

$B^2$   
(Basit Bir)  
88MHz – 108MHz  
FM vericisi  
( Bolum-1)

Yazar : Yilmaz Kalafat, PE1PYJ  
Tarih : 26-03-2004  
Yer : Hollanda

## Onsoz

Bu seferki yazimda sizlere **B<sup>2</sup>** adi altinda yapmis oldugum projeyi aciklamaya calisacagim. Ilk sayfada gordugunuz gibi **B<sup>2</sup>**, **Basit Bir FM verici** projesidir. Buradaki basit kelimesine bakarak aldanmayin! Basit dememin nedeni su: kullanılan parçalar ucuz ve yapiminda ve ayarinda özel cihaz gerekmiyor, tabii elinizde cihaziniz varsa sizin için yapimi dahada kolay olacaktır.

Simdi diyeceksiniz, nette yuzlerce devre var seninkinin farki ne? Bunun cevabi esasında çok basit. Devre tasarımı kendime ait ve en küçük noktasına kadar profesyonel cihazlarla test edilmistir.

Bu projeyi iki bolime ayirmek zorunda kaldim, birinci bolumde vericinin kendisini aciklamaya calisacagim. Ikinci bolumde ise PLL devresi ve cikis katini (power amplifier) acikliyacagim.

Bu devreyi yapmaya baslamadan once ANTRAK'in Mart 2004 sayisinda cikmis olan Voltaj Kontrollu Osilator yazisini gozden gecirerseniz çok iyi olur. O yazidaki VCO bu projede kullanilmistir. Devre yapimini aciklarken fazla detaylara ve hesaplamalara girmiyecem, cunki elinizde gereken cihazlar olmadigi surece hesapladiginizi kontrol etmek zor olur.

Devreyi yaptiginizda hemen hepsini birden yapmaya calismayin, yazinin ilersinde goreceksinsiniz, devre bloklardan olusmaktadır. Eger bloklari birer birer yapip ve yaptiginizi kontrol ederseniz yanlis birsey yapma imkani azalir.

**Unutmayin !!! Bu devre sadece egitim amaci için gelistirilmistir. Korsanlik yapmak veya diger radyo vericilerinin yayinlarini engellemek kanunen yasaktır.**

## FM Vericileri

Verici dedigimizde aklimize hemen FM (88MHz – 108MHz) bandinda calisan vericiler gelir. Bu FM (Frekans Modulasyon) nedir ve nasil olusur kisaca aciklamaya calisacagim.

FM (Frekans Modulasyonu) vericilerinde tasiyici sinyalinin frekansi, gondermek istedigimiz bilgi (ses) sinyaline baglidir. Diger bir sekilde acikliyacak olursak, tasiyici frekansi bilgi sinyalinin fonksiyonu olarak degismektedir. Bunu daha basit bir sekilde acikliyacak olursak, ornegin bir LC tankini goz onune alin. Bu tankin rezonas frekansi LC'nin buyuklugune baglidir, eger L'i sabit tutarsak ve C'nin degerini hizli bir sekilde degistirirsek ve bunu bir spectrum analyzer'da gozetlediginiz zaman goreceksinizki LC tankinin rezonans frekansi dalgalaniyor, yani sag'a ve sol'a kayma yapiyor. Buna frekans kaymasi veya diger adıyla "Deviation" denilir. Bu kayma esanisinda sadece frekans degisir ve sinyalin genligi sabit kalir. Bilgi (ses) sinyali FM'de buyuk rol oynamaktadir, bilgi sinyali tasiyicinin frekansini degistirir, bu degisimin ne kadar buyuk oldugu bilgi sinyalinin genligine baglidir. Ornek verecek olursak: bir vericiniz var ve bunun girisine Walkman taktiniz, radyodan ise yayinladiginiz sinyali dinliyorsunuz. Eger girisdeki sesin genligini yukseltirseniz goreceksinizki radyodan cikan ses bozulacaktır. Bunun nedeni ise su, bilgi sinyalinin genligi yukseldikce tasiyicida olusan kayma (deviation) asiri derecede buyuyor ve radyo alicisinda bulunan filtreler tarafından kesiliyor, cunki FM bandinda her kanalın belirli bir band genisligi vardir (200KHz). Bu demektirki kayma 200KHz'den fazla oldugu surece alicidan cikan ses bozuk cikacaktır.

FM bandindaki vericilerde maksimum kayma (deviation) 75KHz olarak belirlenmistir. Bilgi sinyalinin (ses) band genisligi ise 30Hz ve 15KHz arasidir. Bu parametreler 200KHz band genisligi icindir. Bu degerleri gectigimiz anda vericinin kaplamis oldugu band genisligi buyur. Bir ornek vererek hesapliyacak olursak:

$$\Delta f = 75KHz$$
$$f_{LF} = 30Hz \dots\dots 15KHz$$
$$M = \frac{\Delta f}{f_{LF}}$$
$$M = \frac{75KHz}{15KHz} = 5$$

Buradaki **M = Modulation index**, bununla bir FM sinyalinin olusturdugu ekstra yan band sinyallerini belirliyoruz. Eger  $M > 0,2$  oldugunda, tasiyicidan haric sag ve sol tarafalarinda birden falza yan band olusmaktadır. Band genisligini hesaplarsak:

$$M > 0,2 \rightarrow \rightarrow B_{FM} = 2 * (2 + M) * f_{LF} \quad B_{FM} = 2 * (2 + 5) * 15KHz = 210KHz$$

Hesapladigimiz FM sinyalinin kapladigi band genisligi 210KHz. Ses sinyalinin kapladigi frekansi degistirirsek, ornegin 30KHz yaparsak, kapladigi band genisligi yukaridakinden dahada buyuk olacak, kendiniz formulleri kullanarak hesapliyabilirsiniz.

Baslangic olarak FM hakinda biraz bilgi edinmis oldunuz, tabii buradaki yazdiklarim sadece kısa bir ozet ve agirlik RF alaninda. Burada stereo multiplexers ve audio hakkında birsey yazmıyorum cunki bunlar tamamen baska bir konular.

