

224MHz RF 송수신 회로의 적층형 PAA 패키지

남상우(南相宇), 홍석용(洪碩勇), 지 용(池 龍)

서강대학교 전자공학과

전화 : (02) 716-3429 / 팩스 : (02) 716-3429

A Stacked Pad Area Array Package for 224MHz RF Transceiver Modules

Sang Woo Nam, Seok Yong Hong, Yong Jee

Department of Electronics Engineering, Sogang University

E-mail : nam2582@hanmail.net, yongjee@ccs.sogang.ac.kr,

Abstract

We presents the construction of radio frequency pad area array package modules which operate at radio frequency of 224MHz, and proposes the structure of RF module packages to improve its electrical characteristics. The module of RF PAA package was constructed in the configuration of three dimensionnal stacked package and reduced size. RF PAA packages showed the optimized and improved gain of 2dB by partitioning the RF transceiver with 3 dimensional stacked PAA packages.

I. 서론

RF 영역에서 동작하는 모듈은 무선으로 동작하여야 하기 때문에 모듈 구현 방법이 이동성이 있어야 하며 가볍고 소형이면서 RF 주파수영역에 맞는 동작 특성을 지녀야 한다. RF PAA 패키지 구조는 고속 회로 특성을 만족시켜 줄 뿐만 아니라 소형화를 이룰 수 있는 장점을 지니고 있다.[6] 지금까지의 RF 회로 구성 방법은 임피던스 정합과 연결상의 문제와 고주파 잡음 문제를 해결하고자 부품 실장 기판 위에 RF 아날로그 회로와 디지털 회로를 혼합적으로 실장하기 때문에 RF 회로 동작에 잡음을 발생시키는 문제를 일으켰다.[1]

또한, RF 회로 구성에서 QFP 패키지 구조를 이용하여 구성된 아날로그·디지털 단일칩 GSM 송신기[2]나 GPS 모듈[1]들은 그 전기적 특성을 개선시켜 주거나 축소된 패키지 구조로 구성할 경우의 실험적 결과는 제시되지 못하였다. 7-11GHz에서 동작하는 레이더를 알루미늄 나이트라이드(AIN) 기판을 이용한 3차원 구조의 MMIC 마이크로웨이브 패키징[5] 구조가 공정비용이나 부피, 무게를 크게 줄이면서 마이크로 웨이브 동작특성을 개선시킨 예나 플립칩 MCM-D, 플립칩 MCM-L 패키징 방법과 납공(solder ball)을 이용하여 200개 이상의 입출력 단자를 가진 고속 마이크로 프로세서모듈을 낮은 비용의 인쇄회로기판에 실장한 경우[4]는 적

층형 구조가 지니는 장점을 활용하여 고주파 동작 특성을 개선 예들을 보여주고 있다. 하지만 대량 생산용으로 제작될 수 있는 구조이면서 낮은 비용으로 제작될 수 있는 PCB 기판을 이용한 3차원 구조나 적층형 구조에 대한 예는 아직 연구 실험되지 못한 상태이다. 참고문헌 [7]와 같이 단순한 FR-4 에폭시 기판의 MCM-L을 이용한 실험은 수행되었으나 아직 적층형 구조에 대한 실험이 수행된 예는 없다.

본 실험에서는 224MHz 대역의 지능 교통망 시스템(Intelligence Traffic System)에 사용되는 송수신 회로를 구현하는 방법으로서 적층형 구조의 PAA 패키지 모듈 구조를 이용하여 효율적인 RF 송수신 회로 구성 방법을 살펴보았다. 그 방법으로서 RF 시스템의 상용화를 위한 초소형화, 저비용, 저전력의 문제를 해결하기 위해 RF 시스템을 각 기능별로 구현하고, 각 부분을 3차원적으로 적층하는 구조로 구현함으로써 회로 특성을 개선할 수 있는 방법을 살펴보았다.

II. 224MHz RF 모듈 구현 설계

1. ITS RF 모듈 패키지 구현

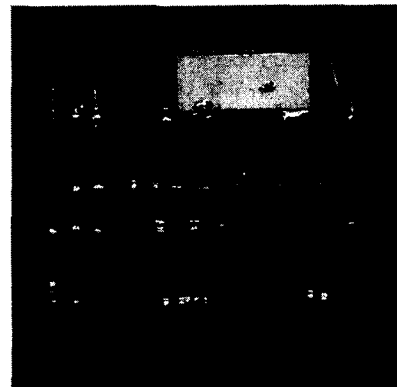


그림 1 적층형 PAA 패키지 구조로 제작된 RF 모듈

RF 모듈회로의 송·수신부는 두 번의 주파수 변환 과정을 거치는 슈퍼 헤테로다인 수신기를 지니며, 224MHz대역의 주파수를 이용하여 무선호출 신호를 전송할 수 있도록 중간 주파수는 제 1 중간 주파수로 21.4MHz를, 제 2 중간 주파수로 450kHz를 각각 사용한다.

