

인버터 시스템과 상용 전력 계통과의 병렬 운전에 관한 연구

A Study on Parallel Operation Between Inverter System and Utility Line

千 熙 英* · 朴 貴 泰* · 柳 志 潤* · 安 鎬 均**
 (Hee-Young Chun, Gwi-Tae Park, Ji-Yoon Yoo, Ho-Gyun Ahn)

Abstract - This paper proposes a utility parallel processing inverter system, which consists of a voltage source PWM inverter, isolation transformer and a reactor linking the inverter to utility line. This system realizes following functions : (1) voltage phase frequency and amplitude synchronization between inverter and utility line at stand-alone mode. (2) current phase synchronization between inverter and load at parallel mode.

Therefore, despite sudden increase in load current over setting point at stand-alone mode, inverter system can be transferred into parallel mode immediately without transient current. Furthermore, high frequency(18KHz) PWM control and sinusoidal filtering improve the inverter output waveform by eliminating high order harmonic components as well as low order. As a switching device, IGBT is used for high frequency switching and large current capacity

Key Word : stand-alone inverter(독립형 인버터) parallel processing inverter(병렬형인버터)

1. 서 론

인버터 시스템은 용도에 따라 무정전 전원용과 교류전동기의 가변속 구동용으로 분류된다. 전자는 일반적으로 일정 전압·일정 주파수의 정현파 교류를 출력하도록 제어하는 정전압 정주파수(CVCF: Constant Voltage Constant Frequency) 장치이며, 후자는 가변 전압·가변 주파수(VVVF: Variable Voltage Variable Frequency) 전원장치로

서 에너지 절약, FA를 목적으로 한 定速驅動系의 가변속화, 신뢰성 향상, 보수의 생력화를 겨냥한 직류구동계의 교류 구동화, 생산성·가공 정밀도의 향상을 도모하기 위한 스피들의 고속 구동 등 산업 분야는 물론 가정용 에어컨, 형광등의 전자 점등 회로 등 우리들의 주변에까지 확대 응용되고 있다. [1]

이러한 인버터는 인버터 출력과 다른 교류 전원(상용 전력 계통이나 다른 인버터), 부하의 연결 방식에 따라 독립형(stand-alone type)과 병렬형(parallel-connection type)의 두 분야로 응용되고 있다. 독립형에서는 인버터 단독으로 모든 부하에

*正 會 員 : 高麗大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

**正 會 員 : 高麗大 大學院 電氣工學科 博士課程

接 受 日 字 : 1991年 8 月 27日

1 次 修 正 : 1992年 1 月 23日

전력을 공급하는 형태로서 기존 인버터 방식의 대부분이 이에 속한다. 한편, 부하 용량의 증가에 따른 인버터간의 병렬운전, 반도체 전력 변환장치 사용으로 인해 발생하는 상용 전력 계통의 무효전력을 보상하기 위한 무효전력 보상장치(SVC), 그리고 태양광 발전, 연료전지 발전, 풍력 발전과 같은 대체에너지용 인버터의 계통선과의 연계운전 등 인버터 시스템과 다른 교류전원과의 병렬운전이 점차 증가되고 있다. [2]

특히 환경 오염과 공해 문제가 없는 대체에너지로서 전세계적으로 각광받고 있는 태양광 발전, 연료전지 발전, 풍력 발전과 같은 분산형 전원은 수 kW~수백kW의 비교적 작은 전원으로 전력 소비지에 널리 분산된 형태로 도입될 것으로 예상되며, 효율적인 운전 및 설비 용량을 낮추기 위해서 상용 전력 계통과의 병렬운전에 대한 필요성이 대두되고 있다. 태양광 발전의 경우, 시스템의 출력은 일사량에 의존하고 일사량 피크와 수요 피크가 일치하지 않기 때문에 발생전력을 야간이나 우천시와 같은 발전 불능상태, 정격 출력시에 필요한 일사량 부족 및 급격한 부하 증가시에도 지속적으로 안정된 전력공급을 위해 상용 전력 계통과 병렬운전을 하므로써 부족 전력분을 공급받아야 한다. 또한 축전지 에너지 저장시스템(battery energy storage system)의 경우 대용량의 축전지로 심야 전력을 전기화학적 반응으로 저장하고, 부하 피크 시간대에 방출하는 부하 평준화 기능을 갖는 시스템으로서 상용 전력과의 병렬운전을 통해 설비 이용률, 발전 효율의 향상 등으로 석유 대체에너지를 효율적으로 이용할 수 있다. [1, 2]

그러나 일반 수용가가 소유하는 불특정 다수의 분산형 인버터 시스템을 상용계통과 병렬운전할 경우에는 성능이 열악한 발전장치로 인해서 배전선이 열화되고 배전선 보호 시스템의 신뢰도가 저하되고, 역전압으로 인한 배전선 작업의 위험성 등 많은 문제에 주의할 하여야 한다. 특히 병렬운전의 돌입전류와 양 계통간의 전압차 및 위상차로 인한 순환전류를 방지하여야 하며 양질의 전력을 공급하여 배전선의 전력 품질과 안정성을 저하시키지 않아야 한다. [3~5]

따라서 본 연구에서는 상기 문제점을 고려하여 계통선과 병렬운전이 가능한 인버터를 제안하였으며, 대체에너지와 같은 직류 에너지원과 상용 전력 계통과의 병렬운전 시스템에 적용될 수 있으리라 생각된다. 특히 회로방식으로서 독립운전과 병렬운전 모두가 가능하도록 전압원 인버터(VSI)를 선정하였고, 병렬 순시의 돌입전류를 방지하기 위

