

배전 계통의 자동화용 고압 전력선 통신 시스템

박병석*, 송석영, 임용훈
한전 전력연구원

The Design Efforts of PowerLine Communication System in Distribution Line

Byung Seok Park*, Seok Young Song, Young Hoon Lim
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - 본 논문에서는 배전 계통의 고압선로를 이용한 전력선 통신 시스템을 설계하고 기초시험을 수행한 연구를 소개한다. 설계, 개발된 시스템은 450kHz이하의 저주파 대역을 이용하여, 수kbps의 전송 성능을 가진다. 아울러 수십 km정도의 길이를 갖는 배전 선로를 따라 고루 분산된 제어 노드들을 효과적으로 연결하기 위하여 약 십km정도의 전송거리를 가지며, 중간 노드에서 중계시 수십km까지 가능하다. 이를 위하여 고압 커플러, 임피던스 정합장치, 고출력 앰프 등을 제작하고 그 성능 특성을 보였다.

1. 서 론

배전 계통에 적용되는 원격 자동화 장치들은 넓은 지역에 걸쳐서 분산되어 있으며, 설치 환경이 열악하여, 통신 선로의 신뢰성이 매우 취약하다.

배전 계통에서 이용되고 있는 대표적인 원격 자동화 시스템인 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. 고압 전력선 통신 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 1에 전력선 통신을 이용한 전력자동화 통신망의 개요를 나타내었다. 고압 전력선 통신 노드는 고압 커플링 커패시터, 이상전압 보호회로, 임피던스 정합기, 변복조 모듈, 개폐기 제어 장치 등으로 구성된다.

고압 커플링 커패시터는 전력계통의 고전압이 전력선 통신장치에 유입되지 않도록 하면서 전력선 통신신호를 전력 계통에 전송하는 기능을 수행한다. 이상전압 보호회로는 전력계통에의 낙뢰, 전력 투입 및 차단에 따른 썬지 및 각종 고주파성 이상 고전압이 커플링 커패시터를 통과하여 유입되었을 경우에 전력선 통신기기로 유입되지 않고 접지로 방출되도록 함으로서 기기의 동작 안정성을 확보하도록 한다.

임피던스 정합기는 배전 선로는 수용가의 분포에 따라 불규칙하게 분기되며, 전력 계통의 부하에 따라 임피던

스가 각 구간마다 상이하다. 따라서 각 구간에서의 선로 임피던스를 최적으로 정합하도록 함으로써, 신뢰성 높은 통신 시스템을 구축하고, 통신 거리를 증가시킬 수 있어 경제적인 통신망 구성이 가능하다. 각 노드간의 거리는 수km정도로 장거리이면서 열악한 통신 환경을 가진 배전 자동화 시스템에서 안정적인 송수신을 위해서는 필수적으로 고출력 증폭기가 필요하다. 설계된 시스템에서는 25W 정도의 고압 전력선 통신용 고출력 증폭기를 기초 개발하였다. 변복조 모듈은 전력선의 전력선 상에 있는 아날로그 신호를 디지털로 복원하거나, 디지털 신호를 아날로그로 전송하기 위한 신호를 생성하는 장치이다. 전력선에서의 열악한 전송 특성과 주파수 선택적 감쇄 특성을 고려하여 광대역 변복조 기술을 채용하여 개발하였다.

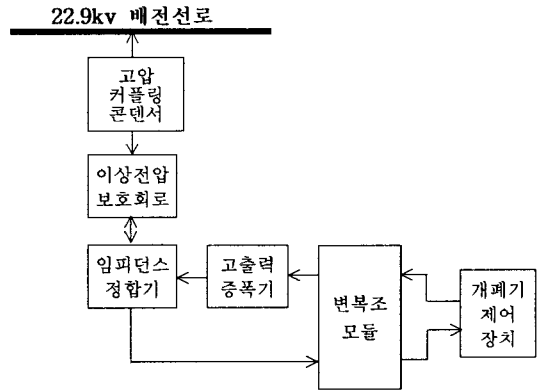


그림 1. 전력선 통신을 이용한 전력자동화 통신망 개요

배전선로상의 각 전력선 통신 노드는 중계기의 기능을 가지도록 하여, 제한된 송신 출력에 따른 전송거리의 한계를 보다 확장하도록 하였다.

