

최대의 에너지 수확을 위한 태양 광전지 인버터의 발전

연료비용 상승, 글로벌 기후변화에 대한 우려 확대, 전 세계적인 전기 수요 증가로 인해 풍력, 수력, 바이오매스, 태양 광전지와 같은 재생 가능한 에너지원의 활용이 중요해졌다. 이 글은 에너지 생산과 평가, 가용한 태양 에너지를 최대화하기 위한 최적화된 시스템 구성에 대해 다룬다.



글 | 모하마드 카밀(Mohammad Kamil) 애플리케이션 엔지니어*
매니쉬 샤르마(Manish Sharma) 애플리케이션 매니저
Freescale India pvt. Ltd.

연료비용 상승, 글로벌 기후변화에 대한 우려 확대, 전 세계적인 전기 수요 증가로 인해 풍력, 수력, 바이오매스, 태양 광전지와 같은 재생 가능한 에너지원의 활용이 중요해졌다. 공기의 흐름을 이용하여 풍력 터빈을 돌려 전기를 생산하고 물의 흐름 또는 적당한 크기의 파도를 이용하여 에너지를 생산할 수 있다. 식물 재료는 광합성을 이용해 에너지를 생산하고 SPV(태양 광전지)는 태양 에너지를 전기 에너지로 변환한다.

태양 전지 셀 특성

태양 광전지 셀은 다이오드와 비슷한 전기적 특성을 가진 반도체 소자다. 그러나 SPV 셀은 전기적 부하(다이오드)

가 아니라 전기 공급원이며 햇빛과 같은 빛 에너지와 접촉할 때 전류 공급원으로 작용한다. SPV 셀은 SPV 전지판의 크기 또는 연결된 부하의 유형, 그리고 햇빛의 강도로 좌우되는 전지판의 조광에 따라 다르게 작동한다. 이러한 작용을 SPV 셀 특성이라고 한다. 현재 가장 일반적인 태양광 기술은 단결정과 다결정 실리콘 모듈이다. SPV 셀은 **그림 1**과 같이 모델링할 수 있으며 그 전기적 특성은 **그림 2**에 나와 있다.

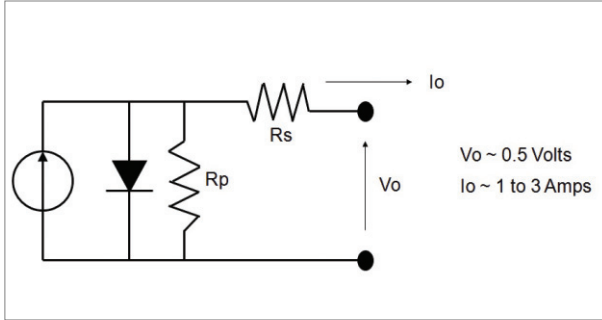
SPV 모듈의 최대 출력점(Maximum Power Point, MPP) 전압 범위는 일반적으로 개방 회로 전압의 80% ~ 85%, 단락 회로 전류의 80% ~ 90% 범위에서 정해진다. 태양 전지는 전압 공급원이 아닌 전류 공급원이다. SPV 셀의

특성은 다양한 부하 연결 시의 전류 및 전압 레벨로 기술된다. 셀이 햇빛에 노출되고 아무런 부하에도 연결되지 않은 경우 전류가 흐르지 않고 SPV 셀을 통과하는 전압은 최대치에 도달한다. 이것을 개방 회로(Vopen) 전압이라고 한다. SPV 셀에 부하가 연결되면 두 개의 단자가 서로 직접 연결될 때 출력 전류는 최대, 전압은 제로가 된다. 이 경우 전류를 단락 회로(ISC) 전류라고 하며, 그림 2에 나와 있다.

