

## PARALEL LRC DEVRESİNDE RADYO-FREKANS (RF) METODU İLE KAYIP DİRENÇLERİNİN İNCELENMESİ

Yılmaz GÜNEY, Hülya AKÇAKAYA

**Özet** – Bu çalışma, farklı geometrik özellikler taşıyan bobinlerle deneyler yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bir paralel LRC devresi oluşturulmuş ve bu devre ile radyo-frekanslarda gözlem ve ölçümler yapılmış, literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler** – Paralel LRC Devresi , Rezonans Frekansı, Kayıp Direnci.

**Abstract** – This study has been performed by doing experiments on the coils with different geometrical properties. A parallel LRC circuit was prepared, some observations and measurements at radio frequencies were made with this circuit and then the results were compared with the existing literature.

**Key Words** – Parallel LRC Circuit, Resonance Frequency, Loss Resistance.

### I. GİRİŞ

Hem bobinlerin hem de kondansatörlerin kullanıldıkları devreler özel karakteristiklere sahiptir. Bu devrelerde rezonanslar oluşturulabilir. Bunların kendilerine göre özellikleri vardır. Bir rezonans devresinin oluşabilmesi için R (direnç), L (indüktans) ve C (sığa) değerlerine ve devrenin frekansına bağlı olarak değişir. Bu çalışmada yedi farklı geometrik özelliğe sahip bobin sarılmış ve bu bobinlerle deneyler yapılmıştır.

Çalışmamızda radyo-frekans (RF) rezonans yöntemleri kullanılarak gözlem ve ölçümler yapılmış ve literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Gerek sığasal, gerek bobinsel olarak yapılan çalışmaların tam olarak belirlenememesi bu konuda bir boşluk ortaya çıkarmaktadır. [1,2,3] Bu çalışma, hedeflenen kapsam içerisinde ve literatürde yeterli gözükmeyen hususları önemli ölçüde doldurmuştur.

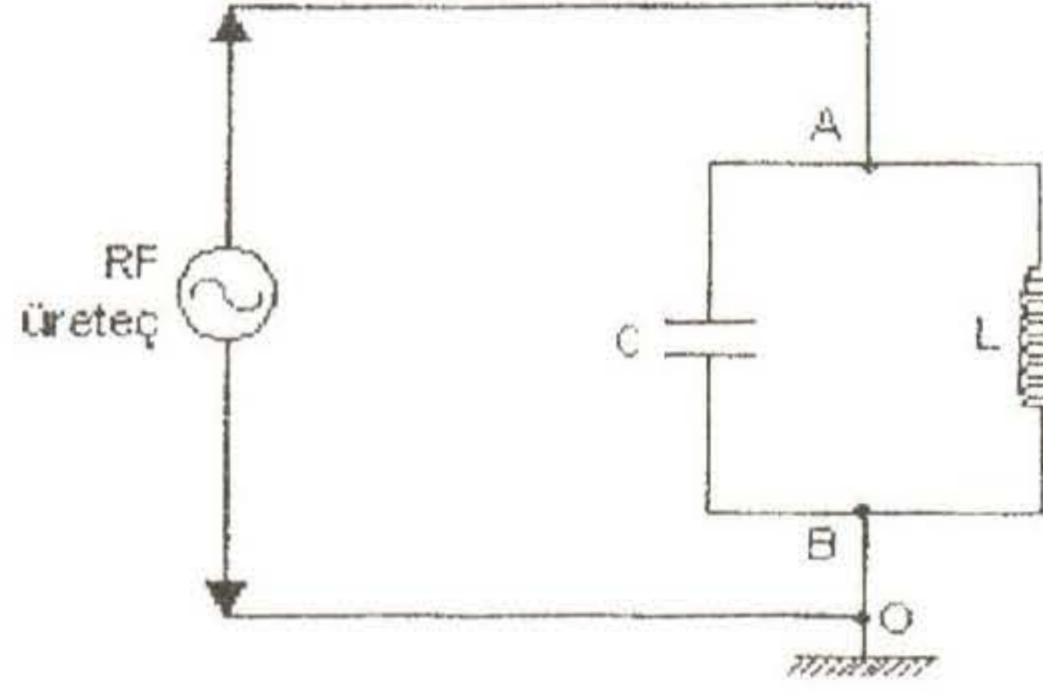
### II. LRC REZONANS DEVRELERİ

Bobin ve kondansatör elemanları içeren bir devrede genellikle iki tür rezonans devresi oluşturulabilmektedir. Seri rezonans devresi olarak adlandırılan bobin, kondansatör ve üreteçten oluşan devrenin karakteristik davranışı üreteç frekansının devrenin doğal titreşim frekansına eşit olduğu durum için, empedans minimuma inmekte ve devredeki akım da maksimuma çıkmaktadır. Bu tür devrelerde yüksek rezonans kalitesi sağlayabilmek için devre direncinin ve devrenin bir parçası olan üreteç iç direncinin olabildiğince küçük tutulması gereklidir. [2] Deneysel olarak seri rezonans devresi oluşturulmasının zorlukları yanında paralel rezonans devresi belirli amaçlar için daha kolay gözlem ve ölçüm olanağı sağlamaktadır.

Tüm titreşim ve rezonans devreleri ne kadar ideal olursa olsun sonsuz kalite faktörüne sahip değildir. Bu bakımdan ister seri, ister paralel rezonans devresi olsun rezonans dışı titreşimlerde ve rezonans durumunda belirli oranda enerji kaybı oluşmaktadır. Kayıpsız bir paralel LRC devresi pratikte mümkün olmamasına rağmen biz öncelikle kayıpsız olduğu varsayılan bir LC devresinin rezonans koşulunu inceleyip rezonans frekansını ve empedansını belirledikten sonra gerçek kayıplı bir devrede rezonansın tanımını yaparak, rezonans frekansını, kayıp direncini ve rezonans empedansını belirleyeceğiz.

## II.1. Paralel LC Rezonans Devresi (Kayıpsız Devre)

Bu çalışmada deney sisteminin ve ölçme hücresinin temel elemanı olan paralel LRC devresinin yeterli bir analizini yapabilmek için, öncelikle kayıp içermeyen şekil 1 deki LC devresinin rezonans koşulu tanımlanacaktır.



