

PIN 다이오드를 이용한 가변 음의 군지연회로 설계

정준형, Kolet Mok, Phirun Kim, 정용채
 전북대학교 전자정보공학부
 jjunh05@jbnu.ac.kr

Variable negative group delay circuit using PIN diode

Junhyung Jeong, Kolet Mok, Phirun Kim, Yongchae Jeong
 Division of Electronic and Information Engineering, Chonbuk National University, Jeonju,
 Republic of Korea

요 약

이 논문에서는 평면구조의 가변 음의 군지연 회로의 설계 방법을 제안한다. 병렬 R-L-C 공진 회로에서 음의 군지연 변수 중에 하나인 저항의 값을 가변시키기 위해 PIN 다이오드와 전송선로를 이용하였고, 병렬 L-C 공진 구조는 $\lambda/4$ 길이 전송 선로를 이용하여 전체 회로를 구현하였다. 일반적으로 PIN 다이오드는 공급 전류량에 따라 저항 및 리액턴스의 변화가 생기는데, 이때 PIN 다이오드 전단에 전송선로를 연결하여 특정 저항 범위에서 리액턴스 성분을 제거하여 순수 저항 성분만을 갖는 가변 저항을 구현하였다. 그리고 이를 이용하여 음의 군지연 회로를 설계할 수 있음을 제시하였다. 본 논문에서는 WCDMA 하향 대역인 2.14 GHz 에서 음의 군지연 시간으로 2 - 20 ns 를 갖는 회로를 설계하고, 측정 결과를 제시하였다.

1. 서 론

에너지의 전달 속도 및 신호 속도는 변칙적인 흡수 분산 영역에서의 군속도가 진공 상태의 빛의 속도보다 빠를 수 있음을 보였다[1]. 이러한 연구에서 관찰된 음의 군지연(Negative Group Delay: NGD)은 흥미로운 성질이며, 일상에서 존재하는 평범할 물질이 가지기 힘든 개념이기도 하다. 그러나 이미 많은 연구자들은 음에 군지연에 대해 연구하였고[2]-[3], 특히 최근 NGD 개념을 전기 및 전자 회로에 응용하는 흥미로운 실험 검증도 [4]에 의해 보고되었다.

이후 다양한 NGD 회로가 보고되었고, 여러 통신시스템에 NGD 회로들을 실제 적용하여 부가적인 효과를 얻을 수 있음이 소개되었다[5]-[6]. 그러나 이전에 제시된 NGD 회로는 고정된 군지연 회로의 설계에 초점을 맞추고 있었다. 만일 가변 NGD 특성을 갖는 회로를 설계할 수 있다면 NGD 회로의 적용 범위를 더 확장할 수 있을 것이다.

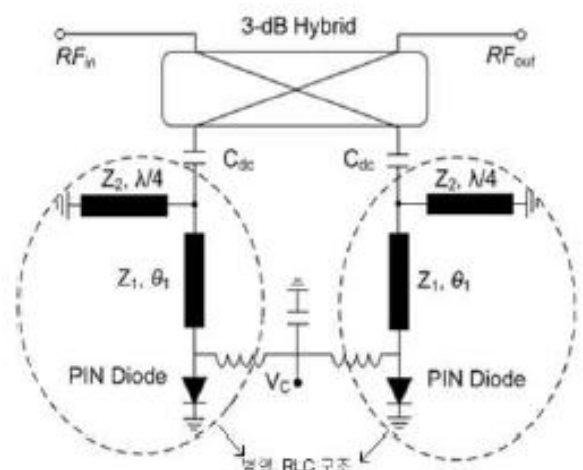
고정 NGD 회로에 비해 가변 NGD 회로의 설계는 군지연과 관련된 소자 값을 가변시켜야 하므로, 고정 NGD 회로에 비해 더 많은 소자의 분석이 필요하다. 실제로 [6]에 선 가변 NGD를 실현하기 위해 비랙터 다이오드와 마이크로파 FET을 사용하여 이를 구현하였다.