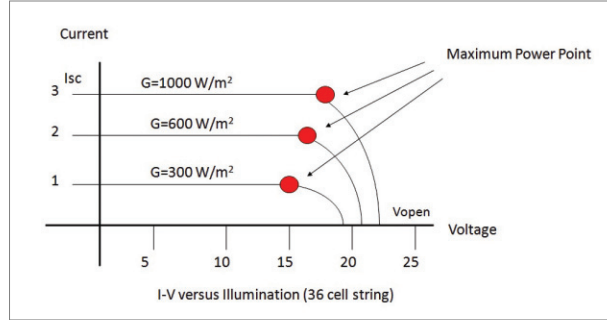
빛의 강도와 함께 온도도 SPV 셀 특성에 영향을 미친다. 전류는 빛의 강도에 정비례한다. 전압은 빛의 강도 변동에 따라서도 바뀌지만 이 전압 변화는 SPV 셀의 온도 변동에 따라 유발되는 변화에 비해 미미한 수준이다. 셀 온도가 상승하면 전압이 낮아지고 전류가 매우 소폭 높아진다. 빛의 강도 변화(감소)가 온도 변화(상승)보다 훨씬 더 큰 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다. 이는 일반적으로 사용되는 모든 SPV 소재에 적용된다. 이 두 가지 효과의 중요한 결과는 빛의 강도가 감소하거나 온도가 증가할 때 SPV 셀의 전원이 낮아진다는 것이다. 시스템 구성을 정의하는데 중요한 역할을 하는 요소는 SPV 특성, 필요에 따라 에너지를 저장해야 하는지 여부, 그리고 SPV의 사용량이다. 아래 섹션에서는 SPV에서의 에너지 수확을 최적화하기 위해 요구 사항과 사용을 기반으로 어떻게 시스템 구성이 발전해왔는지 살펴본다.

태양광 인버터 발전

SPV 전지판은 가전기기 저전력 인버터부터 산업용 대형 인버터에 이르



[그림 1] 태양 전지의 간단한 회로 모델



[그림 2] 태양 전지의 V-I 특성

기까지 많은 분야에서 전력 발전 센터로서 전기를 생산하는 데 사용된다. 원래 SPV는 로그 캐빈 시스템으로 사용된다. SPV의 12 V DC가 배터리에 직접 연결되고 배터리는 램프 및 기타 12 V DC 기기에 연결된다. 이 시스템의 조정되지 않는 충전은 배터리 수명을 단축시킨다. 전선 저항과 저전압 DC로 인해 전원은 수백 와트로 제한된다. 전원 레벨을 높이고 SPV 시스템을 활용하여 다양한 부하를 구동하기 위해 그림 3과 같이 인버터를 사용하여 SPV의 DC 전원을 AC 출력 전압으로 변환한다.

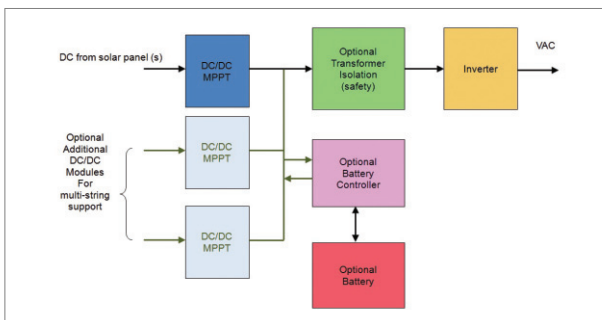
태양광 인버터 시스템은 애플리케이션과 에너지 수확 최적화를 기반으로 전체적인 SPV 시스템 효율성을 최적화하고 SPV에서 에너지 수확을 최대화하도록 발전했다. 다음 섹션을 통해

SPV가 가정용 오프 그리드 독립 시스템에서 연결된 산업용 그리드로 어떻게 발전했는지 살펴보자.

