

Tank회로를 이용한 배전선신호 결합장치의 특성분석

·김 중 수* 계 문 호* 유 동 욱* 오 성 철* 김 중 우**
 * 한국전기연구소 전력전자연구실 ** 효성중공업(주)

Signal Transmission Characteristic of PLC Coupler using Tank Circuit

· KIM, J.S* KYE, M.H* YOO, D.W* OH, S.C* KIM, J.W**
 * PE-LAB., KERI ** HYOUSUNG INDUSTRIES CO., LTD.

ABSTRACT - The load impedance of power lines generally varies with time, areas, and season. Also, the harmonic noises by the power electrical equipments are scattered through the power lines. The received signal level varies with the environment and is not able to detect the PLC(Power Line Carrier) signal. For this reason, it is required for the signal transmitter to hold the received signal level uniform independently with the variation of the load impedance. In this paper, the power lines are modeled simply and a method keeping the received signal level uniform is suggested through the analysis of the signal transmission characteristics of the PLC coupler using tank circuit.

1. 서론

산업의 발전과 국민생활수준의 향상에 따라 전력수요는 매년 급격하게 증가하고 고품질의 전력에 대한 욕구가 날로 증대되어 배전계통의 효율적인 관리에 의한 전력공급의 품질 향상, 전기에너지의 합리적인 이용 및 수용가에 고도의 서비스 제공등이 전력공급회사에 요구되고 있는 실정이다. 이에 대한 대응책으로 본 연구소에서는 한국형 배전자동화 시스템의 개발에 착수, 선로운전자동화, 배전선의 정보수집, 부하관리(부하제어, 자동검침)등의 배전자동화의 모든 기능의 실현을 위해 연구중이다.

한국형 배전자동화 시스템은 중앙장치, 통신중계장치, 단말장치로 구성되며 중앙장치와 통신중계장치는 선로 전송로로 전용선을 이용하고 있으며, 통신중계장치와 단말장치사이의 신호 전송로로는 무선, 광통신, 전용선, 전화선, 배전선을 고려할 수 있다.

①무선은 지향특성이 적은 주파수의 전파가 필요하게 되나 이 주파수의 전파를 확보하기 어렵고, 기상조건 도시잡음등의 영향을 받기 쉽다. ②광통신은 배전자동화의 통신요구에 비해 지나치게 성능이 우수하고 경제적인 문제점이 있다. ③전용선은 통신신뢰도가 우수한 개개의 수용가까지 선로의 포설비가 고가이다. ④전화선은 통신신뢰도는 높으나 타사설비이므로 운용상에 문제점이 내재되어 있고, 비가입자에 대한 별도의 대책이 필요하다. ⑤배전선은 자사설비이므로 운용상에 많은 잇점이 있으며, 기설된 선로를 이용하므로 경제적이다. 이와 같은 이유로 통신중계장치와 단말장치의 신호 전송로로 배전선을 이용하는 방식이 채택되었으나 배전선은 주입되는 신호에 대한 주입점 임피던스가 시간, 계절, 지역에 따라 수시로 변화하고 전력변환기에 대한 고조파 노이즈가 산재되어 있어 통신 선로로는 대단히 불리한 특성을 갖고 있다. 또한, 이러한 특성으로 인해 신호 주입점에서 배전선에 주입된 신호는 부하 임피던스의 변동에 따라 수신점에서의 신호레벨이 변동하고 수신기의 신호레벨이하로 떨어지는 경우가 발생하거나 노이즈의 레벨보다 낮게되어 통신신뢰도를 저하시키는 원인이 되고 있다. 본 논문에서는 부하 임피던스의 변동에 관계없이 수신점의 신호레벨이 일정한 레벨을 유지할 수 있도록 간단한 배전선 모델을 도입하여 신호결합장치의 제특성을 분석하므로써 그 방안을 제시하고자 한다.

