

## 세라믹 적층형 스위치 모듈 설계에 관한 연구

김인성, 송재성, 민복기

한국전기연구원 전자기소자그룹

## A study on the design of switch module for devices

In-Sung Kim, Jae-Sung Song, Bok-Ki Min,

Korea Electrotechnology Research Institute\*

### Abstract

The design, simulation, modeling and measurement of a RF switch module for GSM applications were presented in this paper. switch module were simulated by ADS and constructed using a LTCC multi-layer switching circuit and integrated low pass filter, designed to operate in the GSM band. Insertion and return losses at 900 MHz of the low pass filters were designed to lower than 0.3 dB and higher than 12.7 dB respectively. The switch module constructed, contained 10 embedded passives and 3 surface mounted components integrated on 4.6×4.8×1.2 mm volume, 6-layer integrated circuit. The insertion loss of switch module at 900 MHz were around 11 dB

**Key Words** : switch module, LTCC, multi-layered circuit, insertion loss, GSM band

### 1. 서 론

이동통신기기의 부품은 다양한 기능을 작은 크기의 부품에 집적할 필요가 있으므로 최근에는 적층기술을 기반으로 한 다양한 형태와 기능의 부품들이 출현하고 있다.<sup>[3]</sup> 특히 세라믹 소재를 사용한 공정은 적층회로에 소자를 집적함으로써 고집적 모듈의 제작을 가능하게 한다.<sup>[1],[2]</sup>

본 연구에서는 GSM 대역의 이동통신 기기에 적용 가능한 스위치 모듈 설계에 대하여 연구하였으며, 설계된 회로를 바탕으로 3 D simulator를 이용하여 EM simulation을 통하여 레이아웃을 작성하였다. 수동소자를 세라믹 적층기술로 내장하여 GSM band 대역의 스위칭 회로와 저주파통과필터를 모듈로 집적화하여 초소형 스위치 모듈을 제작하여 그 특성을 검토하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 회로

신호를 송수신하는 이동통신기기의 디바이스는

신호를 안테나를 통해 보내는 송신모드(Tx mode)와 안테나로부터 신호를 받아들이는 수신모드(Rx mode)를 번갈아가며 스위칭 하는 것으로 송/수신단이 하나의 안테나를 공유하기 위한 것이다. 송/수신 스위칭 회로는 바이어스에 따른 다이오드의 동작 특성을 이용하여 바이어스가 On일 경우 다이오드는 도통 상태가 되어 송신모드로 동작하고, Off일 경우 다이오드는 차단 상태가 되어 수신모드로 동작한다.

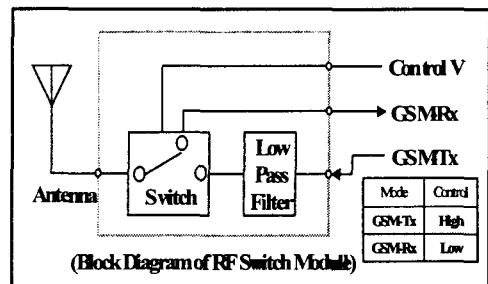


그림 1. 스위치모듈의 블록 다이어그램

Fig 1. Block diagram of 스위치 모듈

CPU로부터 전달되는 명령의 신호에 따라 그림 1의 제어전압에 의해 송신과 수신이 일정하게 작동되는데 바이어스를 On-Off 시키면서 송/수신 모드를 반복해서 동작하게 된다. 그림 1은 스위치 모듈의 블록 다이어그램을 나타내었다. 그림 1에서 제어 전압은 시간 간격에 따라 다이오드를 스위칭시키는 바이어스 전압을 말한다. 스위칭 회로의 송신은 900 MHz 주파수대역의 신호가 잘 통과하도록 역할을 하는 저주파 통과 필터와 연결된다.

본 연구에서 설계한 스위치 모듈은 스위칭 회로와 저주파 통과필터를 합쳐 하나의 모듈로 구성하였다. 그림 2는 스위치 모듈의 전체 회로도이다. 모듈을 GSM 이동통신기에 응용하기 위해 바이어스는 DC 전압 2 V에 10 mA의 전류가 흐르도록 하였고, 송신단에 900 MHz 통과 필터 역할을 하는 L-C 필터 기능의 회로를 설계하였다.

