

삼상 다중 접지 배전계통에서 활선로 추적 방법

정언봉* · 변희정* · 손수국*

*수원대학교

Live Lines Tracing Method in Power Distribution System with 3-phase-4 wires

Yan-peng Zheng* · Hee-Jung Byun* · Sugoog Shon*

*University of Suwon

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 선로로부터 공급되는지를 결정하는 것이 현장의 전기 기술자에게 어려운 문제다. 배전선로 사이의 부하 평형 등을 위해 선로의 정확한 추적기술이 필요하다. 기존의 임펄스 전류를 사선에 주입하는 방식과는 다르게 활선에 고주파 신호를 주입하는 식별 방법을 제안한다. 배전선로에 고주파 전력 신호를 주입하여 분석한 결과 고주파 신호는 배전선에서 전달 능력에 한계 능력을 갖는다. 보통 배전계통의 전력 변압기는 그러한 고주파 신호의 전달을 차폐하게 된다. 이러한 전송제한 특성을 사용하여 변압기와 배전선로를 식별하는 방법을 제안한다. 측정 배전선로의 양단에서 전기신호에 대한 동일 선로 여부를 판별하는 방식이다. 어려운 점은 원격 두 지점이 동기화되어야 하는데, 동기화 시간을 제공하는 GPS를 사용하지 않고 두 지점에 동기화를 달성한다. 새로운 형태의 선로 및 변압기 식별시스템을 설계 및 구현한다. 시스템은 전력선 통신 모듈을 바탕으로 송수신기로 구성된다. 이론적 개념을 검증하기 위해서 일반 상업용 건물에서 실험이 행하여진다.

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 off-lines with high power impulse injection. Our proposed method use to trace live lines with very small power high frequency signal injection. Typical 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. Two end communication terminals are required to be synchronized between them for determination on electrically same phases. Challenging issue is to achieve synchronization without GPS providing synchronizing time. A novel power transformer and wire identification system is designed and implemented. 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

Synchronization, 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 결선 정보를

정확히 이해할 필요가 있다. 선로에 대한 전기적 절대 위상의 실수 없는 식별은 안전 관련 및 배전선로 사이의 부하 평등의 달성에 매우 중요한 이슈이다. 잘못된 결선은 운전자에게 매우 심각한 결론을 야기하며, 연결된 고객에게도 정전을 야기

하기도 한다.

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

3상 4선식 다중접지 형식의 배전계통에서 수용가가 어떤 변압기 그리고 변압기의 어떤 절대 위상 선로에 연결되어 있는지를 정확히 판별하는 방법이 필요하다. 현장의 기술자는 수용가가 배전선 변압기의 A, B, 또는 C 어떤 절대 위상과 어떤 변압기에 연결되었는지를 현장에서 알 수 있어야 한다. 변압기 식별이란 주변의 다수 변압기로 부터 하나의 정확한 변압기를 식별하는 것을 의미한다.

보통 변전소에서는 개별 선로에 대한 절대 위상 값이 알려져 있으나, 배전선로의 말단으로 이동 할수록 개별 선로의 변압기 연결 상태와 절대 위상 값을 판별하는 것이 어려워진다.

대부분의 절대 위상을 측정하는 시스템은 변전소의 알려진 위상 값과 현장에서의 미지의 위상 값을 비교하는 방법을 사용하고 있다 [1][2][3][4][5].

이 논문에서는 전력선 통신 기술을 이용한 변압기를 식별하고 선로의 절대 위상을 식별 할 수 있는 방법을 제시한다. 주상 변압기와 배전선로의 고주파의 반송파 신호에 대한 전송역제 현상을 이용한다. 배전선로의 양단에서 동일 위상과 동일 선로 여부를 판별하는 방식이다. 어려운 점은 원격 두 지점이 동기화되어야 하는데, 동기화 시간을 제공하는 GPS를 사용하지 않고 두 지점에 동기화를 달성한다. 변압기와 선로 식별 시스템이 설계되고 구현된다. 시스템에는 전력선 통신 모듈을 갖는 서버와 클라이언트로 구성된다. 이론적 개념을 증명하기 위해 실험도 이루어진다.

