

저가격 고 신뢰성의 병렬 운전 제어 기법

정석언

이화전기공업(주) 기술연구소

A Low Cost High Reliability Control Scheme in Parallel Inverters

SEOK-EON JOUNG

R&D Center of E-Hwa Technologies and Informations

ABSTRACT

In this paper, a low cost and high reliability control scheme is proposed for 400Hz UPS system operated in parallel. The proposed control scheme is consisted of two parts which are synchronization and load sharing control. The synchronization control is achieved by discrete logic ICs and analog circuit. The load sharing control is realized by current transformers (CTs) without any controller. Therefore, This proposed control scheme is rather simple and the cost may be decreased, compared with control scheme using expensive controller such as DSP and CAN. The practical feasibility of the proposed control scheme is proved by analysis and simulation

서 론

오늘날 사회는 여러 분야에서 첨단 정보화가 진행되어 왔으며 이를 처리하는 장비의 중요성도 높아지고 있다. 따라서 장비 운용에 필요한 동력 역시 더욱 안정적이고 고 신뢰성을 갖는 시스템이 요구되고 있다.

400Hz 전원장치의 경우 대부분 군사용 또는 항공기용 레이다 전원으로 고 신뢰성이 요구된다. 시스템의 구성 및 운용상 발전기 전원으로 교체하는 경우는 있으나 대부분의 경우 복수대의 전원장치를 병렬 운전하여 신뢰도를 높인다.

병렬 운전 시 가져야 할 주요 기능은 동기화 및 부하분담으로 이제까지 많은 연구가 진행^{[1]-[5]}되어 왔으며 최근에는 병렬 운전 순환전류를 저감시키기 위하여 DSP 및 CAN 통신을 이용한 고가격, 고기능의 제어기 및 기법^[6]이 발표되고 있다.

이와 반대로 간단한 제어기 및 제어기법도 연구되어 동기 버스를 이용한 동기화 방법^[5]과 전류제어루프 없이 자기(magnetic) 회로만으로 병렬 부하를 분담하는 방법^{[6][7]}에 대하여도 활발히 진행되어 왔다. 또한 부하공급운전의 경우 동기화 및 부하분담뿐만 아니라 부하급변 및 비선형 부하 등에 대처하는 제어기법^[8]도 동시에 연구되어 오고 있다.

본 논문에서는 강인하고 저가로 구현 가능한 동기화 및 부하분담기능을 갖는 전력변환 시스템을 제안한다. 일반의 Counter Logic으로 구성된 동기화 회로는 전압 제어용 OP-Amp와 어울려 인버터 Gate용 PWM 신호를 만들어 낸다. 동기화된 PWM 신호는 전기적으로 연결된 것처럼 완전히 동

기 되어 별도의 유효전력 분담 조정을 위한 제어 동작이 불필요하다. 인버터 출력에 연결된 CT는 병렬장비와 연결되어 전류 편차에 의한 임피던스 변화로 전압 강하를 유발하여 전류 분담 제어기 없이도 자체적으로 부하전류를 조절하여 결과적으로 피상전력 조절이 가능하게 한다. 400Hz전원장치의 경우 열악한 환경에 견뎌야하고 외란에 강인해야 하는 특수성이 있다. 동기화를 위하여 사용된 로직 IC는 복잡한 Software를 사용하는 DSP 또는 MCU 보다 저 가격으로 동기화를 가능하게 하고 부하전류 분담용 C.T 역시 값싸고 간단한 제어를 가능하게 한다.

본 론

1. 병렬운전

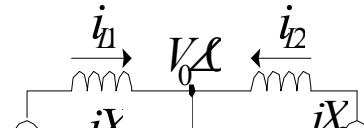


그림-1. 병렬운전 등가회로도

일반적으로 병렬운전에서는 두 전압의 위상 및 전압차로 인해 kw, kvar 불균형이 발생한다. 전압안정도 및 라인길이에 기인한 전압편차는 무효전력으로 동기화 과정에서 비롯되는 위상편차는 유효전력의 불균형으로 나타난다.

$$P = \frac{V_1 V_0}{X_1} \sin \phi_1 \quad (1)$$

$$Q_1 = \frac{V_1 V_0 \cos \phi_1 - V_0^2}{X_1} \quad (2)$$

만일 단순히 용량을 늘리는 것이 병렬운전의 목적이라고 한다면 하나의 제어기에 의해 통제되는 파워모듈을 증가시키는 방법도 고려될 수 있다. 이때는 위상차에 의한 영향은 물론 배선 길이를 고려한 배치로 전압 차에 의한 영향을 고려할 필요가 없게 된다. 만약 별도로 제어되는 복수대의 인버터를 이러한 개념으로 묶는다면 완벽한 병렬운전을 구사할 수 있다. 이를 위해 게이트신호를 공유 하듯한 동기 회로와 배선길이에 의한 강하를 자동 보정하는 전류분담회로가 필요하다.

