

Lumped Element를 이용한 결함 마이크로스트립 구조 공진기의 소형화

하태식*, 이상민**, 윤원상***

Miniaturization of Defected Microstrip Structure Resonator using Lumped Element

Tae-Sik Ha*, Sang-Min Lee**, and Won-Sang Yoon***

본 연구는 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.
(No. NRF-2019R1F1A1062822)

요 약

본 논문에서는 결함 마이크로스트립 구조 공진기(DMSR, Defected Microstrip Structure Resonator)에 커패시터를 적용하여 공진 주파수를 낮추는 방법을 제안하였다. DMSR은 마이크로스트립 선로에 결함 구조를 에칭한 형태이며, 부가적인 회로 없이 공진기로 동작이 가능하게 된다. 이때 공진 주파수는 결함 구조의 길이에 의해 결정된다. 본 논문에서는 2.45GHz 대역에서 동작하는 일반적인 T-자형 DMSR과 결함 구조의 슬롯 위에 커패시터를 실장하여 소형화된 DMSR의 설계 및 구현 결과를 비교하였다. 일반적인 T-자형 DMSR은 2.45GHz에서 공진하기를 위해 필요한 결함 구조의 길이가 39.75mm이었으나, 커패시터를 실장하였을 때 커패시턴스에 따라 결함 구조의 길이를 10.9mm 까지 줄일 수 있음을 실험을 통해 확인하였다.

Abstract

A method for miniaturization of Defected Microstrip Structure Resonator (DMSR) using embedding capacitor is proposed in this paper. A DMSR is a defect structure etched into the microstrip line and operates as a resonator by itself. The resonant frequency of DMSR is determined by the size of the defect structure. In this paper, the design and implementation results of a DMSR having a conventional T-shaped defect structure operating in the 2.45GHz band and a miniaturized DMSR by inserting a capacitor on the slot of the T-shaped defect structure are compared. While the conventional T-shaped DMSR required a defect structure with length of 39.75mm to resonate at 2.45GHz, the proposed DMSR with embedded capacitor has T-shape slot with length of 10.9mm which was reduced to about 70%.

Keywords

defected microstrip structure, DMS, resonator, miniaturization, size reduction

* 호서대학교 전자공학전공 학부생

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8026-4871>

** 호서대학교 전자디스플레이공학과 석사과정

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6587-5292>

*** 호서대학교 전자및디스플레이공학부 (교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1125-384X>

• Received: Nov. 03, 2021, Revised: Nov. 19, 2021, Accepted: Nov. 22, 2021

• Corresponding Author: Won-Sang Yoon

Division of Electronics and Display Engineering, Hoseo University, 20, Hoseo-ro 79beon-gil, Baebang-eup, Asan-si, Chungcheongnam-do, Korea, Tel.: +82-41-540-5661, Email: wsyoon@hoseo.edu

I. 서론

일반적으로, 많은 초고주파 회로 또는 시스템에서 사용중인 주파수 대역에서 불필요한 신호를 제거하거나 원하는 신호의 선택도를 높이기 위하여 여러 가지 형태의 공진기를 사용하고 있다. 이러한 공진기들 중 유전체 공진기의 경우 다양한 형상으로 설계가 가능하고 Q값이 높은 장점이 있지만, 공진기 동작 특성상 3차원으로 설계 해야하기 때문에 단일 칩 초고주파 집적회로(MMIC, Monolithic Microwave Integrated Circuit) 등에 적용하기 어려운 단점이 있다[1]-[3]. 이에 반해 마이크로스트립 공진기는 Q값이 낮아 위상 잡음이 낮은 단점이 있지만, 다양한 형상으로 제작이 가능하며 평면 구조로 설계가 가능해 집적화 회로에 많이 사용되어 왔다[4]-[6].