## Verici ozellikleri

### Vericinin teknik ozellikleri sunlar:

|                        |                                   |
|------------------------|-----------------------------------|
| Besleme voltaji        | : +12V DC                         |
| Akim                   | : 460 mA max.                     |
| RF frekans             | : 88MHz – 108MHz                  |
| Cikis gucu             | : $\approx 1$ Watt ( 8 Watt max.) |
| Harmonikler (RF cikis) | : < -50dBc                        |
| Cikis empedansi        | : 50 $\Omega$                     |
| VCO kontrol            | : PLL                             |
| Audio frekans (giris)  | : 30Hz – 15KHz max.               |
| Pre-emphasis           | : 50 $\mu$ S                      |
| Audio giris gerilimi   | : 200mVpp (75KHz kayma)           |

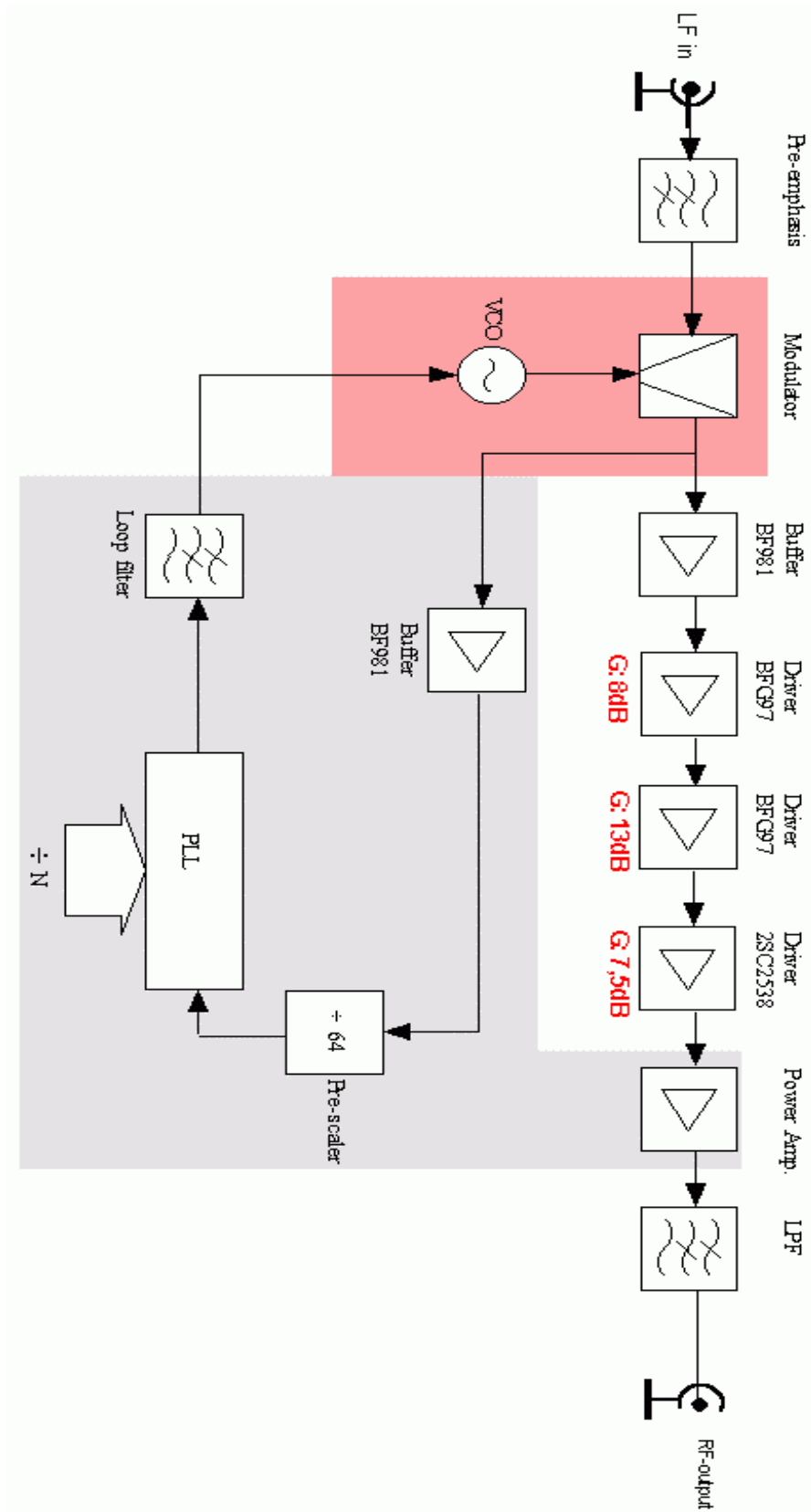
Kirmizi ile yazili olan ozellikler burada aciklamasini yaptigim devreye dahil degildir. Ikinci bolumde bunlari aciklayip butun ozelliklerin yeni bir listesini yapacagim.

Vericinin ne tur ozelliklere sahip olacagini gormus olduk, bu parametrelerle devremizin yapimina basliyacagiz. Tasarim yapmaya baslamadan once yapmak istedigimiz cihazin blok diyagramini cizeriz ve kullanmak istedigimiz parcalari belirtiriz. Ileride bu diyagramin icine oltugumuz degerleride yazarsak ariza ararken isimiz cok kolaylasir. Diyagrami cizmek icin vericinin temel yapisini olusturan devre parcalarini siraliyalim :

- VCO ( Voltage Controlled Oscillator), modulator
- Buffer amplifikatoru
- Surucu amplifikatoru
- Cikis (guc) amplifikatoru
- LPF (Low Pass Filter) , harmonikleri bastirmak icin.
- PLL (Phase Locked Loop )

Bu yazimizda PLL ve cikis amplifikatoru hakkında birsey gormiyecegiz, bunun icin ikinci bolumu okumaniz lazim.

Bu devreler yardimi ile vericimizin blok diyagramini cizdigimizde sekil-1’de gordugunuz diyagrami elde etmis oluruz. Hepsini birer birer gozden gecirip, nasil ve neden boyle yaptigimi acikliyacagim.



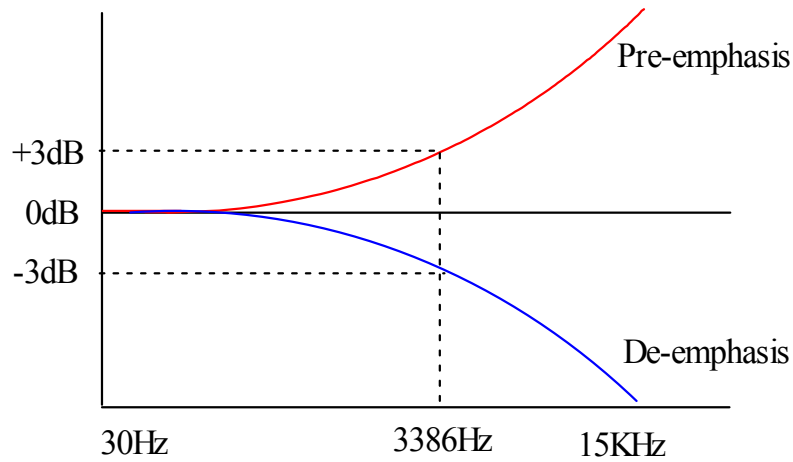
Sekil-1: B<sup>2</sup> FM verici blok diyagram

## B<sup>2</sup> FM vericisini olusturan bloklar

Blok diyagramin (sekil-1) solundan baslayip sag'a dogru giderek aciklamaya calisacagim.

