

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAZI ASİT ÇÖZELTİLERİNİN RADYO
FREKANS ALTINDA KAYIP VE DİSPERSİYON
FAKTÖRLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat GÜLER

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Yılmaz GÜNEY

Eylül 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAZI ASİT ÇÖZELTİLERİNİN RADYO
FREKANS ALTINDA KAYIP VE DİSPERSİYON
FAKTÖRLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat GÜLER

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Bu tez 12 / 09 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr Yılmaz GÜNEY
Jüri Başkanı

Prof.Dr.Osman TUTKUN
Üye

Doç.Dr.İbrahim OKUR
Üye

ÖNSÖZ

Fizik bölümünden mezun olduktan sonra bende diğer Fen Fakültesinden mezun arkadaşlarım gibi akademik çalışmaya gözlerimi dikmiş vaziyette Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne yüksek lisans için başvurduğum. Yüksek lisansa kabul edildiğimi öğrendikten sonra hocalarımın teşvikiyle derslerime çalışarak tez aşamasına eriştim. Ümidimi kaybettiğim dönemlerde elimden tutan bana sabırla yol gösteren tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Bu çalışma konusunun belirlenmesinde , teze konu olan araştırmaların ve bu araştırmalara dayalı deney setinin hazırlanmasında ,araştırmayı bilgi ve tecrübeleriyle her aşamada yönlendirerek bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan, Sakarya Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Öğretim Üyelerinden Değerli Hocam Yrd.Doç.Dr.Yılmaz GÜNEY'e en içten hürmetlerimi ve teşekkürlerimi sunarım..

Yapmış olduğum deneylerde kullanılmak üzere çözelti hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Mustafa ZENGİN'e ve grup arkadaşlarına, bana her türlü desteği gösteren değerli arkadaşlarım ve aynı zamanda Fizik Bölümü Araştırma Görevlilerine teşekkürlerimi sunarım.

Tezin yazımında teşvik ve yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Musa YİĞİN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma sürecinde bana karşı son derece sabır ve anlayışla yaklaşan değerli eşim Fadime GÜLER'e, kızlarım Zeynep Beyza GÜLER'e ve Betül Hanife GÜLER'e teşekkürlerimi sunarım.

SİMGELER VE KISALTMALAR

| | |
|--|--|
| A | : Admitans |
| B | : Magnetik akı yoğunluğu |
| C, C _g | : Sığa, Eşlenim (kuplaj) sığası |
| F, F _r | : Frekans, Rezonans Frekansı |
| j | : Sanal sayı birimi, ($\sqrt{-1}$) |
| kHz | : Kiloherertz (10^3 titreşim/saniye) |
| L ₀ , L* | : Geometrik indüktans, Kompleks bobin indüktansı ($L^* \equiv \mu^* L_0$) |
| MHz | : Megahertz (10^6 titreşim/saniye) |
| N | : Normalite |
| Q | : Kalite faktörü |
| R, R _ç | : Direnç. Çözelti direnci |
| T | : Periyod |
| V ₀ , V _L , V _r | : Gerilim genlikleri (Osilatör çıkış gerilimi, Bobin gerilimi, Rezonans Gerilimi) |
| X _C , X _L | : Kapasitif ve indüktif reaktans |
| Z, Z _{eş} , Z _r | : Empedans, Eşdeğer empedans, Rezonans empedansı |
| γ ₀ , γ, γ _m | : Çözelti konsantrasyonu (Derişik, seyreltilmiş, maksimum enerji soğurma) |
| Λ | : Eşdeğer iletkenlik |
| μ* | : Kompleks bağıl magnetik geçirgenlik |
| μ' | : Bağıl magnetik geçirgenlik |
| μ'' | : Magnetik kayıp faktörü |
| ξ | : Ölçme hücresi sabiti |
| σ | : Öziletkenlik |
| τ | : Relaksasyon zamanı |
| χ' | : Dispersiyon faktörü |
| χ'' | : Kayıp faktörü |
| ω, ω ₀ , ω _r | : Açılal frekanslar (Kayıplı, kayıpsız ve rezonans açılal frekansları; $\omega=2\pi F$) |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Şekil 2.1. Kayıpsız paralel LC rezonans devresi | 6 |
| Şekil 2.2. Kayıplı paralel LRC rezonans devresi..... | 8 |
| Şekil 2.3. Çift kanallı bir osiloskopa RF osilatörünün paralel LRC devresi..... | 10 |
| Şekil 2.4. Şekil 2.3.ün özdeşi olan paralel LRC rezonans temel devresi | 10 |
| Şekil 2.5. Paralel LRC devresinin rezonans durumunda empedansı reeldir, (Z_{AB} (reel))..... | 12 |
| Şekil 2.6. Boyları eşit değişik indüktanslı bobinlerde, kayıp dirençlerinin frekanskareye göre değişimleri..... | 14 |
| Şekil 2.7. Değişik frekanslarda, kayıp dirençlerinin indüktanskareye göre Değişimi..... | 15 |
| Şekil 2.8. Paralel LRC rezonans devresi..... | 20 |
| Şekil 3.1. Bobin hücreinde elektrolitik çözelti bulunan titreşim devresi (Kompleks indüktanslı titreşim devresi) | 22 |
| Şekil 3.2. Kayıp ve dispersiyon faktörlerinin konsantrasyona göre değişimi (Çözelti: H_3PO_4 , $L_0=117.60 \mu H$) | 32 |
| Şekil 3.3.a Kayıp ve dispersiyon faktörlerinin konsantrasyona göre değişimi (Çözelti: H_3PO_4 , $L_0=100.20 \mu H$) | 34 |
| Şekil 3.3.b Kayıp ve dispersiyon faktörlerinin konsantrasyona göre değişimi (Çözelti: HCl , $L_0=100,20 \mu H$) | 34 |
| Şekil 3.3.c Kayıp ve dispersiyon faktörlerinin konsantrasyona göre değişimi (Çözelti: HNO_3 , $L_0=100,20 \mu H$) | 35 |
| Şekil 3.3.d Kayıp ve dispersiyon faktörlerinin konsantrasyona göre değişimi (Çözelti: HF , $L_0=100,20 \mu H$) | 35 |

| | |
|--|----|
| Şekil 3.4.a Kayıp ve dispersiyon faktörlerinin konsantrasyona göre değişimi (Çözelti: HCl , $L_0=117.60 \mu\text{H}$) | 37 |
| Şekil 3.4.b Kayıp ve dispersiyon faktörlerinin konsantrasyona göre değişimi (Çözelti: HCl , $L_0=141,90 \mu\text{H}$) | 37 |
| Şekil 3.5. Boyları eşit olan değişik indüktanslı bobinlerde, kayıp faktörlerinin konsantrasyona göre değişimleri (HCl) | 39 |
| Şekil 3.6. Bir ölçme hücrelerinde,değişik frekanslarda, konsantrasyona göre kayıp faktörleri (HCl) | 41 |
| Şekil 3.7. Bir ölçme hücrelerinde ($L_0= 100.20 \mu\text{H}$, $\ell =12.01 \text{ cm}$) değişik frekanslarda, kayıp ve dispersiyon faktörlerinin konsantrasyona göre değişimleri..... | 41 |
| Şekil 3.8. Değişik indüktanslı bobinlerde, maksimum kayıp faktörlerinin frekans kareye göre değişimleri (HCl çözeltisi için)..... | 43 |
| Şekil 3.9. Değişik frekanslarda HCl için (χ''_{max}, L) grafikleri | 44 |
| Şekil 3.10. Bir ölçme hücrelerinde değişik çözeltiler için,kayıp faktörlerinin konsantrasyona göre değişimleri..... | 45 |
| Şekil 3.11. HCl ve H_3PO_4 çözeltileri için (γ_m, F) değişimi. ($L_0= 141.90 \mu\text{H}$, $\ell =12.01 \text{ cm}$) | 46 |
| Şekil 3.12. HF için (γ_m, F) | 47 |

TABLULAR LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Tablo 3.1. Çözelti konsantrasyonuna göre rezonans durumunda frekans ve gerilim genlikleri..... | 31 |
| Tablo 3.2. Bir ölçme hücreesinde üç farklı elektrolitik çözelti için, konsantrasyona göre, dispersiyon ve kayıp faktörleri..... | 33 |
| Tablo 3.3. Farklı ölçme hücrelerinde HCl asit çözeltileri için, konsantrasyona göre dispersiyon ve kayıp faktörleri | 36 |
| Tablo 3.4. Farklı ölçme hücrelerinde HCl asit çözeltileri için, konsantrasyona göre dispersiyon ve kayıp faktörleri | 38 |
| Tablo 3.5. Bir ölçme hücreesinde HCl asit çözeltisi için, değişik frekanslarda, konsantrasyona göre kayıp faktörleri | 40 |
| Tablo 3.6. Değişik ölçme hücreleri için, F ve F ² ye göre maksimum kayıp faktörleri..... | 42 |
| Tablo 3.7. İki ayrı frekans için indüktansları farklı bobinlerde (χ''_{\max}, L) tablosu ($\ell = 12.1$ cm) | 43 |
| Tablo 3.8. Sabit sıcaklık (T = 25 °C) ve farklı indüktanslı bobinlerde HCl ve H ₃ PO ₄ çözeltisi için (γ_m, F) tablosu | 45 |
| Tablo 3.9. Sabit sıcaklık (T = 25 °C) ve farklı indüktanslı bobinlerde HF çözeltisi için (γ_m, F) tablosu..... | 46 |

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Kayıp Faktörü (χ''), Dispersiyon (Dağılım) Faktörü (χ'), Çözelti Direnci (R_c), Eşdeğer İletkenlik (Λ).

Elektrolitik çözeltilerin öziletkenlikleri(σ), eşdeğer iletkenliklerine, elektrolitik dirençlerine, çözelti konsantrasyonuna (γ) bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu değişim elektrolitler için daha ayırt edici detaylı çalışmalar yapmamıza olanak sağlamıştır.

Bu çalışmada elektrolitik çözeltilerin bazı özellikleri Radyo-Frekans (RF) elektromanyetik alanlar kullanılarak incelenmiştir. Bu uygulama için pek çok farklı yöntem kullanılmaktadır. En çok bilinen iki yöntemden birisi köprü diğeri ise rezonans yöntemidir. Bu çalışmada rezonans yöntemi kullanılmıştır. Rezonans yöntemi indüktif ve kapasitif ölçme hücresi olmak üzere iki farklı durum içerir. Bu çalışmada indüktif ölçme hücresi tercih edilmiştir. Bunun nedeni ise indüktif yöntemin kapasitif yöntemden deneysel olarak daha kolayca uygulanabilir olmasıdır.

Bu çalışmada rezonans devresinde kalite faktöründen (Q) yararlanarak kayıp faktörü ($\chi'' = Q^{-1}$) ve dispersiyon faktörü ($\chi' = \frac{\omega_0^2}{\omega^2} - 1$) dört farklı asit çözeltisi (H_3PO_4 - phosphoric acid , HCl - hydrochloric acid , HNO_3 - nitric acid , HF- hydrofluoric acid) için hesaplanmıştır.

Kayıp ve dispersiyon faktörlerinin seçilen çözeltilere, devre parametrelerine ne şekilde bağlı olduğu çok sayıda deneyle incelenmiş χ' ve χ'' nasıl değiştiği bulunmuştur.

LOSS AND DISPERSION FACTORS STUDY SOME ACIDIC-SALT SOLUTION UNDER RADIOFREQUENCY

SUMMARY

Key words: LRC Resonance, Loss Factor (χ''), Dispersion Factor (χ'), Solution Resistance (R_c) Equivalent Inductance (Λ).

The special conductivity (σ) of electrolytic solutions changes depending on their electrolytic resistance and solution concentration. These variations provide the ability of detailed investigation of electrolytic solutions.

In this work, some properties of electrolytic solutions are investigated by using radio frequency (RF) electromagnetic fields. Various methods are used in this experimental study, including the bridge method and resonance method in this study, the resonance method is used. Amongst two different approaches, named inductive method and capacitive cell method. We have preferred the former one for this study. The reason for this is that the inductive method seems to be more feasible in the applications than the latter.

In this study, the loss factor ($\chi'' = Q^{-1}$) and dispersion factor ($\chi' = \frac{\omega_0^2}{\omega^2} - 1$) are calculated by using the quality factor (Q), for four different solutions (H_3PO_4 - phosphoric acid, HCl – hydrochloric acid, HNO_3 - nitric acid, HF- hydrofluoric acid). The loss factor (χ'') and dispersion factor (χ') are investigated to depend on chosen solutions, circuit parameters in lots of experiment and founded how change is.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Elektrolitik çözeltiler net elektrik yükleri taşıyan ve çözelti içerisinde serbest hareket edebilen iyonlardan oluşmuştur. İyonik bir çözeltide çözücü olarak su kullanılabilirdiği gibi, amaca bağlı olarak alkol ve başka tür çözücüler de kullanılmaktadır.

Elektrolitik çözeltilerin elektriksel davranışları, taşıdıkları iyonların özelliklerine ve miktarlarına (çözeltide bulunan iyon yoğunluğuna) bağlı olarak değişim gösterirler. Elektrolitik çözeltilerin doğru akım ve düşük frekans iletkenlik özellikleri bir iletkenlik hücresi içerisine yerleştirilen elektrotlarla, bu elektrotlar arasına konulan çözeltinin elektriksel davranışları incelenerek belirlenebilir. Bu tür ölçümlerde anot ve katot olarak kullanılan elektrotlar doğrudan çözelti ile temas halinde bulunduğu için elektrot polarizasyonu denen karmaşık olaylar ortaya çıkar ve çözeltinin davranışını açıklayabilmek zorlaşır [1].

Elektrolitik çözeltilerin radyo-frekanslı elektrik ve magnetik alanlarla etkileşiminin incelenmesinde ise, elektrot sorunu ortadan kalkmakta ve çözelti alan etkileşimi ölçme hücresi denen elemanlar içerisinde gerçekleştirilmektedir. Radyo-frekans etkileşimlerinde sığasal ve bobinsel (capasitive ve inductive) ölçme hücreleri yaygın olarak kullanılmakta ve bu etkileşimler yolu ile incelenen çözeltiler hakkında bilgiler edinilmektedir [2-10].

Bir ölçme hücresi içerisindeki çözeltinin alanla etkileşiminin çözelti özelliklerine ve devre parametrelerine ne şekilde bağlı olduğu 1940'lı yıllardan beri deneysel çalışmalara ve araştırmalara konu olmaktadır. Genellikle sığasal ölçme hücreleriyle geniş çapta çalışılmış ve alan-çözelti etkileşimi için yorumlar getirilmiş olmasına rağmen, bobin türü ölçme hücreleri ile yapılan çalışmalar daha az ve bobin türü

hücrelerde alan-çözelti etkileşiminin daha karmaşık olduğu ve bu tür etkileşimlerin yorumunun tam olarak yapılamadığı görülmektedir [4,5,11,12].

Bu çalışmada yedi adet farklı geometrik özellikler taşıyan bobin türü ölçme hücreleri ile deneyler yapılmıştır. Çalışmamızda radyo-frekans (RF) rezonans yöntemleri kullanılmıştır. Gerek sığasal, gerek bobinsel ölçme hücreleri ile yapılan çalışmaların radyo-frekansta çözelti-alan etkileşimini yeterli ölçüde açıklığa kavuşturamamış olması ve ayrıca bu iki tür ölçme hücresinin ortak yanlarının tam olarak belirlenememesi bu konuda bir boşluk ortaya çıkarmaktadır. Çalışmalarımızda bir bobinsel hücredeki alan etkileşim mekanizmasının sığasal eşlenim yoluyla [13] son derece tutarlı bir biçimde açıklanabileceği gösterilmiştir.

Canlı organizmalarda ve özellikle insan vücudunda önemli ölçüde elektrolitik çözelti bulunması ve organizmada önemli fonksiyonlar taşıması, elektrolitik çözeltilerin yapısal özelliklerinin ve elektriksel davranışlarının çok iyi bilinmesini gerektirmektedir. RF alan-çözelti etkileşiminin incelenmesi bu çözeltilerin elektriksel özelliklerinin yanı sıra, yapısal özelliklerinin de bize yararlı bilgiler verebileceği, bundan dolayı yaptığımız çalışmalarında pratik yararlar sağlayabileceği söylenebilir [14].

Elektrolitik çözeltilerin RF alanlarla etkileşimi konusundaki ilk önemli sayılabilecek çalışmalar Forman ve Crips tarafından yapılmıştır [10]. Bu çalışmalarda sığasal bir ölçme hücresi içerisine yerleştirilen farklı konsantrasyonlu çözeltiler, RF alanla etkileştirilmiş ve enerji soğurulmasının bir maksimumdan geçtiği gözlenmiştir. Ayrıca rezonans yöntemi de kullanılmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Elektrolitik çözeltilerin iyon atmosferi kavramı ve iyon atmosferinin sonlu bir rolaksasyon zamanına sahip olduğu Debye-Huckel tarafından önerilmiş ve bu rolaksasyon zamanının (τ), konsantrasyonla orantılı olduğu ifade edilmiştir [15].

$$\tau = \frac{k}{\gamma} \cong \frac{10^{-10}}{\gamma}$$

Genellikle sığasal ölçme hücreleri kullanılarak yapılan deneylerde çözelti-alan etkileşiminin çözelti iletkenliği ile değişim göstermesi, RF titrasyonu yönteminin ortaya çıkmasını sağlamıştır [4-9,16,17]. RF titrasyon yönteminin pratik uygulamasının yanı sıra çözelti-alan etkileşiminin kuramsal açıklamalarına da girilmiş ve ölçme hücreleri için eşdeğer devre modelleri geliştirilmiştir [5,16].

Ermakov ve arkadaşları 1960'larda başlayan bir dizi çalışma ve yayınlarında RF alan çözelti etkileşimlerini ayrıntılı bir biçimde incelemiş, sığasal ve bobinsel hücrelerle yapılan ölçümlerin sonuçları verilerek incelenen çözeltilerin değişik özellikleri ve yapısal durumları hakkında farklı sonuçlara varılmıştır [11,12,14,18,19,20-23].

Gerek sığasal, gerekse bobinsel hücrelerde RF alan çözelti etkileşiminin gösterdiği davranışın Debye-Falkenhagen iyonik relaksasyon mekanizmasından kaynaklandığı ileri sürülerek açıklamalar yapılmaya çalışılmış, bir ölçüde tutarlı gözükten sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonra bu etkileşim mekanizmasının Debye-Falkenhagen relaksasyon zamanı ile bir ilgisinin olmadığı, benzerliğin tamamen rastlantısal bir durum olduğu varsayılmış ve belirtilmiştir [2-5,10-13,18-26].

Bobinsel bir ölçme hücresindeki etkileşimle, sığasal bir hücredeki etkileşim genel olarak aynı karakterdedir. Bu gözlemin sonucu olarak bobinsel hücrede çözelti alan etkileşimi aslında bir sığasal etkileşim bileşeni ile bir bobinsel etkileşim bileşeninin süper pozisyonu olduğu belirtilerek, sığasal etkileşimin kaynağı olan RF elektrik alanının yalıtılabileceği gösterilmiştir [11,13].

Paralel LRC titreşim devresi ile yapılan çalışmalarda kapasitif hücre yerine bobinsel hücre kullanılması, bobin hücre etkileşiminde hem indüktif hem de kapasitif terim içermesi nedeni ile bazı kolaylıklar sağlamaktadır. Sığasal etkileşim, sığasal eşlenim modeli ile tutarlı bir biçimde açıklanabilmektedir [13]. İndüktif etkileşim ise yüksek iletkenlik değerlerinde gözlenmekte, ancak belirli bir teorik yaklaşımla açıklanamamaktadır [26].

Bu çalışmada rezonans yöntemi kullanılarak gözlem ve ölçümlerde çok sayıda bobinsel ölçme hücresi denenmiş, alan-çözelti etkileşiminin dispersiyon ve kayıp faktörleri belirlenmiş, devre parametreleri ve çözelti türü ile ilişkileri belirlenmiştir.

Bu çalışma, hedeflenen kısa zaman içerisinde daha önce adları verilen dört adet asit (H_3PO_4 , HCl, HNO_3 , HF) çözeltisi alınarak, kayıp ve dispersiyon faktörleri deneysel olarak incelenmiştir.

BÖLÜM 2. DENEYSEL YÖNTEM VE ÖLÇÜMLER

2.1. LRC Rezonans Devreleri

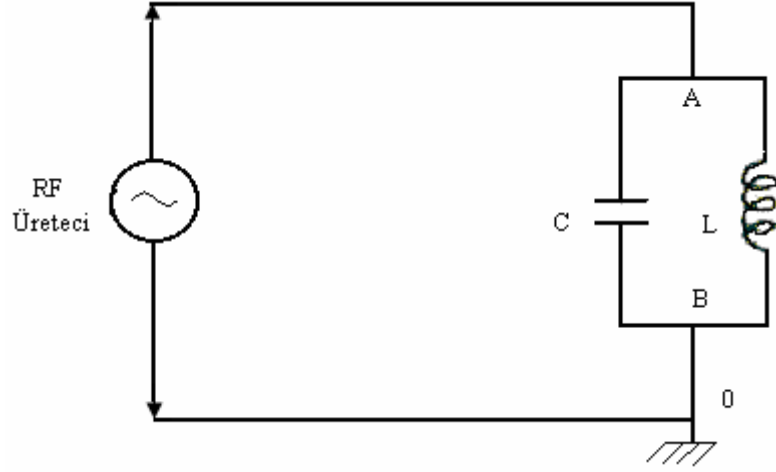
Bobin ve kondansatör ile oluşturulan bir devrede seri ve paralel olmak üzere iki farklı rezonans devresi oluşturulabilir. Seri rezonans devresinin karakteristik davranışı, üreteç frekansının devrenin doğal titreşim frekansına eşit olduğu durumda empedansın minimuma inmesi ve bu durumda devreden geçen akımın maksimum olması şeklindedir. Seri rezonans devresinde yüksek rezonans kalitesi sağlayabilmek için devrenin ve üretecin iç dirençleri olabildiğince küçük seçilmelidir [13,26].

Pratikte kayıpsız bir rezonans devresi mümkün değildir. Ancak anlaşılır olması bakımından önce kayıpsız rezonans devresinde ve sonra gerçek kayıplı devrede rezonans tanımlanarak rezonans frekansı, rezonans empedansı ve kayıp direnci bulunacaktır.

2.1.1. Paralel LC rezonans devresi (kayıpsız devre)

Burada deney sisteminin temel elemanı olan paralel LRC devresinin karakteristik özelliklerini tam olarak anlayabilmek için, öncelikle saf bir bobin (indüktans) ve kondansatörden (kapasitans) oluşmuş, kayıp içermeyen bir LC devresi incelenecektir. Kayıpsız devrede bağlantı elemanlarından, güç kaynaklarından ve ölçüm aletlerinden gelen katkılar ihmal edilmiş, paralel devrenin empedansı olarak yalnızca indüktans ve kapasitansın oluşturduğu empedans dikkate alınmıştır.

Şekil 2.1 deki kayıpsız devrenin empedansı Z_{AB} , indüktans ve kapasitanstan oluşan paralel devrenin eşdeğer empedansıdır.



Şekil 2.1. Kayıpsız paralel LC rezonans devresi

Buna göre Z_{AB} empedansı;

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

olarak yazılabilir. Burada $X_L = j\omega L$ ve $X_C = 1/j\omega C$ değerleriyle tanımlanır ve $j = \sqrt{-1}$ dir. Devrenin admitansı A;

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

olarak tanımlanmaktadır. (2.2) eşitliği, gerekli matematiksel işlemler yapılarak,

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

biçiminde yazılabilir. Empedans değeri;

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

olarak bulunur. Empedansın mutlak değeri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$|Z_{AB}| = \frac{\omega L}{\omega^2 LC - 1} \quad (2.5)$$

Z_{AB} empedansı ω 'ya bağlıdır ve $\omega^2 LC - 1 = 0$ eşitliği durumunda Z_{AB} sonsuz olur. $i = V_{AB} / Z_{AB}$ bağıntısına göre rezonans durumunda devreden geçen akım sıfırdır. Empedansın sonsuz olduğu $\omega^2 LC - 1 = 0$ koşulu, devrenin rezonans durumu olarak tanımlanır ve rezonans frekansı ω_0 ,

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \quad (2.6)$$

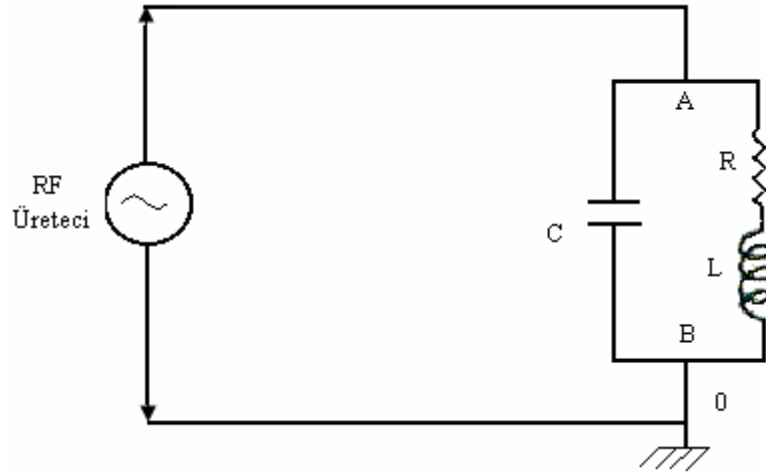
bağıntısı ile hesaplanır, ($\omega \equiv 2\pi F$).

