

http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.4.189

JIWIT 2012-4-24

능동 데이터베이스 기반 무효전력 보상장치 감시제어 시스템

A Reactive Power Compensation Monitoring System for Factory Electrical Installation Using Active Database

최상열*

Sang-Yule Choi

요 약 수배전 무효전력 보상 감시 제어시스템은 수배전단에 설치된 유도 모터, 또는 아크 용접기 등과 같은 유도성 부하에서 발생하는 지상무효전력을 보상하고 역률의 개선, 전압 강하의 경감, 전력손실을 감소 시켜줌으로써 전력 설비 계통을 경제적이고 안정적으로 운영하도록 도와준다. 그리고 이러한 시스템은 중앙전력감시만이 획득한 수변전 설비의 운전상태 및 계측 Data를 근거로 역률 및 위상각을 분석하여 기준 위상각이상으로 전압과 전류의 위상차가 발생 되었을 경우, 무효전력 보상장치의 ON/OFF제어를 수행하여 효율적인 계통관리가 가능하도록 한다. 본 연구에서는 능동데이터베이스를 이용하여 무효전력 보상장치 감시제어 시스템을 구현하는 방안을 제시함으로써, 공장 부하의 지상무효전력이 급격한 증가로 인한 역률 저하, 전압 강하, 손실 발생 등의 징후 발생 시 이에 대한 대처를 사용자(operator)의 개입 없이 데이터베이스 스스로 수행하도록 함으로써 인위에 의한 실수를 최소화 하도록 하였다.

Abstract The main purpose of reactive power compensation monitoring system is to manage factory electrical installation efficiently by On-Off switching reactive power compensation equipment. The existing reactive power compensation monitoring system is only able to be managed by operator whenever electrical installation needed reactive power. Therefore, it may be possible for propagating the installation's faults when operator make the unexpected mistakes. To overcome the unexpected mistakes, in this paper, the author presents a reactive power compensation monitoring system for factory electrical installation using active database. by using active database production rule, stated system can minimize unexpected mistake and can operate centralized monitoring system efficiently. Test results on the five factory electrical installations show that performance is efficient and robust.

Key Words : Reactive power compensation, Monitoring system, Active database, Production Rule

1. 서 론

수배전 무효전력 보상 감시 제어시스템은 수배전단에 설치된 유도 모터, 또는 아크 용접기 등과 같은 유도성 부하에서 발생하는 지상무효전력을 보상하고 역률의 개

선, 전압 강하의 경감, 전력손실을 감소 시켜줌으로써 전력 설비 계통을 경제적이고 안정적으로 운영하도록 도와 준다. 그리고 이러한 시스템은 획득한 수변전설비의 운전상태 및 계측 Data를 근거로 역률 및 위상각을 분석하여 기준 위상각이상으로 전압과 전류의 위상차가 발생

*정회원, 인덕대학교 메카트로닉스학과
접수일자 : 2012년 6월 5일, 수정완료 : 2012년 6월 23일
게재확정일자 : 2012년 8월 10일

Received: 5 June 2012 / Revised: 23 June 2012 /

Accepted: 10 August 2012

*Corresponding Author: ppk99@induk.ac.kr

Dept. of Mecatronics Engineering, Induk Institute of Tecnology, Korea

되었을 경우, 무효전력 보상장치의 ON/OFF제어를 수행한다. 이와 관련된 국내에서의 연구는 비츠로 시스, LS산전 등이 오래전부터 관련 연구를 수행하여 왔으며, 국외에서는 도시바, 미쓰비시, 지멘스, 엘스팩등이 역률보상과 고조파제거, 손실감소의 기능을 갖는 무효전력 보상을 상용화하였다.

국내·외의 주된 연구는 하드웨어적인 계측 분야에 관한 연구는 많은 성과를 이루었으나, 무효전력 감시시스템이 수·배전 부하로부터 계측하여 획득한 데이터를 효율적으로 저장 관리하고 이용하기 위한 데이터베이스 적용 분야에 대한 연구는 상대적으로 미흡한 실정이다.