### **Pre-emphasis**

Bu cok basit ve birkac parcadan olusan bir devredir. Ozelligi sudur: module ettigimiz ses frekansinin band genisligi 30Hz ve 15KHz arasidir. Pratikte dusuk frekansli ses veya muzik module edildiginde tasiyicida olusturdugu kayma kucuktur, diger bir anlamla tasiyiciya yakindir ve icerdigi enerji (genlik orani) yuksektir. Eger yuksek bir frekansla module edecek olursak tasiyici fazla kayma yapar, tasiyicinin sag'inda ve solunda olusan yan bandlar uzaklastikca icerdigi enerjide azalir. Bu demektirki alici tarafinda dusuk frekansli ses/muzik yuksek frekansli ses/muzikten daha gucludur, bass'lar cok guclu ve treble tamamen gurultuye karismis bir durumdadir. Bunu onlemek icin yuksek frekansların biraz guclestirilmesi gerekiyor, sekil-2'ye bakin. Pre-emphasis devresi bunu yapmaktadir, alicida ise De-emphasis devresi vardir. Bu devre vericideki manipule ettigimiz ses sinyalini eski durumuna cevirisir.



**Sekil-2 : Pre-emphasis ve De-emphasis frekans karakteristigi**

Pre-emphasis Avrupa için  $\tau = 50\mu s$  ve Amerika için  $\tau = 75\mu s$ . Bunun için gereken direnc ve kondesatoru su sekilde hesapliyabiliriz, ornegin Avrupa için  $47k\Omega$  alalim :

$$\tau = R * C$$

$$50\mu s = 47k\Omega * C$$

$$C = 1nF$$

$$f = \frac{1}{2 * \pi * R * C}$$

$$f = \frac{1}{2 * \pi * 47k\Omega * 1nF}$$

$$f = 3386 Hz$$

Sekil-2'de belirtildigi gibi pre-emphasis devresi 3386Hz'den dusuk olan frekanslari etkilemiyor, yuksek frekanslari ise guclestiriyor.

## **VCO ( Voltage controlled oscillator ) – modulator kati**

Bu vericide kullangimiz VCO Colpitts turundendir. Bu devre hakkında detayli bilgi edinmek isterseniz ANTRAK gazetesi sayi 73'e bakin (mart 2004).

Bu VCO hem osilator hemde modulator gorevi yapmaktadir. Devreye baktiginizda goreceksinizki LC tankinda birtane varicap diyot kullanilmis. Bu varicap ile osilatorumuzu module edebiliyoruz. Ses veya muzik pre-emphasis devresi uzerinden varicap diyotuna baglaniyor. Ses veya muzik sinyalinin olusturdugu gerilim varicap duyodunun kapasitesini degistiriyor ve boyle osilator frekansi sag'a ve sol'a kayma (deviation) yapiyor, bu olaya Frekans Modulasyonu denilir. Eger varicap'a gelen gerilim asiri derecede yuksek olursa, frekans kaymasida fazlasir ve ses bozulur.

Devredeki varicap'a baktigimizda bir kilif icinde iki tane diyot oldugunu gorecegiz. Bunu secmemin nedeni sudur. Varicap diyotlari genelde tek kullanildiginda pek liniyer degildirler ve sicakliktan cabuk etkilenirler. Eger buradaki gibi "Back-to-Back" kullanilirsas liniyer ozelligi iyilesir, eger diyotlarin birtanesi sicakliktan dolayi kayma yaparsa diger diyot buna karsilik vererek esitlik saglar. Osilatorde kullanılan diger kondensatorlerin hepsi NP0 tipinden omasi lazimdir. Bu tip kondensatorlerin genelde dusuk toleransi vardir ve sicakliktan etkilenmezler.

Osilator devrelerinde en hassas bolum, cogu kisi tarafından unutulm bolum! DC besleme kaynagidir. Eger kullandigimiz besleme, yani +5V temiz degilse bunu direkt olarak alicimizda duyabiliriz. Bu nedenle VCO beslemesi diger devrelerden ayri olmasi lazimdir. Bu vericide VCO icin ayri +5V stabilisator kullanilmistir ve dogru bir sekilde girisde-cikisda "decoupling" kondensatorleri ile parasit ve olusabilecek olan gurultu bastirilmistir. Onemli olan diger nokta ise kullanılan parcalarin bacaklarinin kısa tutulmasidir.

## **BF981 Buffer kati**

Bu katta "Dual gate" cift girisli MOSFET kullanilmistir. Bu MOSFET'lerin giris empedansi yuksektir ve VCO'ya fazla yuklenmez. Bu ozellik devre icin sadece iyidir. Hem bu buffer kati ile VCO'yu diger devrelerden ayirmis, hemde VCO sinyalini bir kac dB ile yukseltmis olduk. Bu MOSFET'lerde G2 bacagi guc ayari icin kullanilir, burada sabit +6V'a ayarlidir ve giris sinyalini en son noktasina yukseltir. Bu bacagi en azindan 1nF'lik kondensator ile GROUND'a baglanmasi gerekir. Bu bacakta olusan gurultu sinyali negatif bir sekilde etkiler.

## **Driver katlari ( 2 \* BFG97 )**

Driver veya diger adi ile “surucu” katlari BFG97 tipi transistorunden olusmaktadır. Buffer’dan cikan sinyal cikis katini surebilmek icin yeterli degildir. Bu isi sadece bir transistor ile yapabiliriz, bunun tabii kotu bir tarafi var. Tek transistorlu surucu kullanabilmek icin o katin sinyal yukseltme oranini cok yuksek olmasi gerekmektedir. Bu tur katlar asiri sekilde sinyal gucestirdigi icin amplifikator gorevinden cikip osilator gorevi yapmaya baslarlar. Vericilerde bu tur olaylardan kacinmamiz lazim. Osilasyonu engellemek icin surucu katinin yukseltme oranini azaltip ve negatif geri besleme kullaniriz.

