대역 확산 전력선 통신을 위한 양방향 적응 결합기 설계

論 文
56-3-28

Design of a Bidirectional Adaptive Coupler for Spread Spectrum Power Line Communications

劉 永 奎† · 禹 大 鎬* · 崔 碩 佑** · 金 東 龍**
(Young-Gyu Yu · Dae-Ho Woo · Seok Woo Choi · Dong Yong Kim)

Abstract - This paper presents the new power line coupler which is applicable to spread spectrum power line communications. The proposed coupler maintains the adequate value of a capacitor between the transmitter mode and the receiver mode using a switch. In the transmit mode, the relatively high value of the capacitor is chosen to minimize the attenuation of transmitted signals. In the receiver mode, the value of the capacitor is chosen to be small enough so that the coupler attenuates power line noises. This coupler reduced the magnitude distortion due to having a high Q value and the power consumption caused by the AC current flowing into the capacitor. The simulation and measurement results show the improved performance in the transmitter and receiver mode, respectively.

Key Words : Power Line Communication, Coupler, Spread Spectrum

1. 서 론

IT기술의 급속한 발달로 기업이나 공공기관의 사무실 중심으로 구축되던 네트워크 환경이 가정내의 디지털 전자기기로 확산되면서 홈 네트워크에 대한 관심이 높아지고 있다. 홈 네트워킹은 전화선, 전력선, 이더넷, 무선 등의 다양한 매체로 구현되며, 네트워크화된 가정내 디지털 정보기기들간의 데이터 공유, 원격 제어 등을 가능하게 한다. 이중 전력선 통신은 통신선의 추가 설치가 필요 없어 투자비용이 저렴하고, 벽면의 소켓에 플러그를 접속함으로써 통신이 가능하다는 장점으로 네트워크화를 위한 최상의 솔루션으로 여겨지고 있다. 하지만, 채널에 많은 잡음이 존재하고 전자제품의 EMC 필터로 인한 심한 감쇄가 발생한다. 또한 참고문헌[1,2]에 의하면, 전력선 채널에 영향을 주는 성분은 감쇄, 위상 편이, 페이딩, 잡음 등이 존재하며 시변 채널 특성을 지니고 있다. 이러한 전력선 채널이 갖는 문제점을 해결하기 위해서 새로운 기술에 대한 연구가 진행되고 있다.

현재 홈 네트워크에서 500㎑ 이하의 주파수 대역을 사용하는 전력선 통신 기술은 이진 위상 천이 변조, 주파수 천이 변조, 대역 확산 방식 등이 있으며, 이중 대역 확산 방식은 협대역 잡음과 주파수 선택적 페이딩에 강한 특성을 갖고 있어[3], 전력선과 같은 열악한 채널에 적합한 방식으로 널리 이용되고 있다[4]. 그러나 대역 확산 방식은 다른 통신 방식에 비해 넓은 대역폭이 필요하기 때문에, 전력선 결합기 설계에서 문제가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 결합기의 특성을 분석하고 송신과 수신에 적합한 새로운 전력선 결합기를 제안한다.

† 교신저자, 正會員 : LS산전 중앙연구소
E-mail : ygyu1@lsis.biz
* 正 會 員 : SK텔레시스 연구소
** 正 會 員 : 全北大 工大 電子情報工學部 敎授 · 工博
接受日字 : 2006年 11月 15日
最終完了 : 2006年 12月 21日

2. 본 론

2.1 기존 전력선 결합기

그림 1은 일반적인 전력선 결합기며, 전력선에 통신 신호를 인가하고 전력선으로부터 통신 신호를 수신한다. 여기서 T는 커플링 변압기, C_C는 교류 커패시터이다. 커플링 변압기와 교류 커패시터는 60Hz의 전원을 차단하고 통신 신호를 통과시킨다. 본 논문에서는 CEBus 규격에서 사용하고 있는 chirp 대역 확산 기술로 100㎑~400㎑를 사용한다[5,6].

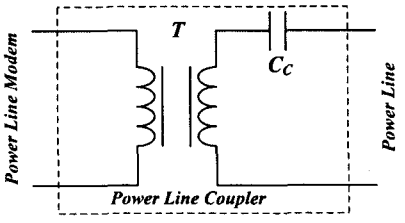


그림 1 일반적인 전력선 결합기
Fig. 1 A typical power line coupler

2.1.1 기존 전력선 결합기의 송신 동작

그림 2는 변압기 등가회로[7]을 이용한 그림 1의 송신 등가회로다. 여기서 Z_{AC}는 가변적인 특성을 갖는 전력선 임피던스, V_S는 전력증폭기의 출력, R_S는 전력증폭기 출력 임피던스이다. 또한 R_{p1}, R_{p2}, L_{leak1}, L_{leak2}, L_{C1}, L_{C2}는 변압기 1차와 2차 측 권선 저항, 누설 인덕턴스, 자화 인덕턴스이다. 변

압기 권선 비는 1:1이고 L_{C1}=L_{C2}=L_C이다.

