

바렉터 다이오드를 이용한 높은 격리도를 갖는 DIPLEXER 스위치에 관한 연구

論 文
54C-4-8

A Study on the Diplexer Switch of High Isolation Using Varactor Diode

朴 准 奭* · 康 明 洙*

(Jun-Seok Park · Myung-Soo Kang)

Abstract - In this paper, using diplexer structure and varactor diode controlled by reverse bias voltage for diplexer switch gives possibilities to improve isolation and current characteristics. I have newly designed switch with high isolation by application varactor diode corresponding to capacitor of diplexer. The low-pass filter for proposed tunable diplexer passes the microwave signal in the bandwidth for wireless cellular network systems and high-pass filter passes it in the bandwidth for wireless personal communication services (PCS) network systems. As the capacitance of the low-pass filter increases, the cut-off frequency can be moved to low frequency, so that the switch is on state in cellular bandwidth and off state in the PCS bandwidth, in contrast to, as the capacitance for attenuation characteristic of high-pass filter increases, it can be moved to high frequency, so that the switch is off state and on state in the cellular bandwidth. it is possible to improve isolation and current consumption characteristics by application diplexer design methods and varactor diode. I expect that the tunable diplexer circuit and design methods should be able to find applications on MMIC and low temperature copired ceramic (LTCC).

Key Words : Diplexer, Varactor Diode, Switch, MMIC

1. 서 론

최근의 무선통신 시장은 다양한 무선통신 서비스의 발달과, RFIC(Radio Frequency Integrated circuit), MMIC(Microwave Monolithic Integrated Circuit) 및 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)의 기술의 발달에 힘입어, 무선 통신 시스템에 효과적으로 활용될 수 있으며 새로운 기능을 가지는 새로운 형태의 무선 통신 부품소자들에 대해 활발한 연구가 진행 되고 있다. 통신 장비나 전자전 장비에 널리 사용되는 스위치는 입력되는 신호의 경로를 제어하는 역할을 하는 소자로 다양한 응용분야를 가지고 있다. GaAs 반도체 스위치는 크게 두 가지, PIN 다이오드를 이용한 것과 FET를 이용한 것으로 발전되어져 왔다.^{[1][7]} FET를 이용한 스위치는 수 nano초 이하의 스위칭 속도를 가지고 수 와트 이상의 전력을 수용 할 수 있으며 FET의 전류소모가 μA 수준으로 거의 없고 외부 전류 구동기가 필요하지 않다는 장점을 가진다. 또한 최근에 주목받고 있는 MEMS 기술을 이용한 RF MEMS 스위치는[8]~[13] 전력구동 능력의 우수성과 낮은 삽입 손실 등의 특성을 보이거나 아직은 높은 구동 전압과 느린 스위치 전환시간의 문제점과 수명 및 신뢰성이 검증되지 않은 상태이다. 위에서 언급한 스위치들은 스위치 하나로만 동작함으로써 단말기 시스템에 적용 시 다이플렉

서 뒷단에 적용됨으로 인해 통합형 단말기에 적용 시 두개 이상의 추가적인 스위치가 필요하게 된다. 이는 부품수의 증가를 가져오며 현재 추세인 단일 칩으로의 구현에 부적절하며 또한 부피의 증가를 가져와 통합형 단말기의 부피의 증가를 가져오게 된다.

따라서, 본 논문에서 제시한 다이플렉서형 스위치는 스위치 자체가 다이플렉서 역할을 함으로써 추가적인 다른 스위치의 필요성이 줄어들며 또한, 현재추세인 통합형 단말기에 적용할 수 있도록 MMIC기술과 LTCC기술을 적용한다면 추가적인 부품의 증가 없이 높은 격리도를 갖는 새로운 스위치로 사용될 수 있을 것이다. 본론에서는 여파기 이론과 스위치 이론에 대하여 설명하고 스위치에 적용 가능한 다이플렉서 구조에 대해서 언급 하였으며 바렉터 다이오드를 사용하여 제시한 구조가 구현 가능한지를 현재 국내 상용 주파수인 셀룰라 대역과 PCS대역을 적용하여 제작 및 검증해 보았다. 현재 국내 대부분의 단말기는 셀룰라용과 PCS용이 구별되어있다. 본 논문에서 제시한 스위치구조를 이용하면 부피의 증가 없이 높은 격리 특성을 가지며 낮은 전류 소모특성을 요구하는 통합형단말기에 적용하여 하나의 단말기로 두개의 서비스를 받을 수 있을 것으로 예상된다. 그리고 WCDMA 주파수라도 연계한다면 하나의 단말기로 두 가지의 서비스에 모두 적용할 수 있으리라 본다.

