

논문 2016-53-7-14

## 고조파 왜곡 환경에서 향상된 역률 계측 알고리즘 개발

(Development of advanced Power Factor Computation Algorithm  
in Harmonics distorted Distribution System)

이 현 우\*, 박 영 균\*, 이 진 한\*, 정 상 현\*, 박 철 우\*

(Hyun-woo Lee, Young-kyun Park, Jinhan Lee, Sanghyun Joung, and Chul-woo Park<sup>©</sup>)

## 요 약

본 논문에서는 고조파로 전압과 전류가 왜곡된 상황에서 정확하게 기본파의 역률을 측정할 수 있는 방법을 제안한다. 제안한 역률 계측 방법에서는 전압과 전류를 DQ회전좌표계로 변환한 후 유효전력과 무효전력을 계산하여 역률값을 구하게 된다. 기존의 역률 계측방법과 제안한 방법을 수식적으로 비교하여 제시하고, 제안한 방법은 전압과 전류 모두 고조파 왜곡된 상황에서도 기본파의 역률을 정확하게 계측할 수 있는 것을 MATLAB을 이용한 모의실험에서 확인한다. 제안한 역률 계측방법을 자동역률제어장치에 적용할 경우 고조파 왜곡 환경에서 역률 보상 성능을 최대화 할 수 있다. 그 결과 수용가에서는 역률 개선을 통한 전기료 감소, 선로손실 감소, 부하 용량 증대 효과가 기대된다. 특히 발전 사업가 측에서는 역률 보상 성능의 향상으로 송전 여유 용량 확보와 발전량 절감이 가능하다.

## Abstract

We propose a algorithm to calculate power factor of fundamental waveform in an environment where the voltage and current have been distorted by harmonics. In the proposed power factor computation algorithm, voltage and current are converted to rotating DQ reference frame, and power factor is calculated from active power and reactive power. We compare the proposed method with the conventional power factor measurement method as mathematically. In a condition that voltage and current are distorted by harmonics, the proposed method accurately measure the power factor of fundamental wave, and it is confirmed by simulation using MATLAB. If the proposed power factor measurement method is applied to an automatic power factor control system, a power factor compensation performance can be maximized in harmonic distortion environment. As a result, it is possible to reduce electricity prices, reduce line loss, increase load capacity, ensure the transmission margin capacity, and reduce the amount of power generation.

**Keywords**: power factor, DQ transform, harmonics distortion, power factor correction

## I. 서 론

역률은 수용가로 공급되는 전력과 실제 사용되는 전력의 비율을 의미한다. 대부분의 수용가는 부하의 낮은 역률로 인하여 공급 전력의 손실을 초래하고 있으며, 특히 모터 등 지상 부하를 사용하는 제조현장에서 실제 역률

은 70% 내외로 역률 저하로 인한 에너지 손실이 심각한 상태이다.

전력수요가 지속적으로 증가하고 있고 새로운 발전소 건설은 어려워지고 있는 상황에서 에너지 정책은 역률 개선과 같은 에너지 효율 향상 기술이 대안으로 인식되고 있다. 역률 개선으로 발전 사업가 측에서는 송전 여유 용량 확보와 발전량 절감이 가능하고, 수용가 측에서는 선로손실 감소, 부하 용량 증대의 효과가 가능하다. 따라서 국토부에서는 '건물에너지 효율등급 인증제도'를 규정하여 자동역률제어장치 설치를 통한 역률 개선을 권장하고 있고, 한국전력에서 2011년부터 모든 수용가에 역률요금제를 적용하여 역률 관리를 수행하고 있다. 역률요금제에서는 90% 역률을 기준으로 기본요금을 감액 또는

\* 정회원, 경북대학교 의료로봇연구소

(Kyungpook National University Medical Device and Robot Institute of Park)

© Corresponding Author (E-mail: pcw.mdrip@gmail.com)

※ 본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No.20152020105450)입니다.