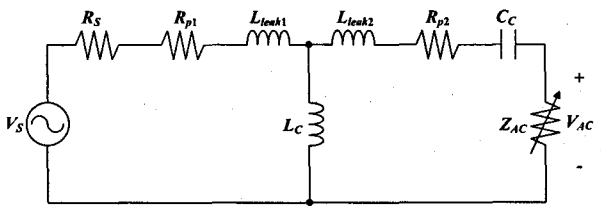


그림 2 전력선 결합기의 송신 등가회로

Fig. 2 An equivalent-circuit of a power line coupler at the transmitter side

그림 2에서 L_C의 임피던스가 통신 주파수에서 충분이 클 때 부하 임피던스에 따른 전달함수와 파라미터는 표 1과 같다. 여기서 R_p=R_s+R_{p1}+R_{p2}, L_{leak}=L_{leak1}+L_{leak2}, w_c는 차단주파수(중심주파수), G는 이득이다.

표 1 부하 임피던스에 따른 전달함수와 파라미터

Table 1 Transfer function and its parameters versus load impedance

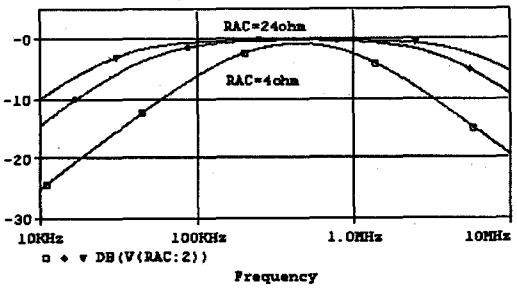
부하	전달함수	w_c	Q	G
Z_{AC}=R_{AC}	$\frac{\frac{R_{AC}}{L_{leak}}s}{s^2+\left(\frac{R_p+R_{AC}}{L_{leak}}\right)s+\frac{1}{L_{leak}C_C}}$	$\frac{1}{\sqrt{L_{leak}C_C}}$	$\frac{1}{R_p+R_{AC}}\cdot\sqrt{\frac{L_{leak}}{C_C}}$	$\frac{R_{AC}}{R_p+R_{AC}}$
Z_{AC}=C_{AC}	$\frac{\frac{1}{L_{leak}C_{AC}}}{s^2+\frac{R_p}{L_{leak}}s+\frac{1}{L_{leak}}\cdot\frac{C_{AC}+C_C}{C_{AC}C_C}}$	$\sqrt{\frac{1}{L_{leak}}\cdot\frac{C_{AC}+C_C}{C_{AC}C_C}}$	$\frac{1}{R_p}\sqrt{L_{leak}\cdot\frac{C_{AC}+C_C}{C_{AC}C_C}}$	$\frac{C_C}{C_{AC}+C_C}$
Z_{AC}=L_{AC}	$\frac{\frac{L_{AC}}{L_{leak}+L_{AC}}s^2}{s^2+\frac{R_p}{L_{leak}+L_{AC}}s+\frac{1}{(L_{leak}+L_{AC})C_C}}$	$\frac{1}{\sqrt{(L_{leak}+L_{AC})C_C}}$	$\frac{1}{R_p}\sqrt{\frac{L_{leak}+L_{AC}}{C_C}}$	$\frac{L_{AC}}{L_{leak}+L_{AC}}$

chirp 대역 확산 전력선 통신에서 C_C=0.1㎌~2㎌, R_S=0.1Ω~2Ω이고 변압기의 전기적 특성은 R_{p1}=R_{p2}<0.5Ω, L_{leak1}=L_{leak2}<1uH, L_C>800uH이다[8,9]. 본 논문에서는 C_C=0.22㎌, R_S=0Ω, R_{p1}=R_{p2}=0.2Ω, L_{leak1}=L_{leak2}=0.3uH, L_C=800uH으로 가정한다.

