

가변 주파수 3상 정현파 신호의 최대전압 검출기

김 홍 렬*

A Peak Detector for Variable Frequency Three-Phase Sinusoidal Signals

H. R. Kim

Key words : Sinusoidal generator(정현파 발생기), Linearity(선형성), Peak detector(피크 디텍터), Frequency characteristic(주파수 특성), Transient response(과도응답), Voltage dip(전압 딥), Single-phase voltage unbalance(단상 전압 불균형)

Abstract

The proposed detector is consists of three-phase sinusoidal signal generator and peak detector. This peak detector can detect the peak voltage value at the state of variable frequency. In experiment, three-phase sinusoidal signals are generated from D/A converter using IBM PC and delivered to the peak detector. Each signals are squared by multiplier and summed up. Peak value is the square root of summed value extracted by square root circuit.

1. 서 론

정현파 전압의 최대값 검출기는 정현파 신호의 피크 크기에 비례하여 출력 전압을 발생하는 장치로 전력 시스템에 광범위하게 사용되고 있다. 예를 들면 발전기 여자기 계통의 자동 전압 조절 루프, 자동 전압 조정기(AVR), 무정전 전원 공급장치(UPS), 비정상적인 전압의 모니터 등에 사용된다¹⁾. 이러한 계통의 성능을 향상시키기 위해서는 빠른 응답 성능을 가진 정현파 전압의 크기 검출기를 필요로 하고 있다. 또한 이상적인 전압 크기 검출기는 넓은 선형동작 범위를 필요로하고 있다.

일반적으로 정현파 전압 크기 검출기의 응답 시간은 50ms이다. 그런데 계통의 과도 성능을 향상시키기 위해서는 응답시간이 50ms 이하의 성능을 요구한다. 일반적으로 정류기와 필터를 사용하고 있으나²⁾, 필터는 검출기의 과도 응답 성능을 저하시키게 되므로 결과적으로 교류 전압 크기 검출기로 사용되는 장치의 성능을 저하시킨다. 따라서 정현파 전압 크기 검출기의 응답 시간을 감소하기 위한 방법이 제안되었다. C. A. Karybakas가 제안한 방법은 제로 크로싱 검출기(ZCD)를 사용하여 정현파의 한 주기에 두 개의 펄스를 얻어내고 얻어진 펄스와 동기화된 신호를 정현파의 각 반주기에서 샘플

* 정회원, 목포해양대학(원고접수일 : 98년 11월)

플링 펄스를 얻는다. 샘플링 순간에 전파 정류기를 통해 전압의 정보를 얻었고 무계함수 증폭기를 통해 전압의 크기를 검출한다^[3]. 그러나 이 방법은 일정한 샘플링 주파수를 사용하고 있으며 샘플링 위치가 이동되면 큰 오차를 갖게 되는 문제점이 있다.

H. L. Jou는 정현파의 두 개의 연속적인 샘플 데이터를 이용하여 정현파의 최대값을 계산할 수 있는 디지털 알고리즘을 제안하였고 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다^[6]. 그러나 이 방법은 탐지된 신호의 주파수를 미리 알고 있어야 한다는 문제점을 내포하고 있다.

따라서 본 연구에서는 측정 가능한 주파수 대역을 극복하고 과도응답의 지연을 크게 개선시키며, 샘플링위치에 제한이 없는 3상 정현파 최대값 검출기를 제안하였다.

마이크로 컴퓨터를 이용하여 가변 주파수 가변 전압 3상 정현파를 발생시키는 신호 발생기를 제작하였다. 또한 과도응답을 조사하기 위해 3상 정현파 전압 발생의 초기 시작 각도를 변화시킬 수 있고, 순간적인 전압 덩 현상을 발생시키는 신호 발생기로 동작하도록 하였다. 제안된 3상 정현파의 최대값 검출기는 멀티플라이어 AD534를 이용하여 제작하였다. 그리고 제안된 검출기를 사용하여 선형 특성, 주파수 특성, 과도 특성을 조사하였다.