RF 송수신 모듈은 동작 주파수에 따라 송신단(TX), 수신단(RX), PLL단, 전원(PWR)단으로 기능별로 구분될 수 있다. 모듈 분할 요소에 따라 모듈을 4개의 영역으로 분리함으로써 각 단위 기능 모듈 부품들을 하나의 독립된 기판 위에 실장하여 하나의 전자 부품으로 패키징함으로써 시스템을 소형화할 수 있으며, 각 단위 기능 부품을 PAA 패키지 구조로 고밀도로 실장하여 부품 사이의 배선 길이를 감소시켜 주고 신호 지연 시간, 간섭 잡음을 작게 하여 시스템을 고속화, 고성능화 할 수 있다. 또한, 각 단위 기능 모듈 부품을 각 기판 영역에 분할함으로써 송수신기 RF PAA 패키지를 구성하는데 있어서 각 단위 모듈을 교체하기 쉽다.

PAA 연결구조는 전원단, 수신단, 송신단, PLL단은 개별적으로 PAA I/O를 갖는 개별모듈로 분할된 후 실장되는 부품의 높이에 맞추어서 실장되는 구조를 갖는다. PAA 연결 방법은 부품 I/O의 밀도가 높을 뿐 아니라 전기적으로도 우수한 특성을 지닌다. 각각 분리된 단위 모듈 영역은 독립적인 동작 기능을 수행할 수 있을 뿐만 아니라 구분된 주파수 영역으로 독립됨으로써 서로간의 신호간섭을 최소화할 수 있는 장점을 가진다.

2. RF BGA 모듈 제작

본 실험의 RF 모듈 시스템의 송수신 주파수는 224MHz~224.25MHz에서 동작하며 통신방식은 Simplex 방식을 사용한다. Channel수는 10개이며 변조 방식은 Analog FM 방식을 이용하여 동작한다. ITS RF 모듈 송신단 증폭부 이득은 30dB, 수신단 증폭부 이득은 25dB로 설계하였다. RF 모듈의 특성 임피던스는 50Ω이고 DC 동작 전압은 5V이다. 송신단, 수신단의 구성에서 224MHz에서 임피던스 정합을 위하여 정 이득된 파 동작점을 맞추어 송수신단 회로를 구성하였다.

기판은 가로 3.5cm, 세로 4cm의 모듈 크기를 갖는 FR-4 기판으로 사용하였다. 유전체의 두께는 0.4mm를 사용하였고 배선을 위한 동박 두께는 17.8μm를 사용하였다. 배선폭은 전원선의 경우 300μm가 되게 하였고 신호선의 경우 125μm가 되게 하였으며 배선간격은 전원선과 신호선 모두 150μm를 사용하였다. 비아는 0.35mm 드릴을 사용하였고 비아 패드를 포함한 비아의 크기는 0.55mm가 되도록 하였다. 외부 연결단자인 BGA ball의 크기는 직경 700μm로 제작되었다.

표 1 모듈 배선 결과 비교

	단일기판 모듈	송신부 (TX)	수신부 (RX)
부품수(개)	217	52	55
NET수(개)	123	30	29
Via수(개)	238	23	18
Trace수(개)	391	100	14
총 배선길이(mm)	3133.6	431.7	556.6
평균배선길이(mm)	25.7	14.4	19.1