한편, 마이크로스트립 구조 공진기는 분산 소자로 구현되므로 유전체 공진기 등에 비해 크기가 커지는 단점이 있어 소형화를 하기 위해 많은 연구들이 진행되어 왔으며[7][8], 이러한 방법의 하나로 마이크로스트립 전송선에 결합 구조를 적용한 결합 접지 구조(DGS, Defected Ground Structure)와 결합 마이크로스트립 구조(DMS, Defected Microstrip Structure) 등이 연구되었다[9]-[11]. DGS의 경우 전송선로의 접지면을 에칭한 구조로 접지면의 에칭된 구조에 의해 일반적인 마이크로스트립 전송선에 비해 전파상수와 특성 임피던스를 증가시키게 되어 동일한 물리적인 길이에서 전기적인 길이가 증가되어 소형화가 가능한 특성을 갖는다. 하지만, 금속 하우징과의 결합시 접지면이 금속 하우징에 바로 접촉될 경우 결합 구조가 동작할 수 없는 문제점이 발생한다.

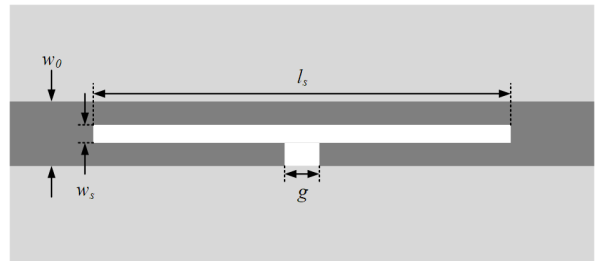
이와 비교하였을 때, DMS는 접지면이 아닌 마이크로스트립 전송선로 자체에 특정 형태의 결합 구조를 에칭한 구조로서 DGS와 마찬가지로 일반적인 마이크로스트립 전송선에 비해 부가적인 인덕턴스 성분과 커패시턴스 성분을 발생시켜 전송선로의 물리적인 길이를 줄일 수 있는 장점이 있다. 하지만, 에칭된 결합 구조의 사이즈에 의해 공진 주파수가 결정되어 소형화에 한계가 있다. 본 논문에서는 DMS의 결합 구조에 lumped element를 추가하였을 때 DMSR의 공진 주파수가 낮아지는 현상을 등가 회로를 통해 분석하고, 이를 이용하여 결합 구조에

커패시터를 적용하여 DMSR을 소형화하는 방안 및 그 실험 결과를 기술하였다. II장에서는 일반적인 T-shape DMSR의 동작 원리 및 등가 회로의 시뮬레이션 결과를 나타냈고, III장에는 DMSR에 lumped element를 적용하여 소형화하는 방안에 대하여 기술하였다. IV장에서는 III장에서 설계한 것을 토대로 DMSR을 제작 및 측정된 결과를 나타내고, V장에 결론을 제시하였다.

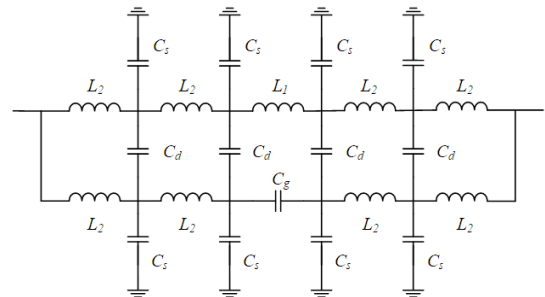
II. DMSR 설계

2.1 일반적인 형태의 T-자형 DMSR

일반적인 형태의 T-자형 DMSR의 구조와 그에 대한 등가 회로를 그림 1에 나타내었다. DMSR은 그림 1(a)와 같이 유전체 기판 상부에 놓인 결합 마이크로스트립 구조 선로와 하부의 접지면으로 구성되며, 마이크로스트립 전송선에 포함된 결합 구조에 의해 전류 흐름에 영향을 주어 slow-wave 특성과 대역 저지 특성을 갖게 된다.