2. 3상 교류전압 최대치 검출

입력의 3상정현파 신호가 다음과 같이 주어 졌다고 가정한다.

$$v_a(t) = V_p \sin(\omega t) \tag{1}$$

$$v_b(t) = V_p \sin(\omega t - 120^\circ) \tag{2}$$

$$v_c(t) = V_p \sin(\omega t + 120^\circ) \tag{3}$$

여기서, V_p 는 정현파 전압의 최대값, ω 는 각주파수, t 는 시간변수이다. 위의 입력 신호를 세 개의 독립적인 멀티플라이어를 통하여 제공하면 다음과 같은 등식을 얻을 수 있다.

$$v_a^2(t) = KV_p^2 \sin^2(\omega t) \tag{4}$$

$$v_b^2(t) = KV_p^2 \sin^2(\omega t - 2\pi/3) \tag{5}$$

$$v_c^2(t) = KV_p^2 \sin^2(\omega t + 2\pi/3) \tag{6}$$

여기서, K 는 배율기의 환산 계수이다. 시간변화 부분(time-varying part)을 제거하기 위해 위의 신호들이 함께 산출 되도록 한다.

$$v_{01}(t) = v_a^2(t) + v_b^2(t) + v_c^2(t) \tag{7}$$

$$= KV_p^2 [\sin^2(\omega t) + \sin^2(\omega t - 120^\circ) + \sin^2(\omega t + 2\pi/3)] \tag{8}$$

$$= \frac{3}{2} KV_p^2 \tag{9}$$

이득 K_1 을 가진 증폭기를 사용하여 원하는 피크값을 식(9)로부터 얻을 수 있고 환산계수 K_2 를 가진 제곱근 회로는 다음 식(10)과 같다.

$$\begin{aligned} v_0(t) &= \sqrt{K_1 K_2 v_{01}(t)} \\ &= \sqrt{K_1 K_2 \left(\frac{3}{2} KV_p^2 \right)} \\ &\equiv \sqrt{K_0} V_p \end{aligned} \tag{10}$$

식(10)에서 K_1 과 K_2 를 적절하게 선택하면 K_0 의 값은 1로 놓을 수 있다. 출력전압 V_0 의 숫자적인 값은 입력신호의 피크값과 같다. Fig.1은 제안된 검출기의 기본 원리에 대한 블록 선도를 나타낸다.

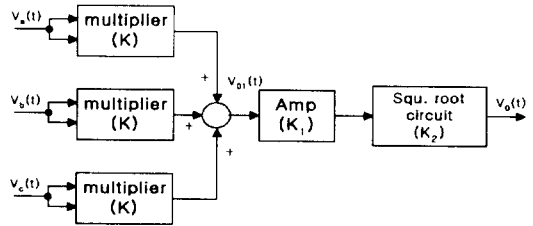


Fig. 1. Basic principle of the proposed detector.

3. 실험장치의 구성

하드웨어 회로는 Fig.2.와 같이 하였다. 네 개의 아날로그 멀티플라이어와 하나의 OP-AMP가 사용되었다. 네 개의 멀티플라이어 중 세 개는 제곱 기능을 수행하도록 사용되고 네 번째는 제곱근을 가지도록 사용되었으며 OP-AMP는 계인을 조정하기 위해서 사용된다. Fig.2.로부터 인덕턴스 요소가 사용되고 있지 않으므로 제안된 검출기의 시간 지연은 기존 검출기의 여과 지연 시간과 비교했을 때 매우 짧다. 즉 제안된 검출기는 순간적인

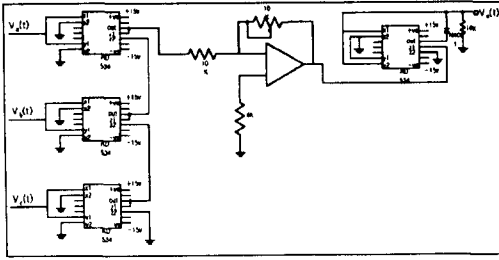


Fig. 2. A circuit diagram of the proposed detector.

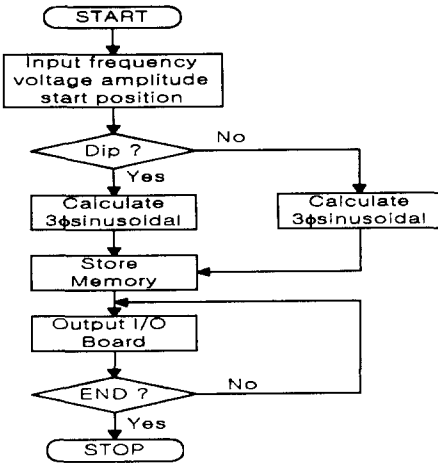


Fig. 3. Flowchart of software.

