

第30卷 第1號

Volume 30, Number 1

2007年度 春季  
마이크로파 및 電波傳播 學術大會 論文集



**KICS**  
Korea Information and  
Communications Society

**KEES**



日時：2007年 5月 18日(金)  
場所：국 민 대 학 교

大 韓 電 子 工 學 會  
韓 國 通 信 學 會  
韓 國 電 磁 波 學 會  
大 韓 電 氣 學 會

IEEE MTT/AP/EMC Korea Chapter

<b>Interactive session</b>	<b>EMC, EMI/전자파산란/meta-material /microwave photonics 분야</b>
----------------------------	---

▶ 장소 : 7호관 2층 로비

9:30~10:50

좌장 : 이해영 (아주대)

[P-6-1]	FPC 케이블에 내장된 나선형 공동모드 여파기	변진도, 이해영 (아주대) .....263
[P-6-2]	Laguerre 다항식을 이용한 BLT 공식의 시간영역 해석	이윤주, 정용식, 천창율, 소준호, 신진우, 김준연 (광운대/서울시립대/국방과학연구소) .....267
[P-6-3]	유한차분법과 라게르 다항식을 이용한 전자기 평면파의 시간영역 산란 해석	조진상, 안옥규, 정백호 (호서대) .....271
[P-6-4]	원통형 돌기를 포함한 끝이 막힌 원통형 도파관의 산란해석	최승호, 명로훈 (한국과학기술원) .....275
[P-6-5]	유한한 두께를 갖는 도체 평판의 단일 슬릿을 통한 전자기적 공진 투과현상의 해석	박승순, 박종언, 고지환, 조영기 (경북대/금오공과대) .....279
[P-6-6]	프로브에 의한 고주파 표면 전류 측정 오차	이종건, 정용식, 천창율 (광운대/서울시립대) .....283
[P-6-7]	CRLH $\lambda/4$ 개방 스티브와 LHTL을 이용한 3차 주파수 체배기 설계	서수진, 최홍재, 임종식, 정용채, 김철동 (전북대) .....287
[P-6-8]	SRRs(Split-Ring Resonators)를 이용한 소형의 동일 평면형 도파관 대역저지 필터 설계	임호, 이종혁, 명로훈 (한국과학기술원) .....291
[P-6-9]	나선구조 Zeroth-order Resonance 안테나	박재현, 류영호, 김동진, 추호성, 이정해 (홍익대/경북대) .....295
[P-6-10]	가변 소형 metamaterial Peano 안테나	이동현, 장경덕, 박위상 (포항공대) .....299
[P-6-11]	테이퍼 다중모드 간섭 결합기를 사용한 결합길이의 축소	호광춘 (한성대) .....303

## CRLH $\lambda/4$ 개방 스텐브와 LHTL 을 이용한 3차 주파수 체배기 설계

서수진, 최홍재, 임종식\*, 정용채, 김철동\*\*  
전북대학교 공과대학 전자정보공학부

### Design of Novel Frequency Tripler Using Composite Right/Left Handed

### $\lambda/4$ Open Stub Transmission Line and Left handed Transmission Line

Sujin Seo, Heungjae Choi, Jongsik Lim\*, Yongchae Jeong, Chul Dong Kim\*\*

Dept. of Electronic and Information Engineering, Chonbuk National University,

\*Dept. of Electrical and Communication System Engineering, Soonchunhyang University,

\*\*Sewon Teletech Inc., Anyang, Kyounggi

E-mail : starbaby37@chonbuk.ac.kr

#### Abstract

A novel frequency tripler using a composite right/left-handed transmission line is proposed. The left-handed transmission line (LH TL) in the proposed frequency tripler suppresses the fundamental component ( $f_0$ ), while the composite right/left-handed (CRLH)  $\lambda/4$  open stub transmission line (TL) diminishes unwanted harmonics. Due to the combination of the LH TL and CRLH  $\lambda/4$  open stub TL, the only desirable multiplied frequency component ( $3f_0$ ) is obtained at the output port. For the example of the proposed design, a frequency tripler was designed at 1 GHz as  $f_0$ , and measured. The measured output power at  $3f_0$  was -5.67 dBm when the fundamental input power was 0 dBm.

