

저가용 SOP를 위한 적층형 Meander와 Radial/T Stub의 설계와 모델링

전성중, 양창수, 이승재, 박재영  
광운대학교 전자공학과

Design and Modeling of the Embedded Meander line and Radial/T Stub for low-cost SOP

Seong-Jong Cheon, Chang-Soo Yang, Seung-Jae Lee, Jae-Yeong Park  
Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University

**Abstract** - 이동 및 정보통신 시스템이 소형화 및 고성능화됨에 따라 System on Package (SOP) 기술의 연구개발이 주목을 받고 있다. 저가형 SOP를 위하여 가장 많은 연구가 다층인쇄회로 기판에 수동소자 및 전송선로를 내장시키는 것이다. 본 논문에서는, 8층 PCB 기판에 Meander line과 Radial / T Stub 패턴을 Advanced Design System(ADS) simulation을 이용하여 설계 및 제작하고 분석함으로써 정확한 SOP 디자인 및 설계 방향을 제시하고자 한다. 설계변수-패턴의 length, width, spacing, 각도와 공정변수-1층/3층, 기판 재질(prepreg(PP)과 resin coated copper(RCC))을 두어 제작하여 그 특성을 비교하였다. Meander Line은 PP보다 RCC에서의 인덕턴스가 크고 높은 자가 공진주파수를 가졌고, 3층보다 1층에서의 인덕턴스가 안정적이었다. Radial/T Stub는 PP보다 RCC에서의 커패시턴스가 작으나, 높은 자가 공진주파수로 커패시턴스가 안정적이었다. Meander Line은 RCC, 병렬 전송선로 간격-400um, 병렬 전송선로 길이-500um, 1층 설계 시, 인덕턴스-1.60nH, 자가 공진주파수-9.21GHz로 특성이 가장 우수하고, Radial Stub는 RCC, 60°, 1층 설계 시, 커패시턴스-0.62pF, 자가 공진주파수-9.06GHz의 특성이 나타났고, T Stub는 RCC, Stub 길이-600um, Stub 너비-150um, 1층 설계 시, 커패시턴스-0.38pF, 자가 공진주파수-10GHz이상으로 우수한 특성을 나타냈다.

1. 서 론

이동 및 정보통신 시스템이 소형화 및 고성능화됨에 따라 System On Package (SOP) 기술의 연구개발이 주목을 받고 있다. SOP를 위하여 많은 연구가 이루어지고 있는데, 주로 LTCC를 기반으로 한 SOP와 PCB를 기반으로 한 SOP가 활발히 진행되고 있다. LTCC와 PCB 기반의 SOP는 각 층에 고정밀 패턴 구현이 가능하여 부품의 소형화와 고기능화, 수동부품내장이 가능하다는 장점이 있다. LTCC 기반은 Mother Board와의 결합특성과 반도체 관련 Packaging 특성이 떨어지고, PCB 기반에 비해 가격이 비싸다는 단점이 있으나, PCB 기반에서는 이러한 단점을 보완할 수 있다.

PCB에는 주로 능동/수동소자가 실장되어 회로가 구성되는데, PCB의 재질과 두께에 따라 전송손실, S-parameter에 대한 연구가 선행됨으로써 PCB 임피던스 설계가 가능하다.[1] 즉 PCB 기판의 재질, 설계 변수(기판의 유전율, 설계층수)에 따라 특성이 변하고,[2] PCB 패턴에 따라 특성이 달라진다.