2. 제안된 시스템

동기화 회로와 전압제어기와 별도로 동작되는 출력 임피던스 제어식 부하전류 분담 회로를 설치하고 인버터는 저주파 스위칭이 가능한 멀티스텝인버터로 구성한다.

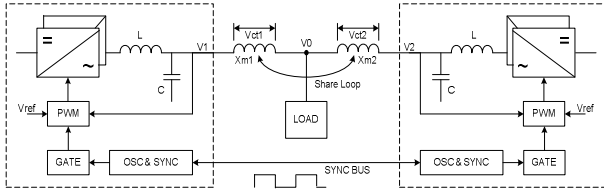


그림-2. 제안된 병렬운전 시스템

두 대의 주파수는 편차가 거의 없고 SYNC BUS에 의해 연결되어 완벽히 동기 되어 유효전력 편차는 발생하지 않고 전류 불 평형은 출력단의 부하분담 회로에 의해 조절 된다.

3. 동기제어

동기제어는 14bit의 Binary Ripple Counter 와 Stage Counter를 사용한다. X-tal 에 의해 발생된 고주파 Clock을 Ripple Counter 로 분주하고 이 신호를 Stage Counter를 이용하여 인버터 드라이브신호 Gate Clock 과 Reset 제어용 PCC Logic신호를 만든다.

각 장비의 Gate Clock을 이용하여 SYNC1, SYNC2 Signal을 만들고 이것을 Wired-OR 시켜 SYNC BUS를 만든다.

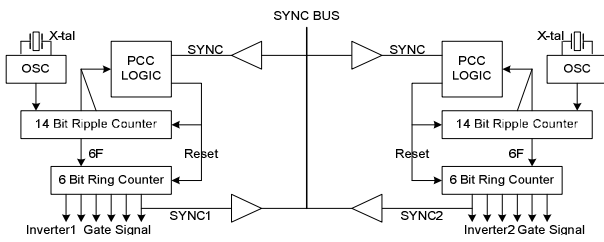


그림-4. 제안된 동기화 제어 블록도

그림-5는 2대로 구성된 시스템의 동기화 과정을 설명한 것으로 운전 중인 두 장비의 위상차는 각 장비의 Reset 제어를 통해 제어된다. PCC Logic은 Gate Clock 의 마지막 에 설정된 PCC 신호와 SYNC BUS신호를 비교하여 지상 장비의 Down Edge에서 Reset 하여 장비의 위상을 추적 제어 한다.

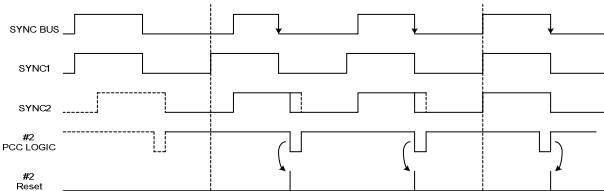


그림-5. 위상동기 추적 타이밍도

4. 부하분담제어

완벽히 동기된 출력전압 V1, V2 도 전압제어 및 내부 임피던스의 차이로 인한 전압 편차가 발생하게 된다.

내부 임피던스 차이에서 비롯된 전압편차는 간단히 출력에 CT를 설치하고 2차 권선을 서로 연결하는 동작만으로 제어회로와 무관하게 자기적으로 전류를 분담하는 기능을 수행한다^[7].

