

RF 기초 강의실

the
basic
of

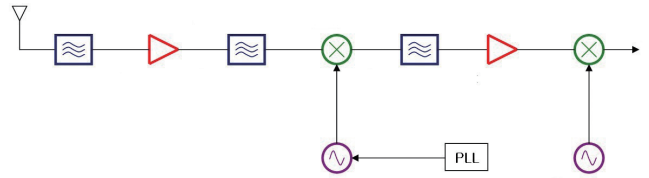
RF



the basic of

RF

RF 기초 강의실



RFDH: 대한민국을 RF 강국으로!

안녕하세요?

RFDH 운영자입니다.

이 책은 RF 디자인하우스 homepage (<http://www.rfdh.com>) 에 수록된 기초강의실 내용을 책으로 엮어낸 것입니다. 2000년 8월 1일 개장한 RFDH.com은, 국내 RF 엔지니어들의 정보교류와 공유를 목적으로 탄생되었습니다.

사실상 운영자의 개인 홈페이지처럼 운영되긴 하지만, 그동안 제 자신이 RF업계에서 일하면서 얻은 지식과 정보, 그리고 자료를 먼저 공유하려는 취지에서 시작되어, Q&A와 각종 자료실을 통해 대한민국의 RF엔지니어들이 다양한 정보를 나누는 공간으로 성장해 왔습니다.

그리고 어렵다고만 여겨지던 각종 기술교육 자료들을 어떻게 하면 좀더 쉽게 이해시킬 수 있을까 라는 고민에서 시작된 결과물이, 2000~2001년 2년간 연재된 RF 기초강의실입니다. 이 RF 기초강의실은 그동안 많은 RF 엔지니어들이 참고해왔던 것으로 알고 있고, 그에 따라 오래전부터 책자로 출간해달라는 요청이 계속 되어왔으나, 저 개인이 준비하기엔 어려모로 어려운 점이 많았기에 2007년에 들어서야 출간이 가능하게 되었습니다.

RFDH가 오랫동안 꾸준한 방문자들과 더불어 지속적인 사이트 유지가 가능했던 이유는, 철저히 비영리적인 운영 방법을 고수했기 때문이라고 생각합니다. 저 역시 지금까지 10년 넘게 현업에서 RF 일을 하면서, 본업과는 별개로 공익의 차원에서 개인적인 시간을 이용하여 운영을 해왔습니다. 그만큼 이번 RF 기초강의실 책자 출간 역시, 영리 목적을 최대한 배제한다는 것을 전제로 만들어졌습니다.

600개가 넘는 각종 그림들을 보다 정확하게 이해할 수 있도록 하기 위하여 과감하게 300페이지가 넘는 올 컬러의 책자로 결정하였지만, 원 저작권자인 저의 인세를 일부 포기하면서까지 일반 시중에서 판매되는 그 어떤 등급의 기술 서적보다 싼 가격으로 책정하기 위해 노력하였습니다. 그와 더불어, 이러한 저의 최소마진의 정책에 동의해 주신 코너북 여러분의 협조에도 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

RFDH가 시작된 2000년과 달리, 이 책이 출간되는 2007년까지 RF 기술시장에는 많은 변화가 있었고, 혹자는 모듈화/시스템화 되어가는 RF 시장이 전에 비해 많이 죽었다는 얘기도 합니다. 그렇지만 RF 기술이 사라지는 것은 결코 아니며, 디지털의 고속화와 시스템의 집적화에 따라 RF 특유의 고주파/전자파 기술은 점점 더 전자기술 전반에서 요구되어지고 있습니다. 이 RF 기초강의실 내용은 이미 오래 전에 만들어진 내용이지만, 그만큼 어느 시대 어떤 경우에도 통하는 기본적인 내용을 다루고 있다고 생각합니다.

이제야 비로소 출간을 앞두고 나니, 6년여 전에 RF 기술의 기초를 누구보다 쉽게 써보겠다며 밤새며 글을 쓰고 그림을 그리던 기억이 새록새록 떠오릅니다. 이 책에 쓰여진 내용과 그림은 모두 제가 직접 쓰고 그린 것들이지만, 이것을 완성하기 위해 주변에서 조언과 도움을 주셨던 저의 동료들에게도 감사의 말씀을 전하고 싶습니다.

이 책이 RF의 모든 것을 알려줄 수도 없고, 아직도 내용상 부족한 점이 많지만, RF 의 기초를 보다 이해하고 싶어 하는 엔지니어 여러분들과, 열심히 공부하는 관련학과 학생/대학원생 여러분들께 조금이나마 도움이 되기를 진심으로 기원드립니다.

RFDH 운영자 드림

RF란 무엇인가?	6		
제 1장 원소적 기초	17	Chapter 01	50옴을 쓰는 이유는?
	19	Chapter 02	Microstrip을 왜 쓸까?
	22	Chapter 03	Port의 정확한 의미는?
	24	Chapter 04	임피던스 매칭을 하는 이유?
	28	Chapter 05	RF에서 S 파라미터를 쓰는 이유
	32	Chapter 06	dB단위는 왜쓸까?
	35	Chapter 07	dB와 dBm은 뭐가 다를까?
제 2장 RF 회로의 기초	41	Chapter 01	RF의 범위는 어디까지인가?
	46	Chapter 02	RF관점에서의 L과 C
	57	Chapter 03	발진이 뭐길래?
	66	Chapter 04	발진을 잡아라!
	75	Chapter 05	대신호와 소신호의 차이
	85	Chapter 06	공진 (Resonance)의 이해
	97	Chapter 07	part 1 ▶ IF (중간주파수), 그 존재의 이유
	107	Chapter 08	part 2 ▶ RF 송수신 시스템의 이해
제 3장 선형성 정복	123	Chapter 01	Harmonic은 왜 생기나?
	129	Chapter 02	Intermodulation의 정체
	135	Chapter 03	선형성이 뭐길래?
	139	Chapter 04	IMD, P1dB, IP3의 이해
	145	Chapter 05	Power Amp와 ACPR
	151	Chapter 06	선형성을 올리자!
제 4장 스미스차트 정복	161	Chapter 01	복소수 신호란 도대체 무슨 뜻?
	165	Chapter 02	스미스차트는 왜 쓰는가?
	170	Chapter 03	스미스차트 읽는 법
	176	Chapter 04	스미스 툴 사용법 (Demo Version)
	186	Chapter 05	임피던스 매칭 - lumped RLC
	198	Chapter 06	LC 매칭 vs. 전송선로 매칭
	206	Chapter 07	임피던스 매칭 - Microstrip
	221	Chapter 08	스미스차트, 그 뒷이야기
제 5장 RF 회로 개념 정복	231	Chapter 01	Amplifier (증폭기)
	237	Chapter 02	Oscillator (발진기)
	249	Chapter 03	PLL (Phase Locked Loop)
	266	Chapter 04	Mixer (혼합기)
	281	Chapter 05	Frequency Doubler/Multiplier (채배기)
	287	Chapter 06	Filter (여파기)
	298	Chapter 07	Duplexer/Diplexer
	304	Chapter 08	Coupler/Divider
	317	Chapter 09	Isolator/Circulator
	327	Chapter 10	Antenna (안테나)

RF란 무엇인가?

RF = 무선 (Wireless)

거두 절미하고, RF 니 뭐니 하는 건 우선 '무선 (Wireless)'의 무언가를 말하고 있습니다. 무언가를 전달하거나 감지 하는데, 전선 같은게 필요없이 그냥 선 없이 처리 가능하다는 것이지요. 우리 주변에 무선으로 동작하는 것은 사방에 널려 있기 때문에, 일반인에게도 무선이란 단어는 친숙한 단어입니다.

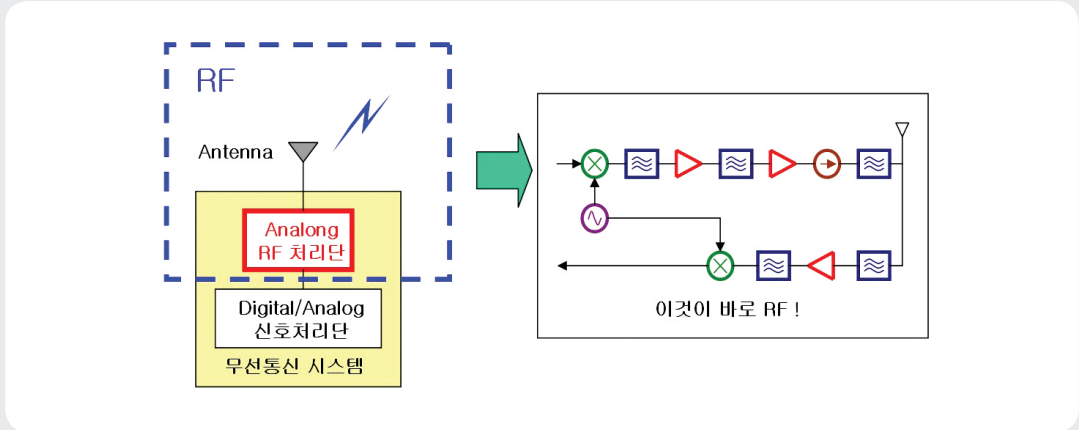
- 누구나 가지고 다니는 핸드폰
- 집에서 흔히 사용하는 무선전화
- 무선 자동차 시동기 (일명 삑삑이)
- 버스카드, 교통카드, 신분증 태그
- 쇼핑센터의 무선 RF 바코드 태그
- 텔레비전, 라디오, 방송
- GPS, 위치인식
- 일기예보 (기상 레이더)

위에 열거한 것들은 현대인이라면 누구나 소지하거나 접하는, 아주 흔한 것들이죠. 즉 RF가 뭔지 모른다 해도 무선이란 개념에 대해선 너무 익숙해서 그다지 신기해하는 사람도 없습니다.

기술적 배경을 모르는 일반인에게, 무선하면 제일 먼저 떠오르는 게 뭐냐고 물어보면 대부분 비슷한 답을 하게 됩니다. 바로 "안테나" 이죠. 안테나는 무선기기에서 가장 티나게 밖에 나와 있는 녀석이다보니 누구에게나 친숙한 RF component가 되었지요.

하지만 안테나가 무선 RF의 전부일까요? 당연히 그럴리가 없겠죠. ^^;

물론 안테나는 매우 중요한 부품인 것은 사실이지만, 무선시스템의 일부 일뿐입니다. 그저 특성상 잘 보이게 밖에 달아야 하는 경우가 많기 때문에 대표적인 상징처럼 여겨질 뿐, 진짜 핵심은 바로 안테나를 포함한, 그 밑에 연결된 무선 주파수 송수신부입니다.



우리가 RF라 부리는 '기술적 영역' 은 바로 저 무선 송수신부 전체를 의미하게 됩니다. 신호를 고주파로 올려서 각종 증폭, 필터링 등의 과정을 거쳐 보내고 받는 정밀한 아날로그 회로단이죠. 안테나와 그 안테나로 전파를 쓰고 받기 위한 각종 회로, 구조물, 주변장치 전반이 바로 RF라 부리는 분야입니다.

주의할 점은, 무선장치 전체를 RF라고 하지는 않습니다. 무선 송수신 장치에는 디지털부도 있고 논리처리부도 있습니다. RF 부는 그러한 데이터를 유선으로 보내지 않고, 무선화해서 보내기 위해 존재하는 각종 **아날로그 신호처리단**을 말하게 됩니다.

무선이라는 시스템을 어떻게 만드는 걸까?

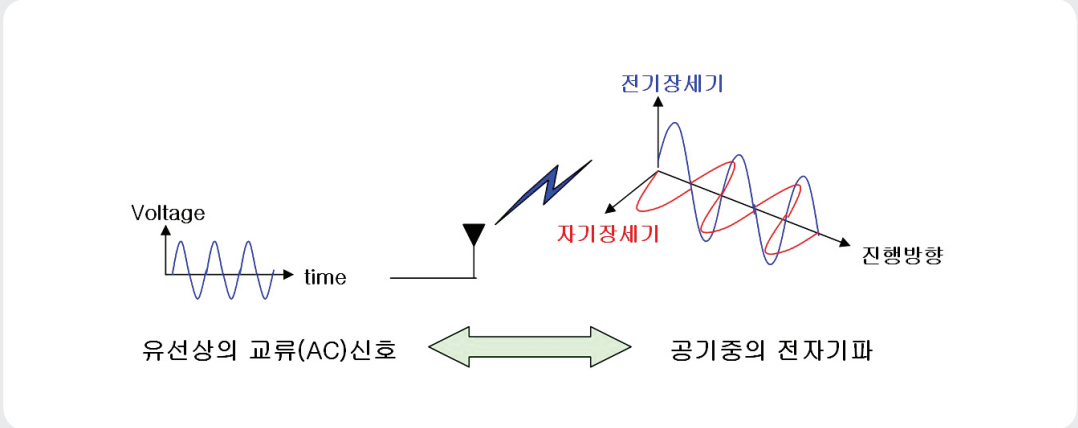
바로 그 해답을 쥐고 있는 기술, 그것을 바로 RF라 부르는 것입니다.

