
전력선 통신 기술을 활용한 변압기 및 전력선로 추적 방법 개발에 관한 연구

변희정* · 최상준** · 손수국*

*수원대학교, **주)에디테크

Study about Power Transformer and Lines Tracing Method based on Power Line Communication Technology

Hee-Jung Byun* · Sang-jun Choi** · Sugoog Shon*

*University of Suwon, **Editech Ltd.

E-mail : sshon@suwon.ac.kr

요 약

도시에서 배전선로는 지중과 가공 선로의 구성, 연가, 건물과 나무로 인한 시야 방해로 추적하기가 어렵다. 이러한 3상 4선식 배전계통에서 특정 수용가가 어떤 변압기 또는 어떤 배전선로로부터 공급되는지를 결정하는 것이 현장의 전기 기술자에게 어려운 문제다. 배전선로의 부하 평형등을 위해 선로의 정확한 추적기술이 필요하다. 본 논문에서는 소전력 고주파 신호를 사용하는 전력선 통신을 활용한 식별 방법을 제안한다. 배전선로에 고주파 전력 신호를 주입하여 분석 한 결과 고주파 신호는 배전선 및 변압기에서 전달을 억제하게 된다. 이러한 제안된 전송제한 방법을 사용하여 변압기도 식별하고 배전선로도 식별하고자 한다. 배전계통에서 전력선 통신 신호의 전달 특성을 분석하기 위한 변압기, 3상 선로, 부하 등에 대한 시뮬레이션 해석 모델을 기술한다. 그리고 시스템은 전력선 통신 모듈을 바탕으로 송수신기로 구성된다. 이론적 개념을 검증하기 위해서 일반 상업용 건물에서 실험이 행하여진다. 또한 MATLAB 시뮬링크를 사용하여 개념에 대한 이해를 위한 시뮬레이션이 수행된다.

ABSTRACT

In city, tracing of power transmission lines is difficult due to compound installation of overhead and underground lines, transposition, bad view caused by trees or big buildings. It is hard problem for electrical technician on site to trace power transformers or power lines to serve customers in 3 phase -4 wires power distribution systems. It is necessary that the correct and fast tracing method is required for load balancing among distribution lines. Old technology use to trace lines with high power impulse injection. Our proposed method uses to trace lines with very small power high frequency signal injection. Simulation models for 3-phase power transformers, 3-phase wire lines, and customer loads are described to investigate the transmission characteristics of high frequency power line carrier. Distribution lines have only a limited ability to carry higher frequencies. Typically power transformers in the distribution system prevent propagating the higher frequency carrier signal. The proposed method uses the limited propagation ability to identify the power transformer to serve customers. The system consists of a transmitter and a receiver with power-line communication module. Some experiments are conducted to verify the theoretical concepts in a big commercial building. Also some simulations are done to help and understand the concepts by using MATLAB Simulink simulator.

키워드

MATLAB Simulink, Power transformer, Tracing, Power-line communication, Distribution lines

I. 서 론

현장의 전기 기술자는 특정의 수용가가 어떤

선로를 통하여 어떤 변압기에 연결되어서 전력이 공급되는지를 결정하기 위해 전기적 구성정보를 정확히 이해할 필요가 있다. 전기적 절대상과 케

이블에 대한 실수 없는 식별은 안전 관련 및 배전선로의 부하 불평등 등의 임무에 매우 중요한 사안이다. 잘못된 결정은 운전자에게 매우 심각한 결론을 야기하며, 연결된 고객에게도 정전을 야기하기도 한다. 특히 저압 계통에서의 연결 정보는 정확한 배전 계통 관리를 위해 매우 중요하다.

전형적인 배전계통에서는 다수의 승압 또는 감압 변압기를 사용하여 고객에게 3상 전력을 공급하고 있다. 기술적으로 동일한 배전 선로 조건을 유지하기 위해 연가를 하며, 그 외에 지중화가 되어 있다. 배전계통에서는 부하 평형을 위해 3상 배전선로의 개별 상에서의 부하가 동일할 것을 요구한다. 하지만, 시간이 경과함에 따라 고객이 추가 또는 이주하게 되고, 개별 상 선로에서 부하 변동이 일어나서 3상 선로 간에 불평등이 발생한다.