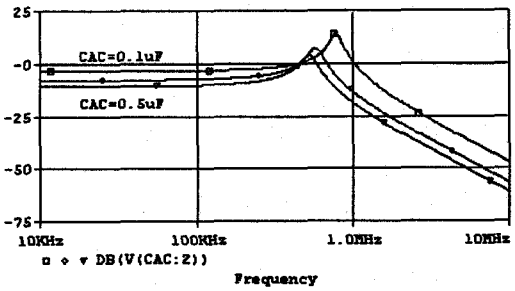
그림 3은 부하 임피던스에 따른 주파수 특성이다. 그림 3(a)은 Z_{AC}=R_{AC}일 때 모의실험 결과이며 중심주파수가 438㎑인 대역통과 필터이다. 따라서 중심주파수를 저주파로 이동시켜야 한다. 그림에서 R_{AC}가 작아지면 대역폭이 감소하고 통과대역에서 신호 감쇄가 증가한다. R_{AC}가 4Ω, 14Ω, 24Ω일 때 100㎑에서 신호 감쇄는 -6.2dB, -1.1dB, -0.48dB이고 400㎑에서 신호 감쇄는 -0.85dB, -0.25dB, -0.15dB이다. 표 1에서 L_{leak}가 증가하면 중심주파수는 저주파로 이동하지만 Q가 증가하여 통신 대역폭이 감소한다. 따라서 C_C를 증가시켜 중심주파수를 저주파로 이동시키고 Q를 감소시킨다.

그림 3(b)은 Z_{AC}=C_{AC}일 때 모의실험 결과이며 저역통과 필터이다. C_{AC}가 증가하면 차단주파수가 저주파로 이동하고 통과대역에서 감쇄가 증가한다. C_{AC}가 0.1㎌, 0.3㎌, 0.5㎌일 때 차단주파수는 780㎑, 571㎑, 520㎑이다. 높은 Q에 의한 차단주파수에서 크기 특성 왜곡은 17.4dB, 14.7dB, 13.9B이다. 400㎑에서 이득은 -0.66dB, -2.0dB, -3.3dB이며, 100㎑에서 이득은 -3.1dB, -7.2dB, -10dB이다. 표 1에서 C_C가 증가하면 저역통과 함수의 차단주파수가 낮아지지만 통과대역에서 이득이 증가하고 Q를 감소시켜 크기 특성 왜곡을 감소시킨다.

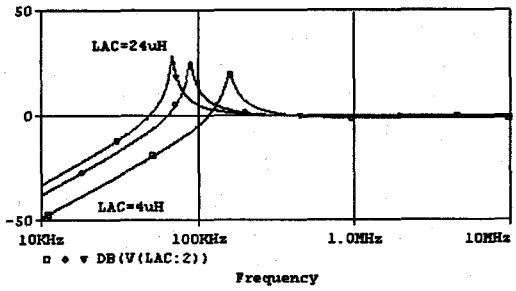
그림 3(c)은 Z_{AC}=L_{AC}일 때 모의실험 결과이며 고역통과 필터이다. L_{AC}가 증가하면 차단주파수가 저주파로 이동하고 통과대역에서 감쇄가 증가한다. L_{AC}가 4uH, 14uH, 24uH일 때 차단주파수는 158㎑, 89㎑, 68㎑이다. 높은 Q에 의한 차단주파수에서 크기 특성 왜곡은 21.2dB, 26.1dB, 28.4dB이다. 100㎑에서 이득은 -4.7dB, 13dB, 5.2dB이며, 400㎑에서 이득은 0.25dB, 0.07dB, 0.04dB이다. 표 1에서 L_{leak}가 증가하면 차단주파수는 저주파로 이동하지만 Q가 증가한다. 따라서 C_C를 증가시켜 차단주파수를 저주파로 이동시키고 Q를 감소시킨다. 송신 분석을 통해 C_C가 증가하면 Q가 감소하여 크기 특성이 향상되고 통과대역에서 크기 편차가 개선된다.



(a) Z_{AC}=R_{AC}



(b) Z_{AC}=C_{AC}



(c) Z_{AC}=L_{AC}

그림 3 부하 임피던스에 따른 주파수 특성

Fig. 3 Frequency response versus load impedance

2.1.2 기존 전력선 결합기의 수신 동작

그림 4는 그림 1의 수신 등가회로다. 여기서 V_{AC}는 통신 신호와 60Hz 전원을 포함한다. R_L은 대역통과 필터의 입·출력 임피던스에 의해 결정되며 전력선 임피던스에 영향을 받지 않도록 크게 한다.

