에 대해서만 기술하기로 한다.

표1에 상기 4개의 시스템의 실용화 단계에 있어서 예상되는 플랜트 및 인버터의 대표적인 개요를 나타내고 있다.

태양광발전 시스템에서는 단위 발전량당 소요면적이 $10\text{m}^2/\text{kWp}$ 이상으로 대면적화 되기 때문에 발전 플랜트의 용량은 주변환경에 한정되게 된다. 또, 대용량 플랜트라 할지라도 발전시스템은 적절하게 분할되어 인버터의 단위 용량은 수 100kVA 정도로 추정된다.

연료전지발전시스템에서는 향후 대용량 발전플랜트의 용량은 수 100MW 까지 예상할 수 있지만, 그럴 경우 수 100MW 의 단위 unit가 필요수 만큼 병렬로 설치될 것으로 사려된다.

또 전력 저장시스템의 정격방전시간과 인버터의 용량은 설치장소나 부하평준화, Peak-Cut등의 사용 목적에 의해 크게 변하게 될 것으로 사려된다. 또한, 표1에는 기재하고 있지 않지만, 최근 개인 주택에 있어서 축전지에 의한 전력저장시스템도 검토의 대상으로 된다.

2. 인버터에 요구되는 기능

각종 신에너지 시스템은 수요지 밀착형의 장점을 갖고 있으며, 이러한 에너지시스템용 인버터는 UPS용, 모터 구동용 등의 인버터에 비하여 다양한 여러 가지 기능을 요구하고 있다.

표2에는 이러한 인버터에 요구되는 기능과 대표적인 대응책을 나타내고 있다. 먼저, 에너지 공급 시스템으로서 高효율, 高신뢰성은 당연한 것이며, 수요가에 근접하다는 것으로부터 低고조파, 低노이즈, 低소음성이 요구되고 있다. 또 보수원 부재의

표1. 신에너지시스템의 대표적인 사양개요

No.	이용시스템	주요 용도	Plant 용량	인버터 사양
1	태양광발전	개인 주택	2~3 kW	2~3 kW
		분산형 전원	수10 kW	수10 kVA
		발전 Plant	수MW	수100 kVA x n대
2	연료전지발전	on-site 발전	수10~수100kW	수10~수100kVA
		발전 Plant	수10~수100kW	수10MVA x n대
3	신형 2차전지 전력저장	수용가 설비 (부하평준화용)	수MkWh	수100kVA
		발전소 설비	수10~수100MWh	수~수10MVA
4	SMES	수용가 설비 (부하평준화용)	수100kWh	수100kVA
		계통 안정화	수MWh	수MVA
		부하평준화	수1000MWh	수100MVA

표2. 인버터에 요구되는 기능과 대응책

No.	기능 및 성능	대표적인 대응책
1	고효율	①스위칭 반도체소자의 On전압 최소화, ②스위칭 손실의 최소화, ③스위칭횟수 저감(PWM캐리어 주파수 저주파화), ④변압기, 리액터등의 부속품 저감
2	고신뢰성	①부품수 저감, ②양질의 부품선별 사용
3	저고조파	①다상, 다중화, ②PWM 캐리어 주파수의 고주파화, ③필터의 최적설계
4	저노이즈	①필터의 최적설계, ②주회로의 공진형화
5	저소음	①자기소호형 스위칭소자채용, ②PWM 캐리어주파수의 초가청주파수화③변압기,리액터등 부속품의 저소음화, ④ 냉각장치의 소음저감
6	유지보수 편리성	①조작 Guidance 기능 부가, ②고장진단기능의 부가, ③Unit화
7	소형·경량	①고주파Link방식화, ②PWM방식화(회로의 간소화), ③무변압기화
8	저Cost	①회로의 간략화, ②제어회로의 S/W화, ③조립·검사의 자동화, ④표준화
9	독립운전	①독립운전기능의 부여 (자여식 전압형)
10	계통연계	①계통연계기능의 부여
11	유효전력제어	①유효전력(P)제어기능 부여
12	무효전력제어	①무효전력(Q)제어기능 부여
13	계통보호	①자기고장검출 연계차단기능 부여, ②계통연계 고장검출 연계차단 기능 부여, ③보호장치(검출기,차단기등)의 고신뢰화
14	타 계통운전	①중소용량기 사이, 다른 기종간에서의 병렬운전 및 자유 투입, 차단기능 부여
15	단독운전 방지	①타여식, ②자여식 전류형, ③자여식 전압형 전류제어방식, ④전압 또는 위상의 주기적 변동 검출 (기타 대응책은 표3참조)

분산형 시스템에 있어서는 조작 Guidance나 자기진단기능에 의한 보수성의 기술 향상이 요망되고 있어 시스템의 실용화를 위해서는 저가화가 최종적으로 과제로 대두되고 있다. 또한, 계통연계에서도 조건에 의해 독립운전을 하고자 할 때는 독립운전이

가능한 독립운전 기능이 요구되고 있다.

