

전력선 통신을 이용한 배전 계통의 전력 자동화 통신망의 설계

박병석*, 안승갑, 김명수, 현덕화, 조선구
한전 전력연구원

**The Design Efforts of Automation Network in Distribution Line
using PowerLine Carrier**

Byung Seok Park*, SeungKab Ahn, MyongSoo Kim, DuckHwa Hyun, SeonKu Cho
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - 최근 전력선통신은 디지털 변복조 기술의 발달에 힘입어 새로이 부각되었다. 대부분의 전력선 통신 기술은 Home Network을 대상으로 하는 저압 220V상의 전력선 통신기술이다. 본 논문에서는 고압 배전 계통에서의 전력자동화 통신망으로 이용될 수 있는 전력선 통신망을 소개하고 그 설계에 대하여 다루었다. 배전 계통은 수십 km에 걸쳐서 제어 노드들이 분포해 있으므로, 설계된 통신망은 고압 가공지선 상에서 동작하는 수십km정도의 통신망 길이와 수 만개의 노드들을 수용할 수 있도록 하였다. 이를 위하여 고압 커플러, 디지털 변복조부 및 통신 프로토콜을 설계하였다.

1. 서 론

산업사회의 고도화에 따라 공급되는 전력의 품질의 양질화에 대한 요구가 급격히 증가되고 있다. 이러한 요구는 정전시간의 단축화, 공급되는 전력의 주파수 및 진압의 균일화 등의 형태로 나타난다.

공급되는 전기의 고품질화를 위하여 한전 배전계통에서는 변압기 감시제어 시스템, 배전 자동화 시스템을 개발하였다. 변압기 감시 제어 시스템은 2001년 개발되어 보급단계에 있으며, 배전 자동화 시스템은 1998년 3개 지점에서의 시범사업 후, 1999년도부터 전국적인 규모로 시설되어 운영되고 있다. 이러한 배전 계통의 자동화 시스템은 구조적 특성상 넓은 지역에 분포하는 배전 선로를 따라가며 제어 및 감시 요소들이 분산되어 있다. 따라서 넓은 지역에 분산된 제어 요소들을 신뢰성 있게 연결할 수 있는 통신망의 중요성은 매우 크다 하겠다.

현재 전국적인 규모로 시설되어 있는 배전자동화 시스템은 PCS, 무선 패킷망, TRS, 한국통신 전용회선, 사설 TP(Twisted Pair) 회선, 광선로 등 매우 다양한 통신 선로가 이용되고 있는 실정이나, 각기 통신망마다의 기술적, 경제적 장단점이 상존할 뿐만아니라 다양한 통신망을 위한 여러 종류의 통신기기의 유지 보수, 복수의 통신회사와의 관계유지 등 운영에 많은 애로 사항이 있다.

이상의 이기종의 다양한 통신망을 운영하는데 있어 발생하는 여러 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 최근 디지털 통신기술의 비약적인 발전에 따라 새로이 부각되기 시작하는 전력선 통신기술을 배전계통에 적용하여 기존의 통신망들이 가지는 단점들을 해결할 수 있는 배전계통의 전력자동화용 전력선 통신망을 설계하고 이에 대하여 설명하고자 한다.

2. 배전자동화 시스템의 구성

배전자동화 시스템은 컴퓨터와 통신 기술을 이용하여 원거리에 산재되어 있는 배전 선로용 개폐기를 현장에 가지 않고 사무실에서 원격으로 조작하고 고장구간을 자동으로 찾아내며, 전압·전류 등 선로 운영에 정보를 자동으로 수집하는 시스템이다.[1]

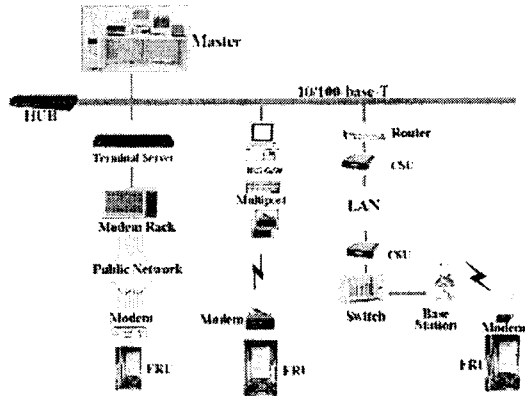


그림 1. 배전자동화시스템의 일반적인 구성도[2]