Gerçek bir fiziksel LC devresinde az veya çok bir enerji kaybı söz konusu olduğundan Şekil 2.1 devresi ideal bir devreyi temsil eder. Bu durumda paralel LRC devresindeki kayıpları gösterebilmek için bobin kolunda bir direncin bulunduğunu kabul etmek yararlı olacaktır. Bu direnç, bobin tellerinin ohmik direncini içerdiği gibi, tüm devredeki bağlantı tellerinin dirençlerini, çalıştığımız örnekte olduğu gibi RF ışımlarını, sistem çevresindeki dielektrik ortama aktarılan enerjiyi ve kesin olarak tanımlanamayan enerji kayıplarına karşılık gelen toplam direnci içine alır.

2.1.2. Paralel LRC rezonans devresi (kayıplı devre)

LC devresinde anlatıldığı gibi, fiziksel bir LRC devresinde de devreyi oluşturan elemanlardan (besleme kaynakları, gözlem cihazları, bağlantı telleri) kaynaklanan ek empedanslar mevcuttur. Dolayısıyla gerçek bir rezonans devresi bazı kayıplar içerecektir. Bu açıdan ölçümlerin hassaslığı hesaba katılabilen kayıp miktarı ile doğru orantılı olarak artacaktır.

Kayıplı bir paralel LRC devresi Şekil 2.2 de olduğu gibi gösterilebilir.



Şekil 2.2. Kayıplı paralel LRC rezonans devresi

Şekil 2.2. deki devrede Z_{AB} empedansı,

$$\frac{1}{Z_{AB}} = \frac{1}{R + j\omega L} + j\omega C \quad (2.7)$$

bağıntısı ile hesaplanır. (2.7) ifadesi düzenlenirse A admitans değeri,

$$A \equiv \frac{1}{Z_{AB}} = \frac{R}{R^2 + \omega^2 L^2} + j \frac{\omega(\omega^2 L^2 C + R^2 C - L)}{R^2 + \omega^2 L^2} \quad (2.8)$$

olarak elde edilir. A ve Z_{AB} 'nin reel olması için $\text{Im}A=0$ koşulunun sağlanması gerekir. Bu durumda,

$$\omega^2 = \frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2} \equiv \omega_0^2 - \frac{R^2}{L^2} \quad (2.9)$$

elde edilir. (2.9) bağıntısı ile verilen (ω) değerine devrenin rezonans frekansı denir.

Ancak paralel LRC devresinde rezonans koşulunun tanımı seri devredeki rezonans tanımından farklılıklar gösterir.

$$i) \omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

$$ii) \omega^2 = \frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2} \quad (\text{Empedansın reel olması durumu})$$

iii) Empedansın maksimum olması, şeklinde tanımlanır [31].

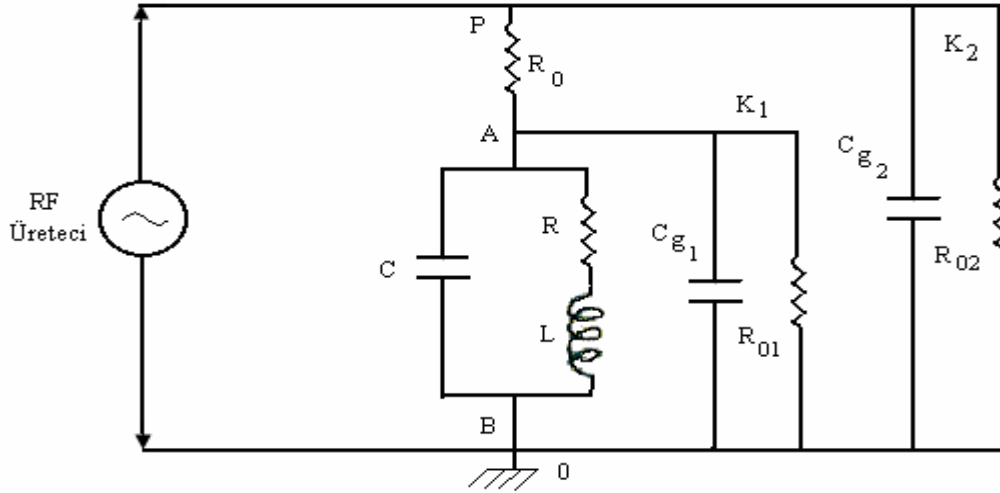
İlerde açıklanacağı gibi çalışmalarımızda rezonans koşulunun $\text{Im}A=0$ olarak seçilmesi nedeniyle rezonans frekansı için (2.9) bağıntısı kullanılmaktadır. (2.9) bağıntısı (2.8) bağıntısında kullanılırsa devre empedansı için,

$$Z_{AB} = \frac{R^2 + \omega^2 L^2}{R} \equiv \frac{L^2 \omega_0^2}{R} \quad (2.10)$$

bağıntısı elde edilir.

2.2. LRC Devresinde Gözlemler ve Gözlem Araçlarının Sistem Üzerindeki Etkileri

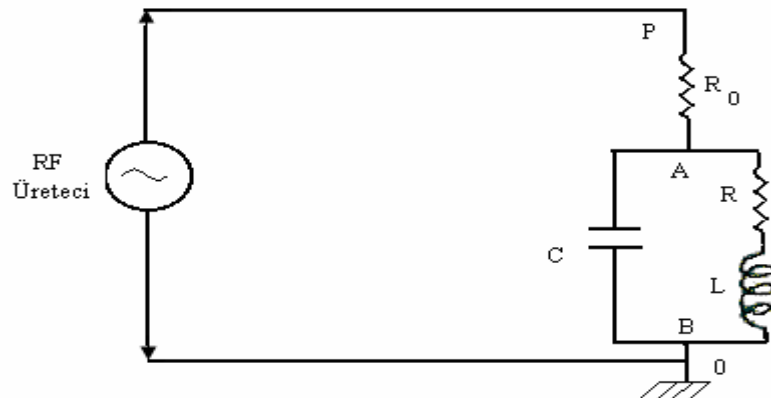
RF üretici ile beslenen bir paralel LRC devresinde rezonans farklı yöntemlerle gözlenebilir. Çalışmamızda gözlem aracı olarak çift kanallı bir osiloskop kullanılmış, osilatör çıkışı ve paralel devre titreşim genliği gözlenerek rezonansa ulaşıp ulaşılmadığı kolaylıkla izlenmiştir. Çift kanallı osiloskop kullanıldığında paralel LRC devresi ile RF üretici arasında seri bir direnç bulunmalıdır. (R_0) olarak adlandırılan bu direncin seçimi paralel RLC devresinin davranışı üzerinde etkilidir. Şekil 2.3 de, çift kanallı osiloskop ile gözlemler yapılabilen bir paralel LRC devresi gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Çift kanallı bir osiloskopa RF osilatörünün paralel LRC devresi

Direk olarak osilatör çıkışına bağlı olan K₂ kanalı paralel LRC devresinden R₀ direnci ile ayrıldığı için, bu kanal titreşim devresi üzerinde dikkate değer bir etki yaratmaz. K₁ kanalı doğrudan paralel LRC devresine bağlıdır ve devre parametrelerini etkileyerek, titreşim koşullarını değiştirir.

Çalışmamızda R₀ direnci 10 kΩ'lar mertebesindedir. R₀₁, R₀₂ ve C_{g1}, C_{g2} prob parametreleridir ve problemlerin x1, x10 konumuna göre farklı değerler almaktadır. Amaçlanan çalışma aralığında (0.80 – 2.00 MHz) rezonanslar gözleyebilmek için prob konumlarının (özellikle K₁ probunun) x10 basamağında olması gerekir. K₂ probunun x1 ya da x10 konumunda olması titreşim devresi üzerinde önemli bir etki yapmamaktadır. Belirttiğimiz özellikler dikkate alındığında gözlem osiloskobunun devre üzerindeki etkileri ile birlikte Şekil 2.3 devresi basite indirgenerek yeniden çizilebilir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Şekil 2.3'ün özdeşi olan paralel LRC rezonans temel devresi

Şekil 2.4. deki devre parametreleri gerçekte birbirinden bağımsız devre elemanları (lumped element) olmayıp, hem gözlem sisteminin, hem bağlantı tellerinin hem de kesin olarak tanımlanamayan başka etkenlerin katkılarını içermektedir. Şekil 2.3. ile Şekil 2.4 karşılaştırıldığında, Şekil 2.4'deki parametreler Şekil 2.3 de gösterilen, fakat kesin olarak tanımlanamayan parametreler cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Toplam devre sığası, $C \equiv C_A + C_L + C_{g1} + C_x$ olarak yazılırsa; C_A (Ayar Kondansatörü), C_L (Bobinin Özgün Sığası (intrinsic capacity)), C_{g1} (K_1 Gözlem Kanalı (Prob) Sığası), C_x (Diğer Sığa Katkıları) olmak üzere tanımlanabilir. Bobin indüktansı L , kullanılan titreşim bobininin geometrik indüktansı ile diğer muhtemel katkılardan oluşmaktadır. Devre direnci R ise sadece ohmik bir direnç olmayıp titreşim devresindeki tüm enerji kayıplarına karşılık gelen bir dirençtir. (örnek olarak bobin ohmik direnci 0.4Ω olmasına rağmen RF da $R \cong 2 \Omega - 38,1 \Omega$ olarak bulunmaktadır).

Şekil 2.4 devresi ölçme hücresi olarak kullandığımız solenoidal titreşim bobini içerisine herhangi bir maddesel ortam yerleştirilmeden (boş devre) devre özelliklerinin incelenmesinde kullanılan, LRC titreşim devresinde devre empedansı, devre direnci ve kalite faktörünün devre parametreleriyle nasıl değiştiğini araştırmada temel devre olarak kullanılmıştır.

2.2.1. Paralel LRC devresinde rezonans empedansının ölçümü ve rezonans frekansı

Paralel bir LRC devresinde (2.8) eşitliği ile verilen admitans değeri için $\text{Im}A = 0$ olması rezonans koşulunu belirleyen bir kriterdir. Bu koşul devre empedansının (2.10) bağıntısıyla hesaplanabileceğini ve empedansın reel olduğunu gösterir. Şekil 2.4 için empedans hesaplanmak istenirse aynı işlemler tekrar edilmelidir. Fakat (2.10) bağıntısına göre Z_{AB} nin hesaplanması olanaksızdır. Bunun nedeni ise R ile gösterilen direncin omik bir direnç değeri olmayıp doğrudan ölçülememesidir.

Şekil 2.4 de A ve B noktaları arasındaki empedansın reel olması devrenin 2.5 de gösterildiği gibi çizilebilmesine olanak sağlar.



Şekil 2.5 Paralel LRC devresinin rezonans durumunda empedansı reeldir, ($Z_{AB}(\text{reel})$)

RF osilatörünün herhangi bir anda P noktasında oluşturduğu gerilim V_p olmak üzere devreden geçen akım,

$$i = \frac{V_p}{R_0 + Z_{AB}} = \frac{V_A}{Z_{AB}} \quad (2.11)$$

yazılabilir. Buradan empedans değeri,

$$Z_{AB} = \frac{V_A}{V_p - V_A} R_0 \quad (2.12)$$

elde edilir. Burada V_p, V_A, R_0 , parametreleri deneysel olarak ölçülebilen ve bilinen değerler olduğu için herhangi bir frekanstaki $\text{Im}A = 0$ rezonans koşulunda rezonans empedansı deneysel olarak belirlenebilmektedir. Yaptığımız deneylerde V_p ve V_A gerilimlerinin aynı fazda olması sağlanarak, V_p ve V_A gerilim genlikleri ölçülmüştür. R_0 direnci ölçülebilen bir direnç olduğu için (2.12) bağıntısına göre rezonans empedansı hesaplanmıştır. (2.10) bağıntısında verilen rezonans empedansı, (2.12) bağıntısı ile bulunan değere eşit olmalıdır. Buna göre,

$$Z_{AB} = \frac{V_A}{V_p - V_A} R_0 = \frac{R^2 + \omega^2 L^2}{R} = \frac{L^2 \omega_0^2}{R} \quad (2.13)$$

bağıntısı elde edilir. Deneysel olarak ω rezonans frekansı ve çalışılan bobinin L indüktansı ölçülebildiğinden (2.13) bağıntısına göre,

$$Z_r \equiv Z_{AB}(\text{deneysel}) = \frac{R^2 + \omega^2 L^2}{R} \quad (2.14)$$

olarak bulunur. Burada R nin hesaplanması ikinci dereceden bir denklemi gerektirmektedir. (2.14) bağıntısından,

$$R^2 - Z_r R + \omega^2 L^2 = 0 \quad (2.15)$$

şeklinde yazılır. Deneysel parametreler olarak alınan $L_0=117,60 \mu\text{H}$, $\omega=2\pi F$ MHz ($\pi=3,14$ ve $F=2,00$ MHz) ve $Z_r = 69,6 \text{ k}\Omega$ ($V_p=4.60 \text{ V}$, $V_A=4.00 \text{ V}$, $R_0=10440 \Omega$) ölçüm değerleri ile yapılan çözümde $R_1= 31,3600 \Omega$ ve $R_2= 69568,6400 \Omega$ bulunmuş olup; R_1 direncinin fiziksel bir çözüm olacağı, R_2 nin ise (yaklaşık olarak devre empedansına eşit olduğundan) bir çözüm olamayacağı anlaşılabilir. Buna göre $R_1=31,3600 \Omega$ değeri alınmalıdır.

Deneysel koşullarda $\omega^2 L^2 \gg R^2$ olduğundan Z_r ;

$$Z_r = \frac{\omega^2 L^2 + R^2}{R} = \frac{\omega_0^2 L^2}{R}$$

ve buradan,

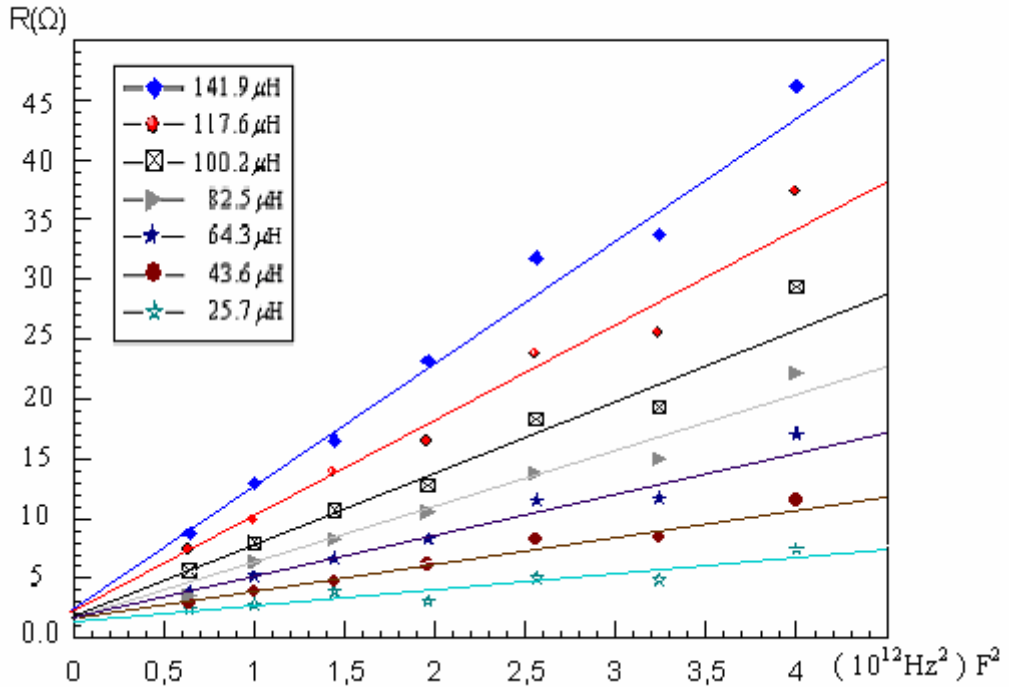
$$Z_r = \frac{\omega^2 L^2}{R} \cong \frac{\omega_0^2 L^2}{R}$$

Bişiminde yazılabilir. Buradan da $\omega \cong \omega_0$ sonucu elde edilir. Teorik olarak hesaplanan bu sonucun deney parametreleri ile uygunluğu; böylece $F = F_0$ ($\omega \cong \omega_0$) olduğu görülür.

2.2.2. Paralel rezonans devresi kayıp direnci

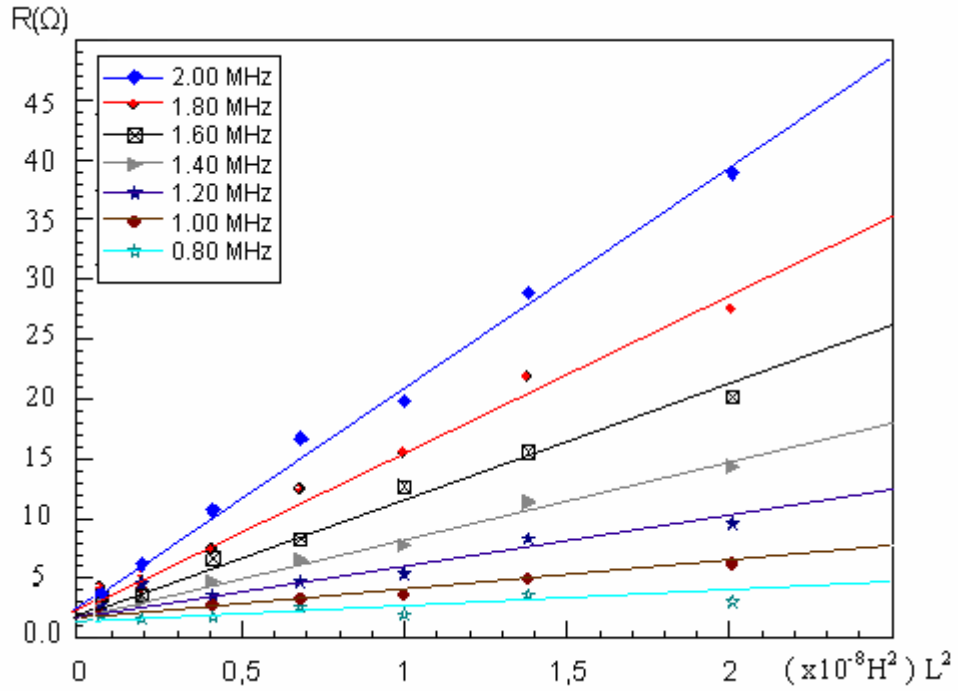
Şekil 2.4 de gösterilen paralel LRC devresinin rezonans durumunda (2.15) bağıntısı ile hesaplanan devre direnci, yalnızca bobin sarımlarının ve devredeki bağlantı tellerinin ohmik direnci olmayıp (daha önce de belirtildiği gibi) rezonans devresindeki her türlü enerji kaybına karşılık gelen bir dirençtir.

Yapılan çalışmalar direncin (R) devreye uygulanan frekansın karesi (F^2) ile doğru orantılı olarak değiştiğini, bu (R, F^2) değişiminin bobinin boyuna (ℓ_0) bağlı olmadığını ancak bobinin indüktansının karesi ile doğru orantılı olarak değişebileceğini göstermiştir. Ayrıca deneyler kayıp direncinin bobin indüktansının karesi (L^2) ile de doğru orantılı olduğunu ve çizilen grafiklerden de anlaşılacağı gibi çok küçük değerler almasına rağmen sıfır olamayacağını göstermektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Boyları eşit değişik indüktanslı bobinlerde, kayıp dirençlerinin frekans kareye göre değişimleri

Şekil 2.7 boyları eşit bobinlerin yedi farklı frekansta, (R, L^2) değişimlerini göstermektedir. Şekil 2.7 den anlaşılacağı gibi indüktansın sıfır limitinde kayıp direncinin birkaç ohmlar mertebesine indiği ancak sıfır olmadığı görülmektedir.



Şekil 2.7 Değişik frekanslarda, kayıp dirençlerinin indüktans kareye göre değişimleri

Şekil 2.6 ve şekil 2.7 den de yararlanılarak, bu bilgiler doğrultusunda çözültü direnci için,

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

şeklinde bir ifade elde edilebilir. Genel olarak (2.16) bağıntısı ile elde edilen boş devre kayıp direnci tek bir bobin için ($L_0 = \text{sabit olduğundan}$),

$$R = (kL_0^2)F^2 + R_d = k_L F^2 + R_d \quad (2.17)$$

olacak şekilde yeniden düzenlenebilir. $k_L \equiv kL_0^2 = \text{sabit olduğundan}$ (R, F^2) doğrusal grafiklerinin eğimlerinden [$(\text{eğim})_1, (\text{eğim})_2, (\text{eğim})_3, (\text{eğim})_4, (\text{eğim})_5, (\text{eğim})_6$] k sabiti hesaplanabilir. Şekil 2.6 daki ($L_{01} = 141.9 \mu\text{H}$, $L_{02} = 117.6 \mu\text{H}$,

$L_{03} = 100.2 \mu\text{H}$, $L_{04} = 82.5 \mu\text{H}$, $L_{05} = 64.3 \mu\text{H}$, $L_{06} = 43.6 \mu\text{H}$) sabit değerleri için k değerleri hesaplanırsa, ($L_{07} = 25.7 \mu\text{H}$ şekil 2.6 da gösterilmektedir ancak eğimi hesaplanmamıştır.)

$$k = (6.2 \mp 0.4)10^{-4} \Omega s^2 H^{-2} (1/\Omega)$$

olarak bulunur. Bulunan k değerinin deney hataları içinde sabit kaldığı söylenebilir. Aynı şekilde (2.16) bağıntısı $F_0 = \text{sabit}$ için,

$$R = (kF_0^2)L^2 + R_d = k_F L^2 + R_d \quad (2.18)$$

biçiminde yazılabilir. Şekil 2.7 deki (R , L^2) grafiklerinin eğimlerinden [(eğim)₁, (eğim)₂, (eğim)₃, (eğim)₄, (eğim)₅] yararlanarak, ($F_{01} = 2.00 \text{ MHz}$, $F_{02} = 1.80 \text{ MHz}$, $F_{03} = 1.60 \text{ MHz}$, $F_{04} = 1.40 \text{ MHz}$, $F_{05} = 1.20 \text{ MHz}$) sabitleri için k değerleri hesaplanırsa, ($F_{06} = 1.00 \text{ MHz}$ ve $F_{07} = 0.80 \text{ MHz}$ şekil 2.7 de gösterilmiş olup eğim hesabı yapılmamıştır)

$$k = (6.2 \mp 0.4)10^{-4} \Omega s^2 H^{-2} (1/\Omega)$$

bulunur. Buna göre (2.16) bağıntısındaki k sabiti çalışma frekansına ve indüktansın değerine bağlı değildir. Bu da (2.17), (2.18) bağıntısı ile hesaplanan k değerlerinin aynı olmasından anlaşılmaktadır.

2.2.3. Kalite faktörü ve kayıp faktörü

Bir titreşim devresinin kalite faktörü Q, genelde;

$$Q = 2\pi \frac{\text{Maksimum Depolanan Enerji}}{\text{Bir Periyotta Harcanan Enerji}} \quad (2.19)$$

şeklinde tanımlanır. Bir titreşim devresi için (2.19) bağıntısı ile tanımlanan kalite faktörünün devrenin titreşim frekansı $F(\omega)$, titreşim bobini indüktansı L ve devre direnci R cinsinden,

$$Q = \frac{\omega L}{R} \quad (2.20)$$

olduğu gösterilebilir. Titreşim devresinde depolanan maksimum enerji, $W_{\max} = \frac{1}{2} L i_{\max}^2$ dir. Bu enerji bobinin magnetik alanı içinde depolanır ve akım maksimum olduğunda maksimum olur. Bir titreşim periyodu boyunca kaybolan enerji ise devre direnci olarak gösterilen ve aslında değişik bileşenler içeren R direncindeki ısı kaybı olarak düşünülebilir. Bu da $W_{\text{kayıp}} = \int_0^T i^2 R dt$ bağıntısı ile

hesaplanabilir. $i = i_{\max} \sin \omega t$ alındığında, $W_{\text{kayıp}} = \frac{1}{2} i_{\max}^2 R T$ olarak hesaplanır.

Bu durumda (2.19) eşitliği için,

$$Q = 2\pi \frac{\frac{1}{2} L i_{\max}^2}{\frac{1}{2} R T i_{\max}^2} = \frac{2\pi L}{T R} = \frac{\omega L}{R}$$

elde edilir (burada $2\pi/T \equiv 2\pi F \equiv \omega$ özdeşliği kullanılmıştır).

$Q = \omega L/R$ kalite faktörü, devre direnci ile doğrudan ilişkili olup, kayıpsız bir devre için $R=0$ dır ve kalite faktörü sonsuz olur. Fiziksel devrelerde Q hiçbir zaman sonsuz değildir. Çalıştığımız devre için kalite faktörleri 33.4-153.8 aralığında gözlenmiştir.

$\chi'' \equiv 1/Q$ birimsiz büyüklüğüne kayıp faktörü adı verilmekte, maddesel ortam içeren veya boş titreşim devreleri için kayıp faktörleri ölçülerek belirli işlemler sonucu madde- RF alan arasındaki etkileşime ait kayıp faktörleri belirlenebilmektedir.