Şekil 1. Kayıpsız LC paralel rezonans devresi

Bu kayıpsız paralel LC devresi, paralel bağlanmış saf indüktans ve kapasitanstan oluşmaktadır. Bu paralel devrenin empedansı  $Z_{AB}$ , indüktans ve kapasitanstan oluşan paralel devrenin empedansıdır. Buna göre,

$$\frac{1}{Z_{AB}} = \frac{1}{X_L} + \frac{1}{X_C} \quad (2.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $X_L = j\omega L$  ve  $X_C = 1/j\omega C$  değerleriyle tanımlanmakta olup;  $j = \sqrt{-1}$  dir. Bu devrenin admitansı A ise,

$$A \equiv \frac{1}{Z_{AB}} = \frac{1}{j\omega L} + j\omega C \quad (2.2)$$

olarak tanımlanmaktadır. Bu şartlarda empedans,

$$Z_{AB} = \frac{1}{A} = \frac{\omega L}{j(\omega^2 LC - 1)} = -j \frac{\omega L}{\omega^2 LC - 1} \quad (2.3)$$

olarak bulunur. Empedansın mutlak değeri ise;

$$|Z_{AB}| = \frac{\omega L}{\omega^2 LC - 1} \quad (2.4)$$

dir.  $Z_{AB}$  empedansı  $\omega$  ya bağlı olup  $\omega^2 LC - 1 = 0$  durumu için, empedansın sonsuz olduğu görülmektedir.  $i = V_{AB} / Z_{AB}$  bağıntısına göre rezonans durumunda paralel devreden geçen akım sıfırdır. Empedansın sonsuz olduğu  $\omega^2 LC - 1 = 0$  koşulu, devrenin rezonans durumu olarak tanımlanır ve bu durumda rezonans frekansı  $\omega_0$ ,

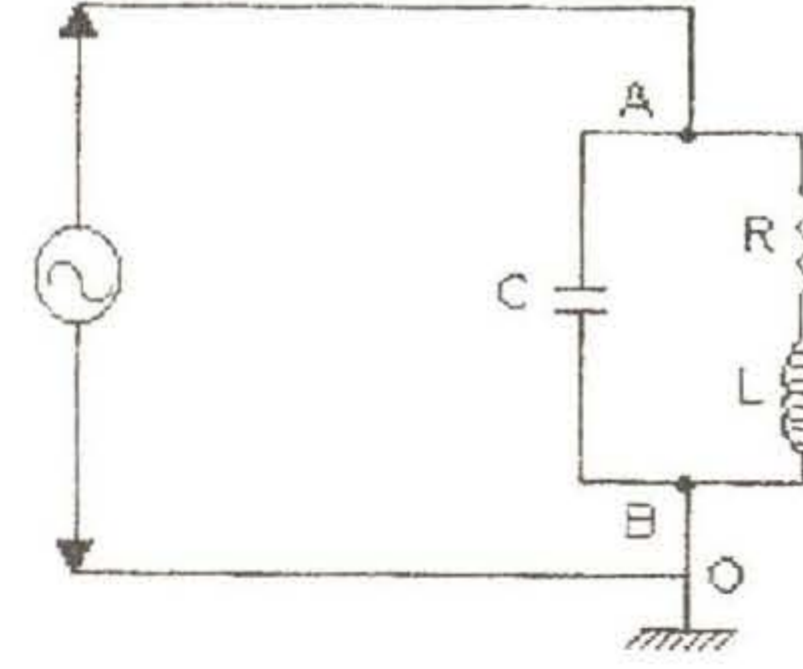
$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \quad (2.5)$$

bağıntısı ile hesaplanır ( $\omega \equiv 2\pi F$ ).

Gerçek bir fiziksel LC devresinde az veya çok bir enerji kaybı söz konusu olduğundan şekil 1 deki devre ancak ideal bir durumu göstermekte olup, paralel devredeki kayıpları gösterebilmek için genellikle bobin kolunda bir direncin bulunduğunu kabul etmek yararlı olmaktadır. Bu direnç, bobin tellerinin ohmik direncini içerdiği gibi, tüm devredeki bağlantı tellerinin dirençlerini, bizim çalıştığımız örnekteki gibi RF ışımasını, sistem çevresindeki dielektrik ortama aktarılan enerjiyi ve kesin olarak tanımlanamayan başka tür enerji kayıplarına karşılık gelen toplam direnci ifade etmektedir. [4] Devrenin kondansatör kolundaki bir kayıp da belirli koşullar altında ( $R \ll \omega L$ ) bobine seri bağlı bir dirençle gösterilebilir.

## II.2. Paralel LRC Rezonans Devresi (Kayıplı Devre)

Kayıplı bir paralel rezonans devresi şekil 2 deki gibi gösterilebilir.



Şekil 2. Kayıplı paralel LRC rezonans devresi

Şekildeki devrede empedans  $Z_{AB}$  ve admitans A ise;

$$\frac{1}{Z_{AB}} = \frac{1}{R + j\omega L} + j\omega C \quad (2.6)$$

$$A \equiv \frac{1}{Z_{AB}} = \frac{R}{R^2 + \omega^2 L^2} + j \frac{\omega(\omega^2 L^2 C + R^2 C - L)}{R^2 + \omega^2 L^2} \quad (2.7)$$

eşitlikleri verilebilir. A (veya  $Z_{AB}$ ) nın reel olması için  $\text{Im}A = 0$  koşulunun sağlanması gerekmektedir. Bu durumda,

$$\omega^2 = \frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2} \equiv \omega_0^2 - \frac{R^2}{L^2} \quad (2.8)$$

elde edilir. Burada  $\omega$  değerine devrenin rezonans frekansı denmektedir. (2.8) in (2.7) bağıntısında kullanılmasıyla devre empedansı için,