3상 4선식 다중접지 형식의 배전계통에서 수용가가 어떤 변압기 그리고 변압기의 어떤 상에 연결되어 있는지를 정확히 결정하는 방법이 필요하다. 부하의 불평형은 전력손실, 과전압 조정에 따른 설비 손실, 또는 사용 수명의 감소를 야기하는 문제가 있다. 고객에게 공급되는 전기 공급 품질과 경제적 손실 같은 관리상의 어려움을 야기한다. 그래서 현장의 기술자는 수용가가 배전선 변압기의 A, B, 또는 C 어떤 절대 위상과 어떤 변압기에 연결되었는지를 현장에서 알 수 있어야 한다.

배전선로는 전신주의 변압기를 통해 다수의 분기 회로로 갈라진다[1]. 보통 변전소에서는 개별 케이블에 대한 절대상 값이 알려져 있으나, 배전선로의 말단으로 이동 할수록 개별 선로의 변압기 연결 상태와 절대상 값을 결정하는 것이 어려워진다. 대부분의 절대상을 측정하는 시스템은 변전소의 알려진 위상 값과 현장에서의 미지의 위상 값을 비교하는 방법을 사용하고 있다 [2][3][4][5][6].

위상 식별에 추가적으로 변압기 식별이 중요한 이슈이다. 이 논문에서는 전력선 통신 기술을 이용한 변압기를 식별하고 선로의 상을 식별 할 수 있는 방법을 제시한다. 주상 변압기와 배전선로의 고주파의 반송파 신호에 대한 전송역제 현상을 이용한다. 본 논문에서는 변압기와 케이블 식별 시스템이 설계되고 구현된다. 시스템에는 전력선 통신 모듈을 갖는 서버와 클라이언트로 구성된다. 이론적 개념을 증명하기 위해 실험도 이루어진다. 그리고 MATLAB의 Simulink를 사용하여 제안된 시스템을 이해하기 위한 시뮬레이션을 진행한다.

II. 제안된 변압기와 케이블 식별 시스템

올바른 저전압 연결 데이터에 대한 정보는 변압기 부하 평형, 고장, 유지관리, 및 변전계획 등과 같은 공급품질을 보증하기 위해 매우 중요하다. 이를 위해 올바른 변압기 식별 및 케이블 식

별이 필요하다. 변압기 식별이란 주변의 다수 변압기로 부터 하나의 정확한 변압기를 식별하는 것을 의미한다. 그림 1에서처럼 빌딩으로 둘러싸인 시내에서 많은 변압기와 배전선로를 갖는 경우를 생각하자. 전기 기술자는 많은 장애물 때문에 어떤 수용가가 어떤 변압기와 배전선로를 통하여 연결되어 있는지 구분하기 어렵다.

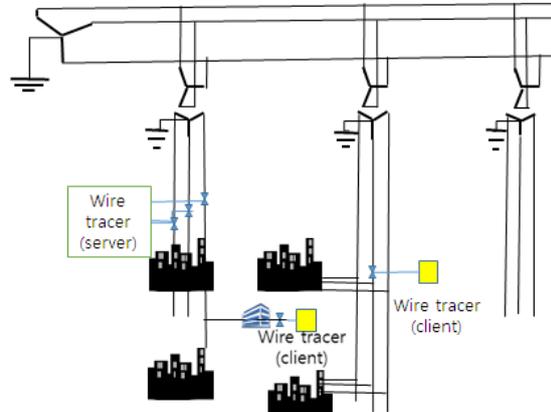


그림 1. 변압기와 케이블 식별 요구 상황

현장에서 변압기와 케이블을 식별하기 위해서는 선로를 따라 걸어가면서 탐색한다면 결국에는 어떤 변압기와 선로를 통하여 연결되었는지를 알 수는 있을 것이다. 이 논문에서는 기술적으로 쉽게 찾는 방법을 제시한다.

