

햄을 위한 전자 공작

전자공작카페

<제 목 차 례>

I . 안테나	1
1. 안테나의 정의	1
가. 안테나의 특성은 안테나의 특성	1
나. 안테나의 구조	2
2. 수직 안테나의 래디얼...	3
3. 말하는 나무.... "Talking Tree"	4
II . BALUN(BALanced-to-UNbalanced)	6
1. BALUN 의 역할	6
2. BALUN의 종류	6
가. BLANCING 하는 방법에 의한 바룬의 종류	6
나. 누설전류가 고주파 계통에 미치는 영향	8
다. 바룬을 사용함에도 불구하고 누설 전류가 발생하는 경우	9
라. 안테나의 급전부에 들어가는 밸런스드 또는 언밸런스드 밸런	10
마. 토로이달 코어(Toroidal Core)에 대한 자료	25
III. 안테나 매칭	28
가. 안테나의 등가회로	36
나. 백과사전에서 말하는 임피던스 매칭, 임피던스 정합.	44
라. HP8924C/안테나 아날라이저 구현(1)	52
IV. 제프안테나	59
가. 부하 임피던스와 최대 전력 전달의 관계.	59
나. 트랜스를 사용한 전압변환 방법.	61
다. 트랜스를 사용하지 않는 전압 변환 방법입니다.	64
다. 안테나의 급전점 임피던스.	75
라. END FEED 안테나의 임피던스 매칭.	76
마. 제프 안테나 설계하기.	77
바. 제프 안테나 만들어 테스트.	78
V . VSWR 아날라이저	79
VI. 간이 시그널 인제터/ 트레이서	86
VII. 스피치 프로세서	94
VIII. 안테나 만들기	97
1.멀티 다이폴 만들기	97
2. 소출력 통신용 마그네틱루프안테나(QRP Magnetic Loop Antenna)자작	102
가. 송신용(고압)가변 컨덴서 만들기	103
IX. ARDF 수신기	106
1. GLCD 초기화	106
가. 어드레스 지정방법	106

나. 어드레스 자동증가 방식	107
다. 어드레스 지정 소스코드	108
라. 어드레스 변경 DEMO 프로그램	108
2. ARDF 수신기	108
가. DIY 전자공작의 르네상스를 꿈꾸며	108
나. 2M ARDF 수신기의 블록구상도	109
다. ARDF 수신기의 기본 기능	109
라. 수신기 본체 기능 구상도	110
마. 비용은 얼마나 될까?	111
바. UV-5R은 RDA1846이라는 칩	119
사. ARDF수신기의 필요조건	123
아. ARDF수신기의 필수기능 ATTENUATOR	123
IX. 캐롤라이나 윈덤 안테나	127
1. 델타 루프/슈퍼 루프 안테나	128
X. 전자공작 1편	129
1. 555 타이머 IC로 만든 AM 라디오	129
2. CC426V 모듈의 활용	132
가. CC426V 모듈의상면 부품 배치	132
나. [해설]KCC426V 모듈의 PLL 동작 VCO 제어 데이터 계산법	134
3. SDR/PPLL 진도보고:HDSDR과 USB 통신	143
4. 8924C 전원공급장치 수리...	147
5. VNA(Vector Network Analyzer)의 기초	148
6. EHB-1 2호	152
가. 우여곡절 1	152
나. 우여곡절 2	152
다. 우여곡절 3	152
라. 에필로그	153
7. QRP용 SWR/PWR 미터	155
8. QRP 용 더미로드 자작	160
9. QRP용(?) 안테나 아날라이저 Tenna-Dipper	162
가. 먼저 사양을 정합니다.	163
나. Tenna-Dipper	163
10. EHB-2 제작기 (1)	167
가. 수신부의 조정점도 한눈에 보이죠?	179
나. 송신부 국부 발진기 조정	170
다. 수신부 국부 발진기 조정	171
라. 수신부 감도 조정	174
11. 토로이달 코어(Toroidal Core)에 대한 자료	176

가. QRP와 안테나..-----	189
나. 마이크로 프로세서 없이 만드는 Electronic Keyer ...-----	182
다. 낚시대 안테나로 낚은 대어?-----	185
12. DSP -----	190
가. A DSP Tutorials 의 해설-----	190
나. DSP 입문-----	195
다. Signals, Samples and Stuff: A DSP Tutorial (Part1-2) -계속- -----	197
라. Signals, Samples and Stuff: A DSP Tutorial (Part1-3) -계속- -----	201
마. Signals, Samples and Stuff: A DSP Tutorial (Part1-4) -계속- -----	203
바. 단측 억압 반송파 발생(SSB Generation)-----	203
13. 위성통신 -----	217
가. 무전기 출력 높인다고 교신이 재밌을까?-----	222
나. TV 수신용 USB 동글을 SDR 로...(2)-----	223

I . 안테나

1. 안테나의 정의

출처 : 네이버 지식iN 오픈백과 안테나의 원리에서 발췌. 곤충의 촉각"의 뜻을 지닌 라틴어로부터 유래된 안테나(Antenna)는 전기적인 신호를 전파로 바꾸어 주거나 그 반대의 기능을 수행하는 장치를 의미한다. 송신의 경우에는 송신기에서 보내고 싶은 전기적인 신호를 전파로 바꾸어 멀리까지 보내고, 멀리서 송신된 전파를 수신하면 그 전파를 전기적인 신호로 바꾸어 수신기에 전달하여 준다. 전파는 공간을 통해가는 파동이다. 따라서 파장과 주파수를 갖게 된다. 파장을 λ , 주파수를 f , 전파가 공간을 이동하는 속도를 c 라고 하면 다음 관계가 성립한다. $\lambda(m) = c(m/sec) / f(Hz)$

가. 안테나의 특성은 안테나의 특성은 주로 임피던스, 이득, 지향성의 3요소에 의해 나타낸다.

임피던스	임피던스는 전류가 흐르기 어려움을 나타내는 양이다. RIG와 동축 케이블, 그리고 안테나 모두 각각의 임피던스 값을 가지고 있다. 이 세 임피던스 값이 일치할 때에 가장 효과적으로 전파가 전해진다. 보통 RIG와 동축 케이블의 임피던스는 50Ω으로 고정되어서 생산된다. 그러나 안테나의 임피던스는 50Ω이 아닌 경우가 많다. 그러므로 안테나의 임피던스가 50Ω에 가깝도록 조정을 해 주어야 하며 이러한 조정을 MATCHING이라고 한다. SWR은 바로 이 임피던스가 일치한 정도를 나타내는 값이다. SWR은 1 이상의 값을 가지며 SWR이 1에 가까우면 더욱 효과적으로 전파를 보낼 수 있고 RIG의 손상이 적어진다.
이득	이득은 안테나의 성능을 의미한다. 안테나에 일정한 출력이 보내져도 안테나의 성능에 따라 더 높은 출력의 전파를 보낸 것과 같은 효과가 발생하게 된다. 이러한 효과를 나타내는 것을 이득이라고 한다. 단위는 dB이다. 이득이 높은 안테나를 사용하면 작은 출력으로도 멀리 있는 무선국과 효과적인 교신을 할 수 있다.
지향성	안테나가 특정한 방향으로 전파를 더 많이 보내는 성질을 지향성이라고 한다. 지향성이 있는 안테나를 지향성 안테나라고 하며, 지향성이 없이 모든 방향으로 동일하게 전파를 보내는 안테나를 무지향성 안테나라고 한다. 안테나는 전파를 입체적으로 보내지만 입체적인 지향성은 생각하기 어려우므로 우리는 편의상 수평면에서의 지향성과 수직면에서의 지향성을 생각한다. 안테나의 용도에 따라 지향성이 있는 안테나를 사용하거나 지향성이 없는 안테나를 사용한다. 지향성 안테나를 사용하는 가장 대표적인 예는 전파의 발신지를 탐지하는 일이다. 목적하는 방향으로 전파를 더 많이 보내도록 하기 위해 지향성 안테나는 방향을 바꾸어줄 필요가 있다. 수평 방향을 바꾸어주는 장치를 로테이터 (ROTATOR), 수직 방향을 바꾸어주는 장치를 엘리베이터 (ELEVATOR)라고 한다.

지향성	지향성 변화	안테나의 형태에 따른 지향성을 변화 지향성 변화란 예를 들어 원하는 곳으로 좀 더 많은 지향성을 갖기 위하여 안테나 반사판을 이용하는 것이다. 예를 들어 파라볼라 안테나는 접시판 부분이 반사판이 되고 그 앞부분에 있는 feeder 부분에서 전자파 방사가 발생하는 것이다. feeder로는 반파장 다이폴안테나가 사용되거나, 도파관이 사용되기도 한다.
		안테나의 위상을 조절하여 지향성을 변화(안테나 어레이 기술) 예를 들어 반파장 다이폴안테나 두개를 사용할 경우, 만약 두 안테나의 급전을 동위상으로 하였을 경우는 지향성이 원래의 안테나 한개 만을 사용하였을 경우 방향은 같고 훨씬 더 지향도가 상승하게 된다. 약 3dB일 것이다. 또 만약 두 안테나의 급전을 서로 역위상으로 급전을 하였을 경우는 한개의 안테나만을 사용하였을 경우보다 지향성이 떨어지게 된다.

나. 안테나의 구조

엘리먼트	안테나의 여러 부분 중에서 실제로 전파를 송신하거나 수신하는 부분을 엘리먼트 라고 한다. 안테나의 실질적인 부분이며 전기가 잘 통하는 도체로 이루어져 있다.
공진	공진이란 안테나가 어떤 특정한 파장의 전파를 가장 효과적으로 보내고 받는 현상을 의미한다. 안테나의 길이가 파장의 1/2의 정수배일 때 안테나는 공진하게 된다. 이때 이 전파의 주파수 중에서 가장 낮은 주파수를 안테나의 공진 주파수라고 한다.
로딩 코일 (연장코일)	안테나에 코일을 삽입하면 안테나의 공진 주파수가 높아지게 된다. 즉 안테나의 길이가 파장의 1/2보다 짧아도 동일한 주파수의 전파에 공진할 수 있다. 이렇게 안테나의 길이를 단축시켜 주는 코일을 로딩코일 이라고 한다. 이와는 반대로 안테나에 콘덴서를 삽입하면 안테나의 공진주파수가 낮아지게 된다. 즉 안테나의 길이가 파장의 1/2보다 길어도 동일한주파수의 전파에 공진할 수 있게 된다. 이렇게 안테나의 길이를 연장시켜 주는 콘덴서를 단축콘덴서라고 한다. 로딩 코일은 설치 장소보다 안테나의 길이가 너무 길 때에 이용된다. 그러나 안테나를 단축하면 이득이 감소한다.
트랩	한 안테나로 여러 주파수의 전파를 이용하려고 할 때에 사용되는 코일을 트랩이라고 한다. 코일도 안테나처럼 공진 주파수를 가지고 있으므로, 코일이 삽입될 경우 그 주파수에 해당하는 전파에도 공진하게 된다. 그러므로 한 안테나를 여러 주파수에 공진시켜 사용할 수 있다.

동축 케이블	안테나에 전기 에너지를 공급해 주는 전선을 급전선이라고 한다. 이 급전선 중에서 외부 도체와 내부 도체로 이루어져 있는 전선이 동축케이블이다. 외부 도체와 내부 도체의 축이 일치하기 때문에 동축 케이블이라는 명칭을 사용하게 되었다. 동축케이블은 고유한 임피던스와 크기, 재료, 성능에 따라 여러가지 규격을 갖고있다. 보통 RG 8이라는 굵은 동축케이블과, RG 58이라는 가는 동축케이블을 사용한다. 이 두 동축케이블은 모두 임피던스가 50Ω이다.
--------	--

2. 수직 안테나의 래디얼...

수직 안테나에 대한 얘기가 나와서 저의 경험을 잠시 말씀드립니다. "수직 안테나는 래디얼이 생명이다." 순전히 경험상 그렇다는 것이지 무슨 근거는 없습니다. 수직안테나는 하늘로 세우는 것이니 평면적을 덜 차지 할 것이라고 예상되지만 꼭 그런것은 아니다. 방사형(radial)으로 펼쳐놓아야 한다. 무작정 근거 없이 수고할 수 없으니 다른 사람들은 뭐라는지 찾아보기로 합니다.

인터넷 찾아보니 수직 안테나로 유명한 버터넛 안테나(Butternut Antenna)의 기술 노트 입니다.

http://www.bencher.com/pdf_download.html

수직 안테나 엘리먼트 밑동에 짧은 래디얼 강선을 등글게 배열하고 충분하다고 하다고 더러운 이야기

<http://www.bencher.com/pdfs/00363ZZV.pdf>

<http://www.bencher.com/pdfs/00804ZZV.pdf>

왜 래디얼이 중요하냐고? 안테나는 반파장이 진리고 수직으로 공중에 반의 반파장, 지하로 반의 반파장...

<http://www.bencher.com/pdfs/00361ZZV.pdf>

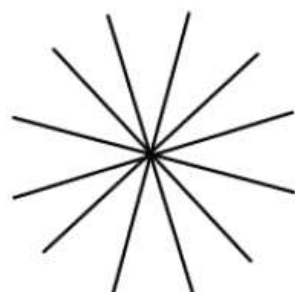
수직안테나의 래디얼은 진리. 무조건 까시라! 방사형(radial)으로...

<http://www.new-tronics.com/main/manual/4btv.pdf>

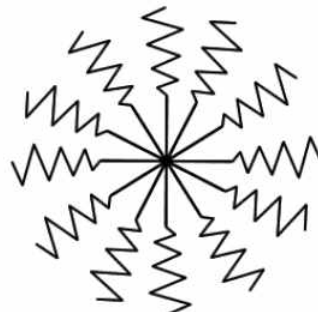
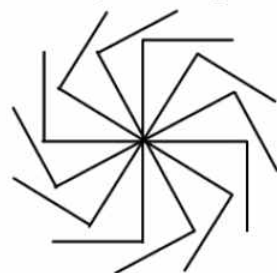
RADIAL LENGTHS ARE AS FOLLOWS

10 Meters	8' 4"
15 Meters	11' 4"
20 Meters	16' 4"
40 Meters	32' 4"
75/80 Meters	64' 4"

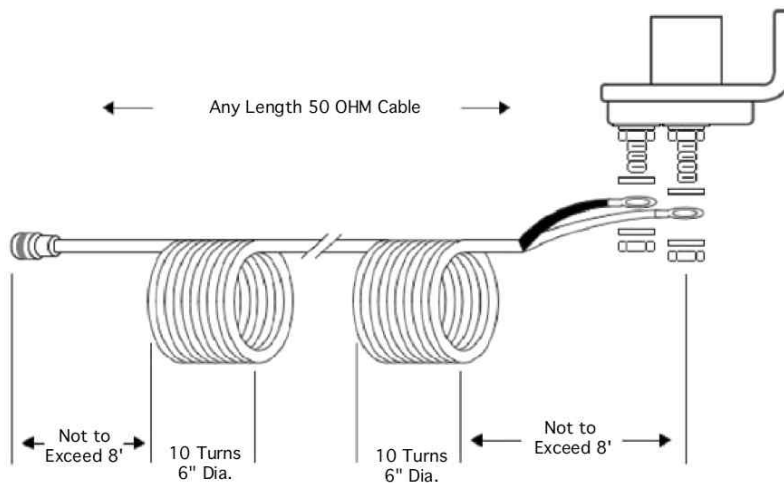
Normal Configuration



Limited Space Configurations



지면 공간이 안나오면 구부려서라도....



수직 안테나는 밀둥치에 급전점이고 래디얼 선 위로 동축 케이블이 지나가는데, 동축 케이블이 래디얼 선 처럼 동작하면 곤란하다. 그렇다고 안지나게 할 수도 없는 노릇이라... RF 분리하는 간단한 방법은 동축케이블을 둘둘 감아서 쇼크 감아두자.

래디얼과 쇼크는 확실하게 효과 있습니다. 래디얼 없으면 수직안테나 하나마나입니다. 쇼크 감아놓으면 RF-I 퇴치에 상당한 효과 있습니다.

3. 말하는 나무.... "Talking Tree"

저의 수직 안테나를 보시고 김유홍님께서 "생목" 안테나가 연상된다고 하셔서 그런데 있나? 찾아봤더니 역사가 아주 깊습니다. 특허도 여럿 있군요. 살아있는 나무를 안테나로 활용 하려는 노력입니다.

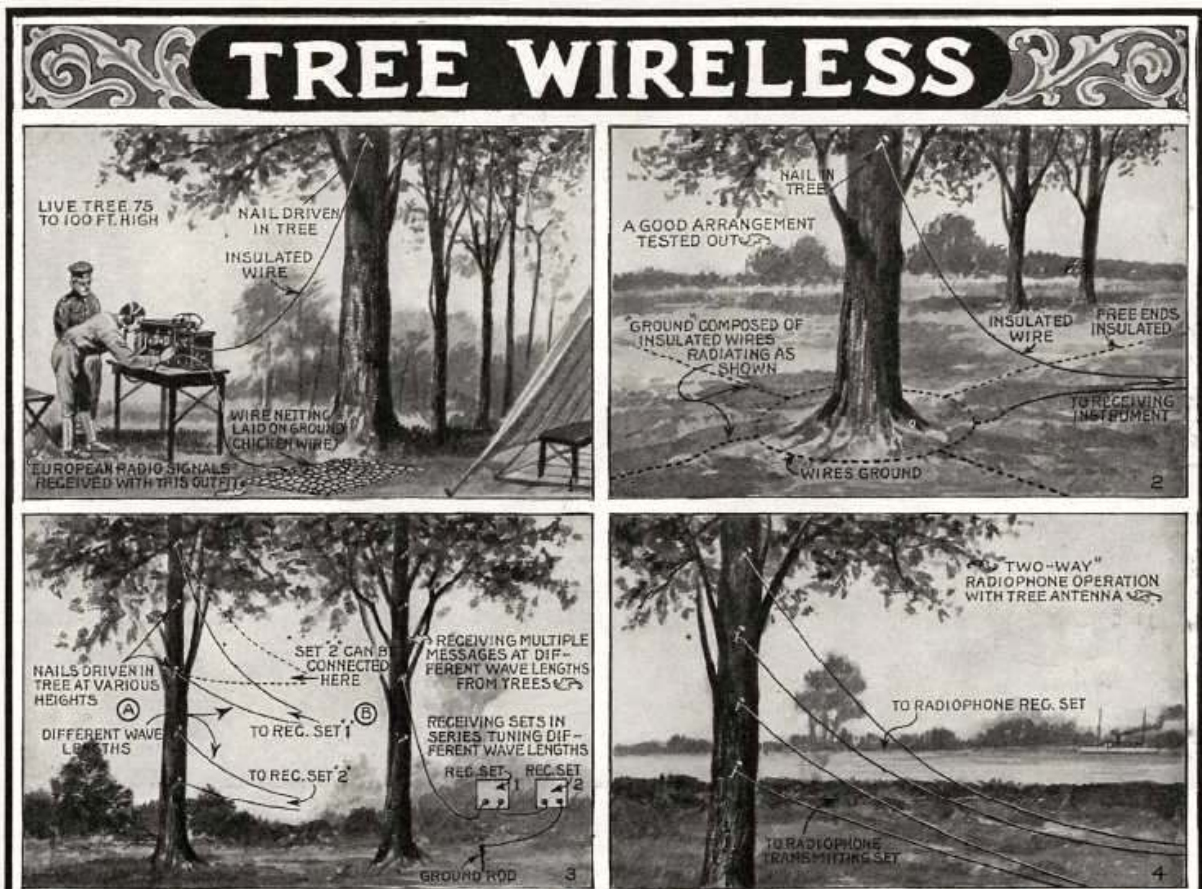
<http://www.rexresearch.com/squier/squier.htm>

나무 안테나도 수직이라고 래디얼 까는 것 잊지 않고 있네요.



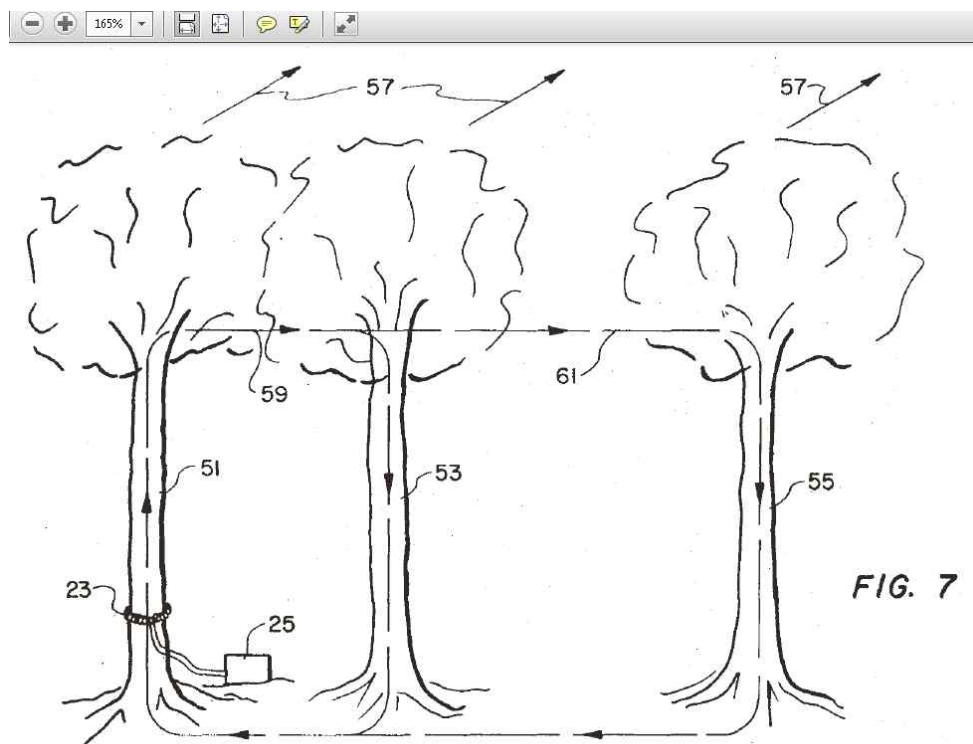
주의할 것은 나무에 못박을 때 반드시 알미늄이나 철선을 사용하라고 합니다. 구리는 나무에 해로워서 죽게 된다는군요. 나무를 이용한 안테나에 관련된 특허입니다. US3646562_Live_Tree_Ant.pdf

자세한 것은 이해할 수 없습니다만, 그림으로 봐서는 일종의 마그네틱-루프 안테나로 보입니다. 두개 이상의 나무가 가지와 지면을 통해 꽤 루프를 형성하며, 나무에 감은 코일은 전력 전달용 결합기(커플러, coupler)라는군요. 그런거 같기도...



중단파대 나무 안테나는 이렇게 만든답니다.

http://w5jgv.com/tree_antenna/index.htm



II . BALUN(BALanced-to-UNbalanced)

1. BALUN 의 역할

BALUN은 BALanced-to-UNBalanced에서 유래된 합성어로 평형안테나에 불평형 급전선(동축케이블)으로 급전할 때 사용하는 matching transformer를 의미한다.

안테나의 종류는 급전점을 기준으로 해서 그 구조에 따라 평형안테나와 불평형 안테나로 구분할 수 있는데 아마추어 무선에서 가장 많이 사용되는 다이폴과 야기 안테나 등은 급전부를 기준으로 해서 대칭으로 되어 있는 평형 안테나이다. 반면 송신기의 고주파 전력을 안테나에 공급하는 급전선(FEED LINE)은 심선(hot)을 외부도체(cold)로 둘러싼 형태의 불평형 FEED LINE인 동축케이블이 주로 사용되는데 이때 성격이 각각 다른 심선(Hot-line)과 차폐선(Cold-line)을 평형안테나의 급전점에 직접 연결하면 안테나의 양쪽 도선의 전류 분포가 불평형을 이루게 되고 이로 인해 전류의 일부가 외부도체(차폐선)를 따라 되돌아오게 되는데 이를 누설 전류라 한다. 이 누설전류는 여러 가지 부정적인 영향을 미치게 되는데 이를 방지하기 위하여 바론을 사용한다. 따라서 바론은 기본적으로 안테나 임피던스를 매칭시키기 위한 것이 아님을 이해하여야 한다.

그리고 전류분포의 불평형 정도는 안테나 도선의 길이와 동축케이블의 직경의 비에 의해서 결정된다. 따라서 HF대의 LOW BAND 에서는 안테나 도선의 길이가 길고 그에 비하여 동축케이블의 직경은 작으므로 불평형은 그다지 크지 않으므로 누설 전류는 크지 않아 그로 인한 부작용도 문제가 되지 않을 수 있지만 대출력을 송출 한다든지 전파의 영향을 받기 쉬운 기기들이 주변에 있다면 문제가 될 수 있다. VHF와 UHF에서는 HF대와는 달리 불평형의 정도가 커 그 영향이 크다.

2. BALUN의 종류

바론에는 그 구조와 용도에 따라 여러 가지의 종류가 있는데 Blancing을 하는 방법에 따라 전압(VOLTAGE)바론과 전류(CURRENT)또는 초크(CHOKE)바론이 있다. 그리고 임피던스 比에 따라서 1:1, 2:1, 4:1, 6:1, 등 여러가지 바론이 있으며 각각의 특징과 용도는 다음과 같다.

가. BLANCING 하는 방법에 의한 바론의 종류

- 1) 전압바론: BALUN의 OUPUT 단자(안테나 연결측)에 반대 극성을 가진 같은 크기의 전압이 나타나도록 하여 결과적으로 전류를 Balncing 을 하도록 설계된 것이며 이는 안테나의 양측 도선의 길이가 완전하게 대칭임을 전제로 한 것임으로 안테나 양측 도선이 불평형 일 때(실제 길이뿐만 아니라 그 형태도 포함하여) 그렇지 않을 경우는 누설 전류가 흐르게 되는 등 안테나 양측 도선의 불평형에 민감하다. 따라서 안테나의 한쪽 도선을 길거나 짧게 하여 SWR을 조정하게 되면(정재파비가 잘 안 맞을때 간혹 그렇게 하는 경우도 있다.) 안테나 양측도선의 길이의 편차에 의해 전류 분포가 UNBLANCE가 되어 누설 전류가 흐르게 된다.

아래 그림은 대표적인 전압바론의 회로도 이다. 아래그림에서 가운데 코일의 임피던스가 너무 낮게 되면 낮은 주파수 끝 쪽에서 SWR이 높게 되는 경향이 있다. 그리고 아래 회로도에서 알 수 있듯이 양쪽 단자를 회로 시험기로 시험을 했을 때

회로가 단락 된 것으로 나타나는 것이 정상이다.

2) 전류바룬: 초크 또는 전류바룬은 전압바룬과는 다르게 안테나 도선상의 전류를 blancing 시키는 것이 아니고 누설전류가 동축케이블의 외부도체로 흐르는 것을 직접 차단 한다. 따라서 안테나가 완전한 평형이 아니라도 영향이 적으며 효과적 누설전류를 차단한다.

위에서 본 바와 같이 전압바룬에 비하여 전류바룬이 장점도 있으나 각각의 회로도에서 보는것과 같이 전압바룬은 DC 그라운드가 되어있는 반면 전류바룬은 DC 그라운드가 되어 있지 않다. 따라서 전류바룬의 경우 낙뢰에 의한 써지 전류에 트랜시버가 손상되기 쉽다. 그럼에도 불구하고 다른 장점 때문에 전류 바룬이 점점 많이 사용되어지고 있는 추세다. 그리고 전류형바룬의 구별 법은 아래 그림에서 알 수 있듯이 회로시험기로 시험하면 양쪽 단자가 열려있다.

주요 전류형바룬의 제조 판매처는 The RADIO WORKS 이며 INTERNET에서 onLINE으로 쉽게 구입 가능하다.

전류형바룬의 하나인 Air Core Balun(초크발룬)은 가장 간단한 형태로서 동축케이블을 안테나 접속지점에서 적당하게 감아주면 된다. 감는 회수와 직경은 다음 표를 참고 바람.

Single Band			Multiple Band	
주파수(MHz)	RG 213, RG 8	RG 58	주파수(MHz)	RG-8, 58, 59, 8X, 213
3.5	22ft, 8회	20ft, 6-8회	3.5-30	10ft, 7회
7	22ft, 10회	15ft, 6회		
10	12ft, 10회	10ft, 7회	3.5-10	18ft, 9-10회
14	10ft, 4회	8ft, 8회		
21	8ft, 6-8회	6ft, 8회	14-30	8ft, 6-7회
28	6ft, 6-8회	4ft, 6-8회		

가) 감는 방법: 3.5-30Mhz용 안테나의 경우 10ft의 동축케이블을 7회 감아주면(흔히 남는 전선을 사리듯이 하여 감으면 됨) 직경은 저절로 적당히 나오며 감은 후 테이프 등으로 적당히 감아 형태가 흐트러지지 않도록 한다.

Ferrite를 사용하는 바룬은 SWR이 높거나 고출력으로 운용하면 쉽게 포화가 되어 고조파 에너지를 발생 시킬 수 있으므로 주의하여야 하는데 Air Core Balun은 이런 현상이 발생되지 않는다.

그 외의 전류형 바룬 에는 Ferrite-Core Balun 과 W2DU 바룬 등이 있으며 그다지 만들기가 어렵지는 않으나 제품화된 것을 구입 사용하는 편이 더 편리한 것 같다. 굳이 자작을 해보겠다면 Amidon사나 Fair-Rite Products Corp에서 여러 가지 TORAIDAL CORE를 직접 구입하여 자기용도에 맞는 바룬을 설계 제작할 수 도있고 KIT화 된 것도 구할 수 있다. <참고>Transmitting Baluns by W8JI <참고>Balun and Transformer Core Selection by W8JI

임피던스 比에 따른 바룬의 종류

바룬은 이미 설명한 바와 같이 평형 안테나와 불평형 급전선(동축케이블)을 연결 시켜주는 것이 본래의 역할이고 임피던스를 매칭 시키기 위한 것이 아니다. 그러나 특정 임피던스 比를 가진 바룬은 임피던스 정합 역할도 동시에 하는데 임피던스 비에 따른 종류와 용도는 각기 다음과 같다.

(1) 1:1 바룬-50ohms balanced to 50 ohms unbalanced 일반적으로 가장 많이

쓰이는 바론으로 반파장 다이폴안테나에 사용되며 임피던스 매칭 기능은 없다. 다이폴안테나의 급전 임피던스는 지상고가 충분할 경우 약 73옴 정도 이므로 1:1 바론을 사용하면 SWR이 1:5정도가 되지만 실용상 전혀 지장이 없다. 다이폴 안테나는 지상고에 따라 급전 임피던스가 변함<참고: 안테나의 지상고와 임피던스>

- (2) 1.5:1 바론-75ohms balanced to 50ohms unbalanced 반파장 다이폴 안테나의 임피던스가 약 75 ohm 이므로 이때 1.5:1 바론을 쓰면 정합이 완벽하다. 그러나 1:1 바론이나 바론 없이 직결하여도 SWR은 1.5 정도로 그다지 높지 않으므로 실용상 큰 지장은 없다.
- (3) 2:1 바론 - 100 ohms balanced to 50 ohms unbalanced 지상고가 0.33 파장 인 반파장 다이폴과 사각 Loop 안테나의 안테나는 급전부 임피던스가 100 ohm정도로 2:1 바론이 필요하다.
- (4) 4:1 바론 - 200 ohms balanced to 50 ohms unbalanced Log Periodic Beam Antenna, 지상고 0.17 파장의 Folded Dipole, Off Center Fed Antenna(안테나의 급전점이 안테나 도선의 중앙에 있지 않고 편심된 안테나를 말하는데 급전점이 중앙을 벗어나면 임피던스가 올라감)등 급전점의 임피던스가 비교적 높은 안테나에 쓰인다.
- (5) 4:1 Step Down balun-12.5 ohms balanced to 50 ohms unbalanced 위의 4:1 바론과는 달리 급전점의 임피던스가 낮은 안테나에 사용되는 Step down형 바론이다. 야기안테나는 다이폴안테나의 앞뒤에 소자를 늘려놓은 것인데 소자수를 늘려감에 따라 급전점의 임피던스가 다이폴 안테나의 기본 임피던스인 75옴에서 점점 낮아져 10 - 20 정도로 낮아진다. 따라서 Step Down 4:1 바론을 사용하면 특별한 매칭 기구 없이 야기안테나를 급전 할 수 있다. 야기안테나에도 급전점의 임피던스를 높이는 매칭 방식을 사용하면 1:1 바론을 쓸 수 있다.

그 외에도 여러 가지 임피던스 비를 가진 바론을 특수한 용도에 따라 제작할수 있는데 자세한 것은 아래의 책을 참고 하기 바란다.

Building and using Balun and Ununs by Jerry Sevick, W2FMI - CQ communications, Inc Transmission Line Transformers by Jerry Sevick, W2FMI - Noble Publishing Atlanta UNUN(Unbalanced to unbalanced transformers)

바론이 불평형 급전선과 평형안테나를 위한 matching transformer인 반면 언언(UNUN)은 불평형 급전선간 또는 안테나를 위한 matching transformer이다. 임피던스 비에 따라 50:75, 50:25, 50:100, 50:12.5, 등이 있다. 50:75 UNUN을 사용하면 케이블 TV용 75옴 동축케이블을 50옴 동축케이블에 연결하여 사용 할 수 있다.

나. 누설전류가 고주파 계통에 미치는 영향

1) Interference를 발생 시킨다.

동축케이블의 외부 도체에 흐르는 누설전류는 COMMON MODE 형태의 전류로서 케이블에서 쉽게 방사가 된다. 따라서 동축케이블이 전화선, 전원선 등에 접촉 또는

가까이 접근하면 누설전류가 유도되어 여러 가지 INTERFERENCE를 발생 시킬 수 있다. 이 경우에는 Low pass filter로는 Interference를 방지할 수 없고 common mode 초크를 설치하거나 접지를 완전하게 시킴으로써 인터페어런스를 어느 정도 방지 할 수 있다. 하지만 원천적으로 누설전류가 발생하지 않도록 하는 것이 최선책이다.

2) 안테나의 방사 패턴이 일그러 진다.

전류의 불평형과 누설 전류의 영향으로 안테나의 방사 패턴이 일그러져 지향성이 변한다. 그러나 다이폴 안테나에의 경우에는 수평지향성 패턴은 그리 주요한 요소가 아니므로 이 경우 큰 문제가 되지 않으나 yagi, quad등과 같이 Beam 안테나의 경우에는 영향이 크다.

3) SWR이 변한다.

위에서 설명 한 바와 같이 누설전류는 동축케이블에서 방사가 되는데, 이는 곧 동축케이블이 안테나의 한 부분으로서 동작함을 의미한다. 따라서 동축케이블의 길이를 변화 시키거나 움직이면(길게 늘어놓거나 감아 놓는 등 변화 시키면) SWR이 변한다.

나에게 바론이 필요한가?

이와 같은 질문은 바론에 관한 가장 보편적인 질문인 것 같다. 바론이 없다고 해서, 그리고 동축케이블의 외부도체로 누설전류가 흐른다고 해서 이것이 반드시 심각한 문제를 야기 시키는 것은 아니다.

그러나 만약 전파로부터 영향을 받는 전기, 전자기기(TV, TV 안테나 또는 TV안테나 케이블, 전화 또는 전화선, 컴퓨터, 전기배선 등등 모든 전기전자 관련 설비)가 급전선(동축케이블)에 가까이 접근하여 있다면, 급전선의 누설전류로부터 수신되는 방사전파가 안테나에서 방사되어 전기전자 기구에 들어오는 전파보다 강할 수 있다.

따라서 이런 경우에 모든 전기전자기기를 급전선으로부터 가능한 한 멀리 이격시키는 것도 중요하지만 바론을 사용하여 급전선의 누설 전류를 방지하여 급전선에서 전파방사를 최소화함으로써 상당부분의 INTERFERENCE를 방지할 수 있다.

다. 바론을 사용함에도 불구하고 누설 전류가 발생하는 경우

- 1) FEED LINE(동축케이블)을 안테나 도선에 대해 수직으로 내리지 않고 어느 한쪽으로 기울어지게 한 경우.
- 2) 다이폴안테나의 양쪽 도선 중 어느 한쪽이 길거나 짧은 경우.

유명 바론 제조업체

ANTENNA PRODUCTS CORPORATION (상업용 고출력 바론) Amidon(High power 바론 및 자작 Kit) The Radio Works Baluns from ARRAY SOLUTIONS

26 4 To 1 Balun

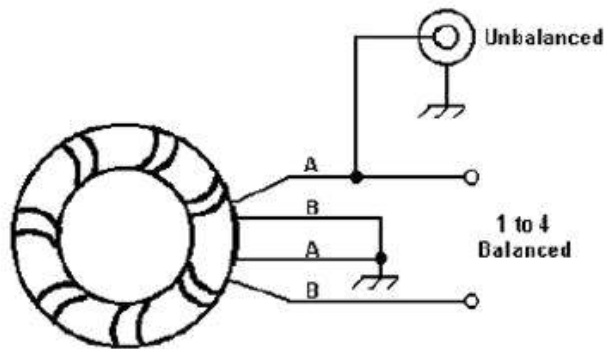


Figure 1

Many modern HF transceivers come fully equipped with built in tuners. While these tuners are great for changing bands, the manufacturers left out a very important accessory; the 4 to 1 balun. With out a balun the transceiver can only feed an antenna which uses coaxial cable. While this may be satisfactory for some operators, this is a real problem for those of us who prefer the super low loss ladder line. The only other alternative is to buy an external tuner with a built-in balun which is really absurd after spending the additional money to have one built into the radio. Fortunately, a 4 to 1 balun can be easily home brewed as illustrated in Figures 1 and 2.

Figure 1 shows a bifilar winding on a toroid. The toroid should be type 2 (red) material and can be any of the following sizes but the number of bifilar turns should be adjusted accordingly:

TOROID	NUMBER OF TURNS	POWER RATING
T80-2	25	60 Watts
T106-2	16	100 Watts
T130-2	18	150 Watts
T157-2	16	250 Watts
T200-2	17	400 Watts
T200A-2	13	400 Watts
T400-2	14	1000 Watts

The exact number of turns is not critical but the numbers listed in the preceding table should yield optimum results. It is possible to exceed the power ratings listed above but the performance of the balun may be degraded during high SWR causing heating of the core.

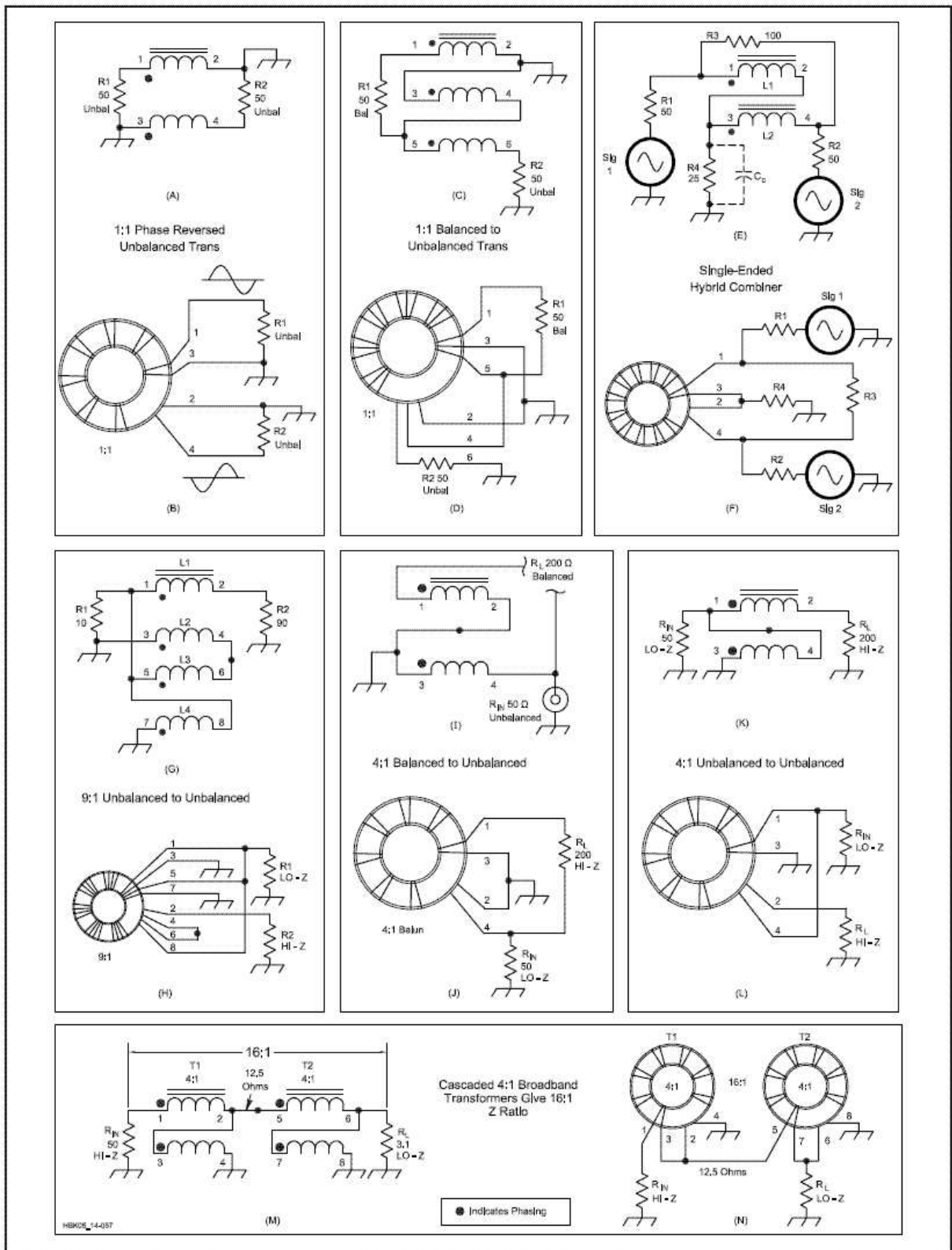
<http://rason.org/Projects/balun/balun.htm>

라. 안테나의 급전부에 들어가는 밸런스드 또는 언밸런스드 밸런에 대해 알아봅시다.

다이폴 안테나, 비버리지 안테나, 롬빅 안테나, T2FD 안테나, 원돔 안테나 등등 밸런이 들어 안테나의 급전부에 들어가는 밸런스드 또는 언밸런스드 밸런에 대해 알아봅시다. 다이폴 안테나, 비버리지 안테나, 롬빅 안테나, T2FD 안테나, 원돔 안테나 등등 밸런이 들어갑니다. 반파장 다이폴은 밸런이 없어도 크게 영향이 없지만 급전점 임피던스가 아주 높은 대형 안테나들은 1:4 또는 1:9 밸런이 반드시 필요합니다.

사실 밸런의 원리는 복권 또는 단권 트랜스와 같기 때문에 결코 어렵거나 복잡하지 않습니다. 설명하는 내용을 천천히 따라오시면 앞으로 평생 밸런을 어떻게

만들지? 하며 도면을 찾아 해매는 일은 없을 겁니다. 속는 셈치고 차근차근 알아가다 보면 아래와 같은 이런 도면은 더 이상 필요 없어집니다. ARRL Handbook에 나오는 각종 밸런을 소개한 그림입니다.



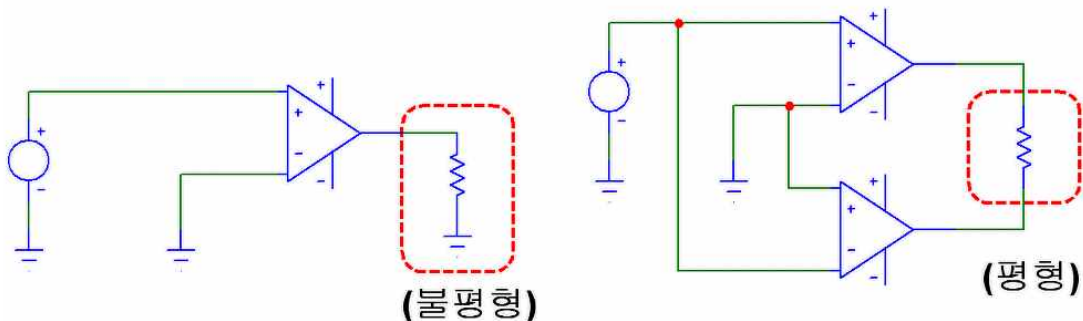
위의 그림을 보니 복잡하기도 하고 이리저리 전선을 꼬아 놓은걸 보면 멀미가 날 지경입니다.

어쨌거나...

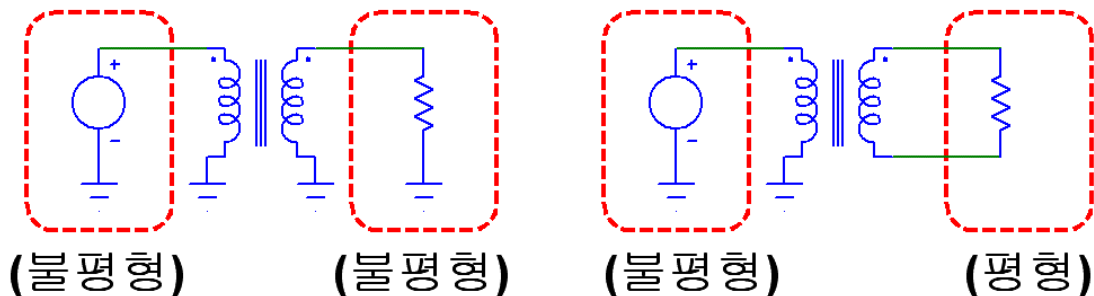
'밸런'이란 말은 Balanced to Unbalanced의 앞글자를 따서 BALUN이라고 하는데 발음하는 방법은 바른, 발룬, 밸런 등이 있는데 발룬~으로 발음 하게 되면 '풍선'이 되어버립니다.

정확한 발음은 '배~런' 정도 되겠는데 그냥 '밸런'으로 표시하겠습니다. 밸런은 말 그대로 밸런스 <--> 언밸런스를 연결하는 매칭 트랜스입니다. 불평형 즉 언밸런스란 두 가닥의 신호선중 한 가닥이 접지된 것을 뜻합니다. 대표적인 언밸런스는 바로 동축케이블이 되겠습니다. 동축 케이블의 외피는 항상 영전위(접지)가 되고, 심선은 신호선으로 사용되어 접지를 기준으로 심선의 전위가 변화하는 구조로 되어있습니다. 그러니까 원래 쌍극의 두 신호선에 플러스 또는 마이너스 전위가 대칭으로 흐르는 것을 한쪽을 접지 시켜 영전위(제로전위)를 만들어 버렸기 때문에 신호의 흐름이 대칭이 되지 않아 불평형 이라고 합니다. 그러면 밸런스는 두 가닥의 신호선이 모두 접지와 분리되어 각 신호선은 서로 간 대칭되는 역위상의 신호를 전송하게 됩니다. 300옴 사다리피더가 대표적인 평형 케이블이 되겠네요.

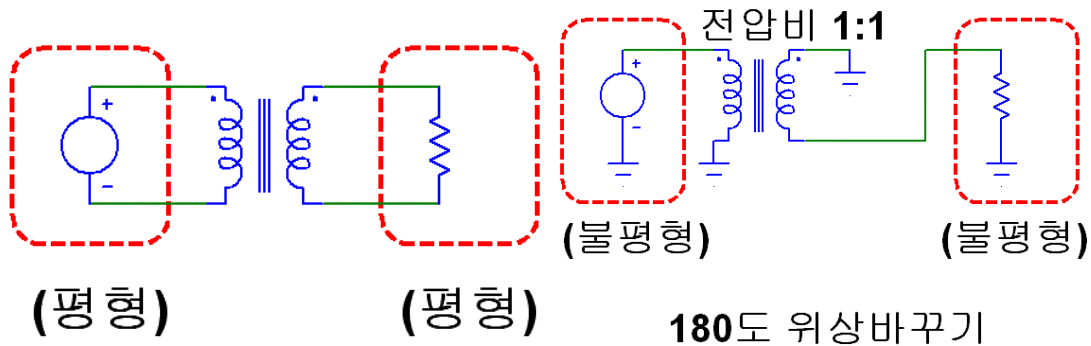
평형, 불평형 회로는 여러 가지 경우에 사용 됩니다. 예를 들어 OPAMP를 사용해 부하저항에 전위차를 만들어주는 방법으로 평형, 불평형 방법이 있습니다. 그림으로 보면 이렇습니다.



부하저항에 신호선 하나와 접지를 연결한 형태를 불평형 이라고하고 부하저항이 접지와 분리되어 양단에 신호선이 연결된 형태를 평형이라고 합니다. 평형과 불평형은 대략 이런 개념 이므로 1:1 트랜스를 예를 들어보면 이렇습니다.

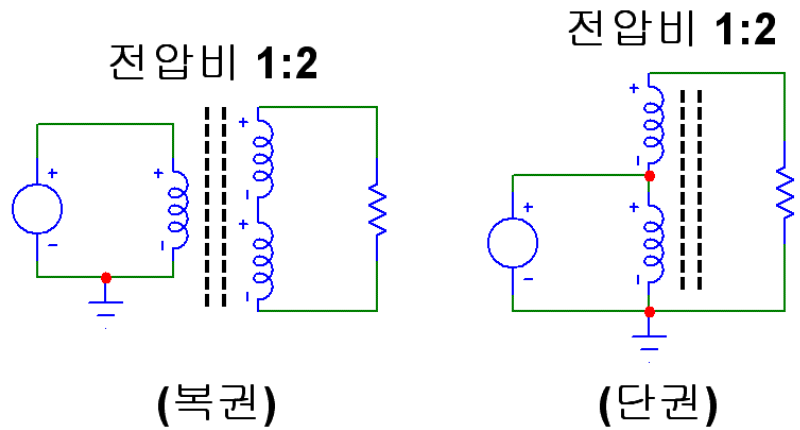


신호원이나 부하저항 기준으로 접지를 연결 하느냐 하지 않느냐가 평형 불평형을 결정해 버립니다. 어이쿠~ 이런 벌서 1:1 밸런을 모두 공부해 버렸습니다. 다음 페이지의 그림에서 좌측은 불평형:불평형 1:1 밸런이고, 우측은 불평형:평형 1:1 밸런입니다. 간단 하죠? 그림 평형:평형 1:1 밸런은 이렇게 되겠네요.



트랜스에서 1차측과 2차측의 코일 감는 방향을 반대로 하거나 결선된 극성을 뒤집으면 입출력 위상도 180도 바뀌게 됩니다. 간단한 그림으로 보면 이렇습니다.

그러면 이제 단권 과 복권을 배워 보겠습니다. 그림으로 먼저 보면...

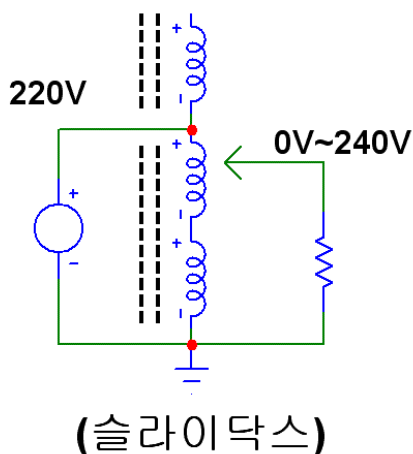


좌측이 복권트랜스, 우측이 단권 트랜스입니다. 좌우측 모두 입출력 전압비는 1:2로 동일하지만 뚜렷한 장단점이 있습니다. 먼저 복권 트랜스는 불평형 입력에서 출력은 평형이 되었습니다. 2차측 출력은 평형으로 접지와는 무관해져 버리기 때문에 접지쪽으로 생기는 누전이 없어집니다. 우리가 흔히 사용하는 계측기의 금속 부분을 만져보면 누전이 느껴집니다. 혹은 책상에 쌓아놓은 장비들 간 금속부분을 AC 볼트메타로 측정해보면 100V 정도 전위차가 생기는 걸 볼 수 있는데

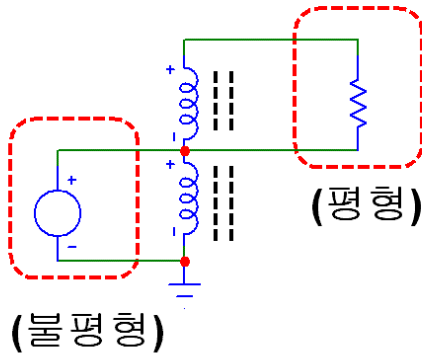
이때 장비마다 각각 1:1 복권 트랜스를 사용하면 기분 나쁜 누전을 막을 수 있습니다. 복권 트랜스의 단점으로는 1차측 2차측 코일을 따로 감아야하기 때문에 덩치가 커지고 가격이 비싸집니다.

단권 트랜스는 사실 1차 코일 2차 코일이란 개념이 좀 애매하네요. 1차코일이 2차코일의 절반을 차지하는 구조로 되어있는데 결선 구조상 출력 측을 평형으로 만들 수가 없습니다.

장점으로는 복권에 비해서 코일을 1/3만큼 덜 감아도 되므로 경제적입니다. 위에 그려놓은 단권 트랜스의 입출력 방향을 바꾸고 출력부분의 접점을 이동시키면 슬라이닥스가 됩니다.

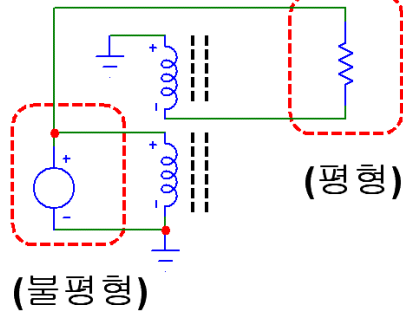


전압비 1:1



슬라이더는 220V 입력에 손잡이를 돌리면 0V ~ 240V 까지 출력 전압이 가변 됩니다. 보시다시피 원리는 단권 트랜스에 출력탭을 무수히 만들어 놓고 탭을 전환하면 권선비에 따라 전압이 출력 되는 구조입니다. 뽀런 알아보자고 해 놓고 왜 자꾸 엉뚱한 슬라이더스니 트랜스니 단권 복권 이 야기를 하고 있냐고 의문이 드실겁니다. 왜냐하면 원리가 똑같은걸 어찌란 말입니까? 단권 트랜스 형태는 평형출력을 만들 수 없다고 설명했는데 과연 그럴까요? 아래 그림처럼 트랜스를 만들면 출력 전압이 어떻게 될까요?

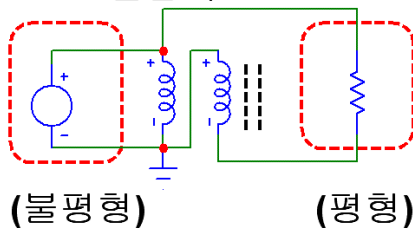
전압비 1:2



결과는 전압비 1:1의 불평형:평형 트랜스가 만들어 집니다. 전압비가 1:1이 되어버렸지만 단권 트랜스도 평형 출력이 가능하군요. 그러면 단권 트랜스 형태로 전압비 1:2의 평형 출력도 가능할까요? 이렇게 한번 결선해 봅시다.

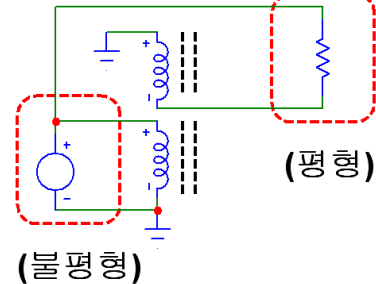
코일을 단권형태 비슷하게 감아놓고 결선을 살짝 바꾸면 전압비 1:2의 평형 출력을 얻을 수 있습니다. 위의 두 그림은 같은 회로를 보기 쉽게 변형 시켜놓은 것입니다.

전압비 1:2



전압비 1:2로 동작하는 원리는 간단합니다. 부하저항 '양단'에 걸리는 전압은 서로간 위상이 180도 다르기 때문에 2배의 전압을 갖게 됩니다. 먼저 신호원 (+)측에서 나온 신호는 부하저항으로 바로 갑니다. 부하저항의 나머지 단자로는 1:1 트랜스에서 만들어진 역위상(-)이 인가되어 결국 부하저항 '양단'에는 정위상과 역위상이 인가 되므로 2배의 전압이 됩니다. 결과는 전압비 1:1의 불평형:평형 트랜스가 만들어 집니다.

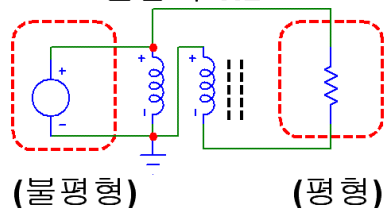
전압비 1:2



전압비가 1:1이 되어버렸지만 단권 트랜스도 평형 출력이 가능하군요. 그러면 단권 트랜스 형태로 전압비 1:2의 평형 출력도 가능할까요? 이렇게 한번 결선해 봅시다.

코일을 단권형태 비슷하게 감아놓고 결선을 살짝 바꾸면 전압비 1:2의 평형 출력을 얻을 수 있습니다. 위의 두 그림은 같은 회로를 보기 쉽게 변형 시켜놓은 것입니다.

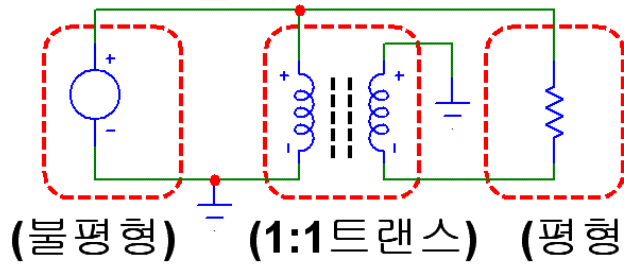
전압비 1:2



전압비 1:2로 동작하는 원리는 간단합니다. 부하저항 '양단'에 걸리는 전압은 서로간 위상이 180도 다르기 때문에 2배의 전압을 갖게 됩니다. 먼저 신호원 (+)측에서 나온 신호는 부하저항으로 바로 갑니다. 부하저항의 나머지 단자로는 1:1 트랜스에서 만들어진 역위상(-)이 인가되어 결국 부하저항 '양단'에는 정위상과 역위상이 인가 되므로 2배의 전압이 됩니다.

그래서 전압비 1:2의 불평형 입력에 평형 출력을 얻을 수 있습니다. 그림을 다시 그리면 이렇게 됩니다.

입출력전압비 1:2

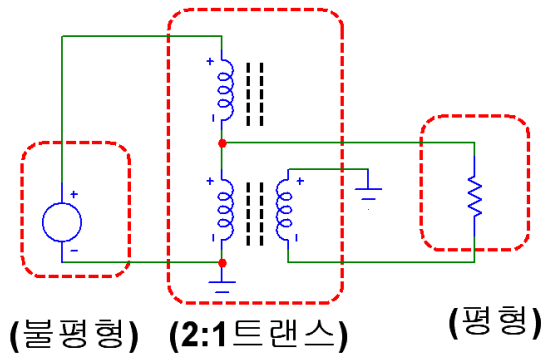


모두 같은 그림인데 헷갈리시죠?

꼼꼼히 살펴보면 신호원과 부하저항 사이에 위상을 180도 바꿔주는 1:1 트랜스를 하나 집어넣은 것뿐입니다.

이번에는 2:1 트랜스를 넣어서 만들어 보면... 2:1 트랜스를 넣으면

입출력전압비 1:1

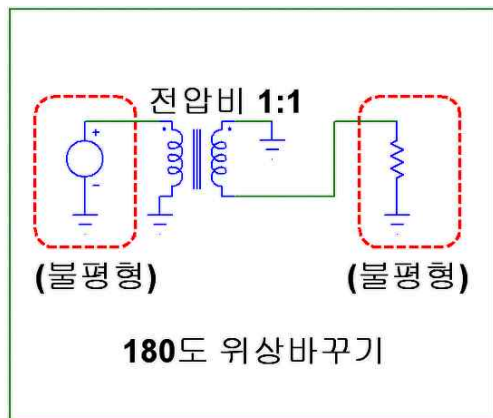


1/2로 감압된 된 전압이 부하저항에서 역위상으로 서로 만나 두 배 전압이 되기 때문에 최종 입출력 전압비는 결국 1:1이 됩니다.

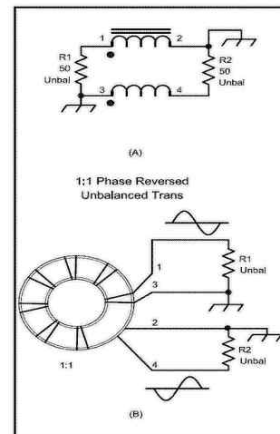
** 트랜스의 전압비는 코일의 권선비와 동일합니다. 또한 전압비의 제곱은 임피던스비가 됩니다.

** 전압비 권선비 임피던스비의 관계가 궁금하시면 제프안테나편에서 찾아보시면 아마 거기 있을 겁니다.

전압비 1:2의 불평형-->평형 트랜스를 다른 말로 하면 '1:4 불평형:평형 밸런' 이 됩니다. 지금까지 알아왔던 트랜스 원리가 ARRL Handbook에 소개한 밸런과 같은지 다른지 확인해 볼까요?

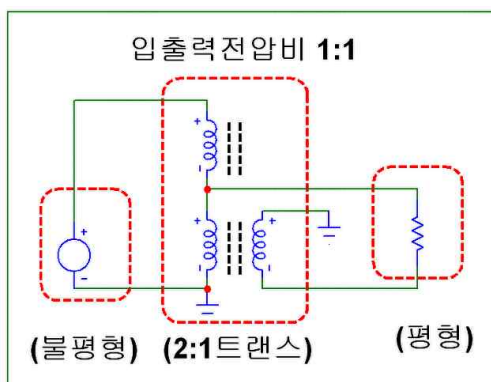


=

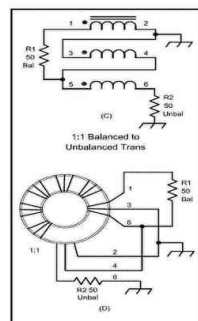


지금까지 알아왔던 트랜스 원리가 ARRL Handbook에 소개한 밸런과 같은지 다른지 확인해 볼까요?
먼저 180도 위상 바꾸기

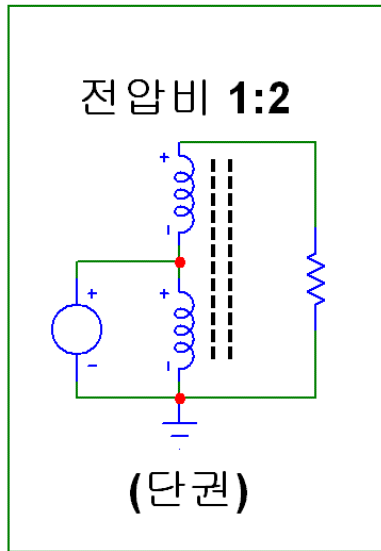
불평형:평형, 1:1 밸런



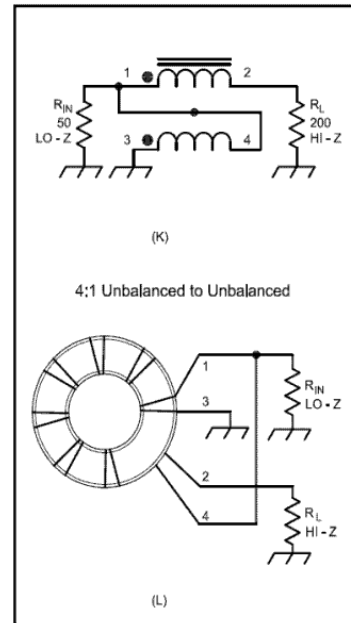
=



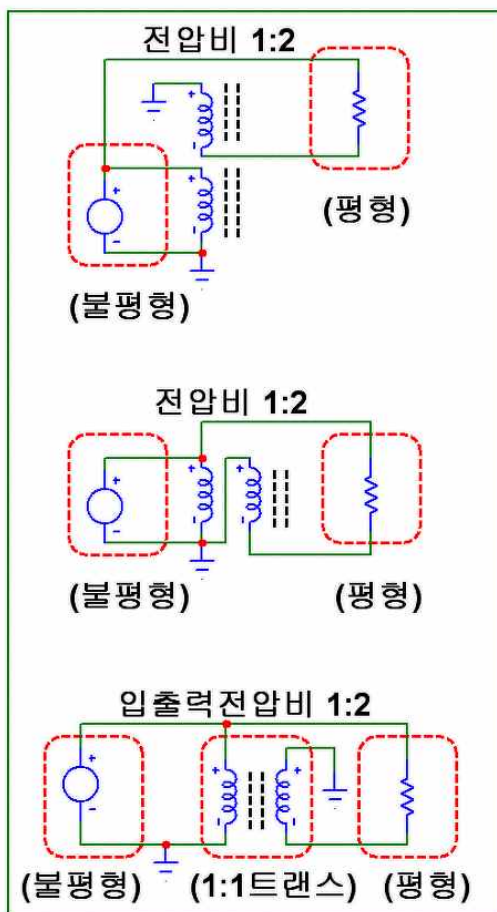
불평형:불평형, 1:4 밸런



=



불평형:평형, 1:4 밸런



=

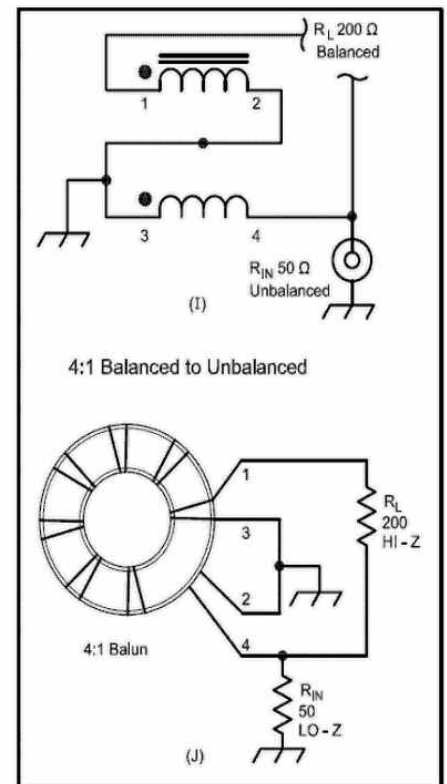


그림 모양만 다를 뿐 트랜스 설명했던 내용과 ARRL Handbook에 그려진 내용이 똑같습니다. 트랜스 원리와 권선비, 전압비, 임피던스비 정도만 이해하고 있으면 어떤 형태 어떤 종류의 밸런도 쉽게 설계해서 만들 수 있습니다. 다음 편에는 실제로 만들어서 테스트 해보고 제작 시 주의할 점, 토로이달코어선택, 온도, 내전

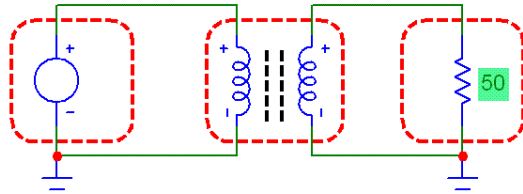
압 문제 등등을 살펴보도록 하겠습니다.

밸런 제작에 가장 중요한 것은 역시 토로이달코어입니다. 밸런에서 토로이달코어는 RF트랜스용 코어로 사용되기 때문에 투자율이 낮은 니켈 아연 재질 페라이트 코어를 사용합니다.

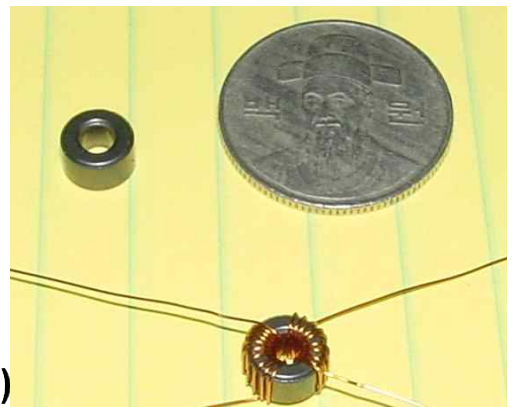
테스트에 사용한 코어는 디바이스마트에서 판매하는 74270111입니다. 가격은 5개 600원. 디바이스마트에서 판매하는 EMC용 니켈아연 페라이트코어는 소출력 트랜스, 밸런용으로 모두 사용 가능합니다. 하지만 LPF 인덕터용으로는 사용불가입니다. 아미돈 코어를 사용하고 싶다면 밸런이나 매칭 트랜스 만들 때는 FT로 시작하는 페라이트 코어를 사용하고 LPF 같은 곳의 인덕터로 사용할 때는 모델명 T로 시작하는 아이언파우더 코어를 사용합니다. 코어 모양만 보고는 인덕터용인지 RF트랜스용인지 알 수가 없고, 어느 곳에 어떤 스펙의 코어를 사용해야 되는지 친절한 설명도 찾아보기 힘듭니다. 그러다보니 도면에 나와 있는 그 코어를 구하지 못하면 아무것도 못하게 됩니다. 정체가 분명한 토로이달코어는 구할 수 있을 때 구해 놓는 것이 좋겠습니다. 디바이스마트에서 판매하는 코어는 원래 전자파 차폐용인데 RF트랜스용 코어로 사용해도 특성이 좋은 것 같아 계속 사용 중입니다. EHB-1, EHB-2에도 74270111 코어가 들어가 있습니다. 아미돈의 FT시리즈 코어도 RFI Suppression용으로 사용되니까 재질이나 특성은 비슷하리라 생각합니다. 일단은 트랜스를 한번 감아 보겠습니다.

회로는 가장 간단한 1:1 트랜스에 50옴 신호원과 50옴 부하저항을 사용합니다.

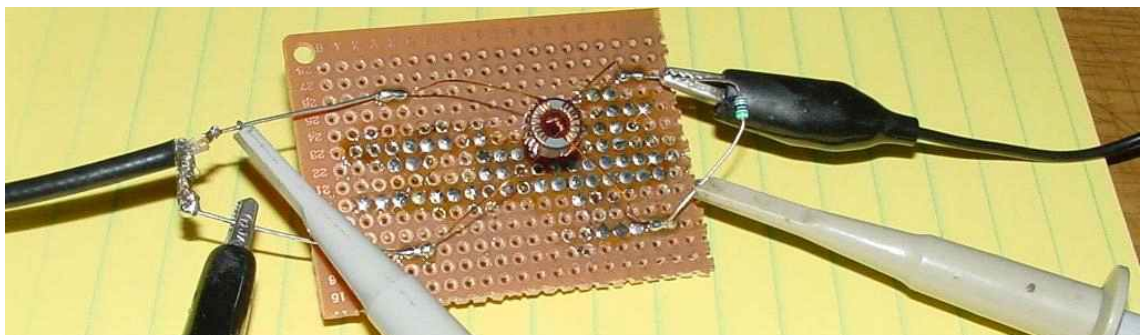
권선비 **10:10**
입출력전압비 **1:1**
임피던스비 **1:1**



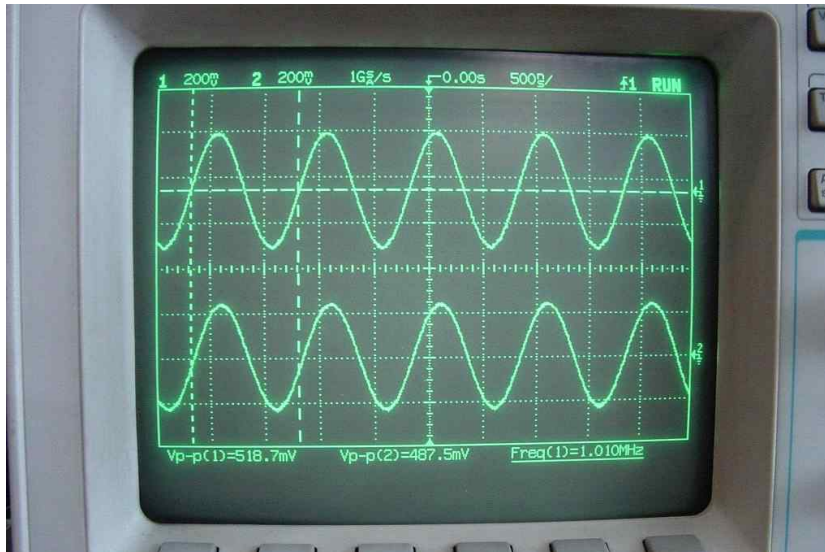
(불평형) (1:1트랜스) (불평형)



코일 감는 방법은 1차와 2차를 분리해서 0.3mm 에나멜선을 각각 10회씩 감았습니다. 50옴 출력의 신호발생기에서 1Vp-p 전압을 출력하여 1:1 트랜스를 통과한 다음 50옴 부하저항에 걸리는 전압을 주파수별로 측정해 봤습니다.

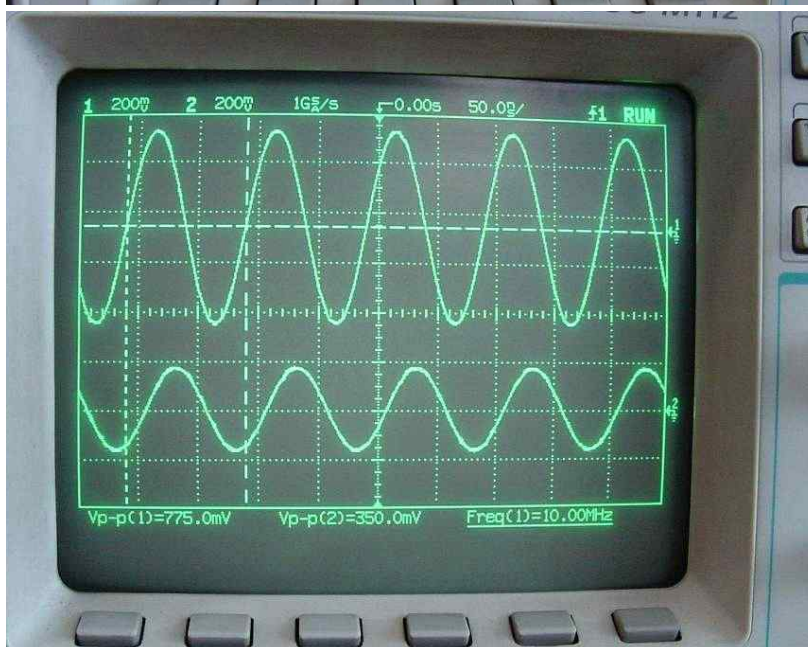


입출력 임피던스는 50옴 이므로 1Vp-p의 전압은 정확히 분압 되어 입출력 모두



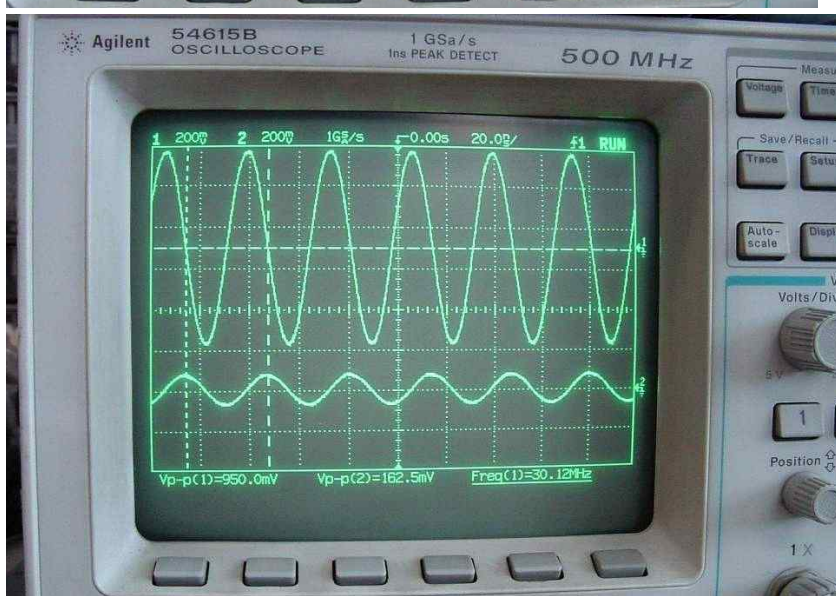
0.5Vp-p가 측정되어야
됩니다.

먼저 1MHz에서
입력 전압은 518.7mV,
출력 전압은 487.5mV로
거의 0.5V를 만족 합니
다.

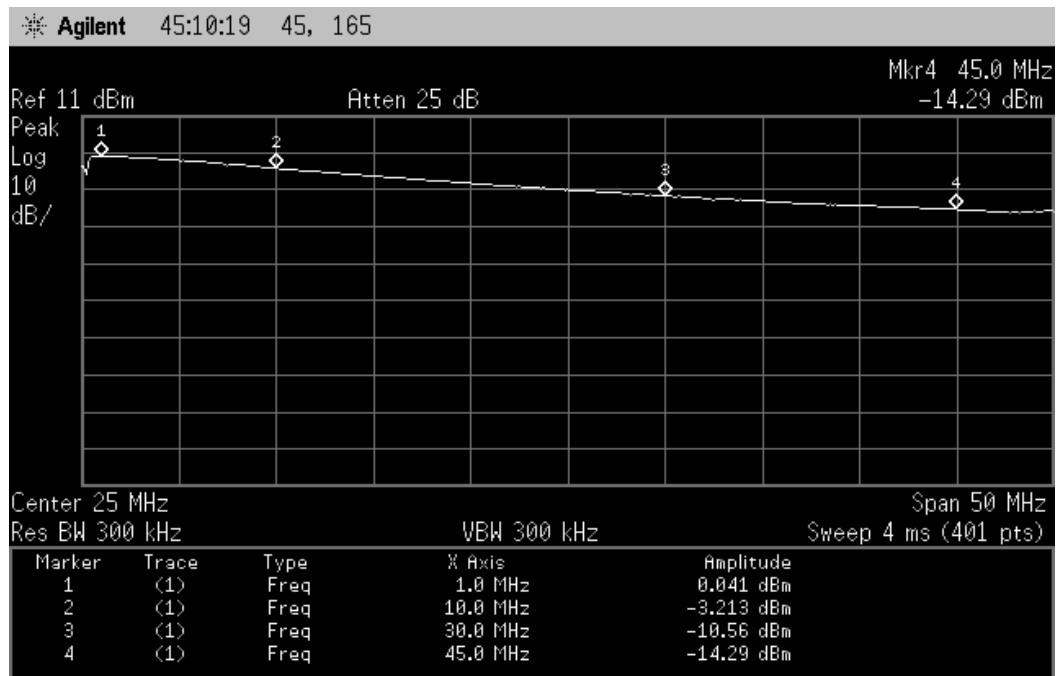


10MHz에서는
입력 775mV, 출력
350mV로 손실이 생
기기 시작하네요.
출력 위상도 거의 80
도 정도 뒤쳐진 결과
보입니다.

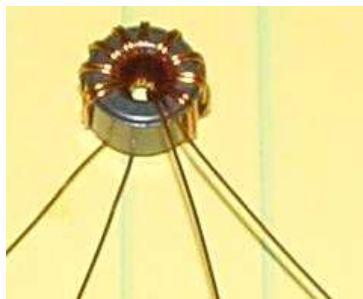
30MHz에서는 입력
950mV 출력 162mV
로 곤란할 정도로 손
실이 심하게 나타납니
다.



오실로스코프에 나타
난 전압으로 살펴본
입출력 특성을 스펙트
럼아날라이저로 살펴
봤습니다



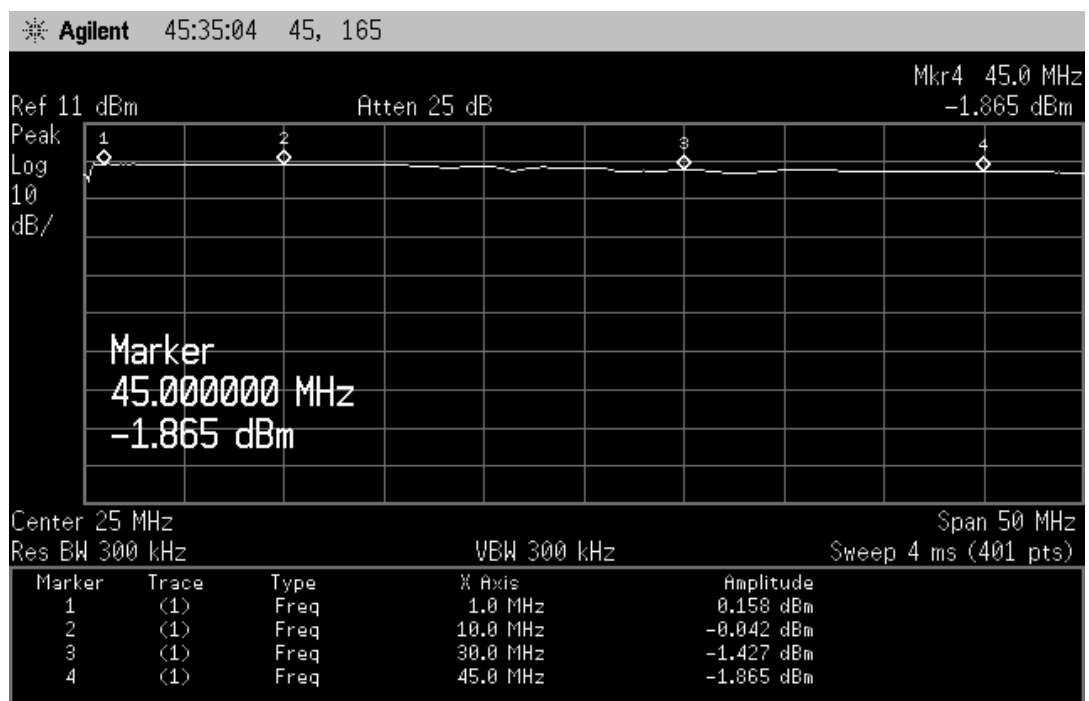
1MHz에서는 트랜스 삽입손실이 거의 없지만 30MHz에서는 10dB정도 손실이 생기는 걸로 나옵니다. 30MHz에서 10dB 손실이면 HF용 트랜스로는 불합격입니다.



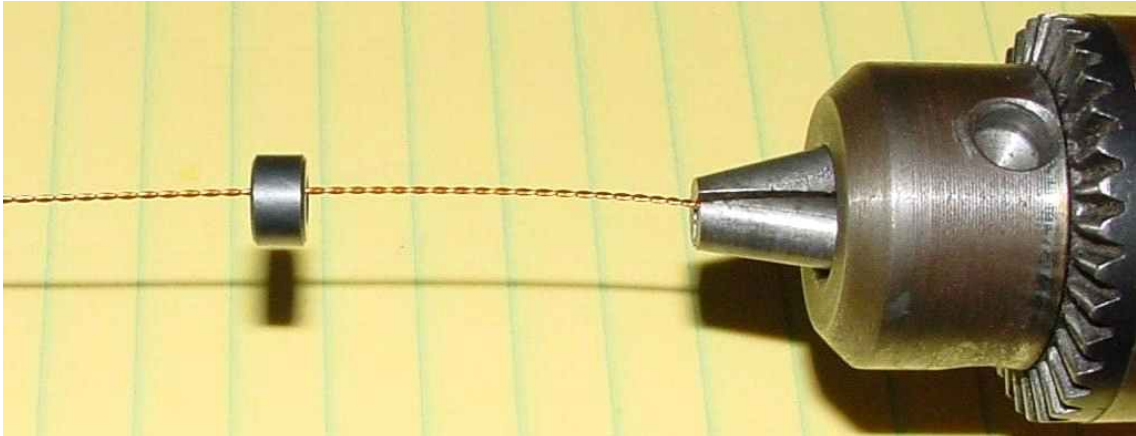
손실이 이렇게 큰 이유는 1차 2차 코일을 분리해서 감았기 때문에 코일간 밀 결합이 되지 않아 그렇고, 코어의 특성이 주파수가 높아질수록 나빠진다는 뜻이 되겠습니다.

이번에는 분리해서 감았던 1차 2차 코일을 나란히 같이 감아 보겠습니다. 두가닥을 꼬지는 않았습니

다. 트랜스 특성을 보면 30MHz에서 손실은 1.4dB정도 됩니다.



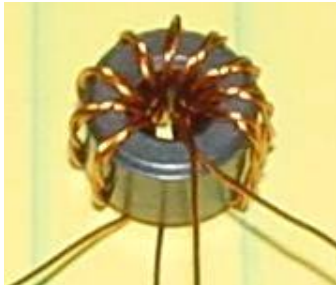
나란히 감았던 1차 2차 두가닥을 이번에는 드릴을 사용해 보기 좋게 꼬아 줍니다.



꼬은 선을 감아서 1:1 트랜스를 만듭니다.
트랜스 입출력 손실을 보면



30MHz에서 손실은 0.38dB로 아주 좋습니다. 이정도면 HF용 1:1 트랜스로 합격입니다. 꼬은 에나멜선으로 만든 1:1 트랜스는 HF용으로 아주 훌륭히 동작하는을 확인 했습니다.

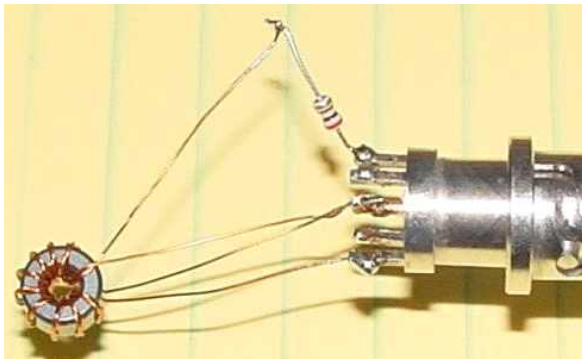
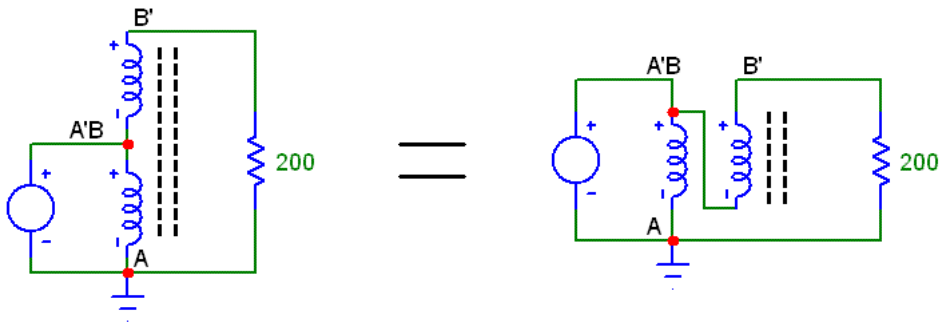


지금 만든 이 1:1 트랜스의 1차측 단자를 A, A' 라고 하고 2차측 단자를 B, B'라고 했을때 A'와 B를 연결시킵니다. 그러면 단자는 A, A'B, B' 3단자가 되겠죠?

3단자 트랜스는 아래와 같은 모양이 됩니다.

3단자 트랜스를 불평형 : 불평형, 임피던스비 1:4 트랜스로 결선하면 이렇습니다.

입출력전압비 1:2 임피던스비 1:4 (50:200)



동축콘넥터에 3단자 트랜스를 연결해 불평형 : 불평형 1:4 트랜스로 동작시키고 트랜스 출력과 접지에는 200옴 저항을 연결했습니다.

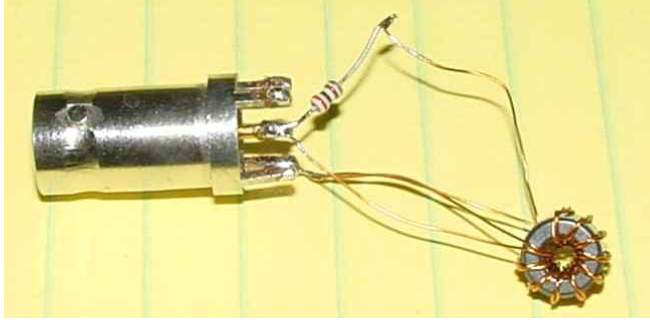
이 상태로 VSWR을 측정해보니 1.5MHz ~ 100MHz 까지 1.2이하입니다. 깜짝 놀랄 만한 결과가 나왔네요.



30MHz에서 측정된 임피던스는 정확히 50옴 입니다.

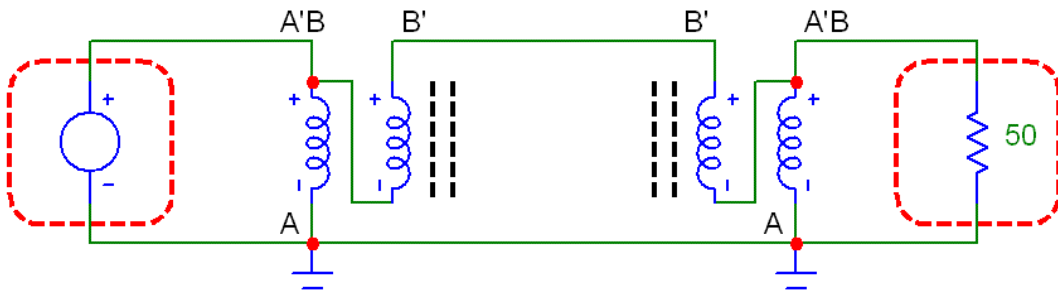
145MHz에서는 VSWR 1.6으로 나옵니다. 145MHz에서는 사용이 곤란하겠습니다.

이번에는 3단자 트랜스를 불평형: 평형, 임피던스비 1:4 트랜스로 결선하면 이렇습니다.
불평형:평형 형태로 동축콘넥터와 200옴 저항을 연결 합니다.

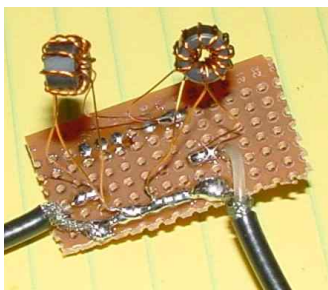


30MHz에서 측정결과 VSWR 1.1로 아주 환상적입니다. 임피던스비 1:4 평형출력도 잘 동작합니다.

전압비 1:2 트랜스는 임피던스비 1:4가 되어 50옴 입력에 출력측은 200옴이 되므로 50옴 입력 임피던스를 갖는 계측기로는 200옴측 측정이 곤란합니다. 그래서 3단자 트랜스를 2개 만들어 50옴 --> 200옴 --> 200옴 --> 50옴 으로 결선하면 입력 50옴에 출력 50옴이 되므로 50옴 입력인 스펙트럼아날라이저로 측정이 가능합니다.그림으로 표시하면 이런 결선 입니다.



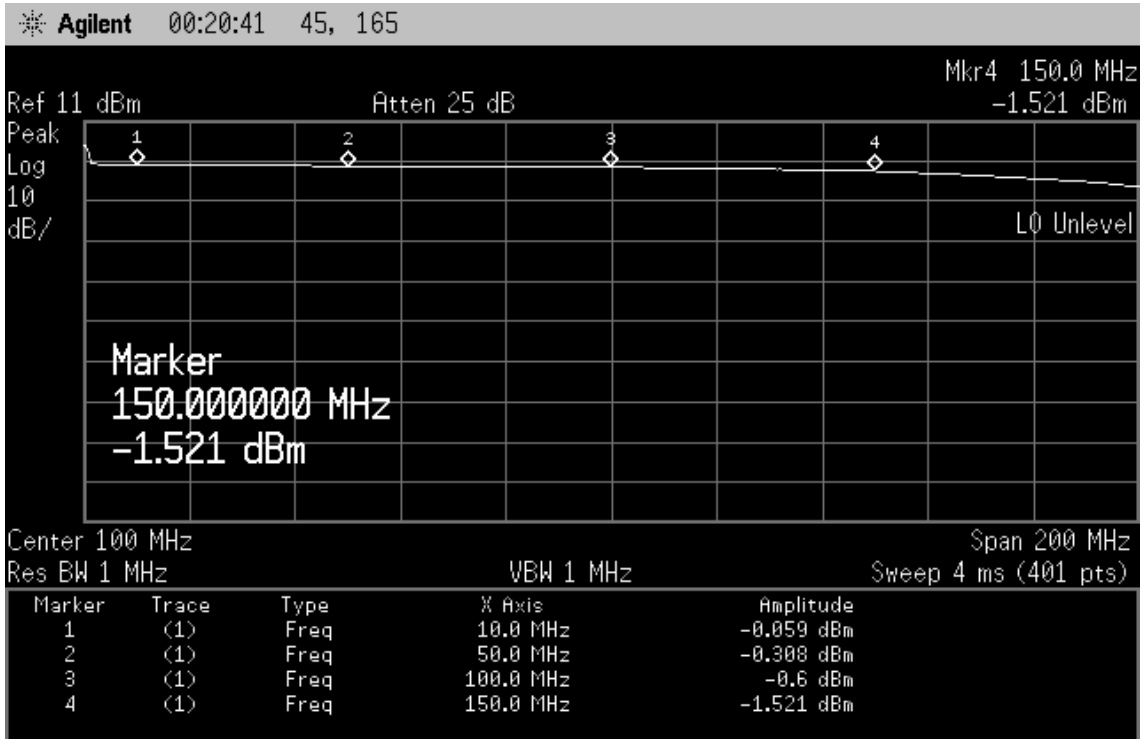
임피던스비 1:4:4:1 (50:200:200:50)



실제로 사용할 때 임피던스비 1:4:4:1 이런식으로 사용하지는 않겠지만, 1:4 (50옴:200옴) 트랜스를 50옴 입력의 계측기로 측정할 때는 유용합니다.

3단자 트랜스 두개를 연결시켜 50옴 입력에 50옴 출력을 만들었습니다.

스펙트럼아날라이저로 1MHz ~ 200MHz 까지 측정했습니다.



위측 그림

100MHz에서 0.6dB, 150MHz에서 1.5dB 손실을 보입니다. 동작이 아주 훌륭합니다.

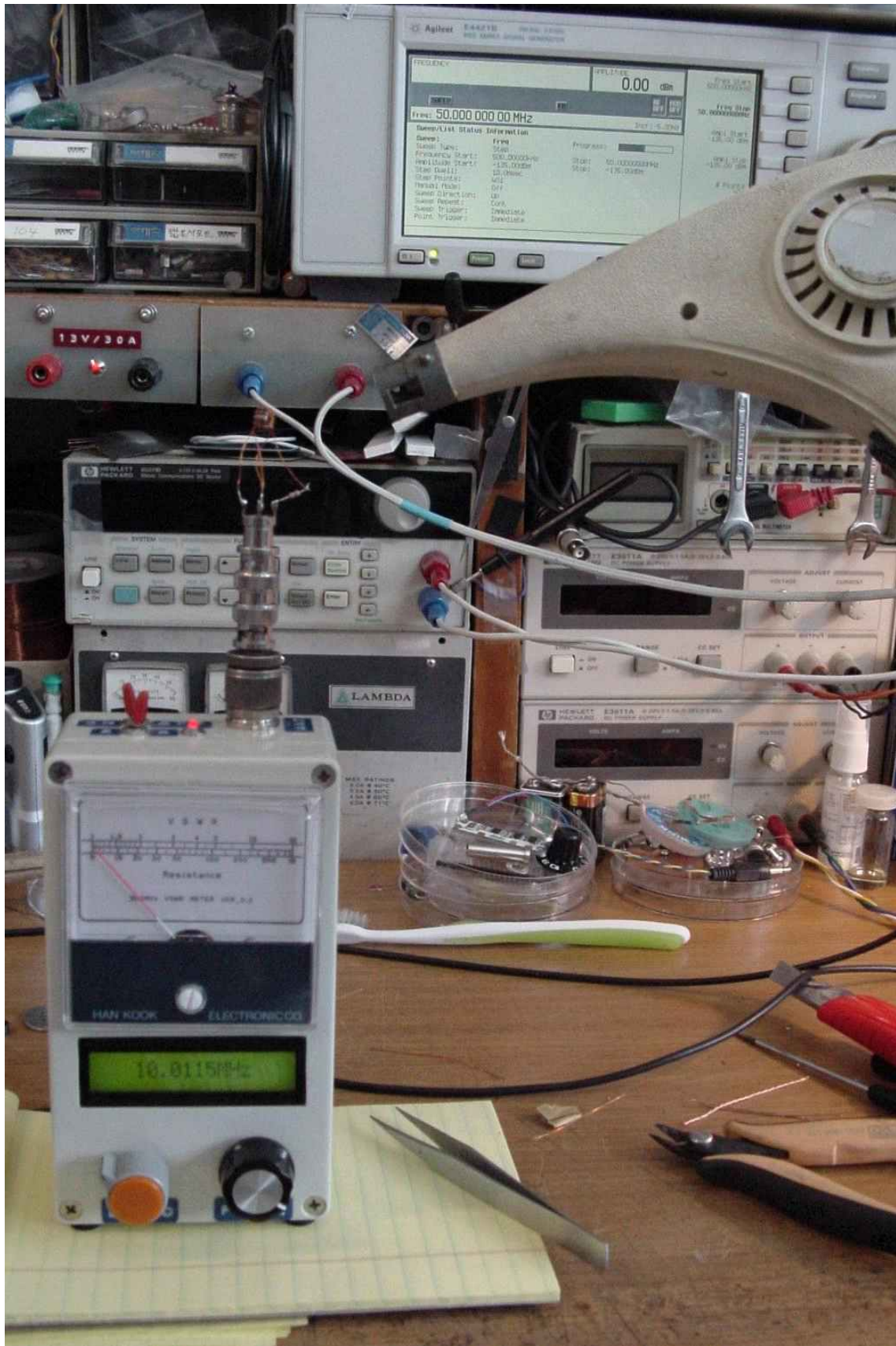
좌측그림

출력측에 50옴 저항을 연결하고 30MHz에서 VSWR을 측정하니 바늘이 꼼짝 하지 않습니다.

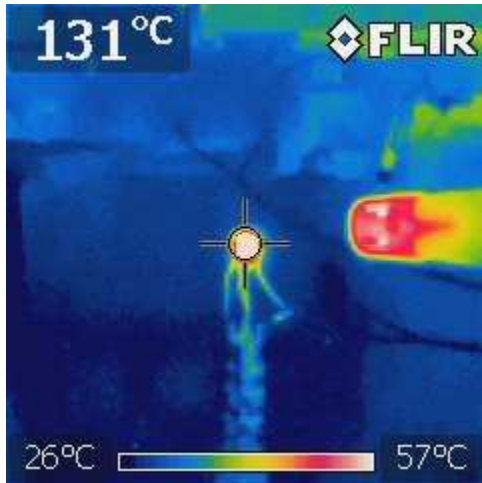
우측 그림

임피던스도 정확히 50옴으로 나옵니다.

다음은 코어의 온도특성 테스트 입니다. VSWR 메타에 1:4 트랜스와 200옴 저항을 연결해 놓고 열풍기로 열을 가해줍니다.



코어 온도가 130도를 넘는순간 VSWR이 무한정 증가합니다. 130도 이하에서는 VSWR이 꿈쩍 았다가 130도 근방을 넘어서는 순간 갑자기 VSWR이 무한대로 올라가 버리네요.



토로이달코어 74270111의 스펙 중 동작온도는 $-25^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ 로 표시되어있는데 거의 맞는 걸로 보입니다. 그래서 밸런 만들 때 코어의 크기는 충분히 열발산이 되도록 사이즈를 결정할 필요가 있습니다.

밸런의 삽입 손실이 없다면 코어의 크기는 아주 작은 것으로 사용해도 문제가 없겠지만 대전력을 다루는 경우 약간의 삽입손실은 모두 열로 나타나므로 열이 누적되다보면 어느 순간 코어의 성질을 잃어버리는 결과가 나옵니다.

밸런의 입력 전력이 100W일때 입력 전압은 50V 기준으로 정확히 100Vp로 나타내는데 이 밸런이 전압비 1:3인 경우 출력 측 전위차는 300Vp가 됩니다. 하이임피던스 밸런을 만드는 경우 100W 정도 까지는 일반 에나멜선을 사용해도 내전압에 크게 문제가 없지만 수백와트 이상 전력이 올라가는 경우 에나멜선은 절연에 문제가 생기니 반드시 두꺼운 테플론 피복의 전선을 사용해야 됩니다.

5W 미만의 QRP용 밸런의 경우 디바이스마트에서 판매하는 적당한 크기의 EMC용 NiZn 페라이트코어에 0.3 ~ 0.5mm 정도의 에나멜선을 감아서 사용하면 전혀 문제 없습니다. 수신전용으로 밸런을 만든다면 무리해서 크게 만들 필요 없이 오늘 실험에 사용한 74270111 코어를 사용하면 0.5MHz ~ 50MHz까지 충분히 사용가능합니다.

마. 토로이달 코어(Toroidal Core)에 대한 자료

먼저 아래 김경원님의 밸런과 토로이달 코어에 대한 여러 가지 유용하고 실용적인 글에 대해 감사합니다. 덕분에 어렵쑥 하게 알고 있던 것들을 조금이나마 이해할 수 있었습니다. 더불어 계측기의 사용에 대한 힌트도 얻게 되었구요. 너무나 감사합니다.

그래서... 조금이라도 더 알고 싶어서 인터넷을 검색해 봤습니다.

먼저 "투자율(permeability)" 이라는 용어가 나오는데 이해하기 참 어렵군요. 찾아보니 "자성체의 자속밀도 B와 자화의 세기 H와의 비 $\mu = B/H$ 를 말한다.(http://www.syec.co.kr/korean/skill_pdf/10.pdf)" 고 합니다. 오히려 더 어렵습니다. 그래서 제맘 대로 이해해 보기로 했습니다.

- 자성체에 코일을 감고 직류를 공급하면 극성이 고정된 전자석이 되죠. 이것을 "자화" 된다고 합니다. 직류는 고정된 자기장을 형성하고 전류도 지속적으로 흐릅니다.
- 자성체에 코일을 감고 교류를 공급하면 극성이 왔다 갔다하면서 자기장의 형성이 계속 바뀐다. 자기장이 변화하면 전류의 흐름을 방해한다. 그래서 교류 흐름을 방해하는 정도를 임피던스라는 표현을 한다.
- 1차 코일에 교류를 흘려 자기장을 형성시키고 2차 코일을 통해 전압과 위상이 변형된 전기 에너지를 뽑아낼 수 있다. 트랜스의 원리란다.
- 좀더 효과적으로 교류 에너지를 전달하려고 코일에 자성체를 넣는다.

- 그냥 맨 공간에 코일을 감아도 자기장은 형성된다. 중간에 자성체를 넣으면 더 세게 에너지를 뽑아낼 수 있다. 그런데 이 자성체가....
- 교류에 의한 자기장의 변화에 따라 좀더 빠르게 극성 변환이 잘되는 정도에 이 자성체의 특성을 결정한다.
- 교류 전원의 변화 즉, 주파수에 빠르게 자기장 극성을 바꿔 줄수 있는지 자성체마다 특성이 있을 것이다.
- 특하면 영구자석이 되버리는 그냥 쇠못은 빠르게 극성을 바꾸는 고주파에는 못쓰겠다.
- 어쨌든 투자율이란 자기장이 형성되고 그 안에 놓인 자성체가 얼마나 잘 자석처럼 변화하는지 특성치를 나타낸 말이 아닐까? 나무의 투자율은, 0.999995, 알루미늄은 1.000006, 니켈은 50, 쇠는 300, 트랜스용 페라이트는 1000 이라고 함. 토로이드 코어를 제작할 때 사용되는 물질에 따라 T 혹은 FT 형으로 나눈다고 한다.
- T형의 재료는 파우더 아이언(Powder Iron, 철가루?), FT 형은 니켈-아연 혹은 마그네슘-아연 합금으로 만든 페라이트
- T 형은 발전회로용 코일(1차만 감긴)로 쓰고, FT 형은 자속력이 높아서 1-2차 감는 트랜스용

참고:

1. TOROID : FT,T &BALUN , http://www.dx.hu/~ha7ty/toroid_datasheet.pdf

 toroid_datasheet.pdf

FT, T 형 토로이달 코어의 특성을 설명하고 있음


2. Winding and Using Toroid,

<http://oldradios.co.nz/downloads/Winding%20and%20Using%20Toroids.pdf>

 Winding and Using Toroids.pdf


토로이달 코어로 코일 만드는데 떨거없다... 로 시작하여 막대 코어보다 토로이달 코어를 쓰는 좋은점, 토로이달 코어 잘 감는 방법, 코일과 동조 주파수 측정, 코일 설계 등등...

3.

 Baluns- what they do and how they to it(Current &Voltage B.pdf

4. Toroid Core Info <http://toroids.info/>

5. Toroid Calculator Software

 toroidsa.zip

토로이드 코어에 코일을 감으려면 적당한 크기의 전선을 잘라야 하는데 ... 대략 얼마면 될까?

<http://www.hamradioindia.com/kitbuild/Toroid.htm>

CALCULATING WIRE LENGTHS FOR WINDING TOROIDS

CORE TYPE	IPT	CORE TYPE	IPT
T-12	0.163	T-400	3.050
T-16	0.202	T-400A	4.350
T-20	0.252	T-520	3.720
T-25	0.327	FT-23	0.230
T-30	0.412	FT-37	0.438
T-37	0.426	FT-50	0.595
T-44	0.529	FT-50A	0.688
T-50	0.577	FT-50B	1.188
T-68	0.700	FT-82	0.809
T-80	0.800	FT-87	0.835
T-94	1.006	FT-87A	1.335
T-106	1.364	FT-114	1.045
T-130	1.394	FT-114A	1.070
T-157	1.760	FT-140	1.500
T-184	2.300	FT-140A	1.692
T-200	1.850	FT-150	1.250
T-225	1.950	FT-150A	1.750
T-225A	2.850	FT-193	1.930
T-300	2.080	FT-193A	2.180
T-300A	3.080	FT-240	2.000

To calculate wire lengths, use the following equation:

Length in inches = (Desired Number of turns) X (IPT) + 3 INCHES (IPT = Inches per Turn)

73s Dinesh/VU2FD

Ⅲ. 안테나 매칭

부메랑이 되돌아오는 원리를 수학적으로 표현하여 '부메랑이론'을 만들어 놓는다면 그걸 보고 부메랑을 제대로 이해할 수 있는 사람이 얼마나 될 것이며 그 이론에 근거해 더 잘 나르는 부메랑을 만들 수 있을까요?

과거 호주의 원주민들은 수학적 이해 없어도 부메랑을 만들어 사용했습니다. 부메랑이 날기 위한 각종 이론을 오랫동안 공부 하는 것 보다 즉시 나무 깎아서 던져보고 돌아오지 않으면 다시 깎아 던져 보고 몇 번 하면 부메랑을 어렵지 않게 만들 수 있습니다.

취미 생활로 부메랑을 잘 던지는 것이 목적이라면 부메랑 잡는 법 던지는 각도 바람방향 등 몇 가지 주의사항만 공부 하면 됩니다. 이해하기 어려운 운동역학 유체역학 같은 심도 있는 공부 때문에 부메랑 던지기에 스트레스 받을 필요 없습니다. 그리고 각종 공학적 이론이 들어있는 '부메랑이론'을 100% 이해했다고 해도 만들고 던지고 받기를 잘 할 수 있는 것도 아닙니다. 그렇다고 이론 공부를 배척할 필요는 없습니다. 이론 공부가 재미있다면 그 자체가 취미가 될수도 있으니까요. 마찬가지로 안테나 또한 간단한 최소한의 이론만 알고 있으면 만들고 즐기기에 충분 합니다. 안테나 공학 책을 보면 온통 알 수 없는 수식으로 가득 차 있습니다. 큰 맘먹고 책을 폈는데 안테나 공부를 시작하기도 전에 포기 하게 만들어 버립니다. 그렇다고 최소한의 원리와 이론도 모르고 무작정 만들어 보기만 한다면 무척 피곤할 것입니다.

안테나를 재미있게 다루기 위해서 필요한 아주 유용하고 기본적인 이론과 원리에 대해서 다함께 같이 공부하며 이번 제작기의 목표인 와이어 안테나용 오토튜너 제작을 해보도록 하겠습니다. 우선... 최종 목표인 오토튜너의 크기는 어른주먹 두개 정도 크기, 사용주파수 3.5MHz ~ 30Mhz, QRP용으로 입력전력 10W급, 배터리 내장 독립동작, 래치릴레이 사용 등입니다.

사용 방법은 스타트 버튼을 한번 누르고 적절한 곳에 매달아 놓고 송신키를 누르면 튜닝이 되고, 끝나면 내부 전원을 스스로 꺼버립니다. 래치 릴레이를 사용 하므로 전원이 꺼져도 튜닝 상태가 유지 됩니다. 설치되는 형태는 제프안테나처럼 하면 되고, 제프안테나와 다른 점은 반드시 접지를 시켜야 됩니다. 오토튜너를 만들기로 했으니 튜너의 원리를 알아보기에 앞서서 먼저 안테나의 정체부터 파악해야 되겠죠?

지금부터 설명하는 내용들은 '옴의법칙' 수준을 크게 넘어가지 않으니 가벼운 마음으로 내용을 읽어 보시기 바랍니다. 먼저 안테나의 등가회로를 살펴볼 필요가 있습니다.

안테나의 형태가 무수히 많아서 어떻게 이놈을 이해해야 할지 난감 하지만 가만히 따지고 보면 어떤 안테나 던지 결국 이런 구조를 가지고 있습니다.

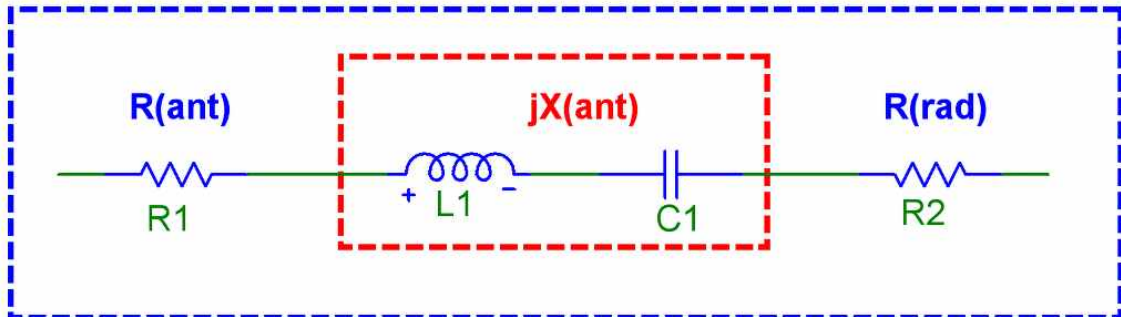
안테나의 입력 임피던스

$$Z(\text{ant}) = R(\text{ant}) + R(\text{rad}) + jX(\text{ant})$$

$R(\text{ant})$: 도선저항

$R(\text{rad})$: 방사저항

$jX(\text{ant})$: 리액턴스



안테나 등가회로

위의 그림에 보이듯이 안테나는 저항, 코일, 콘덴서로 구성되어 있습니다. 이미 다 아는 사실이죠? 그래서 안테나 급전점 임피던스를 결정하는 대표적 요소는 안테나 재질의 저항, 리액턴스, 방사저항 이렇게 3가지입니다. 안테나 도선의 저항은 아주 낮으니 특수한 경우가 아니라면 앞으로 무시 하도록 하겠습니다. 사실은 이외에도 안테나 특성에 영향을 끼치는 요소는 더 있습니다. 지향성(위상간섭), 파장 단축률, 안테나의 높이, 정수배로 공진된 길이, 자계형, 전계형 등 등이 있는데 앞으로 연재할 내용에 모두 녹아 있으니 그냥 술술 읽다보면 어느새 모두 알게 됩니다.

결국 안테나 등가회로에서 급전점 임피던스는 방사저항과 리액턴스가 결정하는데 이것을 간단히 나타내면 $Z = R + jX$ 로 표시 합니다. R 은 방사저항으로 안테나로 입력된 고주파 전력을 공간으로 전송 하므로 실제로 전력을 소비(전송)하는 역할을 합니다. jX 는 저항이긴 한데 저항도 아니면서 전력을 소비하는 것 같은데 전력도 소비 하지 않는 아주 골치 아픈 놈입니다. 문제의 jX 가 무엇인지 한번 살펴보겠습니다. jX , 리액턴스라고 하는데 이해하기 쉽게 이름을 붙여 보자면 '무효저항' 정도로 보면 될 것 같습니다. 리액턴스 소자로는 코일과 콘덴서가 있습니다. 전자 회로에서 코일만 나오면 골치가 아프시죠? 저도 마찬가지 입니다. 특히 RF 회로에 나오는 코일은 도무지 이해하기 힘들어서 무섭기까지 합니다. 그나마 콘덴서는 자주 보던 소자라 거부감이 좀 덜하긴 합니다. 왜 '무효저항'인지 한번 살펴봅시다.

심심하던 어느날 AC220V 전원으로 파워 LED를 한번 켜보기로 했습니다. LED의 정격은 4V에 350mA 짜리입니다. 4V LED를 220V에 연결하면 과전압으로 망가지니까 적절한 저항을 연결해야겠군요. 저항 구하는 방법은 $R = V/I$ 이니까...

LED에 4V가 필요하니 $220 - 4 = 216V$ 가 저항에 걸리게 되고, 저항과 LED는 직렬이니까 전류는 동일하게 계산하면 되겠네요. 그러면... $216/0.35 = 617.14\Omega$ 으로 적절한 저항이 구해집니다. AC 220V에 저항 617Ω과 LED를 연결하면 정격대로 불을 밝힐 수 있습니다. 그런데 한 가지 문제가 있네요, LED는 잘 켜지는데 저항에서 열이 너무 많이 납니다. 저항이 소비하는 전력을 한번 따져 보면... $216 * 0.35 =$

75.6W 무려 75.6W나 됩니다. !!! 고작 1.4W LED 하나 켜기 위해서 75.6W나 소비하는 저항을 연결해야 한다니 도저히 저항으로는 안되겠고 그러면 트랜스를 써서 전압을 낮추면 되겠네요. 다른 방법은 없을까요?