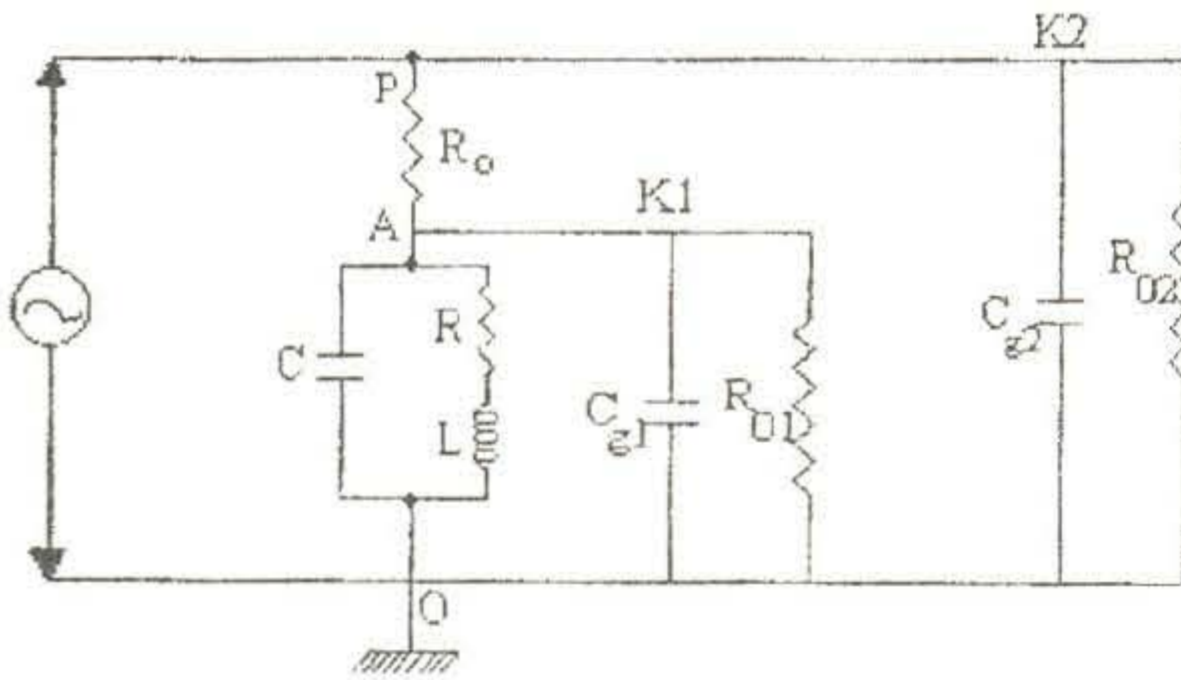
$$Z_{AB} = \frac{R^2 + \omega^2 L^2}{R} \equiv \frac{L^2 \omega_0^2}{R} \quad (2.9)$$

bağıntısı elde edilir.

### III. LRC DEVRESİNDE GÖZLEMLER VE GÖZLEM ARAÇLARININ SİSTEM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

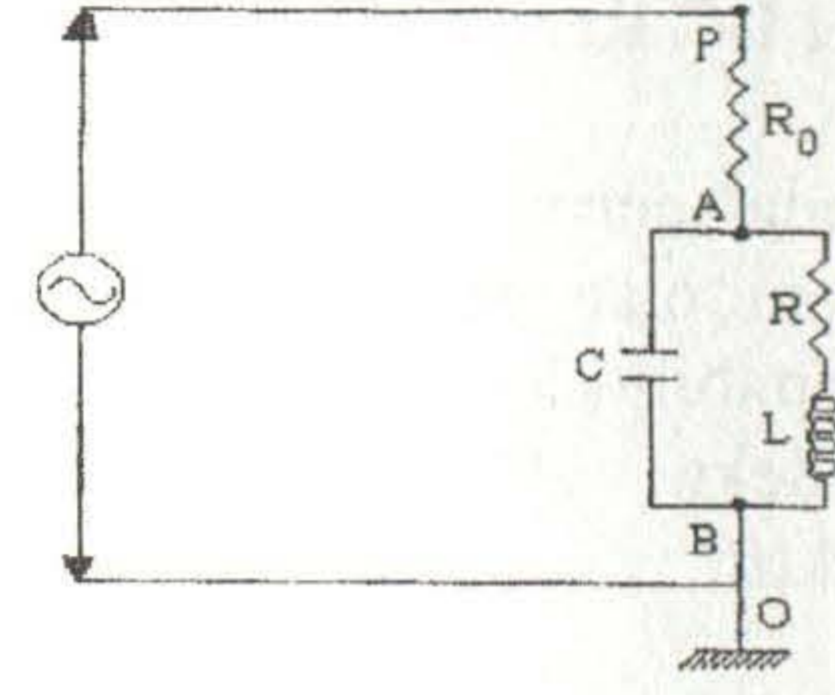
Bir RF üretici ile beslenen bir paralel LRC devresinde rezonansın gözlenmesi değişik yöntemlerle yapılabilir. Ancak gözlem aracı olarak çift kanallı bir osiloskobun kullanılmasıyla osilatör çıkışının ve paralel devre titreşim genliğinin gözlenmesi rezonansa ulaşıp ulaşılamadığını izlemeyi kolaylaştıracaktır.

Bu yöntemle rezonans gözlemi yapılabilmesi için paralel LRC devresi ile RF üretici arasında seri bir direnç bulunmalıdır.  $R_0$  olarak adlandırdığımız bu direncin seçimi LRC rezonans devresinin davranışı üzerinde de etkili olabilmektedir. Şekil 3 de, üzerinde çift kanallı bir osiloskopa gözlemler yapılabilen bir paralel LRC devresi gösterilmektedir.



Şekil 3. Çift kanallı bir osiloskopa, RF üretici (osilatör) nin, bir paralel LRC rezonans devresi

Osilatör çıkışını gözlemleyen 2 nolu K2 kanalı titreşim devresinde  $R_0$  direnci ile ayrıldığından, bu kanalın titreşim devresi üzerinde dikkate değer bir etki yaratmadığı söylenebilir. K1 kanalı ise doğrudan titreşim devresine bağlı olduğu için, devrenin değişik parametrelerini etkilemekte ve titreşim koşulları değişmektedir. Bu bakımdan gözlem osiloskobunun devrede bulunmadığı durumdaki titreşim özellikleri ile osiloskop varlığındaki titreşim özellikleri önemli ölçüde farklıdır. Gözlem osiloskobunun devre üzerindeki etkileri ile birlikte şekil 3 devresi aşağıda gösterildiği gibi basitleştirilerek şekil 4 haline getirilebilir.