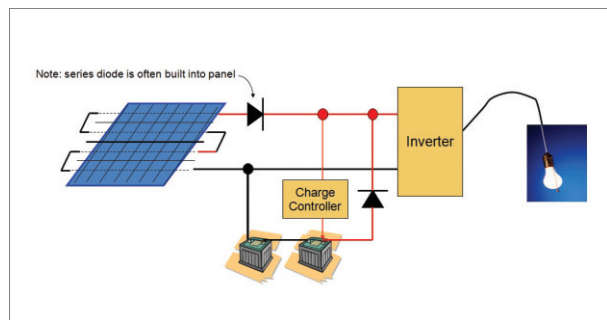
교외 주택용 시스템

교외 주택은 전원 요구사항이 낮으므로 소형 인버터 시스템이 사용된다. 이 시스템에서는 그림 4와 같이 24~96 V를 제공하는 고전압 태양 전지판이 인버터에 연결되어 120/240 VAC를 생산해 표준 조명 및 기기를 동작시킨다. 배터리 뱅크를 사용하여 주간에 태양 에너지를 저장하고 필요할 때 AC 출력을 제공한다. 이 시스템은 배터리 수명을 개선하기 위해 조정된 충전 방법을 사용한다. 높은 DC 전압은 보통 수준의 전원 레벨을 지원한다. 교외 주택용 시스템은 오프 그리드 시스템이므로 AC 전력선에 연결되지 않는다.

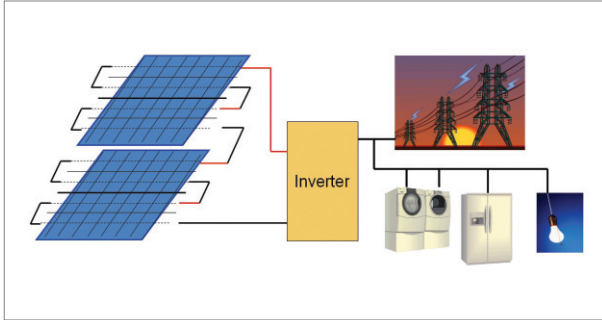
도시 주택용 시스템 - 도시 주택의 전원 요구사항은 비교적 더 높으므로 도시 지역에서는 더 큰 인버터 시스템이 사용된다. 도시 주택용 시스템에서는 200~400 V를 제공하는 고전압 전지판이 인버터에 연결되어 중간 전원 레벨(2~10 KW)에서 120/240 VAC를 생산한다. 이 시스템은 AC 전력선(그리드)에 연결되거나 연결되지 않을 수 있으므로 그리드 연결/오프 그리드일 수 있다. 그리드 연결 시스템에서는 충분한 에너지를 생산하는 주간에는 고객이 전력 회사에 전기를 판매하고 야간에는 전력 회사로부터 전력을 구매한다. 오프 그리드 시스템은 배터리 뱅크를 사용하여 에너지를 저장하며 필요할 때 AC 출력을 제공한다. 그리드 연결 시스템은 그리드에서 충분한 에너지가 공급되므로 배터리를 사용하지



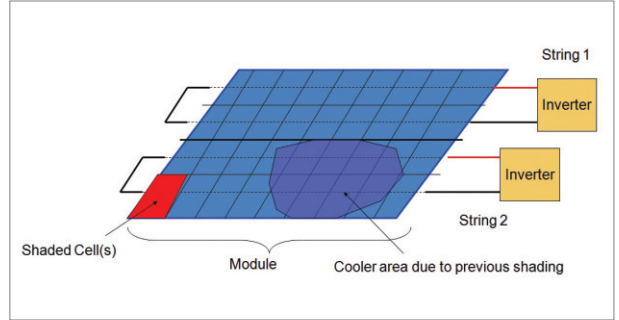
[그림 3] 인버터를 사용해 DC 전원을 AC 출력 전압으로 변환



[그림 4] 교외 주택용 시스템: 24~96 V를 제공하는 고전압 태양 전지판이 인버터에 연결되어 120/240 VAC를 생산



[그림 5] 도시 주택용 시스템: 200~400 V를 제공하는 고전압 전지판이 인버터에 연결되어 중간 전원 레벨(2~10 KW)에서 120/240 VAC를 생산



[그림 6] 그늘이 진 셀을 통과하면서 매우 큰 전압 강하가 발생한다. 이 스트링에 대한 에너지 수확은 최대 50%까지 떨어질 수 있다.

지 않고, 따라서 값이 비싸고 수명도 짧은 배터리 사용을 배제할 수 있다.

이 유형의 시스템 구성에서 대형 중앙 인버터를 사용하여 SPV 전지판 DC 전압에서 AC 출력을 생산하는 경우 두 가지 문제가 있다.

- 인버터가 단일 실패 지점이 될 가능성이 있다.
- 부분적인 음영 시, 또는 맞지 않는 태양 전지판이 직렬로 연결된 경우 에너지 수확이 최적으로 이루어지지 않는다.