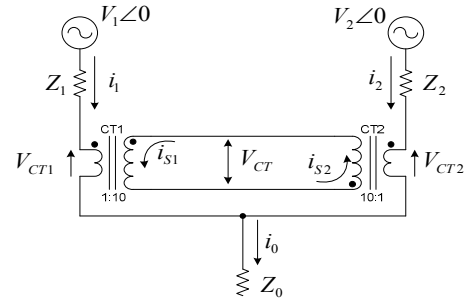


그림-6. 자기 제어식 전류 분담 제어 블록도

병렬 운전되는 2대 장비의 출력전류가 흐르면 CT1 및 CT2의 2차 권선에는 권선 비 비례 전류 i_{s1} , i_{s2} 가 흐르게 된다.

$$V_{CT1} \cdot i_1 = V_{CT} \cdot i_{s1} \quad (3)$$

$$V_{CT2} \cdot i_2 = V_{CT} \cdot i_{s2} \quad (4)$$

일반적으로 변압기의 누설인덕턴스 X_L 은 현저히 작아서 (3), (4)식을 만족하는 2차 전류가 흐르면 1차 권선에 인덕턴스 강하가 거의 생기지 않는다. 만약 2차 전류 i_{s1} 또는 i_{s2} 가 1차 전류에 비례하는 값이 아니라면 자화 인덕턴스 XM 에 의한 리액턴스 영향으로 CT의 1차에는 V_{CT1} 및 V_{CT2} 로 표현된 역기전력 혹은 임피던스 강하가 발생하게 된다.

각각의 CT 2차 권선은 직렬 연결되어 있으므로 식 (3),(4)는

$$V_{CT1} \cdot i_1 = V_{CT2} \cdot i_2 \quad (5)$$

가 되고 V_{CT1} 및 V_{CT2} 의 변화는 각각의 분담전류 i_1 및 i_2 에 영향을 미치게 된다.

시뮬레이션

1. 시뮬레이션 회로

출력 임피던스 10% 차이가 나는 2대의 인버터를 병렬 운전하여 부하 전류 분담 제어 기능을 확인한다.

$V1=V2: 400\text{Hz } 115\text{V}, Z1=0.1[\text{ohm}], Z2=0.11[\text{ohm}]$
 $CT1,CT2 \text{ Ratio:}1:10, Lm=0.001[\text{H}], Ll=0.000001[\text{H}]$

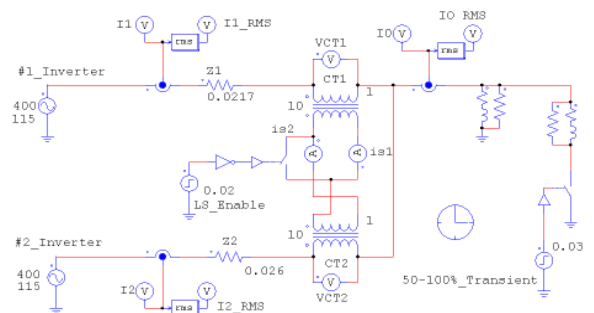


그림-7. 부하 분담 시뮬레이션 회로

2. 시뮬레이션 결과

선형 및 비선형 부하를 대상으로 부하전류 분담 기능 및 부하변동 시(50→100%)의 분담기능 추종 특성을 확인 하였다.

