

LTCC system 에서의 Stripline 구조 특성 연구 (Analysis of stripline structure(resonator) in LTCC system)

유찬세, 이우성, 강남기, 박종철
전자부품연구원

Abstract

In ceramic systems, many components including embedded passives and TRL(transmission line) are used for composition of 3-dimensional circuit. So the exact analysis on this compenents, As for the TRL's, material properties including electrical conductivity of metal, loss factor and effective dielectric constant of dielectric material and geometrical factors like roughness of surface, vias, dimension of stripline structure have a large effect on the characteristics of transmission lines. In this research, effect of material and geometrical factors on the characteristics of stripline structure is analyzed and quantified by simulation and measurement.

1. Introduction

세라믹 시스템을 이용한 3차원 모듈에는 내충형 수동 소자 이외에 여러 가지 연결선로, via 등이 포함되게 된다. 연결 선로들은 수동소자와는 달리 재료 및 구조의 특성에 더 큰 영향을 받는다. 세라믹 시스템에서는 일반적으로 도체 페이스트와 유전체 그린 쉬트를 사용하는데 이들의 물성치는 실제 모듈 내에서 이상적인 값과 상이한 수치를 갖게 되고 이로 인해 특성에 대한 예상치는 작지 않은 오차를 나타내게 된다. 본 연구에서는 이러한 재료의 특성과 구조적인 요소들에 대한 실제적인 특성에 접근함으로써 stripline 구조에 대한 해석을 시도하였다.

2. Experimental

Stripline 구조를 제작함에 있어서 도체로는 Ag paste를, 그리고 유전체는 Dupont사의 9599 powder를 green tape으로 제작하여 사용하였다. 제작 공정은 일반적인 적층 공정을 적용하였고, 측정시에는 PCB 형태로는 측정이 어렵기 때문에 Probe station(Cascade microtech)을 이용하였다. 특성치 예측에는 Agilent ADS 1.3, HFSS 5.3(Agilent)을 사용하였다.

3. Results and Discussion

Stripline structure는 다른 형태의 전송선로에 비해 도체에 의한 손실값이 크지 않고 특히 3차원 모듈의 적용될 경우 다른 수동소자들과 수직적으로 배열될 수 있기 때문에 공간 활용에 있어서도 장점을 가지고 있다. 아래에 제시된 회로는 VCO 회로의 공진단 부분인데 short 중단된 stripline stub를 사용한 경우이다. 이 회로의 분석에 있어서 stripline 의 특성이 어떤 영향을 미치는가에 관심을 가지고 연구를 진행하였다.

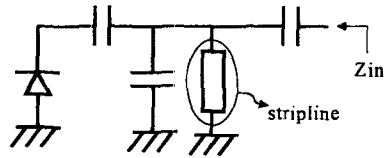


Fig. 1 Circuit of resonant part of VCO

Stripline 구조에서 도체부분을 완전 도체로 보고 유전체 손실이 없다고 가정하면 short 종단한 경우 임의의 주파수에서 허수 성분의 리액턴스 만을 갖는 소자로 동작하게 된다. 이 결과가 아래 그림에 나타나있다.

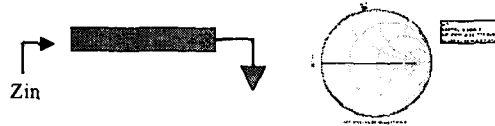


Fig. 2 Result of ideal simulation of stripline

그러나 실제 구조에서는 이상적인 short 종단은 불가능하며 일정부분의 도체를 통해 종단되게 된다. 세라믹 모듈에서는 via를 통해서 종단되는 경우가 많은데 이 부분의 영향이 크게 나타난다.