Received : May 25, 2016

Revised : June 28, 2016

Accepted : June 30, 2016

할증하고 있다. 이와 같은 역률요금제에 따라 수용가에서도 역률보상의 필요성을 인식하고 자동역률제어장치를 설치하고 있다.

자동역률제어장치는 수용가 측에서 발생하는 무효전력을 보상하기 위한 콘덴서를 선로에 연결하는 방식으로 동작되고, 무효전력 보상용 콘덴서의 용량을 결정하기 위해 역률을 정확하게 산출하는 것이 필수적이다<sup>[1~3]</sup>. 그러나 기존의 역률 계측방법은 고조파로 인한 전압, 전류 왜곡이 발생하는 상황에서는 자동역률제어장치에 필요한 기본과 역률 계측에 오차가 발생하게 된다<sup>[4~6]</sup>. 고조파 왜곡은 스위칭 전원등 비선형 부하의 보급으로 인해 증가하고 있으므로, 이는 역률 보상 오차로 이어지게 되고 에너지 효율을 저하시키게 된다. E. Moulin<sup>[6]</sup>은 IEC1268 시험 방법을 이용하여 기존 역률 계측방법을 비교하였고 고조파 왜곡 환경에서 역률 계측 성능의 한계를 제시하였다. 또한 전자식 전력량계의 국가표준인 'KS C 1214 전자식 유효/무효 전력량계'에 따르면 상용 전력량계는 고조파 인가 시험을 통하여 기본과 역률 계측 정확도를 판단하고 있다.

따라서 본 논문에서는 고조파 환경에서도 정확하게 역률을 계측 할 수 있는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 측정 전압과 전류를 DQ회전좌표계로 변환한 후 역률을 계산하는 방법을 사용하고, 고조파 왜곡 여부와 무관하게 정확한 기본과 역률을 계측할 수 있다. 제안한 방법을 자동역률제어장치에 적용할 경우 고조파 왜곡 환경에서도 역률 보상 성능을 크게 향상시킬 수 있다. 제안한 방법의 타당성은 MATLAB을 이용한 모의실험을 통하여 기존 방법과 비교하여 확인한다.

## II. 본 론

### 1. 기존의 역률 계측 방법

기존의 역률 측정방법으로는 power triangle 방법<sup>[7,8]</sup>과 time delay 방법이 사용되고 있다<sup>[9~11]</sup>. 기존의 두 가지 역률 계산 방법과 고조파 발생 환경에서 특성을 살펴본다.

#### 가. Power triangle 방법

고조파 왜곡이 발생하는 상황에서 계통 전압과 전류는 식(1), (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$v(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} V_n \sin(n\omega t) \quad (1)$$

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin(n\omega t + \phi_n) \quad (2)$$

여기서,  $n$ 은 고조파 차수,  $V_n$ 과  $I_n$ 은 고조파 차수별 실효값,  $\phi_n$ 은 고조파 차수별 전압과 전류의 위상차를 나타낸다.

식(1), (2)에서 전압과 전류의 실효값은 식(3), (4)와 같이 구할 수 있다.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2} \quad (3)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i(t)^2 dt} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} \quad (4)$$

평균유효전력은 식(5)와 같이 구할 수 있고, 역률은 식(3)~(5)로부터 식(6)과 같이 계산할 수 있다.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t)i(t) dt = \sum_{n=1}^{\infty} V_n I_n \cos(\phi_n) \quad (5)$$

$$PF_{rms} = \frac{P}{V_{rms} I_{rms}} \quad (6)$$

식(6)에서 구한 역률은 식(3)~(5)에서와 같이 전압과 전류의 고조파 정보를 포함하게 되어 기본과의 역률만 구분하여 계산할 수 없다. 따라서 power triangle 방법은 전압 또는 전류의 고조파 왜곡 여부에 따라 오차가 발생하게 된다.