기존의 케이블 식별시스템은 전류 임펄스 발생기와 수신기로 구성된다. 펄스 발생기는 특별한 형식의 펄스를 생성하며 케이블을 따라 전송하게 된다. 그리고 수신기는 클램프로 연결하여 식별 신호를 분리하여 인식하게 된다. 송신된 임펄스 신호는 케이블 주변에 정의된 극성의 전자기장을 유도하게 된다. 수신기의 결합장치를 통해 동기화 수신을 달성하고 케이블을 식별하게 된다. 케이블에서의 신호 극성과 다른 케이블에서의 신호극성이 다른 형상을 이용한다[7]. 다른 방법으로 직접적 신호를 송신기에 주입하고, 수신기에서 인폭-시간-위상에 의해 분석하는 방식이다 [8]. 또 다른 방법으로 중앙장치와 선로 장치 간에 부호화된 메시지를 전송하는 방법이다[9].

전력선 통신 기술이 가정 자동화부터 인터넷 접속까지 다양한 영역에서 활용되고 있다. 최근에는 전력선 통신이 고급 검침 시스템(AMR)에서도 활용되고 있다. 전력선 통신 기술을 이용하여 수용가에 연결된 변압기를 식별하는 시스템이 최근 연구되어 왔다. 임의의 수용가에 연결된 단상 변압기를 식별 할 수는 있으나 3상 변압기 간의 식별은 가능하지 않았다[10][11].

보통의 변압기에서는 고주파의 신호가 1차와 2차 권선 비에 의해 크게 감소된다. 본 논문에서 제안된 시스템에서는 배전 선로와 변압기에 대한 식별도 가능하다. 제안 시스템은 그림 2처럼 서버와 클라이언트로 구성된다. 이전의 논문에서는 서

버가 비동기화되어 개별적으로 동작하는 구조에서 개별적 응답에 의한 변압기 구분이 가능했다 [13]. 본 논문에서 제안한 방식은 개별 서버가 하나의 장치로 구현되며 서버들간에 동기화되어 상호간의 응답시간 측정이 가능하다.

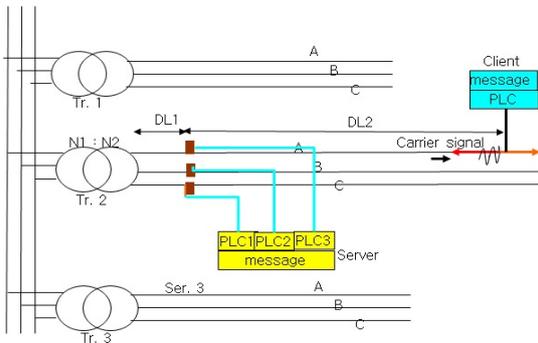


그림 2. 변압기 식별시스템 원리

클라이언트 또는 서버에 의해 주입된 반송파 신호가 변압기 2의 1차 측을 건너지 못한다. 변압기 2에서 전송된 신호가 다른 변압기 1 또는 변압기 3에서 검출되지 않는다. 변압기 2에 연결된 서버에서는 A, B, 또는 C 개별 상을 구분하는 메시지가 개별 선로를 통하여 전달된다. 클라이언트는 대기 상태에서 입력되는 신호를 수신하게 된다.