#### I. 서론

마이크로파, 밀리미터파 통신 및 레이더 시스템에서는 높은 안정도와 저잡음 신호원을 요구하며, 높은 신호원을 안정화시키기 어렵기 때문에 저주파 신호를 체배하여 사용한다. 이러한 주파수 체배기는 기본 주파수 신호를 두 배 혹은 그 이상으로 체배하는 회로이다. 주로 비선형 소자의 고조파 성분을 이용하기 때문에 원하는 출력 특성에 맞도록 비선형 소자의 입/출력 매칭 회

로를 설계한다. 일반적인 능동 체배기는 낮은 차수의 고조파 체배의 경우 변환 이득을 얻을 수 있으며, 리액턴스 성분의 비선형 요소를 사용하여 고조파를 발생시킨다. 이러한 체배기는 불필요한 고조파 성분들을 포함하고 있어 주파수 혼합기에서 국부 발진 신호와 혼합할 때 동작 대역 내에 혼변조신호들을 발생시켜 시스템 성능을 저하시키므로 불필요 고조파 신호들을 효과적으로 제거해야 한다 [1][2]. 기존의 체배기는 기본 주파수 신호를 제거하기 위해  $\lambda/4$  개방형 스텐브나 평형 체배기 구조를 이용하였다. 하지만 이러한 방법은 일반적으로 20 - 25 dB의 제거 효과를 갖는다. 또한 기본 주파수 신호와 원치 않는 고조파 성분들을 제거하기 위해 대역 통과 여파기를 사용하는데, 대역 통과 여파기의 삽입 손실로 인해 체배 주파수의 불필요한 신호 감쇠가 발생하게 된다. 또한 집적회로에서 높은 Q 값을 갖는 대역 통과 여파기를 만들기가 쉽지 않아 집적화하기 어려운 문제점이 있다. 이에 반해, 전력 증폭기의 선형화에 많이 쓰이는 feedforward 기술은 주파수 체배기에서 발생하는 불필요 기본파 성분을 효과적으로 제거할 수 있다 [3]. 하지만 feedforward 기술은 결합기, 가변 감쇠기 그리고 가변 위상 변환기 등 부가적인 회로로 인하여 전체 주파수 체배기의 면적이 넓어지는 문제가 발생하게 된다.

본 논문에서는, 이러한 문제점을 개선하기 위하여

이 연구에 참여한 연구자는 2 단계 BK21 사업의 지원비를 받았다.

간단한 집중정수소자로 이루어진 left handed transmission line (LH TL)를 이용하여 기본 주파수 성분을 효율적으로 제거하였고, 이중 대역 차단 특성을 가진  $\lambda/4$  개방형 스텐브를 이용한 composite right/left transmission line (CRLH TL)를 이용하여 원하지 않는 고조파 신호를 제거 하였다. 따라서 제한한 3차 주파수 체배기는 가변 감쇠기나 가변 위상변환기 등의 부가적인 회로 없이 매우 간단한 구조로 구현함으로써 feedforward 구조보다 작은 면적에 구현 할 수 있도록 설계하였다.

### II. 3차 주파수 체배기

트랜지스터의 입력 전압에 따른 출력 전류 파형은 바이어스 조건과 전도각(Conduction angle)에 따라 설명할 수 있다. 바이어스 전압에 따른 DC 전류 소비와 고조파 신호는 식 (1)과 (2)에서와 같이 나타낼 수 있으며, 이때 는 입력 신호의 전도각이다.

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\alpha/2}^{\alpha/2} \frac{I_{max}}{1 - \cos(\alpha/2)} [\cos\theta - \cos(\alpha/2)] d\theta \quad (1)$$

$$I_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\alpha/2}^{\alpha/2} \frac{I_{max}}{1 - \cos(\alpha/2)} [\cos\theta - \cos(\alpha/2)] \cos n\theta d\theta \quad (2)$$

그림 1은 식 (1)과 (2)를 이용하여 전도각에 따른 dc 및 기본파와 5차까지의 고조파 신호의 진폭을 나타낸 것이다. 그림 1에서 3차 고조파 신호 진폭의 최대점은 전도각이 75°일 때이고, 전도각에 따라 출력 전류파형이 결정되며, 트랜지스터의 바이어스를 B급과 C급 중간 지점인 pinch-off 전압 근처에서 동작시켜야 한다.

바이어스를 결정한 후, 입력 단은 기본주파수( $f_0$ )에 대해 정합을 하되 출력 단에서 체배된 신호의 진폭이 최대가 되도록 체배된 주파수( $3f_0$ )에서 정합이 되도록 하였다. 그림 2는 본 논문에서 제안한 3차 주파수 체배기이다.