(a) 일반적인 T-shape DMSR 구조
(a) Configuration of a T-shape DMSR



(b) 일반적인 T-shape DMSR의 등가 회로
(b) Equivalent circuit of the T-shape DMSR

그림 1. 일반적인 T-shape 결합 마이크로스트립 구조 공진기의 구조 및 등가 회로

Fig. 1. Configuration and equivalent circuit of a conventional T-shape DMSR

이러한 DMS 구조에서 마이크로스트립 라인에 에칭된 결함 구조와 접지면에 의해 형성되는 인덕턴스와 커패시턴스는 그림 1(b)와 같은 등가 회로로 나타낼 수 있다. L_1 와 L_2 는 마이크로스트립 전송선의 결함 구조로 인해 좁아진 선폭에 의한 인덕턴스이며, C_d 와 C_g 는 DMSR 상단부 마이크로스트립 전송선의 에칭된 슬롯의 갭들에 의해 생성되는 커패시턴스이며, 마이크로스트립 라인과 접지면 사이의 커패시턴스를 C_s 로 나타내었다.

ANSYS Electronics Desktop을 이용하여 2.45GHz에서 대역 저지 특성을 갖는 T-shape DMSR을 설계하여 EM 시뮬레이션과 circuit 시뮬레이션 결과를 비교하였다. T-shape DMSR은 Taconic사의 RF-35 기판을 사용하여 설계하였으며, 기판의 상대유전율은 3.5, 두께는 0.8mm로 적용하였다. 설계된 DMSR의 마이크로스트립 전송선의 50옴 선폭(W_0)은 1.8mm이며, 마이크로스트립 결함 구조의 길이 l_s 는 39.75mm, 슬롯 폭 w_s 및 g 는 1mm로 나타났다. 등가 회로의 인덕턴스, 커패시터 값은 circuit 시뮬레이션을 통해 최적화하였으며 그 결과를 표 1에 나타내었다.

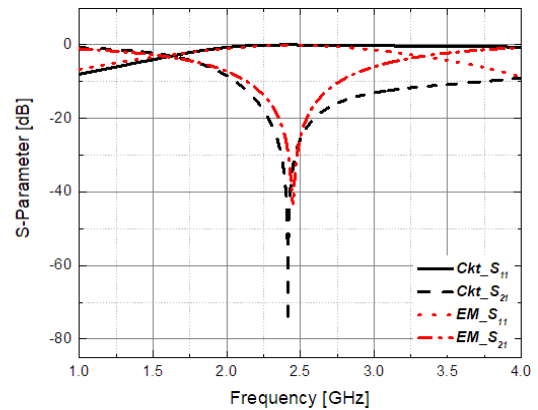
설계된 T-shape DMSR의 시뮬레이션 결과는 그림 2에 나타내었다. 공진 주파수의 경우 EM 시뮬레이션과 circuit 시뮬레이션에서 각각 2.42GHz와 2.45GHz로 유사한 값을 나타내었고, 그림 2(b)의 결과에서는 등가 회로를 이용한 circuit 시뮬레이션을 통해 얻은 Smith Chart의 반사 계수가 그림 1(a)의 구조를 이용하여 수행한 EM 시뮬레이션에서의 반사 계수 결과와 유사한 값을 얻어 제시한 등가 회로의 유효성을 확인하였다.