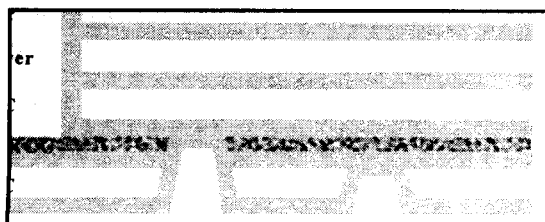
본 논문에서는 SOP 설계에 기반이 되는 Meander Line, Radial/T Stub를 설계, 분석함으로써, 정확한 SOP 설계 및 제작 방향을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 설계 및 제작

적층형 전송선로 패턴을 구현하고자 8층 구조 PCB를 구현하였다. 그림 1에서의 8층 구조로 하여, Core Layer에는 유전율 4.5, tangent loss 0.03, 두께 400um의 CCL(4, 5층)을 사용하였고, 유전율 4.1, tangent loss 0.016, 두께 65um의 PP나 유전율 3.6, tangent loss 0.02, 두께 80um인 RCC(1, 3, 6, 8층)를 사용하였다. 추후에 모듈 설계 시에 커패시터를 설계할 수 있도록 유전율 30, tangent loss 0.02, 두께 20um인 고유전율의 RCC(2, 7층)를 사용하였다. 각 층의 copper 두께는 18um로 설계하였다. PP만을 사용하여 제작한 샘플과 RCC만을 사용하여 제작한 샘플 2종류로 제작하였다.

샘플 패턴의 종류로는 Meander Line과 Radial/T Stub 3가지를 제작 및 분석하였으며, Meander Line과 Radial / T Stub가 공통으로 분석 가능하게 하기 위해서 전송선로의 너비를 100um로 설계하였으며, 1층에서와 3층에서의 분석을 쉽게 하기 위해서 동일 임피던스 전송선로로 설계하기 보다는 같은 너비(100um)의 전송선로를 설계하였다.



<그림 1> 8층 PCB 기판 단면도

다양한 종류의 커플링 구조들이 수동소자로 많이 사용된다. Meander Line, Radial/T Stub, 커패시터, Gap Line 등 많은 종류가 있다. 이러한 구조물들은 필터나 인덕터, 커패시터, 안테나, phase delay line, 임피던스 매칭회로 등으로 많은 수동소자로 사용이 된다. 고주파대역의 임피던스 정합에서 L/C 단일 소자는 자가 공진주파수가 낮기 때문에(<5GHz) 전송선로를 이용한 임피던스 정합을 주로 사용한다. 본 논문에서는 임피던스 매칭회로로 사용이 많이 되는 Meander Line과 Radial/T Stub를 설계하였다.

2.1.1 Meander Line

Meander Line이 임피던스 정합 회로에 주로 사용되는 이유는 자가 공진주파수가 높은 인덕터로 사용이 가능하기 때문이다. 임피던스 정합하기 위해서는 적절한 길이의 전송선로가 필요하지만, Meander Line으로 구현할 경우 좁은 공간에서도 임피던스 정합회로로 구현이 가능하다.

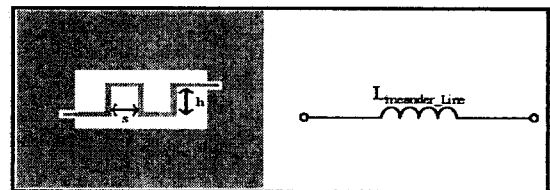
병렬 전송선로들 간의 거리 s나 병렬 전송선로의 길이 l, 병렬 전송선로의 개수에 따라서 인덕턴스가 정해진다.[3][4] 본 논문에서는 1층에서와 3층에서의 Meander Line 인덕턴스와 자가 공진주파수를 비교하기 위해 PP/RCC, 1층/3층, 병렬 전송선로 간의 거리 s(400um, 800um), 병렬 전송선로 길이 h(500um, 700um, 1000um)의 변수를 두어 설계하였다.