해 인버터 독립운전시 계통선 전압과 인버터 전압의 위상과 크기를 동기화시켜 병렬운전에 임할 수 있게 하였고, 상용 계통측의 전압 변동에 대해서 인버터 출력전압이 계통선 전압에 추종되도록 하였으며, 병렬운전시 양 계통의 전류 위상차로 인한 순환전류를 방지하기 위해 전류 위상 동기화 제어를 행하였다. 여기서 독립운전시의 전압 위상 동기 제어 및 병렬운전시의 전류위상 동기 제어를 위해 응답 특성이 느린 PLL(Phase Locked Loop)방식 대신에 간단한 소프트웨어로서 이를 실현하였다. 또한 양질의 인버터 출력 파형을 얻기 위해 대전력, 고주파 스위칭이 가능한 IGBT를 스위칭 소자로 사용하여 고주파 PWM제어를 행하였다.

2. 계통선 병렬형 인버터의 원리

계통선 병렬형 인버터는 직류 전원을 갖는 인버터 계통 단독으로 부하가 필요로 하는 모든 전력을 공급하는 독립 모드와 인버터측의 공급 전력이 수요 전력에 대해 부족할 경우 상용 계통과의 병렬운전에 의해 부하에 전력을 공급하는 병렬 모드로 구분할 수 있다. 즉 인버터 계통과 상용 전력 계통과의 병렬운전에 있어서 부하전류가 설정치 이하일 경우 상용 계통을 분리하여 인버터 단독으로 부하에 전력을 공급한다. 그러나 부하 전력이 증가하여 설정치를 초과하면 즉시 병렬모드로 전환되어 양 계통으로부터 전력을 공급받는다. 이때 양계통의 전압의 크기, 위상 및 주파수가 일치하지 않으면 병렬 스위치 투입시 큰 돌입전류가 흘러 시스템의 불안정 요인이 되므로 독립운전시에는 항상 인버터 출력을 계통선 전압의 크기 및 위상에 동기화시키므로써 순시의 병렬 운전에 대비하여야 한다. 또한 병렬 모드시에는 인버터 출력전류와 계통선 전류의 위상을 동기화시켜 부하에 동일한 위상의 부하전류가 공급되도록 하여야 하며, 이를 위해 부하 종류에 따라 변화하는 부하전류의 위상(계통선측 임피던스를 무시할 경우 계통선 전류위상과 동일)에 인버터 출력전류의 위상을 동기화시키므로써 인버터 출력전류, 계통선 전류 및 부하전류의 위상 모두를 동기화시킬 수 있다. 그림1은 본 연구에서 시험 제작한 계통선 병렬형 인버터의 블럭도로서 그 회로 구성 및 동작을 블럭별로 설명하면 다음과 같다.

1. 축전지열(battery bank) : 인버터의 직류 전원, 태양전지(solar array)나 연료전지(fuel cell)의 경우 피크시의 에너지를 저장하여 발

전 불능시에 방전하므로써 지속적인 전력 공급을 꾀한다.

2. PWM인버터 : 정현파에 근사한 출력 파형을 얻기 위해 18KHz의 고주파 PWM스위칭이 행해지며 제어기(controller)의 동작 모드에 따라 전압 혹은 전류 위상제어, 계통선 전압 추종제어, 과전류 보호등의 기능을 수행한다.
3. 정현화 필터(AC filter) : 인버터의 PWM출력으로부터 60Hz정현파를 얻기 위해 고차 고조파를 제거한다. 18KHz PWM제어에 의해 저차 고조파는 제거되므로 쇼크 코일 L과 콘덴서 C만으로 구성된 간단한 역 L형 필터로 구성된다.
4. 절연 변압기(isolation transformer) : 인버터 계통과 상용 계통 간의 전기적인 절연 및 인터페이스를 위한 것으로서 60Hz저주파 변압기를 사용하여 인버터 전체의 크기, 중량 및 가격을 증대시키나 변압기 자체가 계통선으로 들어오는 고조파 전류를 허용치 이하로 줄이는데 기여하는 직렬 임피던스(서항과 누설 리액턴스) 역할을 하므로 인버터와 계통선간의 인터페이스를 용이하게 해 준다. [5]
5. 부하(load) : 부하 임피던스는 부하 성분때 따라 그 역률 및 값이 변화하므로 부하전류 I_L 의 크기와 위상이 변화된다.
6. 전류 검출 및 절환 회로 : 전압변성기 PT_1 , PT_2 와 홀센서 HS_1 , HS_2 , 절환스위치 SW_2 , SW_3 , 전류 검출기 CD로 구성된다. 전압변성기 PT_1 과 PT_2 는 각각 인버터 출력전압과 계통선 전압을 검출하며, 홀센서 HS_1 과 HS_2 는 각각 인버터의 출력전류 I_i 와 부하전류 I_L 를 검출한다. 부하전류 검출기 CD는 부하전류 I_L 이 임의의 설정치(setting point) 이하일 경우, SW_2 와 SW_3 를 a점점으로 절환하며 동시에 병렬 스위치 SW_1 도 a점점으로 절환하므로써 인버터와 상용 계통을 분리하여 인버터를 독립 모드로서 동작하게 한다. 또한 부하전류가 설정치 이상일 경우에는 스위치 $SW_1 \sim SW_3$ 를 b점점으로 절환하여 인버터를 상용 계통과의 병렬 모드로 절환하여 준다.
7. 병렬 스위치 : 전류 검출기 CD의 출력 신호에 따라 a점점(독립 모드)과 b점점(병렬 모드)으로 절환되며, 절환 스피드를 고려하여 반도체 릴레이(solid state relay : SSR)를 사용하였다.
8. 제어기(controller) : 제어기는 위상 검출기

PD, 전압 조절기 VR과 IBM-286 및 인터페이스 회로로 구성되며 다음과 같은 제어 기능을 수행한다.

