

방사형 공진기를 이용한 고격리도 SPDT 스위치 연구

A Study on a SPDT Switch with High Isolation Using Radial Resonators

소유리* · 박운건** · 이재국** · 이민재** · 이종철***

* 주저자 : 광운대학교 전자융합공학과 석사과정

** 공저자 : 광운대학교 전자융합공학과 박사과정

*** 교신저자 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

Yu Ri SO* · Yunjian GUO** · Jae Gook LEE** · Min Jae LEE** ·
Jong Chul Lee***

* Dept. of Electronic Convergence Eng., KwangWoon University

** Dept. of Electronic Convergence Eng., KwangWoon University

*** Dept. of Electronic Convergence Eng., KwangWoon University

† Corresponding author : Jong Chul Lee, jcllee@kw.ac.kr

Vol. 22 No.6(2023)
December, 2023
pp.223~229

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2023.22.6.223>

Received 13 December 2023
Revised 20 December 2023
Accepted 21 December 2023

© 2023. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요약

본 논문에서는 3.6 ~ 4.0 GHz 대역의 6단의 방사형 스텐브 공진기를 갖는 SPDT(Single Pole Double Throw) 스위치를 제안한다. SPDT 스위치는 무선통신회로 설계 툴인ADS(Advanced Design Software) 시뮬레이션을 통해 pcb 기판 위에 제작되었다. SPDT 스위치 측정결과, 격리도는 평균 90 dB, 삽입 손실은 1.5 dB 정도인 것으로 나타났다. 본 논문에서 제안한 스위치는 현재 연구되어 있거나 상용화 되어 있는 비슷한 구조의 스위치들보다 해당 주파수 대역에서 평균 20dB 이상의 고격리도를 나타내고 있다. 제안된 SPDT 스위치는 WiMAX, LTE/5G, WiFi 및 HyperLAN과 같은 다중 대역 RF front-end 시스템에 적용 가능하다.

핵심어 : ORAN, 방사형 공진기, SPDT 스위치, ADS, 격리도

ABSTRACT

This paper proposes single pole double throw (SPDT) switch with six-stage radial stub resonators in the 3.6-4.0 GHz band. The switch was simulated using ADS (Advanced Design Software), a design tool for the wireless communication circuits, and evaluated on a pcb substrate. The measurement results of the radial SPDT switch showed an average 90 dB isolation, and 1.5 dB insertion loss. This isolation characteristic was 20 dB superior to higher than those laboratory or commercial products reported thus far. The proposed SPDT switch is applicable to multi-band RF front-end systems, such as WiMAX, LTE/5G, Wi-Fi, and HyperLAN.

Key words : ORAN, Radial Resonator, SPDT Switch, ADS, Isolation

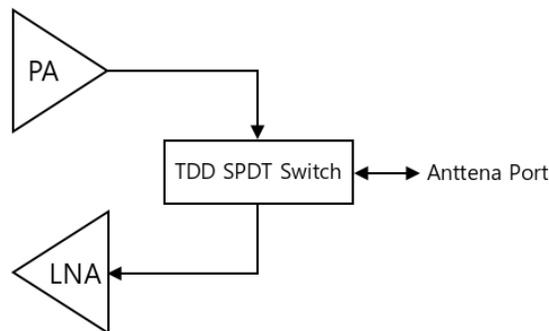
I. 서론

1. 개요

본 논문은 TDD(Time Division Duplex) Switch, 즉 SPDT Switch 개발에 관한 내용이다. 5G 및 IoT 시장의 활성화로 다양한 주파수 대역과 통신 방식을 다루는 새로운 요구 사항이 늘어나면서, 무선 통신 기술과 네트워크에 대한 새로운 중계 방식이 필요하다는 인식이 증가하였다. 이러한 변화에 대응하기 위해 ORAN(Open RAN, Open Radio Access Network)이란 개념이 등장하였다. ORAN은 이름에서 알 수 있듯이 통신 장비 중에서도 기지국과 관련이 깊은 기술이다(LGU+, 2022). RAN 인프라는 독점 하드웨어 및 소프트웨어에 묶여 있기 때문에 사업자의 구축 유연성과 선택이 제한된다는 문제점을 가지고 있다(SAMSUNG, 2019). 따라서 ORAN은 특정 기업이나 기술에 종속되지 않도록 아키텍처 및 표준화된 인터페이스를 지원함으로써 하나의 제조사에 대한 의존성을 줄이고, 각 통신 장비에 대한 구매 경로를 다각화하면서 문제를 해결한다(Wbridge, 2023).