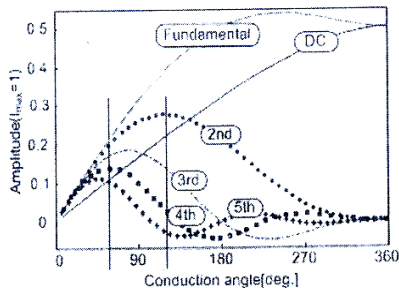


그림 1. 전도각에 따른 기본 신호 성분과 고조파 성분의 크기 비교

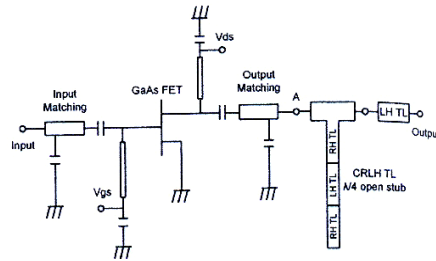


그림 2. 제안된 주파수 체배기의 블록 다이어그램.

이 때 단자 A에서는 기본파 및 원하지 않는 고조파 신호의 진폭이 원하는 고조파 신호에 비해 무시할 수 없을 만큼 크다. 따라서  $\lambda/4$  개방 CRLH TL 스텐브와 LH TL을 이용하여 원하지 않는 기본파 및 고조파 신호들을 제거 할 수 있으며, 원하는 신호만을 출력할 수 있다.

### III. Left Handed 전송선로의 특성

Right handed transmission line(RH TL)과 left handed transmission line(LH TL)은 하나의 셀이 각각 직렬 인덕터와 병렬 커패시터 혹은 직렬 커패시터와 병렬 인덕터로 그림 3 과 같은 등가 회로로 나타낼 수 있다 [4][5]. 각 단위 셀의 위상 응답은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있으며, 각 RH TL 과 LH TL 에 대한 특성 임피던스  $Z_{0R}$  과  $Z_{0L}$  는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi_R = -\arctan \left[ \frac{\omega}{2} \left( Z_{0R} C_R + \frac{L_R}{Z_{0R}} - \frac{\omega^2 L_R^2 C_R}{2Z_{0R}} \right) / (2 - \omega^2 L_R C_R) \right] < 0 \quad (3)$$

$$\phi_L = -\arctan \left[ \frac{\omega}{2} \left( Z_{0L} C_L + \frac{L_L}{Z_{0L}} - \frac{1}{\omega^2 L_L Z_{0L}} \right) / (1 - 2\omega^2 L_L C_L) \right] > 0$$

$$Z_{0R} = \sqrt{\frac{L_R}{C_R}}, \quad Z_{0L} = \sqrt{\frac{L_L}{C_L}} \quad (4)$$

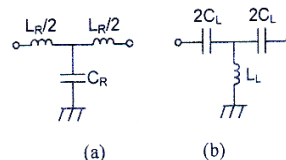


그림 3. T형 등가 회로 (a) RH TL (b) LH TL.

따라서 LH TL의 특성은 고역 통과 여파기와 유사하며, 이것을 이용하여 기본 주파수 성분을 제거하고, 3체배 주파수 이상의 고조파 신호는 통과 시키는 역할을 한다. 본 논문에서 LH TL은 4개의 단위 셀로 구성하였



으며, 각 소자는 칩 커패시터와 단락 스티브로 구현한 인덕터를 이용하였고, 각 소자의 값은 1.1 pF 와 2.8 nH 로 구현하였다 [6]. LH TL 의 특성 임피던스는 50.5 Ω 이며, 그림 4 는 본 논문에서 제작한 LH TL 의 시뮬레이션 결과와 측정결과에 대한 그래프이다.

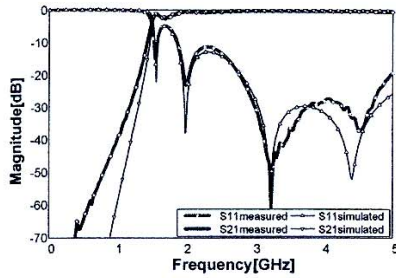


그림 4. LH TL 의 시뮬레이션 결과와 측정 결과 비교

#### IV. CRLH TL λ/4 개방형 스티브

일반적으로 λ/4 개방 스티브는  $f_0$  와 홀수 차수 고조파 신호에 대해 차단 특성을 가지고 있어 이러한 고조파 신호를 차단시키는 회로에 널리 사용되고 있다. 반면 CRLH TL 은 RH TL 과 LH TL 의 위상 응답특성을 모두 가지고 있어 위상 특성을 임의로 제어할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 CRLH TL λ/4 개방형 스티브를 이용하여 원하지 않는 두 개의 고조파 신호를 차단할 수 있도록 설계하였다. 수식 (6) 과 (7) 에서 보는 것과 같이, CRLH TL 의 위상 응답은  $f_1$  에서  $-90^\circ$  이고,  $f_2$  에서는  $-270^\circ$  이다. 여기서  $f_2$  는  $f_1$  에 대한 원하지 않는 홀수 배의 주파수이고,  $N$  은 LH TL 의 차수이다. LH TL 의 각 소자의 값은 식 (6) 과 (7) 을 이용하여 구할 수 있다.