본 논문에서는 전송선로와 PIN 다이오드를 이용하여 가변 NGD 회로를 설계하였다. R-L-C 병렬 회로 분석을 통해 얻은 군지연 특성식에서, NGD를 발생시키는 조건하여 가변 NGD 특성을 구현하였다.

2. 가변 음의 군지연 회로의 분석

그림 1은 제안하는 NGD 회로의 블럭도이다. 회로에 쓰인 소자는 3-dB 하이브리드 분배기와 PIN 다이오드, DC 차단 커패시터 및 전송선로이다. 이 때 $\lambda/4$ 길이 전송선로와 PIN 다이오드를 부착한 전송선로 회로는 R-L-C 병렬 공진 회로와 등가화 할 수 있으며, R-L-C 병렬 공진 회로에 관한 군지연 특성식은 [7]에 다음과 같이 소개되었다.

$$GD|_{\omega=\omega_0} = -\frac{d\phi}{d\omega}|_{\omega=\omega_0} = \frac{4R^2Y_0C}{(RY_0)^2 - 1} \quad (1)$$



(그림 1) 제안하는 가변 음의 군지연 회로

이때 균지연 특성은 저항 R과 캐패시턴스 C를 이용하여 조정할 수 있으며, 만약 저항 R을 $0 < R < Z_0$ 의 범위에서 조정하면 NGD 특성을 얻을 수 있다. 마이크로파 대역에서 집중 소자(lumped element)들을 구현하는 것은 거의 불가능하다. 또한 비용(standard) 집중 소자들은 특정 값만을 가지고 있으므로, NGD 특성을 구현하기 위해 임의의 값을 갖는 집중 소자를 얻는 것은 거의 불가능하다. 그러나 분산 소자(distributed element)인 평면구조의 $\lambda/4$ 전송선로로 병렬 구조의 공진회로를 구현하는 방법은 이미 알려져 있으며, 전송 선로의 특성 임피던스에 관한 식은 [7]에서 다음과 같이 소개되었다.

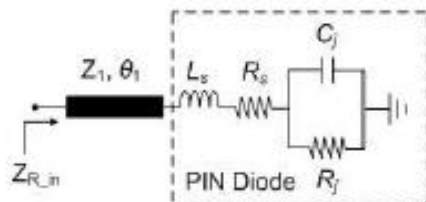
$$Z_2 = \frac{\pi}{4\omega_0 C} \quad (2)$$

순수 가변 저항의 구현을 위해 그림 2와 같이 PIN 다이오드 단락 전송선로가 사용되었다. 이때 전송 선로를 바라본 입력 임피던스는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_{in} = Z_1 \left(\frac{B(1 + \tan^2 \theta) + j \{ (Z_1 \tan \theta - A)(Z_1 + A \tan \theta) - B^2 \tan \theta \}}{(Z_1 + A \tan \theta)^2 + (B \tan \theta)^2} \right) \quad (3)$$

이때, A와 B는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

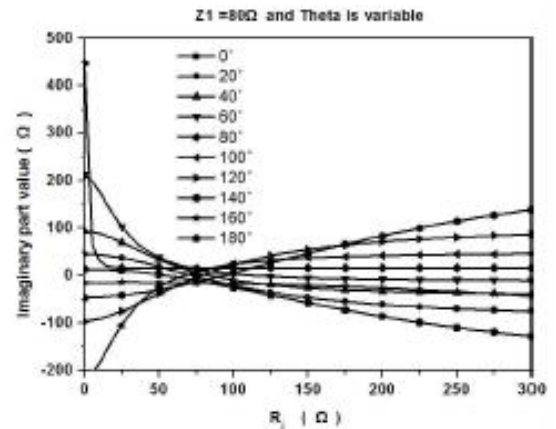
$$A = \frac{\omega C_j R_j^2}{1 + (\omega C_j R_j)^2} - \omega L_s, \quad B = R_s + \frac{R_j}{1 + (\omega C_j R_j)^2} \quad (4)$$