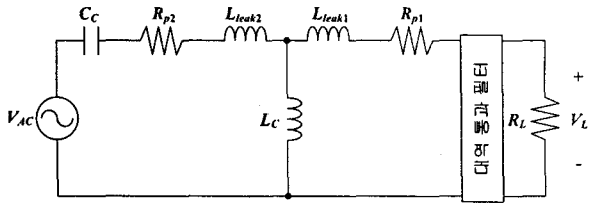


그림 4 전력선 결합기의 수신 등가회로

Fig. 4 An equivalent-circuit of a power line coupler at the receiver side

그림 4에서 $L_C>>L_{leak2}$이고 $R_L>>R_{p1}$일 때 전달함수는 다음과 같다.

$$H(s)=\frac{V_L(s)}{V_{AC}(s)}=\left(\frac{s^2}{s^2+\frac{R_{p2}}{L_C}s+\frac{1}{L_CC_C}}\right)\times\left(\frac{\frac{R_L}{L_{leak1}}}{s+\frac{R_L}{L_{leak1}}}\right) \quad (1)$$

식(1)에서 두 번째 괄호는 1차 저역통과 필터이며, 차단주파수는 수십 ㎒~수백 ㎒으로 통신 주파수에 영향을 미치지 않는다. 첫 번째 괄호는 2차 고역통과 필터이며 차단주파수는 다음과 같다.

$$w_c=\frac{1}{\sqrt{L_CC_C}} \quad (2)$$

그림 5는 전력선 결합기의 주파수 특성이다. 차단주파수는 약 12㎑이며 전력선 저주파 잡음의 제거 효과는 없다. 식(2)에서 저주파 잡음을 제거하기 위해서 L_C, C_C를 감소시켜 차단주파수를 고주파수로 이동시켜야 한다. 그러나 L_C의 임피던스가 통신 주파수 대역에서 높아야 하기 때문에 C_C를 감소시키는 것이 바람직하다.

송신과 수신 동작의 전력선 결합기 분석을 통해 송신 동작에서 C_C는 증가해야 하고 수신 동작에서 C_C는 감소해야 하는 서로 반대의 특성을 갖는다.

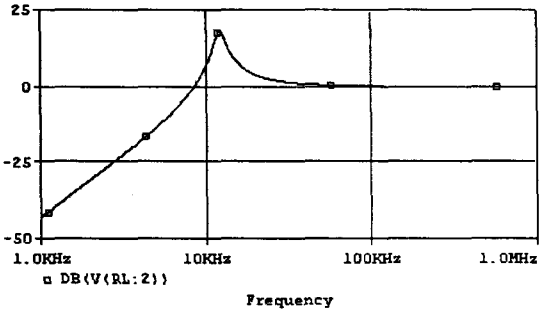


그림 5 전력선 결합기의 수신 주파수 특성

Fig. 5 Frequency response of a power line coupler at the receiver side

2.2 제안된 적응 전력선 결합기

송신과 수신의 서로 다른 설계 조건을 만족하는 새로운 양방향 적응형 전력선 결합기를 제안한다.

2.2.1 적응 전력선 결합기의 송신 동작

그림 6은 제안된 전력선 결합기의 송신 회로이다. 기존의 전력선 결합기에 스위치(SW)와 C_{C_TX}가 추가되었다. 제안된 전력선 결합기는 송신할 때 스위치가 On되어 C_{C_TX}와 C_C의 합성 커패시턴스가 증가한다. 그리고 수신할 때는 스위치가 Off되어 합성 커패시터는 C_C이다.

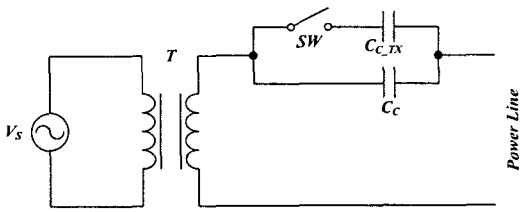


그림 6 제안된 전력선 결합기의 송신 회로

Fig. 6 Transmitter circuit of the proposed power line coupler

그림 7은 전력선 부하 임피던스가 4Ω일 때 합성 커패시턴스에 따른 주파수 특성이다. 합성 커패시턴스가 증가하면 대역통과 필터의 중심주파수가 저주파로 이동하면서 대역폭이 증가한다. 합성 커패시턴스가 0.2㎌, 0.6㎌, 1.0㎌, 1.4㎌일 때 중심주파수는 각각 460㎑, 265㎑, 205㎑, 175㎑이다. 따라서 모의실험 결과 100㎑~400㎑에 적합한 합성 커패시터 값은 1㎌이다.