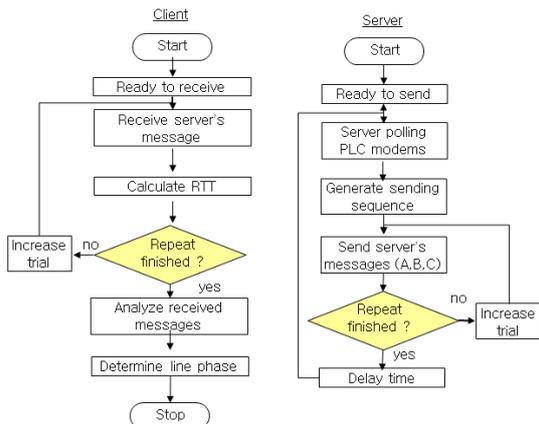


그림 3. 클라이언트/서버 메시지 송수신 절차도

그림 3은 클라이언트와 서버 간의 메시지 송수신 흐름을 보여준다. 서버에 연결된 클라이언트만이 메시지를 수신하게 되어 어떤 서버 또는 어떤 변압기에서 신호가 오는지를 식별할 수 있다. 다음 케이블의 구분은 서버의 송신 신호 순서를 해석하고 메시지의 전달시간을 계산하여 케이블 식별이 가능하다. 서버는 메시지를 A, B, C 상 순차적으로 전송하고, 메시지에는 개별 상과의 동기화와 RTT 계산을 위한 타임마크를 사용한다. 여기서는 가장 작은 RTT 값을 나타내는 선로가 서버의 상 B가 된다. RTT는 서버에서 전송된 메시지가 클라이언트에 도달하는데 필요한 전체시간이다.

$$RTT=(2 \times DL1+ DL2) / Vp$$

III. 배전선로 Simulink 모델

변압기와 케이블 식별 기술을 올바르게 적용하기 위해 배전선로에 대한 전력선 통신 특성을 이해할 필요가 있다. 3상 배전선로에 분기선과 차단기, 변압기 변전소 등 많은 요소를 포함하고 있지만 단상의 럼프 부하 모형과 상간 균등 선로 모형을 사용하여 그림4와 같은 3상 4선식 배전선로로 간단히 모델링 할 수 있다. 위상 천이 분석에 대한 해석이 Kirchhoff 전압 법칙을 통하여 가능하다.

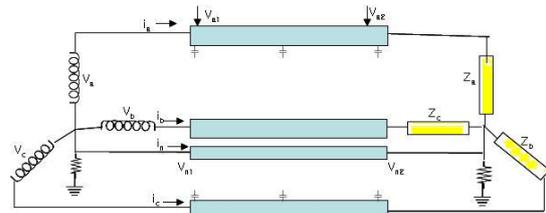


그림 4. 다중접지 배전선로 모형

배전계통을 해석하는데 다양한 방법들이 사용될 수 있다. 조류계산, 고장전류 계산, EMTP 해석 등이 고려될 수 있다. 본 논문에서는 다른 소프트웨어보다 소스코드에 대한 컴파일 과정이 필요 없는 Simulink 소프트웨어를 사용한다[12]. 다수의 변압기와 분기선이 있는 배전선로에 임의의 고주파 신호를 주입 할 수 있는 모형을 만들고 시뮬레이션을 실시한다. 그림 5는 배전계통에 대한 시뮬레이션 모델을 보여준다[13].

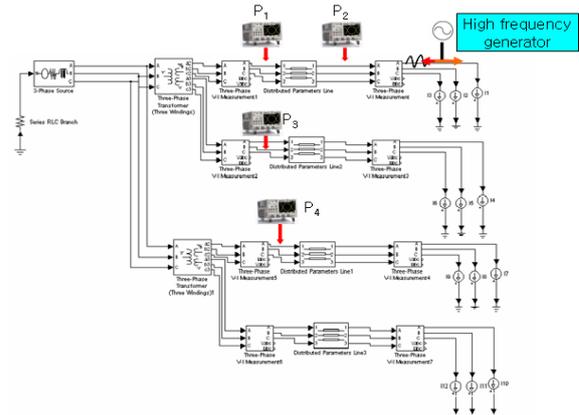


그림 5. Simulink 배전선 모델 (예)

배전선 2차 저압측 회로에서 임의의 고주파 신호를 주입하고 시뮬레이션을 수행한 결과 2차 측 저압 배전선로에서는 반송파 신호가 그대로 전파되어 변압기 2차측 배전선로들 사이에서 검출되는 것을 그림 6에서처럼 확인 할 수 있다[13].