2.2.4. Paralel LRC rezonans devresine seri bağlı R_0 direnci

Şekil 2.4 devresinde osilatör çıkışı $V_p = V_{p0} \sin \omega t$ gerilimi rezonans olarak seçildiğinde A noktasında osiloskopla gözlenen V_A potansiyeli, osilatör frekansı ve titreşim devresi değişken kondansatörü ayarlanarak değiştirilebilir. Osilatör çıkış genliği $V_{p0} =$ sabit olarak tutulmaktadır. Yaptığımız çalışmalarda osilatör frekansı da

sabit olarak seçilip, ($F_0=1.80 \pm 0,01$ MHz) ayarlı kondansatörün sığası değiştirilerek V_A geriliminin maksimum genliğe ulaşması sağlanmaktadır. Genel olarak V_A gerilimi için,

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

yazılabilir. (2.21) ifadesi daha farklı yazılacak olursa,

$$V_A = \frac{V_P}{1 + \frac{R_0}{Z_{AB}}} \quad (2.22)$$

Şekline dönüşür ve A noktasındaki titreşim genliğinin R_0 / Z_{AB} oranına bağlı olarak değiştiği gözlenir. Paralel rezonans devresi için verilen üç farklı tanımdan ikincisi için empedansın (2.10) bağıntısı ile verildiği ve empedansın reel olduğu göz önüne alınırsa Şekil 2.4 de gösterilen P ve A noktalarındaki gerilimlerin aynı fazda olduğu görülür. Buna karşılık $R_0 / Z_{AB} \ll 1$ 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 $R_0 \cong Z_{AB}$ şartı sağlanmalıdır. Elektrolitik çözeltilerin bobin hücresindeki RF elektromagnetik alanla etkileşiminin bir göstergesi rezonans genliğindeki değişmedir. Ölçme hücresi olarak kullanılan bobin elemanın içerisine daldırılan bir elektrolit çözelti titreşim devresinden enerji soğurmakta ve bu nedenle, enerji kaybını belirleyen devre direnci R değişmekte olup, buna bağlı olarak da (2.11) bağıntısı ile belirlenen paralel devre empedansı Z_{AB} her bir çözelti örneği için farklı değerler almaktadır. Bu ise (2.22) bağıntısına göre titreşim devresi rezonans genliğinin çözelti-alan etkileşimine bağlı olarak değiştiğini gösterir. Bu değişimin duyarlı biçimde ölçülebilmesi ise V_{A0} titreşim genliğinin değişebilir olmasına bağlıdır. Bu ise R_0 ve Z_{AB} büyüklüklerinin aynı mertebede olması ile sağlanabilir.

Çözelti içeren rezonans devresinde çözelti alan etkileşimi nedeniyle enerji kaybı oluşur. Bundan dolayı her farklı çözelti için Z_{AB} farklı bir değer alır ve R_0 / Z_{AB}

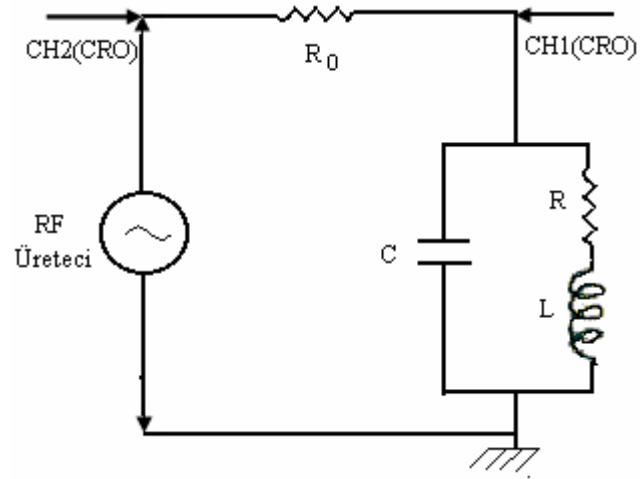
oranı bir çözelti dizisi için konsantrasyona bağlı bir rezonans genliği dizisi V_{A0} vermektedir. Buna göre rezonans genliğinin çözelti konsantrasyona göre değişiminin gözlenebilmesi için (2.22) bağıntısındaki $1+R_0/Z_{AB}$ paydasının konsantrasyonla yeterli bir değişim göstermesi gerekmektedir.

Paralel titreşim devresinde rezonansın gözlenmesi, rezonans devresi olarak seçilen tanıma bağlıdır. Rezonansın reel olduğu durumda V_p ve V_A sinüzoidal gerilimleri aynı fazda olmak zorundadır. Yaptığımız deneylerde belli bir $R_0(10440 \Omega)$ 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 ölçüm yapma zorluğu nedeni ile rezonans devresi titreşim genliğinin maksimum olması koşulu da incelenmiş ve belirtilen iki durum arasında dikkate değer farklılık olmadığı gözlenmiştir.

Madde-alan etkileşimi ile ilgili analizlerde ve yorumlarda $ImA=0$ rezonans koşulu kullanılmakta olup deneysel verilerin de bu koşula uyan rezonans durumunda alınması gerekmektedir. $ImA = 0$ koşulu ile $Z_{AB \max}$ koşulunun (bu durumda rezonans devresi gerilim genliği de maksimum olur) aynı sayılabileceği gözlenmiş olup ölçüler $V_{A0 \max}$ durumları için yapılmıştır. Bu koşulun sağlanması R_0 'ın uygun seçilmesine bağlıdır. $R_0 \cong 10 \text{ k}\Omega$ seri direnci için $ImA = 0$ ve $V_{A0 \max}$ yöntemleri aynı frekans ve rezonans genliği ölçümleri verdiği için, ölçüm kolaylığı ve duyarlılığı göz önüne alınarak ölçümler maksimum titreşim genliği yöntemi ile yapılmıştır.

2.3. Deney Sistemi ve Blok Şeması

Değişken kondansatör ve bobin elemanının bir arada bulunduğu bir LRC devresi deney sistemi hazırlanmış ve bu devrenin blok şeması, osilatör ve iki kanallı osiloskoplara birlikte Şekil 2.8 de gösterilmiştir. Bir cam tüp üzerine düzenli bir şekilde, yalıtılmış bakır tülle sarılan ve genellikle solenoidal özellikteki bobinler ölçme hücresi olarak kullanılmıştır.



Şekil 2.8 Paralel LRC rezonans devresi

RF Üreteci: : Sinüs Gerilim Üreteci,
 Instek Function Generator
 Model: GFG 8255 – A
 Frekans Bandı: 1 Hz – 1 MHz; 15 V(p-p)
 Çıkış Empedansı: 50 Ω

CRO : Katot Işınlı Osiloskop,
 Instek GOS 6112 Oscilloscope
 100 MHz; 2 mV–5 V; 50 ns - 0,5 s
 1 M Ω / 25 pf / max 400 V

L,R,C : Ölçümlerinde Escort ELC- 130 Digital Multimetre kullanılmıştır.

BÖLÜM 3. DENEYSEL GÖZLEMLER VE ÖLÇÜMLER

Elektrolitik çözeltilerin RF elektromanyetik alanlarla etkileşiminin incelenmesi genel olarak sığasal ya da bobinsel ölçme hücreleri kullanılarak yapılır. Bobin türü ölçme hücreleri kullanılarak yapılan çalışmalarda çözelti-RF alan etkileşim mekanizmasının yorumlanması bir takım zorluklar içerir ve bu tür etkileşim tam olarak anlaşılabilmiş değildir [4,10,11,13,16,17,19,28].

Çalışmamızda paralel bir LRC devresinin bobin elemanı ölçme hücresi olarak kullanılmış ve LRC devresinin rezonans koşullarındaki değişimleri incelenerek, çözelti-alan etkileşim mekanizması açıklanmaya çalışılmıştır. Bobin türü bir etkileşim hücresinde çözelti alan etkileşimi yalnızca indüktif etkileşim değildir. İndüktif etkinin yanı sıra kapasitif etkileşimler de içermekte ve toplam çözelti alan etkileşimi iki etkileşim türünün toplamından oluşmaktadır. Bobin türü bir etkileşim hücresinde çözelti-alan etkileşimi, içinde çözelti bulunan bir titreşim bobini için, bobin indüktansının kompleks indüktans olarak tanımlanması yoluyla anlatılabilir [29-31].

Standart sayılabilecek cam deney tüplerinin üzerine değişik kalınlıklardaki bakır tellerden sıkı sarımlarla oluşturulmuş selenoidal bobinler LRC devresinin bobin elemanı olarak kullanılmışlardır. Deneylerimizde kullandığımız yedi bobinin indüktans değerleri $25.7 \mu\text{H}$, $43.6 \mu\text{H}$, $64.3 \mu\text{H}$, $82.5 \mu\text{H}$, $100.2 \mu\text{H}$, $117.6 \mu\text{H}$, $141.9 \mu\text{H}$ dir

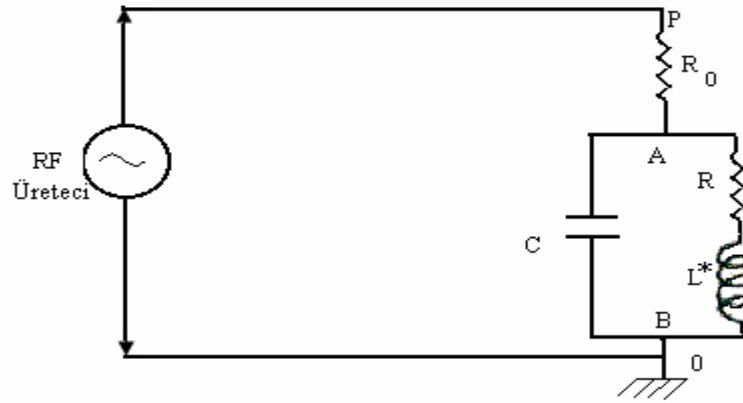
Elektrolitik çözeltiler bobin elemanın içersinde boşluk kalmadan girebilen cam deney tüplerine doldurulmuştur. Çözelti kabı olarak kullandığımız bu tüpler, deneylere başlamadan önce saf su ve fırça ile yıkanarak kurutulmuştur. Tüpler yaklaşık olarak 22 cc çözelti alabilmekte ve bu çözeltiler H_3PO_4 , HCl , HNO_3 , HF oluşmaktadır.

3.1. Kompleks İndüktans ve Dispersiyon

İncelenecek çözeltiler titreşim devresinin bobin elemanı içerisine daldırıldığında devrenin rezonans koşullarının değiştiği ve bu nedenle bobin içerisindeki elektromanyetik alanla çözelti arasında bir etkileşimin olduğu gözlenmiştir. Devre değişik yöntemlerle yeniden rezonansa getirildiğinde, rezonans frekansı ve devre kayıp direnci değişmiştir. Hem frekansın hem devre kalite faktörünün (enerji kaybının) değişmesi genel olarak titreşim bobininin kompleks indüktans biçiminde tanımlanması ile açıklanabilir. Buna göre geometrik indüktansı L_0 olan bir bobinin, çözelti- RF alan etkileşimi sırasında bir kompleks indüktans olarak gösterilebilir ve bu da,

$$L^* = \mu^* L_0 \quad (3.1)$$

olarak yazılabilir. Burada $\mu^* \equiv \mu' - j\mu''$ olup, kompleks bağıl magnetik geçirgenlik olarak adlandırılmaktadır [30]. Elektrolitik çözelti ihtiva eden bobinsel bir hücrenin kompleks indüktans olarak belirtilmesi sonucu paralel rezonans devresi şekil 3.1.deki gibi gösterilebilir.



Şekil 3.1 Bobin hücresinde elektrolitik çözelti bulunan titreşim devresi (Kompleks indüktanslı titreşim devresi)

Bobin hücresi içerisinde elektrolitik çözelti bulunan ve bu nedenle çözelti ile bobin içindeki RF'li elektromanyetik alanın etkileşim halinde olduğu titreşim devresinde rezonans frekansı ve devrenin kayıp direnci aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$L^* = \mu^* L_0 = (\mu' - j\mu'') L_0$$

olduğundan bobin reaktansı,

$$\begin{aligned} j\omega L^* &= j\omega(\mu' - j\mu'') L_0 = j\omega\mu' L_0 + \omega\mu'' L_0 \\ &= j\omega\mu' L_0 + R' \end{aligned} \quad (3.2)$$

olup, burada $R' \equiv \omega\mu'' L_0$ olarak tanımlanmıştır. A ve B noktaları arasındaki empedans,

$$\frac{1}{Z_{AB}} = j\omega C + \frac{1}{R_T + j\omega\mu' L_0} \quad (3.3)$$

bağıntısı ile verilir ve $R_T \equiv R + R'$ olarak tanımlanmaktadır. Buradaki R direnci bobin boş olduğunda bobine seri bağlı olarak görülen ve (2.16) bağıntısı ile ifade edilen kayıp direncidir. Bu direnç frekansa ve bobin indüktansına bağlı olan bir parametredir. (3.3) bağıntısında sanal ve reel kısımlar ayrılırsa admitans değeri,

$$A \equiv \frac{1}{Z_{AB}} = \frac{R_T}{R_T^2 + \omega^2 \mu'^2 L_0^2} + j\omega \left[C - \frac{\mu' L_0}{R_T^2 + \omega^2 \mu'^2 L_0^2} \right] \quad (3.4)$$

olarak elde edilir. Titreşim devresinde rezonans koşulu olarak $\text{Im}A = 0$ alındığından,

$$\omega^2 = \frac{\omega_0^2}{\mu'} - \frac{R_T^2}{\mu'^2 L_0^2} \quad (3.5)$$

elde edilir. Burada $\omega_0^2 \equiv \frac{1}{L_0 C}$ olup, $\mu' \cong 1$ alınabilir. Ayrıca $\frac{\omega_0^2}{\mu'} \gg \frac{R_T^2}{\mu' L_0^2}$ olduğu dikkate alınırsa,

$$\mu' = \frac{\omega_0^2}{\omega^2} \quad (3.6)$$

yazılabilir. Bu bağıntıda ω_0 devrenin kayıpsız titreşim frekansı olmasına rağmen, (2.15) denkleminin çözümü ile bulunan R direnci ve devre direncinin titreşim frekansına katkısını belirleyen irdeleme dikkate alınır, bağıntısındaki boş titreşim devresinin rezonans frekansı ($\omega_{\text{boş}} \cong \omega_0$) alınabilir. Bunun için (3.6) bağıntısındaki ω_0 boş devrenin rezonans frekansı olarak düşünülebilir. ω ise ölçme hücresine çözeltili konulduğu durumdaki devrenin rezonans frekansıdır. ω_0 ve ω frekansları da birbirine yakın olmasına rağmen, önemli bir doğrulukla ayrı belirlenebilmektedir.

(3.6) bağıntısı yeniden düzenlenecek olursa;

$$\chi' \equiv \mu' - 1 = \frac{\omega_0^2}{\omega^2} - 1 \quad (3.7)$$

şeklinde yazılabilir. Buradaki χ' olarak tanımlanan yeni parametre dispersiyon faktörü olarak adlandırılmaktadır [25,29,31-33].

Deneysel çalışmalarımızda sabit bir ω_0 durumunda her bir çözeltili konsantrasyonu için ω rezonans frekansı belirlenerek, dispersiyon faktörünün konsantrasyona göre değişimleri saptanmıştır.

3.2. Titreşim Devresinde Toplam Kayıp ve Çözeltiye İlişkin Kayıp

Titreşim devresinin rezonans durumunda $\text{Im}A = 0$ olduğundan (3.4) bağıntısına göre devre empedansı,

$$\frac{1}{Z_{AB}} = A = \frac{R_T}{R_T^2 + \omega^2 \mu'^2 L_0^2} \quad (3.8)$$

bağıntısı ile belirlenir. (3.12) denkleminde ω^2 yerine (3.5) bağıntısı kullanılarak,

$$Z_{AB} = \frac{\omega_0^2 L_0^2 \mu'}{R_T} \quad (3.9)$$

bağıntısı elde edilir. $\mu' \cong 1$ olduğu gözlemlendiğinden,

$$Z_{AB} = \frac{\omega_0^2 L_0^2}{R_T} = \left(\frac{\omega_0 L_0}{R_T} \right) \omega_0 L_0 = Q_T \omega_0 L_0 \quad (3.10)$$

sonucu elde edilir. Burada,

$$R_T = R + R' \quad \text{ve} \quad Q_T \equiv \omega_0 L_0 / R_T \quad \text{olarak verilmiştir.}$$

Çözelti içeren titreşim devresi için kalite faktörü Q_T olarak belirtilmiş olup, bu durumda kayıp faktörü,

$$\chi_T'' \equiv \frac{1}{Q_T} \quad (3.11)$$

şeklinde ifade edilebilir,

$$Q_T = \frac{\omega_0 L_0}{R_T} \equiv \frac{\omega_0 L_0}{R + R'} \quad (3.12)$$

olarak yazılırsa,

$$\chi_T'' \equiv \frac{1}{Q_T} = \frac{R + R'}{\omega_0 L_0} = \frac{R}{\omega_0 L_0} + \frac{R'}{\omega_0 L_0} \quad (3.13)$$

$$\chi_T'' = \chi_{boş}'' + \chi_{\text{çözelti}}'' \quad (3.14)$$

olarak elde edilir. Burada $\chi_{boş}'' \equiv R / \omega_0 L_0$ ve $\chi_{\text{çözelti}}'' \equiv R' / \omega_0 L_0$ olduğundan toplam kayıp faktörü, rezonans devresinin boş olduğu durumdaki kaybı ile ölçme hücresi içine çözeltiye ait kayıp faktörlerinin toplamı olarak düşünülebilir. Aşağıdaki işlemlerde yalnız çözeltiye ait olan $\chi_{\text{çözelti}}''$ faktörü devre parametrelerine bağlı olarak ifade edilecektir.

Şekil 3.1 devresi dikkate alındığında rezonans durumu için, $\text{Im}A = 0$ ve $\omega_0 L_0 / R_T \equiv Q_T \equiv 1 / \chi_T''$ göz önüne alındığında,

$$Z_{AB} = \frac{\omega_0^2 L_0^2}{R_T} = \frac{\omega_0 L_0}{R_T} \quad \omega_0 L_0 = \frac{1}{\chi_T''} \quad \omega_0 L_0 \quad (3.15)$$

yazılabilir. Rezonans durumunda rezonans devresi titreşim genliği,

$$V_{A0} = \frac{V_{P0}}{R_0 + Z_{AB}} Z_{AB} \quad (3.16)$$

olur. Z_{AB} için (3.15) bağıntısındaki değeri yerine yazıldığında,

$$V_{A0} = \frac{V_{P0}}{R_0 + \frac{\omega_0 L_0}{\chi_T''}} \frac{\omega_0 L_0}{\chi_T''} \quad (3.17)$$

elde edilir. Bu bağıntıdan, χ_T'' çekilerek,

$$\chi_T'' = \frac{\omega_0 L_0}{R_0} \left(\frac{V_{P0}}{V_{A0}} - 1 \right) \quad (3.18)$$

bulunur. Bu eşitlikte V_{P0} sabit olup osilatör çıkış genliği ve V_{A0} ise bobin içine daldırılan herhangi bir çözelti için titreşim devresi genliğidir.

Deneysel ölçümlerde titreşim devresinin boş durumdaki rezonans gerilim genliği referans olarak alındığından, osilatör çıkış genliği yerine rezonans devresinin boş titreşim genliği cinsinden bir ifade yazılması daha yararlı olacaktır. Böylece $V_{P0} = V_{R0} + V_{A0}$ eşitliği titreşim devresinin rezonansa olduğu tüm durumlarda geçerli olmasına rağmen, boş rezonans devreleri için bu eşitlik,

$$V_0 = V_{R0} + V_{r0} \quad (3.19)$$

şeklinde yazılabilir, buradaki terimlerin anlamı şu şekilde yazılabilir. $V_0 \equiv V_{p0}$ sabit osilatör çıkış genliği, V_{R0} boş devre rezonans durumunda R_0 üzerindeki titreşim genliği, V_{r0} ise daha önce V_{A0} olarak gösterilen devre titreşim genliğinin boş devre durumundaki değeridir. Ayrıca $V_{A0} \equiv V_r$ şeklinde gösterilerek bağıntıların daha sade bir biçimde ifade edilmesi amaçlanmıştır. Buna göre (3.18) bağıntısı,

$$\chi_T'' = \frac{\omega_0 L_0}{R_0} \left(\frac{V_0}{V_r} - 1 \right) \quad (3.20)$$

şeklinde yazılır. Boş rezonans devresi için,

$$\frac{V_{R0}}{R_0} = \frac{V_{r0}}{Z_{AB(\text{Boş})}} = i_{0r} \quad (3.21)$$

devreden geçen akım şiddetini verir. Buradan (3.19) bağıntısı ile birlikte,

$$V_0 = \left(\frac{R_0 R}{\omega_0^2 L_0^2} + 1 \right) V_{r0} \quad (3.22)$$

olduğu görülür. V_0 ın bu değeri (3.20) denkleminde yerine konursa,

$$\chi_T'' = \frac{R}{\omega_0 L_0} \frac{V_{r0}}{V_r} + \frac{\omega_0 L_0}{R_0} \frac{V_{r0}}{V_r} - \frac{\omega_0 L_0}{R_0} \quad (3.23)$$

elde edilir. (3.23) bağıntısında $\chi_{bos}'' \equiv R / \omega_0 L_0$ olduğu dikkate alınırsa, yalnızca

çözeltiyeye ait kayıp faktörü için $\chi_{\text{çözelti}}'' \equiv \chi''$ tanımlaması ile,

$$\chi'' = \left(\frac{R}{\omega_0 L_0} + \frac{\omega_0 L_0}{R_0} \right) \left(\frac{V_{r0}}{V_r} - 1 \right) \quad (3.24)$$

bağıntısı elde edilir [26.30.31]. Bu bağıntıdaki büyüklüklerin tamamı deneysel olarak ölçülebilir büyüklüklerdir. Yaptığımız deneylerde her bir çözelti konsantrasyonu için, çözelti türü, çalışma frekansı, bobin hücresi ve diğer parametrelerin değiştirilmesi sırasında kayıp faktörü χ'' nün değerleri ve değişimleri (3.24) bağıntısı kullanılarak hesaplanmış elde edilen veriler tablolara geçirilmiş ve bu tablolardan yararlanılarak grafikler çizilmiştir. Sistem parametrelerine bağlı olarak kayıp faktörünün değişim grafikleri ve bu grafiklerden yapılan çıkarımlar, çözelti-alan etkileşimi konusunda önemli bilgiler sağlamıştır. χ' ve χ'' için yapılan çıkarımlar daha sonra çözelti-alan etkileşimi için önerilen modellerle karşılaştırılarak, bu etkileşimin mekanizması üzerine yorumlar yapılmıştır.

3.3. LRC Titreşim Devresi Voltaj Genliğinin Ölçülmesindeki Duyarlılık

(3.24) bağıntısı ile verilen çözeltilere ilişkin kayıp faktörü, çözelti titreşim bobini içine daldırılıp rezonans koşulu yeniden sağlandıktan sonra belirlenen titreşim voltajı rezonans genliği (V_r) ölçülerek bulunabilir. Bu bağıntıya göre çözeltilere ait kayıp faktörünü hesaplayabilmek için yalnızca V_r ye ihtiyaç vardır. Ancak bobin içine daldırılan çözeltilerin konsantrasyon değiştirildikçe V_r değeri de değişir. Bu değişimlerin en duyarlı bir şekilde ölçülebilmesi için R_0 direncinin uygun şekilde seçilmesi gerekir. Rezonans durumunda paralel devre esas olarak şekil 2.5 deki gibi gösterilebilir. Buna göre rezonans voltajı genliği de,

$$V_r = \frac{V_0}{R_0 + Z_r} Z_r$$

şeklindedir ($Z_{AB} \equiv Z_r$, rezonans durumunda). Bobin içine farklı çözeltilerin konması genel olarak Z_{AB} empedansının değişmesine ve rezonans durumunda da rezonans empedansı Z_r nin çözeltilerin etkileşim durumuna göre farklı değerler almasına neden olmaktadır. Bu bakımdan titreşim rezonans genliği, rezonans empedansı Z_r nin bir fonksiyonudur.

Titreşim rezonans genliğinin, rezonans empedansına göre değişimi,

$$\frac{dV_r}{dZ_r} = \frac{V_0(R_0 + Z_r) - V_0 Z_r}{(R_0 + Z_r)^2} \quad (3.25)$$

şeklinde ifade edilebilir. Rezonans voltaj genliğindeki değişim, rezonans empedansındaki değişime göre maksimum olduğunda, titreşim voltaj genliği en hassas biçimde ölçülebilir.

$$y \equiv \frac{dV_r}{dZ_r}$$

olarak tanımlanırsa,

$$\frac{dy}{dR_0} = 0$$

durumunda y bir maksimum olacağından,

$$\frac{dy}{dR_0} = \frac{V_0(R_0 + Z_r)^2 - 2V_0R_0(R_0 + Z_r)}{(R_0 + Z_r)^3} \quad (3.26)$$

koşulu için, titreşim genliğindeki değişimler en hassas şekliyle ölçülebilir [29,32]. Bu koşul (3.26) bağıntısına göre $R_0 = Z_r$ sonucunu verir. Bu koşuldan paralel rezonans devresine seri bağlı R_0 direnci, paralel devrenin rezonans durumundaki empedansına eşit olduğunda, devre empedansındaki değişimler titreşim devresi voltaj genliğindeki en büyük değişimleri oluşturur. R_0 direncinin seçimi, $\text{Im}A = 0$ koşulu ile, $Z_{AB(\max)}$ koşulunun ortak olarak sağlamalıdır. Bu nedenle R_0 direnci seçilirken devrenin rezonans empedansına yakın veya aynı mertebede olması sağlanmıştır. Deney sistemimizde bu koşulları sağlayacak şekilde seçilen R_0 direncinin değeri 10440Ω olarak seçilmiştir [3].

3.4. Kayıp ve Dispersiyon Faktörlerini Belirleyen Parametreler

Deneysel çalışmada kullanılan elektrolitik çözeltiler en yüksek konsantrasyondan başlanarak, yarılama ile seyreltilmiştir. Bu işlem ardışık olarak yirmi iki kez tekrarlanmış ve başlangıçtan itibaren her konsantrasyonun yarı değerinde bir çözelti dizisi elde edilmiştir. Cam tüp üzerine sarılmış titreşim bobini içine, tüpte boşluk bırakmayacak boyutlarda seçilmiş çözelti tüpleri daldırılarak, bobin içerisindeki elektromanyetik alanla çözeltilerin etkileşimi sağlanmıştır. Her bir çözelti örneği için rezonans koşulu ($\text{Im}A = 0$ ya da $V_{r(\text{max})}$) sağlanarak, rezonans frekansları ve titreşim voltaj genlikleri ölçülmüştür. (3.7) bağıntısı ile dispersiyon faktörleri (χ') ve (3.24) bağıntısı ile de kayıp faktörleri (χ''), her bir konsantrasyon için tablolar halinde düzenlenmiştir.