— PWM제어 : 18KHz 고주파 PWM제어

— 전압 제어

1) 독립 운전시 전압 추종 제어

CD의 출력 신호에 의해 SW_3 는 a점점으로 절환되며 인버터 출력전압과 계통선 전압이 케환되어 전압 조절기 VR에 의해 인버터 출력전압이 계통선 전압에 추종 제어된다.

2) 병렬 운전시 전압 제어

SW_3 는 b점점으로 절환되며 인버터 출력전압의 크기를 계통선 기준전압(V_{ref})으로 하여 전압 조절기 VR에 의해 병렬 조건을 만족하도록 제어한다.

— 위상 동기 제어

1) 독립 모드시 전류 위상 동기 제어

독립 모드시 절환 스위치 SW_2 는 a점점으로 절환되며, PT_1 과 PT_2 에 의해 검출된 인버터 출력전압의 위상과 계통선 전압의 위상이 케환되어 위상 비교기 PD에 입력되어 검출된 전압 위상차를 IBM-286제어기의 위상동기 회로에 의해 위상동기화가 이루어진다.

2) 병렬 모드시 전류 위상 동기 제어

병렬 모드시 절환 스위치 SW_2 는 b점점으로 절환되며, HS_1 과 HS_2 에 의해 검출된 인버터 출력전류의 위상과 부하전류 위상이 케환되어 위상 비교기 PD에 입력되며, 여기서 검출된 전류 위상차를 전압위상 동기제어시 사용하였던 위상동기 회로에 의해 인버터 출력전류의 위상을 부하전류 위상에 동기화시킨다.

9. 전류 제한기(current limiter) : 전류 제한기 CL은 홀센서에 의해 인버터 출력전류를 상시 검출하여 인버터 계통의 최대 정격 이상의 전류가 인버터에 의해 출력되지 않도록 출력전압 조절기 VR을 통해 인버터 전류를 제어한다.

3. 계통선 병렬형 인버터의 제어

3.1 병렬 운전의 등가 회로

그림 2(a)는 병렬운전 계통의 기본 계통도를 나타내며 E_i 와 Z_i 는 각각 인버터의 출력전압과 내부

임피던스이고, E_c 와 Z_c 는 상용 전력 계통의 선간 전압과 전원 임피던스로서 부하 Z_L 의 양단(A-B)에서 병렬 접속되어 있다. 상용 전력 계통의 임피던스는 양호하게 관리되어 매우 낮은 값을 유지하고 인버터의 출력 임피던스는 고조파 제거용 정현화 필터 및 출력변압기에 의해 비교적 크다. 여기서 부하단 전압을 E_L 로 할때, 부하전류 I_L 은

$$I_L = I_1 + I_c \quad (1)$$

이고, $Z_c \ll Z_L, Z_L \gg Z_c$ 로부터 인버터 전류는 근사적으로

$$I_1 \approx \frac{E_L - E_c}{Z_L} \quad (2)$$

이 된다. 따라서 인버터 전류 I_1 는 인버터 전압 E_L 와 계통 전압 E_c 의 전압차 및 인버터의 내부 임피던스 Z_L 에 의해 결정되고, 부하 임피던스 Z_L 과 무관하며 또한 부하전류 I_L 에 대해서도

$$I_L \approx \frac{E_L}{Z_L} \quad (3)$$

인 근사식이 성립되며 인버터 전류 I_1 에 무관함을 알 수 있다. 그러므로 두 계통간에 전력 분담을 이루기 위해서는 부하에 따라 위상이 변화하는(지상 또는 진상) 부하전류 I_L 의 위상에 인버터 출력 전류 I_1 를 추종, 동기화시키므로써 두 계통간의 순환전류를 방지하고, 인버터 전압 E_L 와 계통 전압 E_c 의 전압차를 제어하므로써 인버터의 출력전류를 제어할 수 있다. 이것을 그림2(b)의 병렬운전 계통도에 대한 전압·전류 벡터도로 설명하면 다음과 같다.

그림2(b)는 부하 역률이 1(저항 부하)인 경우로서, 부하단 전압 E_L 에 의해 I_L 이 얻어지고, 전원 임피던스 Z_c 를 무시하면 부하단 전압 E_L 은 상용

계통의 선간전압 E_c 와 같은 크기가 된다. 따라서 양 계통의 순환전류를 발생시키지 않기 위해서 인버터 출력전류 I_1 와 부하전류 I_L 을 동상으로 하고 인버터 내부 임피던스 Z_L 의 전압 강하 $Z_L I_1$ 을 고려하여 E_L 의 위상을 E_c 보다 위상각 θ 앞선 위상으로 하며, 또한 E_L 의 크기를 E_c 보다 큰 값이 되도록 해야한다.