Devreye baktiginizda iki tane surucu transistoru goreceksiniz, birinci transistor ile sinyal belirli bir seviyeye kadar yukseltiyor, ikinci transistor ise az yukseltiyor cunki negatif geri beslemesi vardir, emitter direnci bu gorevi yapmaktadır. Suruculardan cikan sinyalin gucu  $\approx 250\text{mW}$  ‘tir. Transistorlerin sogutulmasi gerek ! transistorun kollektorunu PCB’e lehim yapildiginda sogutma sorunu cozulmus olur. Lehim yatiginiz bolumu GROUND’dan ayirmanız lazim.

Burada BFG97 tipi transistor kullanmamin nedeni sudur:

- kollektor akimi yuksek, 100mA
- Power dissipation 1W,  $U_{ce} = 10\text{V}$
- Liniyer ozellige sahip ve  $f_T = 5\text{GHz}$

Bu transistor genelde kablo amplifikatorlerinde kullanilir. Eger bulamazsaniz buna benze birtanesini almaya calisin. 2N2219 gibi transistorlerle ugrasmayin !!!! (cogu devrelerde kullaniliyor, bu RF transistoru degildir! )

## **Power driver ( 2SC2538 )**

Bu son surucu katini Power driver olarak adlandirdim cunku diger katlara bakarak daha fazla guc veriyor. Girisinde olan  $\approx 250\text{mW}$  ile temiz bir 1 Watt’lik cikis yapabiliyor. Bu transistor esasında 1,5 Watt’da verme imkani var, ama o zaman omru kisaliyor. Transistor devreye takilmeden once uygun bir sogutucuya montaj yapilmasi lazim. En basit yolu kendiniz kucuk bir alüminyum profil kesip ve bir kucuk kelepce ile transistoru sogutucuya monta etmenizdir. Bunu yapmazsaniz kısa bir sure sonra transistor size elveda diyecektir ☺

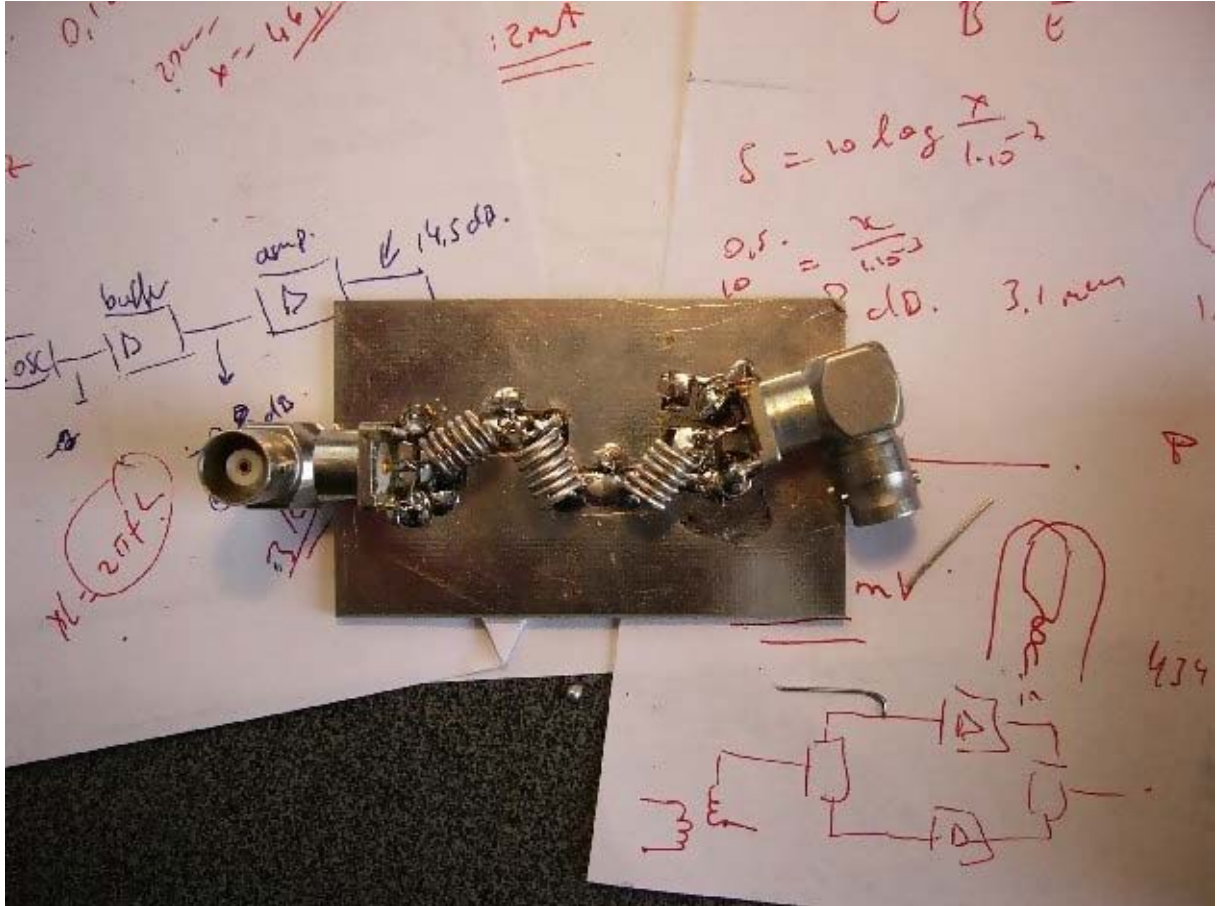
Eger elinizde buna benzer transistor varsa onu kullanabilirsiniz. Cikis gucu biraz falza veya az olabilir. Mumkun oldukca giris ve cikista bulunan bobinler birbirine uzak bir sekilde montaj yapilmasi gerek, aksi takdirde osilator yapmis olursunuz. Bu devrenin girisinde ve cikisinda bulunan bobin ve trim kondensatorleri matching gorevi yapar. Bunlarin ayarini sonra anlatacagim.



