

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2013-0011262 (43) 공개일자 2013년01월30일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) H02J 3/08 (2006.01)	(71) 출원인 고려대학교 산학협력단 서울 성북구 안암동5가 1	
(21) 출원번호 10-2011-0072290	(72) 발명자 장길수 서울특별시 중랑구 신내로21길 16, 신내5단지 대림아파트 513동 503호 (목동)	
(22) 출원일자 2011년07월21일 심사청구일자 2011년07월21일	오세승 서울특별시 서대문구 연희로15안길 71-5 (연희동)	
	(74) 대리인 특허법인주원	

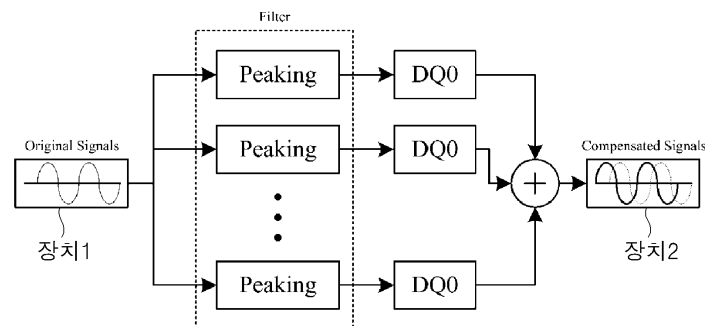
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 삼상 교류 신호의 지연 보상 시스템, 방법, 및 상기 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체

(57) 요약

삼상 교류 신호의 신호 지연 보상 시스템, 방법, 및 상기 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체가 개시된다. 삼상 교류 신호의 신호 지연 보상 시스템은 신호 정보 획득부, 변환 정보 산출부, 및 신호 보상부를 포함한다. 신호 정보 획득부는 삼상 교류 신호의 정보를 획득하고, 변환 정보 산출부는 삼상 교류 신호의 정보를 이용하여 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 dq0 변환 정보를 산출하며, 신호 보상부는 dq0 변환 정보를 dq0 역변환하여 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 정보를 산출한다. 이러한 구성으로, 전력 계통의 해석을 위한 분할 시뮬레이션에서 발생하는 시간 지연을 보상할 수 있게 된다. 또한, 별도의 하드웨어를 사용하지 않고 소프트웨어적으로도 시스템의 연산 부담을 줄일 수 있게 된다.

대표도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20100018462

부처명 한국연구재단

연구사업명 중견연구자지원_도약연구

연구과제명 차세대 전력시스템 해석용 다중시간영역 하이브리드 시뮬레이션 알고리즘

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2010.06.01 ~ 2011.05.31

특허청구의 범위

청구항 1

삼상 교류 신호의 정보를 획득하는 신호 정보 획득부;

상기 삼상 교류 신호의 정보를 이용하여 상기 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 dq0 변환 정보를 산출하는 변환 정보 산출부; 및

상기 dq0 변환 정보를 dq0 역변환하여 상기 삼상 교류 신호의 상기 미리 설정된 시간 이전의 정보를 산출하는 지연 신호 보상부를 포함하는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 신호의 신호 지연 보상 시스템.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 변환 정보 산출부는, 상기 삼상 교류 신호가 평형 상태인 경우, 상기 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 dq0 변환 정보를 다음의 수학식에 의해 산출할 수 있으며,

$$u_{dq0, delay} = T_{dq0}(\theta) \cdot u_{abc, delay}$$

여기서, $u_{dq0, delay}$ 는 상기 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 dq0 변환 정보,

$$T_{dq0}(\theta) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos(\omega t + \theta) & \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \theta) & \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \theta) \\ \sin(\omega t + \theta) & \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \theta) & \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \theta) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix},$$

$u_{abc, delay}$ 는 상기 삼상 교류 신호의 정보, $\theta = -2\omega \Delta t$, ω 는 상기 삼상 교류 신호의 주파수, Δt 는 상기 미리 설정된 시간인 것을 특징으로 하는 삼상 교류 신호의 신호 지연 보상 시스템.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 변환 정보 산출부는, 상기 삼상 교류 신호가 불평형 상태인 경우, 상기 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 dq0 변환 정보를 다음의 수학식에 의해 산출할 수 있으며,

$$u_{dq0, mod, delay} = T_{dq0, mod}(\theta) \cdot u_{abc, delay} + C_{ex}$$

여기서, $u_{dq0, mod, delay}$ 는 상기 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 dq0 변환 정보,

$$T_{dq0, mod}(\theta) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos(\omega t + \theta) & \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \theta) & \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \theta) \\ \sin(\omega t + \theta) & \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \theta) & \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \theta) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \cos(\theta) & \frac{1}{\sqrt{2}} \cos(\theta) & \frac{1}{\sqrt{2}} \cos(\theta) \end{pmatrix},$$

$u_{abc, delay}$ 는 상기 삼상 교류 신호의 정보,

$$C_{ex} = \begin{pmatrix} D_{ex} \\ Q_{ex} \\ Z_{ex} \end{pmatrix},$$

$$D_{ex} = -\sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sin \phi \cdot [V_{ma} \cdot \sin(\omega t) - \frac{\sqrt{3}}{2} \{V_{mb} \cdot \cos(\omega t + \alpha_b) - V_{mc} \cdot \cos(\omega t + \alpha_c)\} \\ - \frac{1}{2} \{V_{mb} \cdot \sin(\omega t + \alpha_b) + V_{mc} \cdot \sin(\omega t + \alpha_c)\}] ,$$

$$Q_{ex} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sin \phi \cdot [V_{ma} \cdot \cos(\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{2} \{V_{mb} \cdot \sin(\omega t + \alpha_b) - V_{mc} \cdot \sin(\omega t + \alpha_c)\} \\ - \frac{1}{2} \{V_{mb} \cdot \cos(\omega t + \alpha_b) + V_{mc} \cdot \cos(\omega t + \alpha_c)\}] ,$$

$$Z_{ex} = -\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sin \phi \cdot [V_{ma} \cdot \sin(\omega t) + V_{mb} \cdot \sin(\omega t + \alpha_b) + V_{mc} \cdot \sin(\omega t + \alpha_c)] ,$$