전파 (Electromagnetic Wave)

일단 무선이란게 성립하려면, 전선이 아닌 공기중에 신호를 보내고 받아야 하겠지요. 바로 그러한 역할을 하는게 전파입니다. 학문적으로 정확히 풀어서 정의하면 전자기파 (Electromagnetic Wave)라고 부르는 전자기적 파동에 의해, 정보가 선 없이도 오갈 수 있게 된 것이지요.

공기 혹은 부도체를 매질로 전자기적 파동이 전해지는 이러한 현상을 통해 우리는 무선의 RF 시스템을 구축할 수 있게 됩니다. 이러한 전자기파는 옛~날 Maxwell이란 사람이 이론적으로 수식계산을 하다가 그 존재를 예측했고, (참 똑똑한 양반..) 설마하고 그걸 연구하던 Hertz 란 사람이 실험을 통해 전자기파가 존재함을 증명했습니다. 그 뒤에 상업적 해안이 밝은 사업가인 Marconi란 사람이 무선전신을 성공시켜 상업화에 대성공시키면서, 전파란 존재는 아주 친숙한 존재가 되어 버린 것이죠.

실제로, 눈에 안보이는 전파로 신호를 변환해서 보내고 받는 안테나 이외의 부분은, 모두 선로로 연결된 유선회로입니다. 안테나 밑에 위치한 송수신부의 각종 회로들은 하나하나 전송선로를 이용해 물리적으로 연결됨으로써 시스템이 구성되고 있지요. 안테나는 이러한 유선상의 교류 (AC) 신호를 전자기파로 변환해주는 역할, 또는 그 반대 역할을 하고 있습니다.

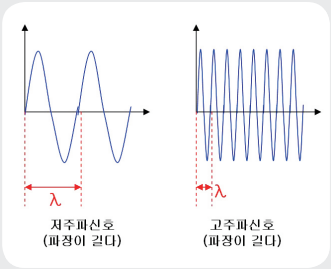


그래서 어찌보면, RF 시스템에서 직접적으로 전파와 관련된 장비는 안테나 뿐입니다. 나머지는 밑에서 유선으로 동작하는 평범한 전자회로 처럼 보이는데.. 결국 그냥 그런 유선 전자회로랑 그게거그 아닌? 라는 생각이 들지도 모릅니다. 과연 그럴까요?

RF회로가 다른 전자회로와 구분지어 설명되고 특별한 놓쳐림 다루어지는 이유는, 전파를 다루는 무선회로라는 점 때문이 아닙니다. 더 큰 이유는, 바로 아래에 설명되는 문제 때문입니다.

고주파 (High Frequency)는 어려워!

실제로 RF가 특수하다거나, 어렵게 느껴지게 되는 가장 큰 원인은, RF에서 다루는 주파수가 매우 높은 고주파가 많기 때문입니다. 주파수가 높으면 파장이 짧아지고, 그 때문에 선로간 간섭도 심해지며 선로길이 하나하나가 회로소자로 동작해 버리면서 설계가 점점 까다로와 집니다.



저주파에서는 회로가 설계된대로 동작되는 경우가 많습니다. 특히 디지털의 경우, 많은 특성을 미리 예상해서 거의 적중시킬 수 있습니다. 하지만 고주파 아날로그 RF에선 얘기가 좀 다릅니다. 설계된 그대로 동작하는 경우가 오히려 드물지요. 그래서 RF에는 제작 후에 특성을 조율하는 단계인 '튜닝' 이 아주 필수적인 코스가 되어버립니다.

그렇다면 왜 이렇게 힘들게 고주파를 써야만 할까요??

이 문제는 각종 교재에 잘 설명되어 있고, 여러 가지 답이 존재합니다. 성능적 문제, 에러에 강하게 하기 위한 내성 문제 등등.. 하지만 아주 근본적으로 피할 수 없는 현실적 제 1 원인이 있습니다.

같은 지역, 같은 주파수에서 동시에 여러 신호가 겹치면 바로 '혼선' 이 발생해 버리게 되지요. 마치 내가 전화하는데 남의 전화소리가 치고 들어와서 혼선이 일어나듯이..... 물론 CDMA와 같은 고성능 디지털 변복조 시스템에선 같은 주파수 대역에서 수십명까지 동시에 통신이 가능하지만, 특수한 경우입니다.

기본적으로 동일한 공간에서 종류가 다른 신호는 서로 다른 주파수를 써야만 합니다. 이 정도는 일반인 및 초보자도 쉽게 이해할 수 있습니다. 하지만 문제는, 주파수를 사용해야 할 무선장치는 수도 없이 많은데 주파수라는 것은 제한되어 있다는 점입니다.

TV, 라디오, 인공위성, 핸드폰, 삐삐, 무선전화, 무전기 등등 무선장비는 수도 없이 우리 주변에 많은데, 새로운 주파수를 할당하려 하다보면 점점 더 높은 주파수를 쓸 수밖에 없게 됩니다. 이러한 주파수 자원부족에 대한 문제는 성능이 아니라 이론이 아니라 따질 필요도 없이 현실적으로 제한되는 문제인 것이지요.

예를 들어 Cellular 이동전화 (011,017)는 800MHz 대에서 사용주파수가 정해지고, PCS (016,018,019)는 1.8GHz에서 정해졌습니다. 하지만 단순히 주파수의 회절이나 투과, 전파거리등에 의한 통화품질을 놓고 본다면 낮은 주파수인 800MHz가 유리한 점이 많습니다. 그렇다면 왜 PCS 서비스는 1.8GHz를 선택했을까요? 그렇죠. 답은 간단합니다. 한참 나중에 출범한 이동통신 서비스가 쓸만한 주파수대역으로 남은게 그 주파수였으니까요 ^^;

물론 실제로 저렇게 단순하게만 정한 것은 아니지만, 어쨌든 시스템이 발달할수록 저주파쪽은 더 이상 쓸 주파수대가 남아있지 않아서 점점 높은 주파수로 올라가서 쓰는 수밖에 없게 됩니다.

그러다 보니 자연~스럽게 고주파 신호처리에 대한 기술이 점점 발달될 수밖에 없습니다. 역으로, 고주파 RF 기술이 점점 더 발달됨에 따라 높은 주파수를 활용하는 것이 점점 더 쉬워지게 된 것이기도 하구요.

물론 고주파가 된다고 단점만 있는건 결코 아닙니다. 회로나 시스템 자체를 만들기가 어렵긴 하지만, 주파수가 높기 때문에 파장이 짧은 점을 이용하여 안테나나 회로를 좀더 작게 만들 수 있습니다. 그때문에 시스템을 작게 만들기 위해서라도 고주파가 유리해서 선택하는 경우도 많습니다. 여러분 주변에, 800MHz를 사용하는 011 핸드폰과 1.8GHz를 사용하는 016 핸드폰의 안테나를 뽑아서 길이를 한번 비교해보세요. 파장이 짧은 016 쪽이 안테나가 더 짧다는 것을 확인할 수 있습니다. (안테나로 귀를 파는 행위는 삼감시다) 또한 고주파에선 어쩔 수 없이 넓은 대역폭을 사용하게 되는데, 그 때문에 부수적으로 더 많은 양의 데이터를 전송할 수 있는 능력도 겸하게 됩니다.

고주파 회로에서는 일반 저주파 전자회로 개념에 $+ \alpha$ 가 필요합니다. 맘먹은대로만 안되기 때문에 다른 어떤 분야보다도 노하우가 중요하고, 설계 자체보다 실제에서 어떻게 구현하느냐가 더욱 어려운 분야가 바로 RF이지요. 정말 정상적으로는 예측하기 어려운 요상한 문제들을 많이 만나게 됩니다.

다르게 말하면, RF는 참으로 다른 어느 분야보다 노가다가 많이 필요한 분야입니다.. -.,-

Radio(라디오)

자, 이번엔 단어의 어원도 한번 풀어헤쳐 보겠습니다. RF는 Radio Frequency의 약자입니다.

말만 들어선 라디오의 주파수처럼 해석됩니다. 그렇다면 89.1MHz는 KBS, 91.9MHz는 MBC, 95.1MHz는 교통방송... 이런 라디오 주파수를 말하는 걸까요? 의외로 처음들었을 때 이런 생각을 하시는 분들이 여럿 계시더군요.

어원부터 꼼꼼하게 짚고 넘어가도록 하겠습니다. 우선, 두산대백과 사전의 정의에 의하면 Radio의 정의는 아래와 같습니다.

라디오 (Radio)

본래는 넓은 의미에서의 무선 전체를 가리키는 말이었으나 이것이 변천되어 전파에 의한 음성방송과 이를 수신하는 기기, 즉 수신기를 가리키게 되었다. 라디오는 사용주파수대에 따라서 중파방송 (표준방송) · 단파방송 · 초단파방송 (FM방송)으로 분류되며..... 어찌구저찌구이러쿵저러쿵 (중략)

그리고 만약 주변에 영영사전이 있으시다면, Radio 라는 단어를 찾아보시기 바랍니다. 아마 이렇게 나와있을 것입니다.

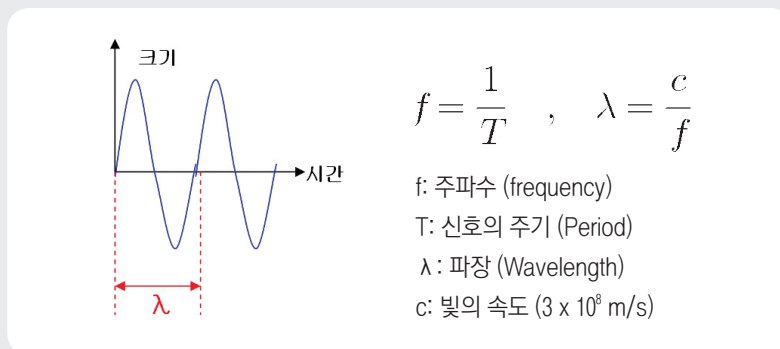
Radio = Wireless

그렇습니다. 애초부터 Radio란 말의 원래 어원은 선 (wire)이 없는 (less), 즉 '무선' 이라는 의미이며, Radiate (전자파, 파동, 열 등을 복사하다) 라는 단어와 같은 어원을 갖고 있습니다.

다시 정의하면, Radio란 말의 근원적 정의는 결국 '무선' 이라는 개념 전체를 지칭하는 것입니다. 우리가 흔히 말하는 전파음성방송을 의미하는 공중파 라디오는, 전파란 것이 처음 알려지기 시작하면서 가장 대중에게 친숙한 무선매체가 되어버렸기 때문에 '라디오 (무선)' 이라는 명칭이 그대로 정착화된 것입니다.

Frequency (주파수)

고등학교 시간에 배우는 파동에 대해 다시 한번 간략히 정의해 보도록 하겠습니다.



모든 신호는 주기적 교류파형 형태를 가지며, 저러한 일정한 sine 파형을 정해진 물로 왜곡 (변조 = modulation) 시켜서 어떤 의미를 담아 전달하게 됩니다.

주기 (T)는 신호가 다시 원래 위치로 돌아오는 시간을 의미하며, 주파수는 T의 역수라서 결국 1초동안 몇 번 진동하느냐? 를 나타내는 진동수입니다. 주파수가 높다는 의미는, 저 위의 고주파 설명 부분에 나온 그림처럼 정해진 시간동안 파형이 훨씬 뽀뽀해진다는 의미가 됩니다.

그리고 파장 (λ : 람다)은 한 주기에 빛의 속도를 곱한, 즉 빛의 속도를 주파수로 나눈 값입니다. 파장이 의미하는 바는 실제의 물리적인 전자기파동의 한주기 길이를 의미하게 됩니다. 아래에 여러 주파수의 공기중 파장을 간단하게 계산한 표를 나타내었습니다.