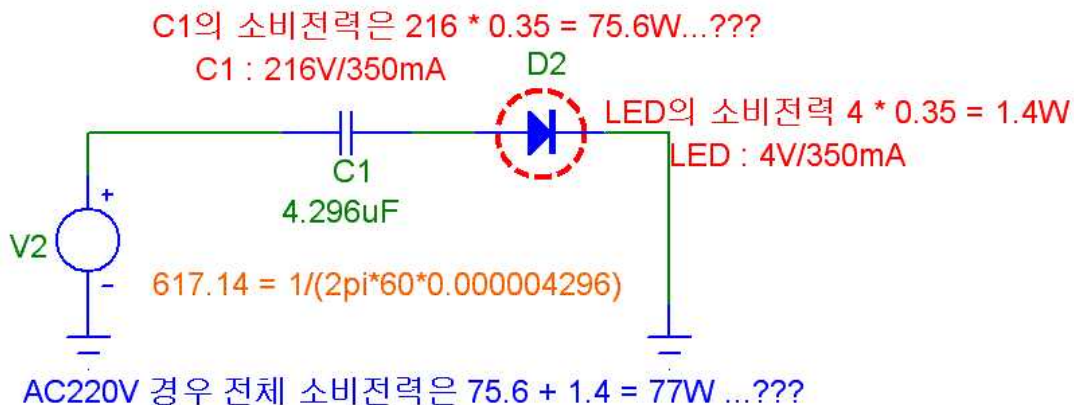
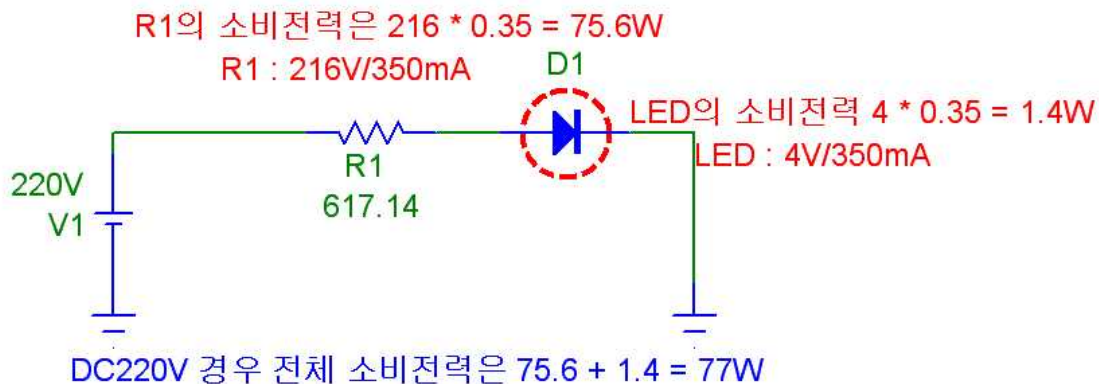
필요한 저항값 617.14옴을 만족하는 코일과 콘덴서를 한번 사용해 보도록 하겠습니다. 코일의 저항은 $2\pi f l$ 이고, 콘덴서의 저항은 $\frac{1}{2\pi f L}$ 라는 정도는 알고 있으니깐요. f는 60Hz 입니다.

$$2\pi \times 60 \times l = 617.14 \quad , \quad \frac{1}{2\pi f C} = 617.14 \text{ 를 만족하는 } l \text{ 과 } C \text{를 구하면 됩니다.}$$

$$l = \frac{2\pi \times 60}{617.4} \quad , \quad c = \frac{1}{2\pi 60 \times 617.14}$$

$$l = 0.61H \quad , \quad c = 0.000004298 = 0.4298\mu F$$

코일 0.61H를 만들기는 좀 곤란 하지만 0.4uF 정도의 콘덴서는 쉽게 구할 수 있으니 콘덴서로 한번 해보기로 했습니다. 결과는 아래와 같습니다.



AC220V는 실효치를 나타내는 전압으로 DC220V와 소비 전력면에서 동일합니다. AC에서는 LED가 전압 파형의 반주기에서만 동작 하지만 무시하도록 하겠습니다.

그림의 위쪽은 DC220V에서 저항 617.14옴과 파워 LED의 전력 소비를 보여주고 있습니다. 아랫쪽 그림은 AC220V일때 리액턴스 저항 617옴인 콘덴서 4.296uF 일때의 전력 소비를 보여줍니다.

DC의 경우이건 AC의 경우이건 전원 측에서는 분명히 220V에 350mA를 부하쪽으로

보냈습니다. 순수 저항인 617.14옴과 파워 LED의 전체 소비전력은 77W로 나타납니다.

리액턴스 소자인 4.296uF의 60Hz에서 617.14옴의 저항과 파워 LED의 소비전력은 과연 77W가 되는것인가? 리액턴스 소자는 스스로 전력소비를 하지 않습니다. 여기서 이상한 현상이 생기게 됩니다. 분명히 AC 전원측에서는 220V에 350mA를 흘려줬으니 분명 77W를 전달했는데 소비하는 측에서는 파워 LED에서만 1.4W를 소비했고, 나머지 75.6W는 어디론가 사라져 버렸습니다. 도대체 리액턴스 소자에서는 무슨 일이 벌어진 것일까요? 4.296uF의 콘덴서는 60Hz에서 617.14옴의 저항 역할만 하고 그만큼 흡수했던 에너지를 다시 뱉아 냈는데 전원측에서는 뱉아낸 전력을 적절한 형태로 되 받아가지 못하는 현상이 생긴 것입니다. 결국 리액턴스 소자인 콘덴서는 해당 주파수에서 용량에 따른 저항 역할은 했지만 전력 소비를 하지는 않습니다. 그러므로 콘덴서에는 전력 소비를 하지 않으니 열이 발생하지는 않는군요.

파워 LED에 순수저항 617.14옴을 연결했더니 열이 너무 심해서 사용이 곤란 했는데 콘덴서를 사용해서 617.14옴을 만드니 최소한 열은 발생하지 않습니다. 콘덴서의 내압만 216V이상으로 해주면 잘 동작 합니다. 뭐... 열은 발생하지 않지만 전원측에서 보기에 전체 소비전력은 저항 연결 일 때와 똑같습니다. 저항대신 콘덴서를 사용하면 최소한 발열에 대한 문제는 해결 되는군요. (리액턴스 소자의 직병렬 연결은 그냥 더하는 것이 아니고 루트를 씌워서 각 임피던스에 제곱을 해서 구해야 정확한 값을 얻을 수 있습니다. 위의 예에서는 그냥 더하기를 해도 결과 값이 크게 차이 나지 않기 때문에 빠른 이해를 위해서 그냥 더했습니다.)

지금까지 생각해본 문제를 정리하면 이렇습니다. 리액턴스 소자를 저항으로 삼았을 때 저항역할은 하지만 실제로 전력소비는 하지 않는다. 그렇다면 전원측에서 보내준 전력과 실제로 소비한 전력과 리액턴스 때문에 소비하지 못한 사라진 전력의 관계는 어떻게 될까?

전원측에서 보내준 전체 전력을 '피상전력'이라고 표현합니다. 겉보기에 전체 회로가 소비하는 것처럼 보이는 전력이니까 피상전력입니다. 파워 LED에서 소비한 실제 전력을 '유효전력'이라고 표현합니다. 실제로 소비한 전력이므로 당연히 유효전력 또는 실효전력 이라고 합니다. 리액턴스 소자에서 소비한 것처럼 보이는 전력을 '무효전력'이라고 합니다. 소비했지만 소비하지 않았으므로 무효전력 이라고 하지요.

피상전력, 유효전력, 무효전력 많이 들어보셨죠? 전력전자를 공부하다보면 유효전력을 구하라... 라는 경우를 볼 수 있습니다. 유효전력은 피상전력에서 무효전력을 빼면 유효 전력이 되겠죠? 그러면 피상전력을 구하라 하면 무효전력 더하기 유효전력 하면 됩니다. 무효전력을 구하라 라고 하면 피상전력에서 유효전력을 빼면 됩니다. 그렇다면 역률을 구하라 라고 한다면? 역률은 유효전력 나누기 피상전력입니다. 역률= $\frac{\text{유효전력}}{\text{피상전력}}$

리액턴스 성분이 없다면 피상전력 = 유효전력 이니까 역률은 '1'이 됩니다. 피상전력 1 에서 무효전력이 0.5라면 당연히 유효 전력도 0.5가 되니까 역률은 0.5/1 = 0.5 그래서 역률을 백분율로 나타내면 50%가 되는군요 알고 보니 무척 간단한 내

용입니다.

리액턴스 성분을 가진 부하는 무효전력이 발생하기 때문에 적절한 방법을 사용해서 무효전력을 제로로 만들어 역율을 1에 가깝게 만들어야 됩니다.

예를 들면 선풍기의 경우 입력된 전력이 코일로 된 전자석을 통해서 회전력으로 변환 됩니다. 전력이 실제로 회전력으로 변환된 양이 실효전력이 되고, 전자석의 인덕턴스(리액턴스)때문에 무효전력이 발생되고 이것을 상쇄시키기 위해서 코일의 성질과 반대가 되는 콘덴서를 연결해서 인덕턴스를 제거합니다.

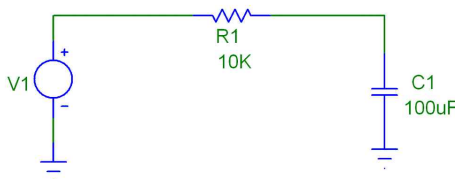
결국 선풍기 코일에서 나타나는 인덕턴스를 제거하기 위해 연결한 커패시턴스는 코일의 리액턴스를 상쇄시키기 위한목적이며 이를 가리켜 역율 개선 콘덴서라고 부릅니다.

선풍기에서 나타난 인덕턴스가 $+j200$ 이었다면 해당 주파수에서 $-j200$ 의 콘덴서를 붙여주면 리액턴스 제로가 되고 이것이 임피던스 매칭이며 회로의 '공진'이 됩니다. 안테나 공부 한다고 해놓고 왜 갑자기 전력전자에 나오는 피상전력이니 역율이니 하는 이야기를 들먹이냐고 하시는 분도 계실 겁니다. 안테나 급전점 매칭은 결국 역율 개선하는 것과 동일합니다.

지난글의 내용을 요약하면

- 1) 리액턴스 소자는 스스로 전력소비를 하지 않는다(실제로는 누설전류, 등가저항 같은 것들 때문에 전력 소비를 합니다.)
- 2) 부하저항에 리액턴스 성분이 있으면 무효전력 때문에 전력 손실이 생긴다.
- 3) 리액턴스 소자로는 코일과 콘덴서가 있고, 서로 반대의 성질을 갖는다.
- 4) 코일과 콘덴서는 해당 주파수에서 리액턴스 크기가 같으면 서로 상쇄되어 순수 저항만 남는다.

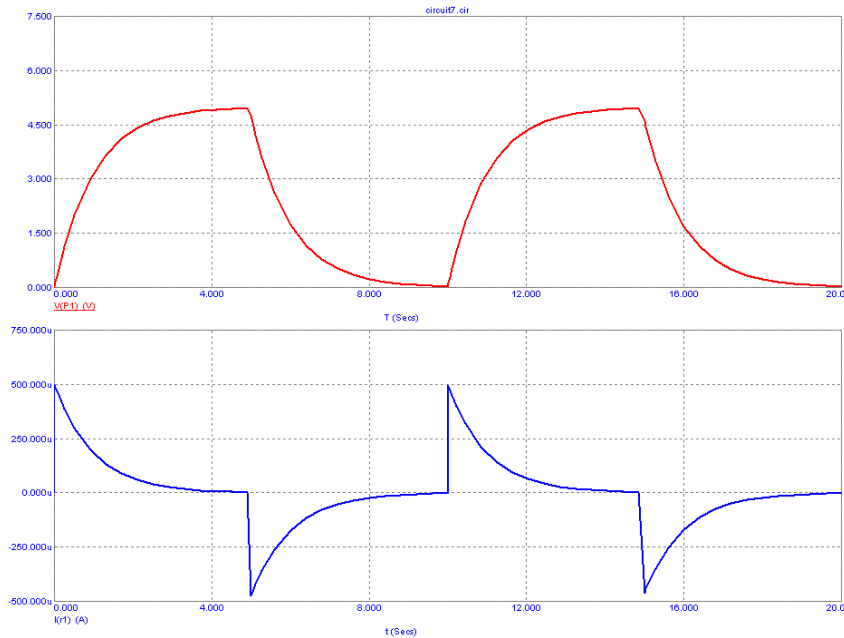
리액턴스 소자인 콘덴서는 스스로 전력 소비를 하지 않는다고 했는데 그래도 잘 이해가 되지 않습니다. 이해를 위해 간단히 설명 하자면... 100uF 콘덴서에 10k 저항을 통해 5V 전압을 인가합니다.



이때 콘덴서의 전압은 0V에서 5V까지 RC 시정수에 따라 증가 합니다. 시간이 충분히 지나고 나면 전원 전압과 콘덴서에 충전된 전압이 같아져 더 이상 콘덴서의 전압 상승이 없습니다.

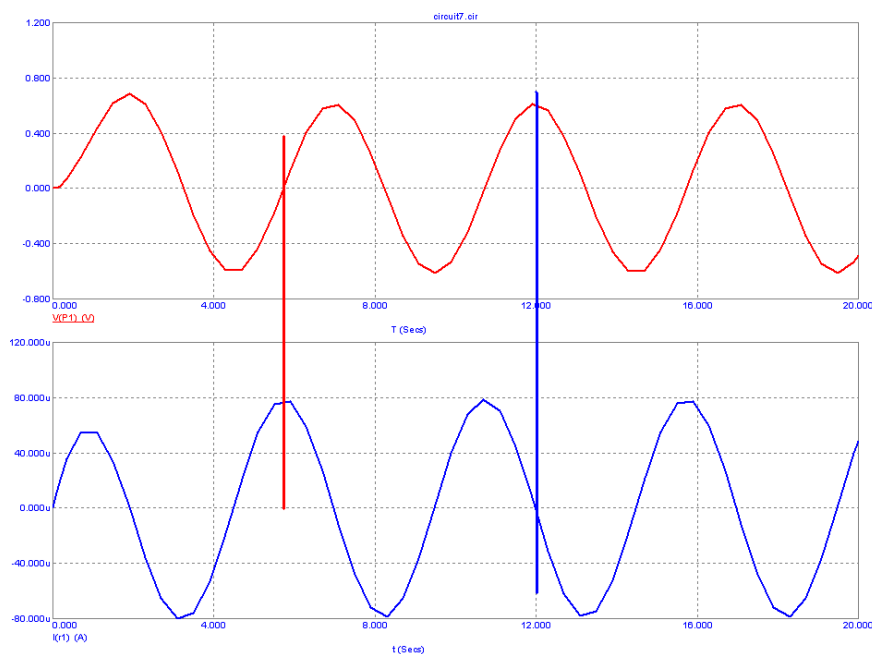
이것을 전류입장에서 바라보면, 콘덴서에 충전 중일 때는 회로 내에 전류가 흐르지만 충전이 완료되어 콘덴서 단자 전압이 전원 전압과 같아지면 회로 내에 전류는 흐르지 않습니다. 당연 하겠죠? 그러면 전류가 가장 많이 흐르는 시점은? 처음 콘덴서에 전압이 인가되는 순간입니다. 처음 콘덴서에 전압이 인가될 때 최대 전류가 흐르지만 콘덴서의 단자 전압은 거의 제로 상태 입니다. 충전이 끝나면 콘덴서의 전압은 최대인데 전류는 더 이상 흐르지 않아 전류 제로가 됩니다. 이번엔 콘덴서가 만충전 되었을 때 5V 전원을 0V로 바꿔 줍니다. 그러면 5V로 충전된 콘덴서는 저항을 통해 0V로 전압이 낮아집니다. 충전 때와는 반대로 0V인 전원 쪽으로 저항을 통해 방전해야 하므로 전류의 방향은 (-)성질을 갖게 되고 단자 전압이 0V에 이르면 전류는 더 이상 흐르지 않습니다. 방전의 경우 단자 전압이 최대일 때 방전전

류는 (-)최대가 됩니다. 연속해서 5V --> 0V --> 5V --> 0V ... 전환 시키면 저항을 통해 콘덴서는 충전전을 반복 하게 되고, 콘덴서 입장에서는 단자 전압이 최대 일 때 흐르는 전류는 제로 또는 (-)최대, 단자전압이 제로 일 때는 전류가 최대로 되는 현상을 보이게 됩니다. 위의 내용을 시뮬레이션 해보면 이런 모양이 나옵니다.



적색 파형은 콘덴서의 단자전압을 나타내고, 청색 파형은 회로에 흐르는 전류를 나타냅니다. 각각 최대 일때 상대방은 제로가 되어버리니 서로 곱하면 결과는 제로가 되버립니다. 반복되는 파형 두 가지의 성격이 서로간 최대 <-->최소, 최소<-->최대 관계를 가지는 경우는 사인과 코사인의 관계로 나타낼 수 있는데

위의 회로에 정현파 전압을 입력해서 전압과 전류의 위상이 정말 사인곡선과 코사인곡선 형태를 보여주는지 확인해 볼 필요가 있겠네요. 시뮬결과입니다.



적색 새로줄을 보면 전압이 제로일 때 전류는 최대가 되고, 청색 새로줄을 보면 전압이 최대일 때 전류는 제로가 됩니다. 전압과 전류의 위상을 서로 비교해 보면 정확히 90도 차이를 보이고, 전압위상을 기준으로 하면 전류의 위상은 마치 90도 빠르거나 270도 느린 것으로 보입니다.

예전에 학교에서 '콘덴서는 전압보다 전류가 90도 빠르다, 전류가 빠르니 진상 부

하라 라고 한다. 그래서 코사인세타가 이러쿵 저러쿵' 하고 가르쳤고 그냥 그런 줄 알고 외우기만 했습니다. 그러다보니 어라? 전류가 90도 빠르다면 전압을 걸기도 전에 벌써 전류는 흐르고 있다는 말인가?...?? 하는 심각한 고민에 빠진 적이 있었습니다. 어쨌거나 코일은 콘덴서와 반대의 성질이니 전류의 위상은 전압위상보다 90도 느리게 표시되거나 270도 앞서는 형태가 되겠군요.

지금까지 리액턴스 소자는 전력을 소비하면서도 소비하지 않는 이유에 대해 조금 알아 봤는데, 지금 필요한 것은 어떻게 하면 부하에 들어있는 리액턴스를 제거 할 수 있을까 하는 것입니다.

코일과 콘덴서의 리액턴스 구하는 방법은 잘 아시다시피 $X_L = 2\pi f l$, $X_C = \frac{1}{2\pi f c}$ 로 표시합니다.

$X_L = X_C$ 의 경우 리액턴스는 상쇄되어 제로가 된다고 했는데 그렇다면 둘 중 하나는 (-)값을 가지고 있어야 되겠군요. X_C 에 (-)를 붙여서 이렇게 하기로 약속 했습니다. $X_L - X_C = 0$

주파수 1MHz일때 $X_L = 200$ 이고, $X_C = 200$ 인 경우를 예로 해서 정말 리액턴스가 제로가 되는지 알아보겠습니다. 먼저 코일과 콘덴서의 값을 한번 구해보면

$$X_L : 2\pi f l = 200 \quad L = \frac{200}{2\pi 1MHz}$$

$$l = 0.000031831 = 31.831\mu H$$

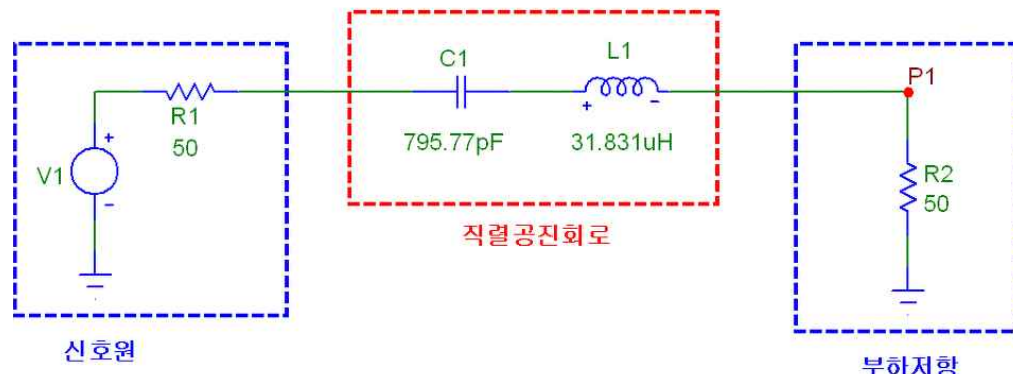
$$X_C : \frac{1}{2\pi f c} = 200 \quad c = \frac{1}{2\pi 1MHz} \quad c = 0.00000000079577 = 795.77pF$$

$X_L = X_C$ 는 결국 리액턴스 제로가 되는 '공진' 상태이므로 31.831uH 와 795.77pF 의 값을 LC 공진주파수식에 넣으면 공진 주파수 1MHz가 나옵니다. $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} =$

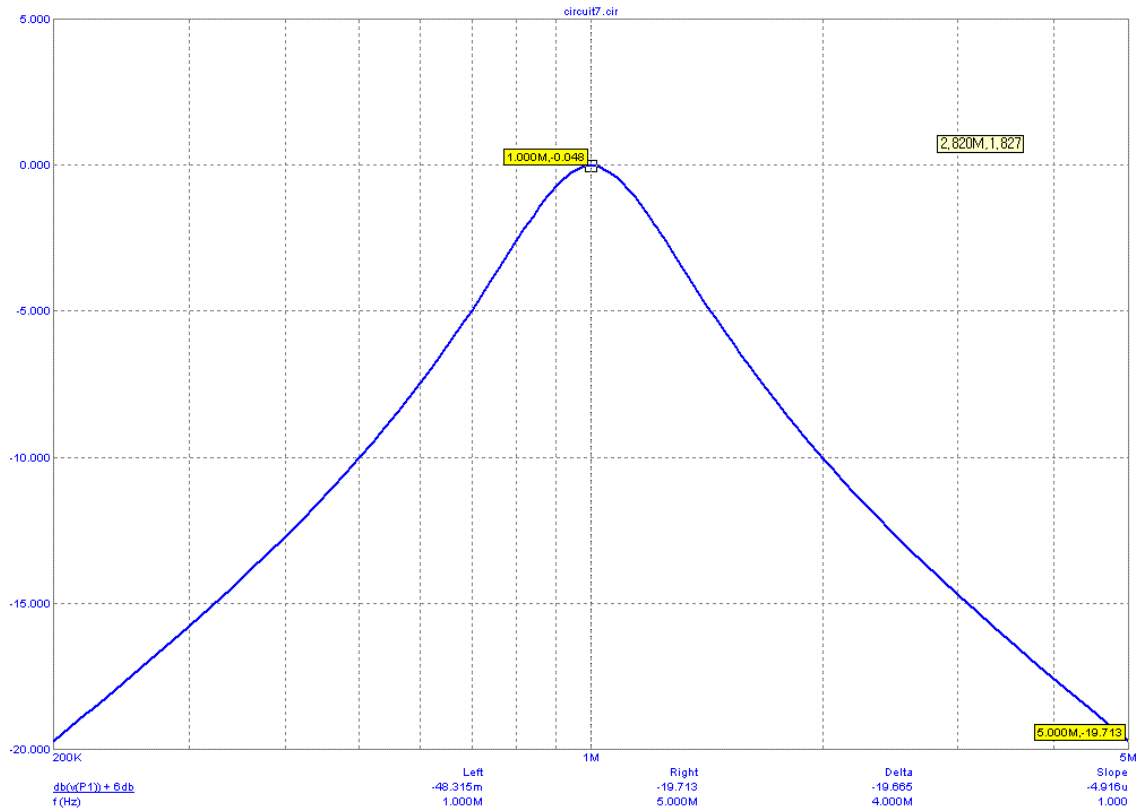
$$\frac{1}{2 \times 3.14 \times \sqrt{0.000031831 \times 0.00000000079577}} = 1000002.784Hz$$

계산할 때 뒷자리를 잘랐더니 오차가 2.784Hz가 생겼네요. 공진 주파수는 1MHz가 맞습니다.

1MHz에서 리액턴스 200인 코일과 콘덴서를 연결해서 리액턴스 제로가 되어 손실이 '0'이 되는지 마이크로캡으로 시뮬레이션 해보겠습니다. 회로결선은 아래와 같습니다.



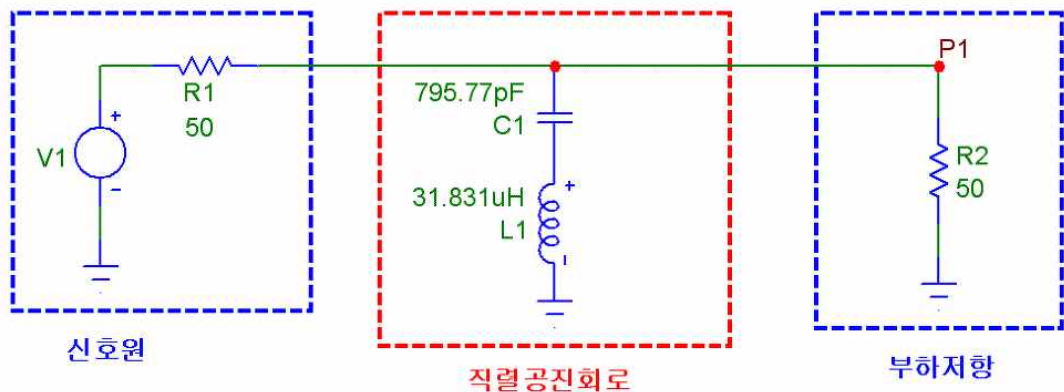
결과는 진짜로 1MHz에 공진되어 리액턴스 성분이 없어져 통과 손실이 제로가 되었습니다.



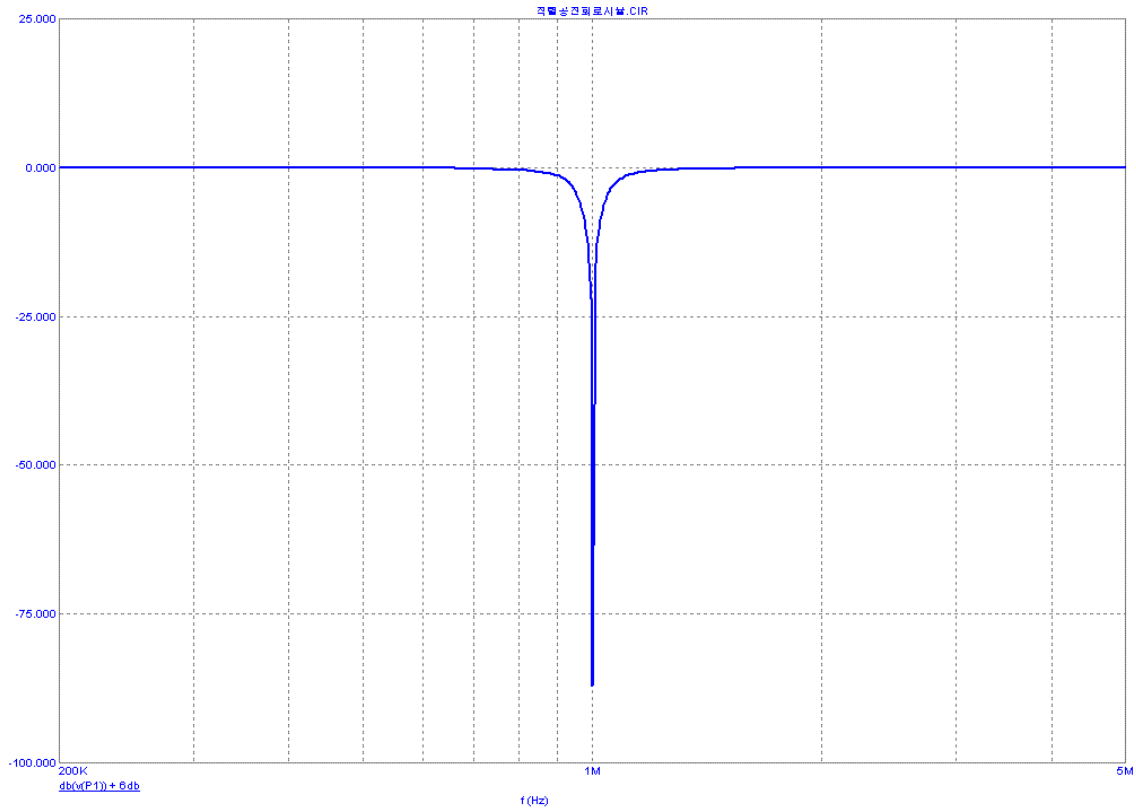
콘덴서

코일 손실

1MHz에서 멀어질수록 리액턴스 성분이 커져 통과손실 또한 커지는 것을 볼 수 있습니다. 여기서 한 가지 중요한 것은 1MHz주파수를 기준으로 그래프의 좌측은 콘덴서의 리액턴스 영향으로 나타나는 손실이고, 우측은 코일의 리액턴스 영향으로 나타나는 손실입니다. 이번에는 공진회로 연결을 신호선과 접지 사이에 넣어 볼까요?



멀쩡히 잘 지나가는 전송선로에 직렬 공진회로를 붙여서 접지시키면 공진 주파수에서 임피던스는 제로가 되어 부하저항으로 전달이 안되겠군요. 시뮬 결과는 아래와 같습니다.



1MHz에서는 공진회로가 전송선을 단락 시켜 통과손실이 크게 발생하는 것을 보여줍니다. 다음, 간단한 문제를 하나 풀어 보도록 하겠습니다.

문제) 50옴 시스템에서 주파수 7.1MHz, 부하저항의 성질은 다음과 같다.

방사저항 50옴, 리액턴스 -j300 부하저항에 최대전력 전달이 되도록 하시오.

풀이) 방사저항이 50옴이니 리액턴스만 제로로 만들면 최대전력 전달이 되겠군. 리액턴스 -j300으로 (-)표시가 붙어있으니 분명히 콘덴서일꺼야, 콘덴서의 리액턴스를 상쇄시키려면 코일을 연결하면 되겠지? 그리고 주파수가 7.1MHz이니 이 주파수에서 +j300인 코일의 용량을 구해보면...

$$300 = 2 * \pi * 7100000 * l \quad l = \frac{300}{2\pi * 7.1MHz} \quad l = 0.000006725 = 6.725\mu H$$

부하저항에 6.725uH 코일을 연결하면 되는군.

어렵지 않게 문제를 풀 수가 있습니다. 그냥 똑같은 리액턴스 값으로 코일이나 콘덴서의 용량을 구하기만 하면 됩니다. 이제 1편으로 돌아가서 안테나의 등가회로를 살펴 보도록 하겠습니다.

가. 안테나의 등가회로

안테나 등가회로에서 $jx(\text{ant})$ 의 합성 용량은 코일이나 콘덴서 한가지로만 나타납니다. 동시에 코일과 콘덴서의 성질이 나타나지는 않습니다. 이유는 당연히 성질이 다른 코일, 콘덴서가 가지고 있던 리액턴스만큼 싸워서 상쇄된 후 좀 더 쉼 없이 자신의 리액턴스를 남겨놓기 때문입니다.

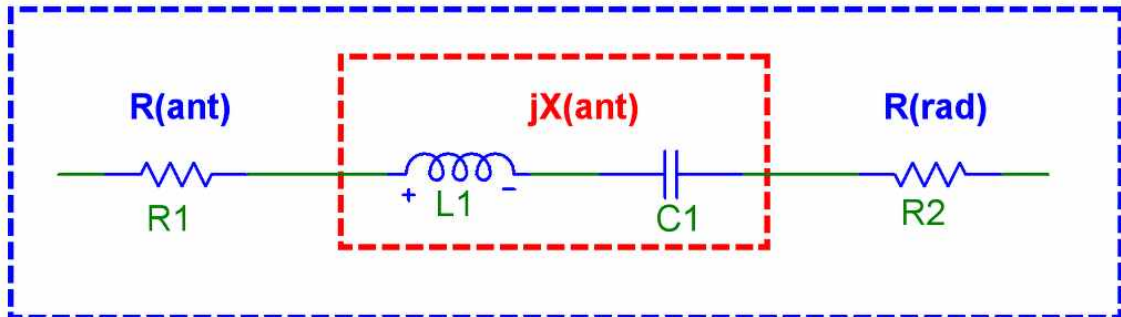
안테나의 입력 임피던스

$$Z(\text{ant}) = R(\text{ant}) + R(\text{rad}) + jX(\text{ant})$$

$R(\text{ant})$: 도선저항

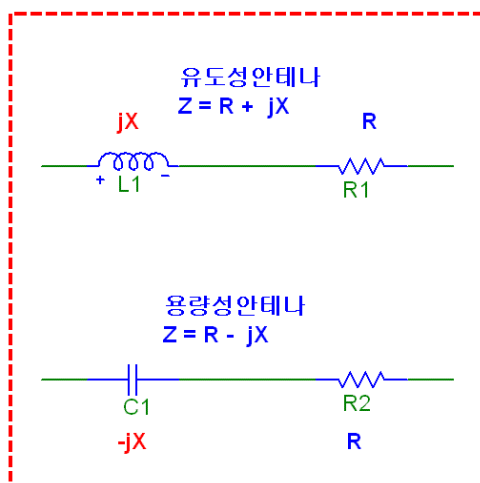
$R(\text{rad})$: 방사저항

$jX(\text{ant})$: 리액턴스



안테나 등가회로

그리고 보면 안테나의 등가 회로는 결국 둘 중에 한 가지가 되는군요. 아래와 같습니다.



안테나 등가회로

안테나의 종류는 코일성분이 들었 있는 유도성 안테나와 콘덴서 성분이 들어있는 용량성 안테나로 구분 됩니다. 우리는 이미 코일과 콘덴서의 리액턴스를 상쇄 시키는 방법을 알고 있기 때문에 안테나의 리액턴스 성격과 방사저항의 크기만 알면 어렵지 않게 임피던스 매칭을 시킬 수 있습니다.

저기 위의 문제처럼

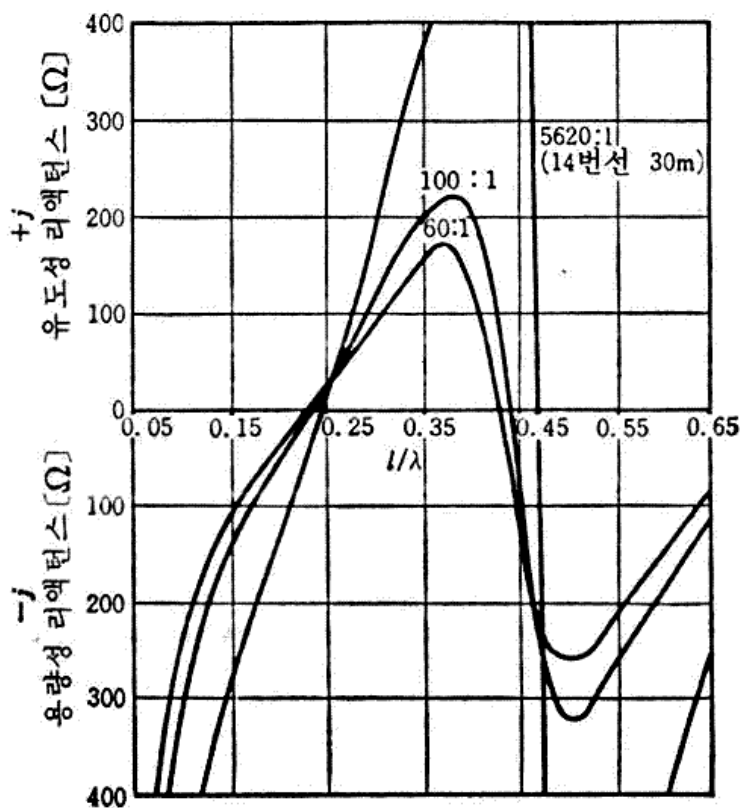
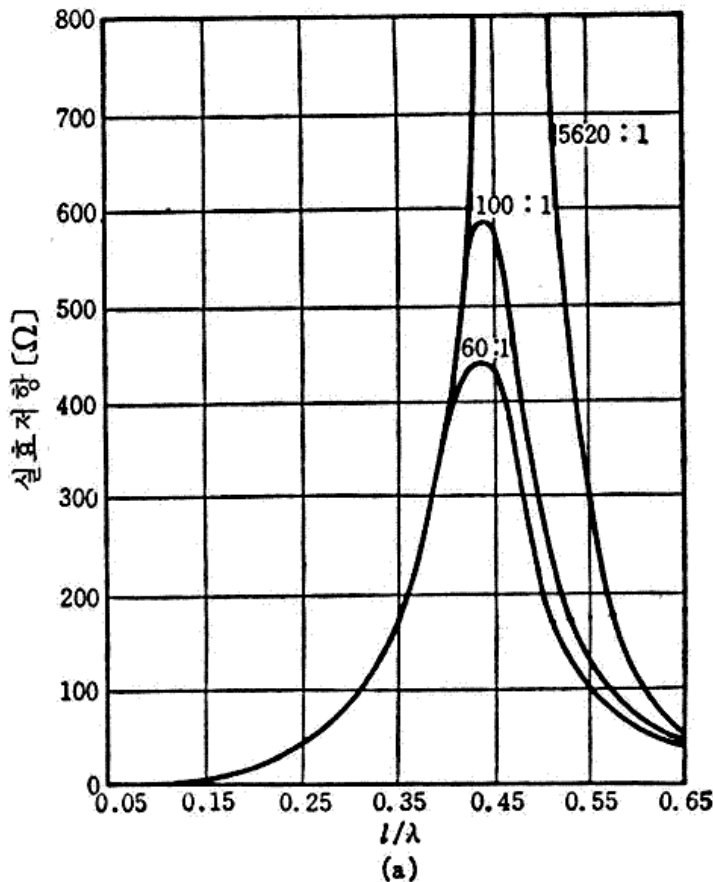
친절하게도 누군가가 주파수와 방사저항, 리액턴스를 알려 준다면 전혀 문제없이 임피던스 매칭을 시킬 수 있습니다. 지금까지 학교에서도 그렇게 문제를 풀어 왔습니다.

하지만 이제는 조건을 정해서 문제를 내주는 사람이 없네요. 내가 만든 안테나를 매칭 시키기 위해서 미스 매칭 된 급전점 임피던스를 정확히 알아내야 하는데 즉, 스스로 문제를 만들고 풀이를 해야 됩니다. 만들고 있는 안테나의 급전점 임피던스가 어떻게 되는지 눈으로 보고는 알 수 가 없습니다. 경험이 많으면 어느 정도 짐작은 가능하겠군요.

정확한 값을 얻기 위해서는 임피던스메타나 벡터네트웍아날라이저를 동원해서 안테나의 성질을 알아내야 됩니다. 값비싼 계측기가 없는 경우는...? 고맙게도 안테나 연구를 많이 한 사람들이 안테나핸드북 같은 책을 만들어 놨습니다. 안테나의 형태, 파장별 급전점 임피던스 변화에 대한 내용으로 보기 좋게 도면을 만들어 놨습니다.

이런 그래프 입니다. '아마추어의 안테나 설계'에 나오는 접지안테나의 파장별

급전점 임피던스를 나타낸 그래프입니다.



그래프를 슬쩍 보기만 해도 안테나의 길이가 0.25파장보다 짧게 되면 용량성 리액턴스가 증가하는 것을 알 수 있습니다.

안테나를 원래 길이보다 짧게 만들려면 용량성 리액턴스를 상쇄시키기 위해 유도성 리액턴스 소자인 코일을 연결시켜 줘야 된다는 말이 됩니다.

다음 편에서는 안테나핸드북에 나오는 그래프들을 참고해서 본격적으로 안테나의 특성을 살펴보도록 하겠습니다.

백열전구 효율은 5% 정도 스피커의 효율 1% 정도 전열기의 효율은 99% 이상 정상적인 안테나의 전력변환 효율은 90%이상입니다. 안테나의 VSWR이 1.5라면 복사 효율은 96%가 됩니다. 효율이란 입력 전력이 목적한 에너지 형태로 변환 되는 정도를 표시하는 것인데 백열전구의 경우 입력 전력의 5% 정도가 빛으로 변환되고 95%는 열로 소비됩니다.

스피커는 99% 코일의 운동 에너지 또는 열로 바뀌고 정작 소리가 갖는 에너지는 1% 전열기는 거의 100% 입력 전력이 열로 바뀝니다. 대부분의 에너지 변환 손실은 열로 나타나기 때문에 발열을 목적으로 하는 전열기는 최대 효율을 갖게 됩니다.

1W의 전력으로 1초 동안 뭔가 일을 시키는 에너지를 1J(줄)이라고 합니다. 물 1

그람의 온도를 1도 올리는데 필요한 열량이 1칼로리입니다. 1W의 전력을 1초간 사용해서 물 1그람을 데우면 0.24도 만큼 온도가 오릅니다. 그래서 1J은 0.24 (0.23888...)칼로리입니다. 그러면 1칼로리는 4.16(4.18605)줄이 됩니다. 물 100그람을 10도 올리려면 1000칼로리가 필요 하겠지요?. 그러면 4160와트의 전력을 1초 동안 사용하거나 416와트의 전력을 10초 동안 사용하거나, 41.6와트의 전력을 100초 동안 사용 하면 물 100그람의 온도를 10도 올릴 수 있다는 말이 됩니다.

100그람, 물 반컵의 온도를 10도 올리기 위해서 필요한 전력을 RF로 변환해서 CW 100와트 송신을 한다면 대략 2분 정도 송신 가능한 에너지가 되겠습니다.

밥 한공기의 열량이 300킬로칼로리입니다. 300000칼로리죠. 그러면 밥 한공기면 100와트 CW를 10시간 동안 전송할 때 소비하는 에너지와 대략 비슷한 양으로 볼 수 있습니다.

라면 한개 끓이려면 물 500그람을 25도에서 100도까지 올린 다음 라면과 스프 넣고 다시 3~4 분간 더 끓여야 되니까 여기에 사용되는 열에너지는 과연 몇 칼로리 일까?

$500 \times (100 - 25) = 37500 \text{cal}$, 여기서 더 끓인 시간과 면과 스프가 뺏아간 열, 공기중으로 손실된 열 등을 추가하면 최소 100000칼로리 정도는 된다고 봐야겠군요. 100킬로 칼로리면 100와트 CW를 3시간동안 연속 송신한 에너지와 비슷하네요.

음식의 칼로리 측정은 재미있게도 그 음식을 태워서 발생하는 열을 가지고 측정 합니다. 그러니까 불에 오래 잘 타는 음식은 칼로리가 높은 음식입니다. 그래서 칼로리를 '열량'이라고 합니다. 소금은 불에 타지 않으니 열량이 없고, 지방(기름)은 불에 오래 잘 타니 열량이 높습니다. 설탕은 열량이 높아 많이 먹으면 살찐다고 하는데 불에 잘 타는지 한번 태워 봐야겠습니다.

전력 효율 이야기 하다 잠깐 내용이 판데로 흘렀네요. 안테나의 경우 도체저항, 유전체 저항, 접지저항 등과 같은 손실을 적절히 제거해 주면 에너지 변환 효율이 거의 100%가 됩니다. 그리고 보면 에너지 변환 장치 중에 가장 효율이 높은 것 중 하나가 안테나이군요.

여담으로 맑은 날 지면 1제곱 미터에 내리쬐는 태양광 에너지는 1.3kW 정도 됩니다. 여기서 최근 태양전지의 효율이 20% 정도이니 1제곱 미터의 태양전지로 260W 발전이 가능하다는 예기가 됩니다. 태양은 스스로 핵융합 함으로 상상 할 수 없는 많은 에너지를 외부로 뿌려대고 있는 상황입니다. 그러다보니 지구상에서 인공 태양을 만들려는 연구가 계속되고 있습니다. 깨끗하고 값싼 에너지를 무한정 뽑아내는 방법이기 때문입니다. 한국에서는 대전에서 '한국의 태양' KSTAR를 만들기 위해 시험 연구 중입니다.

효율이 이렇게 좋은 안테나인데 왜 야기 안테나가 다이폴 안테나보다 성능이 좋다고 할까요? 다이폴이나 야기나 에너지 변환 효율은 99%인데? 그 이유는 아시다시피 지향성 때문입니다.

먼저 안테나의 '이득'에 대해 알아보겠습니다.

전력 변환 효율이 100%라고 가정하고 꼬마전구를 예를 들겠습니다. 어두운 방한 가운데서 1W짜리 꼬마전구를 켜 놓으면 불빛이 사방으로 퍼져 나가서 방안의

밝기가 고르게 됩니다. 효율이 100%라고 가정했으니 사방으로 퍼져나간 빛의 총량은 1W가 됩니다.

여기서 크기가 무진장하게 큰 평면 거울을 꼬마전구에 바짝 밀착 시키면 방안의 절반은 거울에 빛이 가려져 깜깜해지고 반대편은 거울에 반사된 빛 때문에 밝기가 2배가 되겠죠?

밝기가 두 배로 된 방의 반쪽에 꼬마전구의 빛 에너지가 몰려 있으니 마치 2W 전구를 켜놓은 것과 같은 밝기가 됩니다.

1W 꼬마전구로 2W의 밝기를 만들었으니 방의 밝은 쪽에서 보면 분명 2W짜리 전구가 맞습니다. 이득이 2배가 된 것입니다. 전력 이득이 2배면 3dB, 4배면 6dB, 8배면 9dB, 10배면 10dB, 100배면 20dB, 1000배면 30dB... 이렇게 됩니다. 그러면 1/2은 -3dB, 1/4은 -6dB, 1/8은 -9dB..... 1/1000은 -30dB

전력의 2배는 3dB, 그리고 10배는 10dB, 100배는 20dB, 1000배는 30dB, 10000배는 40dB... 이것만 외워 놓으시면 됩니다.

전력이 2배의 2배가 되면 4배 이므로 $3\text{dB} + 3\text{dB} = 6\text{dB}$, 그래서 4배는 6dB, $2 \times 2 \times 2$ 는 8배 $3\text{dB} + 3\text{dB} + 3\text{dB} = 9\text{dB}$ 8배는 9dB 참 쉽죠?

전력이 200배면? 100배의 2배가 되니까 $20\text{dB} + 3\text{dB} = 23\text{dB}$ 가 됩니다. 17dB는 몇배 인가요? 100배인 20dB에서 -3dB가 되니까 100배의 절반이 되어 50배가 됩니다. 같은 원리로, 7dB는? 10dB 에서 -3dB가 되니까 10배의 절반이 되어 5배가 됩니다.

전력의 비율을 데시벨로 나타내면 처음엔 어려워 보이지만 익숙해지면 이만큼 편리한게 또 없습니다.

두 배는 3dB, 절반은 -3dB 라는 것만 기억하면 나머지는 조금만 생각해보면 저절로 해결 됩니다.

방의 절반은 밝기가 두 배가 되어 3dB의 이득을 가졌지만 나머지 반대쪽은 빛이 도달하지 못해 깜깜하겠죠? 꼬마전구의 밝기를 표시하는 방법으로 데시벨을 사용하기로 했으니 dB 단위에 특별한 부호를 붙여 보도록 하겠습니다.

맨 처음 불을 켜던 1W짜리 꼬마전구의 빛은 사방으로 퍼져 나갔습니다. 이것을 어려운 말로 '등방성 방사'라고 합니다. 쉬운말로 하면 방향에 무관하게 일정히 퍼진다는 말이지요. '등방성'을 영어로 'isotropic'라고 하는데 이니셜 i를 따와서 등방성 방사를 0dBi라고 표시 합니다. 0dBi는 등방성 방사로서 이득이 제로라는 의미가 됩니다.

무지하게 큰 거울로 한쪽 방향으로 반사 시켰을 때는 등방성일때 보다 이득이 3dB 높아졌으니 이때를 3dBi라고 표시하고, 등방성 일때의 밝기보다 2배 증가해다는 당연한 의미가 됩니다.

이번에는 꼬마전구에 평면거울 대신 오목거울을 켜워보면 어떨까요? 오목거울은 평면 거울과 달리 특정한 한쪽방향으로 빛을 모아 집중 시킵니다. 그러면 집중된 곳은 아주 밝은 상태가 됩니다. 그대신 오목거울 뒷쪽의 대부분은 깜깜한 방이 됩니다.

오목거울로 빛을 한곳으로 모은다고 해서 꼬마전구의 전력이 올라간 것은 아닙니다. 그냥 1W일 뿐입니다. 하지만 빛이 집중된 곳의 밝기는 마치 100W의 전구를

등방성으로 컷을 때와 같게 되었다고 보면 이때의 특정방향 이득은 20dBi가 됩니다.

빛이 집중되어 얻어진 100배의 이득 20dBi를 조금 다르게 표현 할 수도 있습니다. 이번에는 평면 거울일 때와 오목거울일때의 비율을 비교해서 이득을 표시하기로 하면, 평면거울 일때 이득이 3dBi 였고, 오목거울 일때는 20dBi였으니까 평면 거울의 이득을 빼주고 나서 데시벨 단위에 'd'를 붙이기로 했습니다. 그러니까 평면 거울 상태를 기준으로 하겠다는 말입니다.

결국 꼬마전구의 예에서는 $3\text{dBi} = 0\text{dBd}$ 이므로 $20\text{dBi} = 17\text{dBd}$ 가 됩니다.

20dBi 이면 등방성 전구 밝기보다 100배 밝기라는 말이 되고, 17dBd는 평면 거울일 때보다 50배 밝기라는 말이 됩니다. 등방성 1W 전구 보다 100배 밝기는 평면 거울 2W일때 보다 50배 밝기가 되는 것은 당연합니다. 같은 원리로 안테나의 지향성과 이득이 똑같이 설명 됩니다. 안테나는 어떤 종류든지 형태를 갖고 있습니다. 대표적인 다이폴, 룽와이어, 가시뿔 모양 야기, 삼각 사각 원형 루프, 마름모 룬빅... 등 등등 안테나가 형태를 가지면 도선에 흐르는 전류의 위치별 위상 간섭으로 꼬마전구에 거울을 가까이 하는 것처럼 지향성이 생깁니다. 만약 안테나를 (.)점으로 표시한다면 형태가 없어지니 등방성 안테나가 됩니다. 안테나를 점으로 표시해 등방성 안테나라고 가정하고 이때의 이득을 0dBi라고 표시 한다면, 형태를 가지는 쌍극 안테나(다이폴)의 경우 8자 지향성을 가지고, 최대 이득은 2.15dBi가 됩니다. (다이폴 안테나가 8자 지향성을 가지게 되는 원리는 참 간단한데 글로 써서 설명하기는 너무 어렵네요 나중에 기회가 되면 안테나의 배열과 위상간섭, 지향성에 대해 한번 이야기 하겠습니다.)

다이폴 안테나를 기준으로 하기로 했으니 dipole의 이니셜 'd'를 갖고 와서 다이폴의 이득은 0dBd가 됩니다. 그러면 $0\text{dBd} = 2.15\text{dBi}$ 라는 말이 되겠지요? dBd와 dBi 사이에는 2.15dB의 차이가 있습니다.

안테나 메이커에서는 이득 표시 할때 i 와 d 를 꼭 빼고 표시하는 경우가 많습니다. 대부분 dBi라고 보시면 됩니다. 우리 회사 안테나는 이득이 2.15dB나 된단 말이야! 하고 말한다면 그것은 다이폴 안테나와 이득이 같구나 라고 생각하시면 됩니다.

다이폴 안테나에 들어갈 발룬(balun)을 직접 만들기로 하고 자작에 돌입했다.

발룬이라는 게 일종의 변압기(유도기)이다보니 감는 권수와 전류와 전압의 상관 관계를 알면 얼추 이해가 쉬워진다.

처음에 발룬의 성질(기능)을 이해하기가 참 난해했는데 이제야 좀 감을 잡는 것 같다.

내 생각엔 발룬은 이런 것이다.

안테나의 엘리먼트(내 경우는 전선이지만...)와 동축케이블의 임피던스를 매칭시키는 기능은 없지만 각 도선(여기서는 엘리먼트와 동축케이블)에 흐르는 전류가 일정하지 못하기 때문에 이것을 일정하게 만들어주고자 하는 것이다.

전류가 일정하지 못하는 이유는 송신출력을 안테나로 송출(주로 송신할 때 전류가 - 사실 전파로 변해서 - 안테나를 타고 퍼져나가는 경우에 주로 작용하고 수신시는 큰 문제가 없다.)하는데 동축 케이블과 안테나의 재질에 따른 고유한 특징

때문이다.

안테나는 엘리먼트(전선)이라는 소재의 특징이 일정한 부품(평형특성을 가짐)으로 이루어져있지만, 동축케이블은 그 구조상 소재가 두 가닥이 다르다. 케이블의 속(내측)은 단선형 동선이 들어있고 쉴드(shield)는 절연체로 절연되어 있고 외측은 망사형 철심으로 이루어져있어서 두 가닥의 도선이 서로 재질이 불일치하는 탓에 고유특성의(고유저항 값에 따른 전류 등등) 불평형을 발생하도록 구조적으로 만들어져 있기 때문이다. (TV유선케이블과 같은 거라보면 된다.)

그럼에도 불구하고 케이블을 사용하는 것은 220V 단상용 전선을 사용하는 것 보다는 훨씬 더 견고하고 사용하기에 좋기 때문에 이걸 사용한다. (다른 설명서나 자료에 의하면 동축케이블은 고주파 신호의 경우 전계와 자계(줄여서 전자계)의 교번이 클 수록 케이블 내부로 전자계가 예측되는 성질이 강하다고 한다. 다시 말해 고주파라고 하면 발생된 전자계가 주변의 다른 금속성 성질을 띤 도선이나 신호선에 노이즈 형태로 영향을 주는데 동축케이블은 주파수가 높아질 수록 케이블 내부로 전자계가 도리어 집중되어 외부의 누설되거나 신호에 영향을 주지 않는데 그 이유는 케이블에 있는 절연체가 차단해주는 기능을 하기 때문이란단다. 그래서 고주파 전송용 도선 및 선로로 사용한다.)

따라서, 동축케이블과 안테나를 연결하게 되면 송신기에서 송신 전류를 보내면 동축케이블을 통해 흘러간 전류가 안테나 엘리먼트(전선)까지 전달되는데 아시다시피 다이폴 안테나는 생김새가 좌우 대칭을 이루고 전선으로 전류가 흘러 전파가 퍼져나가야 하는데 동축케이블을 거쳐온 전류가 서로 다르게 각각 엘리먼트로 오다보니 전파의 방사에 불평형이 생긴다.

따라서 안테나 엘리먼트로 전달되어야 할 전류의 일부가 방사되지 못하고 송신기로 되돌아오게되는데 이를 누설전류(비방사 정체전류)라 하며 결국 무전기에 기능을 저하시키는 요인으로 작용한다.

발룬이 필요한 이유는 서두에 이야기한 것 처럼 코일의 유도기 기능을 이용하여 전류의 불평형을 잡는데 (누설전류가 생기지 않도록 안테나 엘리먼트 양단으로 보내는 전류의 비를 동일하게 1:1에 가깝게 만드는데) 사용하는 것이다.

발룬의 트로이달 코어에 권선을 감으면 자속과 전류의 유기기전력으로 인해 반대측(보통 2차측)의 전류와 전압이 처음의(1차측) 값과 다르게 변화하는데 그 이유는 권선의 양을 달리(2차측의 권선 수를 올리다면)하면 전압은 강해지고 전류는 작아지기 때문이다.

그래서 발룬의 종류를 나눌 때 전압발룬과 전류발룬으로 나누는 이유도 권선을 어떻게 감는가에 따라 전류의 비를 바꿀 것인가 전압의 비를 바꿀 것인가로 결정될 수 밖에 없기 때문이다.

발룬에 사용되는 페라이트 트로이달 코어는 재질 자체가 투자율을 좋게하도록 제작된 소자용 소재이다.

페라이트 코어는 혼합물로 되어있다.

산화철, 산화니켈 등등 자성체를 만들기 좋은 재료로 만들어진 자심(자석의 속)으로 이용된다.

이 코어에 에나멜선(전선)을 감으면 전류가 흐르는 방향에 직각방향으로 자계

(자장)가 형성되는데 - 이걸, 암페어의 오른나사의 법칙이라고 한다 - 코일에 에나멜선이 감기다보니 자속이 형성되는 방향이 둥근 도넛 모양의 코어를 따라 원형으로 만들어지게 되어 결국 전자유도(감긴 에나멜선(1차)에 자계가 코어에서 자속을 크게 만들어 다른 에나멜선(2차 권선)에 유기기전력을 일으킴) 형태로 되다보니 변압기와 같은 유도기의 성능을 발휘하게 만들어진다.

결국 자심으로 사용되는 코어에서 필요한 요건은 얼마나 물질(재료)에서 전자장(자계)을 쉽게 얻을 수 있는가에 관심이 집중되어(쉽게 말해서 자석처럼 빨리 자장을 만들어 가질 수 있는 능력을 부여해 줄 것인가 하는데 대한 관심) 투자율이란 용어로서 사용되어 다음과 같은 식이 나오게 된다.

$$\text{투자율}(U) = \frac{\text{자속밀도}(B)}{\text{자기장의 세기}(H)} \quad \text{자속의 밀도}(B) = \frac{\text{자기장}}{\text{면적}(S)}$$

자속밀도(B) = 자기장 = 자장 = 자력선(Wb ; 웨버 또는 Φ ; 우리말로로는 '자속', '자기력선' 자기력선의 총량(수)을 자속이라함) / 면적(S) . 단위[Wb/m²] 즉, 단위 면적당 자속의 수, 다른 말로 테슬라 [T]라고도 함.

$$\text{자속}(\Phi) = \text{자속밀도}(B) * \text{면적}(S)$$

결론적으로 말해, 트로이달 코어는 이러한 목적을 이루기에 적합한 물질들의 혼합물로서 투자율이 높도록 만들어진 소자의 재료인 셈이다.

따라서 발룬이 변압기나 유도기(트랜스) 기능이라고 표현한 이유가 여기에 있다.

변압기나 유도기에서 나타나는 권수비, 전압비, 전류비 등에 대한 성질을 이해한다면 안테나로 전달되지 못하는 누설전류가 발생되지 않을 방법으로 무슨 방식을 선택하면 되는지에 대해 곰곰이 생각해보면 앞에 이야기한 두 가지(전압비, 전류비)로서 결정할 수 밖에 없음을 알게된다.

어떤 방법으로 사용하든 간에 결국은 전류값을 변화시키는 효과를 내는 것으로 평형(안테나 엘리먼트)상태인 부분과 불평형(동축케이블)상태인 부분을 평형상태(전류불평형 해소 즉 누설전류 발생을 없애는 상태)로 만들어주면 되기 때문이다.

고로, 전압발룬과 전류발룬은 각각의 장단점을 가지고 있는데 그 세세한 사항까지 고려할 필요없이 난 전압발룬에 동축케이블을 PVC 파이프에 감아서 인덕턴스값을 올려서 사용하는 초크발룬을 직렬로 만들어 사용하고자 한다.

현재, 내가 만드는 발룬은 1:1전압 발룬이다.

권선을 두 가닥으로 감느냐 세 가닥으로 감느냐로 나누는 이유도 전압발룬으로 할 것인가 전류 발룬으로 할 것인가를 본인이 원하는 대로 따져서 권선량을 결정할 수 있기 때문이다.

발룬이 잘 동작하기 위해서는 여러 가지를 따져야 한다.

일단, 송신출력을 얼마나 할 것인가. 그럼 발룬에 필요한 용량(페라이트 트로이달 코어)은 얼마나 할 것인가 그럼 에나멜선은 얼마나 할 것인가. 등등을 본인이 고려해서 생각하면 된다. 정답이 뭐 따로 있는 것도 아니다.

현재 진행하는 발룬은 페라이트 트로이달 코어(FT240-43)에 에나멜선 2mm직경 및 3가닥으로 8회 감은 것으로 만들었다. 처음 최대출력을 kW급으로 만들고자 맘 먹고 1:1전류 발룬으로 2.5mm에나멜선에 2가닥으로 12회 감을라 했으나 전혀 감을

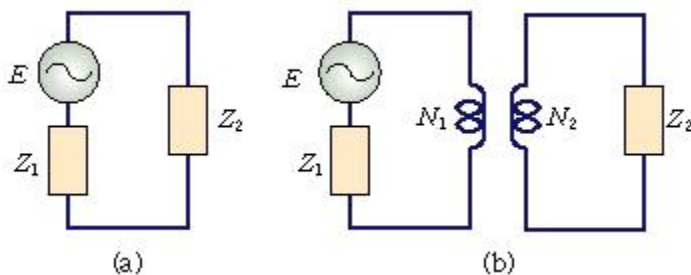
수없는 탓에 결국 3가닥 8회로 전압발룬을 만들기로 했다.

만들어 놓은 사진을 올린다. 동작이나 잘 되는지 측정을 해보면 좋겠는데 정작 측정장비가 없어서 어쩔 수 없이 그냥 잘 되길 바라며 계속 작업을 진행하고 있다.



나. 백과사전에서 말하는 임피던스 매칭, 임피던스 정합.

전원과 부하 또는 2개의 회로를 접속할 경우, 반사 손실이 없도록 양자의 임피던스를 같게 하는 것. 예를 들면, 그림 (a)에서와 같은 회로의 내부 임피던스가 $Z_1(=R_1+jX_1)$ 이고 기전력이 E 인 전원을 부하 임피던스 $Z_2(=R_2+jX_2)$ 에 연결하였을 때 $R_1=R_2$, $X_1=-X_2$ 의 공액관계에 있는 경우를 말한다.(순저항만 남게 되는 경우임) 이때 부하에 최대 전력을 공급할 수 있다.



또 그림 (b)와 같은 결합 회로의 경우는 변압기의 권선비 $n=N_2/N_1=\sqrt{Z_2/Z_1}$ 일 때 양자의 임피던스가 정합된다. (주로 안테나의 경우 바룬이 권선비를 이용해 전압비를 달리하여 임피던스 매칭에 해당된다.)

1) [정의]

임피던스 매칭 - 공급측(전원, 신호원, 무전기, 고주파발전기 등)이 가지고 있는 고유한 내부 저항치(정확히는 자체 임피던스)와 소모 측(부하, 안테나, 부하 임피던스 등의 소비대상)의 부하 저항치(정확히는 부하 임피던스)를 서로 같도록 인위적으로 매칭(조치)하는 행위로서 공급측이 소모 측으로 최대의 전력(W)이 전달되도록 임피던스를 강제로 동일하게 인식하도록 착각시키는 행위이다.

이때 동일하게 착각하도록 인식시키는데 필요한 방법으로는 바룬(Balun, 발룬, 벨런... 같은 말임)이 필요하며 그 두 대상 사이에 넣어서 상호간의 완충지대를 둬으로써 원활하게 그리고 최대로 전력이 전달시키는 용도로 이용된다.

좀 쉽게 이해하자면 교류성분에서 순저항 레지스턴스와 방향성을 갖는 저항치 리액턴스의 합이 임피던스인데 이 중에 레지스턴스만 남기고 리액턴스를 상쇄시켜 버려서 회로에는 순수 저항(R)만 가진 상태로 만드는 방법이다. 라고 생각하면 거의 맞다.

리액턴스를 상쇄시키는 방법은 결국 R-L-C 회로를 생각해 보면 L과 C가 값은 값을 갖게 하면 되는 것이다. 이 두 성분이 같은 값을 갖게 된다. 라는 것은 방향성

이 갖는 성분이 서로 각각의 방향(180도 반대 방향)으로 힘을 작용하려다 결국은 0이 되는 이치이다.

주파수를 가지고 있는 교류성분 즉, 교류전원이나 고주파(전파) 전류, 주파수 발생기 등은 모두 이러한 방법으로 임피던스 매칭을 시킬 수 있는 소스들이다. 왜냐하면 L과 C를 같게 하는 행위가 그 유명한 공진(resonance)이기 때문이다. 그래서 공진주파수를 찾아내면 그 지점이 바로 L과 C가 같은 값이 되는 지점이며 임피던스 매칭이 되는 주파수 값이기 때문이다.

임피던스 매칭이 된다면 반사전력이 없이 모두 소모하므로 전파의 경우는 정재파비(SWR)가 1:1된다.

안테나에서 SWR를 최소화하는 이유가 여기에 있다. 쏘 유식하게 적자면 (루트 송신출력 + 루트 반사출력) / (루트 송신출력 - 루트 반사출력)의 식이 성립되는데 여기서 반사출력이 0이기 때문에 정재파비는 1/1 즉, 1:1이 되어 이상적인 전력전달이 되는 것이다.

$$SWR = \frac{\sqrt{\text{송신출력}} + \sqrt{\text{반사출력}}}{\sqrt{\text{송신출력}} - \sqrt{\text{반사출력}}}$$

예를 들어보자면.....

무전기는 내부 임피던스가 50옴으로 생산된다. 동축케이블 역시 제조 당시부터 50옴용으로 생산된다. 하지만.... 안테나는 50옴인지 얼마인지 전혀 알 수 없는 값으로 만들어진다. 물론, 공장에서 기성품으로 만들어 파는 안테나는 당연히 50옴에 근사하도록 생산되어진다. 하지만, 현실은 안테나에 있는 것이 아니라 안테나를 설치하는 과정이나 전파환경이 절대 50옴이 되도록 두지 않는다.

과연 안테나라는 것이 뭔가라는 의문부터 가지고 접근하면 이해가 빨라지지 않을까 싶지만.... 안테나는 일종의 확장된 도선이다. 그냥 선이다. 재질도 역시 금속성이며 전파를 보내야 하니 전기적 특성이 우수해야함은 당연하다. 임피던스라는 것이 교류에서 나타나는 전류의 흐름을 방해시키는 저항성분이니 안테나 역시 이 임피던스라는 놈에게 자유롭지 못하다. 왜 자유롭지 못하느냐..... 임피던스라는 정의부터 알고 나면 고개가 끄덕여 진다. 임피던스는 도선이나 부하에서 순저항 성분과 리액턴스 성분이 합하여 만들어진 어떤 회로나 전기설비 등에 정량적으로 표기되는 저항체의 단위이다.

당연히 안테나가 도선과 같은 류에 해당된다고 이미 말했으니 특히 교류성분의 전원이나 주파수 발생기의 소스로부터 임피던스에서 자유롭지 못한 태생적 한계가 있는 것이다. 게다가 도선은 코일의 특성- 전압보다 전류의 위상차가 90도 앞서는 것 - 이 더 많이 간직하고 있긴 해도 유도성 성분과 용량성 성분이 리액턴스의 주 성분이니 최대전력전달을 하려면 이 리액턴스 성분을 없애야 하는 과제를 안고 있는 것이다. 그래서 최대전력 전달을 위해 안테나에서 공진점을 찾는 것이다. 갑자기 안테나에서 공진점을 왜 찾느냐..... 리액턴스의 성분이 인덕터 즉 코일과 캐패시터 즉 콘덴서의 양이기 때문에 이 두 성분이 같은 값을 가지는 순간 임피던스는 순저항 성분만 가지게 된다. 왜냐 코일과 캐패시터는 방향성이 있는 벡터 성분이라서 서로 정확히 180도의 반대방향의 성질을 가지고 있기 때문에 두 성분의 값이 같으면 서로 상쇄되어 결국 0이 되기 때문이다. 이렇게 리액턴스가 0이 되고

안테나의 순저항 성분만 남아있는 상태를 공진(레조넌스 ; 공명이라 하기도 하지만....)이라 한다.

공진상태가 되면 말 그대로 저항만 남기 때문에 공급측 전력이 소모측으로 최대한으로 전달되어 전력전달이 가장 좋은 상태가 되는 것이다. 안테나에서 공진점 즉 공진주파수를 찾는 이유는 결국은 무전기에서 출력이 안테나를 통해 전파로 변해서 잘 나가게 하기 위한 목적이므로 공진하는 주파수 영역이 알맞게 된다면 그 주파수 영역에서의 안테나를 최상으로 사용할 수 있는 것이다.

물론 안테나의 임피던스(여기선 공진을 하니 순저항값이)가 얼마인지 알아내진 않았지만 항상 그 값이 일정하지도 않다. 날씨의 영향도 받고 기후적 특성도 작용한다. 다시 말해 50옴용 안테나라는 것이 존재하지 못한다라고 생각하면 가장 정확할 것이다.

최대전력전달이란 전원측에서 부하측으로 외부 손실 없이 오로지 부하의 소모용으로만 모든 전력이 쓰이게 하는 것이 최대전력전달이다.

안테나의 임피던스 매칭이 안테나 본연의 기능을 수행하도록 좌우시키는 중요한 자인 이유이다.

그래서 안테나를 자작하는 많은 아마추어무선사들이 공진점을 찾으려고 안테나를 제단하고 야외나 장소를 옮겨 설치할라치면 안테나 아날라이저로 SWR값을 측정하고 그 값이 1 : 1.5 이내의 범위에 들어오도록 안테나의 높이, 길이나 방향을 잡느라 정신이 없는 걸 볼 수 있다.

이 또한 최적의 상태로 무선설비를 운용하려고 하는 눈물겨운 현장인 것이다. 여기서 최대 전력전달이 뭔가에 대해 곰곰히 생각해봐야 할 일이다. 가령, 무전기의 임피던스가 50옴이면 안테나의 임피던스도 50옴이 되면 옴의 법칙에 따라 안테나로 전달되는 전력은 최고값을 갖게된다. 50옴이 안되어도 소비되는 전력(여기선 무전기로부터 전달 받은 신호전력)이 낮게 되고 50옴이 초과되어도 역시 마찬가지로 전력이 50옴 일때 보다 못하다.

이러한 사실관계 입증 부분의 계산적 검정은 여기서는 생략한다. 어차피 계산해 봐야 50옴일 때 부하에서 소비되는 전력이 최대가 나온다.

입증 예시를 따로 표기해야 믿겠지만 간단히 글로써 적자면 이렇다. 공급측의 전원이 100V이고 내부 임피던스가 50옴 일때 부하측의 임피던스가 50옴이 되면 소비되는 전력은 50W가 된다. (거짓말 같으면 계산해보시길)

이때 흐르는 전류는 1A이므로 공급측 내부 임피던스 걸리는 전압이 50V가 되고 부하측 전압도 역시 50V가 인가된다. 따라서 보내는 공급측의 전력이 50W가 나오고 받는 부하측도 역시 50W로 되어 최대전력전달이 이루어지는 셈이다.

하지만, 부하측 임피던스가 60옴이 되면 48.6W가 된다. 반대로 40옴이 되면 48.4W가 된다.

다시 말해서 양쪽의 임피던스가 각각 50옴으로 같으면 50W가 나오지만 같지 않으면 그 보다 낮은 전력이 전달된다는 소리다.

임피던스 매칭이 최대 전력전달에 있는데 양쪽의 임피던스가 같지 않음으로 인해서 최대전력전달 실패 뿐 아니라 무선설비의 경우에는 안테나로 송신출력이 나가지 못하고 되돌아 오게되어 어 양질의 전파송신 불량 뿐 아니라 무전기에 damage

를 야기하여 무전기 성능을 저하시키게 만든다.

이러한 문제를 개선하고자 나타난 것이 바룬이라는 것이다. 무전기에서 만든 출력을 안테나로 최대출력으로 전달하기 위해 안테나가 가지고 있는 임피던스를 무전기나 동축케이블이 가지고 있는 임피던스 50옴으로 강제로 맞춰주어야 하는데 그때 바룬이 강제로 매칭시는 기능을 한다는 것이다.

(사실, 바룬 입장에서 기능은 안테나 임피던스 매칭의 목적보다는 안테나를 통해 송출되어야 할 전력이 모두 나가지 못하고 반사되어 되돌아오는 즉, 반사전력이 무전기로 되돌아 들어와 무전기에 영향을 주지 않도록 불평형인 동축케이블에서의 누설전류를 억제시키는 기능이지만 전체적인 안테나, 동축케이블, 무전기 등의 설비를 묶어서 볼 때 바룬은 임피던스 매칭에 활용되는 중간자적 역할을 한다.) 쉽게 말해서 무전기 임피던스가 50옴이고 안테나가 200옴 정도의 차이값을 가지고 있다고 한다면 무전기 입장에서는 송신할 때 송출될 전력이 잘 나가도록 안테나 임피던스가 50옴이 되어있길 바라고 안테나 입장에서는 전파를 받아들이 경우에 무전기의 저항이 200옴이 되어 있길 바라지만 실상은 상호간에 임피던스 격차가 존재하는 것은 현실이다.

이러한 괴리의 값을 특정 소자를 사용해 강제로 같은 것처럼 착각을 일으키게 조치해놓으면 무전기와 안테나의 양자간에 동작은 아주 최적화되어 동작된다는 소리다. 이것이 임피던스 매칭이라 생각하면 거의 맞다. 그리고 이때 사용하는 대상체가 바로 전압 바룬이라는 것이다.

상기의 무전기와 안테나를 예를 가지고 비교하여 설명하자면 무전기와 안테나는 임피던스의 비가 50옴 : 200옴 으로 약 1:4 비를 보인다. 이 비율은 임피던스비가 그렇다는 것이다. 이 임피던스비는 전압비로 나타내면 딱 제곱근의 값을 가진다. 1:4 는 $1^2 : 2^2$ 과 같은 꼴인데 이때 1:2 비로 나타낸 것이 전압비인 것이다.

전압바룬이 등장한 이유는 이 전압비가 임피던스비를 결정짓는 방법으로 활용할 수 있다는 이유 때문이다.

다시 말해 전압비를 조절하면 절대 변할 수 없는 고정된 값으로 여겼던 임피던스비를 실제 50옴 대 200옴인 상황에서 50옴(200옴) 대 50옴(200옴) 임피던스비를 갖는 것처럼 느끼게 만들어줄 수 있다는 것이다.

임피던스비를 알면 전압비로 환산하여 무전기와 안테나의 임피던스가 미스 매칭되는 현재의 상황을 임피던스가 매칭이 된 것으로 착각을 일으키도록 조작할 수 있는 방법이 존재한다는 것과 같은 말이다.

1:4 바룬이라는 말은 임피던스비가 50옴 대 200옴인 것을 50옴 대 50옴 또는 200옴 대 200옴처럼 서로 동일시하게 인식시켜 버리겠다는 조작질을 해놓은 바룬이라 하겠다.

그럼 , 어떻게 1:4 바룬이 만들어지느냐..... 앞서 말한 전압비가 그 해결책이다. 바룬에 사용되는 토로이달 코어는 일종의 전압트랜스 즉 변압기이다. 변압기는 1차권선과 2차권선의 권선비 달리하면 전압비와 전류비가 달라져 버린다. 즉 전압비가 1:2 비를 갖도록 만들려면 1차 권선을 5바퀴 감고 2차 권선을 10바퀴 감으면 바로 1:2 비율이 된다. 또는 1차를 10바퀴, 2차를 20바퀴 감아도 비율은 역시 1:2 인 것이다. 이런 비율로 감은걸 1:2전압비 즉 1:4 바룬이 탄생하는 것이

다.

무전기와 안테나 사이에 1:4 바룬을 집어넣으면 임피던스 매칭은 성공한 것이라고 이 선에서 생각을 접을 수도 있겠지만 가장 중요한 무전기로 반사되는 누설전류를 차단할 수 있도록 조치가 완료되었다라고 생각하면 정답이다.

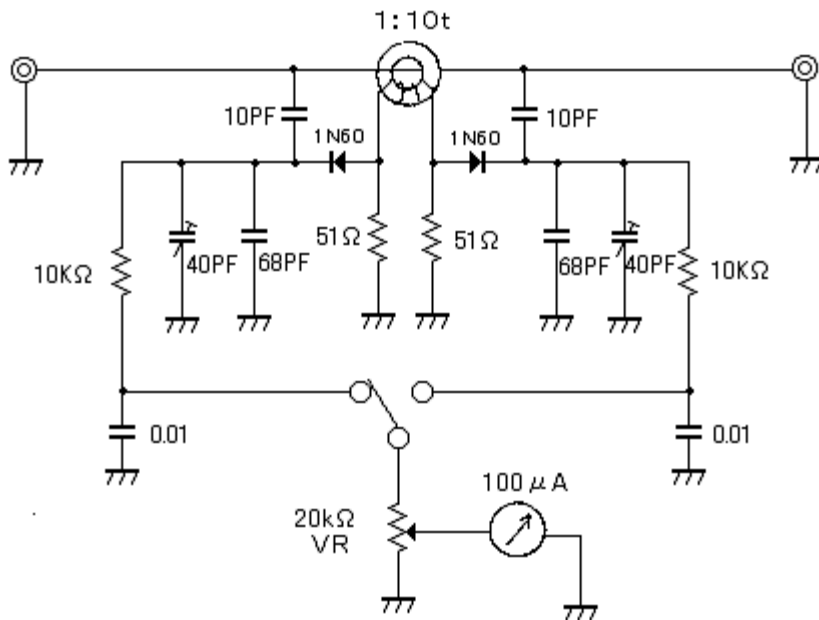
여기서 문제가 되는 것은 그림.... 안테나 임피던스는 어떻게 알아내느냐..... 안테나 임피던스를 알아야 1:4 바룬을 만들든지 1:9 바룬을 만들든지 아니면 1:1 전압 바룬을 만들든지 할게 아닌가.....

가장 중요한 안테나의 임피던스가 얼마나 하는 걸 나도 모르겠다. 어떻게 찾지??

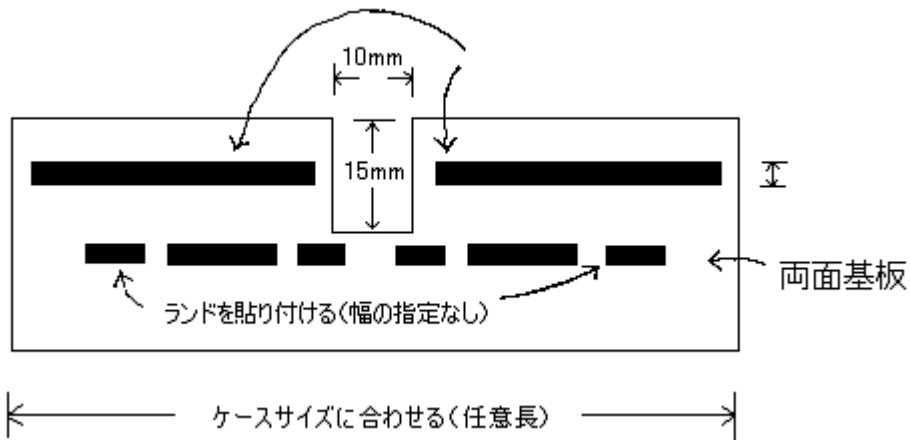
이건 휘트스톤 브릿지의 원리를 이용하면 알게 된다. 브릿지 회로에서 4개의 저항을 연결하고 3개의 저항값을 알고 있을 때 나머지 하나인 저항 즉 미지저항을 찾는 방법은 간단하다. 휘트스톤 브릿지(Wheatstone Bridge) 회로를 찾아보시길....

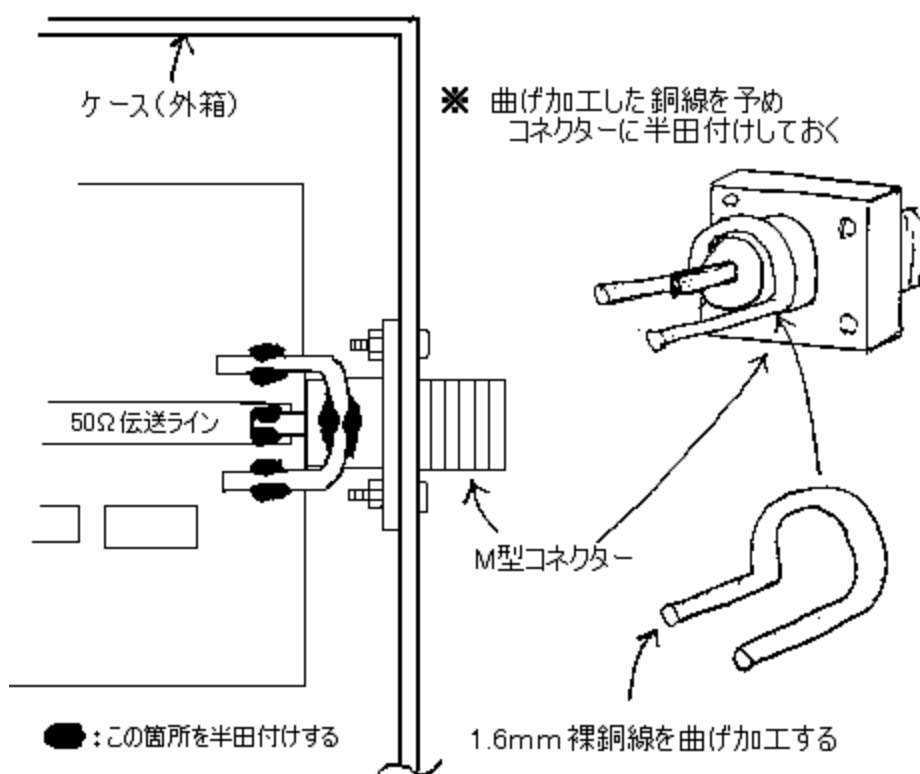
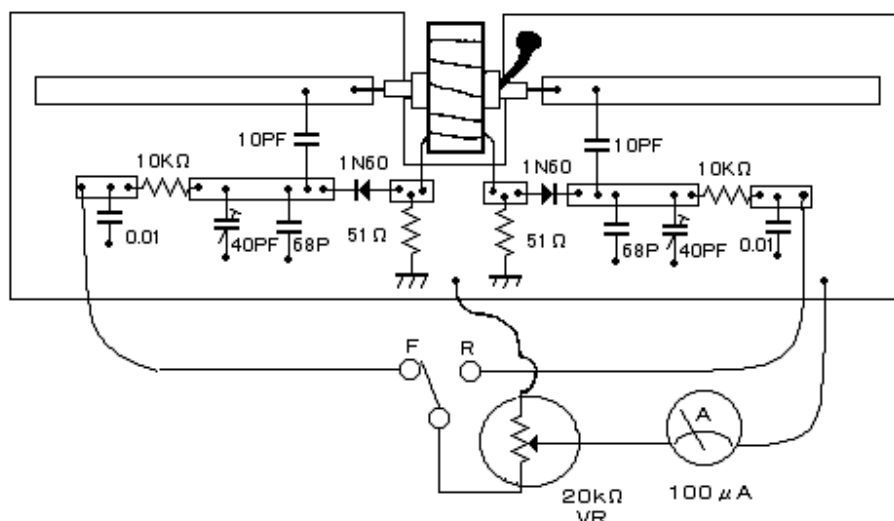
출처 : <http://www.qsl.net/vu2upx/Projects/swrmeter.htm>

2) SWR Meter



대충 도면을 훑어보니 원리는 동축케이블의 두 단자가 토로이달 코어를 지나갈 때 유기되는 기전력을 측정하고 유도기의 원리를 이용해 변류기와 변성기를 조합해놓은 방법으로 여겨진다. 한 번 해볼 만도 한 내용이라 시간 나면 도전해보고 싶다. SWR Meter





[의문점] 현재, 내 안테나의 임피던스 값은 얼마인가? 그 값을 알고 싶다.....! 누가 가르쳐 줄 사람이 없나요.....?

답 : 그건 아무도 알 수 없어요. 다만..... 찾아 갈 순 있겠지요.

설명 : 임피던스 매칭을 한다고 말하는데 안테나의 임피던스가 얼마인지 알아야 매칭을 하지요. 듣고 보니 그도 그렇네요. 값도 모르는데 무슨 매칭을 한단 말인지.....

임피던스(Z)라는데 레지스턴스와 리액턴스(인덕턴스 또는 캐패시턴스)의 합이라고 알고 있지요. 즉 $Z = R + jX$ 입니다. 좀 유식하게 풀어서 적자면.....

$Z = R + jX$, $Z = R + j(\omega L - 1/\omega C)$ 입니다. 중요한 것은 하나의 임피던스 값에 두 개의 성분(코일과 콘덴서)이 절대 공존하지 못한다는 것입니다. 임피던스 값을 분해해서 보면 저항 + 리액턴스인데 리액턴스는 인덕턴스(코일)와 캐패시턴스(콘

텐서)로 분리되어 있습니다. 이 코일과 콘덴서는 성질이 서로 반대라서 두 성분이 같으면 0이 되지만 그렇지 못한 경우에는 코일성분만 있든지(이걸 유도성 리액턴스라 하지요) 아니면 콘덴서 성분(이건 용량성 리액턴스라 하지요) 둘 중에 하나만 존재할 밖에 없도록 되어 있습니다. 왜냐... 성질이 반대이기 때문에 같이 있으면 그 둘이 합하여져 0이 되기 때문입니다. 이 0이 되는 상태를 공진이라고 하지요.

여기서 또 중요한 건.... w 라고 하는 w 는 각속도라고 해서 $2\pi f$ 즉 원운동을 하는 360도를 회전하여 제자리로 돌아오는 운동을 하는 2π 거리에 주파수라는 시간당 횟수가 곱해진 것입니다. 그리고 보니 주파수 f 는 코일(wL)이 되었던 콘덴서($1/wC$)가 되었던 둘 다 해당되는군요.

여기서 중요한 사항이 나타나네요.

각속도에 포함된 주파수 f 가 코일(인덕턴스)에서는 L 값에 비례합니다. 그런데 콘덴서(캐패시턴스)에서는 C 값에 반비례합니다.

중요한 원리가 여기서 나오는군요.

주파수가 증가하면 리액턴스의 인수인 (L 과 C 가) 서로 상반되게 동작하여 코일 성분의 성질이 커가는 반면에 콘덴서 성질은 자꾸만 줄어들어버리겠네요. 따라서 상대적으로 높은 주파수에서 공진($wL = 1/wC$)을 만들어내려면 어쩔 수 없이 사라져가는 콘덴서의 값을 임의로 만들어줘야 하는군요. 즉 유도성 리액턴스로 변해간다는 소리겠습니다. 그럼 어디서 전자소자인 콘덴서를 구해와서 하나 붙여주면 높은 주파수에서도 공진점 찾는데 수고를 덜 할 수 있겠군요.

반대로 주파수가 자꾸 낮아져가면 코일성분이 작아져 상대적으로 콘덴서의 값이 늘어나며 용량성 리액턴스가 되어 가겠군요. 이 또한 코일을 어디 구해서 부착하면 공진을 만들어 줄 수 있겠네요.

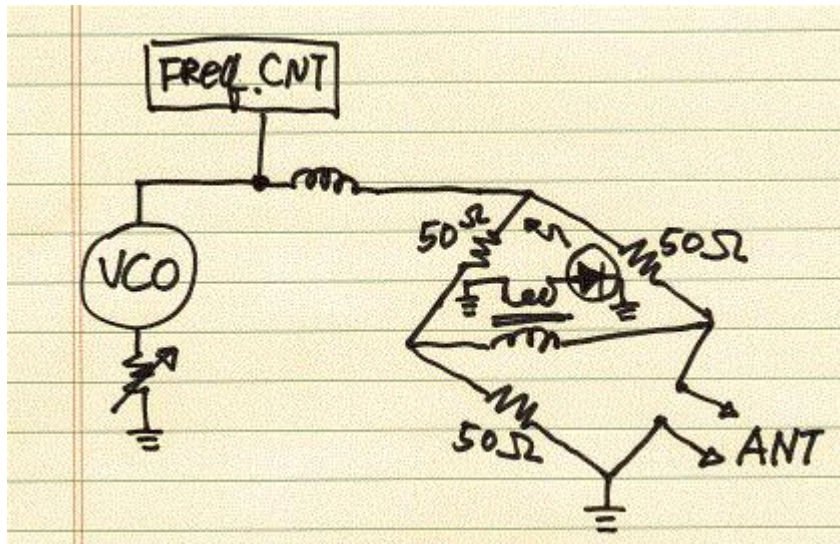
이러한 원리로 나타난 것이 튜너(Tuner)입니다. 수동튜너이지요. 요새는 자동튜너도 있으니 훨 편합니다만..... 리그에 부착된 것도 있더라고요.

용량성 리액턴스든 유도성 리액턴스든 간에 얼마간의 값을 가지면 $Z = R + jX$ 이니, 결국 임피던스(Z)의 값이 변하군요.

지금 내 안테나를 어느 주파수 밴드에 사용할지 결정을 안낸 상태에서 막연히 내 안테나의 임피던스값이 얼마지한다면 주파수를 모르니 임피던스를 알리 없겠군요. 안테나 임피던스는 사용하고자 하는 영역의 주파수가 확정이 되고 그 용도에 맞게 안테나를 제작한 뒤에 - 보통 설치하고자 하는 안테나 유형을 결정하고 주파수 대역과 송출전력을 생각하고 파장에 따라 안테나의 길이나 굵기나 결정이 되므로 그 설계에 맞게 제작한 뒤에 - 공진점을 찾는 작업을 하면 되는 것이지요. 아래에 보이는 회로가 휘트스톤 브릿지 회로인데 대충 결정된 주파수 대역용 안테나를 가져다가 주파수를 위로 아래로 조금씩 변화시켜나가면 어느 특정 주파수에서 안테나의 임피던스가 50Ω 에 이르는 상태가 나타날 겁니다. 즉 임피던스 매칭이 완벽하게 이루어지는 안테나의 임피던스가 50Ω 을 갖는 그 곳이 공진점이 되겠지요. 발룬도 필요없이 그냥 사용해도 되는 지점이라 하겠습니다. 1:1 전압발룬도 상관없지 않을까 싶네요.

휘트스톤 브릿지 회로가 아니라면 말이 달라지겠지만.... 예를 들어 MFJ-259B

같은 장비를 사용해 리액턴스가 0이 되는 지점을 찾으면 저항(R)값만 남고 그 값이 공진주파수가 해당되는 곳의 임피던스라고 생각하면 된다.



3) [참고] <http://www.qrpkits.com/swrindicator.html> 에 SWR Kit이 있다.

가) 안테나 아날라이저는 아래 첨부한 파일을 이용하여 SWR Kit을 제작한다.

나) Frequency Display kit을 제작하거나 구매하여 1.의 Tx 측에 연결한다.

다) Frequency Oscillator를 제작하여 2.에 연결한다.

4) [동작원리]

국일호 오옴께서 자작하신 analyzer 임다.

<http://cafe.daum.net/elechomebrew/Dfye/65>

가) SWR Kit에 측정할 안테나를 연결한다.

나) 주파수 발생기를 동작시켜 주파수를 만들어내면 주파수 표시기에서 변화되는 주파수값을 확인할 수 있다.

다) 휘트스톤 브리지는 브리지회로의 원리를 이용하여 미지저항을 찾아내는 방식이다. 전파에 이용되는 주파수는 교류이며 리액턴스 성분이 포함되지만 SWR 즉 임피던스 매칭을 시키는 경우는 교류든 직류든 미지저항이 50옴에 도달해야 공진점을 찾을 수 있고 안테나로서 동작할 수 있다.

라) 송수신기와 동축케이블은 50옴이므로 안테나의 저항(임피던스)도 50옴에 이르면 SWR Kit에 있는 LED 램프가 소등된다. 즉 공진점에 이르면 소등된다. 이때는 순저항 성분만 존재한다.

5) 동조점

주파수표시기에서 이때의 주파수를 읽을 수 있다.

[국외 자작 판매용 주파수 분석기]

* 완성품에 대한 자세한 국외 판매 제품은 다음 주소를 참고하시길.....

<http://www.qrpkits.com/deluxetennadipper.html>

. 공진점에서 LED가 소등되는 SWR Kit

LED SWR v3.pdf

4) 주파수표시기가 부착된 주파수 analyzer

Deluxe_Tenna_Dipper_042411.pdf

라. HP8924C/안테나 아날라이저 구현(1)

HP8924C에 내장된 IBASIC을 이용하면 기본적인 계측기 설정 이외 또 어떤일을 할 수 있을까? 곰곰히 생각해보다가 안테나 아날라이저를 HP8924C에 심어보고 싶은 생각이 떠올랐습니다. 우리 모두 가지고 싶던 그것. 중고 HP8924C 보다 엄청 비싼 바로 그것. 까짓거 한번 만들어 보는 겁니다. 먼저 도데체 안테나 아날라이저라는 것이 뭔지 알아보죠.

"안테나 아날라이저"

"안테나 아날라이저"가 하는 일이 도데체 뭔지 보죠.

- 1) 안테나라고 하는 공진 회로의 공진 주파수 알아내기
- 2) 안테나라고 하는 공진 회로가 갖는 임피던스 알아내기
- 3) 안테나라고 하는 공진 회로와 50옴 임피던스를 갖는 고주파 신호원 사이의 매칭 정도 알아내기

안테나는 라디오 주파수대의 교류 신호를 전자기파 공간으로 방출해 내는 틀이라고 하면 되겠죠. 라디오 전파 신호원에서 생성된 에너지를 전자기파 공간으로 보내려면 양쪽의 임피던스가 일치해야 합니다. 최대 전력 전달을 위한 기본 조건이지요. 이에 대해서는 전자공학 카페의 안테나 자작 게시판, 김경원님의 글을 참조하세요.

교류 신호를 다룰 때 항상 나타나는 말이 "임피던스"라는 것이 있습니다. 임피던스가 뭘니까? 한마디로 교류 신호원에 대한 저항입니다. 그런데 일반적인 직류에 대한 저항이라 하면 선로의 물질이 갖는 고유값입니다만, 교류 신호의 저항은 콘덴서와 코일에 의해서 그 정도가 달라지고 교류의 주파수에 따라 달라집니다.

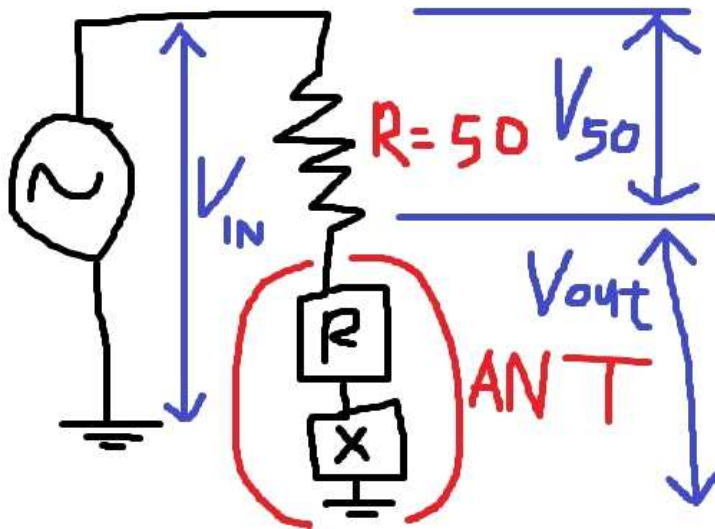
그래서 교류 신호원에 대한 전압과 전류의 비율이라는 뜻으로 임피던스(impedance)라고 붙인 겁니다. 임피던스는 선로의 고유 저항, 레지스턴스 와 교류 신호에 의해 생겨난 리액턴스의 합입니다. 리액턴스는 원래 존재하는 것이 아니고 전압이 진동하는 형태의 신호가 전송 선로에 주어진다면 갑자기 저항이 발생하는 겁니다. 그래서 보통 상수값 저항 대신 유도된 저항이라 해서 레지스턴스(Resistance)에 대비된 용어로 리액턴스(Reactance)라고 부릅니다. 좀더 알고 싶으면 아래 링크를 참조하세요.

$$\text{저항 } Z=R \quad \text{인덕터 } Z=j\omega L \quad \text{캐피시터 } Z=\frac{1}{j\omega C}$$

전송 선로에 저항이 생기면 좋을 것이 없죠. 임피던스 중 고유 저항이야 어쩔 수 없다지만 리액턴스는 가능하면 존재하지 않길 바랄 겁니다. 코일과 콘덴서를 잘 조절해서 특정 주파수를 갖는 교류 신호의 전력이 전부 전자기 공간으로 퍼져나가길 원한다면 안테나라는 공진회로에 리액턴스가 없어야 합니다. 리액턴스가 0 일때 공진되었다고 합니다. 안테나 아날라이저는 안테나가 갖는 임피던스를 레지스턴스와 리액턴스로 분석해 줍니다. 참~~ 쉽죠? 이렇게 쉬운걸 알아낼려고 수 백 년동안 그렇게 많은 과학자들이 머리를 쥐어 뜯고 있었던 겁니다. 알고 나면 뭐든 쉽죠.

어쨌든 안테나 아날라이저라는 것을 들여다 봤더니 교류 신호원이 될 RF 제네레이터와 안테나에 1:1로 물릴 50옴 저항이 그리고 교류 전압 측정기가 전부입니다.

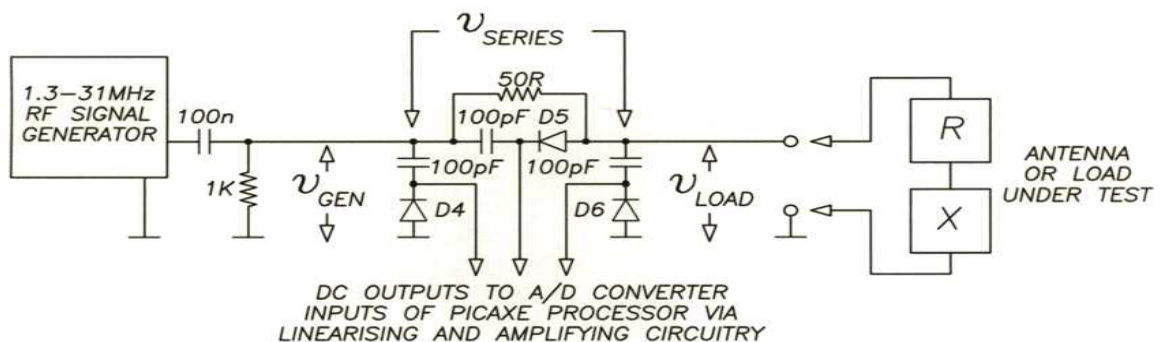
간략하게 구성을 보면 이렇습니다.



안테나가 교류 신호의 주파수에 반응할 때 임피던스는 레지스턴스(R)과 리액턴스(X)가 있습니다. 우리의 무전기들이 보통 50옴이니 그 정도 저항을 직렬로 달아 줬습니다. 이제 세 곳의 전압을 재봅시다. 옴의 법칙에 $V=IR$ 이라 했으니 전압을 재고 전류를 알면 저항값을 계산할 수 있는 겁니다.

그리고 안테나에 걸리는 교류전압을 잽니다. 만일 안테나 임피던스가 50옴이라면 $V_{50} = V_{out}$ 이 될테죠. 50옴 저항을 빠져나온 전력이 모두 안테나로 전달될 수 있는 조건이죠. 아주 이상적인 경우입니다. 하지만 안테나의 임피던스가 50옴이 아니라면 V_{50} 과 V_{out} 이 차이가 날테고 그 차이는 안테나의 임피던스 값에 따라 분압되는 결과를 낳게 될 겁니다.

라디오 파처럼 높은 주파수의 교류 전압을 측정하려면 RF Probe 라는 아주 약간의 도구가 필요합니다. 이것도 별거 아닙니다. 다이오드와 콘덴서로 된 정류 회로입니다. 라디오의 경우 검파기라고 하지요. 아주 미약한 교류전압에도 잘 정류해주는 저마늄 다이오드를 사용해야 합니다. 전압 측정 점에 정류회로를 각각 달아 보면 아래 처럼 됩니다.

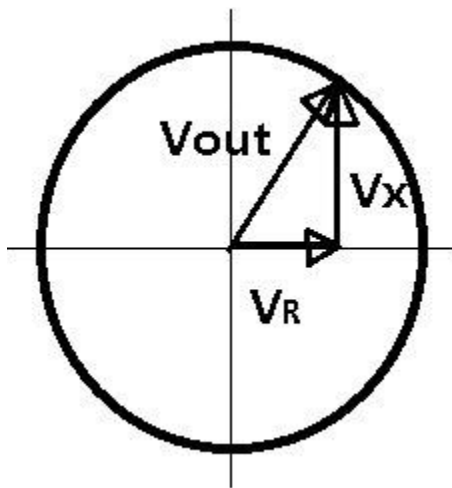


이렇게 해놓고 보니 안테나 아날라이저 정말 별거 아니군요. 사실 계측기라는 것의 원리는 대부분 별거 아닙니다. 계측기로서 안정적인 동작과 정밀도를 유지하는 일이 가장 큰 과제지요. 안테나 아날라이저의 최대 과제는 넓은 주파수 대역에 걸쳐 아주 안정적이면서 고른 출력을 내는 RF Generator를 만드는 것과 정밀하게 전압을 잴 수 있는 회로를 꾸미는 것입니다. 정말 말로는 쉽지만 실제로 하기 어렵지요. 이 부분은 따로 전문가들이 있으니 그분들께 맡겨 두지요. HP8942C는 2~1000MHz까지 아주 우수한 RF 신호 발생기를 내장하고 있습니다. 베리굿 입니

다!

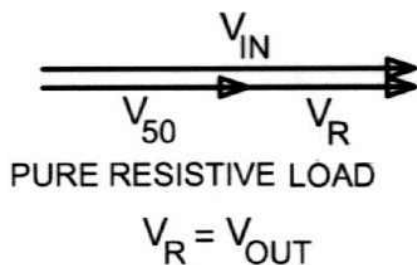
이제 전압을 측정 했으니 이 값을 가지고 안테나의 임피던스를 분석할 차례입니다. 측정을 통해 V_{in} , V_{50} , V_{out} 전압을 알고 있습니다. 그리고 교류 신호의 임피던스 값은 $Z = R + jX$ 라고 표현 합니다. 리액턴스 X 에 붙은 j 는 많이 알면 골치 아픕니다. 그냥 교류 때문에 발생한 것이고 매칭이 틀어지면 생겼다가 매칭이 맞게 되면 없어지기도 하는 요상한 것이라는 표시로 알아 둡시다. 정 알고 싶으면 한번 찾아보시든가.... ^^

그리고 안테나 내에서도 R 과 X 에 걸리는 전압 V_R 과 V_X 의 관계는 서로 직교 관계에 있습니다. 이것도 더 알려고 하면 다칩니다. 그래도 혹시 누가 물어보면 교류는 파형인데 그 파형은 원 주위를 회전하는 거시기에서 유래한 거고,



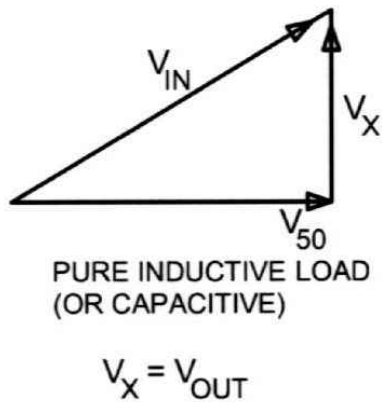
그 원의 궤적을 x , y 축으로 투영하면 \sin 과 \cos 이 나오고, ^^ 이 두개의 삼각함수는 서로 직교관계에 있고... 불라불라~~ V_{out} 을 반지름으로 하는 원을 그리고 x 축을 좌표와 y 축 좌표에 대응하는 거야.....라고 얼버무리십시오. 어쨌든 V_R 과 V_X 는 직교 합니다. 그리고 그 대각선이 V_{out} 입니다. V_{out} 이 빙글 빙글 돌아가는 것에 따라 V_R 과 V_X 가 달라지죠? V_{out} 의 값은 변화가 없는데 돌아가는 방향에 따라 V_R 과 V_X 가 변합니다. 이런 식으로 방향과 값의 변화를 화살표로 표시한 것을 벡터로 표현했다고 합니다.

얼버무리 것 은 대충 얼버무리고 넘어가죠. 찹찹하면 다른 쪽에서 감동을 받아보죠. 처음 그림인 안테나와 아날라이저의 관계를 다시 살펴보겠습니다.

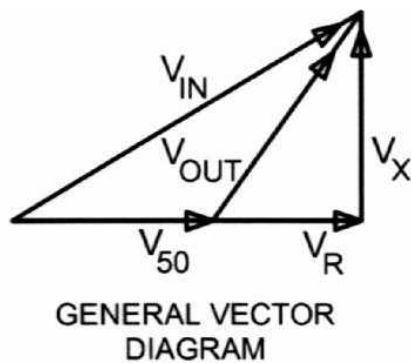


만일 $X = 0$ 이면 안테나에는 R 만 존재합니다. 그런 경우 순 저항성분의 안테나(Pure Resistive) 라고 합니다. 전압 관계는 $V_{in} = V_{50} + V_R$ 이고 교류 영향 성분이 없으니 그림으로 표현하면 이렇습니다. 이번에는 $R = 0$ 이라고 하죠. 순전히 리액턴스만 존재하는데 그중에는 코일 성분의 영향인지 컨덴서 성분의 영향인지는 아직 모르겠네요.

안테나가 도선 늘어뜨린 것이니 코일 성분이 당연히 많겠죠. 벡터 그림으로 표현하면 이렇습니다. 안테나의 임피던스를 맞추기 위해 코일도 넣고 콘덴서도 넣습니다. 어떻게 얼마나 넣을 지는 스미스 차트를 보고 결정 하시죠. 스미스 차트 보기는 역시 전자공학 카페의 안테나 자작 게시판에 김경원님의 아주 좋은 설명글이 있습니다. <http://cafe.daum.net/elechomebrew/Dfwx/26>



자 이제 전체 그림을 봅시다. RF 제네레이터에서 나온 전압과 선로에 직렬로 연결한 50옴의 전압, 그리고 안테나의 전압의 관계를 벡터로 표현하면 이렇군요. 측정을 통해 V_{IN} , V_{50} , V_{OUT} 를 알고 있습니다. 이로부터 V_X 와 V_R 을 알고 싶은 것이 우리의 목적이죠. 이쯤해서 2천년쯤 전에 피타고라스님이 발견한 공식을 되살려봅시다. 직각 삼각형의 밑변과 수직변의 각각 제곱은 빗변의 제곱과 같다.

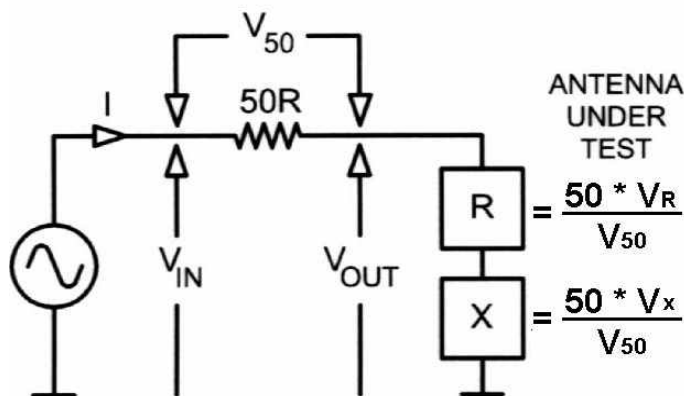


$(V_{out})^2 = (V_r)^2 + (V_x)^2$ $(V_{in})^2 = (V_{50} + V_r)^2 + (V_x)^2$
 위의 두 식에서 $(V_x)^2$ 부분을 공통으로 취합니다.,
 $(V_{out})^2 - (V_r)^2 = (V_{in})^2 - (V_{50} + V_r)^2$ 풀어보면
 $(V_{out})^2 - (V_r)^2 = (V_{in})^2 - (V_{50})^2 - (V_r)^2 - 2 \times V_{50} \times V_r$
 정리하면 $2 \times V_{50} \times V_r = (V_{in})^2 - (V_{OUT})^2 - (V_{50})^2$
 결국 V_R 을 구했습니다.

$$V_R = \frac{(V_{in})^2 - (V_{OUT})^2 - (V_{50})^2}{(2 \times V_{50})} \quad V_R \text{을 구했으니 } V_X \text{는 쉽죠.}$$

$$(V_{out})^2 = (V_r)^2 + (V_x)^2 \quad \text{에서,} \quad V_X = \sqrt{V_{OUT}^2 - V_R^2}$$

안테나와 안테나 아날라이저 회로에 흐르는 전류는 $I = \frac{V_{50}}{50}$ 입니다.



자 이제 V_R , V_X 과 I 로 부터 레지스턴스와 리액턴스를 구하는 방법은 회로해석의 종결자움의 법칙입니다.

측정과 계산은 이제 마이크로 프로세서에서 실시하면 되겠습니다. 실제 VK5JST의 프로그램 소스를 보면 위와 똑같이 계산합니다.

소스가 600줄 쯤 되는데 많은 부분이 에러처리와 글자 표시를 위한 부분이고 실제 임피던스 계산은 몇 줄 안됩니다. 설명의 편이를 위해 프로그램 소스 파일을 줄번호를 붙여 pdf 만들었습니다. 위에서 설명한 임피던스 계산을 어떻게 했는지 핵심적인 계산 부분만 살펴보겠습니다.

5digbat.bas.pdf

이 프로그램은 마이크로 칩스(Microchips)의 PIC에 구현된 BASIC언어 환경에서 작성된 것 입니다. 실행은 첫줄 부터 시작합니다.


```

#1: start
#12: gosub init '초기화 (별 내용 없음)
#15~57; battery: ' 배터리 체크하고 전압 측정 한 것 LCD에 표시
#61: main: ' 프로그램이 본격적으로 시작되는 곳
자체기능 검사의 일환으로 내장된 RF 발생기의 주파수를 측정하고 보여줌
#134: imped: '임피던스 측정 부분 시작
        - 마이크로프로세서에 내장된 ADC로 세 곳의 전압을 측정함
        - 몇가지 에러 처리 부분이 있음
#160: square: ' 측정한 전압을 제곱
#161: let w2=b1*b1 'calculate b1 squared, ( $V_{IN}$ )2
#162: let w3=b2*b2 'calculate b2 squared, ( $V_{50}$ )2
#163: let w4=b3*b3 'calculate b3 squared, ( $V_{OUT}$ )2
#174: volts: '  $V_R$ 과  $V_X$ 를 계산함

$$V_R = (V_{IN})^2 - (V_{OUT})^2 - \frac{(50)^2}{2 \times V_{50}}$$

#175: let w2=w2-w3-w4
#176: let w2= $\frac{w2}{2}$ 
#177: let w2=w2/b2 'w2=v across unknown load resistance

$$(V_X)^2 = ((V_{OUT})^2 - (V_R)^2)$$

#178: let w5=w2*w2
#179: let w5=w4-w5 'w5= v squared across unknown load reactance
#182: srqt:  $V_X$ 의 제곱을 계산했으므로 이를 제곱근 구하는 계산
#183: let b0=b2
..... 제곱근 계산 부분 생략  $V_X$  값은 변수 w4 에 저장됨....
        이어서 임피던스 X와 R을 계산하는 부분으로 이어짐
        임피던스 계산 시 각 변수의 내용
        b0 : 50옴 저항에 걸린 전압  $V_{50}$ 의 측정값
        w4 :  $V_X$ 의 계산 값
        w2 :  $V_R$ 의 계산 값
#278: calcz: ' 리액턴스(X)와 레지스턴스(R) 계산

$$\text{리액턴스(X) 계산: } R_x = \frac{V_X \times 50}{V_{50}}$$

#279: let w4=w4*50
#280: let w4=w4/b0 'w4=unknown reactance in ohms
        레지스턴스(R) 계산:  $R_r = (V_r * 50)/V_{50}$ 
#281: let w2=w2*50
#282: let w2=w2/b0 'w2=unknown resistance in ohms
- 계산값 확인, LCD에 표시, main 으로 반복
.....

```

.....

goto main

별거 아니라고 글쓰기 시작했더니 길어 졌습니다. 이글의 위치가 좀 맞지 않습니다만, HP8924C를 손에 넣게 된 것이 계기가 되었으므로 그냥 올립니다.

참고

1. <http://www.users.on.net/~endsodds/analrs.htm> VK5JST의 아날라이저 페이지
2. <http://www.users.on.net/~endsodds/maths.jpg>
3. <http://www.users.on.net/~endsodds/aninstr.pdf>
4. <http://www.users.on.net/~endsodds/5digbat.bas>

1) 참고

8924는 90년 중반 아날로그인 AMPS에서 CDMA로 넘어 갈때 국내에 등장했는데 당시 가격이 6천만원 정도 했었습니다. 과도기적 장비라 아날로그 디지털 겸용으로 만들어졌고, 8924 직전까지 사용하던 것이 8920이었습니다. 8920은 아날로그 전용이고, 8920에 들어있는 모든 기능은 8924에 고스란히 들어있고 동작 메뉴도 똑같습니다. 하지만 지금은 8920은 150 ~ 200만원 정도하고 8924는 30~40만원선으로 쉽게 구할 수 있습니다.

국내에서 볼 수 있는 HP에서나온 핸드폰 계측기의 족보는 HP8920, 8924, 8285 8960 순입니다.

불과 수 년전까지만 해도 8960의 경우 신품가가 1억원을 넘었었는데... 취미 제작용으로 사용 가능한 것은 당연히 HP8920 이나 8924를 사용합니다. 8285 와 8960은 디지털 전용 장비라 활용도가 많이 떨어집니다.

이천년도 중후반에 IS95 프로토콜의 단말기 생산이 중단되면서 생산 공장에 있던 8924가 시중으로 흘러나오게 되었습니다. 생산라인에 있던 8924는 거의 몇 년 동안 24시간 풀 가동 되었기 때문에 CRT는 거의 수명이 다한 상태이고 RF 입출력 기능도 거의 골병이 들었을 가능성이 큼니다.

버튼은 글씨하나 지워진 곳 없이 깨끗한데 CRT가 흐리고 심하게 로그인자국이 있으면 생산라인에 있던 것이고, CRT는 멀쩡한데 특정 버튼(콜 버튼)이 닳아 있으면 개발실이나 생산 기술쪽에서 사용하던 가능성이 큼니다. 생산라인에서는 GPIB를 사용해 CAL과 Auto Test를 하고 개발실에서는 수동으로 버튼 눌러가며 측정을 하기 때문입니다.

국내에서 이만큼 핸드폰 생산을 하지 않았다면 지금 이렇게 고급 계측기를 값싸게 구입할 수 없습니다. 취미용으로 하나 구입해 두면 아주 좋기는 한데 구입해놓고 애물단지가 되는 경우가 많이 있지요. 제대로 사용하면 상상 이상으로 다양하게 활용할 수 있으나 고급 기능을 다루려면 장비 다루는 법 이외에 측정법에 대한 배경 지식이 있어야 됩니다. 왜냐하면 대부분의 RF 장비가 그렇듯이 사용자에 따라 다른 측정 결과가 나오는 경우가 많이 있습니다.