2. 바렉터 다이오드를 이용한 높은 격리도를 갖는 다이플렉서형 스위치

2.1 다이플렉서의 용도 및 구조

다이플렉서는 송신과 수신신호를 안테나 단자와 결합시키며 상향 신호와 하향 신호를 격리시킨다. 두 전송 경로에는

* 교신저자, 正會員 : 國民大 工大 전자·정보통신공學科 助教授 · 工博

E-mail : jspark@kookmin.ac.kr

* 學生會員 : 國民大 工大 전자·정보통신공學科 석士課程

接受日字 : 2005年 1月 18日

最終完了 : 2005年 2月 16日

주로 Chebyshev 필터를 사용한다. 단말기 및 중계기 기지국 등을 비롯한 안테나 시스템에서 송신과 수신용으로 한개의 안테나만을 사용하는 경우에 송신 신호와 수신신호 간의 상호 간섭을 최소화 하기위하여 서로 간의 주파수 대역을 다르게 하거나 주파수를 편파 시켜서 사용하게 되는데 다이플렉서는 안테나로부터 들어온 신호만을 수신 시스템으로 전달하고, 송신 시스템의 출력신호는 안테나로만 보내기 때문에 수신신호의 증폭시 송신신호가 유입되는 것을 억제한다. 본 논문에서 사용하기 위한 다이플렉서는 위의 목적보다는 Multi-band 단말기의 경우와 같이 800MHz대의 Cellular CDMA와 1.8GHz대의 PCS CDMA를 동시에 사용할 수 있는 경우에 적용 가능한 스위치형태의 다이플렉서이다. 그림 1은 기본적인 다이플렉서의 블록도를 나타낸 것이다. 블록도에서 볼 수 있듯이 다이플렉서는 저역통과 여파기와 고역통과 여파기가 하나의 안테나 포트를 공유하고 있는 구조이며 우측의 그림과 같이 저역통과 대역과 고역통과 대역 특성을 동시에 나타낸다. 그림 2(a)는 일반적인 통합형시스템에 적용되고 있는 다이플렉서 블록도이다. 그림에서와 같이 다이플렉서 뒷단에 예 두개의 스위치가 사용되고 있다. 반면에 그림 2(b)에서 제시한 새로운 구조의 경우 두개의 스위치를 다이플렉서에 포함한 구조이므로 부품의 수를 줄이면서 하나의 부품으로 두 가지의 특성을 동시에 만족할 수 있는 구조이다.

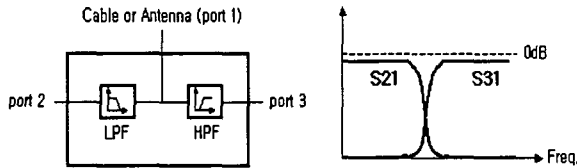


그림 1 다이플렉서의 블록도
Fig. 1 Block-diagram of Diplexer

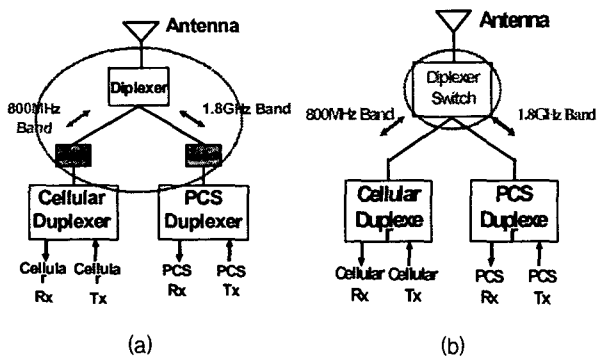


그림 2 (a) 다이플렉서가 적용된 통합형시스템 블록도
(b) 새롭게 제시한 다이플렉서 스위치 블록도
Fig. 2 (a) Block-diagram of conventional dual-band system
(b) Block-diagram of Diplexer switch