2.2 결함 구조의 크기 변화에 따른 T-shape DMSR 공진 특성 변경

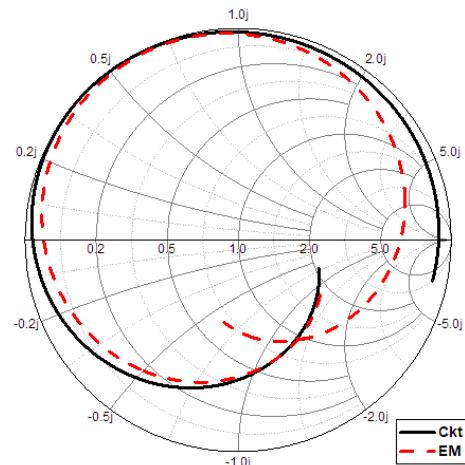
일반적인 형태의 T-자형 DMSR의 공진 주파수는 결함 구조의 크기에 의해 결정된다. 공진 주파수를 결정하는 주요 파라미터는 결함 구조의 길이 l_s 로서 그림 3에 나타난 것처럼 결함 구조의 길이 l_s 를 10 ~ 39.75mm까지 변화시켰을 때, 공진 주파수가 2.45 ~ 9.37GHz로 변하며, 이를 통해 결함 구조의 길이가 일반적으로 공진 주파수에서의 파장 λ_r 의 1/2로 결정되는 것을 알 수 있다.

표 1. 일반적인 T-shape DMSR의 등가 회로 파라미터
Table 1. Equivalent circuit parameters of the conventional T-shape DMSR

Parameters	Values
L_1	0.3nH
L_2	3.8nH
C_d	3fF
C_g	0.1fF
C_s	0.43pF



(a) 공진주파수
(a) Resonant frequency

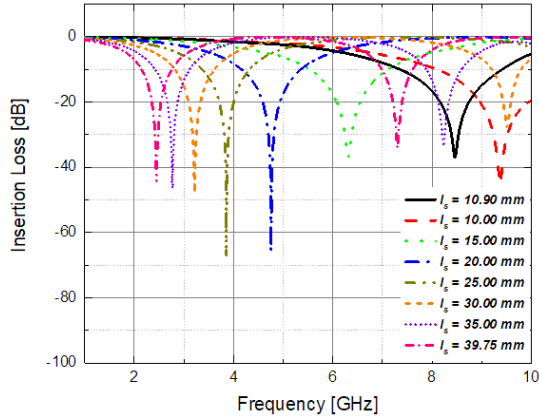


(b) Smith Chart 상 반사계수
(b) Reflection coefficient on Smith Chart

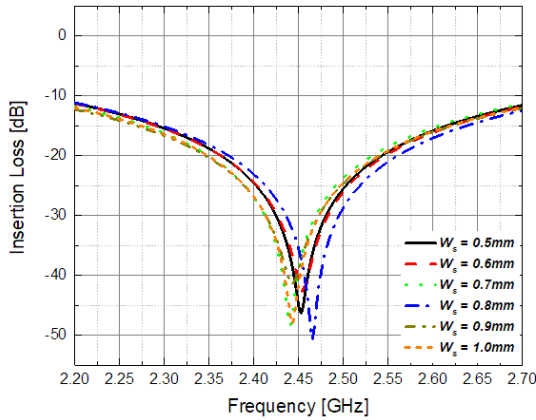
그림 2. 일반적인 T-shape DMSR의 시뮬레이션 결과
Fig. 2. Simulated results of the conventional T-shape DMSR

한편, 그림 3(b), (c)에 나타난 결과와 같이 결함 구조의 슬롯 폭도 DMSR의 공진 주파수 결정에 소폭의 영향을 주는 것을 알 수 있다. 특히, 결함 구조의 길이를 39.75mm로 고정하고 g 를 0.5mm에서 1mm까지 변화시켰을 때, 그림 3(c)의 결과와 같이 공진 주파수가 2.39 ~ 2.45GHz로 변하는 것을 알

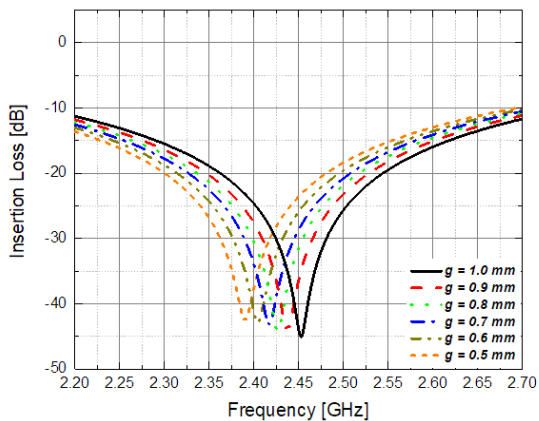
수 있으며, 이는 슬롯 폭 g 에 의해 발생하는 커패시턴스 C_g 값이 변화할 경우 DMSR의 공진 주파수가 바뀔 수 있다는 것을 의미한다.