태양 전지 셀 음영

모듈의 태양 전지판 하나에 나무, 오물, 구름, 새의 분비물 등으로 인해 그늘이 지거나 전지판이 손상되는 경우

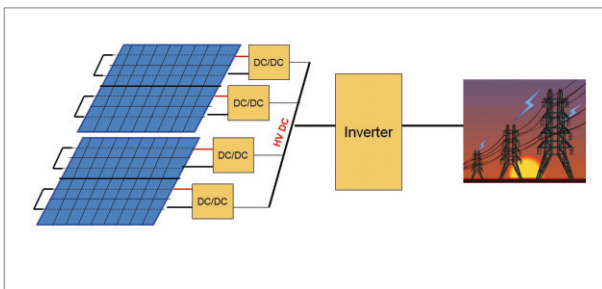
SPV 셀이 전류 공급원이고 전류 공급원은 임피던스가 높기 때문에 전류 출력이 다른 전지판과 일치하지 않게 된다. 그늘이 지지 않은 셀의 높은 전류 레벨이 그늘이 진 셀을 통과한다. 그늘이 진 셀을 통과하면서 매우 큰 전압 강하가 발생한다. 이 스트링에 대한 에너지 수확은 최대 50%까지 떨어질 수 있다. 큰 전압 강하와 높은 전류의 조합은 그늘이 진 셀(열점)을 손상시킬 수도 있다.

단일 인버터 시스템 - 가장 높은 전압 스트링이 큰 전력을 제공한다. 음영 또는 낮은 온도로 인해 전압이 낮은 스트링은 전력에 거의 보탬이 되지 않는다.

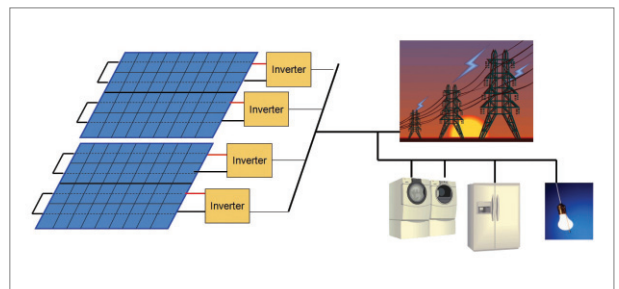
복수 인버터 시스템 - 각 인버터가 자체 스트링의 출력을 최적화하므로 출력 전압에 관계없이 각 스트링이 최대 전력을 제공한다. 테스트 결과 20~34%의 에너지가 추가로 수확되는 것으로 나타났다.

단일 인버터와 복수 DC-DC 컨버터

고출력 생성을 위해 수백 개의 태양 전지판이 직렬과 병렬로 연결되어 출력 전압과 전류를 높인다. 에너지 수확을 최적화하기 위해 그림 7과 같이 소형 DC-DC 컨버터가 각 태양광 스트링과 중앙의 주 인버터 사이에 연결된다. DC-DC 컨버터는 각 인버터 모듈에 개별적으로 위치할 수 있다. 이 구



[그림 7] 소형 DC-DC 컨버터가 각 태양광 스트링과 중앙의 주 인버터 사이에 연결

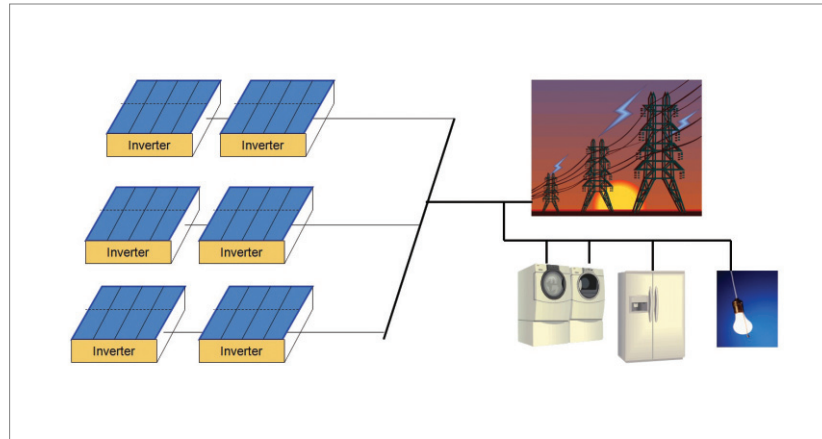


[그림 8] 태양 전지판이 여러 개의 중/대형 인버터에 병렬로 연결되어 필요한 AC 전압을 생산

성은 에너지 수확을 개선하지만 다음과 같은 문제가 있다.