본 논문과 관련하여 현재까지 전력계통의 데이터베이스 구축에 관한 연구 동향은 데이터베이스의 데이터 탐색효율을 향상시키는 방법^[1], 데이터베이스 효율적 구축 방안^[2,3] 등이 제시되었다. 그러나^[1-3]과 같이 적용된 데이터베이스는 수동적인 구조를 갖는 데이터베이스로, 데이터베이스상의 무결성 위반이나, 예상치 않은 사고 발생 시 이를 해결하기 위해 서 시스템을 중단 시키고 사용자의 개입이 필요한 방식이다. 따라서 이와 같은 방식을 무효전력 감시시스템에 적용할 경우 예상치 않은 수배전 설비의 전력이 급격한 증가로 인한 역률 저하, 전압 강하, 손실 발생 등의 징후 발생 시

이에 대한 대처가 사용자의 작동에 의해서 수행되게 되어 숙련된 사용자에도 많은 부담으로 작용 할 뿐만 아니라 예상치 않은 인위에 의한 실수로 인한 오동작 발생 또는 사고 파급의 우려가 있다. 이에 반하여 능동형 데이터베이스는 사용자의 개입 없이 가동적인 상태에서 무결성 제약조건 방지 및 사고에 대한 대처를 데이터베이스 스스로 해결할 수 있으며, 이에 따라 이러한 능동형 특징을 이용한 배전자동화 시스템 구현에 관한 연구가 시도되었다.^[4,5] 또한 최근에는 능동형 데이터베이스를 적용한 중앙전력감시시스템에 대한 연구가 수행되었다.^[6]

본 논문에서는 능동데이터베이스를 이용하여 무효전력 보상장치 감시제어 시스템을 구현하는 방안을 제시함으로써, 수배전 부하의 무효 전력을 안정적으로 감시 제어 하는 방안을 제시하고자 한다. 제시 되는 시스템은 공장 부하의 지상무효전력이 급격한 증가로 인한 역률 저하, 전압 강하, 손실 발생 등의 징후 발생 시 이에 대한 대처를 사용자(operator)의 개입 없이 사전에 정의된 능동 규칙을 이용, 데이터베이스 스스로 수행하도록 함으로써 인위에 의한 실수를 최소화 하는 것이 가능하다.

본 논문의 유용성을 입증하기 위해 네 가지의 부하 군 또는 분기 간선으로 구분 후, 각 부하단의 입력부에 무효전력 보상을 위한 커패시터 뱅크를 병렬로 연계된 부하를 모델링하여 제시된 시스템에 적용하였다.

II. 능동 데이터베이스 기반 무효전력 보상장치 감시제어 시스템

1. 데이터베이스 입력 신호 연산 알고리즘

원격지에서 수집된 전력신호 데이터 정보파일 또는 PSCAD/EMTDC로 시뮬레이션된 전력신호 데이터파일을 능동형 데이터베이스의 지정된 경로로부터 해당 데이터파일을 읽어 들인다. 프로그램으로 입력된 데이터 파일은 표본화된 취득시간 정보, 상별 전압신호와 전류신호들로 구분되어 각 신호처리블럭을 통하여 계산되며, 이러한 계산 값을 능동 규칙의 event로 모델링 하고 condition에서 정의된 조건과 비교하여 조건이 만족하는 경우 Action에서 정의된 무효전력을 보상하기 위한 커패시터 제어를 수행한다.

전력계측 프로그램에서 측정되는 전력신호의 특성 값들은 아래의 수식들을 통하여 전력 특성 값으로 계산되며, 그 연산식은 각각 다음과 같은 수식으로 연산하도록 프로그램 하였다.