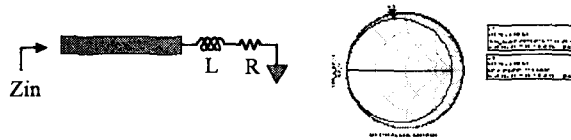
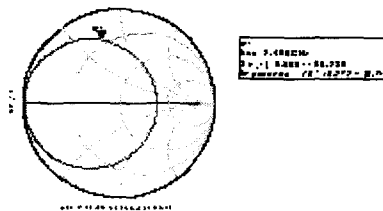


Fig. 3 Result of simulation considering via termination($Z_0=6.15 \Omega$)

위의 결과를 보면 via의 실수 저항 성분을 0.01, 0.1 ohm을 증가시킬때 smith chart상에서 그 궤적이 단위원 내부로 들어오게 되고 이 때문에 2.4 GHz에서의 실수 저항 성분이 0.35, 3.65 Ω 으로 증가하게 된다. 위의 경우는 유전체 손실이 없고 도체는 완전 도체를 가장한 경우인데 실제적인 값들을 고려하면 아래와 같다.



$$\sigma = 6.173 \times 10^7 \text{ S/m}, \quad \tan \delta = 0.001(2.5\text{GHz})$$

Fig. 4 Result of simulation considering conductivity, $\tan \delta$

위의 결과를 보면 2.4 GHz에서 실수 저항이 13.6 Ω 으로 증가하게 되고 공진단 회로에 shunt로 13.6 Ω 의 실수 저항이 첨가되는 효과가 나타나기 때문에 공진단 전체의 특성은 왜곡되고 VCO 특성을 악화시키게 된다. 이러한 이유 때문에 도체의 유효한 conductivity 값과 유전체 손실값을 정량화하는 것이 필요하다. 더욱이 screen printing에 의한 후막 공정의 경우 전극 및 유전체의 표면 roughness가 크기 때문에 위에서와 같이 Ag의 이상적인 conductivity인 $6.173 \times 10^7 \text{ S/m}$ 값보다 낮은 값을 갖게 되고 line의 특성은 더 악화되게 된다. 이 부분을 정량화하기 위해 선폭과 길이를

변화시켜 가면서 DC 저항값을 측정하였고 내부 line dimension 분석을 통해 roughness 가 고려된 유효 conductivity 값을 추출하였다.

Table 1 DC resistance in the variation with W(width) and L(length) of stripline (unit : Ω)

	L=8 mm	12 mm	16 mm	18 mm
W=100 μm	0.2545	0.4195	0.564	0.7325
200	0.113	0.1655	0.2345	0.3205
300	0.0705	0.11	0.157	0.2075
400	0.0545	0.085	0.116	0.151
500	0.04	0.0566	0.0905	0.123

위의 실험을 통해 얻은 Ag paste 의 유효 conductivity는 4×10^7 S/m 정도로 이상치의 2/3정도 되었다. 이때 dimension은 내부분석을 통해 직접 측정한 결과를 이용하였다. 이는 절대적인 값이라기 보다는 stripline 구조에서의 유효치이고 μ -strip이나 CPW 같은 구조에서는 다른 값을 가지리라고 추측된다.

이 특성을 RF 적으로도 검증해 보기 위해 2-port 측정용 stripline sample을 제작하여 attenuation 을 측정하고 이를 modeling하여 물성치들을 추출해보았다. 그 그림이 아래에 나타나 있다.

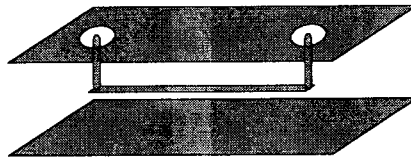


Fig. 5 Shape of stripline structure

내부 dimension 관찰을 통해 얻은 수치를 이용하여 특성 임피던스 값을 계산하고 측정치와 비교해 보았는데 그 결과가 아래에 제시되어 있다.

Table 2 Comparison of measurement value of Z_0 with calculated

W=86 μm , B(유전체 두께)=454.8 μm

	Measured	Calculated
$Z_0(\Omega)$	53.4	53.6

유효 dimension을 이용하여 계산할 결과와 실제 측정치와 거의 일치하고 있음을 알 수 있다. Line 의 attenuation 결과 추출시 임피던스 차이에 의한 부분(0.02dB)을 보정하고 분석을 시행하였다. 측정 및 보정된 attenuation 결과는 다음과 같다.

