

전력선 모델을 위한 Line-Coupler의 설계 및 특성

박종연, 조계현
강원대학교, 전기전자공학부

The Design and Characteristics of the Line Coupler for Power Line Modem

Chong-yeun Park, Gye-hyun Cho

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kangwon National University

Abstract - To realize the power line communication system, the line coupler is one of the most important systems, which must be adjustable to the power line characteristics. In this paper, three kinds of line couplers were designed and simulated with the Pspice, which could be useful to the power line communication systems in C-Band(95kHz~148.5kHz) frequency

1. 서 론

전력선 통신을 위한 시스템에서 전력선과 통신시스템을 연결하는 line-coupler의 역할은 전력선에 신호를 실는 송신측과 전력선에 220v/60Hz속에서 중첩된 신호를 검출하는데 매우 중요하다. [1]-[5] 전력선을 통한 송신 시스템에서 line-coupler는 HPF의 역할을 해야 하며 수신 시스템에서 line-coupler는 BPF 역할을 한다. 본 연구에서는 송, 수신단자를 분리하지 않은 2 종류의 line-coupler와 송, 수신단자 분리형 line-coupler 1종류를 설계하고, 해석하였다.

2. 본 론

2.1 동작원리 및 설계

Line-coupler는 모뎀과 전원선을 연결하기 위한 Transformer 및 L,C소자에 의해서 그림 1과 같이 구성되며 Power line과 모뎀이 분리 독립된 기능을 할 수 있도록 한다.

- ① 전송신호를 전력선의 220volt에 중첩시키는 역할
- ② 전력선의 220V/60Hz, 또는 110V/60Hz의 전력신호 가운데 중첩된 신호를 Filtering하는 역할
- ③ 전송신호의 고조파 및 잡음을 filtering 하는 역할

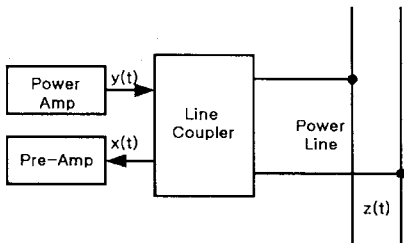


그림1. Line coupler의 역할

그림1에서 line-coupler는 전력선의 진원주파수(50Hz~60Hz)는 차단시키고 모뎀 입력신호 x(t)를 전력선의 잡음 및 전력성분은 제거하며 모뎀의 출력신호 y(t)를 전력선 신호에 같이 중첩시키는 역할을 한다.

따라서 y(t)를 전력선에 중첩시키는 측면에서는 고역통과 필터의 역할(HPF)을 하고, x(t)의 측면에서는 전력선의 잡음신호를 차단하기 위하여 대역통과필터(BPF)의 역할을 해야한다. 이러한 측면에서 본 연구에서는 다음과 같은 3종류의 Line-coupler를 설계하여 특성을 분석하였다.

2.1 Line-Coupler의 기본형

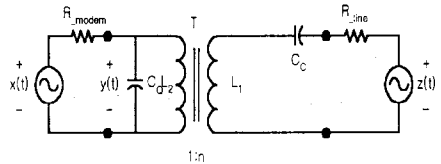


그림2. 기본적인 Line Coupler의 구조

기본적인 Line-coupler는 그림2(1)와 같이 표현할 수 있다. 여기서 R_line은 전력선의 임피던스이고 R_modem은 모뎀의 출력임피던스 x(t),y(t),z(t)는 각각 그림1과 같다. 그림2에서 결합계수를 M이라고 하면 그림3과 같은 등가 회로를 가정할 수 있다.

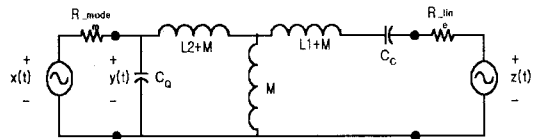


그림3. 기본 Line-Coupler의 등가회로

이러한 그림3의 등가회로에서 전달함수를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{X(s)}{Z(s)} = \frac{R_{modem}MC(L_2+M)S^2}{(R_{modem}C_d(L_2+M)S^2 + (L_2+M)S + R_{modem})K - R_{modem}MT} \quad \dots(1)$$

$$\text{단, } K = (L_2+2M)T + M(L_2+M)C_dS^2$$

$$T = C_d(L_1+M)S^2 + R_1CS + 1$$

$$\frac{Z(s)}{Y(s)} = \frac{R_{modem}MC_S}{C_d[M(L_2+M) + (L_2+2M)(L_1+M)S^2 + C_d(L_2+2M)R_{modem} + R_1(L_2+2M)S + L_2+2M]} \quad \dots\dots(2)$$

이러한 식(1)과 (2)에서와 같이 z(t)를 송신신호, y(t)를 수신 신호에 대해서는 고역 통과 필터(HPF), y(t)를 송신, z(t)를 수신신호로 할때에는 대역통과필터(BPF)역할을 한다.

