

논문 2011-48TC-1-15

개인 휴대통신용 4중대역 p-HEMT SP6T 스위치 구현

(Implementation of Quad-Band p-HEMT SP6T Switch for Handset Applications)

신 원 철*, 정 인 호*

(Onechul Shin and Inho Jeong)

요 약

개인 휴대통신의 서비스 대역에 대응하는 4중 대역 p-HEMT SP6T 스위치를 구현하였다. 낮은 삽입손실과 높은 격리특성을 달성하기 위하여, 트랜지스터 단위소자의 최적화를 통해 On-Off간 상호 보완적 관계를 고려하였으며, 특히 송수신간 격리특성의 경우, 큰 커패시터 삽입을 통하여 우수한 격리 특성을 달성하는 동시에 단일의 전압제어와 백비아를 사용한 접지를 통해 소형화를 달성하였다. 구현된 SP6T 스위치는 $950\text{ um} \times 1000\text{ um}$ 의 크기를 가지며, 공정상 게이트 우물의 오류를 감안할 때, 각 주파수 대역에서 우수한 삽입손실 및 격리특성을 확인 할 수 있었다.

Abstract

Quad band p-HEMT SP6T switch for handset applications was developed. To achieve the low insertion loss and high isolation, trade-off between "On" state and "Off" state was considered by optimization of unit cell. Especially, in case isolation between transmit port and receive port, it was achieved by large capacitors and miniaturization of chip size was achieved by common voltage control and ground using back via process. Designed SP6T switch has size of $950\text{ um} \times 1000\text{ um}$ and take into consideration the gate recess error, excellent loss and isolation was confirmed in operating frequency.

Keywords : Switch MMIC, SP6T switch, RF front-end, GaAs p-HEMT, Antenna switch module

I. 서 론

소형화, 고집적화 및 고성능을 요구하는 RF 부품소재 기술에서 개인 휴대통신 시스템의 RF 전단부 (RF front-end)는 학계나 업계의 중요한 화두가 되고 있으며 그 중 안테나 스위치는 전단부의 구성 부품 중 가장 핵심이 된다. 일반적으로 안테나 스위치는 2중 및 3중 대역을 운용하기 위해 주로 PIN 다이오드 기술을 이용하여 구현하였다. 하지만 개인 휴대통신 주파수 대역이 4중대역 이상의 서비스가 활성화 되면서, PIN 다이오드 스위치는 더 이상 경쟁력을 가지기 힘든 실정 인데, 이

는 PIN 다이오드의 경우 다중포트의 확장에 있어 설계가 매우 복잡하기 때문이다.^[1~3] 이러한 상황에서 트랜지스터 스위치는 휴대통신의 새로운 요구사항에 부합할 수 있는 대체 소자로 주목 받는다. 트랜지스터 스위치는 저전압 동작이 가능하고, 스위칭 속도가 빠르며, 넓은 주파수 특성과 대역의 확장으로 인한 다중포트 구현이 쉬울 뿐 아니라 MMIC 형태로 설계 될 수 있어, 고집적화 달성 면에서 큰 이점을 가지고 있기 때문이다.^[4~5] 이에 본 논문에서는 p-HEMT 기반 4중 대역 SP6T 스위치 MMIC 설계를 제안하였다. 일반적으로 스위치 MMIC는 전력구동 능력은 물론, 낮은 삽입손실 및 높은 격리특성으로 그 성능이 결정 되는데, 본 논문에서는 특히 높은 격리도 달성을 위하여 큰 커패시터를 삽입하는 방식을 선택했다. 또한 칩 크기의 증가를 억

* 정희원, 한국산업기술대학교 전자공학과
(Korea Polytechnic University)
접수일자: 2010년6월9일, 수정완료일: 2011년1월14일

제하기 위해 공통의 전압제어 및 백비아 접지를 이용한 설계 방식을 제안 하였으며 전력 구동 및 낮은 삽입손실을 가지기 위한, 즉 On - Off 상태의 상호 보완 관계를 개선하기 위한, 단위소자의 최적화 과정을 설명 하였다. RF 전단부의 고집적 달성을 위한 단위소자 구성 역시 소개 되었으며 스위치 MMIC를 위한 트랜지스터는 Win semiconductor의 디바이스 공정을 사용 하였다.