Kayıp ve dispersiyon faktörlerinin farklı parametrelerle ne şekilde değiştiği aşağıda alt başlıklar altında tablo ve grafiklerle anlatılmıştır.

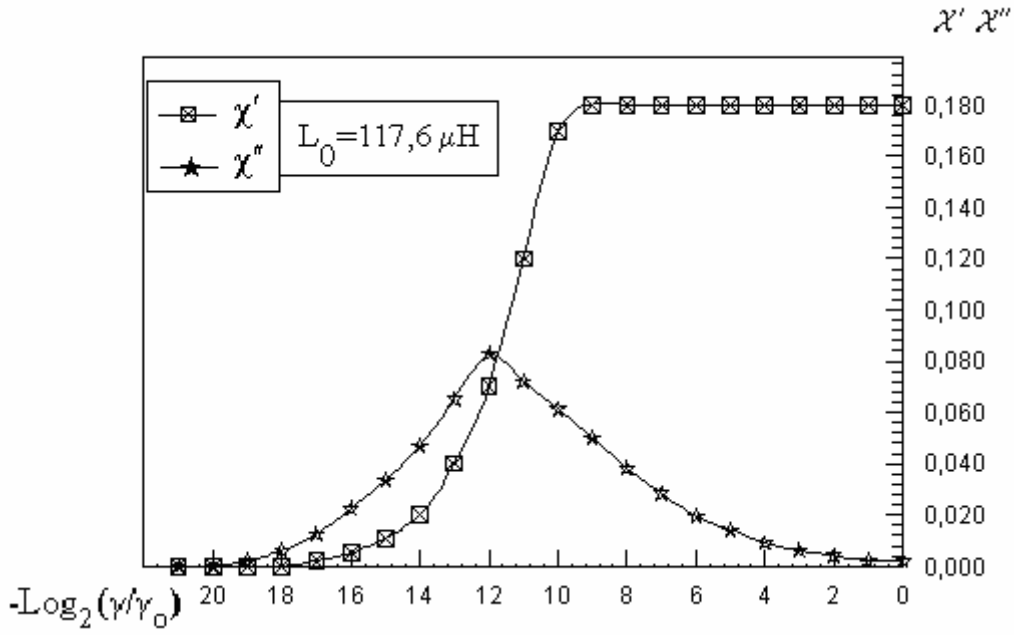
3.4.1. χ' ve χ'' Faktörlerinin çözelti konsantrasyonu ile değişimi

Tablo 3.1 de gösterildiği gibi $\gamma_0 = 4N$ olan konsantrasyon değerine sahip bir H_3PO_4 çözeltisi, yarılama yolu ile seyreltilerek, γ_0 konsantrasyonu dahil olmak üzere yirmi iki adet farklı konsantrasyonda sulu çözelti hazırlanmıştır. Bu konsantrasyon değerleri tablolarda $-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$ şeklinde gösterilerek uygun bir eksen seçimi yapılmıştır. Her konsantrasyon için ölçülen titreşim devresi rezonans frekansı ve titreşim voltaj genliği sırasıyla F_r ve V_r sütunlarında belirtilmiştir. Ayrıca bobinin boş olduğu veya saf su içerdiği durumlarda da F_r ve V_r değerleri gösterilmiştir. Bobin boş olduğu durumda ya da saf çözücü içerdiği durumlarda $F_r \equiv F_0 = 2.00 \pm 0.01$ MHz ve $V_r \equiv V_0 = 4.00 \pm 0.05$ Volt olarak seçilmiştir. Diğer ilgili devre parametreleri (R_0, ℓ, L_0, V_0, T) tabloda ayrıca belirtilmiştir.

Tablo 3.1 Çözelti konsantrasyonuna göre rezonans durumunda frekans ve gerilim genlikleri

| | | | | |
|--|----------------------------------|----------------------------------|------------|------------|
| Elektrolit | : H ₃ PO ₄ | Bobin No | : 6 | |
| V ₀ | : 4.60 V | V _{r0} | : 4.00 V | |
| ℓ (Bobin Boyu) ... | : 12.01 (±0,1) cm | F ₀ (Frekans) | : 2.00 MHz | |
| L ₀ | : 117.6 μH | T(Sıcaklık) | : 25 °C | |
| R ₀ | : 10440 Ω | γ ₀ (Normalite) | : 4.00 N | |
| -Log₂(γ/γ₀) | F_r(MHz) | V_r(Volt) | χ' | χ'' |
| Boş | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| Saf Su | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,82 | 3,95 | 0,21 | 0,002 |
| 1 | 1,82 | 3,95 | 0,21 | 0,002 |
| 2 | 1,84 | 3,90 | 0,18 | 0,004 |
| 3 | 1,84 | 3,85 | 0,18 | 0,006 |
| 4 | 1,84 | 3,70 | 0,18 | 0,013 |
| 5 | 1,84 | 3,55 | 0,18 | 0,021 |
| 6 | 1,84 | 3,40 | 0,18 | 0,029 |
| 7 | 1,84 | 3,35 | 0,18 | 0,032 |
| 8 | 1,85 | 3,40 | 0,17 | 0,029 |
| 9 | 1,85 | 3,00 | 0,17 | 0,054 |
| 10 | 1,85 | 2,85 | 0,17 | 0,066 |
| 11 | 1,91 | 2,80 | 0,10 | 0,070 |
| 12 | 1,93 | 2,65 | 0,07 | 0,083 |
| 13 | 1,94 | 2,90 | 0,06 | 0,062 |
| 14 | 1,95 | 3,10 | 0,05 | 0,047 |
| 15 | 1,96 | 3,35 | 0,04 | 0,032 |
| 16 | 1,98 | 3,65 | 0,02 | 0,016 |
| 17 | 1,98 | 3,60 | 0,02 | 0,018 |
| 18 | 1,98 | 3,85 | 0,02 | 0,006 |
| 19 | 1,99 | 3,95 | 0,01 | 0,002 |
| 20 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

Bu tabloda (3.7) bağıntısı ile χ' ve (3.24) bağıntısı ile χ'' değerleri hesaplanarak bir konsantrasyon için, ayrı ayrı gösterilmiştir. Deneysel olarak elde edilen diğer tablolar Ek-B (Tablo: B.1.1-7, Tablo: B.2.1-7, Tablo: B.3.1-7, Tablo: B.4.1-7) olarak verilmiştir. χ' ve χ'' nün Tablo 3.1 de verilen değerler esas alınarak, konsantrasyon logaritmasına göre grafikleri Şekil 3.2 de gösterildiği gibi çizdirilmiştir.



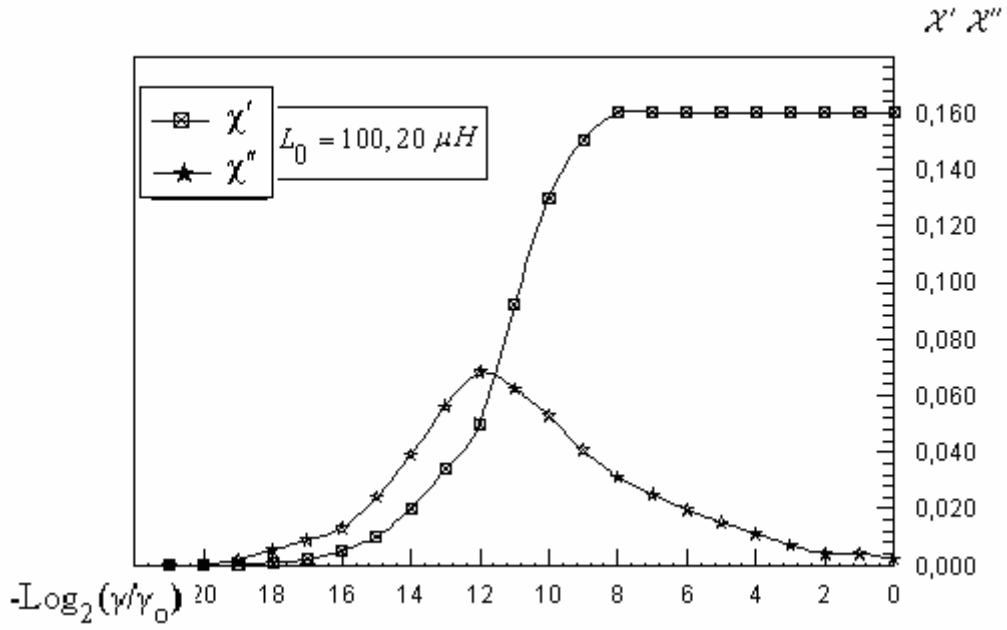
Şekil 3.2 Kayıp ve dispersiyon faktörlerinin konsantrasyona göre değişimi (H_3PO_4)

Şekil 3.2 den görüldüğü gibi dispersiyon faktörünün konsantrasyon değişimi, seyreltiklik arttıkça sıfır limitine, derişiklik arttıkça sabit bir limit değerine ulaşmaktadır. Kayıp faktöründeki değişim ise bütün konsantrasyon aralığı göz önüne alındığında bir maksimumdan geçmekte, seyreltik konsantrasyon limitinde sıfıra yaklaşıırken yoğun konsantrasyonlarda tam olarak sıfır olmamaktadır.

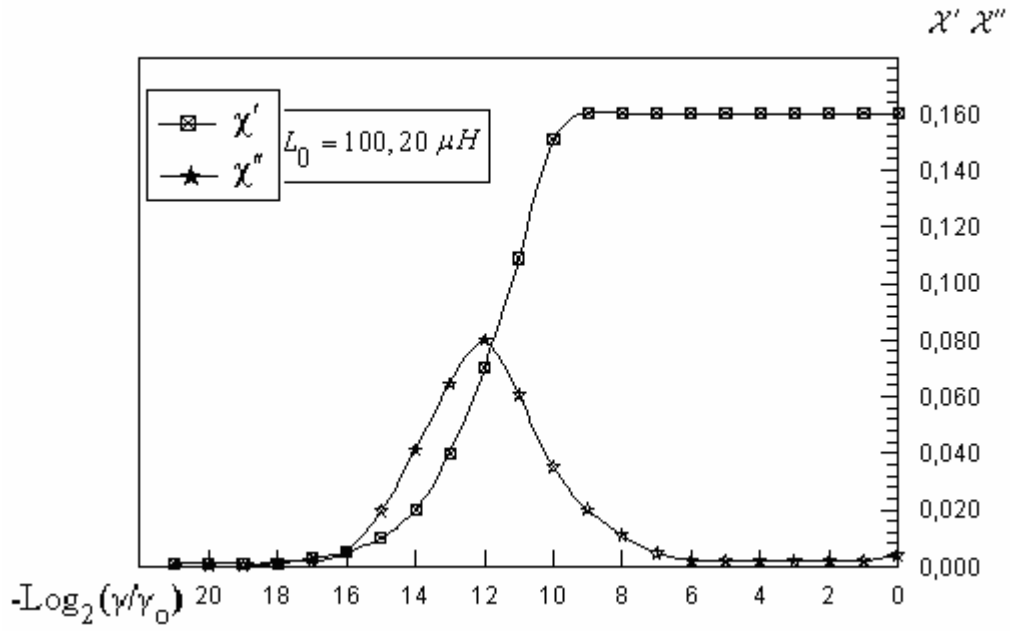
H_3PO_4 , HCl , HNO_3 ve HF sulu çözeltileri için tablo 3.2 de gösterilen deney parametreleri ve aynı deney koşullarında χ' ve χ'' faktörlerinin konsantrasyonla değişimlerinin grafikleri şekil 3.3a (H_3PO_4), şekil 3.3b (HCl), şekil 3.3c (HNO_3) ve şekil 3.3d (HF) de gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Bir ölçme hücresinde üç farklı elektrolitik çözelti için, konsantrasyona göre, dispersiyon ve kayıp faktörleri

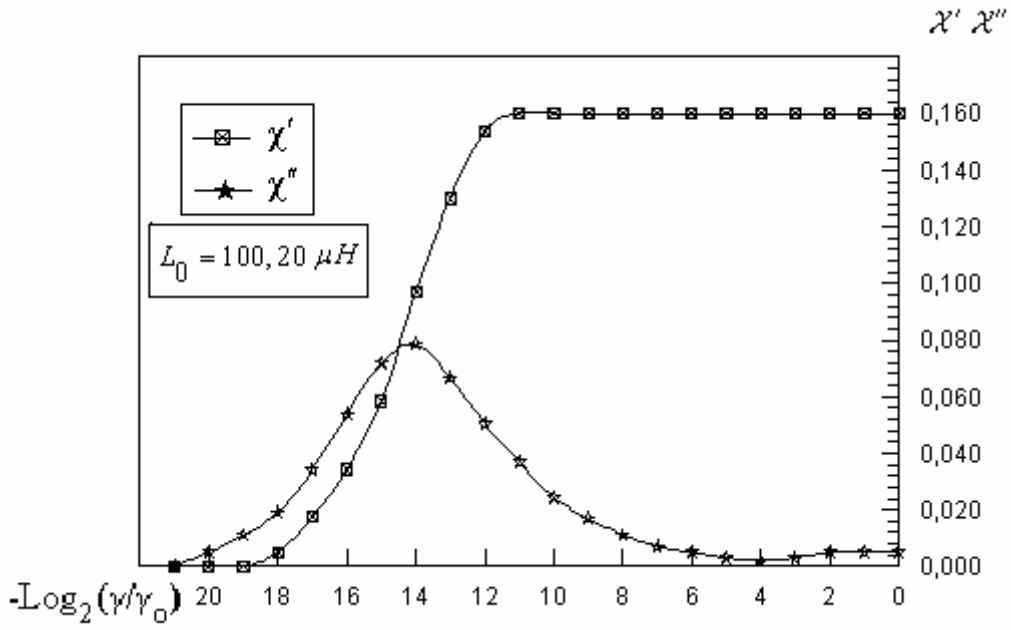
| V_0: 4.60 V | | V_{r0}: 4.00 V | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|------------------------|----------|----------------------------|----------|-----------------------|----------|
| ℓ (Bobin Boyu) ...: 12.01 cm | | F_0 (Frekans): 2.00 MHz | | | | | | |
| L_0: 100.20 μ H | | T (Sıcaklık): 25 °C | | | | | | |
| R_0: 10440 Ω | | γ_0 (Normalite): 4.00 N | | | | | | |
| $-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$ | H_3PO_4 $\gamma_0 = 4N$ | | HCl $\gamma_0 = 4N$ | | HNO_3 $\gamma_0 = 4N$ | | HF $\gamma_0 = 4N$ | |
| | χ' | χ'' | χ' | χ'' | χ' | χ'' | χ' | χ'' |
| Boş | 0,00 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,00 | 0,000 |
| Saf Su | 0,00 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 0,19 | 0,002 | 0,18 | 0,004 | 0,17 | 0,005 | 0,17 | 0,002 |
| 1 | 0,18 | 0,004 | 0,18 | 0,002 | 0,16 | 0,005 | 0,16 | 0,002 |
| 2 | 0,16 | 0,004 | 0,16 | 0,002 | 0,16 | 0,005 | 0,12 | 0,003 |
| 3 | 0,16 | 0,007 | 0,14 | 0,002 | 0,16 | 0,003 | 0,12 | 0,004 |
| 4 | 0,17 | 0,011 | 0,16 | 0,002 | 0,16 | 0,002 | 0,12 | 0,007 |
| 5 | 0,17 | 0,015 | 0,17 | 0,002 | 0,17 | 0,003 | 0,12 | 0,011 |
| 6 | 0,16 | 0,024 | 0,14 | 0,002 | 0,16 | 0,005 | 0,12 | 0,016 |
| 7 | 0,16 | 0,029 | 0,16 | 0,007 | 0,16 | 0,007 | 0,12 | 0,032 |
| 8 | 0,14 | 0,027 | 0,16 | 0,007 | 0,14 | 0,011 | 0,11 | 0,038 |
| 9 | 0,14 | 0,043 | 0,16 | 0,020 | 0,16 | 0,015 | 0,11 | 0,057 |
| 10 | 0,10 | 0,053 | 0,14 | 0,035 | 0,16 | 0,022 | 0,06 | 0,063 |
| 11 | 0,09 | 0,059 | 0,10 | 0,056 | 0,16 | 0,024 | 0,05 | 0,064 |
| 12 | 0,09 | 0,071 | 0,07 | 0,075 | 0,14 | 0,045 | 0,04 | 0,066 |
| 13 | 0,06 | 0,049 | 0,04 | 0,046 | 0,13 | 0,051 | 0,02 | 0,050 |
| 14 | 0,04 | 0,043 | 0,02 | 0,035 | 0,11 | 0,069 | 0,01 | 0,044 |
| 15 | 0,02 | 0,024 | 0,02 | 0,015 | 0,05 | 0,058 | 0,00 | 0,030 |
| 16 | 0,02 | 0,013 | 0,02 | 0,005 | 0,04 | 0,055 | 0,00 | 0,022 |
| 17 | 0,02 | 0,015 | 0,01 | 0,002 | 0,01 | 0,034 | 0,00 | 0,022 |
| 18 | 0,02 | 0,007 | 0,01 | 0,002 | 0,01 | 0,019 | 0,00 | 0,009 |
| 19 | 0,00 | 0,002 | 0,01 | 0,000 | 0,00 | 0,011 | 0,00 | 0,004 |
| 20 | 0,00 | 0,000 | 0,01 | 0,000 | 0,00 | 0,005 | 0,00 | 0,000 |
| 21 | 0,00 | 0,000 | 0,01 | 0,000 | 0,00 | 0,000 | 0,00 | 0,000 |



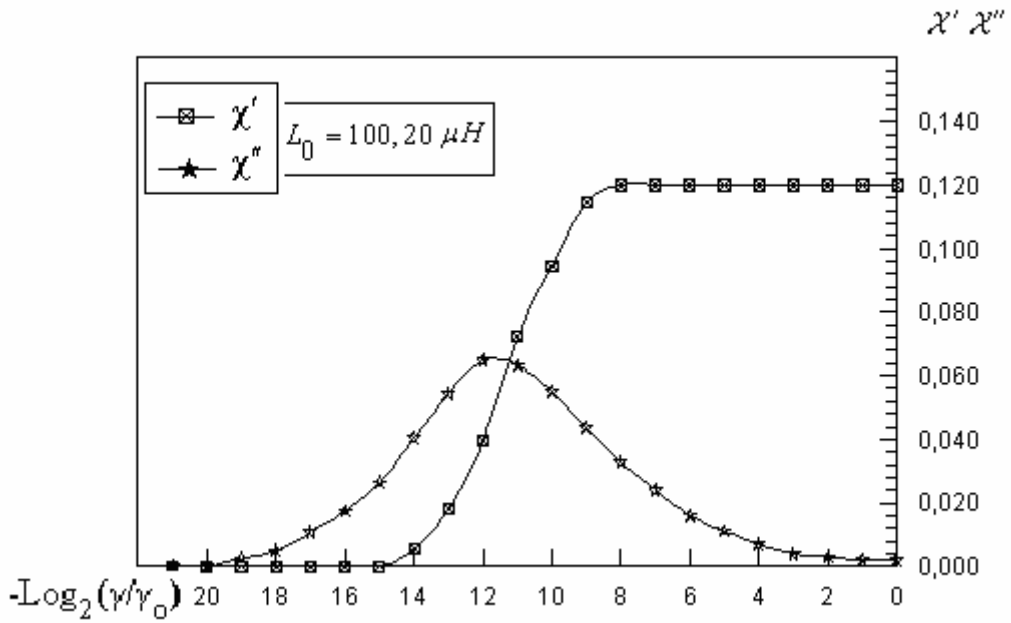
Şekil 3.3a Kayıp ve dispersiyon faktörlerinin konsantrasyona göre değişimi (H_3PO_4)



Şekil 3.3b Kayıp ve dispersiyon faktörlerinin konsantrasyona göre değişimi (HCl)



Şekil 3.3c Kayıp ve dispersiyon faktörlerinin konsantrasyona göre değişimi (HNO_3)



Şekil 3.3d Kayıp ve dispersiyon faktörlerinin konsantrasyona göre değişimi (HF)

Yedi farklı bobin ve 2.00 MHz frekans değerleri için hazırlanan tablolardan elde edilen kayıp ve dispersiyon faktörlerinin konsantrasyona göre değişimleri Ek-C (Şekil C.1.1-6, Şekil C.2.1-6, Şekil C.3.1-6, Şekil C.4.1-6) olarak verilmiştir.

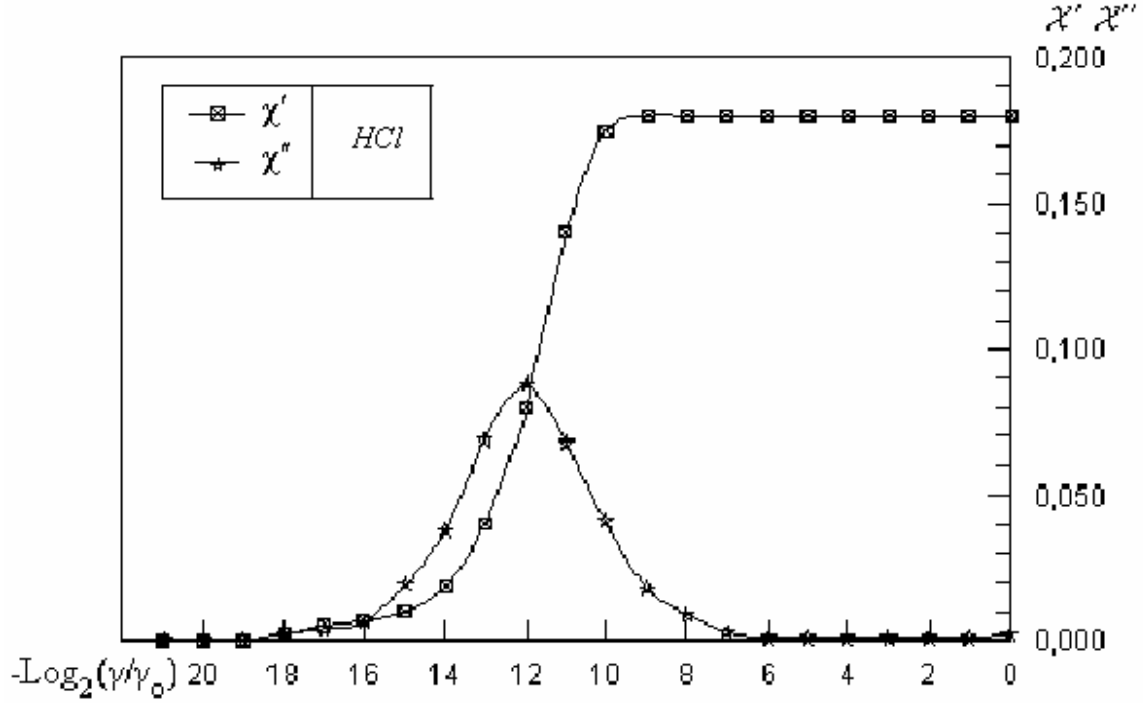
Bu dört şeklin karşılaştırılmasından $(\chi', -\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0))$ ve $(\chi'', -\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0))$ değişim grafiklerinin aynı karakteristik özellikleri taşıdığı, ancak kullanılan çözeltinin cinsine bağlı olarak farklılıklar gösterdiği gözlenmektedir.

Tablo 3.3 de gösterilen deney parametrelerine göre HCl çözeltileri için iki farklı ölçme hücresi ile yapılan deneylerden elde edilen χ' ve χ'' verileri ve bu tablodan yararlanılarak çizilen $(\chi', -\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0))$ ve $(\chi'', -\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0))$ grafikleri de aynı yöntemle Şekil 3.4a ve Şekil 3.4b de gösterilmiştir.