본 논문에서는 시장에서 점점 중요해지는 ORAN의 구성 요소 중 하나인 SPDT 스위치를 연구하였다. SPDT 스위치는 다중 주파수 대역 간의 신호 전환을 용이하게 하고, 무선 통신 네트워크의 유연성을 향상시키며, 다양한 통신 요구 사항을 충족시키기 위한 중요한 요소로 작용한다. 이를 통해 5G 및 IoT 분야에서 새로운 통신 환경에 대응하고, 효율적이며 다양한 주파수 대역을 관리하는 데 도움을 줄 것으로 기대된다.

SPDT 스위치는 일반적으로 RF front-end 시스템에서 송신기와 수신기 사이를 전환하기 위해 사용된다. 이를 통해 데이터 전송을 위한 UL(Up Link)와 DL(Down Link)간 전환이 가능하다. WiMAX와 LTE 시스템의 TDD를 위한 무선 데이터 통신에 주로 사용된다(Zhou et al., 2012). 400MHz의 광대역에서 DL의 저손실 및 UL에서 균일한 Isolation 성능을 제공하는 기술이 필요하다. 본 논문에서는 3.6 ~ 4.0 GHz 대역에서 전환 가능한 방사형 스티브 공진기를 갖는 SPDT 스위치를 제안한다.



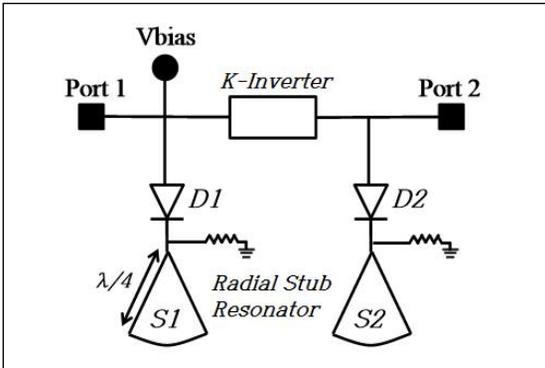
<Fig. 1> TDD SPDT switch on transmitter and receiver

<Fig. 1>에서 볼 수 있듯이, SPDT 스위치는 안테나, 필터, 증폭기 및 믹서와 같은 다른 하위 구성 요소의 일부이다. 송신기와 수신기 사이의 RF 전력 누출을 최소화하기 위해 SPDT 스위치 설계의 핵심 매개변수는 높은 절연이다.

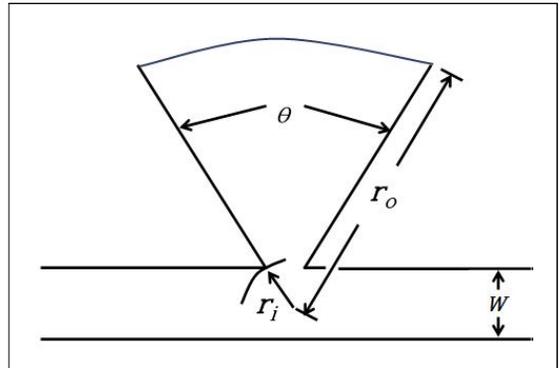
II. 방사형 스텐브 타입 스위치

1. 전환 가능한 방사형 스텐브 공진기

<Fig. 2>에 표시된 것처럼 전환 가능한 방사형 스텐브 공진기(March, 1985) <Fig. 3>의 방사형 스텐브의 기하학적 구조를 기반으로 한다. 임피던스 인버터(K-Inverter)에 의해 분리된 2개의 공진기(S1 및 S2)가 있다. PIN 다이오드는 방사형 스텐브와 직렬로 연결되어 (Naglich et al., 2012), Bakhit and Wong(2013)에 적용된 것과 동일한 개념인 대역 저지와 대역 통과 사이에서 재구성성이 가능하다. 또한 <Fig. 2>에서 제안된 전환 가능한 방사형 스텐브는 (Shairi et al., 2013)에서 발표된 논문의 확장이다.