$\Theta = -2\omega \Delta t = -\phi$, ω 는 상기 삼상 교류 신호의 주파수, Δt 는 상기 미리 설정된 시간, V_{ma} , V_{mb} , V_{mc} 는 각각 상기 삼상 교류 신호의 a, b, c상의 진폭, α_b , α_c 는 각각 상기 삼상 교류 신호 b상과 c상의 a상에 대한 위상차인 것을 특징으로 하는 삼상 교류 신호의 신호 지연 보상 시스템.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 신호 정보 획득부에서 획득한 상기 삼상 교류 신호를 미리 설정된 주파수 별로 분리하는 신호 분리부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 신호의 신호 지연 보상 시스템.

청구항 5

삼상 교류 신호의 정보를 획득하는 신호 정보 획득 단계;

상기 삼상 교류 신호의 정보를 이용하여 상기 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 dq0 변환 정보를 산출하는 변환 정보 산출 단계; 및

상기 dq0 변환 정보를 dq0 역변환하여 상기 삼상 교류 신호의 상기 미리 설정된 시간 이전의 정보를 산출하는 신호 보상 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 신호의 신호 지연 보상 방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 삼상 교류 신호가 평형 상태인 경우, 상기 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 dq0 변환 정보는 다음의 수학식에 의해 획득될 수 있으며,

$$u_{dq0, delay} = T_{dq0}(\theta) \cdot u_{abc, delay}$$

여기서, $u_{dq0, delay}$ 는 상기 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 dq0 변환 정보,

$$T_{dq0}(\theta) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos(\omega t + \theta) & \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \theta) & \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \theta) \\ \sin(\omega t + \theta) & \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \theta) & \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \theta) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix},$$

$u_{abc, \text{delay}}$ 는 상기 삼상 교류 신호의 정보, $\Theta = -2\omega \Delta t$, ω 는 상기 삼상 교류 신호의 주파수, Δt 는 상기 미리 설정된 시간인 것을 특징으로 하는 삼상 교류 신호의 신호 지연 보상 방법.

청구항 7

제 5항에 있어서,

상기 삼상 교류 신호가 불평형 상태인 경우, 상기 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 dq0 변환 정보는 다음의 수학식에 의해 획득될 수 있으며,

$$u_{dq0, \text{mod}, \text{delay}} = T_{dq0, \text{mod}}(\theta) \cdot u_{abc, \text{delay}} + C_{ex}$$

여기서, $u_{dq0, \text{mod}, \text{delay}}$ 는 상기 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 dq0 변환 정보,

$$T_{dq0_mod}(\theta) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos(\omega t + \theta) & \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \theta) & \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \theta) \\ \sin(\omega t + \theta) & \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \theta) & \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \theta) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \cos(\theta) & \frac{1}{\sqrt{2}} \cos(\theta) & \frac{1}{\sqrt{2}} \cos(\theta) \end{pmatrix},$$

$u_{abc, \text{delay}}$ 는 상기 삼상 교류 신호의 정보,

$$C_{ex} = \begin{pmatrix} D_{ex} \\ Q_{ex} \\ Z_{ex} \end{pmatrix},$$

$$D_{ex} = -\sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sin \phi \cdot [V_{ma} \cdot \sin(\omega t) - \frac{\sqrt{3}}{2} \{V_{mb} \cdot \cos(\omega t + \alpha_b) - V_{mc} \cdot \cos(\omega t + \alpha_c)\} \\ - \frac{1}{2} \{V_{mb} \cdot \sin(\omega t + \alpha_b) + V_{mc} \cdot \sin(\omega t + \alpha_c)\}],$$

$$Q_{ex} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sin \phi \cdot [V_{ma} \cdot \cos(\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{2} \{V_{mb} \cdot \sin(\omega t + \alpha_b) - V_{mc} \cdot \sin(\omega t + \alpha_c)\} \\ - \frac{1}{2} \{V_{mb} \cdot \cos(\omega t + \alpha_b) + V_{mc} \cdot \cos(\omega t + \alpha_c)\}],$$

$$Z_{ex} = -\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sin \phi \cdot [V_{ma} \cdot \sin(\omega t) + V_{mb} \cdot \sin(\omega t + \alpha_b) + V_{mc} \cdot \sin(\omega t + \alpha_c)],$$

$\Theta = -2\omega \Delta t = -\phi$, ω 는 상기 삼상 교류 신호의 주파수, Δt 는 상기 미리 설정된 시간, V_{ma} , V_{mb} , V_{mc} 는 각각 상기 삼상 교류 신호의 a, b, c상의 진폭, α_b , α_c 는 각각 상기 삼상 교류 신호 b상과 c상의 a상에 대한 위상차인 것을

특징으로 하는 삼상 교류 신호의 신호 지연 보상 방법.

청구항 8

제 5항에 있어서,

상기 신호 정부 획득 단계에서 획득한 삼상 교류 신호를 미리 설정된 주파수 별로 분리하는 신호 분리 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 삼상 교류 신호의 신호 지연 보상 방법.

