

TOC (Transceiver-on-Chip)를 위한 RF MEMS (Micro Electromechanical Systems) 기술

전국진, 성우경
서울대학교 전기공학부

Abstract

RF MEMS is an exciting emerging technology that has great potential to develop TOC (Transceiver-on-Chip). Applications of the RF MEMS to wireless communications systems are presented. The ability of the RF MEMS technology to enhance the performance and to reduce the size of passive components, in particular, switches, inductors, and tunable capacitors, is addressed. A number of potential wireless system opportunities for the TOC are awaiting the maturation of the RF MEMS technology.

1. 서론

이동통신 단말기에서의 시스템 경쟁력은 더 효율적으로 집적화하여 소형화, 저전력화하는 것이다. 이 경쟁력 확보를 위한 기술개발의 핵심 구동력은 RF IC (Integrated Circuits)들을 SOC (System-on-Chip)화 시키는 TOC (Transceiver-on-Chip) 기술이다. 무선통신단말기의 크기를 보면 1990년대의 1000cc의 크기에서 2000년에는 손목시계 크기인 30cc까지 줄었으며 점점 더 크기가 줄어드는 방향으로 개발하는 추세이다. 또 하나의 방향은 부품을 고도로 집적하여 남게된 여유공간에 다양한 기능을 부가하여 인터넷 음악이나 라디오 기능을 첨가하여 다기능을 하도록 개발하는 추세이다. Fig. 1에 무선통신 단말기의 기술 동향을 나타내었다.

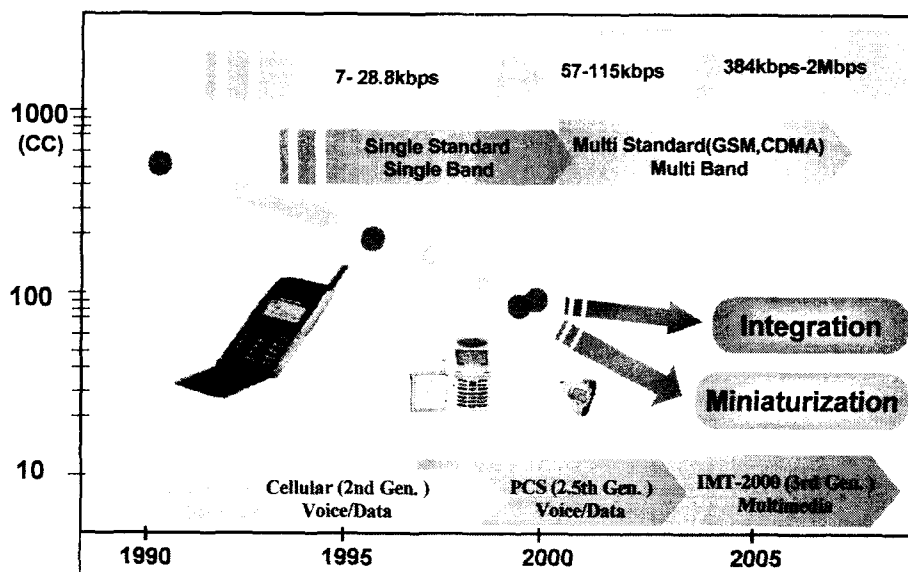


Fig. 1. Technology trend of wireless communication handset.

이동통신 단말기용 TOC에 있어서 종래의 MCM (Multi chip Modules)으로부터 SOC로 전이하기 위해서는 회로설계 기술과, 시스템 및 회로 아키텍처, 자동화 기술, deep submicron 반도체 기술, RF MEMS 기술 등의 새로운 도전과 패러다임의 전환이 요구되고 있다. 본 논문에서는 이러한 미래의 도전을 충족시키기 위한 RF MEMS 기술의 개발 동향에 대해서 중점적으로 살펴본다.

2. TOC를 위한 MEMS의 역할

이동통신용 단말기의 소형화, 저 전력화를 위해서는 디지털 부분뿐만 아니라 RF 부분 소형화와 집적화가 매우 중요하다. 디지털 부분은 실리콘 IC의 발전으로 집적화하는 것이 용이하여 졌지만 RF 부분은 2 GHz 이하의 주파수에서도 아직 완전한 집적화가 어려운 실정이며 주파수가 높아질수록 소자간의 간섭과 패키징의 어려움으로 집적화가 더욱 힘들어지는 상황이다.

차세대 무선통신용 TOC 개발을 위한 RF MEMS의 역할을 Table 1에 정리하였다. MEMS 스위치는 밴드 전환 스위치, 듀플렉서, 바이패스 스위치 등에 적용될 수 있으며 저전력화, 낮은 삽입 손실을, 낮은 신호왜곡을 등의 장점을 구현할 수 있다. MEMS 공진기는 필터 등에 적용하여 소형화를 가능하게 한다. MEMS 인덕터는 높은 Q값으로 인하여 VCO, 매칭 회로의 성능을 향상시키고 튜너블 캐패시터도 VCO와 필터의 성능을 향상시킬 것으로 예상된다. 그러면, 다음 절에서 이러한 MEMS 소자들의 기술 동향에 대해서 언급한다.

