

저전력 전력선 통신 모듈 개발을 위한 AC 커플러 개발¹⁾

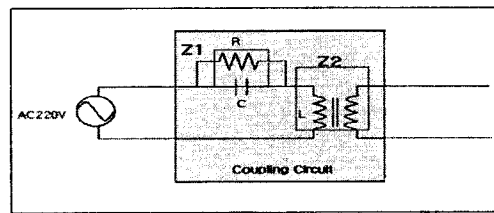
윤재식, 위정철, 원동선, 박중하, 송용재
(주)플레넷

The Study on AC Coupler for Developing Low Power PLC(Power Line Communication) Modem

Yoon Jae-Shik, Wee Jung-Chul, Won Dong-Sun, Park Chung-Ha, Song Yong-Jae
PLANET System Co., Ltd

Abstract - 본 논문에서는 전력선 통신 모듈에 필수적으로 사용하고 있는 AC 커플러의 대기모드 상태에서의 저전력 AC 커플러 개발에 관한 것으로, 전력선 통신(PLC : Power Line Communication) 모듈은 디지털 가전기기를 위한 저전력 홈 네트워크 구축은 물론 원격검침 등의 각종 자동화 시스템에 활발하게 적용됨에 따라 저전력 대기모드 지원의 필요성이 요구되고 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위해서 본 논문에서는 전력선 통신 모듈에 필수적으로 사용하고 있는 AC 커플러의 대기모드 상태에서의 저전력 AC 커플러를 위해 1차측 AC 커플러를 송신측과 수신측으로 분리하여 설계하였다. 또한 수신 커플링 회로의 경우 현재 이용되고 있는 커플링 회로의 차단주파수를 10kHz에서 전력선 모듈의 캐리어주파수에 영향을 미치지 않는 70kHz 고역 통과필터로 설계한다. 본 논문에서는 다양한 Simulation 및 실험을 통하여 제안된 AC 커플러가 기존 전력선 통신 모듈과 동일한 성능을 유지하면서, 대기시 소모되는 소비전력을 크게 감소시켜, 기존 전력선 모듈에 제안된 AC 커플러로 대체할 수 있음을 실험을 통해 규명하고 입증하였다.

AC Coupler가 설계되었다. 또는 커플링 인덕터(L) 2차측에 송신부와 수신부를 분리해서 설계한 경우도 있지만, 이 두 가지 모두 1차측의 커플링 회로는 동일하게 사용하고 있는 실정이다.



〈그림 1〉 기존 AC Coupler 블록다이어그램

1. 서 론

전력선 통신(PLC : Power Line Communication)이란 가정이나 사무실에 포설되어 있는 전력선을 통하여 통신신호를 9kHz ~ 30MHz의 고주파 신호로 바꿔 실어 보내고 이를 고주파 필터를 이용, 따로 분리해 신호를 수신하는 방식을 말한다. 국내에서 사용되는 전력은 60Hz의 교류신호로서 가전제품은 이를 전력변환기(트랜스포머)를 통해 직류로 바꿔 사용하며, 전력선통신에서의 고주파 신호는 저 출력의 신호이므로 일반 가전기기 작동에는 어떠한 영향을 미치지 않는다. 전력선 통신을 전송속도에 따라 60bps ~ 수백bps의 저속 전력선 통신, 2.4kbps ~ 19.2kbps의 중속 전력선 통신, 1Mbps 이상의 고속 전력선 통신 등 크게 3가지로 분류한다. 전송 캐리어 주파수는 중저속 전력선통신은 주로 9kHz~450kHz 대역을 고속 전력선 통신은 450kHz~30MHz 대역을 주로 이용하며, 주요용도는 중저속의 경우 인터넷 정보가전을 포함한 방법, 방재 등의 홈네트워킹에 이용되며, 고속의 경우는 Access Networking에 주로 이용된다.

현재 사용되고 있는 AC Coupler의 경우는 R(470k~1M Ω), C(0.22~0.33uF), L(600u~1mH)로 설계되어 있는데, 대표적인 A사의 커플링 회로에 대해서 전력 소모량 및 주파수 분석을 하게 되면 다음과 같다.

예) A사 : R(470k Ω), C(0.33uF), L(1mH) 커플러 구성

$$\begin{aligned} \text{전체 임피던스 } Z &= Z1 + Z2 \\ Z1 &= 1 / ((1/R + 1 / (2 * \pi * f * C))) \\ &= 1 / (1/470k + 1 / (2 * 3.14 * 60 * 0.33u)) \\ &= \text{약 } 8k \Omega \\ Z2 &= 2 * \pi * f * L = 2 * 3.14 * 60 * 1m \\ &= \text{약 } 0.38 \Omega \text{이다.} \end{aligned}$$

따라서 전체 임피던스 Z는 약 8k옴으로 나타낼 수 있다.