$$\varphi_c(f) = \varphi_R(f) + \varphi_L(f) \quad (5)$$

$$\varphi_c(f_1) = -(2\pi N \sqrt{L_R C_R}) f_1 + \frac{N}{2\pi \sqrt{L_L C_L}} \frac{1}{f_1} \approx \frac{\pi}{2} \quad (6)$$

$$\varphi_c(f_2) = -(2\pi N \sqrt{L_R C_R}) f_2 + \frac{N}{2\pi \sqrt{L_L C_L}} \frac{1}{f_2} \approx -\frac{3\pi}{2} \quad (7)$$

3 차 주파수 체배기에 대해서 더욱 안정적인 신호원을 얻기 위해서는 2 차 고조파 신호원과 4 차 고조파 신호원을 제거해야 한다. 따라서 기본 주파수( $f_0$ )가 1 GHz 일 때, CRLH TL λ/4 개방형 스티브의  $f_1$  과  $f_2$  는 각각 2GHz 와 4GHz 이다.

표 1 은 식 (6) 과 (7) 을 이용하여 계산된 그리고 실제 사용된 집중정수소자의 값이며, 그림 5 는 CRLH TL λ/4 개방형 스티브의 시뮬레이션과 측정결과를 나타낸

그림이며, 표 2 는 그에 대한 수치를 정리한 것이다.

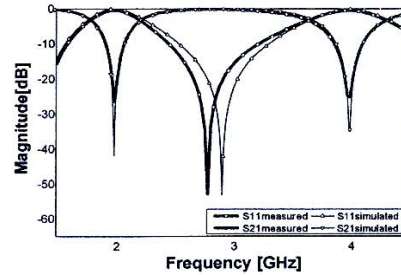


그림 5. 3 차 주파수 체배기의 CRLH TL λ/4 오픈 스티브의 시뮬레이션과 측정 결과 비교

표 1. CRLH TL λ/4 개방형 스티브 집중정수 소자 값

Elements	Values (Calculated / Used)
$C_L$ (Designed/Available)	1.5pF / 1.5pF
$L_L$ (Designed/Available)	3.8nH / 4.2nH

표 2. CRLH TL λ/4 개방형 스티브의 측정 결과

$f_0=1\text{GHz}$	S21 [dB]		
	$2f_0$	$3f_0$	$4f_0$
Open stub for tripler	-24.77	-0.38	-24.97

#### V. 실험 및 측정 결과

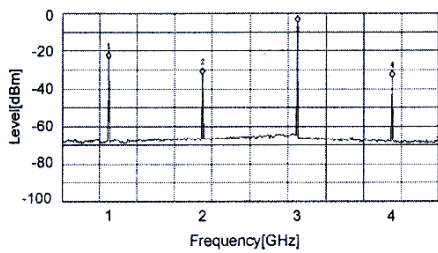
본 논문에서 제시하는 3 차 주파수 체배기의 타당성을 보이기 위해 1GHz 신호원을 3GHz 로 체배하는 3 차 주파수 체배기를 설계하였다. 사용된 트랜지스터는 ATF10136 MESFET 이고, 드레인 전압은 1.3V 이며, 게이트 전압은 -1.3V 로하여 3 차 고조파 성분이 가장 많이 발생하도록 B 급과 C 급 사이의 pinch-off 전압 근처에서 동작하도록 하였다. 또한 입출력 정합점은 Load-full 방법을 이용하여 추출하였고, Agilent 사의 ADS 를 이용하여 정합회로를 설계하고 구현하였다. 그림 6 은 제작된 체배기의 출력 특성을 나타냈으며, 각각 3 차 주파수 체배기만 적용하였을 경우, 3 차 주파수 체배기와 CRLH TL λ/4 개방형 스티브(OS) 를 적용하였을 경우, 3 차 주파수 체배기와 CRLH TL λ/4 개방형 스티브(OS) 그리고 LH TL 모두 적용하였을 경우의 측정결과를 비교하고 있다. 모두 적용하였을 때에 체배된 신호 외에 다른 고조파 성분들은 대부분 잡음 레벨까지 제거된 것을 확인할 수 있다. 측정된 3 차 주파수 체배기의 출력 신호

에 대한 값은 표 3 과 같이 정리하였다.