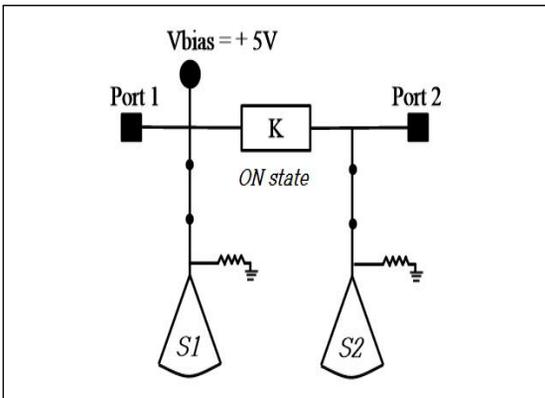


<Fig. 2> The proposed switchable radial stub using PIN diode (March, 1985)

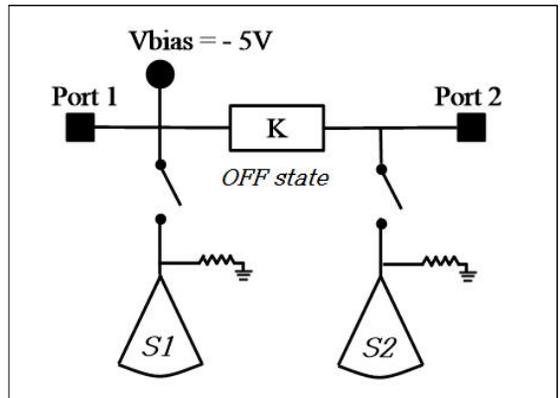


<Fig. 3> Geometric of radial stub(March, 1985)

<Fig. 4>는 +5V의 바이어스 전압을 갖는 전환 가능한 방사형 스텐브 공진기의 대역 저지 응답을 보여준다. <Fig. 5>는 -5V의 바이어스 전압을 갖는 전환 가능한 방사형 스텐브 공진기의 대역 통과 응답을 보여준다.



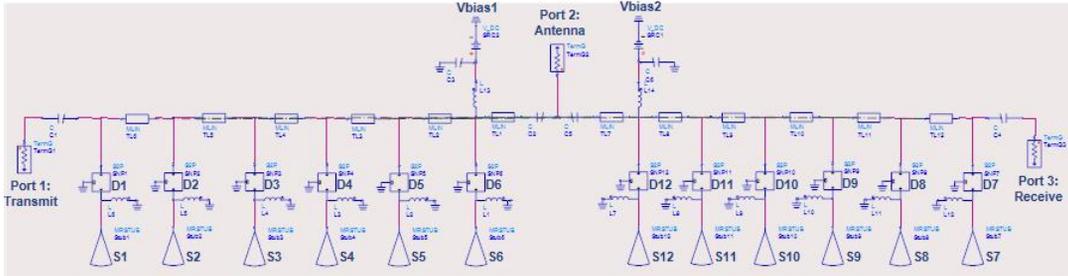
<Fig. 4> Circuit operation of Band stop response



<Fig. 5> Circuit operation of All pass response

2. ADS를 이용한 설계 및 SPDT 스위치 제작

<Fig. 6>과 같이 전환 가능한 방사형 스테브 공진기를 갖는 SPDT 스위치의 6단 절연 밴드는 3.6 ~ 4.0 GHz에서 설계되었다. 전송 모드와 수신 모드 간의 제어를 위해, 바이어스 1과 바이어스 2에서 모든 PIN 다이오드를 두 개의 서로 다른 상태, 즉 ON 상태와 OFF 상태로 제어한다