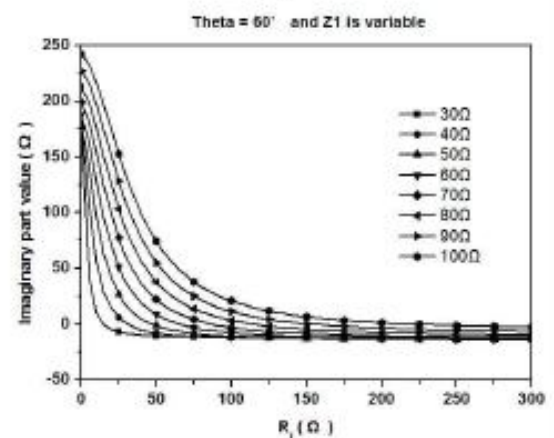
(그림 2) PIN 다이오드의 등가회로와 전단에 전송선을 연결한 회로.

위의 식들을 이용하여 NGD 특성을 갖는 저항 R의 범위를 리액턴스 성분이 제거되는 전송선로의 특성을 찾아 회로에 적용하였다. 이때 사용된 PIN 다이오드는 Avago사의 HSMP-4810 이고, 제조사가 제공하는 데이터인 $L_s = 1 \text{ nH}$, $R_s = 3 \text{ } \Omega$, $C_j = 0.35 \text{ pF}$ 을 이용하여 설계하였다.

한편 전송선로의 특성 임피던스와 전기각의 변화에 따른 임피던스의 허수 부분, 즉 리액턴스의 변화를 확인한 후 가변 저항 구현을 위해 $\theta = 65^\circ$, $Z_1 = 66.4 \text{ } \Omega$ 인 전송 선로를 PIN 다이오드의 전단에 삽입하였다.



(a)



(b)

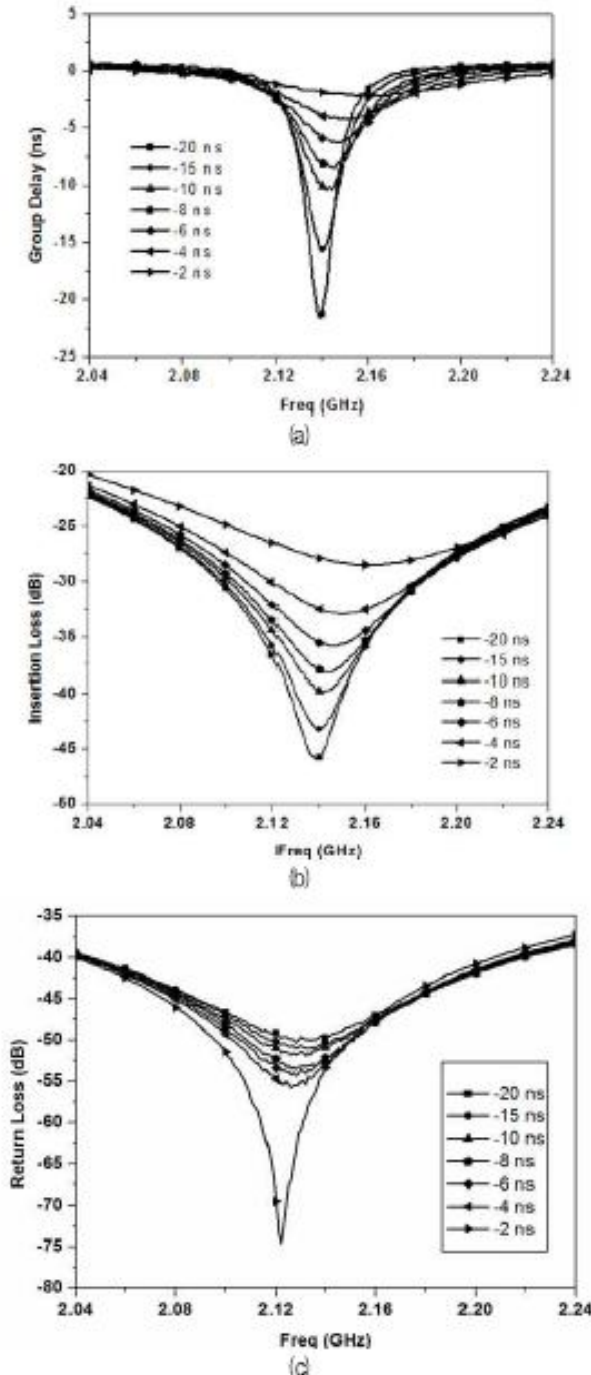
(그림 3) 전송선로의 (a)특성 임피던스와 (b)전기각의 변화에 따른 PIN 다이오드의 허수부분의 변화 그래프.