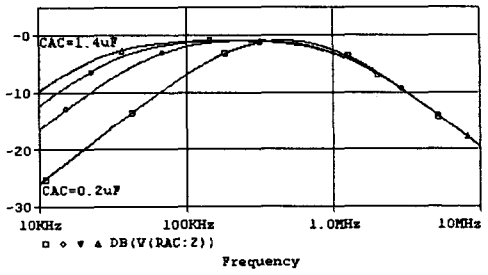


그림 7 커패시턴스에 따른 전력선 결합기의 주파수 특성

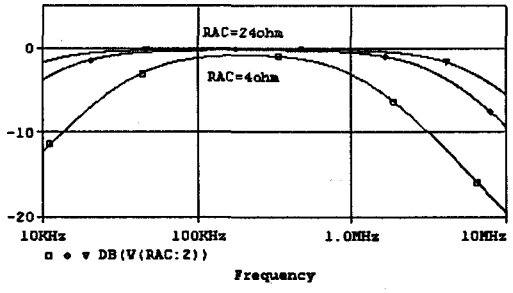
Fig. 7 Frequency response of the power line coupler versus capacitance

그림 8은 합성 커패시터가 1㎌일 때 제안된 결합기의 주파수 특성이다. 그림 8(a)은 Z_{AC}=R_{AC}일 때 모의실험 결과이다. R_{AC}가 4Ω, 14Ω, 24Ω일 때 100㎑에서 신호 감쇄는 -1.1dB, -0.28dB, -0.16dB이고 400㎑에서 신호 감쇄는 -1.1dB, -0.28dB, -0.16dB이다. 그림 3(a)과 비교하여 100㎑에서 신호 감쇄는 향상되었고 400㎑에서 거의 유사하다.

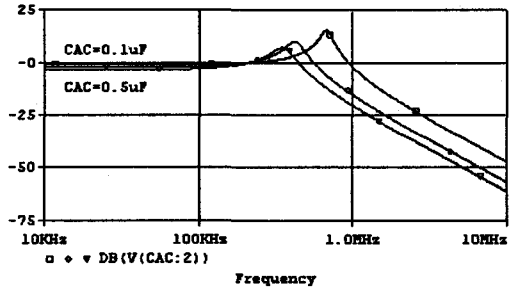
그림 8(b)은 Z_{AC}=C_{AC}일 때 모의실험 결과이다. C_{AC}가 0.1㎌, 0.3㎌, 0.5㎌일 때 차단주파수는 677㎑, 421㎑, 348㎑이다. 각각의 차단주파수에서 크기 특성 왜곡은 16.2dB, 12.2dB, 10.6dB이다. 400㎑에서 이득은 2.8dB, 9.3dB, 4.0dB이며, 100㎑에서 이득은 -0.65dB, -1.8dB, -2.8dB이다. 그림 3(b)과 비교하여 Q가 감소하여 차단주파수에서 크기 특성 왜곡이 개선되었고 통신 주파수 대역에서 이득이 향상되었다.

그림 8(c)은 Z_{AC}=L_{AC}일 때 모의실험 결과이다. L_{AC}가 4uH, 14uH, 24uH일 때 차단주파수는 74㎑, 41㎑, 32㎑이다.

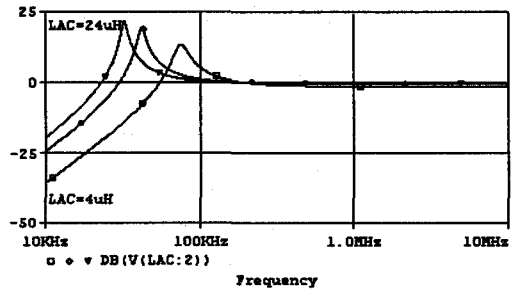
각각의 차단주파수에서 크기 특성 왜곡은 13.6dB, 19.6dB, 21.9dB이다. 100㎑에서 이득은 5.3dB, 1.3dB, 0.7dB이며, 400㎑에서 이득은 -0.92dB, -0.27dB, -0.16dB이다. 그림 3(c)과 비교하여 Q가 감소하여 차단주파수에서 크기 특성 왜곡이 개선되었고 차단주파수가 저주파수로 이동하면서 부하에 따른 이득의 편차가 감소되었다.



(a) $Z_{AC}=R_{AC}$



(b) $Z_{AC}=C_{AC}$



(c) $Z_{AC}=L_{AC}$

그림 8 부하 임피던스에 따른 전력선 결합기의 주파수 특성
Fig. 8 Frequency response of the power line coupler versus load impedance

2.2.2 적응 전력선 결합기의 수신 동작

기존의 전력선 모뎀은 그림 4와 같이 C_C와 T는 고역통과 필터로 동작하고 결합기 다음 블록으로 4차~6차 대역통과 필터를 사용한다. 본 논문에서는 전력선 결합기가 대역통과 필터로 동작하여 기존의 전력선 결합기에서 높은 Q에 의한 크기 특성의 왜곡을 제거하고 전력선 결합기의 차단주파수를 동작 주파수 대역까지 증가시켜 전력선 저주파 잡음을 제거한다. 제안된 전력선 결합기의 수신 필터는 단종단 LC 제자형 4차 버터워스 대역통과 필터로 구성하였다[10]. 그림 9는 제안된 전력선 결합기의 수신 회로이고 표 2는 필터의 사양과 소자 값이다.