2.1 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 뿐만아니라 계통 전원의 투입시 및 개폐기의 동작시 발생하는 고전압 썬지나 뇌 썬지 등을 접지로 흘려 보내야 하며, 고압 커플러의 손상시에도 계통의 안정성이 보장되어야 한다.

그림 2에 나타낸 바와 같이 고압 커플러는 고압 콘덴서, 드레인 코일, 서지 어레스터, Transformer로 구성된다. 고압 콘덴서와 Transformer는 배전계통의 고전

압을 변복조부에 유입되지 않도록 차단하는 역할을 한다. 고압 콘덴서의 손상시에 계통의 과전류 Trip을 막기 위하여 Fuse를 전단에 구성하였으며, 순간적인 60Hz 과전류를 Drain Coil이 접지로 방출한다. 아울러 고주파 성분을 갖는 써지나 뇌전압의 경우, 써지 어레스터에서 방전시켜 접지로 방출한다. Transformer는 고압 고전서와 함께 LC 네트워크를 구성하여 고전압의 차단하는 기능의 외에도 1차측 권선비를 조절하여 배전 계통의 임피던스 정합 기능을 수행하도록 하였다.

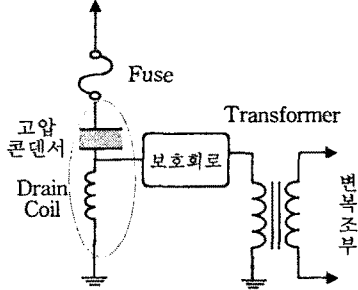


그림 2. 고압 전력선 접속회로의 구조

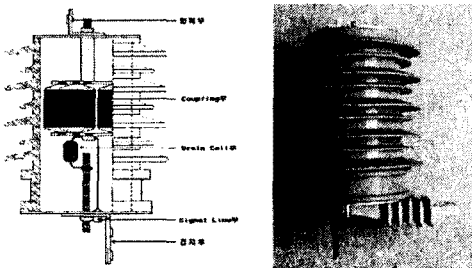


그림 3. 고압 커플링 캐패시터의 외관 및 구조

고압 저주파 커플러의 내부구조를 나타낸 그림 3의 a)를 보면 전력선 연결부위인 전력입력부와 통신신호대역의 커플링을 담당하는 캐패시터부, 전력신호를 포함한 저주파대역을 통과시키는 드레인 코일부, 통과된 신호에 대하여 접지로 연결시켜주는 저주파 접지부, 선별된 통신신호를 임피던스 정합단으로 연결시켜주는 통신신호 단자부로 구성되어진다. 설계시 외부신호 연결단자의 구조와 내부 연결선의 재질 및 특성 등이 주요 고려대상이 된다.

또한 Drain Coil(1.3mH)은 폴리머 애자형태의 외함 내부에 삽입하여 일체화하였다. 이것은 신호결합시스템의 설치 간편성과 전력선 통신망의 신뢰도를 향상시킬 수 있는 방안으로써 고압 저주파 신호결합장치의 중요한 핵심 부품이다.

커플러의 하우징 재질은 폴리머로 되어 있다. 하우징의 재질은 특성 및 상태에 따라 변경도 가능하다. 하우징 표면은 연면방전을 감안한 주름을 주어 안전거리를 확보한 형태를 채택하였다. 이 방법은 그동안의 여러 전력용 부품의 외장에 채택된 방법이다.

커플링 캐패시터의 주파수 통과 특성을 네트워크 분석기로 분석한 결과를 그림 4에 나타내었다. 주파수에 따른 대역 통과 특성은 -3dB 감쇄 지점이 저주파 쪽으로는 약 90kHz 부근이며, 고주파 쪽으로는 57MHz 대역으로 초기 설계 사양보다 매우 우수하게 나타났으며, 주요 대역폭 구간에서 손실이 거의 없이 전달되는 것을 알 수 있다. 기존의 전력선 통신 범위가 50kHz ~ 450kHz이나, 현재 정정부에서 30MHz 이하의 대역까지 허용하는 것을 고려중임을 생각하면 향후 전력선통신 관련된 주파수 범위가 개정되어도 충분히 사용할 수 있

도록 하였다.