주파수	파장
100 MHz	3 m
300 MHz	1 m
1GHz	30 cm
2 GHz	15 cm
3 GHz	10 cm
30 GHz	1 cm
100 GHz	3 mm

전자기파 자체는 파동을 의미하기 때문에, 반드시 주파수가 존재합니다. 또한 그 주파수에 따라 참으로 다양한 특성을 나타내게 되지요.

RF (Radio Frequency)라는 말에서 주요한 의미는 사실 'Radio' 라는 단어에 몰려있습니다. 무선을 의미하는 Radio와, 주파수를 의미하는 Frequency가 합쳐진 RF (무선주파수)라는 말은, 결국 가장 핵심이 되는 이 두 개념을 적당히 버무린 단어입니다.

Microwave & Millimeter wave

RF 분야에서 Microwave (마이크로웨이브)라는 말을 자주 접하게 되는데, RF와 Microwave의 차이가 뭔지 모르겠다는 분들도 많습니다. 다시 정의한다면, RF는 어떤 무선장비분야를 통칭하는 기술분야입니다. 그에 반해 Microwave는 특정한 주파수 대역을 일컫는 주파수 명칭입니다.

통상 고주파라 많이 불리우는 Microwave는 300MHz ~ 300GHz의 주파수 대역을 부르는 학문적 용어입니다. 실제로 Microwave가 고주파 대역자체를 지칭하는 말이기 때문에, 결국 마이크로웨이브 = 고주파 라는 식의 해석으로 용어가 사용되는 경우도 많습니다.

여기서 Micro (마이크로)의 의미는, 파장이 매우 작아진다는 의미입니다. 간혹 파장이 마이크로미터 (μm) 단위여서 그렇게 부르는거 아닌가 혼동하시는 분들이 있는데, 절대 아닙니다. 그냥 파장이 작다는 의미로 쓰인 접두사입니다. 이러한 Microwave 주파수 대역은 범위에 따라 여러 가지 band 명칭이 있는데, 아래와 같습니다.

Millimeter Wave ↓	기타	300 Mhz
	L-band	1 Ghz
	S-band	2 Ghz
	C-bnad	4 Ghz
	X-band	8 Ghz
	Ku-band	12 Ghz
	K-band	18 Ghz
	Ka-band	26 Ghz
	U-band	40 Ghz
		60 Ghz

RF쟁이라면 주파수 범위에 따른 명칭들을 알고 있으면 도움이 많이 될 것입니다. 일반적으로 이동통신은 현재 L band 에서 중점적으로 이루어지고 있고, S band에서는 차세대의 여러 통신이 준비되고 있습니다. C band나 X band 쪽 되면 주로 위성통신용으로 많이 사용되고, 그이상의 주파수 Ku, K, Ka band는 위성, LMDS, 군사용 등 분야에 적용됩니다.

반면, Millimeter wave라는 용어가 있습니다. 여기서 밀리미터 (mm)는 정말로 파장이 mm 단위급인 주파수를 말합니다. 1GHz에서의 공기중 파장은 30cm입니다. 10GHz의 파장은 3cm, 30GHz의 파장은 1cm가 되어, 30GHz가 넘어 가면 파장이 cm 이하의 mm단위로 내려가 버리게 되죠. 바로 그래서 30GHz 이상의 아주 고주파는 Millimeter wave 라는 명칭으로 따로 부르기도 합니다. 즉 Millimeter wave는 Microwave 중에서도 더 높은 대역을 일컫는 별도의 용어이지요.

언뜻 보면 Microwave는 Millimeter wave보다 더더욱 파장이 작은, 즉 파장이 mm단위가 아니라 μm 라서 더욱 높은 고주파를 부르는 말인 줄로 혼동하는 경우를 종종 봅니다. 다시한번 정의하지만, Microwave는 매우 작은 파장을 가지는 주파수대역이란 의미에서의 접두사 Micro- 입니다.

그런데 실제로는 30GHz에서부터 딱 잘라서 Millimeter wave 라고 부르지는 않고, 10GHz 후반이나 20GHz 대역 역시 그냥 Millimeter wave에 포함해서 부르긴 합니다. 왜냐면 20GHz나 30GHz나 설계방법, 접근방법 및 측정 방법도 비슷해지기 때문입니다. 하지만 그 이전의 주파수와는 확연히 구분되기 때문에 실제로 20GHz가 넘으면 Millimeter wave 로 칭하게 됩니다.

용어의 정의에만 너무 얽매이면 안되지요~ RF용어에도 다 유도리가 있습니다.

RF란?

RF에서 꼭 기억해야 할 키워드는 아래의 두 단어입니다.

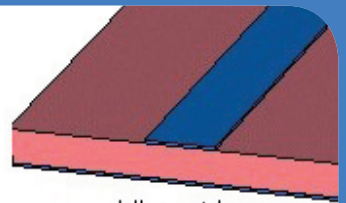
무선 (Wireless) & 고주파 (High Frequency)

결국 RF가 의미하는 것은 아래와 같습니다.

100~300Mhz 이상의 고주파 무선통신 및 고주파를 이용하는 장비설계, 연구 공학분야 일체



Coaxial Line



Microstrip

제 1장 | 원소적 기초

50 옴을 쓰는 이유는?

Microstrip을 왜 쓸까?

Port의 정확한 의미는?

임피던스 매칭을 하는 이유

RF에서 S 파라미터를 쓰는 이유

dB단위는 왜 쓸까?

dB와 dBm은 뭐가 다를까?

the
basic
of

RF

01 ;

50옴을 쓰는 이유는?



RF 설계를 하다보면 거의 웬만한 임피던스가 50옴에 맞추어져 있는 것을 발견할 수 있습니다.

고전적인 정의

원래 microwave engineering에서 전자파 에너지의 전력 전송 (power transfer) 특성이 가장 좋은 임피던스는 33옴, 신호파형의 왜곡 (distortion)이 가장 작은 임피던스는 75옴 정도이죠. 그래서 그 중간정도가 49옴 정도인데, 계산의 편의성을 위해 50옴을 사용하게 되었다고 하지요.

50옴의 의미

실제로 50옴이 가지는 의미는 '기준점'입니다. 고주파에서 임피던스는 신호 부하에 아주 중요한 역할을 하게 되지요. 그러한 임피던스가 연결단에서 서로 조금이라도 안맞으면 신호의 반사가 발생합니다. 그래서 늘상 임피던스 매칭을 해야 하며, 이것때문에 머리아프죠. 그렇다면 암묵적으로 일단 기준 임피던스를 만들면 어떨까요? 그런 생각에 50옴이라는 기준점이 생기게 된 것일 겁니다. 모든 회로의 입력단과 출력단을 50옴으로 만들어준다면 연결할때마다 일일이 임피던스 매칭을 할 필요가 없겠죠! 편리하죠? 실제로 50옴이 가지는 의미는 바로 이러한 기준점을 만들어서 증폭기, 필터 등의 회로를 만든 후 연결할 때 편하자고 쓰는 것이지요.

75옴은 왜?

그런데 가끔보면 기준이 75옴인 경우가 있습니다. 이것은 전력전달성능보다는 신호왜곡을 최소화하기 위한 경우에 쓰이지만, 주로 안테나, 주중에서도 TV 안테나 같은 다이폴 관련 안테나에서 쓰입니다. 다이폴 안테나는 그 길이가 0.473λ 파장, 즉 보통 반파장일때 주변의 리액턴스 성분이 0이 되는데, 그때의 임피던스가 73.XX 옴이 됩니다.

그래서 그런 안테나에서 나오는 케이블들은 75옴 동축선로인 경우가 많습니다. 그런 이유로 케이블 TV 시스템에서도 선로 임피던스를 75옴으로 사용하기도 하구요. RF 시스템에서 대부분의 선로는 이러한 연유로 50옴 아니면 75옴을 사용하게 됩니다.

다른 임피던스를 쓰면 안되남?

물론 이런 질문이 나올 수 있죠. 전체 시스템 회로단을 50옴이 아니라 40옴으로 전부 기준 설계하고 만들어도 되지 않느냐.. 당연히 됩니다. 그만큼 동작 잘 할 수 있습니다. 물론, 혼자서 다 만들어야 겠죠.. 다른 것과 호환이 안되니까요. 다른데 쓰려면 임피던스 매칭을 해야하고.. 또한 맨 위에 언급되었듯이 나름대로 최적의 임피던스로 잡아놓은 것이 바로 50옴이기 때문에, 굳이 바꿀 필요가 없겠지요?

추가설명

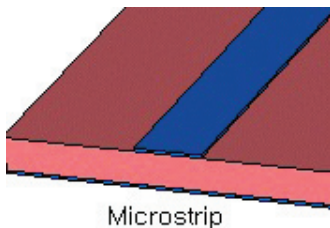
(1) 고전적으로는 회로망의 분석 및 이해는 임피던스나 어드미턴스를 아는 것이었습니다. 임피던스나 어드미턴스를 측정하기 위해서는 회로망의 입출력을 open이나 short로 유지하는 것이 필수적입니다. 그러나 주파수가 높아지면 양질의 open이나 short를 만드는 것이 불가능해집니다. 또한 고주파소자에서는 입출력단이 open이나 short가 되면 발진 가능성이 상당히 높아지며 발진이 되는 경우에는 대부분 측정이 불가능해집니다. 50옴의 경우에는 저항성 termination이므로 발진 가능성이 훨씬 줄고 또한 고주파까지 임피던스를 유지하기가 상대적으로 유리합니다. (Gonzales)

(2) 측정 시 DUT (device under test)와 계측기 사이에 interconnection line이나 측정 probe 에 의한 기생성분을 deembedding하여야 하는데 impedance나 admittance로는 기술적이나 수리적으로 어려운데 반하여 transmission line 이론에 의하면 정합된 회로는 line delay만 보정하면 됩니다. 물론 NWA 를 사용한 분들은 잘 아시겠지만 S-파라미터를 사용한 deembedding 기법도 정교한 standard를 필요로 하는 단점은 있습니다.

(3) 잘 아시겠지만 impedance나 admittance는 전압과 전류전달 특성을 최적화하는데 적합하며 이는 source와 load termination에 따라 값이 바뀌므로 소자가 cascade로 연결되었을때 전체성능을 예측하는 것이 불가능합니다. 실제로 RF 대역의 소자는 전류 또는 전압이 아니라 전력을 전달하는 것이 주 목적이므로 50옴이 아니더라도 특성 임피던스를 통일해서 사용하는 것이 절실히 필요한데 그 이유는 정합된 회로에서 전력 전송이 최대화되는 특성을 이용하기 때문입니다. 이 경우에 각각의 전력 이득의 합이 (dB 스케일로) 전체의 전력 이득의 합이 되므로 (약간의 미스매치에 의한 오차를 무시하면) 시스템 budget 설계가 가능하게되는 부수적인 편리함이 있습니다.

02;

Microstrip을 왜 쓸까?



보통 300Mhz 대역 이상이 되면 점차 일반 PCB가 아닌 Microstrip구조를 고려하게 됩니다. 900Mhz 정도면 Microstrip 구조의 회로를 주로 생각해야 되지만, 이런저런 이유로 회로구조가 아주 작다면 Microstrip가 아닌 일반 PCB 형태로 만들기도 합니다. 그렇지만 Ghz대역을 넘어서기 시작하면 어떤 식으로든 Microstrip형태가 아니면 구현이 매우 어려워 집니다. 왜냐구요? 이제부터 그 이유를 알아봐야죠. 어쨌든 Microstrip은 고주파 RF에서 가장 기본적으로 쓰이는 기판이라는 점 기억하시길.

Microstrip은 일반 PCB와 무엇이 다른가?

엄밀히 말해서 Microstrip은 PCB의 한 형태일 뿐입니다. 자세히 보지 않으면 보통 전자회로 기판과 그 차이를 잘 모를 수도 있죠. 바로 그 일반 PCB와 Microstrip의 차이를 알면 그게 곧 Microstrip을 쓰는 이유와 직결될 것입니다.

저주파대역에서 사용되는 일반 PCB에서는, 각소자와 소자간의 패턴 (레이아웃), 즉 선로의 형상이나 길이에 의해 그 회로가 영향을 받긴 합니다. 주로 안정성과 동작 예러와 관련된 부분에서 영향을 주게 되며, 주파수가 올라갈수록 선로간의 간섭이 심해지기 때문에 소자배치를 어떻게 하느냐가 아주 중요한 관건이 됩니다.