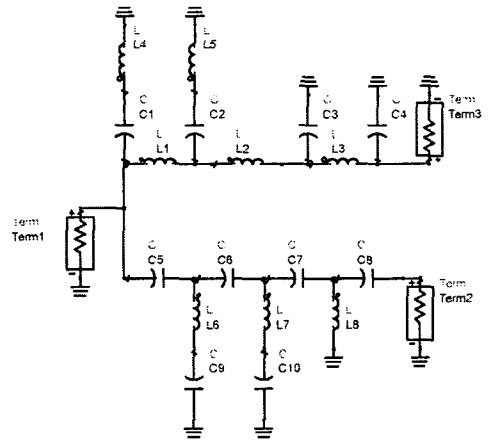
2.2 저역통과 여파기와 고역통과여파기를 이용한 다이플렉서 시뮬레이션

통합형 단말기에 적용하기 위해 상용주파수인 800MHz대의 Cellular CDMA에 사용가능한 저역통과 여파기와 1.8GHz

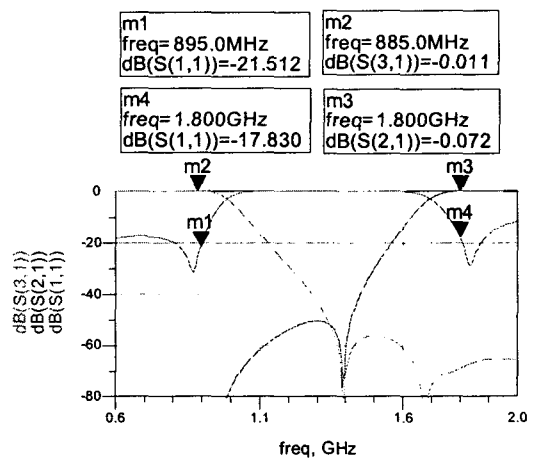
대의 PCS CDMA에 사용가능한 고역통과 여파기를 이용한 그림 3(a)의 다이플렉서를 설계하였다. 표 1은 다이플렉서의 소자 값을 나타내었고, 그림 3(b)는 설계된 다이플렉서의 결과 파형이다.

표 1 다이플렉서 소자 값
Table 1 Design results of Diplexer

저역통과 여파기 소자 값		고역통과여파기 소자값	
L1	10.0 nH	L6	1.7 nH
L2	12.0 nH	L7	1.6 nH
L3	13.0 nH	L8	2.2 nH
L4	13.1 nH	C5	1.8 pF
L5	1.5 nH	C6	2.0 pF
C1	1.0 pF	C7	1.6 pF
C2	6.0 pF	C8	1.8 pF
C3	7.0 pF	C9	20.0 pF
C4	3.5 pF	C10	20.0 pF



(a)



(b)

그림 3 (a) 다이플렉서 회로도 (b) 다이플렉서 시뮬레이션 결과
Fig. 3 (a) Diplexer circuit (b) Result of diplexer simulation

2.3 스위치로 동작하는 집중소자를 이용한 다이플렉서 시뮬레이션

바랙터 다이오드는 TOKO사의 KV1812K를 사용하였다. 사용된 다이오드는 역 전압 20V에서의 최대 역전류는 5nA가 나타내며 이는 전류 값이 수mA인 PIN 다이오드에 비해 극히 작은 전류 값을 가짐을 알 수 있다. 또한 그림4에서 볼 수 있듯이 셀룰라 대역과 PCS 대역에서 사용 가능하며 다이플렉서에서 사용되는 C값에 만족하는 커패시터 값인 최소 2pF에서 최대 80pF까지 나타남을 알 수 있다.

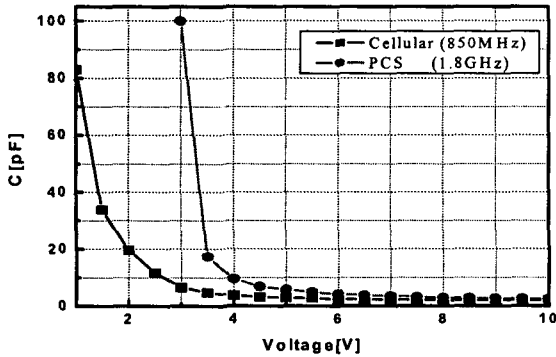


그림 4 실제 사용대역에서의 다이오드 소자값
Fig. 4 Capacitance of reverse voltage

실제 제작을 위하여 유전율이 2.5이고 두께가 0.7874mm인 테프론 기판을 적용한 시뮬레이션을 하였다. 또한 각 소자 값이 실제 제작 시 적용되는 선로와 결합부분에 의해 변화 되어 각 소자 값을 튜닝 하였다. 스위치 동작은 셀룰라 대역이 on 상태일 경우 PCS 대역은 off 상태로 동작하고 반대로 셀룰라 대역이 off 상태일 경우 PCS 대역은 on 상태로 동작 한다.