<Fig. 6> 6-stage SPDT switch with radial stub resonators

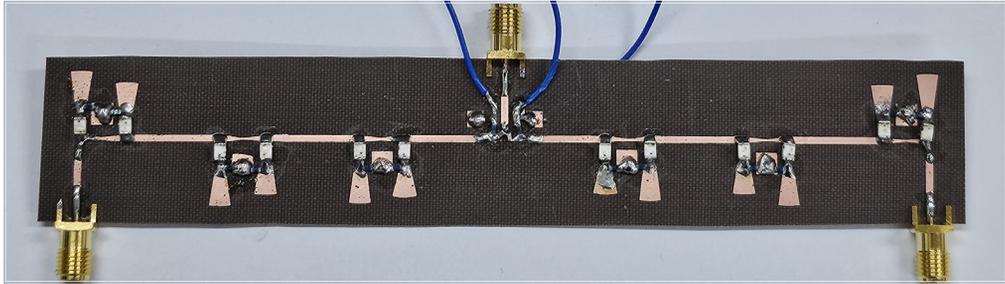
SPDT 스위치는 회로의 대칭적인 구조로 인해 전송 모드의 회로 동작에 대해서만 설명한다. 전송 모드(RF 신호가 Port 1에서 Port 2로 전파됨)에서, D1 ~ D6은 ‘OFF’ 된다. 따라서, S1 ~ S6은 대역 통과 응답이 된다. 반대로 D7 ~ D12가 ‘ON’이 되면, S7 ~ S12는 대역 저지 응답이 된다. 수신 모드(RF 신호가 Port 2에서 Port 3으로 전파됨)에서, S7 ~ S12의 모든 대역 통과 응답에 대해 D7 ~ D12은 ‘ON’으로 전환된다. 이 수신 모드에서 전송 포트와 수신 포트 사이의 격리도(S31)는 S1 ~ S6의 대역 저지 응답에 따라 달라진다. <Table 1>은 전환 가능한 방사형 스테브 공진기를 갖는 6단 SPDT 스위치의 회로 작동을 요약한 것이다.

<Table 1> Summary of circuit operation of 6-stage SPDT switch with radial stub resonators

	Transmit Mode	Receive Mode
Vbias 1	+5 Volt	-5 Volt
Vbias 2	-5 Volt	+5 Volt
PIN diode (D1~D6)	OFF state	ON state
PIN diode (D7~D12)	ON state	OFF state
Radial stub resonators (S1~S6)	All pass response	Bandstop response
Radial stub resonators (S7~S12)	Bandstop response	All pass response

<Fig. 6>에서 제안된 SPDT 스위치 회로는 격리도, 삽입 손실 및 반사 손실 측면에서 레이아웃 설계 및 성능 시뮬레이션을 위해 ADS(Advanced Design System) 소프트웨어를 사용하였다. <Fig. 7>은 전환 가능한 방사형 스테브 공진기를 갖는 SPDT 스위치의 프로토타입이다. SPDT 스위치 제작을 위해서는 네가티브 감광필름 라미 도포기(Model: PCLQ-01) 장비 및 자외선 진공 노광 시스템 장비를 이용하여 SPDT 스위치 스위치용 기판 PCB를 제작한다. DG 그라운드 부분에 비아홀을 뚫고 비아홀 구경에 맞는 PIN(Model: SAJ-6000)을 삽입 후 납으로 고정시킨다. 이러한 과정을 진행해서 SPDT 스위치의 프로토타입 제작을 완성하면 Multi Meter를 이용하여 쇼트되는 부분은 없는지 확인한다. 최종적으로 Power Supply를 이용하여 Bias 전압 5V를 인가하

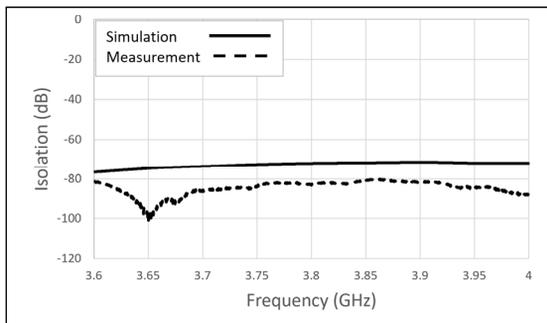
고, VNA를 이용하여 파라미터를 측정한다. ADS의 마이크로스트립 라인 모델은 두께=0.54 mm, 상대 유전율 $\epsilon_r=2.54$ 와 같은 모든 Teflon 기판 파라미터를 사용하여 회로 설계에 포함되었다. C, L 및 PIN 다이오드의 기생 소자들은 공진기 설계와 전체 시뮬레이션 과정을 통하여 고려되었고, 회로 설계에 사용된 상용 PIN 다이오드(부품번호: MA4P505-1072)는 전송 모드와 수신 모드 사이를 제어하는 데 사용된다. 따라서 3.6 ~ 4.0 GHz 대역에서 방사형 스텐브 공진기의 최종 치수는 $W= 2.7$ mm 및 $L= 15.5$ mm이다.