3.2 위상 동기 제어

그림1의 인버터 계통은 부하전류 검출기 CD가 부하전류 I_L 값이 설정치 이하일 경우 절환 스위치(SW₁, SW₂)의 각각을 a접점으로 접속되도록 제어 신호를 보내어 상용 계통을 분리, 인버터 단독으로 부하에 전력을 공급하는 독립 모드와 부하전류가 설정치 이상일 경우 절환 스위치를 b접점으로 접속하여 상용 계통과의 병렬 접속으로 부하에 전력을 공급하는 병렬 모드로 구분될 수 있다. 이때 독립 모드에서는 인버터 출력전압의 위상을 계통 전압 위상과 동기화시켜 병렬스위치 투입시의 양 계통의 전압 위상차로 인한 순환전류 발생

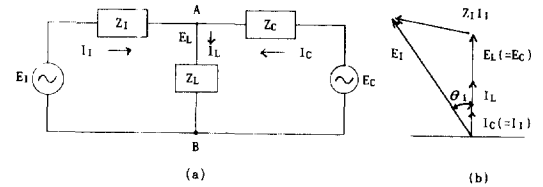


그림 2 병렬 운전의 계통도 및 페이서
(a) 계통도 (b) 페이서

Fig. 2 Schematic diagram and phasor of parallel processing mode

(a) Schematic diagram (b) Phasor

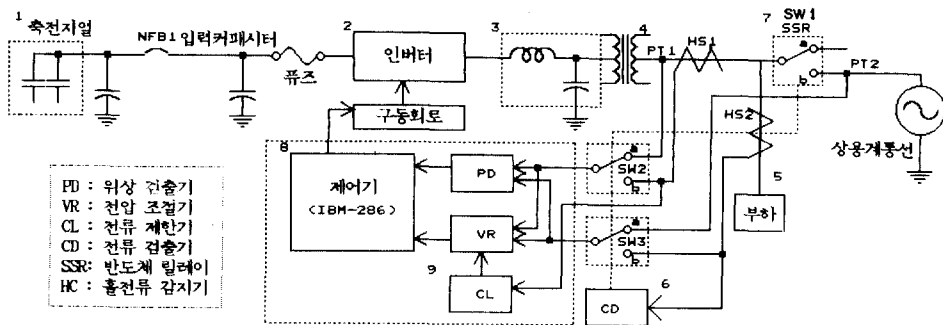


그림 1 계통선 병렬형 인버터의 블럭도

Fig. 1 Block diagram of parallel processing inverter

을 방지하여야 하며, 병렬 모드에서는 인버터 출력전류의 위상을 부하전류 위상에 동기화시킴으로써 병렬운전시의 순환전류를 방지하여야 한다. 이러한 독립운전시의 전압위상 제어와 병렬운전시의 전류위상 제어를 위해 본 연구에서는 응답 특성이 느린 PLL방식 대신에 마이크로 프로세서를 이용한 간단한 소프트웨어로 수행하였으며 하나의 동일한 위상동기 제어회로로서 이 두가지 기능을 처리하였다.

3.2.1 독립 모드시 전압 위상 제어

그림 1의 블럭선도에서 부하전류가 설정치 이하일 경우 부하전류 검출기는 절환 스위치를 점점 a로 절환시켜 인버터는 독립 모드가 된다. 따라서 위상 비교기 PD에는 전압변성기 PT_1 에 의해 인버터 출력전압이 케환되며 PT_2 에 의해 계통선전압이 케환된다. 이 때 전압 파형은 모두 정현파이므로 위상차 검출을 위해 영교차 검출기(zero crossing detector)에 의해 구형파로 변환되며 인터페이스(PPI) 8255의 입력 포트(port)인 C포트("0"비트, "1"비트)를 통해 위상동기 제어회로(프로그램)로 입력되어 진다. 그림3은 영교차되어 입력 포트 C에 입력된 파형이다. 여기서 V_c 는 계통선 전압의 영교차 파형이며 V_i 는 인버터 출력 전압의 영교차 파형으로써 위상 검출기 PD에 의해 두 전압의 위상차 V_E 가 검출된다. 따라서 이 검출된 위상차를 "0"로 하기 위한 위상동기 제어에 대해서 설명하면 다음과 같다.

PWM 신호 발생 및 위상동기 제어회로는 80286-AT를 사용하였으며 실험회로와의 데이터 전송을 위해 범용 프로그래머블 I/O 인터페이스(PPI) 8255를 사용하였다. 위상동기화 프로그램은 어셈블러로 작성하였으며 그림4와 그림5에 각각 주 프로그램과 인터럽트 프로그램의 흐름도를 나타내었다. 우선 IBM AT의 시스템 클럭을 이용하

여 60Hz의 정현파 기준 신호를 내보내면서 1초에 18.2회 타임 인터럽트를 한다. 인터럽트 프로그램에서는 먼저 PPI 8255의 사용 모드를 설정한 후 그 다음 그림3과 같이 출력 포트 C의 "0" 비트로 인버터의 출력 전압을 영교차한 파형을 읽어들이고 "1" 비트로 계통선 전압을 영교차한 파형을 읽어 들인다. 또한 입력 포트 C의 "0"비트와 "1"비트의 바로 전 상태가 "00" 이거나 "11"일 때만 그 다음 상태가 "01"이거나 "10"인가를 읽어 들인 후 IBM AT에서 내보내는 정현파 기준 신호의 출력 번지를 위상차만큼("01", "10" 입력 상태) 증가시키거나 감소시키므로써 위상차를 0으로 한다. 반면에 그 전 상태가 "10" 혹은 "01"일 때는 그 다음 출력이 어떤 값을 나타내도 위상 보정을 하지 않고 인터럽트 프로그램으로부터 주 프로그램으로 돌아갈 정상적인 정현파 기준 신호를 발생한다.