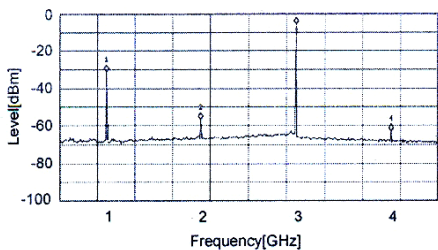
측정된 3 차 주파수 체배기의 출력 신호의 위상 잡음은 10 KHz 오프셋에서 입력 신호가 -101 dBc/Hz 일 때 -96.18 dBc/Hz 이다. 이것은 일반적인 3 차 주파수 체배기에서의 잡음 열화값인  $20\log(3)=9.5$  dB 보다 4.18 dB 향상된 결과이다. 이 결과는 CRLH TL  $\lambda/4$  개방형 스테르브 및 LH TL 를 이용함으로써 고조파 종단(termination) 특성 얻어 3 차 주파수 성분에 대한 위상잡음 특성을 개선해주는 것으로 판단할 수 있다.

### VI. 결론

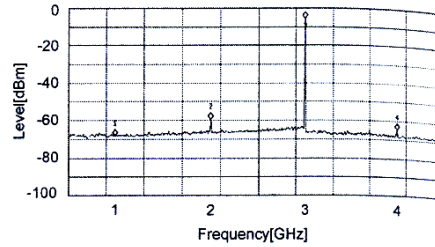
높은 안정도와 저위상 잡음의 신호원을 얻기 위한 3 차 주파수 체배기 설계 기법을 제시하였다. 본 논문에서는 LH TL 을 이용하여 기본 주파수 신호를 제거하였고, CRLH TL  $\lambda/4$  개방형 스테르브를 이용하여 원하지 않는 고조파 신호를 차단하였으며, 원하는 신호원에 대한 높은 안정도와 위상 잡음 특성을 개선하였다. 본 논문의 3 차 주파수 체배기는 트랜지스터와 집중정수 소자로 이루어져 있어 집적화가 가능하며, 이러한 방식으로 2 차와 4 차 주파수 체배기도 구현할 수 있다. 또한 높은 Q 값을 요구하는 대역 통과 여파기가 없이도 통신 시스템의 성능을 향상시키는데 기여 할 것으로 예상된다.



(a) Only Tripler



(b) Tripler + OS



(c) Tripler + OS + LH TL

그림 6.3 차 주파수 체배기의 측정 결과

표 3.3 차 주파수 체배기 구조에 따른 출력 신호 비교

Output power [dBm]	$P_{f0}$	$P_{2f0}$	$P_{3f0}$	$P_{4f0}$
Only Tripler	-24.43	-32.72	-5.48	-34.17
Tripler + OS	-31.25	-56.92	-5.75	-62.93
Tripler + OS + LH TL	-68.39	59.27	-5.67	-64.68

### 참고문헌

- [1] Ivanov, E.N., Tobar, M.E. and Woode, R.A., "Ultra-low-noise microwave oscillator with advanced phase noise suppression system," *IEEE Microwave Guided Wave Letters*, vol. 6, no. 9, 312- 314, Sep. 1996.
- [2] D. P. Tsarapkin and V. S. Komarov, "Frequency stable microwave oscillator with combined frequency stabilization," *Proc. Moscow Power Engineering Institute*, pp. 82- 87, 1973.
- [3] Y.C. Jeong, and J.S. Lim, "A Novel Frequency Doubler Using Feedforward Technique and Detected Ground Structure," *IEEE Microwave Wireless and Components Letters*, vol. 14, no. 12, pp. 557-559, Dec. 2004.
- [4] G. V. Eleftheriades, A. K. Iyer, and P. C. Kremer, "Planar negative refractive index media using periodically  $L-C$  loaded transmission lines," *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, vol. 50, no. 12, pp. 2702- 2712, Dec. 2002.
- [5] A. Grbic and G. V. Eleftheriades, "Overcoming the diffraction limit with a planar left-handed transmission-line lens," *Physic Rev. Letters*, vol. 92, no.11, p. 117 403-1, Mar. 19, 2004.
- [6] A. Lai, C. Caloz, and T. Itoh, "Composite right/left-handed transmission line metamaterials," *IEEE Microwave Magazine*, vol. 5, no. 3, pp. 34-50, 2004.