

시뮬레이터 컨버터에 의한 인버터 성능시험에 관한 연구

조정민*, 함년근*, 김대균*, 이상집*, 김성남**, 이훈구***, 한경희*
 명지대학교*, 두이전기통신**, 용인송담대학***

A Study on the Inverter performance test by Simulated Converter

J.M. Jho*, N.Y. Harm*, D.G. Kim*, S.J. Lee*, S.N. Kim*, H.G. Lee***, and K.H. Han*
 MyongJi Univ.*, DooYee Elec.**, Yong-In SongDam College***

ABSTRACT

In the end of a production line a new built power converter has to undergo a series of stress tests. This can be achieved by connecting it to a dynamometer consisting of a three-phase machine joined by a rigid shaft to a DC load machine. The latter is controlled to create some specific load characteristic needed for the test. In this paper a test method is proposed, in which no mechanical equipment is needed. The suggested test stand consists only of a converter to be tested and a simulator converter. Both devices are connected back-to-back on the AC-side via smoothing reactors. The simulator operates in real-time as an equivalent load circuit, so that the device under test will only notice the behaviour of a three-phase machine under consideration of the load.

험 장치를 이용해야만 한다는 것을 의미한다. 또한 이러한 시험 장치들은 공장에서 많은 공간을 차지하며, 시험시 소음등이 발생하는 단점이 있다. 그리고, 이러한 형태의 시험은 시험에 필요한 에너지가 DC기기에 부착되어 있는 부하장치에 의해 소비됨으로 대용량 시스템을 시험하기 위한 전원 설비가 부족한 소규모 업체에서는 부하시험을 할 수가 없다.

본 논문에서는 위와 같이 인버터 시험시 발생하는 단점을 보완할 수 있는 인버터 성능시험용 부하시뮬레이터 컨버터를 제시하였다. 제시된 부하시험용 시스템의 시험방법은 피시험체 인버터의 3상 AC 출력측의 평활용 리액터를 경유하여 back-to-back으로 접속하고 DC 링크는 서로 공유하여 에너지가 순환할 수 있도록 하였다. 이러한 시험을 만족시키기 위하여 전기적 시뮬레이터는 전류 벡터 제어를 수행하여 AC 부하도 원활히 제어할 수 있도록 하였다. 이러한 제어의 특성을 확인하기 위하여 시뮬레이션과 실험을 수행하였다.

1. 서론

전력 변환기는 개발과 생산에서 판매에 이르기까지 짧은 생산기간에 보다 저 비용을 촉구하는 지속적인 요구가 있어왔다. 그럼에도 불구하고 성능, 품질, 안전에 관한 부분에 있어서는 더욱 높은 신뢰를 요구하여, 보다 효과적이고 유연한 시험 장비가 필요하게 되었다.

기존의 시험장치는 전력 변환기의 전체적인 기능, 부하 내력, 온도 및 제어특성시험을 시험하기 위해서, 몇 가지 기계로 구성된 부하 시험장치를 사용했어야만 했다. 이러한 장치를 이용하여 부하시험을 하기 위해서는 피시험체 종류별로 다른 종류의 기기 또는 다른 전원 전압에서 동작시켜야만 한다. 이것은 피시험체 종류에 따라 각기 다른 시

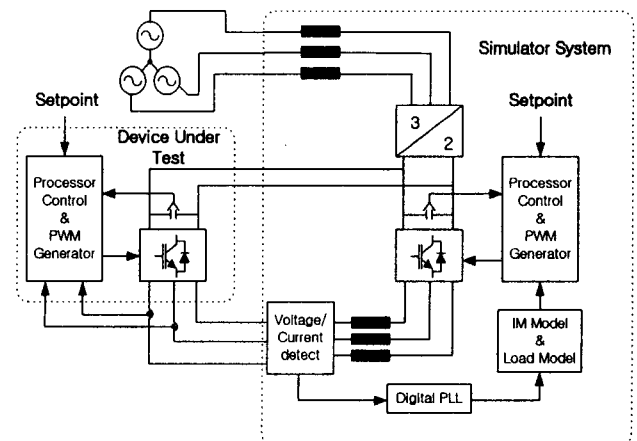


그림 1 제안된 시스템의 구조
 Fig. 1 The proposed test method

2. 시뮬레이터 컨버터

2.1 제안된 시스템의 구조

그림 1은 제안된 시스템의 전체적인 구조를 나타내고 있다. 전체적인 구조는 피시험체 인버터와 시뮬레이터 컨버터, 그리고 평활용 리액터로 구성되어 있으며, DC 링크는 서로 공유되어져 있다.