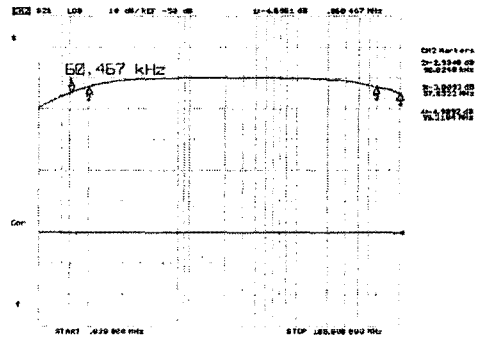


그림 4. 고압 커플링 캐패시터의 주파수 감쇄 특성

고압 콘덴서부는 일반 배전기계의 절연규격인 뇌써지 전압 150kV를 견디도록 하였으며, 상용 내전압 규격도 만족하도록 하였다. 아울러, RIV(Radio Influence Voltage)특성을 만족시키며 동작주파수 대역 100 ~ 550kHz대역에서 3dB이하의 감쇄를 가지도록 하였다.

2.2 전력선 통신 임피던스 정합부

전력선의 임피던스는 배전선로 상의 부하와 선로 분기에 따라 불규칙하게 변화하게 되며, 효과적인 신호의 전송을 위해서는 불규칙하게 변화하는 배전선로에 적절한 임피던스 정합이 필수적으로 요구된다. 본 논문에서는 트로이달 코어를 이용하여 Transmission Line Transformer를 설계하고 전송 선로 임피던스와 정합하도록 설계하였다.

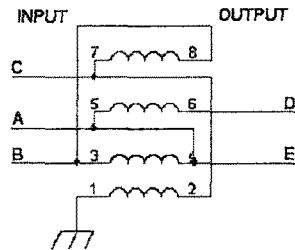


그림 5. 임피던스 정합기의 구성

Transmission line Transformer는 전송선로를 이용하여 에너지를 전달하는 구조로서 고출력의 광대역 신호를 전송선로에 송출하는데 매우 유리하며, 권수가 적을 뿐만 아니라 소형으로 실험실에서 제작하기에 용이하다. 그러나 Transmission line Transformer는 임피던스 변화비를 2의 지수배, 즉 M2:N2로만 조정가능하고, 주파수가 내려갈수록 권선비가 증가하여 제작에 어려움이 발생한다.

그림 5에 Transmission line Transformer를 응용한 임피던스 정합기의 구성을 나타내었다. 동일한 트로이달 코어에 L1 ~ L4의 4개의 권선을 동시에 감고 각 권선의 한쪽 끝을 서로 결선한 구조이다. 자세한 이론적 해석은 참고문헌 [3]에 자세히 머기되어 있다.

전력선 변복조부 및 고출력 앰프의 임피던스는 일반적인 RF회로와 같이 50Ω으로 설정하였으며, 출력측의 임피던스를 다양한 값을 가지도록 구성하였다. 표 1에 정합 가능한 임피던스값을 나타내었다.

표 1. 임피던스 정합기의 정합비

입력단자	출력단자	임피던스 정합비
A	D	50 : 89
B	D	50 : 200
	E	50 : 112
C	E	50 : 450
	D	50 : 800

2.3 전력선 통신 임피던스 정합부

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.

송신 증폭기는 장거리 송출을 위하여 25W의 출력을 갖도록 하였다. 강한 송출 신호가 수신부로 유입되어 수신회로에 손상을 일으키는 것을 막기 위하여 송신시에 수신부의 입력은 커플러와 분리되도록 하였다.