우선 피상전력에 대해서 간략하게 알아보면, 피상전력 S는 $V_{rms} * I_{rms}$ 로 표현된다. 교류회로(정현 전원을 가지는 선형회로)에서 피상전력은 복소전력(complex power)의 크기이다. 또한 역률(Power Factor)이란 피상전력에 대한 평균전력의 비로써 정의된다.

$pf = P/S = P / (V_{rms} * I_{rms})$ 이다. 정현 교류회로에서 위의 식은 $p = \cos\theta$ 로 계산할 수 있으며 여기서 θ 는 전압과 전류간의 위상각이다. 피상전력(S)은 교류회로에서 유효전력과 무효전력의 합으로 이루어진다.

$S = P + jQ = V_{rms} * I_{rms}^*$ 이다. 위의 식에서 V_{rms} , I_{rms} 는 페이저 크기와 각으로 표시되는 복소량이며, I_{rms}^* 는 페이저 전류의 공액복소로서 인덕턴스 또는 지상전류가 무효전력을 흡수한다는 것과 일치한 교류회로에서 피상전력은 복소전력의 크기가 된다.

피상전력(S) = $|S| = \sqrt{P^2 + Q^2}$ 로 나타낼 수 있다. 소비전력을 줄이기 위해서는 역률개선 즉, 이 무효전력(Q)을 줄여야 한다.

다시 [그림 1]로 가서, 전체 임피던스 Z는 약 8k Ω에, 피상전력을 구하게 되면, $S = V_{rms} * I_{rms} = V_{rms} * V_{rms} / Z = 220 * 220 / 8k = 6.05 [VA]$ 이며,

$$\begin{aligned} \text{주파수 응답은 차단주파수 } f_c &= 1 / (2 * \pi * \sqrt{LC}) \text{로서} \\ f_c &= 1 / (2 * \pi * \sqrt{1mH * 330nF}) = \text{약 } 8.78kHz \text{이다.} \end{aligned}$$

하지만, 현재 홈네트워크 시장에서 적용되고 있는 A사의 PLC 모듈의 경우 캐리어 주파수가 95k~125kHz를 사용하고 있고, 중·저속 전력선 통신의 허용된 캐리어주파수가 9k~450kHz이지만, 대부분의 중·저속 전력선 모듈의 경우 90k~400kHz 사이의 캐리어 주파수를 사용하고 있는 상태인데, 대부분 10kHz 고역필터(HPF : High Pass

2. 본 론

2.1 기존 전력선 모듈의 AC 커플러 분석

본 논문에서는 이러한 전력선 통신 모듈 중 중·저속 전력선통신에 이용되는 AC Coupler 개발에 관한 것으로서, [그림 1]은 중·저속 전력선 통신에 사용하고 있는 일반적인 AC Coupler에 대한 블록다이어그램으로서 전력선통신을 하기 위해 전력선에 신호를 실어주는 가 전력선으로부터 신호만을 분리해내는 장치이다. 우선 현재 가장 많이 사용되고 있는 AC Coupler에 대한 문제점 및 분석을 통해 개선해야 할 부분들을 확인해 보자.

기존 AC Coupler는 1차측 송수신 커플링 회로를 동일하게 구성하여 송신시 전력선의 변화하는 임피던스 특성에 영향을 받지 않고 전력선 신호를 송신할 수 있도록 설계하기 위해 송신 신호에 맞게

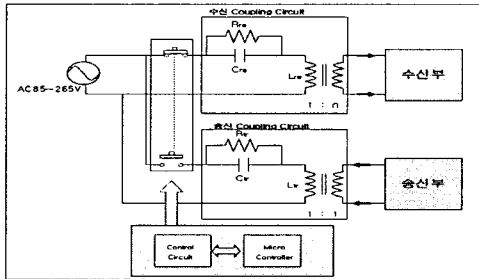
I) 본 연구는 산업자원부 에너지·자원 기술 개발 사업의 일환으로 추진되고 있는 (과제명: 저전력 대기모드 지원 PLC 통신 모듈 개발)의 지원에 의한 것임.

