

LTCC 기술을 이용한 RF Switch Module의 집적화에 관한 연구

김지영, 김인성*, 민복기*, 송재성*, 서영석, 남효덕
영남대학교 전자공학과, 한국전기연구원*

A study on the integration of RF switch module using LTCC technology

Ji-Young Kim, In-Sung Kim*, Bok-Ki Min*, Jae-Sung Song*, Young-Suk Suh, and Hyo-Duk Nam
Dept. of Electronics engineering YeungNam Uni., Korea Electrotechnology Research Institute*

Abstract

The design, simulation, modeling and measurement of a low temperature co-fired ceramic (LTCC) RF switch module for GSM applications is presented in this paper. RF switch module is constructed using a Rx/Tx switching circuit and integrated low pass filter. The low pass filter function was designed to operate in th GSM band. Insertion and return loss of the low pass filter were designed less than 0.3 dB and better than 12.7 dB at 900 MHz. The RF switch module contained 10 embedded passives and 3 surface mount components integrated on 4.6×4.8×1.2 mm, 6-layer multi-layer integrated circuit. The insertion loss of switch module was measured at 900 MHz was 11 dB.

Key Words : RF switch module, LTCC, Rx/Tx switching circuit, low pass filter, GSM

1. 서 론

최근 이동통신기기의 사용자가 급속히 증가함에 따라 세계시장이 기하급수적으로 성장될 것으로 전망하여 기기의 소형화, 고주파화, 고성능화가 더욱 요구되는 추세이다. 이에 따라 다양한 기능을 작은 크기의 부품에 집적할 필요가 있으므로 최근에는 적층기술을 기반으로 한 다양한 형태와 기능의 부품들이 출현하고 있다.^[1] 특히 세라믹 소재를 사용한 LTCC (low temperature co-fired ceramic) 공정은 적층회로에 소자를 집적함으로써 고집적 모듈의 제작을 가능하게 한다.^{[2],[3]}

본 연구에서는 GSM(global system for mobile) 이동통신기기에 적용 가능한 RF switch module을 설계하여 LTCC 적층회로 공정을 이용하여 제작하였다. 이동통신기기의 부품을 집적화하기 위한 목적으로 회로의 수동소자를 LTCC 적층기술로 내장하여 전체 크기와 무게를 줄이고, GSM 송/수신 스위칭 회로와 저주파 통과필터를 하나의 모듈로 단일화한 초소형·고집적의 RF switch module을 제작하여 그 특성을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 회로 설계

GSM 이동통신기기에는 안테나와 연결되는 송수신 스위칭 부품이 필요하다. 이 부품은 기기의 신호를 안테나를 통해 보내는 송신모드와 안테나로부터 신호를 받아들이는 수신모드를 번갈아가며 스위칭 하는 것으로 송신단과 수신단이 하나의 안테나를 공유하기 위한 것이다. 송/수신 스위칭 회로는 바이어스에 따른 다이오드의 동작 특성을 이용하여 바이어스가 On일 경우 송신모드로 동작하고, Off일 경우 수신모드로 동작한다. 즉, 일정한 시간 간격에 따라 바이어스를 On/Off 시키면 송/수신 모드를 반복해서 동작하게 된다.

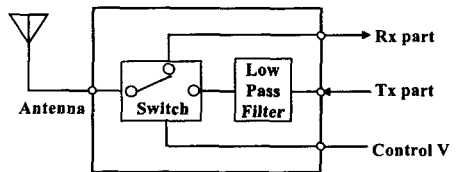


그림 1. RF switch module의 블록 다이어그램
Fig 1. Block diagram of RF switch module

그림 1은 switch module의 블록 다이어그램을 나타낸 것이며 Control V는 시간 간격에 따라 제어되는 바이어스 전압을 말한다. 본 연구에서 설계한 모듈에서 스위칭 회로의 송신단은 900 MHz 주파수대역의 신호가 잘 통과하도록 걸러주는 역할을 하는 저주파 통과 필터와 연결된다.

그림 2는 switch module의 전체 회로도이다. 모듈을 GSM 방식의 이동통신기에 응용하기 위해 바이어스는 DC 전압 2 V에 10 mA의 전류가 흐르도록 하였고, 송신단에 900 MHz 통과필터 역할을 하는 LC회로를 설계하였다.