## Low Pass filter

Her verici kendi urettigi frekansdan haric harmoniklerde uretir. Bu harmonik frekanslar cogu zaman baska vericilerin / alicilarin frekanslarina denk gelir. Bunu engellemek icin yuksek frekanslari bastiran bir filtre gerekmektedir, diger adiyla Low Pass Filter. Bu filtreyi istediginiz gibi yapabilirsiniz, piyasada cesitli modeller ve formuller mevcuttur. Buradaki kullandigimiz filterenin ozellikleri sunlardir:

Filtre tipi : Low Pass, 7<sup>th</sup> order Chebyshev  
Giris-Cikis empedans : 50  $\Omega$   
- 3dB : 120MHz  
Insertion loss : 0,85 dB max.  
2'nci harmonik : - 50dBc  
Yuksek harmonikler : < -60dBc



Sekil-3 Low pass filter

Fotoya baktiginizda sadece bobinleri gorebiliyorsunuz, kondensatorler SMD tipi oldugundan gorulmuyor. Filtre yapiminda kullandiginiz kondensatorler en azindan 50V'a dayanikli olmasi lazim. Eger trim kondensatorleri kullaniyorsaniz, peteklerin arasindaki isolasyona dikkat edin, mumkunse acik olanlari kullanin, yani isolasyon yok. Bu tip kondensatorlerde isolasyon

gorevini hava yapıyor bu nedenle diger kondensatorlerdeki gibi isinma veya erime olusmaz. Hem bu tur trimmerlerin kayiplarida cok dusuktur. Govdeleri seramiktir ve normal kondensatorlerden buyuk yapilidirlar. Verici bolumunde plastik trim kondensatorleri kullandim cunki bunlar 2...3 Watt'a kadar dayaniklidir.

Bu filtreyi vericimizin cikisina taktigimiz zaman butun harmonikler en azindan 50dB ile bastiriliyor. Ozelliklerini belirtirken bu parametre –50dBc olarak verildi, bu demektirki tasiyici frekansini referans olarak alirsak ve bu sinyal 0dB ise, o zaman ikinci harmonik 50dB bastirilmistir. Insertion loss ise filtreyi taktimizda kayip ettigimiz sinyal oranidir. Eger biraz ozen gosterirsek bu kayip 0,5 dB'den bile kucuk olabilir.

Filtrenin devresini ekler bolumunde semada cizilmis olarak bulabilirsiniz, bobinlerin yapimi ve frekans karakteristikkleride ekler bolumundedir.

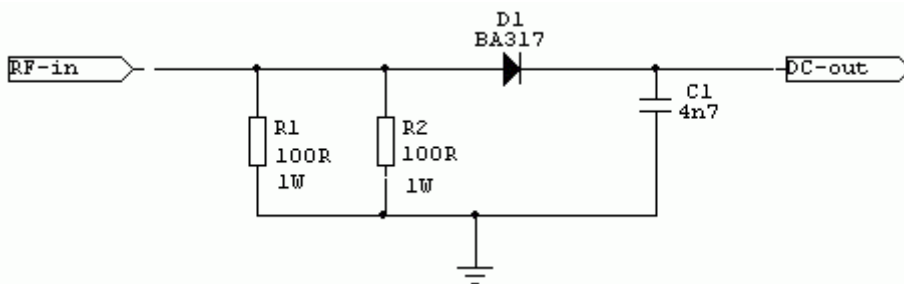
### **Cikis katinin ayari**

Vericiyi antenne takmadan once cikis katinin ayarlanmasi gerek. Bu ayari Low pass Filter takilarak yapıyoruz . Ayar icin gereken seyler:

- trim tool, plastik tornavida
- 50  $\Omega$  dummy load ve RF detector
- Analog veya dijital voltmetre
- Ampermetre

Cikis katinin ayarina baslamadan once diger katlarin calisip calismadigini kontrol etmemiz gerek. Zaten bu tur projelerde her kat tek tek yapilip test edilir. Bunun testi cok basittir. VCO kati yapildiginda basit bir radyo ile 88MHz ve 108 MHz'de dinleme yaparsiniz. Eger VCO calisiyorsa radyodaki gurultu azalir, boylece VCO'nun calistigini ve FM bandinin minimum, maksimum frekanslarinada ulasabildigi denenmis olur.

Simdi geldi cikis katina, elinizde 50  $\Omega$  dummy (yuk) ve RF detector yoksa , o zaman hemen birtane yapmanız gerek.



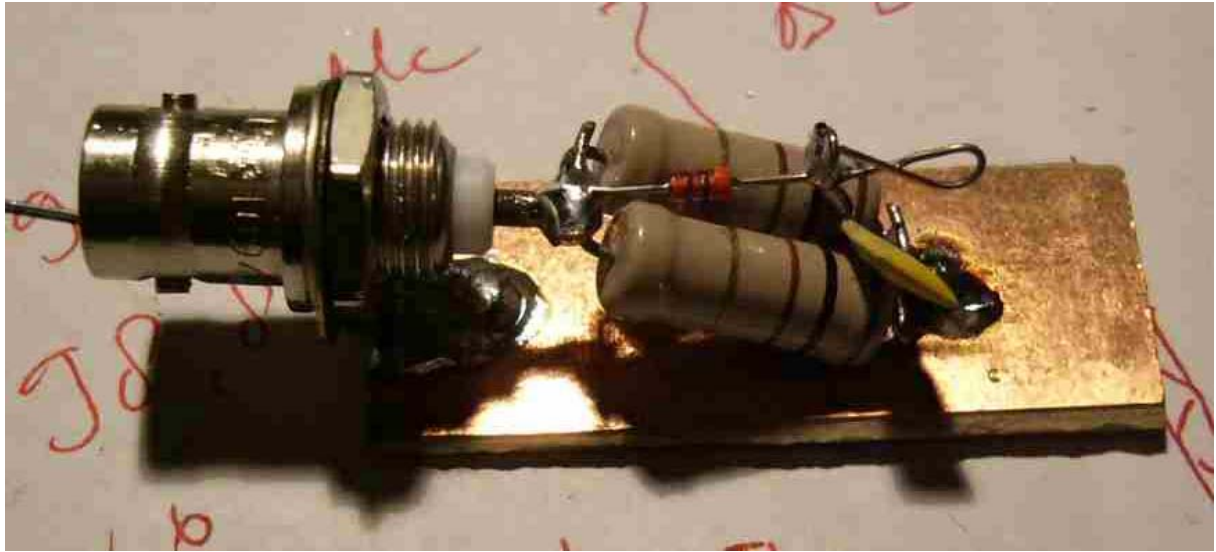
**Sekil-4 Dummy load ve RF-detector devresi**