Table 1. Role of MEMS in transceiver-on-chip.

Device	Application Examples	MEMS Advantage
RF-Switches	Band-Switches, Duplexer-Switches, Bypass-Switches	no static power consumption, low loss & signal distortion
Resonators	Duplexer-Filters, RX&TX-Bandfilters, GPS-Filters, VCOs	small size, RF-System-On-Chip capability
High-Q Inductors	Matching components, Baluns, VCOs	improved Q-value for On-chip Inductors
Tunable Capacitor	VCOs, tunable Filters	improved Q-value for On-chip Inductors

3. RF MEMS 기술동향

3.1. MEMS 스위치

현재 주로 사용되고 있는 FET 또는 PIN 다이오드와 같은 반도체 스위치에 비해서 최근에 활발히 개발되고 있는 MEMS 스위치는 낮은 삽입손실, 저전력소비, 우수한 on/off isolation, 고전력 처리 등의 장점을 갖고 있다. 또한, MEMS 스위치는 반도체 제조공정을 이용한 batch fabrication 으로 제조되기 때문에 회로와의 집적화를 통한 TOC에의 응용이 전망된다. 이러한 MEMS 스위치의 주요 응용분야로는 reconfigurable antenna, phase shifter, signal routing, impedance matching network, capacitor array bank 등이 있다.

MEMS 스위치는 금, 구리, 은 등과 같은 전기전도도가 우수한 금속도체를 사용하여 신호 감소 및 왜곡을 줄이는 저손실 금속구조로 제작된다. 이 스위치는 정전기적 액츄에이터를 이용한 금속

접촉형 스위치이다. 일반적으로 스위치에 사용되고 있는 액츄에이터 방식으로는 정전기적, 전자기적, 열적 방식이 있으며, 서로 상대적인 장단점을 갖고 있다. 정전기적 액츄에이터는 상대적으로 전력소비가 매우 적다는 장점이 있으나 구동전압이 높다는 단점을 갖고 있으며, 반대로 열적 방식과 전자기적 방식은 낮은 구동전압을 사용하지만 전력소비가 크다. 또한 전자기적 방식은 자기 박막을 사용하기 때문에 제조 공정이 복잡하고, 열적 방식은 스위칭 속도가 느리다는 단점을 갖고 있다.

그런데 RF 신호는 신호선과 움직이는 멤브레인 사이에 물리적 전기 접촉이 반드시 필요한 것은 아니기 때문에, 신호선과 멤브레인 사이의 캐패시턴스 변화를 이용하여 on/off 임피던스 비율로 작동하는 capacitive coupling shunt 스위치가 개발되고 있다. 스위치의 두 가지 기본 특성은 isolation과 insertion이다. 스위치가 off되었을 때의 출력 신호의 양으로 표현되는 isolation 값은 capacitive 스위치의 경우에 신호선과 멤브레인 사이의 낮은 캐패시턴스 값과 관련되며, 스위치가 on되었을 때의 신호선에서의 손실 양으로 나타나는 insertion loss는 높은 캐패시턴스 값과 관련된다.

RF MEMS 스위치의 상용화를 위한 가장 중요한 인자는 제품에서 요구하고 있는 저전압 구동과 높은 신뢰성이다. 저전압을 위해서는 액츄에이터 방식과 스위치의 기계적 구조 설계에 대한 연구가 필요하다. 예를 들면 저전압 구동을 위해서 스프링의 stiffness 상수를 줄이면, 제조 공정 시 발생하는 응력에 민감해지고 스위치의 신뢰성이 저하된다. 또한, 신뢰성 관점에서는 사용하는 재료의 소성 변형을 연구해서 스위치가 완전히 탄성 변형 모드로 동작하도록 해야만 반복된 스위칭 횟수에 따른 열화 및 파괴를 막을 수 있다.

3.2. MEMS 인덕터

현재 무선통신 분야에서 성능이 우수하고 회로에 집적시킬 수 있는 MEMS 인덕터의 요구가 크게 증가하고 있다. 이러한 인덕터는 VCO, 필터, 컨버터 등의 여러 응용분야에서 사용될 수 있다. 예를 들면 VCO의 phase noise를 줄이기 위한 설계의 핵심은 높은 Q값을 갖는 인덕터의 채용이다. 또한 MEMS 기술을 이용해서 개발된 MEMS 인덕터는 기존 코일 인덕터를 소형화시키고 회로에 집적시킬 수 있도록 한다.