II. SP6T 스위치 설계

개인 휴대통신용 스위치 MMIC는 사용 주파수(850 MHz, 900 MHz, 1.8 GHz, 1.9 GHz)에서 낮은 삽입손실과 높은 격리특성을 확보하는 것이 관건이다. 일반적으로 전송단과 수신단의 경우, 각각 -0.6 dB, -1 dB의 삽입손실을 확보하는 것을 목표로 하며, - 20 dB 이하의 격리특성 확보를 성능지표로 삼고 있다.^{16~17} 특히 전송단과 수신단 사이의 격리특성은 -30~-40 dB의 높은 격리특성을 요구하고 있는데, 이는 전송단에서 운용하는 높은 전력으로부터 수신단을 보호하기 위한 것이다. 그림 1은 제안하는 스위치 MMIC의 구성도를 나타내고 있다. 스위치 MMIC는 두 개의 전송단 (Tx1,2) 및 네 개의 수신단(Rx 1~4)으로 이루어져 있으며, 전송단과 수신단의 격리도 확보를 위하여 Rx0 단이 추가된 구성이다. 그중 Tx와 Rx0는 설계의 가장 까다로운 부분인데, 이는 전력증폭기로부터 전해지는 35 dBm의 입력 전력을 구동하기 때문이다.

이러한 전력용 스위치 단위소자는 보통 2.5 mm 이상의 큰 게이트 폭으로 구현 되는 것이 일반적이지만, 단순한 게이트 크기의 증감은 On-Off 상태의 엄격한 상호보완적 관계를 수반한다. 예를 들어, 전체 게이트 폭

의 증가를 위한 멀티게이트 소자의 사용은 Off 상태에서의 고조파 특성 및 격리 특성을 개선해 주지만, On 상태의 고조파 특성 및 삽입손실 특성을 악화 시킨다. 반면 게이트-핑거의 증가 역시 반대의 경우를 수반한다. 즉 On 상태에서의 고성능 스위치를 위해서는 많은 게이트-핑거를 가지는 싱글게이트의 사용이 유리한 반면, Off 상태에서의 스위치 특성은 그 반대인 적은 게이트-핑거를 가진 멀티 게이트 적용이 유리한 것이다. 따라서 고성능의 스위치를 위해서는, 이러한 요소들을 고려한 게이트 크기의 최적화 과정이 필요하다. 그림 2는 스위치 MMIC의 전송단 및 Rx0단의 회로도이다. 게이트 크기의 경우, On 상태에서의 특성을 고려하여 125 um의 단위 게이트 폭을 가지며, 20개 이상의 게이트 핑거를 가진 트리플 게이트로 최적화 되었다. 하지만 위에서 언급했듯, 20개가 넘는 게이트 핑거는 Off상태의 고조파 및 격리특성을 저하 시키게 된다. 이러한 점을 감안하여 직렬의 단위소자 연결을 통해 격리 특성을 보완 하였고, 피드-포워드(feed-forward) 커패시터 및 피드백 저항으로 Off 상태의 고조파 특성을 보완하였다. 이는 게이트를 통과하는 전압의 분산을 균일화 하며, 소자의 누설전류를 억제 하여 결과적으로 Off 상태의 전압 스윙으로 부터 스위치의 핀치오프 전압을 보호하여 준다. 또한 Rx0는 송수신간 높은 격리 특성을 달성해 준다. TR1의 경우 전력의 구동을 위하여 Tx단에 적용된 큰 게이트 크기를 가져 수신단을 보호하며, 격리 특성의 경우 병렬의 TR2를 통해 달성 된다. TR2는 항상 TR1과의 대칭된 On-Off 동작 해야 하며, 그로 인해 TR1의 동작에 따른 누설전류를 최소화 하는데 기여 하는 구조이다. 여기서 특히 TR2 양단의 커패시터는 이러한 동작의 중추적 역할을 담당한다. 커패시터의 경우, TR1의 전압으로 부터 TR2의 드레인 전압의 영향을 최소화 해주어, TR1, TR2의 대칭된 동작을 안정화 시켜 주기 때문이다. 이러한 커패시터는 대체로 큰 값을 가질수록 회로의 안정화를 달성 할 수 있지만 이는 칩의 소형화에 매우 치명적 요소로 작용한다. 본 연구에 사용된 커패시터 역시 20 pF 정도의 물리적으로 매우 큰 커패시터인데, 그로인한 칩 크기의 증가를 억제하기 위해 TR1과 TR2를 하나의 게이트 전압으로 제어하는 동시에 TR2의 접지는 백 비아를 통해 구현하였다. 이는 게이트-드레인간 전압차를 이용한 방식이며, 여기서 백비아의 경우 실제 칩 공간에서 자유롭게 배치 될 수 있어 공간 효율을 높여주며, 전체 패드 수의 감소 효과도 가