2. 배전선의 신호전송 특성

통신 중계장치에서 주입된 신호는 배전선을 따라 전체의 단말장치에 동시에 전달되고 단말장치는 이 신호를 수신, 분석을 통해 부하제어, 전력량 검침, 선로정보 수집등의 기능을 수행하고 그 결과를 신호화하여 통신 중계장치에 송신한다. 전송로로 이용된 배전선을 그림 1.과 같이 전압신호를 주입하는 경우의 계통도를 그림 1-(a), 전류신호를 주입하는 경우의 계통도를 그림 1-(b)로 하고 이 중에서 1상을 사다리꼴 4단자 정수로 표현한 그림(c)의 회로에 의해 신호전송특성을 계산한다.

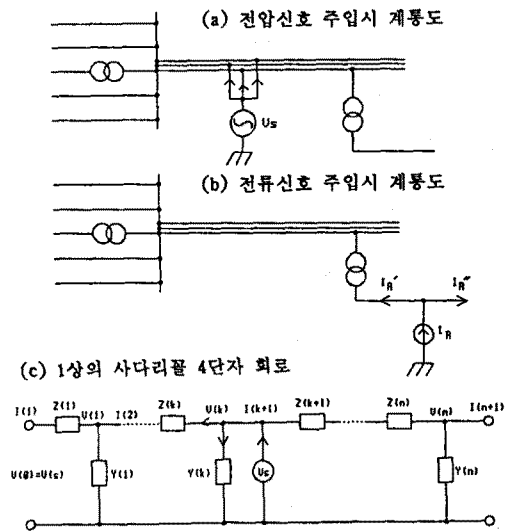


그림 1. 계통도

그림 1-(c)에서 K절점의 4단자 정수를 아래와 같이 정의한다.

$$\begin{bmatrix} V(K-1) \\ I(K) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A(K) & B(K) \\ C(K) & D(K) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V(K) \\ I(K+1) \end{bmatrix} \quad \dots (1)$$

$$F(K) = \begin{bmatrix} A(K) & B(K) \\ C(K) & D(K) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+Z(K)Y(K) & Z(K) \\ Y(K) & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

단, $F(n+1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ 이고

$Z(K)$: K절점 선로임피던스

$Y(K)$: K절점 어드미턴스이다.

이때 전원측 주입점에서의 K절점까지의 4단자정수를 $F_1(K)$, K절점에서 말단까지의 4단자정수를 $F_2(K)$ 로 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$F_1(K) = \begin{bmatrix} A_1(K) & B_1(K) \\ C_1(K) & D_1(K) \end{bmatrix}$$

$$F_2(K) = \begin{bmatrix} A_2(K) & B_2(K) \\ C_2(K) & D_2(K) \end{bmatrix} \quad \dots (3)$$

(1) 선로전송특성

모선에서 특정 피더의 1상에서 신호전압 V_s 를 주입하는 경우 모선과 말단과의 4단자 정수는

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I(1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_2(0) & B_2(0) \\ C_2(0) & D_2(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V(n) \\ I(n+1) \end{bmatrix}; I_{(n+1)}=0 \quad \dots (4)$$

로 되고,

K절점과 말단과의 4단자 정수는

$$\begin{bmatrix} V(K) \\ I(K+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_2(K) & B_2(K) \\ C_2(K) & D_2(K) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V(n) \\ I(n+1) \end{bmatrix}, I_{n+1}=0 \quad \dots (5)$$

으로 되어

신호전압 전송비(E(K))는

$$E(K) = \frac{V(K)}{V_s} = \frac{A_2(K)}{A_2(0)} \quad \dots (6)$$

로 표시된다.

또한, K절점에서 신호전류 I_k 를 주입하는 경우, I_k 는 모선쪽으로 I_k' 말단쪽으로 I_k'' 로 분류한다.