응답을 얻을 수 있었으며 독립적인 주파수 특성을 얻을 수 있었다. Fig.2 회로는 배선은 매우 단순하여 오직 한 개의 가변 저항기만이 이용되고 있다.

가변주파수 가변 전압 3상 정현파를 발생시키기 위한 과정을 Fig.3에 나타내었다.

4. 불평형 전압의 측정오차에 대한 영향

실제 전력계통에 사용되고 있는 3상전력은, 전력전송단계에서는 이상적인 평형 3상전력에 가까우나 배전단계에서는 단상전력의 불균형 또는 산업용 인버터, 컨버터에 의하여 불평형 전력이 발생하고 있다. 즉 3상전력의 불평형과 고조파 왜곡이 존재한다. 따라서 제한된 최대값 검출기의 실질적인 응용을 위해서는 이러한 불평형전력 발생시의 효과를 예측할 수 있어야 한다. 이를 위하여 3상 신호는 비 이상적인 형을 취하여 계산을 하게되면

다음과 같다.

$$v_a(t) = (V_p + \Delta V_1) \sin(\omega t) \quad (11)$$

$$v_b(t) = (V_p + \Delta V_2) \sin(\omega t - 120^\circ) \quad (12)$$

$$v_c(t) = (V_p + \Delta V_3) \sin(\omega t + 120^\circ) \quad (13)$$

$\Delta V_1, \Delta V_2$ 와 ΔV_3 는 각각의 3상에 대한 작은 편차를 나타내고 다음의 결과를 산출하기 위해 식(11)~식(13)을 식(7)에 대입한다.

$$v_{o1}(t) = \frac{3}{2} K V_p^2 + K \sum_{i=1}^3 [2(\Delta V_i) V_p + (\Delta V_i)^2] \times \sin^2 [\omega t - (i-1)120^\circ] \quad (14)$$

식(14)로부터 식(15)를 얻을 수 있다.

$$v_o(t) = V_p \sqrt{1 + \frac{2}{3} \sum_{i=1}^3 (2\delta_i + \delta_i^2) \sin^2 [\omega t - (i-1)120^\circ]} = V_p \sqrt{1 + V_{err,dc} + V_{err,ac}} \quad (15)$$

여기서,

$$V_{err,dc} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 (2\delta_i + \delta_i^2)$$

$$V_{err,ac} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 (2\delta_i + \delta_i^2) \cos 2[\omega t - (i-1)120^\circ]$$

식(10)에서는 K_1, K_2 는 각각 $2/3$ 와 $1/K$ 로 놓고 $\delta_i \equiv \Delta V_i / V_p$ 로 선정될 수 있다. 그러므로 위상 불균형 상태의 결과는 양 입력 주파수(Double Source Frequency)의 AC 맥동뿐만 아니라 작은 DC 오류의 합이라는 것을 알 수 있다. 그래서 AC 구성요소는 시스템 불균형의 정도를 나타내기 위하여 사용할 수 있다. 실험적인 입증에 있어 오류의 상한선은 식(16)과 같다.

$$ev(\%) = \left(\sqrt{1 + \frac{2}{3} \sum_{i=1}^3 (2\delta_i + \delta_i^2) - 1} \right) \times 100\% \quad (16)$$

5. 실험결과 및 고찰

본 시스템의 3상전원의 최대값 검출의 속응성 및 주파수 특성의 우수성을 검증기 위해 검출기의 입력전압과 출력전압의 선형성과 주파수 변화에 따른 과도응답을 살펴보았다. 입·출력전압의 선형성은 매우 우수하였으며 이론적인 계산값과 실

측된 최대전압은 매우 높은 정밀도를 가짐을 알 수 있었다. 또한 전원의 순간정전에 해당하는 Dip현상 시에도 매우 높은 응답으로 최대값을 검출함을 알 수 있었다.

다른 검출기에서 문제가 되었던 주파수의 변동에 대한 검출기의 영향도 매우 적게 나타남도 알 수 있었다.