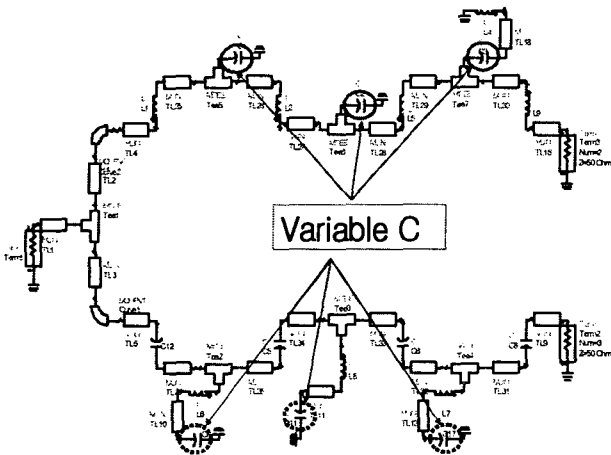
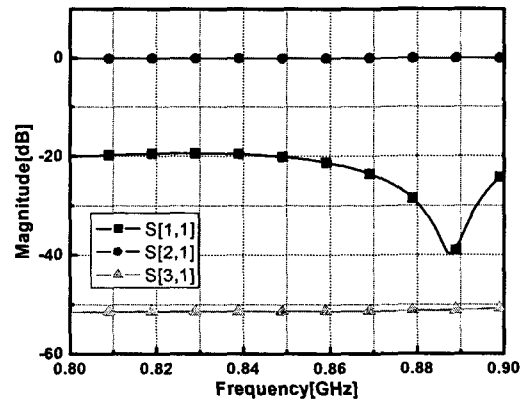


그림 5 다이플렉서 스위치 회로
Fig. 5 Diplexer switch

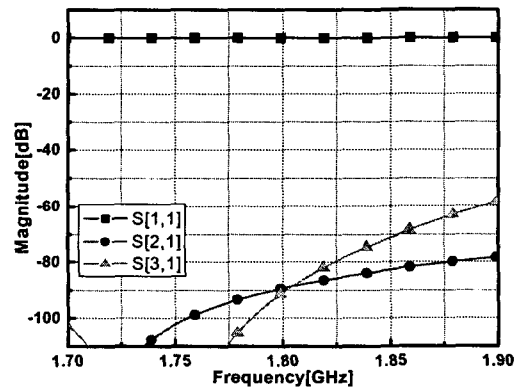
표 2 다이플렉서 스위치 소자 값

Table 2 Design results of Diplexer switch

셀룰라 대역 ON		PCS 대역 OFF	
L1	8.1 nH	C1	1.4 pF
L2	15.1 nH	C2	0.8 pF
L3	15.4 nH	C3	0.9 pF
L4	5.6 nH	C4	2.1 pF
L5	2.0 nH	L1	2.4 nH
on C1	6.4 pF	L2	2.4 nH
on C2	5.3 pF	L3	2.5 nH
on C3	3.3 pF	off C5	2.7 pF
		off C6	2.7 pF
		off C7	2.7 pF



(a)



(b)

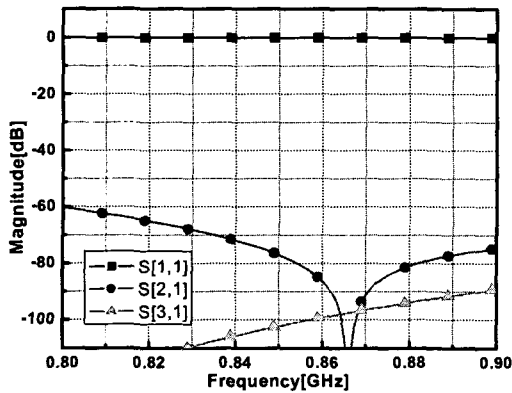
그림 6 (a) 셀룰라대역 ON 상태 결과파형 (b) PCS 대역 OFF 상태 결과파형

Fig. 6 (a) Cellular ON state, (b) PCS OFF state

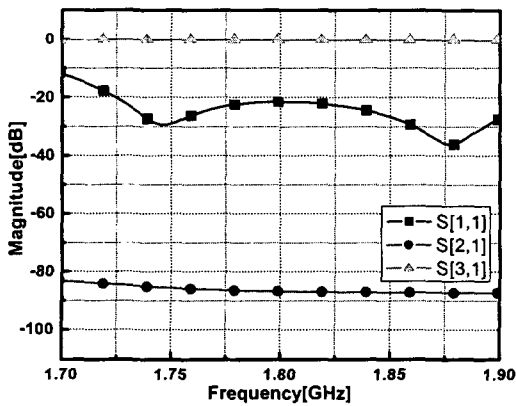
표 3 다이플렉서의 스위치 소자 값

Table 3 Design results of Diplexer switch

셀룰라 대역 OFF		PCS 대역 ON	
L1	8.1 nH	C1	1.4 pF
L2	15.1 nH	C2	0.8 pF
L3	15.4 nH	C3	0.9 pF
L4	5.6 nH	C4	2.1 pF
L5	2.0 nH	L1	2.4 nH
on C1	20 pF	L2	2.4 nH
on C2	20 pF	L3	2.5 nH
on C3	20 pF	off C5	15 pF
		off C6	15 pF
		off C7	15 pF