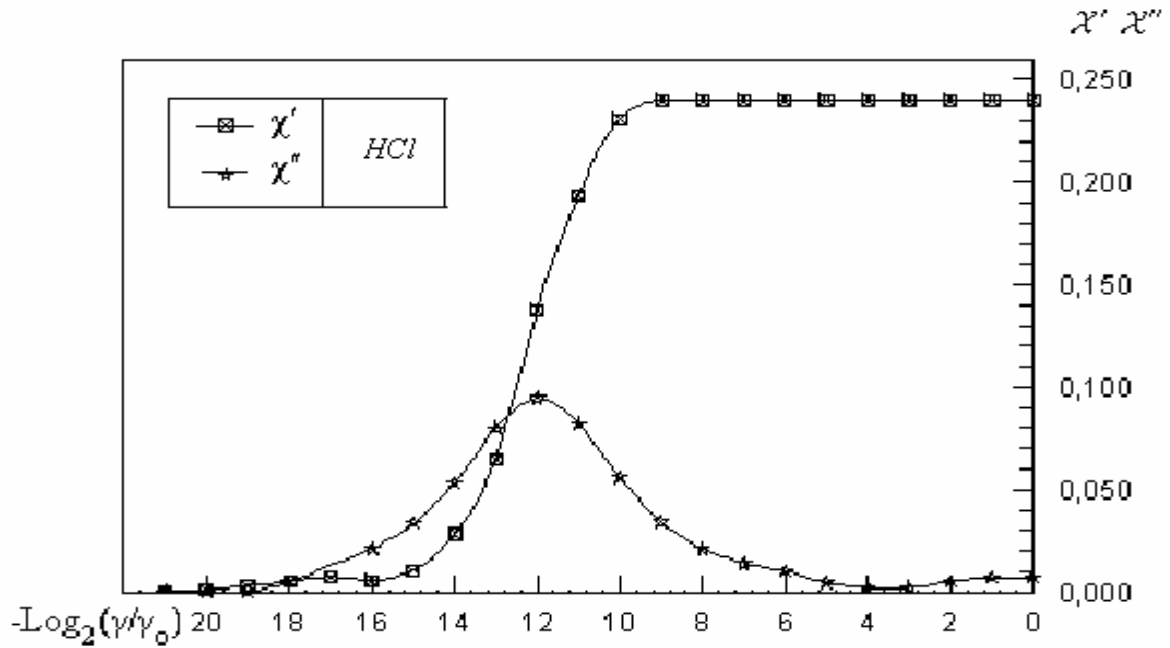
Tablo 3.3 Farklı ölçme hücrelerinde HCl çözeltileri için, konsantrasyona göre dispersiyon ve kayıp faktörleri.

| HCl | V_{r0}: 4.00 V | | F_0 (Frekans).....: 2.00 MHz | |
|---------------------------------|---|----------|--|----------|
| | ℓ (Bobin Boyu) ..: 12.01 cm | | T(Sıcaklık).....: 25 °C | |
| | R_0: 10440 Ω | | γ_0 (Normalite).....: 4.00 N | |
| $\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$ | L_0 : 117.60 μH V_0 : 4.60 V | | L_0 : 141.90 μH V_0 : 4.50V | |
| | χ' | χ'' | χ' | χ'' |
| Boş | 0,00 | 0,000 | 0,00 | 0,000 |
| Saf Su | 0,00 | 0,000 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 0,19 | 0,002 | 0,28 | 0,007 |
| 1 | 0,19 | 0,001 | 0,28 | 0,007 |
| 2 | 0,16 | 0,001 | 0,26 | 0,005 |
| 3 | 0,17 | 0,001 | 0,26 | 0,002 |
| 4 | 0,17 | 0,001 | 0,26 | 0,002 |
| 5 | 0,18 | 0,001 | 0,25 | 0,007 |
| 6 | 0,17 | 0,001 | 0,23 | 0,010 |
| 7 | 0,19 | 0,006 | 0,22 | 0,016 |
| 8 | 0,18 | 0,009 | 0,22 | 0,018 |
| 9 | 0,19 | 0,018 | 0,22 | 0,034 |
| 10 | 0,14 | 0,041 | 0,22 | 0,056 |
| 11 | 0,17 | 0,062 | 0,22 | 0,082 |
| 12 | 0,14 | 0,088 | 0,18 | 0,115 |
| 13 | 0,04 | 0,054 | 0,10 | 0,078 |
| 14 | 0,03 | 0,047 | 0,04 | 0,060 |
| 15 | 0,03 | 0,018 | 0,04 | 0,027 |
| 16 | 0,02 | 0,006 | 0,03 | 0,013 |
| 17 | 0,01 | 0,004 | 0,02 | 0,007 |
| 18 | 0,01 | 0,002 | 0,01 | 0,005 |
| 19 | 0,01 | 0,000 | 0,01 | 0,000 |
| 20 | 0,00 | 0,000 | 0,00 | 0,000 |
| 21 | 0,00 | 0,000 | 0,00 | 0,000 |

Genel olarak daha önceki kurgularda gözlenen sonuçlar elde edilmekle beraber ölçme hücresi indüktansının χ' ve χ'' mutlak değerleri üzerinde etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 3.4a Kayıp ve dispersiyon faktörlerinin konsantrasyona göre değişimi ($L_0 = 117,60 \mu\text{H}$)



Şekil 3.4b Kayıp ve dispersiyon faktörlerinin konsantrasyona göre değişimi ($L_0 = 141,90 \mu\text{H}$)

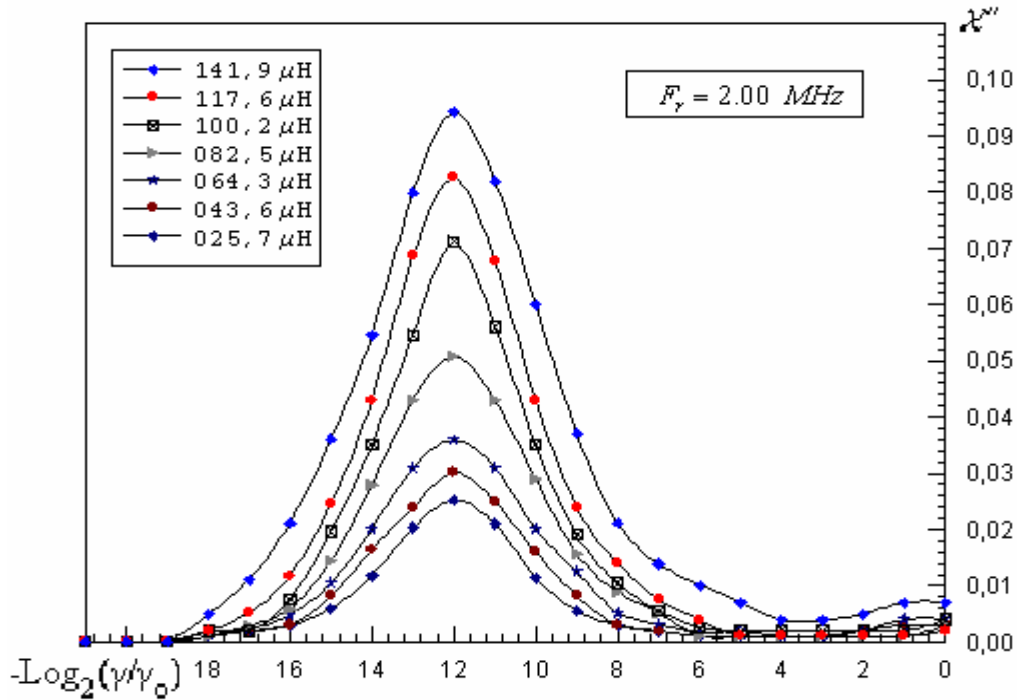
3.4.2. Kayıp faktörü üzerinde ölçme hücresi indüktansının etkisi

Tablo 3.4 de, sabit deney parametreleri belirtilen dört farklı indüktanstaki ölçme hücresi ile yapılan deneylerden elde edilen χ'' değerleri, konsantrasyona göre gösterilmiştir.

Tablo 3.4 Farklı ölçme hücrelerinde asit (HCl) çözeltileri için, konsantrasyona göre kayıp faktörleri.

| HCl | V _{r0}: 4.00 V | | | F ₀ (Frekans): 2.00 MHz | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|----------|----------|---|----------|----------|
| | ℓ (Bobin Boyu): 12.01 cm | | | T(Sıcaklık): 25 °C | | |
| | R ₀: 10440 Ω | | | γ_0 (Normalite): 4.00 N | | |
| L ₀ (μ H) | 141.90 | 117.60 | 100.20 | 82.50 | 64.30 | 43.60 |
| V ₀ (V) | 4.60 | 4.60 | 4.60 | 4.60 | 4.70 | 5.00 |
| $-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$ | χ'' | χ'' | χ'' | χ'' | χ'' | χ'' |
| Boş | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Saf Su | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 0 | 0,007 | 0,002 | 0,004 | 0,003 | 0,004 | 0,003 |
| 1 | 0,007 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,004 | 0,003 |
| 2 | 0,005 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,002 |
| 3 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| 4 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| 5 | 0,007 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,001 |
| 6 | 0,010 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,001 |
| 7 | 0,016 | 0,006 | 0,007 | 0,006 | 0,006 | 0,002 |
| 8 | 0,018 | 0,009 | 0,007 | 0,008 | 0,010 | 0,003 |
| 9 | 0,034 | 0,018 | 0,020 | 0,020 | 0,010 | 0,006 |
| 10 | 0,056 | 0,041 | 0,035 | 0,029 | 0,020 | 0,013 |
| 11 | 0,082 | 0,062 | 0,056 | 0,043 | 0,031 | 0,021 |
| 12 | 0,115 | 0,088 | 0,075 | 0,058 | 0,040 | 0,027 |
| 13 | 0,078 | 0,054 | 0,046 | 0,043 | 0,031 | 0,021 |
| 14 | 0,060 | 0,047 | 0,035 | 0,031 | 0,023 | 0,015 |
| 15 | 0,027 | 0,018 | 0,015 | 0,014 | 0,010 | 0,006 |
| 16 | 0,013 | 0,006 | 0,005 | 0,006 | 0,005 | 0,003 |
| 17 | 0,007 | 0,004 | 0,002 | 0,003 | 0,004 | 0,002 |
| 18 | 0,005 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,001 |
| 19 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 20 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 21 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

Bu tabloya ait (χ'' , $-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$) grafikleri ise şekil 3.5 da aynı ölçek üzerinde çizilmiş ve indüktanstaki değişimin maksimum kayıp χ''_{max} üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Boyları eşit olan değişik indüktanslı bobinlerde, kayıp faktörlerinin konsantrasyona göre değişimleri (HCl)

Şekil 3.5 örneğinde olduğu gibi H_3PO_4 , HCl, HNO_3 , HF çözeltileri için altı farklı indüktansa göre çizilen kayıp faktörlerinin konsantrasyona göre değişimleri, Ek-D (Şekil D.1, Şekil D.2 ve Şekil D.3) olarak verilmiştir.

Boyları aynı indüktansları farklı olarak alınarak yapılan çeşitli deneylerden χ''_{max} in diğer parametreler aynı tutulduğunda indüktansa bağlılığı daha sonra grafik olarak verilecektir.

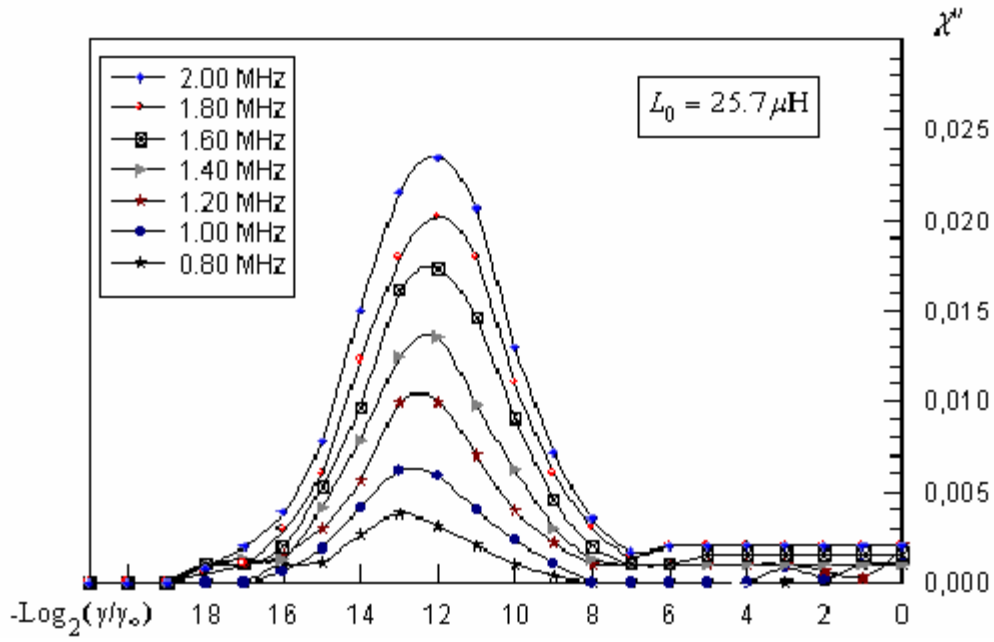
3.4.3. Çalışma frekansının (χ'' , $-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$) grafikleri üzerindeki etkisi

Tablo 3.5.de, sabit deney parametreleri yanı sıra, değişken parametre olarak seçilen farklı frekanslarda, χ'' nün konsantrasyona göre değişimi HCl çözeltileri için gösterilmiştir.

Tablo 3.5 Bir ölçme hücreinde HCl asit çözeltisi için değişik frekanslarda , konsantrasyona göre kayıp faktörleri

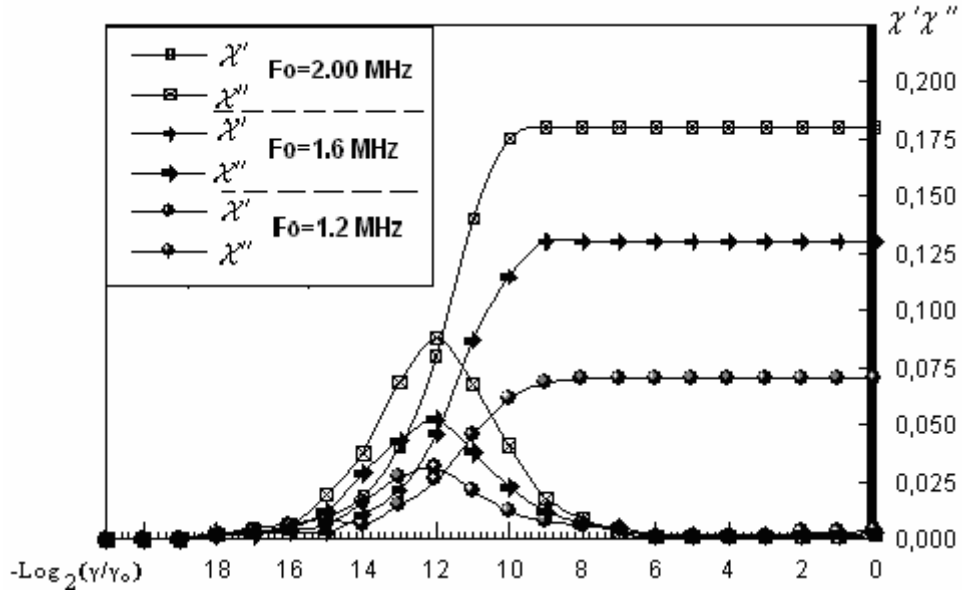
| HCl | ℓ (Bobin Boyu)..: 12.01 cm | | V_{r0}: 4.00 V | | | |
|----------------------------------|---------------------------------|----------|-------------------------------------|----------|----------|----------|
| | L_0: 25.70 μ H | | T(Sıcaklık).....: 25 °C | | | |
| | R_0: 10440 Ω | | γ_0 (Normalite).....: 4.00 N | | | |
| F_0 (MHz) | 2.00 | 1.80 | 1.60 | 1.40 | 1.20 | 1.00 |
| V_0 (V) | 5.40 | 5.60 | 5.80 | 6.00 | 6.40 | 7.00 |
| $-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$ | χ'' | χ'' | χ'' | χ'' | χ'' | χ'' |
| Boş | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Saf Su | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 0 | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,003 | 0,002 | 0,002 |
| 1 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,003 | 0,002 | 0,001 |
| 2 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| 3 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,000 |
| 4 | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,000 |
| 5 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,000 |
| 6 | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,000 |
| 7 | 0,002 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,000 |
| 8 | 0,003 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| 9 | 0,003 | 0,003 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,001 |
| 10 | 0,007 | 0,004 | 0,004 | 0,003 | 0,002 | 0,001 |
| 11 | 0,010 | 0,008 | 0,009 | 0,007 | 0,003 | 0,002 |
| 12 | 0,014 | 0,012 | 0,010 | 0,008 | 0,005 | 0,003 |
| 13 | 0,012 | 0,010 | 0,009 | 0,007 | 0,005 | 0,003 |
| 14 | 0,009 | 0,007 | 0,008 | 0,007 | 0,005 | 0,003 |
| 15 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,002 |
| 16 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| 17 | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,000 |
| 18 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 19 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 20 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 21 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

Bu tablodan yararlanılarak çizilen (χ'' , $-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$) grafikleri altı ayrı rezonans frekansında karşılaştırma amacıyla aynı grafik üzerinde gösterilmiştir, (Şekil 3.6), diğer bobinler için altı farklı frekansa göre elde edilen grafikler Ek-E (Şekil E.1, Şekil E.2, Şekil E.3, Şekil E.4, Şekil E.5, Şekil E.6, Şekil E.7) olarak verilmiştir.



Şekil 3.6 Bir ölçme hücreinde değişik frekanslarda, kayıp faktörlerinin konsantrasyona göre değişimleri (HCl)

Aynı yöntemle, HCl çözeltileri için farklı frekanslarda çizilen (χ'' , $-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$) grafikleri de Şekil 3.7 de gösterilmiştir. Karşılaştırma amacı ile bu grafiklerde her bir frekans için (χ'' , $-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$) değişimleri de verilmiştir.



Şekil 3.7 Bir ölçme hücreinde ($L_0 = 100.20 \mu\text{H}$, $\ell = 12.01 \text{ cm}$) değişik frekanslarda, kayıp ve dispersiyon faktörlerinin konsantrasyona göre değişimleri. (HCl)

Bu şekillerden görüldüğü gibi χ''_{max} değerleri çalışma frekansı ile artmakta, ayrıca χ''_{max} a karşılık gelen çözeltili konsantrasyonu ise yükselmektedir.

3.5. Deneysel Grafiklerinden Elde Edilen Sonuçlar

(3.5) Başlığı altında incelenen deneysel veriler ile bu verilerden elde edilen grafikler çizilmiş, bu grafiklerden χ' ve χ'' parametrelerinin belirli deney sisteminde çözelti konsantrasyonu ile değişimleri incelenerek, deney parametrelerinin bu faktörler üzerindeki etkileri bazı örneklerle vurgulanmıştır. Daha ayrıntılı deneysel tablolar ve grafikler bu çalışmanın sonundaki ekler kısmında verilmiştir. Deneysel çalışmalardan ve grafiklerden yapılan belli başlı çıkarımlar aşağıda özetlenmiştir.

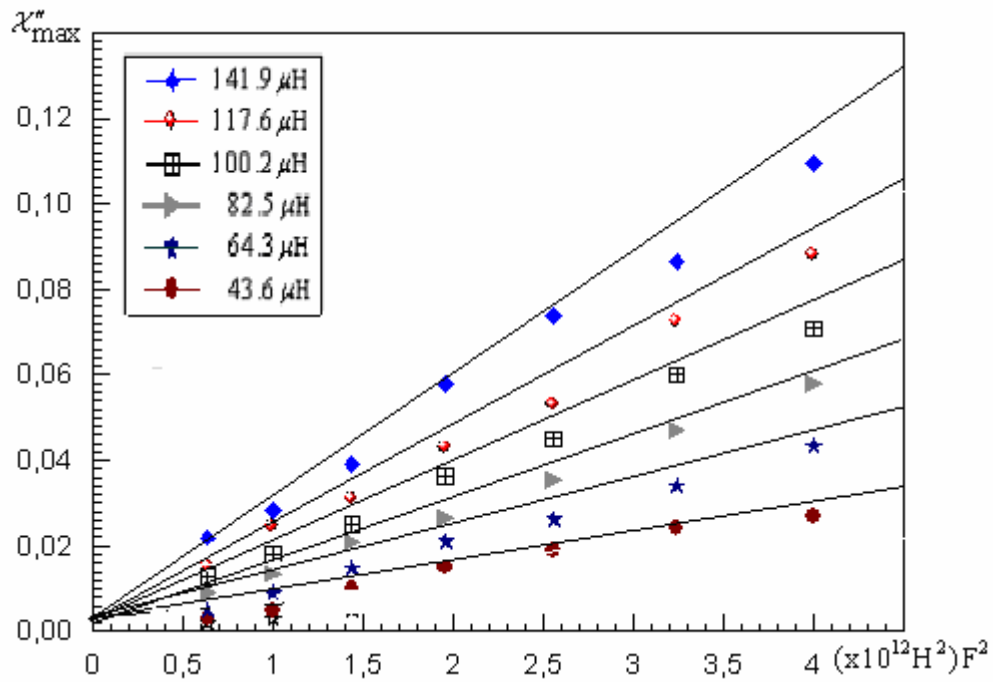
3.5.1. Maksimum kayıp (χ''_{\max}) faktörünün çalışma frekansı ve ölçme hücresi indüktansına bağlılığı

Şekil 3.6 dan görüldüğü gibi, frekans dışındaki tüm parametreler sabit tutularak (χ''_{\max}, F) ilişkisi incelendiğinde, frekans arttıkça kayıp faktöründe de bir artma gözlenmektedir. Bu ilişkinin nedeni deneme yoluyla anlaşılmaya çalışılmış, değişik indüktanslı bobinler için (χ''_{\max}, F) ve (χ''_{\max}, F^2) ilişkisi HCl örneği için Tablo 3.6 da verilmiştir.

Tablo 3.6 Değişik ölçme hücreleri için, F ve F² ye göre maksimum kayıp faktörleri

| HCl | | χ''_{\max} | | | | | |
|------------|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| F (MHz) | F ² (MHz) ² | ($\ell = 12.01 \pm 0.1$ cm) | | | | | |
| | | L ₀ =141.9 μ H | L ₀ =117.6 μ H | L ₀ =100.2 μ H | L ₀ =82.5 μ H | L ₀ =64.3 μ H | L ₀ =43.6 μ H |
| 2.00 | 4.00 | 0,109 | 0,088 | 0,07 | 0,058 | 0,043 | 0,027 |
| 1.80 | 3.24 | 0,086 | 0,072 | 0,06 | 0,047 | 0,034 | 0,024 |
| 1.60 | 2.56 | 0,074 | 0,053 | 0,045 | 0,035 | 0,026 | 0,019 |
| 1.40 | 1.96 | 0,058 | 0,043 | 0,032 | 0,026 | 0,021 | 0,015 |
| 1.20 | 1.44 | 0,039 | 0,031 | 0,025 | 0,021 | 0,014 | 0,01 |
| 1.00 | 1.00 | 0,028 | 0,024 | 0,018 | 0,013 | 0,008 | 0,005 |

Tablo 3.6 dan yararlanılarak her bir ölçme hücresi için (χ''_{\max}, F^2) grafiklerinin doğrusal olduğu yapılan çizimlerden anlaşılmış, altı farklı indüktans değeri için çizilen grafikler Şekil 3.8 de gösterilmiştir.



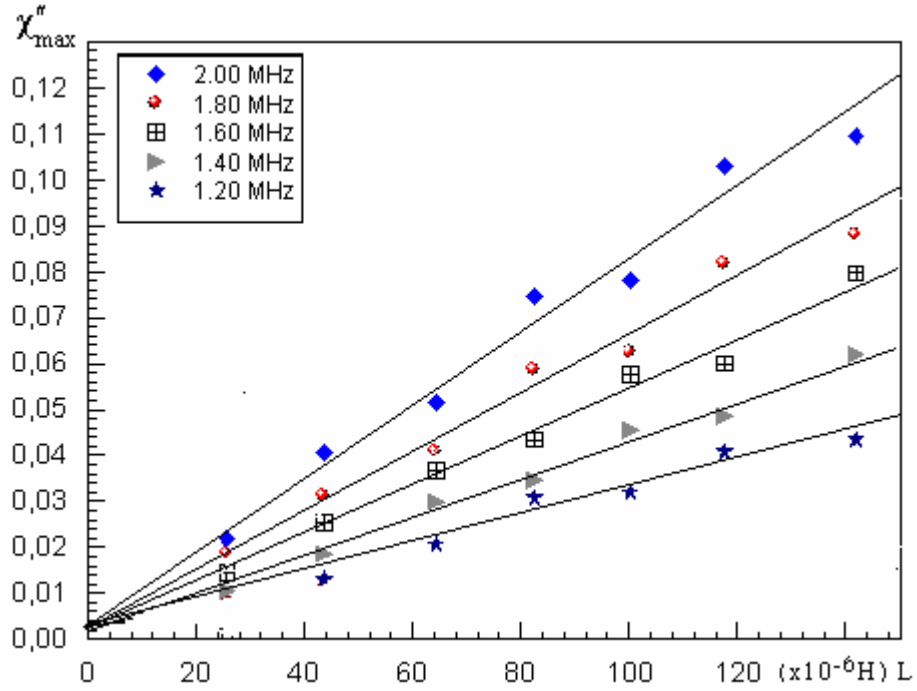
Şekil 3.8 Değişik indüktanslı bobinlerde, maksimum kayıp faktörlerinin frekans kareye göre değişimleri (HCl)

H_3PO_4 , HNO_3 ve HF için çizilen (χ''_{max}, F^2) grafikleri de Ek-F (Şekil F.1, Şekil F.2, Şekil F.3) olarak verilmiştir

Tablo 3.7 İki ayrı frekans için indüktansları farklı bobinlerde (χ''_{max}, L) tablosu ($\ell = 12.01$ cm)

| HCl | χ''_{max} | | | | |
|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | $F_0=2.00$ MHz | $F_0=1.80$ MHz | $F_0=1.60$ MHz | $F_0=1.40$ MHz | $F_0=1.20$ MHz |
| 141.90 | 0,109 | 0,088 | 0,079 | 0,061 | 0,043 |
| 117.60 | 0,102 | 0,081 | 0,06 | 0,048 | 0,041 |
| 100.20 | 0,077 | 0,062 | 0,057 | 0,045 | 0,032 |
| 82.50 | 0,074 | 0,058 | 0,043 | 0,034 | 0,031 |
| 64.30 | 0,051 | 0,04 | 0,036 | 0,029 | 0,021 |
| 43.60 | 0,04 | 0,031 | 0,025 | 0,015 | 0,013 |
| 25.70 | 0,021 | 0,018 | 0,014 | 0,01 | 0,005 |

χ''_{max} ın, ölçme hücresi indüktansı L ye bağlılığı beş farklı frekans için Tablo 3.7 de gösterilmiş olup, (χ''_{max}, L) grafikleri Şekil 3.9 da çizilmiştir. Diğer devre parametreleri sabit tutulmuştur.