시험방법은 피시험체가 정상적으로 운전되고 있을 때 시뮬레이터 컨버터에 시험하고자 하는 크기의 전류지령을 인가하여 시험하게 된다. 이를 위하여 시뮬레이터 컨버터는 피시험체의 출력 전압의 위상 및 주파수를 검출하여, 이에 상응하는 역기전력을 발생하여 back-to-back 으로 연결되어 있는 리액터에 흐르는 전류를 제어하게 된다.

2.2 Digital PLL 방식

전기적 시뮬레이터는 피시험체 장치의 V/F 제어 특성 시험과 같은 주파수 변화에도 좌표변환에 기준이 되는 위상을 추적할 수 있도록 구성되어야 한다. 그림 2는 3상 PLL 구조를 나타낸 것이다. 이러한 구조의 PLL에서, 피시험체의 출력전압의 위상각은 PLL 회전자표계 축과 동기시켜 검출 받는다.^{[1][2]} 제어 방식은 d축 지령 전압 (V_d^*)을 피시험체 인버터의 전압 벡터의 a상에 일치시켜 PLL 출력을 얻을 수 있다. 또한, 출력 전압의 순치 주파수와 크기도 결정된다. 피드포워드 주파수 지령 (ω_{ff})은 PLL의 전체적인 추종 특성을 향상시키기 위하여 도입하였다.

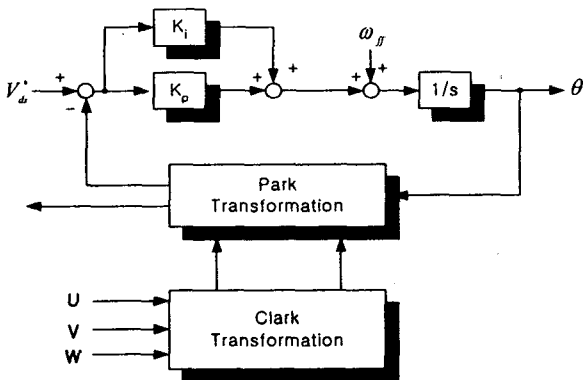


그림 2 3상 PLL 구조
Fig. 2 Three phase PLL structure

2.3 피드포워드 제어방식

그림 3은 전기적 부하 시뮬레이터의 동적 모델의 전류 제어를 원활하게 구현하기 위하여 도입된 피시험체 인버터의 출력 전압 변화에 대한 feed-forward 전류제어회로를 나타내고 있다.

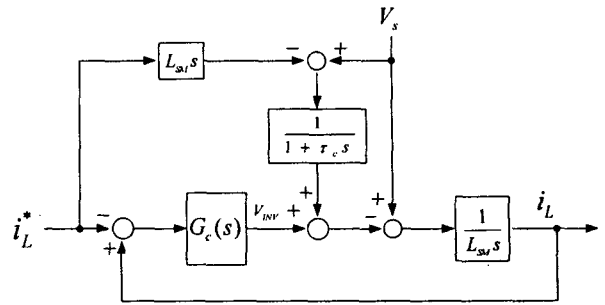


그림 3. 피드 포워드 제어 블록도

전체적인 구조는 시뮬레이터의 전류제어기 전달 함수 $G_c(s)$ 와 평활용 리액터 L_{SM} , 피시험체의 출력전압 변화에 따라 보상되는 전류 피드 포워드항과 이것의 필터항으로 이루어져 있다. 이러한 제어 블록도에서 전류지령에 대한 부하 전류응답 즉, 전류 제어루프의 전달함수를 구하면 식(1)과 같다.

$$\frac{i_L}{i_L^*} = \frac{\frac{1}{1 + \tau_c s} + G_c(s) \cdot \frac{1}{L_{SM} s}}{1 + G_c(s) \frac{1}{L_{SM} s}} \quad (1)$$

여기에서, 필터의 시정수가 zero 이면, 식(1)과 같이 이상적인 전류제어가 가능하다. 그러나 실제 시스템에 이러한 필터 이득을 적용할 수 없으므로 필터의 시정수 τ_c 를 0.001로 정하였다.