(a)



(b)

그림 7 (a) 셀룰라대역 OFF 상태 결과파형 (b) PCS 대역이 ON상태결과파형

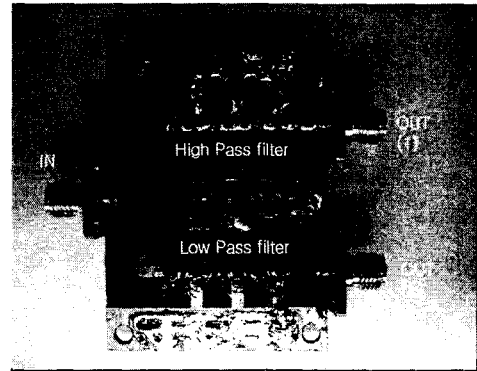
Fig. 7 (a) Cellular OFF state, (b) PCS ON state

그림5는 스위치로 동작하는 다이플렉서 회로도를 나타낸 그림이고, 표2와 표 3은 회로에 사용된 소자 값을 나타내었다. 표2,3과 그림 6과 그림 7에서 볼 수 있듯이 셀룰라 대역이 통과하는 저역 통과 여파기 부분은 병렬 C값을 증가

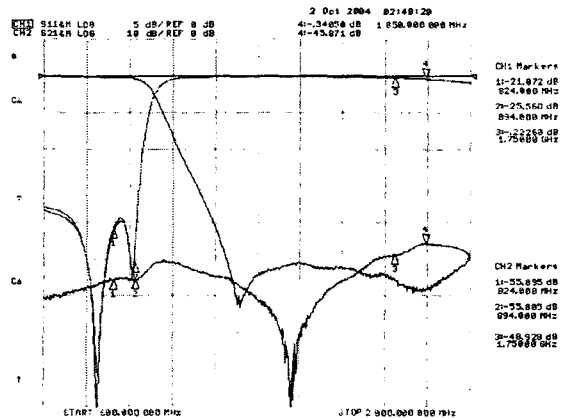
시킴으로써 off 상태를 만들 수 있고 PCS 대역이 통과 하는 고역통과 여파기 부분은 감쇄극으로 작용하는 병렬 C값을 감소시켜 off 상태를 만들 수 있다.

2.4 바랙터 다이오드를 이용한 이중대역 다이플렉서 스위치 설계 및 구현

소자 값의 변화에 따른 스위치 동작이 실제 구현에서 가능한지를 검증하기 위하여 유전율이 2.5인 테프론 기판을 이용하여 PCB를 제작하였다. 제작한 PCB에 일반적인 칩 커패시터와 인덕터를 사용할 경우 손실이 증가하게 된다. 이를 개선하기 위해서 인덕터는 에어 코일 인덕터를 사용하였고, 커패시터는 High Q 커패시터를 사용하여 회로를 구현하였다. 또한 C값의 변화에 따른 스위치의 동작 특성을 검증하기 위해 저역통과 여파기는 병렬 커패시터의 소자 값을, 고역통과 여파기는 감쇄극용 커패시터를 실장하고 측정하였다. 그림 8(a)는 실제 제작된 스위치 동작 검증을 위한 다이플렉서를 보여주고 있다. 그림 8(b),(c)는 제지된 다이플렉서의 C값을 변화 시켜서 얻은 결과 파형이다. 그림 8(b)는 셀룰라 대역이 ON 상태이고 PCS 대역이 OFF 상태일 때 삽입손실은 약 0.5dB이고 반사 손실은 약 20dB를 나타내며 격리도는 약 45dB 이상이 나타났다. 시뮬레이션 데이터와 격리도에서 차이가 나는 이유는 기판 제작 시에 접지면 처리가 조금 미흡함으로 인해 나타난 것 같다.