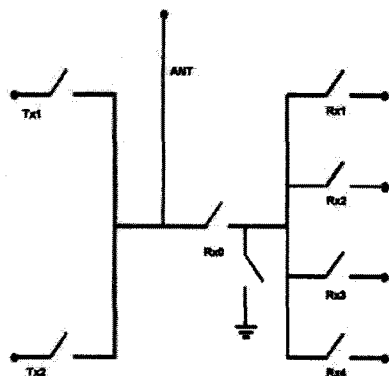


그림 1. SP6T switch 구성도
Fig. 1. Configuration of SP6T Siwtch.

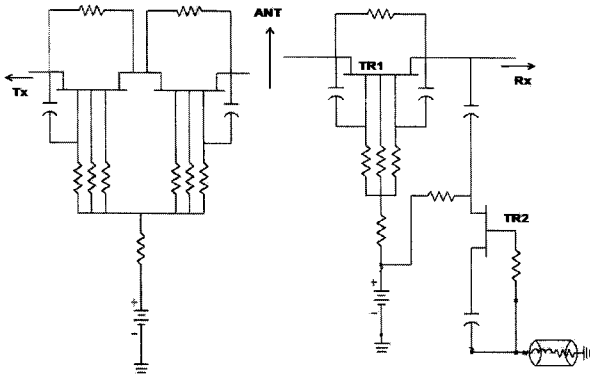


그림 2. SP6T switch 의 전송단 및 Rx0단 회로도
 Fig. 2. Schematics of transmit port and Rx0 port.

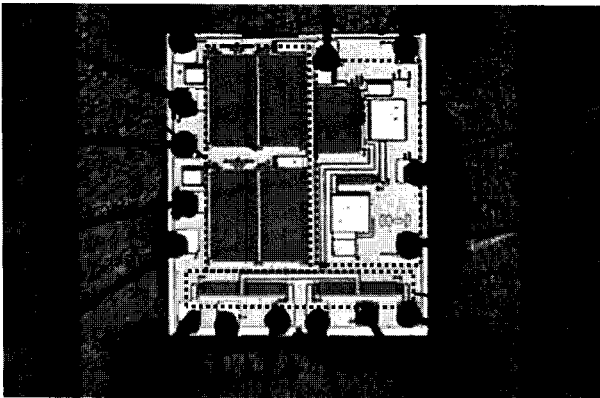


그림 3. 단일 칩으로 구현된 SP6T 스위치
 Fig. 3. Fabricated SP6T switch.

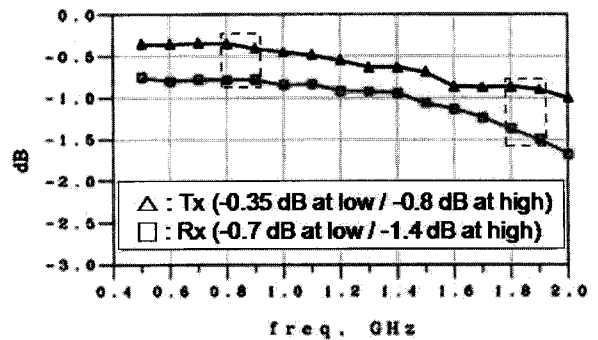
저오게 되어, 결과적으로 큰 커패시터의 삽입공간을 충분히 확보하여 준다. 이는 전체의 칩 크기 증가를 억제할 수 있으며, 이러한 설계 방식은 SP6T는 물론 트랜지스터의 직병렬로 구성된 그 밖의 다중밴드 스위치 설계에 있어서도 폭 넓게 적용 가능한 방식이다. 수신단의 경우, 오직 신호의 수신 역할만을 하기 때문에 단일의 게이트로 최적화 되었다.