2.4 전기적 부하 시뮬레이터의 제어방식

전기적 부하 시뮬레이터의 기능중 전동기 모델 구현을 위한 전류제어방식은 입력 전원에 대한 전류의 크기뿐만 아니라 위상까지도 제어가 가능하다. 그러나 이와 같은 제어가 가능하기 위해서는 그림 4와 같이 피시험체의 출력전압 V_s 에 비하여 큰 전압을 요구하게 된다. 따라서, 전기적 시뮬레이터의 전원공급을 위해서는 DC 링크전압을 높일 수 있으며 회생도 가능한 승압형 PWM 컨버터에 접속하는 것이 필요하다.

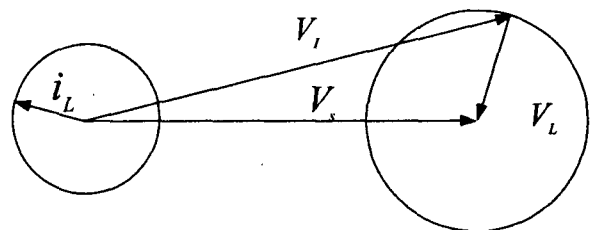


그림 4 시스템 페이서도
Fig. 4 Phasor diagram of system

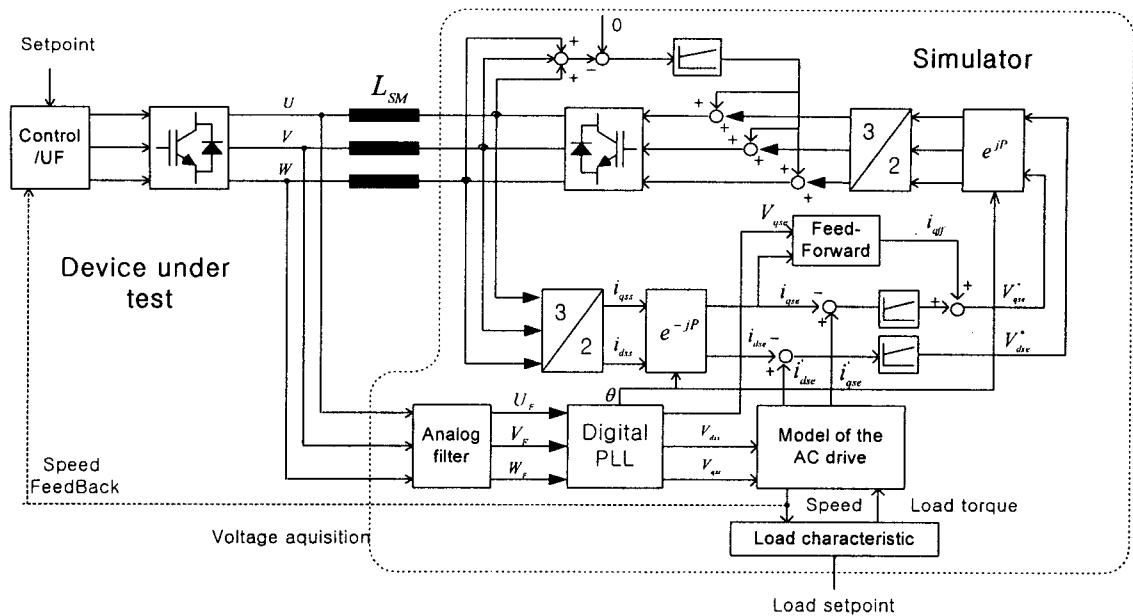


그림 5 제안된 부하 시뮬레이터의 전체적인 제어 블록도
 Fig. 5 Overall control block diagram of the proposed load simulator

그러나 이렇게 구성된 장치는 전기적 시뮬레이터의 부피 및 가격을 상승시키며, PWM 컨버터의 전력 회생에 의해 수전 전압을 오염시키게 된다. 본 논문에서는 전기적 시뮬레이터의 구조를 최소화하기 위해서 전기적 시뮬레이터의 DC 링크와 피시험체 장치의 DC 링크를 공유하여 에너지가 순환하도록 구성하였다. 따라서, 시험에 필요한 전원은 3상 전 원으로부터 공급받으며, 리액터를 통하여 정류한다.

