독립형, 계통연계 호환형 인버터 운용방안

강윤수, 정구영, 오승재, 노정욱
국민대학교 전자공학과

Stand-Alone, Grid-Connected Compatible Inverter Operation Plan

Yoon Soo. Kang, Ku Young. Jeong, Seung Jae. Oh, Chung Wook. Roh
Dept. of Electronics Engine
ering, Kookmin Univ.

ABSTRACT

최근 푸드트럭, 캠핑, 레저활동 등 계통전원이 없는 환경에서 전력공급이 가능한 독립형 인버터 사용이 늘어났다. 그리고 다양한 전자기기 사용 증가로 전기사용량이 늘어났으며 이에 소비자들은 날로 증가하는 전기 요금을 줄이기 위해 태양광 패널을 설치하는 등 계통연계 인버터에 대한 관심 또한 증가하고 있다. 기존 독립형 인버터 및 계통연계 인버터는 각각의 동작만 수행할 뿐 호환 기능은 없다. 따라서 소비자들은 사용용도에 맞춰 각각의 제품을 사야하는 단점이 있다. 이에 본 논문은 기존 단점을 보완하는 독립형, 계통연계형 호환형 인버터를 제안하고 실제 제품에 적용시켜 운용방안을 모색하고 동작 검증을 하였다.

1. 서 론

최근 독립형 인버터와 개통형 인버터의 사용은 증가하고 있다. 하지만 각각의 기능이 호환되는 인버터는 없다. 따라서 본 논문은 독립형, 계통연계형 호환형 인버터를 제안하며 각 동작 모드를 설명한다. 독립형 동작 시 인버터는 open loop 제어를 이용해 출력전압을 만들었으며 계통연계 동작 시에는 Grid전압을 센싱받아 출력전압을 만들었다. 출력전압을 만들기 위해서는 Duty cycle이 사용되어야 한다. Duty cycle은 각 모드에서 중요한 역할을 하지만 계통연계 동작 시에는 그 의미가 더 커진다. duty는 독립형에서 open loop로 단순히 출력전압을 만들어주는 역할을 하지만 계통연계 동작에서는 duty의 위상변화로 계통연계 동작이 좌지우지 되며 주입전력을 결정하는 중요한 역할을 한다. 따라서 본 논문은 각 모드 시 duty변화에 대해 설명하고 제안 회로의 제품화 시 운용방안에 대해 설명한다.

2. 독립형 계통연계 호환형 인버터

2.1 독립형, 계통연계 호환형 인버터 작동방식

그림 1은 간소화된 독립형 계통연계 호환형 인버터를 나타낸다. 독립형 동작 시 계통전압은 존재하지 않고 인버터 단에서 전압, 전류를 생성한다. 계통연계 동작 시에는 계통전압이 존재하며 이때 load 전류는 인버터 전류와 계통 전류의 합이다. 독립형에서 load 전류는 식(1)과 같고 계통 연계형에서 load전류는 식(2)와 같다. 한편 주입전류 I_i는 식(3)으로 표현된다.

$$I_{load} = I_i \tag{1}$$

$$I_{load} = I_i + I_{grid} \tag{2}$$

$$\vec{I_i} = \frac{\overrightarrow{V_i} - \overrightarrow{V_{grid}}}{jwL} \tag{3}$$

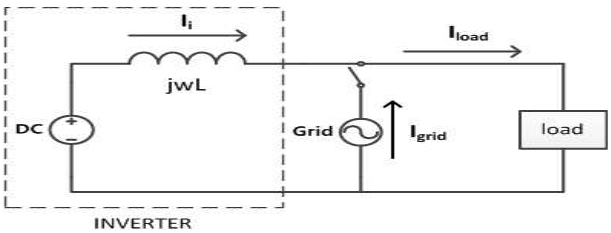

그림 1 간소화 된 독립형, 계통연계형 인버터

2.1.1 독립형 인버터 duty 해석

그림 2는 기본적으로 Buck Converter를 기반으로 한다. 따라서 식(4)로 표현 가능하다. 그런데 출력이 sine wave 이므로 Duty를 sine wave로, 즉 식(5)로 유도할 수 있다. 제안 회로의 max duty는 $sie(wt+\theta)=1$일 때 발생하며 식(6)을 유도 할 수 있다. 원래 duty는 음수가 나올 수 없지만 식(5)에 따르면 duty가 음수가 나온다. 이는 V_i.를 +로 계속 고정시켰기 때문이다. 따라서 음수의 duty가 나오는 것은 실제로 duty가 음수인 것이 아니라 V_i가 음수가 되는 것으로 생각해야 한다. 독립형 인버터의 출력 전압은 식(7)으로 도출되어진다.