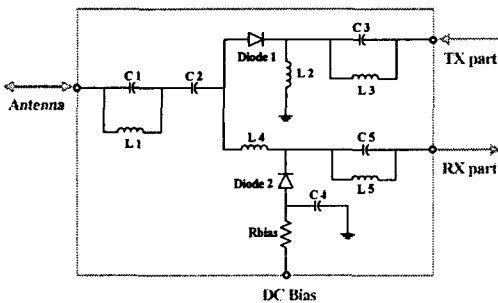


그림 2. RF 스위치 모듈의 전체 회로도  
Fig 2. Full circuit of RF 스위치 모듈

회로에서  $C_1$ 과  $L_1$ 은 스위치 모듈의 insertion loss와 관련되어 소자의 값이 커지면 신호가 감쇠하는 주파수가 낮아진다. 이 L-C 공진회로의 공진주파수는 2.3 GHz로 설계하였다.  $C_2$ 는 값이 작아지면 수신모드의 전송특성은 좋아지지만 송신모드의 삽입손실을 증가시키므로 시뮬레이션을 통해서 최적의 값을 찾았다. Diode1과 Diode2는 바이어스의 On/Off에 따라 도통/차단 상태가 된다. Diode2와 직렬 연결된  $R_{bias}$ 은 바이어스 저항으로 모듈에 흐르는 전류를 제어하므로 2개의 다이오드와 함께 최상위층에 위치하도록 lay out을 설계하였다.

## 2.2 레이아웃과 simulation

세라믹 공정의 특성과 전체 크기를 고려하여 적

절한 특성 값을 갖게 하기 위하여 회로 시뮬레이션을 하였다. 스위칭 회로와 함께 모듈에 집적화한 저주파 통과필터는 900 MHz의 신호는 잘 통과하게 하고, 1.8 GHz의 신호는 통과하지 못하도록 설계하였으며 필터의 시뮬레이션 결과는 그림 3에 나타내었다.

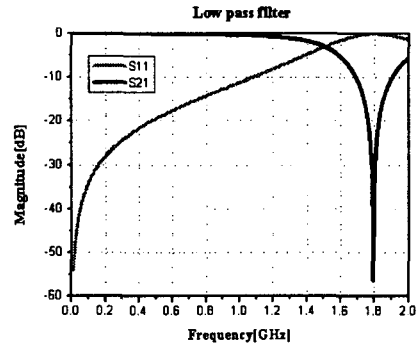


그림 3. 저주파 통과필터의 시뮬레이션 결과  
Fig 3. simulated result of low pass filter

시뮬레이션 결과 저주파 통과 필터는 최대 0.3 dB의 삽입손실과 최소 12.7 dB 반사 손실을 갖는다. 그림 4는 이 필터의 3차원 레이아웃을 나타내었다.

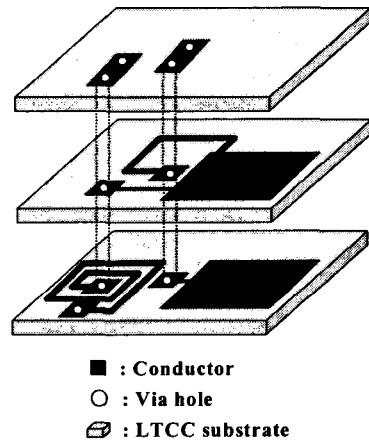


그림 4. 저주파 통과필터의 3차원 레이아웃  
Fig 4. 3D lay out of low pass filter

스위치 모듈 회로의 송신 모드 시뮬레이션 결과를 그림 5에 수신모드 결과를 그림 6에 나타내었다. 그림 5에서 송신 주파수 890~915 MHz 대역에

서 insertion loss가 최대 3 dB이고, 송신단과 수신단의 isolation은 최소 18 dB로 나타났다. 스위치 모듈의 전체 회로에서 L<sub>2</sub>와 L<sub>4</sub>의 인덕턴스를 큰 값으로 설계하면 송신모드에서의 전송특성을 향상시켜 insertion loss를 줄일 수 있으나, 그 경우 수신모드 전송 특성이 떨어지므로 송/수신 모드의 insertion loss를 모두 고려한 최적의 값을 시뮬레이션을 함으로써 찾을 수 있었다.