주기 신호 $z(t)$ 의 2π 주기 동안의 실효값(RMS Value)은 식(1)과 같이 계산 할 수 있다.

$$Z_s = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} z^2(t) dt} \quad (1)$$

식(2)을 이산 신호의 계산식으로 연산할 경우 샘플링된 신호 z_k 는 식(2)로 이산 신호의 실효값을 계산할 수 있다.

$$Z_s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{r=0}^{N-1} z_{k-r}^2} \quad (2)$$

샘플링된 신호 z_k 의 첨두(peak) 값(z_p : instantaneous)은 식(3)으로 계산된다.

$$Z_p = \text{Maximum of } |Z_{k-r}|'_{r=0}^{N-1} \quad (3)$$

식(3)에서 $z_{-1}, z_{-2}, \dots, z_{-(N-1)} = 0$, N은 기본 주파수 성분의 한 주기에 대한 샘플링 수이다.

유효전력, 무효전력 계산식은 다음과 같다.

선로상의 전압과 전류가 θ 의 상차를 가지고 있는 경우 전류를 전압과 동상인 성분 $I\cos\theta$ 와 90도 상차를 갖는 성분 $I\sin\theta$ 로 나누어 계산하면 전자는 평균전력 $VI\cos\theta$ 를 전적으로 담당하는 반면, 후자는 평균전력에 전혀 기여하지 못하는 것을 알 수 있다.

$I\cos\theta$ 를 유효전류(active current), $I\sin\theta$ 를 무효전류(reactive current)라고 하며, $VI\cos\theta$, $VI\sin\theta$ 를 각각 식(16), (17)와 같이 유효전력(active power), 무효전력(reactive power)으로 계산된다[9].

$$\text{유효전력} : P = VI\cos\theta \text{ [W]} \quad (4)$$

$$\text{무효전력} : Q = VI\sin\theta \text{ [var]} \quad (5)$$

역률(Power Factor) 연산은 피상전력에 대한 유효전력의 비로서 표시된다. 먼저 피상전력은 실효치 전압과 실효치 전류의 곱으로 표시되므로 식 (6)과 같이 표시된다.

$$P = E \times I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T e(t)^2 dt} \cdot \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i(t)^2 dt} \\ = \frac{1}{T} \sqrt{\int_0^T e(t)^2 dt \cdot \int_0^T i(t)^2 dt} \quad (6)$$

따라서 역률은 식 (7)과 같이 표시할 수 있다.

$$PF = \cos\theta = \frac{P_r}{P} = \frac{\int_0^T e(t)i(t)dt}{\sqrt{\int_0^T e(t)^2 dt \cdot \int_0^T i(t)^2 dt}} \quad (7)$$

무효전력을 보상하기 위하여 구성된 계통도는 크게 네 가지의 부하 군 또는 분기 간선으로 구분하여 각 부하단의 입력부에 무효전력 보상을 위한 커패시터 뱅크를 병렬로 연계하여 인덕턴스 부하 또는 부하의 변동으로 인하여 발생하는 지상전류성분과 무효전력의 증가를 측정할 수 있도록 하였다. 또한 실시간 전력신호를 3상의 각 위상별(A상, B상, C상) 전류와 전압성분을 하나의 그래프로 나타냄으로서 위상의 변화를 사용자가 확인할 수

있도록 하였다.

2. 능동 데이터베이스 구축을 위한 데이터 요구분석

무효전력 감시 제어 시스템 구축을 위해 요구되는 데이터베이스 테이블 및 속성은 다음과 같다.