(a)



(b)

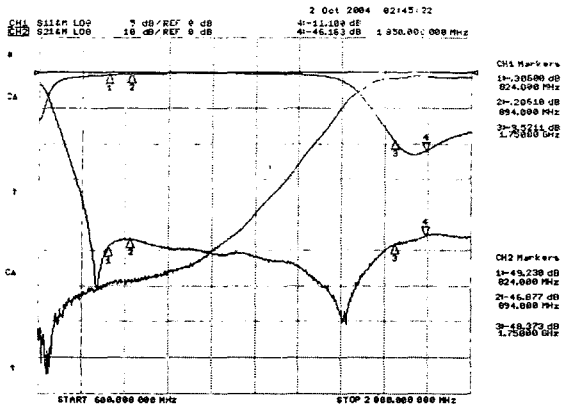


그림 8 (a) 스위치 동작 검증을 위한 다이플렉서 (b) 셀룰라 대역 ON, PCS 대역 OFF상태 (c) 셀룰라대역 OFF, PCS 대역 ON상태

Fig. 8 (a) fabricated Lumped-type diplexer (b) Cellular ON state & PCS OFF state (c) Cellular OFF state & PCS ON state

그림 8(c)와 같이 PCS 대역이 on 상태일 때 삽입손실은 약 1.0dB이고 반사 손실은 약 12.0dB를 나타내었다. 삽입손실은 반사손실을 개선하면 동시에 개선이 가능하리라 본다. 격리도는 약 45dB이상이 나타났다. 시뮬레이션 데이터와 격리도에서 차이가 나는 이유는 기판 제작 시에 접지면 처리가 조금 미흡함으로 인해 나타난 것 같다. 이 실험을 통해 새로운 구조의 다이플렉서형 스위치가 제작이 C값의 변화에 의해 스위칭 동작이 일어날 수 있음을 검증할 수 있었다.

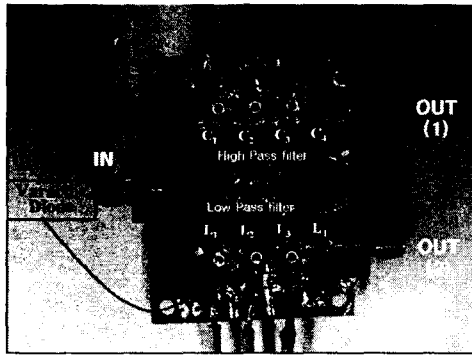
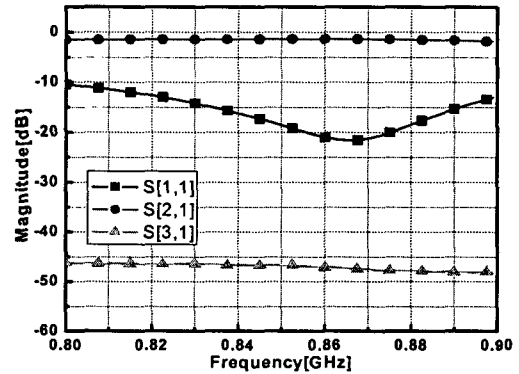


그림 9 제작된 바랙터 다이오드를 이용한 다이플렉서 스위치
Fig. 9 Fabricated Lumped-type diplexer switch using varactor diode

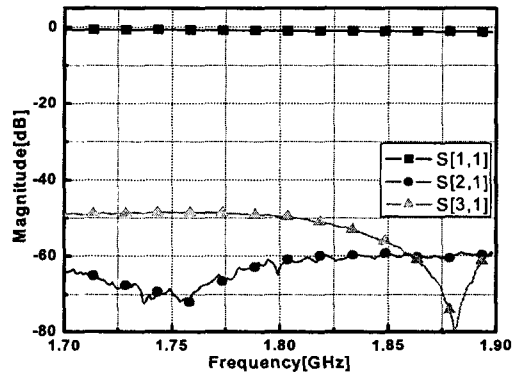
바랙터 다이오드를 직접 기판에 실장한 후 바이어스를 인가하여 셀룰라 대역이 ON상태일 때 5V의 전압을 인가하고 OFF상태일 때는 약 0V 이하의 전압을 인가하였다. 반대로 PCS가 on 상태일 때는 0V의 전압을 바랙터에 인가하고 off 상태일 때는 5V의 전압을 인가하였다. 그림9는 바이어스 회로가 포함된 다이플렉서형 스위치의 사진이다. 바랙터 다이오드의 전류 소모는 PIN 다이오드에 비해 극히 미세한 전류 인 수 마이크로암페어 만 인가된다. 아래 그림에서와

같이 3개의 포트를 가지는 SPDT 스위치 형태를 보이며 구역통과 여파기와 지역통과 여파기가 결합된 구조이다. 타 원으로 표시된 부분이 바랙터 다이오드가 적용된 부분이며, 원으로 표시된 부분은 바이어스를 인가하기위해 DC feed 인덕터를 나타내고 있다.