Sekil-4'deki devre basit bir ayar icin yeterlidir. DC-out tarafina voltmetreyi takiyoruz, RF-in tarafi ise vericinin cikisina takiliyor. Cikis katinda bulunan butun trim kondensatorlerini en kucuk ayarina getiriyoruz. Voltmetre ve Ampermetre ile besleme voltajini 12V olarak ayarlamamız gerek. Ampermetre ile devrenin cektigi akimi gozetlemeniz lazim. Simdi RF detektor devresini anten yerine takiyoruz ve bunun DC-out'una Voltmetremiz geliyor. Voltmetre DC ayarinda duracak. Simdi vericinin frekansini 108MHz getirip cikis tarafinda bulunan trimer kondensatorlerini ( C26, C15 ) plastik tornavida ile cevirecegiz, bu arada

akimida gozden kacirmamak lazim, **akim 400mA civarinda olacak**. Eger akim 500mA gibi bir deger aldigi anda bilinki cikis kati osilasyon yapiyor veya baska bir yanlis var. **Ayar yaparken mumkun oldugu kadar RF detektorunun cikisinda olctugumuz gerilim yuksek olmalı**. Ayni ayari giriste bulunan iki trim kondensatorleriyle de ( C13, C14 ) yapiyoruz, akim yine ayni buyuklukte olmasi gerek, gerilim ise maksimuma ayarlanmasi lazim. Biraz ugrastiktan sonra farkina varacaksiniz, artik gerilim yukselmiyor ve akim 400mA’de sabit duruyor. RF-detektorun cikisinda belirli buyuklukte bir gerilim olctunuz, bunu asagidakiformul ile Watt’a cevirebilirsiniz.

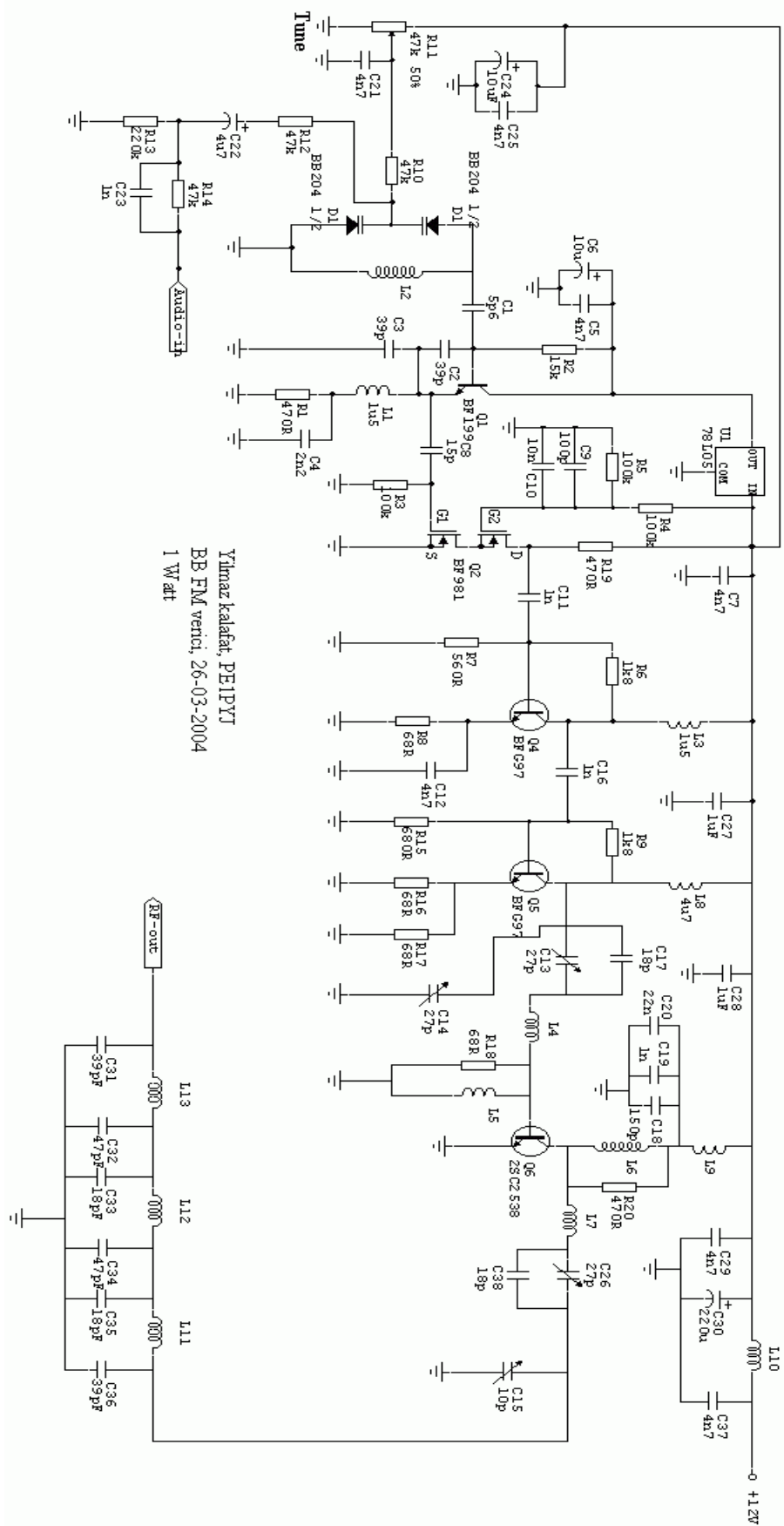
$$P(Watt) = \frac{\left( \frac{U_{peak}}{\sqrt{2}} \right)^2}{50}$$

Voltmetere ile Upeak degerini olcuyoruz, formul ile bunu  $U_{RMS}$  cevirdikten sonra devrenin kac Watt cikis yaptigini hesapliyoruz. Bu method amator kullanisi icin yeterlidir. Gercek bir power metresi ile karsilastirildiginda bir kac milliWatt farkli gosterir. Bizim yatigimiz devre uzay teknolojisi olmadigi icin ☺ o birkac milli Watt’i unutabiliriz. Rf-detektoru kucuk degerli, yani 100mW’dan kucuk, sinyali yanlis olcer, cok guclu sinyalleri olcmeye de problem yaratir cunki diyotun reverse voltaji yeterli olmayabilir. Normalde 10Watt’a kadar problemsiz olcer, daha yuksegi icin baska method veya iyi bir RF diyotu kulanmaniz lazim.