Şekil 4. Şekil 3 ün özdeşi olan paralel LRC rezonans temel devresi

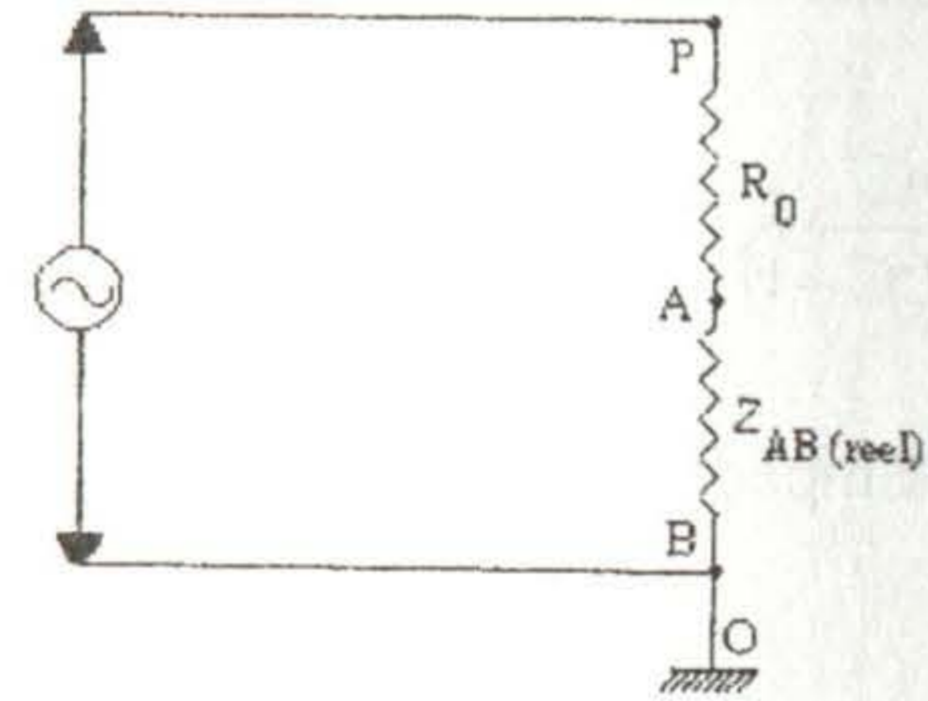
Şekil 4 deki devre parametreleri gerçekte ayrı devre elemanları olmayıp, hem gözlem sisteminin, hem bağlantı tellerinin, hem de kesin olarak tanımlanamayan başka etkenlerin katkılarına içermektedir.

Ölçme hücresi olarak kullandığımız solenoidal titreşim bobini içerisine herhangi bir maddesel ortam yerleştirilmeden (boş devre) devre özelliklerinin incelenmesinde kullandığımız şekil 4 devresi, LRC titreşim devresinde devre empedansı, devre direnci ve kalite faktörünün devre parametreleriyle nasıl değiştiğini araştırmada, temel devre olarak kullanılmıştır.

#### III.1. Paralel LRC Devresinde Rezonans Empedansının Ölçülmesi ve Rezonans Frekansı

Paralel LRC devresinde rezonans koşulunu belirleyen bir kriter, (2.7) eşitliğindeki admitans için  $\text{Im}A = 0$  olmasıdır. Bu rezonans koşulu titreşim devresi empedansının da reel olduğunu göstermektedir.

Şekil 4 de; A, B arasında empedansın reel olması, devrenin şekil 5 de gösterildiği gibi çizilmesine olanak verir.



Şekil 5. Paralel LRC devresinin rezonans durumunda empedans reeldir. [ $Z_{AB}(\text{reel})$ ]

Üretecin herhangi bir anda P noktasında oluşturduğu gerilim  $V_P$  ise, devreden geçen akım,

$$i = \frac{V_P}{R_0 + Z_{AB}} = \frac{V_A}{Z_{AB}} \quad (2.10)$$

yazılabilir. Bu bağıntıdan,

$$Z_{AB} = \frac{V_A}{V_P - V_A} R_0 \quad (2.11)$$

elde edilir. Bu bağıntıda;  $V_P$ ,  $V_A$  ve  $R_0$  parametreleri deneysel olarak ölçülen ve bilinen değerler olduğu için herhangi bir frekanstaki, bu rezonans koşulunda ( $\text{Im}A = 0$ ) rezonans empedansı, deneysel olarak belirlenebilmektedir.

(2.9) bağıntısında verilen rezonans empedansı, (2.11) bağıntısı ile bulunan değere eşit olmalıdır. Böylece,

$$Z_{AB} = \frac{V_A}{V_P - V_A} R_0 = \frac{R^2 + \omega^2 L^2}{R} = \frac{L^2 \omega_0^2}{R} \quad (2.12)$$

bağıntısı elde edilir. Yapılan deneylerde  $\omega$  rezonans frekansı ve çalışılan bobinin  $L$  indüktansı ölçülebildiğinden (2.12) bağıntısına göre,

$$Z_r = Z_{AB}(\text{deneysel}) = \frac{R^2 + \omega^2 L^2}{R} \quad (2.13)$$

dir. Burada  $R$  nin hesaplanması ikinci dereceden bir denklemi gerektirmektedir. (2.13) bağıntısından,

$$R^2 - Z_r R + \omega^2 L^2 = 0 \quad (2.14)$$

şeklinde yazılabilir. Deneysel parametreler olarak alınan  $L = 135,6 \times 10^{-6}$  H,  $\omega = 2\pi \times 2 \times 10^6$  Hz ve

$Z_r = 34,7$  k $\Omega$  ( $V_p = 5,20$  V,  $V_A = 4,00$  V ve  $R_0 = 10440$   $\Omega$ ) ölçüm değerleri ile yapılan çözümde  $R_1 = 83,638245$   $\Omega$  ve  $R_2 = 34716,36176$   $\Omega$  bulunmuş olup,  $R_1$  in fiziksel bir çözüm olduğu ve  $R_2$  nin ise fiziksel bir çözüm olamayacağı kanıtlanabilir. (Çünkü  $Z_r$  nin yaklaşık olarak kendisidir)