MIC/ACC 단자에 전용 핸드셋(아마도 자작가능)을 달아서 8924를 FM 송수신기로

사용가능 하지만 수신감도가 그리 좋지는 않습니다. 100W급의 -20dB ATT를 하나 구해서 RF IN/OUT 단자에 달아두고 CONFIG 메뉴에 있는 입출력 옵셋을 맞춰놓으면 무전기 교정하고 수리하는 데는 8924 하나면 충분합니다.

특히 트래킹제네레이터와 스펙트럼아날라이저 기능을 사용해서 스칼라네트웍아날라이저 처럼 사용할 수 있는데 다른 기능 다빼고 이것만 활용해도 8924는 최소 200만원의 가치는 있습니다. 국일호님이 제작해서 측정했던 것처럼 성능 좋은 V,UHF 방향성 결합기를 구해서 연결하고 입출력 옵셋을 정확히 맞춰두면 리턴로스를 바로 읽을 수 있기 때문에 V,UHF용 필터나 안테나 제작하는 데는 아주 편리합니다.

IV. 제프안테나

오늘은 만들기 쉽고, 설치하기 쉽고, 성능도 괜찮은 제프안테나에 대한 동작 원리를 살짝 살펴보도록 하겠습니다.

제프안테나는 한가닥 엘리먼트만 사용합니다. 통상적으로 롱 와이어 안테나 또는 외장형 오토 튜너를 사용한 와이어 안테나의 경우 급전점인 동축 케이블 종단의 외피 부분이나 와이어 안테나가 연결된 외장형 오토튜너를 반드시 접지 시켜줘야 됩니다. 접지와 동일한 효과로 방사형으로 전선을 바닥에 깔아서 카운터포이즈 방식을 사용하기도 하지요.

이렇듯 와이어 안테나에는 접지가 필수조건입니다. 아니면 다이폴 안테나처럼 접지부분 대신 1/4파장 엘리먼트로 대신하거나, 그런데 왜 제프 안테나는 접지를 시키지도 않고 접지를 대신하는 엘리먼트도 없이 그냥 사용해도 동작 잘하고 VSWR도 잘 떨어지는 것인가? 번썹 의문을 가져보지 않으셨는지요?

오늘 주절거리는 이 글을 모두 읽고 적당히 이해하는 정도가 된다면 어떤 주파수 어떤 매칭 형태의 제프 안테나라도 쉽게 만들 수 있는 실력이 생깁니다. 믿어 보십시오. 그러면 제프 안테나를 이해하는데 필요한 기초부터 시작 하겠습니다.

기초의 내용은

- 1) 부하 임피던스와 최대 전력 전달의 관계.
- 2) 트랜스를 사용한 전압변환 방법.
- 3) 트랜스를 사용하지 않는 전압 변환 방법.
- 4) 안테나의 급전점 임피던스.
- 5) END FEED 안테나의 임피던스 매칭.
- 6) 제프 안테나 설계하기.
- 7) 제프 안테나 만들어 테스트.

가벼운 마음으로 차근차근 살펴 보겠습니다.

가. 부하 임피던스와 최대 전력 전달의 관계.

제목만 봐서는 상당히 어려운 내용이 아닐까 하고 걱정 되지만 전혀 문제없습니다. 우리가 알고 있는 옴의 법칙만 알고 있으면 충분히 이해할 수 있는 정도의 난이도라고 보시면 됩니다.

어떤 건전지의 단자 전압이 1.5V 이고, 건전지 내부 저항이 5옴 이라고 합니다. 여기서 전압이 1.5V인건 알겠는데 내부저항이 5옴이라는 것은 이해할 수 없다! 라고 할 수 도 있습니다.

어떤 신호원 그러니까 건전지, 발전기, 태양전지, 시그널 제네레이터, 오디오 앰프 등등 전압 출력하는 신호원은 고유의 내부저항을 가지고 있습니다. 내부 저항이 제로인 전원이 있다면 무한 에너지를 꺼낼 수 있다는 말이 됩니다.

가장 쉽게 이해하는 방법은... 전원 아답터 9V/300mA 짜리의 전압을 측정하니 15V로 측정 되었다. 이거 고장 아닐까? 그런데 30옴의 저항을 연결하니 전압은

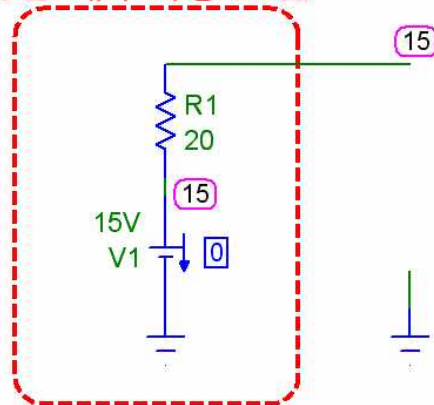
9V로 떨어지고 전류는 300mA가 흐르더라... 이런 경우가 있을 것입니다.

이런 현상이 나타나는 이유가 바로 아답터의 내부저항 때문입니다. 그럼, 위의 아답터 내부저항을 구해봅시다. 아답터에 부하저항을 연결하지 않으면 전압은 15V, 부하저항 30옴을 연결하면 단자전압 9V, 이때 전류는 0.3A 30옴의 부하 저항에 9V가 걸려 있으니 맨 처음 15V에서 9V를 뺀 6V의 전압은 어디로 갔을까요? 바로 아답터 내부에 들어있는 내부저항이 가져 갔습니다. 직렬 연결된 부하저항 30옴과 아답터 내부저항에 전체전압 15V가 분압 되어있으니 간단히 옴의 법칙을 동원해 내부저항 값을 구 할 수 있습니다. 내부저항에 6V전압이 걸리고 0.3A의 전류가 흐르니 $R = \frac{6}{0.3} = 20\Omega$

살펴본바와 같이 9V 아답터의 정확한 정격은 내부저항 20옴을 갖는 단자전압 15V의 전원 장치입니다.

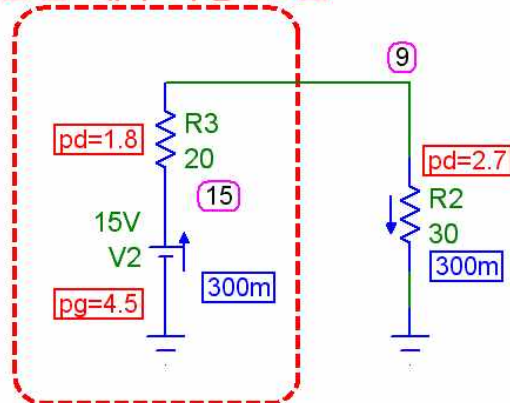
(9V/300mA의 아답터는 다른 여러 가지 이유로 전압 변동량이 다를 수 있습니다. 그냥 예를 든 것일 뿐입니다.) 그림으로 보면 아래와 같습니다.

전원-내부저항 20옴



부하저항 없음
단자전압 15V
전류 0A
부하저항의 소비전력 0W

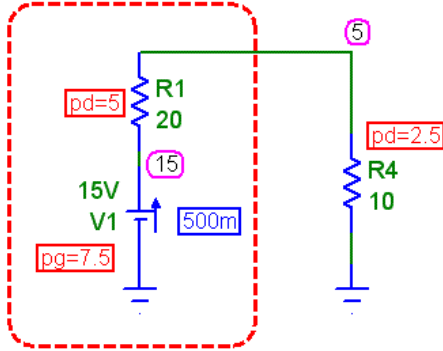
전원-내부저항 20옴



부하저항30옴 연결시
단자전압 9V
전류 300mA
부하저항의 소비전력 2.7W

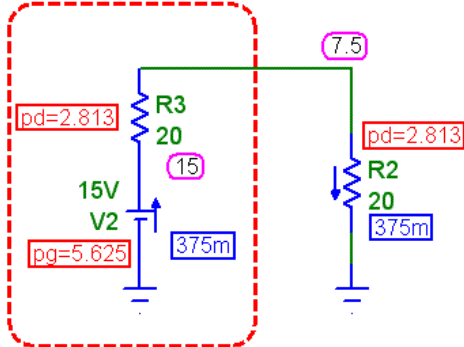
그림을 보니 쉽게 이해되지요? 아답터의 내부 저항을 구했으니 내부 저항과 부하저항의 관계에 대해 고민해 볼 필요가 있습니다. 부하저항 입장에서 볼 때 어떻게 하면 전원부를 잘 구슬려서 전력을 최대한으로 빼낼 수 있을까 하는 문제입니다. 정답은 내부저항과 부하저항의 값이 동일 할때 입니다. 그림으로 보면 금방 이해됩니다.

전원-내부저항20옴



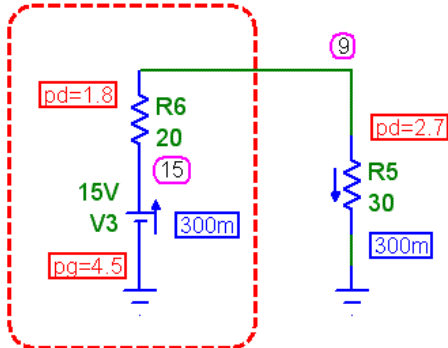
부하저항10옴 연결시
단자전압 5V
전류 500mA
부하저항의 소비전력 2.5W

전원-내부저항 20옴



부하저항20옴 연결시
단자전압 7.5V
전류 375mA
부하저항의 소비전력 2.813W

전원-내부저항 20옴



부하저항30옴 연결시
단자전압 9V
전류 300mA
부하저항의 소비전력 2.7W

위의 그림을 보면
전원부의 내부저
항은 20옴이고
부하저항을 10옴,
20옴, 30옴으로
보면 부하저항에
걸리는 최대전력
은 20옴의 경우
입니다.

물론 부하저항에
전류가 가장 많이
흐르는 경우는
10옴일때이고, 전
압이 가장 높게
걸리는 경우는
30옴 일때 입니
다.

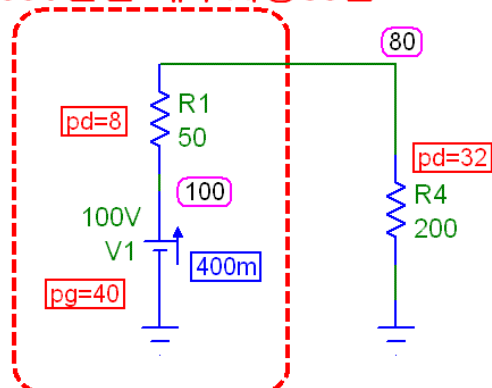
나. 트랜스를 사용한 전압변환 방법.

이제 최대 전력 전달의 임피던스 관계에 대해 이해 하셨으리라 생각 합니다. 직
류 전원을 예를 들어 설명 했는데, 교류도 마찬가지 입니다. 교류에서는 신호원의
내부저항과 부하저항의 임피던스가 다르더라도 서로 간 같은 것처럼 보이도록 서
로 간 속여 주기가 아주 쉽습니다. 무슨 말이고 하니 신호원과 부하저항의 임피던
스가 동일하지 않아도 적당한 방법을 사용해서 동일한 것으로 만들어주어 최대 전
력 전달 상태를 만들 수 있다는 말입니다.

쉬운 예를 들어 보겠습니다. 내부저항이 50옴인 AC100V 전원이 있습니다. 여기
에 200옴의 부하저항이 연결된다면 부하저항의 소비전력은 어떻게 될까요?
AC100Vrms는 저항에 작용 할때 DC100V와 특성이 똑같습니다. 그래서 DC 전원으로
시뮬레이션 해도 결과는 같습니다.

계산하면 복잡하니 회로 시뮬레이션으로 쉽게 알아봅시다.

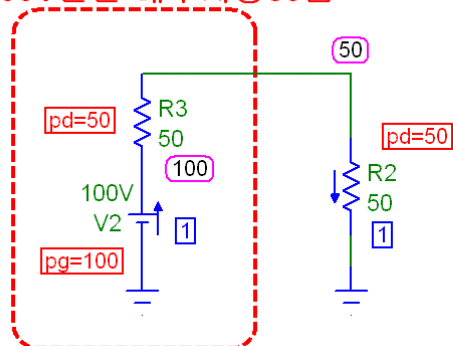
100V전원-내부저항50옴



부하저항200옴 연결시
단자전압 80V
전류400mA
부하저항의 소비전력32W

부하저항의 소비전력이 32W로 나타나는군요. 그렇다면 내부저항 50옴을 가지는 100V 전원에서 최대한의 전력을 뽑아 오는 조건은.... 당연히 부하저항이 50옴일 경우 입니다. 부하저항 50옴 일때 부하저항에 걸리는 전력을 시뮬레이션으로 쉽게 알아봅시다.

100V전원-내부저항50옴



부하저항50옴 연결시
단자전압 50V
전류 1A
부하저항의 소비전력50W

결과는 50W 입니다. 그림을 보시면 100V 전원에 50옴 저항 두개 직렬 연결된 합성저항 100옴으로 회로가 만들어져 1A의 전류가 흐르고 전압은 정확히 1:1로 분압되어 50V로 각 저항에 걸립니다. 그렇게 되니 당연히 부하저항에는 50W의 전력이 걸리게 되지요.

이 내용으로 눈치 챌 수 있는 것이 있는데, 바로 시그널 제네레이터의 출력 전압입니다. 통상 RF 시그널 제네레이터의 출력임피던스(내부저항)은 50옴 입니다. 부하저항을 연결하지 않고 대충 1MHz 주파수에 출력레벨을 적당히 조절해 1V상태로 만든 다음 부하저항 50옴을 연결하면 단자 전압은 정확히 0.5V로 떨어집니다. 만약 전압이 0.6V 또는 0.4V가 된다면 부하저항이 50옴이 아니라는 말이 되므로 이 전압 변화를 근거로 부하저항의 임피던스와 VSWR을 계산해 낼 수 있습니다. VSWR 구하는 방법은 다음 기회에 살펴보도록 하지요. 시그널제네레이터에 부하저항을 연결하지 않고 측정하는 전압을 EMF 전압이라고 합니다.

EMF는 electromotive force의 이니셜로 한국말로로는 '단자전압'으로 표현할 수 있습니다. 정상 부하 상태의 전압과 EMF 전압은 2배의 차이가 나므로 $EMF = \text{부하 전압} + 20\log 2$ 가 되어 EMF 전압은 정상 부하때 보다 항상 6dB 높은 값을 가집니다. 이야기가 판데로 새고 있는데... 다시 돌아와서, 100V, 50옴 내부저항을 가지는 신호원에 200옴의 부하저항을 연결하니 최대 전력 전달이 안됩니다. 그렇다고

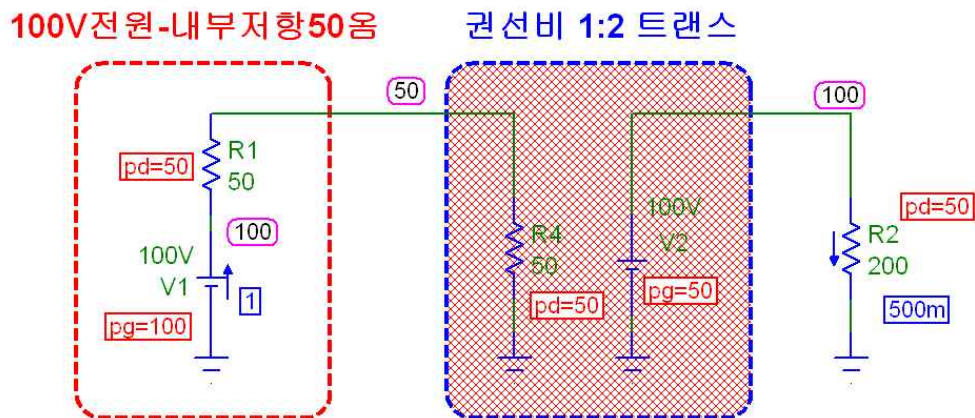
신호원의 저항을 50옴에서 200옴으로 올릴 수도 없고, 그렇다면 신호원과 부하저항의 임피던스는 그냥 두고 그 사이에 트랜스를 넣어서 서로 간 전압을 변화 시켜 주면 200옴에 50W를 전달 할 수 있게 됩니다. 200옴에 50W의 전력이 소비되려면 필요한 전압은? $50W = \frac{V^2}{200}$ 이므로 $V = 100$ 이 되어 100V가 됩니다. 이미 전원 전압이 100V 아님? 하고 의심할만 하지만 200옴 부하 상태의 전압이 80V 였으므로 이 80V가 100V가 되도록 만들어야 됩니다. 쉽게 생각하면, 신호원 측에서 보면 단자 전압이 50V여야 최대 전력 전달 상태가 되고, 200옴 부하저항 입장에서는 단자 전압이 100V가 되어야 최대 전력 전달 조건을 만족 합니다. 그래서 신호원 50옴: 부하 200옴 일때 전압비 50V:100V라는 결론 나오므로 전압비 1:2의 승압 트랜스를 중간에 넣어주면 최대전력 전달을 만족합니다. 서로 간 임피던스가 다른 신호원과 부하저항 사이에 최대 전력 전달을 시키기 위해 트랜스를 넣어 전압비를 조정하는 것을 임피던스 '매칭'이라고 합니다.

위의 예에서 임피던스비 50옴:200옴 = 1:4 일때 전압비는 50V:100V = 1:2로 되므로 전압비의 제곱은 임피던스비와 같다. 라는 결론에 도달합니다.

안테나용으로 밸런(바룬)을 만들때 보면 1:4 또는 1:9 밸런을 많이 사용합니다. 이것을 임피던스로 보면 50:200 , 50:450 이렇게 되지요. 만약 75옴 동축케이블을 사용한다면 75:300 또는 75:675 가 되겠습니다. TV에 사용하는 75:300 옴 변환 아답타를 보면 내부에 안경코어로 만들어진 임피던스비 1:4 의 불평형 : 평형 밸런이 들어있습니다. 그러면 임피던스비의 제곱근을 구하면 바로 전압비가 됩니다. 임피던스비 1:4 --> 전압비 1:2 임피던스비 1:9 --> 전압비 1:3 간단합니다.

트랜스의 전압비는 1차측과 2차측의 권선비와 동일합니다. 토로이달 코어를 사용해 임피던스비 1:4의 매칭 트랜스를 만든다면, 먼저 전압비(권선비)를 구해야 하므로 임피던스비 1:4의 제곱근은 1:2가 되니까 권선비 또한 1:2가 되어 1차측에 5번 감았다면 2차측은 10번을 감으면 임피던스비 50:200의 트랜스를 만들 수 있습니다.

트랜스는 교류에서만 사용하기 때문에 시뮬레이션으로 교류 해석하면 되는데 출력되는 그래프 설명하기가 너무 어려워서 그냥 DC 상태로 원리설명용으로 그려 봤습니다.



권선비 1:2의 트랜스를 삽입해 200옴의 부하저항에 50W 전력이 소비 되도록 전압을 2배로 올린, 즉 임피던스비를 1:4로 변환 시킨 내용입니다.

다. 트랜스를 사용하지 않는 전압 변환 방법입니다.

전편에서 신호원과 부하저항의 임피던스 매칭을 위해서 트랜스를 사용하는 방법을 알아 봤습니다. 진공관 오디오 앰프의 구조를 보면 반드시 큼지막한 출력 트랜스가 샤시에 자리잡고 있습니다. 오디오용 출력 트랜스에 보면 5k:8 또는 7k:8 이런 식으로 스펙이 적혀있는 것을 볼 수 있습니다. 전편의 내용을 어느 정도 이해했다면 이제는 오디오 출력 트랜스의 스펙이 눈에 쏙 들어올 겁니다. 신호원인 진공관의 플레이트 임피던스와 부하저항인 스피커의 8옴을 서로 맞추기 위해 트랜스를 사용해 임피던스 매칭을 시켜놓은 것입니다.

심심한데 전압비 계산을 한번 해볼까요? 5k: 8의 임피던스 비에서 제곱근을 구하면 대략 $\frac{5000}{8} = 625$ $\sqrt[2]{625} = 25$ 로 25 : 1이 나옵니다. 이 전압비는 진공관 플레이트에서 스윙하는 전압폭과 스피커에 입력되는 전압폭의 비율입니다. 그러므로 8옴 스피커에서 1W 전력을 소비하고 있다고 보면 8옴 스피커에 걸리는 전압을 계산해 봅시다. $1W = \frac{V^2}{R}$ $1 = \frac{V^2}{8}$, $V^2 = 8$ 이므로 $V = 2.828V_{rms}$ 로 나타납니다. 8옴에 나타난 전압은 트랜스의 2차측 전압이므로 트랜스 1차측 전압은 2차 측의 25배 이므로 $2.828 * 25 = 70.71V_{rms}$ 가 되는군요. 이때 '싱글 진공관 앰프'의 전원 전압은 최소 얼마가 되어야 할까요? 또 계산 해보면, 트랜스 1차측의 전압이 70.71Vrms라고 했으니 실제로 트랜스 1차측에 걸리는 전압은 실효치를 V_{p-p} 로 환산해야 됩니다. $70.71 * 2 * 1.414 = 200V$ 1차측의 전압 스윙폭은 200Vp-p가 되므로 동작에 대한 마진과 케소드에 필요한 전압 등을 감안해서 넉넉하게 50V 정도를 더 추가시키면 고작 1W 출력되는 진공관 앰프의 전원 전압은 최소 250V가 필요하다는 결과가 나옵니다. 그리고 부하저항인 스피커에 적힌 정격을 보면 8옴 $\frac{91dB}{2.828}$

또는 8옴 $\frac{91dB}{1W}$ 이런 식으로 적혀있는데 같은 말입니다. 이 스펙은 스피커에 1W 전력을 입력 했을 때 1미터 떨어진 곳에서 측정한 음압이 91dBspl 이라는 말입니다. 바로 귀 옆에서 사람이 말하는 소리가 85dB정도이므로 계속해서 91dB의 소리를 듣고 있으면 귀에 문제가 생길수도 있을 정도의 상당히 큰 소리입니다. 1W의 전력과 고음압의 스피커는 충분히 큰소리를 만들어 줍니다. 그래서 가정용 오디오 앰프는 10W 또는 크게는 30W 정도면 충분한 출력이라 볼 수 있습니다.

우리가 지금 공부하고 있는 임피던스 매칭과 오디오 앰프의 관계 중 아주 재미있는 사실이 있습니다. 바로 오디오 앰프에서 중요한 성능의 지표로 삼고 있는 '댐핑팩터'인데, 메이커에서 말하기를 우리 앰프는 댐핑팩터가 200 이기 때문에 아주 우수한 소리를 낸다! 하고 광고를 합니다. 과연 댐핑팩터가 200이나 되니 앰프가 스피커를 가지고 노는 구만~ 하고 말하기도 합니다. 신호원인 오디오 앰프와 부하저항인 스피커의 관계에서 댐핑팩터란 바로 임피던스 비를 말합니다. 스피커

임피던스를 앰프의 내부저항으로 나눈 값이 댐핑팩터 입니다. $\frac{SP\text{임피던스}}{amp\text{내부저항}}$ 그러면 댐핑팩터 200이란 의미를 살펴보면, 스피커 임피던스가 8옴이라고 가정하면 $200 = \frac{8}{X}$ 이므로 $X = 0.04\text{옴}$ 으로 계산 되는군요. 여기서 X는 오디오 앰프의 내부 저항을 나타냅니다. 위의 계산 결과로 보면 댐핑팩터 200의 오디오 앰프에는 부하저항 0.04옴을 연결하면 최대 출력 상태가 됩니다만 하지만 무작정 앰프와 스피커를 최대출력 상태로 해놓고 사용할 수는 없는 노릇이기 때문에 볼륨을 조절해 게인을 변화시키고, 앰프의 출력 임피던스가 입력되는 음악에 맞춰 가변되면 거기에 따라 부하저항 8옴과 전압이 적절히 분압되어 리듬에 맞는 전력 소비를 가져서 리드미컬한 '소리'를 들을 수 있게 됩니다. 한 가지 명심해야 할 것은 모든 경우가 최대전력전달 상태일수는 없다는 것입니다. 알고 보니 댐핑팩터란 것이 대단한 것도 아니란 것을 눈치챌 수 있습니다. 한번 따져 볼까요? 메이커에서 자랑하던 댐핑팩터 200의 고성능 앰프는 과연 이름값을 할 것인가? 위에서 댐핑팩터의 정의는 부하저항을 신호원저항으로 나눈 값이라고 했습니다. 그렇다면 스피커 케이블의 고유저항은 어디로 포함될까요? 또는 스피커 내부에 들어있는 무진장 긴 에나멜선으로 만들어진 네트워크 코일의 저항은 신호원과 부하저항 둘 중에 어디에 포함 될까요? 거기다 스피커의 음압 레벨을 맞추기 위해 수 옴의 와트급 저항을 직렬로 넣는데 그러면 이 저항은 어디에 포함 될까요?

결론은 스피커 내부의 스피커알맹이에 붙은 입력 단자에서 신호원 측과 부하측이 구분 됩니다. 실제로 부하저항은 소리를 만들어내는 '스피커 유닛'입니다. 거기에 연결된 네트워크이나 기타 케이블, ATT 등은 신호원의 내부저항으로 보는 것이 당연 합니다.

스피커 케이블의 저항, 네트워크를 구성하는 에나멜선의 저항, 스피커 단자의 접촉저항 모두 합해서 0.1옴이라고 가정하면 스피커 입장에서의 댐핑팩터는 다시 계산되어야 합니다.

댐핑팩터 200인 앰프의 내부저항이 0.04옴 이었고 기타 부가된 저항이 0.1옴 이니까 신호원측의 내부저항은 $0.04 + 0.1 = 0.14\text{옴}$ 이 됩니다. 그러면 댐핑팩터는 $8 / 0.14 = 57.142$ 이렇게 됩니다.

결국 어마어마한 댐핑팩터 200의 앰프라도 필요악인 스피커 케이블과 기타 미미한 저항의 추가로 어지간히 노력해도 댐핑팩터는 60이 안됩니다. 사실 스피커 케이블과 네트워크 저항을 모두 합하면 실제로 0.5옴 정도 됩니다. 그러면 $8 / 0.5 = 16$ 로 나타나므로 댐핑팩터가 그렇게 큰 의미가 없다는 말이 됩니다. 그리하여 오디오 앰프의 댐핑팩터는 대략 50정도만 되면 충분합니다. 만약 집에 초전도체로 만든 스피커 케이블을 갖고 있다면 댐핑팩터 200짜리 앰프를 추천 합니다. 한 가지 힌트를 드리자면 앰프의 댐핑팩터를 상대적으로 높이려면 스피커 임피던스를 올리면 됩니다. 헤드폰의 임피던스가 32옴으로 높은 이유는 오디오 앰프에서 헤드폰 유닛까지 가늘고 긴 꼬불꼬불한 전선으로 연결되어 여기서 저항이 너무 커져서 댐핑팩터가 낮아지게 되어 상대적으로 헤드폰 유닛의 임피던스를 올려 댐핑팩터를 확보한 것으로 이해하시면 됩니다. 오디오 앰프의 댐핑팩터에 대한 사실을 잠깐

알아 봤습니다. 그러면 최대 전력 전달 상태의 댐핑팩터는 얼마일까요? 최대 전력 전달 상태는 신호원과 부하저항의 임피던스가 같을 때 이므로 댐핑팩터 = 1 입니다. 오디오앰프와 관련된 이야기는 다음 기회에 하기로 하겠습니다. 나도 모르게 또 주제를 벗어나 판소리를 하고 있네요. 상용 전원 같은 60Hz나 수십kHz 미만의 오디오 주파수 대역의 임피던스 매칭을 위해 트랜스를 제작 한다면 비교적 낮은 주파수에 대해 충분한 인덕턴스를 얻기 위해서 규소강 같은 철심을 코어로 사용해 코일을 무지하게 많이 감아야 됩니다. 그래야 무부하시 큰 인덕턴스 덕분에 손실이 적어집니다. 고주파에서는 높은 주파수 덕분에 코일을 조금만 감아도 해당 주파수에 대해 충분한 임피던스를 가지기 때문에 소형으로 트랜스를 만들 수 있습니다. 고주파 트랜스용 코어의 재료는 페라이트를 사용한다는 것은 모두 잘 아실 겁니다. 스위칭 파워에도 페라이트코어가 들어있고, EMI 방지용 필터에도 들어있고, 리니어 앰프의 출력 트랜스도 페라이트, HF용 로패스 필터 만들 때도 토로이달 코어로 사용되고, 하여간 고주파용으로 두루두루 사용 되는데 그중에 더 높은 주파수의 RF 트랜스를 만들기 위해서는 투자율이 낮은 니켈아연 성분의 페라이트를 사용 합니다. 스위칭 파워 서플라이에 들어있는 페라이트는 거의 망간아연 성분이라고 보면 됩니다. 투자율이 높아서 비교적 낮은 수백kHz 대역에서 인덕턴스를 크게 만들 수 있습니다. 그래서 스위칭 파워용 토로이달 코어는 RF용 트랜스 재료로 사용할 수 없습니다. 주변에서 흔히 볼 수 있는 페라이트코어를 한번 활용해 보려니 눈으로 봐서는 이것이 니켈아연 성분인지, 망간아연 성분인지 알 수가 없습니다. 그래서 정체 불명의 코어는 코일을 감아 주파수별로 테스트 해보기 전에는 사용할 수가 없습니다. (사실은 표면에 광택이나고 오래두면 붉은 녹이 나는 것이 니켈아연입니다.) 고주파 트랜스 만들어 보고 싶은 데, 안테나용 벨런 만들어보고 싶은데, 리니어용 콤파이너 만들어야 되는데 도대체 어디가면 적절한 코어를 구할 수 있을까? 코어 종류가 너무 많아서 고민을 하게 됩니다. 그렇다면 고민을 해결해 드리겠습니다. 아래링크에서 적당한 크기의 코어를 구입하시면 됩니다.

<http://www.devicemart.co.kr/mart7/mall.php?cat=081001000>

EMI용 NiZn 코어는 대량생산을 통해 가격이 아주 저렴합니다. 또한 고주파 특성도 좋아서 RF 트랜스나 벨런 만들 때는 아주 좋은 재료가 됩니다. 디바이스마트에서 판매하는 EMI 코어를 몇 종류 구입해서 테스트 해보니 0.5MHz ~ 60MHz 까지 동작 시키는데 전혀 문제가 없습니다.

제프 안테나에 페라이트코어를 사용할 것은 아니기 때문에 이쯤하기로 하고, 트랜스를 사용하지 않는 전압 변환 방법에 대해 알아보겠습니다.

원리적으로 보면 코일과 콘덴서는 리액턴스 소자로서 자체적으로 전력소비를 하지 않습니다. 하지만 전원 트랜스에 부하저항을 연결하지 않았는데 뜨끈뜨끈 열이 나기도 하고 콘덴서에 열이나서 압력이 발생해 터지기도 합니다. 그러고 보면 코일이나 콘덴서도 자체적으로 전력 소비를 하기 때문에 이런 부작용이 생긴다고 봐야겠지요. 그러면 코일이 얼마나 코일다운지, 콘덴서가 얼마나 콘덴서다운지를 따져보는 것이 바로 Q입니다. Q는 Quality의 이니셜로 말 그대로 품질을 나타냅니다. 이 부품의 큐가 얼마나? 이 필터의 큐가 어떻게 되냐? 안테나의 큐가 어떻게

니다. 라고 말하기도 합니다. $Q = \frac{Z}{R}$ 로 표시 할 수 있는데 임피던스를 직류저항으로 나눈 값입니다. 코일이 이상적인 상태가 되려면 인덕턴스만 존재하고 코일의 내부저항은 제로가 되면 좋겠지요. 그래서 코일의 품질은 $Q = \frac{XL}{R}$, $Q = \frac{2\pi FL}{R}$ 로 표시합니다. 어려운 내용 같지만 별것 아닙니다. 코일의 리액턴스를 코일의 내부 저항으로 나눈 것이 코일의 Q입니다. 코일은 고유저항을 갖는 도체 이므로 가늘고 길어지면 직류저항이 커지고 굵고 짧아지면 직류저항이 낮아지겠지요. 그렇다고 코일을 굵고 짧게만 감으면 리액턴스가 낮아져서 결국 Q는 좋지 않습니다. Q를 높이려면 굵고 저항이 낮은 전선을 많이 감는수 밖에 없는데 조금만 감아도 리액턴스가 커지게 한다면 일석이조가 되겠습니다. 이때 사용하는 것이 바로 코어 입니다. 코어는 종류에 따라서 코일에 삽입했을 때 리액턴스가 커지는 경우도 있고 작아지는 경우도 있습니다.

콘덴서도 마찬가지로 품질을 따져 볼 수 있습니다. 콘덴서는 교류만 통과 시키고 직류는 통과 시키지 않기 때문에 어떻게 리액턴스를 내부 저항으로 나눌 수가 없군요. 하지만 콘덴서도 직류를 아주 조금 흘리기도 합니다. 바로 누설전류에 해당하는데 이 누설 전류를 결코 좋게 볼 수 없습니다. 코일과 달리 콘덴서는 직류저항이 무한대에 가깝게 클수록 좋겠지요. 그렇다면 콘덴서는 코일과 반대의 성질을 가지므로 $\frac{1}{Q}$ 해주면 같은 원리로 콘덴서도 품질을 표시할 수 있습니다. 콘덴서의 품질은 $\frac{1}{Q} = D$ 라고 표시 하는데 D는 Q의 역수이므로 얼마나 직류저항이 큰 것인가 따져보는 것입니다. 앞서 살펴봤던 트랜스를 사용한 전압 변환 방법은 리액턴스 소자인 코일의 유도현상을 이용해 권선비에 따라 전압이 변하는 것이었는데, 굳이 트랜스를 사용하지 않고도 리액턴스 소자를 적절히 배치해서 전압을 바꿀 수 있습니다. 전압을 바꾼다는 의미는 임피던스를 변환시키는 것과 같다고 지금까지 배웠습니다. 우리가 이미 알고 있는 안테나 튜너가 바로 임피던스 변환기 겸 리액턴스 조정기입니다. 안테나의 길이가 해당 주파수의 공진 점에 맞지 않아 용량성이나 유도성의 리액턴스 성분이 존재하고, 급전점 임피던스가 50옴이 아닐 때 안테나 튜너를 이용해 리액턴스 성분을 줄여 무효전력을 최소화 시키고 임피던스를 맞춰 최대 전력전달 상태가 되도록 하는 것입니다.

안테나 튜너의 구조는 흔히 π 형, T형, LPF형, HPF형 등등 여러 가지가 있습니다.

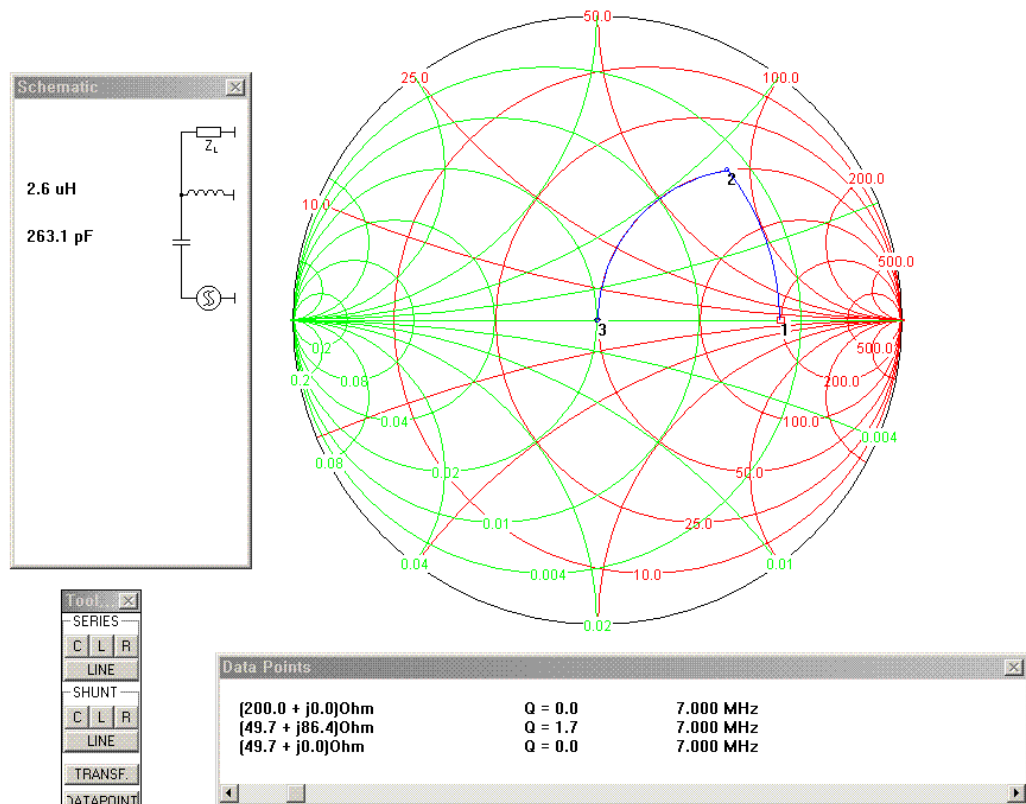
우리는 최대전력전달 조건과 임피던스비와 전압비의 관계를 알고 있기 때문에 지금부터는 편리한 도구를 사용해서 필요한 값을 얻어내면 됩니다.

쉬운 문제를 하나 내보겠습니다. 주파수 7.000MHz 에서 신호원(동축케이블)의 임피던스가 50옴이고, 부하저항(안테나)이 200옴일 때 임피던스 매칭을 해야 됩니다. 어떻게 해야 될까요? 정답은 임피던스비 1:4 또는 전압비 1:2의 고주파 트랜스를 동축 케이블과 안테나 사이에 삽입하면 됩니다. 다른 방법은 없을까요? 코일과 콘덴서를 사용하는 방법이 있습니다.

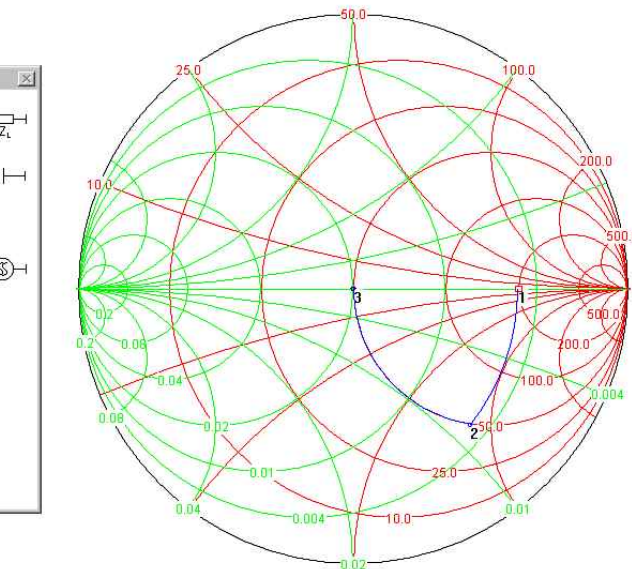
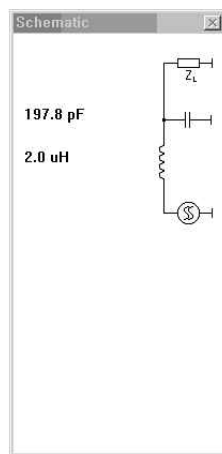
코일과 콘덴서를 사용하게 되면 결선 구조가 LPF 또는 HPF 또는 BPF 형태가 되기 때문에 해당 주파수에 공진이 되어 해당 주파수 부분만 전달이 용이하고 이외의 대역은 저절로 필터링 되는 장점이 있습니다. 이런 장점과 반대로 광대역 매칭이 안되는 문제가 있군요, 광대역 매칭이 필요할 때는 RF 트랜스를 사용합니다. 코일과 콘덴서로 임피던스를 변환 시킬 수 있다고 자신 있게 말은 했는데.... 어떻게 변환시키나요? 뭐, 간단합니다. 복소수 계산 좀 하고, 필요하면 미분도 좀 하고 그러면 쉽게 계산 할 수 있습니다. 사실은 저도 계산하는 걸 무지하게 싫어하고, 어려운 이론을 잘 모르기 때문에 편리한 도구를 이용합니다. 그래서 임피던스 변환에 유용한 '스미스차트' 다루는 법을 배워 보겠습니다. 스미스 차트를 처음 접하는 분도 있을 것이고 학교 다닐 때 한번쯤 배워본 분들도 있을 것입니다. 스미스 트 배울 때 열심히 그림 그리고 계산하고 시험치고 했는데 이놈의 스미스 차트가 어렵기는 한도 끝도 없고 배우고 나서도 뭘 배웠는지? 왜 이런 걸 배워야 하는지? 모르고 긴 세월이 지나가 버렸습니다. 시간이 한참 지난 후에 다시 스미스 차트를 보면 어이쿠야~ 하고 머리에 쥐가 나실 겁니다. 스미스 차트는 편리한 도구일 뿐입니다. 사용법을 5분만 배우면 평생 유용하게 써먹을 수 있습니다. 내가 무엇을 하고자 하는지만 분명하다면 스미스 차트는 아주 쉽고 편리한 도구로 변신합니다. 우리는 해당 주파수에서 임피던스를 변환 시키는 것이 목적이므로 이 내용을 스미스 차트에 한번 집어넣어 보겠습니다.

1) ** 다시 한번 강조 하지만 임피던스 변환은 곧 전압 비 변환입니다. **

송신기의 50옴 임피던스를 안테나 200옴에 매칭시키는 방법을 먼저 해봅시다.



결과는 263pF의 콘덴서와 2.6uH의 코일로 HPF 형태로 만들어 졌습니다. LPF형태로 만들 수도 있습니다.



Data Points		
[200.0 + j0.0]Ohm	Q = 0.0	7.000 MHz
[49.7 - j86.4]Ohm	Q = 1.7	7.000 MHz
[49.7 + j0.0]Ohm	Q = 0.0	7.000 MHz

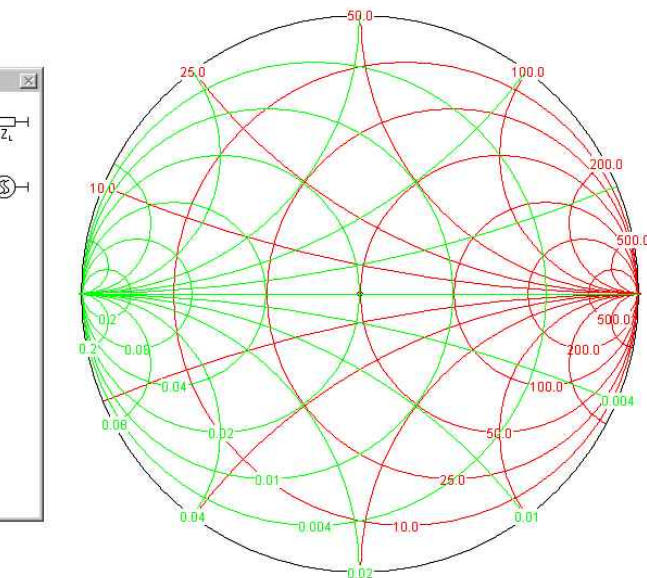
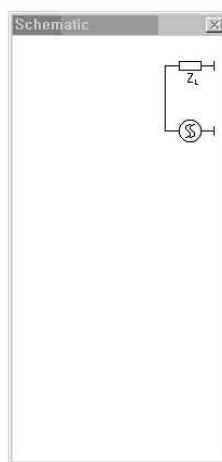
LPF 형태로 만드니
2uH의 코일과
197.8pF의 콘덴서가
필요하네요.

이렇게 임피던스 매칭
회로 구하는데 1분도
안걸립니다.

그러면 어떻게 스미스
차트를 다루는지 차근
차근 배워 봅시다. 먼
저 스미스차트 프로그
램입니다.

2편에 이어 스미스차
트 사용하는 방법을 알
아보겠습니다.

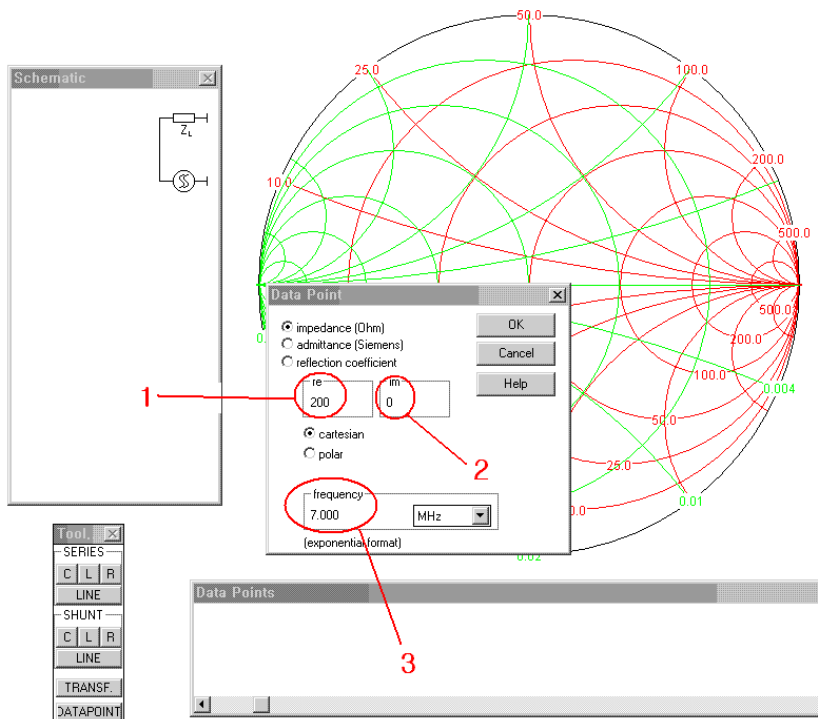
김유홍님께서 스미스차트에 대해 자세히 설명해 놓은 자료를 소개해 주셔서 한
결 가벼운 마음으로... 먼저 스미스차트 프로그램을 다운로드 받아서 압축을
풀고 smith.exe를 실행시킵니다. 그러면 요런 화면이 나옵니다.



Data Points		
[200.0 + j0.0]Ohm	Q = 0.0	7.000 MHz
[49.7 - j86.4]Ohm	Q = 1.7	7.000 MHz
[49.7 + j0.0]Ohm	Q = 0.0	7.000 MHz

화면에서 붉은 동그
라미가 쳐진 '1'을
누릅니다.

그러면 Input
Device 라는 팝업창
이 나오는데 거기서
Keyboard를 누르면
Data Piont 팝업창
이 나타나는데 거기
에 매칭 시킬 값을
넣습니다.



Data Point 창

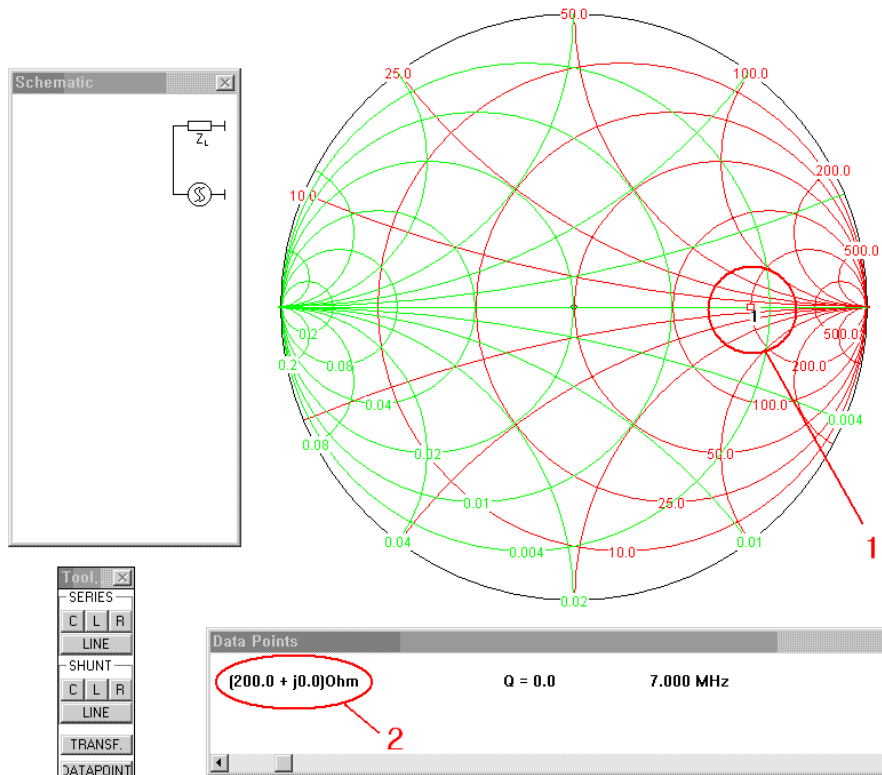
1번은 매칭 시키려는 저항값 200옴을 넣습니다.

2번은 리액턴스값인데 0을 넣습니다.

3번은 동작 주파수 7.000MHz를 넣습니다.

임피던스 입력시 리액턴스 값을 알고 있다면 im 항목에 값을 넣으면 됩니다.

지금은 7.000MHz에 '공진'된 안테나의 급전점 임피던스가 200옴이라고 가정했기 때문에 리액턴스는 제로가 됩니다. '공진'이란 의미는 해당 주파수에서 리액턴스 제로와 같은 의미 입니다. 그리고 ok를 누르면 스미스 차트에 200옴을 표시하는 점이 찍힙니다.



1번 동그라미 속에 '1'이라는 점이 찍혀있고,

2번 동그라미 속에 그 점의 임피던스가 나타납니다.

$Z = 200 + j0$ 으로 표시되어 리액턴스 성분이 없는 200옴 저항값을 나타냅니다.

데이터 입력으로 스미스 차트에 찍힌 점을 차트내 적색선이나 녹색선과 평행한 방향으로

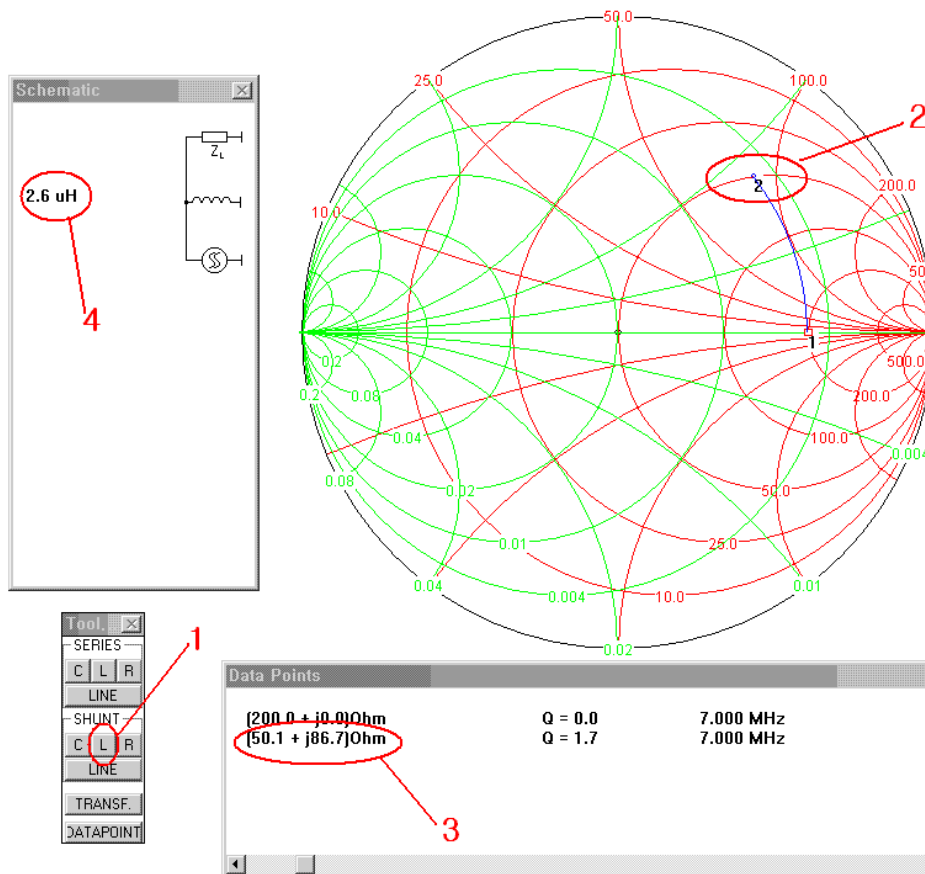
이동시켜 최종적으로 차트의 정 가운데로 가져다 놓는 것이 우리가 할일입니다. 어려워 보이지만 몇 번 해보면 금방 익숙해집니다. 점의 이동 궤적을 보기위해서

는 코일이나 콘덴서를 선택하면 되는데 코일과 콘덴서를 회로 내에 연결하는 방법은 두 가지가 있습니다. 병렬연결과 직렬연결인데 병렬연결은 SHUNT 라고 하고 직렬연결은 SERIES라고 합니다.

일단 SERIES 와 SHUNT에 있는 C, L, R을 맘대로 한번 눌러 봅니다. 그러면 차트에 궤적이 그려지면서 마우스 커서로 이동시킬 수 있습니다. 선택을 취소하려면 마우스 오른쪽 버튼을 누릅니다. 여러 차례 눌러보다보면 간단한 규칙이 있다는 것을 알 수 있습니다.

SERIES에 있는 C 나 L을 누르면 이동궤적이 차트의 적색 동그라미를 따라다니고, SHUNT에 있는 C 나 L을 누르면 이동 궤적이 차트의 녹색 동그라미와 평행하게 움직입니다.

그리고 SERIES나 SHUNT 구분 없이 L을 선택할 때는 해당 점에서 화면 윗쪽으로 움직이고, C를 선택하면 해당 점에서 화면 아래쪽으로 움직입니다. R을 선택하면 X축에 달라붙어 움직이는데 마찬가지로 SHUNT R의 경우 녹색 그래프인 어드미턴스 차트쪽으로 움직이고 SERIES R을 선택하면 적색 그래프인 스미스차트 쪽으로 움직입니다. 참.. 적색으로 동그라미가 많이 그려진 그래프가 스미스차트이고, 스미스 차트를 좌우 뒤집어서 녹색으로 붙여놓은 것이 어드미턴스차트입니다. 요정도 규칙만 알면 임피던스 포인트가 어디에 찍혀 있더라도 척 보면 어떻게 움직여서 그래프 정 가운데로 이동시키는지 알 수 있습니다. 그러면, SHUNT L 을 선택해서 적당히 움직여 봅니다.

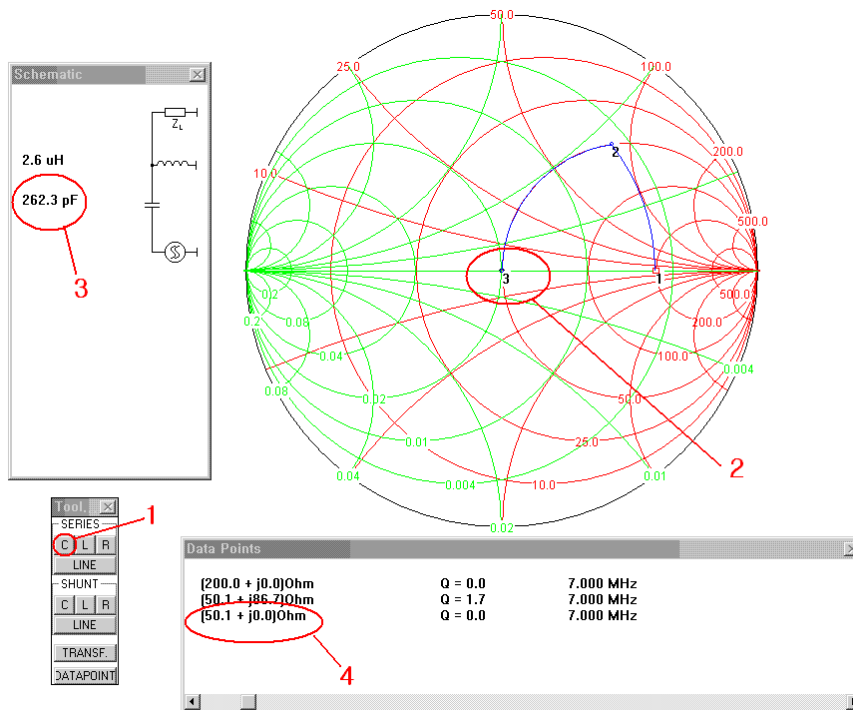


위의 그림을 보면 1번의 SHUNT L을 선택하니 점의 이동궤적이 어드미턴스차트와 평행하게 윗쪽으로 움직이는데 적색의 스미스차트와 만나는 지점 (2)에서 멈춰 봤습니다.

이때 회로 내에 병렬코일(4) 2.6uH가 보입니다.

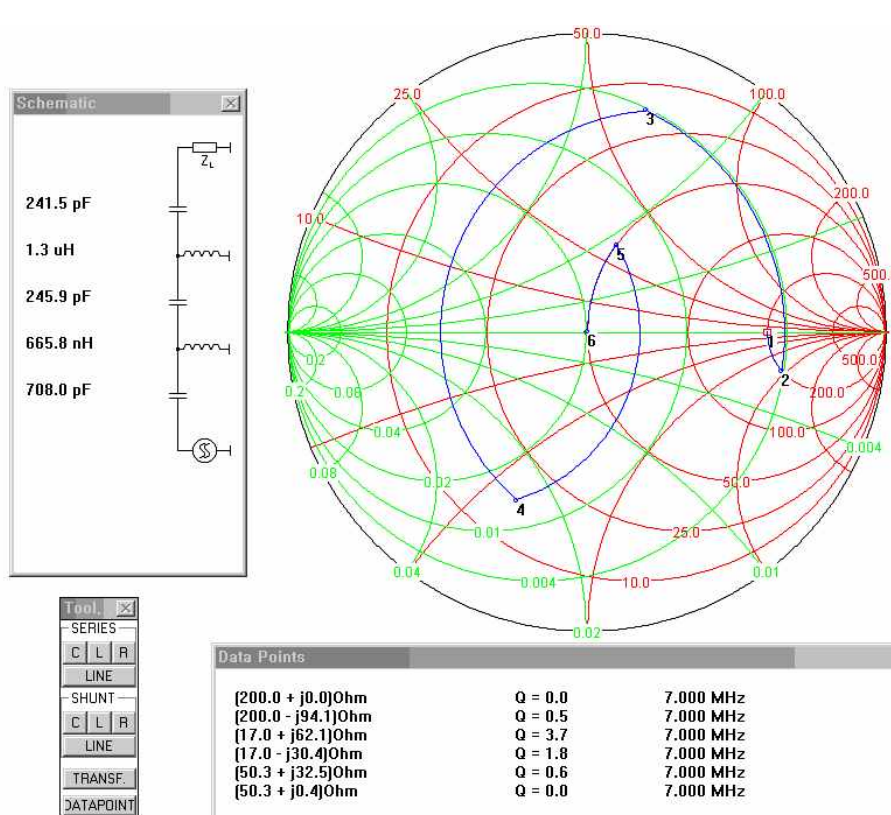
이 점의 임피던스(3)는 $Z = 50.1 + j86.7$ 이 되어 실수 부분은 거의 50옴에 맞

취했는데 허수 부분의 리액턴스가 생겨 버렸으니 코일의 반대 작용을 하는 콘덴서를 달아서 리액턴스 성분을 제거해 줘야 되겠습니다. 다음으로 SERIES C(1)를 눌러 마우스커서를 정중앙(2)으로 옮깁니다.



정중앙으로 옮기고 보니 Schematic에는 262.3 pF 의 직렬 콘덴서(3)가 추가 되고 Data Points의 임피던스는 $50.1 + j0.0$ 으로 리액턴스 성분이 사라지고 최종 임피던스는 50Ω 이 되었습니다.

이 방법 이외에도 수만 가지 방법이 있습니다. 이렇게 한번 해볼까요?

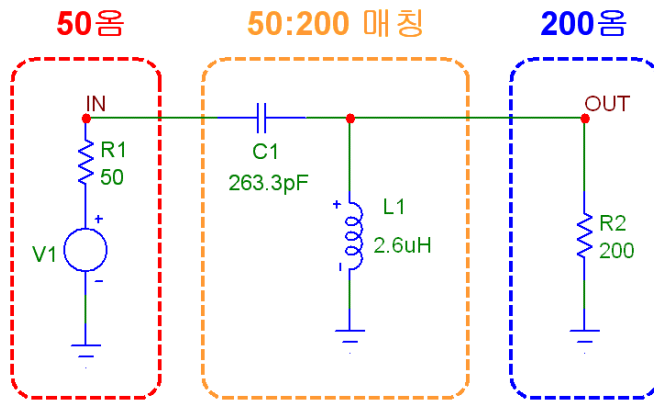


이런 식으로 구질 구질하게 해도 결국 $50\Omega:200\Omega$ 임피던스 매칭이 됩니다.

스미스 차트 다루는 것이 결코 어렵지 않으니 몇 번 해보다 보면 별것 아니군 하실 겁니다.

이제 스미스차트를 이용해서 $50\Omega \rightarrow 200\Omega$ 임피던스 변환시키는 것을 해보니 결과 값으로 직렬콘덴서 263.3 pF 와

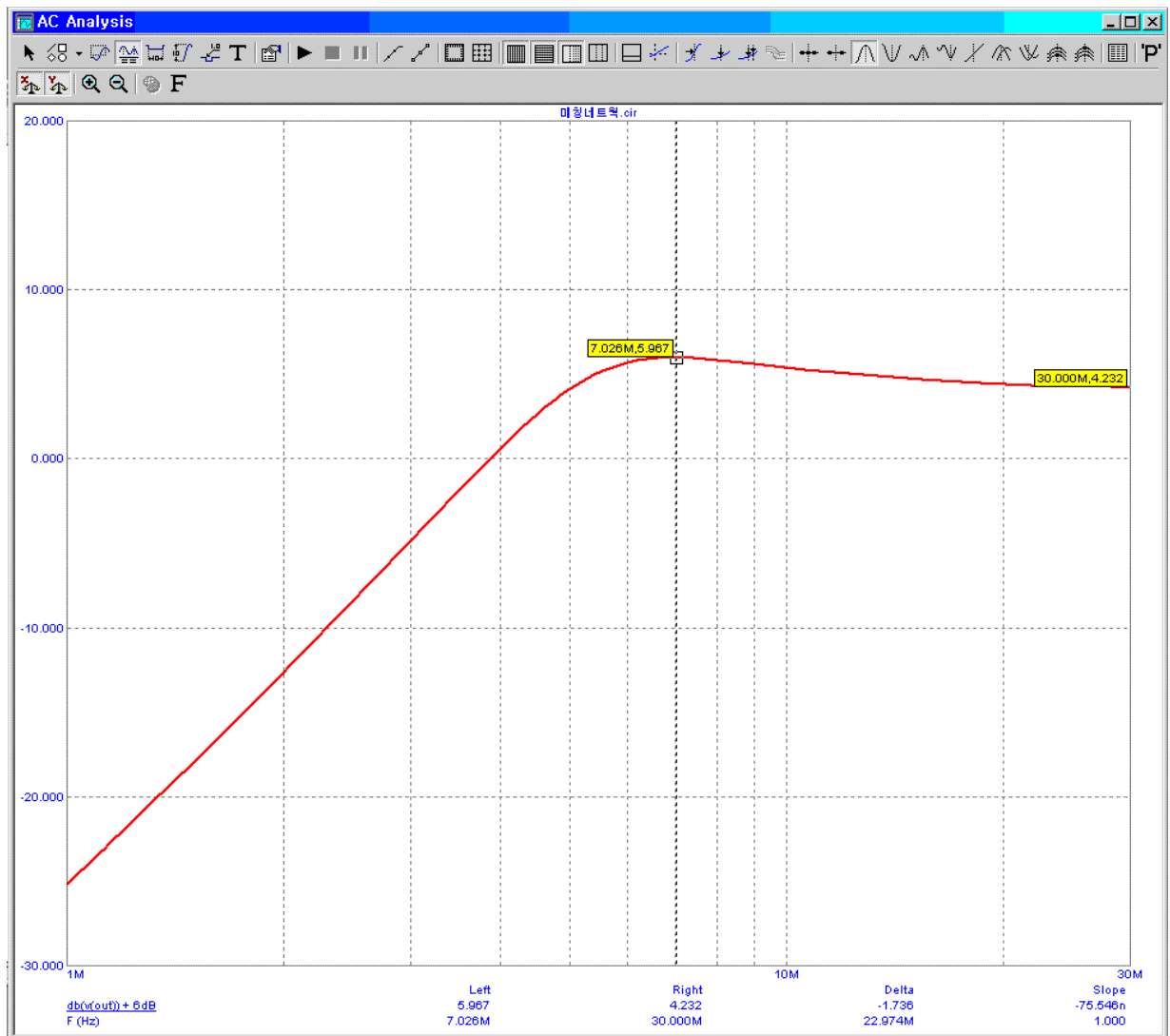
병렬 콘덴서 $2.6 \mu\text{H}$ 가 구해졌습니다. 그러면 과연 임피던스 매칭이 되어 전압이 변동 될까요? 임피던스를 50Ω 에서 200Ω 으로 변환 시켰으니 전압비는 1:2가 되어야 하니 마이크로캡 시뮬레이터를 사용해서 진짜로 전압이 두 배로 올라가는지



확인해 보겠습니다.

50옴 출력 임피던스를 가지는 신호원과 200옴 부하저항 사이에 위에서 구한 매칭 네트워크를 넣었습니다.

그럼 결과를 한번 볼까요?



시뮬레이션결과 7.026MHz에서 전압 이득이 5.967dB로 나타나고, 매칭 네트워크는 HPF 구조를 가지기 때문에 나타난 그래프 또한 HPF 형상을 보여줍니다.

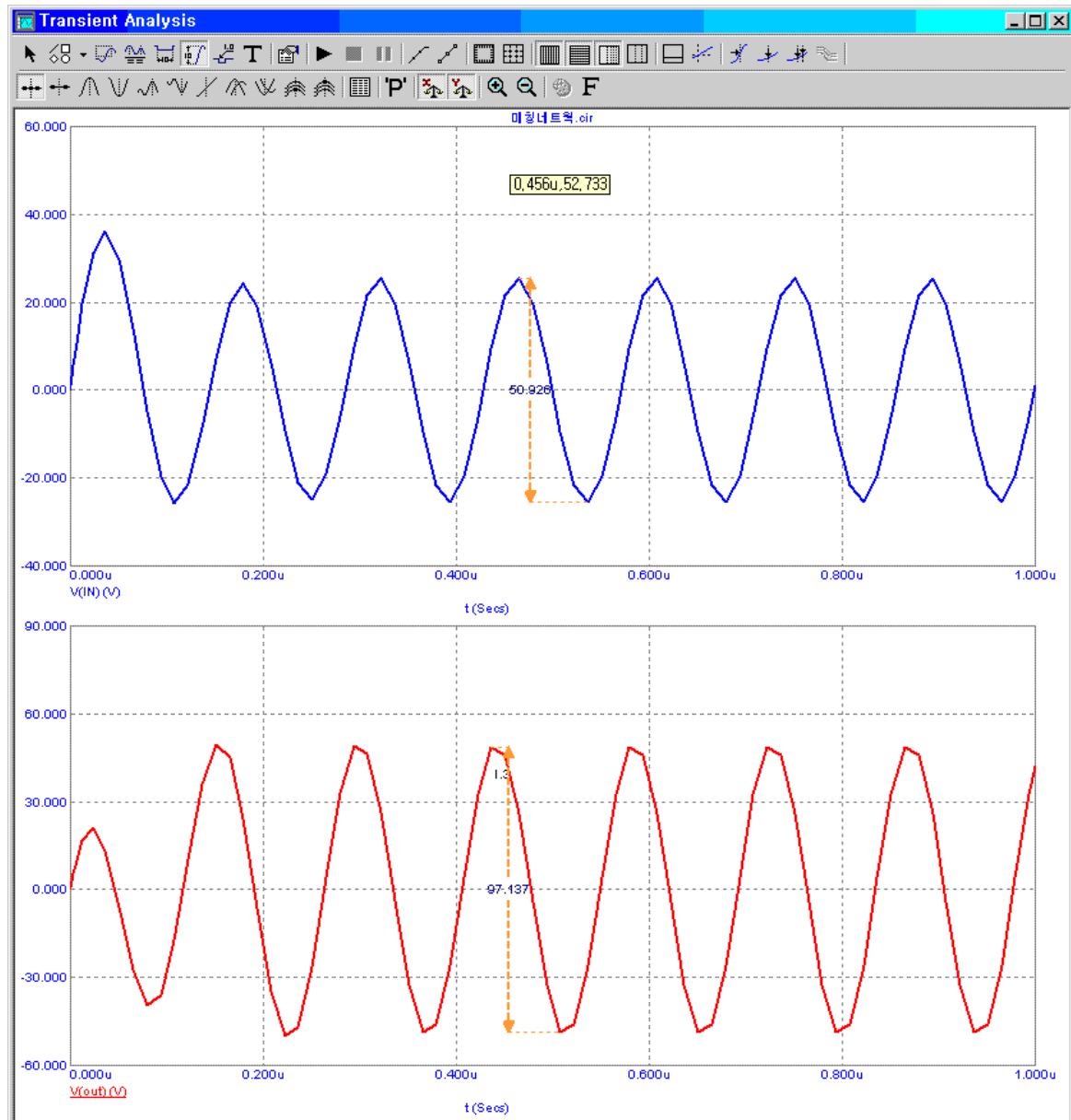
전압이득을 dB 단위로 표시하는 방법은 이렇게 됩니다. $20\text{Log}(\frac{V_o}{V_i})$, V_o 과 V_i 의 전압비를 나타내는 것인데 시뮬레이션에서 매칭 네트워크를 들어가는 입력 전압 $V_i = 50\text{Vp-p}$ 였고, 출력 전압 $V_o = 100\text{Vp-p}$ 이므로 $20\text{Log}(100/50) = 6\text{dB}$ 로 계산되어 2배의 전압은 6dB입니다. 그러면 4배의 전압은? 2배의 2배 이므로 $6\text{dB} + 6\text{dB}$ 가

되어 12dB가 됩니다. 여기서 다루는 것은 전압비 일때이고, 전력비는 $10\text{Log}(\frac{W_o}{W_i})$ 뭐 이런식으로 됩니다. 왜 전압비는 20Log이고 전력비는 10Log로 계산하느냐? 너무 불공평한 것 아니냐 하고 물으실지 몰라도 전력과 전압은 제곱의 관계가 있어서 그렇게 된 것입니다. 전력을 구하는 옴의법칙 $W = \frac{V^2}{R}$ 식을 보면 전력은 전압의 제곱에 비례하기 때문에 전압비에서는 20Log를 사용하고 전력비는 10Log를 사용하게 됩니다.

그래서 2배의 전력은 $10\text{Log}(2) = 3\text{dB}$ 가 되고, 4배의 전력은 6dB가 됩니다. 전압이 두 배 올라가서 전압이득이 6dB가 되었다면 마찬가지로 전력 이득도 동일하게 6dB이므로 전압이 두 배가 되면 전력은 4배가 됩니다. $W = \frac{V^2}{R}$ 공식이 성립됩니다.

무전기의 S메타는 1 ~ 9까지 있습니다. 9를 넘으면 + 10dB 이런 식으로 나가는데 S메타의 눈금 한 칸은 6dB를 나타냅니다. 그리하여 내가 100W 출력을 쏘고 있는데 상대방의 S메타가 7이었다면 이 눈금을 8로 올리기 위해서는 송신 출력을 100W에서 6dB인 전력비 4배, 400W를 쏘줘야 됩니다. 무전기의 S메타 한 칸 올리기가 쉽지가 않군요. 그래서 현재의 아마추어무선 급수에 따른 출력 50W, 200W, 1000W는 대략 S메타 한 칸의 전력 차이입니다. 만약 3급을 100W로 올린다면 형평성을 위해서 2급은 400W, 1급은 1600W로 올려야 고작 S메타 한칸 올릴 수 있는 공평한 전력 분배가 됩니다. 3급을 100W로 올리고 2급은 그냥 200W로 둔다면 두 급수의 출력 차이는 S메타 '반칸' 차이가 되어 아주 미미한 차이라고 볼 수 있습니다. 이런 이유로 리니어 앰프를 사용하려면 기본출력의 4배(6dB, S메타 한칸)는 올려줘야 DX에 효과가 있습니다. 100W 교신에서 400W 정도는 올려야 아~ 조금 효과 있구나 하는 정도로 보시면 됩니다. 그래서 대부분 리니어 앰프들은 500W급 이상을 사용합니다. 급수별로 출력제한을 한다고 철저히 지키는 정직한 사람들을 아쉽게도 별로 보지 못했습니다. 차라리 급수에 따른 출력 제한은 없애고 대부분의 기성품 무전기들의 최대 출력이 100W이니 준공검사가 필요없는 기성품은 최대 출력 까지 허가를 내주고 필요에 따라 500W, 1000W의 고출력은 준공검사를 통해서 운용능력과 안전성을 확인하고 허가를 해준다면 좋겠다는 생각입니다. 각설하고 이번에는 시뮬레이터를 사용해 입출력 전압을 7.000MHz에서 오실로스코프처럼 살펴보겠습니다. 시뮬레이션의 신호원은 단자전압 100Vp-p에 출력 임피던스 50옴 이므로 매칭 네트워크 입력(IN)에서는 50Vp-p가 되고, 매칭 네트워크 출력(OUT)에서는 100Vp-p가 되면 최대 전력 전달을 만족합니다.

결과에서 보면 신호원측에서 보면 50.926Vp-p, 부하측에서 보면 97.137p-p가 되어 대략 1:2의 전압비로 나타서 LC를 사용한 매칭이 성공적이었다고 볼 수 있습니다. 여기까지 잘 이해 하셨다면 다음부터 나오는 내용은 그냥 술술 이해가 됩니다. 그러다보면 이거 뭐야~ 제프 안테나가 이런거였어~ 하! 하! 하! 하실 겁니다.



다. 안테나의 급전점 임피던스.

안테나 급전점의 임피던스는 여러분 모두 너무 잘 알고계십니다. 반파장 다이폴의 급전점 임피던스는? 73옴 입니다. 교신 끝나고 맨 마지막에 외치는 소리가 73. 입니다. 내 목소리가 무전기에서 고주파 전류로 바뀐 다음 동축 케이블을 타고 안테나 까지 도달한 후 안테나에서 고주파 전류는 전파로 변환 됩니다. 전파로 변환된 내 목소리는 멀리멀리 떠나 버리지요. 그래서 마지막 인사를 동축케이블과 반파장 다이폴안테나가 연결된 끝지점의 임피던스인 73을 끝인사로 정하게 된 스토리 입니다.

사실 50옴 동축 케이블에 73옴의 반파장 다이폴은 엄연히 임피던스가 다르므로 미스매칭 상태로 봐야됩니다. 하지만 이정도 미스매칭은 별다른 문제가 생기지 않기 때문에 대부분 그냥 사용합니다. 그렇다면 73옴의 반파장 다이폴을 정확히 50옴으로 만들려면 어떻게 해야 하느냐? 앞서 배운 스미스 차트를 이용해 LC 네트워크

로 매칭 시키거나 고주파 트랜스를 넣어주면 됩니다. 그럼 뭔가 삽입하는 방법 외에 또 어떤 방법이 있을까요?

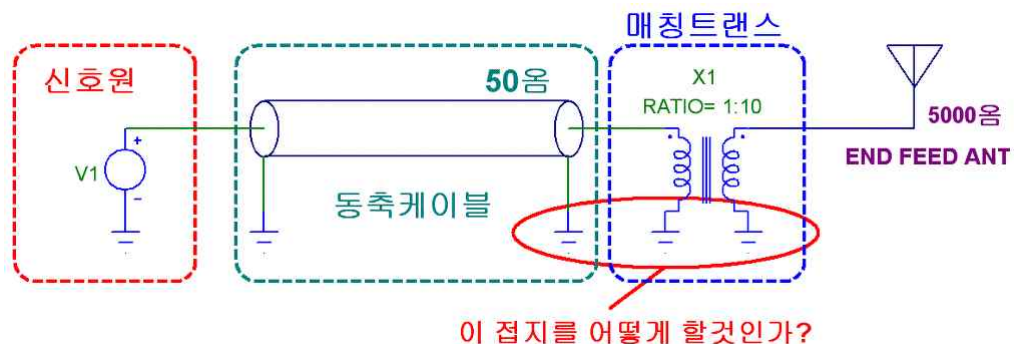
바로 안테나를 살짝 접어주면 됩니다. 반파장 다이폴 안테나는 급전점이 안테나의 정 중앙에 있고 일자 모양으로 쭉 뻗어 있는데, 이것을 약 120도 정도로 접으면 급전점의 임피던스가 50옴이 됩니다. 그러면 반파장 다이폴 안테나를 90도로 접으면? 임피던스가 더 내려가서 40옴 미만이 됩니다. 반파장 다이폴 안테나를 90도로 접은 다음 한쪽 엘리먼트를 접지 시키면 바로 1/4파장 수직 접지 안테나가 되는데 이때도 마찬가지로 90도 접은 다이폴과 특성이 같기 때문에 급전점 임피던스는 약 30 ~ 40옴 정도 됩니다. 이번에는 일자로 펼쳐진 반파장 다이폴의 급전점을 옮겨 봅시다. 누구나 알고 있듯이 반파장 다이폴 안테나의 급전점은 정중앙에 위치하고, 급전점 임피던스는 73옴으로 알고 있습니다. 정중앙에 위치한 급전점의 위치를 살짝 한쪽 끝으로 옮겨가면 어떻게 될까요? 반파장 다이폴 안테나는 해당 주파수 파장의 반 길이로 이미 '공진'상태에 있기 때문에 리액턴스는 제로인 상태입니다. 이때 급전점을 옮기더라도 안테나의 길이가 변한 것은 아니기 때문에 리액턴스의 변화는 없다고 봐도 됩니다. 단지 급전점 임피던스가 변하게 되는데 중심에서 끝부분으로 가면 점점 임피던스가 높아집니다. 극단적으로 반파장 다이폴 안테나의 끝부분에 급전점을 가져다 놓으면 급전점 임피던스가 무려 2000 ~ 5000옴 정도 됩니다. 하지만 임피던스 매칭을 배운 우리는 전혀 걱정 할 것이 없습니다.

라. END FEED 안테나의 임피던스 매칭.

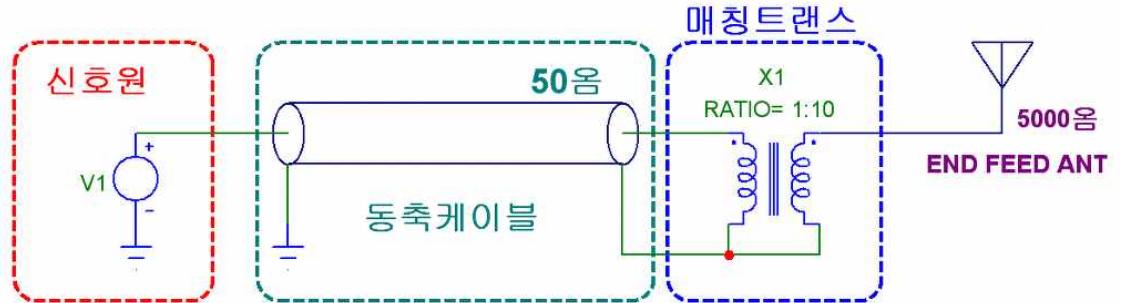
위에서 살펴본 반파장 다이폴 안테나의 극단적인 급전점 이동이 바로 END FEED 안테나입니다. 영어로 END FEED라고 하니까 아주 그럴듯한데 알고 보니 시시한 것입니다. 어쨌거나 END FEED 안테나의 급전점 임피던스가 무지하게 높으니 임피던스 매칭을 시켜줘야겠습니다.

임피던스 매칭은 50:5000으로 정해놓고 하겠습니다. 제일 간편하게 매칭 시키는 방법은? 바로 매칭 트랜스를 사용하는 방법입니다. 이야기가 이쯤 되면 이미 제프 안테나에 대해 거의 모든 것을 눈치 채셨을 겁니다. 그래도 계속한번 해보겠습니다. 매칭트랜스를 사용한 임피던스비 50:5000의 경우 먼저 전압비를 구해야겠지요. 임피던스비의 제곱근은 전압비 이므로 결국 전압비는 1:10입니다. 그러면 트랜스의 권선비도 1:10입니다.

니켈아연으로 된 토로이달 코어에 코일을 1차 측 3번, 2차측 30번 감으면 매칭 트랜스 제작완료!!! 다 만들었으니 결선해 봅시다.

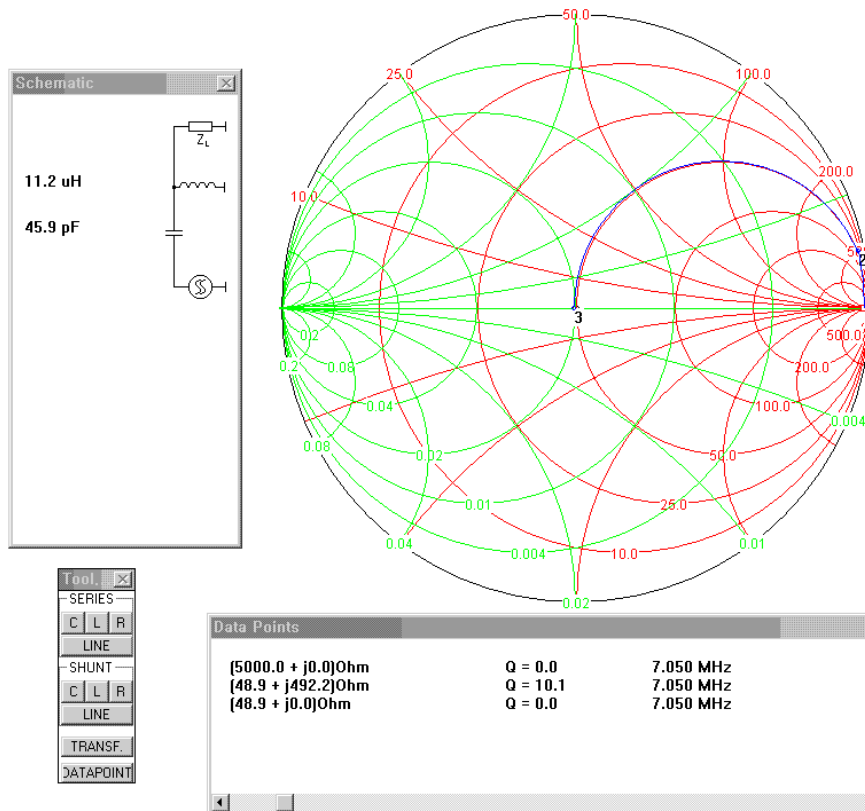


만들어 놓고 보니 그럴싸 하긴 한데 뭔가 좀 이상합니다. END FEET 안테나의 매칭 트랜스는 반드시 접지 시켜줘야 하는 문제가 생기게 됩니다. 이러면 접지안테나와 다르게 없어지네요. 그래서 편법이긴 하지만 매칭 트랜스의 접지를 동축케이블 외피쪽으로 연결시켜 줍니다. 이런 식이 됩니다.



이런 편법은 사실 바람직하지 않지만 END FEET 안테나의 급전점 임피던스가 무지하게 높기 때문에 동작에 문제는 없습니다. 그리고 동축 케이블을 접지로 삼았기 때문에 동축케이블 길이를 최소한 1/20파장 이상의 길이로 해야 됩니다. 7MHz에서 1/20 파장은 $40/20 = 2\text{m}$ 이므로 동축케이블의 길이 문제는 별 걱정이 없겠습니다. 넉넉히 10미터 정도 하면 됩니다.

마. 제프 안테나 설계하기.



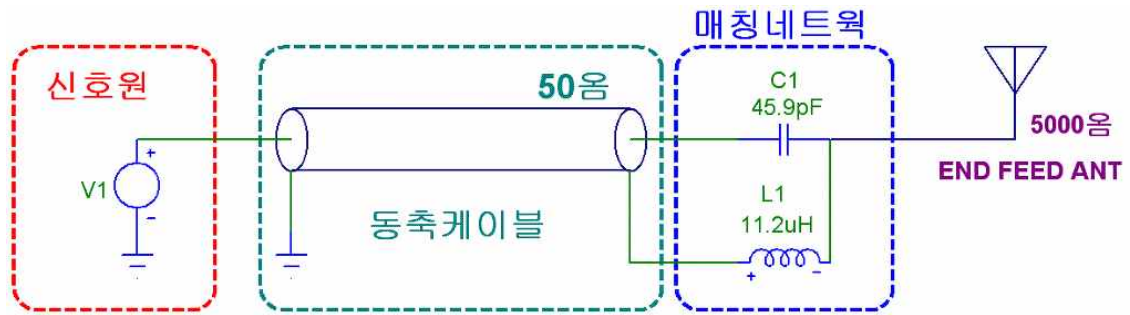
이번에는 매칭트랜스를 사용하지 않고 LC를 사용한 END FEED 안테나를 생각해 보겠습니다. 먼저 임피던스 매칭의 조건부터 설정해야겠지요?

주 파 수는 7.050MHz로 하겠습니다.

임 피 던 스 비 는 50:5000 입니다.

스미스차트를 이용해 매칭 네트워크를 구해보면.

직렬콘덴서 45.9pF 와 병렬 코일 11.2uH를 구했습니다. 이 코일과 콘덴서를 사용해서 임피던스 매칭하면 최종 결과물은 이렇게 됩니다.



최종 결과를 보니 어디서 많이 보던 구조가 되었습니다. END FEED 안테나의 급전점 임피던스 5000옴을 알고 있고, 사용주파수만 결정되면 어떤 주파수의 제프 안테나도 설계 가능합니다. 각 주파수별로 코일과 콘덴서 값을 구해놓고 로타리 스위치를 사용해 인덕터를 가변 시키고, 바리콘과 콘덴서를 적절히 조합해 LC 매칭회로를 만들어 놓으면 이동운용 할때 와이어 안테나 길이 조정과 셀렉터를 가변 시키면 여러 주파수를 쉽게 운용할 수 있습니다. 제프 안테나를 만들 때 주의할 점이 있습니다. 동축케이블의 50옴 임피던스를 5000옴으로 올렸기 때문에 전압비는 1:10 입니다.

그래서 100W급 제프 안테나를 만들기 위해서는 코일과 콘덴서의 정격을 주의해서 선정해야 됩니다. 100W급일 때 사용하는 콘덴서의 내압을 한번 구해봅시다.

무전기출력 100W는 50옴 부하저항에 걸리는 전력 이므로 옴의 법칙을 이용해 부하저항에 걸리는 전압을 구할 수 있습니다. $100 = \frac{V^2}{50}$ 이므로 $V = 70.710V$ 입니다. 이 전압은 실효치 이므로 실제로 콘덴서에 걸리는 내압은 피크치로 환산해야 됩니다. $V_p = 70.710 * 1.414 = 100V$ 가 되는군요.

그러면 매칭 네트워크의 콘덴서 내압은 100V 이상으로 사용하면 될까요? 100V짜리 사용하면 바로 터져 버립니다. 100V의 전압은 50옴 부하상태 일 때 전압이고, 제프 안테나는 50옴 : 5000옴으로 변환했으니 전압비가 1:10 입니다. 그래서 실제로 제프 안테나에 걸리는 전압은 100W 전력 입력 일때 1000Vp의 전압이 걸리게 되어 매칭 네트워크에 사용하는 콘덴서의 내압은 충분한 마진을 생각해 2000V 이상을 사용해야 됩니다. 5W급의 QRP용 제프 안테나라면 쉽게 구할 수 있는 1000V 짜리 세라믹 콘덴서를 사용하면 됩니다.

시중에 나와 있는 7MHz 용 제프 안테나의 LC 네트워크를 살펴보면 13.2uH 코일과 39pF의 콘덴서를 사용한 것을 볼 수 있습니다.

이 매칭네트워크의 값을 거꾸로 계산하면 안테나 급전점의 임피던스를 7000옴으로 설정했다는 것을 알 수 있습니다.

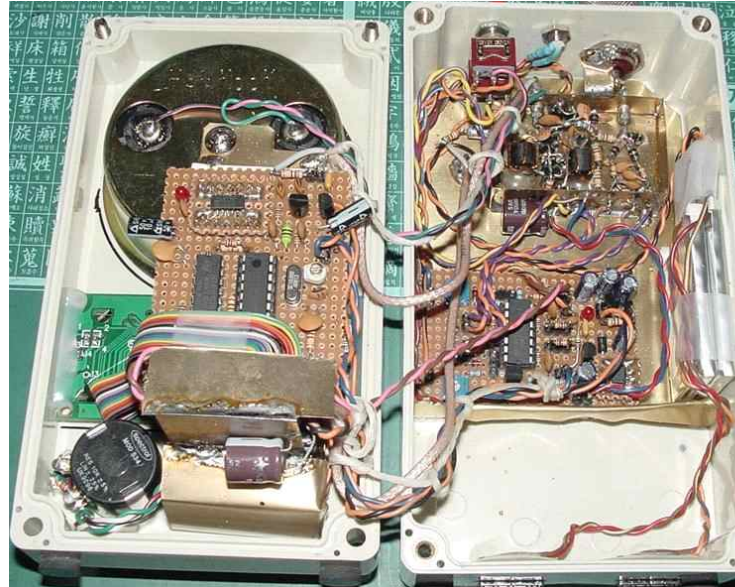
속제를 하나 내겠습니다. 지금까지 배운 스미스차트 사용법을 숙지해서 주파수 7.05MHz, 신호원 50옴, 안테나 7000옴으로 해서 한번 매칭 네트워크를 구해 보시기 바랍니다.

바. 제프 안테나 만들어 테스트.

제작은 시간 날 때 천천히 해보겠습니다만, 이미 사무실에서 사용하고 있는 안

테나가 7MHz 제프안테나 입니다. 벌써 4년전에 만들어서 밖에 달아왔는데 와이어는 0.6mm 에나멜선을 사용하고 지선은 납시줄을 사용해서 웬만해서는 잘 안보이게 만들었습니다. 납시줄과 에나멜선이 4년이 지나도록 아직까지 잘 버텨주고 있습니다. 거의 수신 전용으로 사용하고 있기는 하지만 가끔씩 100W 정도 쏘도 망가지지는 않았습니다. 긴글 읽어주셔서 감사합니다.

V. VSWR 아날라이저



발진부는 황동판으로 썰드 시켰고, SWR 브릿지와 OPAMP부, 주파수 카운터까지 모두 만들어 넣었는데 지금 보니 귀신이 나올 것 같아 보이네요.

이때 VSWR용으로 만들었던 주파수 카운터를 가지고 PCB를 만든 것이 공제했던 FC-200입니다.

VSWR 아날라이저를 만들기 위해서는 여러 가지 골치 아픈 문제가 많이 있습니다. 대표적인 난점이 발진기 출력 신호의 품질 문제이고, 두 번째는 광대역 발진입니다. VSWR 측정의 신호원으로 사용되는 발진기 출력에 고조파가 많이 들어있으면 VSWR이 1:1 까지 떨어지지 않게 됩니다.

예를 들어 7MHz를 발진 시켰는데 14MHz의 제2고조파가 10dBc의 값을 가지고 나타나게 되면 아무리 매칭이 잘된 안테나를 연결해도 14MHz의 고조파 때문에 VSWR 측정값은 1.5이하로 떨어지지 않게 됩니다. 이 문제는 안테나의 문제가 아니고 VSWR 측정기의 문제인데, 물론 안테나 대신 더미로드를 연결하면 VSWR이 1까지 떨어지게 되는데 더미로드는 고조파까지 흡수해 버리기 때문입니다.

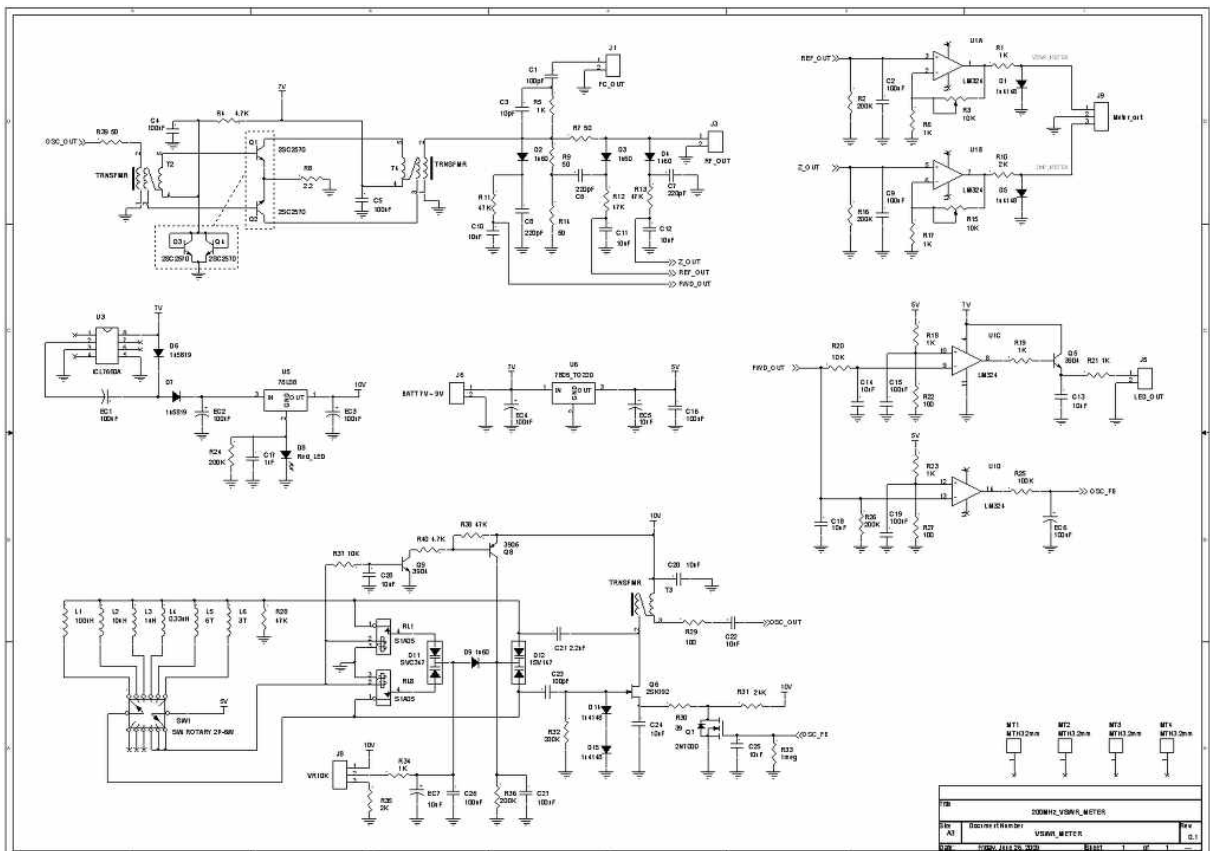
그래서 발진기의 고조파 출력은 최소 20dBc 이상이 되어야 하고 30dBc 이상이 되면 이상적이라 볼 수 있습니다. 보통 무전기들은 주파수 별로 LPF를 두어 고조파를 제거하게 되는데 VSWR 측정기에 사용하는 광대역 발진기는 LPF를 넣기가 곤란합니

다.

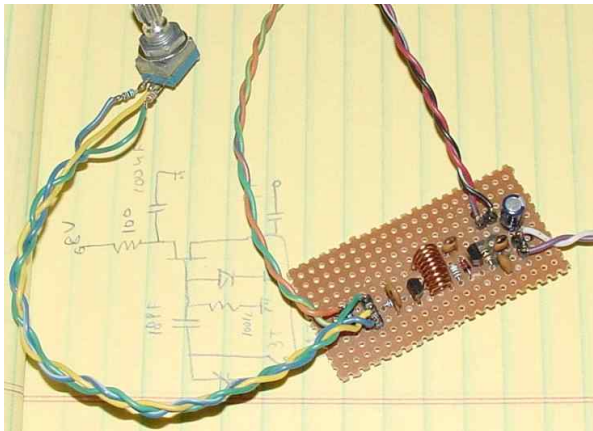
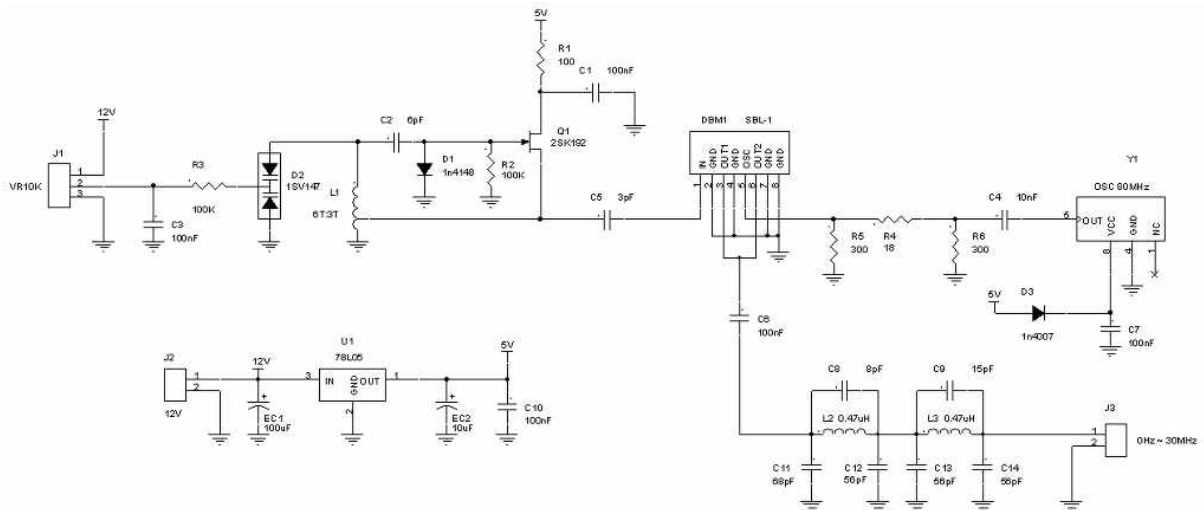
1.5MHz ~ 200MHz + UHF 커버 하려면 수십개의 LPF를 주파수별로 전환시켜야 하는데 그렇게 되면 회로도 복잡해지고 부피도 커지는 문제점이 있습니다. 밴드전환 없이 HF 전대역을 만들어내는 방법 중 믹서를 사용하는 방법이 있습니다. 특정 주파수의 로칼 신호와 VHF 대역의 VFO를 믹싱해 HF 대역의 주파수를 만들어 내는 방법입니다. 믹서는 더블밸런스 믹서인 SBL-1을 사용하기로 하고, 로칼 주파수는 80MHz, VFO 주파수는 80MHz ~ 110MHz를 사용해 0Hz ~ 30MHz의 신호를 만듭니다. 80MHz 로칼 주파수와 VFO 주파수는 충분히 높은 주파수이기 때문에 고조파는 160MHz 이상에서 나타납니다. HF 동작 시킬때는 30MHz LPF를 사용해서 로칼 주파수와 VFO 신호는 잘라 버리기 때문에 어느 정도 고조파에 대해 자유로울 수 있습니다. 거기다 밴드 전환 없이 한번에 HF를 커버할 수 있습니다.

한 가지 단점이라면 VFO의 주파수가 높아서 주파수 안정도가 좀 떨어질 수 있습니다. 믹서 방식이라고 고조파에 대해 장점만 있는 것은 아닙니다. 치명적인 문제점이 있는데 믹싱과정에서 로칼과 VFO의 레벨이 필요이상 커지거나 VFO 발진주파수에 마찬가지로 고조파가 포함되어 있으면 혼변조의 영향으로 출력 주파수가 아주 지저분하게 되어버립니다. 그래서 VFO의 신호출력은 고조파가 적은 정현파에 가까운 고품질이 필요합니다. 지난번 만들었던 회로중 SWR 브릿지 부분과 OPAMP 부분은 테스트가 완료되어 앞으로 적용하기만 하면 되기 때문에 그동안 문제점으로 안고 있던 밴드전환과 발진 불안정, 낮은 주파수에서 고조파 대책 등을 해결하기 위해 발진회로를 대폭 수정하기로 했습니다.

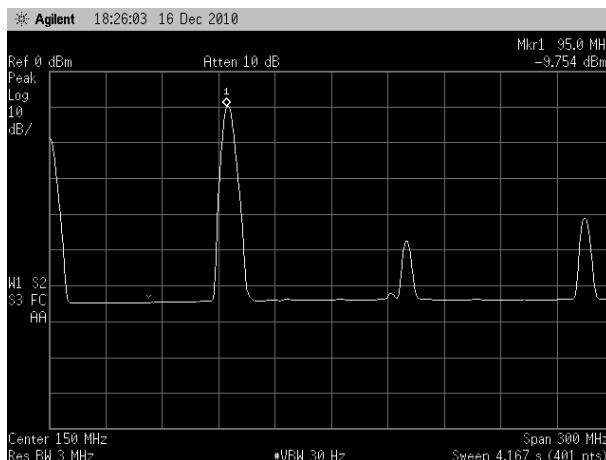
위에 소개한 놈의 회로도 입니다. 주파수 카운터 부분은 빠져 있습니다.



오늘 만들어 테스트 한것은 80MHz ~ 110MHz 까지 출력 되는 정현파 발진기 입니다. 회로도입니다.



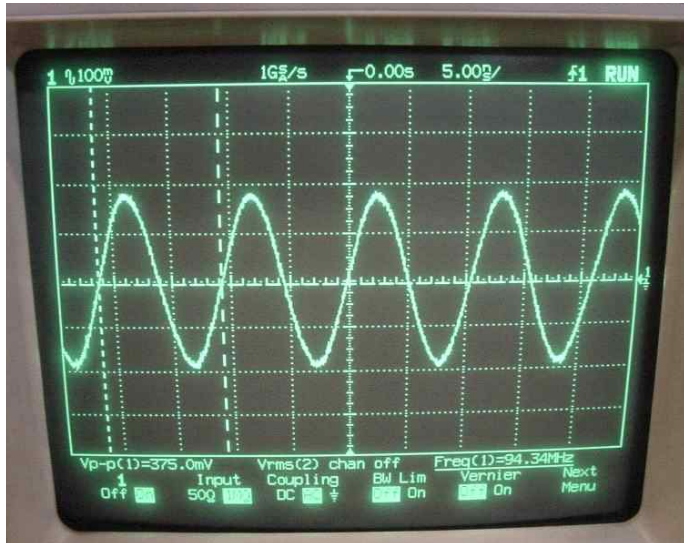
2SK192로 하트레이 발진기를 만들어 장시간의 시정수 조정 끝에 고조파 함유량이 30dBc 이상인 발진기를 만들었습니다. 이런 회로의 문제점이 똑같이 따라 만들어도 배선 구조에 따라 엉뚱한 동작을 하기 때문에 접근하기가 무척 어렵습니다. 만들어진 모양입니다.



스펙트럼 아날라이저로
살펴본 고조파 출력 입니
다.

중심 주파수 95MHz에서
출력 전력은 약 -10dBm
으로 0.1mW 정도 됩니
다.

제2 고조파는 35dBc 이
상이고 3고조파는 30dBc
가 조금 넘습니다.



오실로 스코프로본 발진 파형입니다.

거의 정현파에 가깝게 보입니다. 만들어진 정현파 VFO는 80MHz 로칼 신호와 SBL-1에서 믹싱해 HF 주파수를 출력하고 HF용 LPF를 사용해 로칼과 VFO는 제거하는 구조로 되어있습니다.

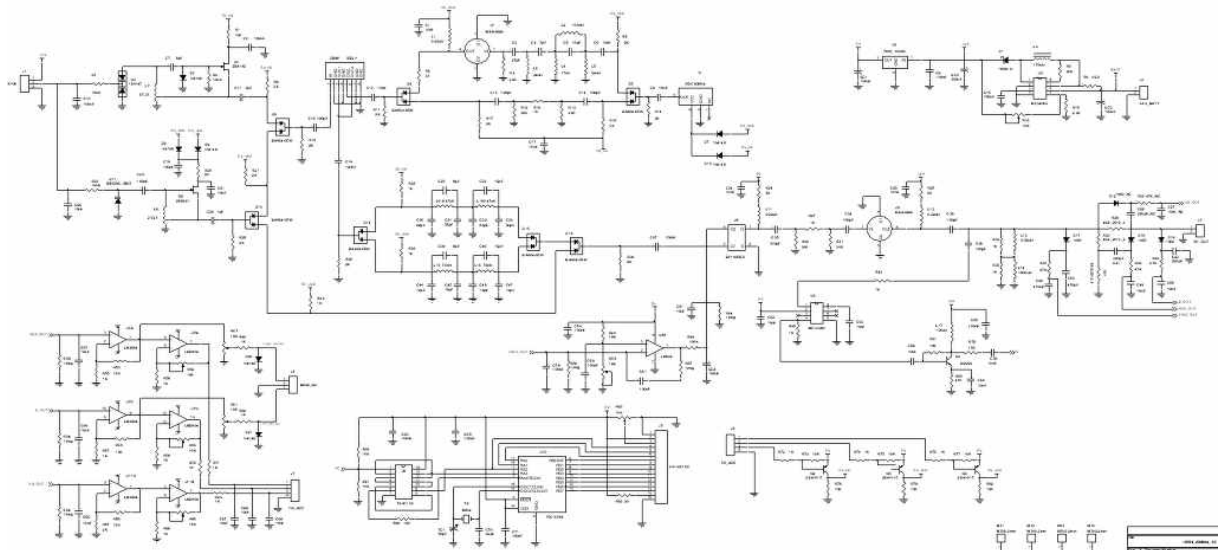
VFO와 로칼 발진기, SBL-1으로 회로를 구성하고 테스트 결과 HF 대역 0.1MHz~35MHz 까지 스퓨리어스 30dBc 이상으로

잘 나오는 것을 확인하고 있던 중 한 개밖에 없는 80MHz 오실레이터가 사망해 버려 테스트는 멈췄습니다.

내일 오실레이터 주문하면 다음 주 초가 되어야 HF 발진기 테스트가 끝날 것 같습니다. HF 발진기 테스트가 끝나면 VHF 대역 발진기를 2단이나 3단 전환 방식으로 만들고 마지막으로 UHF 발진기를 만든 후 밴드전환 4단 또는 5단으로 HF ~ UHF 까지 동작시키는 전환 회로 만들고, 일정한 RF 출력을 내기위해 AGC 회로 넣고, 그 다음 500MHz 주파수 카운터 만들고, 3.6V 리튬충전지 사용 예정이므로 송압 전원부도 만들어야 되겠네요. UHF 까지 동작 시키려면 SWR 브릿지와 출력 콘넥터 연결부분도 신경을 많이 써야 되고... 해결해야 할 문제가 아주 많이 남아있습니다.

1 편에서 만들었던 HF용 믹서를 포함해서 VHF 와 UHF 까지 넣어서 전체 회로를 구성해봤습니다.

회로도 입니다.



회로도 의 좌측 위쪽에 있는 것이 K192 와 K241을 사용한 광대역 하틀레이 발진기 인데 이 발진기와 우측편에 있는 80MHz 오실레이터와 믹싱해 HF 와 VHF 대역의 주파수를 만들어 냅니다.

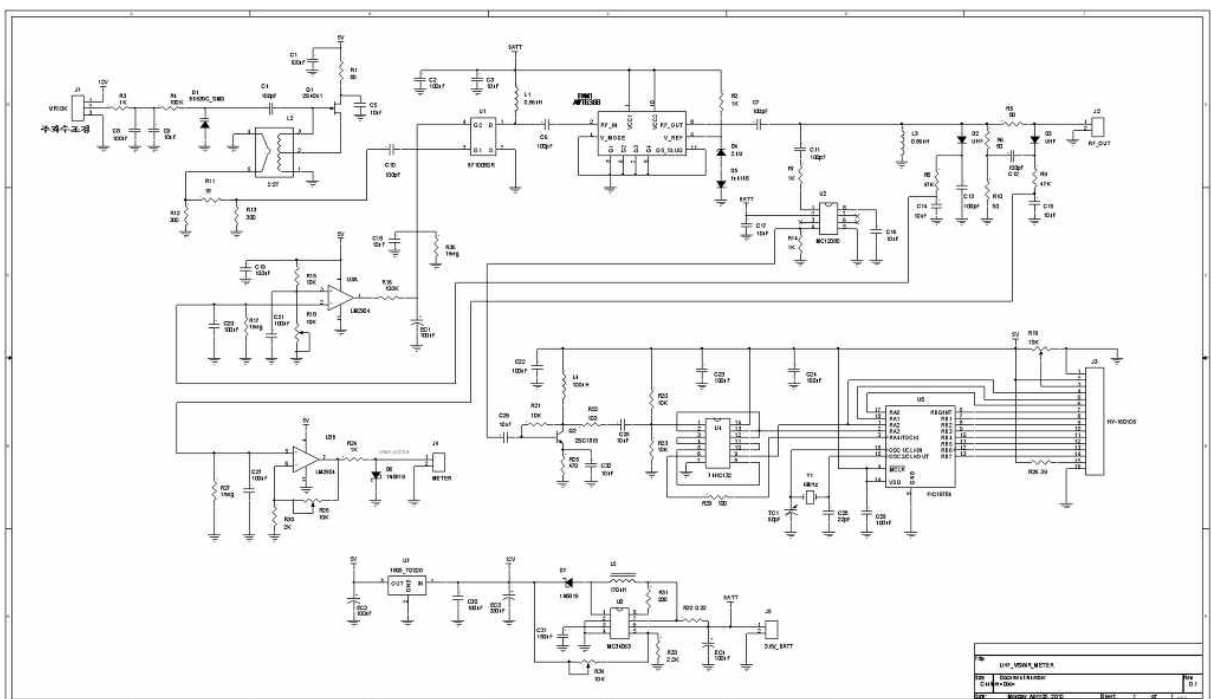
자세하게는 K192 발진기에서 80MHz ~ 110MHz를 발진시켜 80MHz 오실레이터와 SBL-1에서 믹싱해서 0Hz 30MHz를 출력합니다. 믹서를 사용하는 장점으로 VSWR 아날라이저는 말 그대로 0Hz 부터 측정이 가능한데 실제로 정상 동작 하는 주파수는 100kHz 정도부터 될 것으로 예상합니다.

VHF 동작은 조금 복잡합니다. 먼저 80MHz 오실레이터의 제3고조파인 240MHz를 LC 필터로 선별해서 MSA-0885를 사용해 증폭하여 240MHz 로컬 주파수를 만들어 SBL-1으로 넣어줍니다. 그다음 UHF 발진기인 K241에서 270MHz ~ 440MHz를 발진시켜 240MHz 와 믹싱해 30MHz ~ 200MHz의 VHF 출력을 얻어 냅니다. UHF 동작은 K241에서 발진시킨 270MHz ~ 450MHz 를 믹서를 거치지 않고 바로 고주파 증폭기로 보내서 사용합니다.

그리하여 HF 100kHz ~ 30MHz, VHF 30MHz ~ 200MHz, UHF 270MHz ~ 450MHz를 만들기 때문에 밴드 전환은 3단 스위치로 가능합니다.

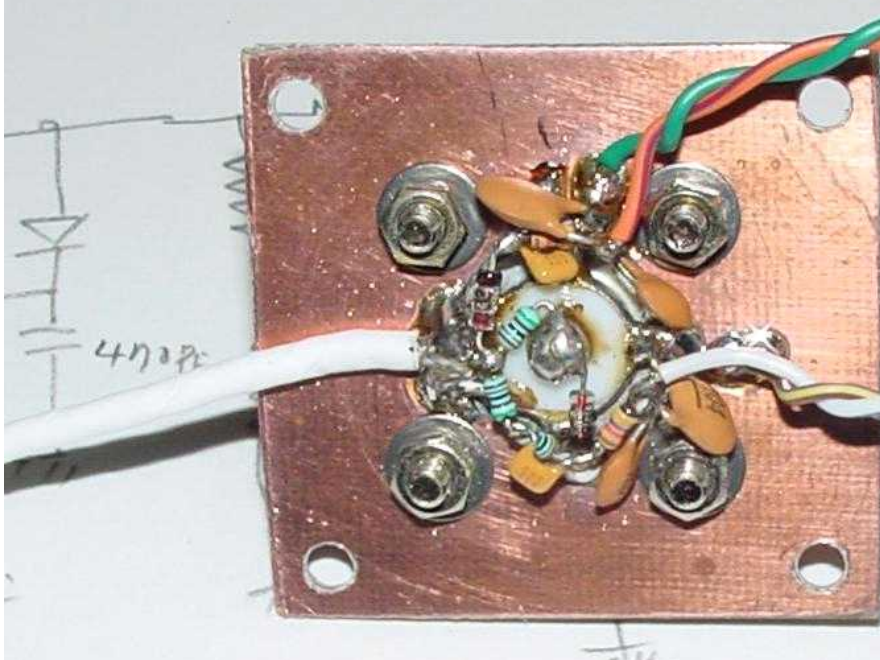
여기에서 주파수 카운터 기능을 넣으면 4단 으로 모든 기능을 전환 시킬 수 있습니다. 각 밴드 내에서는 따로 세부적으로 밴드전환이 없기 때문에 주파수 가변은 10턴 가변저항을 사용해야 세밀한 조정이 가능합니다.

1편에 제작했던 발진기와 믹서를 사용해 100kHz ~ 35MHz 까지는 발진 출력이 정상 동작 하는 것을 확인했기 때문에 당장이라도 HF용 VSWR 아날라이저는 제작해도 무리가 없습니다만. 문제는 VHF 믹서와 UHF 발진기의 동작 테스트와 전력 증폭기 동작을 테스트 하는 것인데 그리 쉽지는 않을 듯 합니다. 각각 회로들이 잘 동작 하더라도 이것들을 한 번에 묶어서 다이오드 스위치를 사용해 밴드 전환 시켰을 때 제대로 동작할지가 아직 미지수입니다.