K절점과 모선과의 4단자 회로는

$$\begin{bmatrix} V(K) \\ I_k' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_1(K) & B_1(K) \\ C_1(K) & A_1(K) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V(0) \\ I(1) \end{bmatrix} \quad \dots (7)$$

$$\begin{bmatrix} V(0) \\ I(1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_p & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_p \\ I_p \end{bmatrix}, I_p=0$$

단, E_p, I_p, Z_p 는 전원측 전압, 전류, 임피던스이다.

으로 되고,

K절점과 말단과의 4단자 회로는

$$\begin{bmatrix} V_k \\ I_k'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_2(K) & B_2(K) \\ C_2(K) & D_2(K) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V(n) \\ I(n+1) \end{bmatrix}, I_{n+1}=0 \quad \dots (8)$$

로 된다.

그러므로 신호전류(I_k)는

$$I_k = I_k' + I_k''$$

$$= [C_1(K)Z_p + A_1(K)]I(1) + \frac{C_2(K)}{A_2(K)}[D_1(K)Z_p + B_1(K)]I(1) \quad \dots (9)$$

이 된다.

신호전류 전송비(I(K))는

$$I(k) = \frac{I(1)}{I(A_2(K))} = [C_1(K)Z_p + A_1(K)] + \frac{C_2(K)}{A_2(K)}[D_1(K)Z_p + B_1(K)]$$

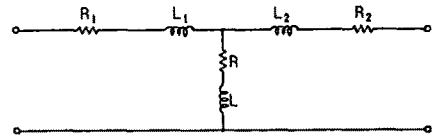
이다.

그러나, 4단자 정수 $F_1(K)$ 또는 $F_2(K)$ 는 선로에 걸리는 부하 종류에 따라 실측한 데이터가 필요하고 신호주파수에 따라 선로의 인덕턴스성분을 고려해야 하므로 계산기를 이용한 해석은 매우 복잡하고 어려운 작업이 된다. 신호가 음성주파수(300-1KHz)대인 경우 일본 전력중앙연구소에서 해석프로그램

을 개발하여 신호전송특성을 계산한 결과 대체적으로 계산치와 실측치가 거의 일치하고 있다. (1)

(2) 배전선 모델

일반적으로 배전선은 신호주파수에 대해서 저항과 인덕터의 직렬결합으로 모의할 수 있으며 그림 2.과 같이 인덕터는 환경에 관계없이 변동하고, 저항은 공장지역에서는 2-5Ω, 주거지역에서는 5-30Ω으로 환경에 따라 변동한다. (2)



R1,2 : 160mm² ACSR선 : 0.182 Ω/Km (3)
22mm² 경동선 : 0.818 Ω/Km

L1,2 : 160mm² ACSR선(1800mm완급) : 0.37 μH
22mm² 경동선(1800mm완급) : 0.46 μH

그림 2. 신호주파수에 대한 배전선 모델

그러므로, 본 논문에서는 그림 2.과 같은 배전선 모델을 이용해 Tank회로에 의한 배전선 신호결합특성을 분석하고 최적의 신호가 전송될 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

3. Tank회로에 의한 신호결합특성

그림 2.의 배전선모델을 사용하면 신호결합기 회로는 그림 3.과 같이 구성되고 스위치가 단락상태일때, 그림 3-(b)(Mode I)로 구성되고 스위치가 개방상태일때, 그림 3-(c)(Mode II)로 구성된다. 이 회로의 상태방정식을 구하고, ACSL을 이용해 주입된 신호전력, 수신점에 전달된 신호전력, 배전선에 흐르는 신호전류(PLC 전류) 및 신호전송율의 제정수에 관련된 특성을 아래와 같이 분석하고 그림 4. 나타내었다.