2.1.2 Radial / T Stub

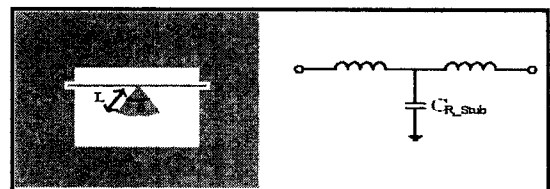
Stub는 접지를 위한 via-hole의 불필요와 단락회로의 간단한 구현 등의 이유로 임피던스 정합회로나 개방회로 정합에 주로 사용된다. 대표적인 Stub로는 Radial Stub와 T Stub가 있다.[5]

그림 2 (b), (c)에서와 같이 Radial Stub는 부채꼴 모양으로, 부채꼴의 반지름의 길이 L, 부채꼴의 각  $\theta$ 에 따라 커패시턴스가 변하게 되고, T Stub는 Stub 너비 W와 길이 L에 따라 커패시턴스가 변하게 된다.

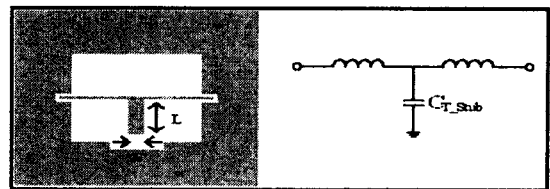
Stub의 면적과 길이에 따른 커패시턴스 변화를 비교하기 위해 Radial Stub는 Stub의 각도(60, 90, 120도)의 변수를 두어 1층/3층에 설계하였고, T Stub는 Stub의 길이 L(600um, 1200um), Stub의 두께 W(150um, 200um, 300um, 400um)의 변수를 두어 1층/3층에 설계하였다.



(a)



(b)

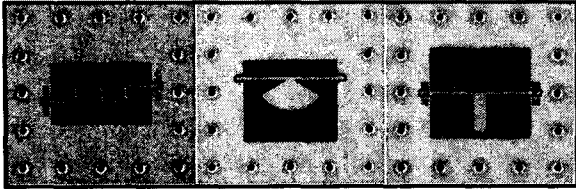


(c)

<그림 2> 패턴의 구조 및 등가회로  
(a) Meander Line, (b) Radial Stub, (c) T Stub

### 2.1.3 공정

위아래에 copper(4, 5층)가 입혀진 Core Layer(CCL)에 4, 5층의 패턴을 형성하고, 4, 5층 위에 PP나 RCC를 덮고 압력을 가하여 부착했다. 그 위에 copper(3, 6층)로 도금하고, 패턴을 형성했다. 또다시 3, 6층 위에 고유전율을 가진 high Dk RCC를 입히고 패턴을 형성했다. high Dk RCC는 단면에 copper가 입혀져 있기 때문에, 2, 7층에 바로 패턴을 형성할 수 있다. 2, 7층 위에 PP나 RCC로 덮고 압력을 가하여 부착시킨 후 Copper(1, 8층)로 도금하고 패턴을 형성했다. 1층에 Ground-Signal-Ground(GSG) probe tip으로 측정을 하기 위한 패드 부분을 제외하고 나머지 부분에 copper pattern의 산화를 막기 위해 PP로 20um의 passivation layer를 형성하였다. 또한 패드부분의 copper의 산화를 막기 위해 니켈-금 합금으로 도금하였다. 각 층의 copper 두께는 기본적으로 18um로 패턴을 형성하였으나, laser via-hole이나 through hole 형성 시, via, hole의 벽면을 copper로 도금해야 하기 때문에, 각 층의 copper가 10~15um 정도 두꺼워졌다.



〈그림 3〉 Meander Line, Radial / T Stub 사진

### 2.2 측정 결과 및 분석

Agilent 8510B Network Analyzer(NA)와 250um pitch의 GSG probe를 이용하여 PCB로 구현된 패턴들을 측정하였다. RF System에 응용하기 위해 0.1GHz에서 10GHz의 대역을 측정주파수로 설정하였고, 무선통신 분야의 적용을 위해 NA로 S-parameter를 측정한 후, ADS를 이용하여 인덕턴스와 커패시턴스로 변환해서(@ 1GHz), 패턴의 설계 데이터와 측정 데이터를 비교하였다.