II. 제안된 변압기 및 선로 식별 시스템

그림 1에서처럼 빌딩으로 둘러싸인 시내에서 많은 변압기와 배전선로를 갖는 경우를 생각하자. 전기 기술자는 많은 장애물 때문에 어떤 수용가가 어떤 변압기와 배전 선로를 통하여 연결되어 있는지 구분하기 어렵다. 배전선로는 전신주의 변압기를 통해 다수의 분기 회로로 갈라진다[6].

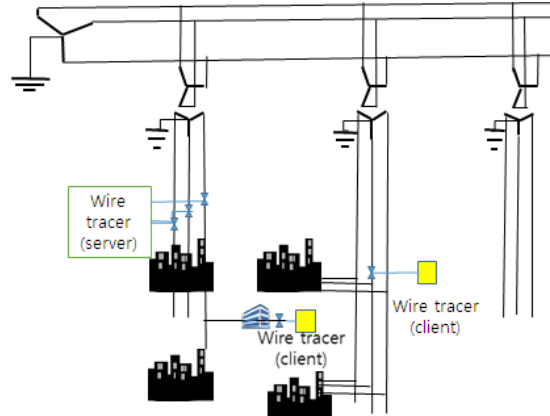


그림 1. 변압기와 선로 식별 요구 상황

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

기존의 선로 식별시스템은 전류 임펄스 발생기와 수신기로 구성된다. 펄스 발생기는 특별한 형식의 펄스를 생성하며 선로를 따라 전송하게 된다. 그리고 수신기는 클램프로 선로와 연결하여 식별 신호를 분리하여 인식하게 된다. 송신된 임펄스 신호는 선로 주변에 정의된 극성의 전자장기를 유도하게 된다. 수신기의 결합장치를 통해 동기화 수신을 달성하고 선로를 식별하게 된다. 다른 선로에서는 동일 선로에서의 신호 극성과 다르게 나타나는 현상을 이용한다[7]. 또 다른 방법으로 직접적 신호를 송신기에 주입하고, 수신기에서 진폭-시간-위상에 의해 분석하는 방식이 있다[8]. 중앙장치와 선로 장치 간에 부호화된 메시지를 전송하는 방법도 있다[9].

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

고주파의 신호가 보통의 변압기에서는 1차와 2차 권선 비에 의해 크게 감소된다. 본 논문에서 제안된 시스템에서는 배전 선로와 변압기에 대한 식별도 가능하다. 이전의 논문에서는 서버가 비동기화되어 개별적으로 동작하는 구조여서 개별적 응답에 의한 변압기 구분이 가능했다 [12][13]. 제안 시스템은 그림 2처럼 서버와 클라이언트로 구성된다. 본 논문에서 제안한 방식은 개별 서버가 하나의 장치로 구현되며 클라이언트와 서버 간에 동기화되어 상호간의 동일 측정 시간을 이루어 동일 선로 및 변압기 식별을 가능하도록 한다.

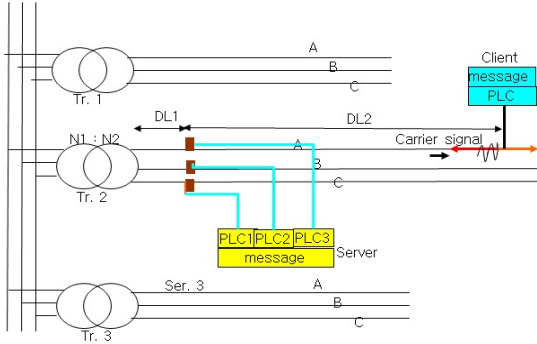


그림 2. 변압기 식별시스템 원리

변압기 2차측 선로의 클라이언트 또는 서버에 의해 주입된 반송파 신호는 급격히 감소되어 변압기 1차 측을 건너지 못한다. 변압기 2에서 전송된 신호가 다른 변압기 1 또는 3에서 검출되지 않게 된다. 하지만 변압기 2에 선로들 간에는 고주파 신호가 큰 문제없이 전송되는 특징을 갖는다. 따라서 서버에서는 A, B, 또는 C 개별 선로를 구분하는 기법이 필요하다. 동일 변압기에 연결된 선로들 간의 식별을 위해 서로 다른 메시지를 사용하는 방법을 사용하기 위해서는 서버와 클라이언트의 능력이 매우 중요하다. 한 선로에서 매우 짧은 메시지를 매우 빨리 송수신하여야 했다[13]. 다른 선로에서의 메시지를 송수신하기 전에 작업이 이루어져야 했다. 그래서 클라이언트와 서버 사이의 데이터 송수신이 수 마이크로 초 [micro sec] 이내에 이루어져야 했다. 예로서 A 상에서 메시지를 송신하면 다른 선로를 경유한 신호가 전송되기 전에 매우 빨리 구분하여야 했다. 통신 선로의 길이가 수 내지 수십 미터의 짧은 거리인 점을 고려할 때 마이크로 초 이내에 송수신이 달성되어야 선로간의 구분이 가능했다.