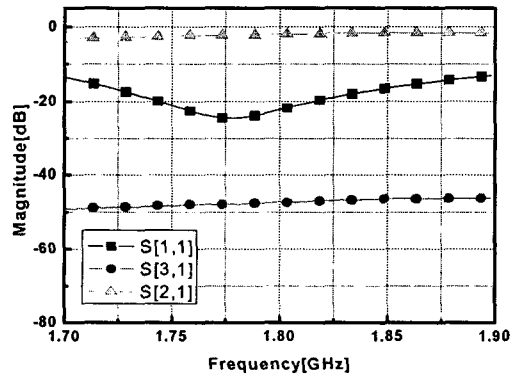
(a) 셀룰라대역 ON 상태

(a) Cellular ON state



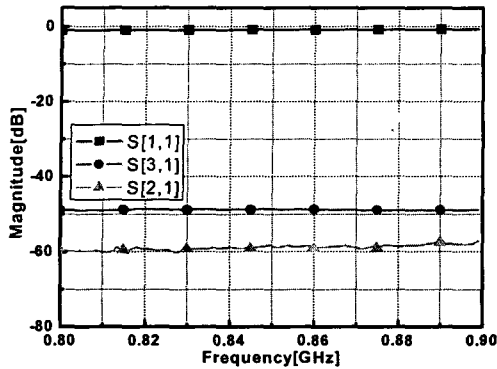
(b) PCS 대역이 OFF상태

(b) PCS OFF state



(c) PCS 대역이 ON상태

(c) PCS ON state



(d) 셀룰라대역 OFF 상태
(d) Cellular OFF state

그림 10 제작된 다이플렉서 스위치의 결과 파형

Fig. 10 Measurement on the fabricated Lumped-type diplexer switch

그림 10의 (a),(b)는 셀룰라 대역이 on 상태이고 PCS 대역이 off 상태일 때의 실측결과를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 셀룰라 대역의 삽입 손실은 1.5dB, 반사손실을 15dB, 저지대역 특성은 셀룰라 대역과 PCS 대역에서 최소 48dB 이상의 높은 격리 특성을 나타냈다. 그림 10의 (c),(d)는 PCS 대역이 on 상태이고 셀룰라 대역이 off 상태일 때의 실측결과를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 PCS 대역의 삽입손실은 2.1dB, 반사손실은 약 18dB를 나타내었고, 저지대역특성은 셀룰라 대역과 PCS대역에서 최소 48dB 이상을 나타내었다. 시뮬레이션 결과와 소자 값을 이용한 실험결과에 비해서 삽입손실이 나빠진 이유는 반사손실특성이 좋지 않고 전원으로 인한 잡음 때문에 삽입손실이 증가하였다. 반사손실을 개선하고, 기판제작 시에 오차를 줄인다면 더 좋은 삽입손실 특성을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

3. 결 론

본 논문에서는 무선통신의 기술과 함께 시스템의 저가격화 구현 기술이 요구되고, 무선통신 통합형 단말기에 적용할 수 있는 바랙터 다이오드를 이용한 다이플렉서형 스위치에 대한 연구를 수행 하였다. 기존에 제안된 스위치는 삽입손실과 반사손실은 만족하지만 격리도가 많이 떨어지는 경향이 있다. 본 논문에서 제시한 다이플렉서형 스위치는 격리도를 삽입손실과 반사손실보다는 격리도를 개선하는 것에 목표를 두었다. 본 연구에서는 다이플렉서의 특정 소자인 커패시터를 바랙터 다이오드로 대체하여 전압에 따른 커패시터 값을 변화 시 킴으로 인해 차단 주파수를 변화 시켜 높은 격리도를 갖는 스위치를 설계하였다. 본 연구에서는 바랙터 다이오드를 사용하여 제시한 구조가 구현 가능한지를 현재 국내 상용 주파수인 셀룰라 대역과 PCS대역을 적용하여 제작 및 검증해 보았다. 또한 제시한 스위치를 통합형 단말기에 적용한다면 부피의 증가 없이 하나의 단말기로 두개의 서비스를 받을 수 있을 것으로 예상된다. 그리고