III. RF PAA 모듈 특성 측정

1. 수신단 모듈 특성 측정

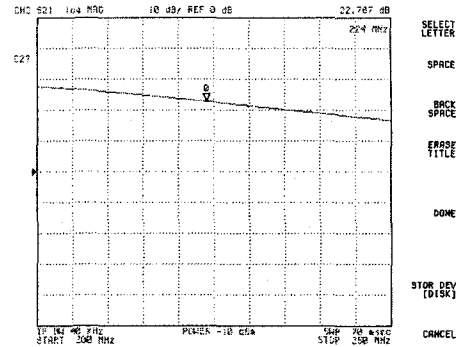


그림 2 수신단 증폭부 이득 측정

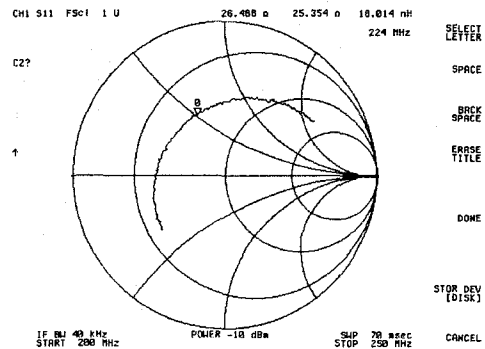


그림 3 수신단 입력 정합 측정

그림 2는 수신단 증폭부의 이득을 측정된 결과이다. 200MHz에서 250MHz까지의 주파수 범위에서 측정된 이득 곡선을 보여 주며 224MHz에서 22dB를 나타냈다. 수신단 설계 이득은 25dB였으므로 3dB 감소된 결과를 보여 주었다. 일차적으로 HP4396B network analyzer를 이용하여 감소된 원인을 조사하였다. 수신단 모듈이 다른 단위 모듈과 분리되어 독립적으로 구성되었기 때문에 송신단의 입력 특성 임피던스를 측정할 수 있었다. Network analyzer의 smith chart로 측정된 입력 특성 임피던스는 입력 특성 임피던스는 36Ω, 출력 특성 임피던스는 25Ω으로 나타났다. 이는 제작과정에서 표준부품을 사용함으로써 나타난 차이라고 판단된다. 따라서 이득이 개선되도록 수동소자를 바꾸어 특성임피던스를 각각 50Ω에 정합시켜 보았다.

그림 4와 그림 5는 수동소자 보정방법을 나타낸 것이다. 측정된 입력 특성 임피던스의 S-파라미터 값을 설계된 수동소자의 값을 이용하여 역으로 추적하여 증폭기의 실제 S-파라미터 값을 찾아낸 후 정합회로의 구조적인 변화없이 소자 값을 변화시켜 50Ω에 정합 되도록 하였다.

$S_{a'} = S_a + X_a$ 에서 X_a 만큼 보정 되었고, $S_{b'} = S_b + Y_b$ 에서 Y_b 만큼 보정되었다. 즉, $X_a = 0.5 - j0.33 = 29\Omega$ 이고 Y_b 는 $S_{b'}$ 과 S_b 를 어드미턴스 값으로 변환후 계산하면 $Y_b = j0.15 = 0.003mho$ 이다. 따라서 L1인덕턴스는 $29 / (2\pi * 224MHz) = 20nH$ 만큼이 더해져서 100nH에서 120nH로 바뀌고, $0.003 / (2\pi * 224MHz) = 2pF$ 적어져서 5pF를 3pF로 바꾸었다. 그림 6은 수동소자 보정에 의해 수신단의 이득 개선을 측정한 그림이고, 그림 7은 보정후 입력 특성 임피던스를 측정한 것이다.

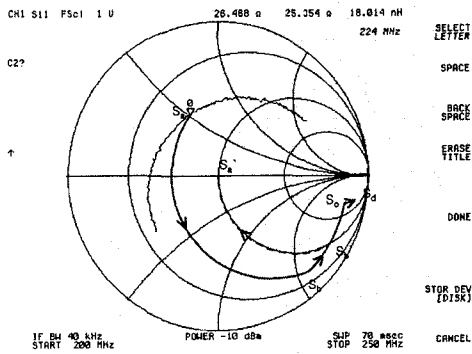


그림 4 수신단 입력 정합 보정방법

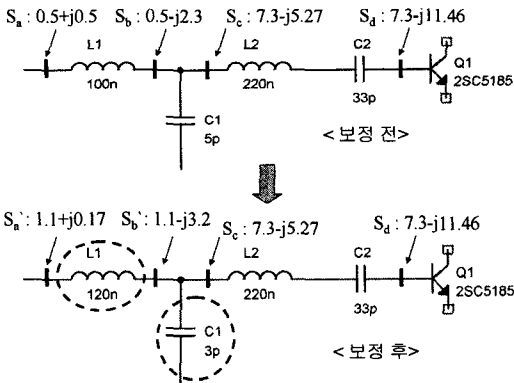


그림 5 수동소자 보정 전과 보정 후 비교

수신단 모듈의 특성 임피던스는 50Ω으로 구성되었으며, 증폭기 이득은 25dB로 설계되었다. 하지만 network analyzer로 측정된 결과는 약 3dB가 감소된 22dB로 측정되었다. 이러한 감소의 원인은 smith chart에서 본 바와 같이 S11과 S22가 36Ω과 25Ω으로 나타나는 오차가 이득 감쇄로 나타난다고 볼 수 있다. 수동소자로 보정하기 전에는 수신단 전력 이득이 22dB이던 것이 수동소자 보정후에는 24dB으로 개선되었다. 따라서 입력단의 특성임피던스를 50Ω에 정합함으로써 수신단 이득을 설계치에 접근시킬 수 있었다. 이러한 보정 방법은 RF BGA모듈을 기능별로 따로 분리시켜 구성하였기 때문에 가능한 방법이다.