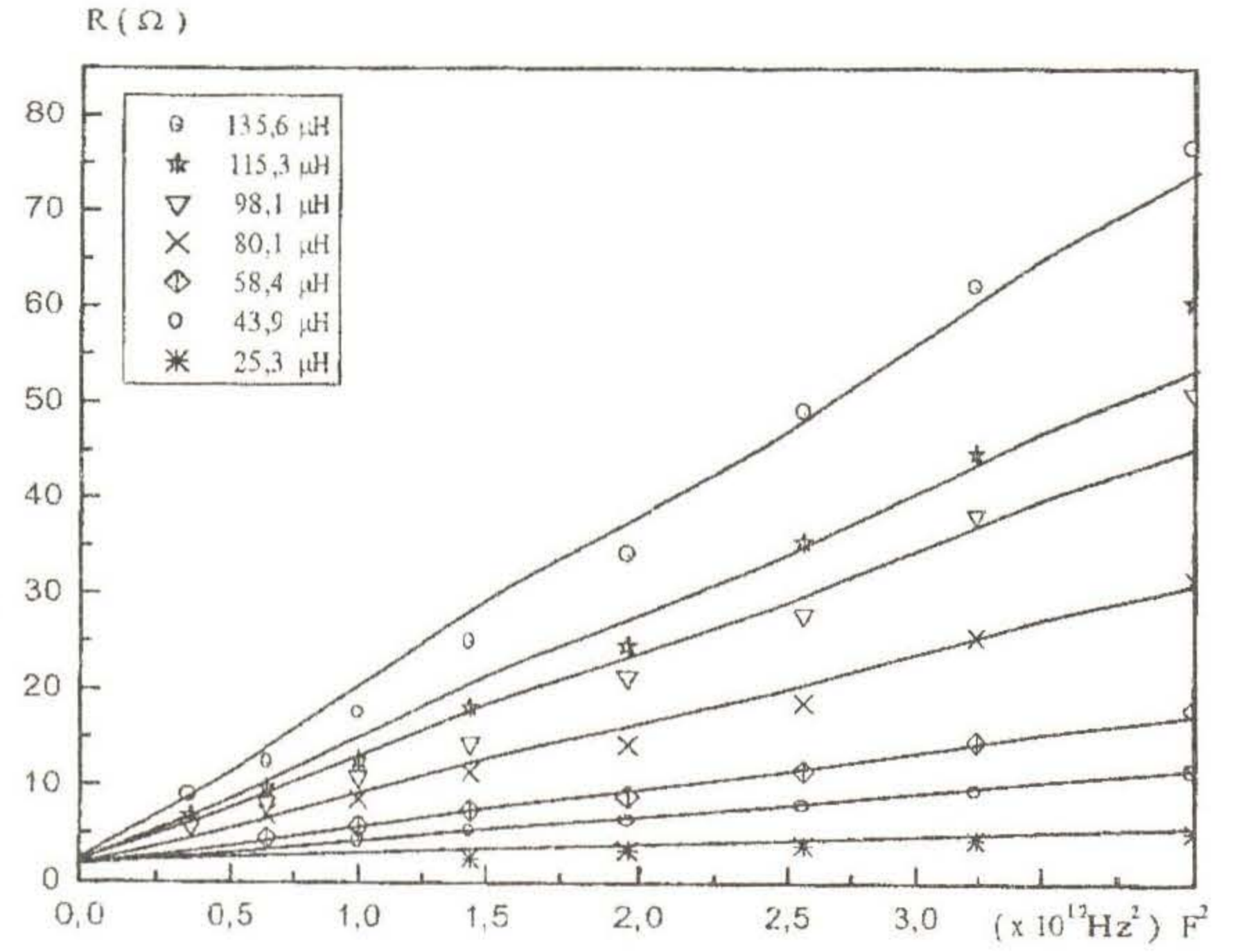
### III.2. Paralel Rezonans Devresi Kayıp Direnci

Şekil 4 de gösterilen paralel LRC devresinin rezonans durumunda (2.14) bağıntısı ile hesaplanan devre direnci, daha önce de belirtildiği gibi yalnızca bobin sarımlarının ve devredeki bağlantı tellerinin ohmik direnci olmayıp, rezonans devresindeki her tür enerji kaybına karşılık gelen bir dirençtir.

Değişik deney düzenekleri ve farklı rezonans frekanslarına karşılık gelen devre dirençleri hesaplanmış, bunlar tablolar ve şekillerle gösterilmiştir.

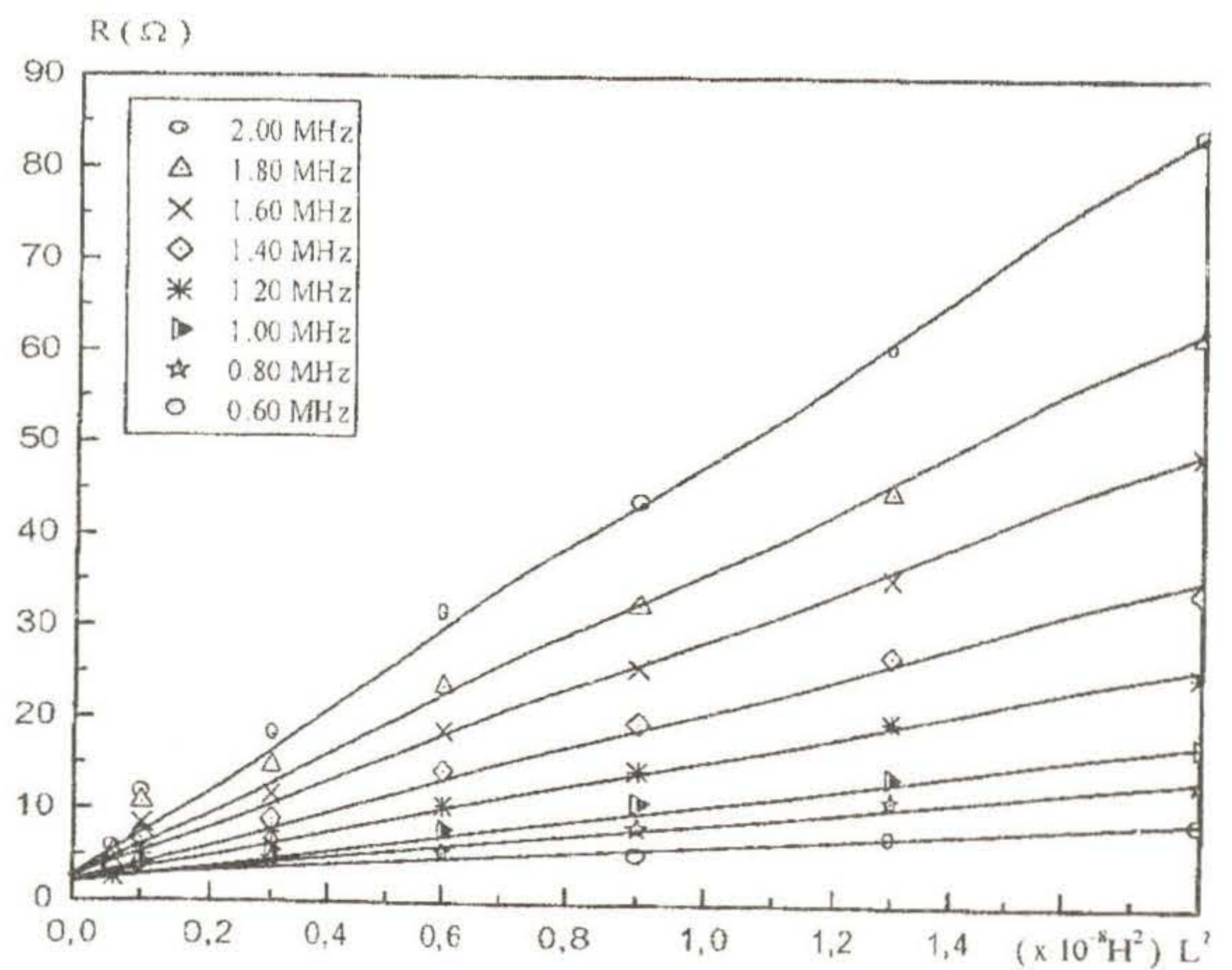
Şekil 6 da, rezonans devresi direncinin frekansla değişim şekilleri gösterilmiştir. Aynı boyda ( $l = 10,0 \pm 0,1$  cm) solenoidal özellikteki titreşim bobinlerinin kayıp direnci