(a) 결합 구조의 길이(l_s)에 따른 공진 주파수 변화
(a) Resonant frequency of DMSR with respect to l_s



(b) 결합 구조의 슬롯 폭(w_s)에 따른 공진특성 변화
(b) Resonant frequency of DMSR with respect to w_s



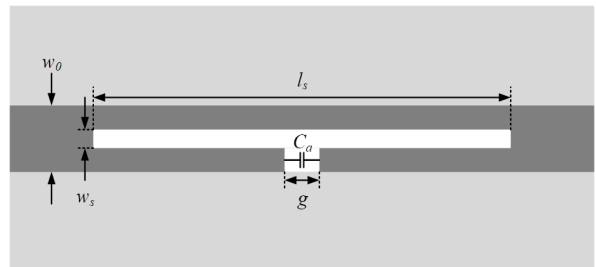
(c) 결합 구조의 슬롯 폭(g)에 따른 공진특성 변화
(c) Resonant frequency of DMSR with respect to g
그림 3. 결합 구조의 길이 및 슬롯 폭에 따른 공진특성 변화

Fig. 3. Simulated resonant frequency of DMSR with respect to length and the slot width of the defect structure

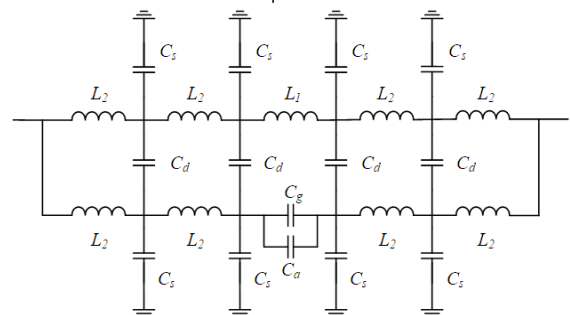
III. 커패시터를 적용한 T-shape DMSR 소형화

일반적인 형태의 T-자형 DMSR에서 결합 구조의 슬롯 폭 g 에 의해 발생하는 커패시턴스 C_g 값이 커지면 공진 주파수가 낮아지는 그림 3b의 결과를 이용하여 그림 4와 같이 결합 구조의 슬롯 위에 커패시터를 추가한 구조와 그 등가 회로를 제안하였으며, 그림 5에 제안된 T-shape DMSR의 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 결합 구조의 길이 l_s 를 39.75mm, 슬롯 폭 w_s 및 g 는 각각 0.5mm, 1mm로 고정한 상태에서 슬롯 위에 커패시터를 실장할 경우, 추가된 커패시턴스를 0.5 ~ 3.0pF로 변화시켰을 때 공진 주파수가 0.6 ~ 1.3GHz로 낮아지는 것을 알 수 있다.

또한, 0.5pF의 커패시터를 실장하였을 때 결합 구조의 길이를 10 ~ 39.75mm까지 변화시켰을 때, 공진 주파수가 1.25 ~ 2.5GHz로 변하며, 2.1에서 제시한 일반적인 T-shape DMSR과 동일하게 2.45GHz의 공진 주파수를 갖기 위한 결합 구조의 길이가 10.9mm로 줄어드는 것을 알 수 있다.