2.4 통신 시험 특성

기 설계 제작된 고압 전력선 통신 시스템의 성능 특성을 위하여, 한국 전력의 고압 배전 시험장의 시험 선로를 이용하였다. 선로 양단에 제작된 노트북 컴퓨터와 모뎀, 고압 커플링 커패시터를 1.5km, 2.5km, 3.8km 지점의 양단에 각기 설치하고 전송 특성을 조사하였다.

그림6에는 전력선 모뎀의 송신부 출력신호를 측정하는 것으로 변조된 신호가 송출 대역폭에서 전체에 걸쳐 균일한 출력 파워를 가지고 있음을 보여준다. 그림 7과 그림 8은 3.8km 지점에서의 수신신호 파형을 보여준다. 모든 구간에서 데이터 통신은 양호하게 동작하였으며, 전송신호는 고압 배전 선로를 지나는 동안 특정 주파수 대역에서 심하게 감쇄하는 주파수 선택성이 배전 선로에 있음을 파악 할 수 있다. 그림에서 보듯이 임피던스가 80Ω에서 800Ω으로 변화함에 따라 수신되는 전력선 통신 신호의 강도가 약 10dB정도 변화하는 것을 관찰할 수 있다. 따라서 정확한 임피던스 정합시에 수신신호 이득이 매우 유리함을 보여준다.

Agilent 17:22:30 Aug 12, 2002

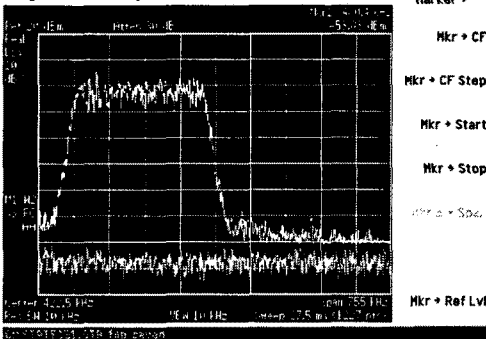


그림 6. 송신부에서의 송신 신호 특성

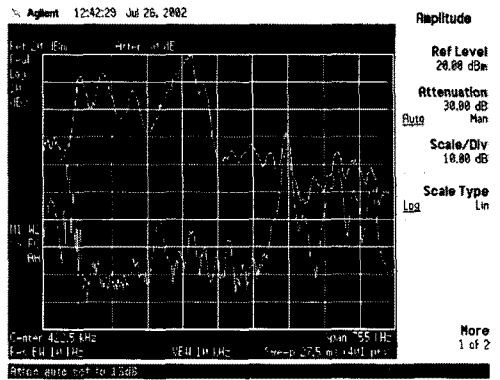


그림 7. 모뎀 수신 신호 특성(80Ω 출력임피던스)

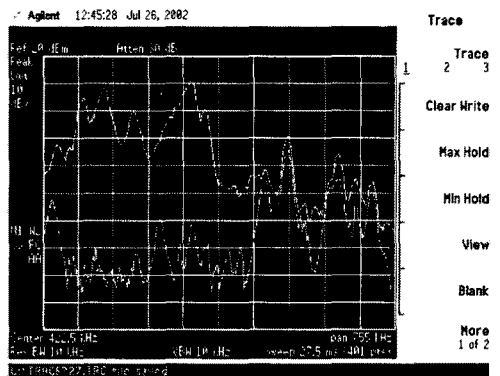


그림 8. 모뎀 수신 신호 특성(800Ω 출력임피던스)

3. 결 론

이상으로 배전 계통의 전력자동화 통신망을 위한 고압 전력선 통신 시스템을 설계하고 성능 특성을 보였다. 기 설계된 전력선 통신 시스템은 배전 계통에서 요구되는 다양한 원격 자동화 시스템에 적용될 수 있으며, 특히 장거리 전송이 가능하며, 기존의 통신 시스템의 적용 환경이 열악한 곳에 적용할 경우 많은 장점을 가진다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 중앙교육원, "배전자동화 실무", 2002년
- [2] 김명수의 2인, "전력자동화를 위한 통합게이트웨이 설계", 한국전기학회 하계 학술 대회, 2002년
- [3] Jerry Sevrick, W2FMI, "Transmission line Transformers", Noble Publishing, 2001(4th ed.)