üzerindeki etkisi bobin indüktansına bağlı olarak görülmekte ve indüktans büyüdükçe kayıp direnci büyümektedir. Direncin frekans kareye ( $R$ ,  $F^2$ ) göre değişiminin doğrusal ve doğru eğiminin indüktansla orantılı olması, frekansa bağlı kaybın kökeninin anlaşılmasında bir ipucu olarak daha sonra kullanılacaktır.



Şekil 6. Boyları eşit değişik indüktanslı bobinlerde, kayıp dirençlerinin frekans kareye göre değişimleri

Şekil 6 da frekansın sıfır limitinde kayıp direncinin birkaç ohm düzeyine indiği, fakat sıfır olmadığı görülmektedir. Bu limit direncin, devrenin ohmik direnci olduğu söylenebilir. Frekansa bağlı kayıp direnci, RF kaybının frekansla arttığını göstermektedir. Şekil 7, boyları eşit ( $l = 10,0 \pm 0,1$  cm) bobinlerin sekiz farklı frekansta; ( $R, L^2$ ) değişim şekillerini göstermektedir. Burada da indüktansın sıfır limitinde kayıp direncinin yine birkaç ohm düzeyine indiği, fakat sıfır olmadığı görülmektedir.



Şekil 7. Değişik frekanslarda, kayıp dirençlerinin indüktans kareye göre değişimleri (Boyları aynı bobinler)

Şekil 6 ve şekil 7 den yararlanılarak kayıp direnci,

$$R = kL^2F^2 + R_d \quad (2.15)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Genel olarak (2.15) bağıntısı ile ifade edilen boş devre kayıp direnci tek bir bobin için ( $L_0 =$  sabit olduğundan),

$$R = (kL_0^2)F^2 + R_d = k_L F^2 + R_d \quad (2.16)$$

şeklini alır.  $k_L \equiv kL_0^2 =$  sabit olduğundan ( $R, F^2$ ) doğrusal grafiğinin eğiminden  $k$  sabiti hesaplanır. Şekil 6 daki yedi ayrı  $L_0$  için hesaplanan  $k$  değerleri,

$$k = (1.3 \mp 0.4)10^{-3} \Omega s^2 H^{-2} (1/\Omega)$$

olup, bu  $k$  değerlerinin deney hataları içerisinde sabit kaldığı söylenebilir.

Aynı şekilde, (2.15) bağıntısı  $F_0 =$  sabit için,

$$R = (kF_0^2)L^2 + R_d = k_F L^2 + R_d \quad (2.17)$$

biçimde yazılabilir. Şekil 7 deki ( $R, L^2$ ) grafiklerini eğimlerinden yararlanılarak da,

$$k = (1.3 \mp 0.2)10^{-3} \Omega s^2 H^{-2} (1/\Omega)$$

hesaplanır.

(2.15) bağıntısındaki  $k$  sabitinin çalışma frekansına ve rezonans devresi indüktansına bağlı olmadığı, (2.16) ve (2.17) bağıntılarından hesaplanan  $k$  değerlerinin aynı olmasından anlaşılmaktadır.

### III.3. Kalite Faktörü ve Kayıp Faktörü

Bir titreşim devresinin kalite faktörü  $Q$ , genellikle;

$$Q = 2\pi \frac{\text{Maksimum Depolanan Enerji}}{\text{Bir Periyotta Harcanan Enerji}} \quad (2.18)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Bir titreşim devresi için (2.18) bağıntısı ile tanımlanan kalite faktörünün devrenin titreşim frekansı  $F(\omega)$ , titreşim bobini indüktansı  $L$  ve devre direnci  $R$  cinsinden,

$$Q = \frac{\omega L}{R} \quad (2.19)$$

olduğu gösterilebilir.

Titreşim devresinde depolanan maksimum enerji,  $W_{\max} = (1/2)Li_{\max}^2$  dir. Bu enerji bobininin magnetik alanı içerisinde depolanmakta olup, akım maksimum olduğunda depolu enerji de maksimum olmaktadır. Bir titreşim periyodu boyunca kaybolan enerji ise devre direnci olarak gösterilen ve aslında değişik bileşenler içeren  $R$  direncindeki ısı kaybı olarak düşünülebilir ve bu da  $W_{\text{kayıp}} = \int_0^T i^2 R dt$  bağıntısı ile hesaplanabilir.  $i = i_{\max} \sin \omega t$  alınır,  $W_{\text{kayıp}} = (1/2)i_{\max}^2 RT$  olarak hesaplanır.

Bu durumda (2.18) eşitliği için,

$$Q = 2\pi \frac{(1/2)Li_{\max}^2}{(1/2)RTi_{\max}^2} = \frac{2\pi L}{T R} = \frac{\omega L}{R}$$

sonucu bulunur ki, burada  $2\pi / T \equiv 2\pi F \equiv \omega$  özdeşliği göz önüne alınmıştır.