3.2.2 병렬 모드시 전류 위상 제어

그림1의 블럭도에서 부하전류가 설정치 이상일 경우 부하전류 검출기는 절환 스위치를 b점점으로 절환시켜 인버터는 상용 계통과의 병렬 모드가 된다. 따라서 위상 비교기 PD에는 홀센서 HS_1 에 의해 인버터 출력 전류가 케환되며, HS_2 에 의해 부하전류가 케환된다. 그러므로 그림3의 입력으로서 상용 계통 전압과 인버터 출력 전압 대신에 부하전류와 인버터 출력전류가 들어오며, 영교차된 후 PPI 8255의 입력 포트에 입력된다. 따라서 위상 검출기 PD에는 그림3(c)와 같은 위상차가 검출되며 독립운전시의 위상제어와 동일한 프로그램에 의해 위상차가 "0"로 되므로써 인버터 출력전류와 부하전류의 위상을 항상 동기 상태로 유지할 수 있다.

3.3 전압 제어

계통선 병렬형 인버터의 독립운전시에는 순시의 병렬운전에 대비하여 인버터 출력전압의 크기를 상용계통 전압의 크기와 일치시키고 있으며, 특히 상용계통의 전압 변동시에도 인버터 출력전압이 계통선 전압 크기와 일치하도록 전압 추종 제어를 수행하고 있다. 그림6은 전압 제어 블럭선도로서 독립운전시 SW_2, SW_3 에 의해 인버터 출력전압과 계통선 전압이 PWM 전압 조절기(LM3524: regulating pulse width modulator)로 입력되며, 여기서 계통선 전압을 기준 전압(V_{ref1})으로 하여 인버터 출력전압과의 오차분(V_E : error voltage)만큼이 출력된다. 이 오차 전압 V_E 는 전압조절용 적분기(voltage regulation integrator)를 통해 DA

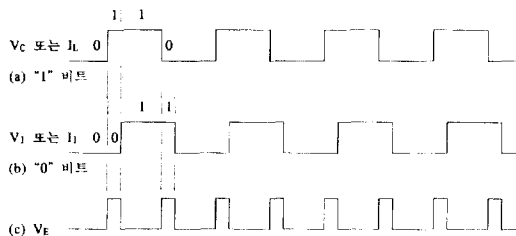


그림 3 부하 전류와 인버터 전류의 위상 파형
Fig. 3 Current phase of load and inverter

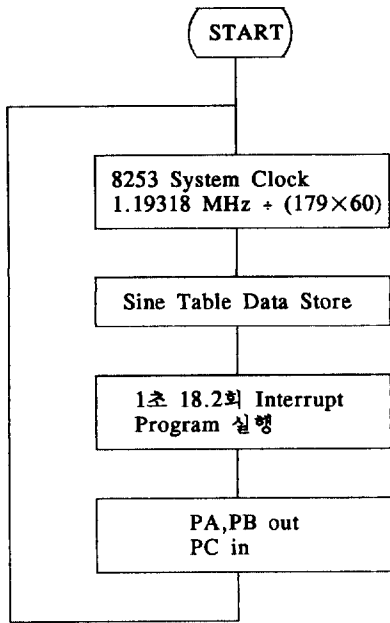


그림 4 위상동기화 주 프로그램의 흐름도
 Fig. 4 Flowchart of main program for phase synchronization

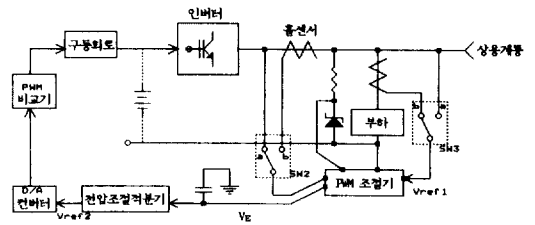


그림 6 전압 제어 블럭선도
 Fig. 6 Voltage regulation block diagram

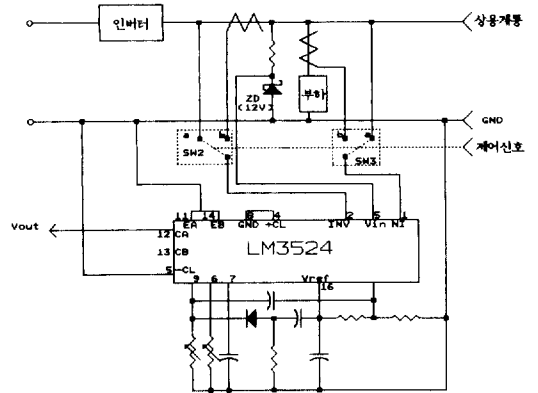


그림 7 전압 제어 회로
 Fig. 7 Voltage regulation circuit

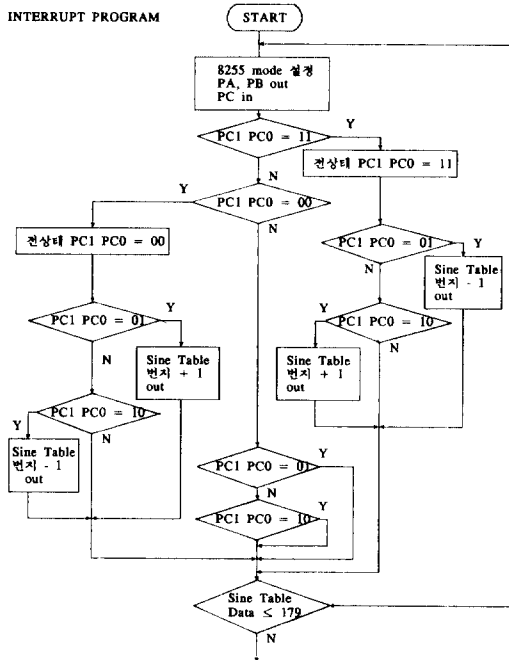


그림 5 위상동기화 인터럽트 프로그램 흐름도
 Fig. 5 Flowchart of interrupt program for phase synchronization