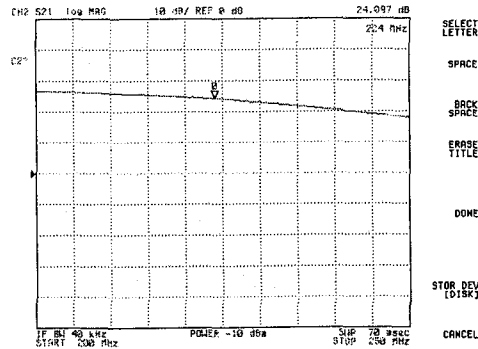


그림 6 수신단 보정후 이득 측정

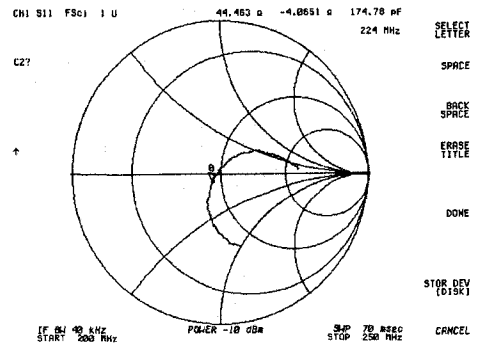


그림 7 수신단 보정후 입력 정합 측정

2. 송신단 모듈 특성 측정

송신단 증폭기의 이득을 200MHz에서 250MHz까지의 주파수 범위에서 측정된 결과 224MHz에서 27dB의 이득을 나타내었고, 송신단 임출력 정합상태를 HP4396B network analyzer를 이용하여 smith chart로 측정하였다. 입력 정합 특성임피던스는 66Ω, 출력 정합 특성임피던스는 13Ω으로 측정되었다.

송신단의 증폭 이득은 30dB로 설계되었지만, 측정 결과는 27dB로 손실이 3dB가 있었음을 보여 주었다. 앞에서 보인 것과 같은 수동소자 보정 방법에 따라 C123 캐패시터를 47pF에서 20pF로, L109 인덕터를 47nH에서 18nH로 바꾸어 입력단의 66Ω이 설계 특성 임피던스 50Ω 정합에 근사하게 55Ω으로 정합되었다. 출력 단에서는 L101을 39nH로 바꾸고 가변 캐패시터를 조정하여 12Ω에서 51Ω으로 정합되었다.

3. 공납의 전기적 특성 측정

pad area array의 연결단자에 해당하는 공납의 RF에서 동작하는 송수신 모듈에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 전기적 특성을 측정하였다. 참고문헌[4]에 따르면 BGA ball에 대한 측정값은 68.6fF, 1.53nH로 나타나서 회로구조에 영향이 없는 것으로 나타났지만 본 실험 구조에서도 같은 결과인지

를 살펴보기 위하여 주파수 100kHz ~ 1.8GHz에서 동작하는 HP 4396B Network/Spectrum Analyzer와 300kHz~3.0GHz에서 동작하는 HP 85046A S-parameter Test Set를 이용하여 SMA 커넥터로 연결시킨 다음 산란파라미터 S11을 측정하였다. 이때 port 2는 개방 또는 단락시켜서 측정하였다.[4] 측정구조는 그림 8와 같다.

표 2 송수신단 증폭부 보정 전·후 비교

	송신단		수신단	
	보정전	보정후	보정전	보정후
이득(dB)	27	29	22	24
입력 특성 임피던스(Ω)	66	55	36	44
출력 특성 임피던스(Ω)	13	51	25	43

PAA 공납에서의 인덕턴스 측정값은 주파수 변화에 관계없이 0.11nH~0.15nH로 일정한 값을 보였으며 캐패시턴스 측정값도 27fF~32fF로 일정한 경향을 보였다. 그림 9에 나타난 것과 같이 본 실험의 측정값은 TEM 모드와 분산모델을 [5] 이용한 PAA 공납의 자체 인덕턴스와 캐패시턴스의 계산값과 거의 일치하는 모습을 보여 주었고 이는 회로에 미치는 영향이 미세하여 무시할 수 있음을 보여주었다.