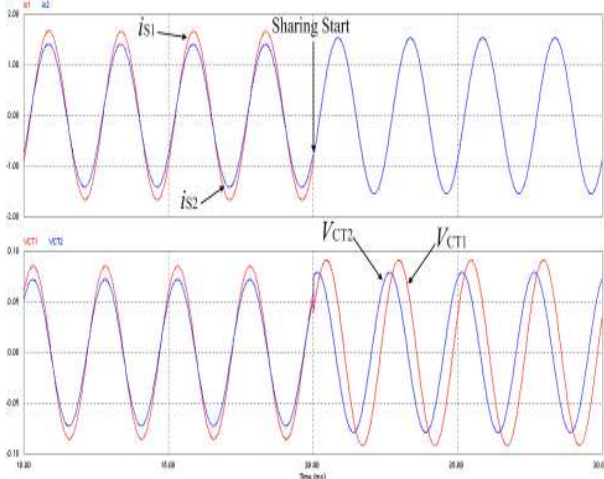


그림8. 전류 분담 제어 회로의 전압 및 전류

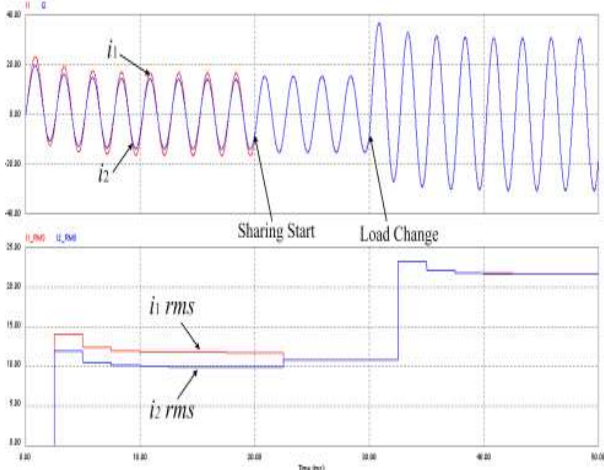


그림9. 선형 부하 시 전류 분담 및 변동(50→100%)시 추종

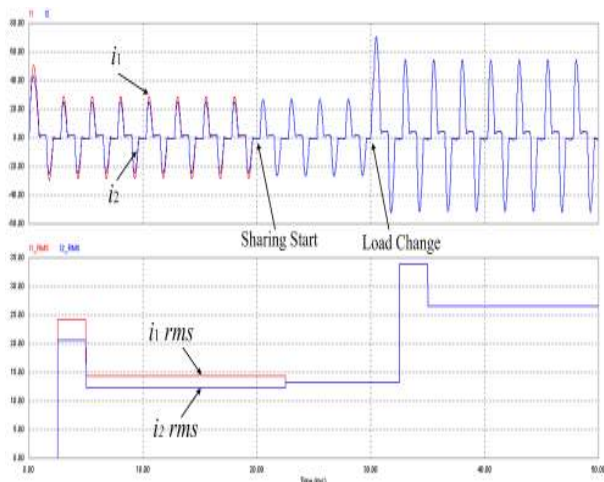


그림-10. 비선형 부하 시 전류 분담 및 변동(50→100%)시 추종

결론

제안된 병렬운전 제어 기법은 분석 및 시뮬레이션을 통해 실용적인 동기 능력을 확인 하였다

일반 로직 IC로 구성된 동기제어 회로는 DSP 사용 제어기 대비 월등한 가격 경쟁력을 갖는다. 제어회로와 별도로 구성된 전류분담 회로는 비선형 부하에서도 훌륭한 부하분담 기능을 발휘함을 확인하였다

참고 문헌

- [1] Jiann-Fuh Chen and Ching-Lung Chu, "Combination Voltage Controlled and Current-Controlled PWM Inverters for UPS Parallel Operation", IEEE Transactions on PE, vol. 10, no. 5, September 1995, pp.547-558.
- [2] Prodanovic, M.; Green, T.C.; Mansir, "A survey of control methods for three-phase inverters in parallel connection", Power Electronics and Variable Speed Drives, 2000. Eighth International Conference on (IEE Conf. Publ. No. 475)18-19 Sept. 2000 Page(s):472 - 477
- [3] Jensen, U.B.; Blaabjerg, F.; Pedersen, J.K., "A new control method for 400-Hz ground power units for airplanes", Industry Applications, IEEE Transactions on Volume 36, Issue 1, Jan.-Feb. 2000 Page(s):180 - 187
- [4] Kyung-Hwan Kim, Dong-Seok Hyun, "A High Performance DSP Voltage Controller with PWM Synchronization for Parallel Operation of UPS Systems", Power Electronics Specialists Conference, 2006. PESC '06. 37th IEEE Publication Date: 18-22 June 2006 On page(s): 1 - 7
- [5] Zhao Qinglin, Chen Zhongying, Wu Weiyang, "Improved Control for Parallel Inverter with Current-Sharing Control Scheme," in IP EMC '06. CES/IEEE 5th International Volume 3, Aug. 2006 Page(s):1 - 5
- [6] Chen Liangliang; Xiao Lan; Yan Yangguang "A novel parallel inverter system based on coupled inductors", Telecommunications Energy Conference, 2003. INTELEC apos;03. The 25th International Volume, Issue, 19-23 Oct. 2003 Page(s): 46 - 50
- [7] Mak, C.; Bolster, L. "Bus-tie synchronization and load share technique in a ring bus system with multiple power inverters", APEC 2005. Twentieth Annual IEEE Volume 2, Issue, 6-10 March 2005 Page(s): 871 - 874 Vol. 2
- [8] Uffe Borup, Frede Blaabjerg and Prasad N. Enjeti, "Sharing of Nonlinear Load in Parallel-Connected Three-Phase Converters", Industry Applications, IEEE Transactions on Volume 37, Issue 6, Nov/Dec 2001 Page(s):1817 - 1823