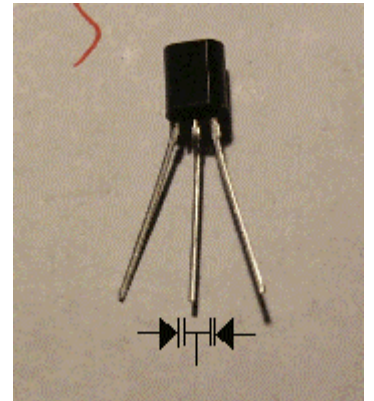
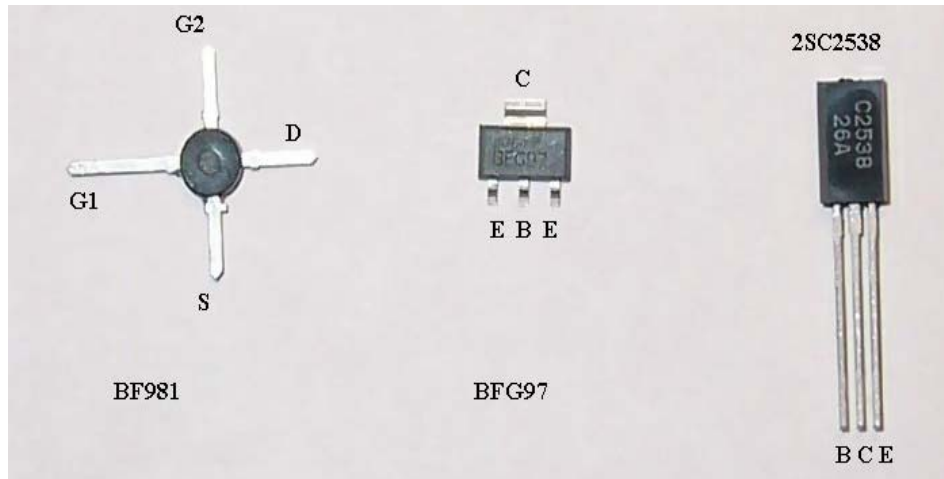
Sekil-5 RF-detektorunun gorunusu

B<sup>2</sup> FM verici devresi



Ekler bolumu

### Transistor bacak baglantilari



BB204 Varikap

### 2SC2538 sogutu montaji



## **Bobinler**

- L1 : 1u5 hazır bobin
- L2 : **4,5 tur – 1mm – 6,5mm** ( tur arasi 1mm bosluk )
- L3 : 1u5 hazır bobin
- L4 : **2,5 tur – 1mm – 6,5mm** ( tur arasi 1 mm bosluk )
- L5 : 10K / 0,5W direnc uzerine 40 tur 0,1mm isolasyonlu bakir tel
- L6 : **7 tur – 1mm – 6,5mm** ( bosluksuz sarilmasi gerek)
- L7 : **4 tur – 1mm – 6,5mm** ( tur arasi 1mm bosluk)
- L8 : 4u7 hazır bobin
- L9 : **10 tur – 0,4mm – 3,5mm** ( isolasyonlu tel, bosluksuz)
- L10 : Hazir RF-choke bobini
- L11 : **5,5 tur – 1mm – 4,5mm** ( tur arasi 0,5 mm bosluk)
- L12 : **5,5 tur – 1mm – 5mm** ( tur arasi 0,5mm bosluk)
- L13 : **5,5 tur – 1mm – 4,5mm** ( tur arasi 0,5 mm bosluk)