Filter)를 적용하고 있는 실정이다.
따라서, 국내외에서 적용하고 있는 전력선 모뎀의 캐리어 주파수가 90k~400kHz 사이의 주파수를 적용하기 때문에 대기시 소모되는 전력을 최소한으로 감소하기 위해 수신시 70kHz 고역필터로 적용하더라도 전력선 신호를 수신시 문제가 없다.

2.2 제안된 AC 커플러

기존 AC Coupler 회로에 대한 분석으로 통해서 AC 커플링 회로에서 소모되는 전력을 줄이기 위해서 우선적으로 가장 전력소모가 큰 커패시터에서 소모되는 전력을 감쇄해야 하며, 기존의 모델과 동일 성능을 가지도록 개발해야 한다.

2.2.1 제안된 AC 커플러 블록다이어그램



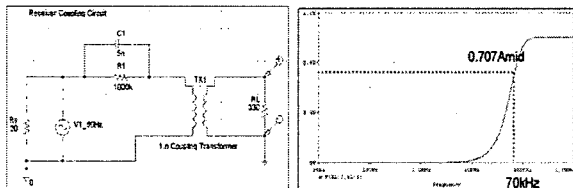
〈그림 2〉 제안된 AC Coupler 블록다이어그램

[그림 2]는 본 논문에서 제안하고자 하는 AC Coupler에 대한 블록다이어그램이다. 피상전력을 줄이기 위해서는 무엇보다도 커플링 회로에서 사용하는 커플링 커패시터(C)를 현저하게 낮추거나 없애야 하기 때문에, 전력선 통신 모뎀의 송신시 신호에 영향을 미치지 않도록 송신시에는 기존의 Coupler와 동일하게 구성하며, 대기시에는 전력선으로 들어오는 신호를 수신하기 위해 송수신 구조를 별도로 설계한다. 또한 수신 커플링 회로의 경우 현재 이용되고 있는 커플링 회로의 차단주파수를 10kHz에서 전력선 모뎀의 캐리어주파수에 영향을 미치지 않는 70kHz 고역 통과필터로 설계한다.

따라서, 대기시에는 제안된 수신 Coupler를 이용해 전력선으로 들어오는 신호를 수신하며, 전력소모를 최소로 하면, 송신시에만, 절체 회로를 이용해 기존 송신 Coupler 회로를 이용해 전력선 신호를 송신하게 된다.

2.2.2 제안된 AC 커플러 회로 설계

[그림 3]은 제안된 수신측 AC Coupler에 대한 회로도와 Pspice를 이용한 이득특성을 나타내고 있다.



〈그림 3〉 제안된 수신 AC Coupler 및 전압이득특성

제안된 수신부 AC Coupler는 전압이득이 0.707Amid되는 시점(반전력점)인 70kHz 고역통과필터로 설계(Rre(1000k), Cre(5nF), Lre(1m))한다. Simulation 결과에서 알 수 있듯이 70kHz 고역필터로 설계하더라도 전력선 모뎀에서 사용하는 캐리어 주파수의 이득에 거의 영향을 주지 않는다.

송신 Coupler의 경우는 대기시에는 절체 회로의 의해 회로가 Open 상태로 있기 때문에 대기시에는 수신 Coupler에 대한 피상전력을 구하면 된다.

$$\begin{aligned}
 [그림 2]에서 전체 임피던스는 Z = Z1 + Z2 \\
 Z1 = 1 / ((1/Rre + 1 / (2 * pi * f * Cre)) \\
 = 1 / (1/1000k + 1 / (2 * 3.14 * 60 * 5n)) \\
 = 약 346k \Omega \\
 Z2 = 2 * pi * f * Lre = 2 * 3.14 * 60 * 1m \\
 = 약 0.38 \Omega이다.
 \end{aligned}$$

따라서 전체 임피던스 Z는 약 346k Ω 으로 나타낼 수 있다.

전체 임피던스 Z는 약 346k Ω 를 이용하여, 피상전력을 구하게 되면,

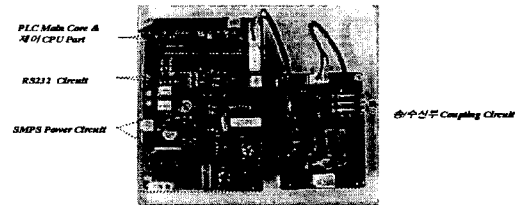
$$\begin{aligned}
 S = Vrms * Irms = Vrms * Vrms / Z \\
 = 220 * 220 / 346k = 0.14 [VA]로 감소하게 된다.
 \end{aligned}$$

기존 사용하고 있는 커플링 회로를 70kHz High-Pass로 설계하게 되면, 기존 AC Coupler의 소비전력 6.05 [VA]와 비교하여 현저하게 감소된 0.14 [VA]로 줄어드는 효과를 가지게 된다.