하지만 본 논문에서 다루는 문제는 통상 1km 이하의 배전선로에서 변압기 및 선로를 식별하는 경우를 다룬다. 수백 Mbps 급의 광대역 전력선 방식으로는 수십 미터 정도 밖에 신호가 전송되지 않아, 선로를 식별하는 문제에서는 협대역 전력선 방식이 사용되어야 가능하다. 협대역 전력선 통신 방식에서는 통신 속도가 밀리 초[milli sec] 단위이다.

3상 선로에서 전기적 신호는 120도 위상차를 갖는다. 서버의 각상별로 통신 신호를 제어하여 전송하고, 클라이언트에서 수신하는 방식은 앞에서의 연구와 동일하다. 하지만 양 단간의 동기화를 달성하는 방식이 추가되었다. 양단간에 동기화를 위해 GPS를 사용하는 기술이 있으나, 선로간의 식별은 가능하나 변압기 간의 구분이 불가능하다. GPS를 사용하지 않고 양단간에서 전기적 신호의 위상 값이 동일하지 여부를 판별하는 방식을 사용한다. 어떤 선로에 대한 서버에서의 전기적 신호 위상과 클라이언트에서의 전기적 신호 위상이 동일하다면 동일 선로인 것으로 판정하는 기술이

다. 하지만 대형 오실로스코프가 있다면 양단 간에 전기적 위상을 동시에 측정할 수 있지만 물리적으로 그러한 대형 오실로스코프는 없다. 따라서 원격 지점간의 동기화를 판별하는 기술이 필요하다. 고정길이의 데이터 프레임을 사용하는 방식을 제안한다. 고정길이의 데이터 프레임을 송수신하는데 걸리는 전송시간을 측정하는 방식이다. 클라이언트와 서버의 개별 선로들 간에 전송시간을 측정하면 동일 선로에 있을 때와 다른 위상 값의 선로에 대한 전송시간에 차이가 존재하게 된다. 그 차이를 동일 선로 여부를 판별하는데 사용한다. 그림 3은 선로 식별을 위한 고정길이 프레임의 사용하는 방식을 제시한다.

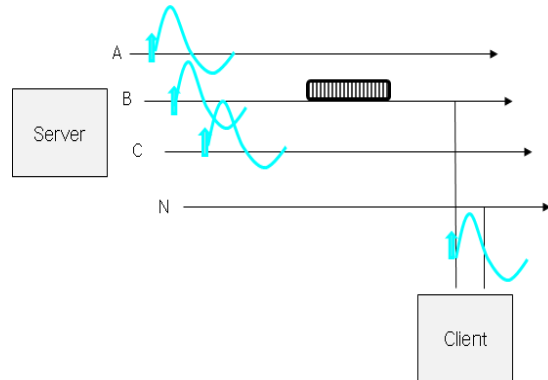


그림 3. 고정길이 프레임에 의한 선로 식별(예)

전력선 통신에 고정 길이를 갖는 프레임이 전송된다. 그림1에서처럼 서버와 클라이언트가 동일 선로에 있을 때와 다른 위상에 있을 때 전기신호의 위상이 시작되는 점을 기준으로 개별 상에서 전송된 프레임은 서로 다른 시간이 경과한 후에 전송이 될 것이다. B 상에서의 전송된 프레임이 가장 짧은 경과 시간 후에 클라이언트에서 수신될 것이다.