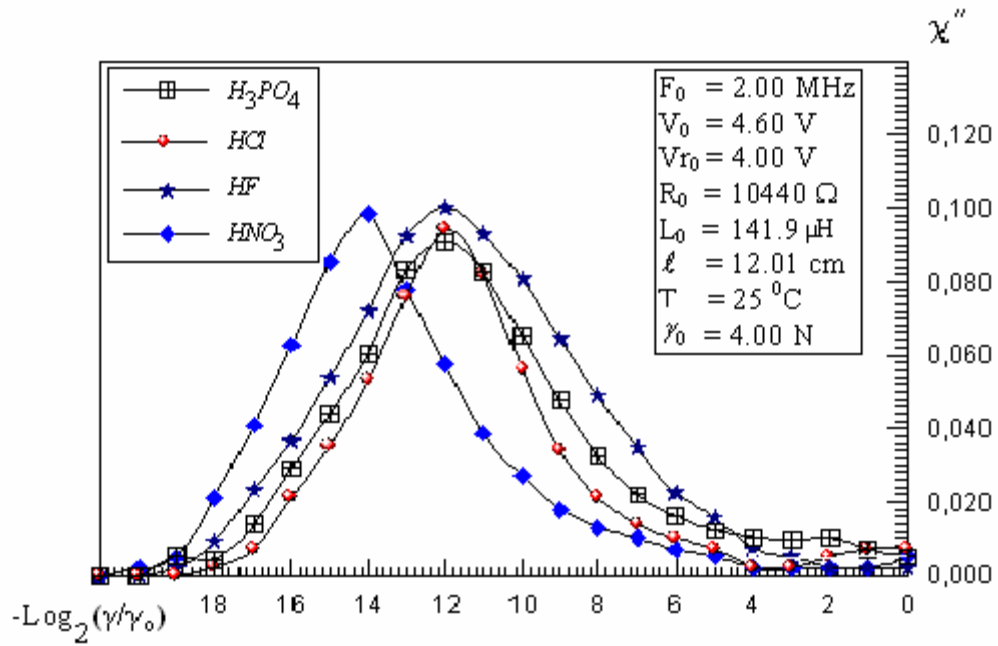


Şekil 3.9 Değişik frekanslarda HCl çözeltisi için (χ''_{\max} , L) grafikleri.

Sonuç olarak, χ''_{\max} herhangi bir bobin için F^2 ile değişimi doğrusal olup, (χ''_{\max} , L) değişimi de herhangi bir frekansta doğrusal olarak gözlenmektedir.

3.5.2. Maksimum kayıp (χ''_{\max}) faktörüne karşılık gelen çözelti konsantrasyonu (γ_m)

(χ'' , $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$) kayıp faktörünün bir maksimumdan geçmesi bütün çalışmalarımızda gözlediğimiz ortak özellik olarak gözlenmiştir. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7 de görüldüğü gibi χ''_{\max} a karşılık konsantrasyon frekansa bağlılık göstermektedir. Ayrıca Şekil 3.10 dan görüleceği gibi aynı konsantrasyon eksenine göre çizilen (χ'' , $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$) eğrilerinde, γ_m değerleri deney hataları çok olduğu için karşılaştırma yapılamamıştır.



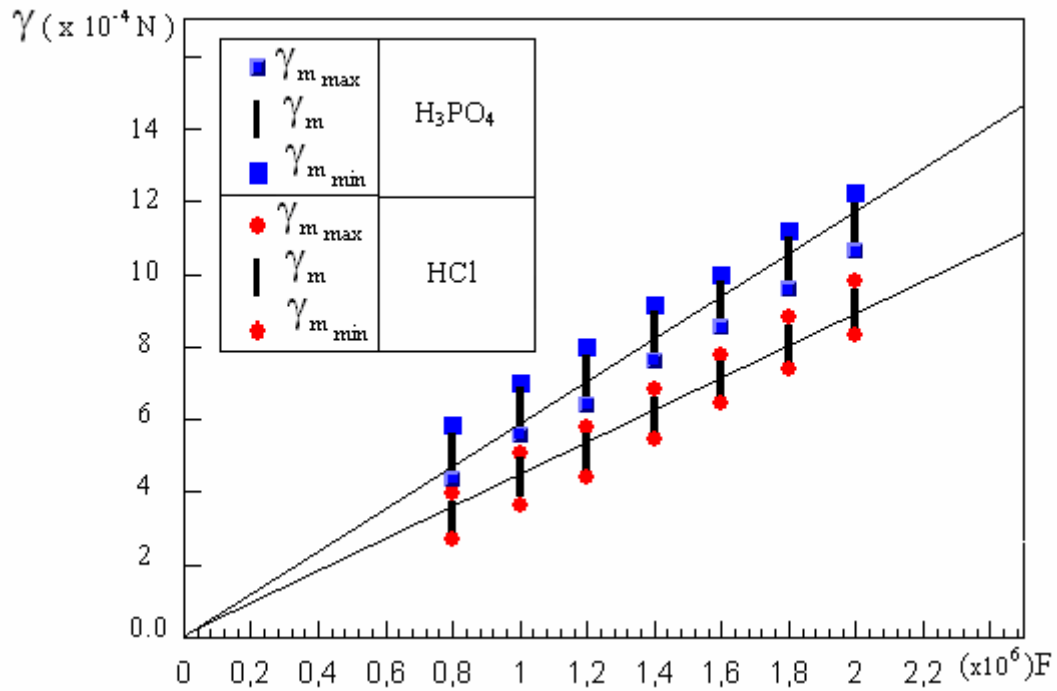
Şekil 3.10 Bir ölçme hücresinde değişik çözeltiler için, kayıp faktörlerinin konsantrasyona göre değişimleri.

Bunun yanında Şekil 3.10 den yararlanarak farklı elektrolitler için χ''_{\max} değerlerinin yaklaşık olarak aynı olduğu söylenebilir ($\chi''_{\max} \cong 0,095 \pm 0,005$).

Şekil 3.11'de, H_3PO_4 ve HCl çözeltilerine ilişkin değişik rezonans frekansları için χ''_{\max} a karşılık gelen çözelti konsantrasyonları (γ_m ler) frekansa göre çizilmiştir. Tablo 3,8'den yararlanılarak elde edilen ve şekil 3.11 de verilen (γ_m, F) grafiklerinin doğrusal olduğu görülmektedir. Tablo 3,8'deki veriler Ek-C'de verilen ($\chi'', -\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$) grafik takımından elde edilmiştir.

Tablo 3.8 Sabit sıcaklıkta ($T = 25^\circ C$) H_3PO_4 ve HCl çözeltileri için (γ_m, F) tablosu

| F(MHz) | $L_0 = 141.9 \mu H$ | | | | $\ell = 12.01 \text{ cm}$ | | | |
|--------|---------------------|----------------------------------|---------------------|------------|---------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|
| | H_3PO_4 | | | | HCl | | | |
| | $\gamma_0 = 4 N$ | $\times 10^{-4} N$ | | | $\gamma_0 = 4 N$ | $\times 10^{-4} N$ | | |
| | | $-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$ | $\gamma_{m_{\min}}$ | γ_m | | $\gamma_{m_{\max}}$ | $-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$ | $\gamma_{m_{\min}}$ |
| 2.00 | 11.7 | 10.6 | 11 | 12.2 | 11.9 | 8.32 | 9.0 | 9.81 |
| 1.80 | 11.9 | 9.57 | 10 | 11.1 | 12.0 | 7.38 | 8.0 | 8.81 |
| 1.60 | 12.0 | 8.53 | 9.2 | 9.97 | 12.1 | 6.45 | 7.0 | 7.77 |
| 1.40 | 12.1 | 7.62 | 8.3 | 9.14 | 12.2 | 5.46 | 6.0 | 6.83 |
| 1.20 | 12.3 | 6.40 | 7.1 | 7.99 | 12.3 | 4.41 | 5.3 | 5.79 |
| 1.00 | 12.4 | 5.58 | 6.2 | 7.00 | 12.4 | 3.64 | 4.35 | 5.07 |

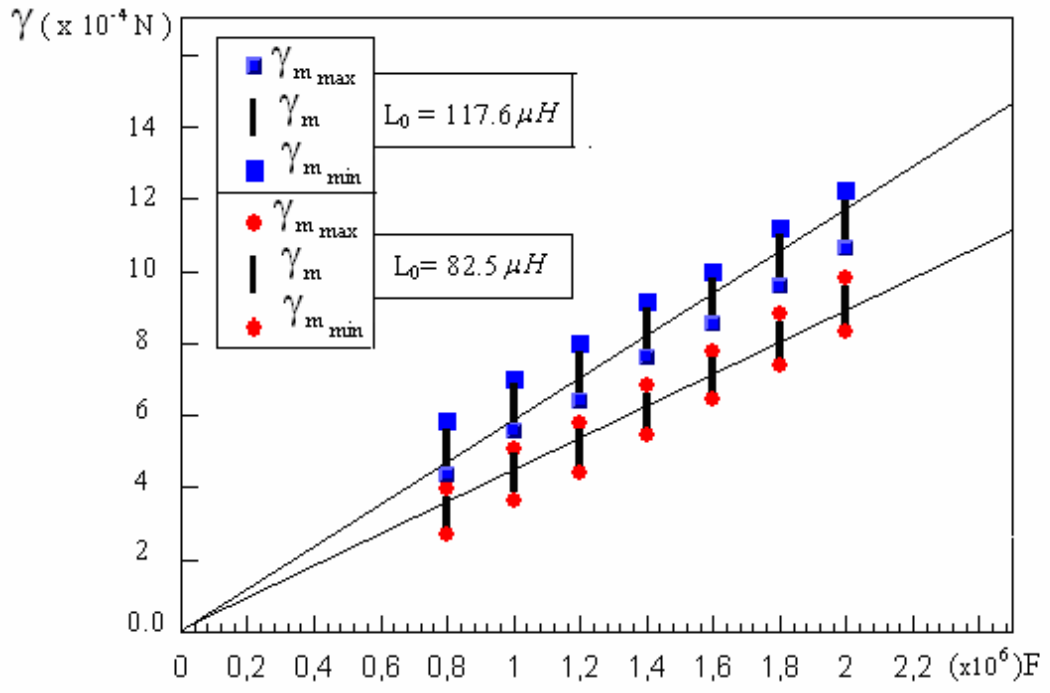


Şekil 3.11 H₃PO₄ ve HCl için (γ_m, F) değişimi ($L_0=141.90 \mu\text{H}$, $\ell = 12.01 \text{ cm}$)

Aynı yöntemle HF çözeltisi için (γ_m, F) grafikleri Şekil 3.12 de gösterilmiş, grafik parametreleri ise Tablo 3.9 de verilmiştir. Deneyde ifade edilen diğer parametreler de aynı tablo üzerinde gösterilmektedir.

Tablo 3.9 Sabit sıcaklıkta ($T=25^\circ\text{C}$) HF çözeltisi için (γ_m, F) tablosu

| F(MHz) | HF | | | | | | | | |
|--------|----------------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|----------------------------------|------------------------|------------|---------------------------|--|
| | $L_0=141.9 \mu\text{H}$ | | $\ell = 12.01 \text{ cm}$ | | | $L_0=82.5 \mu\text{H}$ | | $\ell = 12.00 \text{ cm}$ | |
| | $\gamma_0 = 4 N$ | $\times 10^{-4} N$ | | | $\gamma_0 = 4 N$ | $\times 10^{-4} N$ | | | |
| | $-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$ | $\gamma_{m_{\min}}$ | γ_m | $\gamma_{m_{\max}}$ | $-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$ | $\gamma_{m_{\min}}$ | γ_m | $\gamma_{m_{\max}}$ | |
| 2.00 | 11.7 | 9.45 | 10.2 | 11.1 | 11.9 | 7.46 | 8.01 | 8.73 | |
| 1.80 | 11.9 | 8.39 | 9.16 | 10.1 | 12.0 | 6.44 | 7.02 | 7.71 | |
| 1.60 | 12.0 | 7.56 | 8.24 | 9.01 | 12.2 | 5.81 | 6.30 | 7.03 | |
| 1.40 | 12.2 | 6.49 | 7.22 | 8.02 | 12.4 | 4.84 | 5.37 | 6.10 | |
| 1.20 | 12.3 | 5.86 | 6.25 | 7.03 | 12.7 | 4.16 | 4.64 | 5.37 | |
| 1.00 | 12.5 | 4.98 | 5.42 | 6.02 | 12.9 | 3.33 | 3.87 | 4.55 | |



Şekil 3.12 HF için (γ_m, F) değişimi

KAYNAKLAR

- [1] BLAEDEL, W. J., MALMSTADT, H. V., PETITJEAN, D. L., ANDERSON, W. K., Theory of Chemical Analysis by High – Frequency Methods. Analytical Chemistry, Vol. 24, No.8, p.1240, (1952)
- [2] ERMAKOV, V.I., ZAGORETS, P.A., Investigation of Solutions by High-Frequency Methods. IX. The Effects of the Ionic Atmosphere and Temperature on the Structure of Electrolyte Solutions Russian Journal of Physical Chemistry, Vol.38, No.12, p.1616, (1964)
- [3] GÜNEY, Y, Elektrolitik Çözeltilerde Radyofrekans Etkileşimler. Doktora Tezi, İstanbul (1993)
- [4] ERMAKOV, V. I. High-Frequency Conductivity of Solutions. Russian Journal of Physical Chemistry, Vol.34, No 10, P.1072 (1960)
- [5] ERMAKOV, V.I., ZAGORETS, P.A., SMIRNOV, N.I., Investigation of Solutions by High-Frequency Methods. I. Measuring Cells. Russian Journal of Physical Chemistry, Vol.36, No:6, P.625, (1962)
- [6] ZAGORETS, P. A., SMIRNOV, N.I., Investigation of Solutions by High-Frequency Methods. IV. Dependence of the Frequency of the Measuring Oscillator on the Conductivity and Dielectric Constant of Electrolyte Solutions. Russian Journal of Physical Chemistry, Vol.36, No.12, p.1487, (1962)
- [7] ERMAKOV, V. I., ZAGORETS, P. A., SMIRNOV, N.I., Investigation of Solutions by High-Frequency Methods. II. Interaction of Measuring Cells with the Test Solution. Russian Journal of Physical Chemistry, Vol.36, No.7, p.757, (1962)
- [8] HALL, J. L., Practical High-Frequency Titration Apparatus for General Laboratory Use, Anal. Chem., Vol.24, No.8, p.1244, (1952)

- [9] ERMAKOV, V. I., SMIRNOV, N.I., ZAGORETS, P. A., Investigation of Solutions by High-Frequency Methods. VI. Dispersion Effects in Electrolyte Solutions over a Broad Frequency. Russian Journal of Physical Chemistry, Vol.37, No.3, p.280, (1963)
- [10] ERMAKOV, V. I., ZAGORETS, P. A., Investigation of Solutions by High-Frequency Methods. III. Characteristic Curves for Electrical Measuring Cells, and Relaxation Effects in Solutions. Russian Journal of Physical Chemistry, Vol.36, No.8 p.881, (1962)
- [11] JENSEN, F. W., PARRACK, A. L., Use of High-Frequency Oscillators in Titrations and Analyses. Industrial and Engineering Chemistry, Vol.18, No:10, p.595, (1946)
- [12] ROBINSON, R. A, STOKES, R. H. "Electrolyte Solutions". Sec Ed. Revisd, Butterworths, London, (1965)
- [13] ÇETİN, M., Yüksek Frekanslı Magnetik Alanda (400 KHz- 4MHz) Elektrolit Çözeltilerin Magnetik Geçirgenlik ve Kayıp Faktörlerinin Konsantrasyona Göre Değişiminin İncelenmesi. Diyarbakır Tıp Fak. Dergisi, Cilt:5, Sayı:1-2, pp.269-284, (1976)
- [14] DELAHAY, P. REILLEY, C. N. New Instrumental Methods in Electrochemistry. Interscience Publishers Ltd., London, (1954)
- [15] REILLEY, C. N., McCURDY, W.H., Principles of High-Frequency Titrimetry., Analytical Chemistry, Vol.25, No.1, p.86, (1953)
- [16] [6] BLAEDEL, W.J., BURKHALTER, T.S., FLOM, D.G., HARE, G., JENSEN, F. W., Chemical Analytical Chemistry, Vol.24, No:1, p.198, (1952)
- [17] HALL, J.L., High-Frequency Titration. Analytical Chemistry, Vol.24, No.8, p.1236, (1952)
- [18] BLAEDEL, W. J., MALMSTADT, H. V., High-Frequency Titrations., Analytical Chemistry, Vol. 22 No:6, p.734, (1950)
- [19] FORMAN, J. CRIPS. D. J. The Radio-Frequency Absorbption Spectra of Solutions of Electrolytes. Trans. Faraday Society , 42(A), (1946)

- [20] REITZ, R.J., MILFORD, F.J. "Foundation of Electromagnetic Theory" Sec. Ed. Addison-Wesley Pub. Comp. London (1969)
- [21] ERMAKOV, V. I., ZAGORETS, P. A., MIKHAILOV, G.G.ORLOV, V.V., Determination of the Dielectric Constant of Liquids by High-Frequency Contactsless Methods. Russian Journal of Physical Chemistry, 42 (12),p.1677 (1968)
- [22] CONDON, E. M., ODISHAW, H. "Handbook of Physics". Chap. 7, McGraw-Hill, (1967)
- [23] GÜNER, Z., ESEN, H., İyonik Çözeltilerin Yüksek Frekanslı Elektrodinamik Alanla Etkileşiminin İncelenmesinde İndüktif Tip Hücre Çözelti Sisteminin Davranışı ve Deneysel Verilerin Teorik Sonuçlar ile Karşılaştırmalı Etüdü. Ankara Üniv.Tıp Fakültesi Mecmuası, Cilt:XXXII, Sayı:2, pp.259-278, (1979)
- [24] FALKENHAGEN, H. "Electrolytes", Oxford Press., London (1934)
- [25] SHCHERBAKOV, V.V., ERMAKOV, V.I., The High-Frequency Admittance and Limiting Conductance of Concentrated Electrolyte Solutions. Russian Journal of Physical Chemistry, Vol.51, No.7, p.1041, (1977)
- [26] ÇETİN, M., Multiple Ionic Relaxations in Electrolytic Solutions and the Radio-Frequency Investigation of this Effect. Doçentlik Tezi, Diyarbakır, (1978)
- [27] BRAUNSTEIN, J., ROBBINS, G.D., Electrolytic Conductance Measurements and Capacitive Balance., Jour. of Chem. Education, Vol.48 No:1, p.52, (1971)
- [28] ESEN, H., Amino Asit ve Elektrolitik Çözeltilerinin, Radyofrekansta (200 KHZ - 40 MHz) Elektrodinamik Alandan Soğurdukları Enerjinin Konsantrasyonla Değişiminin İndüktif Tip Hücre ile İncelenmesi. Ankara Üniv.Tıp Fakültesi Mecmuası, Cilt:34, Sayı:1, pp.57-72, (1981)
- [29] ÇETİN, M. Yüksek Frekanslı Magnetik Alanda (100 KHz-4 MHz) Elektrolit Çözeltilerin Magnetik Geçirgenlik ve Kayıp Faktörlerinin Konsantrasyona Göre Değişiminin İncelenmesi. Doktora Tezi, Diyarbakır, (1973)

- [30] GÜLSÜN, Z., Investigations on Magnetic Loss Factors of Colloidal Agar Solutions. Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. Serie A₂ V.35, pp.53-64, (1986)
- [31] ÇETİN, M., Ionic Relaxations and Radio-Frequency Interactions in Electrolytic Solutions. Bull.Tech.Univ., İstanbul, Vol.43, pp.121-132, (1990)
- [32] ÇETİN, M. Measurement of Radio Frequency Losses in Electrolytic Solutions. Bull. Tech. Univ., İstanbul, Vol.43, pp.245-251, (1990)
- [33] DEMİREL, İ. Radyo Frekans Elektromagnetik Alanla Elektrolitik Çözeltilerde ve Biyolojik Sıvılarda Toplam İyon Konsantrasyonunun Tayini, Doçentlik Tezi, Diyarbakır (1980)
- [34] YİĞİN, M. Bazı Asit-Tuz Çözeltilerinin Radyo Frekans Altında Kayıp ve Dispersiyon Faktörlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya (2006)

EKLER

| | |
|--|------------|
| Ek-A Tezde kullanılan program kodları ve ekran görüntüleri..... | 56 |
| Ek-B Bir ölçme hücresinde Fr ve Vr deneysel parametreleri ile bunlardan hesaplanan kayıp (χ'') ve dispersiyon (χ') faktörlerinin konsantrasyona ($-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$) göre | 64 |
| Ek-C Değişik çözelti ve ölçme hücreleri için deneysel kayıp (χ'') ve dispersiyon (χ') faktörlerinin konsantrasyona ($-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$) göre değişimleri..... | 92 |
| Ek-D Yedi farklı ölçme hücresi için kayıp (χ'') faktörlerinin konsantrasyona ($-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$) göre değişimleri..... | 106 |
| Ek-E Yedi farklı frekansta kayıp (χ'') faktörlerinin konsantrasyona ($-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$) göre değişimleri..... | 108 |
| Ek-F Farklı indüktanslı bobinlerde maksimum kayıp (χ''_{max}) faktörlerinin frekans- kareye (F^2) göre değişimleri..... | 122 |
| Ek-G Farklı frekanslarda maksimum kayıp (χ''_{max}) faktörlerinin İndüktansa (L) göre değişimleri..... | 124 |
| Ek-H Deneysel çalışmada kullanılan bobinlerin fiziksel özellikleri..... | 126 |

Ek-A Tezde kullanılan program kodları ve ekran görüntüleri

Programlama dili : Visual Basic (6.0 versiyonu)
Veritabanı : Microsoft Access (2003 versiyonu)
Raporlama : Crystal Report (X versiyonu)
Program ana klasörü : C:\Program Files\PFMYAG\Yukseklisan
Veritabanı klasörü : C:\Program Files\PFMYAG\Yukseklisan\veritabanı
Rapor klasörü : C:\Program Files\PFMYAG\Yukseklisan\Rapor
Veri Tabanı Adı :Yukseklisan.mdb

Programda kullanılan veritabanı yapısı

Tablo : DeneyOlcum

| Alan Adı | Veri Türü |
|------------|-----------|
| BobinNo | Sayı |
| Elektrolit | Metin |
| FR1 | Metin |
| VR1 | Metin |
| Vo | Metin |
| Vr | Metin |
| TupNo | Sayı |
| TupAdi | Metin |
| Fr | Metin |
| Xs | Metin |
| Xss | Metin |
| Tablo | Metin |

Tablo : max_sog_konsantrasyonu

| Alan Adı | Veri Türü |
|---------------|-----------|
| BobinNo | Sayı |
| Tablo | Metin |
| Elektrolit | Metin |
| T | Metin |
| Go | Metin |
| FR1 | Metin |
| Vr | Metin |
| Xss | Metin |
| konsantrasyon | Metin |
| Gama_min | Metin |
| Gama_opt | Metin |
| Gama_max | Metin |

Tablo : HesaplananDegerler

| Alan Adı | Veri Türü |
|------------|-----------|
| BobinNo | Sayı |
| Elektrolit | Metin |
| TupAdi | Metin |
| FR1 | Metin |
| Zr | Metin |
| R | Metin |
| Q | Metin |
| A | Metin |
| Xs_Lim | Metin |
| Xs_Lim2 | Metin |
| Xss_Max | Metin |
| Tablo | Metin |

Tablo : sabitler

| Alan Adı | Veri Türü |
|----------|-----------|
| BobinNo | Sayı |
| BobinBoy | Metin |
| Lo | Metin |
| Ro | Metin |
| T | Metin |
| Go | Metin |

Ek-A.1 Programın ana ekran görüntüsü



Ek-A.1.1 Deney ölçüm değerleri giriş ve kayıt ekranı

GİRİLEN DENEY ÖLÇÜM DEĞERLERİ

| BOŞ | Fr | Vr |
|-----|------|------|
| 0 | 1,96 | 3,95 |
| 1 | 1,96 | 3,95 |
| 2 | 1,96 | 3,95 |
| 3 | 1,96 | 3,90 |
| 4 | 1,97 | 3,85 |
| 5 | 1,97 | 3,85 |
| 6 | 1,97 | 3,45 |
| 7 | 1,97 | 3,45 |
| 8 | 1,97 | 3,50 |
| 9 | 1,97 | 3,10 |
| 10 | 1,97 | 3,05 |
| 11 | 1,98 | 3,00 |
| 12 | 1,99 | 2,90 |
| 13 | 1,99 | 3,05 |
| 14 | 1,99 | 3,25 |
| 15 | 1,99 | 3,45 |
| 16 | 2,00 | 3,65 |
| 17 | 2,00 | 3,64 |
| 18 | 2,00 | 3,80 |
| 19 | 2,00 | 3,95 |
| 20 | 2,00 | 4,00 |
| 21 | 2,00 | 4,00 |

SAF SU:

Alta Geç Yana Geç

TEMİZLE

ELEKTROLİT:

BOBİN NO:

Vo:

Vr (ilk):

FREKANS:

| ÇÖZELTİ | BOBİN NO | FREKANS |
|---------|----------|------------------------------------|
| H3PO4 | 1 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| H3PO4 | 2 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| H3PO4 | 3 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| H3PO4 | 4 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| H3PO4 | 5 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| H3PO4 | 6 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| H3PO4 | 7 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| HC1 | 1 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| HC1 | 2 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| HC1 | 3 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| HC1 | 4 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| HC1 | 5 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| HC1 | 6 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| HC1 | 7 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| HF | 1 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| HF | 2 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| HF | 3 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| HF | 4 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| HF | 5 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| HF | 6 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| HF | 7 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |
| HNO3 | 1 | 0,80 1,00 1,20 1,40 1,60 1,80 2,00 |