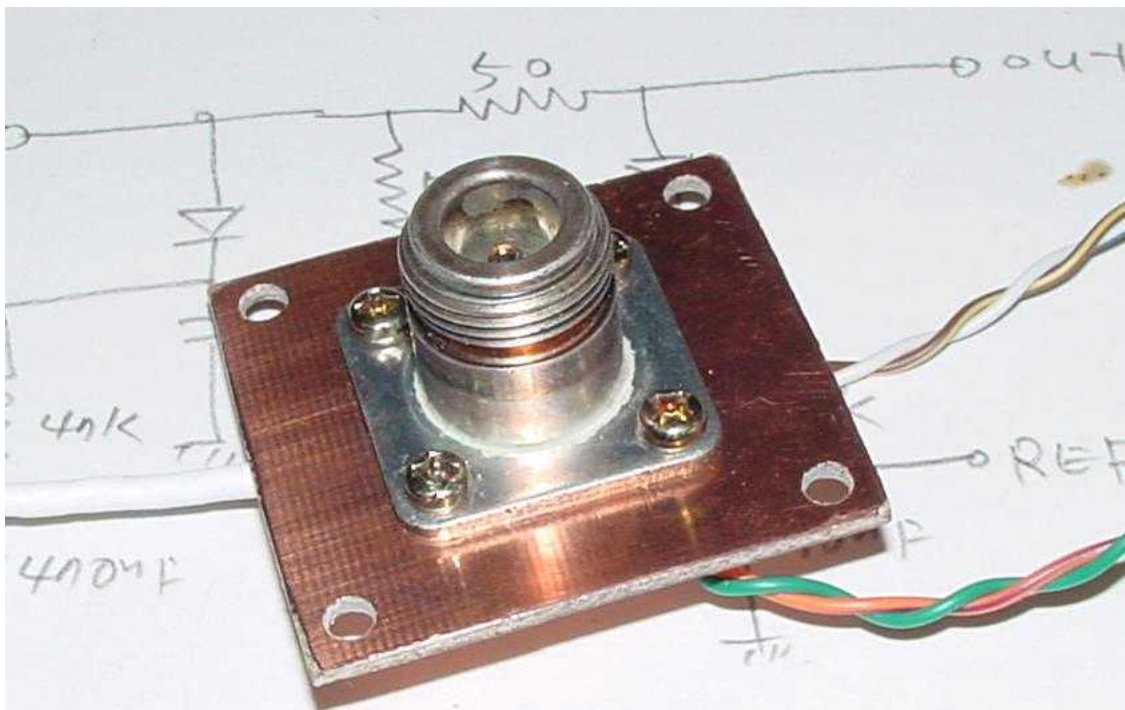


에 성능이 좌우되기 때문에 시행착오를 겪을 앞일을 생각하니 막막 하기만 합니다.
UHF전용 VSWR 메타는 한번 만들어 본적이 있습니다.

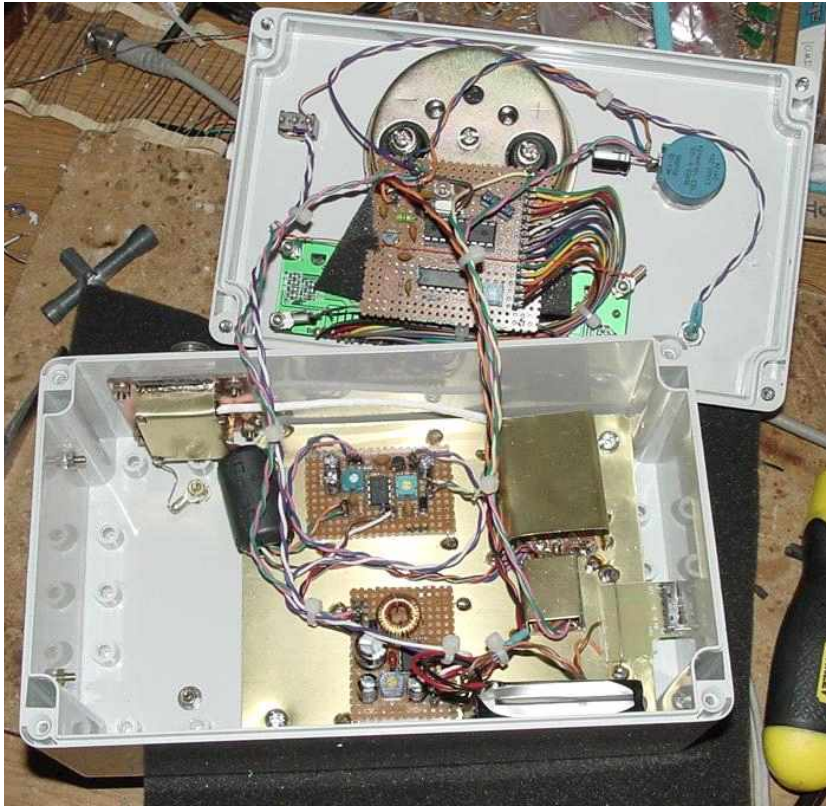
전에 만들었던 UHF전용 VSWR 아날라이저 회로도 입니다. UHF용 SWR 브릿지는 PCB
의 분포용량 영향을 최소로 줄이기 위해서 출력 콘넥터에 브릿지 회로를 모두 붙여
서 만들었습니다.



UHF용이므로 당연히 N-Type 콘넥터를 사용했습니다. 콘넥터 바로 뒷편에 SWR 브릿지 회로를 일명 하드 와이어링 해놨습니다.



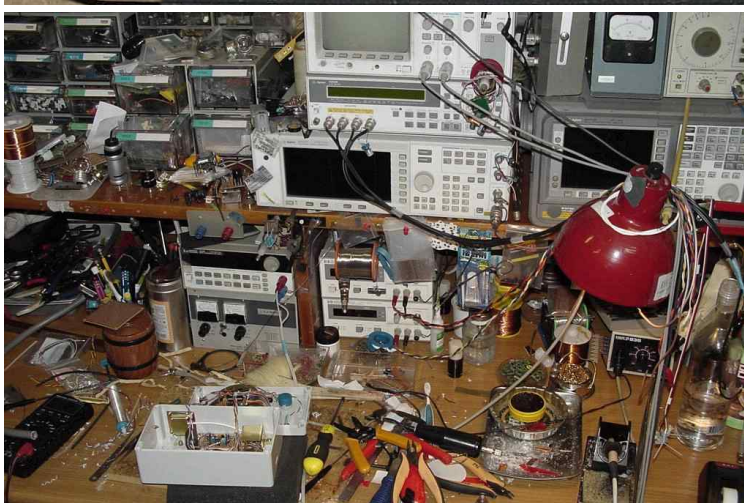
내부 구조입니다.



전원부와 주파수 카운터부, OPAMP 부분만 만능 기관으로 만들고 발진기와 증폭기 부분은 PCB 없이 황동판 위에 최단거리로 하드 와이어링 했습니다. 동작 시키고 있는 장면입니다. 메타 부분은 나중에 VSWR 스케일을 프린트 해서 붙였습니다.



동작 주파수는 300 ~ 450MHz 정도 된 걸로 기억하는데 지금은 내 손에 없어서 기억이 아리송 합니다. UHF VSWR 아날라이저 만들던 작업책상입니다. 주로 케이스 구멍 뚫고 깎고, 갈고 하느라 시간을 다 보냅니다.



VSWR 메타에 사용하는 광대역 발진기를 FET로 만들어서 사용하려니 여간 손이 많이 가는 일이 아닙니다. 좀 편하게 만드는 방법이 없을까 하고 찾아보니 입맛에 딱맞는 VCO 칩들이 있는데 테스트용으로 소량 구매하기가 어렵습니다. 기본 2500개 단위로 판매하는데

그리고 출력 증폭용 MMIC로 MSA-0885 또는 MSA-0886을 사용하려고 하는데 ICBANK에서 테스트용으로 구하려니 가격이 많이 비싸네요. UHF용 검파 다이오드도 구해야 하는데, 1N60을 사용하면 동작이 되기는 하지만 200MHz가 넘어가니 손실이 좀 커지는 느낌이 있습니다.

용해서 2Hz ~ 2048Hz까지 분주시킵니다. 보통 시그널 인젝터의 주파수는 1kHz 정도를 사용하니까 Q4 출력의 1024Hz를 사용하면 됩니다. 주파수 안정도는 사실 별로 의미가 없지만 시계용 크리스탈을 사용하니 아주 정확합니다. 4060에서 출력된 2Hz ~ 2048Hz의 주파수는 J1 점퍼 스위치(딥스위치 사용가능)를 사용해 주파수를 선정합니다. J1 의 Q3 ~ Q13에 해당하는 점퍼가 출력 주파수 2Hz ~ 2048Hz에 해당됩니다.

CON1의 TTL_OUT은 콘덴서나 ATT를 거치지 않고 바로 출력 되는데 여러 가지 응용해서 사용 할 수 있습니다. 간단한 예로 J1의 점퍼 스위치를 Q13에 맞추고 TTL_OUT에 LED를 연결하면 아주 정확히 1초에 2번 깜빡이는 불빛을 볼 수 있습니다. 응용 방법은 상상에 맞기겠습니다.

J1 점퍼 스위치의 맨아래는 MOD 1kHz로 만들어 놔는데 이 기능이 아주 매력적입니다. MOD 1kHz에 놓으면 기본 발진주파수 32.768kHz에 1024Hz를 변조시켜 ASK 출력을 만들어 냅니다. 32.768kHz의 고조파는 수백kHz이상 발생하기 때문에 1kHz로 AM(ASK)변조된 광대역 RF 신호가 됩니다. 중파 라디오 IFT 테스트할 때 사용가능합니다. 이것 또한 응용법은 상상에 맞기겠습니다.

다음은 트레이서 부분입니다. 트레이서는 LM386을 사용해 인젝터에서 주입된 가청 주파수를 증폭해 이어폰으로 듣는 것으로 오디오 앰프의 신호라인을 따라 다니며 고장 부위를 확인하는 것이 기본 기능입니다.

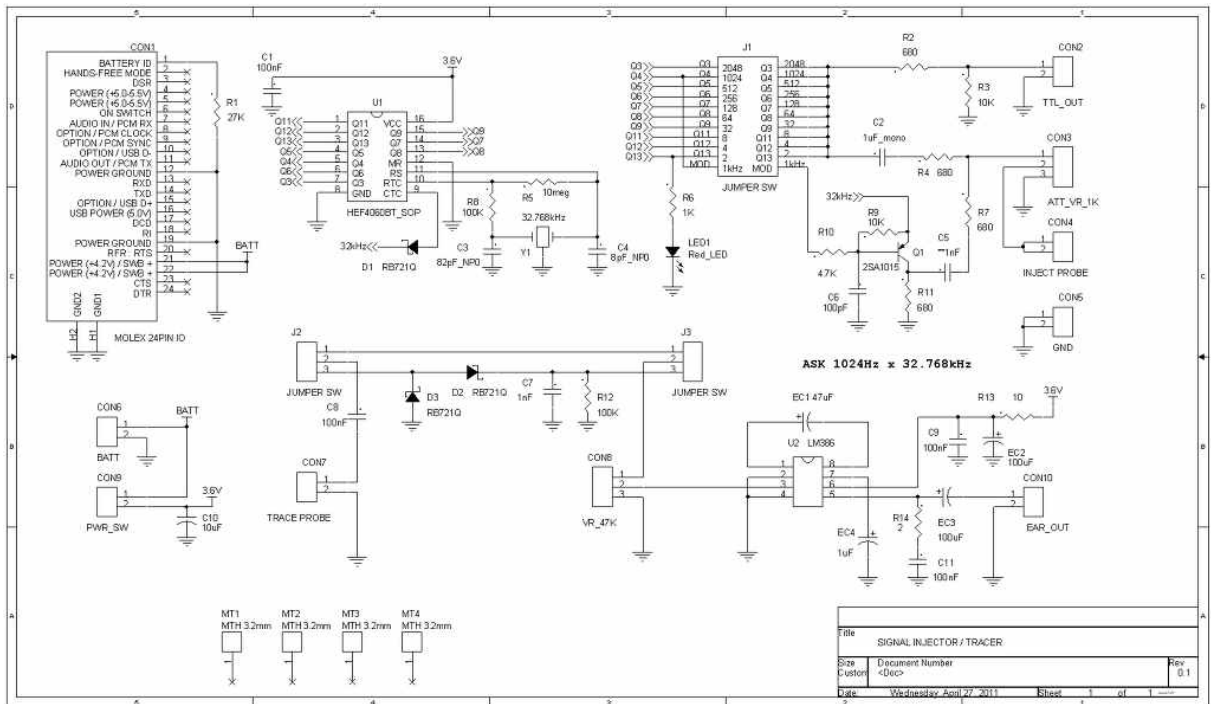
트레이서 프로브 입력에 또한 점퍼 스위치로 전환 가능한 포락선 검파기를 넣었습니다. AM 검파기입니다. AM 검파기로 전환하고 프로브에 적당한 동조 회로를 붙이면 AM 라디오 수신도 가능합니다만, 인젝터의 ASK 신호와 짝을 지어 사용하는 것입니다. 그러니까 인젝터로 AM 신호를 집어넣고 트레이서로 AM검파해서 1kHz의 톤을 듣습니다.

트레이서의 입력 임피던스는 47k , 인젝터의 출력 임피던스는 대략 1k 정도 되고, 출력 전압은 0V ~ 5Vp-p의 고조파가 많이 포함된 구형파입니다. 만들어서 테스트해보기 전에는 동작을 보장 할 수 없으니 다음 편에 제작해서 테스트해보고 회로수정하고 어떤 형태로(볼펜형, 케이스형 등등) 만들 것인지 고민해 보겠습니다.

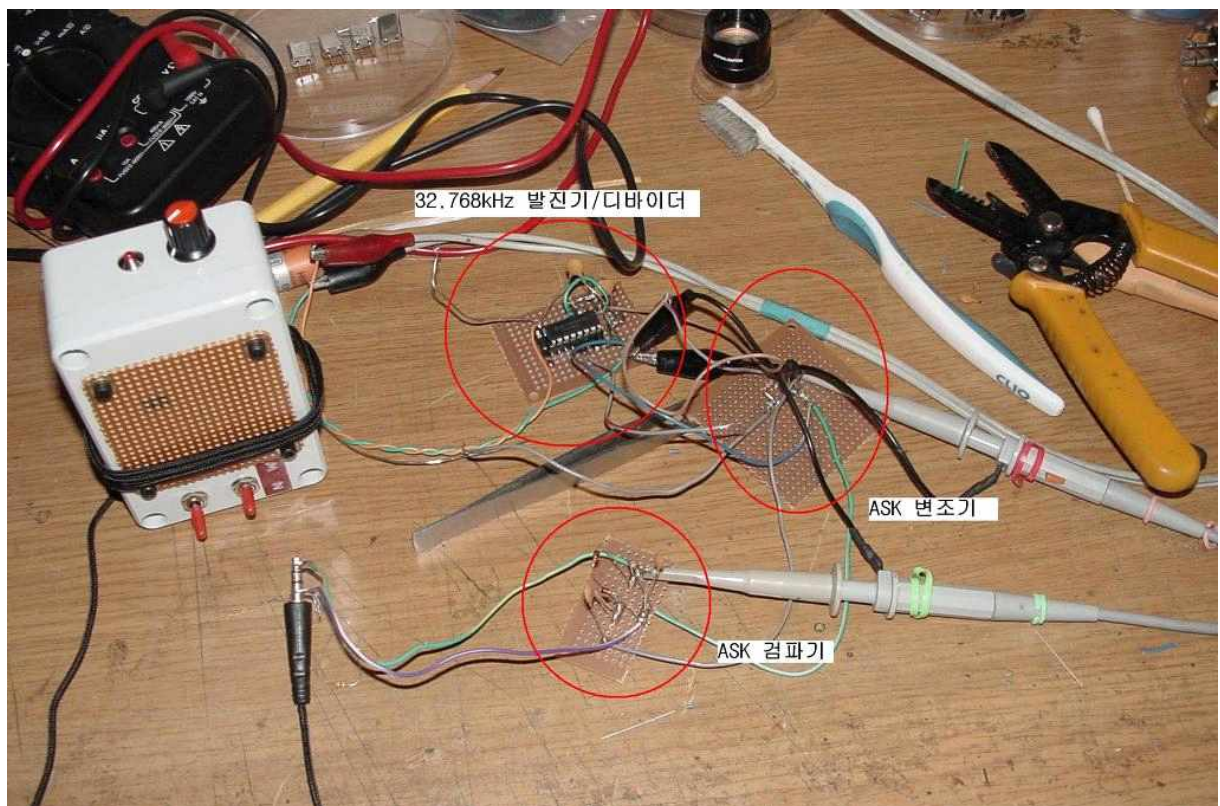
사용 전원을 3.6V 리튬충전지로 변경했습니다.

오디오 앰프 부분도 변경 하려다가 그냥 두기로 했습니다. 이어폰이나 작은 스피커 정도 올리는 출력이면 충분하기 때문에 전원 전압이 낮아 저서 LM386이 동작 않는 것은 아니기 때문에 굳이 저전압용 앰프로 바꾸지 않아도 문제없을 것으로 봅니다.

표준 24pin 충전잭을 달아서 핸드폰 충전기로 충전시키고, 배터리는 초소형의 리튬폴리머 충전지를 사용합니다. 소비전류는 최대 10mA를 넘지 않을 것이므로 100mA 용량이면 충분합니다. 그리고 2Hz 출력에 LED를 넣어 전원 켜를 때 깜빡이는 전원 표시등을 넣었습니다. 변경된 회로입니다.

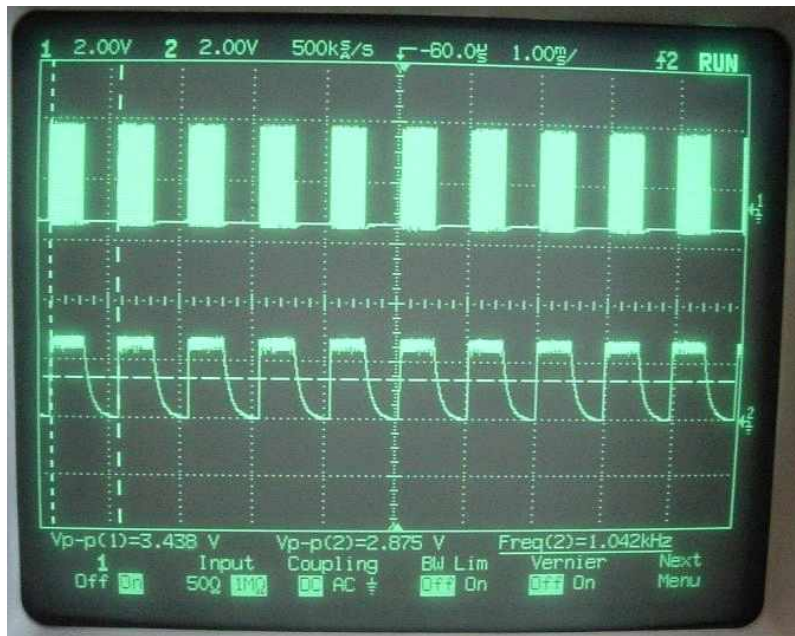


간단하게 만능기판에 발진/디바이더부를 만들고, ASK 변조기, 복조기를 만들어 테스트 해봤습니다.



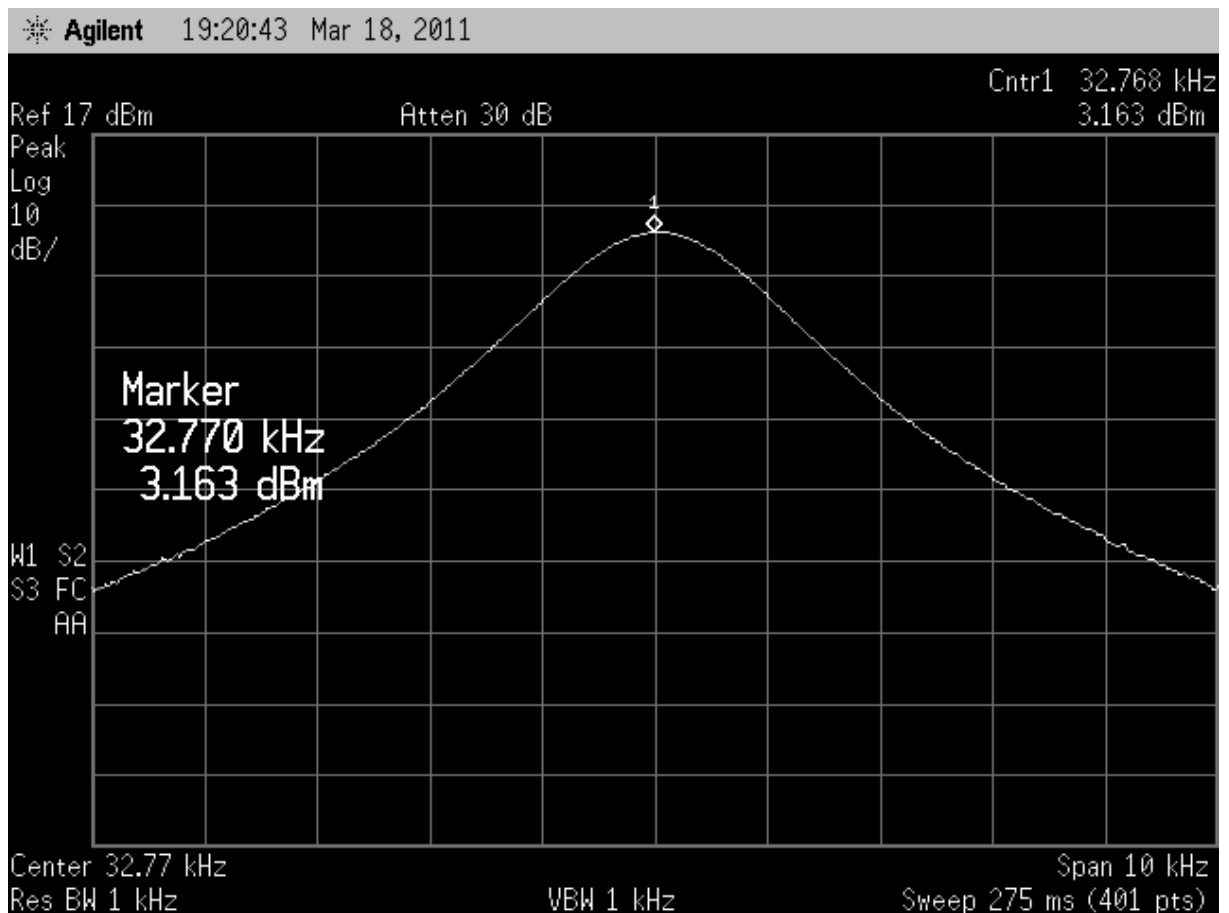
다행히 처음 회로설계대로 잘 동작해 줍니다. 32.768kHz 반송파에 1024Hz 오디오 톤을 변조시켜 보내고 트레이서의 AM 복조기를 통해 검파한 모양입니다.

채널 1번인 윗쪽이 ASK 변조된 파형이고, 채널 2번 아랫쪽이 검파된 1024Hz 오디오 톤입니다. 변복조된 소리를 스피커로 들어보면 아래와 같습니다.

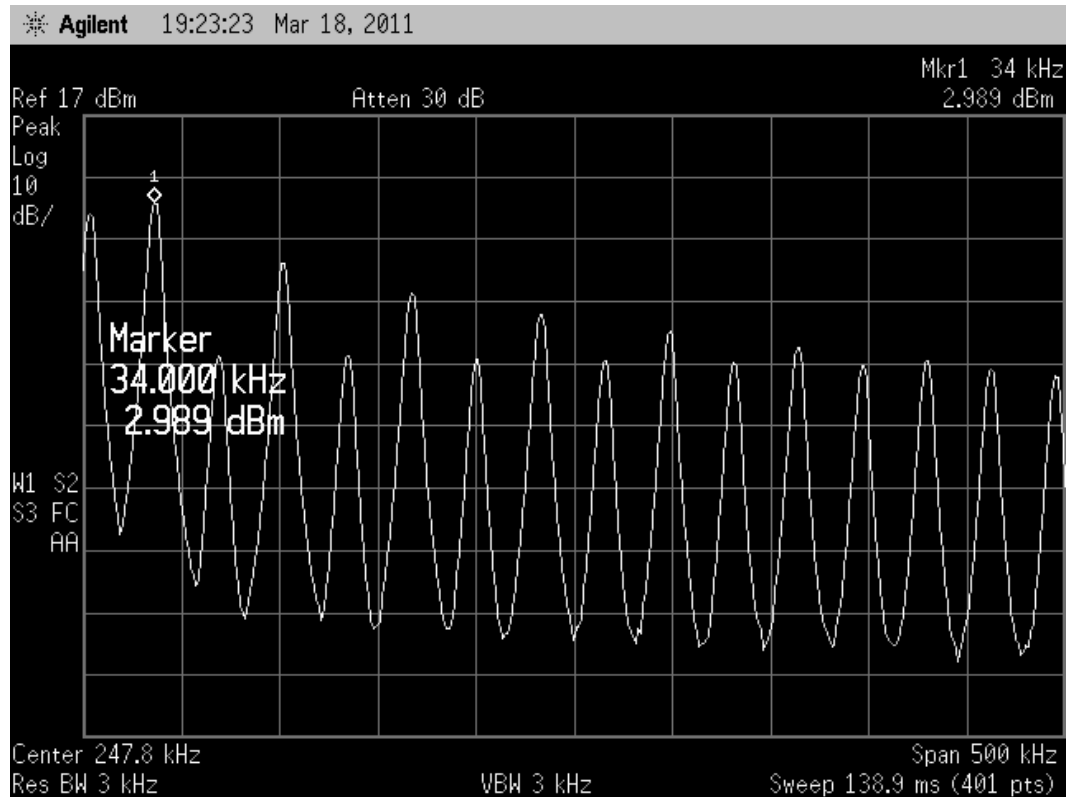


조신호는 1024Hz로 고정이지만 필요하면 점퍼 위치를 바꿔 다른 주파수로 변조 시켜도 됩니다. 동영상에 나오는 변조 주파수 순서는 2048 --> 256 --> 1024 --> 512Hz 입니다.

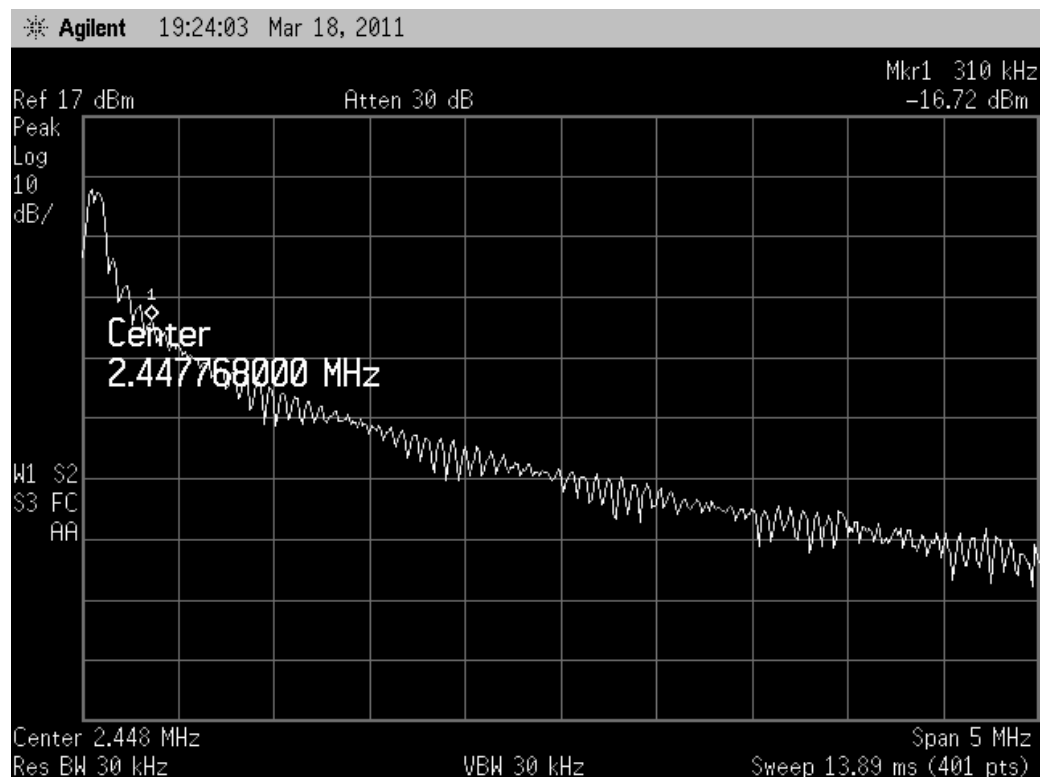
32.768kHz 출력 주파수를 측정해 봤습니다.



화면 우측 상단의 Cntr1 32.768kHz로 표시된 곳이 정확한 카운팅 주파수입니다. 정확히 32.768kHz로 측정되고, 출력 전력은 3dBm으로 2mW 정도 됩니다. 32.768kHz는 구형파 출력이라서 고조파가 무수히 나타납니다.

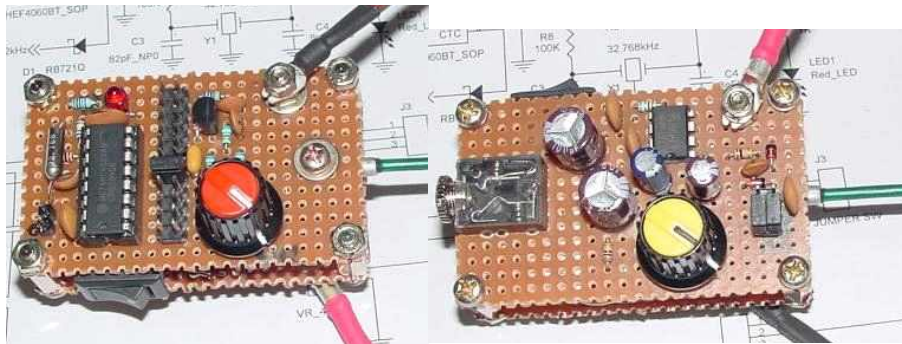


32.768kHz의 정수배 고조파가 스펙트럼 상에 뾰뾰하게 나타나는 것이 보입니다. 이 고조파들은 거의 10MHz 까지 나타나므로 중파나 단파 라디오용 간이형 시그널 제네레이터로 활용이 가능합니다. 0 ~ 5MHz 대역에 넓게 나타난 고조파 모양입니다.



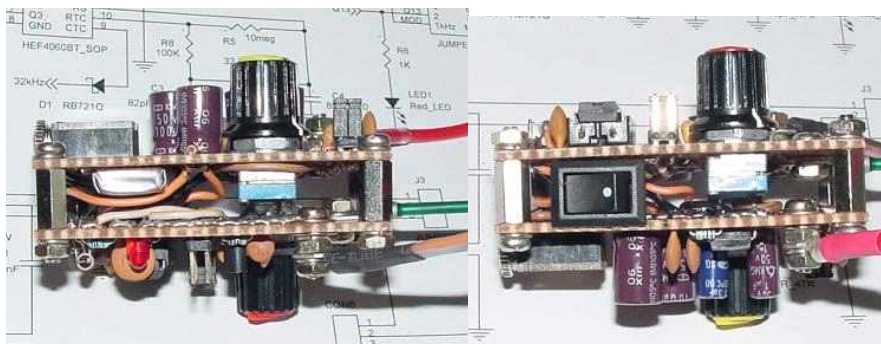
다음 편에는 전체 회로를 만능기판에 만들어서 동작 테스트 진행 하겠습니다. 편의 결과를 가지고 인젝터와 트레이서를 만능기판에 모두 만들었습니다.

지난 주말 토요일 저녁때 만들어놓고 오늘 화요일이 돼서야 글을 올립니다. 인젝터와 트레이서를 따로 만들어 전원스위치와 배터리를 중간에 집어넣고 샌드위치처럼 결합 시켰습니다. 먼저 인젝터쪽 모양입니다.

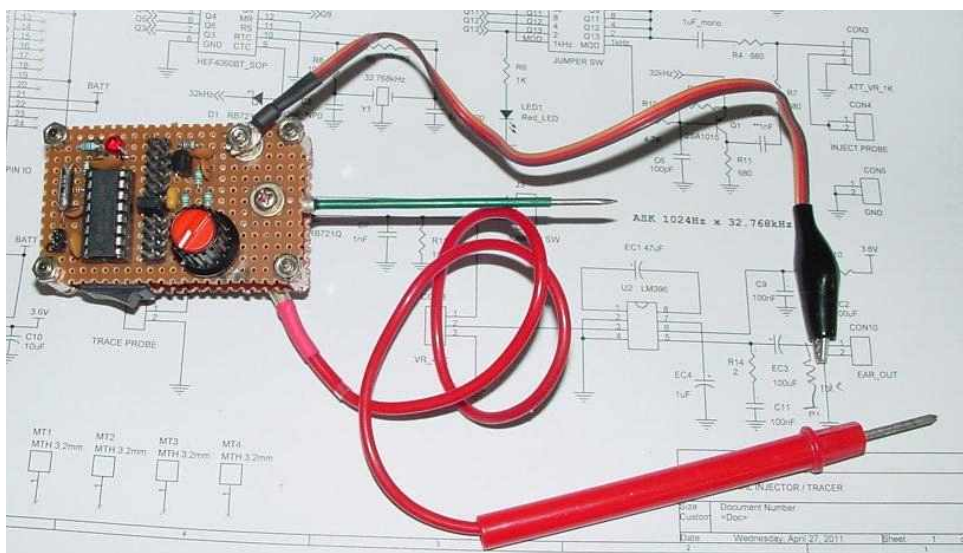


핀헤더로 만든 점퍼 스위치로 출력 주파수를 결정합니다. 우측에 수축튜브를 씌워놓은 뾰족한 피아노선이 인젝터 '침'입니다. 윗쪽에 볼트로 채워진 3색선은 접지선으로 끝부분에 악어클립이 붙어있습니다. 아래쪽 굵고 붉은 전선은 트레이서의 탐침봉입니다. 다음은 트레이서쪽 모양입니다.

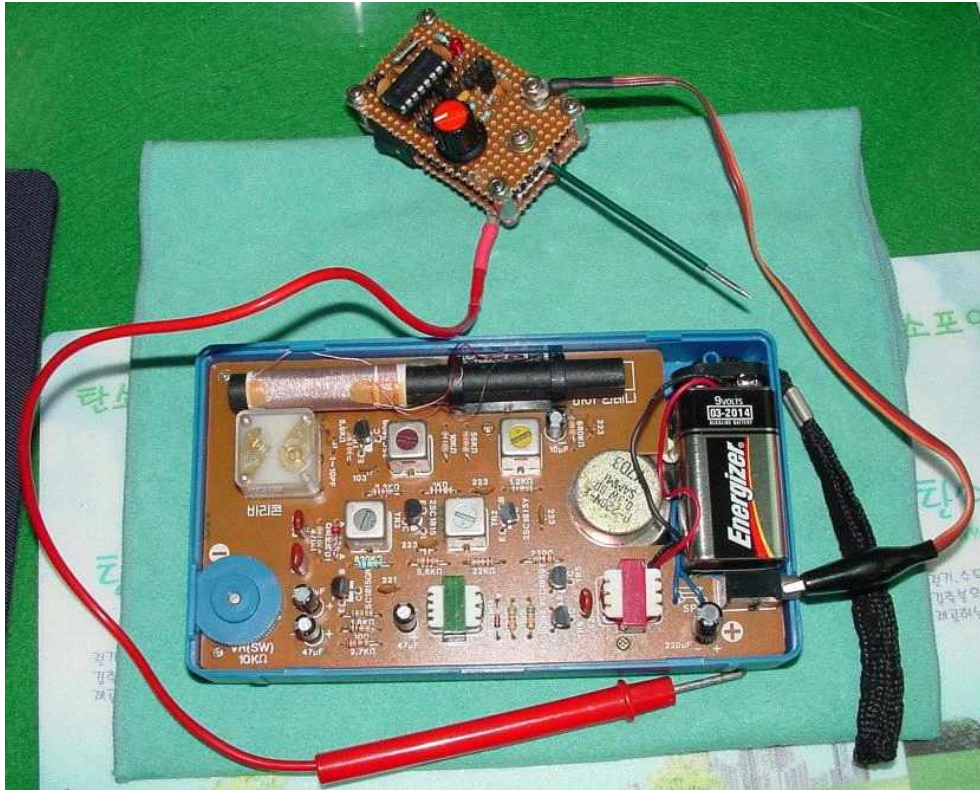
좌측에 이어폰잭이 달려있고 구조는 회로도과 동일합니다. 측면입니다.



청색으로 보이는 볼륨은 일명 '카볼륨' 이라고 하는데 작은 사각형 모양에 적층해서 여러가지 기능을 넣을 수 있는 주문형 볼륨입니다. 이어폰잭 바로 아래에 3.6V/100mA 리튬폴리머 전지가 숨어있습니다. 반대쪽 측면입니다. 인젝터 볼륨과 전원 스위치가 보입니다. 전체 모양입니다.



모양을 보면 아시겠지만 악어클립이 달린 공통접지와 인젝터 봉, 트레이서 탐침, 이어폰잭 등이 일체형으로 들어있습니다. 라디오 테스트 장면 입니다.

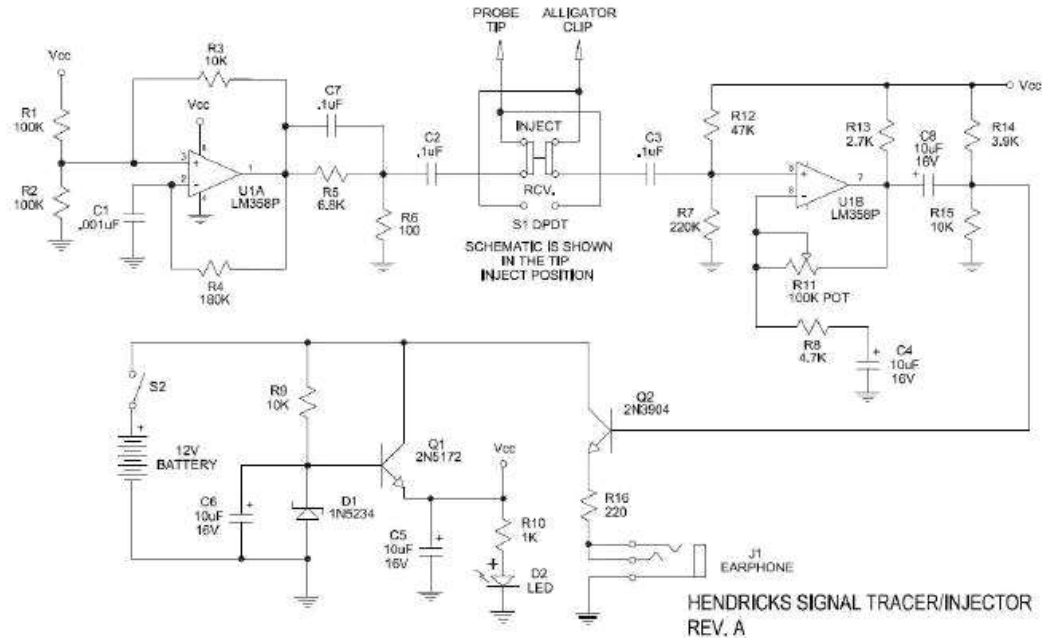


이렇게 동작 합니다. 라디오 볼륨에 직접 인젝터 봉을 찍으니 큰 소리가 나네요. 전원 스위치를 켜면 인젝터와 트레이서가 동시에 동작하고 적색 LED가 1초에 2번 깜빡이는데 전체 소비전류는 약 5mA 정도 됩니다. LED를 끄고 트레이서도 끄면 인젝터의 소비전류는 약 1mA 내외로 아주 작습니다.

소비전류가 아주 작아서 100mA 충전지를 사용해도 한번 충전으로 하루 종일 켜놓아도 문제 없습니다. 인젝터와 트레이서를 동시에 동작 시키다 보니 접지 클립, 탐침, 인젝터 탐침 등 주렁주렁 달려 있는 모습인데 그냥 이런 형태로 갈것인가? 아니면 인젝터와 트레이서를 분리형으로 할것인가, 또는 일체형에 탐침봉을 한 개만 사용하고 스위치로 전환해서 쓸 것인가 이런저런 고민을 좀 해봐야 됩니다. 남들은 어떻게 만들었는지 자료를 찾아보니 이런 게 있네요.



- Install the battery, and you are ready for use. In order for this tool to be self contained, certain allowances had to be made concerning the battery. The 12v battery was selected for it's small size, not longevity. It is important that you do not leave the power switch on, when not in use. It is an inexpensive, readily available battery, used in devices like garage door openers, etc. The battery life will be typically 90 minutes of total "on" time. Walmart has a 2 pk. for less than \$2.



출처는 여기 http://www.qrpkits.com/files/tracer_assembly_031809.pdf 입니다.

12V 전원을 사용하고 탐침 한 개에 전환 스위치를 사용해서 인젝터와 트레이서를 각각 동작 시키는 방법입니다. 이렇게 되면 인젝터로 신호 넣고 트레이서로 추적하려면 똑같은 노미 하나 더 있어야 되겠지요? PCB를 만들게 되면 1/8W 저항에 SMD IC를 사용해 작은 크기의 펜타입으로 만들어 볼까 하는데 인젝터와 트레이서 분리 또는 전환 또는 지금 만들어 놓은 대로 이중에 어떤 형태로 해야 좋을까요?

VII. 스피치 프로세서

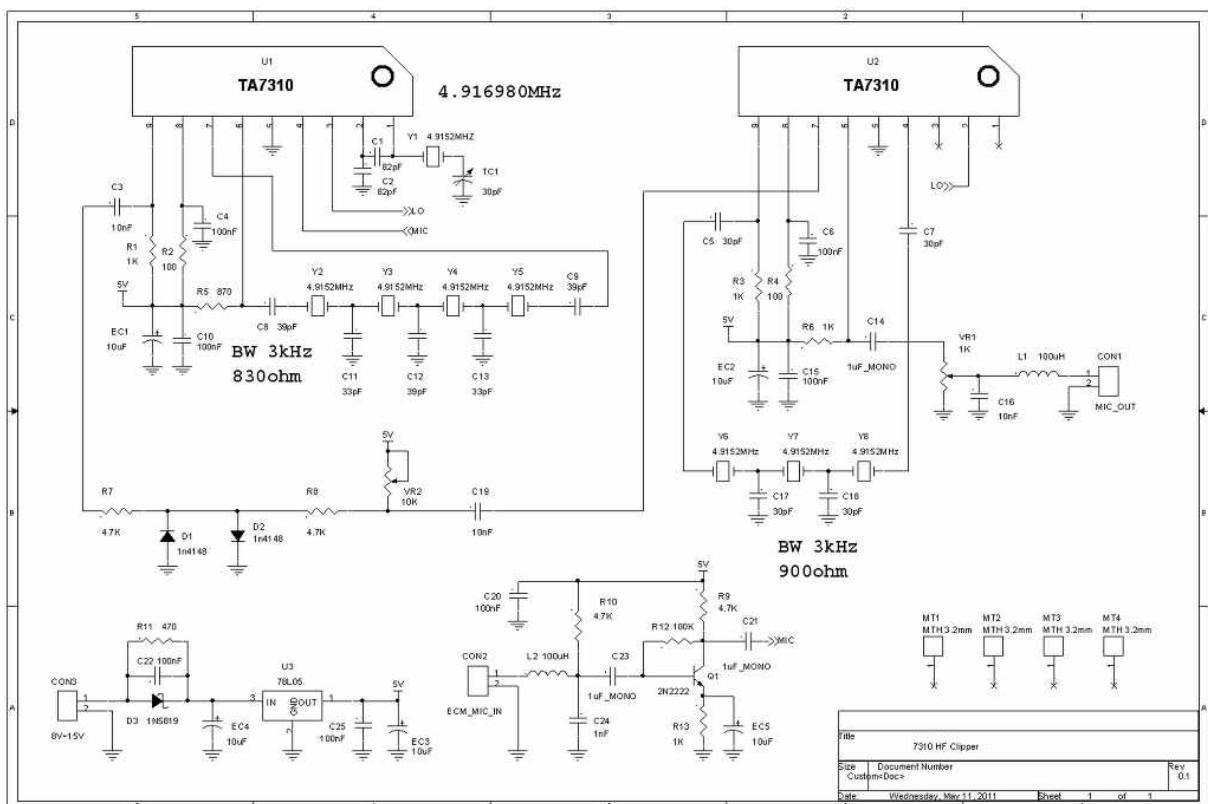
스피치 프로세서는 크게 3가지 종류가 있는데, 마이크컴프레서 칩을 사용한 오디오 프로세서가 있고, 두 번째는 오디오프로세서의 한 종류로 오디오-->RF-->오디오 형식으로 변환하는 방식, 끝으로 RF 프로세서가 있습니다.

오디오 프로세서는 오피앰프를 사용해 출력을 입력으로 피드백 시켜 AGC를 걸어주는 방식과 SSM2166 같은 전용의 프로세서 칩을 사용해서 음성대역의 다이내믹 레인을 압축하는 방식이 있습니다.

AF-RF-AF 방식은 아주 독특한 방식으로 음성대역을 압축 합니다. 마이크로 들어온 음성을 SSB 변조 하여 RF로 만든 다음 RF 신호를 다이오드를 사용해 진폭 제한을 시켜 일정 레벨이 되도록 클리핑 시킨 후 다시 SSB 복조해서 오디오 신호를 만들어 무전기의 마이크 입력으로 넣어주는 방식입니다.

그럼 오디오 신호를 충분히 증폭한 다음 클리핑 시켜서 사용하면 되지 않느냐...? 하는 의문이 생깁니다. 오디오 신호를 클리핑 시켜 일정레벨을 만들면 음질이 심하게 찌그러져 아주 듣기 거북한 소리로 바뀝니다. 그래서 오디오를 RF로 만들어 RF 레벨을 클리핑 시켜 일정 레벨을 만든 다음 다시 복조하면 찌그러짐이 훨씬 덜한 압축된 음성을 만들 수 있습니다.

SSB로 통신할 때 마이크를 입에 가까이 하면 출력은 잘 나지만 과변조가 걸려 음이 심하게 찌그러지게 되고 그렇다고 마이크를 입에서 멀리하면 음성이 약해서 송신 출력이 약하게 나가는 경우가 많이 있는데 AF-RF-AF 방식을 사용하면 마이크를 입에 물고 말을 하거나 1m 정도 띄워서 말을 해도 거의 같은 레벨을 만들어 줍니다.



세번째로 RF 방식 프로세서는 사용하는 무전기의 TX IF 주파수를 클리핑 시킨 다

음 다시 동일한 IF 필터를 통과시켜 고조파를 제거한 다음 TX 믹서를 통해서 송신을 하는데 무전기 마다 IF 주파수가 다르고 동일한 IF 필터 구하기가 어렵고 가격이 비싸기 때문에 만들기가 쉽지 않습니다. 거기다 IF 라인을 개조해야하는 문제가 있기 때문에 IF 라인을 중간에 잘라서 RF 방식 프로세서를 연결시켜야 하므로 개인이 쉽게 개조하기가 거의 불가능 합니다.

최근에 나오는 거의 모든 무전기들은 오디오 프로세서칩을 사용한 오디오 프로세서 방식이므로 송신 음색이 고만 고만 합니다. 독특한 음색을 만들어내는 AF-RF-AF 스피치 프로세서를 한 번 만들어 보도록 하겠습니다.

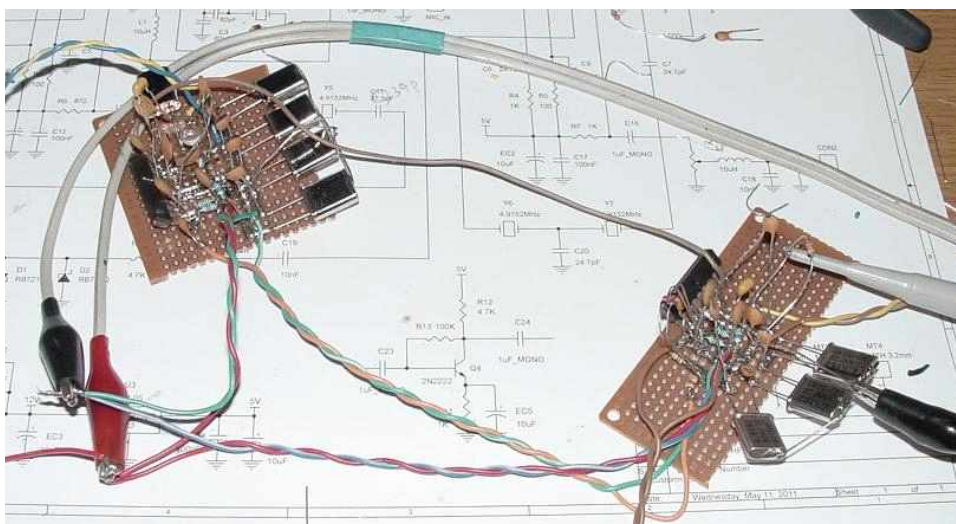
AF-RF-AF 방식을 만들기 위해서는 SSB 변조기, SSB 필터, 클리핑회로, 고조파 제거 필터, SSB 복조기가 필요합니다. 변조기와 복조기는 KIA7310을 사용하기로 했습니다. NE602나 SA612를 사용해도 되는데 따로 구입하려면 가격이 비싸므로 많이 가지고 있는 KIA7310을 활용하기로 했습니다. 전체 회로도 입니다.

마이크는 콘덴서 마이크를 사용하는데 600옴의 다이내믹 마이크를 사용해도 됩니다. 하이임피던스 마이크를 사용하려면 매칭 트랜스를 넣거나 마이크 입력 회로를 변경해야 됩니다. 마이크로 입력된 음성 신호는 2N2222를 사용해 충분히 증폭한 다음 7310에 내장된 발진기로 4.9152MHz 크리스탈을 4.91698MHz로 발진 시킨 로칼과 믹싱해 DSB를 만들어 냅니다.

만들어진 DSB는 BW 3kHz인 4pole 필터로 LSB를 선별한 다음 7310 내부에 들어있는 앰프를 통해 증폭해서 출력한 후 1N4148을 사용해 클리핑 시켜 진폭을 일정하게 만듭니다. LSB의 진폭을 클리핑 시켜 일정하게 만들었지만 LSB에 포함된 음성 주파수는 고스란히 들어있으므로 걱정할 필요는 없습니다.

다이오드를 사용해 LSB를 클리핑 시킨 후

두번째 7310의 내장 앰프를 사용해 한번 더 증폭한 다음 클리핑으로 인해 발생된 고조파를 두 번째 필터를 사용해 제거한 후(두번째 필터는 고조파 제거용이므로 특성이 샤프하지 않아도 됩니다.) SSB 복조를 합니다. SSB 복조에 사용한 로칼 신호는 첫 번째 7310에서 발진시킨 로칼을 그대로 가져와서 사용합니다.



회로를 만들어 테스트 중인 모습입니다.

AF-RF-AF의 구조는 설명한 바와 같이 그리 복잡하지는 않습니다. AF-RF-AF를 거친 음성신호는 큰소리와 작은 소리가 압축되어 일정한 레벨로 출력 되므로 다이내믹레인지가 좁아 격양된 음성으로 들리게 되지만 SSB의 평균 출력을 높이는 아주 좋은 상태가 됩니다.

라디오에서 나오는 소리를 콘덴서 마이크로 입력해서 AF-RF-AF를 거친 다음의 오디오 출력을 컴퓨터 사운드 카드로 입력해서 녹음한 소리 입니다.

강하고 경직된 소리는 마이크의 위치를 멀리 이동해도 거의 변하지 않습니다.

그래서 스피치 프로세서는 공개 운용 같은 시끌벅적한 환경에서 사용하면 주변 소음이 모두 들어가 듣는 사람이 불편 할 수 있으니 조용한 저녁에 방안에 혼자 있을 때 마이크에 대고 큰 소리 지를 필요 없이 작은 목소리로 DX를 즐길때 사용하면 좋겠습니다.

스피치 프로세서를 사용하면 마이크에 대고 작은 소리로 속삭여도 출력 메타는 끝까지 올라 갑니다. 그러기 위해서 만든 것이 스피치 프로세서 이니까요.

VIII. 안테나 만들기

1. 멀티 다이폴 만들기

안테나 엘리먼트로 현재 사용 중인 것은 220V용 단상 전선이다. 집 창고에 나돌아 다니는 전선이 많아 어디 딱히 쓸 곳도 없는데 자원 재활용 측면에서 소진하고자 그냥 아무 생각없이 엘리먼트로 사용했다.

처음에는 옥내 배선용 단선용 구리선으로 자작을 했다. 동선 한 개로 되어 있지만 아무래도 굵기가 굵아서 지금 사용 중인 전선(가는 동선을 여러겹으로 만들어 넣은 연선이다. 웬지 좀 약해보인다.)보다 대전류에 강할 것이라 생각되어 만들었다. 그러나, PVC 파이프를 절단해 만든 스페이서(spacer)의 청공작업이 부실해서 포기해 버렸다.

스페이서는 멀티 밴드로 사용하기 위해 엘리먼트용 전선의 간격 즉 밴드별 전선을 이격시켜주는 용도이다. 이 간격이 너무 가까우면 신호간섭이나 절연 또는 바람의 영향 등에서 건전성이 유지되기가 쉽지 않아서 그렇는지 통상 이 스페이서의 간격을 최소 3인치 이상은 나와야 하는데 만들고 보니 너무 딱딱딱 붙어 있어 실패하고 말았다.

사용된 전선이 무용지물이 되어 아깝긴 했지만 그닥 있어도 쓸모없는 전선이라 미련이 없다. PVC 파이프도 사실 옥내배선에 conduit로 사용했던 오래된 자재인데 창고에 박혀서 공간만 차지해 버리려다 남겨 두었던 걸 재활용했다.

이런 잡자재들은 없으면 아쉽고 있으면 평소에 그닥 쓸모가 없이 보관 공간만 차지하는 계류 같은 것들이다.

전선에 대한 제원을 파악하지 못해서 정확히 얼마의 특성을 갖는지 알지 못하지만 가장 일반적인 전선의 경우를 생각해서 추정해보기로 했다. 보통 전선은 단상용과 3상용, 그리고 케이블 등으로 분류된다. 일반적으로 구하기 쉬운 전선은 당연히 단상용 전선이다. 다이폴 안테나의 엘리먼트로 사용하기에는 무엇이 적합한지 잘 모른다. 하지만 대충 엘리먼트로 사용가능 여부만 생각해 보면 이런 것 정도가 아닐까 싶다. 안테나로 방사되는 전파의 전기적 출력은 P 는 전압 V 와 전류 I 의 곱이니 현재 사용하고 있는 전선의 저항치가 얼마인지 몰라도 낮은 저항인 500옴이라면 내가 희망하는 출력이 1kW라 했을 때 안테나 엘리먼트로 전달되는 필요한 전류량은 대충 이렇게 된다. $P=V \cdot I$ 이니 이 식을 달리 적으면 전류의 제곱(I^2 에 저항(R)을 곱한 식이된다. 즉 $P=I^2 \times R$ 이다.

이를 풀이식으로 적으면 $1000W = I^2 (A) \cdot 500 \text{ 옴}(\Omega)$ 이 된다.

$I^2 = 1000(W)/500(\Omega) = 2$ 이고 즉, $I = 1.414 (A)$ 가 된다.

다시 말해서 내가 1kW의 송신 출력을 내고자한다면 안테나 엘리먼트에 흐르는 전류는 최소한 1.5A가 흐른다는 소리다.

여기서 문제가 되는 것은 전선의 허용전류 계산이다. 전선에는 정격전류와 정격전압이 전선표면에 표시되어 있다.(어떤 일이 있어도 이 정격전류/전압의 값을 초과하면 안된다. 그렇게 되면 주열이 발생하여 단락(쇼트)인한 소손 또는 화재가 발생할 수 있고 피복이 녹아서 지락이나 누설로 인해 감전의 위험이 있기 때문에 절대 정격치를 초과하면 안된다.) 물론 없는 것도 있다. 지금 나의 경우처럼.....

알 수가 없다....

그래서 보수적으로 적용하고자 "전선 허용 전류표"를 인터넷에서 검색해 봤더니 이렇다. 단상 220(V)의 전선 중에서 가장 낮은 전선의 굵기가 약 2.5 SQ이고 전력 소비량이 대충 2kW용이다. 부하 최대전류가 12(A)이며 정격전류가 15(A)로 표시되어 있다. 이쯤이면 상기 식에서 계산한 1.414A의 값보다 훨씬 높은 값(12A)이다. 하지만..... 실제 전선의 저항치(교류이니까 이론적으로는 임피던스라 생각해야 함)를 모르니 문제다.

만약 저항치(여기선 저항이라고 표현한 것 모두가 임피던스를 뜻한다.)이 100(Ω) 이라면 말이 달라진다. 전류가 3(A)에 이른다. 통상적인 HF 다이폴 안테나의 임피던스가 대략 73 오옴(Ω) 정도 된단다. 내가 자작한 안테나의 임피던스도 이렇는지 확인할 방법이 없다. 연장(?)도 없을 뿐더러 어떻게 측정하는지도 모르겠다. 어디 뒤지다보면 알게 되겠지만.... 73 오옴(Ω)이라해도 4 (A)채 안된다. 임피던스 매칭되는 값이 50 오옴(Ω) 주변이라해도 5(A)를 넘지 않는다. 모두 이 최대전류 (12A)에 이르지 못하니 일단은 안심이다.

어찌되었든 간에 전선의 저항치(임피던스)가 0 이 아닌 이상 무한대의 전류가 흐를 일은 없을 것 같다. 따라서 최대허용전류인 12 (A)에는 이르지 않을 것이니 거뜬하게 견딜 것으로 보여 엘리먼트는 건전성을 유지할 수 있을 것 같다.

엘리먼트(도선)에 걸리는 전압을 한 번 알아보자.

상기 전력공식에 따라 $P=V \cdot I$ 이니 $V = \frac{P}{I}$ 이다. 따라서 전압은 $1000(W)/1.414(A) = 707 (V)$ 가 인가된다. 220V 단상용 전선에 전압이 3배가 넘는 707(V)가 걸리니 문제가 된다. 통상 일반 전선의 절연 내력(내압)은 사용전압의 2배 ~ 3배이다. 대충 최대로 봐도 700(V)가 안된다.(220V의 2배[440V] 또는 3배[660V] 임) 절연내력을 초과하면 전선의 피복이 갖는 절연기능 파괴되어 (절연파괴라 한다.) 주변에 기전력이 유도될 수 있다. 이렇게 되면 그 전선 주변에 가까이만 가도 기전력이 일어나 충격 전압을 받거나 감전의 원인이 된다. 쉽게 말해 전선에 피복제가 되어 있어도 밖으로 전기가 흐를 수 있는 조건이 된다는 것이다. 꼭 전선 피복을 벗겨 놓은 것 같은..... 벗겨진 전선 즉 나선과 다를 바 없이 된다. 또한 고전압이 유기된 상태에서 금속 재질(전도성) 구조물의 표면과 접촉하거나 접근시키면 스파크(불꽃) 유발로 화재의 원인이 될 수 있다. 본 안테나 엘리먼트가 허공에 올라 앉아서 걸쳐지므로(일명 빨래줄이 되므로) 사람이나 기타 구조물이 접촉하지는 않겠지만 절연이 약하면 안전사고의 문제가 생길 수도 있다. 이 점은 주의해야 할 대상이다.

게다가, 임피던스 매칭이 되지 않거나 사용자의 문제로 공진주파수에서 송신을 하지않는 등 임피던스가 증가하여 버리면 보통 2~3배의 임피던스가 걸리게 된다. 이럴 경우 안테나 엘리먼트에 걸리는 전압은 (저항은 -임피던스 포함해서- 전압에 비례하므로....) 1(kV)가 훌쩍 넘어버린다. 이제 막바지 정리 작업이 다가오고 있다. 안테나 지지봉에 엘리먼트를 올리기 위해 염두 해야 할 것을 생각하니 이것저것 경우의 수가 한두 가지가 아니다.

가장 중요한 접지문제가 대두되어 지지대에 용접을 하여 접지선을 이었다. 접지선의 끝을 접지봉에 연결해서 땅에 묻는 과정이 남았지만 생각보다 쉽지 않아서 그렇

다. 접지봉이 최소한 2 m 정도는 지중으로 박혀야 하는데 주변 여건상 그렇게 깊이 넣을 만한 맨땅이 없다. 거의가 시멘트포장의 바닥이니 겨우 찾아낸 창고 바닥이 있으나 실제 낙뢰시 효과적인 성능을 발휘할지 의구심이 많이 생긴다.

또한 이런 부분도 염려가 된다. 안테나 지지봉의 재질이 금속 성분이다보니 절연에 대한 걱정이 앞선다. 낙뢰에 의한 접지 조치는 내 생각이지만 최소한 1종 접지는 해야 할 것 같다. 고전압과 대전류는 절연을 파괴시키며 다이폴 안테나용 지지봉에 얼마든지 타고 들어 올 수 있다. 아마도 내가 안테나의 높이를 배전선로에 있는 전주보다 높게 올라가니 낙뢰란 놈이 그냥 수수방관하리라는 없다고 생각하기 때문이다. 그래서 더욱 걱정이 되는 것은 금속 성분의 지지봉을 따라 내려오는 동축케이블에 노이즈를 유발하면서 침투할 공산이 무지 크다.

접지의 중요성을 두 번 세 번 말해 무엇하리요....

1종 접지란 것이 10옴 이하의 접지저항을 가져야 한다. 라고 법규에 나와 있다. 말이 10옴이지 저항이 거의 없는 거나 진배없어 보인다. 낙뢰가 안테나를 타고 지중으로 사라져 버리면 정말 좋겠지만 분명히 낙뢰의 이상전류는 동축케이블에 유도되어 전달되기 쉽고 동축케이블로 유도된 유기기전력 발생은 무선기기의 고장을 초래하고도 남을 일이다. 접지와 관련된 일은 안테나를 직립시키고 난 후에 해도 늦지 않아서 더 이상의 진행은 없는 상태이다.

돈 들이지 않고 자작하려다보니 흔한 자재를 택한 것이 비계를 제작에 사용하는 비계파이프와 강관(steel pipe)을 사용하기로 했다. 그러다보니 엘리먼트와 동축케이블은 제작상 절연에 대한 절연내력이 아주 많이 떨어질 수밖에 없다. 이것을 만회하기 위한 대안을 찾다가 결국은 집에 나돌아 다니는 플라스틱 컨듀트와 1 인치 이하의 PVC 파이프를 절연테이프로 연결해 금속봉에 직 간접적으로 유도되는 낙뢰로 인한 이상전류 유입을 차단하고자 보완사항을 생각하기로 했다.

여가가 되는대로 지지봉에 결속시켜 바로 직립작업과 엘리먼트 고정작업에 착수하고자 맘 먹고 있다. 별 탈 없이 다이폴 안테나 지지봉이 바로 서게 되기를 소망하며 오늘의 일과를 마무리했다.





오늘은 유난히 날씨가 매섭다. 바람이 불어서 코끝을 자극하니 더욱 냉기가 온몸에 퍼진다. 한 시간 남짓 작업을 하니 콧물이 맺힌다. 전날에 이어서 계속적으로 안테나 지지봉에 엘리먼트 연결 보완작업과 동축케이블 고정 작업을 착수했다.

플라스틱 플렉스블 컨듀트(conduit)와 PVC 파이프에 절연 테이프를 감아 그 내부에 동축케이블을 집어넣었다. 지지봉에는 플라스틱 케이블 타이로 부착하여 만들었다. 가능하면 동축케이블이 안테나 엘리먼트와 수직으로 직하되도록 만들기 위해 컨듀트에 집어넣었고 타이로 고정한 것이다. 동축케이블의 절연성을 올리기 위해서도 플렉스블 컨듀트를 사용하면 용이할 것 같아 그 속에 케이블을 집어넣은 것이다.

처음에는 1:1 전압발룬과 초크바룬이 허공에 매달리도록 할 작정이었으나 오늘 불어대는 바람을 보고선 동축케이블에 많은 인장력이 가해질 것 같아 도저히 그냥 달랑달랑 매달려 있게 할 순 없어서 케이블 타이로 사용해 바짝 고정을 했다. 날씨가 추워서 인지 케이블타이가 딱딱해져 너무 잘 부러져 애를 먹었다.

게다가 초크발룬은 금속 지지봉에 바짝 붙을 수 밖에 없는 구조인 탓에 이격을 시킬 묘안이 떠오르지 않아 궁리하다가 마침 고정클립이 나돌아 다니는 것이 보여 상부에는 이걸 달고 하부에는 글루건으로 접착시켰다. 내 생각엔 이 상태로는 절대 오래가기 힘들 것 같지만 처녀 자작품에 대한 기대보다는 경험의 자산 가치로 삼는 게 더 좋을 것 같아 그냥 밀어 붙였다. 강풍으로 인해 부착한 에어 초크발룬이 이탈되어도 큰 욕심 없이 수궁하기로 했다. 케이블 타이 결속 작업이 다 끝나니 안테나 같은 구색이 좀 보이는 것 같다.





2. 소출력 통신용 마그네틱루프안테나(QRP Magnetic Loop Antenna)자작

야외에서 아마추어 무선국을 운용할 때 겪는 가장 큰 난관은 안테나 설치입니다. 특히 단파대 용 안테나는 넓은 면적을 차지합니다. 길고 높은 안테나를 설치하려고 보면 마땅한 위치를 잡기 곤란하죠. 휴대하기 편하고 설치가 간편한 안테나를 찾아본 끝에 마그네틱 루프 안테나(QRP Magnetic Loop Antenna)를 만들어 보기로 했습니다.

아마추어무선 단파 통신용 포터블 안테나의 고심

http://goodkook.blogspot.kr/2014/06/blog-post_6741.html

관련 자료를 찾아 봅니다. 인터넷을 통해 Magnetic Loop Antenna를 검색해보면 많은 정보가 있습니다. 그중 믿음이 가는 자료의 링크 입니다. 마그네틱 루프 안테나를 잘 설명하고 있습니다. DIY Magnetic Loop Antenna by Owen KF5CZ0

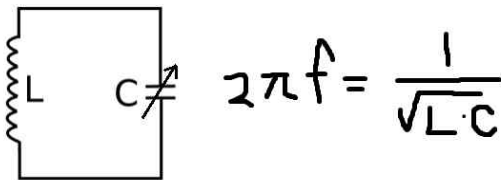
http://www.cvarc.org/new-wp/download/technical/magnetic_loop_antenna.pdf

마그네틱 루프 안테나 설계용 계산기. 안테나 루프의 크기와 대응되는 가용 주파수를 계산해 줍니다.

Magnetic Loop Antenna Calculator

http://www.66pacific.com/calculators/small_tx_loop_calc.aspx

마그네틱 루프 안테나는 두개의 원형 도체(루프, Loop)로 구성됩니다. 작은 루프에 급전한 고주파 전력은 주 루프에 유도되어 복사가 일어납니다. 주 루프의 양단에 가변 콘덴서를 달아 놓음으로써 공진 회로를 구성하는 것으로 별도의 안테나 튜너가 필요 없습니다. 아래의 그림은 마그네틱 루프 안테나의 회로인데 L-C 공진회로 입니다. L 에 해당 하는 부분이 주 루프 입니다.



운용 주파수에 따라 주 루프의 원주길이 (=3.14*지름)를 적절하게 정해야 합니다. L 값이 공진 주파수에 모자라거나 크면 C 로 조절할 수 있습니다.

자료에 따르면 원주 길이는 효율을 위해 사용 주파수 파장의 1/8 이상 되어야 하며, 자기 공진 을 피하기 위해 1/4파장 이하가 되는 것이 좋습니다.

루프 안테나를 다밴드 용으로 사용하려면 L 값을 적당히 고정하고 C 값을 가변 조절 하게 되는데 굉장히 민감합니다. 높은 Q 안테나라서 공진 대역폭이 아주 좁기 때문입니다.

MFJ 사의 마그네틱 루프 안테나의 경우 주 루프는 90cm 가량입니다. 계산해보면 7Mhz용으로는 짧아서 효율(6%)이 떨어지지만 C를 조절하여 매칭 시킬 수는 있습니다. 이 루프로 28Mhz 까지 사용할 수 있습니다.

주 루프의 도체 표면적도 효율의 높이에 중요한 요인이 됩니다. 파이프가 굵을 수록 효율이 높지만 설치하기 매우 까다롭죠. 적어도 직경 1cm 이상은 되는 것이 좋습니다.

주 루프의 양단에 높은 고압이 걸립니다. 계산식에 따르면 7Mhz 에서 5와트 출력인 경우 500볼트가 넘고, 100와트 출력에서는 거의 3천 볼트에 육박합니다. 이정도 고주파 전압에서 방전하는 것을 막으려면 극판 간격이 1.5mm 이상 벌어져야 합니다. 결국 정밀 조절이 가능한 고압용 가변 콘덴서를 사용해야 하는데 이를 구하기 어려우니 자작해서 사용하는 경우가 많더군요. 가변콘덴서를 만들려면 정말 많은 공이 듭니다.

가. 송신용(고압)가변 컨덴서 만들기

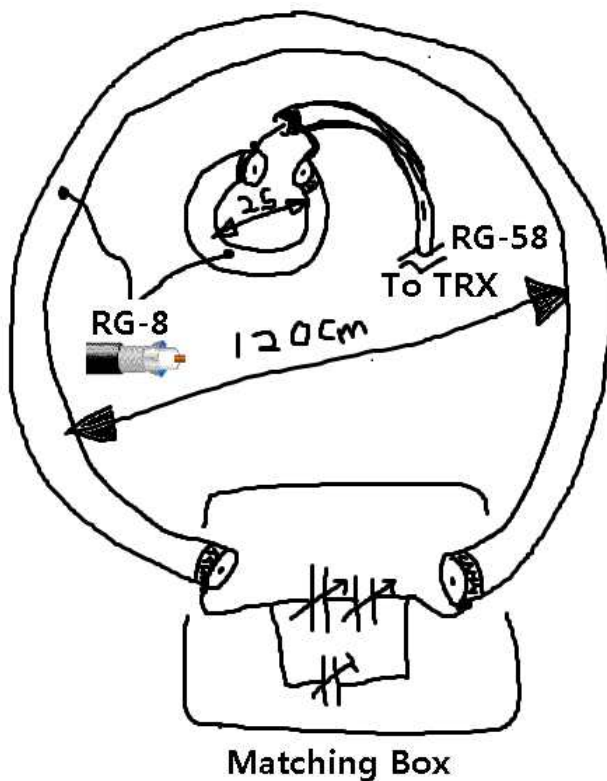
Build Your Own Transmitting Air Variable Capacitor

<http://www.qsl.net/n4dfp/buildcaps.html>

마그네틱 루프 안테나가 간편할 줄 알았더니 조건이 까다롭군요. 다른 상용 루프 안테나를 참고하여 적당한 수준에서 타협을 보기로 합니다.

주 루프는 RG-8 동축 선을 사용하기로 합니다. 지름이 1cm 이상 되어야 한데 RG-8 동축선의 외피가 이에 못미칩니다. 그렇다고 주 루프의 도체로 금속 관을 사용하면 휴대가 불가능 하죠. 일단 RG-8/U로 외피에 알루미늄 호일로 감싸진 것을 사용하기로 했습니다.

주루프의 지름 1.2m로 원주 길이는 3.76m 가 되는군요. 7Mhz 밴드에서 효율이 11%로 개선 되지만 21Mhz에서 C 값이 26pF에 불과하고, 28Mhz 에서는 14pF 입니다. 이정도 용량이면 가변 콘덴서를 상당히 정밀한 조절이 필요합니다.



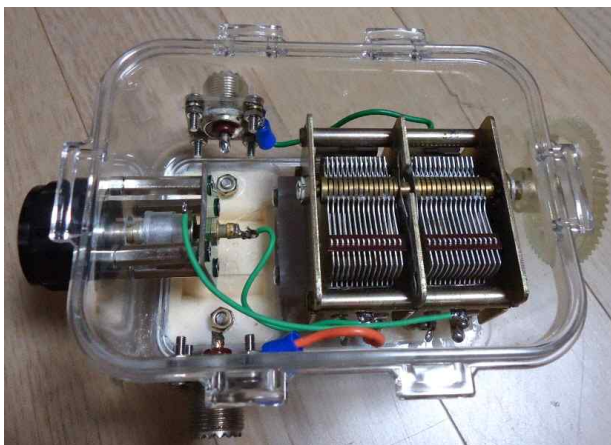
가변 콘덴서 축에 버니어 기어를 달거나 트리머를 병렬로 달아줘야 합니다.

가변 콘덴서 자작은 공이 너무 많이 들어가므로 나중에 미롭니다.

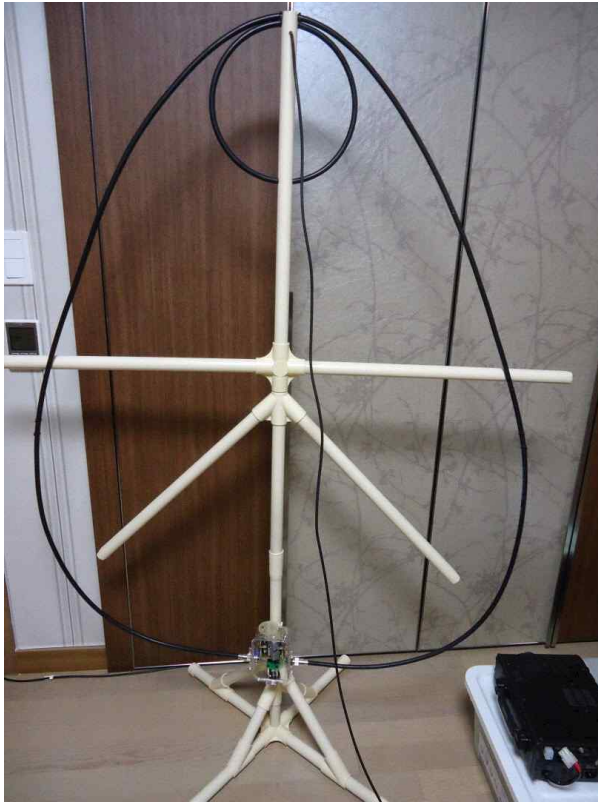
전자공작 카페의 방장님이 선물로 준 것을 사용하기로 했습니다. 로터와 스테이터 간격이 너무 좁아 고출력은 불가능 하겠습니다.

2턴인데 용량도 너무 높아서 직렬 연결 했습니다.

이에 덧붙여 25pF 트리머를 달았습니다. 정크 시장에서 아주 특이한 트리머를 구해냈었습니다.



깡통 형인데 나사산이 나있어 돌려가며 용량을 조절합니다. 정밀조절이 가능하죠.



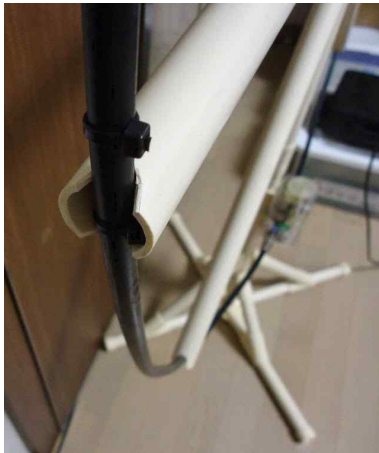
이제 루프를 세워야 합니다. PVC 파이프와 연결구를 이용해 조립이 가능한 구조물을 만들었습니다. 아주 적절한 재료가 있더군요.

<http://itempage3.auction.co.kr/DetailView.aspx?ItemNo=A556495337&frm3=V2>

마그네틱 루프 안테나의 특징으로 지상고에 영향을 받지 않는다는 점입니다. 그 대신 루프의 모양을 제대로 유지해줘야 합니다.

지름 1.2미터나 되는 동축선을 세워놓으면 원형을 유지해 줄리가 없죠. 이런 그림 흔히 보셨을 겁니다.

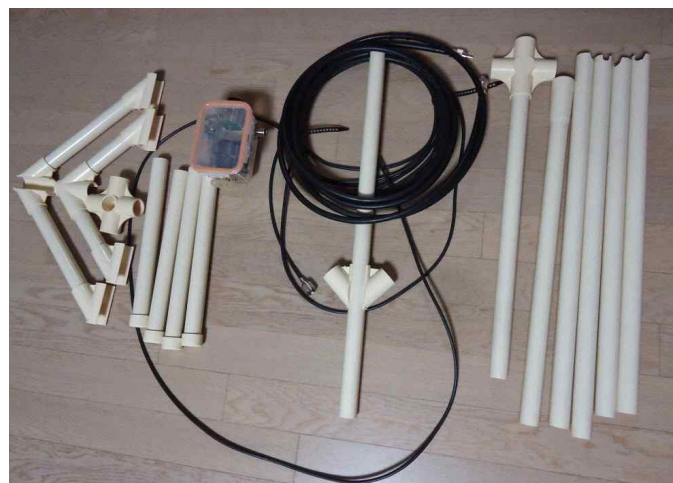
연결구와 파이프를 동원하여 루프 모양을 만들어 줍니다.



두귀통이에 홈을 내서 루프 동축선을 걸고 케이블 타이틀 감아 걸쳐놓은 것이 흘러 내리지 않게 합니다.

해체하면 이렇습니다.

쇼핑몰에서 얻은 형집 장바구니 가방에 다 들어갑니다. 휴대하기 그만이죠.



아파트 실내에서 수신용으로 사용한 바로는 당연히게도 외부에 설치된 롱 와이어보다 한참 못합니다. 하지만 매칭 박스는 출력 5W 에서도 매칭 잘 됩니다. SWR 1:1



로 맞춘다는 것이 안테나의 성능을 의미하진 않지만 어쨌든 예상대로 작동 하는군요. 현재 가변 컨덴서의 내압용량 때문인지 5W 이상 출력을 낼 수 없군요.

주의: 주 루프가 연결된 금속 외피를 만지지 마시오. 저출력에도 감전될 수 있음. 한 5W 가량 출력일 때 살짝 만져봤는데 찌릿~ 따끔~ 합니다.

IX. ARDF 수신기

1. GLCD 초기화

Nokia 5110 Mono GLCD를 자유자재로 구동하려면, 메모리 어드레스 방식을 완전히 이해해야 합니다. 이 LCD의 어드레스 지정방법을 익히기 위해서 데모프로그램을 만들어 봤습니다. 의도한 대로 잘 작동하네요. 이젠, 이 LCD를 실제 회로에 응용하는 것도 얼마든지 가능할 것 같습니다.

가. 어드레스 지정방법

노키아 5110 LCD의 화면은 가로 84dot x 세로 48dot으로 구성되므로 화면의 위치를 지정할 때, 가로(X좌표)는 0 ~ 83을 지정하면 됩니다. 그런데, 세로(Y좌표)는 0~47을 지정하면 될 것 같은데, 실제 지정 가능한 Y좌표값은 0~5 범위를 입력해야 합니다. 즉, 세로 좌표는 실제 위치가 아닌 DDR 램의 Bank번호를 지정해야 합니다. 예를 들면, 아래 그림에서 점 A ~ H의 어드레스 지정은 아래 표처럼 해야 합니다. 아래 그림에서처럼 임의 점의 어드레스를 지정할 때는, X좌표는 그대로 지정하면 되지만, Y좌표는 실제 값이 아닌 Memory BANK (즉, Font가 표시 될 행번호)를 표시해야 합니다.

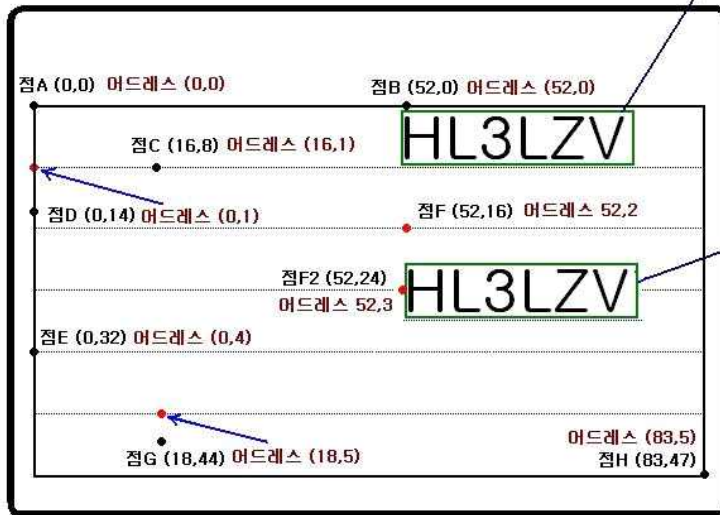
<< 점의 위치별 어드레스 지정법 >>

구 분	실제좌표 (X,Y)	어드레스(X,Y)	비 고
점 A	0, 0	0, 0	첫째 줄, 좌측 최상단
점 B	52, 0	52, 0	첫째 줄
점 C	16, 8	16, 1	둘째 줄
점 D	0, 14	0, 1	둘째 줄
점 E	0, 32	0, 4	다섯째 줄
점 F	52, 16	52, 2	셋째 줄
점 F2	52, 24	52, 3	넷째 줄
점 G	18, 44	18, 5	여섯째 줄
점 H	83, 47	83, 5	여섯째 줄, 우측 최하단

NOKIA 5110 Mono GLCD 어드레스 지정법

HL3LZV 폰트의 표시방법 -1

먼저, 점B의 어드레스 52,0을 지정
HL3LZV의 데이터 36바이트를 전송



HL3LZV 폰트의 표시방법 -2

먼저, 점F의 어드레스 52,2를 지정

HL3LZV 36바이트 전송

점F2의 어드레스 52,3을 지정

HL3LZV 36바이트 전송

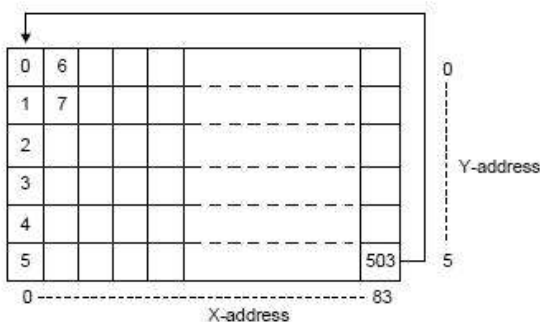
나. 어드레스 자동증가 방식

어드레스를 지정하면 1 바이트를 표시할 때마다 어드레스 값이 1씩 자동 증가하는데, 증가 방법은 수평모드와 수직모드가 있습니다. 어드레스값이 자동증가하는 순서는 아래 그림과 같습니다.

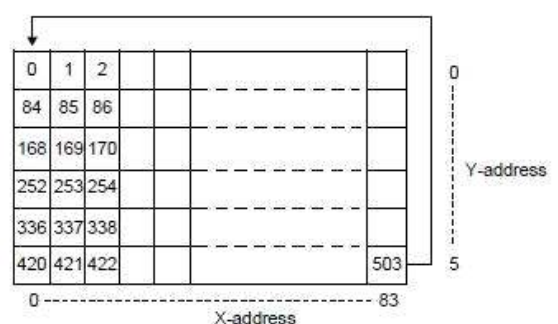
GLCD를 초기화시키면 어드레스가 X=0,Y=0(화면 좌측최상단)으로 자동 지정되고, 매 바이트마다 어드레스 값이 1씩 자동증가(수평모드)하므로 화면 좌측 최상단부터 데이터를 표시할 경우는 따로 어드레스를 지정하지 않아도 됩니다. 화면 위치가 우측 최하단일 경우 다음 바이트는 좌측 최상단으로 어드레스 값이 자동으로 변환됩니다. 수직는 명령코드 &H22, 수평모드는 명령코드 &H20 으로 지정합니다.

어드레스 자동증가 순서

수직모드 (명령코드 &H22)



수평모드 (명령코드 &H20)



다. 어드레스 지정 소스코드

어드레스 지정을 위해서 서브루틴 Position을 만들었습니다. 따라서 어드레스를 지정할 경우 X,Y의 어드레스 값을 지정하고 서브루틴을 호출하면 됩니다.

즉, 어드레스를 X=40, Y=3으로 지정하려면 단지 Position 40,3 로 코딩하면 됩니다. 써브루틴 Position은 아래와 같습니다.

```
Sub Position(byval X_data As Byte , Y_data As Byte)
    Dc = 0          Ce = 0
    Y_data = Y_data Xor &H40      X_data = X_data Xor &H80
    Spiout Y_data , 1             Spiout X_data , 1
    Ce = 1          Dc = 1
End Sub
```

라. 어드레스 변경 DEMO 프로그램

써브루틴을 활용해서 어드레스를 지정하는 다양한 방법의 데모프로그램을 작성해 봤습니다. 프로그래밍 순서는 아래와 같습니다.

Nokia5110_address_test_HL3LZV_131101.bas

Nokia5110_address_test_HL3LZV_131101.hex

데모 프로그래밍 순서

- 가) 문자 "H"를 좌측 최상단부터 우측 최하단까지 가득 채우고 지우기
- 나) 문자 "H"를 좌측 최상단부터 우측 최하단까지 이동시키기 (수평모드)
- 다) 문자 "H"의 데이터를 좌측최상단부터 우측최하단까지 이동시키며 화면에 표시하기 (수직모드)
- 라) 문자 "H"를 좌측 최상단부터 우측 최상단까지 이동시키며 표시하기
- 마) 문자 "H"를 우측 최하단부터 좌측 최상단까지 이동시키며 표시하기
- 바) 화면 임의 위치에 "HL3LZV" 표시하기

2. ARDF 수신기

- 가) 기본 컨셉
- 나) 전원 회로
- 다) RF 회로
- 다) 디지털 회로
- 라) Audio Amp회로
- 마) Casing
- 바) PCB Artwork
- 사) 소프트웨어 흐름도
- 아) Antenna
- 자) 조립 순서 및 동작확인

가. DIY 전자공작의 르네상스를 꿈꾸며

요즘 DIY 전자공작에 대한 열기가 예전만 못한것 같지만, 사실, 바로 지금이

DIY 전자공작의 황금시대라고 할 수 있습니다. 잘 찾아보면 우리 주변에 값싸고 성능 좋은 전자부품이 차고 넘칩니다. 이 부품들을 잘 활용하면, 한 차원 높은 DIY 전자공작을 만끽 할 수 있습니다.

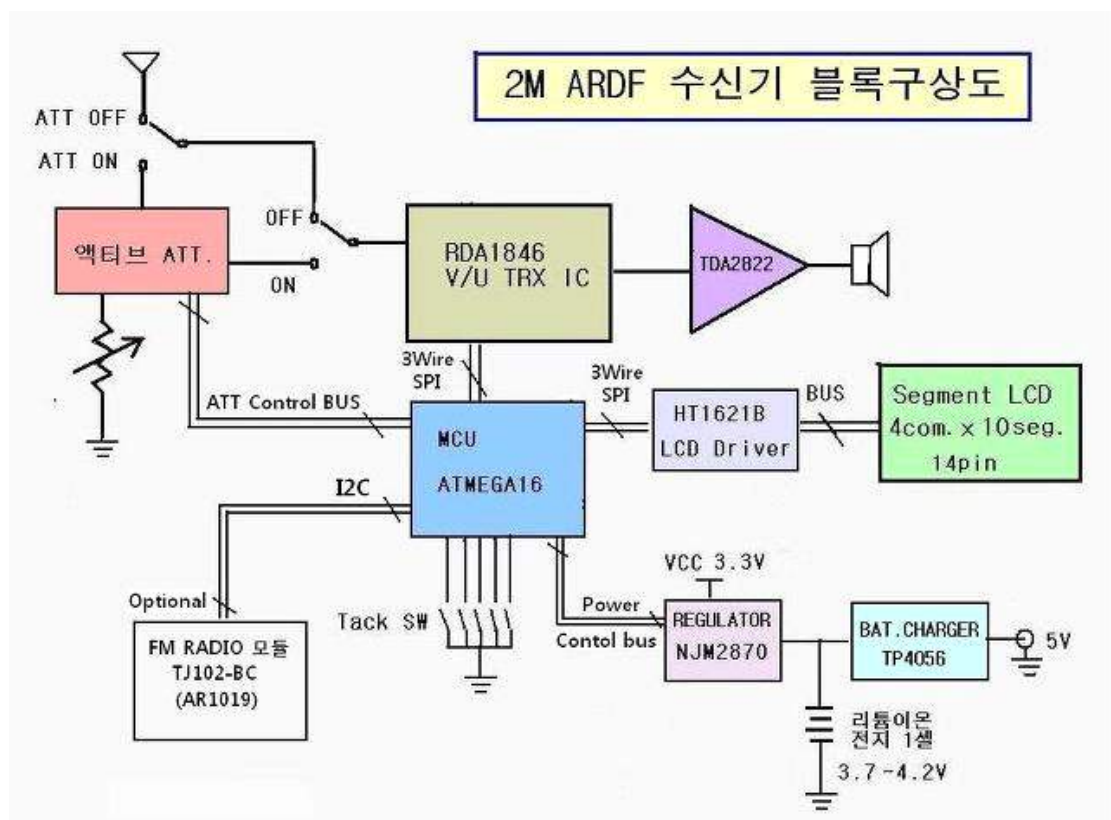
예를들면, RDA1846이라는 5mm x 5mm 크기의 IC가 있습니다. 이 조그만 칩속에는 VHF/UHF 트랜시버의 모든 핵심기능이 내장되어 있습니다. 외부 부품 몇 개를 추가 하고 MCU로 제어하면 바로 고성능의 듀얼밴드 수신기를 만들 수도 있습니다.

며칠전, 6K5VLI 박정환 OM님께서 ARDF수신기가 필요하다고 올리신 글을 보고, 이 RDA1846을 이용한 2M ARDF수신기 제작 프로젝트를 시작해 보려고 작성했습니다.

정보공유 차원에서 앞으로 10회에 걸쳐 글을 쓰면서 아는 범위 내에서 가급적 자세히 설명하면서 프로젝트를 진행해 보도록 하겠습니다. "시작이 반이다" 라는 속담이 있지요. 회원 여러분의 관심이 크면, 시작이 반보다 훨씬 더 클 수도 있다고 생각합니다.

나. 2M ARDF 수신기의 블록구상도

사실, 정철휘님께서 무상으로 양도해주신 MC13135 30개를 활용할까도 생각해 봤었지만, 부피가 더 작은 ARDF수신기를 만들기 위해서 RDA1846 을 사용한 회로를 구상하게 되었습니다. 블록 구상도는 아래와 같습니다.



다. ARDF 수신기의 기본 기능

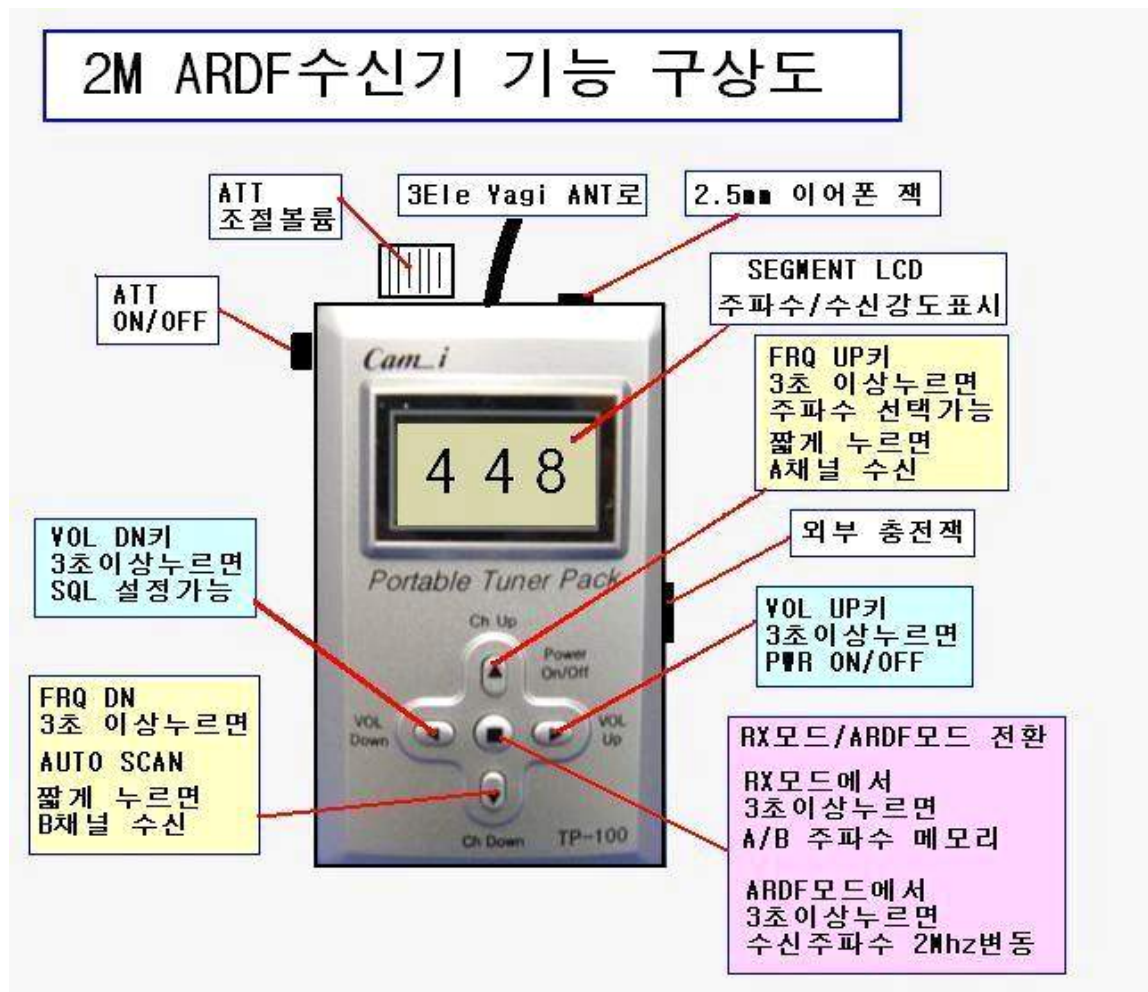
- (1) 수신주파수 범위 : 140.00 ~ 149.99 Mhz (20 KHz Step 주파수전환)
- (2) 수신방식 : Narrow FM (12.5KHz / 25KHz 전환가능)

- (3) S미터 수신강도표시 : 0 ~ 1023 단계 (0.3dB Step) SEGMENT LCD에 숫자로 표시
- (4) 음량조절 : 0 ~ 255단계 디지털 볼륨 (Tack SW로 조절)
- (5) 최저수신감도 : -125dbm @ SINAD 12dB
- (6) ATT : 2Mhz Split Active 감쇄기
감쇄비 최저 -60dB, 200K 볼륨으로 조절, 5M 거리에서 발신기 방향 탐지 가능
- (7) 수신기 케이스 : 불용자재 튜너팩 소형 케이스 활용
- (8) 전원 : 3.7V 리튬이온 전지 1셀
- (9) 음성출력 2.5 mm 헤드폰 / 이어폰
- (10) 주파수 표시 : 3.5 digit Segment LCD
- (11) ANT : 3 Element Yagi (수신기 분리 또는 일체형)
- (12) 예상 소비전류 : 100 ~ 150 mA

라. 수신기 본체 기능 구상도

수신기 본체를 야기안테나에 부착하고 사용하거나,
ARM BAND로 팔에 고정하고 사용할 수 있도록 설계합니다.

수신기의 기본 기능은 아래 구상도와 같은 기본 컨셉을 갖고 프로젝트를 시작할 생각입니다.



마. 비용은 얼마나 될까?

본 프로젝트를 진행하는데 소요되는 예상비용을 적어봤습니다. 물론 실제과정에서는 약간의 증감이 있겠죠... 따라서, 총 비용은 상상에 맡깁니다.

- 케이스와 SEGMENT LCD (불용자재 활용)
- RDA 1846 : 4000원
- ATMEGA16 : 2000원
- PCB : 2500원
- 3 ELE 야기 안테나 (스틸철자, 알루미늄 붐대사용) : ???
- 기타 부품 : 5000원 첨부된 파일 4개▼

DIY 공작에 있어서 가장 기본적이고 쉬운 회로가 전원회로라고 할 수 있습니다. 하지만, 쉽다고 절대로 소홀하게 취급해서는 안됩니다. 전압과 전류관계를 꼼꼼히 체크하고 노이즈 대책도 충분히 세워야 합니다. ARDF 수신기의 전원회로 구성에서 고려할 점을 살펴보겠습니다.

1) 전원은 리튬이온전지를 사용합니다.

요즘은 거의 모든 휴대용 기기에는 리튬이온 전지를 사용하고 있습니다. 리튬이온 전지를 사용할 경우, 제품의 크기와 무게를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 건전지 구입비용이 절약되며, 케이스 선택폭이 훨씬 넓어지는 장점이 있습니다.


본 ARDF 수신기에는 사용하지 않는 구형 핸드폰용 리튬이온 전지를 재활용하려고 합니다.



전지의 크기는 약 54mm x 34mm x 5mm 인데 사용할 케이스와 크기가 꼭 맞습니다. 오랫동안 사용안하고 보관하던 것이지만 전압은 3.96V가 측정되네요. 정격용량은 1,100mA 로 넉넉한 편이고, 배부름 현상도 보이지 않습니다. 수량도 넉넉하게 있는 편이구요. 이 전지를 한 동안 걱정 없이 잘 사용할 수 있을 것 같습니다.

2) 전압은 3.3V 정전압을 사용합니다.

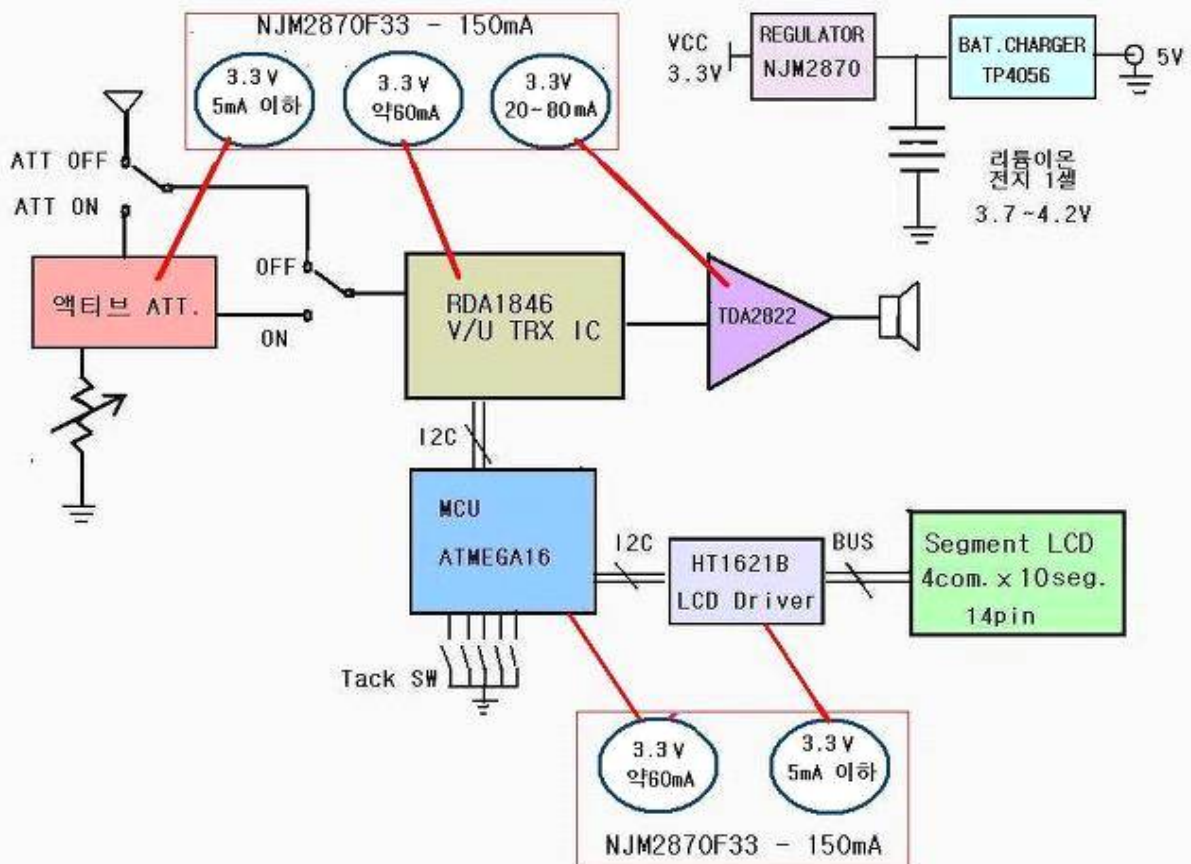
리튬이온 전지의 전압을 정전압 IC를 사용하여 3.3V로 낮춰 사용합니다. AMS1117과 같은 LDO를 사용해도 되지만, AMS1117은 콘트롤 핀이 없기 때문에 Tack SW로 전원을 ON/OFF하도록 회로를 구성하기가 약간 번거롭습니다. 따라서, 콘트롤 단자가 있는 LDO를 사용하는 것이 편리합니다. 마침, 정크 박스를 찾아보니 핸드폰등 휴대용 제품에 많이 사용하는 NJM2870F33 이란 LDO가 있네요.

 NJM2870_datasheet.pdf

이 LDO는 최대 150mA를 출력할 수 있는데, 일반적으로 이 정도 전류로도 ARDF수신기를 사용할 수 있기는 합니다. 하지만, ARDF 수신기의 소비전류를 예측해 보니, 순간적으로는 최대 250mA정도 필요할 경우도 있을 것으로 예측되어 전류 부족 현상이 생길 가능성이 있습니다.

따라서, NJM2870F33 2개를 사용하는데, 하나는 MCU와 LCD용 전원으로 사용하고, 다른 하나는 RF회로와 Audio AMP 전원용으로 사용하여 전체적으로 공급전류가 충분한 여유를 갖도록 구성했습니다.

ARDF수신기 예상소비전류



ARDF수신기의 부피를 최소화하기 위해서, 스위치는 택스위치만 사용합니다.

전원을 ON/OFF도 Tack SW를 사용 합니다. 두 개의 LDO는 하나의 택스위치로 연동되어 on/off 됩니다. 택스위치로 전원을 ON/OFF하는 회로구성은 아래 사이트의 글을 참조했습니다.

<http://ezcircuits.net/zbxe/Lab/1012>

3) 정전류 충전회로를 함께 구성했습니다.

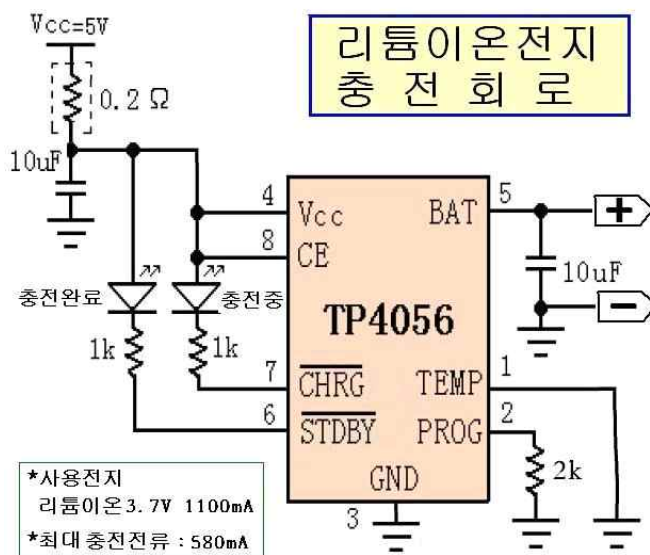
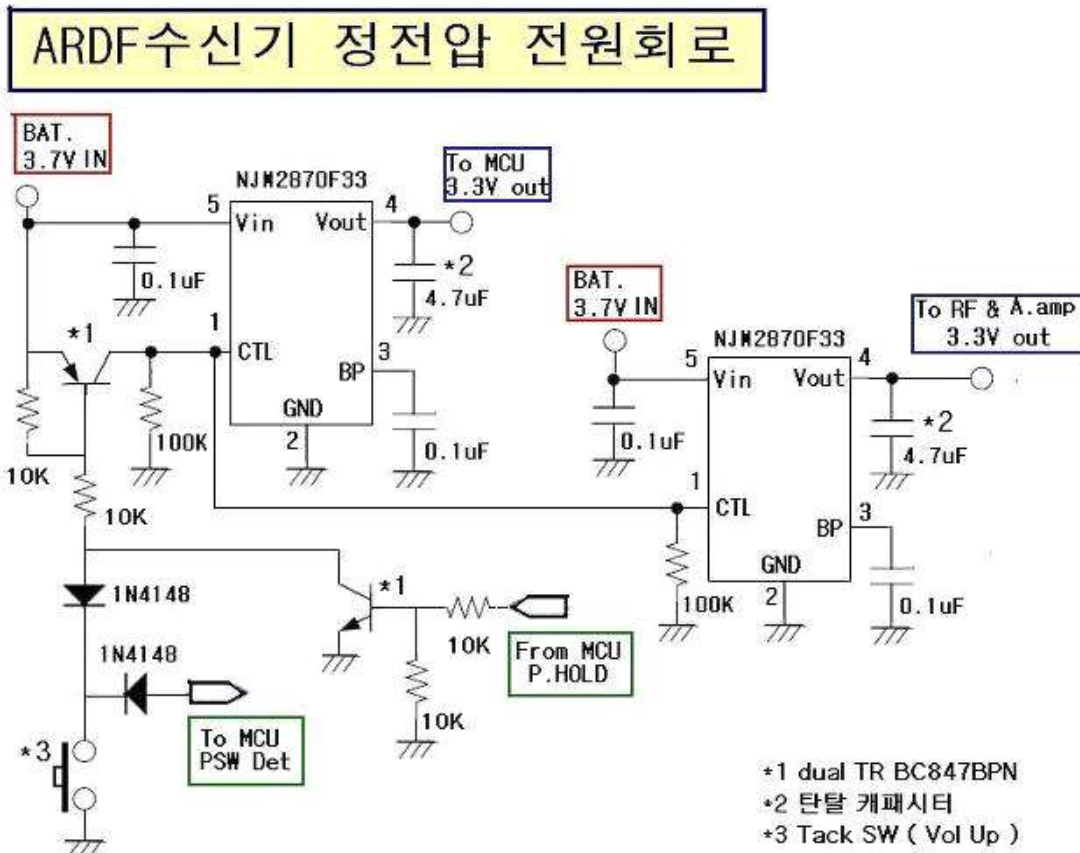
ARDF 수신기에 내장된 리튬이온 전지를 충전하기 위한 충전회로를 내장하면, 전용충전기가 없어도 USB단자의 5V 전원을 이용하여 간편하게 충전할 수 있습니다. 따라서, ARDF 수신기 내부에 TP4056를 사용한 충전회로를 포함시킵니다.

TP4056_datasheet.pdf

TP4056은 1A까지 충전할 수 있는데, 저항을 바꾸면 최대 충전전류를 조절할 수 있습니다. 1100mA짜리 전지를 사용하므로, 전체 용량의 1/2정도인 580mA가 최대 충전전류가 되도록 TP4056의 2번핀과 GND사이에 2K 저항을 연결해 줍니다.

온도감지 회로는 사용하지 않습니다. 따라서 TP4056의 1번 핀을 GND에 연결합니다.

ARDF수신기에 사용할 정전압 전원회로는 아래와 같습니다.



데이타시트를 참조해 작성한 충전 회로는 아래와 같습니다.

가) 핵심부품은 원칩 TRX IC인 RDA1846 본 ARDF수신기의 핵심기능은 원칩 VHF/UHF TRX IC인 RDA1846으로 구현합니다.

크기가 5mm x 5mm 정도의 초소형인데 기능은 매우 막강합니다. RDA1846_datasheet.pdf

이 IC는 내장된 DSP(Digital Signal Processor) 를 사용하여 FM신호를 변복조 하는데, 잡다한 부품 없이도, Tone Squelch

, VOX, AFC, AGC, RSSI 등등 막강한 기능을 완벽하게 구현할 수 있습니다. 이 IC에 안테나와 오디오 앰프만 추가하고 MCU로 제어하면 즉시 고성능 듀얼밴드 수신기가 됩니다. 물론 크기도 초소형으로 만들 수 있습니다.

기존 FM 수신방식은 중간주파수가 10.7Mhz, 455Khz인 더블 수퍼헤테로다인 방식을 사용하지만, RDA1846은 내장된 PLL회로를 사용하여 중간주파수를 125Khz(?)로 낮춰 DSP로 처리하는 싱글 컨버전 방식을 사용합니다.

국일호님이 올리신 RDA1846에 관한 이전 게시글을 읽으면 이 칩의 기능을 이해하는데 도움이 됩니다.

<http://cafe.daum.net/elechomebrew/FQLS/67>

Baofeng UV-5R, 육만원 짜리 휴대 무선기

최근에 그 가격 만으로도 굉장한 주목을 받고 있는 듀얼 밴드(2m/70cm 밴드) 휴대형 무선기 UV-5R. 중국제 입니다. 내부에 휴대용 무선기용 변복조를 처리하는 DSP 가 내장되었는데 이 반도체도 RDA 제품이군요. 중국 상해(푸둥)에 위치한 중국 반도체 회사인데 본사는 케이먼 군도에 있습니다. 좀 이상 하지요?

<http://www.rdamicro.com>

UV-5R의 FM 송신 변조도가 약해서 이를 강화하기 위한 개조글 입니다.

<http://www.gorhudson.com/gor/baofeng-uv-5r-low-tx-modulation-mods/>

UV-5R 회로도도 있군요



baofenguv-5r-sch.pdf

RDA1846이라는 칩 내에서 송수신과 관련된 모든 것을 처리합니다. 주파수 조절용 VCO 제어와 버튼 및 표시장치 제어용으로 별도의 MCU 를 사용하고 있습니다. 단지 외부에는 RF앰프, 오디오 앰프, 송신 출력 앰프만 있습니다.

무선 송수신을 담당하는 RDA1846의 내부 구조를 보면 SDR 송수신기가 온전하게 들어있습니다. 휴대전화의 기본 구조도 이와 같겠지요. 작은 휴대장치에 고주파 무선 통신이 가능 하려면 SDR을 단일 칩 내에 넣어놓는 수 밖에 없습니다. (내부 정황이 어떤지 모르지만 핵심 반도체부터 완제품까지 전부 중국 내에서 생산한다는 사실!)

- RF를 직접 받아서 I/Q 로 분리하는 QSD 내장
- VCO 내장
- Q/I 두채널 디지털 변환기 내장(ADC)
- FM 변복조용 DSP 처리장치 내장
- 오디오 출력 아날로그 변환기(DAC)

RDA1846의 내부 구성도를 보면 매우 익숙하죠? IQ 위상 분리와 다운 컨버전을 겸한 QSD 가내장된 전형적인 SDR 입니다.