청구항 9

제 5 내지 8항 중 어느 한 항의 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 전력 계통 해석 시스템, 및 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 시뮬레이션을 이용하여 전력 계통을 해석하는 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 전력 계통에 신재생 에너지원이 크게 보급되고 스마트 그리드 환경으로의 재편이 추진되면서 기존의 해석 프로그램의 기능을 넘어서는 새로운 해석틀에 대한 요구가 커지고 있다.

[0003] 그런데 전력 계통 시뮬레이션의 기본 알고리즘은 크게 변화하지 않고 있으며, 시뮬레이션을 수행하는 프로그램이나 장비의 개발은 고가의 전용 장비를 중심으로 진행되고 있다.

[0004] 이러한 상황에서, 분할 시뮬레이션은 기존의 해석틀을 사용하여 기능을 확장할 수 있는 대안이 될 수 있다. 그런데 분할 시뮬레이션에서는 분할되어 동시에 수행되는 시뮬레이션 사이의 데이터 교환이 필수로 발생하는데, 이러한 데이터 교환 시에 신호의 시간 지연이 발생하여 정확한 시뮬레이션 결과를 얻는데 어려움을 겪고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 상술한 종래의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 전력 계통의 해석을 위한 분할 시뮬레이션에서 발생하는 시간 지연을 보상할 수 있는 시스템, 및 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명에 따른 신호 지연 보상 시스템은 신호 정보 획득부, 변환 정보 산출부, 및 신호 보상부를 포함한다.

[0007] 신호 정보 획득부는 삼상 교류 신호의 정보를 획득하고, 변환 정보 산출부는 삼상 교류 신호의 정보를 이용하여 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 dq0 변환 정보를 산출하며, 신호 보상부는 dq0 변환 정보를 dq0 역변환하여 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 정보를 산출한다.

[0008] 이러한 구성으로, 전력 계통의 해석을 위한 분할 시뮬레이션에서 발생하는 시간 지연을 보상할 수 있게 된다. 또한, 별도의 하드웨어를 사용하지 않고 소프트웨어적으로도 시스템의 연산 부담을 줄일 수 있게 된다.

[0009] 변환 정보 산출부는, 삼상 교류 신호가 평형 상태인 경우, 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 dq0 변환 정보를 다음의 수학식에 의해 산출할 수 있으며,

$$u_{dq0, delay} = T_{dq0}(\theta) \cdot u_{abc, delay}$$

[0011] 여기서, $u_{dq0, delay}$ 는 상기 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 dq0 변환 정보,

$$T_{dq0}(\theta) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos(\omega t + \theta) & \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \theta) & \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \theta) \\ \sin(\omega t + \theta) & \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \theta) & \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \theta) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix},$$

$u_{abc, \text{delay}}$ 는 상기 삼상 교류 신호의 정보, $\Theta = -2\omega \Delta t$, ω 는 상기 삼상 교류 신호의 주파수, Δt 는 상기 미리 설정된 시간일 수 있다.

이와 같은 구성으로, 삼상 교류 신호가 평형 상태인 경우 더욱 간단하게 삼상 교류 신호의 시간 지연에 대한 보상을 수행할 수 있게 된다.

또한, 변환 정보 산출부는 삼상 교류 신호가 불평형 상태인 경우, 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 dq0 변환 정보를 다음의 수학적식에 의해 획득할 수 있으며,

$$u_{dq0, \text{mod}, \text{delay}} = T_{dq0, \text{mod}}(\theta) \cdot u_{abc, \text{delay}} + C_{ex}$$

여기서, $u_{dq0, \text{mod}, \text{delay}}$ 는 상기 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 dq0 변환 정보,

$$T_{dq0_mod}(\theta) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos(\omega t + \theta) & \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \theta) & \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \theta) \\ \sin(\omega t + \theta) & \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \theta) & \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \theta) \\ \frac{1}{\sqrt{2}}\cos(\theta) & \frac{1}{\sqrt{2}}\cos(\theta) & \frac{1}{\sqrt{2}}\cos(\theta) \end{pmatrix},$$

$u_{abc, \text{delay}}$ 는 상기 삼상 교류 신호의 정보,

$$C_{ex} = \begin{pmatrix} D_{ex} \\ Q_{ex} \\ Z_{ex} \end{pmatrix},$$

$$D_{ex} = -\sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sin \phi \cdot [V_{ma} \cdot \sin(\omega t) - \frac{\sqrt{3}}{2} \{V_{mb} \cdot \cos(\omega t + \alpha_b) - V_{mc} \cdot \cos(\omega t + \alpha_c)\} \\ - \frac{1}{2} \{V_{mb} \cdot \sin(\omega t + \alpha_b) + V_{mc} \cdot \sin(\omega t + \alpha_c)\}],$$

$$Q_{ex} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sin \phi \cdot [V_{ma} \cdot \cos(\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{2} \{V_{mb} \cdot \sin(\omega t + \alpha_b) - V_{mc} \cdot \sin(\omega t + \alpha_c)\} \\ - \frac{1}{2} \{V_{mb} \cdot \cos(\omega t + \alpha_b) + V_{mc} \cdot \cos(\omega t + \alpha_c)\}],$$

$$Z_{ex} = -\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sin \phi \cdot [V_{ma} \cdot \sin(\omega t) + V_{mb} \cdot \sin(\omega t + \alpha_b) + V_{mc} \cdot \sin(\omega t + \alpha_c)],$$

$\Theta = -2\omega \Delta t = -\phi$, ω 는 상기 삼상 교류 신호의 주파수, Δt 는 상기 미리 설정된 시간, V_{ma} , V_{mb} , V_{mc} 는 각각 상기 삼상 교류 신호의 a, b, c상의 진폭, α_b , α_c 는 각각 상기 삼상 교류 신호 b상과 c상의 a상에 대한 위상차일 수

있다.