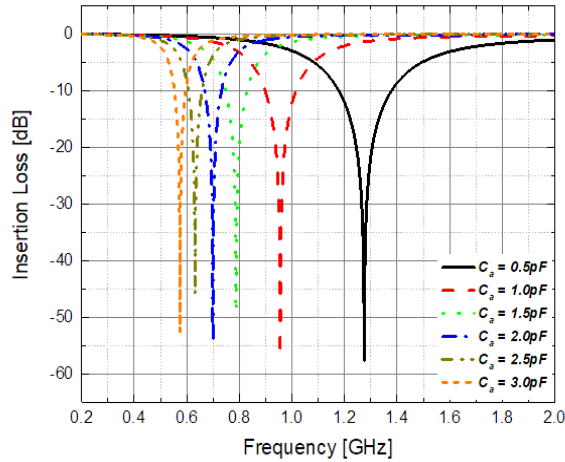
(a) 커패시터(C_0)를 실장한 T-shape DMSR 구조
(a) Configuration of the T-shape DMSR with loaded capacitor



(b) 커패시터(C_0)를 실장한 T-shape DMSR의 등가 회로
(b) Equivalent circuit of the T-shape DMSR with loaded capacitor

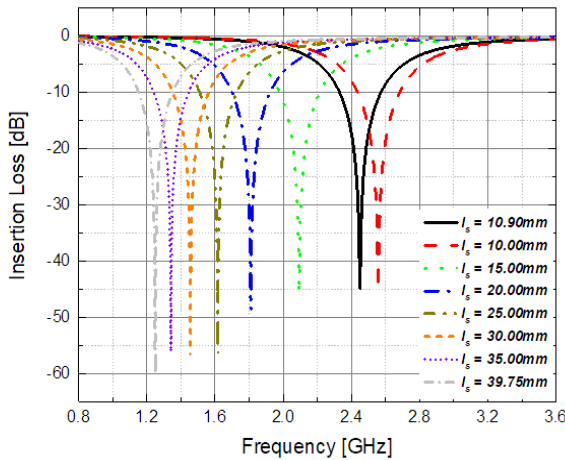
그림 4. 커패시터 실장을 통해 소형화된 T-shape DMSR

Fig. 4. Simulated resonant frequency of DMSR with respect to the loaded capacitance



(a) 커패시터 실장에 의한 공진 주파수 변화

(a) Resonant frequency of DMSR with respect to the loaded capacitor



(b) 0.5pF을 실장하였을 때 결함 구조 길이에 따른 공진 주파수 변화

(b) Resonant frequency of DMSR with respect to l_s with loaded capacitance of 0.5pF

그림 5. 커패시터가 실장된 T-shape DMSR의 공진 주파수 시뮬레이션 결과

Fig. 5. Simulated resonant frequency of DMSR with respect to the loaded capacitance

IV. 제안된 DMSR 구현 결과

일반적인 T-shape DMSR과 결함 구조에 커패시터를 적용하여 소형화된 DMSR은 상대유전율 3.5, 두께 0.8mm인 Taconic사의 RF-35 기판을 사용하여 제작하였으며, 제작된 DMSR의 사진을 그림 6에 나타내었다. 마이크로스트립 전송선의 50옴 선폭(W_0)은 1.8mm이며, 일반적인 T-shape DMSR의 결함 구조는 길이 39.75mm, 슬롯 폭 w_s 및 g 는 각각 0.5mm와 1mm로 구현하였다.

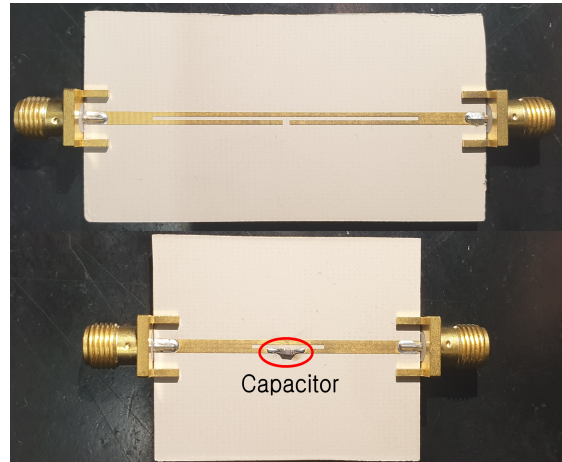


그림 6. 일반적인 T-shape DMSR과 결함 구조에 커패시터를 적용하여 소형화한 DMSR의 제작 결과

Fig. 6. Photo of the conventional T-shape DMSR and the proposed size reduced T-shape DMSR with C_a