다음에 계통연계에 있어서는 계통에서의 요구에 따른 유효전력 및 무효전력의 제어에 의한 계통안정화 기능이 요구되어 인버터의 고장시 혹은 계통의 고장시, 확실하게 계통과의 연계를 차단할 高신

회로의 보호장치가 필요하다.

또, 원격지나 낙도 등의 소규모 급전시스템에서는 엔진발전기 등의 서로 다른 기종을 포함하는 다수기의 병렬운전과 자유로운 투입과 해제가 요구되고 있다.

마지막으로 단독 운전방지로서 계통연계에 있어서 계통 정전시, 분산형 발전시스템이 우연히 계통의 부하와 평형하여 단독운전으로 되는 경우, 전력 계통의 운영상 좋지 않은 상태가 발생하기 때문에 계통 정전시 인버터의 단독운전을 방지하는 기능이 며, 이것을 Islanding이라고도 한다.

단독운전방지를 위해서는 인버터를 타여식으로 하는 것이 확실한 방법이지만 무효전력제어등 제어 기능상의 제약이 있다는 단점을 갖고 있어 자여식에 대해서 독립운전 기능이 없는 전류형이나 전압형 전류제어방식 등의 해결책이 검토되고 있다. 또, 일반적으로 분산형 시스템에서는 응용분야의 확대를 위하여 독립운전기능이나 축전지가 병렬로 연결된 경우, 교류 측으로부터의 역충전도 고려하여 자여식 전압형이 요구되지만 단독운전을 피하기 위하여 계통연계는 독립운전기능을 갖지 않는 제어회로로 하며, 독립운전을 필요로 하는 경우에는 일반적으로 제어회로를 바꾸어 운전하는 방식을 취하고 있다. 표3에 단독운전을 방지하기 위한 대책의 개요를 나타내고 있다.

3. 각 시스템에 적합한 인버터의 변환방식

표2의 인버터에 요구되는 기능과 대응책에 관하여 표4에 변환방식에 관한 주요 요구기능과 변환방식의 관계를 나타내고 있다. 또한, 표5에 각 시스템의 용량에 적합한 인버터의 변환방식을 나타내고 있다.

태양광발전과 연료전지발전시스템의 중소용량 인버터에서는 소형경량, 低고조파, 著소음의 관점에서부터 Power-MOSFET 또는 IGBT에 의한 스위칭 주파수가 20kHz전후의 PWM방식이 적용되고 있으며, 계통연계의 경우 절연변압기를 필요로 하지만 고주파 Link방식에 의해 변압기를 소형·경량화하는 방식도 검토되고 있다.

MW급의 대용량 인버터에서는 효율과 경제성을 고려하여 타여식 다상방식과 독립운전 및 무효전력 제어기능을 갖는 자여식 다중방식이 플랜트 조건에 따라 분류 혹은 병용하여 사용되고 있다. 당분간은 스위칭 주파수가 저주파의 PWM과 다중의 혼합방식이 사용되고 있으나, 전력전자기술의 비약적인 발전으로 고주파 PWM방식이 사용될 것으로 사려

된다.

4. 향후과제와 대응책

이상에서 기술한 신에너지 시스템용 인버터의 각 시스템에 대한 최적방식도 연구성과의 적용실적에 따라 명확하게 되고 있지만, 본격적인 실용화를 위해서는 하기와 같은 문제 해결을 요구하고 있다.

(1) 저가화

신에너지 시스템의 본격적인 실용화를 위해서는 화석연료를 이용한 발전단가와 동일한 수준으로 경쟁력을 갖추어야 하며, 현재 저가화를 위한 주요한 요소는 태양전지, 연료전지의 발전장치 및 신형 전지, 초전도 코일의 전력저장장치의 본체이지만, 인버터 기술도 저가화를 위한 중요한 요소기술중의 하나이다. 인버터의 가격 결정 요인은 일반적으로 다음과 같이 분류할 수 있다.