3. Functional Description

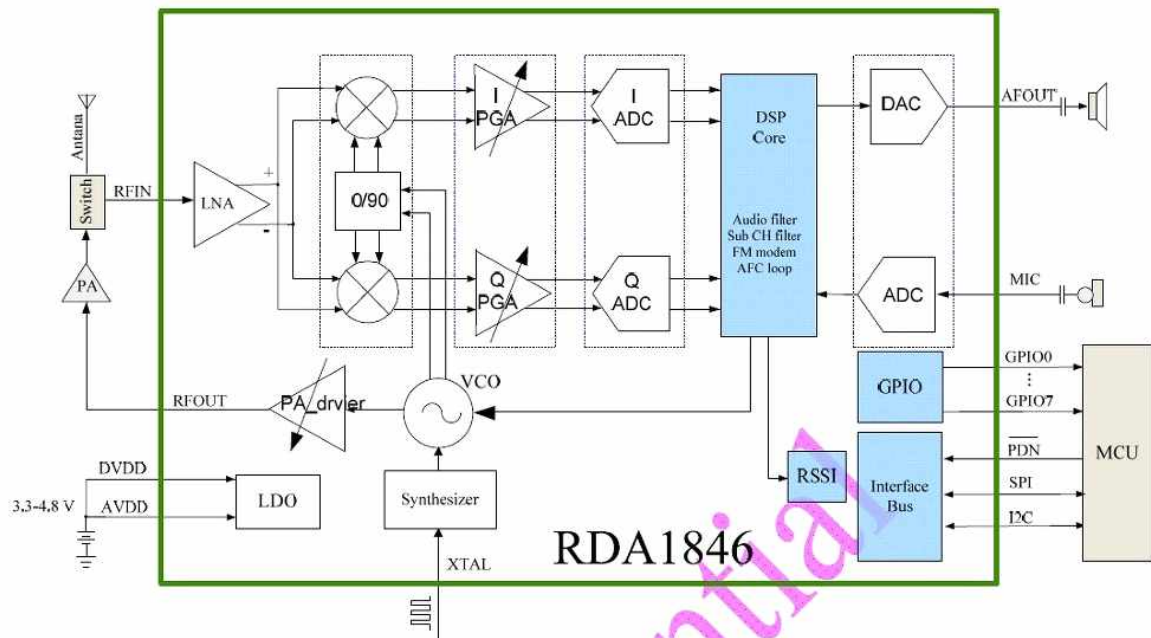


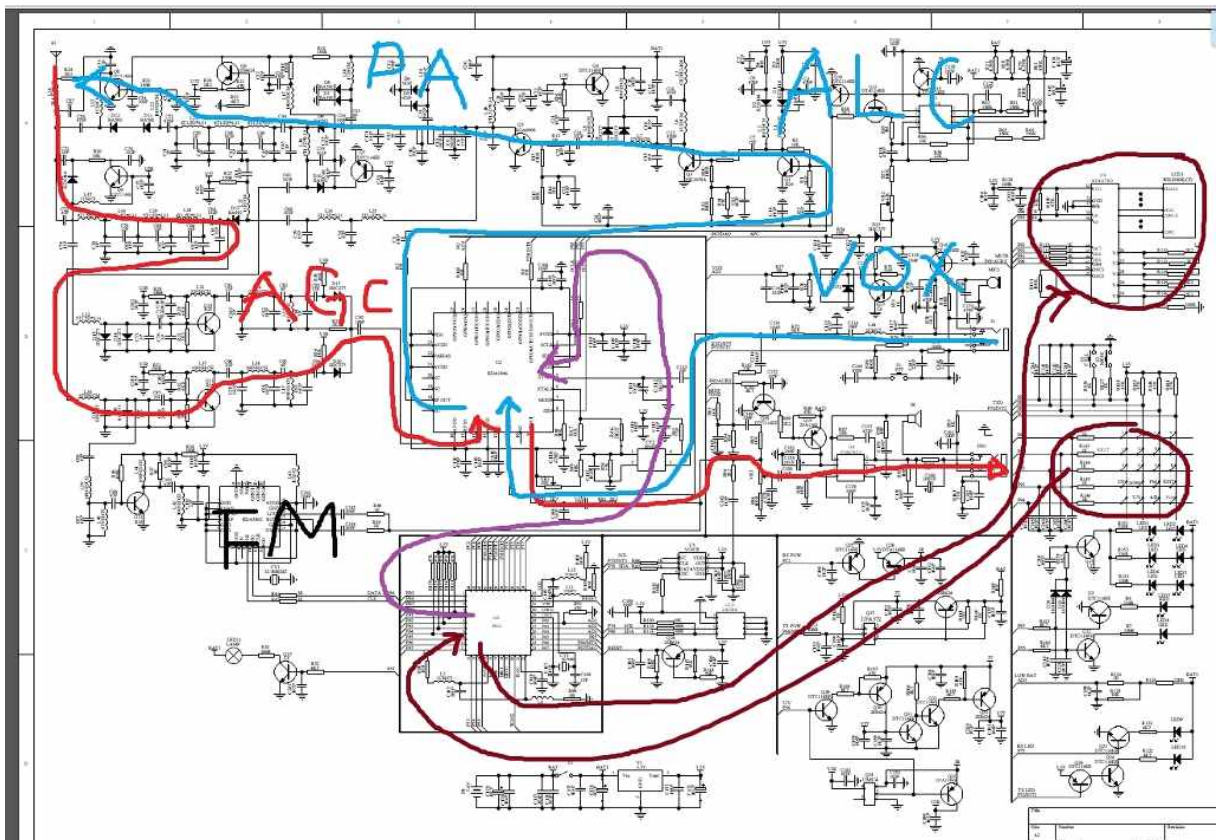
Figure 3.1 RDA1846 Block Diagram

<http://sdr.ipip.cz/datasheets/RDA1846.pdf>

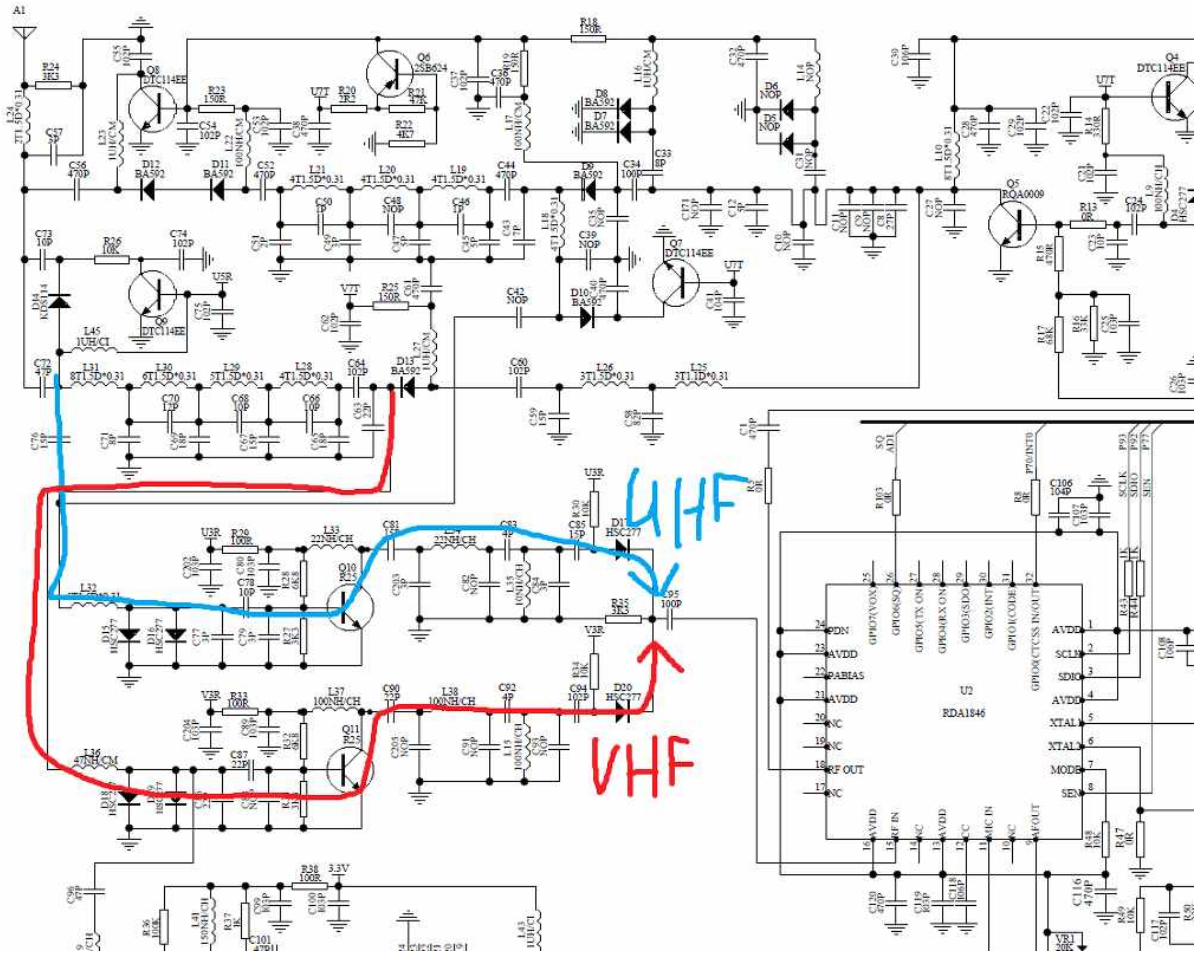
RDA1846.pdf RDA1846_Programming_manual.pdf

그리고 FM 라디오 수신용 전용 칩이 들어있습니다.

2009924214539577.pdf 나름대로 살펴본 UV-5R의 내부 구성입니다.



(수정) 위의 회로 구성 분석 그림에서 AGC라고 되어 있는 부분은 잘못되었습니다. UHF/VHF 수신 필터와 프리 앰프입니다.



회로 구성으로 봐선 제대로 만든 듀얼 밴드 핸드 트랜시버입니다. 다만 MCU 프로그램이 사용하는데는 크게 지장은 없지만 좀 어리버리 합니다. 예를 들면 듀얼 위치와 스플리트 송수신 가능 VFO A/B 가 됩니다. 그런데 듀얼 위치하다가 두 주파수에서 모두 신호가 들어오면 오락가락 하더군요. 가끔 무전기 현재 설정이 원치않게 돌변하기도 합니다. 무전기 메뉴가 무려 40개인데 그중 리셋이 가장 자주 사용해야할 기능이 될 듯 합니다. ㅎㅎㅎ 전반적으로 MCU와 송수신기 칩 사이의 제어가 좀 느리다는 느낌이 듭니다. 주파수 변경, PTT 반응 후 송수신 전환 등등. 어쨌든 경이로운 가격에 아주 잘 만든 무전기입니다.

요즘은 디지털 튜너가 아주 흔하게 사용되고 있습니다. RF 신호를 직접 변환방식으로 대역을 낮추고 I/Q 로 분리한 후 ADC로 변환하여 DSP(Digital Signal Processing) 프로세서로 복조 합니다. 변복조 방식을 디지털 마이크로 프로세서의 소프트웨어로 처리한다고 해서 SDR(Software Defined Radio)입니다. (DSP 참고: <http://cafe.daum.net/elechomebrew/F17t/13>)

다른 디지털 튜너의 내부구조를 보면 대동 소이합니다.

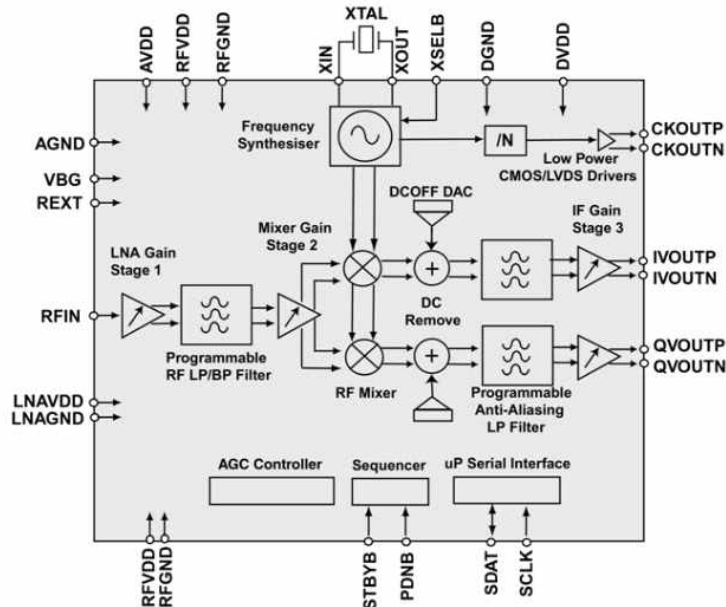


Figure 4: E4000 RF Tuner Block Diagram

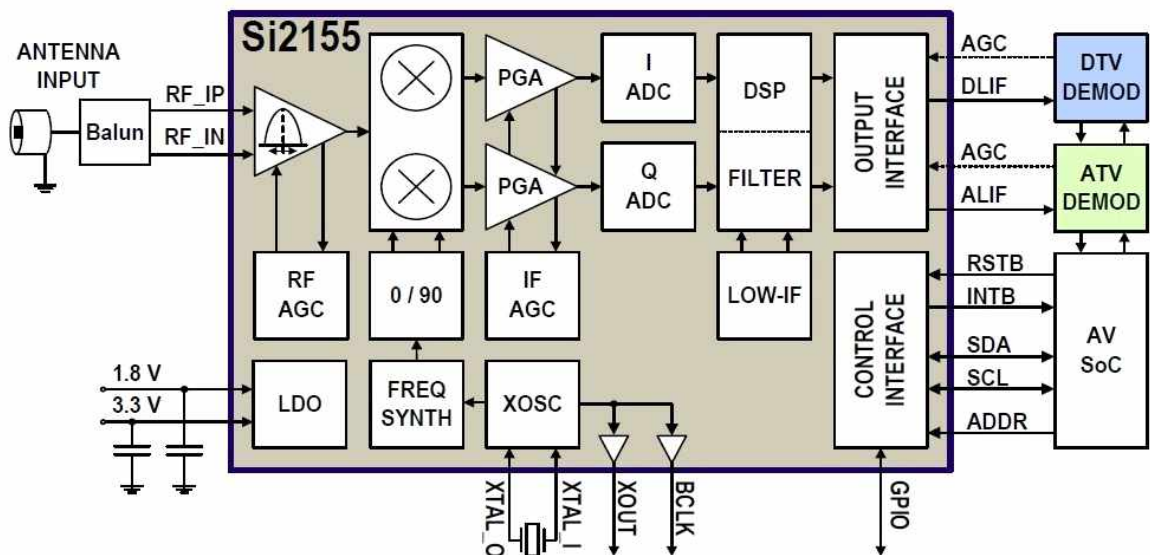


Figure 4. Example of State-of-the-Art Silicon TV Tuner Architecture

현재 U/V 대역(50Mhz~1Ghz)의 디지털 튜너기술은 아주 대중화 되어 있군요. HF 대도 대중화 되어 원칩 SDR 이 나오면 좋을 텐데 쉽지 않습니다. 기술적인 어려움도 있고 상업성도 없어요. ㅠㅠ

U/V 대역은 워낙 주파수 범위가 넓고 채널당 차지하는 대역폭도 넓어서 그리 정밀한 계산을 요구하지도 않구요. 그렇다고 대충 계산한다는 것은 아닙니다. 전파의 파장도 짧아서 동조회로도 작게 만들 수 있습니다. 상업적 필요에 따라 중계기도 많이 달아 놓으니 적은 출력의 휴대 단말기로 운용해도 실용성 있게 됐지요.

HF대용 SDR이라 해서 튜너 칩이 없으란 법은 없습니다. 우리 카페에서 만든 SDR

용 QSD와 PC의 DSP 처리 소프트웨어 구성은 위에서 본 U/V 용 SDR과 똑 같은 구성입니다. (<http://cafe.daum.net/elechomebrew/Dfwt/121>) HF는 파장이 길어 외부에 붙여 넣어야 할 동조회로가 거대합니다. 방송국 하나가 차지할 채널당 대역폭이 좁으니 필터가 매우 정밀해야 하고 혼변조 등 아주 치밀하게 만들어야 하겠지요. 파장이 길어 안테나도 거창해져 중계기를 설치하기도 어렵습니다. 결국 단말기(무전기) 끼리 원거리 통신을 해야하니 송신 출력도 높아야하고 수신 감도도 높아야 합니다. 그래서 HF대용 무전기가 거창한 이유는 여러 가지 입니다.

인용 끝

데이타시트에 표시된 이 칩의 기능을 그대로 옮겨보면 다음과 같습니다.

(1) CMOS 단일칩에 듀얼밴드 송수신기 기능을 완벽하게 구현함.

송수신 가능 주파수 범위 134Mhz ~ 174Mhz , 400Mhz ~ 500Mhz

(2) PLL회로와 VCO회로를 모두 내장함.

(주파수가 안정되어 있고, 디지털방식으로 채널전환하기가 쉽습니다.)

(3) Wide FM(25Khz) / Narrow FM(12.5Khz) 방식 전환가능

(4) 다양한 외부 X-Tal 사용가능 (12.8Mhz/25.6Mhz, 13Mhz/26Mhz)

(5) 디지털 AFC (Auto Frequency Control), AGC(Auto Gain Control) 기능
Pre emphasis /De emphasis의 시간간격 선택 가능

(6) 1023단계 수신신호 강도 표시가능 (RSSI)

이 기능은 ARDF수신기에 꼭 필요한 기능입니다. 일반적인 휴대용 송수신기는 S미터가 실제 수신신호의 세기를 표시하는 것이 아니라 AGC회로로 처리한 신호를 표시하는 경우가 많아서 S미터만으로 정확한 방향탐지가 어려운 경우가 많습니다. 그러나, 이 RDA1846은 RSSI가 실제수신신호의 세기를 0.3dB STEP으로 표시할 수 있어서 전파의 방향 탐지가 훨씬 쉽다고 할 수 있습니다.

(7) 아날로그 및 디지털 방식 볼륨조절 디지털 볼륨을 사용하게 되면, 수신기의 크기가 훨씬 더 작아집니다.

(8) 32ohm 이어폰 직접 구동가능 데이타시트에는, 이어폰을 직접 구동할 수 있다고 표기되어 있습니다. 경우에 따라서는 Audio Amp부를 생략한 초소형 수신기의 구현도 가능하겠죠.

(9) 입력전압 범위 3.3V ~ 4.8V , 자체 LDO 내장 별도의 정전압 회로 없이도 3.7V 리튬이온전지 직접 연결하여 사용할 수 있습니다. 하지만, 전원 ON/OFF를 Tack SW로 제어하기 위해서 LDO를 사용합니다.

(10) 5mm x 5mm , 32pin QFN 패키지

(11) 시리얼 인터페이스 방식 (2선, 3선, 4선 방식의 시리얼 인터페이스가능)

(12) 기타 트랜시버의 부가기능 들

- VOX, SQ, Tone SQ, DTMF 기능 가능
- Auto RX/TX/SLEEP 상태 전환기능
- 8개의 외부 기능 선택핀
- 8dBm PA 내장

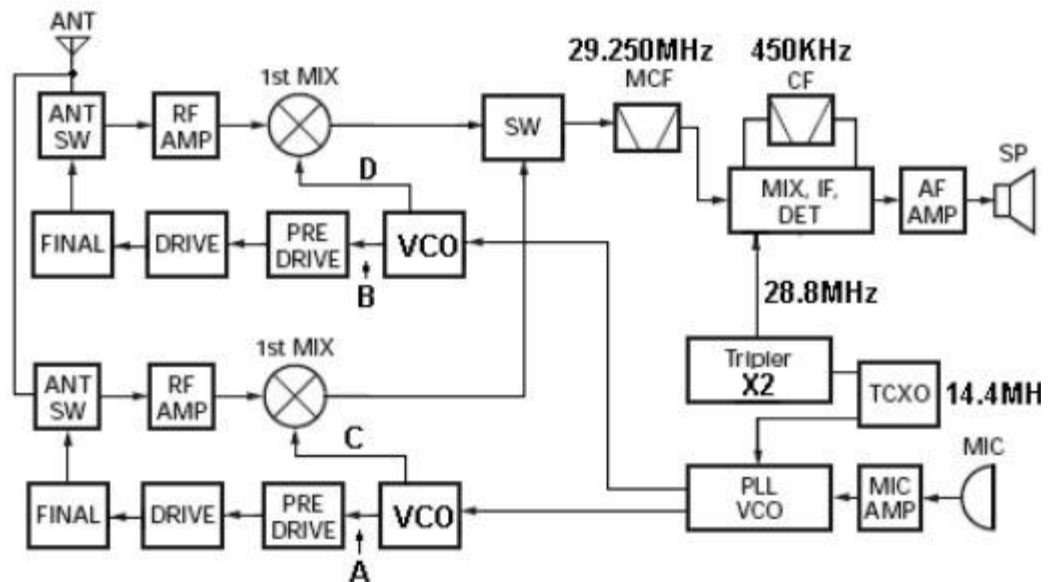
바. UV-5R은 RDA1846이라는 칩

하나에서 주파수 다운 컨버전과 I/Q변환, DSP방식을 내장하여 검파까지 다 처리하게 되어 있습니다. DSP 채용을 마치 대단한 특징인양 자랑하고 있는데 정작 RF 부분은 LNA를 내장하고 있다지만 한계가 있어보입니다. PLL도 내장되어 있습니다. 이 칩의 용도는 무선 전화기의 송수신 단말기용 이라고 합니다. 거의 다이렉트 컨버전 방식입니다. 자료는, <http://cafe.daum.net/elechomebrew/FQLS/67>

KG-UV6 서비스메뉴얼을 찾아봤습니다. 나름 2중 주파수 변환 수퍼 헤테로다인 무전기 랍니다. [service_manual_wouxun_kg_uv6d.pdf](http://wouxun.su/UserFiles/File/service_manual_wouxun_kg_uv6d.pdf)

http://wouxun.su/UserFiles/File/service_manual_wouxun_kg_uv6d.pdf

서비스 메뉴얼을 보면 회로도와 각 부품의 설명이 모두 나와 있네요. 한번 읽어 보셔도 좋을 듯합니다. 이 메뉴얼은 중국 사람이 만들었는지 영어가 동양적(?)이라 읽기도 편해요. ^^



별도의 PLL 이 사용되었습니다. 지금은 TI에 흡수된 내쇼널 반도체의 LMX2336 입니다. <http://www.ti.com/lit/ds/snas100/snas100.pdf>

LMX2336.pdf

CPU는 대만의 E1an 사 것인데 EM78P568 입니다. 가정용 무전기 FRS 용으로 만들어진 CPU로 AD/DA를 내장하고 CTCSS 같은 무전기용도의 주변 장치를 갖추고 있습니다. 마이크 앰프 신호를 직접 받아서 FM 변조기에 연결 할 수 있고 FM 복조기를 연결하여 곧바로 오디오 신호를 출력할 수 있는 특이한 구성입니다. CPU 코어는 일반적인 것은 아니고 자사 모델인가 봅니다.

http://www.datasheetcatalog.org/datasheets2/58/582186_1.pdf

EM78P568.pdf

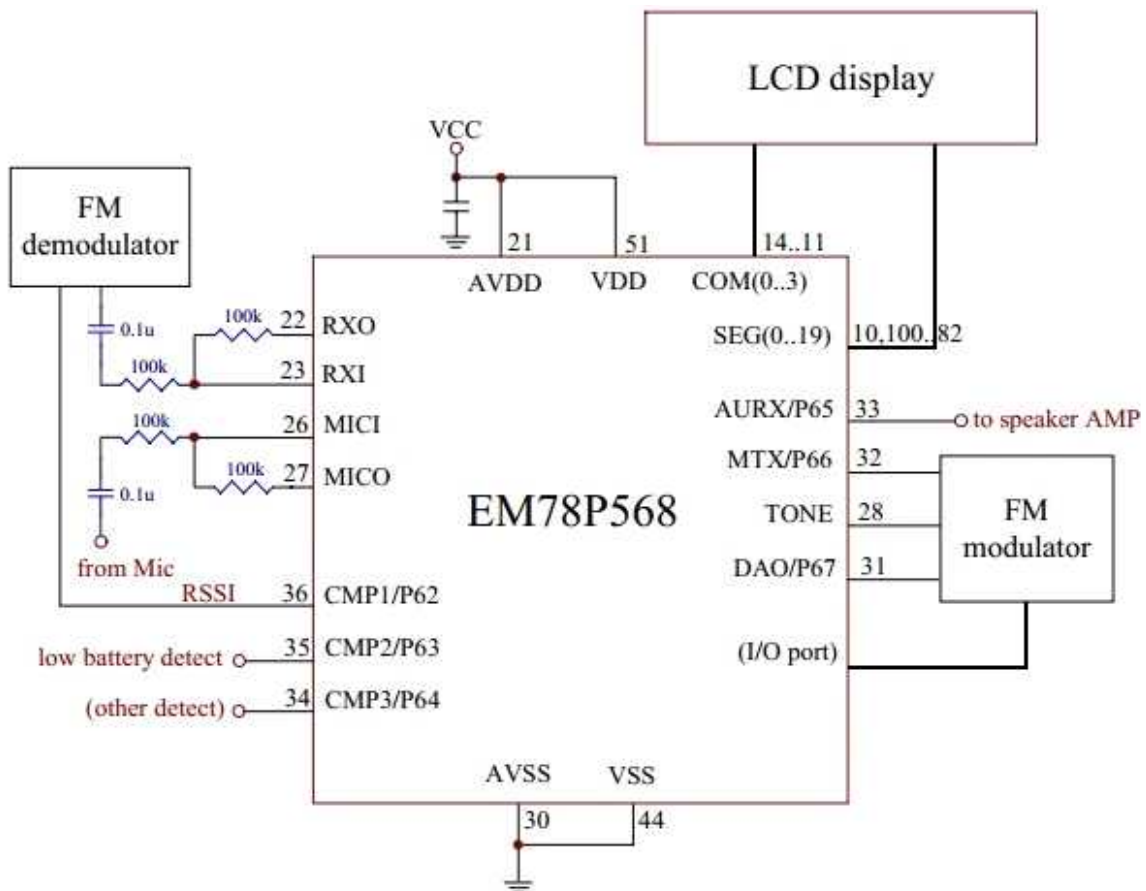


Fig.26 Application circuit for FRS

KG-UV6는 UV-5R 에 비해 제대로 만든 무전기 군요. TV 수신용 USB 동글을 SDR 로... (2) * 방장님께서 QST를 마음대로 볼 수 있게 해주셔서 감사의 표시로 기사 하나 올립니다. ^^

지상파 디지털 방송(DVB-T/Digital Video Broadcasting - Terrestrial/ <http://en.wikipedia.org/wiki/DVB-T>) 수신용 USB 동글이 단돈 20불이면 구할 수 있습니다. 이것으로 국내 TV를 시청할 수는 없습니다. 하지만 기본적으로 50Mhz~2Ghz 에 이르는 광대역 수신기입니다. 이것을 잘 이용하면 SDR 수신기로 사용 할 수 있습니다. 이미 아주 널리 이용되고 있습니다.

이 동글은 E4000이라는 실리콘 튜너

(참조: <http://cafe.daum.net/elechomebrew/FQLS/49> 와

http://cafe.daum.net/elechomebrew/G6aC/37)를 사용하고 USB를 통해 디지털 변환된 I/Q 신호를 PC로 전송하는 RTL2832 로 구성되었습니다. 아쉬운점은 RTL2832 의 ADC가 겨우 8비트 짜리라 품질이 좀 떨어집니다. 하지만 변환 속도가 무려 1MSPS에 이릅니다. I와 Q 두채널을 합치면 SDR 소프트웨어에서 1.8Mhz 대역폭을 볼 수 있게 되지요. 일반 사운드 카드에서 겨우 48Khz, 96Khz였던것을 비하면 그 야말로 넓어도 너무~ 넓죠. ^^ (사실 너무 넓어도 탈 입니다만... ㅠㅠ)

RTL-SDR (RTL 칩을 사용했다고 해서 붙은 이름)관련 정보 사이트입니다.

<http://www.rtlsdr.org/> <http://sdr.osmocom.org/trac/wiki/rtl-sdr>

DVB-T USB 동글의 수신 주파수 대역이 아주 넓습니다. 이것을 가지고 무엇을 수신할 수 있을까요?

UHF/VHF 아마추어 무선통신은 모드에 상관없이 모두 들을 수 있습니다. FM 방송 수신할 수 있습니다. 기상위성을 비롯해 아마추어 위성, 각종 실험 위성신호 들을 수 있습니다. 항공관제 신호도 수신할 수 있습니다. 믿기지 않지만 화성 탐사선이 나 보이며 신호를 들었다는 보고도 있습니다. 한마디로 50~1900Mhz내의 모든 신호를 수신할 수 있습니다. 물론 좋은 안테나를 갖췄을 때 말이죠.

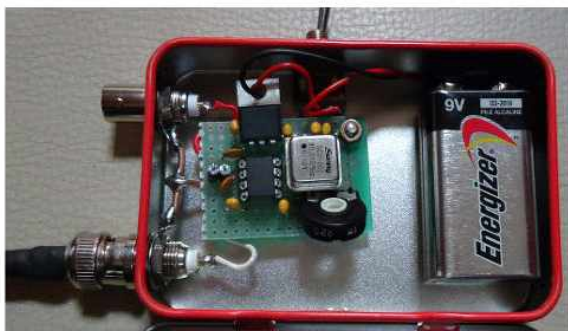
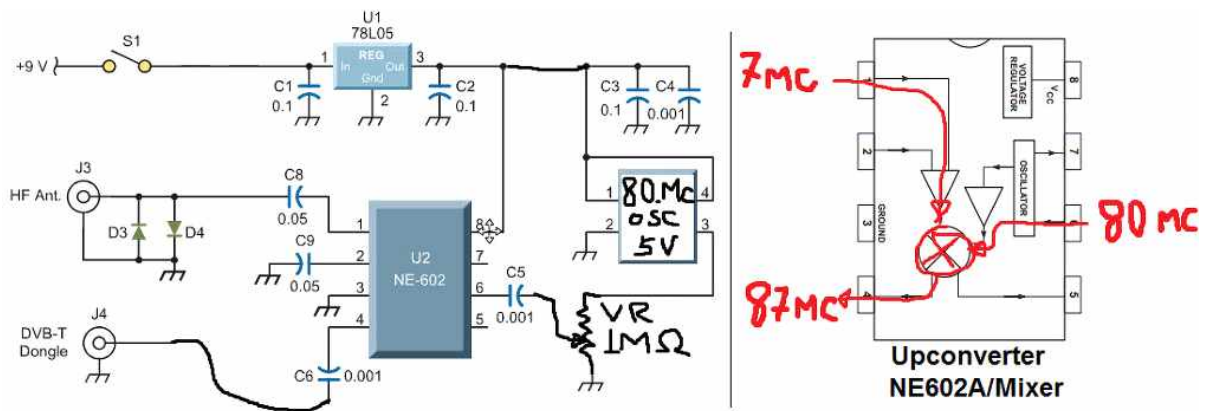
1) 50Mhz 이하의 단파신호 수신하려면?

이 USB 동글에 사용된 튜너칩의 하한 주파수가 50Mhz 정도 됩니다. 이것을 이용해 HF대 수신기로 사용하려면 주파수 변환기가 필요한데요, 마침 QST 1월호에 관련 기사가 실렸더군요.

"Cheap and Easy SDR", Robert Nickels, W9RAN, QST Jan., pp30-36, ARRL

QST_2013_Jan_Cheap_Easy_SDR.pdf

부품 통을 뒤져 가용한 부품으로 오랜만에 땀질좀 해봤습니다.



만들어서 수신도 해봤죠.

일단 해보니... 들어줄 만 합니다. SDR/QSD 가 그렇듯 안테나가 좋아야 합니다. NE602A를 사용한 업 컨버전용 믹서의 로컬 발진기로 그냥 디지털 구형파 오실레이터를 사용하고 컨덴서로 모양을 만들어서 그런지 비가 엄청 내립니다. 안테나 입력쪽에 아무것도 없이 직접변환해 놓은 것이라 저녁에 혼변조 엄청납니다. 안테나 커플러(안테나 매칭 튜너)라도 필수 입니다. 게인을 낮춰서 사용하면 그렇지럭 쓸만 합니다. 장점은 무엇보다도 HF All-Band 입니다. BCL용으로는 좋습니다. 아주~경제적입니다. 그리고 재미 있습니다.

- 실리콘 튜너의 게인 조정하면 신호의 차이가 심하게 나타나는 점에 유의하십시오.

- 특히 게인을 높이면 혼변조가 무지막지합니다. $\pi\pi$

- 주파수 변경이 이뤄지는데 잘 안보이지만 $Lo=80\text{Mhz}$ 를 더한 값입니다.

- 끝 부분에 안테나 튜너를 켜올 때와 꺾을 때 혼변조가 심합니다.

- DVB-T 동글을 구매하시려면 ebay.com 에서 "dvb-t rtl-sdr e4000"로 검색하시면 됩니다. 가격은 19~28불 사이 입니다. B-T 동글을 iPad 에서도 사용할 수 있는지 문의하셔서 제가 드린 답변은 아래와 같습니다.

iPad의 카메라 키트에 연결 할수 있는 USB 장치에 제한이 있습니다. 제가 해본 것으로는 키보드(무선키보드도 동글 포함, 마우스는 않됨), USB 드라이브, 사운드 장치 등 표준 장치만 가능 합니다. 별도의 드라이버 소프트웨어가 필요한 장치는 불가합니다. 그리고 100mA 이상 전원을 요구하는 장치도 불가합니다. 그래서 앰프가 내장된 사운드 장치도 않되죠.

DVB-T는 사운드 장치가 아닙니다. 임의 벌크 장치로 분류되어서 iPad에 연결이 불가할 겁니다. 임의 벌크 장치로 연결된다 해도 iSDR 소프트웨어에서 지원하지 않으면 역시 불가하겠죠. 안드로이드(Android)에서는?

혹시 Android 기반의 태블릿 컴퓨터는 어떨까 싶어 찾아봤습니다. 안드로이드는 애플보다 더 개방적이라 그런지 USB 장치를 붙이는데 제한이 적은가 보네요. 물론 합당한 소프트웨어가 있어야 겠지요. 마침 "SDR Touch"라는 앱이 Google Play에 올라와 있다고 합니다. 자세한 사항은 아래 링크를 참조하세요.

<http://www.hamradioscience.com/android-meets-the-rtl2832u/>

"SDR Touch"라는 앱이 SDR# (Sharp 언어로 작성된 SDR 소프트웨어)의 개발자가 소프트웨어 저작 침해라고 제소해서 약간 분쟁이 있는 모양입니다.

<http://forum.xda-developers.com/showpost.php?p=37680134&postcount=51>

SDR Touch는 C 로 작성되었고 전혀다른 언어로 작성된 SDR#의 알고리즘을 침해했을리 없다고 주장하고 있습니다. 이런 문제가 발생하면 Google Play Store에 등제가 14일간 제한된다는 군요. 만일 SDR Touch를 구글 플레이 스토어에서 받을 수 없다면 직접 받을 수 있는 링크도 따로 있습니다.

<http://martinmarinov.info/SDRTouch.apk>

태블릿 컴퓨터에는 USB 코넥터가 없으니 TVB-T 동글을 꼽으려면 OTG 케이블이 필요합니다. 안드로이드 기반의 갤럭시 노트용 OTG 케이블이 있다고 하네요.

http://www.amazon.com/gp/product/B00825R6ZM/ref=as_li_ss_tl?ie=UTF8&camp=1789&creative=390957&creativeASIN=B00825R6ZM&linkCode=as2&tag=5336653508-20

안드로이드 기반의 태블릿 컴퓨터에서는 DVB-T 동글을 사용할 수 있습니다. 필요한 것은,

- 안드로이드 기반의 태블릿 피씨
- 위 태블릿 피씨용 OTG 케이블
- RTL2832U를 사용하는 DVB-T 동글
- SDR Touch 라는 앱

HF 대를 수신할 수 있도록 주파수 변환해 주는 업 컨버터도 있습니다.

<http://www.hamradioscience.com/ham-it-up-hf-converter/>

아마존에서 54불에 팝니다.

http://www.amazon.com/gp/product/B009LQT3G6/ref=as_li_tf_tl?ie=UTF8&camp=1789&creative=9325&creativeASIN=B009LQT3G6&linkCode=as2&tag=hamradsci09-20

* 마칩 갤럭시 노트가 있는데 OTG 케이블을 구해다 실험해보고 결과 알려 드리겠습니다.

사. ARDF수신기의 필요조건

성능좋은 ARDF수신기의 일반적인 조건은 다음과 같습니다.

- 가볍고 조작하기 쉬운 것
- 수신신호의 강약을 정확하게 알 수 있을 것
- 강한 수신신호를 60dB이상 감쇄하는 ATT기능이 있을 것
- 수신감도가 양호할 것
- 가능하면 AM, FM, CW모드 수신이 가능할 것
- 안테나는 예민한 지향성을 가질 것
- 사용중 수신주파수가 변하지 않을 것
- 적어도 2개 채널을 메모리 할 수 있어야 하며, 쉽게 채널전환이 가능할 것
- 간단한 생활방수 또는 방우 기능을 가질 것

RDA1846은 AM,CW모드 수신은 불가능하다는 조건만 빼곤, 성능좋은 ATT(감쇄기)와 3소자 야기안테나를 부가하면 ARDF수신기가 갖춰야할 모든 조건을 만족할 수 있다고 판단됩니다. 특히, 수신기의 부품 갯수를 크게 줄일 수 있고, 크기도 작아서 RF실드도 쉬운 편입니다. ARDF 수신기의 전체 무게를 줄일수 있어서 경기성적 향상에도 도움이 될 수 있습니다.

아. ARDF수신기의 필수기능 ATTENUATOR

ARDF경기는 지향성 있는 수신장치를 사용하여 발신기의 위치를 빨리 찾는 경기입니다. 발신기에서 멀리 떨어진 곳에서는 발신기의 방향을 가늠하기 쉽지만, 발신기 근처일 경우는 수신신호의 세기가 너무강해서 S-meter가 포화상태로 변합니다. 즉, 안테나를 어느 방향으로 돌려도 S-meter가 최고 상태를 표시하므로 발신기 위치를 가늠하기 어렵습니다. 따라서, ATT를 사용하여 수신신호를 크게 감쇄시키지 않으면 발신기의 방향을 전혀 탐지할 수 없게됩니다. 때문에, 일반 휴대용 트랜시버를 사용하여 ARDF대회에 참가하면 좋은 성적을 거두기가 쉽지 않습니다.

본 ARDF수신기에는 2M신호에 세기를 조절할 수 있는 2Mhz 오실레이터 발진신호를 혼합하여 세기가 조절되는 제3의 신호를 만들어 이를 수신하는 Active ATT를 사용합니다. Active ATT에 관해서는 카페에 올린 이전 글에서 자세히 소개했습니다.

1) IARU에서 정한 S-meter의 기준



앞서 올린 게시글에서, ARDF수신기에서 S-meter와 Attenuator의 중요성을 여러 차례 강조한 바 있습니다. KCC426V를 이용한 2m ARDF수신기에 사용할 Attenuator를 제작하여 실험해 봤습니다.

앞서 소개한 LM3914를 이용한 S-meter는 KCC426V의 입력신호가 -95dBm ~ -65dBm 사이일 경우 대략 3dB스텝의 신호를 LED로 표시할 수 있습니다. 대부분의 HAM교신은 이 범위에 포함되므로 S-meter로 손색이 없지만, 엄밀히 따지면 HAM용 S-meter의 표준규격에는 약간 부족하다고 할 수 있습니다.

하지만 ATT가 부족한 성능을 보완해 준다면 ARDF수신기용으로 사용해도 부족함이 없을 것 같습니다.

참고로 IARU에서 정한 S-meter 관련 기준을 살펴 보면 다음과 같습니다.

- (1) 스텝간격은 6dB
- (2) S9의 기준을 HF밴드의 경우 -73dBm로 하고
- (3) VHF밴드의 경우는 -93dBm으로 하고
- (4) 신호의 변화감지 시간을 8~12mS로 하고, 신호유지 시간은 500mS이상

2) ARDF수신기 ATT의 감쇄폭은 얼마가 좋을까?

ARDF수신기로 전파방향을 탐지할 경우 약한 신호일 경우는 S-meter를 의존하지 않아도 신호의 강약을 판단하는데 어려움이 없는 경우가 많습니다. 따라서, ARDF경기에서 전파 방향탐지의 어려움이 생기는 경우는 대부분 강한 신호를 수신할 때입니다.

ARDF경기에 사용하는 발신기는 출력이 5W이내입니다. 따라서, 발신기의 신호를 3소자 야기안테나로 아주 가까운 거리에서 수신할 경우 신호 세기는 최대 0 dBm 정도로 예상됩니다. 따라서, 수신신호를 S-meter가 작동할 수 있는 범위인 -95 ~ -65dBm사이가 되도록 신호를 줄이려면 최대 감쇄폭이 적어도 65dB는 되어야 합니다.

3) ARDF수신기용 Active Attenuator 회로 및 동작원리

앞서, ATT에 대해 검토해 본 바 있습니다.

<http://cafe.daum.net/elechomebrew/1mW6/38>

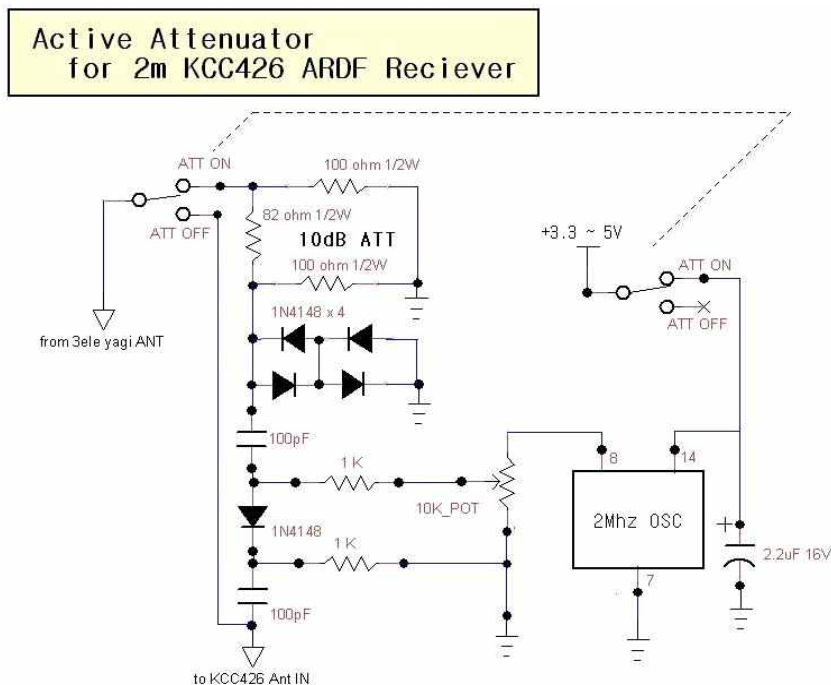
저항으로 간단하게 구성할 수 있는 ATT는 회로가 간단함에도 불구하고 구현하기가 쉽지 않으며, SMD 전용 IC를 이용한 ATT는 부품구입과 가격 때문에 구현이 쉽지 않았습니다. 웹페이지를 검색해보면 2m ARDF용 ATT회로를 쉽게 찾을 수 있는데 직접 만들어서 실험해 보았더니, 회로가 간단하면서도 ATT의 감쇄비가 충분히 ARDF수신기용 ATT로 부족함이 없었습니다. 이번 실험은 NZØI의 Charles Scharlau OM이 쓴 ARDF용 Active ATT 제작 기사를 참조했습니다.

<http://www.qsl.net/nz0i/projects/attenuator/attenuator.html>

ATT의 회로 구성과 작동원리는 간단합니다. 먼저, 안테나에서 입력된 신호는 파이형 ATT회로에서 일단 10dB정도 감쇄됩니다. 10dB ATT 뒤에 다이오드 4개로 구성된 회로는 세기가 1.4V를 넘는 강한신호를 제한하는 회로로 초강력신호에 의

해 수신기의 초단 반도체가 파손되는 것을 방지하는 역할을 합니다. 2Mhz 오실레이터는 3.3~5V 전원을 공급하면 2Mhz의 안정된 RF신호가 출력됩니다. 이 신호를 ARDF 수신기의 안테나에 입력된 신호와 혼합하면 새로운 제3의 신호가 만들어 집니다. 그런데, 이 제3의 신호의 세기는 2Mhz 오실레이터 출력신호의 세기에 따라 변화하게 됩니다. 결과적으로 입력된 신호의 세기를 큰폭으로 조절할 수 있게 됩니다. 물론, 제3 신호는 수신주파수와 +/-2Mhz의 주파수 차를 갖습니다.

즉, 2Mhz 오실레이터 신호의 세기를 매우 약하게 조절하면 주파수 혼합으로 생긴 제3의 신호의 세기를 -80dB 이상 감쇄할 수 있습니다. 단, ARDF발신기의 신호보다 2Mhz 높거나 낮은 주파수로 신호를 수신해야 합니다. ATT를 사용할 때 ARDF



수신기의 수신주파수를 원래의 주파수보다 2Mhz 차이가 나도록 바꾸는 것은 MCU의 프로그램을 약간 변경하면 가능하므로 이 ATT회로를 ARDF수신기에 적용하는 데는 어려움이 없습니다. 실제로 위 회로를 조립하여 실험해 본 결과 수신신호의 세기를 최대 0dBm의 강력한 신호를 -75dB까지 조절할 수 있는 것을 확인할 수 있었습니다.

4) Active ATT의 사용법

Active ATT는 사용 시 일정한 주파수만큼 수신주파수를 변경해 주어야 하기 때문에 Offset ATT라고 부르기도 합니다. ARDF수신기는 케이스의 실드가 완전하지 않을 경우, 강한 신호가 안테나와 ATT를 건너뛰고 수신단의 RF입력단 또는 MIX단으로 건너뛰는 경우도 많기 때문에 지향성안테나와 ATT로 정확한 신호의 세기를 감지하지 못하는 경우도 많습니다. 그러나, Offset ATT를 사용할 경우는 수신기에서 실제로 수신하는 주파수는 ARDF발신기의 주파수와 전혀 다른 주파수이기 때문에 케이스의 실드가 다소 불완전해도 문제없이 사용할 수 있는 장점이 있습니다.

한편, ATT를 작동하고 수신주파수를 변경하지 않아도 볼륨조절만으로 0~ -30 dB정도 수신신호 감쇄가 가능합니다. 따라서, 큰 폭의 감쇄가 필요하지 않은 수신 신호일 경우는 수신주파수를 변경하지 않고, ATT스위치만 켜 상태에서 사용하면 됩니다.

가) 수신 신호가 매우 강한경우만 주파수를

+/- 2Mhz변경해서 사용하면 -20dB ~ -80dB이상의 큰 폭의 신호감쇄가 가능하

므로 발신기와 아주 가까운 거리에서도 전파방향 탐지가 가능하게 됩니다.

위의 회로도대로 조립한 ATT의 감쇄폭을 HP8924C의 스펙트럼 아날라이저로 측정했는데, 측정기의 제한 때문에 -80dB의 감쇄폭까지만 확인할 수 있었습니다.

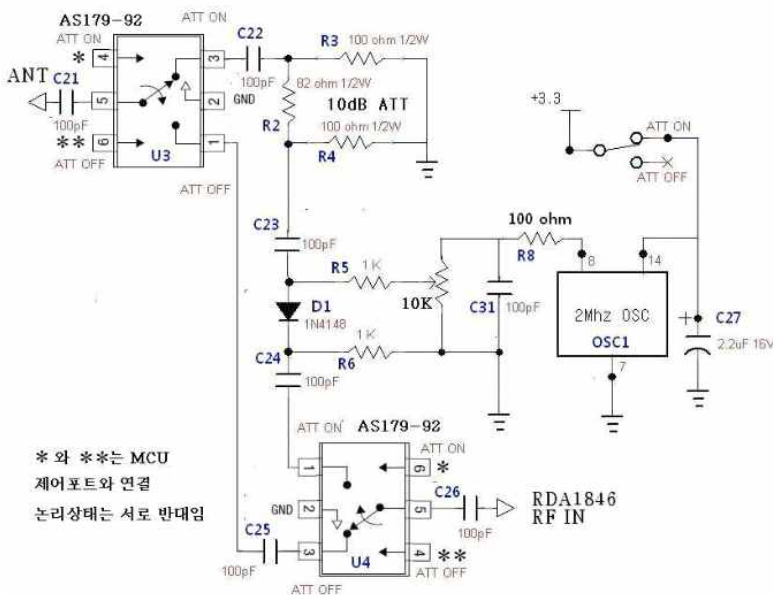
신호 dBm	S미터 작동	신호상태	ATT 사용법
-105	불가	먼 거리 신호범위	일부범위 신호 S-meter 사용불가 대부분 탐지가능
-100			
-90			
-95			
-85			
-80	가능	일반적 신호	S-meter 사용가능 ATT사용 필요없음
-75			
-70			
-65			
-60			
-55	불가	강한신호	S-meter 사용불가 0~30dB 감쇄 필요 액티브 ATT사용 수신주파수 변동없음
-50			
-45			
-40			
-35			
-30		발신기 근처 강한신호	S-meter 사용불가 30~80dB 감쇄필요 오프셋 ATT사용 (+/- 2Mhz)
-25			
-20			
-15			
-10			
-5		초강력 신호	S-meter 사용불가 80~100dB 감쇄필요 오프셋 ATT사용 (+/- 4Mhz)
0			
5			
10			
15			
20			

볼륨의 회전각도로 보아 아마도 최대 감쇄비는 -100dBm 또는 그 이상 일 것으로 판단됩니다.

만일, -80dB 보다 더 큰 감쇄비가 필요한 경우는 수신주파수를 +/- 4mhz로 변경하면 +/- 2Mhz로 변경하여 수신할 경우보다 대략 -15dB정도 더 감쇄할 수 있습니다. 따라서, S-meter의 작동 폭, ATT의 성능을 종합적으로 고려하면 ATT를 아래와 같이 구분하여 사용하면 됩니다.

- (1) -65dBm보다 약한 신호를 수신할 경우 - ATT를 사용하지 않고 수신
- (2) -65~35dBm의 신호를 사용할 경우 - ATT를 사용하되 주파수는 변경 않고 사용
- (3) -35dBm보다 강한 신호를 수신할 경우 - ATT를 사용하되, 주파수를 +/-2Mhz 변경하여 수신.

Active Attenuator
for 2m ARDF Reciever



4) 신호가 매우 강력해서 더 큰 감쇄폭이 필요한 경우 -ATT 스위치를 켜고, 수신 주파수를 +/- 4Mhz로 변경하여 수신하면 됩니다.

본 ARDF수신기의 Active ATT회로는 이전에 실험한 회로를 약간 수정하여 사용합니다.

단, 기계적인 스위치대신 RF전자 스위치를 사용하여 부피를 최소화하고 MCU로 ATT를 간단하게 제어할 수 있도록 구성하는 점만 달라집니다. RF 전자스위치는 SKY WORKS사의 AS179-92/LF 2개를 사용합니다.

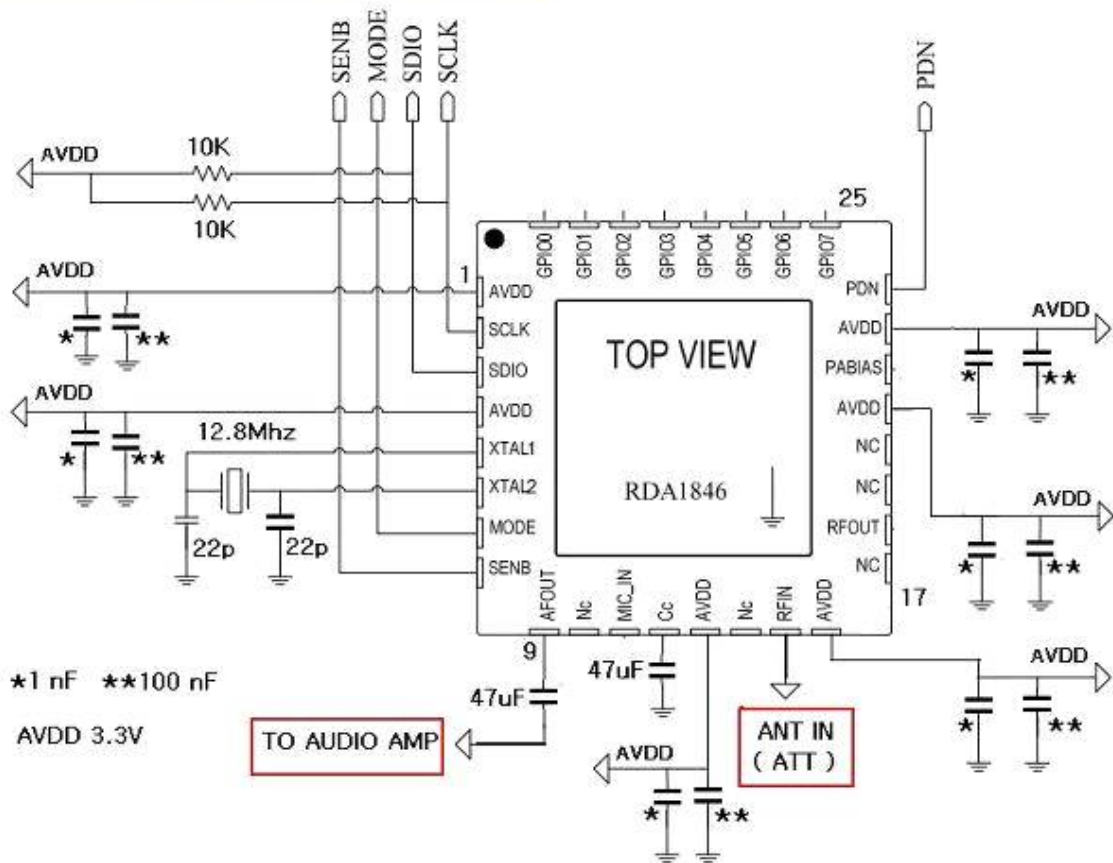
(<http://cafe.daum.net/elechomebrew/ImW6/46>

AS179_datasheet.pdf

본 ARDF수신기에 사용할 Active Attenuator의 회로도는 아래와 같습니다.

4) RDA1846 2M 수신기회로

RDA1846 수신기회로

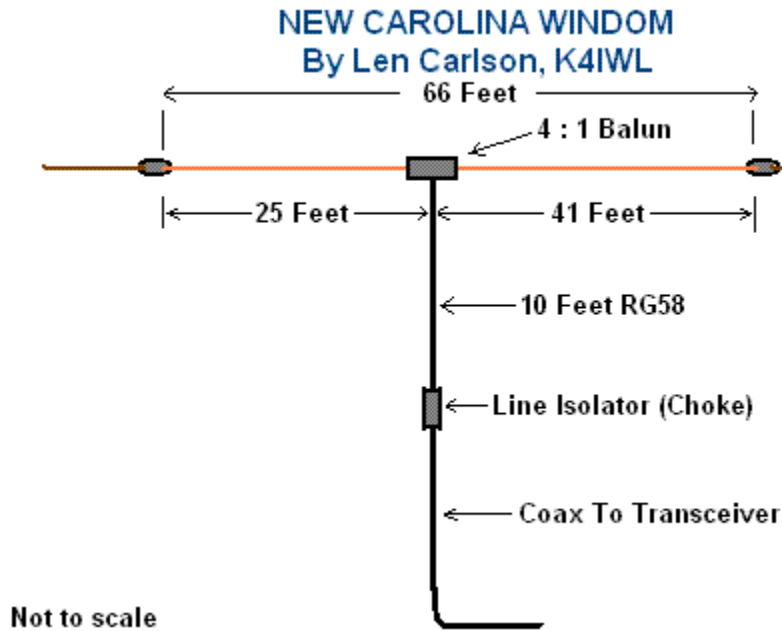


IX. 캐롤라이나 윈덤 안테나

Carolina Windom Antenna

G5RV 안테나가 와이어 계열 안테나인데 수평 및 수직 복사가 가능한 구조라고 하지요. 그래서 수직 안테나 특성이 있어 복사각이 낮아 DX에 유리하다고 합니다. 이와 유사한 안테나로 윈덤(Windom)안테나가 있는데요. G5RV보다 더 효율이 좋다고 하는군요. t슈퍼 루푸 안테나로 잘 알려진 래디오 워크스(Radio Works)사의 광고입니다.

<http://www.radioworks.com/ccw40.html>



캐롤라이나 윈덤 안테나는 수평 길이가 거의 다이폴 안테나의 반파장 길이에 육박합니다. 그리고 수직 엘리먼트로 급전 동축 케이블 일부를 활용하고 있습니다. G5RV 안테나보다 수평 길이가 더 길니다. 대신 수직 부분은 좀 짧습니다.

<http://www.hamuniverse.com/k4iwlnewwindow.html>

캐롤라이나 윈덤 안테나는 출력 전력당 효율이 좋아서 QRP용으로 아주 적합하다고 합니다.

http://www.w5fc.org/files/how-to/QRP%20Expressions_version_1.pdf

QRP Expressions_version_1.pdf

첨부한 문서에는 윈덤 안테나에 필요한 4:1 발룬, 라인 아이솔레이터(isolate) 만드는 법도 설명하고 있습니다. 덤으로 대부분 QRP 리그에 적용되는 직접 변환 수신기의 고질적 문제인 AM 방송 유입을 차단하기 위한 체비체프 하이패스 필터 제작 법도 설명하고 있습니다.

1. 델타 루프/슈퍼 루프 안테나

수직 수평 안테나의 복합적인 특성을 보이는 델타 루프 안테나 입니다. 루프의 외곽선 길이가 일단 한 파장 길이로 맞추고 있습니다. 급전 위치에 따라 복사각 특성이 다소 변화합니다. 모양을 삼각형 혹은 사각형으로 만들면 좋지만 형편이 맞지 않다면 좀 틀어져도 괜찮다고 하네요. 외곽 길이가 한 파장에 맞추는 것이 중요하다는군요.

40m-10m DELTA LOOP ANTENNA - GU3WHN iss 1.3.pdf

델타 루프 안테나가 좀 크다 싶으면 조금이나마 작게 만든 것이 슈퍼루프 입니다. 래디오 워크스(Radio Works) 사의 제품입니다. 40m 밴드의 루프의 수평 크기는 56피트(약 17미터), 높이는 16피트(4.8미터) 가량 됩니다. 루프 중간에 사다리 피더 선을 수직으로 늘어뜨려 놓고 있습니다.

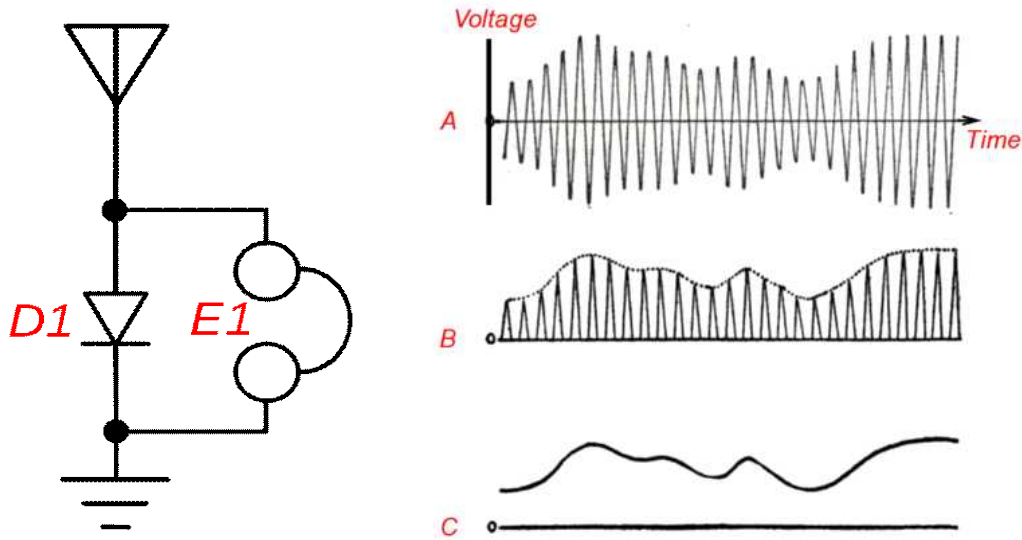
<http://www.radioworks.com/csl40.html>

첨부된 파일 1개 ▼

X. 전자공작 1편

1. 555 타이머 IC로 만든 AM 라디오

AM 라디오 만들기는 아주 무궁무진 한가롭니다. LC 공진회로와 다이오드하나로 만드는 광석 라디오는 이미 다 아실 테구요. 위키 백과사전에서 Crystal Radio 편을 보겠습니다. http://en.wikipedia.org/wiki/Crystal_radio 원래 원초적인 광석 라디오의 모습입니다. 정말 광석(다이오드) 하나에 고감도 이어폰 입니다.



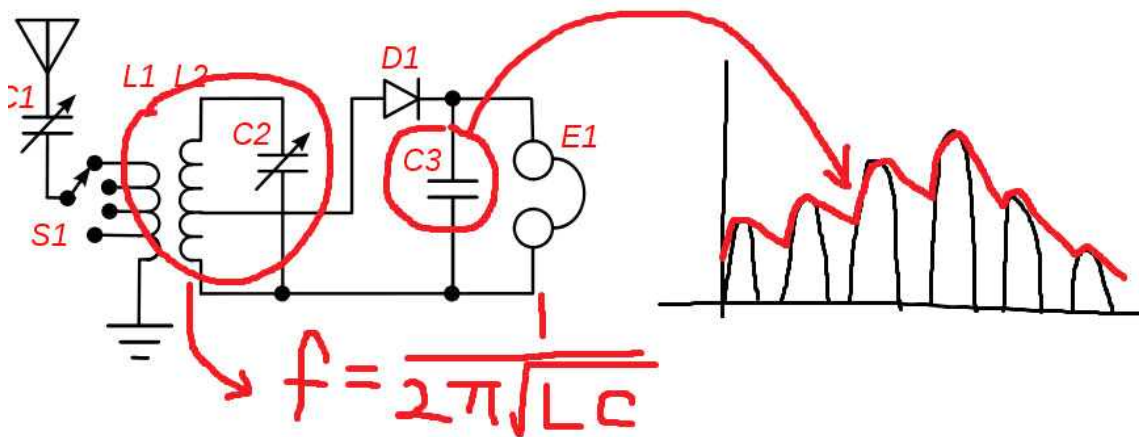
AM 변조는 워낙 간단하죠. 음성(저주파)에 공간에 널리 퍼트리기위해 고주파(반송파)를 섞어놓은 것입니다. 수신기는 이것을 다시 음성으로 추출해 내는 것이구요. AM 전파의 모습은 아래 그림에서 A 처럼 생겼습니다. 음양이 대칭인 자연 공간에 신호를 내보내기 위해 인공적으로 만든 신호도 그림 A 처럼 대칭이 되도록 변조한 것이 AM 입니다. 0을 중심으로 상하가 거울을 마주보고 있듯이 대칭입니다. 이렇게 대칭인 것을 부르는 말은 여러 가지 입니다.

두 신호 성분의 위상이 딱 90도 틀어졌다고 하기도 하구요, 한쪽을 cosine 다른 한쪽을 sine(사인과 코사인은 90도 차이가나니까), 한쪽을 I(in-phase), 다른 하나를 Q(quadrature-phase, I 를 1/4바퀴 어긋난), 한쪽을 실수(Real) 다른 하나를 허수(Imaginary)-복소수로 표현하면 삼각함수를 지수함수로 바꿀 수 있어서 수학 계산하기 편리하거든요-라고 합니다. 다이오드를 거쳐 B 처럼 짝퉁 자릅니다. 대칭인 두 신호를 다 사용할 필요가 없고, 위상 다른 두개를 모두 쓰자고 덤비다가 두 신호가 상쇄되서 도루묵 되는 수가 있고, 전자회로는 기본적으로 직류체계임을 감안해서 짝퉁 자릅니다. AM에서 신호(음성)은 결국 반송파가 그려내는 외곽선(포락선)입니다. 이어폰은 사실 기계적인 진동으로 소리를 냅니다. 빠른 진동에 대해서 반응하지 못하고 어리버리하게 진동하다보니 마치 검파가 이뤄진듯 소리를 냅니다. 검파라는데 그런거죠. 고주파 빼내고 신호파 걸러내는 것. 이어폰의 진동 기구가 고주파에 반응 못하고 신호파에 반응 했으니 기계적 검파기라고 하면 무리겠죠? 이렇게 진동 같은 물리적 현상과 전압변화 같은 전기적 현상 사이의 변환을 수행하는

것을 트랜스듀서(transducer, 에너지 형태를 바꾼다는 뜻입니다. <http://en.wikipedia.org/wiki/Transducer>)라고 합니다. 센서라고 하기도 하죠.

원초적 광석 라디오에서 날라다니는 전파를 끄집어 내는 것은 오로지 안테나에 의존하고 있군요. 안테나 길이만으로 공진회로를 꾸민 것이죠. 중단과 신호를 끌어들려면 엄청 기다란 안테나가 있어야 했습니다. 다행히 L과 C를 이용하면 강제로 공진 현상을 만들 수 있다고 합니다. 이 공진 현상은 놀랍게도 "조건만 맞으면" 훨씬 많은 전파를 끌어 모으는 효과를 발휘합니다. 그 조건이란 주파수입니다.

그리고 다이오드를 통과한 진동하는 전기에너지를 오로지 진동기구에 의존하여 소리를 내자니 안그래도 약한데 너무나 손실이 많습니다. 그래서 살짝 커패시터를 이어폰과 병렬로 달아 주었습니다. 컨덴서가 충전하면서 진동하는 반송파의 간격을 메꿔주어 신호 포락선을 좀 더 그럴듯 하게 만들어 주는 것이죠.



AM 방송은 쉽게 수신됩니다. 전파가 수집되고(손가락과 도라이버등이 결합되어 공진회로를 빚어내기도 합니다) 다이오드를 통과하거나 우연하게 위상 반전현상을 만나서 DC 체계로 변하고 고주파 성분은 무시하고 저주파에 반응하는 소리기기(오디오 앰프)만 있으면 AM 방송은 수신됩니다. 공진 회로만 있으면 전파를 아주 잘 수집 할 수 있습니다. 그래서 어떤 사람은 공진 회로와 op amp 가지고 단 5분만에 라디오를 만들 수 있노라고 장담합니다. 아마도 회로는 이렇겠지요. <http://www.aaroncake.net/circuits/radio.asp>

가끔 음향기기의 녹슨 단자의 접촉 불량 부위에서도 검파가 되어 강력한 인근 AM 방송이 수신되기도 합니다. 녹슨 철이 다이오드처럼 된다는군요. 이웃에서 RFI 원성이 들어오면 그집 TV 안테나 접점, 오디오 음향기기 단자 등등에 접점 부활제를 뿌려서 해결 봤다는 전설도 있습니다. WD-40만쉴~ ㅎㅎㅎ 이런저런 자작 회로 만지다가 엉뚱하게 방송이 들리기도 합니다. 어떤 사람은 555 타이머 IC로 LED 키고 끄는 공작을 하던 중에 우연히 라디오를 발견했다고 하네요. <http://www.instructables.com/id/555-timer-radio/>

원래는 555로 타이머를 실험했답니다. 아마 LED를 반짝이게 하다가 주파수를 높여서 소리를 내본 모양입니다. 아마 CW 연습기라도 만들려고 한 모양이죠? 그러다 우연히 RC 시정수 조작하는 중에 이상한 소리가 들린 거겠죠. 마침 주변에 AM 방송국이라도 있었던 모양입니다.

<http://www.instructables.com/image/FCHWWLDFXETSE23/Putting-it-together.jpg>

력 만으로는 PWM 신호를 만들 순 없습니다. 그리고보니 아주 단순한 1비트짜리 ADC 인 셈이군요. 차이가 있다면 펄스-폭으로 입력 전압치를 가늠 할 수 있습니다. 이렇게 펄스폭을 가지고 전압의 세기를 가늠하는 경우를 D-Class 라고 합니다. 아래 비디오를 보면 가변저항을 돌려가며 소리 조절을 하는데 이때 D-Class 앰프...라고 설명하고 있습니다. 도테체 555 란 어떤 IC 입니까? 555an.pdf

누군가 AM 송신기를 만들기도 하고.... FBJ8W22GKAYY7P9.pdf

이런것도

있고....

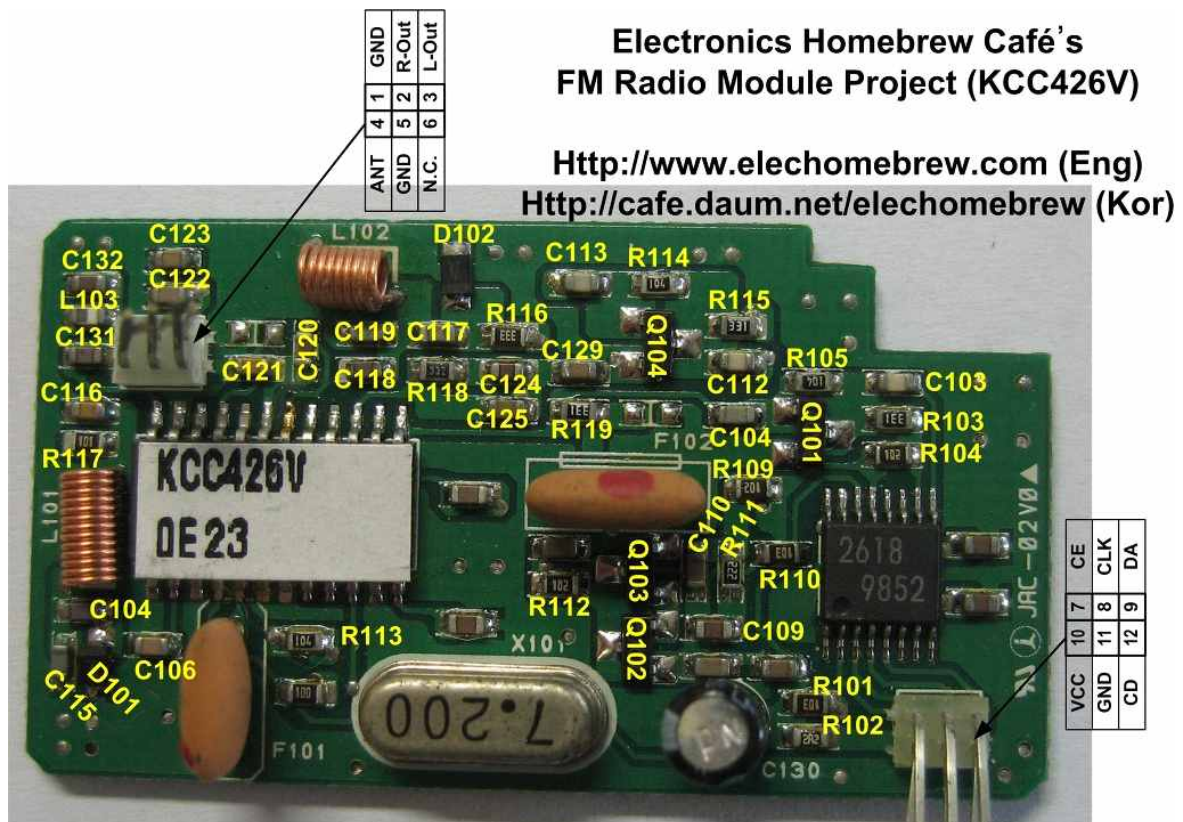
general__simulating_a_555_timer_with_psoc_tm__an2286_12.pdf 555 타이머

IC에 대해서 언젠가 찬찬히 알아봐야 겠습니다.

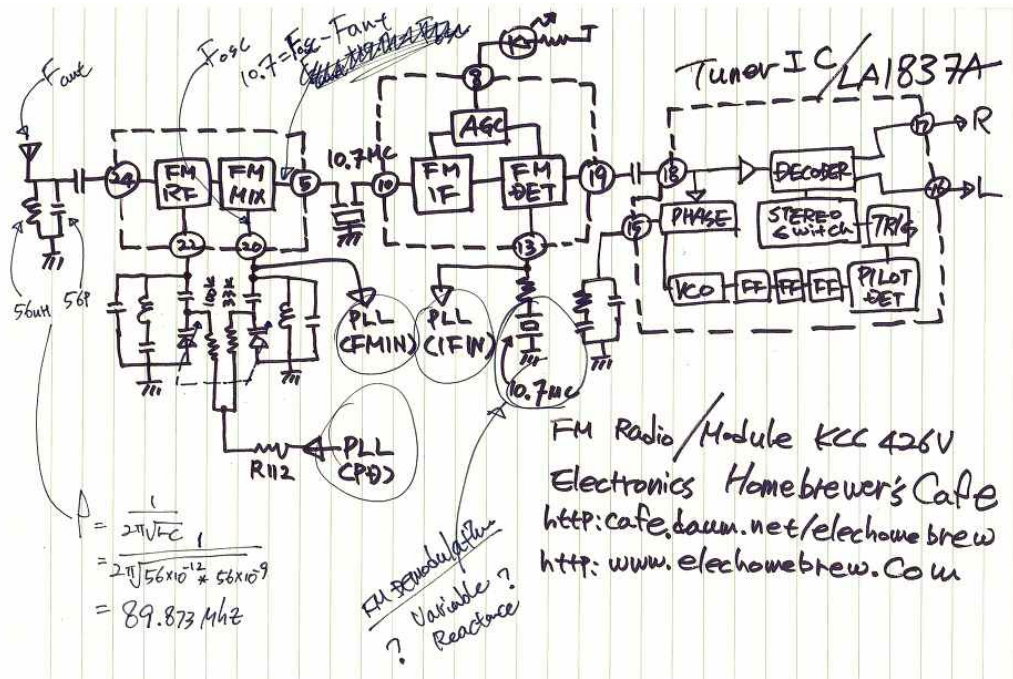
2. CC426V 모듈의 활용

가. CC426V 모듈의상면 부품 배치

KCC426V 모듈의 크기가 매우 작습니다. 모듈의 상면에 부품 번호 실크 인쇄되어 있지 않고 노안이라 부품이 잘 안보입니다. 그래서 만들었습니다.



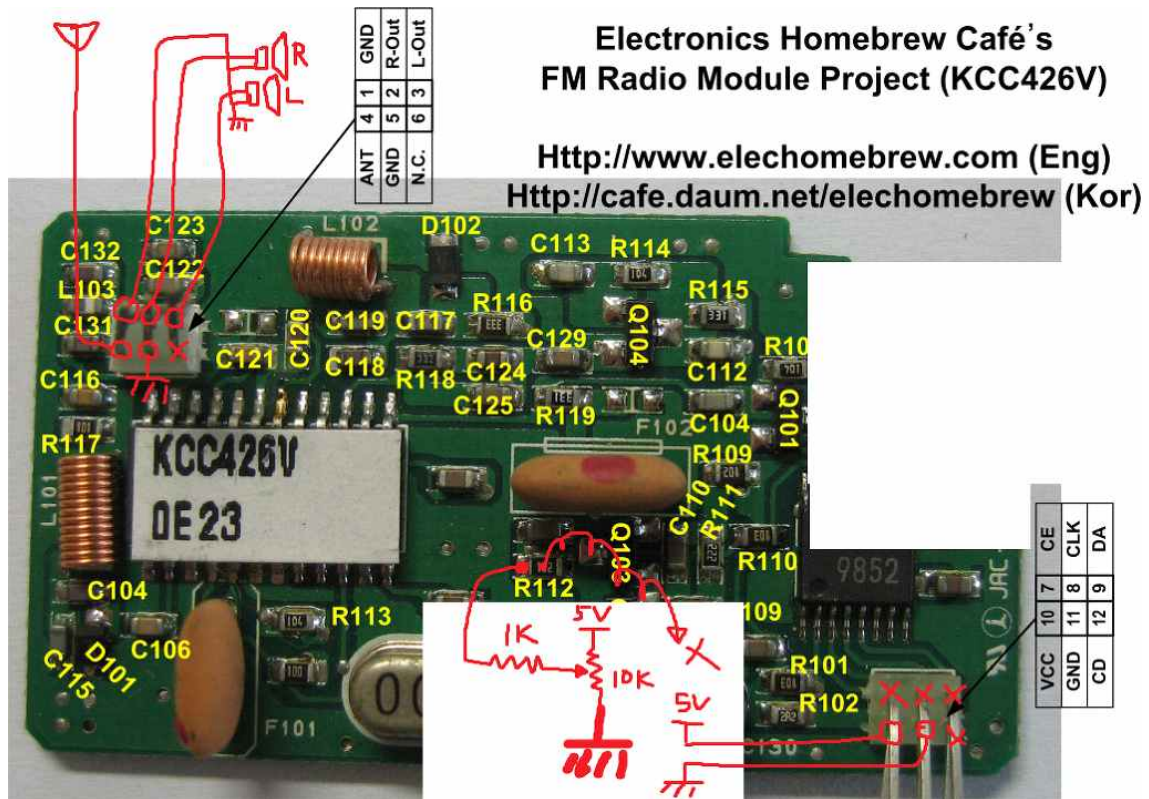
PDF 파일도 올려 드립니다. Top_Parts.pdf 튜너와 PLL 의 내부 구성도 분석해서 올리겠습니다. KCC426V 모듈의 튜너 회로 부분을 나름대로 분석해봤습니다.



안테나 입력부에 필터가 89.8Mhz 에 맞춰 있군요. LA1827M 튜너 IC는 초단파 FM 스테레오와 중파 AM 수신기용인가 봅니다. 초단파 FM 수신기의 동작은 안테나 입력 전파를 증폭(FM RF)하고 가변 발진기와 혼합(FM MIX)하여 중간 주파수 10.7Mhz를 만듭니다. $F_{osc} - F_{ant} = 10.7\text{Mhz}$ 입니다. RF 증폭과 로컬 발진을 위해 외부에 LC를 사용하는데 가변을 위해 가변 변위가 다르지만 연동하는 2련 바리콘이 필요합니다. 이 모듈은 바리캡 다이오드 두개 사용하여 전자제어 하는군요. 2련 바리콘 대신 동일한 전압 소스로 두개의 C 값을 조절하는데 바리캡이 사용되었고 커패시턴스를 연동가변을 위해 각각 값이 다른 저항을 붙여 놓았군요. FM 검파는 주파수 변화를 전압치로 변화로 바꾸는 가변 리액턴스인가본데 이를 위해 F102(DISCRIMINATOR)가 달려 있나 봅니다. 그리고 스테레오 분리를 위한 회로가 보이는데 내용은 정확히 이해하진 못하겠습니다.

모듈에서 튜너 IC의 AM 수신부는 전부 작동하지 않도록 해놨습니다. 모듈에 사용한 튜너 IC는 단독으로 라디오 구성이 가능한데 디지털 제어를 위해 별도의 PLL Synthesizer를 달아 놓은 것으로 보입니다. PLL IC를 좀 더 살펴봐야겠지만.... PLL(FMIN)로 표시된 튜너의 로컬 발진기에서 신호를 인출하여 PLL IC의 자체 발진 주파수와 비교하고 주파수가 일치하면 튜너의 바랙터에 걸리는 전압을 조절하는 것 같습니다. 100Mhz 대의 튜너의 로컬 발진기 주파수와 7.2Mhz 대의 PLL 내부의 발진기 주파수가 심하게 차이나므로 튜너 로컬 발진 주파수를 분주합니다. 이 분주값은 별도의 마이컴으로 제어할 수 있습니다. 그런데 PLL IC의 PD 출력이 아날로그 출력인가요? PLL IC의 데이터 쉬트가 좀 부실한데 좀 더 들여다봐야겠습니다.

PLL IC 없이 그냥 FM 라디오를 수신 하려면 간단하게 이렇게 하면 되겠지요. 별도 3.3V 레귤레이터가 없다면 동작 전압과 튜닝 전압을 그냥 5V에 묶어도 되겠습니다. 그대신 튜닝 가변 범위가 넓으니 선국하긴 쉽지 않겠군요. 어쨌든 당장 소리는 내봐야 하니까... ^^;



**** R112 떼고 바랙터로 가는 역전압 조절용 10K 가변저항 한쪽 접지 부분이 빠졌었습니다. 죄송.... KCC426V 모듈의 PLL Synth. 칩 관련 자료

KCC426V 모듈에 사용된 PLL Synth. for AM/FM Tuner 칩(Rhom의 BU2618FV)의 데이터 쉬트를 보다가 도무지 이해가 안갑니다. (이걸 데이터 쉬트라고!?!?!?) 찾아보니 산요의 LC72131과 기능이 같더군요. 누가 베낀것인지 아니면 OEM인지 모르겠습니다. LC72131이 좀 더 자세하게 설명하고 있습니다.

LC72131 데이터쉬트 LC72131.pdf

산요의 소형 콤포넌트 모델 DC-MCR50 에 이 PLL(LC72131)과 튜너칩(LA1823)을 사용하여 AM/FM 라디오를 구성하고 있으니 참고 하십시오. 아래 메뉴얼 13페이지 회로도 좌측 상부입니다. KCC426V 모듈과 거의 흡사합니다. 4-비트 마이컴을 이용했더군요. SM5810404.pdf 더 찾아보니 LC72131과 HT1621을 이용한 라디오, C51용 소스코드..... f47ddce06307.rar

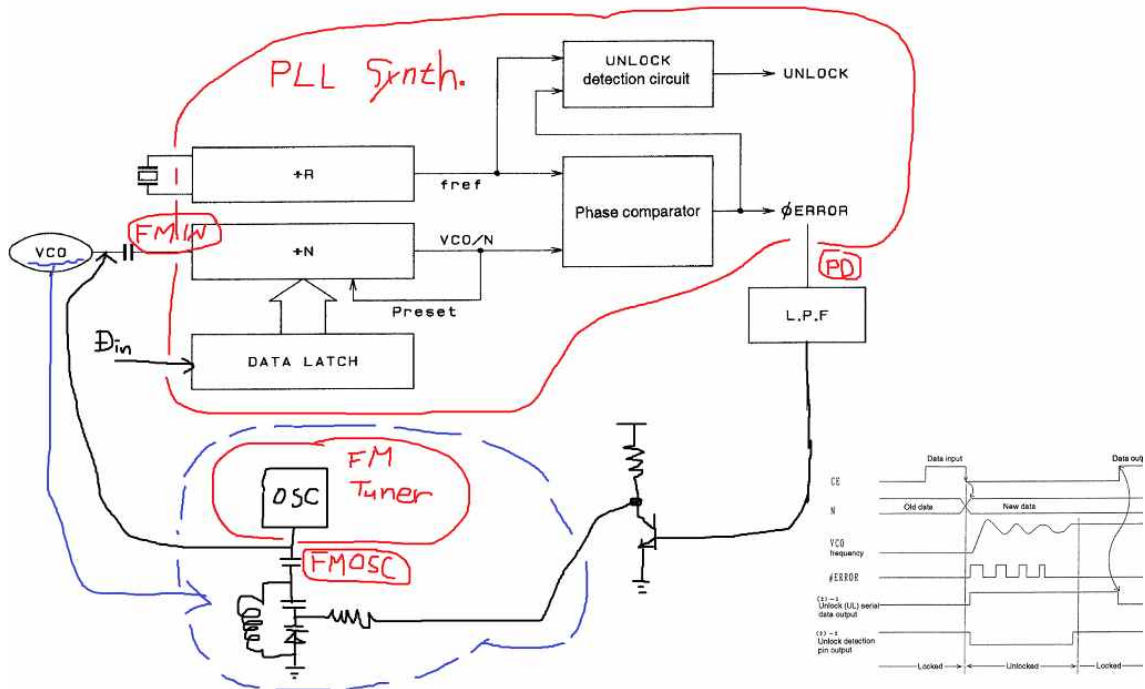
가볍게 BU2618 메뉴얼 읽어보려다가 성질나서 오후에 사무실에 와서(집은 인터넷을 설치하지 않아서... ㅠㅠ) 자료 찾아올립니다. 이제 다시 집으로 가서 읽어 봐야 할듯... ^^;

나. [해설]KCC426V 모듈의 PLL 동작 VCO 제어 데이터 계산법

마이크로프로세서로 KCC426V 모듈의 선국 주파수를 제어하기 위한 방법을 설명드립니다.

점심시간에 데이터 쉬트들을 잠시 들여다보니 튜너 IC(LA1827)와 PLL Syn. IC(BU2618)사이의 주파수 조절방법이 대략 이렇게 작동 되는 가봅니다. 원리는 전형적인 PLL 방식 주파수 조절인데 VCO 부분은 튜너 IC의 로컬 OSC를 뽑아쓰는데 바랙터에 역전압 걸리는 것을 조절하고 있습니다. (그림 먼저 올립니다... 그림만

으로 대략 이해가 가실 테지만 자세한 설명은 나중에..... ^^)



1) VCO

VCO (Voltage Controlled Oscillator)의 약자입니다. 전압을 이용해 주파수를 변경할 수 있는 발진기라는 것입니다. FM Tuner IC내에 LC 발진기 회로가 내장되어 있는데 외부에 L과 C를 달아줘야 합니다. L은 고정하고 C값을 이용해 발진 주파수를 조절할 수 있도록 회로가 꾸며져 있습니다. 다이오드에 역전압이 걸리면 PN 접합 사이에 전자흐름을 방해하는 공핍층이 생기는데 이를 콘덴서 처럼 활용하는 것을 바랙터 다이오드(Variable-Capacitance-Diode) 라고 합니다. 원리는 간단합니다. 역전압이 걸리면 공핍층이 넓어지고->PN 사이에 전자적 전극 간격이 벌어지고->콘덴서 극판이 간격이 넓어지는 것이고->용량이 작아지죠. LC 회로에서 콘덴서 용량이 작아지면 발진 주파수는 높아지겠죠. 역전압이 낮아지면 발진 주파수도 낮아집니다. 바랙터를 사용한 발진회로의 경우 직렬도 콘덴서를 연결하는데, 다이오드에 걸린 직류 전압이 코일로 흘러들어가 쇼트되는 것을 막기 위해섭니다. 직류에 대해 코일은 그냥 도선일 뿐이니까요. 바랙터를 이용한 발진 회로는 아래 링크를 참조 하십시오.

http://www.electronics-radio.com/articles/electronic_components/diode/varactor-varicap-diode.php

2) Phase Comparator

Phase Comparator 두개의 발진 신호를 입력 받아 파형을 비교합니다. Phase 란 파형을 원운동으로 표현 했을때 회전하는 각도라고 단순하게 생각해보죠. 이 각도의 회전 속도가 곧 주파수 이구요. 그리고 보면 Phase Comparator 란 주파수 비교기라는 느낌이 팍!!! 오죠? 두 디지털 파형의 비교는 그저 게이트 하나면 충분합니다. 만일 XOR 게이트를 이용 했다면 두 파형이 일치하면 출력은 항상 0 이 나옵니다. 문제는 두 파형이 시작을 일치 시켜야 하므로 비교시점을 맞추기 위한 지연

회로, 두 파형의 주파수 차이가 누가 크고 작은지도 알아내야하는 등 복잡합니다. 어쨌든 Phase Comparator는 파형 비교기입니다. 두 파형중 하나를 기준으로 삼고 다른 파형의 주파수가 높은지 낮은지 아니면 일치하는지 알려줍니다. 두 파형이 일치했을 때 잠졌다(Lock)고 합니다. 이 비교의 결과 높고 낮음에 따라 VCO에 가해지는 전압을 조절하여 두 주파수가 일치하게 만드는 것을 PLL (Phase-Locked-Loop) 라고 합니다. 파형비교-VCO 전압조절을 끊임 없이 반복하다가 일치하면 그 상태로 잠겨둔다고 해서 PLL 이죠. 별거아니네요.

3) 이제 튜너 모듈로 돌아와서....

튜너 모듈에 사용된 PLL Synth. IC인 BU2618EV 의 PD 출력 핀의 출력은 두 파형중 하나를 기준으로 다른 하나의 주파수가 높으면 1, 낮으면 0, 일치하면 고 임피던스(출력핀의 Hi-Z은 0도 아니고 1도아니고 애매한 것, 또는 회로가 끈어진 것)가 됩니다. 위상 비교기의 입력인 기준 파형은 7.2Mhz 크리스털 발진기를 분주하여 만듭니다. 분주비는 R0/R1/R2를 가지고 선택합니다. Standard frequency data 라고 되어 있는 표에 나와 있습니다. 0/0/0을 주면 25Khz 가 되는군요. 다른 비교대상 발진 신호는 튜너 IC의 로컬 발진기 FMOSC에서 받습니다. 이 주파수도 25Khz 수준으로 상당히 낮춰야 하므로 분주를 하는데 이 분주비를 프로그램으로 조절 합니다.

PD에 1이 나오면 TR Q102를 켜서 발진기의 바랙터에 전압을 가하여 발진 주파수를 높입니다. 주파수가 올라가다가 기준 주파수보다 높아지면 0이아와서 Q102를 꺼서 전압을 차단하죠. 그러면 발진 주파수가 낮아집니다. 이렇게 올렸다-내렸다가를 지속적으로 반복하다보면 목표 주파수에 수렴하게 됩니다. 위의 그림에서 좌측 하단 파형을 보시면 되겠습니다.

두 주파수가 비스무리 하게 될 무렵 PD 신호가 과도하게 요동 치는데(고주파가 됨) 이것이 VCO 전압 조절에 불필요한 영향을 방지하기 위해 LPF(저주파 통과 필터)를 씌웁니다. 그리고 고 임피던스 상태일 때 일시적 회로 개방상태를 피하기 위해 Q102 주변에 RC 필터회로를 달았다고 하네요.

자 이제 FMOSC 의 주파수를 위상 비교기 기준 파형 수준으로 분주하기 위한 비율을 계산 해 봅시다.

90.0Mhz의 방송을 수신하는 경우, FMOSC는 100.7Mhz으로 발진해야 합니다. 중간 주파수가 10.7Mhz 이니까요. FM MIX 가 $100.7 - 90.0 = 10.7$ 로 중간 주파수인 10.7로 만들기 위해서지요.

R0/R1/R2를 0/0/0으로 설정 했다면 FMOSC의 분주비는,

100.0Mhz 100.7Mhz를 얼마나 분주하면 25Khz 가 됩니까? 둘을 나누면 되겠죠. 4028 이 되는군요. 그런데 BU2618은 내부에 기본적으로 2분주를 한번 더 합니다. 그래서 4028을 다시 2로 나눕니다. 그래서 2014 입니다. 16진수로 07DEh.

자.. 이제 BU2618을 제어하기 위한 값을 정해 봅시다. 데이터 쉬트를 보시죠. DA 핀을 통해 직렬로 32비트를 공급해 줘야 합니다. BU2618의 데이터 쉬트에서 데이터 포맷(input data format)을 참고 하십시오.

먼저 분주비 16비트를 넣어주고 이어서 제어 비트를 넣습니다. 분주비는 앞서 계산한대로 07DE 라고 하고 P0/P1/P2/P3 는 튜너 모듈의 회로를 보니 P2가 IF REQ

라고 표기되어 있고 나머지는 사용하지 않는 군요. (IF 주파수 검출 기능을 위한 것입니다만 크게 효용성은 없어 보입니다) P2=1로 둡시다. CT는 일단 무시하고, 위상 비교기 표준 주파수는 25Khz 로 하기로 해서 R1=0/R2=0/R3=0, 주파수가 높은 FM 용으로 제어하려면 S=0, PS는 AM 일때 의미를 가집니다 0으로 하죠. GT와 TS는 일단 무시합시다. 결국 이렇게 됩니다.

0111 1101 1110 0000 0010 0000 0000 0000

분주비 값은 맨 앞이 낮은 자릿수(LSB 앞에 나온 숫자가 낮은 자릿수란 뜻으로 Least Significant Bit)라 표시상 거꾸로 보입니다.

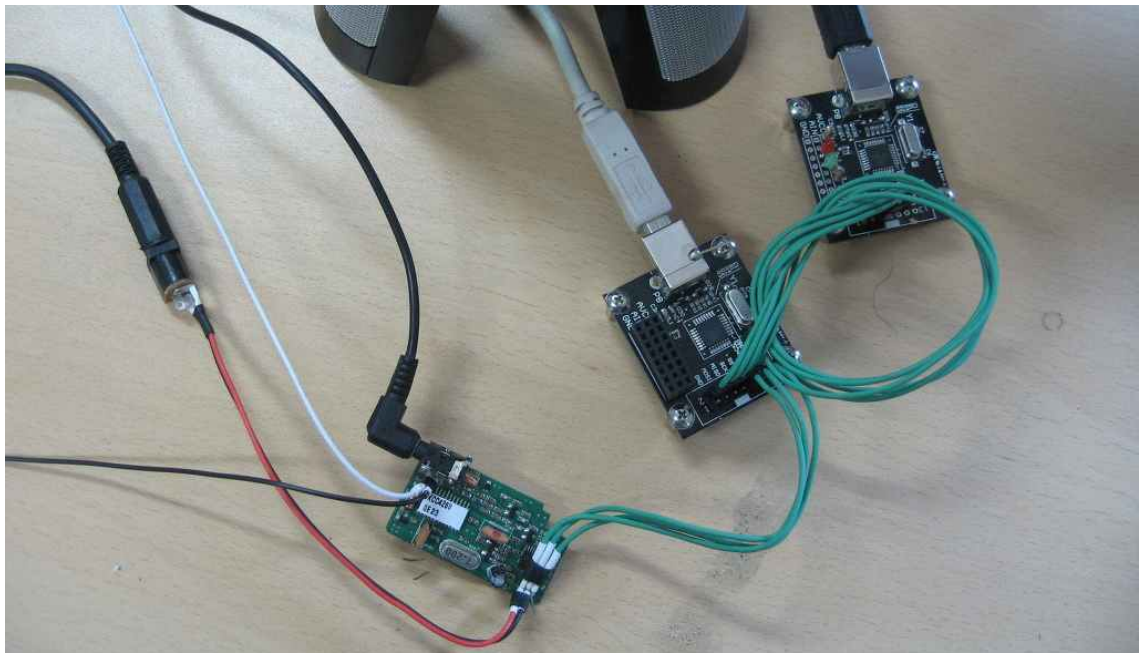
자! 이제 마이크로 프로세서로 디지털 제어를 실행해 볼 차례입니다. 아마도 수요일쯤 투표 꼭~! 하고 프로그램 해 볼 시간이 날듯....

KEC_EHB_Radio

KCC426V VHF/FM 라디오 모듈을 마이크로 프로세서로 작동 시켜 봤습니다.

마이크로 프로세서는 AVR ATmega8을 사용했습니다. AVR에 V-USB 라이브러리와 KCC 모듈을 제어하는 펌웨어를 심어 넣었구요, PC에서 USB를 통해 주파수를 제어하는 아주 단순한 구성입니다. 작동 방식은 기대하신 것과는 다를 겁니다. LCD 달고 이것저것 단독 라디오처럼 만들려니 시간 여유가 없군요.(사실은 귀차니즘이 물려와서... ㅠㅠ)

구성은 이렇습니다. AVR 보드가 두개가 보이는데 하나는 라디오 제어용이고 다른 하나는 AVR 펌웨어 다운로드 입니다. AVR로 AVR을 굽는 거죠.



소프트웨어 작동 모습입니다. 사용된 AVR 보드 회로도, 펌웨어 C 소스, USB 드라이버, PC용 소프트웨어 소스 입니다.

 KEC_EHB_Radio.zip

AVR 펌웨어 제작에 사용된 컴파일러는 AVR Studio 5.1 에서 avr-gcc 입니다.

- AVR Studio 5.1 full ver.(601MB)

<http://www.atmel.com/Images/as5installer-stable-5.1.208-full.exe>
- AVR Studio 5.1 small ver.(405MB)

<http://www.atmel.com/Images/as5installer-stable-5.1.208-small.exe>

AVR 의 ATmega8에는 USB 기능이 없습니다. 인터럽트와 IO 포트를 교묘하게 이용해 Low-Speed USB를 사용하게 해주는 V-USB를 응용 했습니다.

<http://www.obdev.at/products/avrusb/download.html>

KCC426V 모듈의 PLL Synthesis 제어용 펌웨어 소스는 위의 압축 파일에 포함되어 있습니다. 보드 회로도와 함께 살펴보십시오.

USB 관련된 PC측 응용 소프트웨어는 USB 드라이버를 사용합니다. LibUSB-Win32를 이용했습니다.

<http://sourceforge.net/apps/trac/libusb-win32/wiki>

응용 소프트웨어는 MSVC10/MFC 환경에서 작성되었습니다.

실제로 하는 일이라곤 라디오 모듈 주파수 제어인데 곁들여 동원된 것들이 다소 복잡하게 되었군요. 동원된 개발환경과 라이브러리들은 전부 무료공개된 것들입니다. 이참에 한번 익혀두시면 향후 응용에 도움되실 것 같아 다소 복잡하게 구성해 봤습니다. 틈나는 대로 설명을 올려 보려고 합니다만 장담드릴 순 없군요. $\pi\pi$ 마이크로프로세서에 LCD 달고 주파수 표시하고 로터리 엔코더 달고.... 단독 모듈을 만드는 일도 재미있을 겁니다.

KEC-PLL Synth 주파수 설정 함수

이번 주말에 사사로운 일(뭘까요?)이 생겨서 다음 주에 설명 드릴려고 했는데 벌써 진도 나가셨군요. PLL Synth 주파수 설정 함수 먼저 긴급히 설명 드립니다. Port D의 6번(PD6)에 DA, PD5에 CLK, PD4에 CE를 연결했을 때 입니다.

```
void KEC_EHB_Radio(unsigned cnt_data, unsigned cfg_data) { char i; /*
PORTD 는 8비트 입출력 포트 입니다. 이것을 읽어서 16진수 10 (2진수는 0001
0000 이지요)와
* OR 시키면 PD4(PORTD의 4번째 비트)만 강제로 1이 되고 나머지 비트들은 영향
을 받지 않게합니다.
* 그렇게 OR 한 결과를 다시 PORTD에 써넣어주니 PLL Synth 칩의 CE가 활성화 됩
니다.
*/
PORTD = PORTD | 0x10;
// PLL 제어를 위해 16비트 분주 값을 만드는 루틴입니다. for (i=0; i<16;
i++) {
// 먼저 DA에 넣을 값 /* AND와 OR연산을 이용해 PORTD의 8비트중 해당 비트만
0 혹은 1로 만들고 있습니다 */
if (cnt_data & 0x0001) // 16비트중 가장 하위 비트 검사하여 1이면
PORTD = PORTD | 0x40; // PD6만 1, Set DA(6)=1, 0100 0000 else
PORTD = PORTD & 0xBF; // PD6만 0으로, Set DA(6)=0, 1011 1111
// DA 가 준비 됐으니 이젠 PORTD의 5번째 비트 PD5에 연결한 CLK를 만듭니다.
PORTD = PORTD & 0xDF; // Set CK(5)=0, 1101 1111 _delay_ms(1);
```


는지 살펴봤더니 이렇더군요.

KCC426V 모듈에 사용된 PLL 컨트롤러 Rhom의 BU2618FV가 사실은 산요의 LC72131과 기능이 같더군요. 산요의 데이터 쉬트가 훨씬 정확합니다.

PLL 컨트롤러를 통해 PLL 제어하는 방법은 이렇군요.



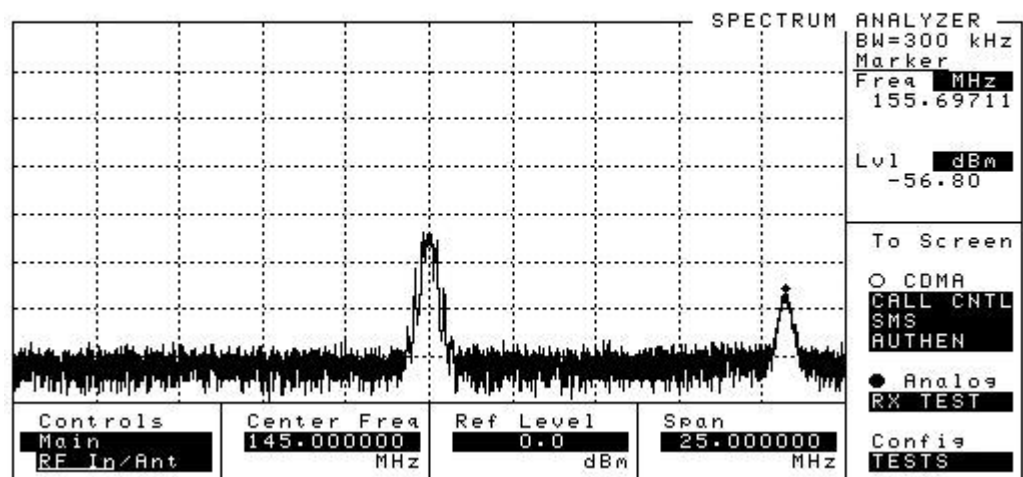
KEC 모듈의 국부발진기는 FM 방송을 튜닝할 목적으로 만들어 졌습니다.

중간 주파수는 10.7Mhz이면 데이터 쉬트에 따라 국부 발진 주파수는 이렇게 됩니다.

$$F_{osc} = F_{target} + 10.7\text{Mhz}$$

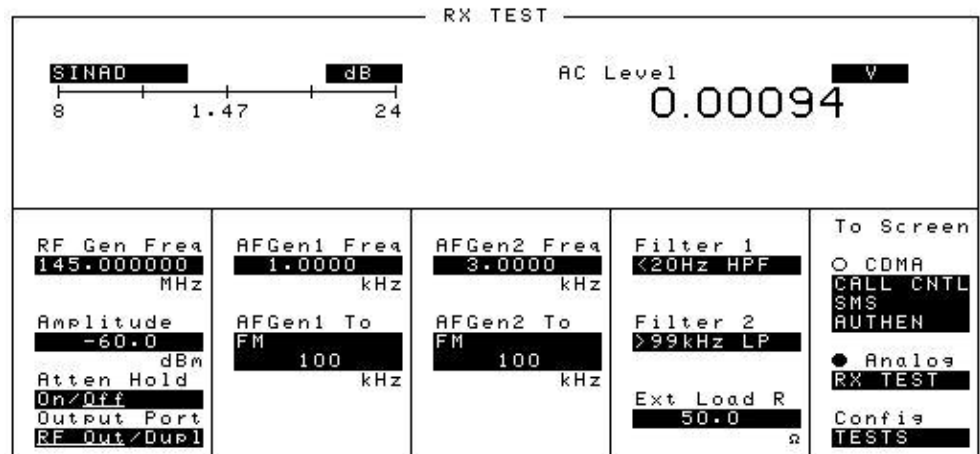
88~108Mhz 까지 수신하려니 F_{osc} 의 범위는 98.7~118.7Mhz 가되네요. ARDF용 2m(145Mhz)대 수신기가 되려면 국부발진기는 155Mhz 까지 발진해야 합니다. 원 회로대로 하면 바랙터에 걸리는 역전압이 낮아 C 값을 맞추수 없죠. 다행히 코일이 노출되어 있으니 값을 낮추기로 합니다. 한 세바퀴쯤 덜 어냈습니다.

결론 부터 말씀 드리면 145Mhz용으로 155.7Mhz에서 PLL 컨트롤러 잘 작동 합니다.

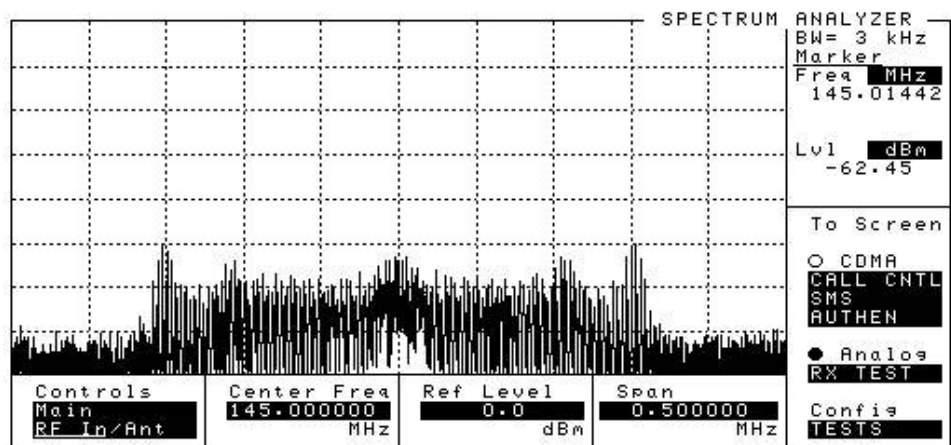


8954C의 RF In/Out 코넥터로 신호도 내보내고 신호를 수신하여 스펙트럼 분석도 가능 합니다. 마치 루프-백 처럼 작동시킬 수 있어요. 이거 아무 기계나 할 수 없는 기능임. ^^ 위 그림의 첫번째 피크는 8924C에서 145Mhz를 발진시켜 KEC모듈 안테나로 넣은 것이구요, 두번째 피크는 국부 발진 주파수 입니다. 두 신호를 동시에 잡아 스펙트럼을 비교해 보려고 국부 발진 주파수 인출은 유도결합 했습니다. 별거아니구요 전 뽑아서 RF In/Out 단자에 둘둘 감은 겁니다. 정확하게 155.7Mhz

에서 PLL이 딱 고정되더라구요. 신호파가 좀 지저분해 보이는 것은 RF GEN 시 투톤 FM 변조를 걸어 시험했기 때문입니다.

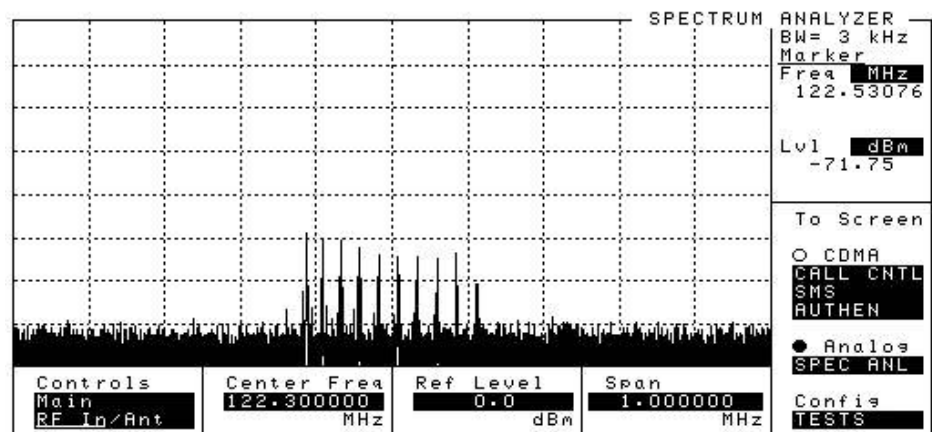


변조신호를 확대하면 이런 모습

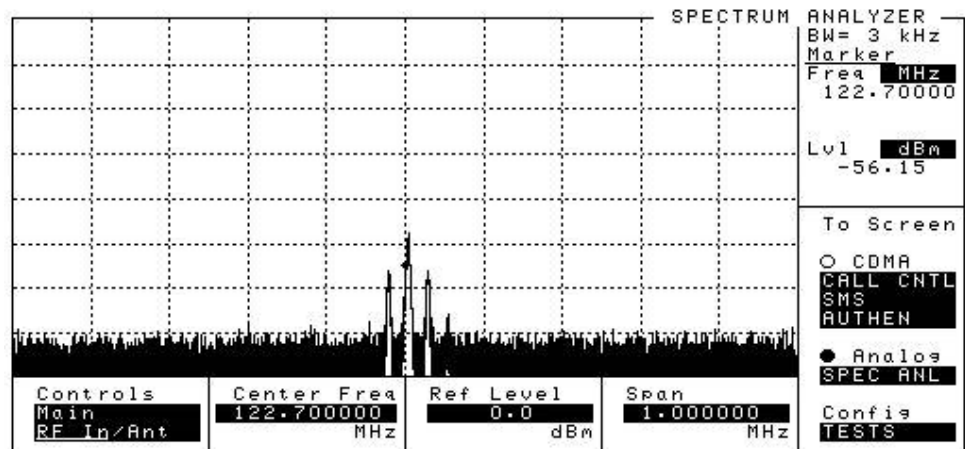


KEC 모듈의 국부 발진기 코일을 세바퀴 없애버렸더니 FM 방송은 하나도 안들리 더군요. 그래서 이렇게 개조하고 하한 주파수가 어디쯤인가 봤더니 110Mhz 였습니다. 국부발진기가 122.5Mhz 쯤에서 겨우 PLL 락킹을 시도하는데 헤메고 있는 모습

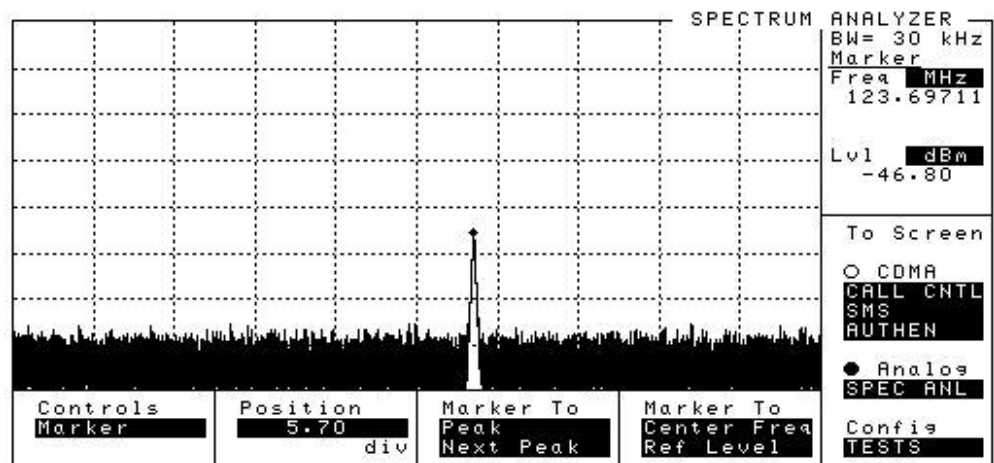
HP 8924C CDMA Mobile Station Test Set: 03/03/03 09:58:00 am



122.7Mhz 되면 서서히 락키 걸릴 모양입니다.



123.7Mhz 은 되야 락이 걸리는 군요.



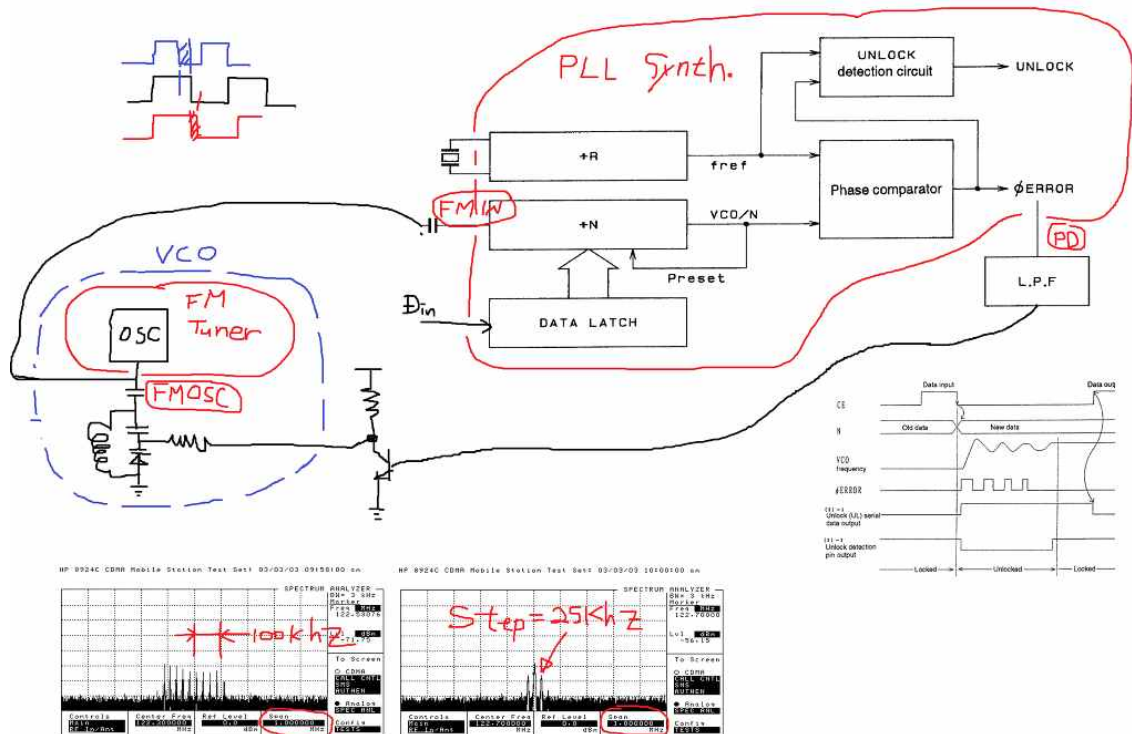
국부발진기 코일은 두바퀴 정도만 풀어야 겠습니다. 그러면 그나마 95~108Mhz 대 라디오 수신기 겸용은 되겠어요. ^^;

수신 감도는 이어폰으로 소리를 들어봤는데 -67dBm 정도는 들어줄 수 있고 -70dBm으로 내려가면 변조 톤이 찌그러지기 시작하고, -80dBm이면 안들립니다.

4) 보충설명

스펙트럼으로 보면 PLL에서 목표 주파수에 락이 걸리는 모습을 볼 수 있습니다. PLL은 자체적으로 발진기를 가지고 있다가 외부에서 입력되는 파형의 모양을 비교하여 일치하는지 검사하고 일치하지 않으면 발진기 주파수를 조정하고 다시 비교와 조정을 반복하여 결국 원하는 발진기가 주파수에 도달하게 만드는 전자회로입니다. 그래서 Phase-Locked-Loop 라고 하죠. 주파수 검사하는데 주파수 카운터를 안쓰고 파형 모습을 비교합니다. 외냐면 간단하고 빠르니까 그렇죠. Phase란 파형 한 개의 모습을 의미합니다. 그렇다고 주기가 아주 짧은 높은 주파수의 파형을 비교하기란 아주 어렵죠. 파형의 주기가 짧아서 두 파형의 차이가 아주 작게 얻어질 테니까요. 그래서 높은 주파수의 파형을 분주하여 아주 낮게 바꿉니다.

아래 그림은 PLL 제어기와 FM 튜너의 국부 발진기의 주파수 조절용 제어 흐름을 보여주는 겁니다.



예를 들어 보겠습니다. 먼저 PLL 컨트롤러의 준비 절차입니다.

PLL 컨트롤러 칩의 외부에 7.2Mhz 크리스털을 달고 이것을 288 분주하여 25Khz 만들어 표준 주파수를 준비합니다.

$$R = 288$$

$$f_{ref} = 7200000 / 288 = 25Khz$$

제어하려는 목표 주파수를 145Mhz 라고 하죠. 이를 표준 주파수와 f_{ref} 파형 비교하려면 25Khz 수준으로 낮춰줘야 합니다.

$$N = F_{in} / f_{ref} = 145000000 / 25000 = 5800$$

D_{in} 을 통해 분주비 5800을 입력해 놓습니다.

동작을 시켜봅니다.

VCO의 바랙터에 역전압을 가해 C값을 낮춰 발진 주파수를 서서히 높입니다. 목표 주파수보다 높아지면 역전압을 낮춥니다. f_{ref} 와 F_{in}/N 한 두 파형을 열심히 비교하여 지속적으로 바랙터의 역전압 가감하면 발진 주파수를 조절합니다. 이것이 PLL 입니다.

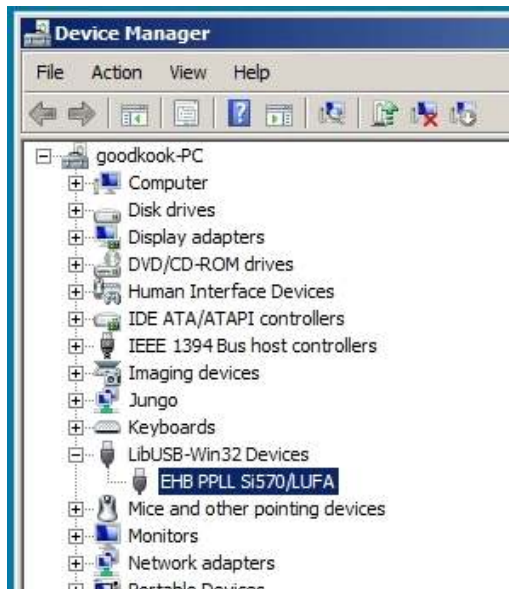
f_{ref} 는 주파수 조절의 스텝이 되는 것이고 분주비 N은 동조 주파수를 의미합니다.

위 그림의 아래 스펙트럼은 발진기가 안정되지 못하고 목표 주파수보다 25Khz 높았다 낮았다를 반복하는 모습을 보인 겁니다. PLL 제어 특유의 주파수 스펙트럼 모습입니다. 왼쪽 스펙트럼은 발진기가 굉장히 불안정하군요. VCO의 바랙터 정전 용량이 오락가락하는 중인가봅니다.