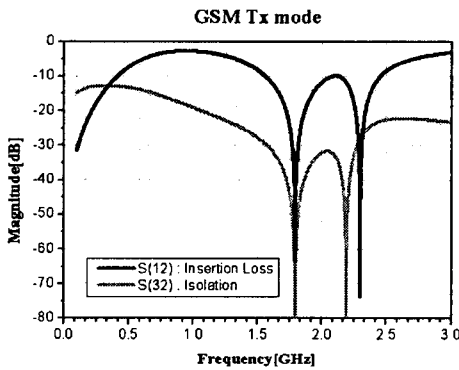


그림 5. 송신모드의 시뮬레이션  
Fig. 5. Simulated result of Tx mode

그림 6의 수신모드 결과는 안테나로부터 신호를 받는 수신모드일 때의 시뮬레이션 결과이다. 수신모드로 동작할 때의 삽입 손실은 0.6 dB이고 반사 손실은 10.5 dB이다. 전체 회로도에서 C<sub>1</sub>과 L<sub>1</sub>로 이루어진 L-C 공진회로와 C<sub>2</sub> 사이에 바이패스 커패시터를 넣으면 수신모드에서 2 GHz 대역의 신호를 좀더 감쇠시킬 수 있었다.

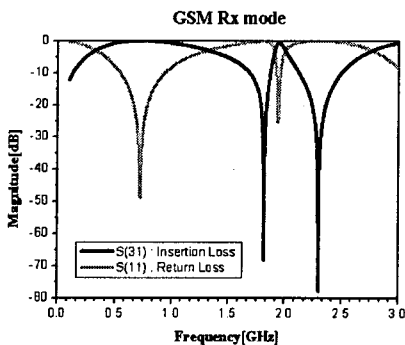


그림 6. 수신모드의 시뮬레이션  
Fig. 6. Simulated result of Rx mode

### 2.3 모델링을 위한 lay out

시뮬레이션을 통하여 설계한 회로를 LTCC 기술을 이용하여 디바이스로 구현하기 위하여 각 층의 레이아웃을 디자인한다. 그림 7은 기판에 도체 페이스트로 프린팅 할 패턴의 레이아웃과 비아(via)를 포함한 3차원 모델링한 형상이다. 모두 6층의 구조에 모듈의 수동소자가 내장되도록 설계하였고, 인덕터는 손실을 고려하여 그라운드와의 거리가 멀게 배치하였다. 1~6층의 기판에 스위치 모듈의 소자를 배치하고 전송선과 비아를 통해 전기적으로 연결되도록 설계한다. LTCC 공정을 이용한 소자의 제작에서는 층간 비아의 완벽한 회로적 연결이 핵심이므로 정확한 연결을 위해 비아 주위에는 비아패드를 형성하여 연결이 끊어질 가능성을 줄였다.

회로의 기판으로 사용될 그린시트(green sheet)의 정확한 위치에 비아를 뚫은 후에 비아용 Ag 페이스트를 이용해서 비아홀을 채운다. 각 층의 내부 전극을 스크린 프린팅 기법을 이용해 내부 전극용 Ag 페이스트로 프린트하고, 그라운드는 1 층의 뒷면에 프린팅하였다. 내부전극 프린트가 완료되면 그린시트를 그라운드(ground)레이어 순으로 쌓은 후 압착을 하고 모듈의 크기대로 커팅한 다음 조건에 의해 찾아진 소성온도인 850~900 °C에서 소성을 하였다. 다이오드는 외부에서 납땀하여 실장하였다.

### 3. 결과 및 고찰

세라믹 적층 공정으로 제작한 스위치 모듈의 크기는 4.6×4.8×1.2 mm이고, 전체 0.6 mm 높이 기판에 구현되었다.