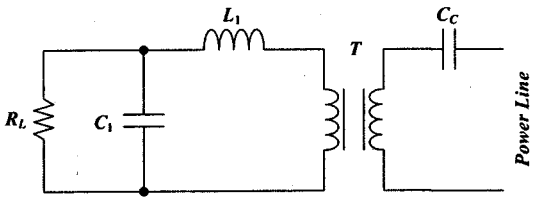


그림 9 제안된 전력선 결합기의 수신 회로
Fig. 9 Receiver circuit of the proposed power line coupler

표 2 4차 버터워스 대역통과 필터의 사양과 소자 값
Table 2 Specifications and Component values of 4th order Butterworth band-pass filter

항목	내용
중심주파수	190㎑
대역폭	420㎑
C_C, C_1	5.6nF, 750pF
L_C, L_1	800uH, 150uH
R_L	500Ω

그림 10은 제안된 전력선 결합기의 수신 주파수 특성이다. 기존 결합기와 달리 Q에 의한 신호 왜곡 및 전력선 저주파 잡음을 제거하는 특성을 갖는다.

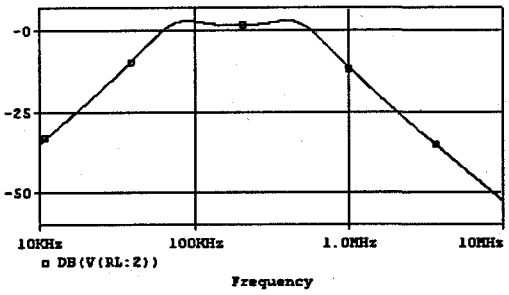


그림 10 전력선 결합기의 수신 주파수 특성
Fig. 10 Frequency response of the power line coupler at the receiver side

2.2.3 적응 전력선 결합기의 전력 소모

C_C를 통해 60Hz 전원 전류가 흐르기 때문에 C_C가 커지면 전력 소모가 증가한다. 따라서 C_C의 용량 선택에서 송·수신 특성뿐만 아니라 전력 소모도 고려해야 한다. C_C에 소모되는 전력은 식(3)과 같다.

$$P=\frac{V^2{}_{AC}}{ESR}=\omega\times C_C\times\tan\delta\times V^2{}_{AC} \tag{3}$$

여기서 ESR은 커패시터 내부의 등가 직렬 저항이고 tanδ는 손실 계수이다. 손실 계수가 0.001이고 C_C=0.22㎌일 때 커패시터에서 소모되는 전력은 4㎽이다. 제안된 결합기는 C_C=0.0056㎌이며 소모되는 전력은 0.1㎽이다. 따라서 제안된 결합기는 기존의 결합기보다 전력소모가 40배 정도로 감소한다.

2.2.4 적응 전력선 결합기의 구현

그림 11은 보호 소자를 포함한 전력선 결합기이다. 전력선 모뎀의 전력증폭기는 On-Off 동작을 한다. 따라서 전력선 결합기의 스위치는 전력증폭기 On-Off에 사용하는 신호를 이용한다.

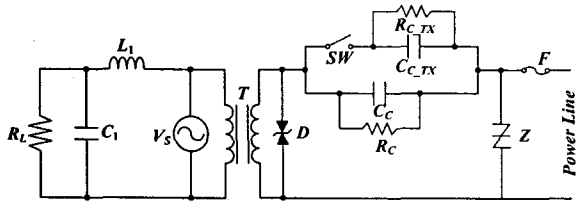


그림 11 보호 소자를 포함한 전력선 결합기
Fig. 11 Power line coupler with safety components

그림 11에서 F는 퓨즈이고 Z는 바리스터로 전력선의 서지 전압으로부터 전력선 모뎀을 보호한다. D는 양방향 제너 다이오드이며 전력선 모뎀 보호를 위해 전압 크기를 제한한다. R_{C_TX}, R_C는 방전 저항으로 C_{C_TX}, C_C에 충전된 전하를 방전한다.

표 3은 그림 11에서 사용한 소자의 특성이고 변압기는 TDK HS52-SM-8T 재질의 T22×6.5-14 모델을 사용하였다.