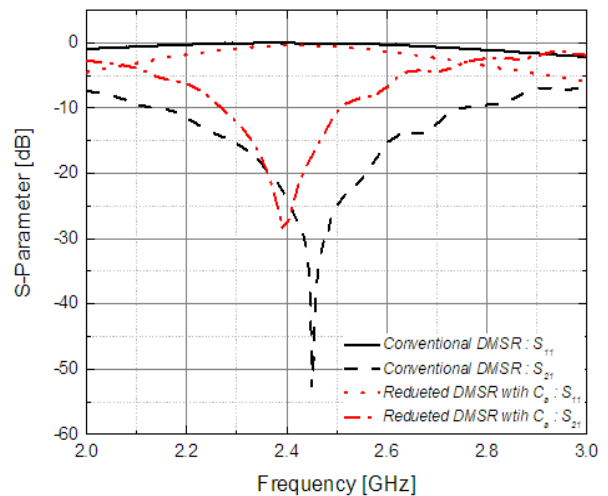


그림 7. 제안된 DMSR의 측정 결과

Fig. 7. Measured results of the proposed size reduced T-shape DMSR with capacitor(C_a)

소형화된 DMSR의 결함 구조는 일반적인 T-shape DMSR의 결함 구조와 동일한 슬롯 폭을 갖도록 하였으며, 길이의 경우 10.9mm로 구현하고, 전송선의 길이 방향에 수직인 슬롯 위에 커패시터를 장착하였다. 일반적인 T-shape DMSR과 소형화된 DMSR의 측정 결과를 그림 7에 나타내었다. 일반적인 T-shape DMSR의 공진 주파수는 2.45GHz로 측정되었으며, 커패시터를 사용하여 소형화된 DMSR은 커패시터에 따라 2.2 ~ 2.6GHz에서 공진하는 것으로 나타났다.

V. 결 론

본 논문에서는 T-shape DMSR의 소형화 방안을 제안하였다. 제안된 DMSR은 일반적인 T-자형 결합 구조의 slot 위에 커패시터를 실장하였을 때 DMSR의 공진 주파수가 낮아지는 특성을 이용하여 T-shape DMSR의 크기를 소형화하였다. 제안한 방법을 적용하여 2.45GHz 대역에서 동작하는 일반적인 T-shape DMSR과 결합 구조에 커패시터를 적용하여 소형화한 DMSR을 제작하여 측정한 결과 일반적인 T-자형 DMSR은 2.45GHz에서 공진하기 위해 결합 구조의 길이로 39.75mm가 필요하였으나, 커패시터를 실장하였을 때는 커패시턴스에 따라 결합 구조의 길이가 줄어들며, 0.5pF를 실장하였을 때 10.9mm 까지 줄일 수 있음을 실험을 통해 확인하였다.