고주파대역에선 선로의 형상이나 길이가 엄청나게 아주아주 무지막지하게 회로 성능에 영향을 줍니다. (강조! 강조! 강조!) 여러 번 설명되었지만 파장이 짧아서 선로의 위치마다 전압과 위상이 오락가락하기 때문이죠. 좀더 강하게 말하면, 선로의 형상과 길이가 회로에 '영향'을 주는 정도가 아니라, 동작 성능과 기능 모든 것을 '결정'하게 됩니다.

저주파 PCB를 설계하던 사람이라면, 전체 회로도들 짜고, 부품을 적당히 배치하고, 그 부품들을 연결할 PCB line을 CAD tool등을 이용하여 적당히 정하겠죠. 고주파대역에선 이런 방법 순서가 씨가 먹히지 않습니다. 우선 전체 회로도를 짜되, 회로도 구성에서부터 각 부위에 얼마만한 폭과 길이를 가진 선로를 어떤 모양으로 사용할 것인지 미리 아주 확실하게 결정합니다. 그 회로 결과값 자체가 바로 layout으로 되어 곧바로 회로제작에 들어갑니다.

아마 회로를 만들어보신 분이라면 이게 무슨 말인지 쉽게 알 수 있을 것입니다.

바로 이러한 이유로 고주파 설계가 힘들다.. 라는 말이 나오는 것이지요. 아주 처음부터 RF설계를 배운 사람이라면 모르지만, 저주파 설계를 하던 사람이 고주파 설계를 처음 시작할때 매우 당황스러워 하는 부분들이었습니다. 개념자체가 다르니까요.

예를 들어 L을 구현한다 했을때, 저주파에선 L소자를 사서 달겠지만, 고주파에선 일반적으로 보통 선로의 길이를 길게 해서 그 길이값으로 L을 구현하게 됩니다. C소자 역시 stub이나 gap을 의도적으로 선로에 포함시켜서 소자 대신 표현하기도 합니다. 그래서 고주파 회로를 처음 보면 약간 황당하게도 아무런 C나 L소자를 실장하지도 않았는데 회로가 되기도 합니다. (잠깐 상식! 선로의 길이가 길어지면 L소자처럼 동작하며, 고주파가 될수록 L값이 높아집니다.)

바로 이렇게 고주파에선 패턴 콘트롤을 통해 회로를 설계할 방법이 필요한데, 그러한 설계법에 최적화된 PCB형태를 Microstrip이라고 부릅니다. 또한 이렇게 패턴 콘트롤을 해야 할때 가장 중요한 것은, 바로 signal-ground 사이의 매질 형태입니다.

Signal - Ground 사이의 매질 조건

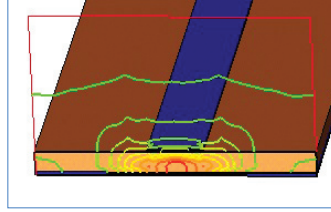
이것이 바로 일반 PCB와 Microstrip의 근본적인 차이입니다. 신호선과 GND (접지) 선과의 관계이죠.

일반 PCB에서는 신호선과 GND 선 (또는 판) 간의 거리나 위치에 상관없이, 모든 신호선들이 정확히 GND를 공유하 기만하면 됩니다. 만약 이 말도 이해가 가지않는 회로설계 미경험자라면, 사실 Microstrip을 이해하는 것도 힘들 수 있습니다. 더더더욱 쉽게 설명한다면, 아마 대부분 PC의 메인보드나 사운드카드 등등의 전자회로들을 보셨겠죠? 전자쪽 전공하신 분이라면 실험이나 최소한 회로기판을 구경이라도 해보셨겠죠? 그런 회로들은 가만히 들여다보면 각각 GND의 점 위치나 판 위치 크기 이런 게 제각각 입니다. 각각의 신호가 신호선과 GND 양단에 연결만 되면 되기 때문입니다.

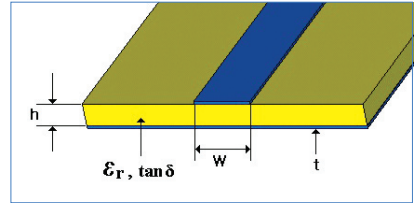
그런데 주파수가 계속 올라가게되면, 그 신호선과 GND 사이에 교류에너지가 집중되면서 field가 형성되기 시작합니다. 일반 저주파 PCB에서는 신호선과 GND 사이에 또다른 신호선과 소자 등 많은 것들이 가로막고 있기 때문에 점차 신호선~GND 간의 배치 문제가 어려워집니다. 보통 GND와 신호선을 기판의 한쪽면에 한꺼번에 올리는 경우가 많으므로, 이문제를 해결하기 위해 GND는 특별히 회로 뒷편으로 넘기기도 하죠. 그렇게 하면 양면으로 복잡한 패턴이 그려진 양면 PCB가 되고, 실제로 그렇게 많이 설계하지요. (지금 아무 회로판이라도 있으면 한번 뒤집어서 보세요)

급기야는 주파수가 수백Mhz로 올라가면서 신호선과 GND 사이의 선로,매질,물질의 문제가 점점 더 복잡한 영향을 주기 시작합니다. 자꾸만 신호선~GND 사이에 교류 에너지가 집중하기 때문에 방해물에 대한 영향이 커지기 때문이죠. 그렇다면 어떤식으로 해결할 것인가?

그래서 생각한 것이 앳사리 기판 아랫면은 아예 금속으로 완전히 덮어버리고, 윗면에는 GND 없이 신호선만 배치해 버리는 겁니다. 오호라~ 그렇다면 이제 신호선과 GND 사이에는 오로지 기판만이 존재합니다! 이렇게 하면 수백Mhz에서도 잘 동작하지요. 그렇지만 이렇게 만들고도, 계속 주파수가 올라가서 Ghz대에 근접하면 또 다른 문제에 도달합니다. 아무리 신호~GND 사이에 기판만 존재시켜서 그 사이에 방해물 없이 교류신호가 걸린다고는 하지만... 뭔가가, 뭔가가 이상해집니다.



바로 초고주파가 되면서 신호선 ~GND 사이에서 신호의 거의 모든 에너지 성분이 교류필드 형태를 이루면서 진행된다는 점입니다. 즉 단순히 GND와 신호선 사이의 물질을 제거하는 것만이 아니라, 그 사이에 들어가는 매질 (즉 기판유전체)의 조건이 완벽하게 일정해야 한다는 문제가 발생하지요! 예전에는 신호선과 GND 사이에 걸리적 거리는 소자나 선로가 문제였지만, 초고주파에서는 그 기판의 높이나 유전율까지 정확히 일정해야 한다는 것입니다. 저주파에서처럼 신호선 GND간의 거리를 맘대로 조정하면 회로의 성능이 확확 변해버립니다. 거의 모든 에너지가 바로 그놈의 신호선 ~ GND 사이에 걸려버리니까, 그사이의 물질에 무지하게 민감하게 반응하게 되니까요.



그래서 결국 탄생한 형태가 Microstrip입니다. 맨 아래에는 GND 금속으로 완전히 코팅되어 있으며, 중간 유전체의 높이와 유전율이 명확하게 정의되어 있으며, 그 높이/유전율 조건에 맞추어 맨 윗면에 신호선을 배치하면서 회로를 구성하게 만든, 그런 형태의 기판을 바로 Microstrip이라고 부르는 것입니다. 일단 Microstrip 기판을 선택하면, 그때부터 빠도박도 못하고 그 기판 수치값에 맞게 윗면에 회로 사이즈와 형태를 결정할 수 밖에 없습니다. 저주파에선 일단 회로를 설계하고 기판을 구하지만, 고주파에선 일단 기판을 선택해야 제대로 회로설계가 됩니다. 큰 차이죠..

결론

어쨌든 **Microstrip은 왜 사용하느냐?** 라는 질문은 이렇게 대답할 수 있을 것입니다.

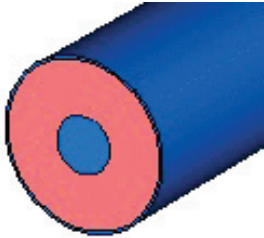
- 고주파에선 신호선과 GND 사이에 대부분의 에너지가 집중된다.
- 신호선과 GND 관계를 명확하게 고정하고 설계하기 위한 기판 구조가 필요하다.
- Microstrip 선로 구조가 아니면 고주파 필드 에너지를 모아서 보내기 힘들다!

사실 어느 책을 봐도 Microstrip을 왜 쓰는지에 대한 설명은 별로 없습니다. 너무 당연시하게 사용해서일까요? 최근에는 PC의 CPU도 거의 Ghz대에 도달하고, 100Mhz의 패스트 이더넷말고도 그 다음 규격인 300Mhz, 수백Mhz대의 시리얼 버스규격인 IEEE1394, 또 Ghz 이더넷 랜 시스템 등이 각계에서 연구중입니다. 이런 분야에서도 정상적인 전자회로 설계로는 정확한 동작을 기대하기 힘들기 때문에, 점차 Microstrip 형태의 기판구조로 가고 있습니다.

위 내용은 전자회로 구성에 경험이 전혀 없는 분이 보면 여전히 뜬구름 잡는 얘길지도 모릅니다만, 적어도 RFDH에서 그 정도 초보자부터 이끌기는 무리일겁니다. 나름대로 쉽게 설명했지만, 여전히 이해가 안가는 부분이 있더라도 실제 개발을 하면서 조금씩 그 개념을 완성해 나가시기 바랍니다.

03;

Port의 정확한 의미는?



Coaxial Line

처음 RF를 접하는 사람들이 port라는 단어를 생소하게 여기는 경우가 많은 것 같습니다. 영어 사전에 보면 '항구'라고 나와 있죠? 항구라 하면 배가 들어가고 나오는 곳이지요. RF에서 port 역시 신호가 들어오고 나오는 곳을 그렇게 부릅니다. 그런데.. 저주파 설계를 자주 하시던 분이시면 약간 의아한 생각이 들겁니다. 왜 RF에선 입출력단을 'port'라고 부르는가? 실제로 저주파에서 전자회로 입출력단을 port라 부르는 경우는 별로 없습니다. 보통 단자 혹은 terminal로 부르는게 더 일반적이지요. 그렇다면 단자와 포트의 차이는 무엇인가라는 생각이 들지 않습니까?

일상에서의 예

보통 TV뒤에 보면 비디오와 주변 기기를 연결하는 단자가 있습니다. 바로 그거죠! '단자'라고 부르는 이유는? 실제 오디오나 비디오 연결잭은 단자라고 부르게 되는 이유가 뭘까요? 모양도 비슷한데 왜 '포트'라고 부르지 않을까.. 이런 의문이 들게 됩니다.

그런데, 보통 LAN 같은 경우 입출력 부분을 '단자'라는 용어보다 '포트'라는 용어를 쓰게 됩니다. 그다지 고주파도 아닌데 왜 이걸 또 멀티 포트니 5-포트니 하는 식으로 부르게 될까.. 역시 궁금해집니다. 그냥 선이 많아서 일까요?

공학적인 구분

단자나 포트는 일반적으로 구분할 수 있는 식의 말은 아니죠. 공학적으로 구분해야 합니다. 그럼 일단 오실로스코프를 가정해보지요. 저주파회로는 오실로스코프의 probe (측정용 탐침)를 그냥 갖다 대면 전압파형이 측정됩니다. 하지만 아시다시피 초고주파 RF에서는 그런 측정방법이 먹히지 않습니다. 그것에 대한 이유는 여러가지로 게시판에서 거론되었지요. 고주파에서는 교류전류측정이 매우 어려운 일이기 때문이라고 할수도 있고...

그렇다면, 이렇게 단순히 probe를 갖다 대는 것만으로 측정이 어려운 단자를 '포트'라고 부르는 것인가? 라는 의문이 생깁니다. 어느정도 맞는 말입니다만, 여기서 실제 '포트'의 정의는 무엇인지 알 수는 없습니다. 또한 비슷한 관점에서 DC 신호의 끝단은 '단자', AC 측정의 끝단은 '포트'라고 알고 계신 분도 있을 겁니다. 분명히 그것도 틀린 정의는 아닙니다.

Port 란?