#### 나. Time delay 방법

Time delay 방법은 전압과 전류의 측정값으로부터 직접 무효전력을 계산하는 방법이다.

측정 전류인 식(2)를 1/4주기 시간 지연시킨 전류는 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$i_{delay}(t) = i(t - \frac{T}{4}) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin[n\omega(t - \frac{T}{4}) + \phi_n] \quad (7)$$

식(1)의 전압과 식(7)의 1/4주기 시간 지연된 전류를 곱한 값의 한 주기 평균은 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{T} \int_0^T v(t) i_{delay}(t) dt = \sum_{n=1}^{\infty} \left[ V_n I_n \sin(\phi_n) \sin(\frac{\pi}{2}n) \right] \quad (8)$$

한편, 계통 전압에 고조파 왜곡이 발생하지 않는다고 가정하면 식(9)와 같이 표현할 수 있다.

$$n \geq 2 : V_n = 0 \quad (9)$$

식(9)를 이용하여 식(8)을 정리하면 식(10)과 같이 기본파의 무효전력으로 나타낼 수 있다. 식(10)을 이용하여 기본파의 역률은 식(11)과 같이 구할 수 있다.

$$Q_{delay} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) i_{delay}(t) dt = V_1 I_1 \sin(\phi_1) \quad (10)$$

$$PF_{delay} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_{delay}^2}} \quad (11)$$

이와 같이 time delay 방법에서는 식(10)을 이용하여 무효전력을 계산한 후, 식(11)과 같이 역률을 계산할 수 있지만, 전압은 고조파 왜곡이 되지 않는다는 가정이 필요하다. 즉 time delay 방법을 이용할 경우 전압이 왜곡되지 않는다면 전류의 왜곡 여부와 관계없이 오차 없는 역률을 계측할 수 있지만, 전압이 왜곡된다면 역률 계측에 오차가 발생하게 된다.

## 2. DQ변환을 이용한 역률 계산 방법

그림 1에는 DQ정지좌표계와 회전좌표계에서 전압벡터를 나타내었다<sup>[12]</sup>.

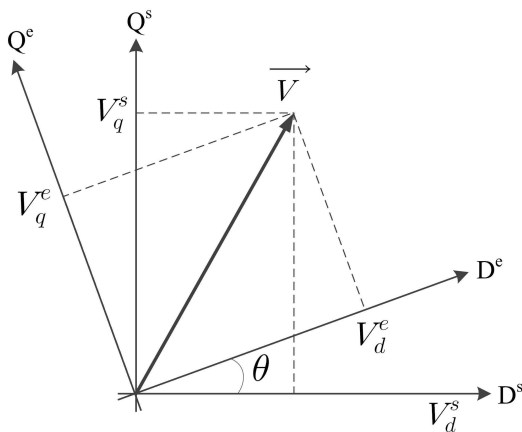


그림 1. DQ좌표계에서 전압벡터

Fig. 1. Voltage vector in dq reference frame.

그림 1의 벡터  $\vec{V}$ 는 DQ정지좌표계와 회전좌표계에서 식(12)와 같이 나타난다.

$$\vec{V} = V_d^s + jV_q^s = V_d^e + jV_q^e \quad (12)$$

여기서,  $V_d^s$ 와  $V_q^s$ 는 DQ정지좌표계에서 전압값,  $V_d^e$ 와  $V_q^e$ 는 DQ회전좌표계에서 전압값을 나타낸다. DQ정지좌표계 값은 식(13)과 같이 회전행렬을 이용해서 DQ회전좌표계로 변환할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} V_d^e \\ V_q^e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_d^s \\ V_q^s \end{bmatrix} \quad (13)$$

여기서, DQ회전좌표계의 변위각  $\theta = \int_0^t \omega dt + \theta_0$ 이고,  $\theta_0$ 는 회전좌표계의 초기값이다.