①Transformer의 결합계수와 신호전송특성

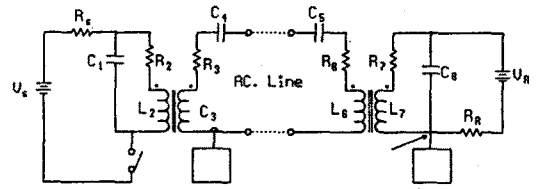
②Tank콘덴서 C₁와 신호전송특성

③부하(R)의 변동과 신호전송특성

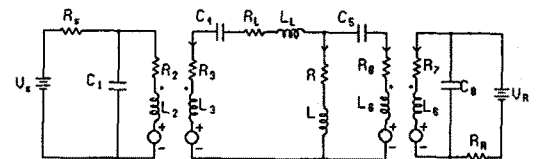
④부하(L)의 변동과 신호전송특성

⑤60Hz AC Blocking 콘덴서 C_B와 신호전송특성

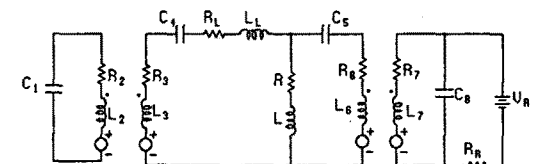
⑥스위치의 단락시간에 따른 신호전송특성



(a) 신호결합기 회로

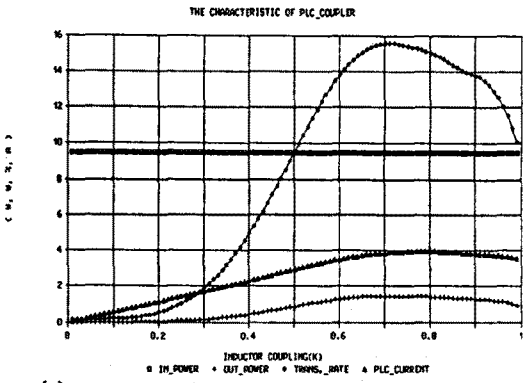


(b) 스위치 단락시 신호결합기 회로 (MODE I)

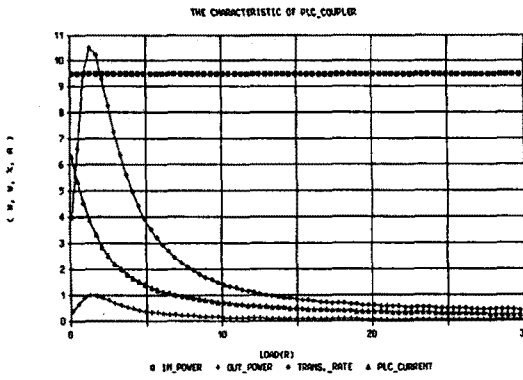


(c) 스위치 개방시 신호결합기 회로 (MODE II)