2. 측정 결과.

본 논문에서는 WCDMA 하향 대역인 2.14 GHz에서 2-20 nsec의 NGD 특성을 갖는 회로를 설계 및 제작하였다. 사용된 PCB는 유전체 상수(ϵ_r)가 2.2 이고, 두께(h)가 31 mil인 Rogers사의 테프론 기판을 사용하였다.

제작된 가변 NGD 측정 결과를 그림 4에 나타냈다. 실험 결과, PIN 다이오드의 공급 전압을 0.6 ~ 0.597 V로 변화시킬 경우 중심 주파수 2.14 GHz에서 NGD를 2 - 20 nsec 범위에서 변화시킬 수 있었다. 이때 NGD의 크기가 커질수록 주파수 대역폭이 좁아지는 것을 볼 수 있다. 또한 삽입 손실도 NGD 크기가 증가할수록 점점 커져서, 전체 NGD 가변대역에서 28.9 - 46.7 dB인 변화량을 가졌다. 반사 손실은 반사형 구조를 채택하여서 NGD 값이 변화하여도 35 dB 이상의 값을 유지하였다.

NGD 시간이 작을수록 중심 주파수가 높은 쪽으로 이동되는 현상이 측정 결과에서 보이고 있는데, 이는 실제 제작에서 PIN 다이오드의 리액턴스 성분을 완전히 제거하지 못하여 PIN 다이오드가 순수 가변 저항으로 동작하지 못했기 때문이다. 따라서 제거되지 못한 리액턴스 성분이 공진 주파수를 상승시키는데 영향을 주게 된다.



(그림 4) 가변 음의 군지연 회로의 측정 결과: (a) 음의 군지연 특성, (b) 삽입 손실 (S_{21}) 특성, 그리고 (c) 반사 손실 (S_{11}) 특성.

3. 결 론.

본 논문에서는 PIN 다이오드를 이용하여 반사형 평면 구조의 가변 NGD 회로를 제작하였다. 단락된 PIN 다이오드의 전단에 특정 임피던스와 전기각을 가지는 전송 선로를 부착하여 순수 가변 저항으로 동작케 하는 방법을 제시하였다. 또한 이 가변 저항 회로를 기존의 반사형 평면 구조의 NGD 회로에 적용하여 WCDMA 하향 대역(2.14 GHz)에서 2 - 20 nsec의 가변 NGD 특성을 갖는 회로를 제작하고 측정하였다.

제작된 NGD 회로의 NGD 주파수 대역폭이 WCDMA

하향 주파수 대역폭보다 좁아 실제로 주파수 대역에서 사용할 수는 없다. 그러나 서로 다른 중심 주파수를 갖는 가변 NGD 회로들을 연속으로 연결하면 실제적인 응용회로로 사용가능하다. 또한 NGD 회로의 삽입 손실은 소신호 증폭기를 이용하여 보상하면 WCDMA 하향 대역에서 사용 가능할 것이다.