측정한 전압 값을  $V_q^s$ 로, 측정된 전압을 1/4주기 시간 지연한 값을  $V_d^s$ 로 나타낸다면 식(14), (15)와 같다.

$$V_q^s = v(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} V_n \sin(n\omega t) \quad (14)$$

$$V_d^s = v(t - \frac{T}{4}) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} V_n \sin[n\omega(t - \frac{T}{4})] \quad (15)$$

식(13)을 이용하여 식(14), (15)의 DQ정지좌표계 값을 DQ회전좌표계로 변환하면 식(16), (17)과 같다.

$$V_d^e = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} V_n \left[ \cos\theta \sin(n\omega t - \frac{\pi}{2}n) - \sin\theta \sin(n\omega t) \right] \quad (16)$$

$$V_q^e = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} V_n \left[ \sin\theta \sin(n\omega t - \frac{\pi}{2}n) + \cos\theta \sin(n\omega t) \right] \quad (17)$$

식(12)~(17)은 전류에도 동일하게 적용할 수 있고, 측정 전류값을 DQ회전좌표계로 변환한 결과는 식(18), (19)와 같다.

$$I_d^e = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_n \left[ \cos\theta \sin(n\omega t - \frac{\pi}{2}n + \phi_n) - \sin\theta \sin(n\omega t + \phi_n) \right] \quad (18)$$

$$I_q^e = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_n \left[ \sin\theta \sin(n\omega t - \frac{\pi}{2}n + \phi_n) + \cos\theta \sin(n\omega t + \phi_n) \right] \quad (19)$$

식(16)~(19)는 측정 전압과 전류값을 DQ회전좌표계로 변환한 신호이고, 표 1과 같이 고조파 차수  $n$ 에 따라 신호의 특성을 분석할 수 있다. 표 1에서 계통 전압과 전류에 고조파 왜곡이 발생한다면  $n$ 차 고조파 성분은  $\omega$ 로 회전하는 DQ회전좌표계에서  $(n-1)\omega$ 와  $(n+1)\omega$

의 주파수를 가지는 신호로 표현된다는 것을 알 수 있다.

표 1.  $V_{dq}^e, I_{dq}^e$ 의 고조파 차수에 따른 특성

Table 1. Characteristic of  $V_{dq}^e, I_{dq}^e$  according to harmonics order.

$n$ 의 조건 ( $m \geq 0$ )	$V_{dq}^e, I_{dq}^e$ 의 특성
$4m + 1$	$(n-1)\omega$ 의 주파수를 가지는 신호
$4m + 2$	$(n+1)\omega$ 과 $(n-1)\omega$ 의 주파수를 가지는 신호의 합
$4m + 3$	$(n+1)\omega$ 의 주파수를 가지는 신호
$4m + 4$	$(n+1)\omega$ 과 $(n-1)\omega$ 의 주파수를 가지는 신호의 합

DQ회전좌표계에서 전압벡터와 전류벡터를 같이 나타내면 그림 2와 같다.

그림 2의 전압벡터, 전류벡터의 관계로부터 유효전력과 무효전력은 식(20), (21)과 같이 구할 수 있다.

$$P = |\vec{V}| |\vec{I}| \cos(\theta_i - \theta_v) = V_d^e I_d^e + V_q^e I_q^e \quad (20)$$

$$Q = |\vec{V}| |\vec{I}| \sin(\theta_i - \theta_v) = V_d^e I_q^e - V_q^e I_d^e \quad (21)$$