배전자동화 시스템은 크게 소규모 시스템과 대규모 시스템으로 구분되며, 소규모 시스템은 1998년부터 2001년까지 전국적인 규모의 시설공사를 통하여 175개의 한전지점에 1단계 구축완료로 하였으며, 2002년부터 대규모 시스템을 구축중에 있다. 소규모와 대규모 시스템의 분류는 여러 기준이 있지만 제어 대상인 개폐기의 수량 200대를 기준으로 하고 있다. 그림 1에서 보듯이 배전자동화 시스템의 주요 구성 장치는 주장치(Master), 통신 모뎀, FRU, 자동화 개폐기로 구성된다. 주장치의 주요 기능은 배전선로에 분포된 자동화 개폐기에 대한 감시 및 제어이며, 통신 모뎀은 주장치에서 전달되는 명령 패킷을 FRU에 전송하는 역할을 한다. FRU는 전송된 명령 패킷을 해석하여 자동화 개폐기를 제어 조작할뿐만 아니라, 자신의 상태 및 배전 선로의 전류·전압 등 주요 정보를 주장치에 전송한다.

자동화 개폐기는 FRU에서 입력되는 제어신호에 따라 배전계통을 투입하거나 차단하며, CT와 PT를 내장하여 배전선로의 전압과 전류를 FRU로 입력한다.

통신을 이용한 원격지의 개폐기를 감시 제어함으로써 배전계통의 돌발 정전 시간을 획기적으로 단축시킬 수 있었으며, 상시에 감시되는 전압과 전류값을 이용하여 배전계통의 동작 특성을 파악하여 대한 고품질의 전기공급을 위한 시설계획과 운전상태에 반영하여 전력 품질을 향상시킬 수 있다.

3. 전력선 통신 기술

최근 많은 언론매체에서 새로이 부각되는 정보통신 기술로 전력선 통신을 여러차례 거론한 바 있으나, 이는 정보통신분야에서의 최근 동향이며, 전력회사의 경우, 전력선 통신을 이용한 송전 계통의 아날로그 음성 통신을 비롯하여 오랜 역사를 가지고 있다. 특히 국내의 경우 1987년 경기지사에게 최초로 시범운영된 배전자동화 시스템의 통신망은 고압 배전선상에 디지털 변복조 신호

를 전송한 전력선 통신으로 구축되었다. 그러나 통신 속도가 72.6Baud로서 너무 낮았으며, 배전 선로의 특성상 잦은 계통변경이나 지중화 사업 등에 의해 통신경로가 두절되는 문제점과 함께 고가의 시설비로 경제성이 매우 낮아, 보급되지 못했다.

최근 급격히 발전하는 정보기술에 힘입어 DSP 기술, Microprocessor 기술, 디지털 변복조기술 등이 함께 발달하였으며, 저 가격에 고성능의 시스템을 손쉽게 구축할 수 있는 여건이 조성됨으로서 전력선 통신 분야에 새로운 전기를 맞이하게 되었다.

기본적으로 전력선 통신은 디지털 변복조부분과 커플러(Coupler)부분으로 구성된다. 디지털 변복조부는 컴퓨터 및 주요 제어·통신 단말로부터 입력되는 디지털 신호를 고주파 신호로 변조하여 전송하거나 변조된 신호를 받아들이며 본래의 디지털 신호로 재생하는 역할을 하며, PSK, DS-SS, OFDM, Chirp-SS, FSK 등의 디지털 변복조 기술들이 주로 쓰인다.

커플러는 전력 계통의 고전압이 모뎀에 유입되지 못하도록 하는 isolation 역할과 함께 고주파 신호를 전력계통에 주입하거나 수신하는 HPF(High Pass Filter) 역할을 수행한다.