컨버터의 기준 전압(V_{ref2})을 가변시키므로서 인버터의 PWM출력을 가변하며 반복 동작에 의해 인버터 출력전압의 크기를 계통선 전압의 크기에 일치시키고 있다. 또한 병렬운전 신호에 의해 SW_2 와 SW_3 가 b점점으로 절환되면 홀센서 HS_1, HS_2 에 의해 각각 인버터 출력전류와 부하전류에 비례한 전압값이 센서 출력전압(V_H)로 나타난다. 이 때 부하전류 I_L 에 대해서 인버터 출력전류를 $I_L/2$ (50% 분담률)로 홀센서의 권회수를 조절하고, 독립운전시 사용한다. 이 값을 PWM조절기에 입력시키면 두 전류값의 차에 비례한 오차전압 V_E 가 출력된다. 이 오차 전압도 독립운전시와 마찬가지로 DA컨버터의 기준 전압(V_{ref2})를 가변하며, 따라서 PWM출력이 가변되고 반복 동작에 의해 부하전류값의 1/2만큼의 전류가 흐르도록 제어된다.

4. 계통선 병렬형 인버터 시스템의 구성

그림8은 계통선 병렬형 인버터의 전체 결선도로써 직류입력(배터리, 태양전지, 연료전지 등), 입력필터, 단상브리지 인버터, 제어 회로, 정현화

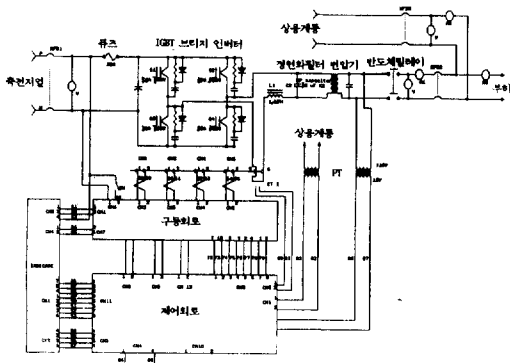


그림 8 병렬형 인버터 전체 결선도
 Fig. 8 Connection diagram of parallel processing inverter

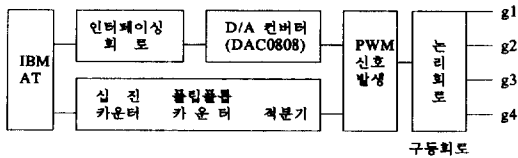


그림 9 PWM제어부 블럭도
 Fig. 9 Block diagram of PWM controller

필터, 절연 변압기 및 모드 변환 스위치 등으로 구성된다. 직류입력은 입력 필터를 통해 맥동이 없는 안정된 직류가 되어 인버터 양단에 공급되며, 이 인버터는 계통선 전압 및 주파수, 위상에 동기화된 정현파 PWM신호를 받아 18KHz의 고속 스위칭을 한다. 이 18KHz고주파 스위칭으로 저차 고조파는 일차적으로 제거되고, 남은 고차 고조파는 간단한 역 L형 정현화 필터에 의해 제거된 후 절연 변압기를 거쳐 계통선에 동기된 60Hz 정현파가 출력된다. 브리지 인버터의 스위칭 소자로는 안정 동작 영역(SOA)이 넓고 20~50KHz의 고속 스위칭이 가능한 IGBT(MG50H2YS1, 50A, 500V, TOSHIBA)를 사용하였다.

PWM신호 발생 및 독립운전시 전압동기화와 병렬운전시의 전류위상 동기화를 위해 80286-AT를 사용하여 제어기를 구성하였으며 실험회로와의 데이터 전송을 위해 범용 프로그래머블 I/O 인터페이스(PPI) 8255를 사용하였다.

그림9는 정현파 PWM제어의 블럭도로서 IBM-AT 메모리의 sine table은 D/A 컨버터(DAC 0808)에 의해 60Hz애널로그 정현파로 출력되며, AT의 14.31818MHz클럭은 십진 계수기(decade

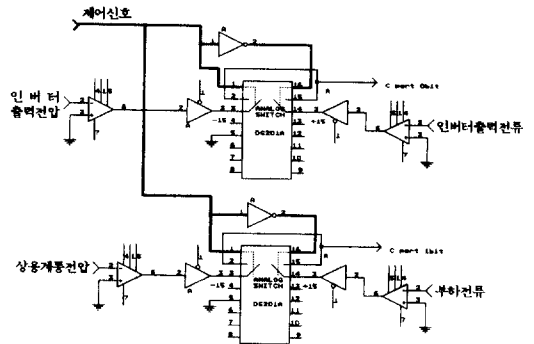


그림 10 전압 전류 검출 및 절환 회로
 Fig. 10 Voltage current detection and transfer circuit

counter), D플립 플롭(flip-flop) 및 적분기를 통해 18KHz의 삼각파 캐리어로 되어 PWM비교기에서 정현파 PWM변조된다. 이 변조된 신호는 구동 회로에 입력되어 IGBT를 구동시킨다.