[0026] 이와 같은 구성으로, 삼상 교류 신호가 평형 상태인 경우는 물론 불평형 상태인 경우에도 신호의 시간 지연에 대한 보상을 수행할 수 있게 된다.

[0027] 또한, 신호 지연 보상 시스템은 신호 정보 획득부에서 획득한 삼상 교류 신호를 미리 설정된 주파수 별로 분리하는 신호 분리부를 더 포함할 수 있다. 이러한 구성으로 인해 삼상 교류 신호가 고조파 성분을 포함하는 경우에도 신호의 시간 지연에 대한 보상을 수행할 수 있게 된다.

[0028] 아울러, 상기 시스템을 방법의 형태로 구현한 발명과 상기 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체가 개시된다.

발명의 효과

[0029] 본 발명에 의하면, 전력 계통의 해석을 위한 분할 시뮬레이션에서 발생하는 시간 지연을 보상할 수 있게 된다. 또한, 별도의 하드웨어를 사용하지 않고 소프트웨어적으로도 시스템의 연산 부담을 줄일 수 있게 된다.

[0030] 또한, 삼상 교류 신호가 평형 상태인 경우 보다 간단하게 지연 보상을 수행할 수 있게 되며, 삼상 교류 신호가 불평형 상태인 경우에도 신호의 시간 지연에 대한 보상을 수행할 수 있게 된다.

[0031] 또한, 삼상 교류 신호가 고조파 성분을 포함하는 경우에도 신호의 시간 지연에 대한 보상을 수행할 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

[0032] 도 1은 본 발명에 따른 삼상 교류 신호의 신호 지연 보상 시스템의 일 실시예의 개략적인 블록도.

도 2는 시간 지연으로 인한 효과와 보상 알고리즘 적용 후 비교 도면.

도 3은 필터를 이용한 시간 지연 고조파의 보상 방법을 도시한 도면.

도 4는 IIR 타입 피크 필터의 진폭 및 위상 특성을 도시한 도면.

도 5는 고조파를 포함한 불평형 신호에 대한 Md_{q0} 와 일반 $dq0$ 의 결과 신호를 비교한 도면.

도 6은 고조파를 포함한 불평형 신호에 대한 Md_{q0} 와 일반 $dq0$ 의 결과 오차 비교를 도시한 도면.

도 7은 본 발명에 따른 삼상 교류 신호의 신호 지연 보상 방법의 일 실시예를 실행시키기 위한 개략적인 흐름도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명한다.

[0034] 도 1은 본 발명에 따른 삼상 교류 신호의 신호 지연 보상 시스템의 일 실시예의 개략적인 블록도이다.

[0035] 도 1에서, 본 발명에 따른 삼상 교류 신호의 신호 지연 보상 시스템(100)은 신호 정보 획득부(110), 변환 정보 산출부(120), 신호 보상부(130), 및 신호 분리부(140)를 포함한다.

[0036] 이때, 신호 지연 보상 시스템(100)은 하드웨어적으로는 물론 소프트웨어적으로 구현될 수 있다.

[0037] 신호 정보 획득부(110)는 삼상 교류 신호의 정보를 획득한다. 이때, 삼상 교류 신호의 정보는 삼상 교류 신호를 정의하기 위해 필요한 모든 정보로서, 신호의 진폭, 주파수, 위상각 등을 예로 들 수 있을 것이다.

[0038] 변환 정보 산출부(120)는 획득된 삼상 교류 신호의 정보를 이용하여 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 $dq0$ 변환 정보를 산출한다. 미리 설정된 시간은 획득된 삼상 교류 시간이 지연되는 시간으로 사용자 등에 의해 시스템(100)에 미리 설정된 시간을 말한다.

[0039] 이때, 변환 정보 산출부(120)는, 삼상 교류 신호가 평형 상태인 경우 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 $dq0$ 변환 정보를 다음의 수학적식에 의해 산출할 수 있다.

[0040]
$$u_{dq0, delay} = T_{dq0}(\theta) \cdot u_{abc, delay}$$

[0041] 여기서, $u_{dq0, \text{delay}}$ 는 상기 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 dq0 변환 정보,

$$T_{dq0}(\theta) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos(\omega t + \theta) & \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \theta) & \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \theta) \\ \sin(\omega t + \theta) & \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \theta) & \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \theta) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix},$$

[0042] $u_{abc, \text{delay}}$ 는 상기 삼상 교류 신호의 정보, $\Theta = -2\omega \Delta t$, ω 는 상기 삼상 교류 신호의 주파수, Δt 는 미리 설정된 시간일 수 있다.

[0043] 이와 같은 구성으로, 삼상 교류 신호가 평형 상태인 경우 더욱 간단하게 삼상 교류 신호의 시간 지연에 대한 보상을 수행할 수 있게 된다.