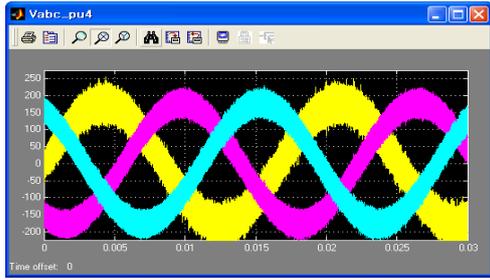


그림 6. 변압기 2차 저압 측 전압신호

반면에 변압기 1차 측 배전선로들 사이에서는 반송파 신호가 감쇠되어 검출되지 않는 것을 그림 7에서처럼 확인 할 수 있다.



그림 7. 변압기 1차 고압 측 전압신호

IV. 결론

전력선 통신에 사용되는 고주파 신호가 일반 전력용 변압기를 통과할 때는 1 차 와 2 차 사이에 임피던스 차이로 블로킹되어 이동하지 못하게 된다. 이동하여도 감쇠되어 신호의 세기가 무시할 정도로 통신이 전력선 통신이 안 된다. 실제 실험과 MATLAB 시뮬레이션에서는 290 KHz 주파수를 사한다.

그림 8은 개발된 케이블 식별 시스템에 대한 구조를 보여준다. 서버와 클라이언트로 구성되며 마이크로프로세서의 응용 프로그램에서 전력선 통신을 통한 메시지의 송수신 및 케이블 식별에 대한 판정을 수행한다.

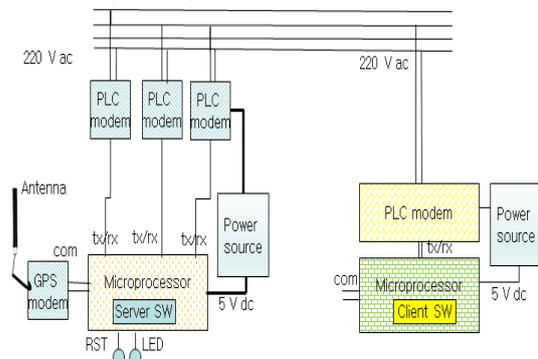


그림 8. 개발된 변압기 식별시스템 구조

감사의 글

이 논문은 2015년 수원대학교 경기도 GRRC 수원2015-B4 연구사업 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] John McDonald, "Electric Power Substations Engineering," 2nd, CRC Press, 2007
- [2] Bouvrette, Michel, "Telephasing method and system for remotely identifying unknown phases of transmission or distribution lines within an electrical network," US Patent 4626622, 1986
- [3] Pomatto, Lawrence A. "Apparatus and method for identifying the phase of a three phase power line at a remote location," US Patent 5510700, 1996
- [4] K.E. Martin, et al., "IEEE Standard for Synchrophasers for Power Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, vol.13, No.1, pp73-77, Jan.1998,
- [5] Apparatus and method for identifying cable phase in a three-phase power distribution network, Gregory H. Piesinger, US Patent 7,031,859, 2006
- [6] "Distribution System Modeling and Analysis"; William H. Kersting; CRC Press, 2002
- [7] <http://www.sebakmt.com/products/cable-identifier.html>
- [8] www.powerpoint-engineering.com BAUR KSG 100 cable identifier
- [9] [www.ariadna-inst.com/live network kLV line phase and feeder identifier](http://www.ariadna-inst.com/live_network_kLV_line_phase_and_feeder_identifier)
- [10] C. S. Chen, T. T. Ku, C. H. Lin, "Design of PLC based identifier to support transformer load management in Taipower", IEEE Transactions on Industry Applications, pp1072-1077, Vol. 46. No. 3 2010.
- [11] T. T. Ku, C. S. Chen, C. H. Lin, and M. S. Kang, "Identification of customers Served by Distribution Transformer using Power Line Carrier Technology, The 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 25-27 May, ICIEA2009, pp3476-3481, 2009
- [12] MATLAB Simulink manuals.
- [13] 2015 한국정보통신학회 춘계학술대회 학술지, 2015