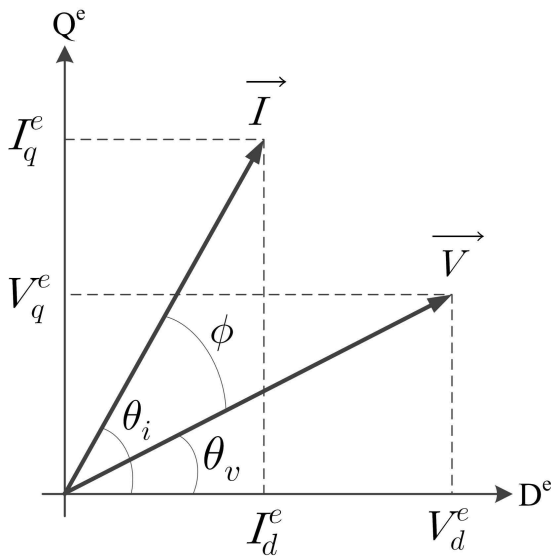


그림 2 DQ회전좌표계에서 전압벡터와 전류벡터  
Fig. 2. Voltage and current vector in rotating dq reference frame.

표 1과 같은 특성을 가진 DQ회전좌표계의 전압과 전류를 식(22)~(25)와 같이 기본파의 한 주기 동안 평균값을 구하면  $n \geq 2$ 인 고조파 성분은 사라지고,  $n = 1$ 인 기본파의 성분만 남게 된다.

$$V_{d,avg}^e = \frac{1}{T} \int_0^T V_d^e dt = V_1 \cos \theta_v \quad (22)$$

$$V_{q,avg}^e = \frac{1}{T} \int_0^T V_q^e dt = V_1 \sin \theta_v \quad (23)$$

$$I_{d,avg}^e = \frac{1}{T} \int_0^T I_d^e dt = I_1 \cos \theta_i \quad (24)$$

$$I_{q,avg}^e = \frac{1}{T} \int_0^T I_q^e dt = I_1 \sin \theta_i \quad (25)$$

식(22)~(25)에서 구한 DQ회전좌표계의 전압과 전류 한 주기 평균값을 식(20), (21)에 적용하면 식(26), (27)과 같이 기본파의 유효전력  $P_{dq}$ 와 무효전력  $Q_{dq}$ 를 구할 수 있고, 역률은 식(28)과 같이 구할 수 있다.

$$P_{dq} = V_{d,avg}^e I_{d,avg}^e + V_{q,avg}^e I_{q,avg}^e \quad (26)$$

$$Q_{dq} = V_{d,avg}^e I_{q,avg}^e - V_{q,avg}^e I_{d,avg}^e \quad (27)$$

$$PF_{dq} = \frac{P_{dq}}{\sqrt{P_{dq}^2 + Q_{dq}^2}} \quad (28)$$

식(28)은 DQ회전좌표계에서 기본파만의 역률을 나타내므로 전압과 전류 모두 고조파 왜곡이 발생하는 상황에서도 오차 없는 정확한 기본파 역률을 계산할 수 있다.

따라서 제안하는 방법을 이용하여 계산한 역률값을 자동역률제어장치에 이용할 경우 전압과 전류의 고조파 왜곡과 관계없이 항상 정확한 역률을 계측할 수 있게 되어 역률 보상 성능을 크게 향상시킬 수 있다.

### III. 모의 실험

본 논문에서 제안하는 역률 계측방법의 타당성을 확인하기 위하여 MATLAB을 이용하여 모의실험을 진행하였다. 고조파 왜곡이 없을 경우, 전류에만 고조파 왜곡이 발생하는 경우, 전압과 전류 모두 고조파 왜곡이 발생하는 경우를 가정하고 실험을 수행하였다.

표 2. 고조파 왜곡이 없는 실험의 조건  
Table 2. Conditions of simulation in the absence of harmonic distortion.