- (a) 설계비 (사양 결정비, 시작비, 설계비, Soft비 등)
- (b) 재료비 (부품, 외관 의장재, 전선 등의 경비 등)
- (c) 조립비 (조립, 검사 등의 인건비)
- (d) 경비 (판매비, 관리비등의 제경비)

여기서 현재는 신에너지용 인버터는 시제작용으로 제작되는 경우가 많기 때문에 우선적으로 설계비, 경비 등이 가격결정에 커다란 요인으로 작용되고 있다. 또 재료비나 조립비도 집적화나 자동화 등과 같이 양산적인 방법을 적용하기에는 곤란하며, 경비도 예측 곤란한 비용이 발생하는 경우가 많다.

그러나 이와 같은 신에너지용 인버터도 신에너지 시스템의 확대보급이 이루어진다면 표준화 연구를 통하여 양산체제 구축으로 대폭적인 저가화의 실현이 가능하게 된다.

(2) 고효율화

신에너지 시스템에 있어서 모든 구성기기에 대하여 고효율 특성이 요구되고 있으며, 현재 일반적인 신에너지용 인버터의 효율은 2~3kVA급의 소용량에서는 90%이상, 직류전압 수100[v]로 100kVA급 이상에서는 95%이상 요구되고 있다. 또, 태양광발전 시스템 등과 같이 부분부하(정격부하 이하)에서 운전되는 경우가 많은 시스템용에서는 부분부하

표3. 저압전력계통에 연계되는 분산형발전시스템의 단독운전 방지책

No.	단독운전방지책	구체적인 예	주요 문제점
1	인버터 제어기준을 계통연계의 전압, 주파수로 한다.	교류전압, 주파수 등의 변동량을 검출한다.	100% 확실한 검출 곤란.
2	인버터의 내부에서 주기적으로 신 제어신호를 변동시켜 계통에 송전시와 정전시에 있어서 교류 출력의 변동량의 차를 검출한다. 혹은 단독운전상태를 강제 해제하는 방식.	교류전압, 무효전력등에 주기적으로 변동을 주어 변동량을 검출한다. 혹은 단독운전 상태를 강제 해제시킨다.	상시 운전 상태가 변동한다.
3	외부로부터 전기적인 단독운전 상태를 강제 해제한다.	- 계통을 단락, 접지한다. - 계통에 콘덴서를 투입한다.	계통에서의 설비, 작업이 필요
4	외부로부터 발전시스템의 출력 개폐기를 조작한다.	외부로부터 조작 가능한 개폐기를 설치하고, 계통점검자가 개폐기를 개로하여 시건 한다.	보급단계에 있어서 작업이 곤란.
		신호에 의해 개폐기를 원격 차단한다.	원격제어시스템의 설비 필요.

표4. 대표적인 변환방식의 특성

No	변환방식	변환방식의 특성				변환기 용량	주 스위칭 소자
		고효율	저고조파	저소음	소형경량		
1	타여식 6펄스 방식	◎	X	○	○	대~소	싸이리스터
2	타여식 다상	○	○	○		대~소	싸이리스터
3	자여식 전압형 6펄스	◎	X	○	○	대	GTO
						중, 소	BJT, IGBT
4	자여식 전압형 다중 PAM		○			대	GTO
						중	BJT, IGBT
5	자여식 전압형 다중 (4중 이상) 위상제어 (Unit 변환기 사이)	○	○	○		대	GTO
6	자여식 전압형 PWM		○		○	대	GTO
						중	BJT, IGBT
						소	MOSFET, IGBT
7	자여식 전압형 다중 PWM (저주파)	○	○			대	GTO
						중	BJT, IGBT
8	자여식 전압형 PWM (초가청주파수)		◎	◎	○	중	IGBT
						소	MOSFET, IGBT
9	자여식 전압형 고주파링크 PWM (초가청주파수)		◎	◎	◎	소	MOSFET, IGBT
10	자여식 전류형 다중	○	○	○		대	GTO
11	자여식 전류형 PWM		○		○	중	GTO, BJT, IGBT