그림 12는 제작된 전력선 결합기이다.

표 3 전력선 결합기의 소자 값
Table 3 Component values of the power line coupler

부 품	소자 값	사양
F	1A	$250VAC$
Z	TVR14471	$470VDC$
D	P6KE9.1CA	VRR=9.1VDC
C_C, C_{C_TX}	5.6nF, 1μF	≥250VAC, X2 type
R_L, R_C, R_{C_TX}	500Ω, 1MΩ, 1MΩ	±1% 1/4W
C_1	750pF	±5% ≥50VDC
L_1	150uH	±10%
T	800uH	800uH(1:1)
SW	PVY117	470mA, 40VAC

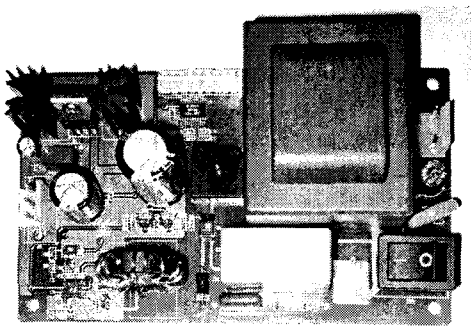


그림 12 제작된 전력선 결합기
Fig. 12 The constructed power line coupler

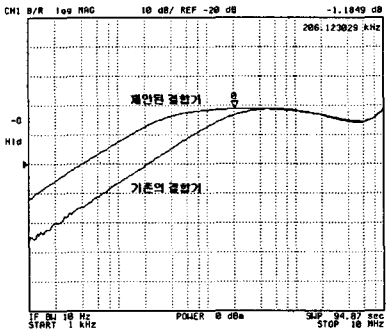
2.3 실험 결과

본 논문에서는 주파수 특성을 위해 Agilent 4395A Network/Spectrum/Impedance Analyzer를 이용하였다.

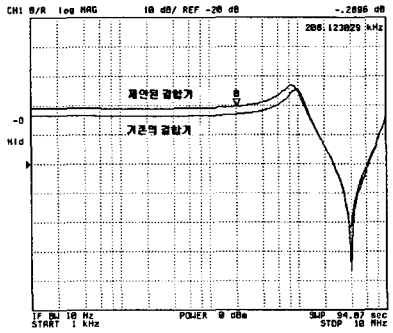
그림 13은 전력선 결합기의 송신 주파수 특성이다. 그림 13(a)은 전력선 부하 임피던스가 3.9Ω일 때 측정 결과이며, 제안된 결합기가 기존의 결합기에 비해 대역폭이 증가한다. 그림 13(b)은 전력선 부하 임피던스가 0.1μF일 때 측정 결과이며, 제안된 결합기가 기존의 결합기에 비해 통과대역에서 이득이 증가하고 차단주파수가 저주파로 이동한다. 그림 13(c)은 전력선 부하 임피던스가 3.9uH일 때 측정 결과이며, 제안된 결합기가 기존의 결합기에 비해 차단주파수가 저주파로 이동하고 통과대역에서 크기 특성 왜곡이 향상되었다.

그림 14는 전력선 결합기의 수신 주파수 특성이다. 제안된 결합기는 기존의 결합기와 달리 대역통과 필터 특성을 갖는다.

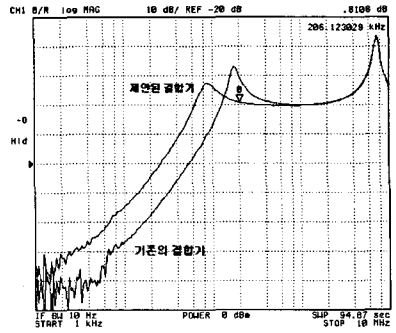
그림 13~14로부터 제안된 결합기가 기존의 결합기 보다 향상된 특성을 갖는다. 4MHz에서 크기 특성의 변화가 발생하는데 변압기 코어의 주파수 특성의 영향이다.