WCDMA 주파수와도 연계한다면 하나의 단말기로 두개의 서비스를 모두 적용할 수 있으리라 본다. 설계한 다이플렉서의 저역통과 여파기 부분은 셀룰라 대역을 통과 시키고 고역통과 여파기는 PCS대역을 통과 시킨다. 저역통과 여파기의 커패시터 값을 증가시켜 차단주파수를 아래쪽으로 이동시켜 셀룰라 대역을 OFF상태로 만들어 PCS대역은 ON상태가 되고 반대로 고역통과 여파기의 경우 감쇄극용 커패시터 값을 감소시켜 차단주파수를 위쪽으로 이동시켜 OFF상태가 되면 셀룰라 대역은 ON상태가 된다. 본 논문에서 제시한 다이플렉서형 스위치는 스위치 자체가 다이플렉서 역할을 함으로써 추가적인 다른 스위치의 필요성이 줄어들며 또한, 매우 낮은 전류 특성으로 인하여 현재추세인 통합형 단말기에 적용할 수 있도록 MMIC기술과 LTCC기술을 적용한다면 추가적인 부품의 증가 없이 높은 격리도를 가지며 전력소모가 낮은 새로운 스위치로 사용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] T. Shigematsu, N Sumatsu, N. Takeuchi, Y Iyama, and A, Mizoduchi, "A 6-18 GHz 20W SPDT switching using shunt discrete PIN diodes", IEEE MTT-S Dig, pp. 526-530, 1997.
- [2] S. Pacheco, C.T. Nguyen, and L.P.B. Kathehi, Micromechanical Electrostatic K-Band Switches, IEEE MTT-S Digest, pp. 1569-1572, 1998.
- [3] M.J. Shindler and A. Morris, DC-40GHz and 240GHz MMIC SPDT Switches, IEEE MTT, pp. 1486-1493, 1987.
- [4] Hiroshi Mizutani, Masahiro Funabashi, Compact DC-60 GHz HJFET MMIC Switches Using Ohmic Electrode-Sharing Technology, IEEE MTT, pp. 1597-1603, November 1998.
- [5] Y. Ayasli, R. Mozzi, L. Hanes, and L.D. Reynolds, An X-Band 10W Transmit-Receive GaAs FET Switch, Microwave Switching with GaAs FETs, IEEE MTT-S Digest, pp. 42-46, 1982.
- [6] Yunus, N.A.M; Wagiran, R.; Postoyalko, V.; " Design of a microstrip SPDT PIN diode switch" semiconductor Electronics, 2002. Proceedings. ICSE 2002. IEEE international Conference on, 19-21 Dec. 2002
- [7] Tanaka. S, Kimura. T, " A PIN diode switch operation at multi-frequency bands" Microwave symposium Digest, 2004 IEEE MTT-S International, Volume: 2, June 6-11, 2004 Pages : 1127-1130
- [8] J. B. Muldavin and G. M. Rebeiz, "All-metal series and series/shunt MEMS switches," IEEE Microwave Wireless Comp. Lett, vol. 11, pp373-375, Sept. 2001.
- [9] J. B Muldavin and G. M Rebeiz, "Inline capacitive and DC-contact MEMS shunt switches," IEEE Microwave Wireless Comp. Lett vol. 11, pp.334-336, Aug. 2001.

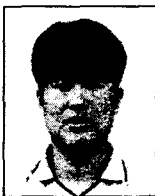
- [10] S. Pacheco, D. Peroulis, and L. P. B. Katehi, "MEMS single-pole-double-throw(SPDT) X and K-band switching circuits," in IEEE Int Microwave Symp. Dig., Phoenix, AZ, 2001, pp. 321-324.
- [11] J. Y. Park, G. H. Kim, and J. U. Bu, "Monolithically integrated RF MEMS capacitive switches," Proceedings of the 32nd International Symposium on Robotics, pp. 19-21, 2001.
- [12] C. Goldsmith, J. Randall, S. Eshelman, and T. H. Lin, "Characteristics of micromachined switches at microwave frequencies," IEEE Microwave Theory and Technique Simp. Digest, pp.1141-1144.
- [13] G. L. Matthaei, L. Young, E. M. T. Jones, "Microwave filters, impedance-matching networks, and coupling structures" pp. 83-161.

저 자 소 개



박준석 (朴准奭)

1969년 8월 12일생. 1996년 국민대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학). 1997년 UCLA Post Doc. 1998년 ~2003년 순천향대학교 정보기술 공학부 조교수. 2003~현재 국민대 전자정보기술 공학부 조교수
Tel : 02-910-4829
Fax : 02-910-4646
E-mail : jspark@kookmin.ac.kr



강명수 (康明洙)

1978년 12월 23일생. 2003년 순천향대학교 전자공학과 졸업. 2003년~현재 국민대학교 대학원 전자공학과 석사과정
Tel : 02-500-4072
Fax : 02-500-4719
E-mail : jhlee@wavics.com