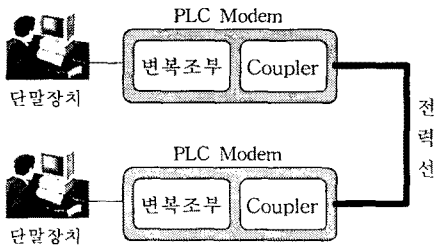


그림 2. 전력선 통신의 개요

전력선은 60Hz의 주파수를 갖는 동력원으로서의 전력 공급을 목적으로 하는 것으로 본래의 목적이외에 통신 채널로 쓰기에는 여러 가지 장애 요인이 있다. 각종 전력기기로부터 유발되는 고주파 잡음, 동력에 필요한 전류를 제공하기 위해서는 선로 자체의 임피던스가 낮아야 하며, 이에 따라서 전력선 신호가 비록 고주파대역을 쓴다 하더라도 매우 낮은 임피던스 대역에서 심한 신호의 감쇄현상이 나타난다. 한편 전력선은 선로의 중간중간에 임의적인 분기와 부하의 접속 및 중단 개방으로 특정 주파수대에서 급격한 감쇄현상인 노치(notch) 현상과 Frequency selective fading이 나타난다. 더욱이 이러한 현상들이 전력 부하의 운용에 따라 시간과 지역에 따라 변동되어 채널 특성의 정형화가 매우 힘들다.

이러한 단점에도 불구하고 통신용 선로를 부가적으로 포설 할 필요가 없어 시설비가 절감되며, 시설이 매우 용이하며, 유지 보수가 단순화되는 전력선 통신의 장점은 매우 크다 하겠다. 더욱이 전력 자동화 시스템과 같은 이동이 없는 고정적인 노드에서의 통신의 경우, 무선과 유사한 정도의 설치 용이성뿐만 아니라 무선이 가지는 음영지역이 존재하지 않으므로 전력자동화 통신망에서의 이용가능성은 매우 크다.

최근의 전력선 통신분야의 연구개발은 차세대 네트워크로 각광받는 Home Network 분야에 집중되어 저압 220V상의 옥내 전력선 환경을 주로 대상으로 하고 있으며, 옥외의 Access Network으로서 배전 고압선을 대상으로 하는 전력선 통신 연구는 상대적으로 저조한 편이다.

4. 고압 전력선 통신망 설계

배전계통에서 가장 널리 보급된 전력자동화 시스템은 배전자동화 시스템이며, 본 논문에서 설계된 전력선을 이용한 자동화 통신망도 배전자동화 통신망의 적용을 가장 크게 염두에 두고 설계되었다.

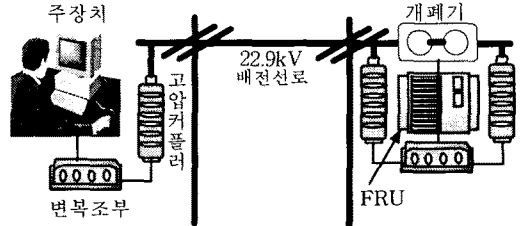


그림 3. 전력선 통신을 이용한 전력자동화 통신망 개요

그림 3에 전력선 통신을 이용한 전력자동화 통신망의 개요를 나타내었다. 기본적인 구조는 일반 전력선 통신의 구성과 유사하며, 주장치를 Server로 FRU를 Client로 보면 이해가 빠르겠다. 고압 전력 계통을 대상으로 하는 특성상 변복조부와 고압 커플러가 완전히 분리되어 별도의 장비로 구성되었으며, 개폐기의 동작에 따른 선로의 차단시에 후자의 통신 불통을 방지하기 위하여, 개폐기를 중심으로 전후단에 고압 커플러를 설치하였다.

중앙 제어실에서 운영자가 특정 개폐기를 차단하도록 주장치를 조작하면 주장치는 특정 패킷을 변복조부에 RS232 등의 데이터 링크나 일반 장거리 통신모뎀을 통하여 전력선 변복조부에 전송된다. 전송된 패킷은 아날로그 신호로 변조되고, 증폭되어 고압 커플러를 통하여 배전 선로로 전송된다. 배전 선로상에 위치한 전력선 통신 모뎀은 수신된 패킷을 조사하여 자기 자신에게 전송되는 패킷이면 수신하여 FRU에 데이터 링크를 통하여 전송한다. 수신된 패킷은 개폐기 컨트롤러에서 해석되고 요구된 동작을 수행하게 된다. 만약 자기 자신의 주소가 아니면 패킷내의 재전송 필드의 값을 1 증가시킨후 패킷을 재생성하여 후단의 배전 계통으로 전송한다.