2.2 개선된 Line-Coupler의 구조

Line-Coupler의 기본형인 그림2의 구조는 단순하여 제조하기가 용이한 반면, 모델측의 송, 수신단자가 일치하기 때문에 HPF와 BPF의 주파수 특성이 우수하지 못한 결합이 있다.

이러한 결함을 보완한 것이 그림 4와 같은 구조[2]이며, 2차측에 Tap을 내어 모델에 연결하는 것이 특징이다.

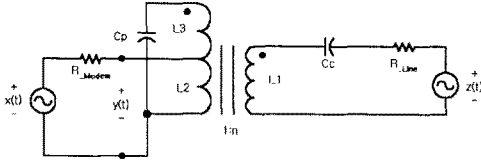


그림4. 개선된 Line Coupler의 구조

모델측의 L2, L3 및 Cp에 의해서 공진을 일으켜서 대역 통과필터(BPF) 기능을 실현하기 위한 구조로써 결합계수 k를 가정하면 공진 인덕턴스 Leq, 공진주파수 f01는 다음과 같다.

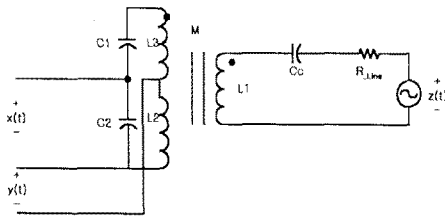
$$L_{eq} = L_2 + L_3 + k\sqrt{L_2L_3} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$f_{01} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_e C_p}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

또한 z(t) 신호를 고역 통과 필터링 시켜서 x(t)를 만드는 경우는 그림3의 등가회로 및 식(1)에 의한 방법과 일치한다.

2.3 최적구조의 Line-Coupler

모델의 측면에서 Line-Coupler의 송, 수신단자가 동일한 그림2의 기본형과 그림4의 개선형에서 나타나는 송, 수신 단자간의 상호영향을 최소화하고 효과적인 Filter 역할을 실현하기 위해서 그림5와 같은 구조가 최적으로 판단된다.



$$M = k\sqrt{L_2L_3}$$

그림5. 최적구조의 Line-Coupler

모델의 수신기능에서는 그림6과 같으며 결합계수 k, 상호 인덕턴스 M, 공진 주파수 f02라고 할 때

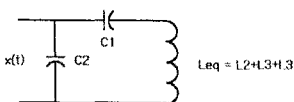


그림6. 모델의 수신 Mode 등가회로

$$f_{02} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{eq}C_{eq}}} \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{단, } C_{eq} = \frac{C_1C_2}{C_1+C_2}, L_{eq} = L_2+L_3+k\sqrt{L_2L_3}$$

물론 전력선 측에서도 이러한 공진 주파수에서 효과적으로 전력이 모델쪽으로 전송되도록 Cc와 L1를 맞춰야 한다. 모델의 송신 Mode에서는 그림4와 같은 형태로 식 (3) 및 (4)와 유사한 공진 주파수를 얻을 수 있다.

3. 소자값 결정 및 특성 해석

전력선통신의 허용대역(95kHz-148.5kHz)에서 3종류의 Line-Coupler 그림2, 그림4 및 그림5의 적절한 값 및 전력선 임피던스변화에 따른 수치 해석 결과를 통하여 특성을 분석하였다.

3.1 Line Coupler의 기본형의 특성해석

기본형으로는 그림2의 T에서 L1의 값은 다음 그림7에서와 같이 구분되며

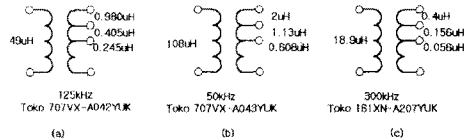
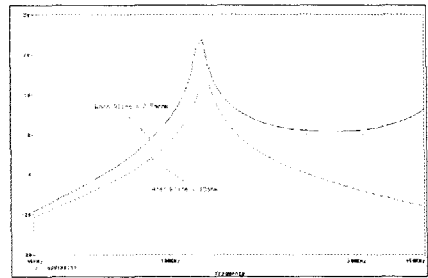
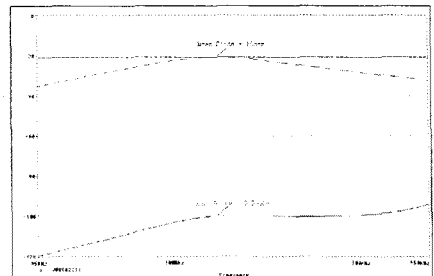


그림7. Line-Coupler 기본형의 L1값 실현 방법

각각의 경우에 대한 특성 해석 결과 예로서 그림7(a)의 L2=0.98μH에 대하여 송, 수신시 전력선의 임피던스변화를 고려한 경우, R_line=0.5mΩ부터 10Ω일때를 해석한 결과를 그림8에 표시하였다.