참고 문헌

- [1] S. Chu and S. Wong, "Linear pulse propagation in an absorbing medium," *Phys. Rev. Lett*, vol. 48, pp. 738-741, 1982.
- [2] D. Solli and R. Y. chiao, "Superluminal effects and negative delays in electronics, and their applications," *Physical Review E*, Issue 5, pp. 056601-1, November 2002.
- [3] B. Ravelo, A. Perennec, and M. Le Roy, "Synthesis of broadband negative group delay active circuits," in *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 2177-2780, June 2007.
- [4] K. Kitano, T. Nakanishi, and K. Sugiyama, "Negative group delay and superluminal propagation: an electronic circuit approach," *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 9, no. 1, pp. 43-51, January 2003.
- [5] H. Choi, Y. Jeong, C. D. Kim, and J. S. Kenney, "Bandwidth enhancement of an analog feedback amplifier by employing a negative group delay circuit," *Progress In Electromagn. Research*, vol. 105, pp. 253-272, 2010.
- [6] S. Lucyszyn, I. D. Robertson, and A. H. Aghvami, "Negative group delay synthesizer," *Electronics Letters*, vol. 29, no. 9, pp. 798-800, April 1998.
- [7] H. Choi, Y. Kim, Y. Jeong, and C. D. Kim, "Synthesis of reflection type negative group delay circuit using transmission line resonator," *Proceeding of 39th European Microw. Conf.*, pp. 902-605, September 2009.

ISSN 2287-4348

제1권 제2호

VOL.1 NO.2
한국스마트미디어학회
2012 추계학술대회
2012 KISM Fall Conference 2012

일시 : 2012년 11월 30일(금)~12월 1일(토)
장소 : 전북대학교 전주캠퍼스 공과대학 8호관
주최 : 한국스마트미디어학회
주관 : 전북대학교 BK전자정보고급인력양성사업단

<http://www.kism.or.kr>



Session II-C (212호), 11:40~12:55

좌장 : 나인호(군산대)

- 11:40-11:55 제목 : PIN 다이오드를 이용한 가변 음의 균지연회로 설계
저자 : 정준형(전북대), Kolet Mok(전북대), Phirun Kim(전북대), 정용채(전북대)
-
- 11:55-12:10 제목 : 휴대기기용 생체신호 검출회로 설계
저자 : 조종민(서경대), 정준모(서경대), 임신일(서경대)
-
- 12:10-12:25 제목 : 길쌈부호기를 이용한 LDPC 부호어 생성 및 복호방법 제시
저자 : 이종수(전북대), 황은한(전북대), 송상섭(전북대)
-
- 12:25-12:40 제목 : 전류 거울 기반 SenseFET 방식의 오프셋 전류에 대한 보상 기법
저자 : 장성원(전북대), 이동건(전북대), 정항근(전북대)
-
- 12:40-12:55 제목 : 이동통신 기지국용 포락선 추적 전력증폭기를 위한 고출력 광대역 바이어스 변조기의 안정화 방법
저자 : 박성두(전북대), 박민혁(전북대), Phirun Kim(전북대), 정용채(전북대)

Session II-D (209호), 11:40~12:55

좌장 : 최한석(목포대)

- 11:40-11:55 제목 : 가변 템포 음악에서의 개선된 마디찾기 알고리즘
저자 : 주영호(전북대), 바니야 바부카지(전북대), 이준환(전북대)
-
- 11:55-12:10 제목 : 부분 검색을 위한 텍스트 라인 검출
저자 : 뉴엔휘황(전남대), 이귀상(전남대)
-
- 12:10-12:25 제목 : 지역적 특징 기반 꽃 인식 기법
저자 : 오강한(전남대), 김수형(전남대), 나인섭(전남대)
-
- 12:25-12:40 제목 : 집단지성을 이용한 트위터 내 명사 자동 의미 태깅 기법
저자 : 이은지(조선대), 정희진(조선대), 김판구(조선대), 신주현(조선대)
-
- 12:40-12:55 제목 : 문서 범주의 균형에 따른 가중치를 이용한 BkNN 알고리즘
저자 : 조훈(전북대), 박순철(전북대)