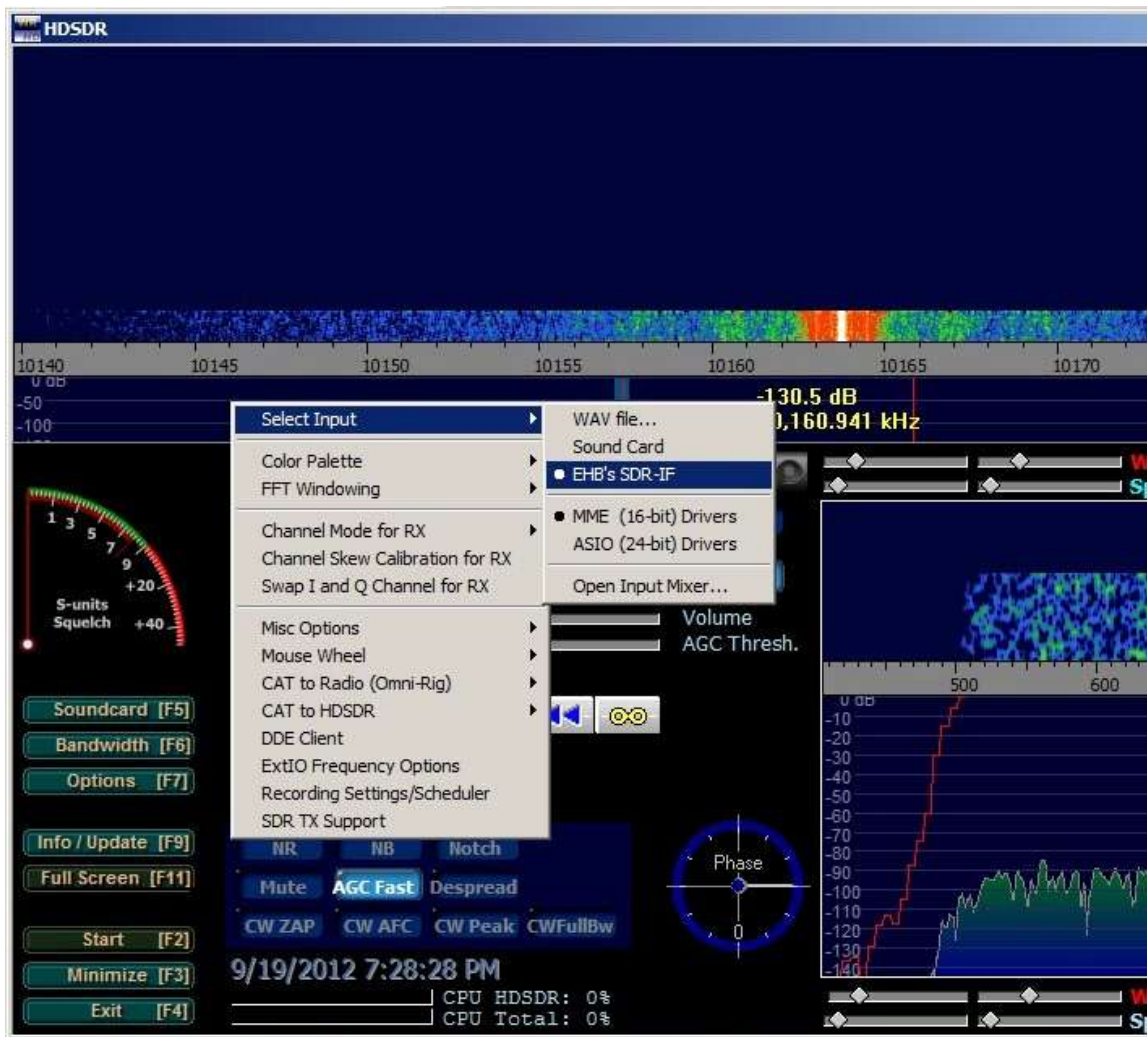
3. SDR/PPLL 진도보고: HDSDR과 USB 통신

SDR/QSD용 PPLL F/W진도 보고 드립니다. EHB SDR/PPLL Si570 보드에 USB 가 내장

된 AVR 마이컴 AT90USB162 가 사용되었습니다.



USB 이식완료
 /USB통해 펌웨어 업데이트 가능/
 CLCD 디스플레이 완료/
 PC용 APP 테스트 작성 완료/
 PC APP와 USB 입출력 통신 테스트 완료/
 HDSDR용 DLL 기본골격작성 했습니다.
 SDR/PPLL 하드웨어가 USB 장치명 "EHB PPLL Si570/LUFA"로 인식됩니다.
 HDSDR 소프트웨어의 ExtIO DLL을 작성하였습니
 다. HDSDR의 Input 메뉴에서 외부 하드웨어 구동용 DLL을 연결하면 EHB's SDR-IF라고 인식됩니다.



HDSDR에서 LO 주파수를 변경하면 SDR/PPLL로 값이 전달되는 모습입니다.

이제 HDSDR에서 전달된 LO값을 Si570에 써넣는 펌웨어를 작성해야합니다. 이것까지 완료되면 소스랑 설명서 올릴게요.

1) SDR/PPLL 진도보고:USB DFU를 위한 보드 수정사항

AT90USB 를 처음 사용해보는 것이라 아래 수정이 정확한 방법인지 확신할 수 없습니다. 다만 현재 펌웨어 작성을 위해 아래와 같이 수정하였습니다.

가) 처음 보드 받았을 때 16Mhz 크리스털이 자빠져있어서 교체하였음 ㅠㅠ

나) 전원을 12볼트를 사용중인데 5볼트 LDO에서 열이 발생하네요. 이정도야 그러려니 합니다. ^^;


다) 제가 받은 보드는 시리얼 ISP가 없습니다. 자작한 다운로더 AVRasp와 Khazama 에서 인식도 안되더군요. 성질나서 AVRISP-MKII를 구입하고 AVRStudio 로도 해봤지만 디바이스 자체를 인식하지 못하더라구요. ㅠㅠ

라) USB 펌웨어 업데이트가 가능하다고 하니까 일단 USB 부터 확인 하였습니다.

- AT90USB162는 USB가 내장되어 있는 8비트 마이크로 프로세서 입니다. 공장에서 USB DFU(Device Firmware Updater)가 내장되어 나옵니다. 별도의 다운로더 장치 없이 USB를 통해 자체적으로 펌웨어를 써넣을 수 있습니다.

- HWB(Hardware Bootloader, PD7과 겸용)을 접지하고 리셋을 걸면 USB DFU가 작동하여 펌웨어 다운로드가 가능해짐.

참조문서:AVR282: USB Firmware Upgrade for AT90USB

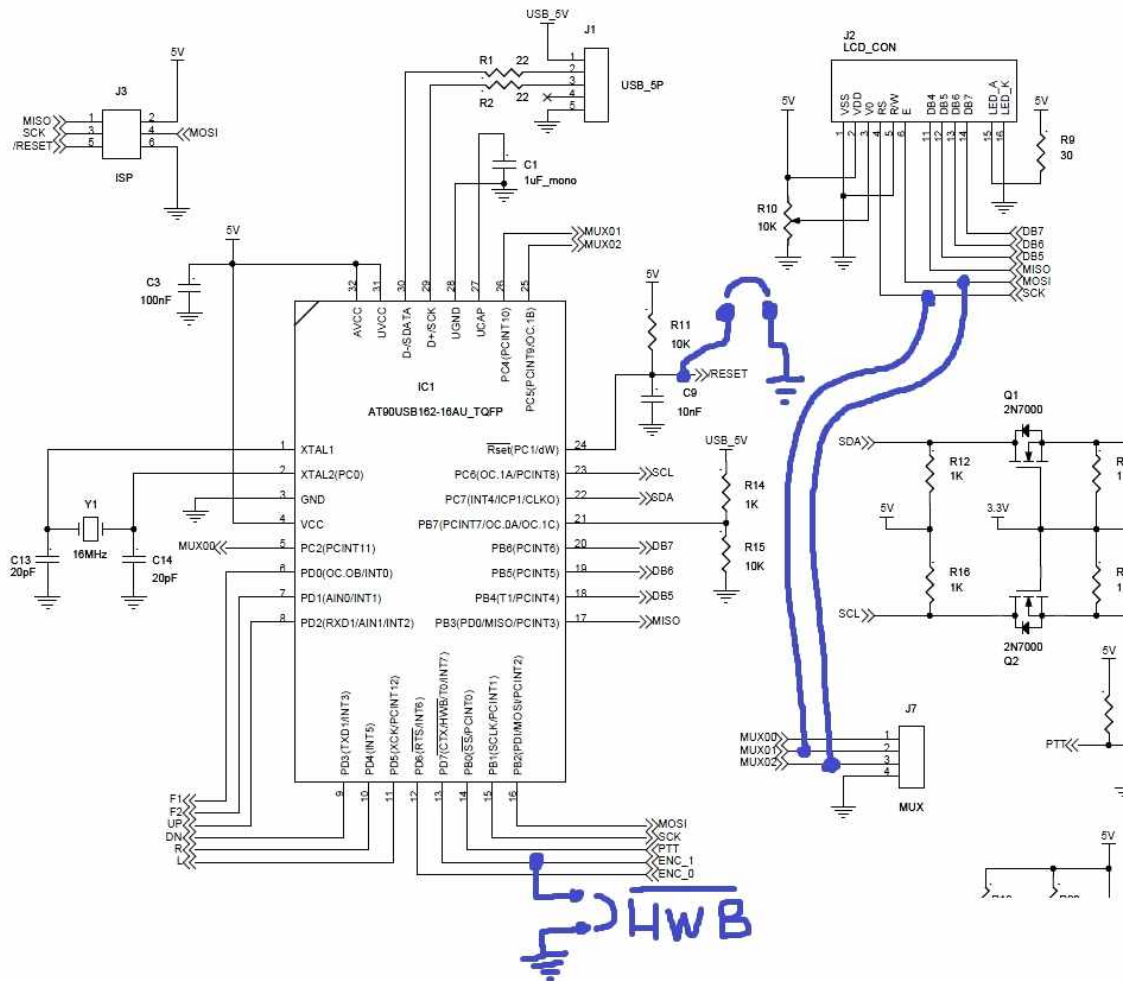
 AVR282_doc7769.pdf

바) USB DFU를 가동 시키고 나면 SPI 기능이 슬레이브로 고정되는 것 같음. 이로 인한 문제는 SPI의 SCK(PB1)가 입력 전용으로 고정되어 CLCD의 RS제어용으로 사용할 수 없더군요. AT90USB의 데이터 쉬트를 보니 다음과 같이 써있네요.

SCK/PCINT1 . Port B, Bit 1 SCK: Master Clock output, Slave Clock input pin for SPI channel. When the SPI is enabled as a slave, this pin is configured as an input regardless of the setting of DDB1. When the SPI0 is enabled as a master, the data direction of this pin is controlled by DDB1. When the pin is forced to be an input, the pull-up can still be controlled by the PORTB1 bit. This pin also serves as Clock for the Serial Programming interface.

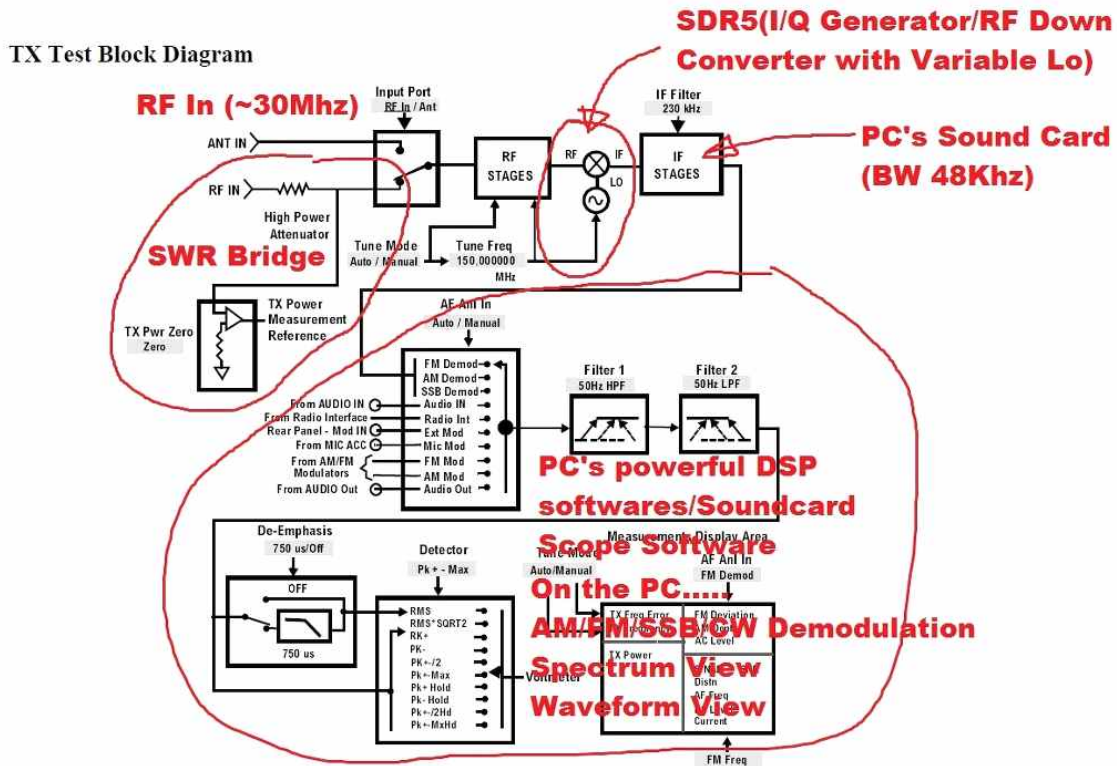
SPI가 슬레이브 모드일 때 DDB1랑 상관없이 무조건 SCK는 입력이랍니다. 그래서 펌웨어로 SPI를 마스터 모드로 바꾸고 출력을 내보내도 전혀 반응 없어요. 더 큰 문제는 DDB1을 조작하고 PB1에 값을 써넣으면 USB DFU가 오락가락합니다. 칩의 버그인지 고장인지.... ㅠㅠ

한참 씨름하다가 시간낭비하지 않기로 하고 아래와 같이 회로 수정했습니다. 시리얼 ISP가 없으므로 무조건 USB DFU만 믿고 가는 겁니다. 당분간 PB1은 건들지 않기로 합니다. AT90USB162의 USB DFU를 사용하면서 PB1을 출력으로 만드는 방법 아시는 분 도와 주세요.



사용하면 정밀도가 조금 떨어지지만 취미용으로 그런대로 쓸만 할겁니다.

8924C도 까짓거 알고보면 별거아닙니다. ㅋㅋㅋ 계산 능력은 PC만도 못하구요, 다만 측정치(숫자)가 믿을 만 하다는 것이고 CDMA 계측은 어차피 우리한테 필요도 없잖아요. 측정 상한 주파수가 좀 많이 $\pi\pi$ 딸린다는게 아쉽지만 우린 HF 자작과 아니겠어요.



입력에 LPF를 꾸며 넣거나 SWR/PWR 브릿지나 디렉셔널 브릿지나 감쇄기 달고 송신기 측정 실험도 하구요. 송신 파형 왜곡 보기, 주파수 안정도 감시, 좀 요령이 필요하겠지만 고조파 스퓨리어드 측정도 가능 할 겁니다. QRPer 들의 필수품이 될 듯!

SDR5는 활용하기에 따라 수신기 뿐만 아니라 고급 계측기로도 쓸모가 무지 많을 겁니다. 다들 줄 서세요... ^^

아! 그리고 여기에 DDS VFO까지 더하면 핸드(^^) 스위치 제네레이터 까지 구비하는 셈입니다.

<http://cafe.daum.net/elechomebrew/Ipmx/6>

측정기? 까짓거~!!

4. 8924C 전원공급장치 수리...

얼마전 DS1PEG(김영철)님께서 EHB-1 조립 사용기를 올려 주셨었습니다.

<http://cafe.daum.net/elechomebrew/FkBm/129>

경험에서 배울 수 있는 소중한 정보를 주셔서 잘 읽었습니다(특히 다이오드 TRX 전환 부분!). 본문 내용 중에 갑자기 8924C의 전원이 안들어 온다고 하시는 것을 보고 문득 생각난 것이 있었습니다.

"내 것도 그렇던데?"

이사하면서 전원을 빼냈다가 한 달여 만에 다시 켜니 전원이 안들어 와서 고장난 줄 알았습니다. AC 플러그 연결해 둔 채 밥먹고 오니까 전원 플러그 옆에 녹색 LED가 켜져있고 전원이 들어오더라는... 이 정밀 장비의 전원 회로에 뭔가(?) 있는 것 같더군요. 궁금하면 오백원! 하고 말면 전자공작 카페 회원 자격 없는거죠?


야후 그룹에 HP8924C 사용자 포럼이 있더군요.

<http://groups.yahoo.com/group/hp8924>

올라온 메시지 중에 "8924 Power Supply (Green LED problem SOLVED)"가 있네요.

<http://groups.yahoo.com/group/hp8924/message/275>

그래서 8924C 전원 공급기 수리 문서를 찾아봤지요.

<http://www.repeater-builder.com/test-equipment/agilent/8920/8924-Power-Supply-Repair.pdf>  8924-Power-Supply-Repair.pdf

요지는 이겁니다. 8924C가 정밀 계측기라 크리스털 발진기 오븐을 가지고 있는데 이에 공급되는 전원 15V는 항상 전원이 들어온 상태여야 한다는 군요. 이 전원이 없으면 전면판의 전원 스위치를 넣어도 부팅되지 않는 다고 합니다. 이 상시 전원 공급기 회로의 PWM 컨트롤러 주변회로에 전해 커패시터가 있는데 이게 경년 변화로 용량이 떨어지는 경우가 발생하면 발진하지 못해서 15볼트를 만들어내지 못하는 경우가 생긴다는 군요.

저의 경우 AC 플러그 연결해 두고 한 십여분 지나니 녹색 LED가 들어오더군요. 그래서 아직 그냥 사용 중입니다. 나중에 문제가 더 진행되면 고쳐야 겠습니다. 당장 한 덩치하는(무려 40Kg!) 장비 들어내서 뚜껑 열기가 귀찮다는...

1) 기초 전자회로 공부

Electronics Tutorial <http://www.electronics-tutorials.ws/>

Smith Chart SimSmith http://www.ae6ty.com/Smith_Charts.html

DSPEXplore <http://www.ae6ty.com/DSPEXplorer.html>

AADE Filter Design Tool <http://aade.com/filter.htm>

LTSpice <http://www.linear.com/designtools/software/#LTSpice>

위의 사이트에서 프로그램도 받고 같이 제공되는 문서, 동영상 추천

5. VNA(Vector Network Analyzer)의 기초

VNA 를 구입하셨다길래(<http://cafe.daum.net/elechomebrew/FQLS/139>) 부러워서 이런거 올리는거 아닙니다. ㅠ ㅠ

VNA는 Vector Network Analyzer(벡터 네트워크 아날라이저)입니다. 요즘은 인터넷 시대라 "네트워크"라하면 그저 컴퓨터같은 통신 단말기의 연결을 생각하기 쉽죠. 여기에서 말하는 "네트워크"는 R-L-C 가 결합된 회로망(circuit network)을 의미합니다.

고주파(교류)신호를 전송하려는데 선로(자유공간상의 잔자기장 도 포함)상의 특성을 분석해줍니다. 전송선로를 R-L-C의 결합회로라고 보는 거구요. 최적의 전송

조건 혹은 특정 주파수의 통과나 차단 필요에 따라 일부러 R-L-C를 추가해 넣기도 하겠지요. 그러다보면 통과하는 전력도 있고 차단되는 전력(또는 소멸되지 않고 신호원으로 되돌아오는 전력)도 생기죠. 네트워크 아날라이저는 전송선로(안테나도 포함)의 이런 특성을 측정해서 분석해 줍니다.


스칼라 네트워크 아날라이저는 진폭을 측정해 줍니다. 그냥 임피던스의 총량을 저항값으로 측정합니다. 흔히 볼 수 있는 VSWR 미터는 스칼라 네트워크 아날라이저라고 보면 되겠습니다. 스펙트럼 아날라이저가 바로 스칼라 네트워크 아날라이저.

벡터 네트워크 아날라이저는 진폭과 위상을 측정해 줍니다. 임피던스를 레지스턴스(R)과 리액턴스(jX)로 측정합니다. 한 점의 위치를 두개 이상의 축으로 구성된 좌표로 표현할 때 벡터라고 하죠.

HP의 문서 두개를 소개합니다.


Understanding the fundamental principals of Vector network analyzer

<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5965-7707E.pdf>

 HP_VNA_Basic_5965-7707E.pdf

S-Parameter Design

<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5952-1087.pdf>

 HP_S_Param_Design_5952-1087.pdf

1) QRP 약세서리 자작 사이트와 QRP Challenge!

인터넷에서 찾은 사이트들입니다. 간단하지만 자작시 아주 유용한 약세서리들입니다. 잊어버리기 전에 기록해 두기 위해 모아 봤습니다.

Hendricks QRP Kit <http://www.qrpkits.com/>

QRP 키트 상점입니다. 여러 QRP 자작 약세서리가 준비되어 있습니다.

SWR Indicator(위낙 잘 알려진 회로 다양하게 인용되고 있음)

<http://www.qrpkits.com/swrindicator.html>

RF Probe(고주파 전압 재기) <http://www.qrpkits.com/rfprobe.html>

Polyvaricon(4개 한세트 15불) <http://www.qrpkits.com/polyvaricons.html>

Kits and Parts <http://kitsandparts.com/>

QRP Kits 상점. 특히 Toroids Core들을 전문적으로 팝니다. 주문하면 2주내로 배달됩니다. 배송료는 5불 이내.

RF Kits <http://kitsandparts.com/rftoolkits.php>

Toroids Core <http://kitsandparts.com/toroids.php>

EM Tech: ZM-2 ATU <http://emtech.steadynet.com/zm2.shtml>

QRP용 안테나 튜너. 성능이 꽤 괜찮습니다. 배송료 5불(4주정도 걸림)

Polyvaricon (260p x 2, 개당 4.5불)

http://www.steadynet.com/catalog/index.php?main_page=index&cPath=25

N5ESE QRP 자작의 ALTOIDS 보석상자 <http://www.n5ese.com/>

ALTOIDS 강통의 대단한 팬. QRP 더미로드, RF Probe, QRP Power 측정 등등, 콘

덴서-코일-배터리 체커, 발룬 등등

<http://www.n5ese.com/gizmo.htm> QRPme 참치깡통 자작

<http://www.qrpme.com/> 참치 깡통 QRP 자작의 달인

QRPp International/Pixie2

<http://www.indianapolis.net/QRPp-I/pixie2.html>

00mW 급 초소형 무전기 Pixie2의 모든 것!

K8IQY's "Manhattan Madness" Project Page

<http://www.k8iqy.com/index.html>

QRP 를 즐기면서 각종 자작 팁들이 수두룩 함

QRP Rigs <http://www.k8iqy.com/qrp rigs/QRPRigs.htm>

2) QRP용 측정 악세서리

<http://www.k8iqy.com/testequipment/TestEquipment.htm>

가) -20 dBm, 14.060 MHz Precision Signal Source

<http://www.k8iqy.com/testequipment/-20dbmsource/-20dbmsource.htm>

나) Return Loss Bridge

<http://www.k8iqy.com/testequipment/returnlossbridge/returnlossbridge.htm>

다) Precision VXO

<http://www.k8iqy.com/testequipment/pvxo/pvxopage.htm>

라) -20 dB Couplers

<http://www.k8iqy.com/testequipment/-20dbmcoupler/-20dbmcoupler.htm>

마) RC Audio Oscillator

<http://www.k8iqy.com/testequipment/audiooscillator/audiooscillator.html>

* 2 번 브릿지RF 전압측정프로브를 만들어두면 QRP 자작기의 측정의 완결판이 됨.

* 3번 커플러를 통해 스코프로 출력 파형 관찰시 필요

* 5번 LC 발진기는 QRP SSB 기기 측정시 오디오 시그널 소스로 사용

바) DDS Bipolar Amp

<http://www.k8iqy.com/miscellaneous/23dbbipolarddsamplifier/23dbddsamplifier.htm>

사) KD1JV Designs <http://kd1jv.qrpradio.com/>

QRP 애호가를 위한 자작 프로젝트. 2010 FIDM Homebrew Challenge Winner(72 Parts). 여러 작품들이 Hendricks QRP kits 상점에서 판매중

아) ATS-4/4-Band QRP TRX <http://kd1jv.qrpradio.com/ATS4/ATS4.htm>

자) Tenna Dipper(간이형 안테나아날라이저)

http://kd1jv.qrpradio.com/tennadipper/tenna_dipper.HTM

차) Tunner Dipper(간이형 안테나아날라이저/고정주파수)

http://kd1jv.qrpradio.com/tunnerdipper/tuner_dipper.HTM

카) YACK(Yet Another CW Keyer) <http://yack.sourceforge.net/>

소형 일렉 키어. 8-핀 ATTiny45 사용

타) Ladder Crystal Filters For Radio Amateurs

http://www.warc.org.uk/proj_xtalfilter.php

파) 크리스털로 만드는 필터/설계소프트웨어

http://www.warc.org.uk/filestore/projects/xtal_bpf_203.zip

3) 기타

가) QRP Amateur Radio International <http://www.qrparci.org/>

나) FDIM(Four Day In May) <http://www.fdim.qrparci.org/>

국제 아마추어 래디오 클럽에서 주관하는 FDIM (Four Day In May) 행사.

다) QRP 자작 키트를 자랑하고 발표고 겨루는 모임. 내용은 이런 겁니다.

<http://answerpot.com/showthread.php?234707-The+FDIM+Building+Contests>

(1) The FDIM 2010 QRP Challenge

(2) The Homebrew Contest

(3) Show & Tell

4) QRP 자작파들이 자기가 만든 것 자랑하고 겨루기 입니다.

<http://fdim.qrparci.org/content/view/104/>

QRP Challenge 에 출품할 기기의 조건은,

가) The transceiver is limited to a maximum of 72 parts. 총 부품수 72개 미만

나) The receiver must be a superhet or other "single signal receiver". 슈퍼 헤테로다인 혹은 직접변환 방식 수신기(말그대로 능동 소자를 사용한 전자회로 수신기. 아크 방전 수신기, 광석 라디오는 않됨 ^^)

다) Keying and muting must be included.

키잉/차단 기능이 꼭 있을 것(부품수 줄이려고 무작정 송신만하는 무전기닌 곤란)

라). Covers at least one of the standard QRP Frequencies

QRP 주파수가 운용 범위에 있을 것(40m 밴드는 7.030Mhz 인근이라서 EHB-1은 되도 SDR4 TX는 않됨. <http://www.qrparci.org/content/view/4304/128/>)

마) Capable of battery power for portable use. 전지로 작동 할것. 휴대가능할 것

바) Schematic w/parts list and functional XCVR be brought (or sent) to FDIM 2010 (13-16 May 2010). 참가 희망자는 회로도 와 기능도면, 부품표를 사무국으로 보내시오

사) Only one part may be an IC, all other parts must be discrete components. 직접회로(IC) 부품은 한개만 인정. 7046 CW TRX는 가능. EHB-1은 불가

아) Knobs, sockets, tuning dials, copper board, power source and enclosures are not considered parts 노브, 손잡이 케이스는 부품에 포함되지 않음

결론: 4066 CW TRX 를 크리스털 주파수 7030Khz으로 변경하고, 회로 보안 수정 하여 출품해 봅시다! 올해는 끝났고 내년엔.... 지원서 넣어보고 오라고 하면 한번 가죠. 매년 300건 정도 모인답니다. 전세계(대부분 미국 유럽이지만) 어지간한 끈들은 다 모이나 봅니다..... ^^

6. EHB-1 2호기 만들기 (3)

가. 우여곡절 1

VX0를 조립 했는데 발진 하지 않습니다. 이 Super VX0만 서너번 조립 했는데 발진 안하다니 그럴리가 없죠. 그래서 혹시나 하고 Super VX0 의 L2의 1-3번 핀의 결선을 점검해보니 끊어져 있군요. 이미 기판에 박힌 5핀 보빈을 무사히 뽑기는 거의 불가능 하죠. 신오엠님이 코일 감으실때 허투루 감을리가 없겠지요. 그것만 굳게 믿고, 아마 가는 에나멜 코일의 피복 번기기가 완전치 못할 것이라는 생각에 인두기를 고열로 하고 한껏 가열 했더니 성공. ㅎㅎㅎ

나. 우여곡절 2

DFD를 조립 하고 전원을 투입 하는 순간 아무것도 표시되지 않는군요. 이미 똑같은 회로리 주파수 카운터도 몇 개를 만들었는데 이럴 수는 없는 겁니다. 크리스탈에 컨덴서를 추가해봐도 도무지 PIC 마이컴의 크리스탈이 발진 하지 않는군요. 혹시 마이컴이 이상한가 싶어 앞서 만들었던 딥 메터에서 마이컴을 뽑고 DFD의 PIC을 딥 메터의 카운터에 꼽으니 잘 작동 합니다. 마이컴은 이상 없는 것이 확실하니 끝으로 DFD의 크리스탈을 교체해 봅니다. 결국 크리스탈 문제 였네요. 일이 맞아 떨어지느라 부품통에 10Mhz 크리스탈이 없군요. 그냥 흔하디 흔한 11.0592Mhz 를 임시로 달았더니 잘 작동합니다. 10Mhz 크리스탈 몇 개 주문해서 몇 일 만에 교체 했네요. ㅠㅠ

다. 우여곡절 3

보드 배열과 배선의 영향인지 모르겠으나 TX OSC(Y4/4Mhz)가 발진 하지 않아 U3의 4번핀을 스코프 프로브로 찍어보니 다시 발진, 때면 발진이 안하길 반복 하길래 L4(100uH)의 용량을 낮췄더니 발진은 합니다만 약간 불안 합니다 결국 L4를 제거 했습니다. TX OSC의 조절 범위가 좁아지긴 하는데 어짜피 XIT를 넣을 목적도 아니니 TC2 만으로도 RX OSC를 조절하여 사이드 톤 만큼 벌리면 되는 것이라 문제 없습니다. ^^/

완성된 기판 모습입니다. 과자 깡통에 넣으려고 재단한 알미늄판 한장에 전부 배열 했더니 엄청 복잡하군요. EHB-1에 Active AF CW Filter와 SDR4/QSD를 장착 했습니다.



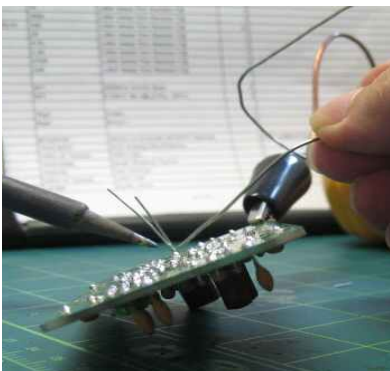


과자 통에 넣은 모습입니다. 원래 배터리도 내장하고 안테나 튜너, 일렉 키어도 모두 내장 하려 했으나 막상 조립하고 보니 공간이 안나옵니다. 어쨌든 무사 조립하고 개통시험 QSO도 마치고 시원하게 보리물 한잔하며 기념샷입니다. ^^

이제 이거 들고 들로 산으로 강으로 바다로 고고씹~
라. (4) 에필로그

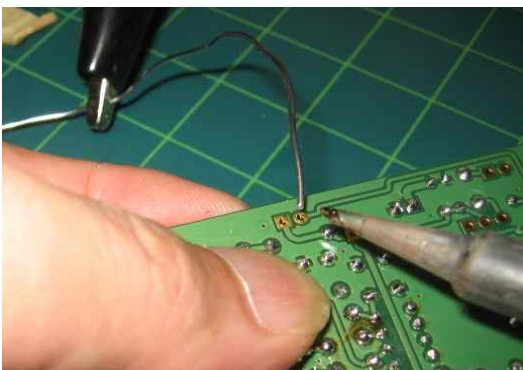
일전에 땀질 보조 도구로 악어 클립으로 만든 기판 집게를 소개드린 적이 있었지요. 사실 기판 땀질 할 때 이 도구를 항상 사용하는 것은 아니고 꼭 필요할 때 적절히 이용하면 좋습니다.

조립 하다보면 부품의 키높이가 서로 다를때가 있죠. 작은 저항 먼저 조립하고 나중에 키 높은 부품을 조립하게 되는데 부품이 한쪽으로 치우치면 기판이 자꾸 쓰러 집니다. 이럴 때 기판 짚는 도구를 사용하면 편리 합니다.



처음부터 기판을 짚어 놓고 땀질 하다보면 기판을 빙글 빙글 돌려가며 때워야 하는데 이럴 때는 오히려 집게 도구가 불편 합니다.

기판 집게는 꼭 기판만 집을 필요는 없죠. 헤더 핀을 기판에 때우려다 보면 기판을 뒤집을 때 헤더핀이 기판 구멍과 헐렁 해서 빠져 버리죠. 한손은 실납 잡고 한손은 인두 잡고, 이러다 보면 헤더핀 도망가는 것에 속수 무책이죠. 아주 성질 납니다.

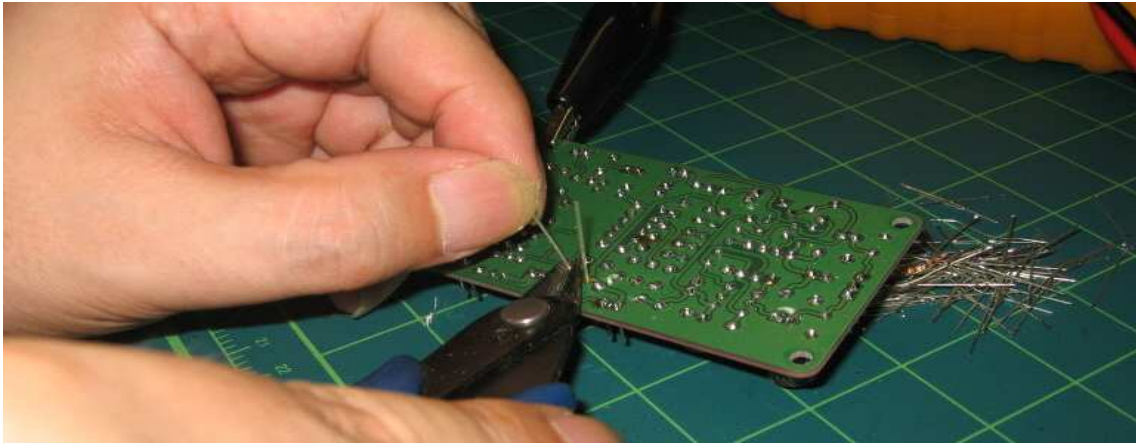


이럴 때는 집게도 실납을 짚는 겁니다.

한손은 뒤에서 헤더핀을 받쳐줄 수가 있죠.

납땀 한 뒤 남은 리드선을 자를때 꼭 두손을 쓰시기 바랍니다.

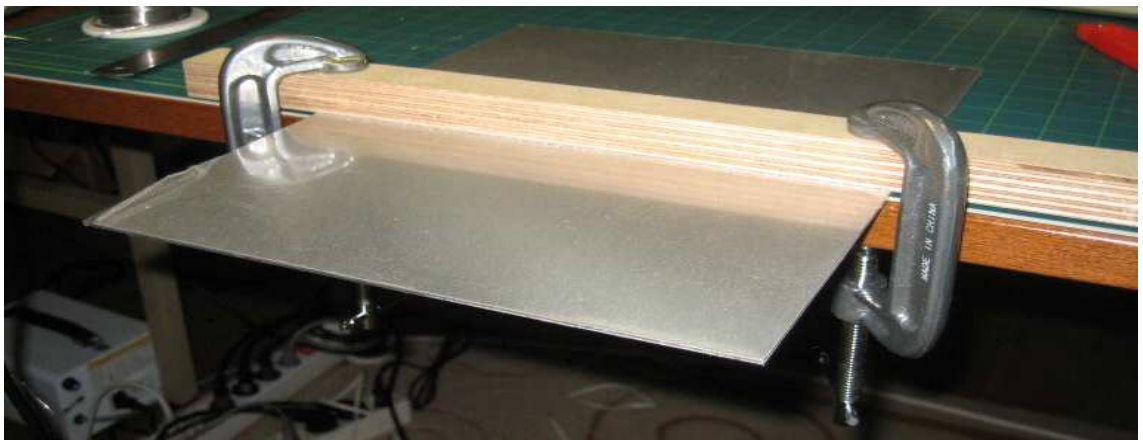
그냥 니퍼로 툭툭 잘라내다보면 리드선이 어디로 될지 모릅니다. 잘못하다가 눈에 들어가면 위험 천만이구요... 날아간 리드선이 행여 책상위 각종 전기 전자 제품에 튀어 들어가면 후회 막급 입니다. 어디로 날아간 리드선 때문에 불안해지죠. 꼭 한손으로는 리드선을 잡고 잘라내세요. 그리고 잘라낸 리드선 토막은 모아 두세요. 나중에 짧은 배선 할때 아주 유용 합니다.



이번에는 알미늄 판 가공 입니다. EHB-1 2호기 만들때 1mm 두께의 알미늄 판을 사용 했습니다. 먼저 재단하고 칼금을 냅니다. 좀 튼튼한 커터칼과 아크릴 칼, 쇠자를 준비합니다. 알미늄판에 금글때 쇠자를 대고 아크릴 칼로 금을 그으면 커터칼보다 아주 편리합니다. 아크릴 칼은 잡아 당기면서 금을 그을 수 있도록 생겼습니다. 커터칼로 금긋다 보면 칼금이 옆으로 빠져 나가는 수가 있지요. 하지만 아크릴 칼로 당기는 방향으로 금긋기 하면 반듯 한 직선을 그을 수 있습니다.

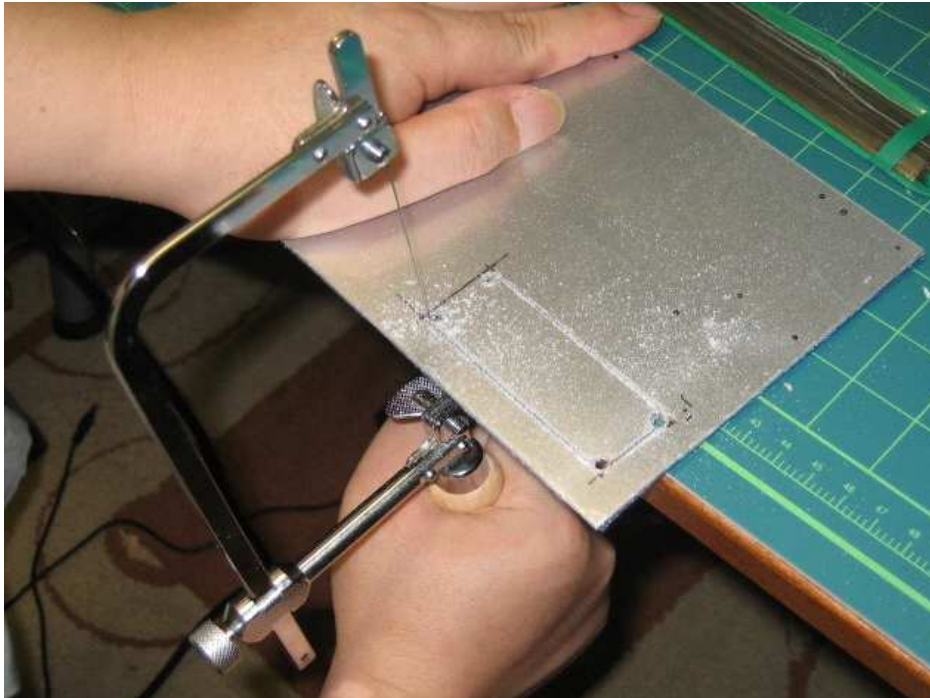


칼로 두께가 1mm 나 되는 알미늄 판을 절단하기는 어렵습니다. 그렇다고 쇠톱으로 직선 반듯하게 자르기도 쉽지 않지요. 그래서 커터로 금을 그어놓고 나무 막대로 틀을 잡아 구부리면서 자릅니다. 작은 클램프아 아주 유용합니다.



이제 재단한 알미늄 판에 구멍을 낼 차례입니다. 드릴로 작은 구멍을 내고 니퍼로 잘라낸 후 줄로 갈아내는 방법도 있습니다. LCD 구멍 처럼 도려낼 길이가 5~10

센치미터나 되면 도데체 드릴 구멍을 몇 개나 내야 하나요. 구멍 내는 일 자체가 아주 지루한 작업이죠. 이럴 때는 가는 실톱을 이용하세요. 어지간한 철판도 쉽게 반듯하게 도려 낼 수 있습니다. 아래 사진처럼 손잡이를 당기면서 자르십시오. 눈으로 톱날의 진행 방향과 재단 선을 확인 할 수 있습니다.



톱날은 절삭되는 방향이 있습니다. 단단한 쇠톱은 미는 방향으로, 나무톱은 당기는 방향으로 절삭됩니다. 실톱도 당기는 방향으로 자르도록 날을 싹톱틀에 장착해야 합니다.

그리고 가는 실톱날을 틀에 고정 할때 팽팽하게 고정 해야 하는데 싹톱틀은 쇠톱처럼 나비 모양 스크류로 당길 수 있는 구조가 아닙니다. 싹톱틀을 벽에 대고 살짝 민 다음에 실톱을 끼우고 고정합니다. 그러면 싹톱틀의 장력으로 실톱 날이 아주 팽팽해 집니다. 별것 아닌 내용 이지만 자작하신큐 조금이라도 도움이 되길 바랍니다.

7. QRP용 SWR/PWR 측정기 자작

측정기를 자작하는 경우 측정치의 정확성을 확보하기 어렵다는 점을 먼저 이해해야 합니다. 이는 측정치의 정확도는 상용 측정기의 경우에도 정밀도가 천차 만별인데 자작품의 경우 더 말할 나위는 없을 겁니다. 그렇다면 측정기를 자작하는 경우 그 목표를 정량적(측정치)인 측면 보다는 정성적(상대적 비율)인 분석에 두어야 하겠습니다. 그렇다고 자작품이라 해서 실용성 없이 대충 만들어 본다면 결국 하찮은 일이 될 것입니다.

가. QRP용 SWR/PWR 미터를 자작해 보려고 몇가지 조건을 세웠습니다.

- 1) SWR 값을 계산하여 표시하지 않고 출력 전력과 반사 전력을 각각 별도로 측정한다.

측정치가 정확치 않은데 이를 근거로 SWR을 계산하여 표시한다는 것은 의미가 없습니다. 따라서 전방향 송출 전력(Forward Power) 측정 및 반사파 전력(Reflected Power)을 각각 측정하여 정성적으로 보여 줌. 정확한 측정치를 숫자로 표시하진 못해도 단순히 1개 LED에 의한 밝기로 전력량을 표시하는 것보다 시인성이 우수할 것. 1-LED PWR/SWR Indicator 도 매우 실용성 있음.

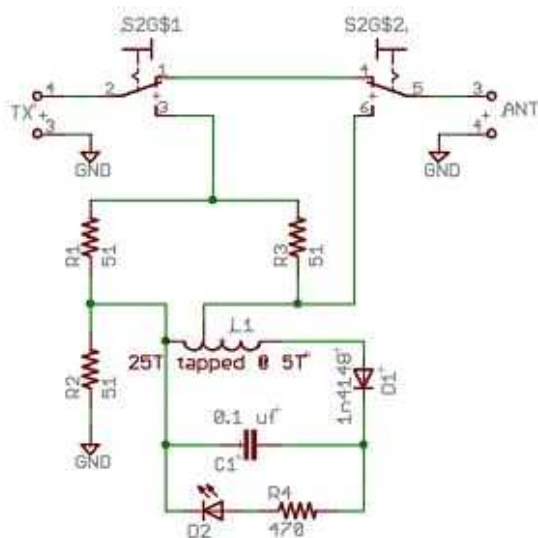
2) 전력 측정을 위해 전송선로 상에 삽입한 검출부에 의한 손실을 최소화 할 것

측정을 위해 중간에 무언가 부가하여 조금이라도 전력을 뽑아내면 에너지 보존 법칙에 따라 손실이 발생하는 것은 당연 합니다. 이 손실이 최소화 되어야 실용적인 것이 됩니다.

3) 자료조사

전송선로상에 전력 측정용 검출부를 SWR Bridge 라고 합니다. 전송 선로상에 고주파가 지날때 발생하는 전자기장 주위에 유도 코일을 감아 전력의 일부를 뽑아내는 역할을 하는 겁니다. 코일을 감는 방향에 따라 순방향 전력 혹은 역방향 전력을 검출해 낼 수 있습니다. 그리고 측정용 검출부의 손실은 이 브릿지를 만드는 방법에 의해 결정됩니다. 검출용 유도 코일을 아주 조심스럽게 만들어야 한다는 뜻입니다.

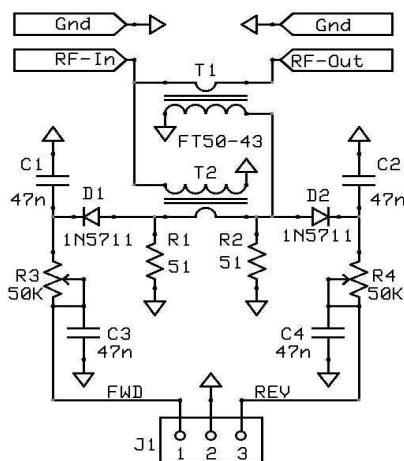
저는 자료 조사할 때 인터넷을 먼저 검색해 봅니다. "내가 고민하고 있는 것은 누군가 고민 했을 것이다." 아주 끈질기고 세심하게 찾아보면 수 많은 정보를 접하게 됩니다. 그중 옥석을 가리는 것은 내 자신의 몫입니다.



1-LED SWR Indicator로 자작파들 사이에 가장 널리 활용되고 있는 회로는 "Taylor SWR Indicator/Bridge" 라는 것입니다. 만들기도 쉽고 별도의 구동 회로 없이 무전기에서 송출되는 전력과 반사 전력으로 LED 한개를 켵니다. 단점이라면 삽입 손실이 상당히 큼니다. 하기에 SWR을 맞춰 놓을때 사용하고 운용시 들여다 보고 있을 필요는 없겠지요.

<http://qrpkits.com/swrindicator.html>

<http://qrpkits.com/files/LED%20SWR%20v1.pdf>



T1,2 = FT-50-43-10T:1T

QRP SWR Bridge for 1.8-30 MHz		
Kits And Parts Dot Com		
by W8DIZ	Rev 1.0	27 Dec 2008

이번에는 Kits-and-Parts 의 SWR Bridge 입니다.

<http://kitsandparts.com/bridge.php>

간단한 구성입니다. 만들어서 실험해 보니 전방향 및 역방향 전력 검출에 문제 없었습니다. 하지만 아쉽게도 삽입 손실이 상당히 발생 하더군요. 다른 브릿지를 찾던중 U/V 용 SWR Bridge 에 대한 기사도 많이 발견되었습니다.

WiFi Meter : <http://pe2er.nl/wifiswr/>

VSWR Sensor (10Mhz~2500Mhz) :

<http://www.electronicstudio.net/pdf/HIGH%20QUALITY%20SENSOR.pdf>

U/VHF SWR Meter:

<http://www.foxdelta.com/products/swr/swm-vhf/swm-vhf-doc.pdf>

Directional Coupler 관련 문서 HF In-Line Return Loss and Power meter:

<http://n2pk.com/RLPmtr/RLPv1c.pdf> VSWR Measurement Using In-Line Power Meter:

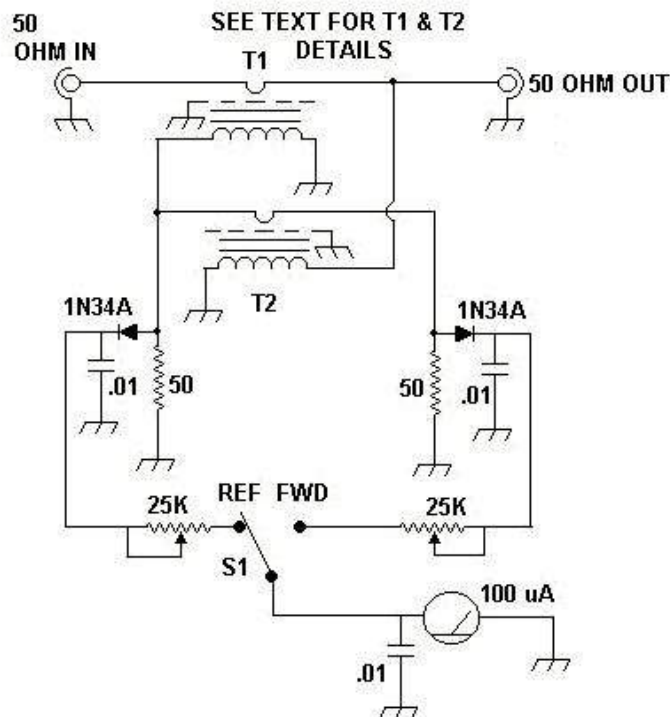
http://www.bird-technologies.com/resources/white_papers/VSWR-Measurements-Using-In-Line-Power-Meters.pdf

SWR/PWR Meter Circuit (STOCKTON TYPE)

QRP/HF 용으로 좀 더 찾다가 발견한 것은 아래와 같습니다. 회로를 보니 Kits-and-Parts 의 것과 유사합니다. 단지 전송 선로의 1차 코일에 실드선을 사용하게 되어 있습니다. 그리고 검출된 전력을 검파하여 전압으로 바꾸는 회로가 단출하게 게르마늄 다이오드(1N34A)와 컨덴서(0.01uF) 균요. 간단한 RF Probe 입니다. 아니면 광석 라디오와 별로 다르게 없습니다. 그외 PWR/SWR 측정용 브릿지의 원리는 다 같습니다. 전력의 송출 방향과 유도 코일을 두르는 방향이 매우 중요합니다.

<http://www.angelfire.com/electronic2/qrp/swrpwr.html>

SWR/PWR METER CIRCUIT (STOCKTON TYPE)



KC8AON

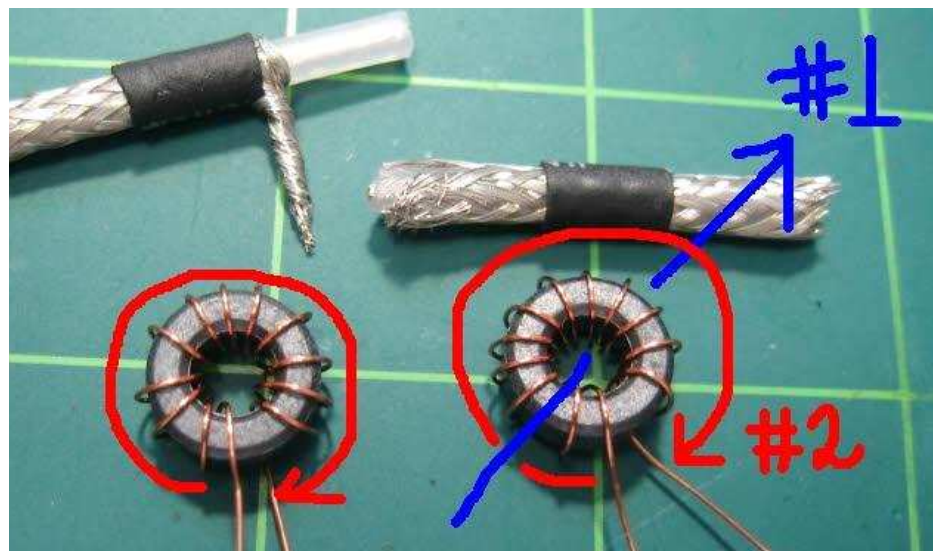
 [www.angelfire.com/electronic2_qrp_swrpwr.pdf](http://www.angelfire.com/electronic2/qrp/swrpwr.pdf)

QRP PWR/SWR 메터를 만들기 위한 부품을 준비해 봅니다. 쉽게 구할 수 있는 부품이면 좋겠군요. 51옴 저항, 0.01uF 콘덴서, 1N34A 고주파 검파용 게르마늄 다이오드, 20K옴 트리머, 그리고 토로이달 코어 가 각각 두개씩 필요합니다. 특히 토

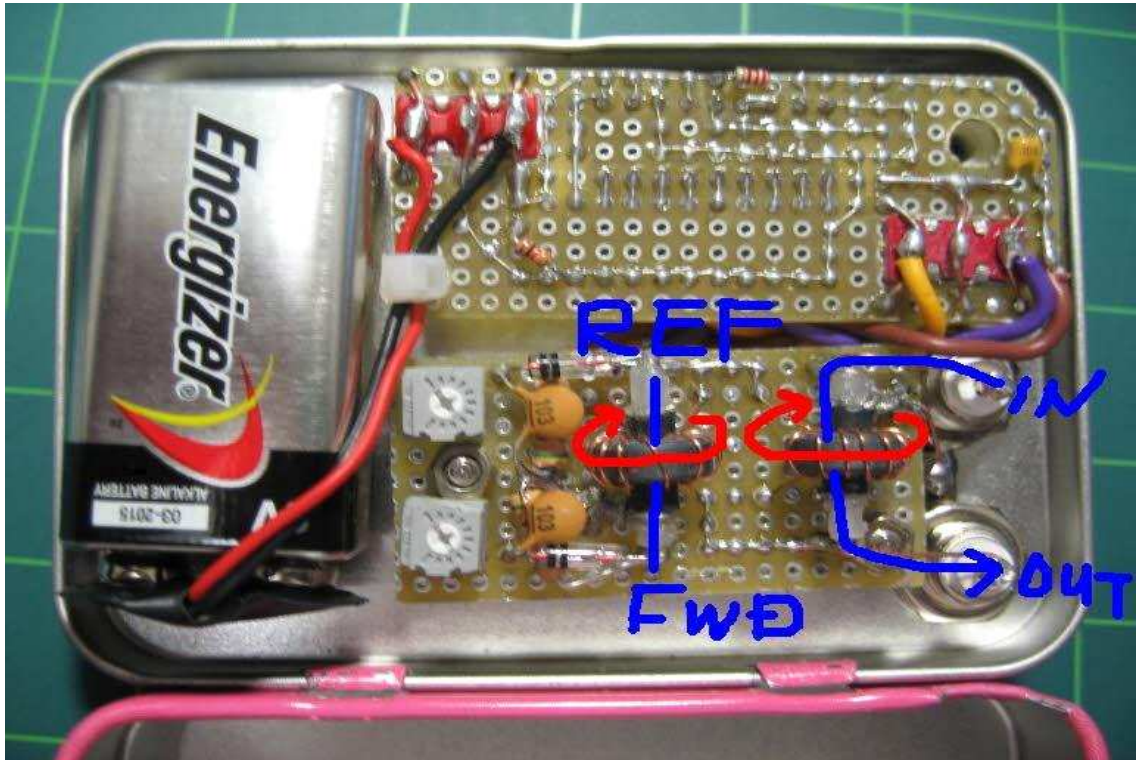
로이델 코어는 FT50-61을 많이 사용하는데 좀 더 작은 FT37-61을 시용해도 좋다고 합니다. 이 코어를 구하려니 일치하는 것이 없더군요. 마침 Wurth Electronics 의 코어 74270161 가 디바이스 마트에서 판매되고 있길래 이것을 이용해 보기로 합니다. 이코어는 1-LED Tayloe SWR Indicator/Bridge를 만들 때도 유용합니다.



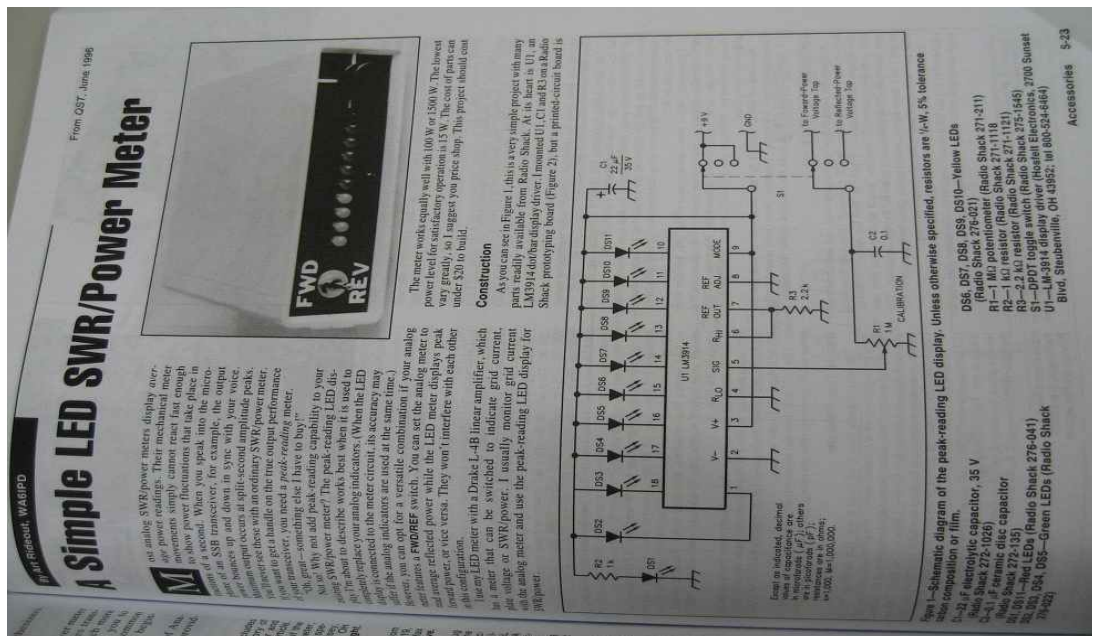
코일 감기는 감는 방향이 매우 중요합니다. 두개의 코어 모두 0.3 밀리 직경의 에나멜 선을 시계방향으로 12회 감습니다. 토로이덜 코어의 권선 수는 코어의 원형 구멍을 관통하는 횟수 입니다. 감는 방향에 따라 시계방향(Clockwise) 혹은 반시계 방향(Counter Clockwise)으로 나뉩니다. 아래 사진 처럼 감은 것이 시계방향 입니다. 전력의 방향성을 따져야 하는 PWR/SWR (Foward/Reflect) 를 각각 측정하려는 것이므로 감는 방향은 매우 중요합니다. 토로이덜 코어를 1회 관통할 1차측 코일은 RG-58 동축 케이블 입니다. 코어의 중심 직격이 가늘어 RG-58이 들어가지 않습니다. 외피는 벗기고 수축 튜브로 감쌌습니다.



이 코일을 가지고 만능기판에 조립했습니다. 회로가 간단합니다만 코일은 감는 방향이 일치되도록 주의해야 합니다.



전력 측정용 검출부 SWR Bridge에 소형 볼트미터를 달아 측정치를 읽어보면 됩니다. 혹은 LED 한개를 달아 밝기를 보셔도 됩니다. 출력 조절은 LED가 가장 밝을 때, SWR을 맞출때는 반사파 전력이 하나도 검출되지 않아야하므로 가장 어두울 때가 되겠지요. 보다 시인성을 높이기 위해 바늘 눈금형 메터를 사용할 수도 있지만 여러 개의 LED를 사용하여 막대 그래프 방식으로 표시되는 디지털 볼트미터를 만들어 달면 한결 보기 좋습니다. 볼트미터 겸 LED 구동 드라이버 IC는 LM3914 입니다. 배터리 잔량측정, 오디오 레벨메터 등 여러 용도로 사용할 수 있는 것으로 손쉽게 구할 수 있습니다.



헬로키티 멀티비타 쟁통에 쏙 들어가는군요.



만들어서 사용해본 결과 삽입 손실이 거의 없고, 순방향(Foward) 및 반사파(Reflect) 전력을 시각적으로 볼 수 있습니다. 표시부의 감도조절이 가능 합니다. 정확한 전력과 SWR 값을 측정하여 숫자로 표시하기는 곤란 합니다만, 송출 전력 및 반사파를 모니터링 하여 자작 무전기를 튜닝하고 안테나 매칭을 실시하는데 충분히 효과가 있습니다.

제작에 필요한 주요 부품은 온-라인 부품점(devicemart.co.kr 혹은 ic114.co.kr)에서 낮 개로 구할 수 있으며 비용은 약 1만원 가량 소요됩니다. 하지만 소소하게 들어가는 잡자재(수축튜브와 RG-58 짜투리, 전선 가닥, 에나멜선)들이 항상 자작을 가로막게 되죠. 이럴 땐 신오엠님께 부탁하면... =3=3=3

8. QRP 용 더미로드 자작

송신기를 자작하거나 수리할 때 전파를 송출하는 일은 불가피 합니다. 이때 송신기의 출력단에 연결하는 것이 더미 로드(Dummy Load, 의사 부하)입니다. 원래 송신기에 연결해야 할 것은 안테나로서 50옴짜리 부하저항입니다. 시험을 위해 안테나를 연결하면 불필요한 전파를 발사하게 되어 혼신을 잃으켜 남들에게 피해를 주는 것도 문제지만 중요한 점은 내가 가지고 있는 안테나가 50옴으로 이상적이지 않다는 겁니다. 50옴 저항의 부하가 연결될 것으로 규정하고 설계한 송신기의 출력 단자에 임피던스가 얼마나 되는지도 모를 대충 쳐놓은 안테나로는 조정도 되지 않을뿐더러 의미도 없습니다. 더미로드는 이 처럼 이상적인 안테나의 조건을 흉내 낸 것으로 가짜 안테나(로드)입니다.

더미로드로 간단하게 50옴 짜리 저항을 쓰면 됩니다. 무전기 출력에 따라 내압 용량(와트) 값이 높은 것을 써야 하겠군요. 수백와트짜리 더미로드를 만들려면 정망 보통 큰일이 아니겠습니까. 무전기에서 방출된 에너지가 더미로드(저항)에서 소모되니 열도 엄청 납니다. 대용량 더미로드는 펄펄 끓는 다리미에 버금가겠군요. 열이 올라가면 저항 특성도 바뀔테니 냉각도 중요하겠습니다.

저전력 QRP용이라면 수와트 시멘트 저항도 그럭저럭 쓸만 할겁니다.

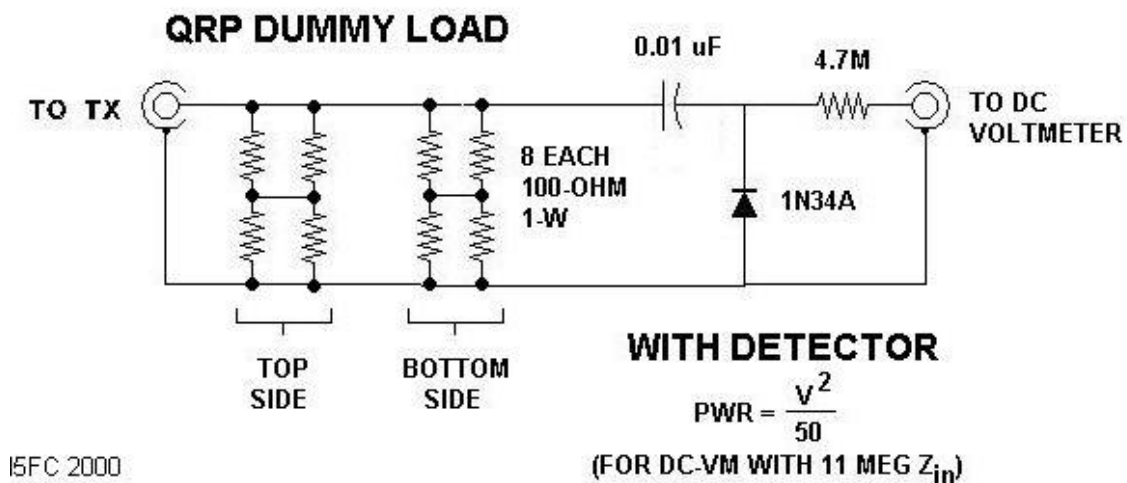


마땅한 고용량 저항이 없으면 저항 몇개를 결합하여 50옴을 만들어 쓰면 되겠습니다. 아래 그림은 N5ESE 의 더미로드 입니다. 볼트 미터를 이용한 전력 측정 기능을 가지고 있군요.

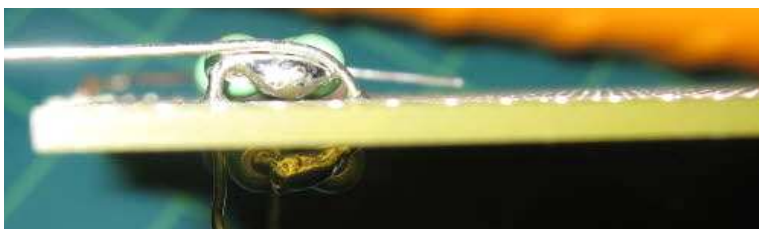
고주파 전압 검출 회로는 RF Probe로서 1N34A와 0.01uF 콘덴서로 검파하고(HF대에서 유효함), 직류전압 측정기와 임피던스(보통 멀티미터의 입력 임피던스가 약 11M 옴)를 맞추기 위한 4.7M 옴 저항으로 구성되었습니다.

<http://www.nonstopsystems.com/radio/antenna-dummy-article-3.pdf>

antenna-dummy-article-3.pdf



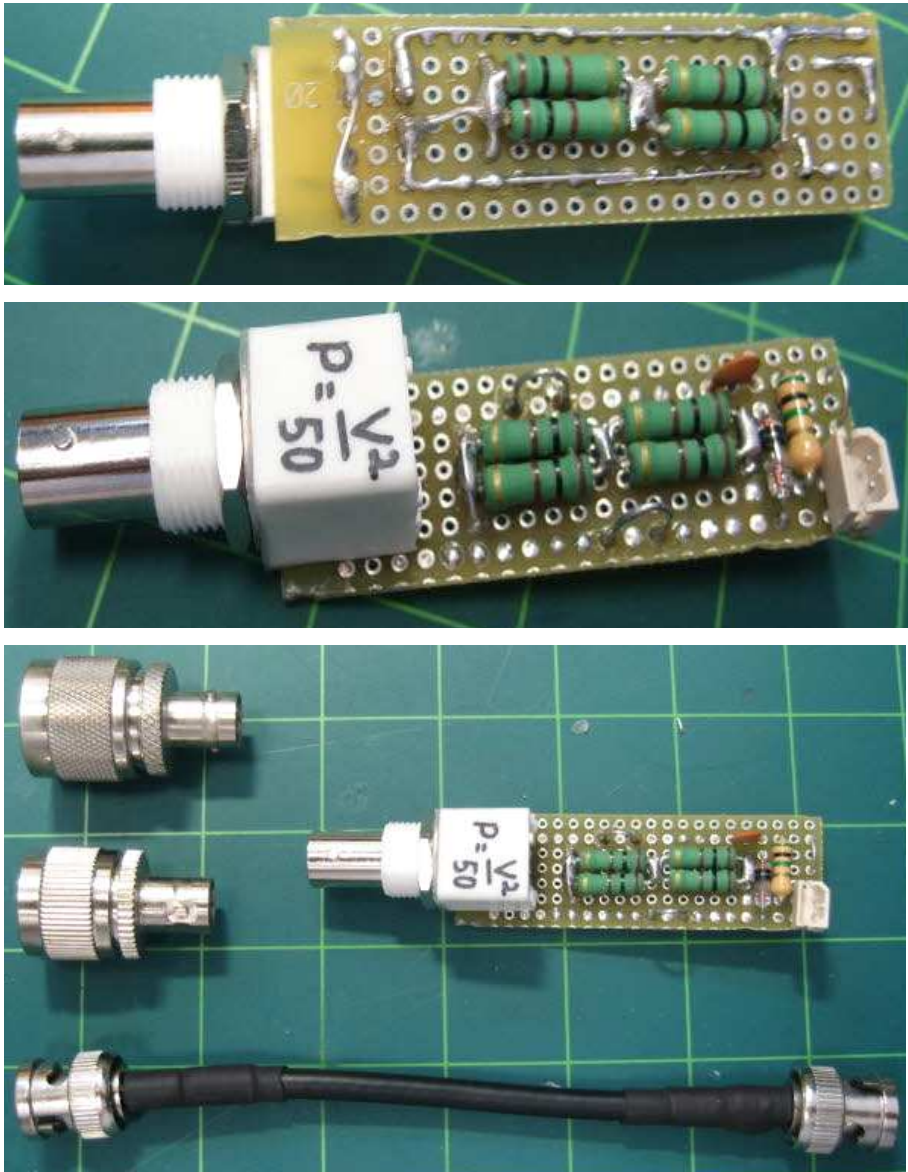
100옴 저항 두개씩 모아 이렇게 준비합니다.



이제 만들어 봅시다. 부품을 준비합니다. 100 옴 저항 8개입니다. 다리를 ㄷ 자 모양으로 구부려 두개씩 연결합니다. 용량이 큰 저항의 다리는 열을 상당히 흡수합니다. 다리를 잡고 뽕질하려다 간 손 다 땀니다. 자작파의 제3의 팔(클립)에 찢고 때우세요.기관 상면에 4개(2쌍), 하면에 4개(2쌍)를 회로도 대로 조립합니다.

아주 간단 하지요. 더미로드 기판에는 BNC 코넥터를 달아 두었습니다만 나중에 M, N 코넥터에 연결 할 수 있도록 짧은 동축 케이블과 함께 변환 코넥터도 마련해

됩니다. 전압 측정치와 전력값 환산 수식을 써 두었습니다.



주의사항:

- 5와트 미만의 전력도 더미로드에 물리면 상당한 열을 발생 합니다. 더미로드를 사용할 때 화상에 주의하세요.
- 전압 측정값은 더미로드가 열을 받음에 따라 점점 내려갑니다. 더미로드가 냉각된 상태일때 측정 한 EHB-1의 전압은 12.1 볼트 내외로 전력은 약 3와트로 측정되었습니다. 상당히 정확 하게 측정 됩니다.

- 위 더미로드는 DC~30Mhz 범위에서 유효합니다.

9. QRP용(?) 안테나 아날라이저 Tenna-Dipper

안테나 아날라이저라고 하려니 좀 쑥스럽군요. hihi~ 어쨌든... 안테나를 쳤는데 동조 주파수가 어디쯤인지 알고 싶다. 그래야 끊던 늘리던 할테니까...

운용 주파수가 7.010Mhz 쯤인데 묻지마 안테나에 물린 안테나 튜너를 조정 하려고 송신 해가며 조정하려니 꺾꺾찌근 하다.

이럴때 꼭 필요한 것이 안테나 아날라이저 혹은 SWR Analyzer 라는 것이 있지요. 저의 기억을 더듬어보자면, 아주 예전(그래봐야 70~80년대)에는 햄에게 안테나 아날라이저 라는 것은 들어보지도 못했고 그저 딴-메터가 선망의 대상이었는데 21세기 들어 다시 햄에 입문해서 보니 안테나 아날라이저라는 것이 가장 가지고 싶은 품목중 하나가 되었던군요. 마치 무슨 마법 지팡이라든가 되는 양... 그래서 한번 들여다 보니 뭐 별것도 아니더군요. 안테나 동조점 찾고 임피던스값 측정하는 것이

전부란 겁니다. 단지 좀 근사하게 임피던스를 $R + Xj$ 요판식으로 표시 하더군요.
안테나 아날라이저가 궁금 하다면 아래 링크를 한번 보시구요.
<http://cafe.daum.net/elechomebrew/FQLS/26>

1) 속터지는 일...하나,

무전기의 안테나 출력 임피던스는 50옴이므로 쳐놓은 안테나도 송출할 주파수에 공진하여 임피던스 50옴이길 바란다. 그런데 SWR 값이 터무니없으니 송신해가며 조정을 해야겠기에 무전기들고 옥상으로 올라갈 수도 없고, 선불리 송신해 봤다가 무전기 종단부 망가뜨릴까 걱정이고, 옥상과 무전실을 오르락 내리락, 한 두번도 유분수지 OTL....

2) 속터지는 일...두울,

안테나 쳐놓을 여건이 안되서 묻지마 롱-와이어에 안테나 튜너만 믿고 가는 무선국. 매칭 안된 안테나로 송신하면 무전기 망가진다는 말에 길게 송신도 못하고 째끔 째끔 송신해가며 수동 안테나 튜너와 씨름하다가 시간 다보내고 있다.

3) 속터지는 일...서이,

전자공작 카페에서 QRP 무전기 만들었다. 이제 들로 산으로 나가보세. 안테나 쳤다 거뒀다 반복하자니 이것도 보통일이 아닐세. 오늘은 도데체 50옴 공진점이 어디쯤인 거냐?

4)속터지는 일...너이,

기묘하게 생긴 안테나. 스텔스 안테나, 루푸 안테나라는데 신기하게도 매칭도 잘된다. 그런데 매칭 폭이 너무 좁다네. 7010Khz에서 전신하다가 EHB-1 자작품 자랑 하려고 QSY UP 7070Khz. 얼른 주파수 옮겨보니 오엠님께서 부르시는데 내 안테나 매칭 대역폭은 너무 좁다. 거기 대고 튜닝 다시하려니 민망 하네.

5) 속터지기 전에....

무전기로 송신 안하고 안테나 매칭을 신속하게 도와줄 도구를 찾아보니 바로 "안테나 아날라이저" 라는 것이 있습니다. 아쉽게도 전부 수입품에 가격도 만만치 않습니다. 곧 자작품 가게에 나온다 하지만 언제 까지 기다리란 예상도 없군요. 속터지기 전에 하나 만들어 봅시다.

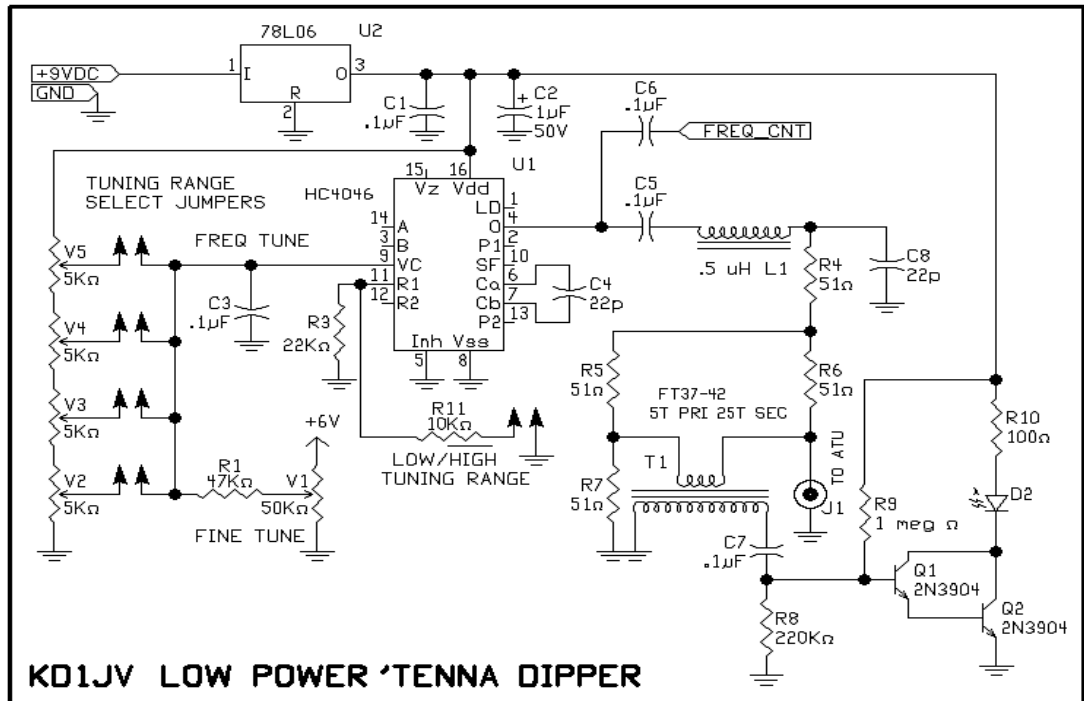
가. 먼저 사양을 정합니다.

- 1) 측정 주파수 범위는 HF/햄-밴드 면 충분(2~30Mhz 연속 가변)
- 2) 임피던스에 R 이나 Xj 따위 알고 싶지도 않고 그저 50옴에 공진 주파수만 알면 됨

나. Tenna-Dipper

위의 욕구에 꼭 맞는 도구가 KD1JV의 Tenna-Dipper라는 것으로 이미 여러 QRPer 들 사이에 널리 이용되고 있습니다. 나만 몰랐다? 회로를 보면 이렇습니다.

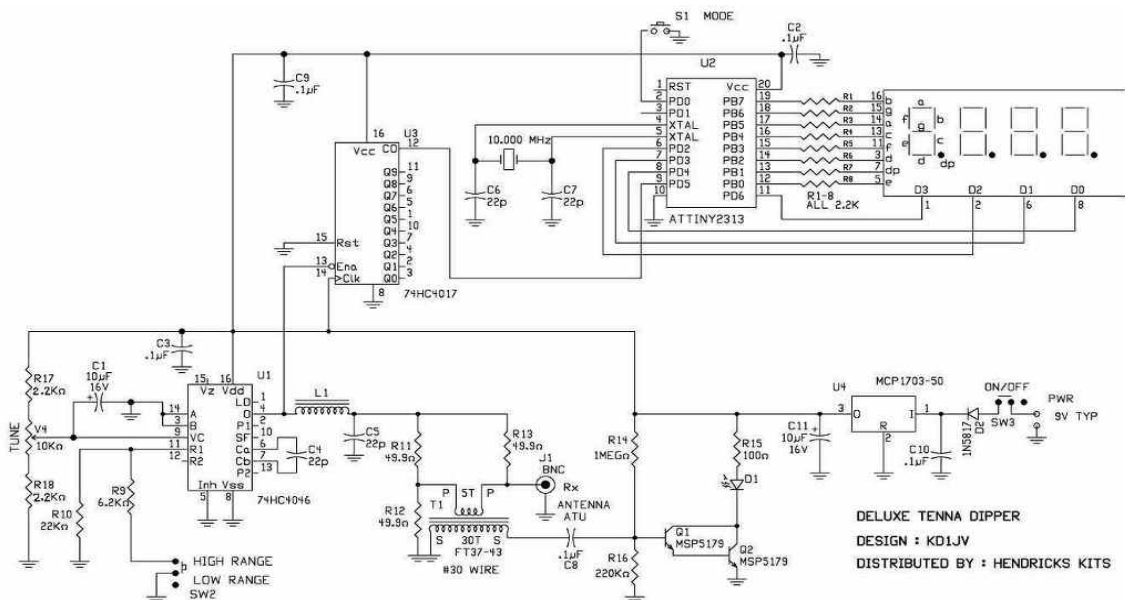
http://kd1jv.qrpradio.com/tennadipper/tenna_dipper.HTM

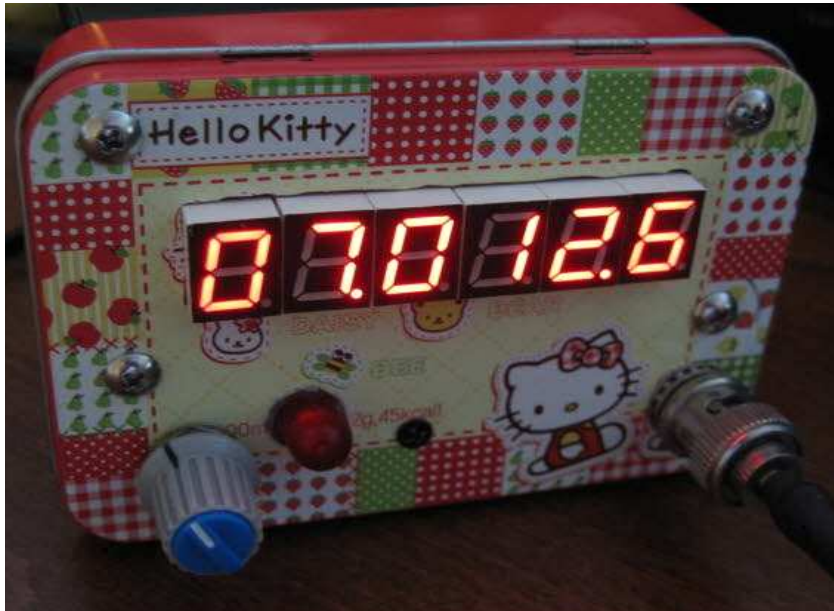


회로 구성은 74HC4046 (VCO PLL)로 만든 광대역 발진기와 "Taylor SWR Indicator/Bridge" 입니다. 송신 임피던스를 50옴으로 고정시키고, 발진기 출력을 안테나로 보내고 그 반사파 성분을 LED로 관찰 하는 겁니다. 워낙 작은 전력이라 LED를 켤 수 없으니 2n3904 두개를 써서 증폭을 했군요. 위의 회로는 발진(송신)부와 반사파 검출부만 있고 주파수 카운터는 없습니다. Hendricks QRP Kit 상점에 서 Tenna-Dipper에 주파수 카운터를 달아 디럭스 버전이라고 팔고 있습니다.

<http://qrpkits.com/deluxetennadipper.html>

http://qrpkits.com/files/Deluxe_Tenna_Dipper_042411.pdf





마침 우리 카페에서 주파수 표시장치를 공제하고 있으니 이것을 Tenna-Dipper에 달았습니다. 멋집니다! 내부 모습을 볼까요. 아주 간단하지요?

Tenna-Dipper에 사용된 VCO/PLL과 시인성 좋으라고 단 8mm 구경 LED를 구동하기에 78L05가지고는 조금 버거워 보일것 같아서 좀 큰 레귤레이터를 달았는데 나중에 보니 굳이 교체하지 않아도 될 듯 합니다.

외장 주파수 카운터도 겸용 할 겸 전환 스위치도 달았습니다.



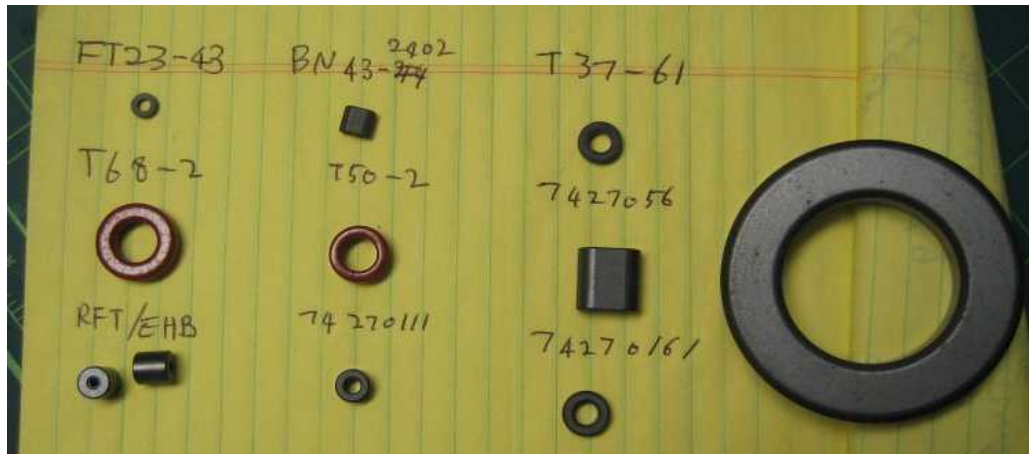
아쉽게도 헬로-키티 깡통에 건전지가 들어가지 않습니다.

그래서 외장 배터리 박스를 째깍이를 이용해 뒷면에 착탈하기로 합니다.

전원 온-오프 스위치 까지 달려서 아주 좋군요. 뒷면은 BNC는 외장 주파수 카운터로 사용할 때 피 측정 주파수 입력 입니다. 이렇게 만들어서 사용해 보니...

대략 흡족 합니다. 사용 모습을 보시죠. 50옴 공진 점에서 LED가 확~! 꺼집니다. 이런 경우를 진정 "좋은 일 하십니다" 라고 하지 않을 수가 없군요. hihi~

이런저런 자작을 해본다고 몇 개씩 구입해서 사용해본 토로이덜 코어들을 소개합니다.



QRP용 안테나 튜너, SWR Bridge, BPF 등의 자작용으로 T50-x, T37-x 이 유용했습니다. 돼지코 모양의 코어로 BN43-xxxx은 무전기 IF신호를 뽑아 SDR4 로 연결할때 RFT로 사용 했었고, FT23-43은 송수신기 초단 매칭, 발진용 RFC감을 때 사용 했습니다. 그리고 우측의 무식하게 생긴 코어는 FT240-43 으로 기억되는데 안테나 급점점 아래에 쇼크발룬, 4:1, 9:1 발룬 감아 놓을 용도로 사용 했습니다.

위 코어들을 선택한 근거는 다른 QRP 자작 키트 사이트에서 판매되는 키트들의 회로도에 널리 사용된 것이라 선택 했었습니다. 실제로 사용해보니 효과가 좋더군요. 토로이덜 코어의 첫번째 숫자가 코어의 외경인데 T23, T37, T50와 EHB의 RFT에 사용된 것, BN43 정도를 열댓개 씩(자작에 취미 붙이면 코어 소모량도 놀라게 증가하더군요) 준비하고 있으면 QRP용으로 이런 저런 자작하는데 유용할 겁니다. 아울러 0.3, 0.7 미리 에나멜선 한롤 있어야 하겠구요. 안테나 튜너라도 만들려면 500pF 정도의 폴리 바리콘이 있어야 겠습니다.

처음에는 어떤 것이 필요할지 몰라 소량으로 몇 개 구입하고 더 필요해서 추가 구매하다보니 코어값은 얼마 안되는데(정말 싸입니다 ^^) 송료가 상당히 들더군요. 그러면서 공부하는 재미는 좋았습니다. 부품통에 서너개씩 남아 있는 것을 보고 있으면 기분이 포근해 집니다. (자작 취미가의 신경 안정제 ㅎㅎㅎ) 이기회에 마련해 두시지요. ^^

** RFT 감는 법은 "회로이론 및 시뮬레이션" 게시판에 김경원님의 글을 참조하십시오. <http://cafe.daum.net/elechomebrew/DjjG/4>

** RFC 감을때는 전자공작 카페의 공제품 L/C Meter를 사용하십시오.

<http://cafe.daum.net/elechomebrew/Dfx0/35>

** 안테나의 매칭 코일에 대한 기사는 "안테나자작" 게시판의 김경원님의 "Zepp Antenna 알아보기" 1,2,3편을 보십시오.

<http://cafe.daum.net/elechomebrew/Dfwx/21>

<http://cafe.daum.net/elechomebrew/Dfwx/23>

<http://cafe.daum.net/elechomebrew/Dfwx/26>

** 발룬에 대한 설명은 아마추어무선연맹의 기관지 2011년 5-6호에 기사가 있습니다

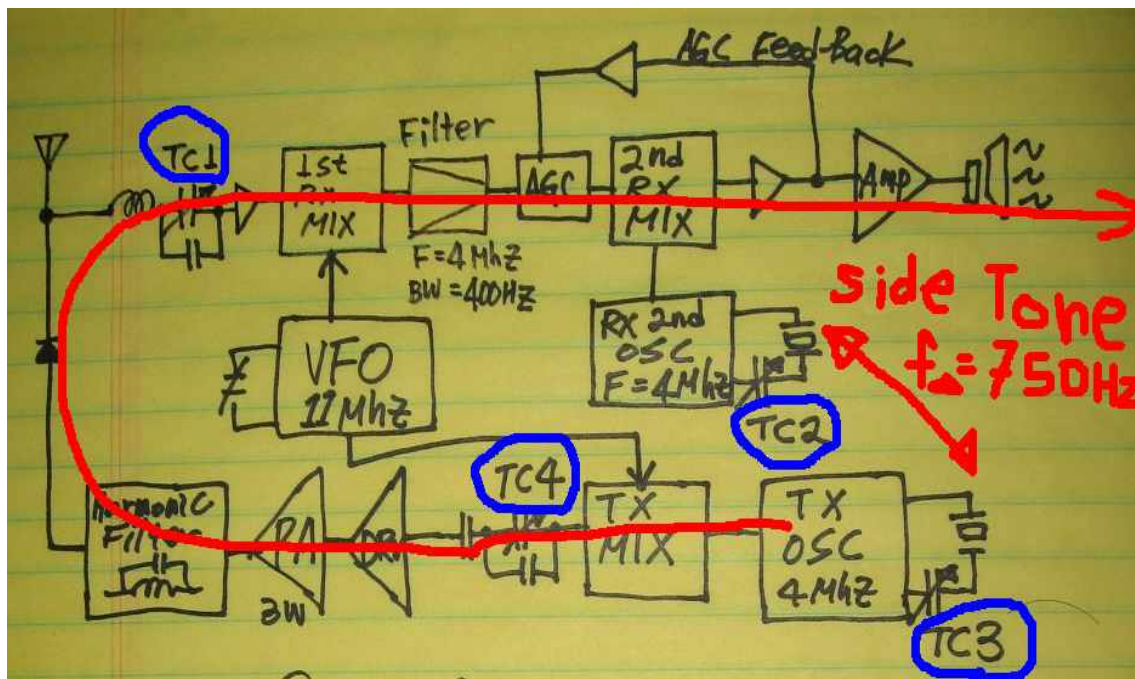
다. RFI 방지 목적 발룬 위주로 설명되어 있습니다. 발룬을 왜 쓰는지 어떻게 작동하는지 설명은 아래 링크에 있습니다.

<http://www.eznec.com/Amateur/Articles/Baluns.pdf>

10. EHB-2 제작기 (1)

SSB 운용을 잘 하지 않는 데다가 앞서 만든 EHB-1 CW QRP TRX에 재미를 보고 있던 터라 EHB-2는 크게 정을 못 붙이고 있습니다. 설계, 배포하신 두분(김경원, 신준호)께는 죄송하게도 키트를 받고난 후 한 달도 넘어서야 조립을 했습니다. 수송신 기능상으로는 정상 같은데 출력이 안나가고 있습니다. PA 가 나갔는지 아니면 어딘가 부품을 잘못 꼽은 것인지 아직 확인은 못했습니다.

먼저 송수신기 공부 먼저 했습니다. 앞서 만든 EHB-1 과 비교해 보면, 부품도 두 배이상 많이 들어가고 있는 것을 봐서라도 음성 통신용 무전기가 훨씬 복잡하다는 것을 알게 됩니다. EHB-1 CW TRX의 구성은 간단합니다. 발진 신호를 단속하여 정보를 보내는 것입니다. 조정도 단순하지요. TC4로 송신 전력 가장 세게, TC1 조정으로 수신 신호 가장 세게, TC2 - TC3로 수신 주파수가 송신 주파수보다 사이드톤 주파수(그림에서는 $F_s=750\text{Hz}$)만큼 어긋나게 조정하는 것으로 그만입니다.



그런데 음성 통신용 송수신기(SSB TRX)는 구성이 복잡합니다. 우선 보드만 봐도 송신부와 수신부 두장으로 나뉘져 있군요. 송신부는 음성 진폭 변조와 고주파 믹서용 IC(NE602/SA602)를 두개 사용 했습니다. 이 IC는 발진과 평형변조를 동시에 처리해주는 기능을 하는데 매우 넓은 범위의 고주파 대역에서 수퍼헤로다인(주파 두개 섞어 채배 시킴) 송수신기를 간단하게 만들어 주는데 아주 유용합니다. (참조: NE602 Primer,

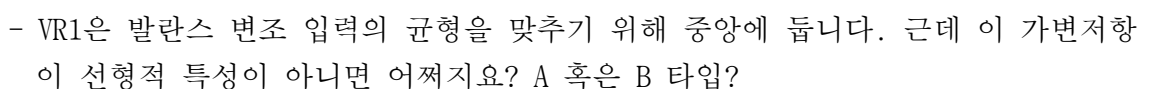
<http://techdoc.kvindesland.no/radio/b1/20051213190607573.pdf> ,

SA602_Primer.pdf)

여기서 질문이 생겼 습니다. 4.913790Mhz의 반송파와 마이크 입력의 음성 신호를 DBM(평형 변조, 반송파 억제 진폭변조/AM)하고 측파대만 출력함, 이런 역할을 수월하게 해주는 회로 구조가 SA602내부의 길버트 회로라고 함. 위의 문헌 참고. 그런데.... 4.913790Mhz 로 변조된 신호를 중심 주파수 4.9152Mhz인 2.8Khz 대역의 필터를 통과 시키면 USB 신호가 되는 것이 아닌가요?

여기서 두 번째 질문, 두 번째 믹싱할 때 SA602가 단측과 입력인데 다른 한쪽에 ALC 피드백이 걸려 있군요? 이거 작동 원리가 궁금합니다.

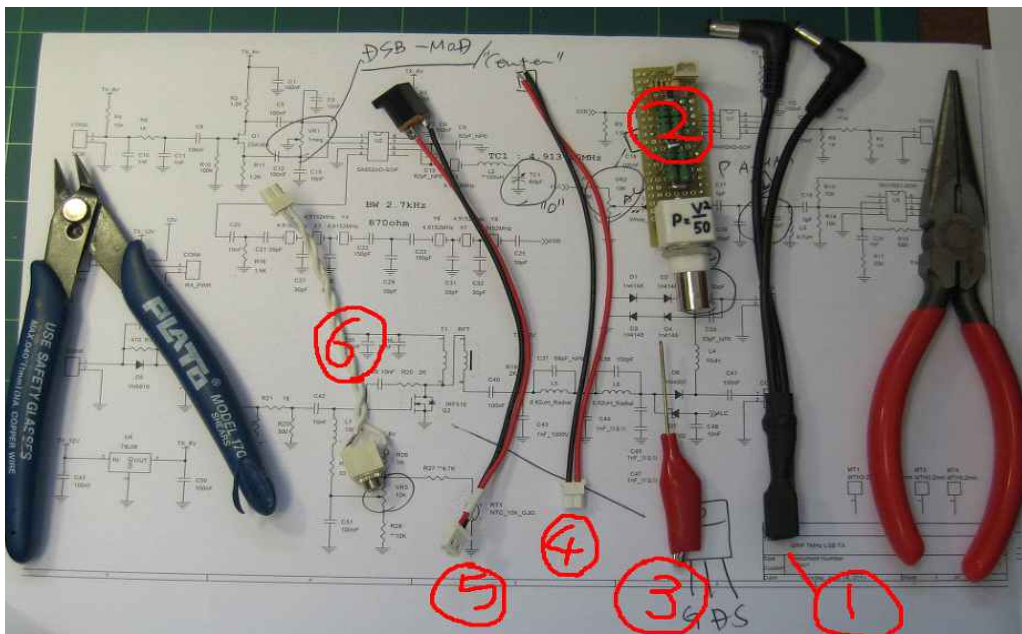
- TC1의 주파수 값 조정이 가장 중요합니다. IF 필터의 중심 주파수가 4.9152Mhz 인데 이보다 1.4Khz 낮게 조정되어야 합니다. 이렇게 묘령의 주파수가 선택된 것은 시중에서 쉽게 구할 수 있는 크리스털주파수 때문이겠지요?



- 수신부는 송신부와 완전히 역순입니다. 수신된 7Mhz 대의 신호를 74HC4053을 이용해 VFO와 혼합합니다. 이때 수퍼 헤테로다인 현상이 발생하여 7Mhz를 11.9Mhz와 더하고 빼서 4.9Mhz, 18.9Mhz 성분이 나오는데 IF 필터를 거쳐 우리가 원하는 4.9Mhz 대 신호만 통과 시킵니다. HC4053은 원래 디지털 제어방식의 양방향 아날로그 버스 스위칭 IC 인데 마치 FET처럼 사용하고 있습니다. 내부 구성을 보면 FET 4개로 푸쉬/풀 하는 SA602의 믹서와 아주 흡사합니다.

가. 수신부의 조정점도 한눈에 보이죠?

- 송신부와 수신부 보드가 준비되었으면 조정을 해봅니다. 역시 변변한 계측기가 없는 아주 가난한 무선사를 위한 조정방법입니다. 준비물은 간단합니다.

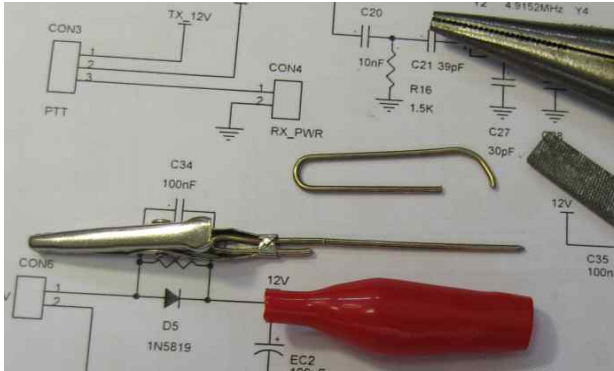


1) 조정하는 과정에서 송신 보드와 수신보드 모두 전원을 공급할 필요가 있어서 전원 케이블을 하나 만든 겁니다. 저처럼 고급 전원 장치가 없이 그냥 12볼트 어댑터

터만 달랑 하나 있는 분은 유용하죠.

2) 자작해서 만든 더미로드 입니다. 출력 측정도 가능 합니다.

3) SA602 같이 아주 작은 SMD 부품 다리에서 뭔가 측정 하려면 가는 탐침이 필요하죠. 그래서 딱딱하나 준비했습니다. 두고두고 쓸만 할 겁니다. 재료는 종이 클립과 악어클립. 탐침의 끝을 가늘게 갈았습니다.



4) 2핀 코넥터에 전선을 연결한 것인데 EHB-2의 부속 보드의 코넥터에서 신호를 끌어 낼 때 사용하려고 준비

5) EHB-1의 PTT를 누르면 릴레이에 의해 TX 보드에 전원이 공급되고 수신부 전원은 차단 됩니다. 조정을 위해 RX 보드에도 전원

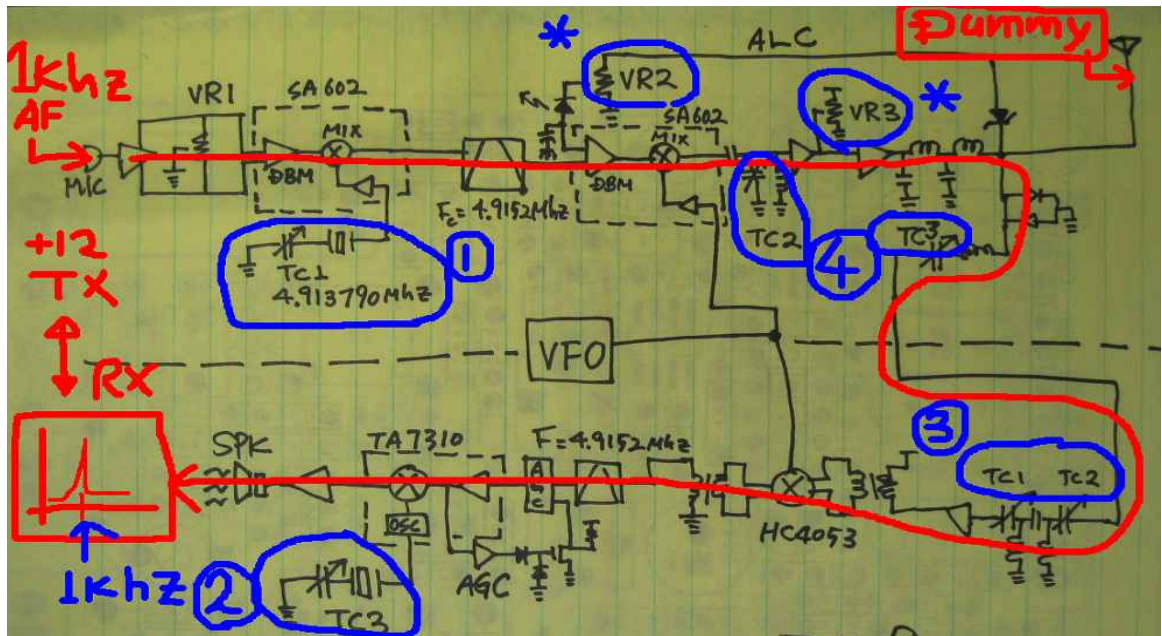
전원을 공급하고 싶을 때 사용

6) 송신부에 오디오 신호 공급용

그리고 PC와 소프트웨어가 필요합니다. 시그널 제네레이터와 오디오 스펙트럼 스코프용 소프트웨어는 Zeitnitz의 Soundcard Scope를 사용 합니다. 시그널 제네레이터와 오실로 스코프/스펙트럼 스코프를 동시에 사용할 수 있습니다.

조정을 위한 구성도 입니다.

주의!!!!!! 안테나에 더미로드를 물려 놓고 송신부의 VR2, VR3를 시계방향으로 최대한 돌려 ALC 및 출력 단 FET(IRF510)에 출력을 최대한 억제 시켜 놓아야 합니다. 매우 중요함!!!

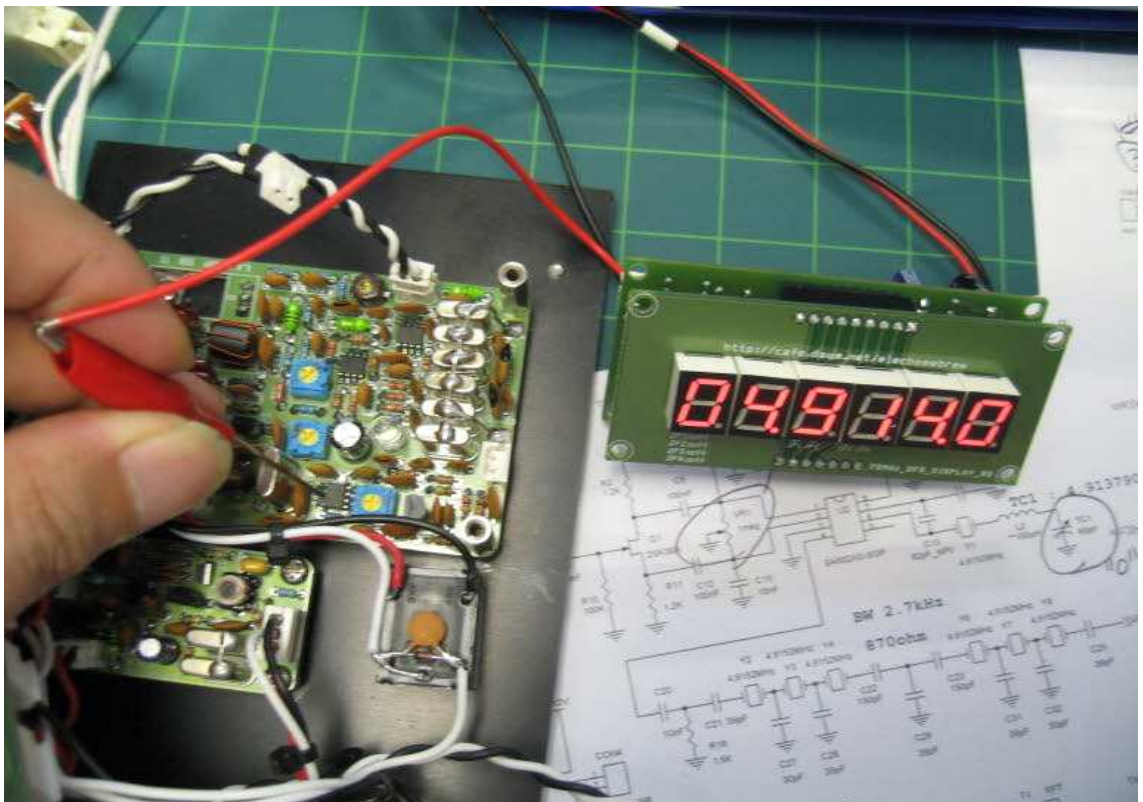


나. 송신부 국부 발진기 조정

가장 먼저 조정해야 하는 것은 송신부의 제1국부 발진기를 4.913790Mhz로 맞춰야 합니다. IF 필터의 통과 주파수가 4.9152Mhz이며, 통과 대역폭이 2.4Khz 로 고

정되어 있으므로, 변조 주파수는 필터의 중심에서 절반인 1.4Khz 낮게 조정되어야 합니다.

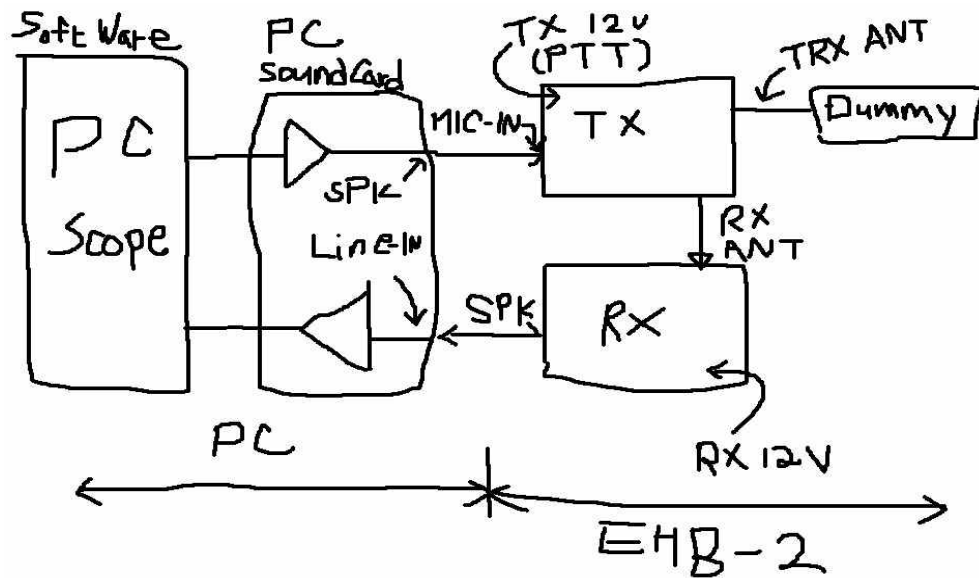
주파수 카운터가 필요한 순간인데 아쉽게도 이런 계측기가 없다면 EHB-2 의 부속품인 DFD를 이용 합니다. DFD의 오프셋 주파수 조정이 않된 상태면 DFD는 일반 주파수 카운터 입니다. PTT를 눌러 송신부에 전원을 공급 하면서, U2(SA602) 7번 핀을 DFD로 주파수를 측정 합니다. 송신부의 TC2를 조정하여 4.793790Mhz 가 되도록 조정합니다. 아래 사진은 계측하는 모습입니다. 자작한 도구 5),4),3),1) 들이 사용되고 있습니다. DFD의 표시 한계로 인해 4.9140Mhz 인데 실용상 크게 지장은 없습니다.



다. 수신부 국부 발진기 조정

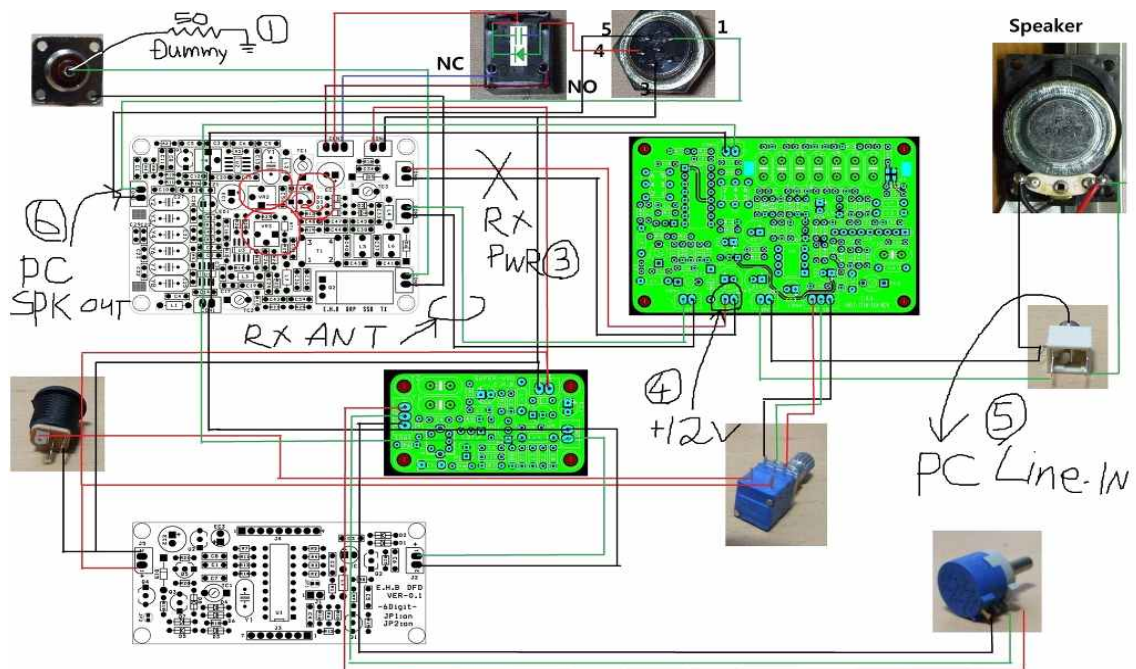
송신 신호를 그대로 수신기에서 받아 조정 합니다. 송신부와 수신부가 동시에 전원이 공급되어야 합니다. PTT를 누르면 송신 전원이 공급되고 수신부 전원은 차단 됩니다. 따라서 수신부의 전원이 따로 공급되어야 합니다. 5), 1)번 도구를 이용해 송신부와 수신부가 동시에 전원이 공급되도록 합니다. Mic 입력에 1Khz 신호를 주고 수신부 음성 출력으로 역시 1Khz 신호가 출력되면 송신부-수신부의 국부 발진기 (4.9XXXMhz)의 동기가 맞춰진 것입니다.

- (1) 송수신용 안테나에 더미로드(50옴 저항) 연결
- (2) TX 보드의 VR2, VR3를 시계방향으로 최대한 돌려놓아 출력을 억제합니다.
- (3) 송신부와 수신수에 동시에 전원을 공급할 수 있도록 수신 전원 공급선을 제거합니다.



조정과 시험을 위해 송수신 보드 결합도 입니다.

- (4) 수신부에 별도의 +12V를 공급 합니다.
- (5) 수신부의 음성 출력을 PC의 사운드 카드 라인-인에 연결 합니다.
- (6) 송신부의 마이크 입력을 PC 사운드 카드의 스피커 출력에 연결 합니다.

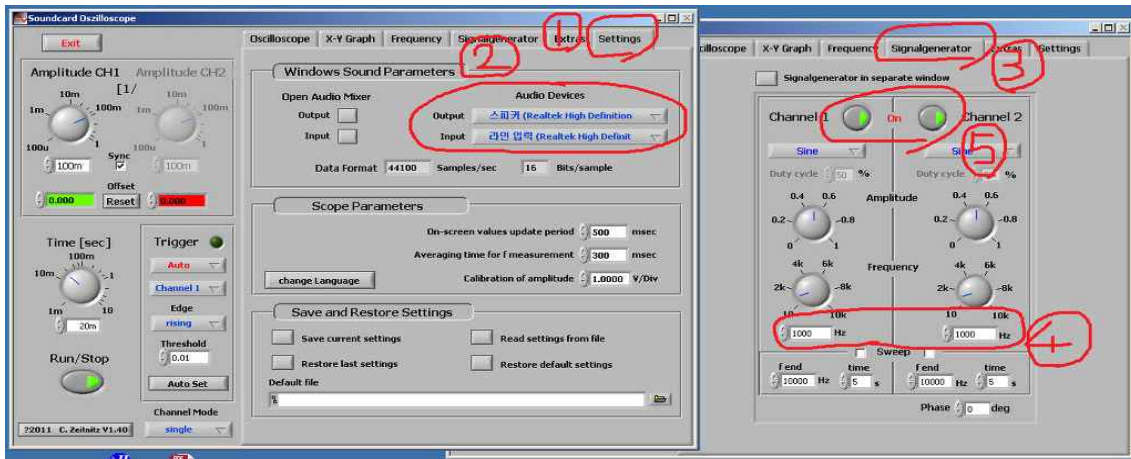


송신부의 국부 발진기 주파수는 이미 TX/TC1로 맞춰 왔는데 불변고정(!!!)입니다. 송신측에 1Khz를 넣고 송신 했으므로 이를 수신측에서도 1Khz 수신음이 들려야 합니다. 수신부의 스피커 출력을 PC 사운드 카드 라인-인에 연결하고 PC Scope 소프트웨어를 이용해 수신음을 살펴봅니다.

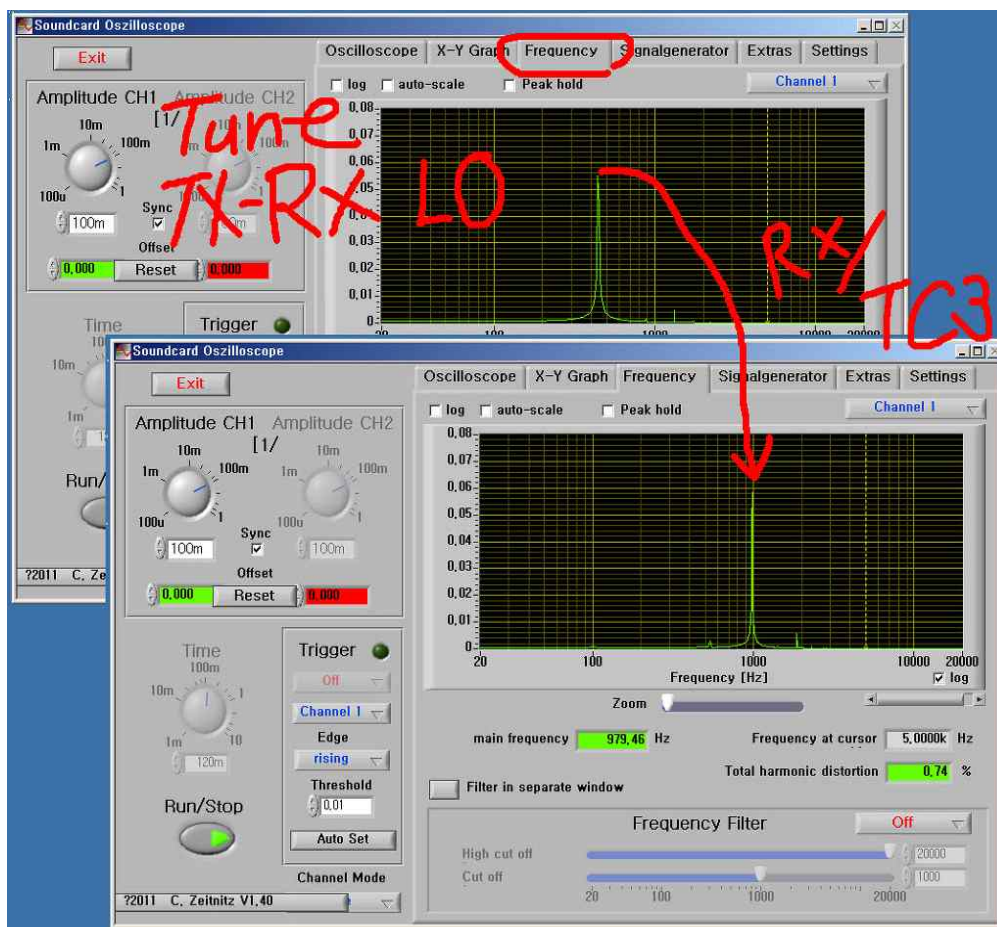
Soundcard Scope 라는 프로그램으로 1Khz짜리 오디오 시그널을 발생시켜 사운드 카드의 스피커 출력을 송신부의 MIC-IN에 넣기 위한 Soundcard Oscilloscope 소프트웨어에서 1Khz 신호 생성하는 방법 입니다.