본문입니다. 일반적으로 '포트' 라 불리우는 것은, **신호선 + GND가 일정한 조건으로 유지되는 교류단자의 한 종류**를 말하는 것입니다. 동축선의 예를 든다면, 동축선 (coaxial cable)은 중심도체와 외곽도체사이에 일정한 유전체를 삽입 하여, 단면에서 보았을 때 하나의 신호가 완전하게 전송될 수 있게 되어 있습니다. RF에서 신호를 전송하기에는 왼쪽 과 같은 동축선 구조가 적합하고 무난하기 때문에 가장 많이 쓰이게 되죠. 일반적인 단자라고 부르는 것은, 그냥 금속 선의 끝 또는 중간부위를 말합니다. 그것은 보통 GND가 아닌 신호선만을 지칭하며, 그런 이유로 DC와 저주파에서 통 용되는 말입니다.

앞부분의 'microstrip' 은 왜 쓰는가? 라는 단원에서 계속 강조된 것이 무엇인가요? 바로 **고주파에서는 신호와 GND 간의 조건이 명확해야** 한다는 점입니다. 즉 신호선과 GND는 저주파에서 처럼 완전히 분리되어선 안됩니다. 고로 초고주파 RF에서는 신호선에 probe를 갖다댄다고 해서 신호파형측정이 잘 되지 않습니다.

그렇기 때문에 입출력단 역시 신호선과 GND가 한꺼번에 연결되어야만 정확한 신호전달 및 측정이 가능합니다. 바로 이렇게 신호선과 GND가 개념적으로 하나로 통일된 고주파용 입출력단을 우리는 'Port' 라고 부릅니다. Microstrip이 건, Stripline이건, Waveguide이건 간에 RF에서는 port의 개념을 통해 완전한 하나의 신호를 보내거나 받게 됩니다.

LAN과 TV단자

그렇다면 왜 LAN 선류는 포트라고 부르느냐? 라는 질문이 생깁니다. LAN선은 특성상 GND선을 따로 쓰다기 보다는 두개의 신호선에 balanced 신호를 인가하고, 그 선로를 서로 꼬면서 진행하게 되어 있습니다. 즉 단자하나만 딱 연결 하면 그 안에 GND와 신호선이 포함된, 즉 완전한 하나의 안정된 신호원을 받게 되어 있습니다.

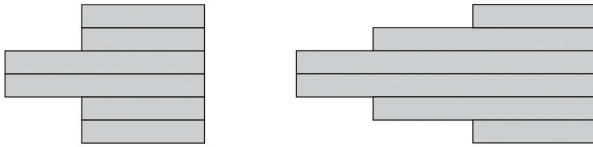
또 왜 TV의 뒷편에 달린 것은 왜 단자이나? 실제 오디오와 비디오는 각각 GND와 신호선이 포함된 형태이긴 합니다. 하지만 그것은 단지 한선에 뭉쳐놓았을 뿐이고, 그 주파수에서 신호선과 GND 간의 문제는 별로 영향이 없습니다. 그리고 실제 비디오와 오디오가 분리되어 연결되기도 하기 때문에 엄밀히 말해서 전달하고자 하는 신호를 분리해서 전달하고 있습니다. 그런 의미에서 보통 포트라는 말보다는 단자라고 말해버립니다.

결론

'Port' 란, 그냥 입출력단을 말한다.. 라고 알고 있어도 사실 설계에 큰 문제는 없습니다. 또한 실제로 포트와 단자는 구분없이 혼용하여 쓰기도 합니다. 다만 이런 개념적인 부분을 이해하고 있으면, 조금이나 마 RF 를 이해하고 접근하는데 도움이 될 것입니다.

04;

임피던스 매칭을 하는 이유?



RF를 오래 하다보면 이런 질문이 우문처럼 들릴 수 있습니다. 하지만 경우에 따라 누군가에게 매우 궁금한 질문이 될 수도 있겠죠. 임피던스 매칭은 원래 당연히 해야하는 것이지, 왜 하느냐의 문제가 아니라고 봐야 하겠지만, 만약 아직까지 임피던스 매칭의 전반적 개념에 대해 아리까리한 사람은 이 글에 나온 다양한 설명을 참조하여 개념을 익히기 바랍니다. 즉 이글은 숙련자가 보시면 하품이 나올지도 모릅니다..^_^

임피던스 매칭(Impedance Matching)이란?

일단 임피던스의 의미를 알고 있다는 가정하에, 임피던스 매칭 또는 정합에 대해 간략히 정의를 내려보죠. 어떤 하나의 출력단과 입력단을 연결할때, 서로 다른 두 연결단의 임피던스차에 의한 반사를 줄이려는 모든 방법을 임피던스 매칭이라 부릅니다. 보통은 두개의 연결단 사이에 별도의 매칭단 (matching unit)을 삽입하여 두 연결단 사이의 임피던스 차이를 보정해줍니다.

RF에서 임피던스 매칭이란 '중요' 하다는 단어로도 절대 부족합니다. '필수' 또는 당연히 거쳐야 할 문제입니다. 저주파 회로에서 거의 사용하지 않는 개념이라 저주파 설계하시던 분들이 어려워 하는 개념일 수밖에 없죠. 어쨌든 RF에서 임피던스 매칭은, 그 중요성을 논하는 것 자체가 부질없을 정도로 고주파 설계의 원초적 기본중의 기본 그 자체라고 볼 수 있습니다.

당신의 연봉은 얼마?

사실 임피던스 매칭을 해야하는 이유는 아주 당연합니다. 하지만 왜 당연한건지 모르시겠다구요? 여러가지 예를 통해 이해하도록 해보지요.

만약 당신의 모모회사에 취직 인터뷰를 하는데, 그 회사에서 연봉을 1800만원을 제시했다고 가정하지요. 그리고 당신은 2000만원의 연봉을 주면 일을 하겠다고 말합니다. 그런데, 연봉에 대해 더이상의 언급없이 그냥 그 회사에 다니기로 했습니다. 그렇다면 25일 첫 월급날이 되었을 때, 당신은 어떤 연봉에 기준한 월급을 타게 될까요? 1800? 2000?

왜 이런 문제가 발생했는지는 간단합니다. 두개의 다른 주장에 대한 '**협상**' 이 없었기 때문입니다. 보통 협상을 한다면 간단하게 그 중간값이 1900에 연봉을 타결할 수 있겠죠. 바로 이렇게 회로간의 임피던스를 협상해주는 것이 '임피던스 매칭'이며, 위의 예에서 알 수 있듯이 그러한 협상과정이 없다면 전체의 흐름이 예상할 수 없게 되고 양자가 불만을 가지게 된다는 것입니다.

사실 위의 예제는 너무 현실적이라서 여러분의 머리속에서 기계적 회로와 비슷하게 여겨지지 않을 지도 모릅니다. 그렇다면 회로에서 임피던스의 역할을 다시 한번 들여다 볼 필요가 있습니다. 임피던스의 중요한 역할은 바로 **부하 (load)**입니다. 각각의 회로소자와 선로 위치에 얼마만큼의 일 (load)를 분담하느냐를 말하죠. 위의 연봉협상의 예에서, 연봉의 액수란 곧 그 직원의 능력과 '일의 양', 즉 load와 직접적인 관련이 있습니다. 일의 양이 많다면 기본적으로 월급을 더 주는게 연봉제의 기본이니까요.

즉 임피던스 매칭이 안되었다는 의미를 연봉사례로 끌어가면, 받는 월급에 비해 너무 많은 양의 일을 하거나, 적은 양의 일을 하는 식의 의미로 볼수 있습니다. 만약 이렇게 된다면, 본인 또는 주변의 다른 직원들의 불만이 발생할 것입니다. 즉 반대급부가 발생하죠! (reflection)

회로도 똑같습니다. 적절한 load가 걸리도록 입력단과 출력단의 임피던스를 정했을때, 그것이 다른 회로단과 연결될 때 연결부위의 load (임피던스)가 다르면 신호의 반사 (reflection)가 발생하게 됩니다. 다시 말해 업무할당량이 잘 맞지않아 불만이 쌓이고, 회로의 성능이 제대로 발휘되지 못하는 것이지요.

도로 이론

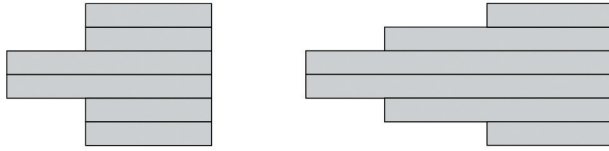
임피던스를 설명할 때 많이 나오는 이론 중의 하나가 바로 도로이론이며, 실제 전기에너지의 흐름과 아주 유사합니다. 도로이론에서 나온 중요한 개념은 도로의 폭 (=임피던스의 크기)과 한꺼번에 일렬로 통과하는 자동차의 통행량 (전류), 자동차의 통행속도 (전압)로 정리됩니다.

자, 선로의 폭이 좁으면 임피던스가 커질까요, 작아질까요? 이것에 대해 확실히 답을 못하는 분이라도, 이것은 아실겁니다. 도로의 폭이 좁으면 차들이 잘 지나갈 수 있을까요, 없을까요? 당연히 통행량이 줄어들고 힘들어집니다. 임피던스의 원어인 impede를 사전에서 찾아보시면, '방해하다'의 뜻입니다. 원래 임피던스의 사전적인 정의는 '전류의 흐름을 방해하는 성분값'을 의미하죠. 즉 임피던스가 높다는 것은 결국 전류나 에너지의 흐름을 적게 만든다는 말이 됩니다.

선로의 폭이 좁으면 임피던스는 커지며, 선로의 폭이 넓어지면 임피던스는 작아집니다. 아주 간단한 원리임에도 불구하고, 아마 이 글을 읽으시는 많은 분들이 '그랬구나 ~ 몰랐는걸' 하실지도 모릅니다. 너무 당연한거니까, 이해하던지 외우시길..

다시 도로이론으로 돌아가서 결국 임피던스가 다르다는 것은 무얼 의미할까요? **도로의 폭이 다르다는 것을 의미하죠.** 실제 운전을 해보신 분은 아시겠지만, 마포에 있는 올림픽도로의 한 줄만 막아도 잠실까지 밀릴 수 있습니다.

즉 도로의 폭이 바뀌면 병목현상이라고 불리는 전형적인 흐름의 정체현상이 발생합니다.



만약에 위의 왼쪽 그림처럼 6차선 도로와 2차선 도로가 바로 만나다면, 아마 그 부분에서 여러모로 교통혼잡이 발생할 것입니다. 하지만 오른쪽 그림처럼 6차선과 2차선 사이에 4차선 구간을 일정길이 추가한다면, 교통의 흐름은 더딜지 언정 교통흐름은 개선될 것입니다. 이것은 임피던스 매칭이 하는 역할을 보여주는 단적인 예입니다. 이런 방법은 실제로 RF에서 사용하는 방법이며, 물론 이것 말고도 매칭법은 여러가지가 있습니다.

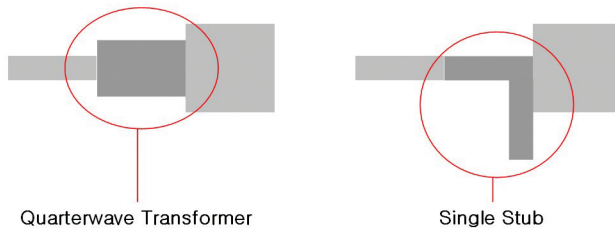
Impedance Transformer (임피던스 변환기)

가끔 임피던스 변환기와 임피던스 매칭이 무슨 차이인가요? 라는 질문을 받습니다. 답은 간단하죠. "같은 겁니다"

임피던스 매칭이 결국 하는 일은 두개의 다른 임피던스단 사이에, 두개의 임피던스를 완화하는 중간적인 그 무엇을 삽입하는 것입니다. 그러므로, 외부에서 볼때는 그러한 매칭단이 양단의 다른 임피던스를 서로 변환해주는 것처럼 보일 수도 있지요. 그래서 그냥 임피던스 변환기 (Impedance transformer)라고 또는 그냥 변환기 (transformer)라고 부르기도 합니다. 같은 거니까 헛갈리진 마시길..

임피던스 매칭은 어떻게 하나?

위에서 여러번 언급되었지만, 임피던스 매칭이란 결국 임피던스가 다름으로 인한 반사손실을 최소화하기 위해, 중간에 양쪽 임피던스를 중재할 수 있는 그 무언가를 넣는 것입니다. 임피던스 매칭을 하는 방법은, 매우 다양한데, 그중에서 RF에서 가장 많이 쓰이는 것은 아마도 **quarterwave transformer**와 **stub** 매칭방법일 것입니다.