$$V_O = DV_i \tag{4}$$

$$D(t) = \alpha \sin(wt+\theta) \tag{5}$$

$$D_{\max} = \alpha = \frac{V_{O,peak}}{V_i} \tag{6}$$

$$V_O(t) = D(t)\,V_i = \frac{V_{O,peak}}{V_i} sin(wt+\theta)\,V_i \tag{7}$$

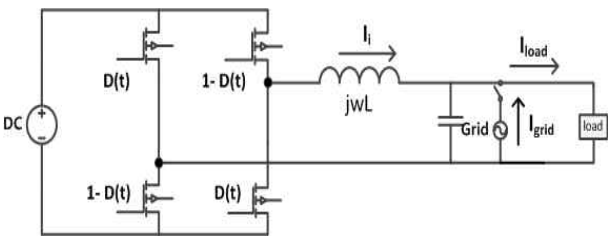

그림 2 독립형, 계통연계형 인버터

다음은 시뮬레이션을 이용해 출력전압과 인덕터 전류, 출력전류, 듀티를 확인했다.

· 시뮬레이션 조건

- 입력전압 - 200V DC
- 출력전력 - 336W
- 출력전압 및 주파수 - 110Vrms , 50Hz
- 결과 : 출력전류는 주입전류이며 336W전력 공급

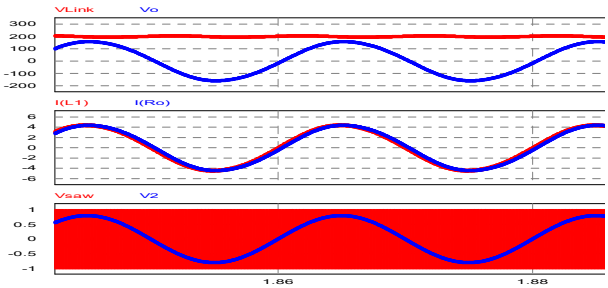

그림 3 독립형 인버터 시뮬레이션 결과

2.1.2 계통형 인버터 duty 해석

그림 1을 참조하면 계통연계 시 I_i전류는 식(3)으로 나타내어진다. 또한 KCL에 의해 출력전류는 식(2)로 표현이 된다. 그림 2를 통해서는 인버터는 full-bridge를 통해 구현이 되었으며 입출력 관계식은 Buck_Converter를 기반으로 하는 것을 알 수 있다.(식(4) 참조) 식(3)을 이용해 V_{grid}에 관한 식으로 정리하면 식(9)와 같다. 식(2)에 의해 I_{load}, I_i, I_{grid} 전류는 같은 위상인 것을 알 수 있으며 I_i를 페이저 식인 식(10)으로 표현 했다. 식(9)와 식(4)를 합치면 식(11)이 만들어진다. 식(11)은 duty에 관한 식이다. 그런데 계통연계 동작에서도 max duty제한을 걸어주었고 그 값은 0.8로 설정했다. 정리하면 상수 K가 붙어 있는 식 (13)으로 나타낼 수 있다. 또한 duty가 음수가 나오는 것은 실제 duty에 음수가 나오는 것이라 V_i를 항상+라 두고 식을 세웠기 때문이다. 따라서 음수 duty는 V_i가 음수일 때라고 생각하면 된다. 식(13)에서 max duty = 0.8 이므로 sine의 계수는 항상 0.8이 된다. 식(14)참조. 식(4)를 이용하여 출력전압 V_O를 나타내면 식(15)와 같다.

$$\overrightarrow{V_{grid}} = \overrightarrow{V_O} = V_i - jwL\overrightarrow{I_i} \quad (9)$$

$$I_i = I_a \angle 0^\circ \quad (10)$$

$$D(t) = 1 - j\frac{wL\overrightarrow{I_i}}{V_i} = \sqrt{1+(\frac{wLI_a}{V_i})^2} \angle -\tan^{-1}\frac{wLI_a}{V_i} \quad (11)$$

$$\angle \tan^{-1}(\frac{wLI_a}{V_i}) = \phi \quad (12)$$

$$D(t) = K[\sqrt{1+(\frac{wLI_a}{V_i})^2} sin(wt+\theta-\phi)] \quad (13)$$

$$K\sqrt{1+(\frac{wLI_a}{V_i})^2} = 0.8 \quad (14)$$

$$V_O = D(t)\, V_i = 0.8\sin(wt+\theta-\phi)\, V_i \quad (15)$$

V_O는 계통전원이므로 sin(wt)함수이다. 따라서 Duty의 위상을 조절 시켜야 하는데 위상조절은 $\theta = \phi$ 을 이용하면 된다.