[0044] 또한, 변환 정보 산출부(120)는, 삼상 교류 신호가 불평형 상태인 경우 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 dq0 변환 정보를 다음의 수학식에 의해 획득할 수 있으며,

$$u_{dq0, \text{mod}, \text{delay}} = T_{dq0, \text{mod}}(\theta) \cdot u_{abc, \text{delay}} + C_{ex}$$

[0045] 여기서, $u_{dq0, \text{mod}, \text{delay}}$ 는 상기 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 dq0 변환 정보,

$$T_{dq0, \text{mod}}(\theta) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos(\omega t + \theta) & \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \theta) & \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \theta) \\ \sin(\omega t + \theta) & \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \theta) & \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \theta) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \cos(\theta) & \frac{1}{\sqrt{2}} \cos(\theta) & \frac{1}{\sqrt{2}} \cos(\theta) \end{pmatrix},$$

[0046] $u_{abc, \text{delay}}$ 는 상기 삼상 교류 신호의 정보,

$$C_{ex} = \begin{pmatrix} D_{ex} \\ Q_{ex} \\ Z_{ex} \end{pmatrix},$$

$$D_{ex} = -\sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sin \phi \cdot [V_{ma} \cdot \sin(\omega t) - \frac{\sqrt{3}}{2} \{V_{mb} \cdot \cos(\omega t + \alpha_b) - V_{mc} \cdot \cos(\omega t + \alpha_c)\} \\ - \frac{1}{2} \{V_{mb} \cdot \sin(\omega t + \alpha_b) + V_{mc} \cdot \sin(\omega t + \alpha_c)\}],$$

$$Q_{ex} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sin \phi \cdot [V_{ma} \cdot \cos(\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{2} \{V_{mb} \cdot \sin(\omega t + \alpha_b) - V_{mc} \cdot \sin(\omega t + \alpha_c)\} \\ - \frac{1}{2} \{V_{mb} \cdot \cos(\omega t + \alpha_b) + V_{mc} \cdot \cos(\omega t + \alpha_c)\}],$$

$$Z_{ex} = -\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sin \phi \cdot [V_{ma} \cdot \sin(\omega t) + V_{mb} \cdot \sin(\omega t + \alpha_b) + V_{mc} \cdot \sin(\omega t + \alpha_c)]$$

[0047] $\Theta = -2\omega \Delta t = -\phi$, ω 는 상기 삼상 교류 신호의 주파수, Δt 는 상기 미리 설정된 시간, V_{ma} , V_{mb} , V_{mc} 는 각각 상기 삼

상 교류 신호의 a, b, c상의 진폭, a_b , a_c 는 각각 상기 삼상 교류 신호 b상과 c상의 a상에 대한 위상차일 수 있다.

[0056] 이와 같은 구성으로, 삼상 교류 신호가 평형 상태인 경우는 물론 불평형 상태인 경우에도 신호의 시간 지연에 대한 보상을 수행할 수 있게 된다.

[0057] 신호 보상부(130)는 dq0 변환 정보를 dq0 역변환하여 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 정보를 산출한다.

[0058] 이러한 구성으로, 전력 계통의 해석을 위한 분할 시뮬레이션에서 발생하는 시간 지연을 보상할 수 있게 된다. 또한, 별도의 하드웨어를 사용하지 않고 소프트웨어적으로도 시스템의 연산 부담을 줄일 수 있게 된다.

[0059] 신호 분리부(140)는 신호 정보 획득부(110)에서 획득한 삼상 교류 신호를 미리 설정된 주파수 별로 수행한다. 이러한 구성으로 인해 삼상 교류 신호가 고조파 성분을 포함하는 경우에도 신호의 시간 지연에 대한 보상을 수행할 수 있게 된다.

[0060] 상기 실시예를 보다 구체적으로 설명하자면 다음과 같다.

[0061] 전력 계통(Power system)의 dynamics를 기술하는 식(1)은 trapezoidal method를 이용하여 시간 영역(time domain)에서 적분할 수 있다. 이때, 식(2)에서 확인할 수 있듯이, 시간(time) t 즉 n에서의 계산은 t-deltaT 즉 n-1에서의 데이터를 사용한다.

$$[0062] \quad \dot{X} = AX + BU \quad (1)$$

$$[0063] \quad Y = CX + DU \quad (2)$$

$$[0064] \quad x(n) = ax(n-1) + bu(n-1) \quad (3)$$

$$[0065] \quad y(n) = cx(n) + i(n) \quad (4)$$

[0066] 그러나 위의 패럴렐 인터페이스 프로토콜(parallel interface protocol)을 사용하게 되면 x(n) 또는 u(n)의 성분 중 전달받은 데이터의 수만큼의 구성성분이 시적분 간격 두 배만큼 지연된 값을 갖게 된다. 즉,

$$[0067] \quad x(n) = ax(n-1) + v'(n-1) \quad (5)$$

$$[0068] \quad y(n) = cx(n) + i''(n) \quad (6)$$

$$[0069] \quad x'(n) = ax'(n-1) + v''(n-1) \quad (7)$$

$$[0070] \quad y'(n) = cx'(n) + i'(n) \quad (8)$$

$$[0071] \quad v'(n) = \begin{bmatrix} u_1(n) \\ \vdots \\ u_{bc}(n) \\ u_N(n) \end{bmatrix}, i'(n) = \begin{bmatrix} i_1(n) \\ \vdots \\ i_{bc}(n-2) \\ i_N(n) \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$[0072] \quad \varepsilon = y(n) - y'(n) \quad (10)$$

[0073]

[0074]

예를 들어, 바운더리 버스(boundary bus)에서의 유효전력 P1과 P2, 무효 전력 Q1과 Q2가 서로 다른 값을 가지게 될 수 있는데 일반적으로 적분 간격이 수십us이기 때문에 이로 인해 발생하는 1~2% 정도의 차이는 크게 문제가 되지 않지만 계통에 따라서는 이를 무시할 수 없는 경우가 있기 때문에 보상을 해주어야 한다.

[0075]

이러한 신호 지연이 네거티브(negative)인 경우는 간단히 지연 함수를 사용하면 되지만 포지티브(positive)인 경우는 별도의 보상 알고리즘(algorithm)을 사용하여야 한다.