이상과 같은 재전송 동작은 배전선로상의 각 노드는 중계기의 기능을 가지도록 하였으며, 수신된 신호의 감도에 기초한 판단 알고리즘과 개폐기의 선로 차단 동작 상태에 따라서 적절히 선택하여 수행함으로써 전체 네트워크의 통신 대역폭을 최대한 높이면서 망의 확장이 용이하도록 하였다.

4.1 고압 전력선 커플러

배전계통에서의 전력자동화를 위한 전력선 통신의 경우, 우선적으로 22.9kV의 고압 배전선로 상에서 동작하는 고압 전력선 커플러의 경우, 변복조된 고주파신호의 중계 기능 이외에도 배전 계통의 건전성을 보장하기 위한 기능이 필수적으로 보장되어야 한다.

고전압이 변복조부로 유입되어 기기의 손상을 방지할 뿐만 아니라 계통 전원의 투입시 및 개폐기의 동작시 발생하는 고전압 썩지나 뇌 썩지 등을 집지로 흘려 보내야 하며, 고압 커플러의 손상시에도 계통의 안정성이 보장되어야 한다.

그림 4에 나타낸 바와 같이 고압 커플러는 고압 콘덴서, 드레인 코일, 서지 어레스터, Transformer로 구성된다. 고압 콘덴서와 Transformer는 배전계통의 고전압을 변복조부에 유입되지 않도록 차단하는 역할을 한다. 고압 콘덴서의 손상시에 계통의 과전류 Trip을 막기 위하여 Fuse를 전단에 구성하였으며, 순간적인 60Hz 과전류를 Drain Coil이 집지로 방출한다. 아울러 고주파 성분을 갖는 썩지나 뇌전압의 경우, 서지 어레스터에서 방전시켜 집지로 방출한다. Transformer는

고압 콘덴서와 함께 LC 네트워크를 구성하여 고전압의 차단하는 기능 이외에도 1차측 권선비를 조절하여 배전 계통의 임피던스 정합 기능을 수행하도록 하였다.

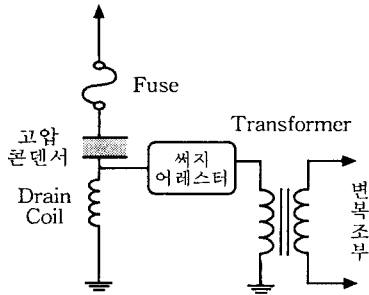


그림 4. 고압 커플러의 구조

고압 콘덴서부는 일반 배전기기의 절연규격인 뇌취지 전압 150kV를 견디도록 하였으며, 상용 내전압 규격도 만족하도록 하였다. 아울러, RIV(Radio Influence Voltage)특성을 만족시키며 동작주파수 대역 100 ~ 550kHz대역에서 3dB이하의 감쇠를 가지도록 하였다. 써지 어레스터는 전압에 따른 다수의 방전 캡을 설치하여, 최대 600V이상의 전압이 Transformer에 전달되지 않도록 하였다. Transformer는 2차 측에 50Ω 임피던스를 가지고 변복조부와 접속되며, 1차 측의 경우, 50 - 600Ω 임피던스 영역에서 7단계의 탭 전환으로 배전 선로의 임피던스를 정합할 수 있도록 하였으며, 최대 100W의 전송 출력을 갖도록 하였다. 동작 온도는 -20°C ~ 80°C를 만족시킨다.

4.2 전력선 통신 변복조부

전력선 통신에 이용되는 변복조 기술은 매우 다양하나, 본 논문에서 설계된 시스템은 DCSK(Differential Code Shift Keying) 방식을 채택하였다. DCSK 방식은 광대역주파수를 포함하는 신호형태를 특정 Symbol을 미리 정하고, 정보의 전송시에 Symbol의 시작 위치를 이용하여 정보를 부호화하는 변복조 기술이다.

DCSK는 전송 채널의 전 주파수대역을 이용하여 한 심볼에 전송하기 때문에 주파수 왜곡이나 Fading에 강한 특성을 가질 뿐만 아니라 SS(Spread Spectrum) 방식에 비하여 모뎀의 구성이 간단하고 저가에 구현이 가능하다.