YENİ KAYIT **KAYIT AL** **KAYIT DÜZENLE** **SİL**

VERİLERİ HESAPLA


Ek-A.1.2 Tablo numaratoru olusturan program kodu ve ekran görüntüsü

FREKANS DEĞERLERİ TABLO OLUŞTURMAK İÇİN 1 DEN BAŞLAYARAK NUMARA VERİLECEK

ELEKTROLİT - BOBİN NO - FREKANS YANİ TABLO DEĞERİ 1.1.1 ŞEKLİNDE OLACAK

Frekans değerleri birden başlayarak tıklanacak

| ELEKTROLİT | BOBİN NO | FREKANS | TEMİZLE |
|------------|----------|---------|---------|
| H3PO4 | 1 | 2,00 | |
| HCl | 2 | 1,80 | |
| HF | 3 | 1,60 | |
| HNO3 | 4 | 1,40 | |
| | 5 | 1,20 | |
| | 6 | 1,00 | |
| | 7 | 0,80 | |

TABLO NUMARATÖRÜ OLUŞTUR 

```

Dim BobinNo As Integer
Dim Guncelle ,GuncelSil As String: GuncelSil = ""
    Sql3 = "update deneyolcum set tablo=" & Guncelle & ""
    conMdb.Execute (Sql3)
For i = 0 To a - 1
For j = 0 To b - 1
For s = 0 To c - 1
    Set recOkuGroup = New ADODB.Recordset
    Sql = "select * from deneyolcum where [BobinNo]=" & CInt(List2.List(j)) & "" & _
        " and [elektrolit]=" & List1.List(i) & "" & _
        " and [Fr1]=" & Trim(Mid(List4.List(s), 4)) & ""
    recOkuGroup.Open Sql, conMdb, 1, 3

While Not recOkuGroup.EOF
    BobinNo = recOkuGroup("BobinNo").Value
    Left(List4.List(s), 1)
    recOkuGroup.MoveNext
Wend
Guncelle = CStr(i + 1) & "." & BobinNo & "." & Left(List4.List(s), 1)
Sql2 = "update deneyolcum set tablo=" & Guncelle & "" where [BobinNo]=" & CInt(List2.List(j)) & "" & _
    " and [elektrolit]=" & List1.List(i) & "" & _
    " and [Fr1]=" & Trim(Mid(List4.List(s), 4)) & ""
conMdb.Execute (Sql2)
recOkuGroup.Close
Set recOkuGroup = Nothing
Next 's
Next 'j
Next 'i

```


Ek-A.1.3 Kayıp (χ'') ve dispersiyon (χ') faktörlerini hesaplayan program kodu

```

Dim İlkKayit As Boolean: İlkKayit = True
Const Pi = 3.141592654
Dim Lo, Ro, Vo, Vr1, Fr1, Wo, R, Zr, a, Q, K, T, Go, MIN, MAX, KUC, BUY,
    KAPA1, KAPA2, KAPAYARI As Single
'Bu kod veritabanındaki kayıtları gruplandırıyor
Set recOkuGroup = New ADODB.Recordset
Sql = "select elektrolit,bobinno,fr1,tablo from DeneyOlcum group by elektrolit,bobinno, fr1,tablo"
recOkuGroup.Open Sql, conMdb, 1, 3
If recOkuGroup.RecordCount > 0 Then recOkuGroup.MoveFirst
While Not recOkuGroup.EOF
'SABİTLER ALINIYOR Lo-Ro-T-Go =====
Set recOkuSabit = New ADODB.Recordset
Sql = "select * from sabitler where [BobinNo]='" & recOkuGroup("BobinNo") & "'"
recOkuSabit.Open Sql, conMdb, 1, 3
If recOkuSabit.RecordCount > 0 Then recOkuSabit.MoveFirst Else MsgBox "SABİTLER OKUNAMIYOR",
vbCritical + vbSystemModal + vbOKOnly, "UYARI": Exit Sub
    Lo = CSng(recOkuSabit("lo") * 10 ^ -6)
    T = CSng(recOkuSabit("t"))
    Ro = CSng(recOkuSabit("ro"))
    Go = CSng(recOkuSabit("go"))
Set recOkuSabit = Nothing
=====
Set recOku = New ADODB.Recordset
Sql = "select * from DeneyOlcum where [BobinNo]='" & recOkuGroup("BobinNo") & "'" & _
    " and [elektrolit]='" & recOkuGroup("elektrolit") & "'and [Fr1]='" & recOkuGroup("Fr1") & "'" & _
    " order by TupNo"
recOku.Open Sql, conMdb, 1, 3
KayitSayisi = recOku.RecordCount
If KayitSayisi > 0 Then recOku.MoveFirst
ReDim Fr(KayitSayisi)
ReDim Vr(KayitSayisi)
ReDim Xs(KayitSayisi)
ReDim XsB(KayitSayisi)
ReDim Xss(KayitSayisi)
ReDim XssB(KayitSayisi)
Dim s As Integer: s = 0
While Not recOku.EOF
    s = s + 1
    Fr(s) = CSng(recOku("fr")): Vr(s) = CSng(recOku("vr"))
    Vr1 = CSng(recOku("vr1"))
    Fr1 = CSng(recOku("fr1"))
    Vo = CSng(recOku("Vo"))
    recOku.MoveNext
Wend
Set recOku = Nothing
MIN = Vr(3): KUC = Fr(3)          'Vr ve Fr nin Minimum Değerleri Bulunuyor
For e = 3 To KayitSayisi
    If Vr(e) < MIN Then MIN = Vr(e)
    If Fr(e) < KUC Then KUC = Fr(e)
Next
Wo = 2 * Pi * Fr(2) * 10 ^ 6
Zr = 4 * Ro / (Vo - Vr1) / 1000 '4 LER VO OLACAK
R = ((Vo - Vr1) * Wo ^ 2 * Lo ^ 2) / (Vr1 * Ro) '4 LER VO OLACAK
a = Wo * Lo / Ro + R / (Wo * Lo)
For c = 2 To KayitSayisi
    Xs(c) = (Fr(2) / Fr(c)) ^ 2 - 1
Next
MAX = Xs(1)

```

```

For d = 2 To KayitSayisi
    If Xs(d) > MAX Then MAX = Xs(d)
Next
KAPA2 = a * (Vr(2) / MIN - 1)
KAPA1 = (Fr(2) / KUC) ^ 2 - 1
KAPA1YARI = KAPA1 / 2
Q = Wo * Lo / R
For T = 2 To KayitSayisi
    Xss(T) = a * (Vr(2) / Vr(T) - 1)
Next
BUY = Xss(3)
For Y = 3 To KayitSayisi
    If Xss(Y) > BUY Then BUY = Xss(Y)
Next
K = 0
'__ YUKARIDAKİ HESAPLANAN HESAPLANADEGERLER TABLOSUNA AKTARILYOR_____
Set recSabKayit = New ADODB.Recordset
Sql = "select * from HesaplananDegerler"
recSabKayit.Open Sql, conMdb, 1, 3
If recSabKayit.RecordCount > 0 And IlkKayit = True Then
    conMdb.Execute ("delete * from HesaplananDegerler") 'Veritabanından eski kayıtlar siliniyor
    IlkKayit = False
End If
recSabKayit.AddNew
recSabKayit("bobinNo") = CStr(recOkuGroup("BobinNo"))
recSabKayit("Elektrolit") = CStr(recOkuGroup("Elektrolit"))
recSabKayit("Fr1") = CStr(Format(Fr1, "0.00"))
recSabKayit("Zr") = CStr(Format(Zr, "0.0"))
recSabKayit("r") = CStr(Format(R, "0.0"))
recSabKayit("q") = CStr(Format(Q, "0.0"))
recSabKayit("a") = CStr(Format(a, "0.000"))
recSabKayit("xs_lim") = CStr(Format(KAPA1, "0.00"))
recSabKayit("xs_lim2") = CStr(Format(KAPA1YARI, "0.00"))
recSabKayit("xss_max") = CStr(Format(KAPA2, "0.000"))
recSabKayit("Tablo") = recOkuGroup("tablo")
recSabKayit.Update
Set recSabKayit = Nothing
'YUKARIDA OKUNAN KAYITLARDAKİ GRUP DEĞERLERİ ALINIYOR =====
Set recOku = New ADODB.Recordset
Sql = "select * from DeneyOlcum where [BobinNo]='" & recOkuGroup("BobinNo") & "' & _
    " and [elektrolit]='" & recOkuGroup("elektrolit") & "' and [TupNo]='" & recOkuGroup("TupNo") & "' & _
    " order by TupNo"
recOku.Open Sql, conMdb, 1, 3
If KayitSayisi > 0 Then recOku.MoveFirst
Dim i, Xs1, Xss1 As Double : i = 0
While Not recOku.EOF
    i = i + 1
    Set recKayit = New ADODB.Recordset
    Sql = "select * from DeneyOlcum where [BobinNo]='" & recOku("BobinNo") & "' & _
        " and [elektrolit]='" & recOku("elektrolit") & "' and [TupNo]='" & recOku("TupNo") & "' & _
        " and [Fr1]='" & recOku("Fr1") & "' and [vr1]='" & recOku("vr1") & "'"
    recKayit.Open Sql, conMdb, 1, 3
    recKayit("xs") = CStr(Format(Xs(i), "0.00")) : recKayit("xss") = CStr(Format(Xss(i), "0.000"))
    recKayit.Update : Set recKayit = Nothing
    recOku.MoveNext
    If i = KayitSayisi Then i = 0
Wend
recOkuGroup.MoveNext
Wend
Set recOku = Nothing

```

Ek-A.1.3a (Ek-A.1.3) te verilen program kodundan elde edilen rapor görüntüsü

RAPOR MUSA YİĞİN

90%

1 / 1+

Tablo : 1.4.7

| | | | |
|----------------------|----------------|------------------------------|----------|
| ELEKTROLİT | HCl-NaCl | BOBİN NO | 7 |
| V _o | 4,50 V | V _{ro} | 4,00 V |
| l (Bobin Boyu) | 11,1 cm | F _o | 2,00 MHz |
| L _o | 165,60 μ H | T | 25 °C |
| R _o | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4 N |

| $-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$ | F _r (MHz) | V _r (V) | χ' | χ'' |
|----------------------------------|----------------------|--------------------|---------|----------|
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,78 | 3,90 | 0,26 | 0,006 |
| 1 | 1,78 | 3,90 | 0,26 | 0,006 |
| 2 | 1,78 | 3,90 | 0,26 | 0,006 |
| 3 | 1,78 | 3,90 | 0,26 | 0,006 |
| 4 | 1,78 | 3,90 | 0,26 | 0,006 |
| 5 | 1,78 | 3,80 | 0,26 | 0,012 |
| 6 | 1,78 | 3,60 | 0,26 | 0,025 |
| 7 | 1,78 | 3,40 | 0,26 | 0,040 |
| 8 | 1,78 | 3,00 | 0,26 | 0,075 |
| 9 | 1,87 | 2,80 | 0,14 | 0,096 |
| 10 | 1,91 | 3,00 | 0,10 | 0,075 |
| 11 | 1,97 | 3,20 | 0,03 | 0,056 |
| 12 | 1,97 | 3,50 | 0,03 | 0,032 |
| 13 | 1,99 | 3,80 | 0,01 | 0,012 |
| 14 | 1,99 | 3,90 | 0,01 | 0,006 |
| 15 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 16 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 17 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 18 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 19 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 20 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

| | | | |
|----------------------|-------------------|-----------------------|-------|
| Boş Bobin | Dolu Bobin | | |
| Z _r | 83,5 k Ω | χ' (lim) | 0,26 |
| R | 51,9 Ω | χ' (lim)/2 | 0,13 |
| Q | 40,1 | χ'' (max) | 0,096 |
| A | 0,224 | | |


Ek-A.1.4 Maksimum soğurma konsantrasyonu hesabını yapan program kodu ve ekran görüntüsü

MAX SOĞURMA KONSANTRASYON TABLOSU OLUŞTUR

BOBİNNO: 4
ELEKTROLİT: H3PO4
Go: 4,00

| FREKANS | $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | γ_{\min} | γ_{opt} | γ_{\max} |
|---------|----------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|
| 2,00 | 12 | 0,0009 | 0,0010 | 0,0010 |
| 1,80 | 12,2 | 0,0008 | 0,0009 | 0,0009 |
| 1,60 | 12,3 | 0,0007 | 0,0008 | 0,0009 |
| 1,40 | 12,5 | 0,0006 | 0,0007 | 0,0007 |
| 1,20 | 12,7 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0006 |
| 1,00 | 12,9 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0006 |
| 0 | | 0,0004 | 0,00 | |

HESAPLA **KAYDET**



```

Dim dblGo As Double
Dim dblGama As Double
Label6.Visible = True: Label7.Visible = True: Label8.Visible = True
If KayitSayisi > 0 Then
  For h = 0 To KayitSayisi - 1
    txtgama_min(h).Visible = True
    txtgama_opt(h).Visible = True
    txtgama_max(h).Visible = True
    dblGo = CDbI(txtGo.Text)
    dblGama = CDbI(txtgama(h).Text)
    txtgama_min(h).Text = Format(CStr(CDbI(txtGo.Text) * 2 ^ (-dblGama - 0.1)), "0.0000")
    txtgama_opt(h).Text = Format(CStr(CDbI(txtGo.Text) * 2 ^ (-dblGama)), "0.0000")
    txtgama_max(h).Text = Format(CStr(CDbI(txtGo.Text) * 2 ^ (-dblGama + 0.1)), "0.0000")
  Next
End If

```

Ek-A.1.4a (Ek-A.1.4) te verilen program kodundan elde edilen rapor görüntüsü

DENEY NO: 1.1
MADDE ADI: HCl-KI
SICAKLIK (T): 25 °C
 γ_0 (NORMALITE): 4,00 N

| FREKANS | $-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$ | $\gamma_{m_{\min}}$ | γ_m | $\gamma_{m_{\max}}$ |
|----------|----------------------------------|---------------------|------------|---------------------|
| 2,00 MHz | 10,2 | 0,0032 | 0,0034 | 0,0036 |
| 1,80 MHz | 10,4 | 0,0028 | 0,0030 | 0,0032 |
| 1,60 MHz | 10,5 | 0,0026 | 0,0028 | 0,0030 |
| 1,40 MHz | 10,6 | 0,0024 | 0,0026 | 0,0028 |
| 1,20 MHz | 10,8 | 0,0021 | 0,0022 | 0,0024 |

Ek-B Bir ölçme hücresinde F_r ve V_r deneysel parametreleri ile bunlardan hesaplanan kayıp (χ'') ve dispersiyon (χ') faktörlerinin konsantrasyona göre değişimi
(Bu tablolar Ek-A.1.3 te verilen program kodundan elde edilmiştir)

Tablo : B.1.1

| | | | |
|------------------------|----------------|------------------------------|----------|
| Elektrolit | H_3PO_4 | Bobin No | 1 |
| V_0 | 5,50 V | V_{r0} | 4,00 V |
| l (Bobin Boyu) | 12,06 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz |
| L_0 | 25,7 μH | T (Sıcaklık) | 25 °C |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N |

| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
|----------------------------|-------------|-----------|---------|----------|
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,96 | 3,95 | 0,04 | 0,001 |
| 1 | 1,96 | 3,95 | 0,04 | 0,001 |
| 2 | 1,96 | 3,95 | 0,04 | 0,001 |
| 3 | 1,96 | 3,90 | 0,04 | 0,001 |
| 4 | 1,97 | 3,85 | 0,03 | 0,002 |
| 5 | 1,97 | 3,65 | 0,03 | 0,004 |
| 6 | 1,97 | 3,45 | 0,03 | 0,007 |
| 7 | 1,97 | 3,45 | 0,03 | 0,007 |
| 8 | 1,97 | 3,50 | 0,03 | 0,006 |
| 9 | 1,97 | 3,10 | 0,03 | 0,012 |
| 10 | 1,97 | 3,05 | 0,03 | 0,013 |
| 11 | 1,98 | 3,00 | 0,02 | 0,014 |
| 12 | 1,99 | 2,90 | 0,01 | 0,016 |
| 13 | 1,99 | 3,05 | 0,01 | 0,013 |
| 14 | 1,99 | 3,25 | 0,01 | 0,010 |
| 15 | 1,99 | 3,45 | 0,01 | 0,007 |
| 16 | 2,00 | 3,65 | 0,00 | 0,004 |
| 17 | 2,00 | 3,64 | 0,00 | 0,004 |
| 18 | 2,00 | 3,80 | 0,00 | 0,002 |
| 19 | 2,00 | 3,95 | 0,00 | 0,001 |
| 20 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

Boş Bobin

Zr

R

Q

A

Dolu Bobin

χ' (lim)

χ' (lim)/2

χ'' (max)

Tablo : B.1.2

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | H_3PO_4 | Bobin No | 2 | |
| V_0 | 4,90 V | V_{r0} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 11,96 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 43,6 μ H | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,94 | 3,95 | 0,06 | 0,001 |
| 1 | 1,94 | 3,90 | 0,06 | 0,002 |
| 2 | 1,95 | 3,90 | 0,05 | 0,002 |
| 3 | 1,95 | 3,85 | 0,05 | 0,003 |
| 4 | 1,95 | 3,80 | 0,05 | 0,003 |
| 5 | 1,95 | 3,75 | 0,05 | 0,004 |
| 6 | 1,96 | 3,65 | 0,04 | 0,006 |
| 7 | 1,96 | 3,45 | 0,04 | 0,010 |
| 8 | 1,96 | 3,47 | 0,04 | 0,010 |
| 9 | 1,96 | 3,10 | 0,04 | 0,019 |
| 10 | 1,97 | 3,05 | 0,03 | 0,020 |
| 11 | 1,98 | 2,95 | 0,02 | 0,023 |
| 12 | 1,97 | 2,85 | 0,03 | 0,026 |
| 13 | 1,97 | 3,00 | 0,03 | 0,021 |
| 14 | 1,99 | 3,10 | 0,01 | 0,019 |
| 15 | 1,99 | 3,40 | 0,01 | 0,011 |
| 16 | 1,99 | 3,70 | 0,01 | 0,005 |
| 17 | 2,00 | 3,65 | 0,00 | 0,006 |
| 18 | 2,00 | 3,80 | 0,00 | 0,003 |
| 19 | 2,00 | 3,95 | 0,00 | 0,001 |
| 20 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

Boş Bobin

 Z_r

R

Q

A

Dolu Bobin

χ' (lim)

χ' (lim)/2

χ'' (max)

Tablo : B.1.3

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | H_3PO_4 | Bobin No | 3 | |
| V_0 | 4,80 V | V_{ro} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,01 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 64,3 μH | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,91 | 3,85 | 0,10 | 0,004 |
| 1 | 1,90 | 3,90 | 0,11 | 0,002 |
| 2 | 1,92 | 3,95 | 0,09 | 0,001 |
| 3 | 1,91 | 3,85 | 0,10 | 0,004 |
| 4 | 1,91 | 3,80 | 0,10 | 0,005 |
| 5 | 1,91 | 3,60 | 0,10 | 0,010 |
| 6 | 1,91 | 3,45 | 0,10 | 0,015 |
| 7 | 1,91 | 3,40 | 0,10 | 0,016 |
| 8 | 1,91 | 3,40 | 0,10 | 0,016 |
| 9 | 1,93 | 3,20 | 0,07 | 0,023 |
| 10 | 1,94 | 3,00 | 0,06 | 0,031 |
| 11 | 1,95 | 2,90 | 0,05 | 0,035 |
| 12 | 1,95 | 2,80 | 0,05 | 0,040 |
| 13 | 1,95 | 2,95 | 0,05 | 0,033 |
| 14 | 1,97 | 3,10 | 0,03 | 0,027 |
| 15 | 1,98 | 3,40 | 0,02 | 0,016 |
| 16 | 1,99 | 3,70 | 0,01 | 0,008 |
| 17 | 1,99 | 3,65 | 0,01 | 0,009 |
| 18 | 1,99 | 3,80 | 0,01 | 0,005 |
| 19 | 1,99 | 3,95 | 0,01 | 0,001 |
| 20 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

Boş Bobin

Zr

R

Q

A

Dolu Bobin

$\chi'_{(lim)}$

$\chi'_{(lim)}/2$

$\chi''_{(max)}$

Tablo : B.1.4

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | H_3PO_4 | Bobin No | 4 | |
| V_0 | 4,70 V | V_{r0} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,00 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 82,5 μH | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,85 | 3,85 | 0,17 | 0,005 |
| 1 | 1,86 | 3,85 | 0,16 | 0,005 |
| 2 | 1,88 | 3,80 | 0,13 | 0,006 |
| 3 | 1,87 | 3,75 | 0,14 | 0,008 |
| 4 | 1,86 | 3,60 | 0,16 | 0,013 |
| 5 | 1,86 | 3,50 | 0,16 | 0,017 |
| 6 | 1,86 | 3,30 | 0,16 | 0,025 |
| 7 | 1,87 | 3,25 | 0,14 | 0,027 |
| 8 | 1,87 | 3,25 | 0,14 | 0,027 |
| 9 | 1,88 | 2,95 | 0,13 | 0,042 |
| 10 | 1,89 | 2,85 | 0,12 | 0,047 |
| 11 | 1,91 | 2,75 | 0,10 | 0,053 |
| 12 | 1,91 | 2,60 | 0,10 | 0,063 |
| 13 | 1,93 | 2,85 | 0,07 | 0,047 |
| 14 | 1,95 | 3,05 | 0,05 | 0,036 |
| 15 | 1,97 | 3,35 | 0,03 | 0,023 |
| 16 | 1,96 | 3,55 | 0,04 | 0,015 |
| 17 | 1,96 | 3,55 | 0,04 | 0,015 |
| 18 | 1,97 | 3,70 | 0,03 | 0,009 |
| 19 | 1,97 | 3,85 | 0,03 | 0,005 |
| 20 | 1,98 | 3,90 | 0,02 | 0,003 |
| 21 | 1,99 | 4,00 | 0,01 | 0,000 |

Boş Bobin

 Z_r

R

Q

A

Dolu Bobin

$\chi'_{(lim)}$

$\chi'_{(lim)}/2$

$\chi''_{(max)}$

Tablo : B.1.5

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | H_3PO_4 | Bobin No | 5 | |
| V_0 | 4,60 V | V_{ro} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,01 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 100,2 μ H | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,83 | 3,95 | 0,19 | 0,002 |
| 1 | 1,84 | 3,90 | 0,18 | 0,004 |
| 2 | 1,86 | 3,90 | 0,16 | 0,004 |
| 3 | 1,86 | 3,80 | 0,16 | 0,007 |
| 4 | 1,85 | 3,70 | 0,17 | 0,011 |
| 5 | 1,85 | 3,60 | 0,17 | 0,015 |
| 6 | 1,86 | 3,40 | 0,16 | 0,024 |
| 7 | 1,86 | 3,30 | 0,16 | 0,029 |
| 8 | 1,87 | 3,35 | 0,14 | 0,027 |
| 9 | 1,87 | 3,05 | 0,14 | 0,043 |
| 10 | 1,91 | 2,90 | 0,10 | 0,053 |
| 11 | 1,92 | 2,80 | 0,09 | 0,059 |
| 12 | 1,92 | 2,65 | 0,09 | 0,071 |
| 13 | 1,94 | 2,95 | 0,06 | 0,049 |
| 14 | 1,96 | 3,05 | 0,04 | 0,043 |
| 15 | 1,98 | 3,40 | 0,02 | 0,024 |
| 16 | 1,98 | 3,65 | 0,02 | 0,013 |
| 17 | 1,98 | 3,60 | 0,02 | 0,015 |
| 18 | 1,98 | 3,80 | 0,02 | 0,007 |
| 19 | 2,00 | 3,95 | 0,00 | 0,002 |
| 20 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

Boş Bobin

 Z_r R Q A

Dolu Bobin

 χ' (lim) χ' (lim)/2 χ'' (max)

Tablo : B.1.6

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | H_3PO_4 | Bobin No | 6 | |
| V_0 | 4,60 V | V_{ro} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,01 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 117,6 μH | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,82 | 3,95 | 0,21 | 0,002 |
| 1 | 1,82 | 3,95 | 0,21 | 0,002 |
| 2 | 1,84 | 3,90 | 0,18 | 0,004 |
| 3 | 1,84 | 3,85 | 0,18 | 0,006 |
| 4 | 1,84 | 3,70 | 0,18 | 0,013 |
| 5 | 1,84 | 3,55 | 0,18 | 0,021 |
| 6 | 1,84 | 3,40 | 0,18 | 0,029 |
| 7 | 1,84 | 3,35 | 0,18 | 0,032 |
| 8 | 1,85 | 3,40 | 0,17 | 0,029 |
| 9 | 1,85 | 3,00 | 0,17 | 0,054 |
| 10 | 1,85 | 2,85 | 0,17 | 0,066 |
| 11 | 1,91 | 2,80 | 0,10 | 0,070 |
| 12 | 1,93 | 2,65 | 0,07 | 0,083 |
| 13 | 1,94 | 2,90 | 0,06 | 0,062 |
| 14 | 1,95 | 3,10 | 0,05 | 0,047 |
| 15 | 1,96 | 3,35 | 0,04 | 0,032 |
| 16 | 1,98 | 3,65 | 0,02 | 0,016 |
| 17 | 1,98 | 3,60 | 0,02 | 0,018 |
| 18 | 1,98 | 3,85 | 0,02 | 0,006 |
| 19 | 1,99 | 3,95 | 0,01 | 0,002 |
| 20 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