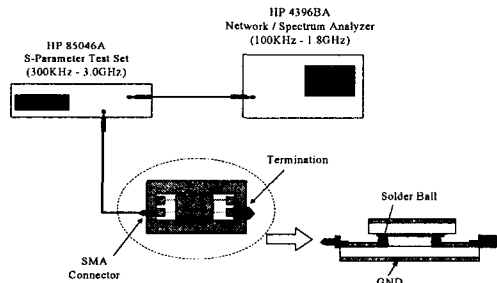


그림 8 Γ 등가회로 전기적 파라미터 측정 구조

IV. 결론

본 논문은 224MHz ITS RF 모듈을 각 기능별로 모듈화하고 3차원 PAA 모듈 구조로 구현하여 RF 패키지 구조의 전기적 파라미터를 측정하여 PAA 패키지 구조가 제시하는 전기적 개선 방법을 제안하였다.

주파수 분포와 기능에 따라 수신부, 송신부, PLL부 그리고 전원부의 4부분으로 분할하였고, 실장되는 부품의 높이에 맞추어 4층으로 적층하여 신호선의 길이를 감소시키고 각 모듈간의 주파수 간섭을 최소화할 수 있도록 했다. 각 기능별로 모듈 패키지화 결과 송신단 모듈 평균 배선 길이는 14.4mm, 수신단 모듈 평균 배선 길이는 19.1mm로 단일 모듈 기판으로 제작시 평균 배선 길이가 25.7mm에 비해 배선 길이가 각각 44%, 26% 감소하였으며 따라서 전기적 특성이 우수하였다.

적층형 RF 모듈 송신단의 이득은 30dB, 수신단 이득은 25dB로 설계되었지만 제작된 적층형 RF BGA 패키지 구조의 송수신단 이득은 2~3dB 감소됨을 보여주었고, 수동소자 보정 과정을 통하여 특성임피던스 정합을 설계 특성 임피던스인 50 Ω 에 근사시키므로써 송신단 이득이 29dB, 수신단 이득이 24dB로 개선되었다.

RF 시스템을 기능별로 모듈화하고, 적층형 PAA 패키지 구조로 구현함으로써 RF 모듈을 이동성있게 소형화시키고 전기적 특성을 개선시킬 수 있었다.

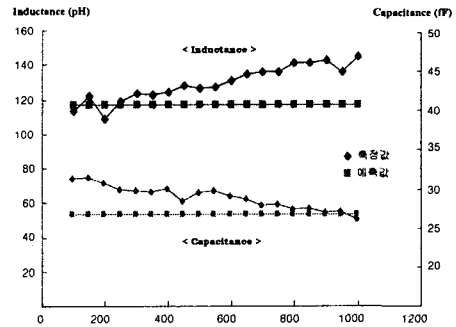


그림 9 PAA 공납의 인덕턴스와 캐패시턴스

참고문헌

- [1] P.J. Zabinski, B.K. Gilbert, P.J. Zucarelli, D.V. Wenginger, and T.W. Keller, "Example of a Mixed-Signal Positioning System(GPS) Receiver using MCM-L Packaging", IEEE Trans. CHMT, B, vol. 18, no. 1, pp.13-17, 1995.
- [2] Y.L. Low, Y. Degani, K.V. Guinn, T.D. Dudderrar, J.A. Gregus, and R.C. Frye, "RF Flip-Module BGA Packaging," IEEE Trans. Advan. Pack., vol. 22, No. 2, pp.111-114, 1999.
- [3] Jaeyong Jeong, Seungki Nam, Y.S. Shin, and Jichai Jeong, "Electrical Characterization of Ball Grid Array Packages from S-parameter Measurements Below 500 MHz", IEEE Trans. Advan. Pack., vol. 22, No. 3, pp.343-347, 1999.
- [4] 김동영, 정태호, 최순신, 지용, "Radio Frequency 회로 모듈 BGA 패키지," 전자공학회 논문지, 제 37권 SD-1호, pp8-18, 2000.
- [5] M.A. Jimarez, S. Tran, C.L. Coz, and G. O. Dearing, "Evolution of a Unique Flip-Chip MCM-L Package," IEEE Trans. Advan., Packag., vol. 22, no. 3, pp.372-378, 1999.
- [6] M.S. Hauhe and J.J. Wooldridge, "High Density Packaging of X-Band Active Array Modules," IEEE Trans. Comp., Packag., Manufact., Technol., -part B, vol. 20, no. 3, pp.279-291, 1997.
- [7] R. Sturdivant, L. Ly, J. Benson, and M.S. Haue, "Design and Performance of a High Density 3D Microwave Module," IEEE MTT-S Digest, pp. 501-504, 1997