이것은 아무 초고주파 공학책에 보아도 잘 나와있으니 반드시 책을 참고로 공부하셔야 합니다.

보는 것으로 '정보'를 얻을 수는 있지만, '지식'을 얻긴 힘듭니다. (이말은 매우 심오한 의미를 담고 있습니다)

Quarterwave transformer는 두 개의 임피던스단 사이에 1/4파장 길이의 중간적 임피던스를 삽입하는 아주 원초적이고 단순한 방법입니다. 대역폭이 매우 좁다는 문제가 있지만, 구현이 아주 간단하기 때문에 여러이 안테나나 몇 가지 RF 회로에서 종종 사용되지요. 대역폭을 늘리기 위해 여러단으로 만들 수도 있지만, 공간을 너무 많이 차지해서 그리 권장 되지는 않습니다.

실제로 가장 많이 사용되는 임피던스 매칭법은 stub을 이용한 것인데, 이것에는 스미스차트라는 RF 필수 그래프를 이용합니다. Stub이란 회로 옆에 수직으로 길게 나온 짧은 선로를 의미하며, 스미스차트를 이용하여 그 길이와 위치를 결정할 수 있습니다. 굳이 이런 stub이 아닌 LC lumped 소자를 직접 땀땀해서 만들 수도 있지만, 1Ghz가 넘어가면 stub 방식을 쓰는게 일반적입니다.

혹시 좀더 기초가 필요한 초심자를 위해 부연설명을 한다면, lumped 소자란 그냥 우리가 RLC라 불리우는 땀땀해서 붙이는 전자회로 소자 전체를 통칭합니다. Stub으로 구현한다는 의미는, 그런 lumped 소자의 L,C값을 증가적으로 선로의 길이와 폭 등의 패턴형상으로 구현한 distributed 형태로 만든다는 것을 말합니다.

결론

사실 RF에서 임피던스 매칭의 목적에 대해 논한다는 것은 실제적인 의미는 별로 없습니다. 왜냐하면 너무나 당연히 해야 할 일이기 때문에, 어떻게 하느냐가 문제일 뿐입니다. 초고주파공학 이란 이름이 붙은 모든 책에서, 여러분들은 여러가지 임피던스 매칭법을 훈련하실 수 있을 겁니다. 특히 stub과 스미스차트를 이용한 임피던스 매칭법을 익히는 것은 백 가지 설명을 듣는 것보다 자기가 직접 혼자서 한번 따라해보기가 훨씬 효과적이라는 것 명심하시길!

05;

RF에서 S 파라미터를 쓰는 이유

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{bmatrix}$$

S 파라미터는 RF/Microwave를 하는 사람으로써 늘상 마주쳐야 하는 가장 중요한 특성값입니다. 자주 쓰는 사람은 무덤덤하게, 즉 익숙하게 사용하지만 처음 고주파를 접하는 분들은 많이 당황해 하기도 합니다. 전압, 전류.. 이런 어떤 전기적 파라미터에 익숙하다가 갑자기 S 파라미터를 쓴다고 하면 "그게 뭐지?" "그걸 왜쓰지?" 라는 의문을 가지기 마련이죠. 그리고 시간이 지나다 보면 S파라미터란게 대충 넘어갈 게 아니라 고주파에서 가장 의미있는 특성값중 하나이며 너무나도 흔하게 널리 쓰인다는 것에 몰들어버릴지도 모릅니다.

이렇듯 RF에서 S 파라미터는 가장 널리 사용되는 특성지표입니다. S 파라미터에 대한 정의는 매우 간단하므로 S 파라미터란을 참조바라며, 이 글은 S 파라미터가 익숙치 않은 분들을 위한 설명입니다. 고로 S 파라미터를 잘 아시는 분은 밤에 잠이 잘 안올 때나 이 글을 차분히 읽으시면 숙면에 도움이 될 듯.. 심심하면 한번 읽어보시구요. (^o^)

S 파라미터 = S 행렬(Matrix)

자, 여기서 간단한 질문을 해 보지요. S31이 의미하는 것이 무엇인가요?

답은 '1번 포트에서 입사된 전압이 3번포트로 얼마나 전달되느냐' 입니다.이렇듯 뒤에 있는 숫자가 입력, 앞에 있는 숫자가 출력 포트를 의미하죠. 무지 간단하죠~

사실은 이것만으로도 S 파라미터의 의미나 사용하는 이유는 극명하게 밝혀집니다. 바로 각 포트간의 전압/전력배 분을 보기 위한 목적이라는 점입니다. 그리고 이것은 모든 포트에 대해 자신을 포함한 행렬로 표현됩니다. 그래서 S matrix(행렬)이라는 표현을 쓰지요. 예를 들어 포트가 3개짜리 소자의 S 파라미터는 아래와 같이 표현될 것입니다.

으흠~ 즉 포트수의 제곱에 해당하는 S 파라미터 갯수가 나오게 되지요. 이렇게 하면 각 포트간에 입사된 전력이 다른 포트로는 얼마가 가느냐가 일목요연하게 나타납니다. 여기서 눈치챌 수 있는 것은 대각선 행렬값은 반사계수를 의미하게 되죠.

그리고 많은 수동소자들은 이 행렬이 reciprocal 하다구 하죠. $S_{21} = S_{12}$, $S_{32} = S_{23}$ 과 같이 대각선 기준으로 위와 아래가 대칭인 경우를 말합니다.

그 의미는 결국 소자에 방향성이 없고 입력과 출력이 바뀌어도 무관한 대칭소자를 말하죠. (그걸 공학에선 영어로 reciprocal하다고 합니다) 특별한 원리가 있는 건 아니므로 자연스럽게 이해하세요.

S 파라미터란 이처럼 원가 입출력단 간의 전력비를 보는거다.. 라는게 감이 잡히시죠?

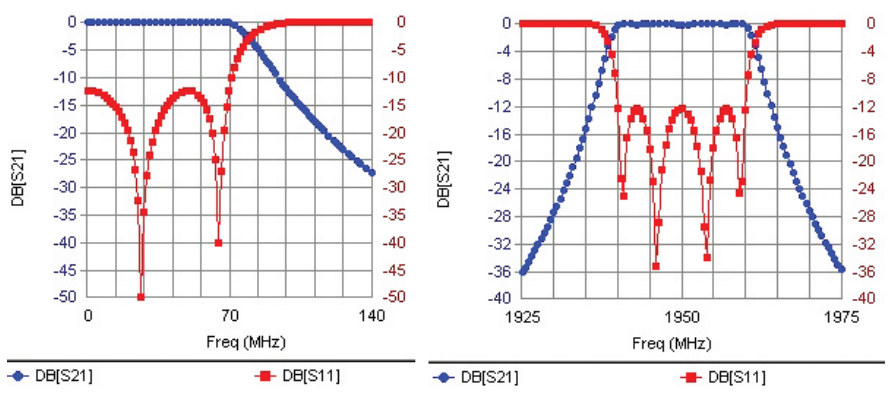
주파수 영역 (Frequency domain) = Spectrum

S 파라미터의 두드러진 특성은 주파수 영역에서 보는 파라미터라는 점 입니다. 보통 저주파회로나 일반 전자회로에서는 전압이나 전류값을 시간축에서 보는 경우가 많습니다. 하지만 고주파에서 관심 있는 것은 시간축 과도응답 보다는 주파수축에서의 동작 결과입니다.

고주파 통신에서는 서로 신호를 보내고 받는 주파수상의 채널의 개념이 굉장히 중요합니다. 어차피 모자른 주파수 자원을 나누어 쓰려면 각 주파수마다 누가 쓸지 정해놓고 서로 지켜가면서 잘~ 나누어 써야겠죠. 그렇게 서로 쓰려고 나누어놓은 주파수 대역단위를 채널이라고 하지요. 이것이 기본이 되기 때문에 주파수영역에서 신호가 어떻게 분포하느냐란 문제와 그것을 어떻게 분포시키느냐 라는 문제가 매우 중요하죠.

자, 예를 들어 간단한 BPF, 즉 대역통과 필터를 예를 들어보지요. 필터에는 group delay와 같은 시간적 개념의 파라미터도 중요하지만, 근본적으로 어느 주파수 대역을 통과시키고 어느 주파수대역을 안 통과시킬 것이냐? 가 가장 중요한 문제일 것입니다.

그렇다면 시간축의 과도응답으로 그것을 알 수 있을까요? 물론 눈썰미 좋은 고수라면 대충 보고 알겠지요. 하지만 정확히 통과 주파수 밴드 형태가 어떻게 나오느냐를 나타내는 숫자는 주파수대역의 플롯을 봐야지만 알 수 있습니다. 아래의 필터 S 파라미터를 볼까요?



빨간게 S11 (반사계수), 파란게 S21 (투과계수)입니다. 아래에는 주파수축으로 나와있지요? 파란게 위로 볼록하고 빨간게 아래로 처진 곳이 결국 그 부분에 해당하는 주파수가 통과되고 있음을 나타내고 있습니다. 이렇게 보는게 훨씬 특성이 잘 보이죠.

저~ 한참 위에 언급한 하나의 S 파라미터 혹은 S Matrix는 분명히 '한' 주파수에서의 결과를 말하고 있는 것입니다. 위의 도표는 그 S 파라미터를 주파수별로 좌-악 구해서 점을 연결한 것이죠. 보다 구체적으로 설명드리면 S 파라미터의 크기 (magnitude) 값을 dB 스케일화하여 나온 숫자를 연결한 것입니다.

이렇게 주파수 영역의 어떤 플롯을 나타낸 것을 spectrum이라고 하죠. spectrum이란 주파수를 가진 파동이 주파수 별로 늘어서 있다 라는 뜻입니다.

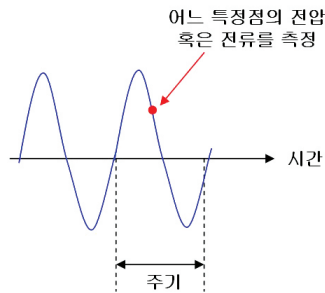
(사전적으로) 빛도 주파수가 무지 높은 전자기파이기 때문에 빛의 분광을 spectrum이라고도 하구요. 스펙트럼.. 침이 좀 튀긴 하지만 왠지 어감이 뭔가 있어보이는 단어죠. 스펙트럼..

S 파라미터는 기본적으로 주파수 영역에서 한 주파수에서의 포트간 입력대 출력비 스펙트럼을 의미합니다. 고주파에서 주파수 영역의 에너지 분포가 가장 중요하다는 점에서 비추어 본다면, S 파라미터를 쓰는 게 아주 당연한 것이죠. 왜냐하면 그 주파수별 동작 특성을 알아보기가 가장 쉬우므로!

측정상의 이유

S 파라미터의 정의 자체는 전압의 비로 나타나지만 결국 그것은 전력의 비를 의미합니다. 그리고 고주파를 다루다 보면 유난히 전류에 대한 언급은 별로 되어 있지 않다는 것을 눈치챌 수 있죠.

고주파에서는 파동에너지, 일종의 전자파 필드로서 에너지가 전달되는 경우가 많기 때문에, 단순히 전하의 이동량을 의미하는 전류에 대한 표현은 매우 어렵습니다. 뒤집어서 다시 말한다면 고주파 회로에서 전류 측정은 매우 난감하고 어려운 문제입니다. 그렇다면 전압측정은 쉬운가? 물론 전류보다는 아무래도 측정이 쉽습니다만, 문제는 주파수가 너무 높다면 그 신호의 주기도 매우 짧아서 어떤 측정 포인트, 즉 타이밍을 잡기가 애매합니다. 최대전압점을 잡으면 되겠지만 그것도 그리 말처럼 쉬우게 아니지요.

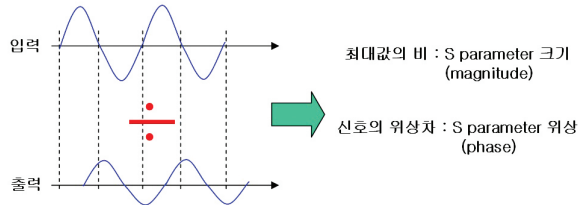


그렇다면 위의 그림과 같이 빠르게 변화하는 신호 전압파동의 값 자체를 측정하기가 힘들다면 어떤 방법이 있을까요? 지금처럼 빠른 주기성 신호의 값을 읽어내는 것은 주파수가 올라감에 따라 측정하는 time step이 아주 짧아져야 하기 때문에 쉽지 않겠죠? 주파수가 올라갈수록 그 주기가 짧아서 정확히 한 point의 어떤 특성값을 잡는다는게 어렵습니다. 실제로는 magnitude, 즉 최대값을 잡지만, 여하튼 어떤 시점의 측정은 어렵습니다.