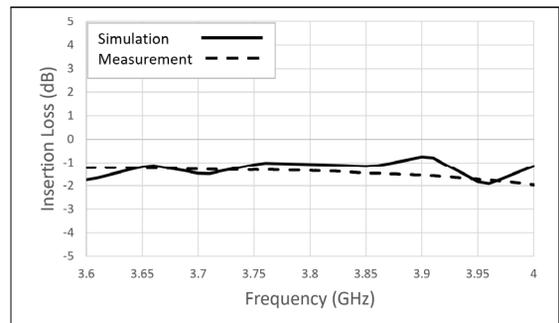
<Fig. 7> Prototype of 6-stage SPDT switch with switchable radial stub resonator

III. 결과 및 검토

격리도는 다양한 입력 또는 출력 포트 사이의 신호 간 간섭을 나타내는 파라미터이다. 이것은 장치나 회로에서 한 포트의 신호가 다른 포트로 누설되는 정도를 측정한다. 따라서 격리도를 측정하여 신호가 누설되는 정도를 확인할 수 있다. 삽입 손실은 신호가 장치나 회로를 통과할 때 발생하는 신호 감쇠를 나타낸다. BPF(Band Pass Filter) 전달 특성의 통과 대역 최대 레벨과 0레벨 간의 gap을 의미하며, 0과 가까울수록 소자 특성이 우수하다. 삽입 손실은 신호 처리 장비 또는 전파 장비의 신호 전달 효율을 평가하는 데 사용된다. <Fig. 8> 및 <Fig. 9>는 전환 가능한 방사형 스텐브 공진기를 갖는 SPDT 스위치의 시뮬레이션 및 측정 결과를 보여준다.



<Fig. 8> Simulation and measurement results of Isolation



<Fig. 9> Simulation and measurement results of Insertion loss

<Fig. 8>의 격리도(S31) 측정값은 80.1 ~ 100 dB, 평균적으로 90 dB이고, <Fig. 9>의 삽입 손실(S21) 측정값은 1.2 ~ 1.9 dB, 평균적으로 1.5 dB이다. <Table 2>는 주파수 대역별 격리도 및 삽입 손실의 측정값을 정리한 표이다.

<Table 2> Measurement results by frequency

Frequency 3.6 ~ 4.0 GHz	~ 3.7 GHz	~ 3.8 GHz	~ 3.9 GHz	~ 4.0 GHz
Isolation	81 ~ 101 dB	81 ~ 86 dB	80 ~ 83 dB	81 ~ 88 dB
Insertion loss	1.2 ~ 1.2 dB	1.2 ~ 1.3 dB	1.3 ~ 1.5 dB	1.5 ~ 1.9 dB

본 논문에서는 참고 문헌 (Shairi et al., 2013)의 기본 구조를 활용하여 다단 설계 및 임피던스 조정, 그리고 튜닝 과정을 통해 우수한 특성을 얻을 수 있었다. <Table 3>은 관련 논문 및 상용화 제품인 HMC547ALP3E와 본 연구에서 제안하고 실제 제작한 방사형 SPDT 스위치의 측정 결과를 비교한 표이다. 비교 결과, 격리도에서 타 논문 및 상용 제품보다 20 dB 이상의 우수한 성능 결과를 보여주었고, 삽입 손실에서도 타 논문 및 상용 제품과 비슷한 좋은 성능을 보여주었다.

<Table 3> Comparison of the performance for the radial SPDT switch with related papers and commercial products

	(Shairi, 2016)	(Shairi, 2012)	(Shairi, 2013)	(Shairi, 2014)	HMC547ALP3E	Radial SPDT (In this paper)
frequency band (GHz)	3.4 ~ 3.6	2.3 ~ 2.7	3.4 ~ 3.6	3.4 ~ 3.6	~ 6	3.6 ~ 4.0
Isolation (dB)	24.2 ~ 32.2	32 ~ 34	37.1 ~ 38.7	33 ~ 49	43 ~ 48	80.1 ~ 100
Insertion loss (dB)	1.2 ~ 1.5	1.0 ~ 1.5	1.4 ~ 1.7	1.9 ~ 2.1	1.7 ~ 2.1	1.2 ~ 1.9

IV. 결 론

본 논문은 3.6 ~ 4.0 GHz 대역의 TDD용 방사형 스텔브 공진기를 갖는 6단 대역 SPDT 스위치를 설계하였다. 제작한 방사형 SPDT 스위치의 측정 결과 격리도는 80.1 ~ 100 dB, 평균적으로 90 dB 이상의 성능을 측정하였고, 삽입 손실은 1.2 ~ 1.9 dB, 평균적으로 1.5 dB 이하가 측정되었다.