다음은 시뮬레이션을 이용해 출력전압과 인덕터 전류, 출력전류, 듀티를 확인했다.

· 시뮬레이션 조건

- 출력전력 = 355.3W
- 주입전력 = 300W
- max duty = 0.8
- duty 위상보상 : +5°
- 출력전압 및 주파수 = 110Vrms , 50Hz
- 결과 : 주입전류는 110Vrms 기준 3Arms가 나온다 전력으로 계산하면 330W가 주입되고 있다. 나머지 전력은 계통을 통해 주입되는 것을 확인 할 수 있다.

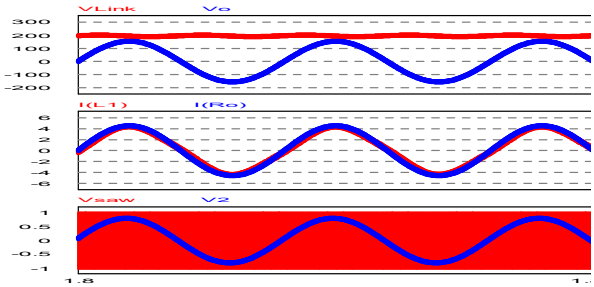

그림 4 계통 연계형 인버터 시뮬레이션 결과

3. 실험 결과 및 운용 방안

본 논문에서는 다음과 같은 실험조건으로 독립형, 계통연계 호환형 인버터 동작을 검증하였으며 기구설계를 통해 제품화 틀을 다졌으며 이를 기반으로 운용방안을 모색했다.

표 1 독립형, 계통연계 호환형 인버터 실험 조건

실험 조건	값	실험 조건	값
입력전압	48V DC	주파수	50Hz
DC link 전압	200V DC	스위칭 주파수	20kHz
출력전압	110Vrms AC	load	34ohm
출력전력	350W	Inductance	12mH
Grid 전압	110Vrms AC	capacitance	6.6uF

그림 5 제안 인버터의 보드 및 기구에 실장 된 sample제품

3.1 독립형 인버터 실험 결과 및 운용방안

그림 6은 제안 인버터의 독립형 출력전압, 인덕터 전류 및 출력전류 파형을 나타낸 것이다. open loop duty로 동작하는 독립형의 출력전압은 111.5Vrms 가 나오고 인덕터 전류는 3.12Arms를 갖고 출력전류와 동일하다. 이는 독립형 동작으로 약 350W의 출력이 발생된 것을 알 수 있다.

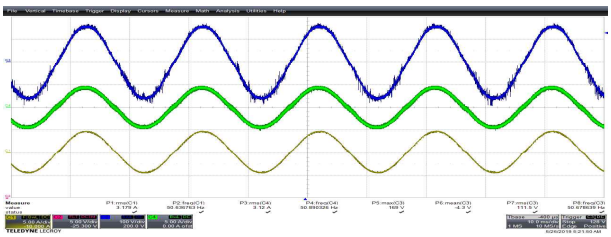

그림 6 제안 인버터의 실제 독립형 파형

그림 7은 제품화 된 인버터의 독립형 사용 시 운용방안에 대해 보여주고 있다. 제품의 출력부는 110Vrms 50Hz AC 전원을 공급하고 있으며 이 부분에 부하를 바로 연결하여 사용한다. 1kW이상의 전력은 공급하지 않으며 연결 시 동작은 중지된다. 1kW이상 사용시에는 제품의 병렬 연결이 요구된다. 그림 8참조