설계된 모뎀은 800 μsec의 심볼길이에 12.5 μsec의 간격으로 지연시켜 데이터를 encoding함으로써 Symbol당 6bit의 데이터를 전송할 수 있다. 최대 데이터 전송 속도는 약 7kbps정도이며, 모뎀 내부의 버퍼를 이용하여 RS232에서 9.6kbps로 인터페이스되도록 하였다.

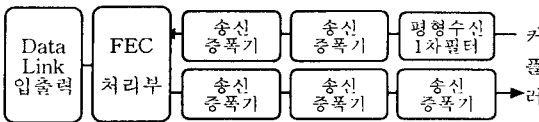


그림 5. 전력선 통신 변복조부 개요

그림 5는 설계된 변복조부의 블록 다이어그램이다. 입력은 동상신호의 노이즈를 제거하기 위한 차동입력으로 설계하였으며, S/N비 향상을 위하여 2중구조의 Filter 블록을 설계하였다. 송신 증폭기는 장거리 송출을 위하여 20W, 40W의 출력을 갖도록 하였다. 강한 송출 신호가 수신부로 유입되어 수신회로에 손상을 일으키는 것을 막기 위하여 송신부에 수신부의 입력은 커플러와 분

리되도록 하였다.

4.3 전력선 통신 프로토콜

현재 배전자동화를 비롯한 전력자동화용 시스템의 주요 프로토콜은 DNP(Distributed Network Protocol) 3.0으로 운영중이다. 따라서 전력선 통신 모뎀은 주장차와 FRU에서 입출력되는 DNP 3.0 프레임 투명하게(transparently) 전송할 수 있어야 한다. 그러나 기존의 많은 전력선 통신용 Chip set들이 고유의 기능들을 가지고 나름대로의 Network를 구성하며 운영되도록 설계 제작되었다. 따라서 DNP를 전력선 통신망 프로토콜에 중첩(Overlay)시키도록 하여야 한다.

4.4 전력자동화용 고압 전력선 통신망의 규격

이 절에서는 지금까지 설명되었던 전력자동화를 위한 고압 전력선 통신망에 대하여 정리하고자 한다. 현행의 법규는 전력선 통신을 50 ~ 450kHz의 대역만을 허용하고 있는 실정이며, EMI/EMC와 관련지어 송출파워와 허용주파수를 엄격히 지키고 있다. 본 논문에서 설계된 전력선 통신망은 이러한 규격을 잘 지키고 있다.

표 1. 전자동화용 전력선 통신망의 특성

| 항 목 | 특 성 |
|---------------------|--|
| 동작 주파수 | 100kHz ~ 450kHz |
| 동작 전압 | 22.9kbps 배전 계통 |
| 전송 속도 | 9.6kbps |
| 실연 정격 | 배전기용 절연규격 수용 - 뇌취지 전압 시험치 만족 - 상용 내전압 시험치 만족 |
| Data Link Interface | RS232 |
| 동작 온도 | -20°C ~ 80°C |
| 출력 | 20W, 40W (가공지선에서 10km 도달) |

3. 결 론

이상으로 전력자동화 통신망을 위한 고압 전력선 통신망의 설계에 대하여 알아보았다. 전력선을 통신 채널로 이용하는 것은 통신 특성상의 많은 단점에도 불구하고, 시설과 유지보수의 편리성과 함께 발달된 디지털 변복조 기술에 힘입어 주목받고 있다. 아직 많은 점이 개선되어야 하는 기술이나, 이미 많은 부분이 개된 것을 고려하면 향후 여러 분야에서 활발히 적용될 것으로 기대된다.

본 논문에서는 배전 계통의 전력자동화 통신망으로 이용될 수 있는 고압 전력선 통신망에 대하여 각기 주요 구성 모듈의 기술적 특성과 규격에 대하여 살펴보았다. 현재 전력연구원에서는 소개된 시스템의 일부가 이미 설계 제작되었으며, 향후 완성된 시스템을 현장에 적용하여 미진한 부분을 보완하고 동작 특성을 살펴보도록 하겠다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 중앙교육원, "배전자동화 심부", 2002년
- [2] 김명수의 2인, "전력자동화를 위한 통합게이트웨이 설계", 한국전기학회 하계 학술 대회, 2002년