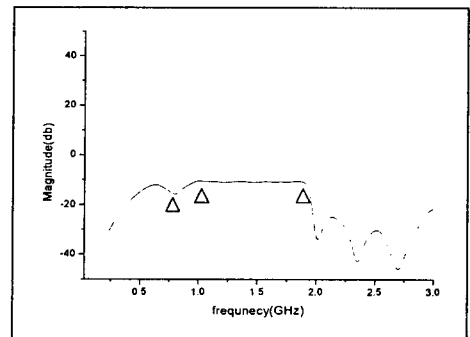


그림 7. 송신모드의 전송특성 측정  
Fig. 7. Measured results of Tx mode

그림 7과 8은 제작한 스위치 모듈의 측정 결과

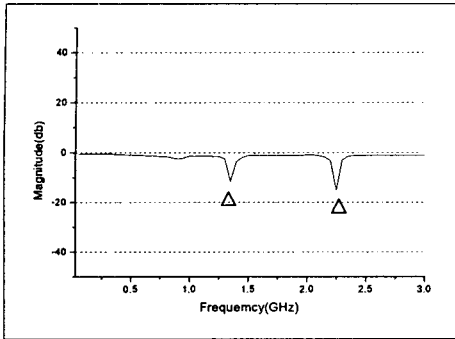


그림 8. 수신모드의 반사특성 측정

Fig. 8. Measured results of Rx mode

이다. 그림 7는 바이어스를 인가한 송신모드일 때의 전송 특성으로 900 MHz에서 11 dB의 삽입 손실을 보인다. 시뮬레이션에서는 신호가 크게 감쇠하는 주파수가 1.8 GHz 였으나, 측정된 값은 2.1 GHz로 시뮬레이션 결과보다 약 0.3 GHz 이동한 특성을 보였다. 그림 9은 수신모드로 동작할 때의 반사 특성의 측정 결과이다. 시뮬레이션에서는 0.8 GHz와 1.9 GHz에서  $S_{11}$ 이 최저점으로 떨어졌으나 실제 측정된 값은 1 GHz와 2 GHz에서  $S_{11}$ 의 값이 최저로 떨어졌다. 송신모드와 유사하게 시뮬레이션 결과와 비교하여 약 0.1~0.2 GHz 이동한 특성을 보였다.

#### 4. 결론

LTCC 기술을 이용한 소자의 소형화, 고집적화, 단일화를 위해 GSM 방식의 송수신단에 응용 가능한 스위치 모듈을 설계하여 LTCC 적층공정으로 소자를 구현하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. LTCC 공정을 이용해 GSM 송/수신 스위칭 회로와 저주파 통과 필터를 하나의 모듈로 단일화하였다. 전체 0.6 mm 높이의 LTCC 기판에 3차원의 적층회로를 구현하여 제작한 스위치 모듈은 모두 6 층으로 구성되었다.

2. 전체 크기는 4.6×4.8×1.2 mm이고, 11 dB의 삽입손실을 갖는다. 실제 측정값은 시뮬레이션 결과와 비교하여 주파수 대역이 약 0.1~0.3 GHz 정도 이동한 특성을 보였다. 공정의 특성을 고려하여 수

측률과 관련된 설계 오차를 정확히 보정한다면 정확한 주파수대역과 향상된 손실 특성을 기대할 수 있다.

3. 회로의 13 개 소자 중 10개의 수동소자를 LTCC 적층공정을 이용해 다층의 구조에 집적화하는 기술로 내장하였고, 나머지 2개의 다이오드와 1개의 저항을 최상위층에 실장하여 소형화, 고집적화, 단일 모듈화 하였다.

#### 참고 문헌

- [1] Jyh-Wen Sheen, "LTCC-MLC duplexer for DCS- 1800", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol.47, pp.1883-1890, 1999
- [2] Anton de Graauw, Carlo Copetti, Wim Weekamp, "A new thin film passive integration technology for miniaturisation of mobile phone front end modules", IEEE MTT-S Microwave Symposium Digest., vol.3, pp.1925-1928, 2000
- [3] Albert Sutono, Deukhyoun Heo, Yi-Jan Emery Chen, Joy Laska, "High-Q LTCC-based passive library for wireless system-on-package (SOP) module development", IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol.49, pp.1715-1724, 2001