○ 부하

부하번호, 커패시터번호, 저항, 인덕턴스, 유효전력, 무효전력, 위상각, 고장 상태 (고장 : 1, 정상 : 0),

○ 시스템 정보

식별번호, 부하 번호, 데이터 계측 경로, 업데이트 설정 시간, 사용자 설정, Alarm, 기준 위상각, 기준 주파수, 기준 전압, Trigger_phase_angle, 과도현상, 전류 위상각

○ 커패시터

커패시터 번호, 투입여부(투입 : 1, 개방 : 0), 커패시터 용량, 상태 (고장 : 1, 정상 : 0)

○ 전압

부하 번호, 전압 id(A상 : 1, B상 : 2, C상 : 3), 전압 RMS value, 전압 주파수, 전압 위상각

○ 전류

부하 번호, 전류 id(A상 : 1, B상 : 2, C상 : 3), 전류 RMS value, 전류 주파수, 전류 위상각

3. 능동 규칙

무효전력 감시 제어시스템과 연결된 부하들 간의 통신으로 각 부하의 전압, 전류 값이 감시제어시스템의 데이터베이스로 갱신되면, 감시제어시스템은 전압, 전류 표본화 신호를 이용하여 실효값과 위상각을 계산하고, 계산된 위상각을 이용하여 유효전력과 무효전력을 계산한다. 그리고 주파수는 신호의 위상을 추정하는 DFT(Discret Fourier Algorithm)알고리즘을 이용하여 계산한다.

본 연구에서는 제시되는 무효 전력 감시 제어를 위한 능동 규칙은 다음과 같다.

Rule 1) 갱신된 부하 전압이 기준 전압 대비 10% 감소

가 이루어진 경우 무효지상 전력이 증가한 것으로 판별하여 커패시터를 투입한다.

R1:

Event: update to 전압. RMS value

Condition : 전압. RMS value * 0.9=<시스템정보. 기준전압

Action : update to 커패시터. 투입여부 =1

Rule 2) 갱신된 부하 전압 주파수가 Trigger_phase_angle 대비 5%이하일 경우 무효지상 전력이 증가한 것으로 판별하여 커패시터를 투입한다.

R2 :

Event: update to 전압. 전압주파수

Condition : 전압.전압주파수*0.95=<시스템정보. Trigger_phase_angle

Action : update to 커패시터. 투입여부 =1

Rule 3) 갱신된 부하 전류 위상각이 기준 대비10~20% 경우 과도현상이 발생된 것으로 판별한다.

R3 :

Event: update to 전류.위상각

Condition : 시스템정보.기준위상각*1.1=<전류.위상각 < 시스템정보. 기준위상각*1.2

Action : update to 시스템정보. 과도현상=1 && 시스템정보. Alram = 과도 현상

Rule 4) 갱신된 부하 전압이 기준 전압 대비 10% 이내에 존재하는 경우 커패시터를 개방한다.

R4 :

Event: update to 전압. RMS value

Condition : 시스템정보.기준전압*0.9 <전압. RMS value =<시스템정보. 기준전압*1.1

Action : update to 커패시터. 투입여부 =0

Rule 5) 갱신된 부하 전압 주파수가 Trigger_phase_angle 대비 5%이내에 존재할 경우 이하일 경우 커패시터를 개방한다.

R5 :

Event: update to 전압. 전압주파수

Condition: 시스템정보.Trigger_phase_angle*0.95 < 전압.전압주파수 =< 시스템 정보.

Trigger_phase_angle*1.5

Action : update to 커패시터. 투입여부 =0

Rule 6) 갱신된 부하 전류 위상각이 기준 전류 위상각을 20%초과 하는 경우 고장이 발생된 것으로 판별한다.

R6 :

Event: update to 전류. 위상각

Condition : 시스템정보.전류 위상각*1.2 <전류.전류 위상각

Action : update to 부하. 고장상태=1 && 시스템정보. Alram = 고장 유형

III. 사례연구 및 구현

다음의 그림 1은 본 과제를 통하여 개발된 “능동 데이터베이스기반 무효전력 보상장치 감시제어 시스템” 프로그램의 동작코드인 블록다이어그램을 나타낸 것이다.