3. 시뮬레이션

전체적인 제어특성을 알아보기 위해서 본 연구에서는 MATLAB을 이용하여 제어 블록을 구성하였다. 시뮬레이션에 이용된 전체적인 제어구조는 그림 1에 나타나 있는 것 같이 피시험체 인버터와 직렬리액터, 그리고 인버터를 시험하기 위한 시뮬레이터로 구성되어있으며, 제어 블록도는 그림 5와 같이 feed-forward 제어기와 인버터의 오프셋 보정 회로를 구성하였다. 이때 피시험체와 시뮬레이터의 스위칭 주파수는 10[kHz]로 하였다.

그림 6은 시스템의 전체적인 제어특성을 알아보기 위해서, 지령치 전류를 0[A]→3[A]→6[A]→3[A]→[0]로 가변 하였을 경우에 응답 전류파형을 나타내고 있다. 기동시 전류의 진동은 디지털 PLL의 위상 검출이 원활히 이루어지기 전의 과형이다. 그러나 과도 현상의 경과 후 전류 응답 특성은 그림에서 볼 수 있듯이 전체적으로 양호한 전류 응답특성을 내고 있다.

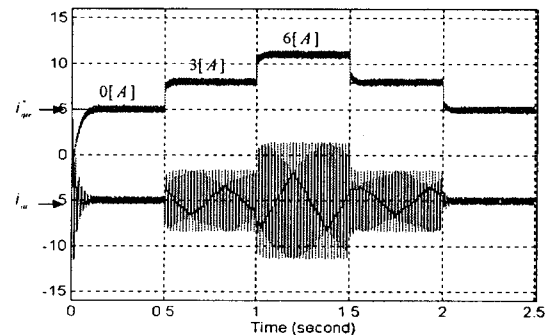


그림 6 전류지령에 대한 응답특성
 Fig. 6 The response characteristic for current ref.

전기적 부하 시뮬레이터는 피시험체의 위상을 검출 받은 것을 기반으로 좌표 변환하여 전류제어가 행해진다. 따라서, 주파수 가변이 되는 피시험체의 시험을 위해서 전기적 부하 시뮬레이터가 갖춰야할 조건은 피시험체의 주파수변화에 따른 빠른 위상 추종 특성을 나타내는 것이다.

그림 7은 이러한 주파수 및 위상 변화에 대한 추종 특성을 확인하기 위한 것으로써 피시험체 인버터의 출력 주파수를 30[Hz]→60[Hz]→30[Hz]로 가변 하였다. 여기에서 ω_e 는 추정된 주파수이며, i_{as} 는 인버터의 평활용 리액터에 흐르는 전류를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 피시험체의 주파수 변화에 대하여, 빠른 추종특성을 보여주고 있으며, 시뮬레이터 시스템의 과도현상도 비교적 안정되게 제어되고 있음을 볼 수 있다.

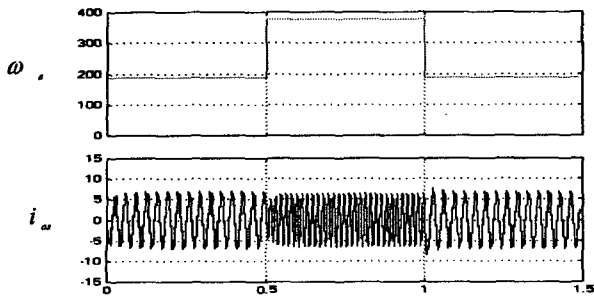


그림 7 주파수 변화에 따른 전류제어 파형
Fig. 7 Current waveform for frequency change.

4. 실험 및 고찰

제안된 전기적 부하 시뮬레이터 구현을 위해 인버터의 용량은 7.5[kW]의 인버터를 사용하였고, 제어부는 60MIPS인 TMS320VC33을 프로세서로 사용하였다. 그림 8은 전류 지령값에 대한 응답 특성을 나타내고 있다. 지령전류는 시뮬레이션에서 모의 실험한 것과 같이 0[A]→3[A]→6[A]→3[A]→[0]으로 하였다. 그림으로부터 전반적으로 안정적으로 전류제어가 이루어지고 있음을 볼 수 있다.