- (1) "Setting" 탭 선택

- (2) 사운드 입출력 장치로 PC에 장착된 사운드 카드를 선택
- (3) Signal Generator 탭 선택
- (4) 출력 주파수 1000Hz
- (5) "On" 버튼을 누르면 PC 사운드 카드에서 1000Khz 신호가 출력 됩니다.



수신부의 SPK 출력을 다시 사운드 카드 입력을 받아 스펙트럼 스코프를 보면서 조정이 가능 합니다. Soundcard Oscilloscope 소프트웨어 에서 "Frequency" 탭을 선택하면 스펙트럼이 보입니다. PTT를 누르면 송신부가 작동하고

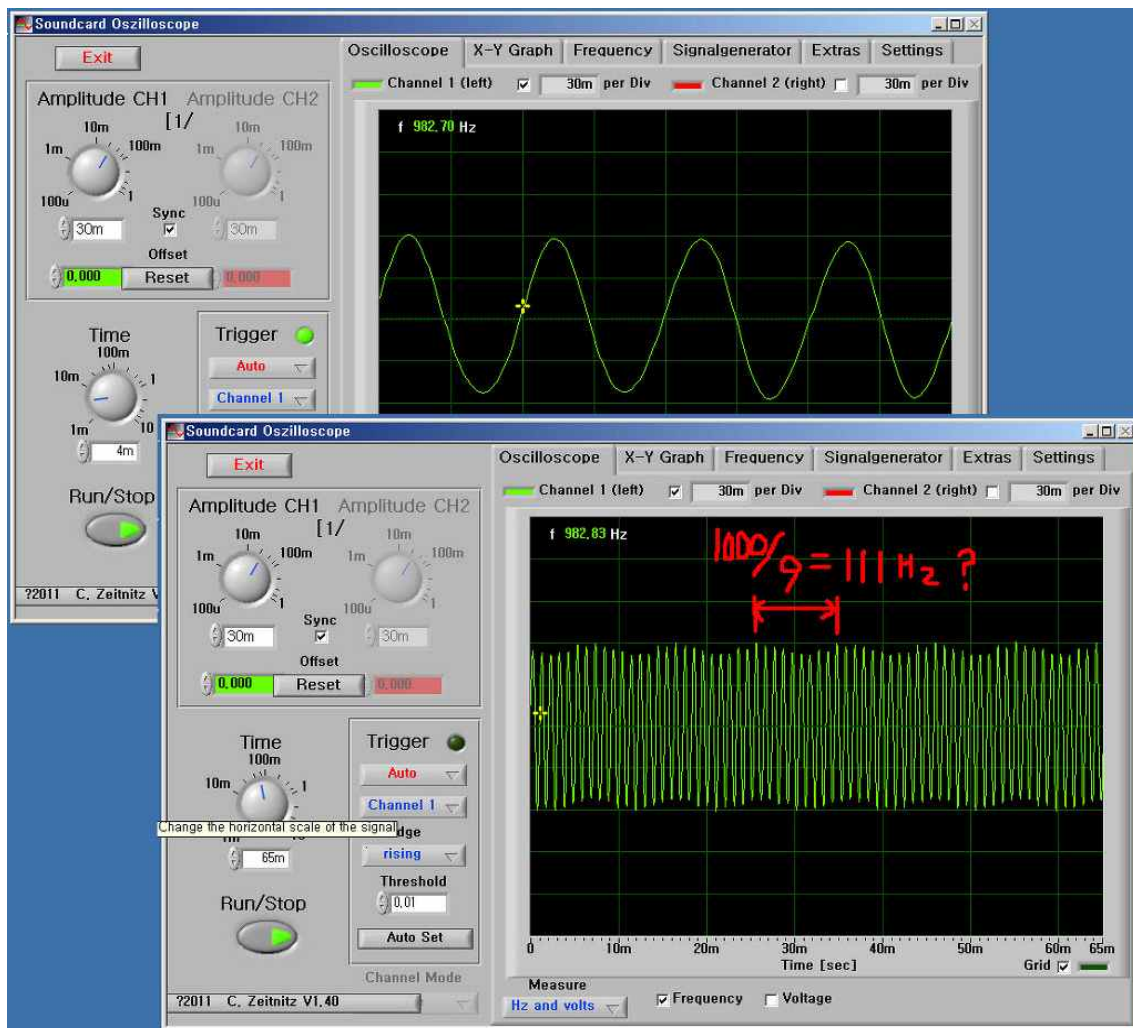


M I C
입력으
로 공
급 된
1 K h z
신호를
송신하
게 됩
니다. .
이 를
수신부
에 서
수신하
여 스
펙트럼
을 관
찰 합
니다.

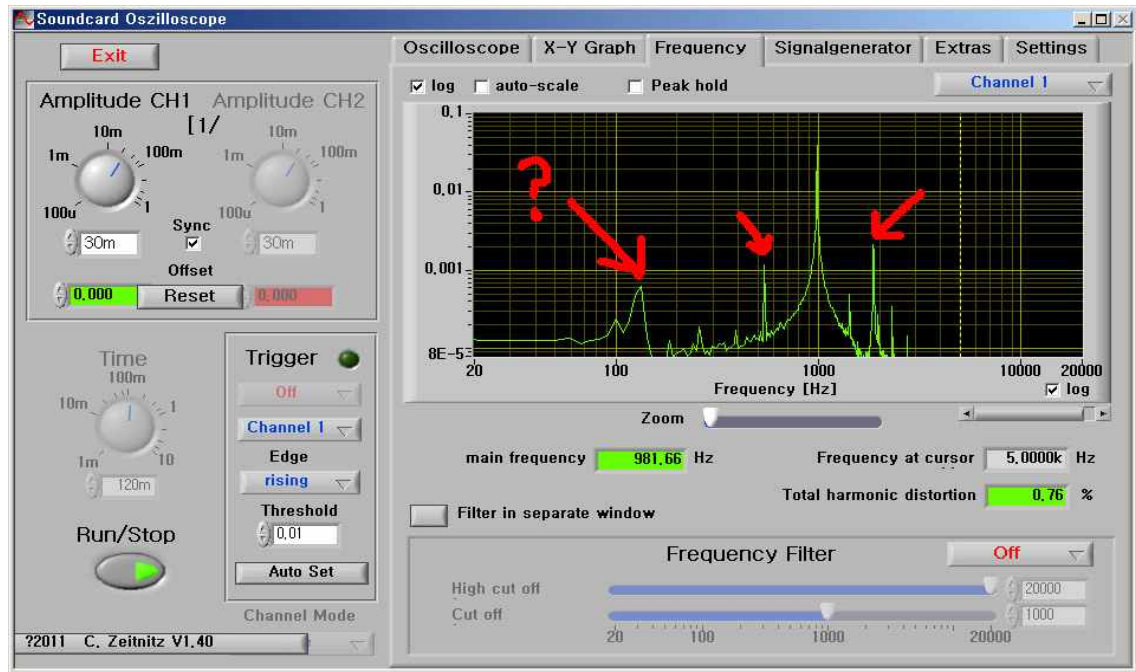
송신음과 동일하게 수신음도 1Khz가 되도록 RX/TC3를 이용해 수신부의 국부발진기 주파수를 조정 합니다.

라. 수신부 감도 조정

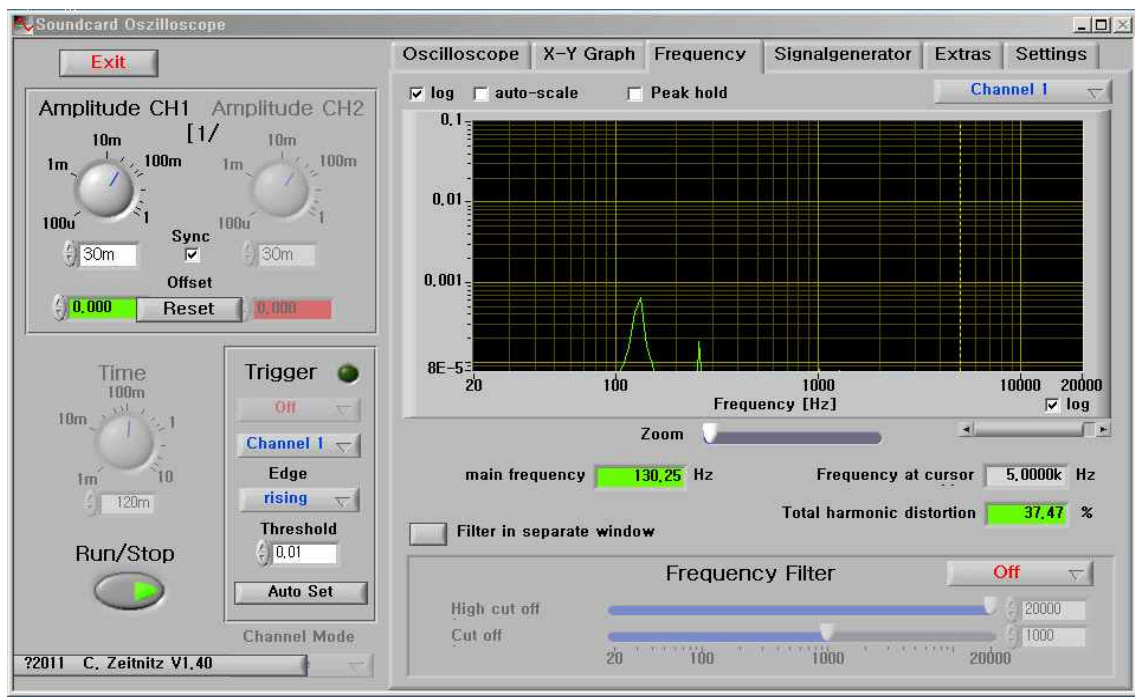
앞서 2단계에서 조정했던 조건을 그대로 유지한 채 사운드카드 스코프를 보면서 오디오 출력이 가장 크게 되도록 수신부의 TC1/TC2를 조정합니다. Soundcard Oscilloscope 소프트웨어에서 "Oscilloscope" 탭을 선택하면 수신음 파형이 보일 겁니다. 파형이 최대가 되도록 수신부의 TC1와 TC2를 번갈아 조정합니다. 실제로 조정을 해보면 수신 감도차가 확연히 드러납니다. 수신음 주파수 스펙트럼과 오실로 스코프를 보고 있으면 잡신호 없이 매우 깨끗한 수신음을 볼 수 있는데 이는 EHB-2의 성능의 우수함을 단적으로 보여준다 하겠습니다.



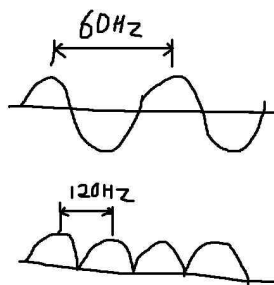
그런데 오실로 스코프의 Time/Div(시간 분해능)을 늘려보니 소리가 울고 있군요. 1Khz이외의 잡음이 유입되고 있습니다. 대략 진폭을 보니 1Khz의 파형이 8~9 정도되는 간격입니다. 120Hz 전후의 노이즈입니다. 주파수 스펙트럼으로 보니 이렇군요. 120Hz에 폭넓게 차지하고 있는 잡음 성분이 보입니다. 전원 잡음이 의심됩니다.



무신호시 EHB-2의 수신음의 주파수 스펙트럼

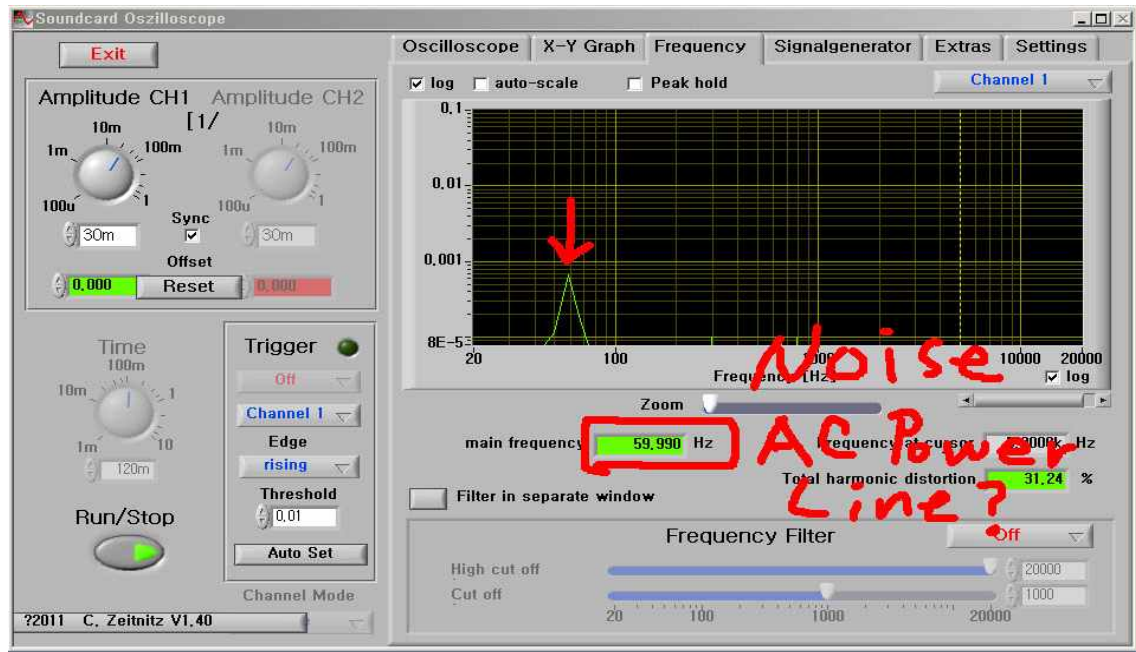


EHB-2에서 컴퓨터 라인-인 연결 케이블 제거. 60Hz의 AC 전원 잡음이 보입니다.



60Hz의 AC 전원 잡음이 유입되어 전자기기에 120Hz로 나타나는 것은 DC로 변환되면서 전파 정류된 성분으로 나타나서 그렇다는군요.

어쨌든, 전원에서 유입되는 잡음이 거시기 합니다. ㅎㅎㅎ 그냥 싸구려 12볼트 스위치 모드 파워 서플라이(SMPS, Switch-Mode Power Supply) AC-DC 어댑터를 사용중인데 괜찮은 전원 장치를 하나 구해다 봐야겠습니다. ^^;



11. 토로이덜 코어(Toroidal Core)에 대한 자료

먼저 아래 김경원님의 벨런과 토로이덜 코어에 대한 여러 가지 유용하고 실용적인 글에 대해 감사합니다. 덕분에 어렵פות하게 알고 있던 것들을 조금이나마 이해할 수 있었습니다. 더불어 계측기의 사용에 대한 힌트도 얻게 되었구요. 너무나 감사합니다.

그래서... 조금이라도 더 알고 싶어서 인터넷을 검색해 봤습니다.

먼저 "투자율(permeability)" 이라는 용어가 나오는데 이해하기 참 어렵군요. 찾아보니 "자성체의 자속밀도 B와 자화의 세기 H와의 비 $\mu = \frac{B}{H}$ 를 말한다.(http://www.syec.co.kr/korean/skill_pdf/10.pdf)" 고 합니다. 오히려 더 어렵습니다. 그래서 제맘대로 이해해 보기로 했습니다.

- 자성체에 코일을 감고 직류를 공급하면 극성이 고정된 전자석이 되죠. 이것을 "자화" 된다고 합시다. 직류는 고정된 자기장을 형성하고 전류도 지속적으로 흐른다.
- 자성체에 코일을 감고 교류를 공급하면 극성이 왔다 갔다하면서 자기장의 형성이 계속 바뀐다. 자기장이 변화하면 전류의 흐름을 방해한다. 그래서 교류 흐름을 방해하는 정도를 임피던스라는 표현을 한다.
- 1차 코일에 교류를 흘려 자기장을 형성시키고 2차 코일을 통해 전압과 위상이 변형된 전기 에너지를 뽑아낼 수 있다. 트랜스의 원리란다.
- 좀 더 효과적으로 교류 에너지를 전달하려고 코일에 자성체를 넣는다.
- 그냥 맨 공간에 코일을 감아도 자기장은 형성된다. 중간에 자성체를 넣으면 더

세계 에너지를 뽑아낼 수 있다. 그런데 이 자성체가....

- 교류에 의한 자기장의 변화에 따라 좀더 빠르게 극성 변환이 잘되는 정도에 이 자성체의 특성을 결정한다.
- 교류 전원의 변화 즉, 주파수에 빠르게 자기장 극성을 바꿔 줄 수 있는지 자성체마다 특성이 있을 것이다.
- 특하면 영구자석이 되버리는 그냥 쇠못은 빠르게 극성을 바꾸는 고주파에는 못쓰겠다.
- 어쨌든 투자율이란 자기장이 형성되고 그 안에 놓인 자성체가 얼마나 잘 자석처럼 변화하는지 특성치를 나타낸 말이 아닐까? 나무의 투자율은, 0.999995, 알루미늄은 1.000006, 니켈은 50, 쇠는 300, 트랜스용 페라이트는 1000 이라고 함. 토로이드 코어를 제작할 때 사용되는 물질에 따라 T 혹은 FT 형으로 나눈다고 한다.
- T형의 재료는 파우더 아이언(Powder Iron, 철가루?), FT 형은 니켈-아연 혹은 마그네슘-아연 합금으로 만든 페라이트
- T 형은 발진회로용 코일(1차만 감긴)로 쓰고, FT 형은 자속력이 높아서 1-2차 감는 트랜스용

참고:

가) TOROID : FT,T &BALUN , http://www.dx.hu/~ha7ty/toroid_datasheet.pdf
toroid_datasheet.pdf FT, T 형 토로이달 코어의 특성을 설명하고 있음

나) Winding and Using Toroid,

<http://oldradios.co.nz/downloads/Winding%20and%20Using%20Toroids.pdf>
Winding and Using Toroids.pdf

토로이달 코어로 코일 만드는데 떨거없다... 로 시작하여 막대 코어보다 토로이달 코어를 쓰는 좋은 점, 토로이달 코어 잘 감는 방법, 코일과 동조 주파수 측정, 코일 설계 등등...

다) Baluns- what they do and how they to it(Current &Voltage B.pdf

라) Toroid Core Info <http://toroids.info/>

마) Toroid Calculator Software toroidsa.zip

토로이드 코어에 코일을 감으려면 적당한 크기의 전선을 잘라야 하는데 ... 대략 얼마면 될까?

<http://www.hamradioindia.com/kitbuild/Toroid.htm>

CALCULATING WIRE LENGTHS FOR WINDING TOROIDS

CORE TYPE	IPT
T-12	0.163
T-16	0.202
T-20	0.252
T-25	0.327
T-30	0.412
T-37	0.426
T-44	0.529
T-50	0.577
T-68	0.700
T-80	0.800
T-94	1.006
T-106	1.364
T-130	1.394
T-157	1.760
T-184	2.300
T-200	1.850
T-225	1.950
T-225A	2.850
T-300	2.080
T-300A	3.080

CORE TYPE	IPT
T-400	3.050
T-400A	4.350
T-520	3.720
FT-23	0.230
FT-37	0.438
FT-50	0.595
FT-50A	0.688
FT-50B	1.188
FT-82	0.809
FT-87	0.835
FT-87A	1.335
FT-114	1.045
FT-114A	1.070
FT-140	1.500
FT-140A	1.692
FT-150	1.250
FT-150A	1.750
FT-193	1.930
FT-193A	2.180
FT-240	2.000

To calculate wire lengths, use the following equation:

Length in inches = (Desired Number of turns) X (IPT) + 3
INCHES (IPT = Inches per Turn)

73s Dinesh/VU2FD

Heathkits HW-8 Assembly and Operation Manual

키트 제품 판매로 명성이 자자했던 Heathkits 사의 80/40/20/15-meter band QRP CW TRX HW-8의 조립 및 운용 메뉴얼 입니다.

키트 메뉴얼의 귀감이라 할 수 있습니다. ^^ 메뉴얼 내용을 보면....

- 체크 리스트 (Check-List) 방식 조립 설명
- 문제 증상별 대처(Trouble Shooting)

- 멀티미터만 있으면 점검 가능한 회로도 및 각 TP(테스트 포인트)별 고주파 전압치 표기(고주파 프로브 만드는 법 포함)
- 회로 동작 설명서
- 보기 쉬운 회로도 및 기관 그림

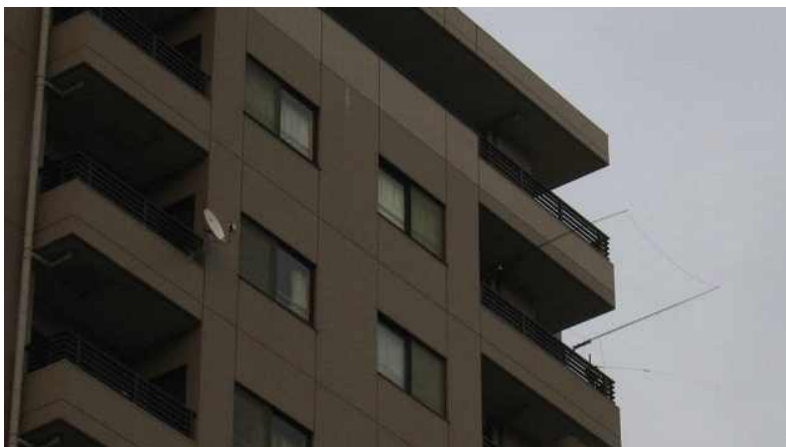
히쓰키트, 만들어본 적은 없지만 메뉴얼만 봐도 역시 미제다.. 라고 할만 합니다. 하지만... 어느 일본 햄과 교신 중 하던말... "예전엔 참 좋았는데 요즘은 싸게 한다고 전부 중국산이라 미제도 못믿겠다." 라고 하더군요.

 HW8.pdf

(어느 중고장터에 나왔길래 살까말까 망설이다.. 그만 두고 메뉴얼만 찾아 올립니다 ^^)

가. QRP와 안테나..

HF 대 햄 무선국운용을 가로막는 가장 큰 요인은 무전기와 안테나 시설의 어려움일 겁니다. 무전기는 돈만 주면 산다고 하지만 사실 말이 쉬워서 그렇지 수 십만원을 그냥 취미생활에 투척하기도 쉽진 않지요. 다행히도 전자공작 카페 (<http://cafe.daum.net/elechomebrew>)에서 QRP 무전기를 키트로 제공 하고 있으니 한시름 놓아도 되겠습니다. 무선 통신을 취미로 가지려 한다면 적어도 무전기 한대쯤 내손으로 조립해 봐야죠!! 그다음 난관은 안테나 입니다. 안테나의 길이는 전파의 파장에 몇 분의 일이되야 한다는 것 누가 모릅니까. 하지만 그게 어디 쉬운 일은 아니죠. 안테나 시설할 공간이 모자랄 것은 분명 하니까요. 안테나... 공중에 전깃줄 펼쳐 놓으면 안테나 입니다. 이렇게 말이죠....



JG2GSY의 안테나 라고 합니다. 사진상으로는 낡시대와 낡시줄로 만들어 베란다에 설치한 안테나로 QRP CW WAC 달성! 이라고 소개해 놓았더군요. 자료를 출처는 , <http://jg2gsy.hp.infoseek.co.jp/> 입니다.

저런 식으로 대충 와이어 걸쳐 놓으면 당연히 공진점도 안맞고 소위 VSWR 값은 터무니 없습니다. 적당한 안테나 튜너를 달아 보는 겁니다. 아니면 하나 만들어 봐도 좋구요. 이렇게....

한 가지 주의할 점은 절대 전선을 벽 혹은 지면에 늘어뜨리면 안됩니다. FM 라디오 안테나를 생각해서 벽에 붙이던가 아파트 창문에 늘어 뜨려놓고 아무것도 수신되는 것이 없다 하는 분이 계신데 한참 공부が必要な 경우 입니다. 단파 안테나, 아쉬운 대로 수미터 전선을 펼쳐 놓고 사용할 수 있지만 절대 공중에 펼쳐야 합니다.



겨우 수와트 밖에 출력이 안되는 QRP 무전기에는 훌륭한 안테나가 필요한 것은 지극히 당연 합니다. 하지만 우리 가난한 취미 무선사는 안테나도 무전기도 모두 변변치 못합니다. 그럼 그만 둘까요?

<http://alclub.net/forum/read.php?FID=13&TID=861>

무선국만 잘 차리면 마치 세계의 햄과 당장 친구가 될 것이라고 하는 말은 전부 뽕 입니다. 제아무리 멋진 철탑에 야기안테나와 수백와트 출력을 자랑하는 무전기라도 듣는 이가 없으면 밤새도록 외쳐도 소용 없습니다. 우리가 밤새서 송신할 때 지구 반대편 사람들은 열심히 먹고사느라 무전기 꺼놓고 있기 때문이죠. 무슨 DX 교신을 달성 했네~ 하는 경우를 보면서 부럽기도 합니다. 그런 오엠님들은 막강한 시설과 함께 무전기 앞에서 메달리다 시피 합니다. 시설만 된다고 거저로 세계가 이웃이 되는 것이 아니라는 거죠. 상당한 운용 기술을 필요로 합니다.

얼마전에 어느 홈페이지에 EHB-1을 홍보 했더니 누군가의 댓글이 달렸더군요.

EHB-1 홍보글 보고 구해다 운용해봤더니 엉터리더라. 아무리 CQ 를 내봐도 아무도 응답하지 않더라.

이 사람이 실제로 EHB-1을 구입해서 사용 해봤다는 것인지 아니면 빌려서 써봤다는 것인지 알 순 없습니다. 겨우 3와트도 안되는 출력의 QRP 무전기 가지고 제아무리 좋은 안테나라도 무작정 CQ 를 내면 응답받기 어렵습니다. 수백와트 출력의 무전기라도 아무도 들어줄 이 없다면 응신을 받을 순 없습니다. 말은 안해서 그렇지 많은 아마추어 무선사들이 CQ 헛발질 하다가 그냥 잔 경우가 한 두번이 아닐 겁니다. 그냥 안테나와 무전기 출력을 탓하며 말이죠. 정작 탓해야 할 것은 운용 기술의 없음이 아닐까요?

QRP는 시간과 재력과 장소의 제약을 극복하는 재미가 있습니다. QRP 교신은 마치 사자가 먹잇감을 노리고 있다가 단번에 나뿔채는 쾌감이 있습니다. 그냥 감나무 아래에서 감 떨어지길 기다리는 것과는 다르죠.

QRP의 세계에 빠져 보십시오.

<http://cafe.daum.net/elechomebrew/FkBm/20>

1) 어느 분이 궁금해 하시길래.... ^^

가) 항공관제 주파수.....

HF 대역은 거의 없습니다. 주로 VHF에서 AM 입니다. 음질 좋다는 FM을 사용하면 어떨까? 하지만 주파수 변조는 신호 강도가 어느 정도 강력해야 음성 정보를 알아들을 수 있습니다. FM보다는 페이딩이나 잡음이 끼어도 어지간하면 견뎌내는 AM이 중요 통신에는 좋겠지요. (햄 무선사 자격증 공부할 때 전파공학 시간에 배웠죠?) 관제하는데 음질 따질 일은 아니잖아요? hihi~

공항(Aero-Dome)/항로(Enroute) 차트(Charter, 항공지도)에 해당 구역(비행구역)의 관제 주파수가 표시됩니다. 국내의 경우 국토해양부의 항공정책실에서 운영하는 AIS (Aeronautical Information Service) 웹 사이트를 통해 제공하고 있습니다. 국내 항공정보를 보시려면 <http://ais.casa.go.kr/> 에 접속하셔서 AIP 페이지를 보면 됩니다. 한국 내 전체 구역의 관제구역과 주파수는 AIP -> ENR -> ENR 2.1 FIR, CTA, TMA 를 보십시오. 현재 인천 관제구역의 HF대 주파수를 보니 3455Khz, 10081Khz/BACKUP 라고 나오지만 보조용(BACKUP)으로 운용되는 것으로 나옵니다. 공항 근처에서는 VHF 대 주파수에서 관제를 들을 수 있는데 주파수는 공항 차트를 보시면 됩니다. 일례로 김포공항의 경우 AIS->AIP->RKSS (김포공항 공항명칭, RK로 시작하는 것은 모두 한국) Chart 를 보십시오. 김포공항의 AD Chart(공항 전체 평면 지도)를 보면, TWR(관제탑)주파수는 118.05, 118.1, 240.9 Mhz, GND(지상관제) 121.9, 121.95 Mhz 입니다.

서울 지역의 입항(APP),출항(DEP)관제소 주파수는 아래와 같습니다. APP 119.75 121.35 119.1 119.9 305.7 DEP 119.05 125.15 124.8 123.8 363.8

항공관제 주파수들이 항상 동시에 운용되는 것은 아니고 기상 변화에 따라 사용하는 공항 활주로 방향과 항로가 바뀌므로 일정한 규정에 의해 돌아가며 운용합니다. 대부분 항공 관제 통신은 지상에서 하늘을 향해 전파를 발사하므로 지상에서 시원찮은 안테나로는 수신하기 쉽진 않습니다. 물론 공항 인근지역이라면 잘 들립니다. 자동으로 해당 공항의 항공기상(온도, 바람의 방향과 속도, 가시거리 등)과 운용중인 활주로 정보를 자동으로 송신하는 주파수를 ATIS(Automatic Terminal Information Service) 라고 합니다. 김포의 ATIS 주파수는 126.4Mhz 입니다.

항공 관제 주파수를 청취하는 것은 불법도 아니고 해외의 여러 곳 항공 관제 통신을 인터넷을 통해 스트리밍 해주기도 합니다. 항공 관제주파수에서 불법적인 송신은 엄중히 처벌됩니다.

실시간 해외 공항 관제 통신을 들으려면 <http://liveatc.net> 에 접속해 보십시오. 현재 스트리밍 서비스가 활성화 되어 있는 공항 목록은 <http://www.liveatc.net/feedindex.php?type=all> 입니다. 주로 미국, 호주, 유럽지역 공항들의 관제 통신을 들을 수 있습니다. 저쪽 공항이 한밤중이면 날아다니는 비행기는 없을테니까 우리나라와의 시간대를 맞춰서 들어야 합니다.

붐비는 공항의 관제 주파수를 항상 듣고 있는 사람이 있는데 가끔 비상상황이 발생한 경우 관제 통신음을 녹음하여 특종을 낚기도 합니다. 항공 사고는 제아무리 작은 경우라도 항상 특종감이 되곤 하기 때문이지요. 물론 재미있는 관제 교신 상황을 듣게되는 경우도 있습니다. YouTube.com 에서 "Funny ATC" 로 검색해보면 재미있는 항공관제 녹음을 들을 수 있습니다.

<http://youtu.be/Z2us2k0Qd6g> 가끔은 조종사와 관제사가 서로 싸우기도 합니다. 지상관제(비행기가 지상에서 유도로-택시웨이-를 기어다니는 동안 관제하는)이기에 이런일이 생기지 공중에 떠있는 비행기와 이려고 싸우면 큰일납니다. ㅎㅎㅎ 영어권 관제사들 빠른 영어로 얘기하며 비영어권 조종사들 골탕먹이기도 한다는 군요. 어딜가나 이런 못된 사람은 있기 마련이지요.

<http://youtu.be/QgCAbTMC3Qg> 피곤한 조종사를 위해 Good~ Morning~ 하며 인사하는 관제사도 있구요. http://youtu.be/_KFU1GKQNNU

관제사가 모두 여성이 근무한 경우... 빙고~ ㅎㅎ

<http://youtu.be/av5ni-uqABA> 불행하게도 추락하는 순간도 있습니다.

<http://youtu.be/zkg-3ot6ys0> <http://youtu.be/aRj0i98H2j8> 관제사와 조종사간의 통신이 불행한 사고의 주원인이었던 경우도 있었습니다.

<http://youtu.be/DxCLImowXB0>

항공 관제용 영어는 숫자와 단어의 나열로 상당히 단순하면서도 빠르게 진행됩니다. 따라서 상황을 모르고 이해하기는 쉽지 않습니다. 사고 예방을 위해 관제 지시사항을 조종사가 반드시 확인을 위해 복명복창 합니다. 하지만 인간은 착각하길 좋아하는(?) 지라 하마터면 큰일날 뻔 한 경우도 있습니다. 한 밤 중에 얼키고 설키 공항 활주로 찾기는 그야말로 미로 찾기죠.

<http://youtu.be/5BvgSS6kBdU>

<http://youtu.be/Za24RCsmiB4>

관제소: 방금 착륙한 비행기 활주로 밖으로 나가서 유도도 N 을 지나 16번 활주로 건너 좌회전....

조종사A: 알았다.... (잠시후 엉뚱한 곳에서 좌회전...ㅠㅠ)

관제소: 다음 이륙할 비행기 23L 활주로에서 이륙허가한다.

조종사B: 23L로 이륙한다.

조종사A: 어라? 왼쪽으로 돌았는데 앞에 K 번 유도도가 나오냐.. 앞에 있는 활주로는 16번 맞냐? 이거 건너도 되? 아이고~~ 방금 우리 앞으로 뭔가 지나갔다!!

관제소: 야 니네 어디냐? 거기 섰~!

나. 마이크로 프로세서 없이 만드는 Electronic Keyer ...

전자 키어(Elec-Keyer)란 두개의 접점을 가지고 있어서 "돈(DIT)!"과 "쓰(DAH)~"를 반복적으로 발생 시키는 전자 회로 입니다. 그냥 접점을 대고 있으면 반복적으로 신호를 발생 시키려니 전자회로를 쓰게 된 것이죠. 일종의 아주 느린 저주파 발진기(수 Hz) 입니다. 전신 초보에게는 초당 1번씩 돈! 혹은 쓰~가 반복되도 엄청 빠른 속도 입니다.

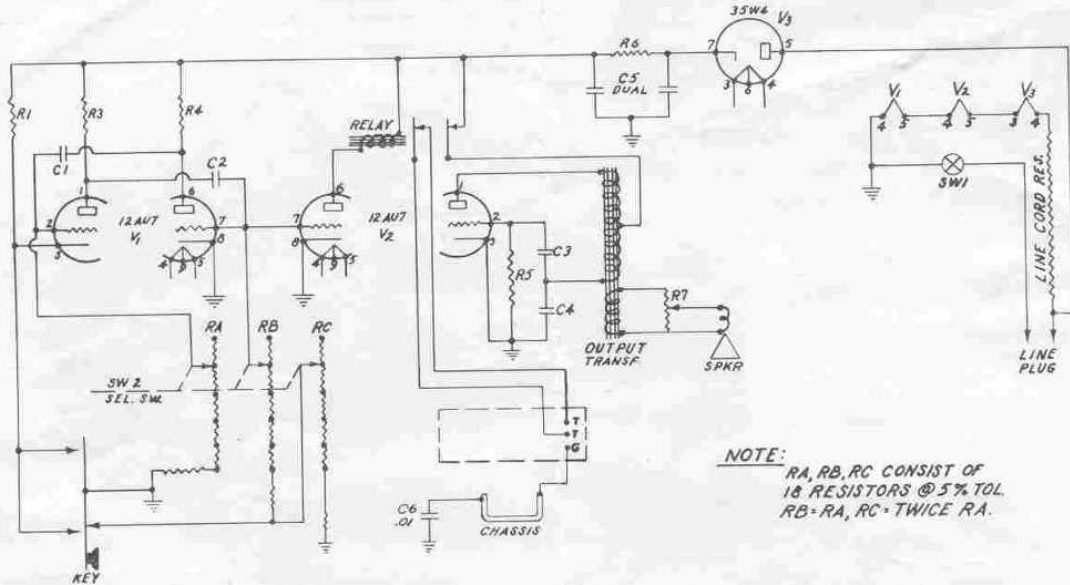
기왕 전기를 넣어서 반복되는 전자회로이니 이런저런 부가기능(속도조절, 코드 연습, 자주 쓰는 문장 기억해 두기, 비컨 기능 등)을 더 넣어 나오고 있습니다. 그리하여 요즘 전자 키어라고 하는 것을 보면 백에 아흔 아홉은 마이크로 프로세서라는 것을 사용합니다.

마이크로 프로세서를 사용한 전자키어 회로를 보면 그 안에 들어 있는 프로그램이 상당히 복잡할 뿐이지 엄청나게 간단합니다. 하지만 프로그램을 써넣을 수 없다면 아무짝에도 쓸모 없다는거....

전자키어가 처음 등장한 것은 아마 20세기 중반이었을 것으로 생각됩니다. 1940대... 진공관으로 만들어졌더군요.

MON-KEY <http://w1tp.com/m6000.htm>

MON-KEY SCHEMATIC DIAGRAM



NOTE:
RA, RB, RC CONSIST OF
18 RESISTORS @ 5% TOL.
RB = RA, RC = TWICE RA.

INSTRUCTIONS FOR OPERATION AND ADJUSTMENT

(PLEASE READ CAREFULLY BEFORE PLUGGING
INTO 110 VOLT A.C. OR D.C.)

The MON-KEY, electronic key and monitor, is an assembly which includes a KEY mechanism of unique design which controls an electronic MULTIVIBRATOR. The multivibrator, when triggered by the key, emits pulses of proper length and spacing to form accurately timed dots or dashes. These pulses control a keying RELAY TUBE which actuates a small sensitive KEYING RELAY. The relay has two sets of contacts. One set is brought out to the terminals on the bottom of the key marked "T" "T". These are ungrounded. A ground terminal marked "G" is connected to the aluminum/cast cover and chassis of the unit. These components of the unit serve, when connected to a non-inductive keying circuit of your transmitter, to replace any standard hand operated key. The relay contacts will safely handle 2 amperes in a non-inductive circuit. They should not be expected to handle primary keying currents.

The other set of contacts on the keying relay is internally connected to control the plate current of a triode vacuum tube audio oscillator. This oscillator follows the key and emits a tone through a 2" dynamic speaker, so that the actual keying pulses to your transmitter are heard as an audio tone of pleasing pitch.

Controls on the front panel consist of (a) An "On" and "Off" switch which controls the filaments of the three tubes in the unit - (b) A speed change switch which adjusts the speed of dots or dashes while maintaining proper ratio of length to speed. The switch has six positions and nominal speeds of from 8 to 45 words per minute have been established at the factory - (c) A tone control for the audio monitor which when turned full scale serves as a shut-off switch for the audible tone.

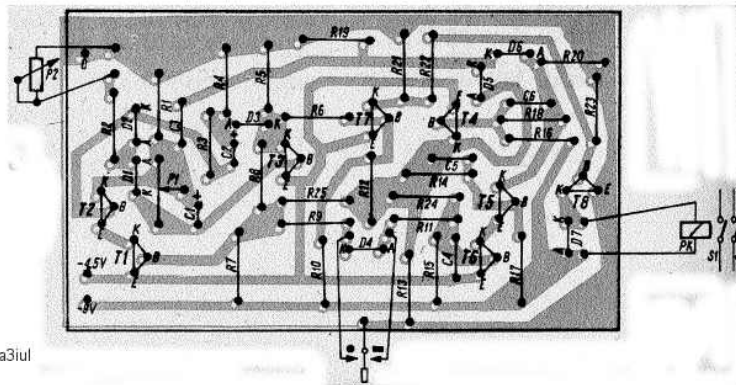
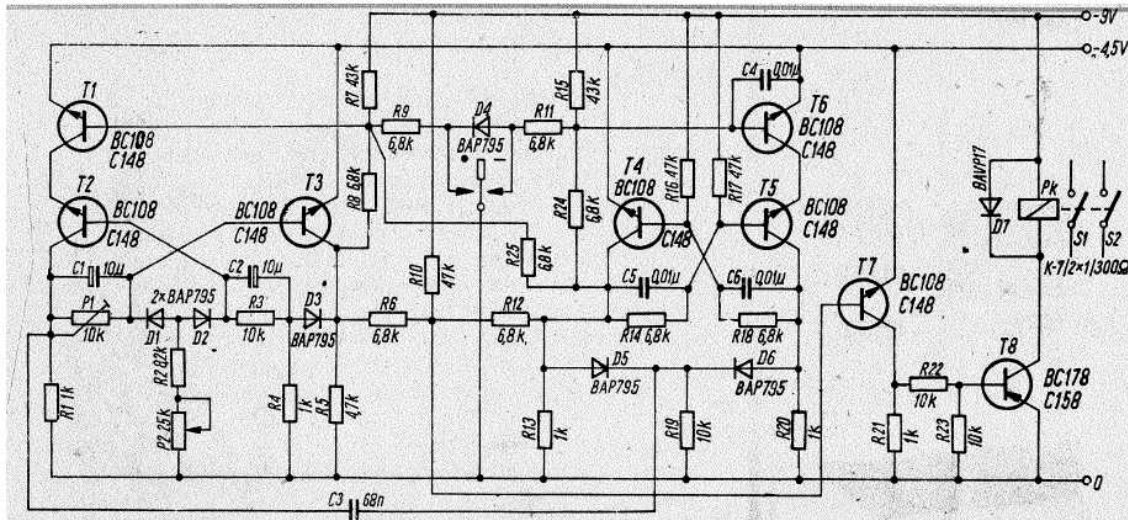
OPERATION

We would suggest that because the key will be an entirely new sensation to you to begin with, that you just plug it in the light socket without connecting it to a transmitter, wait 15 seconds or so for it to warm up and then, without attempting to adjust the key, learn its reactions to its controls. Hold the key paddle to the left and a series of "dashes" will be heard coming from the relay or speaker (depending on the location of the tone control knob). Hold the key paddle to the right and "dots" will come out. Continue to hold the key in one position and turn the speed switch. The percentage of speed increase or decrease will be noticed. Always, the dashes will be 3 times as long as the dots and the spaces between successive dots or dashes will be equal to dot length! Now all you have

트랜지스터가 만들어지고 간단한 논리게이트도 만들더니 급기야 플랩-플롭과 카운터 반도체도 만들어 졌네요. 카운터는 펄스(발진기)의 숫자를 세서 3번마다 한번 스위치를 켜면 쓰~ 매번 스위치를 켜면 돈!이되는 3:1 키어가 되는 것이죠. 펄스의 숫자를 세보는 것이 바로 카운터고 숫자 다 세으면 반응하는 것이 타이머입니다. 트랜지스터와 카운터 가지고 만든 전자 키어입니다.

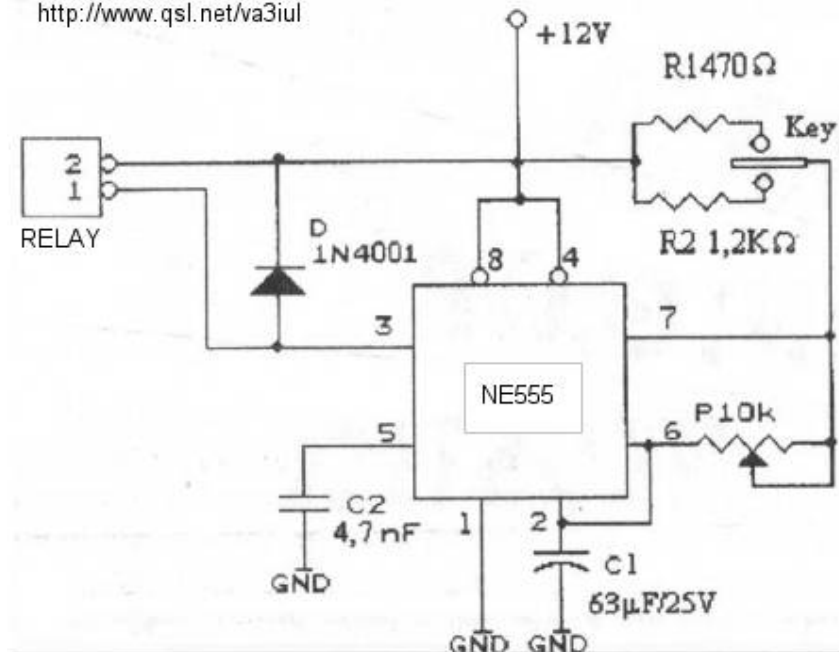
<http://www.merakit.com/search/label/Electronic%20CW%20Keyers>

전부 트랜지스터로 만든 키어 입니다. 트랜지스터 쌍으로 만든 저주파 발진기로 돈!과 쓰~ 를 발생 시키는군요.



<http://www.qsl.net/va3iul>

<http://www.qsl.net/va3iul>



우리가 잘 아는 NE555 발진기의 저항값 차를 이용해 발진 주파수를 변경하는 회로도 있습니다. 간단한 링-오실레이터(Fig.1b)와 플립-플롭으로 만든 분주기(Fig.1a)로 만든 키어 군요

Figure 1a

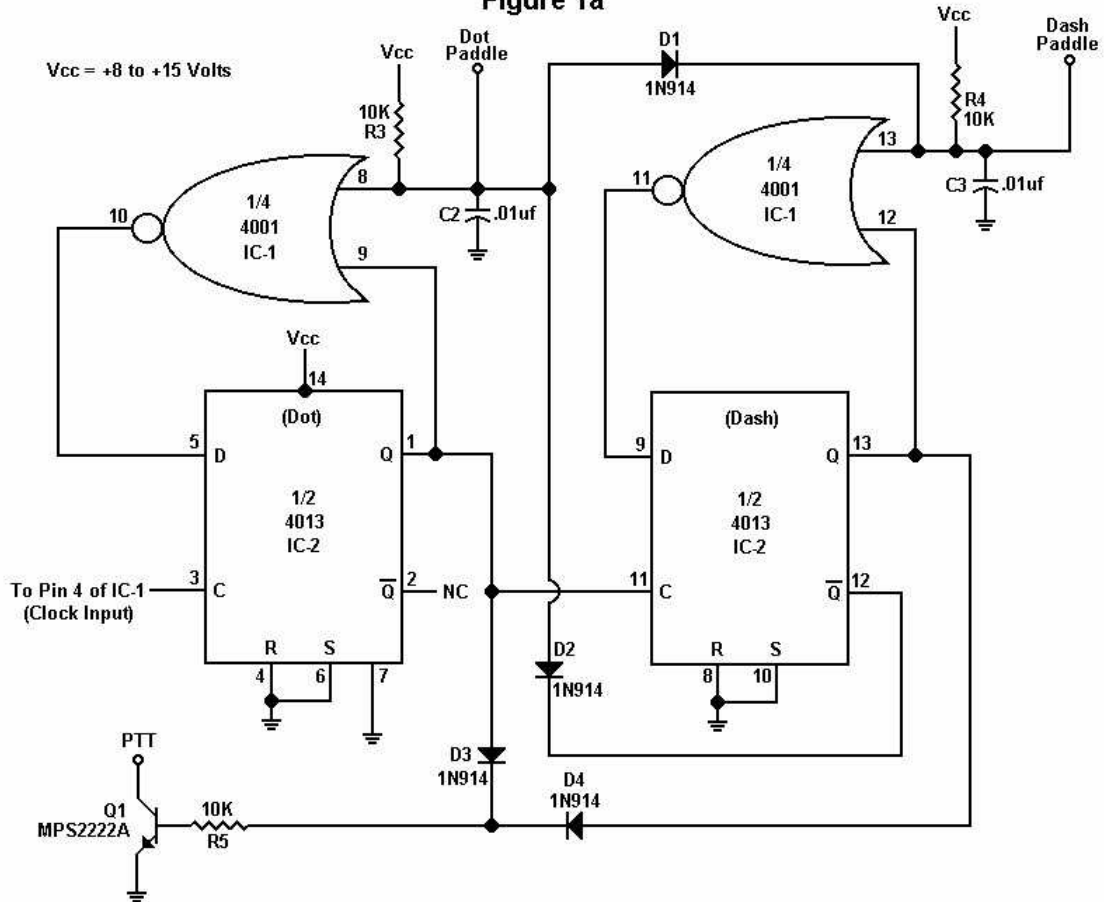
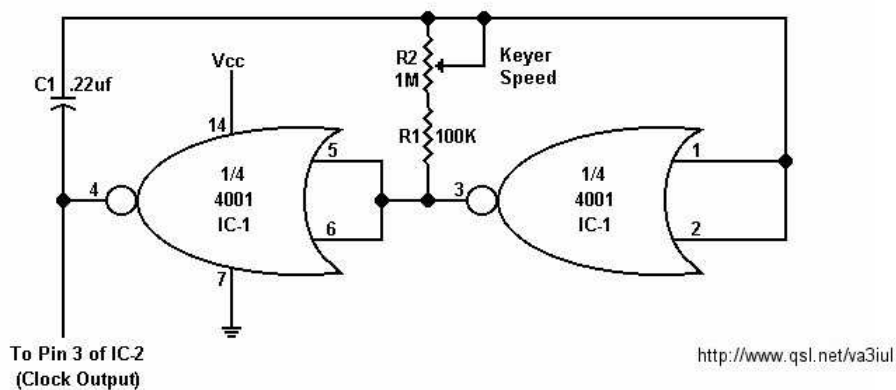


Figure 1b



단순히 키어 기능만 하는 회로를 만들려 해도 부품수가.... 참 많이 들어갑니다. 마이크로 프로세서를 사용하면 훨씬 많은 기능의 메모리 키어를 만들 수 있습니다. 부품수도 단출 하죠. 하지만 프로그래밍이라는 녀사벽이 기다리고 있네요. ㄸㄸ

다. 낚시대 안테나로 낚은 대어?

일전에 낚시대로도 훌륭한 안테나를 세울 수 있다고 말씀 드렸었지요? 요즘 단파대 전파 상태가 좋다고 하니 낚시대를 드리워 보기로 했습니다. 마침 낚시 다니는 직원이 주차장에서 트렁크를 정리하고 있길래 옆에서 구경하다가 하나 뺏었습

니다. 6칸짜리인데 쪽 펴면 5미터쯤 되겠더군요. 2.5mm.sq. 선을 5미터 길이로 3가닥을 잘라서 한 가닥은 수직 엘리먼트로 나머지 두 가닥은 래디얼 삼아 달았습니다.



그 리 고
세웠죠.
밤에 짝
어서 그
런지 안
테 나 의
위 용(?)
이 좀 퇴
색 되었
군요
카본 낚
시대인데
아주 가
볍고 어
지 간 한
바람에도
끄덕없어
보 입 니
다. 사용
하지 않
을 때는
간편하게
접어 둘
수도 있
습니다.

1) 성능? SWR 값?

안테나 엘리먼트를 대략 형편껏 잘라 만든 것이라 당연히 이대로는 사용하기 곤란하죠. 안테나 튜너를 달아 매칭 했습니다. 그리고 ... 칠메가를 둘러보다가 요상한(?) 프리픽스가 잡히는군요. LU... 믿겨야 본전인데 한번 대꾸를 해봤더니 웬걸... K? 라고 되물어오더라구요. 웬떡이나 싶어 몇 번 더 응답 했더니 599 tu 랍니다. ㅎㅎㅎ~!

2011-09-18 1055z LU2FE 7.012.5Mhz 599/599 CW

Rig: FT-897/100 Watts/ANT: Fishing Rod Vertical 5m Long

전파 상태도 그럭저럭 괜찮았더군요.



전파 상태도 도와 주고 상대방도 베테랑인듯 하고 이래저래 덕을 보긴 했습니다 만 어쨌든 낚시대로도 지구 반대편으로 전파를 내보낼 수 있습니다. 당연하게도 ^^ 흠..... 시에라 버티컬 한번 올려 볼까???

2) 들 쥐어 짜기... Squeeze Keyer

전신의 부호 돈! 과 쓰를 점점 하나로 인간의 감각을 이용해 타전하는 경우 스트레이트 키 라고 합니다. 돈:쓰 의 시간 비율을 1:3 이라는 비율로 유지하려면 좀 불편합니다. 오래 타전하다보면 어깨도 아파구요. 그래서 2점점 전자 키어를 만들었는데 1940년대 초창기에는 플립-플롭 형태의 수 헤르츠 이하 저주파 발진기 회로를 써서 만들다가 요즘은 대부분 마이크로 프로세서를 이용한 전자 키어가 대부분 입니다.


2점점을 만드는 방법으로 막대 하나를 좌우로 움직여 두개 스위치를 조작한 경우 싱글 레버 패들, 점점마다 각각 막대들 둔 더블 레버 패들이 있지요. 스퀴즈 패들(squeeze paddle) 혹은 iambic 패들이라고 합니다. 아래 사진 출처, <http://electronicsusa.com/mk.html>



그런데 누군가 호기심이 생겨 더블레버 패들의 양쪽 막대를 동시에 쥐어 짜 (Squeeze) 봤더니 생각지도 않은 기능이 튀어 나와 버렸습니다. 패들의 두 점점을 동시에 잡으면 마이크로 프로세서에 프로그램된 사항에 따라 돈과 쓰가 반복되던

가, 돈!(혹은 쓰~)만으로 작동합니다. 타전시 쓰~ 가 나가는 동안 돈! 을 미리 눌러 놓으려는 거지요. 패들 점점 작동 방식에 따라 iambic A,B 타입이라고 하는데 고속 타전시 패들 손놀림 테크닉 입니다. AR(.-.-.), C(-. -.), K(-.-) 같이 돈! 과 쓰가 이어져 있는 부호를 칠때 점점 떼기 싫은 게으름에서 비롯된 겁니다. hihi~ 이런 패들조작 기교는 마이크로 프로세서를 사용한 키어에서 두 점점을 동시에 잡았을 때 오작동을 하는데 이를 역으로 특수 기능처럼 역발상 한 겁니다.

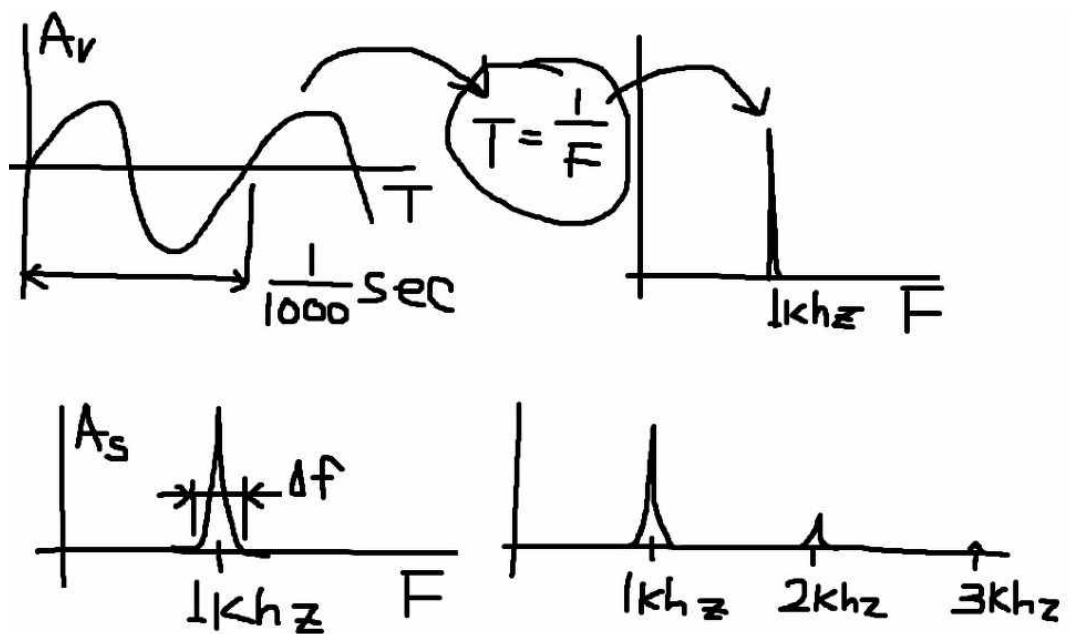
참고: 마이크로 프로세서 키어 칩 광고, 2~3쪽에 키어에 대한 설명글이 있습니다. <http://users.ox.ac.uk/~malcolm/radio/8044screen.pdf>

 8044screen.pdf

3) 실로 스코프와 스펙트럼 아날라이저의 차이

Q&A 게시판에 오실로 스코프와 스펙트럼 아날라이저의 차이에 대하여 질문 하셨는데 답글로 달려다보니 좀 길어 졌습니다. 그래서 답글 단 내용을 이곳 게시판에 옮겨 놓습니다. 이 게시판의 원래 용도는 책가지고 공부하자는 거였는데 본이 아니게 개점 휴업이라 송구하군요. 원래 취지에 좀 어긋나는 듯 하지만 그냥 기초글 올려 놓는다 생각하겠습니다. ^^;

오실로 스코프와 스펙트럼 아날라이저의 차이를 단적으로 표현 하면 아래와 같습니다.



- Oscilloscope는 가로축이 시간(T) 입니다. 시간상에서 파형의 진동을 보여줍니다. Oscillo- 라는 어원이 진동을 의미합니다.
- Spectrum Scope는 가로축이 주파수 입니다. 미지 파형이 어떤 주파수 성분을 포함하고 있는지 보여줍니다. 다양한 주파수 성분을 펼쳐서 보여준다고 해서 "Spectrum" 입니다.
- 시간과 주파수의 관계는 서로 역수 직교($T \cdot F = 1$) 관계에 있으므로 상호 가역변환이 가능합니다. 주파수 성분을 알면 이를 토대로 파형을 복원해 낼 수 있고, 미지의 파형에서 어떤 주파수 성분이 포함되어 있는지 밝혀낼 수 있습니다. 주파수와 시간의 상호 변환을 위해 상당한 수학이 들어갑니다. 이 수학을 신호

처리(Signal Processing)라고 합니다. 신호성분을 디지털 숫자화 하여 컴퓨터 도움을 받아 복잡한 수학 계산을 실시합니다. 이를 DSP(Digital Signal Processing)이라고 합니다. 신호처리 수학의 기초는 간단합니다. 주파수가 다른 파형은 선형적으로 섞일 수 있다. 즉, $f = f_1 + f_2 + f_3 \dots$ 이렇게 개별적인 주파수 더하기라는 겁니다. 섞인 후 파형을 보면 매우 복잡해 보이지만 자기 고유의 주파수 값을 유지하고 있다. 이 사실을 증명하기 위해 삼각함수들이 동원됩니다. 고등학교 때 배운 정도면 증명은 못해도 신호처리를 이해하는데 충분합니다.

위 그림에서 주기가 1/1000초 파형은 1초에 1000개의 파형을 담을 수 있으므로 1Khz의 파형입니다. 이 파형을 스펙트럼 스코프로 보면 1Khz에 한 개의 돌기가 삐죽 튀어 나오겠지요. 하지만 이렇게 이상적으로 딱 맞는 파형을 만들어 내긴 곤란합니다. 파형 발생 회로의 부품 편차가 시시각각 변화하기 때문입니다. 안정되지 않은 전원도 한몫 하겠구요. 오실로 스코프로 보면 꽤 깨끗해 보이는 파형이지만 상하 곡점에서 좀 굽게 보이는 파형, 좌우로 약간 떨리는 파형들은 불필요한 주파수 성분이 끼여 있다는 의미입니다. 그래서 이 파형의 순수성을 분석하려고 스펙트럼 스코프를 보면...

그림 처럼 1Khz 주변으로 좀 넓게 분포하는 모습을 보게 됩니다. 1Khz이외에 강도는 작지만 +- 주파수 성분이 더 포함되어 있다는 겁니다. 이 기생 주파수 성분이 넓게 퍼져있으면 질 나쁜 발진기 입니다. 불필요한 파형에 에너지를 낭비하게 되고 이웃 주파수에 간섭을 주고, 음질을 떨어뜨립니다.

또 다른 경우는 인공의 전자파 발생기는 고조파라는 것을 동반합니다. 1Khz 만 발생되면 좋지만 2Khz, 3Khz 등에서도 미약한 주파수 성분을 발생 시킵니다. 이 역시 에너지 낭비와 혼신을 야기하는 주원인 이므로 법적으로 엄격히 규제합니다. 무선국 준공검사의 주요항목 이구요.

스펙트럼 스코프는 발진기의 순수성을 분석할 때 사용합니다. 발진기의 기생 주파수들을 억제하기 위해 필터라는 것을 달아 줍니다. 필터란 특정 주파수만을 통과 시키고 그 외 주파수 성분은 차단하는 것입니다. 어떤 주파수를 통과 시키려면 그 주파수에 반응하는 저항(교류 저항의 의미로 임피던스)을 낮추고 이외 주파수에 대해서는 저항을 높이면 되는 겁니다. 실은 필터를 부르는 말은 매우 다양합니다. 코일과 콘덴서, 저항으로 만드는 각종 매칭회로가 모두 필터입니다. 안테나 튜너, 임피던스 매칭 코일, 송수신기 종단 매칭 탱크회로 등등...

이렇게 만든 매칭 회로들의 성능을 측정할 때도 스펙트럼 스코프가 사용됩니다. 주파수를 분포를 분석해 준다고 해서 "스코프" 대신 스펙트럼 "아날라이저"라고 말 합니다. 제작한 회로의 성능 검사, 수리 조정 등을 위해 스펙트럼 아날라이저와 시그널 제네레이터가 있으면 좋습니다. 그래서 자작파들이 핸드폰 테스터 HP8924C에 열광하는 이유입니다. 훌륭한 스펙트럼 아날라이저와 아주 우수한 시그널 제네레이터 가 내장되어 있거든요. 그것도 프로페셔널 급! 이 장비들을 이용하는 방법은...

전자공작 카페(<http://cafe.daum.net/elechomebrew>) 의 "샤크룸/안테나/장비소개" 에 몇가지 글이 올라와 있습니다. HP8924C 소개, HP8924C를 응용한 안테나 아날

라이저, 자작한 SWR Bridge로 안테나 측정, 자작한 송신기 스푸리어스 측정 등...

<http://cafe.daum.net/elechomebrew/FQLS/20>

그리고 "회로이론 및 시뮬레이션" 게시판에는 김경원님(HL5FTC)께서 올려주신 매칭 코일의 설계와 측정에 관한 아주 소중한 글도 있습니다. Spice 시뮬레이터의 사용법에서 LC 회로 설계하고 시뮬레이션, 실제 매칭 트랜스 제작 및 측정에 이르기까지 멋진 내용입니다. 측정에 시그널 제네레이터와 스펙트럼 스코프가 사용되었습니다.

<http://cafe.daum.net/elechomebrew/DjjG/1>

<http://cafe.daum.net/elechomebrew/DjjG/4>

12. DSP

가. A DSP Tutorials 의 해설

인간이 저주파와 고주파 교류신호를 조작하여 무전기를 만들어 낸지 한세기가 조금 넘는 것 같습니다. 그 이전부터 교류신호의 전파현상은 "원래" 자연계에 존재해왔었습니다. 이렇게 신기한 현상을 수많은 실험을 통해 발견하고 비로서 조작할 수 있게 된 것이죠. 발견한 전파현상을 그냥두지 않고 축적된 수학적 지식으로 풀어냈습니다. 수학적 해석이 가능해 지자 이를 발전시킨 결과 오늘날과 같은 무선 통신의 전성기를 맞이하게 된 것입니다.

코일과 콘덴서 저항 그리고 진공관 혹은 트랜지스터라고 하는 재료를 이용해 교류신호를 생성하는 회로의 발명이 이어져 왔으며 다른 한편으로는 교류신호를 해석하는 연구가 진행되었지요. 그 것이 바로 신호처리(Signal Processing)입니다. 전기장과 자기장을 다루는 전파현상 자체를 연구하는 것은 "물리학"입니다. 이주 어려운 고등 수학입니다. 신호처리는 파형에 대해서만 이야기 합니다. 그 파형이 고주파가 되어 벌어지는 이상한 현상은 "물리학"에 맡겨 두고 오직 파형 그 자체에 관심을 두는 겁니다. 그러다 보니 삼각함수와 이에 관련된 몇가지 수학 공식을 동원하면 어지간히 이해가 가능합니다.

1998년 미국 아마추어 무선연맹 ARRL의 기술지 QEX 에 디지털 신호처리에 대한 교육기사가 실렸었습니다. 제목은 "Signals, Samples and Stuff: A DSP Tutorial" 입니다. 총 네 편의 연재 기사 입니다.

<http://www.arrl.org/files/file/Technology/tis/info/pdf/98qex003.pdf>

<http://www.arrl.org/files/file/Technology/tis/info/pdf/98qex022.pdf>

<http://www.arrl.org/files/file/Technology/tis/info/pdf/98qex013.pdf>

<http://www.arrl.org/files/file/Technology/tis/info/pdf/98qex019.pdf>

무전기의 계통도에서 신호변환의 과정(믹서, 필터, 변조, 복조등)을 수학적으로 풀이하고 있는데 아마추어 무선을 취미로 즐기는 이들을 위해 쉽게 작성했다고 합니다. 이 기사를 작성하신 분은 Doug Smith, KF6DX/7 이라고 합니다. 20여년 간 현장에서 일해 온 기술자라고 합니다.

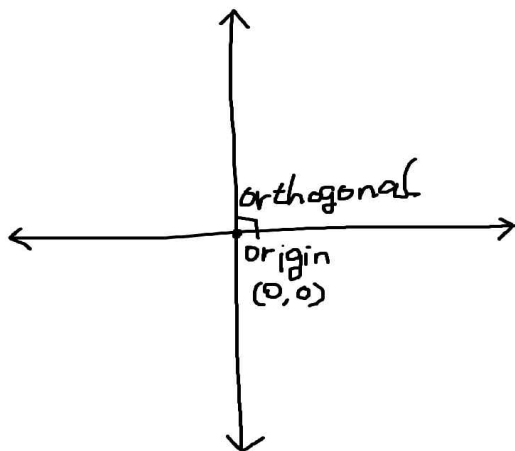
지난 주말에 모처럼 시간이 있어서 위 기사를 한번 읽어봤습니다. 그리 만만한 내용은 아니더군요. 우리도 이에 못지않은 인적 자원이 있을 텐데 이런 기사가 실

리면 좋겠다 싶더군요. 제가 이런 고급 기사를 작성하기는 무리고 위 기사의 해설을 붙여봐야 겠다는 생각들었습니다. 오랜만에 밤새 공부하던 추억이 되살아나는 기분입니다. 틈나는 대로 올려 드릴게요.

긴긴 겨울밤 함께 밤을 패보실까요? ^^; 다른 안목에서 바라보는 좌표계....

* 본격적으로 DSP를 들여다보기 전에 워밍-업으로 수학 몇 가지 복습해 봅니다.

DSP라는 무시무시한(혹은 지긋지긋 한) 요물단지를 들여다 보기 전에 아주 오래 전 학창 시절로 돌아가 봅니다. 요즘은 초등학생도 배운 다는 직각 삼각형의 공식과 삼각 함수가 생각나실 겁니다. 휴~ 말만 들어도 벌써 골치가 아파 오려고 합니까? 일단 심호흡 한번 하고 좌표계라는 것부터 살펴봅니다. 무슨 무슨 "계" 라고 하면 웬지 근사해 보입니다만 막상 그게 뭐냐고 물어보면 막상 말문이 막히죠? "계"는 영어로 시스템(system)이라고 합니다만 이 역시 마구 써제기는 일상 단어의 하나가 되었습니다. 간단하게 풀이 하자면 "계(system)"란 하나 이상의 요소가 서로 유기적인 관계를 가진 틀 혹은 규범이라고 합시다. 예를 들어 봅니다. 2차원 평면상에서 한 점의 위치를 표현하기 위해 직각 좌표계라는 것을 고안해 냈습니다. 서로 직각으로 교차하는 두 축으로 규정된 틀입니다.



두축이 만나는 점을 원점이라고 합니다. 슬슬 좌표계의 규범이 생겨났습니다.

- 두축은 직각으로 교차한다.
- 교차점을 원점이라고 한다.

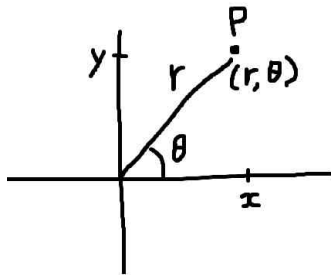
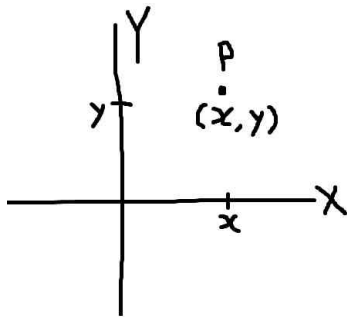
한점의 위치를 표현하려고 원점으로 부터 가로축(x)과 세로축(y)의 거리로 표현할 수 있습니다. 두축이 직교하는 좌표계에서 원점으로부터점 P까지 최단거리 r의 제곱은 두축의 이격거리 x와 y을 각각 제곱한 것을 더한 것과 같습니다.

약 2천년전 쯤 피타고라스라는 위대한 철학자가 증명한 공식이죠. 이렇게 한점의 위치를 직교하는 두 축의 원점에서 거리를 표현하는 방법을 "직각 좌표계(Cartesian Coordinate System)"라고 합니다. 우리가 아주 흔히 봐왔던 것이고 이해하기도 매우 쉽습니다.

이번에는 조금 다른 방법으로 한 점을 표현해 봅니다. 한 점의 위치를 원점에서 직선거리와 수평 축(또는 수직축)에서 떨어진 각도로 표현하는 것입니다. 이렇게 표현하는 좌표를 "극좌표계(Polar Coordinate System)"라고 합니다.

좌표계(Coordinate System)란 무슨 물건도 아니고 손에 잡히는 것도 아니고 그저 머릿속의 개념입니다. 중요한 것은 기준이 되는 원점이 있다는 것이고 2차원 면을 이루는 두 축이 반드시 직교한다는 규범은 여전히 유효합니다. 평면상에 한 점을 표현하는 방법에는 두 가지 인자가 동원 되고 있습니다. 어떤 인자를 사용하느냐에 따라 좌표계가 약간 다릅니다. 2차원 좌표계에서 한 점의 표시 방법이 다를 뿐입니다. 두 좌표 표현 방식에는 상호 변환 공식이 있습니다. 우리는 그것을 삼각함수라도 배웠지요. 이 역시 2천년도 더 된 이야기입니다. 나일강이 범람 했

을 때 토지의 구획정리를 위해 고안해낸 측량법에서



$$r^2 = x^2 + y^2$$

$$\cos \theta = \frac{x}{r}$$

$$\sin \theta = \frac{y}{r}$$

유래한 것이라는군요.

측량을 하는데 거리 한번 재고 방위각 재서 지도위의 가로-세로 좌표로 변환하여 지도위에 금긋는 겁니다. 2천년전이나 지금이나 측량은 변한 것이 없군요.

움직이는 점.....

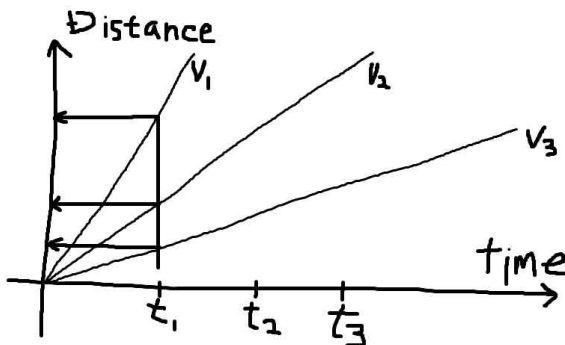
앞서 좌표상의 점을 표현하는 두 가지 방법에 대해 얘기했습니다. 이 점은 고정된, 혹은 정지한 점이죠. 이 점이 움직인다고 합시다.

시간에 따라 원점에서 거리가 멀어지는 것이죠.

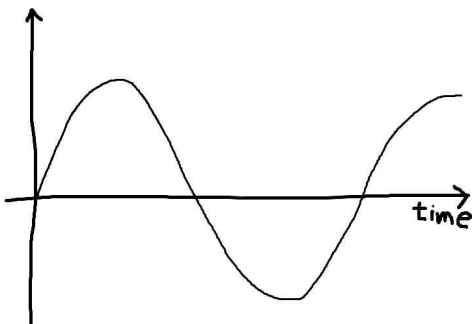
시간-이동 거리를 좌표로 표현해 보면 이렇습니다.

거리 = 속도*시간

만일 속도가 일정하다면(정속도) 거리는 순전히 시간에 의해 결정됩니다. 속도는 시간당 얼마만큼의 거리를 이동할 수 있다는, 움직이는 "점" 이 보유하고 있는 능력이구요. 거리와 시간의 관계를 좌표로 표현해 봅시다.



앞서 "측량"의 좌표는 동서-남북 방향의 위치였지만 움직이는 점의 이동을 표시하기 위한 좌표는 가로축이 시간이고 세로축이 이동 거리입니다. 점이 고속(V_1)으로 움직일 때와 저속(V_2)으로 움직일 때 같은 시간이라면 이동한 거리가 다르다는 것은 확실합니다. 좌표상으로 표현해 놓으니 한결 눈에 확 띄이는군요.



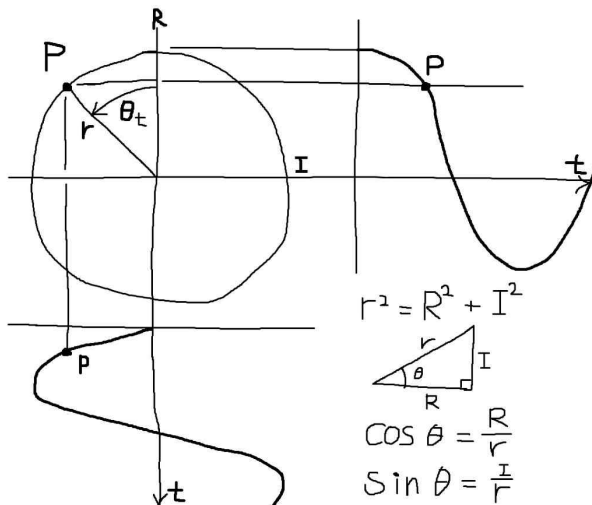
아... 그런데 이점이 움직이는 모양이 좀 수상쩍습니다. 이동거리가 직선형으로 증가하는 것도 아니고 심지어는 방향을 틀어 거꾸로 갔다가, 심지어 원점 아래로 내려갑니다. 이렇게 움직이는 점의 속도는 고정되어 있지 않은 것이 분명 합니다. 이 점의 정체는 과연 무엇이란 말입니까?

움직이는 점이 "무게"를 가지고 있다면 이런 식으로 운동하기는 극히 곤란 합니다. 무게로 인한 관성 때문에 급격히 속도를 변화 시킬 수 없고, 만일 가능 하더라도 엄청난 에너지가 소요되고 구조물 자체도 매우 튼튼해야 하겠지요. 만일 이렇게 움직이는 물체를 보셨다면 분명 UFO일 겁니다.

만일 저 움직임이 전압과 시간의 관계라고 합시다. 전압을 잃으키는 요인은 에너지 함유량이지 무게와는 상관없습니다. 시간에 따라 전압이 변화무쌍합니다. 우리가 흔히 봐왔던 전자기파 입니다. 겉으로 보기에 변화무쌍한 이 전압의 움직임이 과연 무엇인지 분석해보고 싶어지지 않습니까?

무게를 가진 물체(강체)의 에너지를 다루는 일은 기계공학에서 할일이고 무게가 없는 전압 파동을 다루는 일은 전자공학에서 합니다. 뭐가됐든 변화 무쌍상 움직임을 다루는 수학의 근본은 같은 겁니다. 그래서 삼각함수는 어떤 공학 책을 봐도 다 튀어나오게 되어 있습니다. ㅎㅎ

이제 우리에게 아주 눈에 익은 그림을 전압 파형을 보겠습니다. 전압의 움직임은 사실 가로축이 시간이고 세로 축이 전압입니다. 이렇게 가로-세로를 정의한 "직교 좌표계"에서 파동의 모습은 너무나 난해 합니다. 시간에 따라 전압이 변화하긴 하는데 도데체 전압이 변하는 규칙은 무엇이란 말입니까? 전압 변화 규칙이 직선형이 아니란 애깁니다.



직교 좌표계의 파형을 이번에는 극좌표계로 옮겨 놓으니 원이 되었군요. 그리고 시간에 따라 점 P가 회전하는 각도가 일정 합니다. 뭔가 운동하는 것이 일정하다는 것은 분석하기 좋다는 뜻이 됩니다. 그런데 원으로 좌표계를 옮겨놓고 보니 세로축은 전압이라고 치지만 가로축은 뭐랍니다? 직교 좌표에서 시간으로 여겼던 가로축은 분명 아닐겁니다. 시간이란 계속 흘러가는 것이지 왔다리 갔다리 할 수는 없으니까요. 무슨 타임머신도 아니고.....

심각하게 고민하다가.... 세로축의 움직임을 직교 좌표계로 투영해 놓으니 사인파요... 가로축으로도 역시 사인파가 나옵니다. 단지 시작점에서 값이 다를뿐! 세로축을 실제 진폭라고 한다면 가로축도 보아하니 형상도 똑 같겠다... 진짜와 진배 없는 가짜라고 하지 뭐. 그래서 세로를 실제(Real) 축, 가로를 허구(Image) 축이라고 했다는 전설이 있습니다. 믿거나 말거나.... 회전하는 각도는 세로 R 축을 기준으로 시작하는 것으로 정했구요. 보통 사인파라고 부르지만 사실은 "코사인 cos"으로 표시하는 파형이 실제 파형이고 "사인 sin"으로 표현한 파형이 허구 파형입니다. 파(wave)를 들여다보기 편리하게 극좌표 끌로 바꾸면 실제와 허구로 표현한다. 이렇게 해놓으면 뭐가 편리한지는 차차 알아가 보도록 하지요.

그런데 실제와 가짜라고 구분하자니 좀 불편하네요. 그래서 Real을 회전각(페이즈, phase)에 맞춰 나오는 기준신호라 해서 인-페이즈(In-Phase), I 라고 부르고 허구 신호를 원의 1/4바퀴 뒤쳐져 나온다고 해서 4등분이란 의미의 쿼드러춰(Quadrature), Q 라고 부릅니다. 그리하여 I/Q가 나온 사연 입니다. 별거 아닙니

다. 파형을 수학적으로 해석하기 극좌표 꼴로 다시 표기하다보니 I와 Q로 나눈 겁니다. 신호처리를 통해 이게 얼마나 극적인 효과를 보여주는지 차차 알아보지요. I/Q가 굳이 궁금 하시다면...

<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/4805>

그래서! 보통 책에서 칭하기를....

실 사인과 $X(t)$ 를 표현하면 다음과 같다. $X(t)$ 는 시간의 변화에 나타나는 값, 혹은 가로축을 시간이라고 하고 세로축으로 나타나는 값, 혹은 시간 t 에 대한 함수값 등 등으로 부릅니다.

$x_t = \cos \omega t$
 $\omega = 2\pi f$

w 자처럼 쓴 것은 오메가 인데 (2π) 곱하기 주파수 입니다. 주파수가 정해져 있는 오메가는 상수 입니다. 파형은 시간의 함수 이구요. 이 오메가의 의미는 각도의 눈금 간격이라고 봐도 좋습니다.

- 파형 공부하다보면 항상 (2π) 가 나오는데 원둘레를 한 바퀴 돈 각도의 표현 입니다. 일상생활에서는 보통 360도라고 표현하지만 수학에서는 (2π) 라고 합니다. 각도를 라디언(radian) 단위로 표현한 것입니다. 왜냐구요? 보기 좋잖아요. ㅎㅎㅎ
- 원을 한 바퀴 돌면 다시 시작인데 왜 꼭 (2π) 라는 상수값을 꼭 포함시킬까요? 온전한 한 바퀴를 돌았다는 표현이 필요할 때가 있기 때문입니다. 일종의 기준 잡기 입니다. I가 한바퀴 (2π) 라면 Q는 (2π) 빼기 4분의 1파이)라고 하는 거지요.


- 주파수가 1Hz인 파형이 0.002초 후에 진폭은 얼마인가요? 라고 한다면

$X(0.002) = \cos(2*3.14*1*0.002)$ 라고 계산해야 겠지요.

한바퀴 (2π) 를 1000으로 나눈 눈금에서 두 번째 각도의 코사인 값 입니다. 이 계산식에서 (2π) 가 없다면 좀 곤란하지 않겠어요?

기초를 빙자한 사실은 여기까지 입니다. 이 만큼만 알면 DSP의 첫걸음 떼기는 충분 합니다. 믿거나 말거나..... 그외에 다소의 상상력과 창의력 그리고 기억력을 바탕으로 경륜에서 우리나라 응용력이 필요하구요. ^^

우리는 수많은 수학자와 과학자들이 남겨주신 과학적 유산에 감사하며 잘 응용하면 되겠지요. 그 공식들과 철학들을 전부 증명할 필요는 없겠습니다. 중간에 느닷없이 등장하는 각종 수식은 그냥 공식으로 외웁시다. 직각 삼각형 빗변에 대한 피타고라스 정리를 굳이 증면해 보일 필요는 없을것 같아요. ^^;

[참고]"What is I/Q Data ?"  NI-Tutorial-4805_What_IQ_Data.pdf

Internet Archive / 인터넷 도서관 <http://www.archive.org/>

수학공식을 총 망라한 책 / 자연과학도라면 한권씩 너덜너덜해지도록 끼고살던 그 책 Mathematical Handbook of Formulas and Tables

<http://www.archive.org/details/MathematicalHandbookOfFormulasAndTables>

그 유명했던 "73 Magazine"을 검색해보니,

<http://www.archive.org/search.php?query=73%20Magazine&page=1>

1963년 11호가...

<http://www.archive.org/details/73-magazine-1963-11>
73 Magazine의 창간호(1960년 10월, 당시가격 37센트)
<http://www.archive.org/details/73-magazine-1960-10>

나. DSP 입문

90년대 들어 DSP라는 말이 대단한 관심을 끌게 되었다. 이 용어가 뭇에 소용되는 것인지 궁금하진 않은가? QEX지에 연재될 본 기사를 통해 DSP라는 거대한 숲으로 한 걸음 들어가 보기로 한다.

해설) 신호처리(Signal Processing)라는 이론이 실제 무선통신 분야에 응용되기 시작한 것은 고성능 PC(개인형 컴퓨터, Personal Computer)가 일반화 되던 시기인 90년대다. PC에 사용된 마이크로 프로세서의 발전에 맞춰 디지털 장치(반도체)의 성능이 향상되어 실시간 계산이 가능 하게 된 것이다. PC의 보급과 더불어 고성능 마이크로 프로세서가 대량 생산되어 값싸게 공급된 까닭이기도 하다. 80년대 말까지만 해도 486급 PC로는 MP3 파일의 재생조차 쉽지 않은 시절이었다. 하지만 90년대 들어 휴대용 MP3 재생이 가능한 휴대기기의 등장은 실로 경이로운 발전이라고 할 것이다. 그 시절에는 신호처리 계산을 아주 잘 수행하는 전용의 마이크로 프로세서를 디지털 시그널 프로세서(Digital Signal Processor)라고 하여 TI의 320 시리즈가 절대 강자였다. DSP 이전의 무선통신 장치(무전기)에서는 감히 신호처리(Signal Processing)가 적용되지 못하였으며 단지 해석을 위한 수학일 뿐이었다. 아날로그 무전기의 신호처리는 저항, 코일, 콘덴서의 부품 소자를 이용하였다. 이 부품들의 동작은 실제로 수학적 계산을 수행하는 것이 아니라 물질의 고유 특성을 이용한 것으로 환경변화(전압 안정성, 온도, 습도 등)에 매우 큰 영향을 받게 된다. 이를 보상하기 위해 순전히 장인의 경험에 의해 동원된 수많은 부품들과 회로구성을 보면서 잘 만든 무전기 회로라며 감탄하지 않았던가? 이 기발한 회로들은 단지 이론으로는 해석될 수 없는 것이었다. 이 시절의 DSP는 그저 먼 미래의 꿈일 뿐이었다. 그것이 불과 30년이 흐른 지금의 DSP는 무려 개인 취미가의 호사로 전락할 줄이야 누가 알았겠는가! 증명된 계산이론(수식)은 초보자와 장인이라 해서 차별하지 않는다.

도대체 DSP라는 것이 뭐란 말인가? 어디에 적용되고 있을까? DSP의 몇 가지 중요한 개념이 무전기 설계에 적용되고 있다. 몇 편의 기사를 통해 이에 대해 소개 하겠다. 먼저 첫 편에서 DSP가 적용된 무전기에서 DSP가 어떤 역할을 하진지 이해 하는데 필요한 기본 개념들을 때론 자세하게 설명할 것이다. 두 번째 편에서 실제 DSP가 어떻게 적용되는지 들여다 볼 것이다. 구성도를 보면서 무전기의 설계 중 DSP가 어느 부분에서 실질적인 역할을 하게 되었는지 보게 될 것이다. 세 번째 편에서는 능동 필터, 특별한 복조 방식과 같은 좀더 고급 DSP를 살펴보겠다. (해설: 실제로는 4편으로 연되 됨)

1) 복소신호의 수학적 배경 (Mathematics of Complex Signals)

무전기에 DSP를 적용 하려면 먼저 수학적 배경을 되새겨보자. 컴퓨터와 마이크로프로세서가 숫자 계산에 매우 탁월하다지만 이것을 가지고 뭘 계산 하려는 것인지 알아야 한다. 그런 후에 SSB 신호를 뽑아낼 때 적용된 DSP 계산을 좀 더 잘

이해하게 될 것이다.

2) 실 신호와 복소 신호 (Real and Complex Signals)

마이크를 통해 입력된(전자 신호로 변환된) 실제 음성 신호를 공중으로 방출하기 위해 SSB(단측 억압 반송파, suppressed side band)로 변환하는 과정을 살펴보자. 무선 SSB 신호는 음성 신호를 고주파수 반송파와 섞어 무선 대역으로 변환한다. 상측과대(USB, upper side band) 신호를 얻기 위해 하측과와 반송파 성분을 억제(제거)한다. 무선 SSB 신호의 생성을 “위상해석(phasing method)”이라는 복소신호 (complex signal)를 다룬 수학기법으로 살펴본다.

물론 필터를 사용하여 SSB 신호를 발생 시키는 방법은 이미 알고 있는 바와 같다. (해설: 메카니컬 필터, 크리스탈 필터, LC 필터 등 회로적으로 구성된 고전적인 필터를 사용한 방법은 이미 우리에게 매우 익숙해 있다.) DSP를 적용하면 광대역 위상 편이(phase shifter, 해설: 주파수 변환용 믹서라고 이해하자)를 쉽고 정밀(난해하면서 고도의 경험의 요구되는 L과 C값의 조절이라는 지루한 실험을 하지 않아도 명확하게 수학 계산을 통해)하게 구현할 수 있다. 위상 수학(phasing method, 해설: 사인 파형을 원주상의 회전인 극좌표로 표현하였을 때 각도의 변화를 해석하는 행위. 각도의 변화에 맞춰 원주를 회전하는 그 어떤 것-편의상 “점”이라고 했지만 실제 하는 물질이 아닌 파형을 생성하는 개념상의 무엇-을 페이스, phaser 라고 함)으로 DSP SSB 신호 생성을 설명한다.

복소신호를 이해하기는 그리 수월치 않다. 신호처리 수학의 개념을 세우는데 큰 걸림돌이다. 특히 주파수가 음수가 될 수 있다는 것을 이해하기란 쉽지 않다. 오실로 스코프나 스펙트럼 스코프로 관찰 되고 전파로 방출되었다가 다시 복조 되는 실존하는 코사인 파(해설: 삼각함수에 의해 표현되는 “사인 파” 나 “코사인 파”는 모두 정현파를 말한다. 통상적으로 정현파를 “사인 파”라고 할 뿐이다. 삼각함수를 통칭하는 영어 sinusoid에서 기원한 탓이라.)는 모두 양수의 주파수 값을 취한다. 하지만 복소체계에서 분석할 때 주파수는 음수와 양수의 값으로 표현된다.

(해설: 시간상의 정현파를 분석하기 편리-왜 그런지는 차후 알아 볼 것이다-하게 원 둘레의 회전하는 “점(또는 페이스)”으로 표현하기로 했다. 이때 세로축을 실수-Real-축, 허수-Image-축이라고 정했다. “점”의 각도를 시계방향 또는 반시계방향으로 측정하기도 한다. 회전각도 또는 초당 회전수, 또는 회전속도가 곧 주파수다. 회전방향에 따라 기술적인 표현으로 음의 주파수 양의 주파수라고 해둔다.)

코사인 파로 표현한 실 신호는 다음과 같다.

$$X_t = \cos \omega t \quad \text{where } \omega = 2\pi f, \text{ and } t \text{ is time (식 1)}$$

이 신호는 두 개의 복소수 신호를 추가하여 복소수 영역으로 옮겨 놓으면 아래와 같다.

$$X_t = \frac{1}{2}[(\cos \omega t + j \sin \omega t) + \cos \omega t - j \sin \omega t] \quad (\text{식 2})$$

* 식 2의 괄호를 풀어 덧셈 뺄셈 해보면 보면 결국 식 1과 똑 같다.

이제 신호는 음의 주파수와 양의 주파수 성분을 가지게 된 것이다. 왼쪽 괄호

부분은 양의 성분이며 오른쪽 괄호 부분은 음의 성분이다. 실제로 위의 괄호를 풀어 정리하면 처음 코사인 파형을 표현한 식과 같다. 코사인 파를 실수 축과 허수 축으로 구성된 복소수 좌표 평면에 놓은 것으로 서로 반대 방향으로 회전하는 두 개의 벡터로 표현한 것이다. 복소수 평면 상에서 신호를 옮겨 놓는 것이 수학자들에게는 아주 의미 있는 전개가 될지 모르지만 우리처럼 범인에게 과연 어떤 의미를 가지게 될지 자못 궁금할 것이다. 그저 허수 부분을

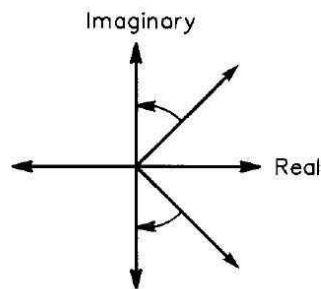


Fig 1—Vector representation of a real cosine wave.

더한 수식 놀음으로 밖에 보이지 않으니 말이다. 일단 허수 부분을 끼워 넣음으로써 모든 신호는 각각 독립적인 양과 음의 주파수 분포 (frequency spectrum)로 나뉜다는 것을 표현하려는 것으로 이해하자.

역지로 음과 양의 주파수 성분으로 나타낸 듯한 이 수식 놀음이 음성 신호를 무선 주파수 대역으로 변환하는 주파수 혼합기(믹서, mixer)를 수학적으로 해석하는 시발점 이다.

디지털 신호처리를 쉽게 이야기 하듯 풀어가 보려고 여기저기 해설삼아 사실을 넣었더니 아주 분량이 많아지게 생겼습니다. 숫자 놀음, 수학 공식 장난처럼 시작됐다가 갑자기 훌쩍 외계어로 넘어가는 경향이 있으니 한번 읽어보시고 맞든 틀리든 나름대로 논리도 세워 보시고, 수식도 풀어보시고, 이야기도 만들어 보면 한결 편할 겁니다. 처음엔 좀 틀리게 이해했더라도 차차 교정해 나가면 되겠지요. 중요한 것은 내 멋대로 라도 좋으니 줄거리를 만들어 두는 것이 중요합니다. 사고하는 두뇌를 가진다는 것이니까요 ^^

다. Signals, Samples and Stuff: A DSP Tutorial (Part1-2) -계속-

해설) DSP에서는 모든 신호를 삼각함수로 해석한다. 원점을 중심으로 회전하는 페이즈의 궤적이 그려내는 모습을 시간상으로 펼쳐 놓은 것이 소위 파형이라고 하는 것이다. 그림 1(Fig 1)을 보자. 앞서 세로축을 실수(Real), 가로축을 허수(Imaginary)라고 했는데 이 그림은 두 축이 바뀌지 않았나? 상관없다. 축을 90도 (2분의 파이)만큼 틀어 틀어놨을 뿐이다. 두축이 직교한다는 것이 중요할 뿐이다. 직교만 한다면 사인(sine)과 코사인(cosine)으로 대변되는 삼각함수라는 수학이 통한다는 것이다.

DSP에서 관심을 뒤야 할 것은 회전하는 속도와 원호의 반지름일 뿐이다. 시간당 회전하는 횟수가 곧 주파수이며, 원호의 반지름이 파형의 진폭이다. 시간은 일관되게 양의 방향으로 흘러간다. 타임 머신은 과학이 아니라고 하지 않던가? 시간에 따라 변화하는 회전수(회전하는 속도)에만 관심을 두면 FM이고 시간에 따라 반지름이 변화하면 AM 이다. 반지름이 변화하는 방향은 일관되게 원의 중심에서 원호 사이를 긋는 직선상에 있다. 물리량(전기적 파형에서는 전압치 라고 하는)이 있고 변화의 방향을 표시할 때 한마디로 벡터라고 부른다.

FM은 회전하는 화살표 벡터이고 AM은 원점에서 밖으로 직선으로 그은 화살표 벡터다. 화살표의 변화 방향이 음 혹은 양이 될 수 있다. 회전 속도가 빨라졌다 느려졌다 할 수 있다. 진폭이 늘었다 줄었다 할 수 있다. 그런데 회전방향 이 시계 방향에서 반 시계방향으로 바뀐다고? 그럼으로 그려보면 마치 파형이 시간을 거슬러가겠는걸? 타임머신인가? 모든 현상은 시간의 양의 방향으로만 발생한다. 회전 벡터의 음과 양의 의미는 회전속도가 늘었다가 줄었다 한다는 뜻이다.

물리량이 변화를 개념적인 그림으로 표현하려다 보니 좀 오해가 있을 수 있겠다. 슬슬 머리 속이 혼미해 지면서 보이스 피싱에 당하는 느낌이 들더라도 일단 속는 셈 치고 넘어가보자. 한가지 더, 우리가 뭔가 해석하려는 이유는 물리량의 변화를 감지했기 때문이다. 변화하지 않는 것은 궁금하지도 않다. 그냥 1Mhz로 고정된 전파에서 어떤 의미 찾으려 하진 않는다. 이 신호가 끊어졌다 이었다 하는 모습이 무슨 규칙을 가지고 있으면 누군가 CW 신호를 내보내는구나 라고 생각할 것이다. 7.070Mhz를 중심으로 주파수 2.4Khz 이내에서 오락가락 하는 전파가 포착되었다. 아마도 그분이 “각국”을 찾는 신호일지도 모른다. 자 이제 이 묘령의 신호를 해석할 때다.

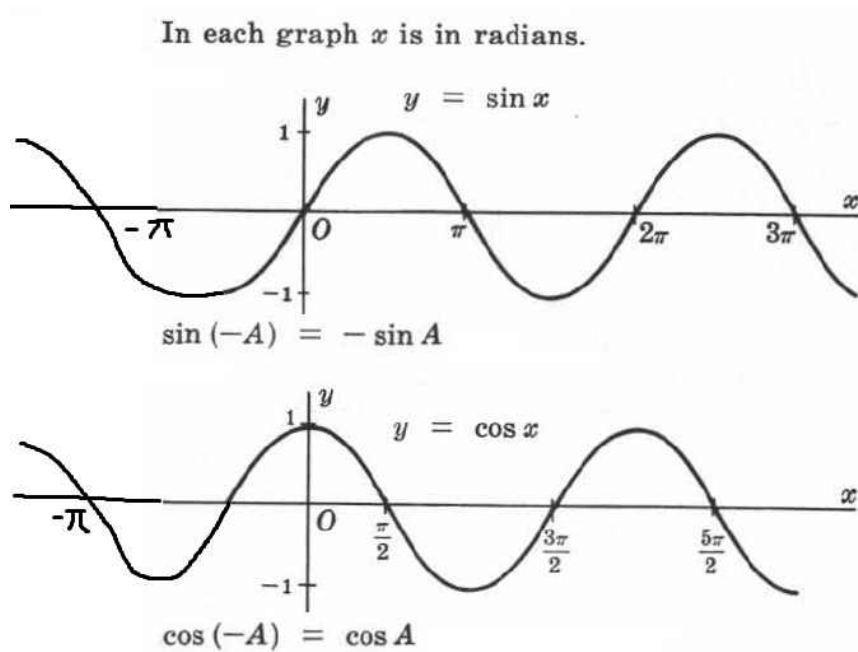
공간에 음성을 방출하여 널리 전파하려면 먼저 무선 주파수에 음성신호를 실어 보낸다는 것은 누구나 아는 상식이 되었다. 수 메가 헤르츠의 고주파와 수 키로 헤르츠의 신호파(음성)을 섞어야 한다. 바로 주파수 변환 혹은 믹서(mixer)라는 것이다. 20세기 이전에 이런 주장을 했다면 미친놈이라는 소리를 들었을 지도 모른다.

고주파 대역으로 변환된 코사인 파형(음성 전기신호)의 주파수 스펙트럼을 보면 상측파 하측파에 대칭하여 주파수 성분이 분포하는 것을 아주 당연하게 여긴다. 이미 전통적인 무전기의 아날로그 믹서를 통해 수없이 봐오지 않았던가? 다만 물리학적으로 계산된 약 6dB의 손실이 있을 거라는 예측과는 부합되지 않게 진폭이 원 신호에 비해 절반 정도로 관찰되었다. 주파수 변환을 복소수 신호로 들여다보기 전에 간단한 수학기공식을 기억해 두자.

$$e^{jwt} = \cos wt + j \sin wt \quad (\text{식 3})$$
 자연과학도에게는 피타고라스의 정리만큼이나 수없이 증명된 당연한 공식이니 그냥 외워두자.

덤으로 삼각함수의 성질도 기억해 두자. 의심이 난다면 종이를 꺼내 그림으로 그려봐도 좋다.

오일러(Euler)라는 위대한 수학자가 발견한 삼각함수와 지수함수의 등가 공식이다.



$\cos(-A) = \cos A$
 A : 코사인 함수는 각도(주파수)가 음수이거나 양수이거나 같다.
 $\sin(-A) = -\sin A$: 사인 함수는 각도(주파수)가 음수면 파형이 뒤집어진다.
 왜 실 신호를 코사인으로 허 신호를 사인으로 나타내고자 했는지 슬슬 이상한 기운이

감지되지 않은가? 신호해석을 위해 복소수 체계로 옮겨온 것은 그렇게 하는 것이 증명된 수학 공식들을 동원하기에 용이하기 때문이다.

그리고 지수 계산 법칙이다. 이 역시 중학교 수학책에 나온다. 덧셈 뺄셈을 의심하지 않듯이 의심할 필요 없다. 밑이 동일한 지수의 곱셈은 지수끼리 덧셈/나눗셈은 지수끼리 뺄셈.

$$A^x \times A^y = A^{(x+y)}$$

$$\frac{A^x}{A^y} = A^{(x-y)}$$

한 가지만 더 기억해 두자. 수학에서 이르길 근호(루트, root) 안의 상수는 음수가 될 수 없다. 복소수 체계로 옮겨온 수식은 실수 부분과 허수 부분으로 구성된다. 그렇다면 허수부분이라는 표시를 무엇으로 해야 하나?

수학에서 있을 수 없는 표식을 해둔다. 있을 수 없지만 있어야 하는 숫자, 그래서 숫자라 표시하지 못하고 j 라는 부호로 표시되는 그것, 혼자서는 있어서는 안되지만 제공하면 비로서 실제 값이 되는 그 것, 바로 허수 표시다. 어떤 수학책에서는 i 로 표시하기도 한다. $\sqrt{-1} = j$
 $j^2 = -1$

앞서 사인파를 복소수 평면으로 기술하면 유용하다고 했었다. 코사인 파형을 복소수 지수함수로 기술하면 다음과 같다.

$$\cos \omega t = \frac{1}{2}(e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}) = \frac{1}{2}[(\cos \omega t + j\sin \omega t) + (\cos \omega t - j\sin \omega t)] \quad (\text{식 4})$$

갑자기 외계어가 등장한 것 같다면 종이를 꺼내 식 1이 식 4와 같이 변화하는 과정을 직접 써보자. 오일러 공식을 적용한 것 뿐이다. 자 이제 조정 주파수의 반송파(carrier)를 역시 코사인으로 표현하면 다음과 같다.

$$y_t = \cos \omega_0 t \quad (\text{식 5}) \quad \text{주파수} = \omega_0$$

식 1은 신호파다. 음성 신호파는 진폭도 변하고 주파수도 변한다. 논의를 단순화하기 위해 주파수만 변하는 것으로 하자. 코사인 함수의 인수로 나타낸 오메가(ω 처럼 생긴 부호로 주파수)가 시간의 함수, 즉 시간에 따라 변화한다. 반송파는 고정 주파수로 오메가 제로(ω_0) 라고 표기하며 상수를 의미한다. 믹서는 복소수 신호인 두 파형을 곱하는 것이다. 신호파 (식 4)와 반송파(식 5)를 곱해보자. 망설이지 말고 앞서 배운 수학을 동원하여 식 6, 7, 8이 되는지 종이에 써보자.

$$X_t = \cos \omega t \quad (\text{식 1})$$

$$X_t = \frac{1}{2}[(\cos \omega t + j \sin \omega t) + \cos \omega t - j \sin \omega t] \quad (\text{식 2})$$

$$e^{j\omega t} = \cos \omega t + j \sin \omega t \quad (\text{식 3})$$

$$\cos \omega t = \frac{1}{2}(e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}) = \frac{1}{2}[(\cos \omega t + j \sin \omega t) + (\cos \omega t - j \sin \omega t)] \quad (\text{식 4})$$

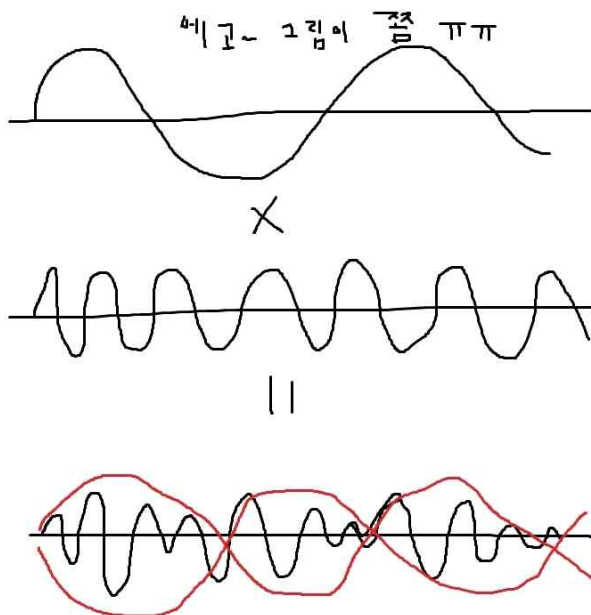
$$y_t = \cos \omega_0 t \quad (\text{식 5})$$

$$(\cos \omega_0 t)(\cos \omega t) = \left[\frac{(e^{j\omega_0 t} + e^{-j\omega_0 t})}{2} \right] \left[\frac{(e^{j\omega t} + e^{-j\omega t})}{2} \right] \quad (\text{식 6})$$

$$\frac{[e^{j(\omega_0 + \omega)t} + e^{-j(\omega_0 + \omega)t}] + [e^{j(\omega_0 - \omega)t} + e^{-j(\omega_0 - \omega)t}]}{4} \quad (\text{식 7})$$

$$\frac{1}{2}[\cos(\omega_0 + \omega)t + \cos(\omega_0 - \omega)t] \quad (\text{식 8})$$

두 개의 코사인 파를 곱한 결과 (식 8)처럼 양측파 스펙트럼이 나왔다. 반송파를 중심으로 신호파의 음과 양의 주파수 성분이 존재하는 것이다.

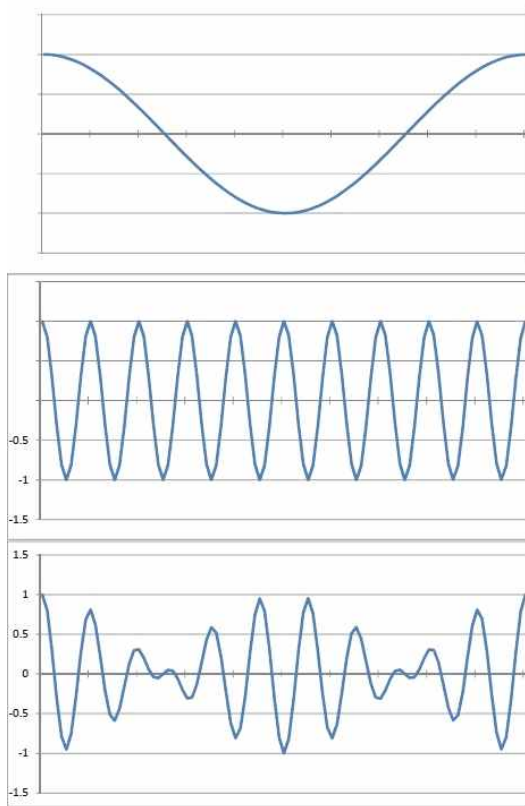


앞서 외웠던 오일러 공식, 지수 곱셈을 적용하면 된다. 그냥 주기(주파수)가 다른 두개의 파형을 곱했다. 어떤 모양이 될까?

두 파형을 곱하여 만들어진 결과를 보면 주기가 짧은 고주파 성분이 지배하지만 그 속에 저주파 신호의 성분도 소멸되지 않고 남아있다. 그런데 상하 대칭인 두개의 저주파 성분이 그려지네? 이 당연하고도 명백한 사실을 수학으로 표현하고 싶었던 것이다. 빨간 사인과 두개는 상하가 뒤집어져 있다. 상하대칭이다.

각도 움직임이 같고-주파수도 같다는 얘기- 값만 음수와 양수인 두 사인파(시작점이 똑같은, 유식한 말로 하면 위상차가 없는)다. 이제 나름대로 이야기 하나 만들어 보죠. 식 8을 보니 두 파형을 곱해봤더니 결국 두개의 주파수 성분이 더해진 모습을 보이는데. 그런데 하나는 양수 주파수고 하나는 음수 주파수일세.

음... 음수 주파수 성분과 양수 주파수 성분이 나타났는 걸? 하나는 실신호 하나는 허신호? 고주파로 변환한 신호를 수신해 저주파 부분만 끄집어 내려는데 골치 아픈 이미지 성분이 따라다니네? 요걸 싹뚝 잘 잘라내는게 좋은 수신기. 실파형과 허파형이 정확히 일치하고 위상만 180도 뒤집어지면 좋은데(원래 그래야 하는데 말이지...) 어찌하다보니 완전 대칭이 아니면 이미지 신호 깔끔하게 잘라내기 곤란해지겠군.



왜 그런 걸까? 잡음이 끼고, RF 튜닝중에 파형이 약간 찌그러지고 RF 수신 앰프가 좀 양좋은가보다. 엑셀로 그런 Frequency Mixer

/Trans 결과 파형

앞의 게시물에 두개의 사인파를 곱한 믹서 결과파형을 손으로 그려 봤더니 대략 난감합니다. 예전(90년대 말)에 엑셀 같은 스프레드 시트 소프트웨어("비지칼크" 나 "멀티플랜", "로터스 1-2-3" 같은 전설을 기억하시는지...)로 다양한 과학 교육에 응용되었는데 요즘은 워낙 좋은 소프트웨어들이 많이 나오니 시들 하더군요. 어쨌든 한번 그려봤습니다.

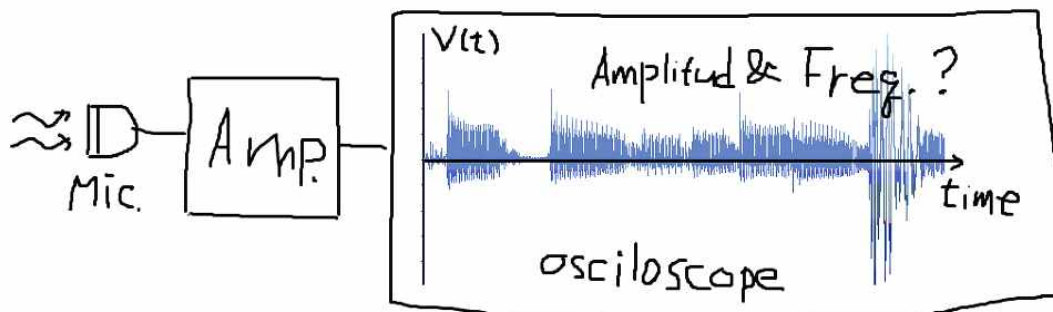
엑셀파일... RF_Mixer.xlsx

생각난 김에 dBm <-> Watt 변환 표도 만들어 봤습니다.

dBm_Watts.xlsx

라. Signals, Samples and Stuff: A DSP Tutorial (Part1-3) -계속-

앞서 살펴본 신호파는 주파수가 변하지도 않고 진폭도 일정한 아주 단순한 사인파였다. 사인파를 복소수 공간에 옮겨 놓음으로서 수학적인 개념들을 동원하여 변환된 신호의 해석이 가능하다는 점을 보여준 것이다. 이제 진짜 신호를 다뤄보자.



마이크를 통해 전자신호로 변환된 음성파를 오실로스코프로 들여다본 적이 있을 것이다. 시간에 따라 진폭도 변화하고 주파수도 변하고 있는 이 음성신호를 어떤 방법으로 표현해낼 수 있을런지 궁금해질 것이다. 겉으로 보기에 이렇게 어지럽기

만 한 현상을 단순화 시켜보자.

가) 주파수가 시시각각 변한다.

-> 주파수가 시간의 함수다. 복소수 공간에 놓인 페이서의 회전 속도가 시시각각 변한다.

나) 진폭이 시시각각 변한다.

-> 진폭이 시간의 함수다. 원점에서 페이서까지 거리 변화가 시시각각 변한다.

다) 다행스럽게도 모든 신호는 사인파에서 기인한다.

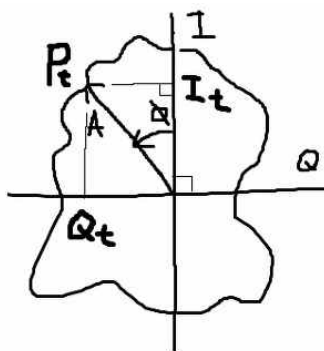
-> 복소수 공간에 놓을 수 있다. 삼각함수와 피타고라스 정리가 통한다.

진폭이 1이라고 하고 주파수(회전속도)가 변하지 않은 파형을 표현하면 (식 라)이며 복소수 공간에 옮겨 놓으면 (식 4)와 같다.

$$\cos \omega t = \frac{1}{2}(e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}) = \frac{1}{2}[(\cos \omega t + j\sin \omega t) + (\cos \omega t - j\sin \omega t)]$$

그런데 주파수와 진폭이 시시각각 변하니 간단하게 코사인 함수 하나로 표현하기 곤란하다. 뭔가 복잡한 수식이 동원야만 할 것 같다. 곰곰히 생각 하다가 예라 모르겠다. 그냥..... 무작정 복소수 공간에 옮겨 놓자. 그래야 수학 공식 동원하기 편하다고 했지 않은가?

(그림.... 복소공간의 극좌표와직교좌표 상관관계. 그림은 좀 과장됐다. 진폭이 요동치고 있다. 회전 각속도의 변화는 그림으로 표현하기 좀 곤란하니 상상에 맡긴다. 애니메이션이라도 하나 만들어야 할듯.. ㅠㅠ)



$$\begin{aligned} A_t^2 &= I_t^2 + Q_t^2 \\ \tan \phi_t &= \frac{Q_t}{I_t} \\ P_t &= I_t + jQ_t \\ &= A_t(\cos \phi_t + j\sin \phi_t) \\ \cos \phi_t &= \frac{I_t}{A_t}, \sin \phi_t = \frac{Q_t}{A_t} \end{aligned}$$

시간에 따라 뭔가 복잡한 모습을 보일 것만 같은 "코사인 함수" 부분을 그냥 통쳐서 $I(t)$ 라고 하고, 역시 뭔가 복잡해질 만한 "사인 함수"를 통쳐서 $Q(t)$ 라고 하겠다. I라는 항은 In-Phase, Q는 Quadrature-Phase를 뜻한다. 그렇게 해놓고 봤더니 속 시원하게 이렇게 됐다. 음성 신호는 $P(t) = I(t) + jQ(t)$

1) 단측 억압 반송파 발생(SSB Generation)

이제 반송파를 곱하면 어찌 될런지 아.. 그런데 저주파 음성신호는 SSB 라는 개념이 있을 수 없어요. 현실 세계에서는 주파수는 0 부터 시작합니다. 고주파 반송

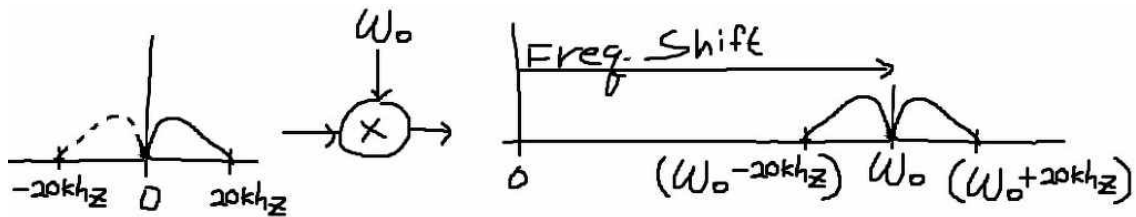
파를 곱해 놓으니 반송파의 주파수를 중심으로 왼편(빨셈)과 오른쪽(덧셈)의 양측파가 나오는 겁니다.