위상동기화 제어 회로도라와 기본 블럭선도 및 원리는 3.2절에서 설명한 바와 같이, 전압 제어 회로도라와 원리는 3.3절에서 설명하였다.

부하전류의 검출은 홀센서로 하고 정류기를 거친 직류 전압이 비교기(comparator)에 의해 미리 설계된 설정값보다 클 경우 포토커플러(photo coupler)의 출력이 high인 제어신호를 보낸다. 이 제어신호는 그림10에 입력되어 SW₂와 SW₃를 각각 b점점(병렬 모드)으로 절환시킨다. 절환 스위치로서 연계용 스위치 SW₁은 반도체 릴레이(SSR)를, SW₂와 SW₃은 애널로그 스위치를 사용하였다.

5. 실험 결과 및 고찰

5.1 독립 운전

계통선 병렬형 인버터를 독립 모드로 운전할 경우의 회로 각 부의 출력 파형과 특성에 대해서 기술하면 다음과 같다.

그림11은 PWM비교기의 변조파 입력과 18KHz 삼각파 입력을 비교한 PWM출력으로서, 이에 대한 스펙트럼을 그림12에 나타내었다. 스펙트럼도에서 알 수 있듯이 18KHz의 고주파 PWM제어에 의해 저차 고조파는 일차적으로 제거되고 25, 27차에 해당하는 고조파만을 볼 수 있다. 따라서 60



5ms/div, 50V/div

그림 11 IGBT브리지의 PWM출력 파형
Fig. 11 PWM waveform of IGBT bridge

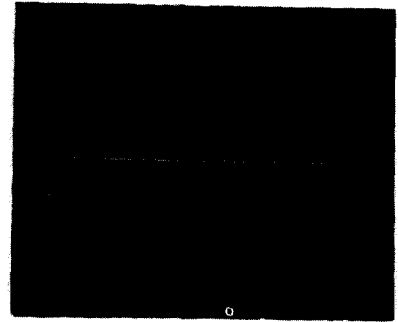


그림 14 인버터 정현파 출력의 스펙트럼
Fig. 14 Spectrum of inverter output

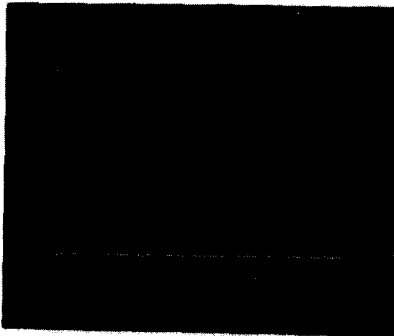


그림 12 IGBT브리지 PWM출력의 스펙트럼 파형
Fig. 12 Spectrum of PWM waveform

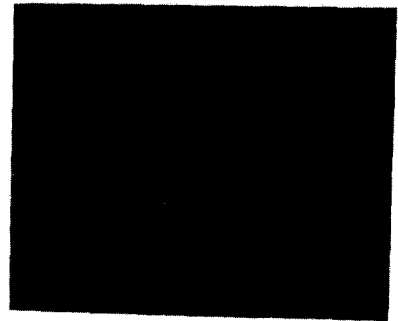


그림 15 인버터 출력 전압과 상용 계통 전압과의 동기화
Fig. 15 Synchronization of inverter voltage and utility voltage



그림 13 PWM출력이 정현화 필터통과 후의 인버터 출력파형
Fig. 13 Output waveform of inverter

Hz의 기본파만을 얻기 위해 출력단에 정현화 필터를 사용하여 나머지 고조파를 제거한 60Hz 정현파 및 스펙트럼도를 그림13, 14에 각각 나타내었다. 출력 파형이 60Hz 기본파만으로 구성된 양질

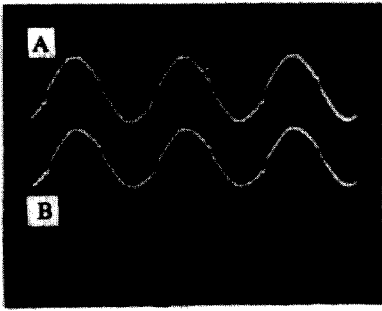
의 정현파임을 알 수 있다.

그림 15는 독립 운전시 전압동기 제어에 의해 인버터 출력전압과 상용 계통 전압이 동기되어 있음을 보여주고 있다.

5.2 상용 계통과의 병렬 운전

그림16은 인버터의 출력전류와 부하전류와의 주파수 및 위상이 동기된 파형을 보여준다. 인버터 출력 전류가 전류위상 동기회로에 의해 정확히 제어되고 있음을 알 수 있다.

그림17은 인버터 계통과 상용 전력 계통과의 병렬운전시 부하 증가에 따른 양 계통의 병렬운전을 나타내주는 전력 분담 특성도로서 전류 설정치를 4A로 하였으므로 부하전류가 4A 미만일 경우는 인버터 단독으로 부하에 전력을 공급하며 4A이상 시 상용 계통과의 병렬운전으로 전류를 분담(분담



A : 인버터 출력전류 (2.5A/div, 5ms/div/div)
B : 부하전류 (5A/div, 5ms/div)

그림 16 인버터 출력 전류와 부하 전류와의 위상 동기화

Fig. 16 Phase synchronization of inverter current and load current

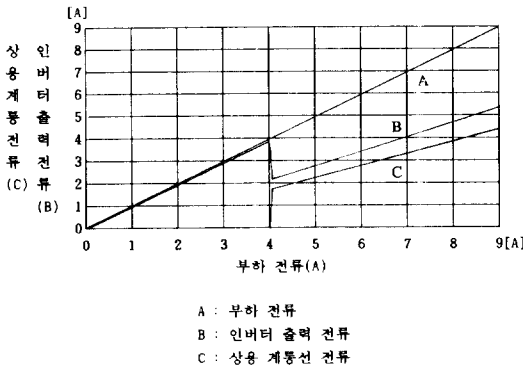


그림 17 부하 변화에 따른 전력 분담 특성

Fig. 17 Power sharing characteristics for load change

를 50%) 하며 부하에 공급하여 준다.