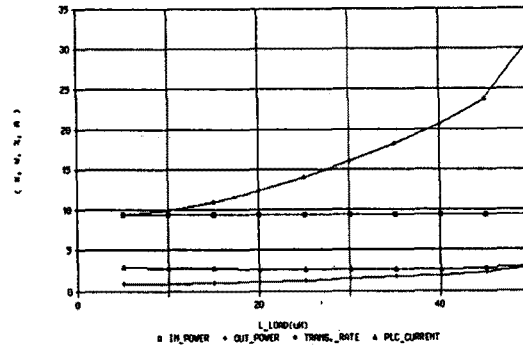
그림 3. 신호결합기 회로구성도



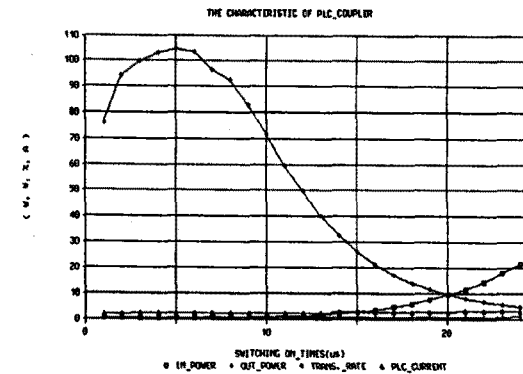
(a) Transformer의 결합계수에 따른 신호전송특성



(b) 부하(R)의 변동에 따른 신호전송특성



(c) 부하(L)의 변동에 따른 신호전송특성



(d) 스위치의 단락시간에 따른 신호전송특성
그림 4. 계정수의 변화에 따른 신호전송특성

①의 분석 결과 그림 4-(a)에서 처럼 $K=0.7$ 부근에서 신호전송특성이 가장 우수하게 나타난다. 이는 회로의 특성상 인덕터와 콘덴서의 에너지 수수가 $K=1/\sqrt{2}$ 에서 최적인 것으로 판단된다. ②, ⑥의 분석 결과 L, C에 의한 공진주파수가 스위칭 주파수보다 높으면 신호의 감쇄가 급속하게 커지게 됨을 알 수 있었다. 그림 5-(b), (c)에서 보면 R-부하가 증가하면 PLC전류가 급속하게 증가하나 L-부하에서는 서서히 증가되고 있다. 한편, 그림 4-(d)에서 처럼 스위치 단락시간이 증가함에 따라 주입되는 전력은 급속하게 증가하고 출력전류와 전류도 따라서 증가됨을 알 수 있다. 결과적으로 PLC 전류가 증가하면 부하가 증가되었음을 알 수 있으며 이에 따라 스위치 단락시간을 적절하게 조절함으로써 부하변동에 관계없이 출력전력을 일정하게 유지시킬 수 있음을 확인하였다.

4. PSPICE에 의한 Simulation

위의 분석 결과를 토대로 PSPICE (PC용 Evaluation Version)를 이용해 가능성을 확인하였다. 그 결과를 그림 5.에 나타내었다.

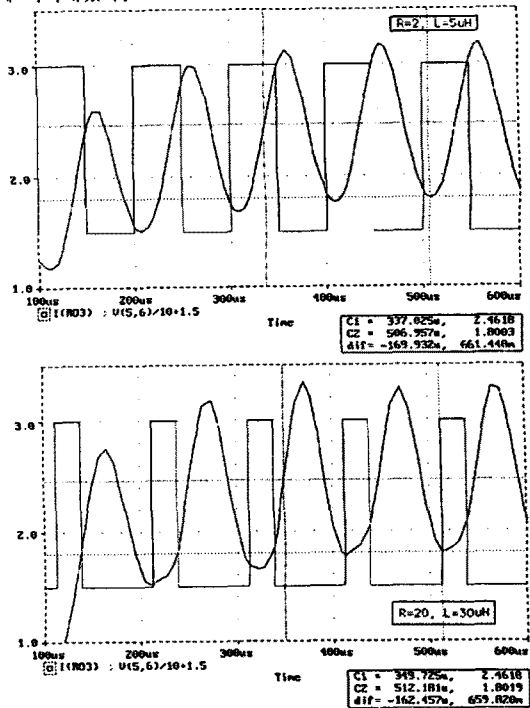


그림 5. PSPICE에 의한 Simulation 결과

5. 결론

배전선을 이용한 신호 전송 시스템은 미국, 일본, 유럽등에서 50년 대 부터 연구를 수행하고 있으며 많은 인력과 시간이 소요되는 과제이다. 본 논문에서는 한국형 배전자동화 시스템의 연구 수행 중 신호결합장치의 타당성을 검토하기 위해 ACSL에 의해 Tank 회로를 분석하였다. 분석 결과 배전선에 주입되는 신호는 부하의 변동에 따라 수신된 신호레벨이 크게 변화됨을 확인하였고, 이에 대한 대책으로 스위치를 이용해 PLC전류에 따라 스위치의 단락시간을 조절함으로써 부하의 변화에 관계없이 일정한 수신레벨을 유지시킬 수 있는 가능성을 제시하였다. 앞으로 위의 분석 결과를 토대로 제어기를 설계하고, Simulation 및 실선로에 대한 시험이 필요한 과제이다.

참고문헌

1. 有賀保夫, 石川勝, "配電線における信號傳送特性の解明と配電線般送方式の設計手法," 電力研究所, 1985, 3.