Harmonics	Frequency	Voltage	Current	Phase
1st	60Hz	220V	100A	60deg

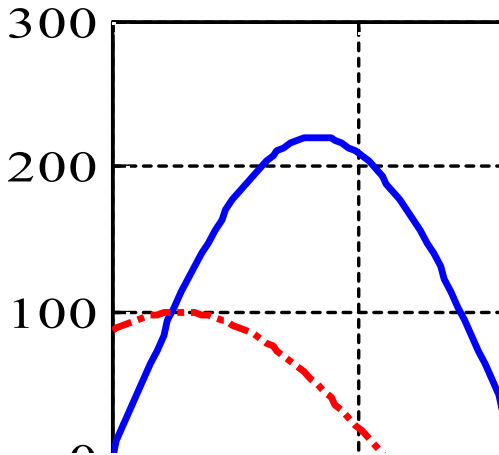


그림 3. 고조파 왜곡이 없는 전압, 전류 파형  
Fig. 3. Voltage and current waveforms in the absence of harmonic distortion.

표 3. 고조파 왜곡이 없는 조건에서 역률 계측 결과  
Table 3. Result of power factor computation in the absence of harmonic distortion.

Power triangle	Time delay	DQ transform
50.0%	50.0%	50.0%

먼저 고조파 왜곡이 없는 상황에서 실험을 수행하였다. 실험 조건은 표 2와 같고, 그림 3에는 고조파 왜곡이 없는 전압과 전류 파형을 나타내었다. 전압과 전류는 60도의 위상차를 가지므로 이 때 역률은 50%가 된다. 기존의 방법과 제안한 방법을 이용한 역률 계측 결과 값을 표 3에 나타내었다. 표 3에서 power triangle 방법은 전압과 전류의 실효값과 평균유효전력을 이용하여 역률을 계산하였고, time delay 방법은 전류를 1/4주기 시간 지연시킨 값을 이용하여 무효전력을 직접 계산하였고, DQ transform 방법은 전압과 전류를 DQ회전좌표계로 변환한 후 한 주기 평균값을 이용하여 역률을 구하였다. 표 3에서 고조파 왜곡이 없는 조건에서는 기존의 방법과 제안한 방법 모두 정확한 역률을 계측할 수 있는 것을 알 수 있다.

표 4. 전류만 고조파 왜곡된 실험의 조건  
Table 4. Conditions of simulation with conditions that current only is distorted.

Harmonics	Frequency	Voltage	Current	Phase
1st	60Hz	220V	100A	60deg
3rd	180Hz	0V	50A	30deg
5th	300Hz	0V	30A	30deg

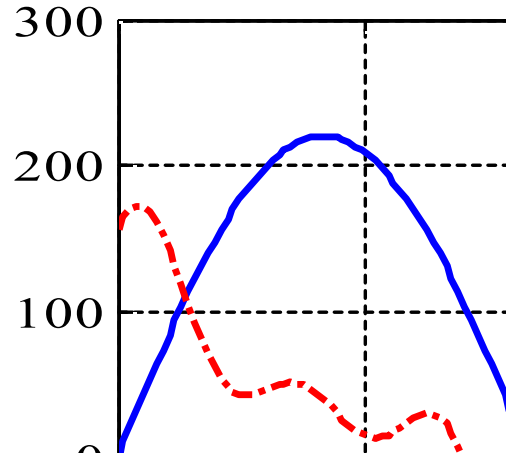


그림 4. 전류에만 고조파 왜곡이 발생한 파형  
Fig. 4. Voltage and current waveforms with conditions that current only is distorted.

표 5. 전류만 왜곡된 조건에서 역률  
Table 5. Result of power factor computation with conditions that current only is distorted.

Power triangle	Time delay	DQ transform
43.19%	50.0%	50.0%

두 번째로 전류에만 고조파 왜곡이 발생하는 환경에서 실험을 하였다. 표 4에 실험 조건을 나타내었고, 그림 4의 전압과 전류 파형에서 전류만 왜곡이 되는 것을 볼 수 있다. 이 경우 역률 계산값은 표 5에 나타내었고, power triangle 방법은 오차가 발생하였지만, time delay 방법과 제안한 DQ transform 방법은 정확한 기본과 역률인 50%를 계산할 수 있는 것을 알 수 있다.