References

- [1] M. Salek, X. Shang, and M. J. Lancaster, "Compact S-Band Coaxial Cavity Resonator Filter Fabricated By 3-D Printing", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 29, No. 6, pp. 382-384, May 2019. <https://doi.org/10.1109/LMWC.2019.2913155>.
- [2] B. I. Son, H. C. Jeong, S. J. Lee, and K. W. Yeom, "Design of a Low Phase Noise Vt-DRO Based on Improvement of Dielectric Resonator Coupling Structure", *Journal of KIEES*, Vol. 23, No. 6, pp. 691-699, Jun. 2012. <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2012.23.6.691>.
- [3] Y. M. Poplavko, Y. V. Prokopenko, V. I. Molchanov, and A. Dogan, "Frequency-Tunable Microwave Dielectric Resonator", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 49, No. 6, pp. 1020-1026, Jun. 2001. <https://doi.org/10.1109/22.925485>.
- [4] S. T. Yu, Y. S. Choi, S. J. Park, T. Thap, B. Dorjsuren, S. M. Han, J. S. Lim, and D. Ahn, "Equivalent Circuit of Planar Disk Resonator using Transmission lines and Inductor", *Proceedings of KIIT Conference*, Daejeon, Korea, pp. 165-167, May 2011.
- [5] Y. M. Lee and Y. S. Lee, "Design of Resonator using Open-ended Slot for X-band Application", *Proceedings of KIIT Conference*, Daejeon, Korea, pp. 108-109, Jun. 2019.
- [6] H. N. Shaman, "New S-Band Bandpass Filter (BPF) With Wideband Passband for Wireless Communication Systems", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 22, No. 5, pp. 242-244, May 2012. <https://doi.org/10.1109/LMWC.2012.2190269>.
- [7] J. T. Kuo, M. J. Maa, and P. H. Lu, "A Microstrip Elliptic Function Filter with Compact Miniaturized Hairpin Resonators", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 10, No. 3, pp. 94-95, Mar. 2000. <https://doi.org/10.1109/75.845708>.
- [8] B. A. Ahmed, H. Klaina, O. Aghzout, A. V. Alejos, A. Naghar, and F. Falcone, "Miniaturization, Selectivity and Rejection Bandwidth Improvements of a Multi-Band Stopband Filter Based on Circular Split Ring Resonator", *2019 13th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Krakow, Poland, pp. 1-4, Jun. 2019.
- [9] Z. Li, W. Shi, and Y. Yuan, "A novel compacted microstrip bandpass filter using stepped impedance resonator (SIR) and defected ground structure (DGS)", *2014 15th International Conference on Electronic Packaging Technology*, Chengdu, China, pp. 12-15, Aug. 2014. <https://doi.org/10.1109/ICEPT.2014.6922895>.
- [10] J. Lim, D. Ahn, S. M. Han, Y. Jeong, and H. Liu, "A Defected Ground Structure without Ground Contact Problem and Application to Branch Line Couplers", *International Journal of Antennas and Propagation*, Vol. 2013, Article ID 232317, Jul. 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/232317>.
- [11] J. Lim, W. S. Yoon, H. Choi, S. M. Han, and D. Ahn, "Design of a Multi-Layered 4-Way Power

Divider Using Defected Microstrip Structure",
Journal of KIIT, Vol. 15, No. 6, pp. 35-43, Jun.
2017. <http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2017.15.6.35>.

저자소개

하 태 식 (Tae-Sik Ha)



2016년 3월 ~ 현재 : 호서대학교
전자공학전공 학사과정
관심분야 : 초고주파 능동/수동
회로, 재구성 회로

이 상 민 (Sang-Min Lee)



2021년 2월 : 호서대학교
전자공학과(공학사)
2021년 3월 ~ 현재 : 호서대학교
전자디스플레이공학과 석사과정
관심분야 : 초고주파 능동/수동
회로, 재구성 회로

윤 원 상 (Won-Sang Yoon)



1997년 2월 : 고려대 전파공학과
(공학사)
1999년 2월 : 고려대 대학원
통신시스템공학과(공학석사)
2010년 8월 : 고려대 대학원
컴퓨터·전파통신공학과(공학박사)
1999년 3월 ~ 2015년 8월 :

한화탈레스(現 한화시스템) 통신연구소 수석연구원
2015년 9월 ~ 현재 : 호서대학교 전자및디스플레이공학부
부교수

관심분야 : RF & Microwave transceivers and sensor
systems, Reconfigurable RF & Microwave system
and antennas 등