$Q = \omega L / R$  kalite faktörü, devre direnci ile doğrudan ilişkili olup, kayıp sız bir devre için  $R = 0$  olacağından kalite faktörü sonsuz olur. Gerçek fiziksel durumlar için değişik yollarla enerji kaybı varlığı nedeni ile  $R$  hiçbir zaman sıfır olmayıp, devrenin kalite faktörü sonlu bir değerdedir. Çalıştığımız titreşim devreleri için (2.19) bağıntısına göre hesaplanan kalite faktörleri 20-87 aralığında gözlenmektedir.

$\chi'' \equiv 1/Q$  birimsiz büyüklüğüne kayıp faktörü adı verilmekte, maddesel ortam içeren veya boş titreşim devreleri için kayıp faktörleri ölçülerek belirli işlemler sonucu yalnızca madde-RF alan arasındaki etkileşime ait kayıp faktörleri belirlenebilmektedir. Bu yolla madde-alan etkileşim daha sonraki bölümde ayrıntılarıyla işlenmekte ve etkileşim modelleri tartışılmaktadır.

### III.4. Paralel LRC Rezonans Devresine Seri Bağlı $R_0$ Direnci

Şekil 4 devresinde osilatör çıkışı  $V_p = V_{p0} \sin \omega t$  gerilimi rezonans olarak seçildiğinde  $A$  noktasında osiloskopa gözlenen  $V_A$  potansiyeli, gerek osilatör frekansı, gerek titreşim devresi değişken kondansatörü değiştirilerek, değiştirilebilir. Osilatör çıkış genliği  $V_{p0} =$  sabit olarak tutulmaktadır. Deneylerimizde osilatör frekansı da sabit bir değerde seçilip (Örneğin  $F_0 = 2.00 \pm 0.01$  MHz), ayar kondansatörünün sığası değiştirilerek titreşim devresindeki  $V_A$  geriliminin maksimum genliğe ulaşması sağlanmaktadır. Genel olarak  $V_A$  gerilimi için,

$$V_A = \frac{V_p}{R_0 + Z_{AB}} Z_{AB} \quad (2.20)$$

yazılabilir. Daha farklı bir ifade ile,

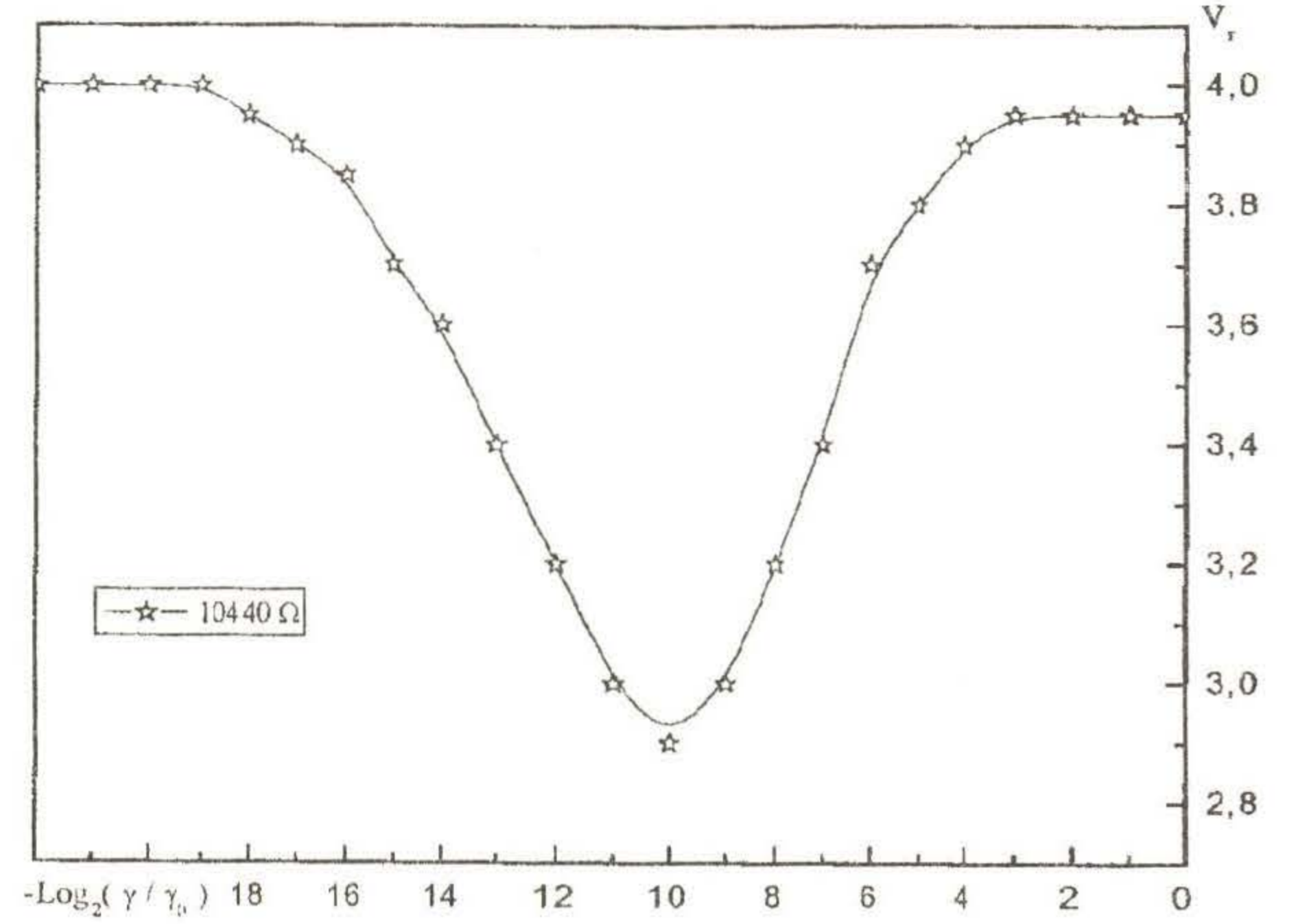
$$V_A = \frac{V_P}{1 + R_0/Z_{AB}} \quad (2.21)$$

yazılırsa, A noktasındaki titreşim genliğinin  $R_0 / Z_{AB}$  oranına bağlı olarak değiştiği gözlenir. Paralel rezonans devresi için empedansın reel olduğu göz önüne alınırsa şekil 4 de gösterilen P ve A noktalarındaki gerilimlerin aynı fazda olduğu görülür. Buna karşın,  $R_0 / Z_{AB} \ll 1$  durumu için  $V_{A0} \cong V_{P0}$  olup paralel devre gerilim genliği osilatör çıkışına eşit sayılabilir. Titreşim devresi rezonans genliğinin osilatör çıkış genliğinden yeterince farklı olabilmesi için  $R_0 \approx Z_{AB}$  koşulunun sağlanması gerekmektedir.