표 6. 전압과 전류 모두 왜곡된 실험의 조건  
Table 6. Conditions of simulation that voltage and current are distorted by harmonics.

Harmonics	Frequency	Voltage	Current	Phase
1st	60Hz	220V	100A	60deg
3rd	180Hz	150V	50A	30deg
5th	300Hz	100V	30A	30deg

마지막으로 전압과 전류 모두 고조파 왜곡이 발생하는 환경에서 실험을 하였다. 표 6에 실험 조건을 나타내었고, 그림 5에서 전압과 전류 모두 고조파 왜곡이 발생한 것을 볼 수 있다. 표 7에 나타낸 역률 계측 결과에서 power triangle 방법과 time delay 방법 모두 오차가 발생하지만, 제안한 DQ transform 방법은 정확한 기본과 역률인 50%를 계산할 수 있는 것을 알 수 있다.

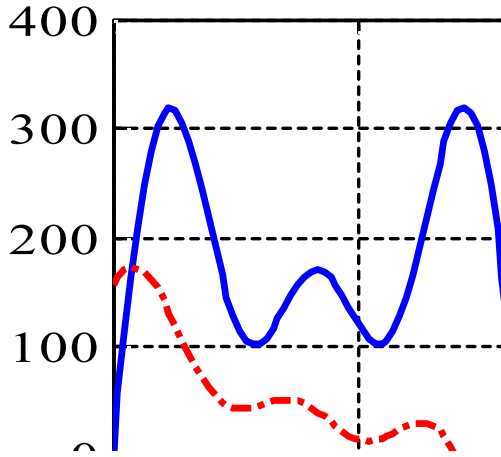


그림 5. 전압과 전류에 고조파 왜곡이 발생한 파형  
Fig. 5. Waveforms of voltage and current that are distorted by harmonic.

표 7. 전압과 전류 모두 왜곡된 조건에서 역률  
Table 7. Result of power factor computation in the condition that voltage and current are distorted by harmonics.

Power triangle	Time delay	DQ transform
61.03%	76.71%	50.0%

모의실험을 통하여 전압과 전류에 고조파 왜곡이 발생하는 상황에서 power triangle 방법은 기본파 역률을 계산할 수 없고, time delay 방법은 전류에만 고조파 왜곡이 발생하는 제한적인 상황에서만 사용할 수 있고, 제한한 방법은 고조파 발생여부에 관계없이 기본파 역률을 정확하게 계산할 수 있는 것을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 고조파로 전압과 전류가 왜곡된 상황에서도 정확하게 기본파의 역률을 측정할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안한 역률 계측 방법에서는 전압과 전류를 DQ회전좌표계로 변환한 후 유효전력과 무효전력을 계산하여 역률값을 구하게 된다.

기존의 역률 계측방법과 제안한 방법을 수식적으로 비교하여 제시하였고, 제안한 방법은 전압과 전류 모두 고조파 왜곡된 상황에서도 기본파의 역률을 정확하게 계측할 수 있는 것을 MATLAB을 이용한 모의실험에서 확인하였다.

제안한 역률 계측방법을 자동역률제어장치에 적용할 경우 고조파 왜곡 환경에서 역률 보상 성능을 최대화

할 수 있다. 그 결과 수용가에서는 역률 개선을 통한 전기료 감소, 선로손실 감소, 부하 용량 증대 효과가 기대된다. 특히 발전 사업가 측에서는 역률 보상 성능의 향상으로 송전 여유 용량 확보와 발전량 절감이 가능하다.