해결법은 바로 상대적인 값을 잡아 버리는 것입니다! 입력 전압파형이 들어갔을 때 출력 전압파형을 잡고, 그것을 실시간으로 측정하고 그 신호값을 서로 나누게 만드는 것이죠. 그렇게 나누어진 상대적인 값은 같은 주파수 내에선 일정한 상수처럼 나타난다는 것에 주목해야죠. 잘 생각해보세요. 바로 그것이 S 파라미터의 정의 아닌가요?

주파수가 올라갈수록 파형변화가 너무 빨라서 절대적인 신호전압값을 잡아내는 것은 점점 더 어려워집니다. (전류는 고사하고) 저주파처럼 오실로스코프 프로브를 갖다 찍는다고 해서 잘 되는게 아니란 것이죠. 그것을 측정기에서 입력과 출력의 신호를 실시간으로 서로서로 나누어버림으로써 얻은 결과, 즉 S 파라미터를 측정하는게 상대적으로 쉽습니다! 그 일을 하는게 바로 NA, 즉 네트워크 애널리라이저입니다.

아래 그림을 보시죠. 어떤 두 신호의 비를 계산하면 그 결과가 해당 주파수에서는 달랑 아래의 두 가지 값으로 떨어집니다. 우리는 보통 그 크기값의 차이를 S 파라미터 절대값으로써 많이 사용하죠. S 파라미터의 위상차는 아래그래프에서 보이듯이 입력~출력을 거치면서 발생한 신호의 위상차 (delay)를 의미합니다.



다시 말해서 아래 그림에선 두 개의 신호가 크기는 다르지만 주파수는 같습니다. NA에서는 입력에 특정 주파수를 입력하고, 그 주파수의 각 포트별 전압 응답을 체크해서 째짜게 둘을 나누어 버립니다. 그럼 최대값의 비와 두 신호의 위상차를 구하죠. 그리고 실제 내부에서는 Freq. synthesizer가 있어서 원하는 주파수대역에 설정한 만큼의 number of point 수만큼의 주파수를 생성해서 일일이 각 주파수마다 그 S 파라미터 값의 크기와 위상을 체크하고, 그것들을 연결해서 도표로 보여주는 것입니다. (헉헉 말이 넘 길다)

참고로 SA, 스펙트럼 애널리라이저는 신호파형이 아니라 신호가 어느 주파수대에 분포되어 있느냐를 보는거니까, 신호 전압보다는 그냥 주파수대역의 에너지 분포를 보는 것입니다. NA보다 상대적으로 만들기가 쉽죠. (그러니까 더 싸죠) 전에 저도 Ghz 대역의 측정장비 자체를 설계해야 할 일이 있어서 무자게 공공댄적이 있습니다. 물어볼 사람도 없고 끼어끼어.. 그때도 그 높은 주파수의 순간적인 값을 catch할 방법을 못찾아서 고민고민하다가, HP에서 계측기 교육을 받으면서 무릎을 탁 치면서 깨달았죠! 절대적인 값을 잡기엔 고주파는 힘들지만, 곧바로 상대적인 값을 즉시 만들게 하면 가뿐하게 해결됩니다. (물론 그것도 결코 쉽진 않습다 π ~ π) 고주파에서 상대값 측정이 더 용이하다는 것이 S 파라미터를 사용하는 중요한 이유중 하나인 것은 분명하죠! 일단 측정이 잘되어야 뭘 만들든 말든하죠~

결론

위와 같은 몇 가지 이유들..

1. 입출력단 간의 전력관계를 보기 위함
2. 주파수 영역의 신호에너지 분포 확인
3. 측정상의 편이등등으로 인해 RF/Microwave에서는 S 파라미터를 널리 쓰죠.

아마 이것말고도 책에 보면 자질구레한 이유가 많은데 그냥 쉽게 설명해 본답시고 위와같은 중점사항만 정리해보았습니다. 뭐 지금 초보이신 분들도 계속 공부하고 일하시다 보면 S 파라미터 자체는 정말 아무것도 아닙니다. 알고보면 별거아니죠. 만약 그냥 무심하게 S 파라미터를 잘 쓰시던 분이시더라도, 위에 언급된 의미를 보시고 음~ 그랬었던가 ~ 하고 고개를 끄덕이실 수 있었다면 다행이구요. ^^

06;

dB단위는 왜 쓸까?

정말 원초적인 질문이죠? 사실 숙련자라면 별 감흥없이 dB단위를 사용하는데 익숙해서 이런 의문이 떠오르지 않을지도 모릅니다. 하지만 대부분의 초보자들이 dB단위를 쓰는데 많은 혼란을 겪으며, 왜 dB를 쓰는지에 대한 이유같은 것은 찾기가 어려울 것입니다. 여기서 한번 그 의문을 풀어보도록 하지요! 차근차근 읽어보시면 어렵지 않게 이해가 갈 것입니다.

dB의 정의

dB, 즉 Decibel의 정의를 모르는 분은 없으리라 생각합니다. (앗 혹시.. 모르시나요..) 고등학교 수학시간에 배우는 LOG값을 부르는 단위니까요.. 어떤 수치값 X에 대해 $10 * \log x$ 한 값을 DB라고 부르지요.

$$10 * \log 10 = 10 \text{ dB}$$

$$10 * \log 100 = 20 \text{ dB}$$

$$10 * \log 1000 = 30 \text{ dB}$$

$$10 * \log 10000 = 40 \text{ dB}$$

뭐 다 아실테지만.. 결국 dB 값이란 대상수치를 10을 밑수로 한 지수값 * 10 값을 말하는 것이죠. 왜 10을 곱하나구요? 그냥 기준값 10을 넣을때 10이 나오게 할라고, 즉 계산이 편하자고 그냥 붙인 수치 입니다. 한마디로 dB란 측정값 (전압,전력)를 log 스케일로 본 값입니다.

dB의 어원

dB는 데시벨(Decibel)이라고 읽습니다. 물론 대부분은 편의상 그냥 "디비" 라고 읽긴하지요.이것은 Deci + bel의 합성 어인데, 앞의 Deci 는 '10' 을 의미하는 영어의 접두사이고 두 번째 단어인 bel 은 미국의 오랜 전통의 통신회사인 Bell lab을 의미합니다.

예전~ Bell lab에서는 넓은 범위의 값들을 한눈에 보기도 어렵고 계산하기도 귀찮기 때문에, 밑수를 10을 사용하는 log 로 변환하여 사용하기 시작했다고 합니다. 이때 log를 취한 값들이 넘 작아지기 때문에, 여기에 추가적으로 10을 곱하여 사용하게 되었습니다. 그래서 접두어로 'Deci' 가 붙게 된 것이지요.

결국 dB는 어떤 자연계의 단위가 아닌, 인간이 쓰기 편하려고 만들어낸 어떤 가상의 지표이기도 합니다. 그저 인간이 편하려고 만든거기 때문에, 그 원리를 이해하기 보다는 사용법을 잘 익히는게 중요하다는 의미가 되기도 하지요.

log 스케일의 장점

그렇다면 log 스케일을 쓰면 뭐가 좋을까요? 대충 예상이 가겠지만, **큰 수치를 간략하게 표현할 수 있습니다.** 또한 지수형태로 되어 있어서, **실제 수치의 곱의 표현을 합으로 나타낼 수 있습니다.** (고등학교 수학시간을 상기하시라!) 이것은 단순히 log의 장점입니다. 그래도 의문이 생깁니다. 그게 dB를 사용하는 이유의 다인가?

인간의 청력은 로그리듬이다!

아시는 분은 아시겠지만, 인간의 귀는 로그리듬, 즉 log적으로 소리를 듣습니다. 인간의 고막은 어떤 소리의 진동수를 듣게되지요. 여기서 log적으로 소리를 듣는다는 것은 두 가지 의미가 있습니다.

잠깐, 여기서 dB의 정의 자체를 설명하기 위해 $10 \log X$ 를 그대로 사용하여 설명됩니다. 만약 전력을 기준으로 볼 때는 $10 * \log$ (전력)이며, 전압을 기준으로 할 때는 $20 * \log$ (전압)으로 dBm 수치로 변환된다는 점을 주의 바랍니다. 여기서는 dBm 단위를 설명하자는 것이 아니므로, 그냥 dB라는 변환지표자체를 설명하기 위해 V값을 단순히 $10 * \log$ 를 취하여 보였으므로 혼동이 없길 바랍니다. (상세한 설명은 dB와 dBm의 차이에 대한 다음 Chapter 07 참조)

- **첫 번째**.. 만약 10v의 크기로 진동하는 스피커의 소리보다 두배 큰 소리를 내려면 몇 v를 걸어야 할까요? 20v를 걸면 될까요.. 아닙니다. 눈치가 빠르신 분, 답을 아시겠죠? 100v를 걸어야 두배의 큰 소리가 납니다. 즉 $10v = 10dB$ 에서 두배 큰소리를 내려면 $100v = 20dB$ 의 전압을 걸어야 합니다. 물론 소리가 두배 크다는 것은 주관적인 판단일 수 있지만, 이를테면 그렇다는 것이죠. 결국 **실제 전압보다는 그 dB값에 비례하여 크기가 가능**된다는 뜻입니다.

- **두 번째로**, 인간의 귀는 작은 소리의 변화에는 민감하고, 큰 소리의 변화에는 둔감합니다. 그게 바로 log적이란 의미죠. (또다시 고등학교 수학시간을 상기하길..) 아래의 스피커 볼륨전압의 예를 보시제!

1v (0dB) 2v (3dB): 3dB 차이

100v (20dB) 200v (23dB): 3dB 차이

오히려 1v와 2v는 1v 차이가 나는데 그 둘간의 dB 스케일은 3dB가 차이납니다. 그런데 100v와 200V도 dB 스케일은 똑같이 3dB 차이입니다. 그 이유는 단번에 눈치챌 수 있습니다. 바로 dB는 어떤 숫자간의 곱의 관계를 나타내는 상대적인 의미의 값입니다. 위의 경우 어떤 신호가 2배가 된다는 것은 dB 스케일에서는 +3dB를 의미하기 때문이죠! 그래서 저렇게 크기가 전혀 다른 전압을 내보내는 스피커지만, 두 전압의 차이는 동일하게 느껴질 수 있다는 것입니다.

인간의 청력에서 한가지 짐작이 가는 것이 있을 것입니다. 그것은 바로 주파수를 가지는 신호와 DB 스케일의 관계입니다!

dB를 사용하는 이유

네 그렇습니다.. 진동수, 즉 주파수를 가지는 신호의 성질은 자연상태에서의 측정값 (전압이나 전류같은) 에 비례하는 것이 아니라, 그 dB 스케일에 정량적으로 비례하는 특성을 가지고 있다는 점입니다. 이것이 바로 AC회로나 RF에서 dB 스케일을 주로 이용하는 아주아주 중요한 이유입니다.

예를 들어 어떤 RF신호를 전송하는데 있어서, 10dB의 신호를 20dB로 올리는 것과 30dB의 신호를 40dB로 올리는 것이 같은 비례적 효과가 나타날 수 있다는 것입니다. 둘다 10dB씩, 즉 신호의 크기를 열배로 올린다는 의미이죠. 전압의 예를 들어 면 10dB → 20 dB로 올린 경우의 신호는 90v차이가 나고, 30db → 40 dB로 올린 경우는 9000v의 차이가 있습니다. 90v와 9000v의 전압은 엄청난 차이가 있습니다만, 위에서 말한것처럼 낮은 전압레벨에서는 민감한 변화를, 큰 전압레벨에서는 둔감한 변화를 보이기 때문에 두 개의 효과는 동일할 수 있습니다. 이 예는 다소 어거지지가 있긴 하지만, 이를 테면 이런 식으로 dB 스케일이 적용된다는 것을 보여주기 위함입니다.

또한 모듈이나 시스템을 연달아 연결할때, 늘어나고 줄어드는 신호레벨을 일일이 곱하고 나누고 계산하기가 상당히 거시기합니다. 이 경우 dB 스케일로 모든 신호레벨을 정한다면, 아주 간단하게 더하고 뺄으로써 모든 계산이 가능하기 때문에 무지 편리하죠. 예를 들어 아래와 같은 송신기를 예를 들어보죠.