관련 논문 및 상용화 제품과의 비교 결과, 본 논문에서 제안한 방사형 SPDT는 시장에서도 우수한 경쟁력을 보이고 있다고 할 수 있으며, 추후 소형화 및 성능 안정화 등의 추가 연구도 필요하다. 일반적인 통신 환경에서는 참고 문헌들에서 요구하는 격리도 규정도 받아 들일만 하지만, 최근 5G 등 새로운 통신 환경에 좀 더 엄격한 격리도 규정이 요구되고 있어 추후 이와 관련된 스위치 성능 관련 연구가 진행될 것으로 예측된다. 또한 성능 향상을 위해 LNA Evaluation Board 및 Attenuator와 같은 기타 부품들을 연결하는 연구의 가능성도 존재한다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 과학기술정보통신부 IITP의 지원을 받아 수행되었으며 (No. 2022-0-00153, 빔포밍 경로 분산을 이용한 AI 네트워크관리 기반 인빌딩용 O-RU 개발 (#1711160494)), 2023년도 광운대학교 우수연구자 사업의 지원을 받았습니다 (2023-0437).

REFERENCES

- Bakhit, A. A. and Wong, P. W.(2013), “Switchable microwave band-stop to all pass filter using stepped impedance resonator”, *Progress In Electromagnetics Research B*, vol. 52, pp.99-115.
 LGU+, <https://post.naver.com/viewer/postView.naver?volumeNo=34512609&memberNo=1217380&vType=VERTICAL>, 2022.09.22.
- March, S. L.(1985), “Analyzing Lossy Radial-Line Stubs (Short Papers)”, *IEEE Transactions. Microwave Theory and Techniques*, vol. 33, no. 3, pp.269-271.
- Naglich, E. J., Lee, J., Peroulis, D. and Chappell, W. J.(2012), “Switchless Tunable Bandstop-to-All-Pass Reconfigurable Filter”, *IEEE Transactions. Microwave Theory and Techniques*, vol. 60, no. 5, pp.1258-1265.
- SAMSUNG, <https://www.samsung.com/global/business/networks/insights/white-papers/open-ran-t-he-open-road-to-5g/>, 2019.07.08.
- Shairi, N. A., Ahmad, B. H. and Wong, P. W.(2013), “Bandstop to allpass reconfigurable filter technique in spdt switch design”, *Progress in Electromagnetics Research C*, vol. 39, pp.265-277.
- Shairi, N. A., Ahmad, B. H. and Wong, P. W.(2013), “SPDT discrete switch design using switchable radial stub resonator for WiMAX and LTE in 3.5 GHz band”, *IEEE International RF and Microwave Conf. (RFM)*.
- Shairi, N. A., Ahmad, B. H. and Wong, P. W.(2014), “Switchable matched ring resonator in SPDT discrete switch design for WiMAX and LTE in 3.5 GHz band”, *Asia-Pacific Microwave Conf.*
- Shairi, N. A., Ahmad, B. H., Zakaria, Z. and Wong, P. W.(2012), “Single Pole Double Throw Discrete PIN Diode Switch with Switchable Quarter Wave Stub Resonator”, *International Conf. Communications and Mobile*.
- Shairi, N. A., Zakaria, Z. A., Zobilah, M. S., Ahmad, B. H. and Wong, P. W.(2016), *DESIGN OF SPDT SWITCH WITH TRANSMISSION LINE STUB RESONATOR FOR WIMAX AND LTE IN 3.5 GHZ BAND*, Asian Research Publishing Network(ARPN).
- Wbridge, https://www.wbridge.or.kr/platform/careersport/info/selectTrendDetail.do?ntt_sn=415, 2023.02.24.
- Zhou, K., Zhou, J. and Xu, Z.(2012), “Design of a high performance RF transceiver for TDD-LTE system”, *Proc. IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp.1-3.