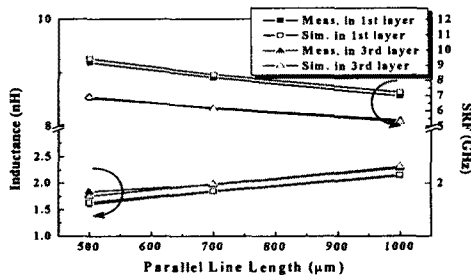
그림 4를 보면, s-800um, 병렬 전송선로 개수 3개, RCC로 제작한 Meander의 1층에 설계한 패턴의 특성을 Simulation 데이터와 비교해 보았다. 측정 데이터에서 2%이내의 감소된 인덕턴스, 3%이내의 감소된 자가 공진주파수를 가졌다. 3층으로 적층된 패턴의 특성에서는 3%이내의 감소된 인덕턴스로, 4%이내의 자가 공진주파수로 분석되었다. RCC의 전반적인 패턴 측정 데이터를 볼 때, 1층 Meander Line 패턴은 2%정도의 인덕턴스 감소, 2%정도의 자가 공진주파수 감소, 1%정도의 Time Delay 감소를 보였고, 적층된 패턴에서는 2%정도의 인덕턴스 감소, 2%이내의 자가 공진주파수 감소, 3%이내의 Time Delay 감소를 보였다.

표 1을 보면, Meander Line 패턴은 병렬 전송선로의 간격이 넓을수록, 병렬 전송선로의 길이가 길수록, 인덕턴스가 증가하고, 자가 공진 주파수가 감소하였다. 또한 PP보다는 RCC의 Meander Line 자가 공진주파수가 증가하였고, 1층보다는 적층에서 인덕턴스가 증가하였으나, 자가 공진주파수는 감소하였다. 주파수영역에 대한 인덕턴스의 안정성에서 볼 때, RCC, 1층 설계가 가장 우수한 특성을 보였다. 이는 RCC의 유전율이 PP보다 낮고, 기판의 두께가 두꺼워 Ground Effect가 작기 때문이다.

Radial Stub는 PP보다 유전율이 낮은 RCC에서, 적층보다 1층에서 커패시턴스가 감소하나, 자가 공진주파수는 증가하여, 안정적인 커패시턴스를 보였다. 또한 각도가 증가함에 따라 커플링 면적이 넓어져서 커패시턴스가 면적에 비례하여 증가하였고, 자가 공진주파수는 감소하였다.

T Stub도 역시 PP보다 RCC에서, 적층보다 1층에서 커패시턴스가 감소, 자가 공진주파수는 증가하였다. 또한 Stub의 길이와 너비가 작을수록 안정적인 커패시턴스를 얻었다. Stub의 크기가 커질수록 Ground 면과의 커플링 효과가 커지기 때문에, 낮은 자가 공진주파수를 보였다.

또한 측정 데이터를 설계 시뮬레이션 데이터를 분석하여 보면, Meander Line에서는 오차율이 적었지만, Stub에서는 적층으로 갈수록 오차율이 커짐을 확인하였다.



〈그림 4〉 Meander의 인덕턴스, 자가 공진주파수 그래프 (기판:RCC, s:0.8mm, 병렬 전송선로 : 3개)

〈표 1〉 Meander Line의 측정값 (인덕턴스/자가 공진주파수)

		(nH/GHz)			
		PP		RCC	
s(μm)	h(μm)	1층	3층	1층	3층
400	500	1.52 / 8.27	1.76 / 6.24	1.60 / 9.21	1.70 / 7.33
	700	1.69 / 7.62	1.96 / 5.64	1.81 / 8.27	1.98 / 6.19
	1000	2.00 / 6.44	2.20 / 4.80	2.10 / 7.08	2.29 / 5.45
800	500	1.53 / 8.52	1.76 / 6.04	1.61 / 9.16	1.84 / 6.83
	700	1.72 / 7.38	1.91 / 5.55	1.84 / 8.17	1.97 / 6.19
	1000	2.03 / 6.44	2.14 / 4.90	2.14 / 6.98	2.29 / 5.40