Tablo 1 ve bu tablodan yararlanılarak çizilen şekil 8 de,  $R_0$  direnç değeri için titreşim devresi rezonans genliğinin konsantrasyonla değişimi gösterilmektedir. Şekil 8 de görüldüğü gibi  $R_0$  direnç değeri  $Z_{AB}$  mertebesine yaklaştıkça, voltaj genliğinde konsantrasyona göre değişim daha belirgin bir duruma gelmektedir.

Tablo 1.  $R_0$  direnç değeri için, konsantrasyona göre tepeden tepeye rezonans gerilim ( $V_{AB} = V_r$ ) genlikleri

$V_{r0} : 4.00 \text{ V}$	1 (B. Boyu): 10.0 cm
$F_0 : 2.00 \text{ MHz}$	$L_0 : 98.1 \mu\text{H}$
$T(\text{Sıcaklık}): 25^\circ\text{C}$	$\gamma_0(\text{Normalite}): 4.00 \text{ N}$
$V_0$ (Volt) : 5.20	
$R_0$ (Ohm): 10440	
$-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$	$V_r$
Boş	4.00
Saf Su	4.00
0	3.95
1	3.95
2	3.95
3	3.95
4	3.90
5	3.80
6	3.70
7	3.40
8	3.20
9	3.00
10	2.90
11	3.00
12	3.20
13	3.40
14	3.60
15	3.70
16	3.85
17	3.90
18	3.95
19	4.00
20	4.00
21	4.00
22	4.00



Şekil 8.  $R_0$  direnci için, rezonans gerilim genliğinin ( $V_r$ ), konsantrasyona  $[-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)]$  göre değişimi

Paralel titreşim devresinde rezonansın gözlenmesi, rezonans durumu olarak seçilen tanıma bağlıdır. Rezonansın  $\text{Im}A = 0$  olarak tanımlandığı, başka bir deyişle empedansın reel olduğu durumda  $V_r$  ve  $V_A$  sinüzoidal gerilimleri aynı fazda olmalıdır. Yaptığımız deneylerde belli bir  $R_0$  direnci ve belli bir çalışma frekansı için bu gerilimlerin aynı fazda olma koşulu gözlem osiloskobunun farklı iki kanalında aynı fazın gözlenmesi ile sağlanmıştır. Ancak bu yöntemle deney ve ölçü yapma zorluğu nedeniyle, rezonans devresi titreşim genliğinin maksimum olması koşulu incelenmiştir ve  $R_0$  direnci değiştikçe rezonans gerilim genliğinin konsantrasyona  $[-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)]$  göre değişimi de değişmektedir.

#### IV. SONUÇ

I. ve II. kısımlarda belirtildiği gibi, bir rezonans devresinin bobin elemanının, çalışma frekansını belirleyen parametreler, bobin indüktansı  $L$  ve devre sığası  $C$  dir. Bobin indüktansı  $\mu\text{H}$  mertebesinde olup, sarım sayısına ve bobinin boyuna bağlı olarak, belirli bir aralıkta değiştirilebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan yedi adet bobin için indüktans değerleri  $135.6 \mu\text{H}$ – $25.3 \mu\text{H}$  aralığında değişmektedir.

İstenilen herhangi bir frekans değerinde rezonans sağlayabilmek için,

$$\omega^2 = \frac{1}{LC} \quad \text{veya} \quad F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

koşulunun sağlanması gerekmektedir. Gözlem sistemi olarak kullandığımız osiloskobun giriş sığası  $\sim 30 \text{ pF}$

olduğundan  $L = 135.6 \mu\text{H}$  ve  $C = 30 \text{ pF}$   
için

$F \approx 2.2 \text{ MHz}$  rezonans frekansı elde edilir. Bu demektir ki  $L = 135.6 \mu\text{H}$  lik bobinle veya bundan daha büyük indüktansa sahip bobinlerle  $2.2 \text{ MHz}$  in üzerinde rezonans sağlamak olanağı yoktur.

Öte taraftan  $L = 25.3 \mu\text{H}$  lik bir bobinle  $F = 0.2 \text{ MHz}$  de rezonans sağlayabilmek için  $C \approx 9 \times 10^4 \text{ pF}$  olması gerektiği hesaplanır. Bu düzeyde değişken kondansatör teknik olarak kolayca sağlanamadığı için küçük indüktanslı bobinlerle, düşük radyo frekanslarda rezonans sağlamak bir sorun olarak gözükmektedir. Her ne kadar tek bir frekans için rezonans elde edilse bile, belli bir frekans aralığında (örneğin  $0.1 \text{ MHz} - 5.00 \text{ MHz}$ ) istenilen herhangi bir frekansta rezonans sağlamak teknik olarak sorun yaratmaktadır.

Radyo-frekansın alt sınırlarında ( $0.1 \text{ MHz}$ ) rezonans sağlamak için daha büyük indüktanslı bobinler,

$2.00 \text{ MHz}$  in üzerinde rezonanslar elde etmek için de, oldukça küçük indüktanslı bobinler tercih edilmelidir.

## KAYNAKLAR

- [1] GÜNEY, Y. Elektrolitik Çözeltilerde Radyo- Frekans Etkileşimler, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, (1993)
- [2] GÜNER, Z. , ESEN, H. , İyonik Çözeltilerin Yüksek Frekanslı Elektrodinamik Alanla Etkileşimin İncelenmesinde İndüktif Tip Hücre Çözelti Sisteminin Davranışı ve Deneysel Verilerin Teorik Sonuçlar İle Karşılaştırılmalı Etüdü. Ankara Üniv. Tıp Fakültesi Mecmuası, Cilt: XXXII, Sayı: 2, pp. 259-278, (1979)
- [3] KURHAN, N., Elektrolitik Bazı Baz Çözeltilerinin Radyofrekans Etkileşimleri, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2002)
- [4] REITZ, R. J. , MILFORD, F. J. "Foundation of Electromagnetic Theory" Sec. Ed. Addissoon-Wesley Pub. Comp. London (1996)
- [5] CONDON, E.M., ODİSHAW, H. (Edit.) "Handbook of Physics". Chap. 7, McGraw-Hill, (1967)