Table 3 Measurement data of attenuation of stripline

f(GHz)	0	1.583	3.351	6
Attenuation(dB)	-0.166	-0.326	-0.5047	-0.7724

이 결과와 앞서 실험했던 DC 저항값을 바탕으로 이 구조를 modeling 해 보았다. DC 에서의 attenuation은 유전체 손실에는 무관하고 도체에 의해 발생한다. 반면 그 외의 영역에서는 두부분 모두 영향을 미친다. 이를 이용하여 modeling 한 결과가 제시되어 있다.

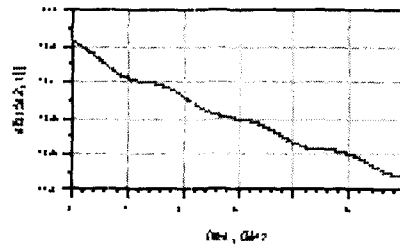


Fig. 6 The result of simulation of stripline

Table 4 The result of simulation of stripline

f(GHz)	0	1.583	3.351	6
Attenuation(dB)	-0.164	-0.325	-0.505	-0.775

앞의 DC 저항 측정 결과와 마찬가지로 유효 conductivity 값이 4×10^7 S/m 정도 되었고 유전체 손실값은 0.003(6GHz)정도 일때 측정 결과와 가장 잘 일치하였다. 이 손실값은 일반적으로 알려진 Dupont system의 손실값이기도 하다. 이 결과를 이용하여 VCO 내 공진 회로를 설계하였다.

본 연구에서 사용한 공진회로에서는 stripline의 특성 임피던스 값이 작을수록 주파수 선택 특성이 좋았다. 다만 구조를 설정할 때 같은 특성 임피던스를 구현하더라도 유전체 두께를 크게 하고 선폭을 넓게 하는 경우와 유전체 두께와 선폭 모두 작게 하는 방법이 있는데 전자의 경우가 line의 Q값 즉 손실 측면에서는 유리한데 이에 대한 비교 결과가 아래 그림에 나타나있다.

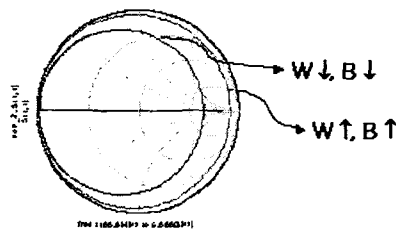


Fig. 7 Comparison of stripline dimension parameters

위의 결과는 두가지 모두 특성 임피던스가 10Ω 이었으나 선폭과 유전체 두께를 크게 할 경우에 그 레적이 단위원에 더 근접하여 실수 저항 성분이 작게 나타나고 있음을 보여준다. 선폭을 크게 할 경우 모듈의 크기 면에서 비효율적일 수 있기 때문에 설계하는 모듈의 크기에 맞게 설계하는 것도 필요하다.

4. Conclusion

Stripline 구조를 설계함에 있어 유효한 재료 물성치들을 추출하였고 이를 이용해 VCO 내의 회로 설계에 적용하였다. 실제 시스템에서는 이상적인 물성치와 다른 값들을 나타내기 때문에 이에 대한 정확한 보정을 통해 line의 DC 및 RF 거동을 해석하였다. 그리고 구조 설정에 있어서도 loss 성분이 최소화 될 수 있는 구조를 선정함으로써 실제 회로 내에서 이에 의한 특성 저하를 개선할 수 있었다.

References

- [1] 'Microwave Engineering' Pozar Wiley
- [2] 'Stripline circuit design' HARLAN HOWE, JR. ARTECH HOUSE, INC
- [3] 'Microstrip lines and Slotlines' K.C.Gupta, Ramesh Garg, I.J.Bahl