#### REFERENCES

- [1] Ramasamy Natarajan, "Power System Capacitors," Taylor & Francis, 2005.
- [2] Jong-Gyeum Kim, "Analysis for Thermal Distribution of Low-voltage Condenser by the Variance of Voltage & Frequency," Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, vol. 24, no. 4, pp. 43~49, 2010.
- [3] Thomas M. Blooming, "Capacitor Application Issues," IEEE Trans on IAS, pp. 1013-1026, Jul-Aug, 2008.
- [4] In Gon Ro, "A study on the Analysis of Harmonics Aspects on Low-voltage AC Electrical Installations," Journal of the Korean Society of Safety, vol. 28, no. 8, pp. 27~33, 2013.
- [5] OSRAM Opto Semiconductors, "Power Factor Correction(PFC) Basics," OSRAM Opto Semiconductors Application Guide, pp. 1~7, June, 2011.
- [6] Etienne Moulin, "Measuring reactive power in energy meters," Metering international-Issue, pp. 52~54, Jan. 2002.
- [7] Hyung-Mo Yu, "Power Quality Measurement for LED-based Green Energy Lighting," Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea, vol. 50, no. 2, pp. 174~184, 2013.
- [8] Q. Tang, Z. Teng, S. Guo, and Y. Wang, "Design of power quality monitoring system based on LabVIEW," in Proc. IEEE ICMTMA 2009, pp.292-295, April, 2009.
- [9] Samet, H., "Employing stochastic models for prediction of arc furnace reactive power to improve compensator performance," IET generation, transmission & distribution, vol. 2, no. 4, pp. 505-515, January, 2008.
- [10] Wei Yu, "A Novel Accurate Active and Reactive Power Calculation Method for Paralleled UPS System," Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2009. APEC 2009. Twenty-Fourth Annual IEEE 2009 Feb, pp. 1269-1275, Feb, 2009.
- [11] Zongying Chen, "The research on phase-shift method of reactive power," Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2010 the 5th IEEE Conference on 2010 June, pp. 1911-1915, June,

2010.

[12] Paul. C. Krause and Oleq Wasynczuk, Electro mechanical Motion Devices, McGraw-Hill, 1998.

— 저 자 소 개 —



이 현 우(정회원)  
2014년 영진전문대학 컴퓨터응용  
기계공학과 학사졸업  
2016년 경북대학교 제어 및 계측  
공학전공 석사졸업  
2013년~현재 경북대학교 의료로  
봇연구소 연구원

<주관심분야: 전력전자, 자동제어, 임베디드시스  
템, 의료로봇>



박 영 균(정회원)  
2007년 대구대학교 전산통계학과 학  
사졸업  
2009년 대구대학교 컴퓨터정보공학  
과 석사졸업  
2012년 대구대학교 전산공학과 박사  
수료

2016년~현재 경북대학교 의료로봇연구소 연구원  
<주관심분야: 임베디드시스템, IoT, 의료로봇>



이 진 한(정회원)  
2010년 금오공과대학교 전자공학부  
학사졸업  
2014년 동대학원 석사졸업  
2016년 경북대학교 의과학과 박사  
수료

2013년~현재 경북대학교 의료로봇연구소 연구원  
<주관심분야: 자동제어, 임베디드시스템, 의료로봇>



정 상 현(정회원)  
2001년 연세대학교 의용전자공학과  
학사졸업  
2005년 도쿄대학교 신영역창성과학  
연구과 석사졸업  
2009년 동대학원 박사졸업

2009년~2012년 도쿄대학교 의용정밀공학연구실 연  
구원

2012년~현재 경북대학교 의료로봇연구소 연구교수  
<주관심분야: 자동제어, 영상처리, 규제과학, 의  
료로봇>



박 철 우(정회원)  
1997년 경북대학교 전자공학과 공  
학사 졸업  
1999년 동대학원 석사졸업  
2004년 동대학원 박사졸업

2004년~2008년 삼성SDI 모바일디스플레이사업부  
책임연구원

2008년~2012년 영진전문대학 컴퓨터응용기계계열  
교수

2012년~현재 경북대학교 의료로봇연구소 연구교수  
<주관심분야: 전력전자, 자동제어, 임베디드시스  
템, 의료로봇>