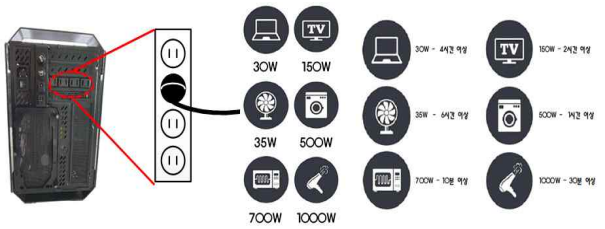

그림 7 제품화 된 인버터의 독립형 운용방안

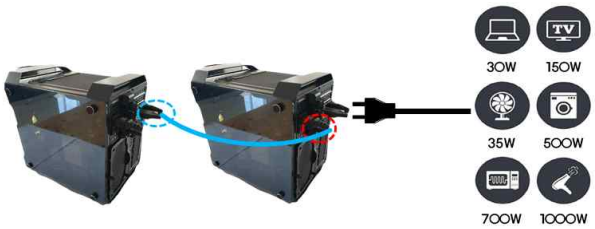

그림 8 제품의 병렬 연결 방안

3.2 계통연계형 인버터 실험 결과 및 운용방안

그림 9는 제안 인버터의 계통연계 출력전압, 인덕터 전류, 출력전류를 파형을 나타낸 것이다. Grid 전압을 센싱받아 인덕터 전류를 생성하며 Duty의 위상조절을 통해 300W 전력을 주입시켰다. 출력전압은 109.5Vrms이고 출력전류는 3.12Arms이다. 인덕터 전류는 정밀한 계통전류 센싱을 위해 매주기 약 1.6msec동안 스위칭을 하지 않으며 약 3Arms를 갖는다.

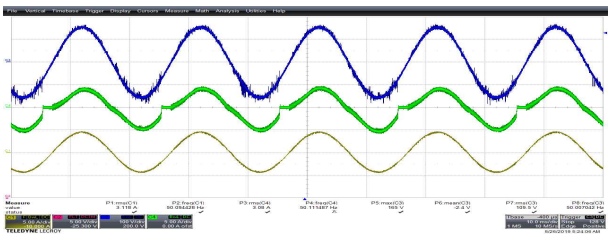

그림 9 제안 인버터의 실제 계통연계형 파형

그림 10을 통해 3.21Arms의 계통전류를 사용하고 있는 부하가 계통연계 동작을 통해 계통전류가 0.66Arms까지 줄었다는 것을 알 수 있다. 실제 부하는 계속해서 3.21Arms를 사용하고 있다.

그림 10 계통전류 그림(좌-계통 동작, 우-계통연계 동작)

그림 11은 제품화 된 인버터의 계통연계 사용 시 운용방안에 대해 보여주고 peak 전력 보상원리를 나타낸다. 본 제품의 동작은 수요전력계와 동시에 사용이 되어야 한다. 수요전력계에 peak전력을 설정해 놓고 peak이상 전력이 들어온다면 수요전력계에서 본 제품으로 신호가 들어와 계통연계 동작을 행하게 된다. 사용법은 계통연결부에 벽전원 콘센트를 꽂으면 된다.

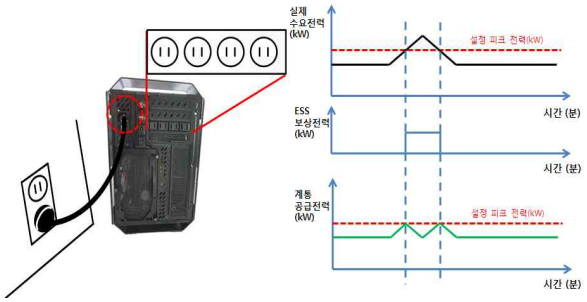

그림 11 계통연계 동작 시 운용방안 및 피크전력 보상원리

5. 결론

제안 된 독립형, 계통연계형 호환형 인버터의 동작은 시뮬레이션 및 sample제품을 통해 확인되었다. 본 논문을 통해 독립형 및 계통연계 동작 시 간략화 된 그림과 식으로 출력전압과 duty cycle 식을 유도했으며 시뮬레이션과 실험을 통해 유도된 식이 유효하다는 것을 알 수 있었다. 또한 계통연계 동작 시 전류 주입량은 duty의 위상변화에 따라 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 제안 인버터를 기구에 실장하여 350W급의 독립형 동작을 확인했고, 300W 전력을 주입하는 계통연계 인버터 동작도 확인했다. 또한 제품의 병렬연결을 통해 전력증대가 되는 것 또한 확인 할 수 있었다. 본 논문에서 제안한 호환형 인버터는 야외용 전원은 물론 전기요금 절감기능을 가지고 있고 UPS기능 또한 있는 all in one ESS라고 할 수 있다. 또한 기존 인버터 제품에 비해 무게 및 부피가 작은 장점을 가지고 있다. 이 제품이 양산이 되어 출시가 된다면 기존인버터 시장에 큰 활력을 불어넣을 것으로 사료된다.

이 논문은 성실에너지 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

[1] 정구영, 양태철, 강경수, 노정욱 “독립형 / 계통연계 호환형 단상 인버터”, 전력전자학회 학술대회 논문집 2018.7, 39-41(3 pages)