[0076]

또한, 별도의 하드웨어를 사용하지 않고 소프트웨어적으로 매시간 간격(time step)마다 계산이 수행되어야 하는 환경의 경우에는 계산 부담이 최소화되어야 한다.

[0077]

본 발명에서는 dq 변환(transform)을 이용하여 시간 지연으로 인한 신호 변위(signal displacement)를 보상하는 방법을 제안한다.

[0078]

$$u_{dq0, delay} = T_{dq0}(\theta) \cdot u_{abc, delay} \quad (11)$$

[0079]

$$u_{abc, delay} = T^{-1}_{dq0} \cdot u_{dq0, delay}$$

[0080]

$$T_{dq0}(\theta) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos(\omega t + \theta) & \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \theta) & \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \theta) \\ \sin(\omega t + \theta) & \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \theta) & \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \theta) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$$

[0081]

시간 지연으로 인한 에러를 보정해주기 위한 θ 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

[0082]

$$\theta = -2w\Delta t \quad (12)$$

[0083]

도 2는 시간 지연으로 인한 효과와 보상 알고리즘 적용 후 비교 도면이다.

[0084]

도 2에서 Va_L과 Va_R은 deltaT=100us일 때 각각 분할된 시스템에서 인터페이스 버스(interface bus)의 전압을 나타낸다. 이 두 전압은 분할하지 않은 계통의 인터페이스 버스(interface bus) 전압인 Va_Ref와 같아야 하지만 그림에서 보이듯이 시간차와 더불어 크기도 차이가 나타난다.

[0085]

이는 한쪽에서 발생한 에러 즉 전압값이 다른 쪽의 전류값 계산에 사용되어 이로 인해 발생한 에러가 다시 되돌아오기 때문이다. 식(12)를 사용하여 θ 를 계산한 후 dq 변환(transform)을 적용하면 신호 변위(signal displacement)가 dq 변환(transform)시 식(12)에 의해 θ 만큼 보상되어 기준 신호인 Va_ref와 Va_L_Comp, Va_R_Comp가 일치하게 된다.

[0086]

그런데 u_{abc} 가 불평형(Unbalanced three phase) 상태라면 식 (11)의 결과는 예상과는 달라진다. 평형 상태에서 0인 제로 시퀀스(zero sequence)가 0이 아닌 값을 갖게 되면서 오차를 발생시키게 된다. dq0 변환(transform)을 이용해 불평형 지연 신호를 보상하기 위해서는 제로 시퀀스(zero sequence)에 의한 오차를 보상해야 한다.

$$u_a = V_m \cos(\omega t)$$

$$u_b = V_m \cos(\omega t + \alpha_b)$$

$$u_c = V_m \cos(\omega t + \alpha_c) \quad (13)$$

$$u_{a, delay} = V_{ma} \cos(\omega t + \phi)$$

$$u_{b, delay} = V_{mb} \cos(\omega t + \alpha_b + \phi)$$

$$u_{c, delay} = V_{mc} \cos(\omega t + \alpha_c + \phi) \quad (14)$$

식 (13)을 $\theta=0$ 으로 하고 dq0 transform 한 것과 식 (14)를 $\theta=-\phi$ 로 하여 dq0 transform 한 것이 같아야 하므로

$$u_d(0) = U_{d, delay(-\phi)} + D_{ex} \quad (16)$$

$$u_q(0) = U_{q, delay(-\phi)} + Q_{ex}$$

$$u_0(0) = U_{o, delay(-\phi)} \cos(\phi) + Z_{ex}$$

식 (15)로부터 식 (11)은 다음과 같이 정리된다.

$$u_{dq0, mod, delay} = T_{dq0, mod}(\theta) \cdot u_{abc, delay} + C_{ex}$$

$$u_{abc, comp} = T_{dq0}^{-1} u_{dq0, mod}(\theta), delay$$

$$T_{dq0_mod}(\theta) = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{pmatrix} \cos(\omega t + \theta) & \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \theta) & \cos(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \theta) \\ \sin(\omega t + \theta) & \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \theta) & \sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi + \theta) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \cos(\theta) & \frac{1}{\sqrt{2}} \cos(\theta) & \frac{1}{\sqrt{2}} \cos(\theta) \end{pmatrix}$$

$$C_{ex} = \begin{pmatrix} D_{ex} \\ Q_{ex} \\ Z_{ex} \end{pmatrix},$$

$$D_{ex} = -\sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sin \phi \cdot [V_{ma} \cdot \sin(\omega t) - \frac{\sqrt{3}}{2} \{V_{mb} \cdot \cos(\omega t + \alpha_b) - V_{mc} \cdot \cos(\omega t + \alpha_c)\} - \frac{1}{2} \{V_{mb} \cdot \sin(\omega t + \alpha_b) + V_{mc} \cdot \sin(\omega t + \alpha_c)\}]$$

$$Q_{ex} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sin \phi \cdot [V_{ma} \cdot \cos(\omega t) + \frac{\sqrt{3}}{2} \{V_{mb} \cdot \sin(\omega t + \alpha_b) - V_{mc} \cdot \sin(\omega t + \alpha_c)\}]$$

$$- \frac{1}{2} \{V_{mb} \cdot \cos(\omega t + \alpha_b) + V_{mc} \cdot \cos(\omega t + \alpha_c)\}]$$

$$Z_{ex} = -\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sin \phi \cdot [V_{ma} \cdot \sin(\omega t) + V_{mb} \cdot \sin(\omega t + \alpha_b) + V_{mc} \cdot \sin(\omega t + \alpha_c)]$$

또한, dq0 변환(transform)은 대상 신호의 주파수가 하나에 대해 적용하게 되므로 대상 신호가 주파수 성분이 다수인 고조파(Harmonics)를 포함하게 되면 정상적으로 동작하지 않는다.