(a) 수신시 특성



(b) 송신시 특성

그림8. Line-Coupler 기본형 그림7(a)의 load 임피던스에 따른 특성변화

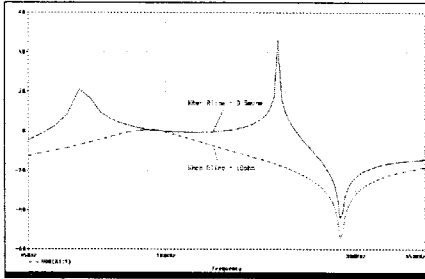
$$(C_Q = 33\text{nF}, C_C = 0.22\mu\text{F}, M = 0.707)$$

3.2 개선된 Line-Coupler의 특성분석

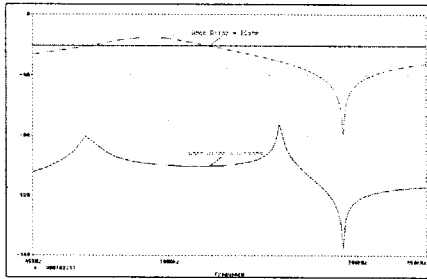
개선된 Line-Coupler의 소자값은 사용대역에 따라 수식(4)에 의해서 C_p 값은 다음과 같다.

$$C_p = \frac{\left(\frac{1}{2\pi f_{01}}\right)^2}{L_{eq}}$$

사용대역이 95kHz라면 $C_p = 14\text{nF}$ 이고, 148.5kHz라면 $C_p = 5.7\text{nF}$ 이다. 그림4에서 $L_1 = L_2 = 9.4\mu\text{F}$, $L_3 = 140\mu\text{F}$, $C_c = 470\text{nF}$ 값을 갖고, 전력선의 임피던스 R_{line} 의 변화 ($0.5\text{m}\Omega$ 에서 10Ω)에 따른 모뎀의 송,수신 특성은 그림 9와 같다.



(a) 수신시 특성



(b) 송신시 특성

그림9. 개선된 Line Coupler의 특성

3.3 최적구조의 Line-Coupler의 특성분석

그림5의 구조에서 각각의 소자 값은, 사용대역을 C-Band(95kHz~148.5kHz)라고 할 때 각 소자 값은 다음과 같다.

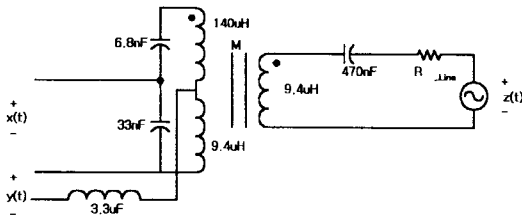
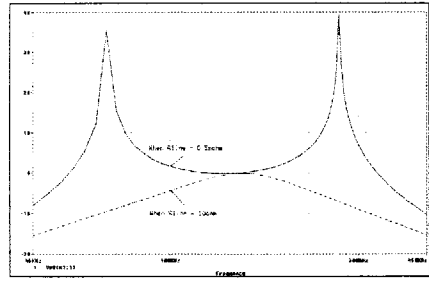
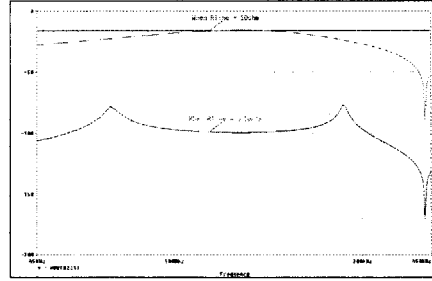


그림10. 최적의 Line Coupler 회로 구성도

또한 이 소자 값에 의한 특성의 분석결과는 그림11과 같다.



(a) 수신시 특성



(b) 송신시 특성

그림11. 최적의 Line-Coupler의 특성해석

3. 결 론

Line Coupler에 대해서 본 연구에서 해석하고 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 기본형의 Line-Coupler와 개선형의 설계 및 실 과정에서 모뎀의 송, 수신단자가 동일하여 송신과 수신특성을 개선하기 위해서 최적으로 실현하는 방법으로 송, 수신단자를 달리 구성하는 것이 효과적이다.

둘째, Line-Coupler에 사용되는 Transformer의 전기적 성이 전체의 주파수 특성에 미치는 영향이 대단히 크며, Coupler 주변의 C값도 온도계수가 $150\text{PPM}/^\circ\text{C} \sim 150\text{PPM}/^\circ\text{C}$ 이내에서 동작하는 polystyrene type이 적절하고 특히 print 기판에서 C와 L은 가깝게 가까이 배치하여야 한다.

(참 고 문 헌)

- [1] National Semiconductor사, "LM1893/LM2893 Carrier-Current Transceiver", Manual, 1995
- [2] SGS Thomson사, "ST7537 Power line Modem", Manual, 1997
- [3] PHILIPS사, "TDA5051 Home Automation Modem", Manual, 1997
- [4] EN50065-1, "Signaling on low voltage electrical inst in the frequency range 3kHz to 148.5kHz", CENELEC, Brussels, 1991
- [5] Daniel Chaffanjon, "A Rael Knowledge of Propagation the Way of Efficiency and Reliability making PLC Generalization Feasible", ISPLCA98, pp57-66