원래 신호 (1mW) * 신호증폭 (20배) * 혼합기손실 (0.5배:반으로 줄어듬) * 신호증폭 (100배) * 안테나 효율 (0.25)

이런 시스템을 dB로 나타내면 최종 안테나단에서 나가는 전력은 아래와 같이

$$\text{원래신호 (0dBm)} + 13\text{dB} - 3\text{dB} + 20\text{dB} - 6\text{dB} = 24\text{dBm}$$

이 됩니다. 후후.. 더하고 빼기가 훨씬 간단합니다.

결론

주파수신호는 그 자체의 magnitude (크기)값보다는, 그것의 지수를 취한 log스케일에 비례하는 특성을 가지며, 그것을 개념적으로 쉽게 표현하기 위해 dB 스케일을 사용합니다. 원리적으로나 사용법상으로나, RF 전력계산에는 dB 계산이 훨씬 편리합니다. 아마 이런저런 설계를 하면서 경험을 쌓다보면 어느정도 당연하게 느껴지게 될것입니다.

dB란 개념을 왜 쓰는지는 대충 알겠는데 여전히 dB와 dBm 차이같은건 모르시겠다구요? 다음 글을 기대하시길..

07;

dB와 dBm은 뭐가 다를까?

$$P = \frac{V^2}{R} = I^2 R$$

아직 설계경험이 부족해서 dB와 dBm을 헷갈려하는 경우를 많이 보게 됩니다. 아마도 헷갈리는 이유는 우선 dB 자체에 대한 개념의 모호함에서 기인한 것이 대부분인듯 합니다. 앞에서 언급한 dB단위는 왜 쓸까? 를 읽어보면 대략 dB란 무엇이며, dB 자체의 특성을 아실 수 있을 겁니다. 그리고 아직 dB와 dBm이 구분이 안가는 분이라면, 아래글을 꼼꼼히 읽고 이해하시기 바랍니다.

dB 개념의 재정의

dB란 것은 몸무게, 길이, 전압 등등의 특정한 측정값 자체를 지칭하는 말이 아닙니다. 그러한 측정값을 Log 단위로 표현하는 방법 및 그 결과값을 dB라고 부르는 것입니다. 여러분들이 dB와 dBm을 헷갈리는 가장 큰 이유는 dB는 무슨 특정한 측정결과다.. 라고 생각해서일 것입니다.

예를 들어 제 컴퓨터 가격이 100만원이고, 회사 서버의 가격이 2000만원이라고 예를 들어 보죠. 두 개의 가격 차이는 20배가 납니다. 이런 경우 그 20배를 dB로 환산하면 10배 * 2배가 될 것이고, 10dB + 3dB가 되어서 13dB의 차이가 납니다. 그렇다면 100만원과 2000만원이라는 가격을 dB 스케일로 표현해 본다면, 60dB (원)과 73dB (원)으로 표시될 겁니다. 여기서 단위는 분명히 '원' 이지만, 그 원을 magnitude (그냥 그 값 자체를 의미함)이 아니라 dB 스케일로 나타내었을 뿐입니다. 단위는 의미가 없지요.

dB란 말 자체는 어떤 값의 차이를 Log로 나타낸 (상대적) 스케일의 한 종류입니다. 측정값 자체를 지칭하는 것이 아닙니다.

dBm의 정의

그렇다면 dBm은 상대값인가? 아닙니다. dBm은 절대값입니다. dBm이란, mW 단위의 전력을 dB 스케일로 나타낸 단위를 의미합니다. 상용화된 RF에서는 작은 전력을 다루는 경우가 많습니다. W단위가 아닌 보통 mW단위의 전력을 주로 다루기 때문에, 기준의 간편함을 위하여 mW를 기준으로 만든 dB전력값을 dBm이라 부르는 것이지요.

만약 1W를 dB 스케일로 하면? $-10 * \log 1 = 0\text{dB}$ 가 됩니다.

0.001W, 즉 1mW를 dB 스케일로 하면? $-10 * \log 0.001 = -30\text{dB}$ 가 됩니다.

위에서 말한것 처럼, 어차피 mW 단위의 전력을 다룰 바에는 왓사리 1mW를 기준으로 dB스케일을 적용하고 싶어질 것입니다. 그래서 아래와 같이 사용합니다.

$$1\text{mW} = 0\text{dBm}$$

$$10\text{mW} = 10\text{dBm}$$

$$100\text{mW} = 20\text{dBm}$$

$$1000\text{mW} = 1\text{W} = 30\text{dBm} = 0\text{dB(W)}$$

즉, 일반적인 W (와트)전력값에 30dB를 더한게 dBm 단위다.. 라고 볼수도 있지요.

dB와 dBm의 차이

다시한번 정리해보도록 하죠.

- dBm은 mW를 기준으로한 전력측정값을 지칭합니다.

- dB는 그냥 어떤 측정값을 log스케일로 보여주는 것을 말합니다.

바로 이것이 두 가지의 명확한 차이입니다. 아직도 헷갈리는 분을 위해 또 예제를 들어보죠.

만약, 발전기단에서 0.01W (즉 10mW)의 전력이 만들어진다면, 우리는 그것을 10dBm의 전력이 나온다고 말합니다. 그런데, 그 발전기단 후에 20dB의 이득을 가지는 증폭기를 연결하면 최종 출력은 얼마가 될까요?

10dBm + 20dB = 30dBm의 출력이 나옵니다.

초보자들이 헷갈려하는게 아마도 바로 이런 계산법 때문일겁니다.

$$\text{dB} + \text{dBm} = ?$$

$$\text{dBm} + \text{dB} = ?$$

$$\text{dBm} + \text{dBm} = ?$$

$$\text{dB} + \text{dB} = ?$$

위의 계산법에서 결과의 단위는 무엇이 맞는건지? 뭐 이런 것들을 헷갈려 하게 되는거 같더군요. 지금까지 설명된 모든 개념을 종합하고 이해해서 판단해 보시기 바랍니다...

단위 계산의 결과

1. dB + dBm = ?

이건 순서가 말이 안됩니다. 상대적 배율에 절대적 전력값을 더한다는 것은 언어도단이지요. 왜 말이 안될까요?
이 계산은 수식으로 예를 든다면 마치 이런 모양입니다.

$$\times 10 \text{ 15mW} = \text{?????}$$

뭔가 이상하지 않습니까? 이것을 만약 dBm + dB로 뒤집어서 나타내면 아래와 같이 되겠죠

$$15\text{mW} \times 10 = 150\text{mW}$$

바로 계산이 성립됩니다. 아래의 설명을 읽어보시죠.

2. dBm + dB = dBm

아주 정상적인 계산 순서와 단위 입니다. dBm으로 표현된 어떤 전력값에, dB로 표현된 신호전력의 증가/감소 분을 더함으로써 최종적으로 얼마만한 크기의 전력이 생성되느냐? 라는 수식이 되겠지요. 당연히 결과는 전력값이 dBm이 나옵니다.

3. dBm + dBm = dBm

실제로 회로 내에서 이런 식으로 계산하는 경우는 없습니다. 두개의 신호전력을 합한다? 라는 의미가 상당히 모호하기 때문이죠. 보통 잡음 전력을 합산하거나 하더라도, 단순히 합하기만 하는게 아니라 뭔가 상호작용을 하기 때문에 dBm이란 단위로 무작정 합산하기가 모호합니다. 게다가 dB단위에서는 합이 곧 곱을 의미하므로 이런 식의 계산은 무의미합니다.

4. dB + dB = dB

역시 정상적인 계산입니다. 어떤 장비단이 연속으로 연결될 때, 각각 원래 신호전력이 얼마나 증가하고 얼마나 감소하느냐를 합하는 계산이니까요.

일상적인 오해

여러가지 예를 들어서 dB와 dBm의 차이를 설명해보았습니다. 이제 어느정도 감이 잡히시지 않나요? 그런데 아마 처음 접하는 분들이 또 헷갈리는 문제는 아마 용어 자체를 혼란스럽게 쓰는 분들 때문일겁니다.

예를 들어 누군가 "어이, 거기 송신기 출력이 얼마야?" 이렇게 물어봤을때 "예~ 15dB요" 라고 말할지도 모릅니다. 출력이라 하면 분명히 전력량을 말하는 건데, dBm이 아니라 dB라니?

이건 말하는 사람과 듣는 사람이, 당연히 dBm인줄 알고 있으니 그냥 대충 15dB다.. 라고 말해버리는 경우입니다. 일전에 보니까 이런 경우 옆에서 듣던 신입사원은 되게 헷갈려하더군요. 왜 용어를 저렇게 말하냐구.... 그건 그냥 쓰는 사람들이 대충 단위를 말하는 것일 뿐입니다. 혹시 이런 경우 있더라도 남이 제대로 말해주길 바라기 보다는 알아서 이해하는 능력을 키우는 게 낫습니다.

전압과 전력의 dBm

한 가지 더 초보자가 헷갈리는 것 중 하나는, 전압값일 때와 전력값일 때 계산법이 다르다는 것입니다. 아래의 수식을 보시죠.

전압을 이용한 dBm: $20 * \log \text{전압 (V)} = \text{dBm}$

전력을 이용한 dBm: $10 * \log \text{전력 (W)} = \text{dBm}$

어째서 전압을 이용하여 dBm을 구할 때는 보통 decibel (dB) 계산에서 사용하는 계수인 10이 아니라 20을 곱하는가? 라는 의문을 제시하게 됩니다. 그것은 dBm자체가 이미 '전력 (W)' 을 기준으로 한 값이기 때문입니다. 실제로도 전압을 측정하기 보단 전력을 측정하기 때문이기도 하구요.

그렇다면 왜 10 이 아닌 20 이란 숫자를 곱하는가? 라는 문제는 전력은 전압의 곱 또는 전류의 곱에 비례한다는 회로 이론의 원초적인 개념문제입니다.

$$P = \frac{V^2}{R} = I^2 R$$

즉, 전압은 제곱해야 전력값이 되고, 제곱이란 것은 dB로 변환하면 (즉 log 스케일로 보면) * 2 가 되기 때문에, $10 * 2 = 20$ 을 곱하는 것입니다. 간단하죠?

S 파라미터

또한 이런 질문이 나올지도 모릅니다.

"왜 S 파라미터는 dBm이 아니라 dB를 쓰나요? 분명히 계측기에서 측정된 측정치 아닌가요?"

S 파라미터는 원래 상대적 결과값입니다. **절대적인 기준수치가 아닙니다.** 그렇기 때문에 S 파라미터 자체는 아무런 단위가 없습니다. 수식에서 알 수 있듯이 출력전압/입력전압이 S 파라미터가 되므로, 단위 역시 v/v 가 되어 아무런 단위가 없는 수치입니다. 그러므로 dB 스케일로 표현하더라도 dBm이라는 단위를 붙일 수는 없습니다.

이런 질문이 나온다면 그런 **S 파라미터란 무엇인가?** 에 대한 이해가 다소 부족한 상황입니다. S 파라미터란, 입력에 얼마가 들어가면 출력에는 얼마가 나오느냐? 라는 의미의 파라미터입니다. 예를 들어 증폭기의 s21이 20dB라면, 포트 1에 어떤 전력이 들어갔을 때 (어떤 dBm의 전력량이 들어가느냐는 전혀 무관합니다!!) 출력에서는 그 전력이 20dB만큼 증가한다는 의미입니다. 즉 100배로 신호가 커진다는 뜻이죠. 그러니 아무런 단위가 필요 없습니다. s11의 경우는 1번 포트에 들어간 전력이 1번 포트에 출력되는 비율, 즉 반사계수를 의미하므로 역시 단위가 없습니다.

계측기에서 측정한 건 결국 그 상대값을 측정한 것이지, 어떤 절대적인 값을 측정한 것이 아닙니다. S 파라미터 자체는 절대 dBm 단위로 나타낼 수 없습니다. 헷갈리지 마시길~

결론

dBm은 절대적인 전력량을 1mW기준으로 dB 스케일로 본 것이며, dB는 그냥 어떤 값을 log 스케일로 보는 방법입니다. 위의 글을 읽고도 무언가 헷갈리는 분들이 계시다면, 실무에서 여러가지 측정과 해석 등을 통해 개념을 확립하시기 바랍니다.