신호의 주파수가 높을수록 이로 인한 오차는 두드러지게 나타난다. 본 발명에서는 도 3에서처럼 대상 신호에 선택적으로 필터를 적용하여 신호를 분리한 후 dq0 변환을 이용해 시간 지연을 보상하는 방법을 사용한다.

도 3은 필터를 이용한 시간 지연 고조파의 보상 방법을 도시한 도면이다.

도 3의 장치1에서 발생한 신호는 삼상 불평형과 고조파를 포함할 수 있다. 이 신호를 본 발명에서 제안된 신호 보상 시스템을 통하여 신호 지연이 보상되어 장치2에 입력하여 정확한 시뮬레이션을 가능하도록 한다.

고조파의 경우 일반적으로 높은 차수의 고조파는 크기가 작아 영향이 미미하므로 대역을 한정하여 쇼र्ट텀 푸리에 변환(short-term Fourier transform; STFT)를 적용해서 영향이 적은 고조파를 제외한 나머지 신호들을 추출하여 불필요한 오버헤드(overhead)를 줄인다.

STFT 적용 후 각각의 추출한 주파수에 대해 식(16)를 사용해 결정된 IIR 피크 타입(peak type) 필터를 사용하여 적용한다.

도 4는 IIR 타입 피크 필터의 진폭 및 위상 특성을 도시한 도면이다.

도 4에서, 피크 필터의 주파수에 따른 진폭(Magnitude)과 위상(Phasor) 응답이 도시되어 있다.

도 5는 고조파를 포함한 불평형 신호에 대한 Mdq0와 일반 dq0의 결과 신호를 비교한 도면이다.

도 6은 고조파를 포함한 불평형 신호에 대한 Mdq0와 일반 dq0의 결과 오차 비교를 도시한 도면이다.

도 6에서 알 수 있듯이 확장된 dq0(Modified dq0) 변환이 고조파나 불평형 상태에서 평균 57% 오차가 적기 때문에 좀 더 정확한 시간 지연 보상을 기대할 수 있다.

도 7은 본 발명에 따른 삼상 교류 신호의 신호 지연 보상 방법의 일 실시예를 실행시키기 위한 개략적인 흐름도이다.

도 7에서 먼저, 삼상 교류 신호의 정보를 획득한다(S110).

이어서, 획득한 삼상 교류 신호가 고조파 성분을 포함하는 지를 판단하여 삼상 교류 신호가 고조파 성분을 포함하는 경우, 획득한 삼상 교류 신호를 미리 설정된 주파수 별로 분리한다(S120).

다음으로, 삼상 교류 신호의 정보를 이용하여 상기 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 dq0 변환 정보를 산출한다. 이때, 삼상 교류 정보가 고조파를 포함하는 경우에는 분리된 주파수 별로 수행한다(S130).

마지막으로, 산출된 dq0 변환 정보를 dq0 역변환하여 삼상 교류 신호의 미리 설정된 시간 이전의 정보를 산출한다(S140).

전자기 과도 현상 시뮬레이션에서 전력 계통과 제어 시스템의 대부분은 미분방정식의 형태로 표현된다. 전력 계통과 제어 시스템을 표현하는 미분 방정식은 서로 다른 구조를 갖기 때문에 하나의 형태로 통합해서 해를 구할 수 없어 분리하여 해를 구하는 형태를 취하고 있다. 따라서 전체 시스템의 모의를 위해서는 두 모듈이 모의과정에서 데이터를 교환하면서 모의를 수행하는 과정이 필요하게 된다.

그런데 이를 위해서는 상대방 모듈의 데이터를 입력으로 사용하여 해를 구하는 과정을 반복하게 되므로 두 모듈

이 동시에 수행되지 못하고 순차적으로 실행되는 구조를 갖게 된다.

[0122] 따라서 두 모듈 중 한쪽은 항상 시적분 간격 하나만큼 뒤쳐진 데이터를 받아 입력으로 사용하게 된다. 이러한 시간지연으로 인해 수치적 불안정성, 진동, 부정확 등이 나타날 수 있다.

[0123] 본 발명은 새로운 시간 지연 보상 알고리즘에 관한 것으로, 특히 전력 계통의 분할 시뮬레이션 환경에서 교환되는 신호에서 발생하는 시간 지연의 보상에 적합한 알고리즘에 관한 것이다.

[0124] 본 발명에서는 불평형 상태와 고조파를 함유한 신호에도 사용할 수 있는 확장 dq0 변형을 이용하여 위상 변화의 형태로 나타나는 정현파 삼상(three phase) 신호의 시간지연을 보상하는 알고리즘 제공한다.

[0125] 본 발명은 위상 지연의 형태로 나타나는 삼상 정현파 신호의 시간 지연을 확장된 dq0 변형을 이용하여 변형한 후 위상을 조절한 후 다시 역으로 변형하여 시간영역의 신호로 만들기 때문에 삼상 시스템을 사용하는 전력 계통 시스템에서 특히 효용성이 높다. 또한, 삼상 평형 신호뿐만 아니라 삼상 불평형 신호에서 사용할 수 있고 신호에 하나 이상의 주파수 성분이 있을 경우에도 신호의 시간 지연을 보상할 수 있다.

[0126] 본 발명이 비록 일부 바람직한 실시예에 의해 설명되었지만, 본 발명의 범위는 이에 의해 제한되어서는 아니 되고, 특허청구범위에 의해 뒷받침되는 상기 실시예의 변형이나 개량에도 미쳐야 할 것이다.