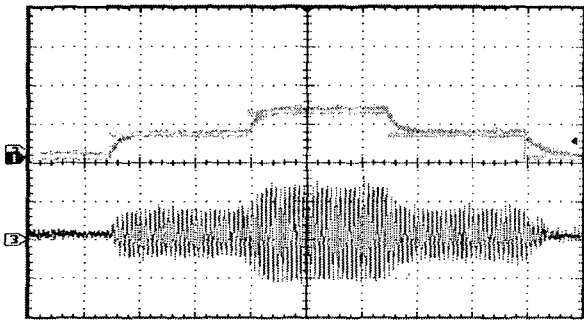


그림 8 전류 지령에 대한 시뮬레이터의 전류응답파형
Fig. 8 The current response for reference current change(5[A]/div ,200[ms]/div.)

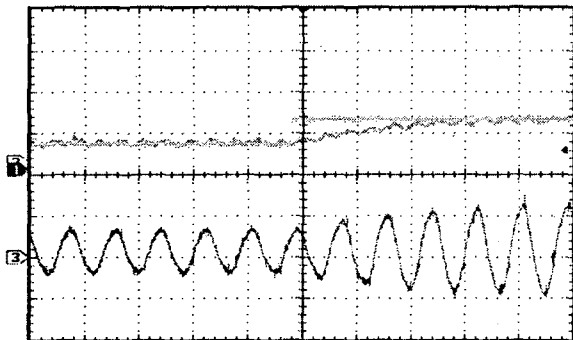


그림 9 지령전류변화에 대한 과도 전류파형
Fig. 9 The transient current for reference current change (5A/div , TimeDiv: 20[ms])

그림 9는 과도 전류 변화시 전류의 형태를 살펴 보기 위한 것이다. 그림 10은 피시험체의 출력전압에 주파수 변화에 대한 응답파형으로 실험조건의 피시험체 인버터의 출력 전압은 일정하게 유지하고 출력 주파수는 30[Hz]→60[Hz]→30[Hz]로 가변하였다. 이때 시뮬레이터의 전류 지령값은 일정하게 유지하였다. 그림으로부터 피시험체의 입력전압의 주파수가 빠르게 변화됨에도 불구하고 피시험체의 주파수를 잘 추종하고 있으며, 이때 전류제어도 원활하게 수행되고 있음을 알 수 있다.

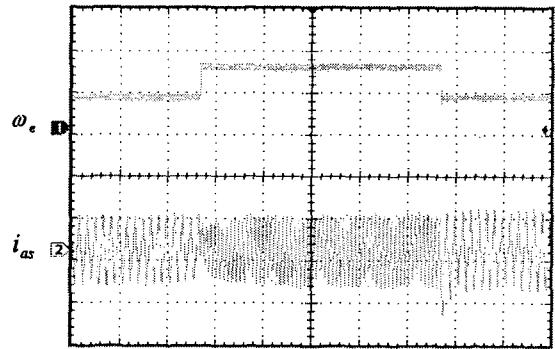


그림 10 피시험체의 주파수 변화에 대한 시뮬레이터의 응답파형
Fig. 10 The response waveform for the frequency change (10[A]/div , 200[ms]/div.)

5. 결론

본 논문에서는 전력 변환기의 시험을 위한 부하 시뮬레이터를 제안하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 인버터 시험을 위한 기존의 M-G세트를 이용한 방식에 비하여 인버터의 시험이 용이해졌다.
- (2) 인버터 시험시 기계적 부하에 의한 소음이 제거되었다.
- (3) 시험시 필요한 에너지를 줄일 수 있어 수전 설비 및 부하설비가 미흡한 중소기업체에서도 부하시험이 가능해 졌다.

참 고 문 헌

- [1] Rober Wendel Newton, "Emulating Dynamic Load Characteristics Using a Dynamic Dynamometer" In IEEE Catalogue No. 95TH8025, 1995, pp. 465-470.
- [2] Z. Hakan Akpolat, "Dynamic emulation of mechanical Loads Using a Vector-controlled induction motor-generator set", in IEEE Transactions on industrial electronics, Vol. 46, No. 2, APRIL 1999, pp. 370-379.