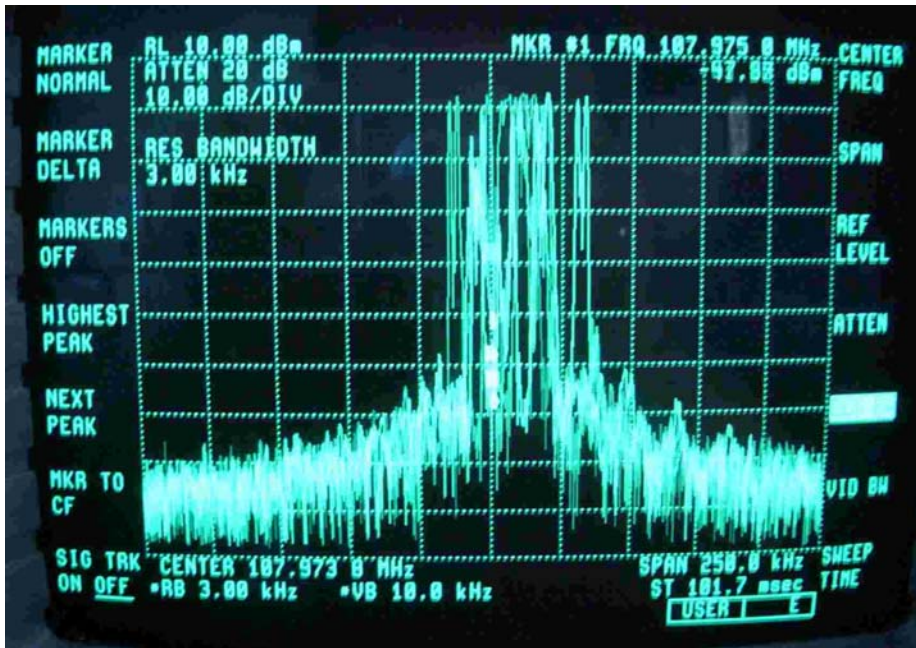




## Spectrum analyzer yardimi ile deviation (kayma) ayari

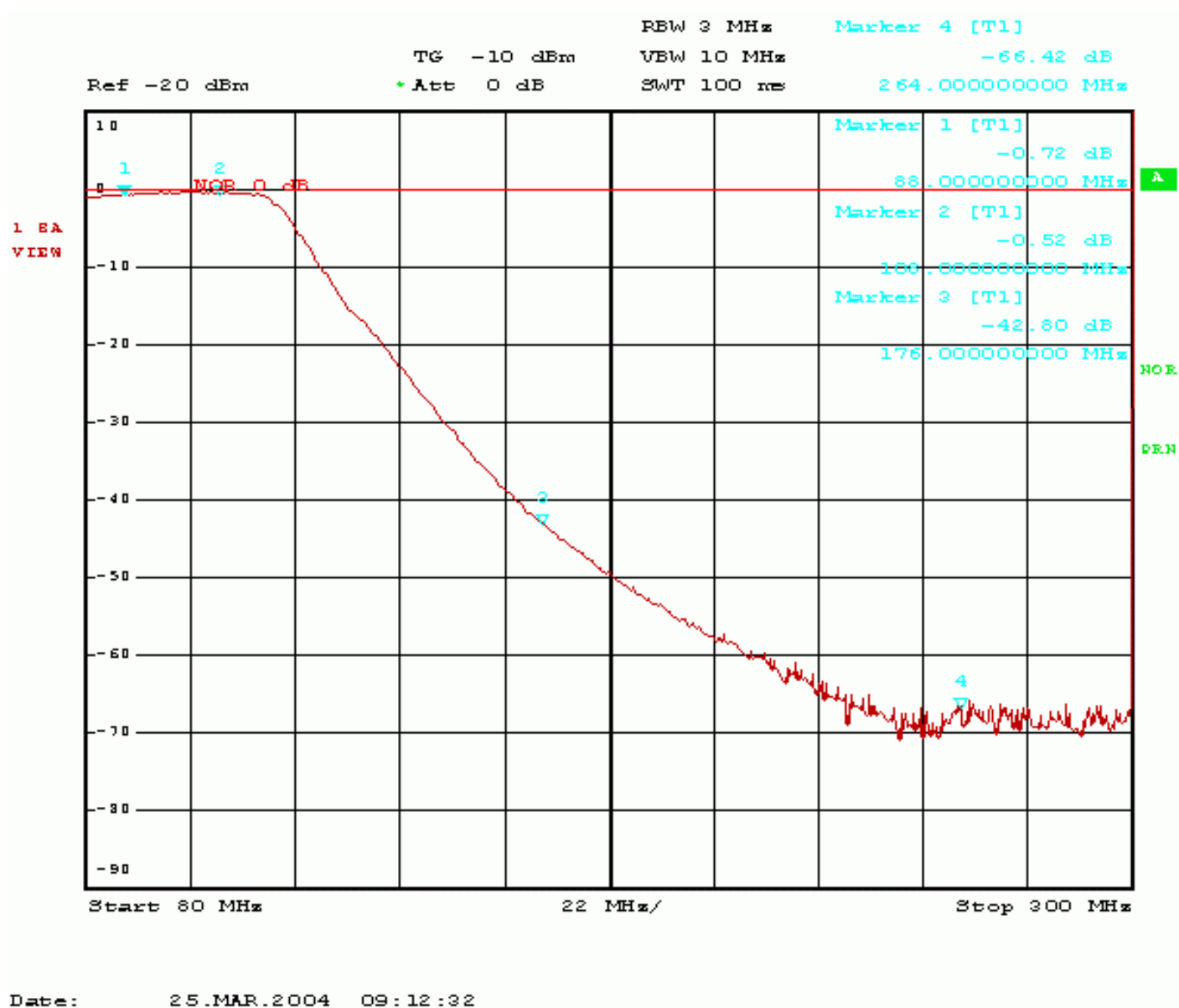


Bir sinyal jeneratörü kullanarak ve Spectrum analyzer yardımı ile deviation ayarı yapılır. Ekranda görebildiğiniz gibi SPAN 250KHz, her bir kare 25KHz temsil ediyor. FM için geçerli olan maksimum deviation 75KHz, bunu band genişliğine çevirirsek  $2 \times 75\text{KHz}$  olur. Sizin için bu ölçümleri yaptım, gereken deviation 200mVpp ( Volt-peak-peak) ile elde ediliyor. Bu demektir ki audio girişindeki sinyalin gerilimi buna eşit olması lazım. Gerilim yükselirse alıcı tarafında ses bozulur. Yukarıdaki foto 6 KHz'lik bir sinyalin FM şeklini göstermektedir.



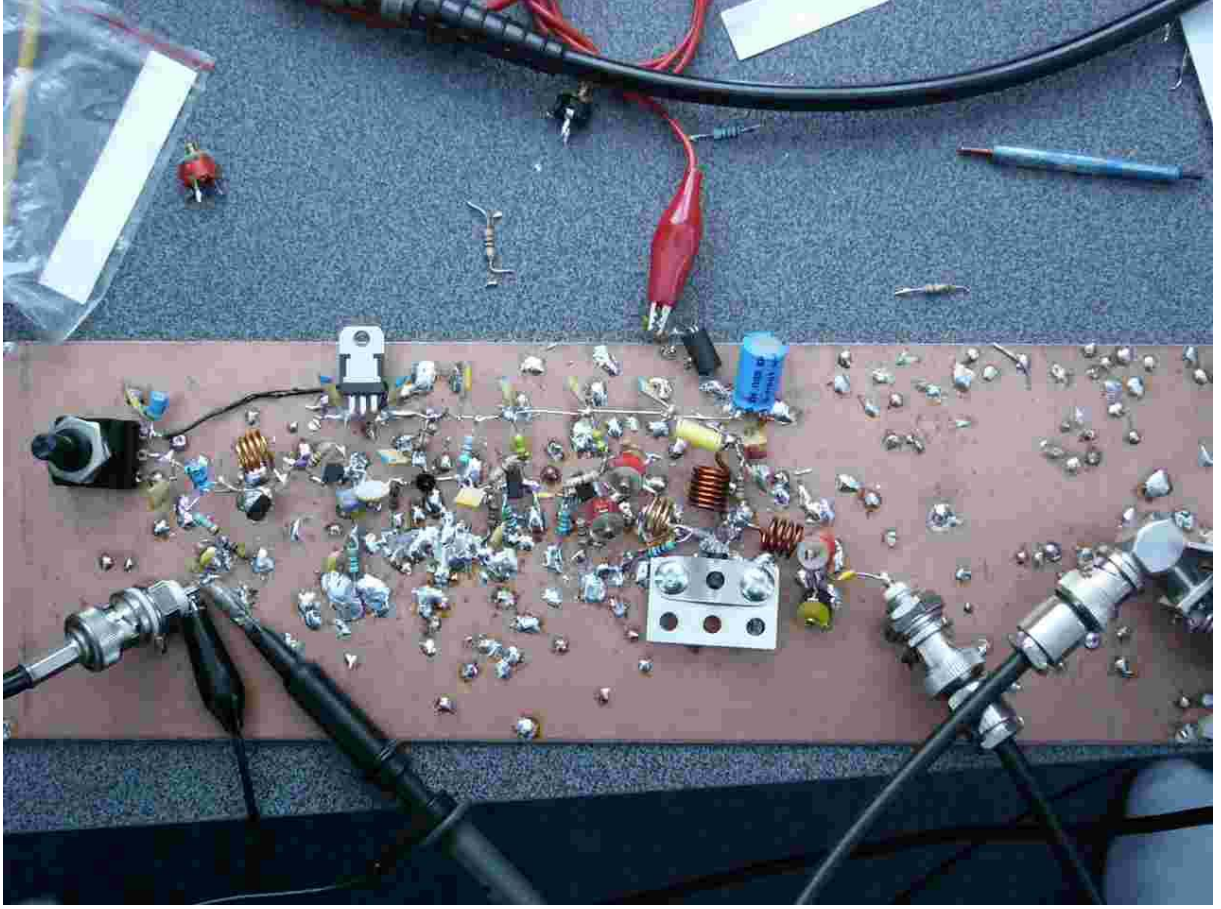
Muzik yayınlandığında FM sinyalinin görünüşü

## Low pass filter karakteristigi





## Devrenin test ve kurulus fotolari



## Cikis kati