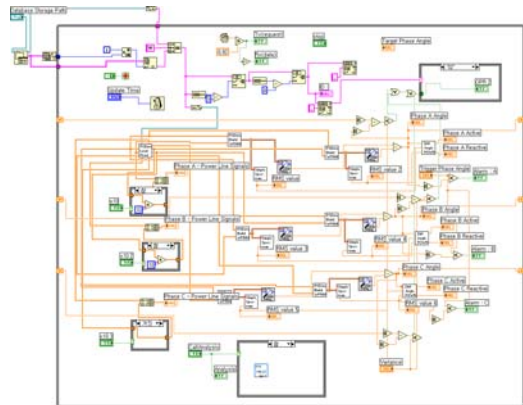


그림 1. 무효전력 보상장치 감시제어 시스템 Block Diagram

Fig. 1. Labview block diagram for reactive power compensation monitoring system

개발된 프로그램은 National Instrument사의 윈도우즈 GUI 환경 프로그래밍 언어인 LabVIEW 8.2로 개발되었다.

본 프로그램은 원격지에서 수집된 전력신호 데이터 정보파일 또는 PSCAD/EMTDC로 시뮬레이션된 전력신호 데이터파일을 능동형 데이터베이스의 지정된 경로로

부터 해당 데이터파일을 읽어 들인다. 프로그램으로 입력된 데이터 파일은 표본화된 취득시간 정보, 상별 전압 신호와 전류신호들로 구분되어 각 신호처리블럭을 통하여 계산되며, 사용자가 지정한 설정값과 비교하여 무효전력을 보상하기 위한 커패시터 제어를 지시한다.

위와 같은 주요 기능을 갖는 프로그램의 블록 다이어그램을 이용하여 최종적으로 구성된 초기 MMI 화면은 그림 2와 같다.

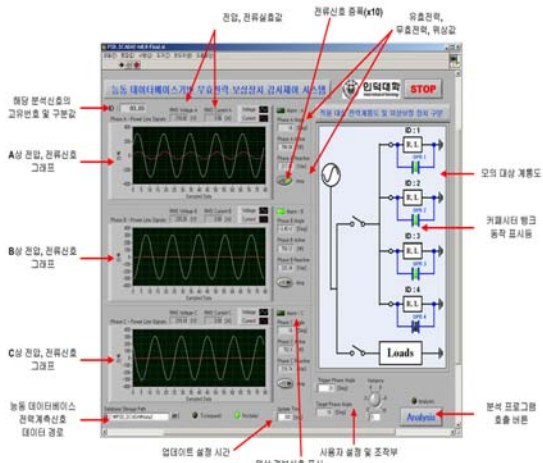


그림 2. 무효전력 보상 감시제어 시스템 중앙 패널 MMI
Fig. 2. MMI for reactive power compensation monitoring system

위의 그림 2에서 개발된 시스템은 공장내의 부하로부터 전압 전류 데이터를 수집하여 수집된 데이터를 기반으로 구동 되어야한다. 그러나 본 연구에서는 실 계통 데이터의 수집이 어려운 관계로 PSCAD/EMTDC 모의 데이터를 이용하였다.

PSCAD/EMTDC로 모의된 전력신호는 표본화된 값을 이산신호 계산식을 통하여 전압신호와 전류신호의 위상 그리고 무효전력과 유효전력을 각 상별로 구분하여 나타내었다. 또한 위상신호의 변화에 따른 커패시터의 투입을 투입위상각(Trigger Phase Angle)이라는 변수로 운전자가 제어할 수 있도록 하였으며, 현재 동작하고 있는 또는 투입되어 있는 커패시터의 동작은 LED 표시창을 통하여 동작 유·무를 나타낸다.