그림 3은 평가 기판에 와이어 본딩 된 스위치 MMIC를 나타낸다. 일반적으로 칩의 많은 면적을 차지하는 전송단의 경우 안테나를 중심으로 양단에 배치되는 것이 일반적이지만, 본 논문에서는 이러한 전송단을 한 방향으로 배치하였다. 이는 RF 전단부를 구성하는 부품인 전력 증폭기 및 여파기와의 통합 모듈화 적용에 적합한 구조이며, 이는 RF 전단부 시스템 전체의 고집적화 달성에 기여하는 구성이라 할 수 있다. 완성된 스위치 MMIC는 950 um × 1000 um의 크기로 제작 되었다. 이는 Rx0단 회로의 간단화를 통해 큰 용량의 소자를 삽입하고도, 칩의 크기가 증가하지 않았음을 의미한다.

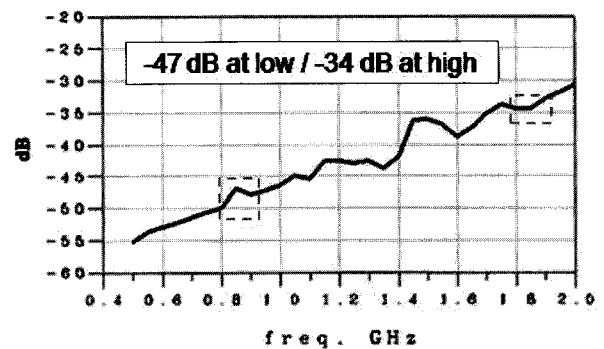
III. 실험

그림 4는 측정된 스위치 MMIC의 삽입손실 및 격리 특성을 나타내고 있다. 그림에 나타난 특성은 모두 -0.3 dB ~ -0.5 dB의 평가 기판 자체의 손실을 포함하고 있어 실제의 특성은 기판 손실을 차감하여 판단하는 형식으로 이루어 졌다. 이를 감안 한다면 저대역의 경우 전송단에서 약 -0.35 dB, 수신단 에서 약 -0.7 dB의 삽입손실, 송수신간 격리도는 약 -47 dB의 우수한 특성을 확인할 수 있다. 그림에 언급되진 않았지만 각 포트간 격리 특성 역시 최소 -20 dB의 특성을 나타내었다. 하지만 고대역의 경우 이러한 특성이 유지되지 못함을 알 수 있는데, 이는 공정상의 오류로 판단된다. 그림 5는 공정 오류 분석을 통한 게이트 리세스의 오류를 나타내고 있다. 그림은 본 연구에서 차용한 win semiconductor 사의 공정 중 게이트 우물이 표준치 보다 증가되었음을 나타낸다.

일반적인 p-HEMT 공정은 게이트의 전기적 접합을



(a)



(b)

그림 4. (a) 전송단 및 수신단 삽입손실
 (b) 전송단 및 수신단 격리도

Fig. 4. (a) Insertion loss of transmit and receive port.
 (b) Isolation between transmit and receive port.

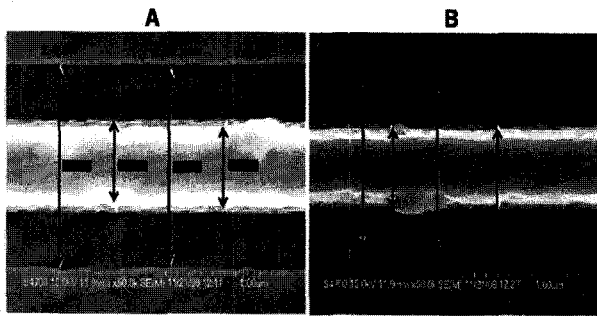


그림 5. 실제 공정에서의 게이트 우물 오류
(A: 실제 공정 오류 B: 표준치)
Fig. 5. Gate recess error in process.
(A: real process error B : standard)