5.1 선형특성

선형성은 어떤 검출기에서도 매우 중요한 특성 중의 하나이다. Fig.4.는 제안된 최대 검출기의 입력과 출력 특성간의 전형적인 실험 결과를 보여준다. 전원 주파수는 60Hz이고 최대값은 0.1V에서 8.97V 까지 변한다. 최대의 오류는 0.15V 보다 작다. Fig.4. 에서 이론적인 수치와 실제 결과가 거의 일치함을 알 수 있다.

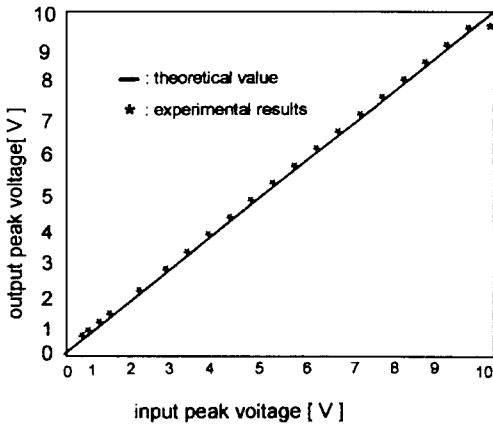


Fig. 4. Linearity of the proposed detector.

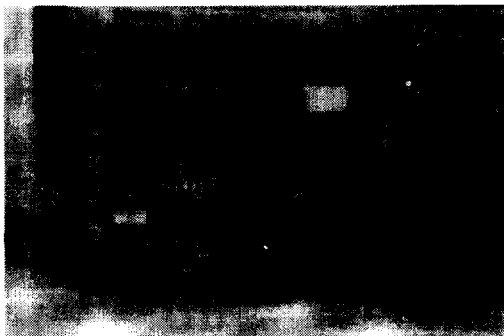
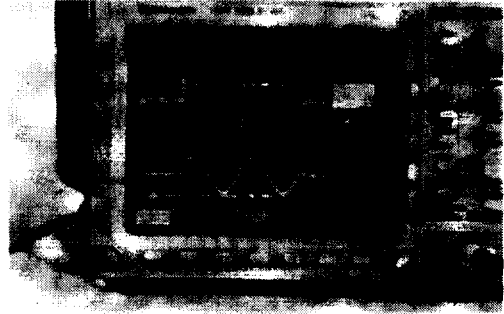


Fig. 5. A transient response for a change of frequency from 480Hz to 60Hz.

5.2 주파수 특성

일반적으로 전력 시스템은 시간변화에 따른 부하의 랜덤 왜란에 언제나 종속된다. 그러므로 전력 시스템 주파수는 정확히 일정하지 않다. Fig.5는 제안된 최대값 검출기의 주파수 특성을 보여준다. 앞에서의 이론적인 기초와 실행에서 예상할 수



(a) 30°



(b) 270°

Fig. 6. Transient response of the proposed detector for change of initial phase shift.



Fig. 7. An instantaneous voltage dip phenomenon.

있는 것처럼 Fig.5는 제안된 검출기의 독립적인 주파수의 특성을 보여준다. 또한 Fig.5는 480Hz에서 60Hz까지 단계적인 주파수 변화의 제안된 검출기의 과도 응답을 보여준다. 리플이 작은 과도응답 특성 뿐만 아니라 주파수 독립 특성을 관찰할 수 있다.

5.3 과도응답

정류기와 2차계수 Butterworth 저역 필터에 의한 종래의 크기 검출기의 정정 시간은 19.8ms까지 지속되었으며, 또한 기존의 검출기 중에서 가장 빠른 응답 시간은 2ms이다. 제안된 검출기는 순간적인 응답을 얻을 수 있었다. Fig.6.은 제안한 검출기의 다른 초기 각도 즉, 30°, 270°에 대한 과도 응답을 나타내고 있으며, 초기각도에 무관하게 최대치 검출이 가능하다. Fig.7은 순간적인 전압 덩 현상의 예를 보여주고 있다. 제로 진폭은 0.05ms까지 이루어질 수 있다. 제안된 최대값 검출기는 비정상적인 상태를 검사할 수 있다.