〈표 2〉 Radial Stub의 측정값 (커패시턴스/자가 공진주파수)

		(pF/GHz)			
		PP		RCC	
C / SRF		1층	3층	1층	3층
60°		0.82 / 8.12	1.37 / 5.89	0.62 / 9.06	1.03 / 6.68
90°		0.95 / 7.48	1.67 / 5.30	0.73 / 8.27	1.23 / 6.04
120°		1.13 / 6.98	1.93 / 4.90	0.84 / 7.23	1.44 / 5.69

〈표 3〉 T Stub의 측정값 (커패시턴스/자가 공진주파수)

		(pF/GHz)				
		PP		RCC		
C / SRF		1층	3층	1층	3층	
600	L(μm)	150	0.47 / <10	0.54 / 8.96	0.38 / <10	0.40 / 9.90
	W(μm)	200	0.53 / <10	0.57 / 8.71	0.41 / <10	0.42 / 9.80
		300	0.56 / 9.95	0.60 / 8.52	0.43 / <10	0.45 / 9.60
		400	0.58 / 9.80	0.61 / 8.52	0.46 / <10	0.47 / 9.31
1200	L(μm)	150	0.62 / 9.46	0.63 / 8.27	0.47 / <10	0.48 / 9.06
	W(μm)	200	0.66 / 9.11	0.67 / 7.92	0.49 / <10	0.51 / 8.27
		300	0.72 / 8.57	0.77 / 7.38	0.54 / 9.85	0.57 / 8.17
		400	0.74 / 8.42	0.84 / 7.13	0.57 / 9.56	0.62 / 7.97

〈표 4〉 패턴들의 설계값 대비 측정값의 오차율

오차율		Meander Line		Radial Stub		T Stub	
		PP	RCC	PP	RCC	PP	RCC
L/C	1층	+2%	-2%	+8%	+7.5%	+5%	+3%
	3층	+6.5%	-2%	+33%	+25%	-30%	-35%
SRF	1층	-5%	-2%	-2%	-3%	-6%	-
	3층	-4.5%	-2%	-15%	-12%	+7%	+12.5%
Time Delay	1층	+5%	-1%	+3%	+2.5%	+5%	+3.5%
	3층	+4.5%	-3%	+30%	+16.5%	-13%	-14%

### 3. 결 론

본 논문을 통하여 다층 PCB 모델링 및 설계에 필요한 Meander line과 Radial/T stub 패턴을 다양한 변수를 이용하여 설계하였다. ADS 시뮬레이션과 측정값을 비교 분석한 결과, 3층 패턴에서 Meander Line은 약 5%의 오차가 있으나, Stub 경우에는 큰 오차율을 가졌다. Meander Line의 경우 인덕턴스가 상/하부 기판의 Ground 영향보다는 전송선로의 길이와 병렬 전송선로의 개수, 병렬 전송선로 간의 간격과 연관성이 컸다. 그러나 하부 층의 접지면, 상/하부의 기판에 영향을 받게 되는 Stub의 커패시턴스는 적층 회로를 구현함에 있어서 오차가 30% 내외로 크게 나타남을 알 수 있었다. 이 결과는 적층형 인쇄회로 기판을 구현함에 있어 Ground Effect를 고려하여 설계하면 정확한 SOP 디자인 및 설계를 할 수 있을 것이라 본다.

### 〈참고 문헌〉

- [1] 노영환, "회로다층기판 임피던스 최적 모델링 기법 연구" 우석대학교 논문집, vol.8, 2003
- [2] Alexopoulos, N.G, "Integrated-Circuit Structure on Anisotropic Substrates", IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol. MTT-33, No.10, 1985
- [3] Risaburo Sato, "A design method for meander line networks using equivalent circuit transformations", IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol. 9, pp. 431-442, 1971
- [4] Barry J. Rubin, "Study of meander line delay in circuit boards", IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol. 48, 1452-1460, 2000