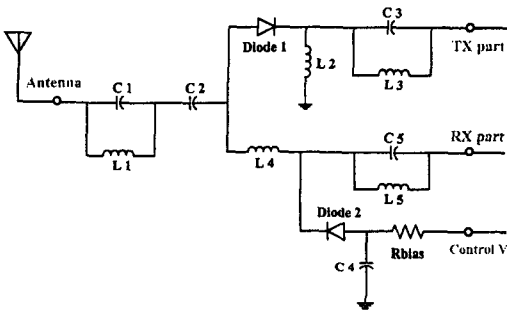


그림 2. RF switch module의 전체 회로도
Fig 2. Full circuit of RF switch module

회로에서 C1과 L1은 switch module의 감쇠 특성과 관련되어 소자의 값이 커지면 신호가 감쇠를 하는 주파수가 낮아진다. 이 LC 공진회로의 공진 주파수는 2.3 GHz로 설계하였다. C2는 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 Rbias은 바이어스 저항으로 모듈에 흐르는 전류를 제어하므로 2개의 다이오드와 함께 최상위층에 실장하도록 회로를 설계한다.

2.2 시뮬레이션

LTCC 공정의 특성과 전체 크기를 고려하여 적절한 소자의 값을 얻기 위해 회로 시뮬레이션을 하였다. 스위칭 회로와 함께 모듈에 집적화한 저주파 통과필터는 900 MHz의 신호는 잘 통과하게 하고, 1.8 GHz의 신호는 통과하지 못하도록 설계하였으며 그림 3은 필터의 시뮬레이션 결과이다.

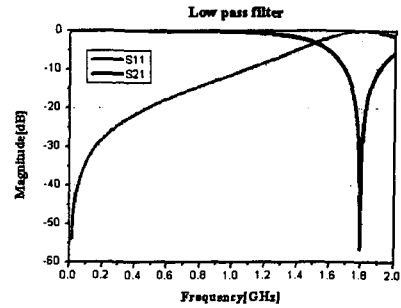
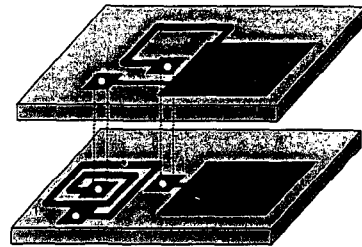


그림 3. 저주파 통과필터의 시뮬레이션 결과
Fig 3. Simulated result of low pass filter

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



■ : conductor, ○ : via, ▨ : LTCC substrate

그림 4. 저주파 통과필터의 3차원 회로
Fig 4. 3D circuit of low pass filter

switch module 전체 회로의 시뮬레이션 결과를 그림 5와 그림 6에 나타내었다. 그림 5는 송신모드 시뮬레이션 결과로써 GSM 방식의 송신 주파수 대역인 890~915 MHz 에서 삽입 손실은 최대 2.7 dB 이고, 송신단과 수신단의 isolation은 최소 18 dB이다. switch module의 전체 회로도에서 L2와 L4의 인덕턴스를 큰 값으로 설계하면 송신모드에서의 전송특성을 향상시켜 삽입 손실을 줄일 수 있으나, 그 경우 수신모드 전송 특성이 떨어지므로 송/수신모드의 삽입 손실을 모두 고려한 최적의 값을 시뮬레이션을 통해서 찾았다.

그림 6은 switch module이 안테나로부터 신호를 받는 수신모드일 때의 시뮬레이션 결과이다. 수신모드로 동작할 때의 삽입 손실은 0.6 dB이고 반사 손실은 10.5 dB이다. 전체 회로도에서 C1과 L1로 이루어진 LC 공진회로와 C2 사이에 바이패스 커패시터를 넣으면 수신모드에서 2 GHz대역의 신호

를 좀더 감쇠시킬 수 있다.