지금까지 MEMS 인덕터는 spiral과 solenoid의 두 가지 구조로 개발되었다. Spiral 구조는 solenoid 구조에 비하여 높은 인덕턴스 값을 구현하기 어렵고 상대적으로 기판에 의한 손실이 크지만 제조 공정이 간단하기 때문에 RF IC에 집적시키기 더 용이해서 상용화 가능성이 더 높다. 그리고 MEMS 인덕터의 Q값을 더욱 향상시키기 위해서 습식 식각을 이용해서 Si 기판을 선택적으로 제거하는 방법과 인덕터와 기판 사이에 공기 간극을 만드는 방법이 개발되었다. 회로에 집적화시켜 TOC에 응용하기 위해서는 기판을 제거하는 방법보다는 공기 간극을 두는 방법이 제조공정과 소형화 관점에서 더 유리하다.

MEMS 인덕터를 차세대 무선통신용 부품과 TOC에 사용하기 위해서는 Q값을 향상시키기 위한 공기 간극의 구조설계와 금속도체의 제조공정에 대한 연구뿐만 아니라 집적화 공정 기술과 패키징 기술에 대한 집중적인 개발이 요구된다.

3.3. 튜너블 캐패시터

RF 통신에서의 튜닝 기능에 대한 요구 때문에 튜너블 캐패시터는 튜너블 매칭 네트워크, 주파수 합성기, VCO, 저잡음 증폭기 등에 이용될 수 있다. MEMS 기술로 제작된 튜너블 캐패시터는 큰 Q값과 넓은 튜닝 범위를 구현한다. 넓은 튜닝 범위는 원하는 주파수 밴드를 수용할 수 있는 충분한 튜닝을 제공할 뿐만 아니라 공정 및 온도에 따른 주파수 변화에 대한 보상을 가능하게 한다. 또한, 큰 Q값은 높은 dynamic range를 갖는 튜너블 필터와 낮은 phase noise를 갖는 VCO의 실

현을 가능하게 한다. 또한, p-n junction varactor에 비교하여 큰 voltage swing을 통한 phase noise를 감소시키며 harmonic distortion의 발생양을 줄일 수 있다.

캐패시터는 두 전극의 면적과 두 전극 사이의 유전체의 유전상수에 비례하고 두 전극의 간격에 반비례하므로, 튜너블 캐패시터는 두 전극 사이의 면적 또는 간격을 변화시키는 방법이 많이 연구되었다. 또한, 두 전극 사이의 유전체를 변화시키는 방법의 튜너블 캐패시터도 제작되었다. 따라서 전극의 간격 또는 면적을 변화시키기 위해서 정전기력 방식, 열적 방식, 전자기적 방식 등의 마이크로 액츄에이터가 채택되어 튜너블 캐패시터가 설계되고 있다.

지금까지 개발된 튜너블 캐패시터 중에서 전극 면적과 유전 상수를 변화시키는 방법은 튜닝 범위가 넓지만 10V 이상의 높은 구동 전압이 요구된다. 그리고 전극 간격을 변화시키는 방법은 튜닝 전압은 낮지만 튜닝 범위가 30% 정도 이상의 구현이 어렵다. 따라서, 무선통신용 부품에 적용하기 위해서는 새로운 방식과 구조를 갖는 튜너블 캐패시터의 개발이 요구되고 있다.

4. 결론

이동통신 단말기의 소형화와 고성능화를 위해서 우선 MCM (Multi Chip Module) 기술에 의해서 소형화가 진행된 후에 각 chip들이 집적화되어 궁극적으로는 TOC에 도달할 것으로 예상된다. 이러한 기술 방향에 맞추어 현재 무선통신 부품에 사용되고 있는 큰 크기의 수동소자들을 MEMS 기술을 이용하여 그 크기를 더 작게 하고 회로에 집적화될 수 있도록 개발하고 있다. 현재 상용화를 위해서 활발히 개발되고 있는 RF MEMS로는 스위치, 공진기, 인덕터, 튜너블 캐패시터 등이 있다. 이 RF MEMS 기술은 집적화 공정 기술과, 신뢰성 향상 기술, 저가격의 패키징 기술, 자동화 생산 기술 등이 더 연구개발되면 TOC의 성공적 개발에 큰 기여를 할 것이다.

References

- [1] R. Aigner, mstnews (International newsletter on microsystems and MEMS), June 2000 No. 3/00, p.10 (2000).
- [2] F.-X. Musalem, Mechanical Engineering Design 2001, The American Society of Mechanical Engineers (<http://www.memagazine.org/medes01/>) (2001)
- [3] J. Y. Park, J. U. Bu, and J. W. Lee, J. Semiconductor Technology and Science, 1, p.70 (2001)
- [4] J. D. Larson III, R. C. Ruby, P. D. Bradley, J. Wen, S.-L. Kok, A. Chien, IEEE Ultrasonics Symposium, 1, p.869 (2000)
- [5] H. Lakdawala and E. S. Kim, IEEE International Frequency Control Symposium, p.831 (1998)
- [6] Y.-J. Kim, and M. G. Allen, IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology-Part C, 21, p.26 (1998)
- [7] C. Nam, W. Choi, and K. Chun, International Semiconductor and Mechanical Assembly, Singapore, November (2000)
- [8] A. Dec and K. Suyama, IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium, p.309 (1998)