하지만, 이렇게 제안된 AC Coupler를 이용하여 전력선 통신 모뎀에 적용시 상대적인 성능에서 기존의 모델과 최소 동일 성능을 가져야 하기 때문에 전력선 모뎀의 성능 검증에 이용되는 테스트를 통해 적용에 문제가 없는지 검증한다.

2.3 제안된 AC 커플러 회로 검증 및 실험

[그림 4]는 기존 전력선 모뎀에 대한 분석 및 Simulation결과를 토대로 제작한 전력선통신모뎀에 대한 Prototype이다.



〈그림 4〉 Prototype 제작

통신 채널로 이용하는 전력선은 시간과 건물 내 위치에 따라 임피던스와 감쇄 변동이 불규칙하며, 사용할 수 있는 주파수 대역폭이 제한되어 있다. 또한 배경 잡음(background noise) 이외에 본래 전력선 사용 목적인 50/60Hz 주파수의 전력의 전송에 따라 고주파 성분에서 발생하는 협대역 고조파 잡음(narrow-band harmonic noise)과 전력선에 연결된 전기 기기들의 접속과 단락에 따르는 충격잡음(im pulse noise)이 발생하는 등을 지닌다. 이러한 환경에 맞게 전력선 모뎀의 성능 검증에 이용되는 테스트(Attenuation Test, Notch Filter Test, Continuous Wave Test, Capacitor Load Simulation Test, 실라인 테스트 등)를 통해 제안된 AC Coupler의 적용에 문제가 없는지 확인한 결과, 제안된 AC Coupler를 이용하여 각사의 모뎀에 적용시 동일 또는 그 이상의 성능을 유지하는 것을 확인하였다.

이러한 결과를 토대로 실제 각 사의 전력선 모뎀에 본 논문에서 제안한 AC 커플러 적용하여 소비전력을 측정한 결과 <표 1>과 같다.

〈표 1〉 기존 AC 커플러와 소비전력 비교측정

	기존 AC 커플러		제안된 AC 커플러 적용	
	A사	B사	A사	B사
소비전력	5.53[VA]	5.82[VA]	0.134[VA]	0.14[VA]

<표 1>에서 알 수 있듯이 제안된 AC Coupler를 적용시 동일한 성능을 유지하면서 기존 AC 커플러에서 소모되는 전력이 각각 5.53 [VA], 5.82[VA]에서 0.134[VA], 0.14[VA]로 약 40배 감소되는 효과를 가지게 된다.

3. 결 론

전력선 통신 모뎀은 디지털 가전기기를 위한 지능형 홈 네트워크 구축은 물론 원격검침 등의 각종 자동화 시스템에 활발하게 적용됨에 따라 저전력 대기모드 지원의 필요성이 요구되고 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위해서는 저전력 AC Coupler Circuit 등 저전력 대기모드 지원 PLC 통신 모뎀을 개발하여 제품의 경쟁력을 확보해야만 한다. 이에 본 논문에서는 향후 홈네트워크 기기에 필수적으로 장착될 것으로 기대하는 저전력 대기 모드를 지원하는 전력선 통신 모뎀을 개발하는 것을 목표로, 기존 AC Coupler와 다양한 실험을 통해 성능 비교한 결과, 성능은 동일한 성능을 유지함을 확인했고, 불필요하게 소모되는 무효전력이 현저히 감쇄된 것을 확인했다.

따라서 본 논문에서 제안한 AC 커플러가 기존 전력선 통신 모뎀과 동일한 성능을 유지하면서, 대기시 소모되는 소비전력을 크게 감소시켜, 기존 전력선 모뎀에 제안된 AC 커플러 적용하게 되면 불필요하게 소모되는 무효전력이 현저히 감쇄시킬 수 있다. 또한, 정부 및 산업자원부의 에너지절감 정책에 따른 연구/개발로, 향후 홈네트워크 시장에 막대한 지배력을 확보 가능함에 따라, 약 2~3년 후 홈네트워크 인프라 구축에 전력선 모뎀이 필수적으로 사용될 것으로 예측됨에 따라 저전력 대기모드를 지원하는 전력선 모뎀이 대기전력 절감 정책에 지대한 효과를 볼 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 신요한, "전력선 통신 시스템에 멀티코드 CDMA 방식의 적용 방안에 관한 연구",1999.10
- [2] 김호, "전력선 통신을 이용한 원격 부하제어 시스템의 구축",2001.12