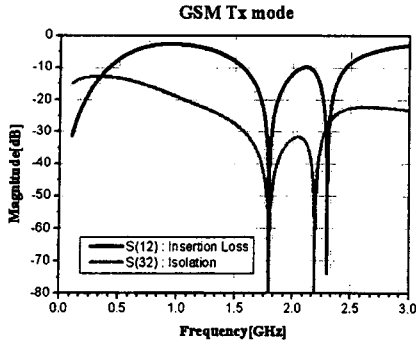


그림 5. 송신모드의 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Simulated result of Tx mode

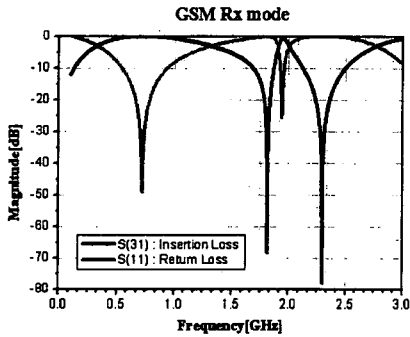


그림 6. 수신모드의 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Simulated result of Rx mode

2.3 다층 회로 모델링

시뮬레이션을 거쳐 설계한 회로를 LTCC 기술을 이용한 적층회로로 제작하기 위해 각 층의 레이아웃을 디자인한다. 그림 7은 LTCC 기판에 도체 페이스트로 프린팅 할 패턴의 레이아웃과 비아의 3차원 모델링 형상이다. 모두 6층의 구조에 모듈의 수동소자가 내장되도록 설계하였고, 인덕터는 손실을 고려하여 그라운드와의 거리가 멀게 배치하였다. 1~6층의 LTCC 기판에 switch module의 소자를 배치하고 전송선과 비아를 통해 전기적으로 연결되도록 설계한다. LTCC 공정을 이용한 소자의 제작에서는 층간 비아의 완벽한 회로적 연결이 핵심이므로 정확한 연결을 위해 비아 주위에는 비아 패드를 형성하여 연결이 끊어질 가능성을 줄였다. 저주파 통과필터는 모듈의 3층과 4층에 위치하도록 설계하였고, 최상위층에는 2개의 다이오드와 1개의 저항을 붙일 수 있도록 하였다.

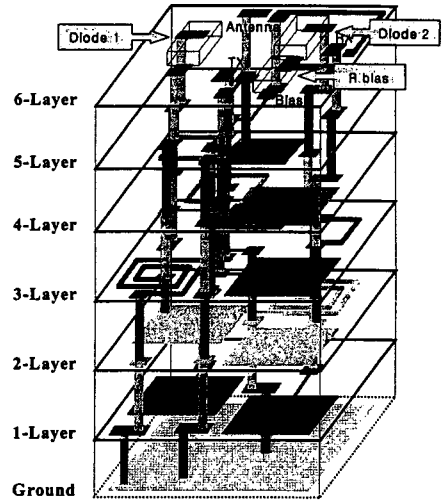


그림 7. RF switch module의 3차원 모델링
Fig. 7. 3D modeling of RF switch module

2.4 LTCC 적층회로 제작

회로의 기판으로 사용될 LTCC 그린시트의 정확한 위치에 비아를 뚫은 후에 비아용 Ag 페이스트를 이용해서 비아홀을 채운다. 비아는 층간의 회로를 연결하는 역할을 하므로 정확한 위치에 만드는 것이 중요하다. 각 층의 내부 전극을 스크린 프린팅 기법을 이용해 내부 전극용 Ag 페이스트로 프린트하고, 그라운드는 1 층의 뒷면에 프린팅한다. 내부전극 프린트가 완료되면 그린시트를 레이어순으로 쌓은 후 압착을 하고 모듈의 크기대로 자른다. 마지막으로 850~900 °C에서 소성을 하고 다이오드와 저항을 실장한 후 측정을 한다.

3. 결과 및 고찰

LTCC 공정으로 제작한 RF switch module에 다이오드와 저항을 붙이기 전의 샘플과 붙인 후의 측정사진을 그림 8에 나타내었다.

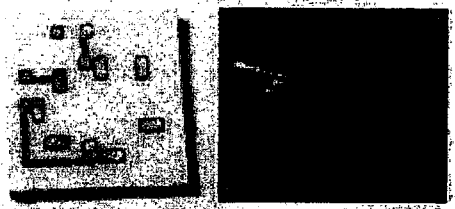


그림 8. RF switch module 샘플과 측정사진
Fig. 8. Photograph of RF switch module

모듈의 전체 크기는 4.6×4.8×1.2 mm이고, 전체 0.6 mm높이 기판에 3차원 적층회로를 구현하였다.