III. 시스템 설계 및 구현

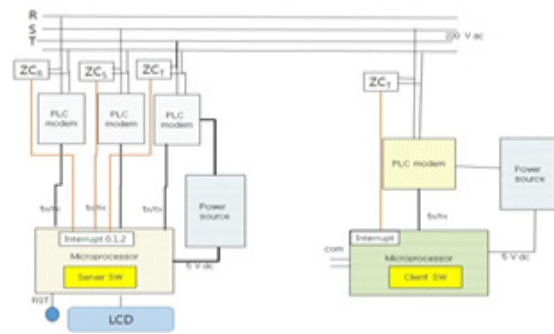


그림 4. 개발된 변압기 식별시스템 구조

그림 4은 개발된 선로 식별 시스템에 대한 구조를 보여준다. 서버와 클라이언트로 구성되며 개별 선로에서의 데이터는 위상의 동일 경계 조건에서

송수신이 이루어진다. 마이크로프로세서는 개별 상에서의 신호가 동일 조건에서 송수신이 이루어 지도록 제어기능을 수행한다. 물론 송수신 프레임의 길이도 고정되도록 구현한다. 협대역 290 KHz 주파수의 전력선 통신 모델을 사용하고, S bps 통신 속도에 N바이트 고정길이 데이터 프레임을 사용한다.

그림 5는 실험실 속의 양단간에서 전기적 신호에 대한 경계조건을 오실로스코프로 측정하여 보여 주고 있다. 서버 측 선로에서의 경계조건과 클라이언트 측 선로에서의 경계조건이 거의 동일 시 간대에 측정되는 것을 보여준다.

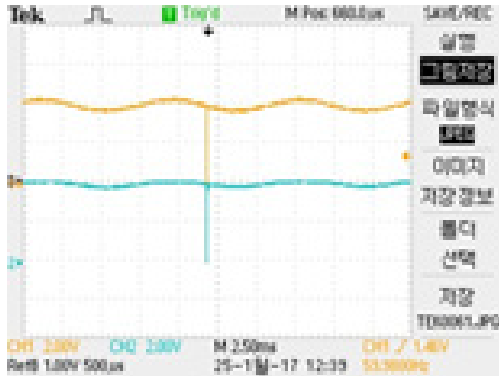


그림 5. 클라이언트/서버간의 동기화 측정

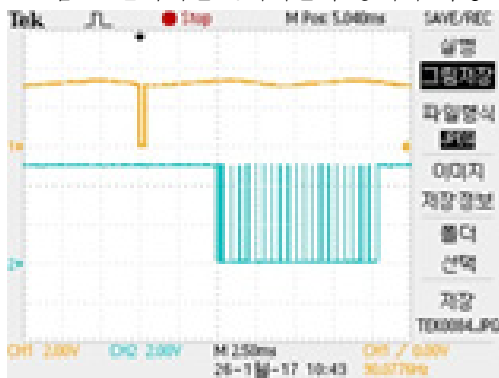


그림 6. 고정 프레임 신호

그림 6은 서버에서의 경계조건 신호와 클라이언트에서의 수신된 데이터 프레임을 보여준다. 본 논문에서는 20 바이트 고정길이 프레임을 사용하고 있다.

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. 이러한 특성과 3상 선로의 상간 위상차를 이용하여 GPS를 사용하지 않고도 양단간의 동기화를 달성하는 방식을 개발하였다.

감사의 글

이 논문은 2016년 수원대학교 경기도 GRRC 수원2016-B4 연구사업 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] "Distribution System Modeling and Analysis"; William H. Kersting; CRC Press, 2002
- [2] John McDonald, "Electric Power Substations Engineering," 2nd, CRC Press, 2007
- [3] Bouvrette, Michel, "Telephasing method and system for remotely identifying unknown phases of transmission or distribution lines within an electrical network," US Patent 4626622, 1986
- [4] Pomatto, Lawrence A. "Apparatus and method for identifying the phase of a three phase power line at a remote location," US Patent 5510700, 1996
- [5] 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,
- [6] Apparatus and method for identifying cable phase in a three-phase power distribution network, Gregory H. Piesinger, US Patent 7,031,859, 2006
- [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
- [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 4thIEEEConferenceonIndustrialElectronicsandApplications,25-27May,ICIEA2009,pp3476-3481,2009
- [12] 2015 한국정보통신학회 춘계학술대회 학술지, 2015
- [13] 2016 한국정보통신학회 춘계학술대회 학술지, 2016