위하여, 우물형태의 게이트 리세스를 형성하는 과정을 거친다. 이를 통해 게이트 길이가 결정되고, 게이트 길이는 전자의 이동거리를 결정하여, 스위칭 속도를 결정하게 된다. 즉 게이트 길이의 증가로 스위칭 속도가 저하되었으며, 스위칭 속도가 더욱 요구되는 고주파의 경우, 그 특성이 저하되었음은 당연한 사실이다. 고주파에서의 이러한 원인 분석 및 저주파에서의 우수한 특성으로 미루어 볼때, 본 연구를 통해 제안된 스위치 MMIC는 개인 휴대 통신에 적용 여부에 신뢰성을 가진다고 판단 할 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 4중대역의 p-HEMT 스위치 MMIC를 제안 하였다. 낮은 삽입 손실 달성을 위한 최적화 과정이 소개 되었으며, 큰 커패시터를 통한 높은 격리도 달성 및 단일의 전압제어 방식 및 백비아를 사용한 소형화 달성과정이 소개 되었다. 제작된 스위치 MMIC는 RF 전단부 전체의 집적화에 적용 가능하도록 설계가 되었다. 950 um × 1000 um의 크기를 가지며 공정과정에서 발생한 게이트 공정오류를 감안 하였을 때, 우수한 삽입손실 및 송수신간 격리특성을 확보했다. 제안하는 스위치 MMIC는 대역 확장으로 인한 대체 부품으로 가치가 있으며, 이는 부품 소재 기술에 있어 개인 휴대 통신의 새로운 대안으로 적합할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] Payne, D. Bartle, D.C. Bandla, S. Tayrani, R. Raffaelli, L. "A GaAs monolithic pin SPDT

switch for 2-18 GHz applications" IEEE Symp. GaAs IC, Technical Digest, pp.177-180, Sandiago, USA, Oct 1989.
 [2] Wilson, K. Hing, A. "An MMIC PIN diode T/R switch" IEEE ESA Colloquium, pp. 4 , London, UK, Jan 1988.
 [3] Broadbanding the Shunt PIN Diode SPDT Switch, HP application note 957-1, http://www.hp.woodshot.com/hprfhelp/4_downld/li t/diodelit/an957-1.pdf
 [4] 문재경, 김해천, 박종욱. "IEEE 802.11a 무선랜용 중간전력 SPDT 초고주파 단일 집적회로 스위치 제작 및 특성" 한국통신학회, 30권, 10A호, 965-970쪽, 2005년 10월
 [5] Damian Gotch, Tracey Goh, Richard Jackson. "State-of-the-Art Low Loss, High Isolation SP6T Switch for Handset Applications" European Conference on Wireless Technology, pp.17-20, Amsterdam, Netherlands, 2004.
 [6] M.A. Holm, N.I. Cameron, and D.M. Brookbanks. "Charge Effects and Transient Simulation of p-HEMT Meander Gate Switches", EuMA conf. pp.367-370, Manchester UK, Sep. 2006.
 [7] D. Prikhodko, Y. Tkachenko, S. Sprinkle, R. Carter, S. Nabokin, J. Chiesa "Design of a low VSWR harmonics, low loss SP6T switch for GSM/Edge applications", EuMA conf. pp.32-35, Munich. Germany, Oct. 2007.

— 저 자 소 개 —



신 원 철(정회원)
 2008년 한국산업기술대학교 전자
 공학과 학사졸업.
 2010년 한국산업기술대학교 전자
 공학과 학사졸업.
 2010년~현재 Interionics Inc.
 주임연구원

<주관심분야 :RFID / WPAN system integrate>



정 인 호(정회원)
 1995년 경북대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1997년 한국과학기술원 전기 및
 전자공학과 석사 졸업
 2001년 한국과학기술원 전기 및
 전자공학과 박사 졸업

2005년 Telephus Inc. 연구소장
 2006년 삼성전기 중앙 연구소
 2006년~현재 한국산업기술대학교 부교수
 <주관심분야 : Integrated passive devices>