5.4 상전압 불평형 시험

배전 계통에 있어 전압 위상 불균형은 거의 없으나 위상 불균형시의 제안된 검출기의 위상불균형 특성을 살펴보기 위해 단상불균형시의 이론적인 오차와 실제 시스템의 오차를 비교하였다. 이론적인 결과는 각각 크기와 위상에서 추리할 수 있다. Fig.8은 단상 불균형의 일부 실험적인 결과를 보여준다. 최대의 오차는 2%미만이다.

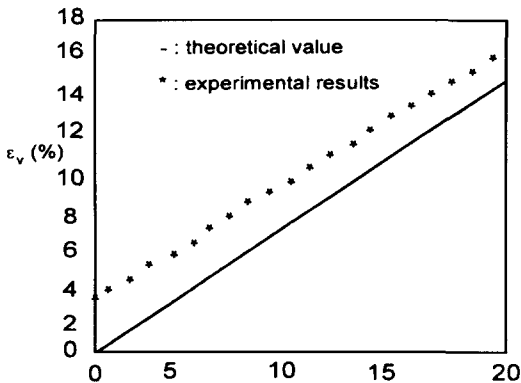


Fig. 8. Theoretical and experiment results of single-phase voltage unbalance.

이런 결과로부터 제안된 검출기는 정상적인 전력 시스템에 존재하는 작은 불균형에 매우 민감하지는 않다는 것을 알 수 있다.

6. 결 론

가변 주파수 3상 정현파의 최대값 검출기에 관한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 3상 정현파의 주파수를 가변시키는 경우에도 제안된 검출기는 오차없이 정확한 전압의 크기를 측정하였다. 또한 주파수를 480Hz에서 60Hz로 동작시킨 경우에 있어서도 정확하게 측정하였다. 따라서 주파수 스윙이 자주 발생하는 곳에서도 전압의 최대치를 측정하는데 사용 가능함을 알 수 있었다.
2. 제안된 방법은 응답특성이 매우 뛰어난 과도 응답 특성을 나타냈다. 또한 순간적인 전압 덩 현상의 측정이 가능하므로 제안된 검출기는 비정상적인 전압의 상태를 검사하는 데 사용 가능함을 알 수 있었다.
3. 제안된 3상 정현파의 최대값 검출기는 0.5 - 9V까지 선형적인 특성을 나타냈다.
4. 가변 주파수 가변 전압 3상 정현파 신호 발생기를 제작하여 여러 가지 과도 신호를 발생시키기 위한 프로그램을 개발하여 편리하게 조작할 수 있었다.
5. 제안된 검출기는 전압 불균형에도 정확성이 뛰어난 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] J. E. Allos, M. K. Mahmood, and F. A. m. Al-qirimli, "Transient response of the modified variable-phase-shift automatic voltage regulator," IEEE proc. vol.3, pt. G, pp.10~16, Feb., 1984.
- [2] H. Y. Chu, "ch.3: Digital relays for high voltage feeders," "Design of digital relays for primary distribution feeders, National cheug kung university, Taiwan, pp.37~62, 1986.
- [3] C. A. Karybakas and G. A. Micholitsis, "Fast amplitude detection for constant period sinusoidal signals," Int. J. Electron., vol. 49, pp.67~

72, 1980.

- [4] M. K. Mashmood, J. E. Allos, "Fast peak detection of sinusoidal signals," *Int. J. Electron.*, vol.54, no.6, pp.825~832, 1983.
- [5] M. K. Mahmood, J. E. Allos and M. A. H. Abdul-Karim, "Microprocessor implementation of a fast and simultaneous amplitude and frequency detector for sinusoidal signals," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol.34, pp.413~417, Sept., 1985.
- [6] H. L. Jou, H. Y. Chu, C. L. Huang and C. H. Chen, "A shortest data window algorithm for detecting the peak value of sinusoidal signals," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol.37, pp.424~425, Oct., 1990.
- [7] 임영철 외 6인, "C언어를 이용한 IBM-PC 인터페이스," pp.156~174, 대영사, 서울, 1995.

저 자 소 개



김홍렬 (金弘烈)

1960년 6월생. 1993년 호원대학교 전기공학과 졸업. 1997년 전남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1급기관사. 1997년~현재 목포대학교 전자공학과 박사과정 재학중. 1993~현재 목포해양대학교 실습선 1등기관사. 당학회 회원