6. 결론

본 논문은 직류 전원을 갖는 인버터 시스템과 상용 전원 계통과의 효율적인 운전을 도모하기 위해 독립운전과 병렬운전이 모두 가능한 계통선 병렬형 인버터를 설계, 제작하여 특성을 평가, 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 인버터 출력파형의 고조파 함유량을 줄이기 위해 고주파 스위칭이 가능한 IGBT를 이용하여 18KHz의 고주파 PWM 제어 방식과

정현화 필터에 의해 기본파만으로 구성된 양질의 정현파 출력을 얻었다.

- (2) 소용량 부하에 대해서는 상용 계통을 분리하여 인버터 계통의 단독운전에 의해 전력을 공급하지만, 항상 상용 계통과 전압 위상, 주파수 및 크기를 동기화시켜 운전하므로 부하증가시 순시로 병렬운전에 임할 수 있다.
- (3) 전압 및 전류의 위상동기를 위해 응답 특성이 느린 PLL방식을 배제하고 마이크로 프로세서 (80286)를 이용한 간단한 소프트웨어로 실현하였다.
- (4) 설정치 이상의 부하에 대한 병렬운전시 인버터 전류와 부하전류와의 위상을 일치시키기 때문에 순환전류가 발생하지 않으므로 손실이 없고 상용 계통에 영향을 미치지 않는다.

본 실험의 직류 에너지원으로서 축전지 혹은 태양 전지, 연료 전지와 같은 대체에너지원을 사용할 경우 parallel processing UPS, 태양광 발전용 인버터, 전력저장 전지 시스템(BESS) 등의 직교 변환 장치에 그대로 적용할 수 있으며 향후 3상 시스템으로 확장, 응용하기 위한 연구와 전력 분담비 제어에 대한 연구가 진행중에 있다.

참고 문헌

- [1] 김영은, "광발전," 최기영, "태양광 발전의 개발 현황과 전망," 전기 설비, 1988.2., pp. 47~75
- [2] 김경화, "분산형 전원의 계통 연계 기술," 전기 설비, 1990.12., pp. 26~30
- [3] 일본 공개 특허, 牧野康弘외 2명, "전원 장치," 59-213235, 1984.12
- [4] Thomas S. Key, "Evaluation of Grid-Connected Inverter Power Systems: The Utility Interface," IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. IA-20, No. 4, pp. 735~741, July/August 1984
- [5] Alan Cocconi, Slobodan Cuk and R.D. Middlebrook, "High-Frequency Isolated 4KW Photovoltaic Inverter for Utility Interface," Proceedings of the Seventh International PCI'83 Conference, September 13-15, pp. 325~345, 1983
- [6] V.J. Gosbell, G.J. Sanders and M.C. Basell,

- "A High Efficiency Inverter for Remote Homestead Use," IE Aust. & IREE Aust., Vol. 5, No. 1, pp. 49~53, March 1985
- [7] P. Savary, M. Nasskaoka and T. Maruhashi, "Novel Type of High-Frequency Link Inverter for Photovoltaic Residential Applications," IEE Proc., Vol. 133, Pt. B, No. 4, pp. 279~284, July 1986
- [8] Urs Boegli & Remo Ulmi, "Realization of a New Inverter Circuit for Direct Photovoltaic Energy Feedback into the Public Grid," IEEE Trans. on Industry Application, Vol. IA-22, No. 2, pp. 255~258, March/April 1986
- [9] A.K.S. Bhat, S.B. Dewan, "A Novel Utility Interfaced High-Frequency Link Photovoltaic Power Conditioning System," IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol. 35, No. 1, pp. 153~159, February 1988
- [10] A.K.S. Bhat, S.B. Dewan "Resonant Inverters for Photovoltaic Array to Utility Interface," IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES-24, No. 4, pp. 377~386, July 1988
- [11] 편집부, "코·제너레이션 발전기의 종류와 문제점," 월간 전기, 1989. 6., pp. 132~139

인물소개



천희영(千熙英)

1927년 4월 19일생. 1951년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1957년 한국항공대 부교수. 1962년 인하대 공대 전기공학과 교수. 현재 고려대 공대 전기공학과 교수(공박).



유지운(柳志潤)

1955년 2월 25일생. 1977년 고려대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 일본 와세다대학 전기공학과 졸업(공박). 1987~91년 창원대 공대 전기공학과 조교수. 현재 고려대 공대 전기공학과 조교수.



박귀태(朴貴泰)

1947년 10월 25일생. 1975년 고려대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 졸업(공박). 1975년 한국에너지 연구소 연구원. 1978년 광운대 공대 전기공학과 조교수. 1984~85년 미국 일리노이대학 객원연구원. 현재 고려대 공대 전기공학과 교수. 당학회 평의원.



안호균(安鎬均)

1958년 8월 14일생. 1981년 고려대 공대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 고려대 대학원 전기공학과 박사과정.