실행된 프로그램은 현재 분석중인 부하(분기선로)의 고유번호를 표시하며, 각 상별 전압, 전류신호를 세가지의 그래프로 구분하여 나타낸다. 전류신호가 상대적으로

전압신호에 비하여 작을 경우를 대비하여 화면상의 전류신호의 배율을 10배 증가시키기 위한 전류신호 증폭기능을 포함한다. 본 기능은 화면에 표시되는 신호의 크기만 증가시킨다. 또한 각 상별로 수집된 전압, 전류신호의 위상, 무효전력, 유효전력을 연산하여 각 창으로 나타낸다. 만일 위상의 편차나 무효전력이 증가할 경우 모의 대상 계통도의 커패시터 뱅크 다이어그램의 LED 표시등을 통하여 현재 커패시터의 기동 유·무를 표시한다. 또한, 우측하단에는 사용자가 커패시터와 위상보정 그리고 무효전력보상을 위한 설정값을 제어할 수 있도록 사용자 인터페이스를 마련하였다.

IV. 결론

본 연구에서는 능동 데이터베이스 기반 무효전력 보상장치 감시제어 시스템을 제안하고 구현하였다.본 시스템을 구축하기 위해, 요구되는 데이터와 기능들을 분석하여 데이터테이블 및 속성을 정의 하였고, 그 후 각 속성을 기초로 하는 전압 및 위상각 변화에 따른 무효전력 보상장치 투입 및 개방 능동 규칙을 모델링하여 제시하였다. 공장 부하의 지상무효전력이 급격한 증가로 인한 역률 저하, 전압 강하, 손실 발생 등의 징후 발생 시 이에 대한 대처를 사용자(operator)의 개입 없이 데이터베이스 스스로 수행하도록 함으로써 인위에 의한 실수를 최소화하도록 하였다. 본 시스템은 공장내의 다양한 부하들의 부하 변화에 따른 무효 전력 변화를 실시간으로 대응 할 수 있게 도와 줌으로써 기존의 시스템 보다 안정적인 공장 부하 운영이 가능하도록 도와 줄 것으로 사료된다.

참고 문헌

[1] S. H Kim, B. Y. Choi, Y. H. Moon, "An Expert System for Fault Restoration Using Tree Search Strategies in Distribution System", Trans. KIEE. Vol. 43, No. 3, MAR. 1994
[2] Y, T, Ahn et al " A Development of Power Transmission Protection Database for Korea Electric Power Company", Trans. KIEE. Vol. 48A, NO. 7, July, 1999.

- [3] S. Y. Choi, J. Y. Kim, M. C. Shin, E. M. Kim, and H. M. Kim, "Object-Oriented Application to EMS Database Design", International Conference on Electrical Engineering(ICEE), KyungJu, Vol. 2, pp. 353 - 356, 1998.
- [4] H. N. Park, U. M. Kim, J. P. Yoon, "Active Management for Distribution Automation Systems Using an Object-oriented Model", Trans. KIEE. Vol. 47, No. 11, NOV. 1998
- [5] S. Y. Choi "An Feeder Automation System Using Active Database", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Engineers Vol. 17, No.5. pp.94 -102 Sep. 2003
- [6]. S. Y. Choi, H. M. Moon, J. J. Lee "A Centralized Monitoring System for Factory Electrical Installation Using Active Database", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Engineers Vol. 24, No.6. pp.115 -122 June. 2010
- [7]. I. Jeon, S. kang, H. yang, "Development of Security Quality Evaluate Basis and Measurement of Intrusion Prevention System."Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. V.11, No. 4, April 2010.
- [8] D.K. Lee, J. H. Kwon. " Social Search Algorithm considering Recent interests of User". Journal of Korean Institute of Information Technology. Vol. 9 Issue 4, pp.187-194, Apr 2011.

저자 소개

최 상 열(정회원)



- 1996: 성균관대학교 전기공학과(공학사)
- 1998: 성균관대학교 전기공학과(공학석사)
- 2002: 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 (공학석사)
- 2002~ 2004: 안양대학교 디지털미디어학부 전임강사
- 2004~ 현재: 인덕대학교 메카트로닉스학과 조교수