표5. 각종 시스템용 인버터의 변환방식

적용 시스템	용 량	변 환 방 식	대표적 스위칭 사용소자
태양광발전	수kW	자여식 전압형 PWM(초가청주파수)	전력용 MOSFET
	수10kW	자여식 전압형 PWM(초가청주파수)	IGBT
	수100kW	자여식 전압형 다중PWM(저주파수) 또는 고주파 PWM	BJT, IGBT
연료전지발전	수10kW	자여식 전압형 PWM(초가청주파수)	IGBT
	수100kW	자여식 전압형 다중PWM(저주파수) 또는 고주파 PWM	BJT, IGBT
	수10MW	타여식 다상 자여식 전압형 다중 (Unit변환기 사이 위상제어)	싸이리스터 GTO
신형2차전지 전력저장	수100kW	자여식 전압형 다중PWM(저주파수) 또는 고주파 PWM	BJT, IGBT
	수MW	자여식 전압형 다중PWM(저주파수) 또는 고주파 PWM	GTO
	수10MW	타여식 다상 자여식 전압형 다중 (Unit변환기 사이 위상제어)	싸이리스터 GTO
SMES	수100kW	자여식 전류형 PWM	GTO
	수MW	자여식 전류형 다중	GTO
	수100MW	자여식 전압형 다중 (Unit변환기 사이 위상제어)	싸이리스터

(정격부하 이하)에서의 고효율 특성이 요구되고 있다.

한편, 고효율화는 저가화와 Trade-off 관계가 있기 때문에 효율 특성만을 고려하는 것은 저가화를 저해하는 요소로 작용할 수도 있기 때문에 주의하여야 하지만, 상기 정도의 효율까지는 특별한 문제가 없을 것으로 생각된다.

(3) 고조파 저감

교류전력을 부하에 공급하는 전원의 전압, 전류 파형으로서는 양질의 정현파가 요구되고 있으며, 반도체 스위칭 소자를 사용한 인버터의 입출력에서는 다소의 고조파나 전자소음의 발생은 피할 수 없지만, 고조파나 전자소음의 최소화가 요구되고 있다.

고조파의 저감 방법으로서 앞에서 언급한 다상, 다중이나 PWM방식의 채용으로 필터를 설치하지만 고조파 저감도 저가화와 Trade-off 관계를 갖고 있

기 때문에 저가화를 무시한 극단적인 고조파 저감은 실용상 곤란한 경우가 많다. 또, 인버터의 계통연계에 있어서 인버터의 연계점 고조파는 계통의 인피던스에 의해 크게 변동하기 때문에 계통연계형 인버터의 고조파 저감에 있어서는 계통인피던스를 고려한 조건 설정이 필요하다. 일반적으로 태양광발전이나 연료전지용 인버터의 고조파 유출 전류를 총합왜율 5%, 각차 전류 왜율 3% 이하를 요구하고 있다.

(4) 그 외

신에너지용 인버터의 향후 과제로서 앞에서 언급한 3가지 외에도 계통연계시에 있어서 보호방식의 명확화와 계통 정전시의 단독운전 방지책의 연구개발, 그 외 대용량시스템에 있어서 고속차단기의 연구개발등이 요구되고 있으며, 신에너지시스템의 실용화 보급을 위해서는 신에너지시스템의 계통연

계시의 기술 Guide-Line 설정이 시급하다고 사려된다.

이상 신에너지시스템용 인버터의 현황과 문제점에 대하여 기술하였지만, 신에너지시스템의 본격적인 실용화 보급을 위하여서는 태양전지, 연료전지, 소형축전지, 초전도 코일 등과 같이 본질적인 측면에서 경제적, 기술적으로 해결하여야 할 많은 과제가 있지만, 인버터로서도 앞에서 언급한 문제를 해결하기 위한 연구개발이 추진되어야 한다고 생각된다. 여기서 가장 중요한 문제는 경제성이라고 사려된다.

전력전자 관련기술은 비교적 급속한 발전을 하고 있어, 앞에서 언급한 이외의 새로운 스위칭소자, 응용기술의 적용연구를 추진함으로써 앞에서 언급한 신에너지시스템의 실용화 보급을 위한 인버터 관련 문제점의 해결이 기대되고 있으며, 현재의 기술로서도 해결 가능하다고 생각한다.

그러나, 이러한 해결을 위해서는 지속적인 연구개발이 선행되어야 한다고 사려된다.



유 권 중 (劉權鍾)

1982년 2월 조선대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 10월 일본 KOBE대학 대학원 석사과정 수료(석사). 1989년 3월 동 대학원 박사과정 수료(공학). 1989년~19

90년 일본 Fuji전기(주) 종합연구소 선임연구원. 현재 한국에너지 기술연구소 신발전연구부 태양광연구팀 태양광발전시스템 설계 및 전력변환장치 기술개발에 종사. 전기학회 종신회원. ISES 정회원. JIEE 정회원.