(a) R_{AC}=3.9Ω



(b) C_{AC}=0.1μF



(c) L_{AC}=3.9uH

그림 13 제안된 결합기와 기존의 결합기의 송신 성능 비교
Fig. 13 The transmitting performance comparison of couplers

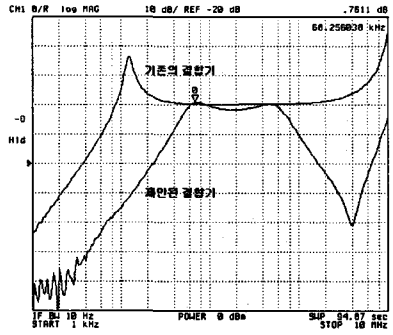


그림 14 제안된 결합기와 기존의 결합기의 수신 성능 비교
Fig. 14 The receiving performance comparison of couplers

3. 결 론

본 논문에서는 대역확산 방식의 전력선 모뎀에서 전력선 결합기의 문제를 분석하고 새로운 전력선 결합기를 제안하였다. 제안된 결합기는 스위치를 통해 커패시터 용량을 송신과 수신에 맞도록 조절할 수 있도록 하였다. 송신 동작에서는 커패시터 용량을 증가시켜 높은 Q에 의해 발생하는 크기 특성 왜곡을 감소시켰고 통신 주파수 대역에서 신호 감쇄를 최소화하였다. 수신 동작에서 커패시터 용량을 감소시키고 결합기를 대역통과 필터로 구현하여 전력선 저주파 잡음을 제거하였고 높음 Q에 의해 발생하는 크기 특성 왜곡을 제거하였다. 송신 동작을 제외하고 수신 동작에서 낮은 커패시터 용량을 갖기 때문에 커패시터에서 소모되는 전력을 기존의 결합기보다 40배 감소시켰다. 제안된 결합기는 일부 부품의 추가와 수정으로 기존의 전력선 모뎀에 적용이 가능하여 상용화된 모뎀의 성능 향상에도 기여할 것이다.

참 고 문 헌

[1] D. Cooper and T. Jeans, "Narrowband, Low Data Rate Communications on the Low-Voltage Mains in the CENELEC Frequencies-Part I: Noise and Attenuation," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 17, pp. 718-723, Jul. 2002.

[2] D. Cooper and T. Jeans, "Narrowband, Low Data Rate Communications on the Low-Voltage Mains in the CENELEC Frequencies-Part II: Multiplicative Signal Fading and Efficient Modulation Schemes," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 17, pp. 723-729, Jul. 2002.

[3] B. Sklar, *Digital Communications: Fundamentals and Applications*, 2nd edition, Prentice-Hall, pp. 718-795, 2001.

[4] R. Kohno, et al. "An Adaptive Canceller of Cochannel Interference for Spread-Spectrum Multiple-Access Communication Networks in a Power line," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 8, pp. 691-699, May 1990.

[5] G. Evans, *CEBus Demystified: The ANSI/EIA 600 User's Guide*, McGraw-Hill, pp. 61-71, 2001.

[6] W. T. Lee, D. H, Woo, Y. G. Yu, and Y. C. Lee, "Implementation of 40kbps Narrowband Powerline Communication Modem using Chirp Spread Spectrum Method," *Trans. KIEE*, vol. 54, pp.116-123, Feb. 2005.

[7] 박송배, *신호로이론*, 문운당, pp. 393-399. 2001.

[8] http://www.yitran.com/media/IT800 Line Coupler (IT800-AN-013-R15).pdf

[9] http://www.vacuumschmelze.de/dynamic/docroot/medialib/documents/pdf/kbproduktblaetter/5024-X044.pdf

[10] 최석우, 윤창훈, 김동용, *최신 회로망 합성과 필터 이론*, 홍릉과학출판사, pp. 127-216. 1998.

저 자 소 개

유 영 규 (劉 永 奎)

1996년 전북대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1998년 전북대학교 전기공학과 졸업(공학석사). 2003년 전북대학교 전기공학과 박사과정 수료. 2000년~2005년 (주)플레넷 전자통신연구소 전임연구원. 2006년~현재 LS산전 중앙연구소 주임연구원.

Tel : 031-450-7253
Fax : 031-453-6263
E-mail : ygyu1@lsis.biz

우 대 호 (禹 大 鎬)

1997년 청주대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1999년 시립인천대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 2003년 시립인천대학교 전자공학과 졸업(공학박사). 2002년~2006년 (주)플레넷 전자통신연구소 전임연구원. 2007년~현재 SK텔레시스 연구소 선임연구원.

최 석 우 (崔 碩 佑)

1988년 전북대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1990년 전북대학교 전기공학과 졸업(공학석사). 1994년 전북대학교 전기공학과 졸업(공학박사). 1996년~2001년 전북대학교 전기전자회로합성연구소 교수. 2002년~현재 전북대학교 전자정보공학부 교수.

김 동 용 (金 東 龍)

1967년 전북대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1973년 전북대학교 전기공학과 졸업(공학석사). 1985년 캐나다 마니토바대학교 졸업(공학박사). 1975년~현재 전북대학교 전자정보공학부 교수.