그림 9와 10은 LTCC 공정으로 제작한 switch module을 네트워크 분석기로 측정된 결과이다. 그림 9는 바이어스를 인가한 송신모드의 전송 특성으로 900 MHz에서 11 dB의 삽입 손실을 보이고, 최대값은 1 GHz에서 9 dB이다. 시뮬레이션에서는 신호가 크게 감쇠하는 주파수가 1.8 GHz 였으나, 측정된 값은 2.1 GHz로 시뮬레이션 결과보다 약 0.3 GHz 이동한 특성을 보인다.

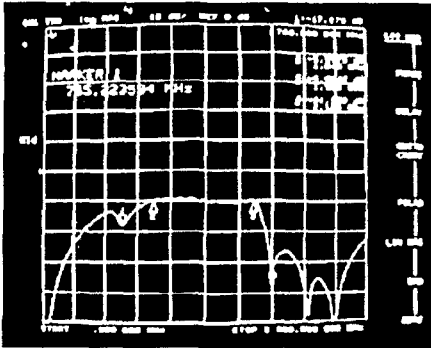


그림 9. 송신모드의 전송특성 측정 결과
Fig. 9. Measured results of Tx mode

그림 10은 수신모드로 동작할 때의 반사 특성의 측정 결과이다. 시뮬레이션에서는 0.8 GHz와 1.9 GHz에서 S11이 최저점으로 떨어졌으나 실제 측정된 값은 1 GHz와 2 GHz에서 S11의 값이 최저로 떨어졌다. 수신모드의 측정결과도 송신모드와 유사하게 시뮬레이션 결과와 비교하여 주파수대역이 약 0.1~0.2 GHz 이동한 특성을 보인다.

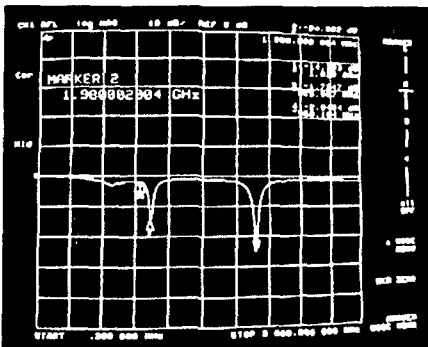


그림 10. 수신모드의 반사특성 측정 결과
Fig. 10. Measured results of Rx mode

측정값과 시뮬레이션 결과가 주파수대역에 있어서의 차이를 보이는 것은 LTCC 기판 및 도선의 실제 수축률이 설계치보다 커서 회로의 소자값이 전체적으로 감소하여 나타난 결과로 사료된다.

4. 결 론

본 논문에서는 이동통신기의 부품을 집적화하는 방안으로 LTCC 기술을 이용하여 수동 소자를 내장한 GSM 이동통신기의 RF switch module을 설계하여 적층공정으로 소자를 구현하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

LTCC 공정을 이용해 GSM 송/수신 스위칭 회로와 저주파 통과필터를 하나의 모듈로 설계하여 기존의 부품을 단일화하였다. 전체 0.6 mm 높이의 LTCC 기판에 3차원의 적층회로를 구현하여 제작한 switch module은 모두 6 층으로 구성되었고, 전체 크기는 4.6×4.8×1.2 mm이며, 900 MHz에서 11 dB의 삽입손실을 갖는다. 실제 측정값은 시뮬레이션 결과와 비교하여 주파수 대역이 약 0.1~0.3 GHz 정도 이동한 특성을 보였다. 공정의 특성을 고려하여 수축률과 관련된 설계 오차를 보정한다면 정확한 주파수대역과 향상된 손실 특성을 기대할 수 있다. 회로의 13 개 소자 중 10개의 수동소자를 LTCC 적층공정을 이용해 다층의 구조에 집적화하는 기술로 내장하였고, 나머지 2개의 다이오드와 1개의 저항을 최상위층에 실장하여 부품을 소형화, 고집적화, 단일 모듈화 하였다.

참 고 문 헌

- [1] 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
- [2] 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
- [3] Jyh-Wen Sheen, "LTCC-MLC duplexer for DCS-1800", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol.47, pp.1883-1890, 1999