마. Signals, Samples and Stuff: A DSP Tutorial (Part1-4) -계속-

이제 $I(t)$ 와 $Q(t)$ 로 기술된 진짜 음성 신호에 반송파 신호를 곱하여 공중으로 송출 가능한 무선신호를 만들어 보기로 한다. 1~20Khz 정도의 주파수 대역을 갖는다는 음성 신호에 주파수가 매우 높은 반송파를 곱하면 반송파보다 높은 주파수 대역을 차지하는 성분과 낮은 주파수 대역의 신호가 나온다.

$$\frac{1}{2}[\cos(w_0 + w)t + \cos(w_0 - w)t] \text{ (식 8)} \text{이 바로 양측파 대의 신호가 나올 수 있음}$$

을 보여주는 것이다. 원래 음수의 주파수란 없다. 반송파를 곱해 전체적으로 높은 주파수 쪽으로 옮겨 놓으니(주파수 쉬프트-shift-, 믹서-mixer-, 변환-translate- 등은 같은 의미, 편의에 따라 취사선택되는 용어 임) 반송파를 중심으로 대칭되게 주파수 성분이 나타났다는 얘기다. 양측파가 나온다는 것은 이미 실제 실험으로 알고 있는 사실을 복소수 공간에서 수학적으로 규명도 해봤다.



같은 현상을 저마다 다르게 해석하는 경우를 흔히 보아왔다. 자연 현상을 규명하기 해석하기 위해서 단순화 하고 온갖 수식을 동원하여 그 의미를 부여한다. 이때 동원되는 수학은 도출하려는 의도에 따라 다르다. 기하학적으로 분석했다던가, 산술적인 분석이라던가, 통계적인 분석이라던가.... 등등. 우리는 신호를 파형으로 간주하고 이 파형은 모두 복소수 극좌표 공간의 삼각함수에서 왔다는 것에 근거한다. (식 1)에서 (식 8)까지 얻은 해석은, 주파수가 다른 파형들은 곱하여 변환해도 원래 주파수 특징이 고스란히 남는다는 것, 양측파가 나타난다는 것. SSB(Single Side Band)를 얘기하는 것은 반송파를 곱해 놓고 난 후다. 음성 신호는 처음부터 양의 주파수만 존재한다.

바. 단측 억압 반송파 발생(SSB Generation)

마이크를 통해 검출된 음성신호는 시간의 흐름에 변화하는 전기신호로 진폭이라고 부르고, $I(t)$ 라고 표현하자. 이 신호는 양측 주파수 성분을 가지고 있다. 하지만 주파수 값은 양수로만 표현할 수 있으므로, $Q(t)$ 라는 성분을 추가하여 이 신호를 복소수 공간에 옮겨놓는다. $Q(t)$ 는 신호의 진폭 $I(t)$ 에 비해 90도 만큼 위상차가 난다. (이제부터 복소수 평면상의 신호를 얘기할 때 실수, 허수 등의 용어 대신 $I(t)$, In-Phase와 $Q(t)$, Quadrature-Phase 를 사용할 것이다. I, Q 라고 하면 뭔가 좀 더 실제적이고 공학적으로 보인다. 실제로 음성 신호의 변화는 너무나 복잡하고 오묘하지만 "어쨌든 사인파"라는 사실을 대 전제로 $I(t)$ 와 $Q(t)$ 라고 통칭 버리기로 한다.) 신호를 $I(t)$ 와 $Q(t)$ 의 복소수 짝으로 표현하는 것을 "해석적,

analytic"이라고 한다. 복소수로 표현한 신호 $I(t)+jQ(t)$ 에는 단지 양의 주파수만을 나타내고 있다. 음의 주파수 성분은 소멸되어 있다. 주파수 성분을 90도 꺾어(위상 변위, phase shift) 모두 양의 주파수 성분만으로 변환하는 것을 힐버트 변환(Hilbert Transform, 또 다른 수학적 방법이다. 그런게 있다고 하고 넘어가자.)이라고 한다. 이러한 변환을 아날로그적인 방식(L,R,C,와 다이오드 등의 전자부품 소자로 꾸민 회로)으로 처리하기는 매우 곤란하지만 DSP라면 어렵지 않다(수학식을 이해하고 만들기가 어려울 뿐이지 계산은 결국 컴퓨터가 한다. 수학 계산은 전자 부품 소자의 편차, 고유 잡음과 왜곡, 환경 변화 따위에 영향을 받지 않는다.) 복소 신호로 표현한 반송파(고정 주파수의) 신호는 다음과 같다.

$$Y_t = e^{jw_0 t} \text{ (식 9)}$$

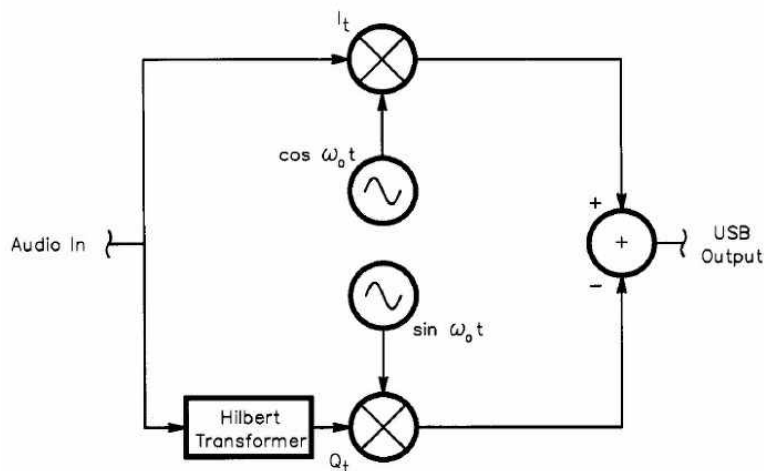
이 반송파에 (역시 복소수로 표현한) 실제 신호파를 곱해보자.

$$e^{jw_0 t} (I_t + jQ_t) = (\cos w_0 t + j \sin w_0 t) (I_t + jQ_t) \text{ (식 10)}$$

(순수 계산해 보면 간단한 수식임. j의 제곱은 -1)

$$= (I_t \cos w_0 t - Q_t \sin w_0 t) + j(I_t \sin w_0 t + Q_t \cos w_0 t) \text{ (식 11)}$$

한 개의 전송 선로에 한쪽 측파대가 억제된 SSB 신호를 송신하려는 것이므로 실수 부분만 계산하기로 한다.



f a half-complex mixer.

(그림 2)

다이오드 네개로 위상 반전 링을 만들어 반송파 성분이 "억제"된 양측파가 만든 후 상측 (혹은 하측) 주파수 차단 필터를 거치면 "반송파 억제 단측파" 신호가 되는 것이다. 평형 변조기로 사용되는 회로는 길버트 셀(Gilbert Cell)을 사용하기도 한다. 제아무리 잘 만든 필터라도 중심 주파수의 반송파를 제거할 수는 없다. 차단 임계 주파수에서 무우 썰듯 싹둑 잘라내는 필터는 불가능 하므로 변조 단계에서 반송파를 억제 한다. 그래서 SSB 무전기의 특징이 대역 필터이외에 평형변조라는 것을 사용한다... 라고 배운다.

<http://www.nzart.org.nz/assets/exam/sg/sg-mixer.html>

(다이오드 평형변조)

반쪽 복소수 (half-complex) 믹서의 구성은 그림 2와 같다. 이 믹서는 최종적으로 상측 억압 반송파(USB)를 발생 시킨다. 이 방법은 사실 아주 오래전부터 알려져온 방식이다. 반송파를 억제하고 양측파를 만드는 회로는 이미 "평형변조, balanced modulation" 라고 널리 알려져 있다.

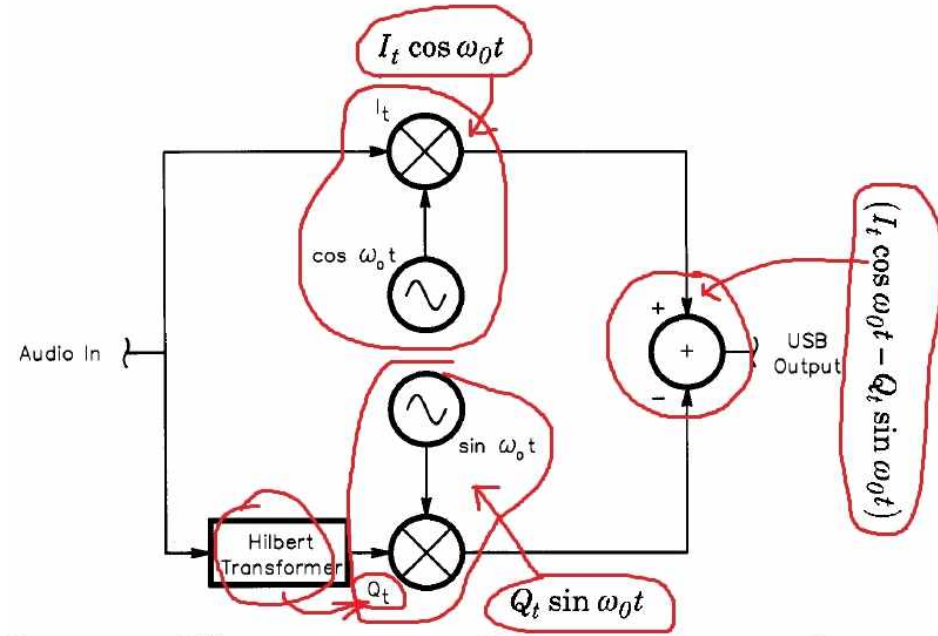
<http://michaelgellis.tripod.com/gilbert.html> (길버트 셀 평형변조)

전자공작 카페 공제 QRP SSB TRX는 EHB-2는 SA602라는 길버트 셀 IC를 이용해 IF 주파수로 변조화하여 DSB를 만들고 한 쪽 측파를 크리스털 필터로 잘라내어 SSB를 만듦. IF 주파수와 필터의 통과 대역 주파수를 계산하면 LSB 송신기가 됨. 그런데.... 이 글을 읽다보니 드는 생각... 식...11까지 왔는데 그래서 그 식 풀어놓은 것 좋다 이거야.. 근데 그게 어떻다는 거????

- 먼저 음성신호에 음수 주파수 부분이 드러나 있지 않으니 90도 틀어서 양수 영역으로, 실존하는 $Q(t)$ 를 만드느라 "힐버트 트랜스폼"
- $I(t)$ 에 코사인 반송파 곱함
- $Q(t)$ 에 사인 반송파 곱함
- 두개를 더하면 USB 가 나옴. 결국 식 11의 실수부분 ($\text{Re}[\]$ 친 부분)임.
- 이 수식이 USB 라는 근거는....
- 수식내에 반송파 성분을 표시하는 항이 없음
- 힐버트 트랜스폼으로 $Q(t)$ 를 모두 양의 주파수로 변환 하였음. (음의 주파수 없음) 90 위상을 앞으로 땡김 아래 그림을 보자.

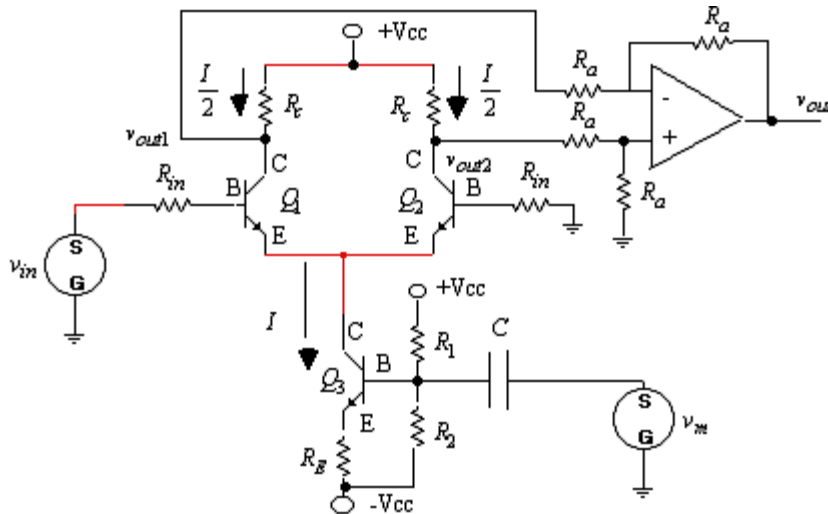
그래서 그림 2의 신호처리도가 식 11을 근거로 그려낸 USB 신호 발생기(믹서)임. PA만 거치면 송신기가 됨 ^^;

$$\text{Re} [e^{j\omega_0 t} (I_t + jQ_t)] = (I_t \cos \omega_0 t - Q_t \sin \omega_0 t)$$



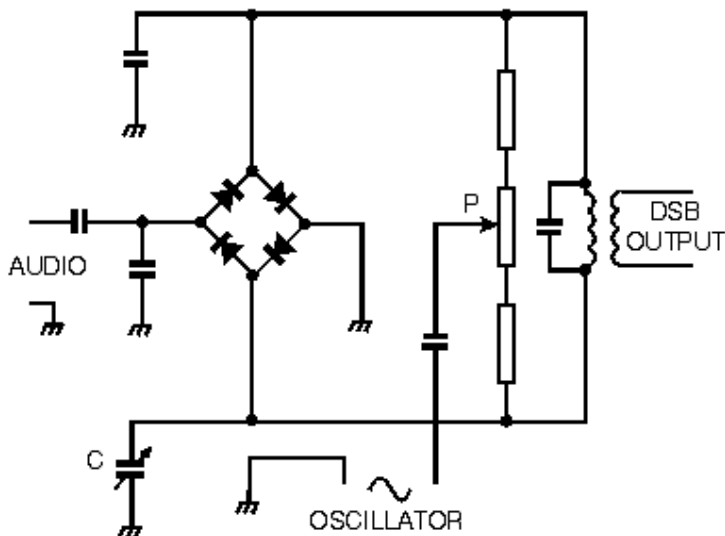
(오호....
반송파 위
상 뒤집어
믹싱 하면
평형 변조
구나....

Fig 2—Block diagram of a half-complex mixer.



그래서 길버트 셀 회로도 보면 믹서 두개에 OP 앰프 가산기 구먼!

다이오드 네개로 만든 평형변조기는 반송파 위상 꺾기인가?



* 원 기사는 겨우 한쪽 분량이 진행됐는데 해설이라고 달아놓은 내용이 너무 많아 지루할까봐 걱정입니다. 조금 속도를 낼까 봅니다.

어제 글을 올려 놓고 맘속으로 못내 궁금한 것이 있었습니다.

도데체 AM과 DSB-SC(Double Side Band-Suppressed Carrier, 반송파 억압 양측파)의 차이가 과연 무엇인가?

SSB 만 얘기하다보니 수학적으로 그런 것이구나, 스펙트럼으로는 그런 분포를 갖는구나 하는 것은 대략 이해가 됐다고 치더라도 AM 신호와 SSB 신호를 스코프로 보면 어떤 모습일까? SSB 도 그저 진폭 변조인데다 고주파 믹싱되었으니 AM 이랑 같은거 아냐? 그런데 반송파가 억제되서 스펙트럼 상으로는 안나타난다면 과연 스코프로는 어떤 모습이라는 거야? 엄청난 궁금증에 시달렸습니다. 솔직히 스코프로 보면 AM 이나SSB나 얼핏 보면 그게 그겁니다.

일단 검색을 해봤습니다.

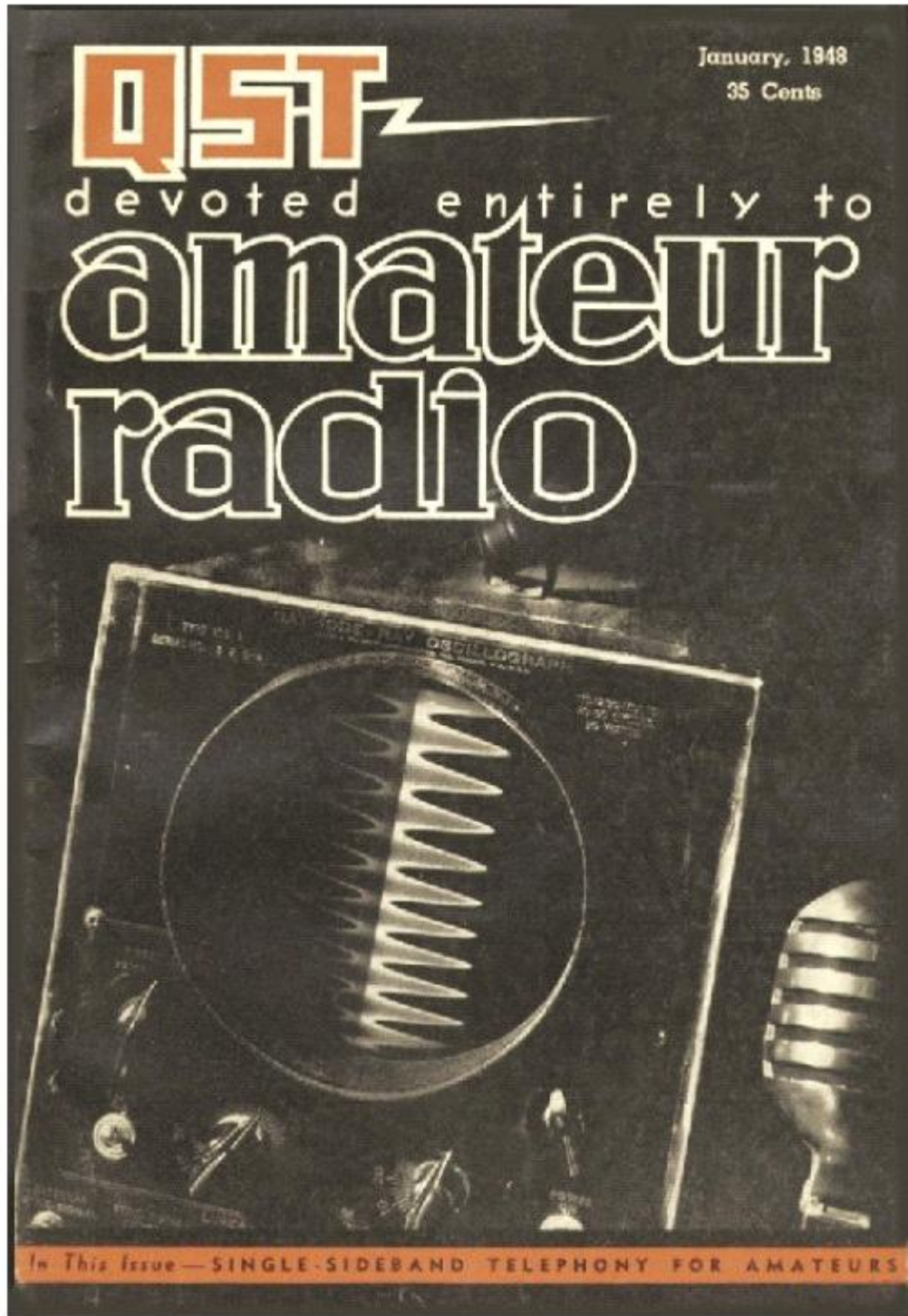
Amateur Radio and the Rise of SSB

<http://www.arrl.org/files/file/Technology/pdf/McElroy.pdf>

1948년도 QST에 등장한 반송파 억압 단측파에 대한 기사를 재조명한 기사입니다. SSB의 기원에 대해 재미있게 써놓은 글인데 한번쯤 읽어볼만 합니다. 이 미국 공군성 장관이 아마추어 무선사였는데 SSB의 효용성에 감동되어 미국 공군 무선통신이 SSB를 전면 채택했다는 얘기도 나옵니다. 그외 예전에는 반송파도 차단하고

측파대도 차단하기 위해 초기에 필터를 이용하는 방법에서 위상 제거방법(신호처리)으로 발전했다는 얘기 들이 있습니다.

원 기사(1948년 1월호 QST 구할 수 있을까요?)의 표지 그림이 힌트를 줍니다.



스코프 상의 반쪽이 없어진 게 SSB 의 모습인가? 좀 더 살펴보니 필라델피아 대학의 어느 교수님 강좌를 보시죠. 아브라힘 이스베히(요르단 계)교수/필라델피아 대학 전자통신 공학과 <http://abuisbeih.puspc.com/>

여러 강좌가 있는데 아날로그 통신 강좌의 강의 자료입니다.

1) 실험 3. 진폭 변조

http://abuisbeih.puspc.com/courses/Analog_Comm_Lab/Exp3.pdf
 DC 레벨이 있구요, 변조 후 수식에 반송파 성분이 살아 있습니다.

$$\begin{aligned}
 x_{AM}(t) &= [A_{DC} + A_m \cos(2\pi f_m t)] A_c \cos(2\pi f_c t) \\
 &= A_{DC} [1 + m \cos(2\pi f_m t)] A_c \cos(2\pi f_c t) \\
 &= A_{DC} A_c [1 + m \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t)
 \end{aligned}$$

(3-1)

Where

A_{DC} = dc level

A_m = audio amplitude

A_c = carrier amplitude

f_m = audio frequency

f_c = carrier frequency

m = modulation Index or depth of modulation = A_m / A_{DC}

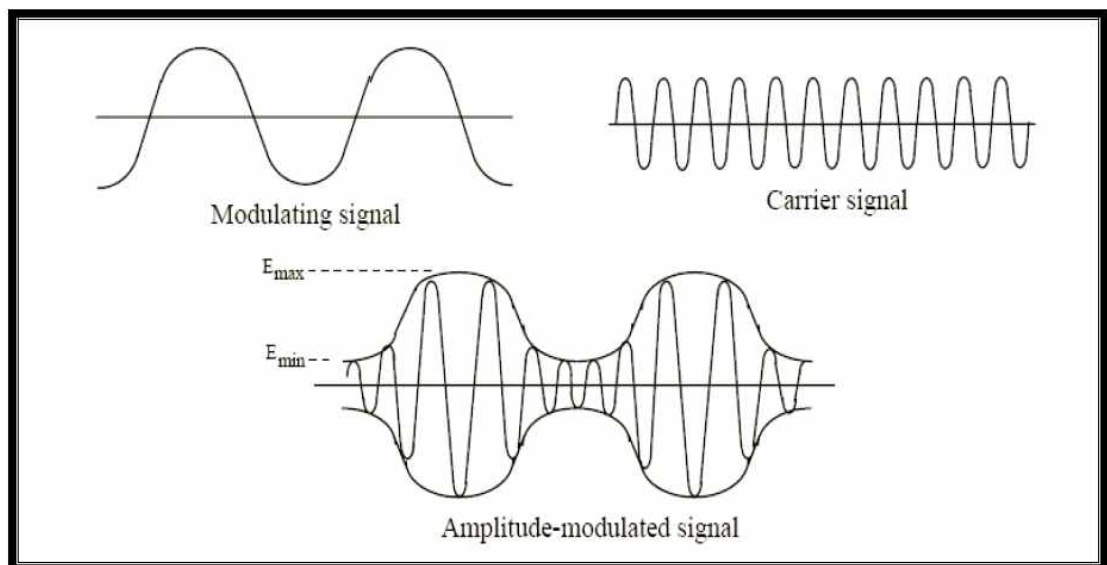


Fig.3-1 Amplitude modulation waveforms

2) 실험 5. 억압 반송파 양측파 변조

우리도 이미 다 아는 수식과 스펙트럼만 있군요. 도데체 반송파 억압된 신호를 보여다오!!!

$$V_o(t) = k(A_m \cos 2\pi f_m t)(A_c \cos 2\pi f_c t)$$

$$= \frac{kA_m A_c}{2} [\cos 2\pi(f_m + f_c)t + \cos 2\pi(f_m - f_c)t]$$

(5-1)

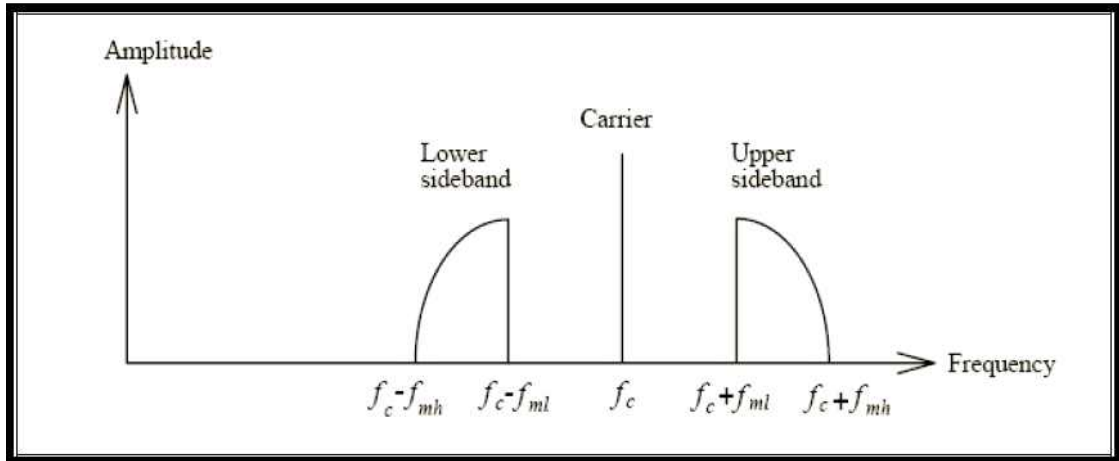


Fig. 5-2b Spectrum of AM signal

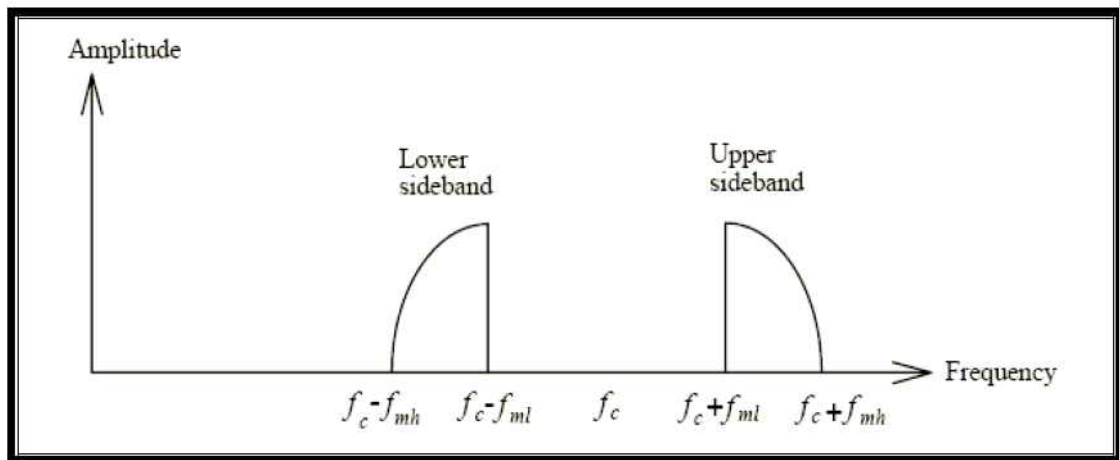


Fig. 5-2c Spectrum of DSB-SC signal

재미있는 키트 파는 상점이 있군요.

North Country Radio <http://www.northcountryradio.com/index.htm>

흥미있는 읽을 거리도 많습니다.

<http://www.northcountryradio.com/Articles/publist1.htm>

<http://www.northcountryradio.com/PDFs/121010001.htm>

그중에서....

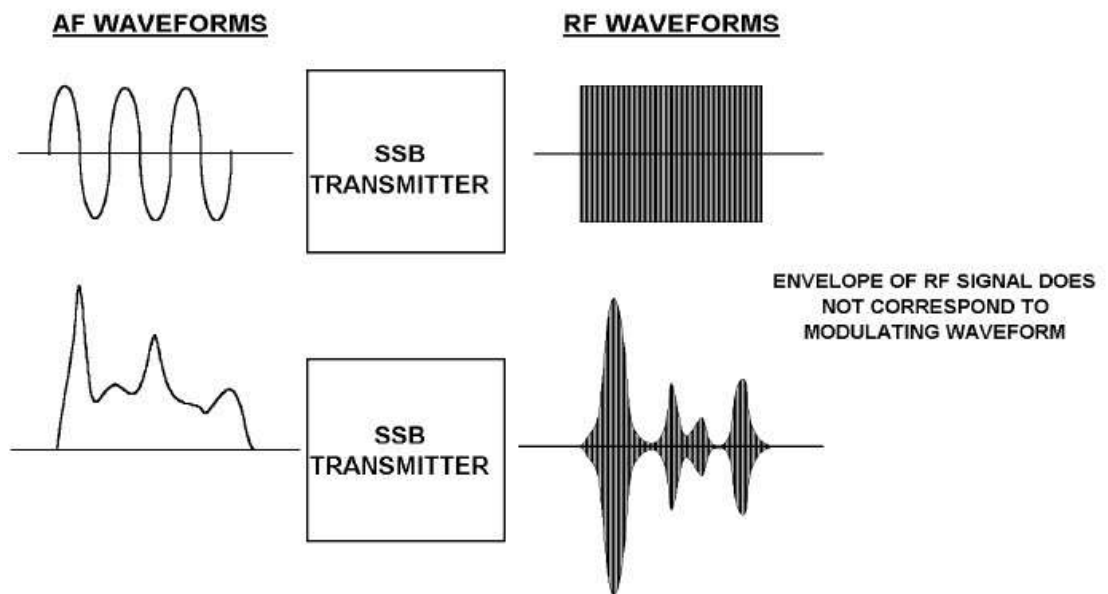
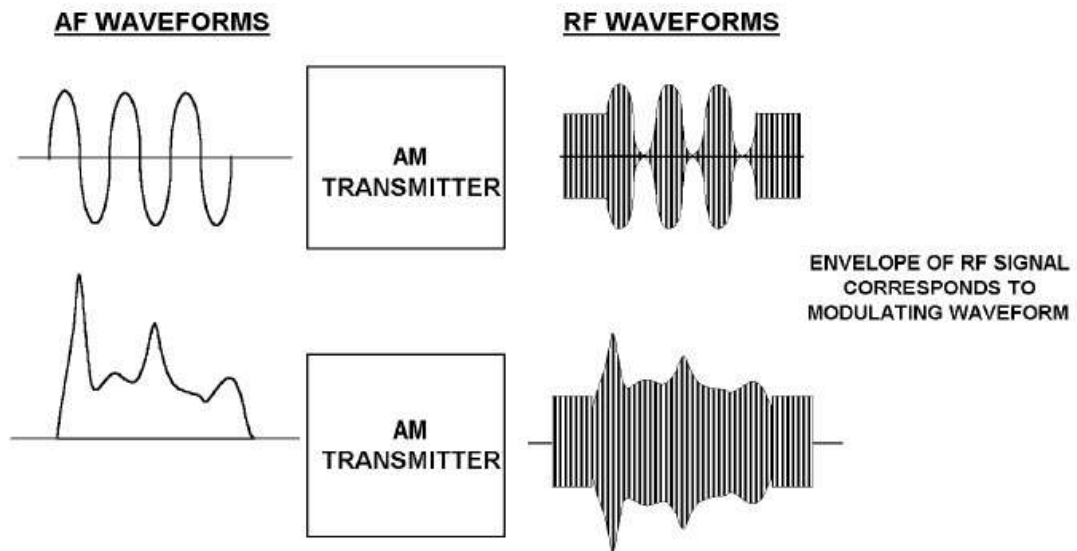
Modulation Method CW

<http://www.northcountryradio.com/PDFs/101602010.pdf>

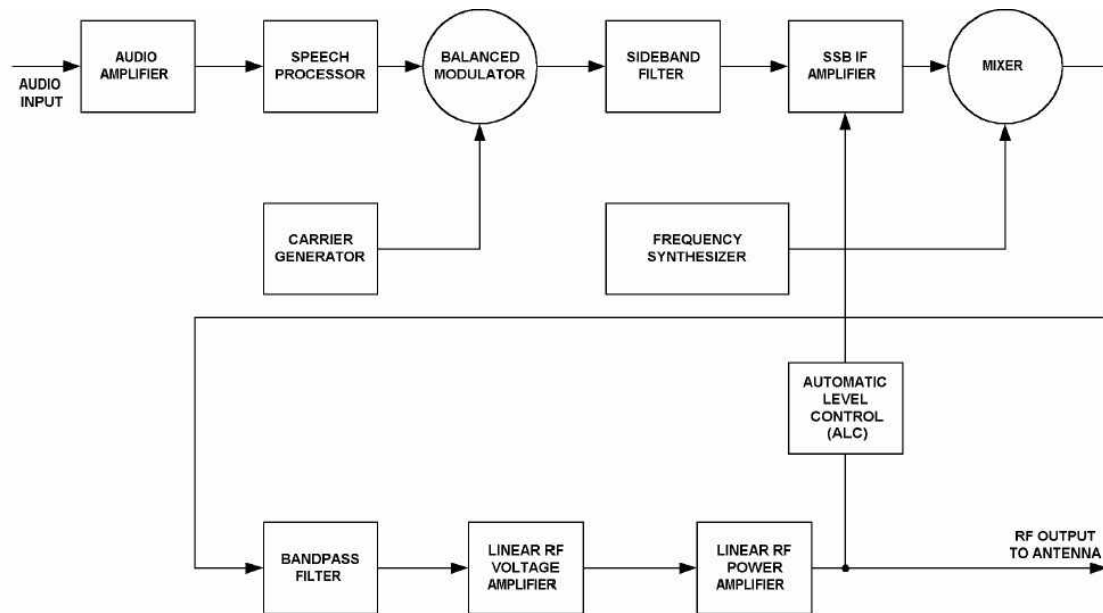
Modulation Method SSB and DSB

<http://www.northcountryradio.com/PDFs/103102011.pdf>

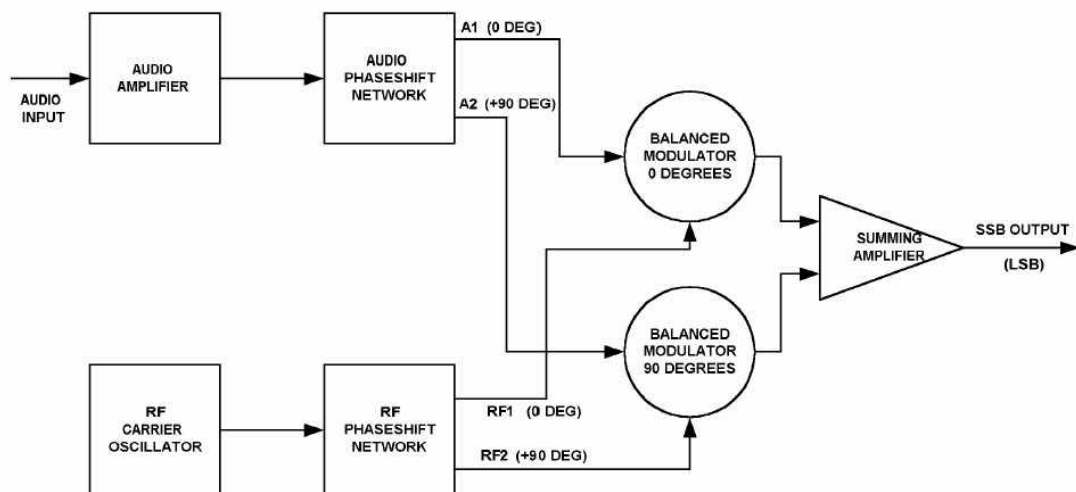
딱 걸렸다! AM과 SSB 변조 신호파형 그림입니다.



SSB 송신기의 두가지, 하나는 필터 사용(Filter Method) 다른 하나는 위상 천이 방법(Phase Method)



BLOCK DIAGRAM SSB TRANSMITTER USING FILTER METHOD



IF: $A1 = \sin W_m T$
 $A2 = \cos W_m T$
 and
 $RF1 = \sin W_c T$
 $RF2 = \cos W_c T$

$$\sin A \sin B = \frac{1}{2} \cos(A-B) - \frac{1}{2} \cos(A+B)$$

$$\cos A \cos B = \frac{1}{2} \cos(A+B) + \frac{1}{2} \cos(A-B)$$

THEN:

$$\text{SSB OUTPUT} = \frac{1}{2} \cos(W_c T - W_m T) - \frac{1}{2} \cos(W_c T + W_m T) + \frac{1}{2} \cos(W_c T + W_m T) + \frac{1}{2} \cos(W_c T - W_m T)$$

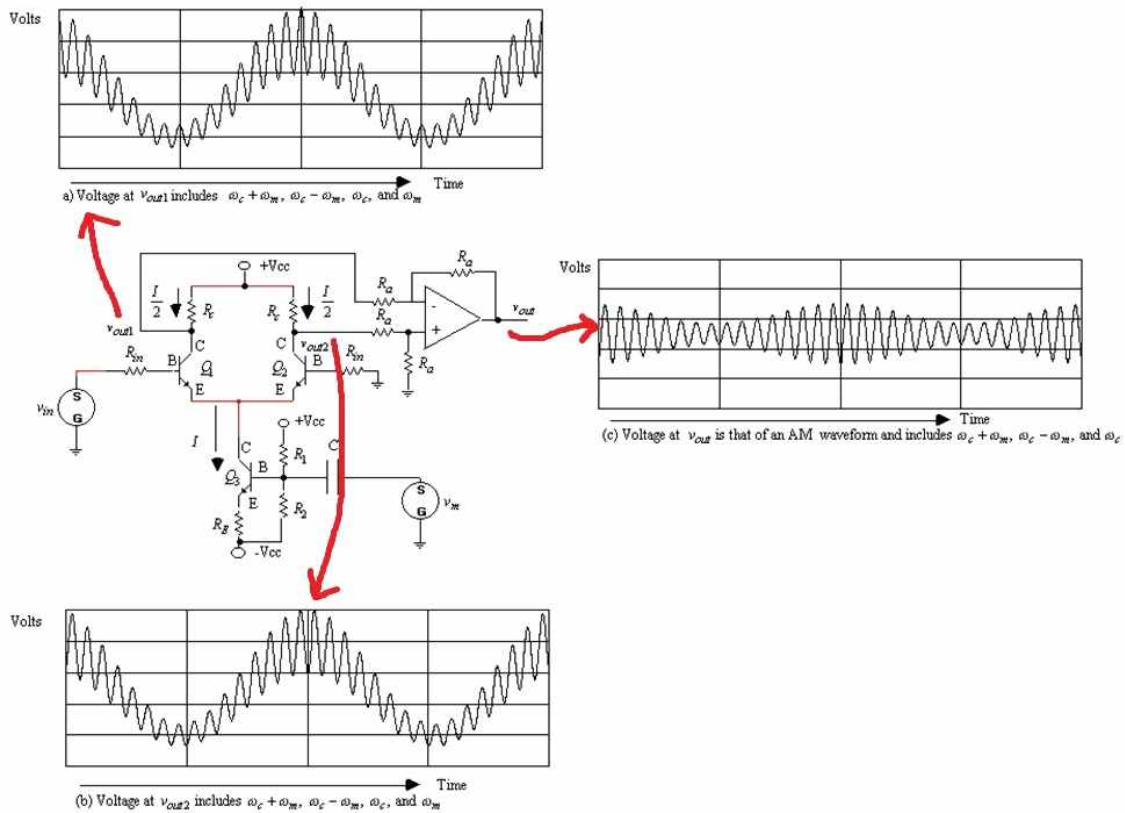
SUMMING TERMS AND SUBSTITUTING:

$$\text{SSB OUTPUT} = \frac{1}{2} (\text{LSB}) - \frac{1}{2} (\text{USB}) + \frac{1}{2} (\text{USB}) + \frac{1}{2} (\text{LSB}) = \text{LSB ONLY}$$

PHASING METHOD OF SSB GENERATION

자 이제 우리가 매일 즐기고 있는 SSB 신호의 정체를 아셨지요? 참고로 길버트 셀로 만드는 AM 보면서 위상을 어떻게 되집었는지 그림을 봅시다.

<http://michaelgellis.tripod.com/gilbert.html>



어... 근데 과변조한 AM이란 뭐가다른거지? 이집트의 만소우라 대학교 전자통신과에 이런 자료가 있군요. (우리나라는 어쩔 ㅠㅠ)

<http://www.mans.edu.eg/projects/heepf/ecmeec/>

4학년 고급과정 자료

http://www.mans.edu.eg/projects/heepf/ecmeec/Enhanced_cources/sub2.html

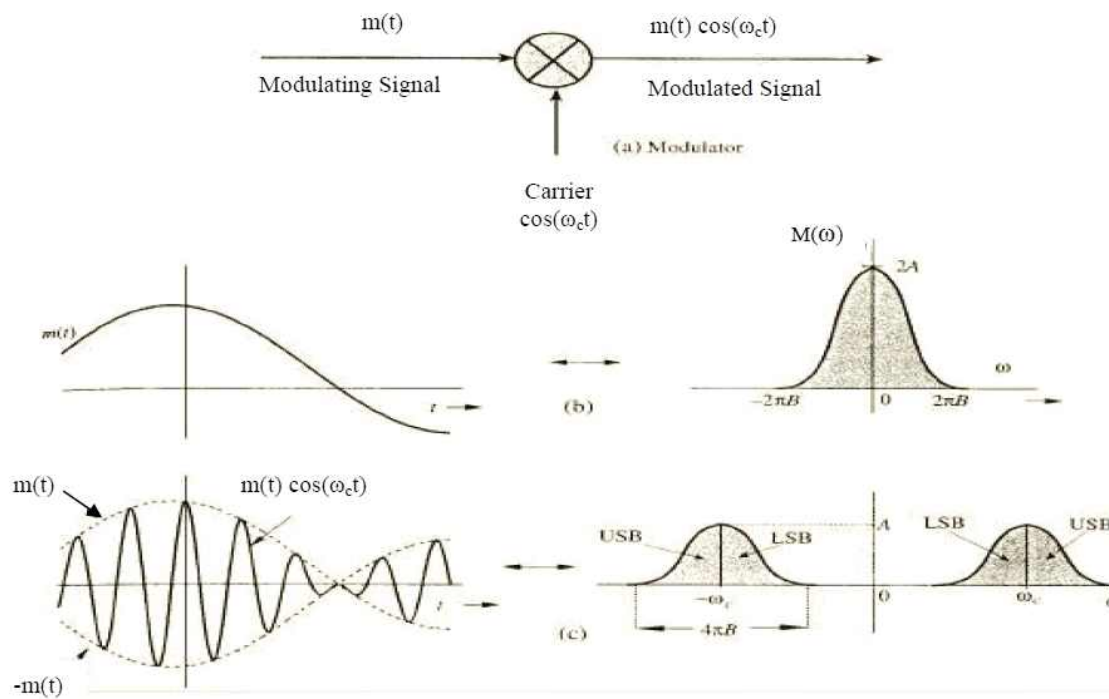
DSB (억압 반송파 변조)

http://www.mans.edu.eg/projects/heepf/ecmeec/Enhanced_cources/sub2/DSBSC_heepf.pdf

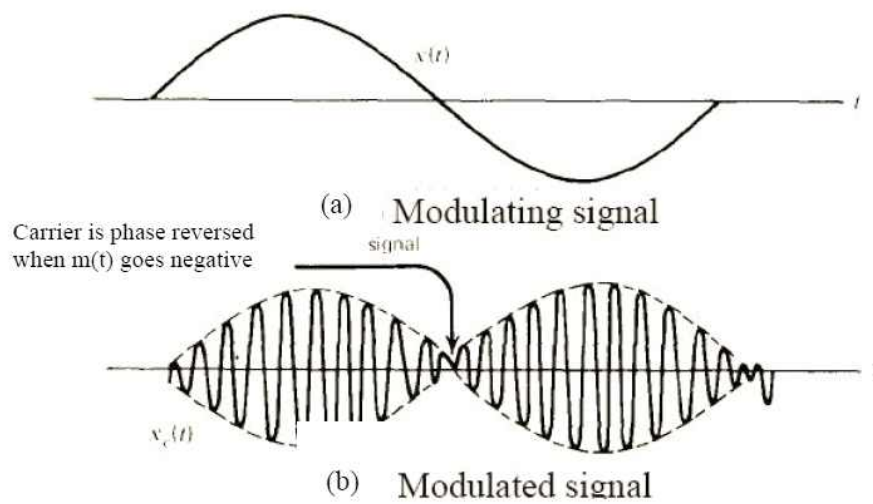
AM(진폭변조)

http://www.mans.edu.eg/projects/heepf/ecmeec/Enhanced_cources/sub2/AM_heepf.pdf

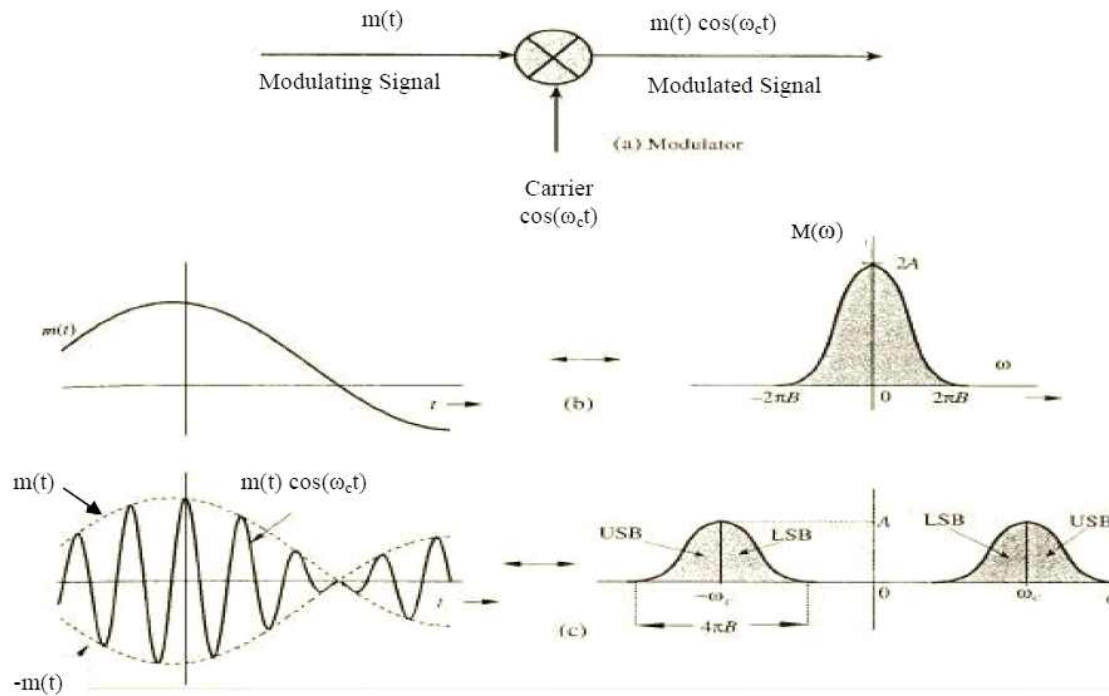
SSB는 AM인데 변조 신호 진폭이 0을 지날때 반송파 위상을 뒤집는 것이 SSB다. 아래 그림은 모두 반송파 억압 양측파 변조된 파형과 스펙트럼을 보여주는 것이다. 스펙트럼 상에 반송파 성분이 존재하지 않는다. SSB는 AM인데 변조 신호 진폭이 0을 지날때 반송파 위상을 뒤집어지는 왜곡이 발생할 수 있다.



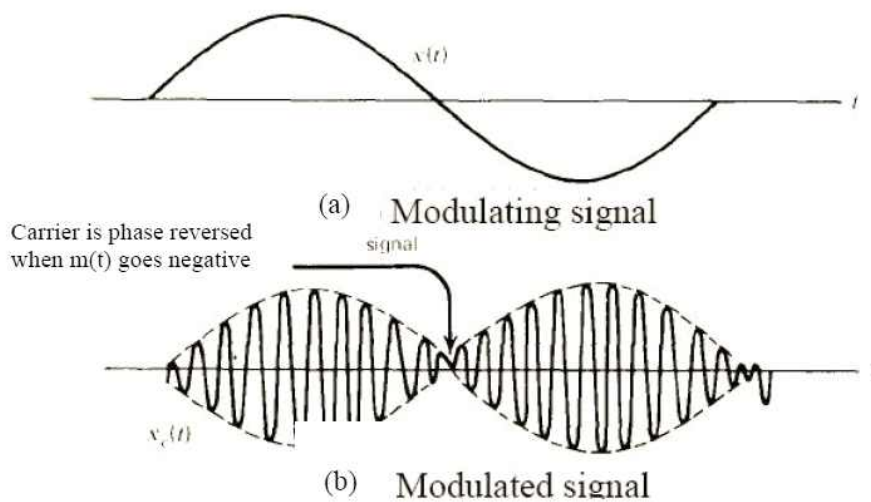
Figure(1): Amplitude modulated signal in time and frequency domains




Figure(2): DSB-SC Modulation



Figure(1): Amplitude modulated signal in time and frequency domains



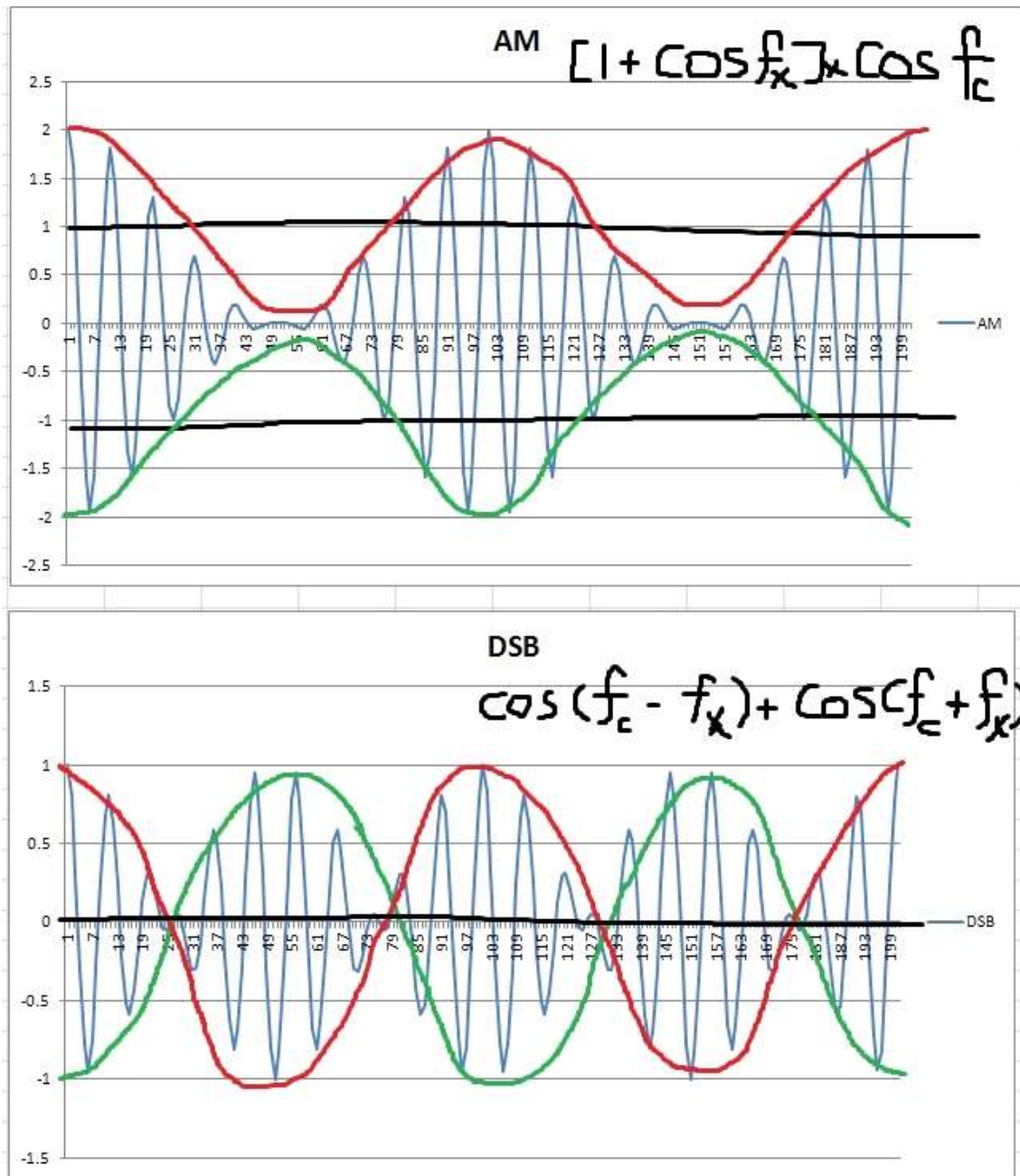
Figure(2): DSB-SC Modulation

위에서 수집한 자료들을 근거로 엑셀 쉬트로 AM과 DSB 신호를 만들어 보면 이렇습니다. AM/DSB 변조 :  RF_Mixer.xlsx

$$\text{AM: } [1 + \cos(fx)] * \cos(fc)$$

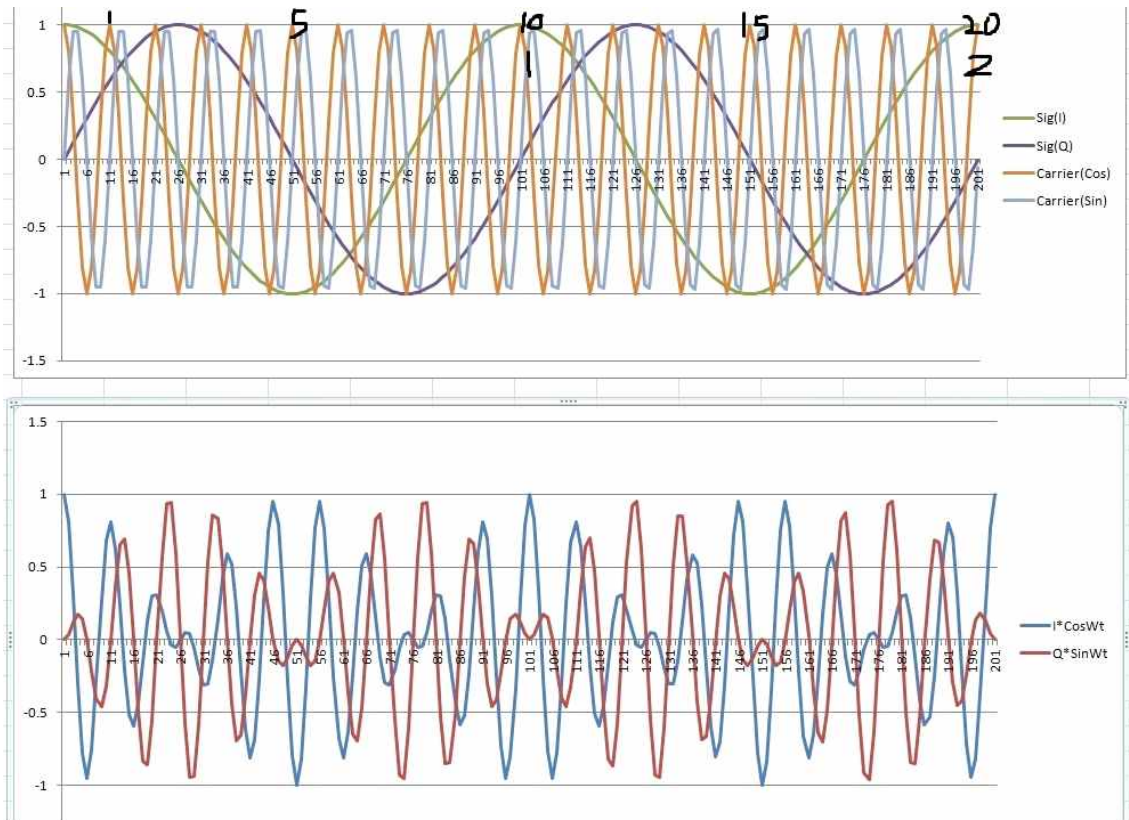
$$\text{DSB: } \cos(fc + fx) + \cos(fc - fx)$$

f_c 는 반송파 주파수, f_x 는 신호파 주파수. 아래 그림은 f_c 와 f_x 의 10배 높은 주파수라고 한 경우입니다.

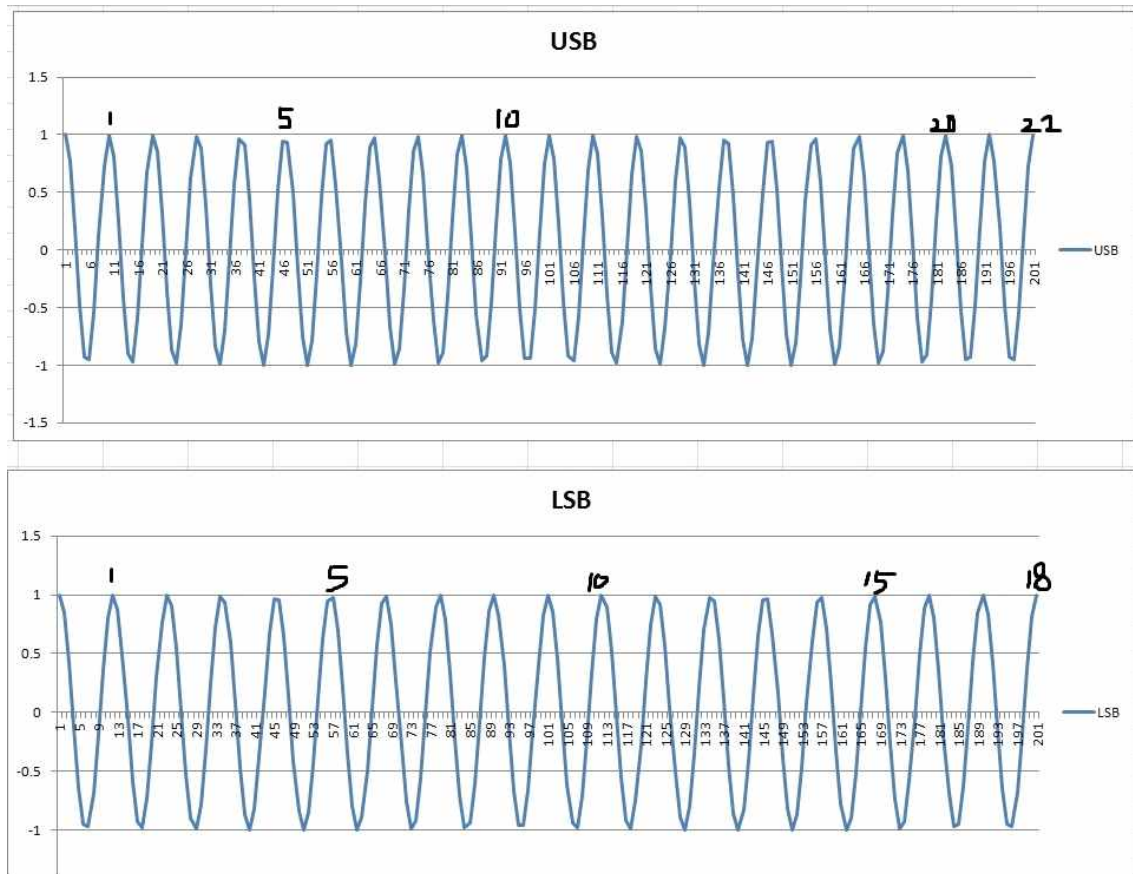


AM과 DSB-SC 변조의 확연하게 구분이 가지요? 그런데 SSB로 바꾸면 묘한 양상을 보여줍니다.

위상방식(Phase Method)의 SSB 송신기 구성도 대로 위상을 뒤집고 반송파에 곱해서 더해봤습니다. 아래 그림에서 Sig(I)는 변조입력, Sig(Q)는 변조입력에서 90도 쉬프트된 Q 입니다. 그리고 반송파도 각각 sin과 cos 으로 준비했구요. 그리하여 I와 Q를 반송파에 각각 곱했더니 두쌍의 DSB 신호가 나왔습니다.



끝으로 이 둘을 더하거나 뺀더니... 정확하게 반송파 주파수에서 신호파 주파수를 뺀 LSB 와 더한 USB 신호가 나옵니다. 반송파가 20Hz고 신호파가 2Hz 라면 USB 는 22Hz, LSB는 18Hz 파형이 나옵니다. 기억해둬야 할 것은 AM 변조 후 파형의 포락선은 반송파를 포함하면서 변조 입력 파형의 형상을 그대로 가지고 있지만 SSB 변조후 파형은 반송파는 온데간데 없을 뿐만 아니라 변조 입력파의 모습을 가지지도 않는다는 것입니다. 단지 주파수 편차만 있습니다. 물론 이런 모습을 보이는 것은 입력 신호의 진폭 변화를 아주 단순하게 고정 시켜놨을 때 모습입니다.



쉽게 설명한다고 자료를 들이 댔는데 오히려 더 헷갈릴 것 같은 불길한 예감이 엄습하네요. 암튼, 누누히 얘기해왔던 "SSB신호의 스펙트럼을 보면 반송파는 억제되고 한쪽 측파대 주파수만 나온다"는 상식을 증명해 보는 계기가 되었으면 좋겠습니다. 첨부된 파일 1개 ▼

13. 위성통신

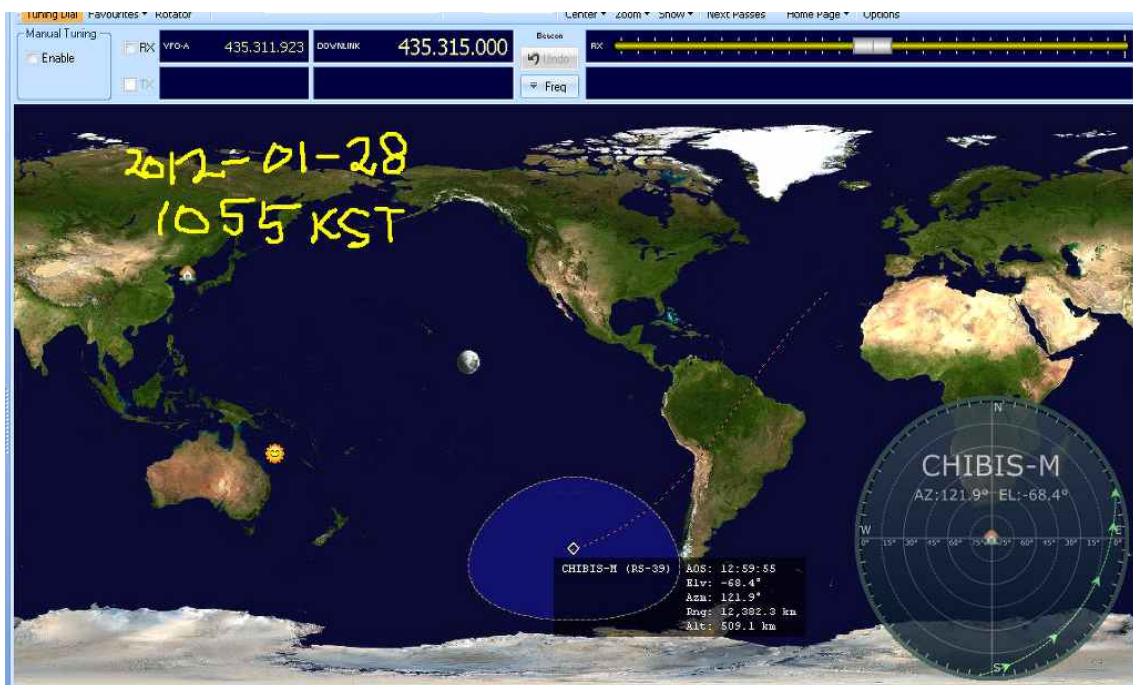


Chibis-M(RS-39)를 수신해보겠다고 인공위성 통신용 안테나를 마당에 설치했습니다. 듀얼 밴드 야기 안테나의 위용! 두둥~~~~ 잘 찾아보면 S9v도 보이고 G5RV 피더도 보입니다. 저의 안테나 팜 입죠. ㅋㅋㅋ
해 떴다고 마당에 이불 말리고 빨랫줄도 걸어드리고 마눌님께 칭찬받고
ㅎㅎㅎ

궤도를 찾아보니 오늘(2012-01-29)은 서울 상공을 지날 일은 없군요. 그렇다고 밤샘 정도로 정성은 부족하고... ㅠㅠ
(아래 그림 날자 표기는 하루씩 늦게 그렸네요...)



현재 2012-01-29 1022KST CHIBIS-M은 남태평양을 지나 남미 지방으로 달리는 중...



기왕 설치한 안테나인데 뭘 해볼까요?

아래 신준호 오엠님께서 ARRL Propagation 문서를 자주 올려 주시고 계십니다. 태양활동이 무선 통신에 미치는 영향을 보여주는데 사실 각종 지수 값을 나열하고 있습니다만 흑점수가 어떻다느니 A,K 지수가 어떻니 하는데 이것이 의미하는 바를 제대로 파악하기는 곤란하더라구요. 이 값들이 실제로는 시시각각으로 변하는 것이라 날씨예보만큼이나 정확하게 예측하기 어렵다네요.

태양 측정 데이터의 의미는 이렇다는데 봐도 모르겠군요. ㅠㅠ

<http://www.hamqsl.com/solar2.html>

<http://www.hamqsl.com/Understanding%20Propagation.pdf>

그래서... NOAA 위성의 측정치를 바탕으로 실시간 전파 예보해주는 사이트가 있습니다.

<http://www.hamqsl.com/solar1.html#moflof>

TUpSAT1/TA1KS SWL Report

RX by 6K2HJI

Date: 2012-02-04

Time: 0350z

QTH: Seoul Korea / PM37j1


Rig: FT-897

Freq: 437.324Mhz

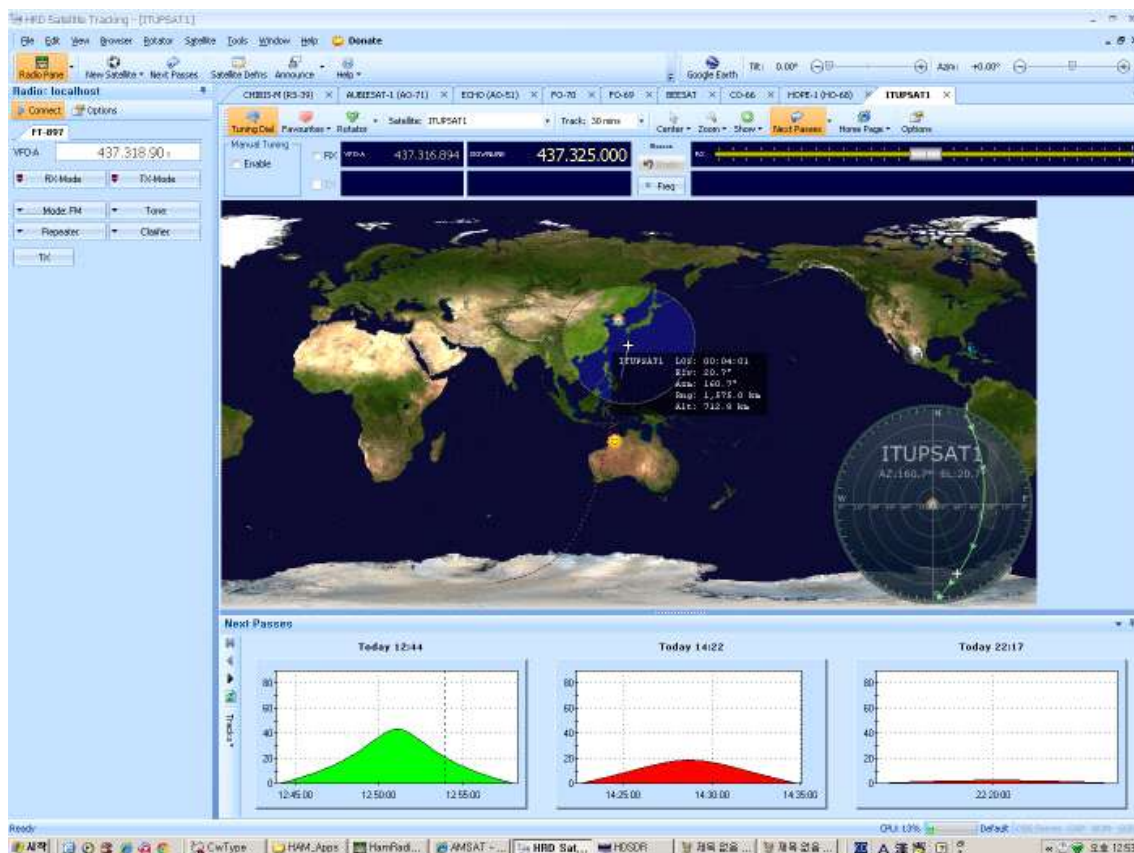
Ant: Arrow Satellite 7-El Yagi mounted on camera tri-pod

Comment: VY STRONG FM-CW BEACON "TA1KS ITUPSAT1"


RX Sig. Recored MP3:

 ITUpSAT1_2012_02_04_6K2HJI.mp3





ITUpSAT1 Info.



AMSAT™

850 Sligo Ave. Suite 600
Silver Spring, MD 20910
1-888-322-6728

Satellite Detail - ITUpSAT1

[Launch Pad](#)
[Navigator](#)
[Sat Status](#)
[Keys](#)
[Passes](#)
[News](#)
[Store](#)
[Members](#)
[Contact Us](#)
[Return](#)

ITUpSAT1

Spacecraft Summary

<p>Norad Number: 35935</p> <p>Satellite Type: Cubesat</p> <p>Launch Location: Satish Dawan Space Center, India</p> <p>Apogee: 752.00</p> <p>Inclination: 98.29</p> <p>Dimensions: 10cm cube</p> <p>Organization: Istanbul Teknik Universitesi</p>	<p>Common Name: ITUpSAT1</p> <p>Launch Date: 23 September, 2009</p> <p>Launch Vehicle: PSLV-C14</p> <p>Perigee: 726.00</p> <p>Period: 98.50</p> <p>Weight: 1.000 Kg</p>
--	---



Frequency Information

Mode U Beacon (100mw (FM CW)): Operational
Downlink 437.3250 MHz CW

Mode U TLM Beacon (1w GFSK): Operational
Downlink 437.3250 MHz Other 19k2 BPS

터키의 이스탄불 공대의 실험위성입니다. 인도의 로켓(우리나라에서도 도입했다가 실패한 러시아발사체와 유사한 것 같습니다.)에 의해 2009년 9월에 발사됐군요. 아주 강력한 비컨신호가 수신 되었습니다.

이 위성 프로젝트 페이지.

<http://usl.itu.edu.tr/en/projects>

<http://usl.itu.edu.tr/en/projects/itupsat1>

위키에 나온 이 실험 위성의 정보를 보면...

<http://en.wikipedia.org/wiki/ITUpSAT1>

FM CW 비컨과 VGA 크기의 CMOS 영상 센서가 장착되어 있다고 합니다. 더욱 놀랐던 것은 실험 위성 키트로 만들어 졌군요. 이미 인공위성 키트가 보편화 되어 있다는 얘깁니다.그래서 찾아봤더니!

CUBE SAT Kit <http://www.cubesatkit.com/>

각변 10cm의 육각체 주사위 모양의 위성체 프레임, 전자회로물 파는 회사 입니다.

Pumpkin Inc/Salvo <http://www.pumpkininc.com/>

위성용 초경량 RTOS와 플랫폼을 팝니다. ITUpSAT1의 회로는 이 회사 PIC 마이크로 프로세서 기반 RTOS로 작동한다고 합니다.

이거 원.... 개인 인공위성 올린다는 꿈 어찌구 하던 신문기사가 있었다고 하던데... 이건 꿈이 아니라 현실이자나요? 왜 이런 정보를 제대로 알려주지 않을까요? 저만 몰랐나요?

위성 신호 수신하고 놀라고 흥분하다 우물안 개구리가 된 기분이라 팬시리 열받고... 원대한 우주개발의 꿈이라고? 흥!

WSR-027 Weekly Satellite Report 027 - January 27, 2012

<http://amsat.org/pipermail/ans/2012/000588.html>

현재 작동하는 위성의 수가 엄청 많습니다. (이렇게 많은줄 몰랐군요 ^^)

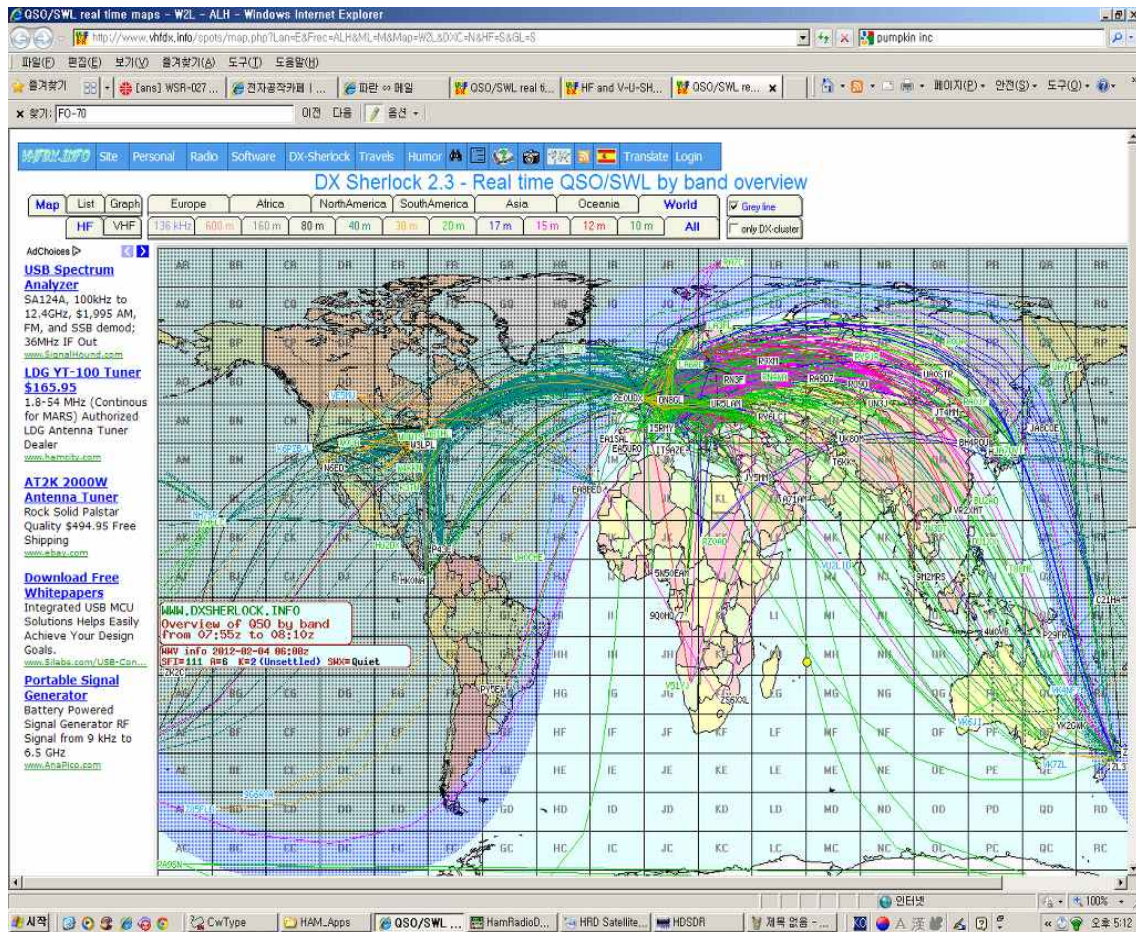
코딱지(?) 만한 위성에서 보내온 100mW 비컨 신호를 수신해보니 이거 웬지 끝림. 마당에 위성 추적소 하나 꾸며야 할 듯 ㅎㅎㅎ 튼튼한 카메라 삼각대와 컴퓨터에 연결할 수 있는 소형 안테나 로테이터-엘리베이터 하나 마련해야 할까봅니다. 혹시 가지고 계신분?

잠시 후 16시에 사우디 셋 과 오스카 세븐이 지나간다고 합니다. 기대~기대~

저녁에 땀개 더.... 저녁 외출은 없는 겐니다 잉~

DX Sherlock, DX Spot /실시간 QSO를 지도상에 그림으로 보여주는 사이트
<http://www.vhfdx.info/spots/map.php?Lan=E&Frec=ALH&ML=M&Map=W2L&DXC=N&HF=S&GL=S>

<http://www.vhfdx.info/spots/> QSO DB 검색



CW Schedule QSO

매주 토요일 마다 열리는 정기 전신 교신 2건을 소개합니다.

Title: C3-SKED QSO

Call: CQ C3 CQ C3 de

Time: 매주 토요일 오전 9시~10시/오후 8시~9시

Freq.: 7013~7017Khz / QRM에 따라 변경

주관: C3 (Corea CW Club, <http://www.cwqso.kr>)에서 주관 합니다만 전파 상에서 회원, 비회원 가리지 않습니다. 초보자 환영

Title: A1Club OAM (On-Air Meeting)

Call: CQ A1C OAM de ...

Time: 매주 토요일 오전 7시~8시

Freq.: 7025Khz/QRM +-

주관: 일본 A1Club (<http://www.jarl.com/a1>) 회원 비회원 가리지 않습니다. 상당한 파일-업이 있습니다.

제가 위의 정기교신에 카페 공제 EHB-1으로 자주 참여하고 있습니다. EHB-1의 멋진 송신음을 수신해 주세요... ^^ 73 de 6K2HJI

가. 무전기 출력 높인다고 교신이 재밌을까?

드디어 카페공제 QRP TRX용 리니어 앰프가 완성단계인가 봅니다. 이즈음에 글제

목이 어찌 쏴 빼딱 하죠? ㅎㅎㅎ 그런데, 저의 짧은 경험을 적어봅니다.

- 어찌피 듣고 있는 사람 없으면 출력 높여도 응답은 없다.

당연한 얘기죠. 그래서 다들 한국의 햄들은 7060~7080Kc 에 몰려 있나봅니다.
이유는 다 아시는 대로..

- 듣고 있는 사람 많아도 교신할 의지가 없으면 응답은 없다.

아쉽게도 한국은 대부분 SWLer 라고 생각됩니다. 그런데 이상한 것은 7070Kc
에서 가끔씩 벌어지는 소동을 듣자면 전혀 듣는 사람이 없는 것 같진 않은데...

- 교신을 한다 해도 나눌 얘기도 없다.

좀 안면도 있고 공통의 관심사도 있고 해야 이야깃 거리가 생길텐데 알지도
못하는 사람 붙들고 얘기하긴 참 쉽진 않죠. 교신 상으로라도 자주 익히면 그나
마 좋을 텐데요.

얼마전에 QRP 기기로 나눴던 교신을 소개해 올립니다. 물론 안면이 있는 분이
구요 상당한 전자공작 실력자라 나름 QRP 기기를 만들고 계시지요. 설 지닌 즈음
이라 그냥 인사나 나누려고 했는데 무려 한 시간여 동안 노닥거렸습니다. 제가 한
글 속도가 워낙 느려서 10WPM 수준이라 A4용지 한두 바닥 분량의 교신 인데 말이
죠. 내용은 주로 요즘 큐알피(한글 치다 영문 전환하기 번거로워서 그냥 한글로
날림 ㅎㅎ) 기기 새로 만든다는 것... 부품을 뭐뭐 구하는데 쉽지 않다는 등.. 혹
시 있냐는 등.. 어디 알아봐달라는 등... 무전실이 아파트 베란다라 출입하는 등...
불쌍하시다는 등... ㅎㅎㅎ

또 얼마 전에는 이웃나라의 햄과 음성교신을 했는데, 이분 역시 몇 번 교신 했
던 분입니다. 처음에는 제가 CQ를 내봐도 응답이 없길래 (참을성 부족으로 두어번
호출하다 응답 없으면 무전기 끕니다. ㅎㅎㅎ) 둘러보니 마침 CQ를 내고 계시더군요.
작년 가을에 전신 교신하고 새해 처음이라 "해피 뉴 이어" 했습니다. 일년만
이다... 지난 가을 추수는 잘 하셨냐... 인사로 시작해서, 전신 운용자들이 대개
노령자들인데 뉴 리더가 있어야 겠다... 한글전신, 일문전신, 영문전신 외에 러시
아어도 있다더라.. 옛날 냉전시대에 스파이용 통신이 어찌구... 그 시절에는 전신
하면 북한 스파이가 떠오른다... 요즘은 스파이 전문도 인터넷으로 하니 그나마
전신이 필요없나보다.. 등등 ...

교신이 성사되어 이야기를 풀어 놓는 데는 출력을 탓할 것은 아니었다는 겁니
다. 제아무리 키로와트급 리니어가 있는들 PTT 안누르면 소용 없습니다. 제아무리
키로와트급 리니어로 호출해 봐도 아무도 응답 안해주면 소용 없구요, 제아무리
신호가 좋아도 나눌 얘기가 없으면 PTT 안 눌러 집니다. 취미가들의 화젯거리는 "
무용담"이 최고죠. 때로는 "뽕~" 이라도 날리구요. 그런다고 안잡아잡니다~ 싸이
카 출동 안함다~ ㅎㅎㅎ

나. TV 수신용 USB 동글을 SDR 로...(2)

* 방장님께서 QST를 마음대로 볼 수 있게 해주셔서 감사의 표시로 기사하나 올
립니다. ^^

지상파 디지털 방송(DVB-T/Digital Video Broadcasting - Terrestrial

/ <http://en.wikipedia.org/wiki/DVB-T>) 수신용 USB 동글이 단돈 20불이면 구할 수 있습니다. 이것으로 국내 TV를 시청할 수는 없습니다. 하지만 기본적으로 50MHz~2GHz 에 이르는 광대역 수신기입니다. 이것을 잘 이용하면 SDR 수신기로 사용할 수 있습니다. 이미 아주 널리 이용되고 있습니다.

이 동글은 E4000이라는 실리콘 튜너(참조: <http://cafe.daum.net/elechomebrew/FQLS/49>)

1) UNCCube USB Dongle

전에도 소개드린 적이 있었던 SDR/QSD 입니다. USB 포트에 꼽는 방식입니다.

64MHz to 1,700MHz Software Defined Radio <http://www.funcubedongle.com/>

가격은 배송비 포함 122.5 파운드 (약 23만원) FUNCube는 영국의 AMSAT에서 쏘아올릴 아마추어 위성 FUNCube-1 의 지원 프로젝트 일환 이라고 합니다. 올해 7~8 월경 발사 예정이라네요.

<http://www.zdnet.co.uk/news/emerging-tech/2012/01/04/radio-amateurs-prep-launch-of-tiny-funcube-satellite-40094737/>

FUNCube와 HSDR 사용하기 / ExtIO-DLL을 통하여 FUNCube의 Freq/PLL 제어

http://www.hamradio.co.uk/pdf/funcube_hdsdr.pdf

FCD+HSDR+NOAA 수신 Tip

http://www.dk3wn.info/fcd_noaa_rx.shtml

HSDR 수신시 설정

Mode FM -> Options WIDE BW (up to 192 KHz)

Post Demod BP Filter on

AFC on

HSDR로 녹음시 설정

RF Record

sampling frequency 11020Hz

NOAA의 APT 주파수

NOAA 15 - 137.620 MHz

NOAA 18 - 137.9125 MHz

NOAA 19 - 137.100 MHz

간단한 UP-Converter를 달아서 FUNCube를 HF All Band 수신기로 변환하는 키트도 나왔습니다.

http://www.ct1ffu.com/site/index.php?option=com_content&view=article&id=178&Itemid=104

자작 Up-Converter 1 (SBL-1 Mixer 사용)

http://www.george-smart.co.uk/wiki/FunCube_Upconverter

http://www.george-smart.co.uk/w/images/f/f7/M1GEO_FCD_HFConv_Schematic.pdf

자작 Up-Converter 2 (NE612 사용)

<http://www.palomar.pl/kf/konw.jpg>

Andrew Holme's Projects

<http://www.holmea.demon.co.uk/Projects.htm>

눈에 띄는 자작 프로젝트. 그중에서....

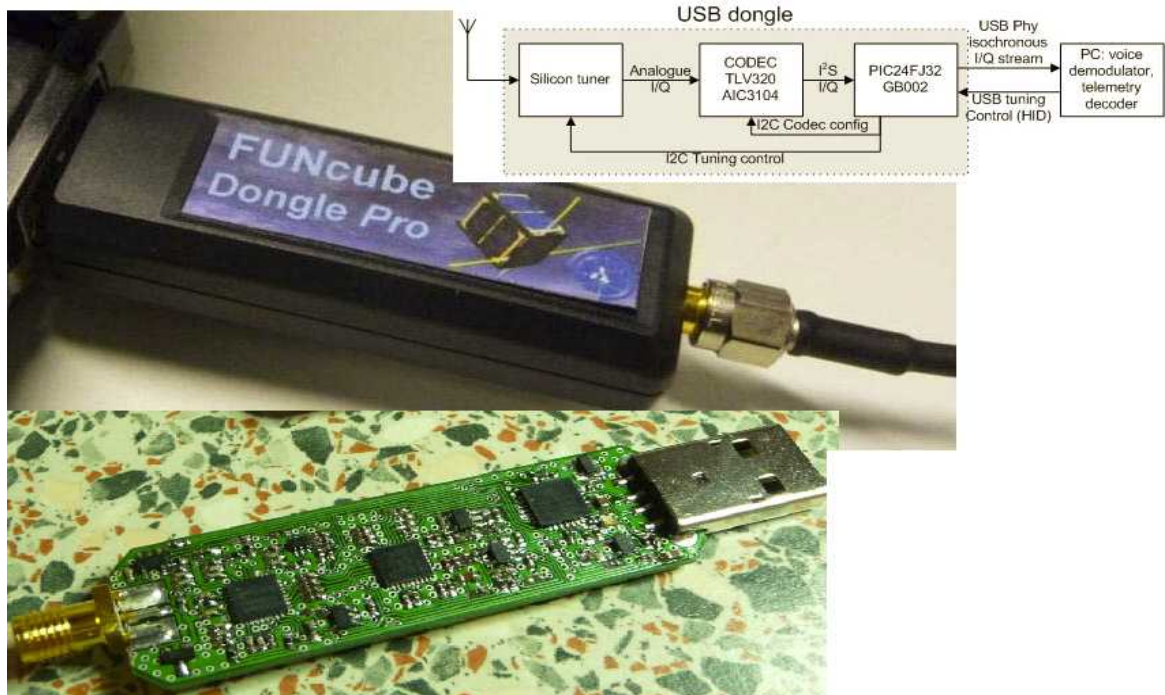
자작 스펙트럼 아날라이저/회로와 아이디어를 보면 브라운관 스코프의 원리도 보임

<http://www.holmea.demon.co.uk/SpecAnHtml/SpecAn.htm>

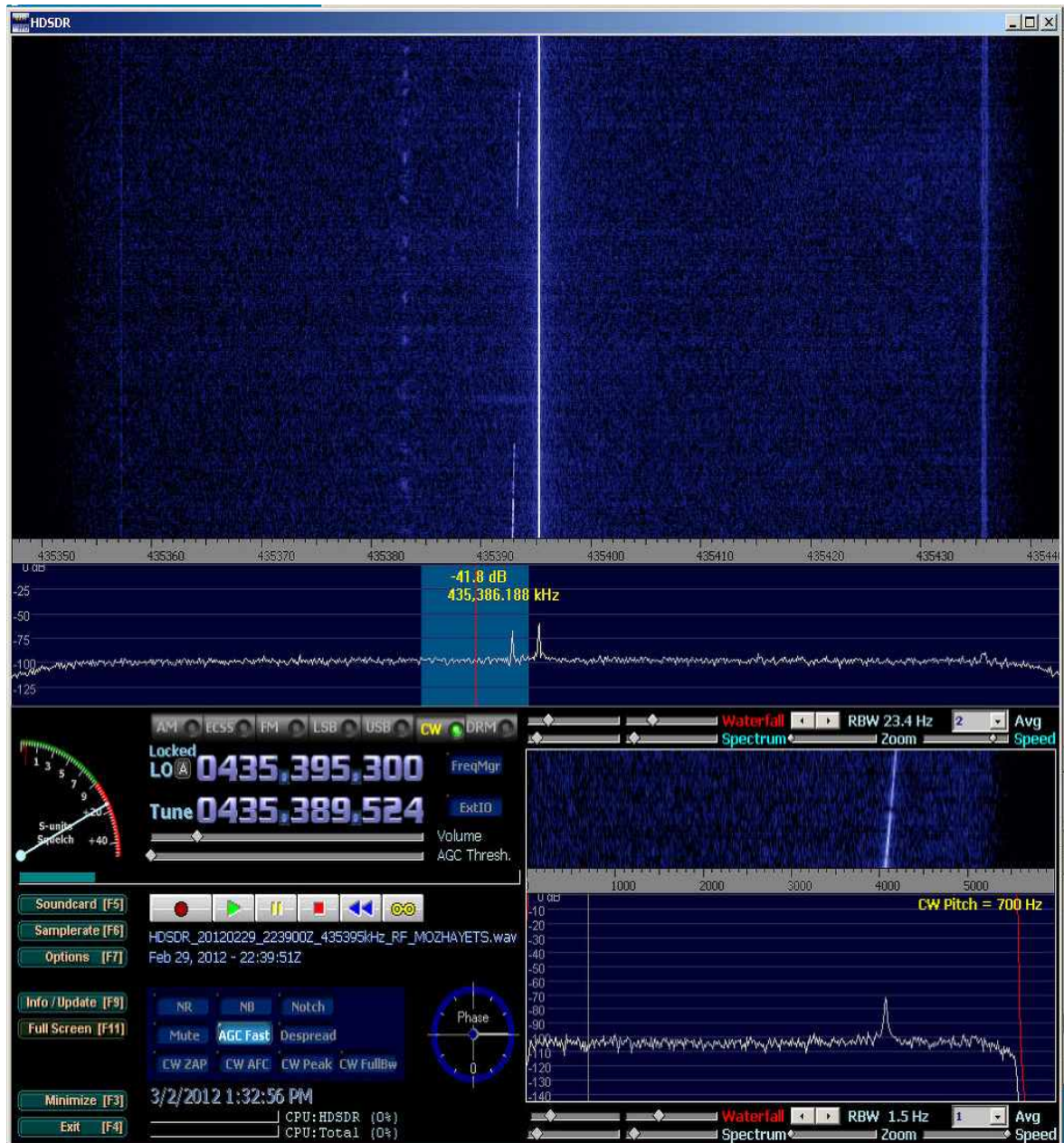
2) FUNCube Dongle/Pro:CUTE-1(CO-55) 과 MOZHAYETS(RS-22)

FUNCube Dongle Pro를 구입했더니 일주일 만에 도착 했습니다. FUNCube Dongle 은 위성 신호 수신용 SDR/QSD 입니다. 조만간 우주로 올라갈 영국의 FUN Cube 위성에도 저도 한몫 했습니다. ㅎㅎㅎ

FCD를 사용해 보니 위성 신호 추적하는데 아주 제격입니다. 그냥 USB 메모리 드라이브처럼 생긴 동글을 PC에 꼽기만 하면 됩니다. 실리콘 튜너(Elonics E4000)와 96Khz 샘플링 ADC(TI TLV320), 그리고 PIC MCU(PIC 24FJ32)가 내장되어 있다고 합니다. U/VHF 대의 전파를 수신하는 광대역 실리콘 튜너도 놀랍습니다. 하기가... DMB 수신 동글... 휴대전화.. 심지어 2.4Ghz 대를 사용한다는 무선 마우스/키보드를 생각하면 초 고주파 대역의 반도체 부품은 아주 일반화 되었군요. USB 사운드 입력을 내장하고 있어서 아주 편리하게 만들었군요, 케이블 연결을 포함해서 아날로그 부분이 거의 없으니 잡음 유입원도 배제되어 있구요.



SDR 소프트웨어에서 도플러 편이로 인해 변하는 주파수를 눈으로 보며 위성 신호를 따라잡니다. 전단에 LPF가 따로 없어서 강력한 FM 방송 혼변조 신호가 들어옵니다. 광대역 수신기라 LPF 만드는 일도 보통은 아니겠습니다만 준비하고 있다고 하는군요. 워낙 SDR 소프트웨어들이 막강해서 위성 신호 수신하는데는 크게 지장은 없습니다. 물론 햄신호도 잘잡히고 FM 방송도 잡힙니다. 특히 내장된 사운드 카드 기능의 대역이 넓은 편(약 80Khz)이라 스테레오 방송도 들어줄만 합니다. WRPlus 라는 소프트웨어를 사용하면 WFM, WFM-Stereo로 복조해 줍니다.



실제로 FCD를 이용해 위성 신호를 추적해봤습니다. 많은 위성들이 원래 제기능은 상실 했어도 비컨과 자가 측정 값(텔리메트리)을 지속적으로 보내오는 경우가 많습니다. 이번에 수신해본 두개 위성입니다.

도쿄공대의 위성 CUTE-1 (CO-55)입니다.

2012-03-01 07:32:21 CUTE-1 (CO-55) 213.1/15.1/436.8375MHz

텔리메트리를 CW로 송신합니다. 근데 무슨 텔리메트리를 이리도 빠른 속도로 송신하게 해냈는지... 한 20WPM은 될 것 같아 보입니다. 자가 상태를 끊임없이 실시간으로 보내옵니다. CW 수신 연습하기 좋습니다. ^^;

http://lss.mes.titech.ac.jp/ssp/cute1.7/cwtelemetry_e.html

http://lss.mes.titech.ac.jp/ssp/cute1.7/software/CW_check.xls

러시아의 우주군 사관학교 (Mozhaisky Military Space Academy)의 실험 위성입니다.

2012-03-01 07:42:06 MOZHAYETS 4 (RS-22) 260.6/52.1/435.352Mhz
텔레메트리를 CW로 송신하고 있군요.

<http://wordpress.projectoscar.co.uk/?cat=59>

와 <http://cafe.daum.net/elechomebrew/G6aC/37>)를 사용하고 USB를 통해 디지털 변환된 I/Q 신호를 PC로 전송하는 RTL2832 로 구성되었습니다. 아쉬운점은 RTL2832 의 ADC가 겨우 8비트 짜리라 품질이 좀 떨어집니다. 하지만 변환 속도가 무려 1MSPS에 이릅니다. I와 Q 두채널을 합치면 SDR 소프트웨어에서 1.8Mhz 대역폭을 볼 수 있게 되지요. 일반 사운드 카드에서 겨우 48Khz, 96Khz였던것을 비하면 그야말로 넓어도 너무~ 넓죠. ^^ (사실 너무 넓어도 탈 입니다만... ㅠㅠ)

RTL-SDR (RTL 칩을 사용했다고 해서 붙은 이름)관련 정보 사이트입니다.

<http://www.rtlsdr.org/>

<http://sdr.osmocom.org/trac/wiki/rtl-sdr>


DVB-T USB 동글의 수신 주파수 대역이 아주 넓습니다. 이것을 가지고 무엇을 수신할 수 있을까요?

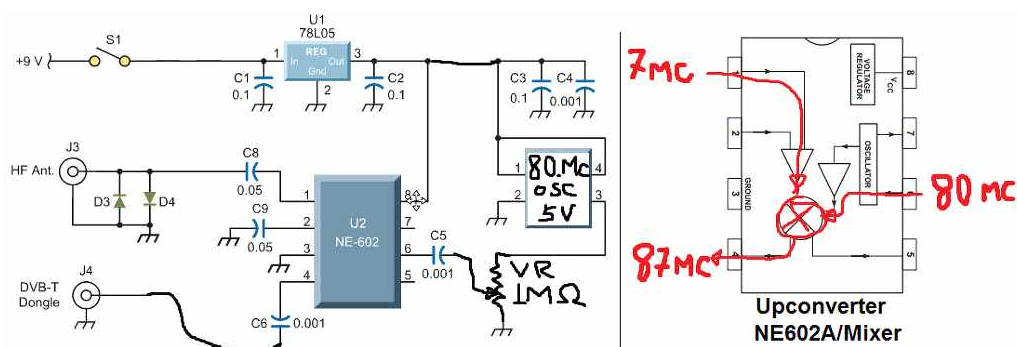
UHF/VHF 아마추어 무선통신은 모드에 상관없이 모두 들을 수 있습니다. FM 방송 수신할 수 있습니다. 기상위성을 비롯해 아마추어 위성, 각종 실험 위성신호 들을 수 있습니다. 항공관제 신호도 수신할 수 있습니다. 믿기지 않지만 화성 탐사선이나 보이저 신호를 들었다는 보고도 있습니다. 한마디로 50~1900Mhz내의 모든 신호를 수신할 수 있습니다. 물론 좋은 안테나를 갖췄을 때 말이죠.

3) 50Mhz 이하의 단파신호 수신하려면?

이 USB 동글에 사용된 튜너칩의 하한 주파수가 50Mhz 정도 됩니다. 이것을 이용해 HF대 수신기로 사용하려면 주파수 변환기가 필요한데요, 마침 QST 1월호에 관련 기사가 실렸더군요.

"Cheap and Easy SDR", Robert Nickels, W9RAN, QST Jan., pp30-36, ARRL

 QST_2013_Jan_Cheap_Easy_SDR.pdf



만들어서 수신도 해봤죠.

일단 해보니... 들어줄 만 합니다. SDR/QSD 가 그런든 안테나가 좋아야 합니다. NE602A를 사용한 업 컨버전용 믹서의 로컬 발진기로 그냥 디지털 구형파 오실레이터를 사용하고 컨덴서로 모양을 만들어서 그런지 비가 엄청 내립니다. 안테나 입력쪽에 아무것도 없이 직접 변환해 놓은 것이라 저녁에 혼변조 엄청납니다. 안테나 커플러(안테나 매칭 튜너)라도 필수 입니다. 게인을 낮춰서 사용하면 그렇지럭 쓸만 합니다. 장점은 무엇보다도 HF All-Band 입니다. BCL용으로는 좋습니다. 아주~ 경제적입니다. 그리고 재미있습니다.

- 실리콘 튜너의 게인 조정하면 신호의 차이가 심하게 나타나는 점에 유의하십시오.
- 특히 게인을 높이면 혼변조가 무지막지합니다. $\pi\pi$
- 주파수 변경이 이뤄지는데 잘 안보이지만 $Lo=80\text{Mhz}$ 를 더한 값입니다.
- 끝 부분에 안테나 튜너를 켜고 꺼를 때와 켜고 꺼를 때 혼변조가 심합니다.
- DVB-T 동글을 구매하시려면 ebay.com 에서 "dvb-t rtl-sdr e4000"로 검색하시면 됩니다. 가격은 19~28불 사이 입니다.

4) TV 수신용 USB 동글을 SDR 로.....(3) 안드로이드

DVB-T 동글을 iPad 에서도 사용할 수 있는지 문의하셔서 제가 드린 답변은 아래와 같습니다.

iPad의 카메라 키트에 연결 할 수 있는 USB 장치에 제한이 있습니다. 제가 해본 것으로는 키보드(무선키보드 동글 포함, 마우스는 안됨), USB 드라이브, 사운드 장치 등 표준 장치만 가능 합니다. 별도의 드라이버 소프트웨어가 필요한 장치는 불가합니다. 그리고 100mA 이상 전원을 요구하는 장치도 불가합니다. 그래서 앰프가 내장된 사운드 장치도 안되죠. DVB-T는 사운드 장치가 아닙니다. 임의 벌크 장치로 분류되어서 iPad에 연결이 불가할 겁니다. 임의 벌크 장치로 연결된다 해도 iSDR 소프트웨어에서 지원하지 않으면 역시 불가하겠죠.

안드로이드(Android)에서는?

혹시 Android 기반의 타블렛 컴퓨터는 어떨까 싶어 찾아봤습니다. 안드로이드는 애플보다 더 개방적이라 그런지 USB 장치를 붙이는데 제한이 적은가 보네요. 물론 합당한 소프트웨어가 있어야 겠지요. 마침 "SDR Touch"라는 앱이 Google Play에 올라와 있다고 합니다. 자세한 사항은 아래 링크를 참조하세요.

<http://www.hamradioscience.com/android-meets-the-rtl2832u/>

"SDR Touch"라는 앱이 SDR# (Sharp 언어로 작성된 SDR 소프트웨어)의 개발자가 소프트웨어 저작 침해라고 제소해서 약간 분쟁이 있는 모양입니다.

<http://forum.xda-developers.com/showpost.php?p=37680134&postcount=51>

SDR Touch는 C 로 작성되었고 전혀 다른 언어로 작성된 SDR#의 알고리즘을 침해했을리 없다고 주장하고 있습니다. 이런 문제가 발생하면 Google Play Store에 등제가 14일간 제한된다는 군요. 만일 SDR Touch를 구글 플레이 스토어에서 받을 수 없다면 직접 받을 수 있는 링크도 따로 있습니다.

<http://martinmarinov.info/SDRTouch.apk>

태블릿 컴퓨터에는 USB 코넥터가 없으니 TVB-T 동글을 꼽으려면 OTG 케이블이 필요합니다. 안드로이드 기반의 갤럭시 노트용 OTG 케이블이 있다고 하네요.

http://www.amazon.com/gp/product/B00825R6ZM/ref=as_li_ss_tl?ie=UTF8&camp=1789&creative=390957&creativeASIN=B00825R6ZM&linkCode=as2&tag=5336653508-20

안드로이드 기반의 태블릿 컴퓨터에서는 DVB-T 동글을 사용할 수 있습니다. 필요한 것은,

- 안드로이드 기반의 태블릿 피씨
- 위 태블릿 피씨용 OTG 케이블
- RTL2832U를 사용하는 DVB-T 동글
- SDR Touch 라는 앱

HF 대를 수신할 수 있도록 주파수 변환해 주는 업 컨버터도 있습니다.

<http://www.hamradioscience.com/ham-it-up-hf-converter/>

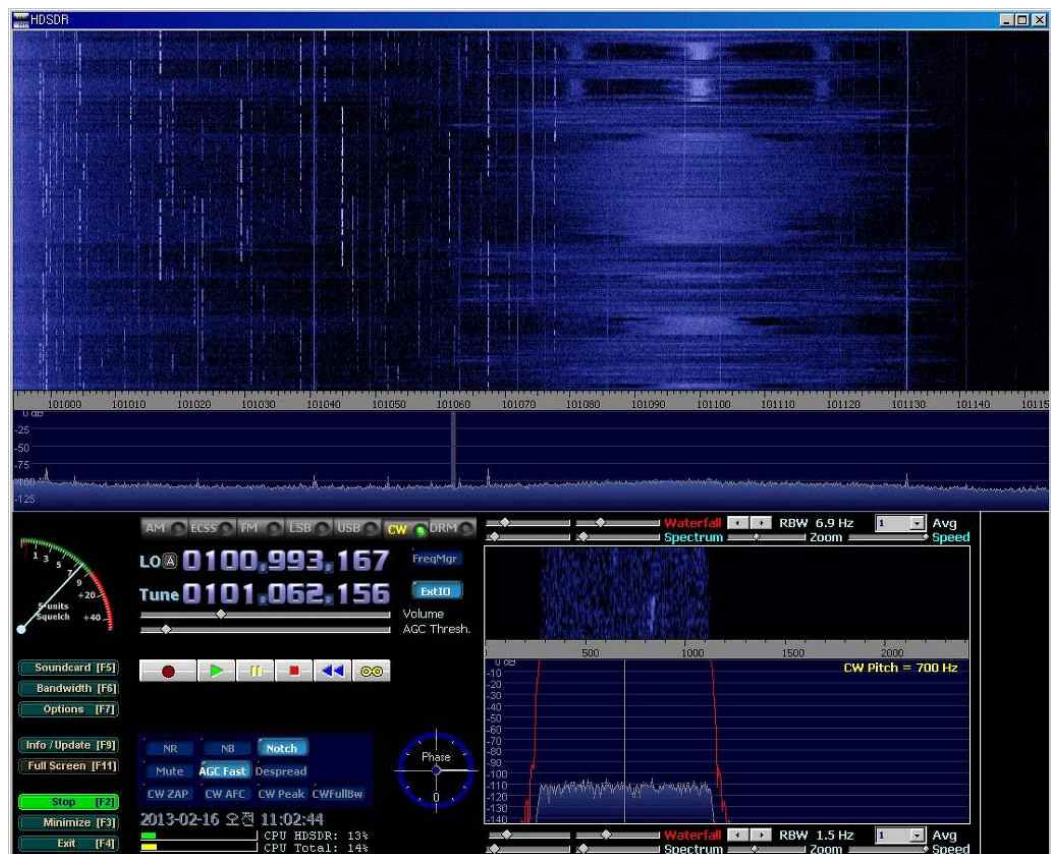
아마존에서 54불에 팝니다.

http://www.amazon.com/gp/product/B009LQT3G6/ref=as_li_tf_tl?ie=UTF8&camp=1789&creative=9325&creativeASIN=B009LQT3G6&linkCode=as2&tag=hamradsci09-20

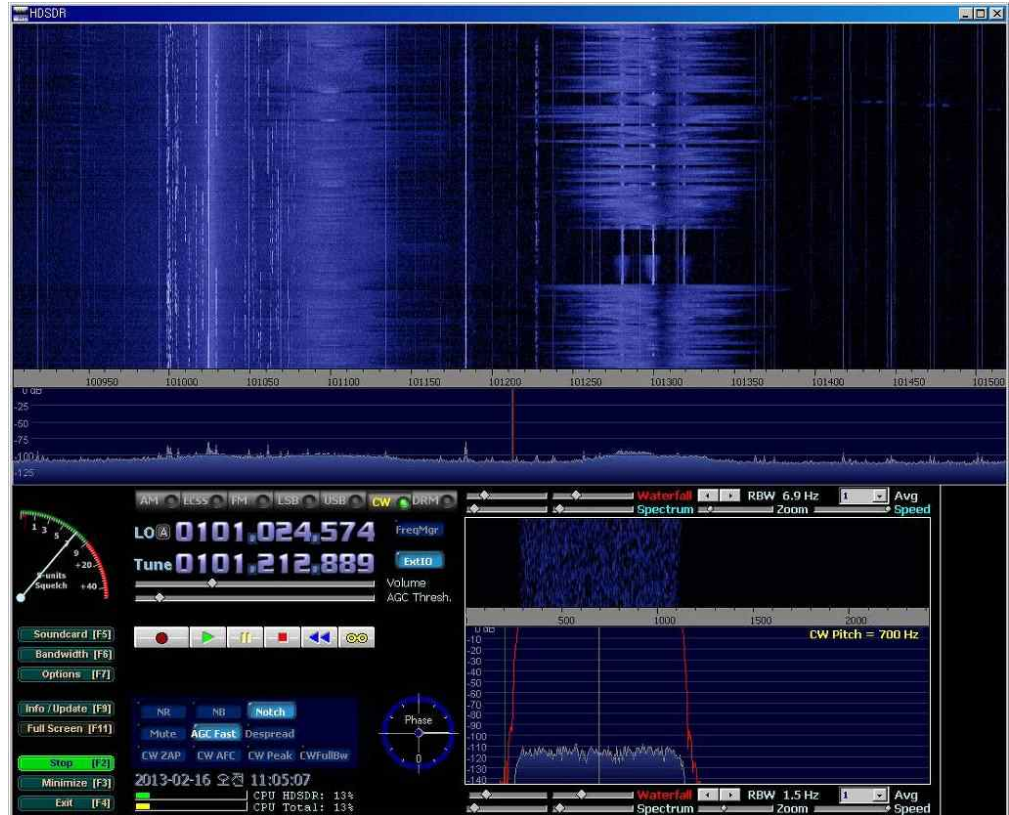
* 마침 갤럭시 노트가 있는데 OTG 케이블을 구해다 실험해보고 결과 알려 드리겠습니다.

5) TV 수신용 USB 동글을 SDR 로.....(2-1) FM 방송의 영향

주말에 ARRL DX/CW 콘테스트가 열린다길래 DVB-T 동글로 들어봤습니다. 토요일 오전 21Mhz 북미신호가 버글버글 합니다. G5RV 안테나에 수동 튜너로 매칭 한 것입니다.



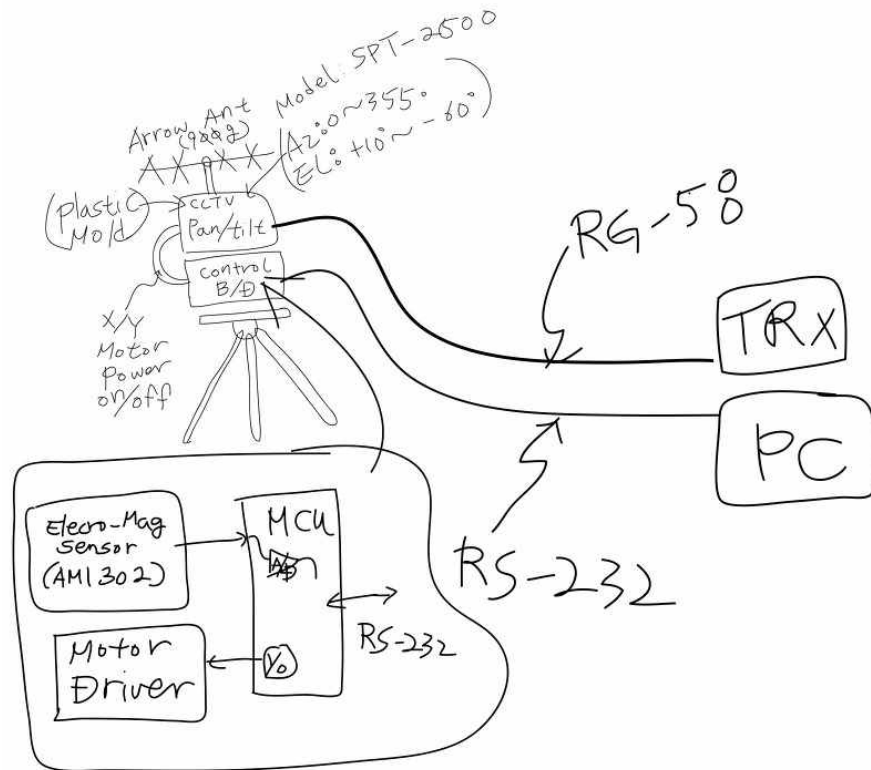
업 컨버터의 Lo를 80Mhz짜리로 했으니 여기에 21Mhz를 더하면 101Mhz 군요. 그런데 101.1...Mhz 근처가 수상하죠?



101.3Mhz(EBS FM?)의 강력한 FM 스테레오 방송이 버젓이 끼어들었군요. Lo를 정할 때 업 컨버전된 주파수 범위가 87~108Mhz 밖으로 나가도록 정해야 겠군요. 100~130Mhz 이면 항공관제 주파수 범위라 강력한 신호도 없고 방해 전파 관리도 철저하고 업 컨버전된 주파수 환산하기도 편하고 두루두루 괜찮을 것 같네요.

6) 위성 추적용 E1-Az Rotor 자작해봐?

방위각-고도를 조절할 수 있는 로터 기구물을 구상해 봤지만 직접 깎는다고 모양이 제대로 나올 것 같지도 않고 공작소에 맡길려니 대략 가격이 넘사벽입니다. 여전히 CCTV용 팬-틸트 드라이브가 생각에 가득합니다. 문제는 원격지에서 방위각 고도를 제어할 수 있어야 겠기에 2축 자기 센서를 달면 되겠더군요. 그래서 이렇게 구상해 봤습니다.



목표사양입니다.

- 일단 설치한 안테나는 핸디로도 위성 통신을 할 수 있다는 휴대형 크로스 야기.
- 카메라 삼각대에 장착하는 가벼운 소형. 마당에 잠시 설치했다가 거둬들이기 좋은 휴대형. 전전후 야외설치는 아님.
- 위성 추적을 위한 각도 범위도 360도/180도면 좋지만 실제로 위성의 궤적이 많이 돌아봐야 120도/45도 정도면 실용적일 듯함.
- 그러니까 추적 대상 위성 정하고 카메라 마운트 조정하여 대략 구동 범위 내에서 구동하기로 함.
- 어차피 카메라 삼각대에 마운트 할 것이니까 문제없음. 이를테면 반자동이랄까? ㅎㅎㅎ
- PC에서 방위각과 양각만 알려주면 스스로 알아서 자세 측정하고 이동하는 인공지능형 입니다!
- 정밀도는 그럭저럭... 덜렁거리는 것도 그럭저럭...
- 욕심 안부리기로 합니다. 그래도 손에 쥐고 휘젓다가 어깨 빠지는 것 보아야 훨 낫지 않겠습니까?

CCTV 카메라 팬-틸트 드라이브는 SPT-2500이라는 모델이 가장 저렴하더군요. 실내용이라는데 옥*에서 찾아보면 약 16만원쯤 합니다. 하우스징이 고강도 플라스틱이라는데 안테나 중간을 고정할 참이었는데 오히려 잘됐군요. 철제 하우스징이면 오히려 전파에 방해. SPT-250의 메뉴얼 입니다. SPT-2500_M.pdf

메뉴얼 보면 알겠지만 그냥 DC 모터 두개 달랑 있습니다. 철거한 소형 CCTV 팬-틸트 드라이브 불용자제가 많을 법도 한데 말이죠....

위성 추적 구동 장치의 자세제어는 지자기 전자(Electro-Magnetic)센서가 있어

서 알아봤더니 AMI-302라는 것이 있습니다. 3축 까지 가능한데 2축만 쓰면 되겠군요. ami302 specificationspreliminary.pdf

모듈 형태로 공급되는 가격이 디바이스 마트에서 4만5천원 입니다.
<http://devicemart.co.kr/goods/view.php?seq=19288>

센서는 자세를 아날로그 전압으로 출력합니다. 자세에 따른 모터를 제어하기 위해 ADC가 달린 작은 마이크로 프로세서를 사용하면 되겠군요. 단순한 모터 드라이버는 워낙 흔하니 역시 어렵지 않겠군요.

곧 3월이 다가옵니다. 그전에 얼른 해치워야 할텐데..... ^^b