부호의 설명

[0127] 100: 삼상 교류 신호의 신호 지연 보상 시스템.

110: 신호 정보 획득부

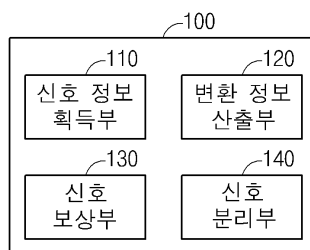
120: 변환 정보 산출부

130: 신호 보상부

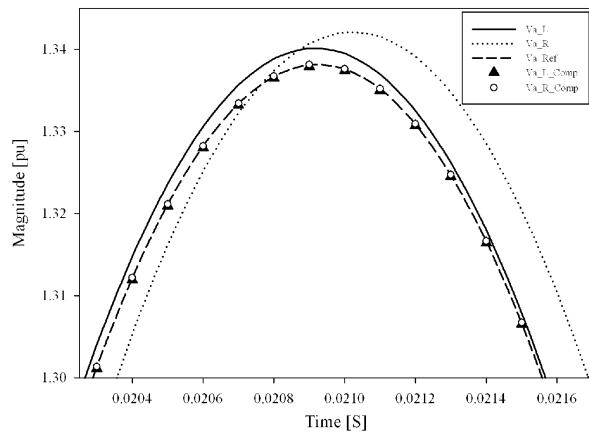
140: 신호 분리부

도면

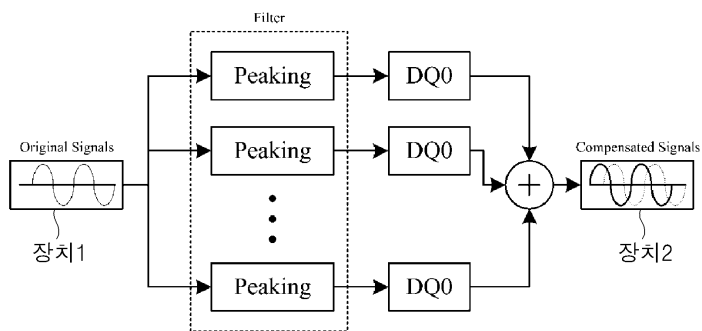
도면1



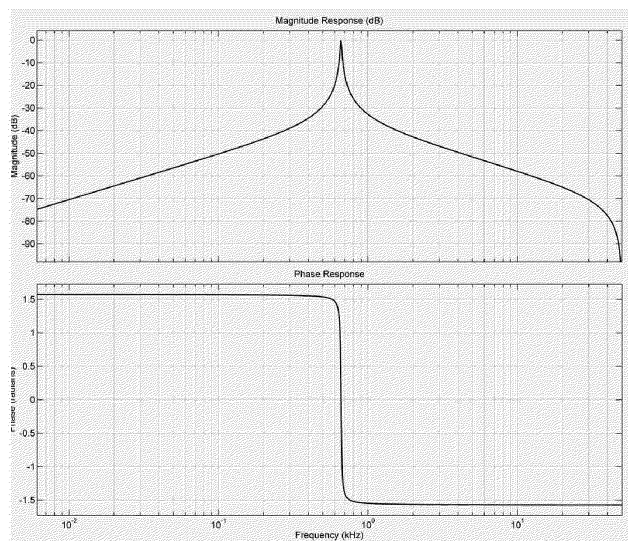
도면2



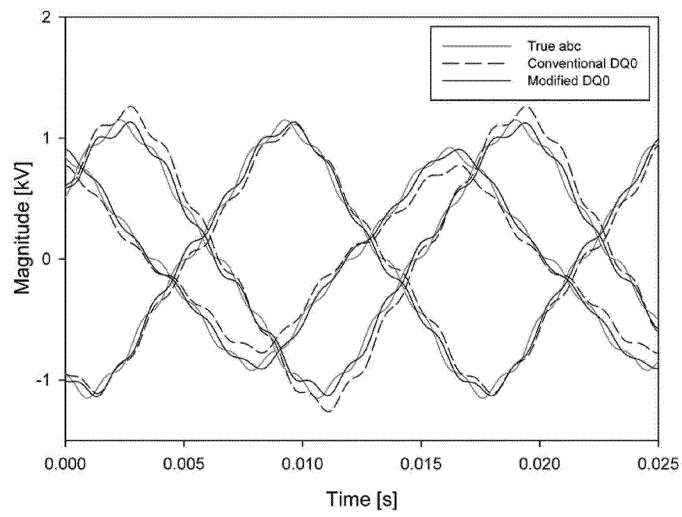
도면3



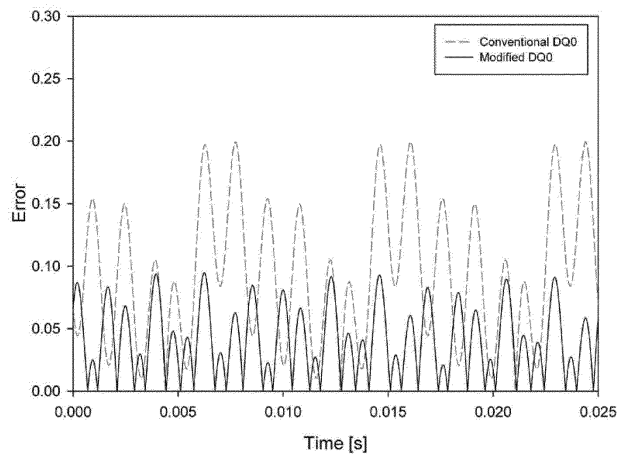
도면4



도면5



도면6



도면7