1. 고전압 DC에서 AC 전압을 생성하기 위해 하나의 중앙 인버터가 사용되므로 이 방법도 여전히 단일 고장 지점에 취약하다.

2. 고전압 DC 버스가 배치된다. 이는 시스템 손실을 늘리며, 고전압 DC는 퓨즈가 어렵기 때문에 위험하다.



[그림 9] 태양광 모듈에 자체 인버터 포함

복수 스트링 인버터

태양 전지판이 여러 개의 중/대형 인버터(2~10 kW)에 병렬로 연결되어 필요한 AC 전압을 생산한다(그림 8). 각 인버터 출력은 그리드에 병렬로 연결된다. 여러 인버터를 사용하면 에너지 수확과 시스템 안정성이 향상된다. 이 시스템은 고전압 DC 배치가 필요 없고 에너지 수확량이 더 많다.

그리드 연결 태양광 마이크로인버터

이 시스템 구성에서는 그림 9와 같이 각 태양광 모듈에 자체 인버터가 포함된다. 각 태양 전지판에 인버터를 탑재하는 방법은 설치에 필요한 노동 비용을 크게 줄이고 안전성을 높이며 태양 에너지 수확을 극대화한다.

- a) 중앙 인버터에서 분산 인버터로 전환하여 에너지 수확을 최적화한다.
- b) 컨버터를 태양 전지판 모듈에 탑재하여 설치비용을 줄인다.
- c) 하드 스위칭 기술을 소프트 스위칭 기술로 대체하여 효율성을 높이고 열 발생을 줄인다.

- d) 컨버터 온도를 낮추고 팬을 제거하여 시스템 안정성을 5년에서 20년으로 늘린다.
- e) 마이크로인버터는 대체로 저전력 이므로(수백 와트) 그만큼 내부 온도가 낮고 안정성이 향상된다.
- f) 표준화된 설계(하드웨어 및 소프트웨어)는 가내 공업에서 대량생산에 이르기까지 안정성을 높이고 비용을 낮춘다.
- g) 전해커패시터 제거(고장이 잦음) - 전류를 낮추기 위해 설계에 더 높은 전압이 필요하고, 이로써 정전용량이 낮은 비전해질 커패시터를 사용할 수 있다.
- h) 그리드에 연결된 컨버터는 많은 애플리케이션에서 배터리의 필요성을 없앤다. 배터리는 매우 고가이며 유지보수가 필요하고 수명이 짧다.
- I) 마이크로인버터 태양광 시스템에는 특정 전력 레벨을 처리하기 위한 많은 인버터가 필요하고, 이로써 생산 수량이 늘어나 비용이 낮아진다.

태양광 마이크로인버터 요구사항

- a) 태양 전지판에서의 전력 수확을 최적화하기 위해 최대 출력점 추적(Maximum Power Point Tracking, MPPT) 알고리즘이 필요하다.
- b) 시스템 효율성 > 94%(최대한 높음)
- c) 넓은 DC 입력 전압 범위
- d) 비용 < 와트당 \$0.50(생산 수량)
- e) 안전: 오류 감지 및 단독 운전 방지
- f) AC 품질, THD(전고조파 왜율) < 5%: IEEE 519 표준 충족

결론

전력 레벨과 SPV 시스템 사용률을 높이기 위해 SPV와 부하 사이에 인버터를 사용한다. 현재 독립형 인버터, 그리드 연결 인버터, 배터리 백업 인버터의 세 가지 유형의 태양광 인버터가 사용된다. 그리드 연결 마이크로인버터 시스템 설계는 에너지 수확에서 최적화가 가장 뛰어나고 설치 노동 비용을 낮추며 안전성을 높인다. 마이크로인버터는 중앙 인버터 시스템에 비해 에너지 수확이 최대 35% 더 높다. **ES**