Boş Bobin

Zr

R

Q

A

Dolu Bobin

$\chi'(\lim)$

$\chi'(\lim)/2$

$\chi''(\max)$

Tablo : B.1.7

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | H_3PO_4 | Bobin No | 7 | |
| V_0 | 4,45 V | V_{ro} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,01 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 141,9 μH | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,78 | 3,90 | 0,26 | 0,005 |
| 1 | 1,78 | 3,85 | 0,26 | 0,007 |
| 2 | 1,81 | 3,80 | 0,22 | 0,010 |
| 3 | 1,80 | 3,75 | 0,23 | 0,013 |
| 4 | 1,80 | 3,70 | 0,23 | 0,015 |
| 5 | 1,81 | 3,60 | 0,22 | 0,021 |
| 6 | 1,81 | 3,45 | 0,22 | 0,030 |
| 7 | 1,81 | 3,40 | 0,22 | 0,034 |
| 8 | 1,82 | 3,45 | 0,21 | 0,030 |
| 9 | 1,82 | 2,95 | 0,21 | 0,068 |
| 10 | 1,83 | 2,80 | 0,19 | 0,081 |
| 11 | 1,86 | 2,75 | 0,16 | 0,086 |
| 12 | 1,89 | 2,60 | 0,12 | 0,102 |
| 13 | 1,90 | 2,85 | 0,11 | 0,077 |
| 14 | 1,91 | 2,95 | 0,10 | 0,068 |
| 15 | 1,93 | 3,25 | 0,07 | 0,044 |
| 16 | 1,96 | 3,60 | 0,04 | 0,021 |
| 17 | 1,96 | 3,55 | 0,04 | 0,024 |
| 18 | 1,98 | 3,80 | 0,02 | 0,010 |
| 19 | 1,99 | 3,95 | 0,01 | 0,002 |
| 20 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

Boş Bobin

Zr

R

Q

A

Dolu Bobin

$\chi'(\lim)$

$\chi'(\lim)/2$

$\chi''(\max)$

Tablo : B.2.1

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | HCl | Bobin No | 1 | |
| V_0 | 5,40 V | V_{ro} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,06 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 25,7 μ H | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,95 | 3,80 | 0,05 | 0,002 |
| 1 | 1,95 | 3,85 | 0,05 | 0,002 |
| 2 | 1,96 | 3,85 | 0,04 | 0,002 |
| 3 | 1,96 | 3,90 | 0,04 | 0,001 |
| 4 | 1,96 | 3,95 | 0,04 | 0,001 |
| 5 | 1,96 | 3,97 | 0,04 | 0,000 |
| 6 | 1,95 | 3,90 | 0,05 | 0,001 |
| 7 | 1,95 | 3,85 | 0,05 | 0,002 |
| 8 | 1,95 | 3,75 | 0,05 | 0,003 |
| 9 | 1,96 | 3,70 | 0,04 | 0,003 |
| 10 | 1,96 | 3,45 | 0,04 | 0,007 |
| 11 | 1,96 | 3,20 | 0,04 | 0,010 |
| 12 | 1,96 | 3,00 | 0,04 | 0,014 |
| 13 | 1,96 | 3,10 | 0,04 | 0,012 |
| 14 | 1,97 | 3,30 | 0,03 | 0,009 |
| 15 | 1,98 | 3,70 | 0,02 | 0,003 |
| 16 | 1,98 | 3,85 | 0,02 | 0,002 |
| 17 | 1,98 | 3,95 | 0,02 | 0,001 |
| 18 | 1,99 | 4,00 | 0,01 | 0,000 |
| 19 | 1,99 | 4,00 | 0,01 | 0,000 |
| 20 | 1,99 | 4,00 | 0,01 | 0,000 |
| 21 | 1,99 | 4,00 | 0,01 | 0,000 |

Boş Bobin

Zr

R

Q

A

Dolu Bobin

$\chi'_{(lim)}$

$\chi'_{(lim)}/2$

$\chi''_{(max)}$

: 29,8 k Ω

: 3,5 Ω

: 92,4

: 0,042

: 0,05

: 0,03

: 0,014

Tablo : B.2.2

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | HCl | Bobin No | 2 | |
| V_0 | 5,10 V | V_{ro} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 11,96 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 43,6 μ H | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,93 | 3,85 | 0,07 | 0,003 |
| 1 | 1,93 | 3,85 | 0,07 | 0,003 |
| 2 | 1,93 | 3,90 | 0,07 | 0,002 |
| 3 | 1,94 | 3,95 | 0,06 | 0,001 |
| 4 | 1,94 | 3,95 | 0,06 | 0,001 |
| 5 | 1,94 | 3,95 | 0,06 | 0,001 |
| 6 | 1,93 | 3,95 | 0,07 | 0,001 |
| 7 | 1,93 | 3,90 | 0,07 | 0,002 |
| 8 | 1,94 | 3,85 | 0,06 | 0,003 |
| 9 | 1,93 | 3,65 | 0,07 | 0,006 |
| 10 | 1,93 | 3,35 | 0,07 | 0,013 |
| 11 | 1,95 | 3,05 | 0,05 | 0,021 |
| 12 | 1,96 | 2,85 | 0,04 | 0,027 |
| 13 | 1,97 | 3,05 | 0,03 | 0,021 |
| 14 | 1,97 | 3,25 | 0,03 | 0,015 |
| 15 | 1,97 | 3,65 | 0,03 | 0,006 |
| 16 | 1,97 | 3,85 | 0,03 | 0,003 |
| 17 | 1,97 | 3,90 | 0,03 | 0,002 |
| 18 | 1,98 | 3,95 | 0,02 | 0,001 |
| 19 | 1,98 | 4,00 | 0,02 | 0,000 |
| 20 | 1,99 | 4,00 | 0,01 | 0,000 |
| 21 | 1,99 | 4,00 | 0,01 | 0,000 |

Boş Bobin

Zr

R

Q

A

Dolu Bobin

$\chi'_{(lim)}$

$\chi'_{(lim)}/2$

$\chi''_{(max)}$

Tablo : B.2.3

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | HCl | Bobin No | 3 | |
| V_0 | 4,80 V | V_{r0} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,01 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 64,3 μ H | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,92 | 3,85 | 0,09 | 0,004 |
| 1 | 1,91 | 3,85 | 0,10 | 0,004 |
| 2 | 1,93 | 3,90 | 0,07 | 0,002 |
| 3 | 1,93 | 3,95 | 0,07 | 0,001 |
| 4 | 1,92 | 3,95 | 0,09 | 0,001 |
| 5 | 1,92 | 3,90 | 0,09 | 0,002 |
| 6 | 1,92 | 3,90 | 0,09 | 0,002 |
| 7 | 1,91 | 3,75 | 0,10 | 0,006 |
| 8 | 1,92 | 3,60 | 0,09 | 0,010 |
| 9 | 1,91 | 3,60 | 0,10 | 0,010 |
| 10 | 1,93 | 3,30 | 0,07 | 0,020 |
| 11 | 1,93 | 3,00 | 0,07 | 0,031 |
| 12 | 1,95 | 2,80 | 0,05 | 0,040 |
| 13 | 1,98 | 3,00 | 0,02 | 0,031 |
| 14 | 1,98 | 3,20 | 0,02 | 0,023 |
| 15 | 1,98 | 3,60 | 0,02 | 0,010 |
| 16 | 1,98 | 3,80 | 0,02 | 0,005 |
| 17 | 1,99 | 3,85 | 0,01 | 0,004 |
| 18 | 1,99 | 3,90 | 0,01 | 0,002 |
| 19 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 20 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

Boş Bobin

 Z_r

R

Q

A

Dolu Bobin

$\chi'(\lim)$

$\chi'(\lim)/2$

$\chi''(\max)$

Tablo : B.2.4

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | HCl | Bobin No | 4 | |
| V_0 | 4,60 V | V_{ro} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,00 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 82,5 μ H | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,86 | 3,90 | 0,16 | 0,003 |
| 1 | 1,87 | 3,95 | 0,14 | 0,001 |
| 2 | 1,89 | 3,97 | 0,12 | 0,001 |
| 3 | 1,89 | 3,97 | 0,12 | 0,001 |
| 4 | 1,87 | 3,97 | 0,14 | 0,001 |
| 5 | 1,87 | 3,95 | 0,14 | 0,001 |
| 6 | 1,88 | 3,95 | 0,13 | 0,001 |
| 7 | 1,87 | 3,80 | 0,14 | 0,006 |
| 8 | 1,87 | 3,75 | 0,14 | 0,008 |
| 9 | 1,88 | 3,40 | 0,13 | 0,020 |
| 10 | 1,89 | 3,20 | 0,12 | 0,029 |
| 11 | 1,90 | 2,90 | 0,11 | 0,043 |
| 12 | 1,93 | 2,65 | 0,07 | 0,058 |
| 13 | 1,96 | 2,90 | 0,04 | 0,043 |
| 14 | 1,96 | 3,15 | 0,04 | 0,031 |
| 15 | 1,96 | 3,55 | 0,04 | 0,014 |
| 16 | 1,98 | 3,80 | 0,02 | 0,006 |
| 17 | 1,98 | 3,90 | 0,02 | 0,003 |
| 18 | 1,99 | 3,95 | 0,01 | 0,001 |
| 19 | 1,99 | 4,00 | 0,01 | 0,000 |
| 20 | 1,99 | 4,00 | 0,01 | 0,000 |
| 21 | 1,99 | 4,00 | 0,01 | 0,000 |

Boş Bobin

 Z_r

R

Q

A

Dolu Bobin

$\chi'(\text{lim})$

$\chi'(\text{lim})/2$

$\chi''(\text{max})$

Tablo : B.2.5

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | HCl | Bobin No | 5 | |
| V_0 | 4,60 V | V_{ro} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,01 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 100,2 μ H | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,84 | 3,90 | 0,18 | 0,004 |
| 1 | 1,84 | 3,95 | 0,18 | 0,002 |
| 2 | 1,86 | 3,95 | 0,16 | 0,002 |
| 3 | 1,87 | 3,95 | 0,14 | 0,002 |
| 4 | 1,86 | 3,95 | 0,16 | 0,002 |
| 5 | 1,85 | 3,95 | 0,17 | 0,002 |
| 6 | 1,87 | 3,95 | 0,14 | 0,002 |
| 7 | 1,86 | 3,80 | 0,16 | 0,007 |
| 8 | 1,86 | 3,80 | 0,16 | 0,007 |
| 9 | 1,86 | 3,50 | 0,16 | 0,020 |
| 10 | 1,87 | 3,20 | 0,14 | 0,035 |
| 11 | 1,91 | 2,85 | 0,10 | 0,056 |
| 12 | 1,93 | 2,60 | 0,07 | 0,075 |
| 13 | 1,96 | 3,00 | 0,04 | 0,046 |
| 14 | 1,98 | 3,20 | 0,02 | 0,035 |
| 15 | 1,98 | 3,60 | 0,02 | 0,015 |
| 16 | 1,98 | 3,85 | 0,02 | 0,005 |
| 17 | 1,99 | 3,95 | 0,01 | 0,002 |
| 18 | 1,99 | 3,95 | 0,01 | 0,002 |
| 19 | 1,99 | 4,00 | 0,01 | 0,000 |
| 20 | 1,99 | 4,00 | 0,01 | 0,000 |
| 21 | 1,99 | 4,00 | 0,01 | 0,000 |

Boş Bobin

Zr

R

Q

A

Dolu Bobin

χ' (lim)

χ' (lim)/2

χ'' (max)

Tablo : B.2.6

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | HCl | Bobin No | 6 | |
| V_0 | 4,60 V | V_{r0} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,01 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 117,6 μ H | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,83 | 3,95 | 0,19 | 0,002 |
| 1 | 1,83 | 3,97 | 0,19 | 0,001 |
| 2 | 1,86 | 3,97 | 0,16 | 0,001 |
| 3 | 1,85 | 3,97 | 0,17 | 0,001 |
| 4 | 1,85 | 3,97 | 0,17 | 0,001 |
| 5 | 1,84 | 3,97 | 0,18 | 0,001 |
| 6 | 1,85 | 3,97 | 0,17 | 0,001 |
| 7 | 1,83 | 3,85 | 0,19 | 0,006 |
| 8 | 1,84 | 3,80 | 0,18 | 0,009 |
| 9 | 1,83 | 3,60 | 0,19 | 0,018 |
| 10 | 1,87 | 3,20 | 0,14 | 0,041 |
| 11 | 1,85 | 2,90 | 0,17 | 0,062 |
| 12 | 1,87 | 2,60 | 0,14 | 0,088 |
| 13 | 1,96 | 3,00 | 0,04 | 0,054 |
| 14 | 1,97 | 3,10 | 0,03 | 0,047 |
| 15 | 1,97 | 3,60 | 0,03 | 0,018 |
| 16 | 1,98 | 3,85 | 0,02 | 0,006 |
| 17 | 1,99 | 3,90 | 0,01 | 0,004 |
| 18 | 1,99 | 3,95 | 0,01 | 0,002 |
| 19 | 1,99 | 4,00 | 0,01 | 0,000 |
| 20 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

Boş Bobin

Zr

R

Q

A

Dolu Bobin

$\chi'(\lim)$

$\chi'(\lim)/2$

$\chi''(\max)$

Tablo : B.2.7

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | HCl | Bobin No | 7 | |
| V_0 | 4,50 V | V_{ro} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,01 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 141,9 μ H | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,77 | 3,85 | 0,28 | 0,007 |
| 1 | 1,77 | 3,85 | 0,28 | 0,007 |
| 2 | 1,78 | 3,90 | 0,26 | 0,005 |
| 3 | 1,78 | 3,95 | 0,26 | 0,002 |
| 4 | 1,78 | 3,95 | 0,26 | 0,002 |
| 5 | 1,79 | 3,85 | 0,25 | 0,007 |
| 6 | 1,80 | 3,80 | 0,23 | 0,010 |
| 7 | 1,81 | 3,70 | 0,22 | 0,016 |
| 8 | 1,81 | 3,65 | 0,22 | 0,018 |
| 9 | 1,81 | 3,40 | 0,22 | 0,034 |
| 10 | 1,81 | 3,10 | 0,22 | 0,056 |
| 11 | 1,81 | 2,80 | 0,22 | 0,082 |
| 12 | 1,84 | 2,50 | 0,18 | 0,115 |
| 13 | 1,91 | 2,85 | 0,10 | 0,078 |
| 14 | 1,96 | 3,05 | 0,04 | 0,060 |
| 15 | 1,96 | 3,50 | 0,04 | 0,027 |
| 16 | 1,97 | 3,75 | 0,03 | 0,013 |
| 17 | 1,98 | 3,85 | 0,02 | 0,007 |
| 18 | 1,99 | 3,90 | 0,01 | 0,005 |
| 19 | 1,99 | 4,00 | 0,01 | 0,000 |
| 20 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

Boş Bobin

Zr

R

Q

A

Dolu Bobin

$\chi'_{(lim)}$

$\chi'_{(lim)}/2$

$\chi''_{(max)}$

Tablo : B.3.1

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | HF | Bobin No | 1 | |
| V_0 | 5,60 V | V_{r0} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,06 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 25,7 μ H | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,96 | 3,95 | 0,04 | 0,001 |
| 1 | 1,97 | 3,95 | 0,03 | 0,001 |
| 2 | 1,97 | 3,97 | 0,03 | 0,000 |
| 3 | 1,97 | 3,97 | 0,03 | 0,000 |
| 4 | 1,97 | 3,97 | 0,03 | 0,000 |
| 5 | 1,97 | 3,82 | 0,03 | 0,002 |
| 6 | 1,97 | 3,80 | 0,03 | 0,002 |
| 7 | 1,97 | 3,40 | 0,03 | 0,008 |
| 8 | 1,98 | 3,50 | 0,02 | 0,006 |
| 9 | 1,98 | 3,05 | 0,02 | 0,013 |
| 10 | 1,98 | 3,03 | 0,02 | 0,014 |
| 11 | 1,99 | 3,00 | 0,01 | 0,014 |
| 12 | 1,99 | 2,99 | 0,01 | 0,015 |
| 13 | 1,99 | 3,15 | 0,01 | 0,012 |
| 14 | 1,99 | 3,25 | 0,01 | 0,010 |
| 15 | 1,99 | 3,45 | 0,01 | 0,007 |
| 16 | 2,00 | 3,60 | 0,00 | 0,005 |
| 17 | 2,00 | 3,50 | 0,00 | 0,006 |
| 18 | 2,00 | 3,80 | 0,00 | 0,002 |
| 19 | 2,00 | 3,95 | 0,00 | 0,001 |
| 20 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

Boş Bobin

 Z_r : 26,1 k Ω R : 4,0 Ω Q : 80,8 A : 0,043

Dolu Bobin

 $\chi'_{(lim)}$: 0,04 $\chi'_{(lim)}/2$: 0,02 $\chi''_{(max)}$: 0,015

Tablo : B.3.2

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | HF | Bobin No | 2 | |
| V_0 | 5,20 V | V_{r0} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 11,96 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 43,6 μ H | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,93 | 3,95 | 0,07 | 0,001 |
| 1 | 1,93 | 3,90 | 0,07 | 0,002 |
| 2 | 1,94 | 3,95 | 0,06 | 0,001 |
| 3 | 1,94 | 3,95 | 0,06 | 0,001 |
| 4 | 1,94 | 3,94 | 0,06 | 0,001 |
| 5 | 1,94 | 3,85 | 0,06 | 0,003 |
| 6 | 1,94 | 3,80 | 0,06 | 0,004 |
| 7 | 1,94 | 3,40 | 0,06 | 0,012 |
| 8 | 1,95 | 3,45 | 0,05 | 0,011 |
| 9 | 1,96 | 3,00 | 0,04 | 0,023 |
| 10 | 1,97 | 2,98 | 0,03 | 0,023 |
| 11 | 1,97 | 2,95 | 0,03 | 0,024 |
| 12 | 1,98 | 2,93 | 0,02 | 0,025 |
| 13 | 1,99 | 3,03 | 0,01 | 0,022 |
| 14 | 1,99 | 3,20 | 0,01 | 0,017 |
| 15 | 1,99 | 3,40 | 0,01 | 0,012 |
| 16 | 1,99 | 3,55 | 0,01 | 0,009 |
| 17 | 1,99 | 3,45 | 0,01 | 0,011 |
| 18 | 2,00 | 3,82 | 0,00 | 0,003 |
| 19 | 2,00 | 3,95 | 0,00 | 0,001 |
| 20 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

Boş Bobin

Zr

R

Q

A

Dolu Bobin

$\chi'(\text{lim})$

$\chi'(\text{lim})/2$

$\chi''(\text{max})$

Tablo : B.3.3

| | | | | |
|----------------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | HF | Bobin No | 3 | |
| V_0 | 4,60 V | V_{r0} | 4,00 V | |
| ℓ (Bobin Boyu) | 12,01 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 64,3 μ H | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,90 | 3,90 | 0,11 | 0,002 |
| 1 | 1,91 | 3,95 | 0,10 | 0,001 |
| 2 | 1,91 | 3,85 | 0,10 | 0,003 |
| 3 | 1,92 | 3,82 | 0,09 | 0,004 |
| 4 | 1,92 | 3,80 | 0,09 | 0,005 |
| 5 | 1,92 | 3,64 | 0,09 | 0,009 |
| 6 | 1,92 | 3,50 | 0,09 | 0,013 |
| 7 | 1,92 | 3,25 | 0,09 | 0,021 |
| 8 | 1,93 | 3,20 | 0,07 | 0,022 |
| 9 | 1,94 | 3,00 | 0,06 | 0,030 |
| 10 | 1,94 | 2,85 | 0,06 | 0,036 |
| 11 | 1,95 | 2,82 | 0,05 | 0,037 |
| 12 | 1,97 | 2,81 | 0,03 | 0,038 |
| 13 | 1,97 | 3,00 | 0,03 | 0,030 |
| 14 | 1,98 | 3,05 | 0,02 | 0,028 |
| 15 | 1,98 | 3,30 | 0,02 | 0,019 |
| 16 | 1,99 | 3,40 | 0,01 | 0,016 |
| 17 | 2,00 | 3,45 | 0,00 | 0,014 |
| 18 | 2,00 | 3,75 | 0,00 | 0,006 |
| 19 | 2,00 | 3,85 | 0,00 | 0,003 |
| 20 | 2,00 | 3,90 | 0,00 | 0,002 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

Boş Bobin

 Z_r

R

Q

A

Dolu Bobin

$\chi'(\text{lim})$

$\chi'(\text{lim})/2$

$\chi''(\text{max})$

Tablo : B.3.4

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | HF | Bobin No | 4 | |
| V_0 | 4,65 V | V_{ro} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,00 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 82,5 μ H | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,87 | 3,95 | 0,14 | 0,001 |
| 1 | 1,87 | 3,95 | 0,14 | 0,001 |
| 2 | 1,88 | 3,95 | 0,13 | 0,001 |
| 3 | 1,89 | 3,90 | 0,12 | 0,003 |
| 4 | 1,90 | 3,80 | 0,11 | 0,006 |
| 5 | 1,90 | 3,65 | 0,11 | 0,011 |
| 6 | 1,90 | 3,50 | 0,11 | 0,016 |
| 7 | 1,90 | 3,20 | 0,11 | 0,029 |
| 8 | 1,90 | 3,10 | 0,11 | 0,034 |
| 9 | 1,92 | 2,80 | 0,09 | 0,049 |
| 10 | 1,93 | 2,79 | 0,07 | 0,050 |
| 11 | 1,95 | 2,78 | 0,05 | 0,051 |
| 12 | 1,96 | 2,75 | 0,04 | 0,052 |
| 13 | 1,97 | 2,95 | 0,03 | 0,041 |
| 14 | 1,98 | 3,05 | 0,02 | 0,036 |
| 15 | 1,99 | 3,35 | 0,01 | 0,022 |
| 16 | 2,00 | 3,45 | 0,00 | 0,018 |
| 17 | 2,00 | 3,47 | 0,00 | 0,018 |
| 18 | 2,00 | 3,75 | 0,00 | 0,008 |
| 19 | 2,00 | 3,90 | 0,00 | 0,003 |
| 20 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

Boş Bobin

Zr

R

Q

A

Dolu Bobin

χ' (lim)

χ' (lim)/2

χ'' (max)

Tablo : B.3.5

| | | | | |
|----------------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | HF | Bobin No | 5 | |
| V_0 | 4,65 V | V_{r0} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,01 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 100,2 μ H | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\text{Log}_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,85 | 3,95 | 0,17 | 0,002 |
| 1 | 1,86 | 3,95 | 0,16 | 0,002 |
| 2 | 1,89 | 3,92 | 0,12 | 0,003 |
| 3 | 1,89 | 3,90 | 0,12 | 0,004 |
| 4 | 1,89 | 3,80 | 0,12 | 0,007 |
| 5 | 1,89 | 3,70 | 0,12 | 0,011 |
| 6 | 1,89 | 3,60 | 0,12 | 0,016 |
| 7 | 1,89 | 3,25 | 0,12 | 0,032 |
| 8 | 1,90 | 3,15 | 0,11 | 0,038 |
| 9 | 1,90 | 2,85 | 0,11 | 0,057 |
| 10 | 1,94 | 2,76 | 0,06 | 0,063 |
| 11 | 1,95 | 2,75 | 0,05 | 0,064 |
| 12 | 1,96 | 2,72 | 0,04 | 0,066 |
| 13 | 1,98 | 2,95 | 0,02 | 0,050 |
| 14 | 1,99 | 3,05 | 0,01 | 0,044 |
| 15 | 2,00 | 3,30 | 0,00 | 0,030 |
| 16 | 2,00 | 3,45 | 0,00 | 0,022 |
| 17 | 2,00 | 3,45 | 0,00 | 0,022 |
| 18 | 2,00 | 3,75 | 0,00 | 0,009 |
| 19 | 2,00 | 3,90 | 0,00 | 0,004 |
| 20 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

Boş Bobin

 Z_r

R

Q

A

Dolu Bobin

$\chi'(\text{lim})$

$\chi'(\text{lim})/2$

$\chi''(\text{max})$

Z_r

R

Q

A

Tablo : B.3.6

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | HF | Bobin No | 6 | |
| V_0 | 4,65 V | V_{ro} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,01 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 117,6 μ H | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,82 | 3,95 | 0,21 | 0,002 |
| 1 | 1,83 | 3,95 | 0,19 | 0,002 |
| 2 | 1,85 | 3,95 | 0,17 | 0,002 |
| 3 | 1,85 | 3,90 | 0,17 | 0,004 |
| 4 | 1,86 | 3,85 | 0,16 | 0,006 |
| 5 | 1,86 | 3,80 | 0,16 | 0,009 |
| 6 | 1,86 | 3,65 | 0,16 | 0,016 |
| 7 | 1,88 | 3,40 | 0,13 | 0,029 |
| 8 | 1,89 | 3,25 | 0,12 | 0,038 |
| 9 | 1,90 | 3,00 | 0,11 | 0,055 |
| 10 | 1,92 | 2,90 | 0,09 | 0,062 |
| 11 | 1,93 | 2,80 | 0,07 | 0,071 |
| 12 | 1,94 | 2,75 | 0,06 | 0,075 |
| 13 | 1,96 | 2,98 | 0,04 | 0,056 |
| 14 | 1,97 | 3,05 | 0,03 | 0,051 |
| 15 | 1,98 | 3,35 | 0,02 | 0,032 |
| 16 | 1,98 | 3,45 | 0,02 | 0,026 |
| 17 | 1,98 | 3,45 | 0,02 | 0,026 |
| 18 | 1,99 | 3,80 | 0,01 | 0,009 |
| 19 | 1,99 | 3,95 | 0,01 | 0,002 |
| 20 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

Boş Bobin

Zr

R

Q

A

Dolu Bobin

$\chi'(\text{lim})$

$\chi'(\text{lim})/2$

$\chi''(\text{max})$

A

Tablo : B.3.7

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | HF | Bobin No | 7 | |
| V_0 | 4,50 V | V_{ro} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,01 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 141,9 μ H | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,78 | 3,95 | 0,26 | 0,002 |
| 1 | 1,79 | 3,95 | 0,25 | 0,002 |
| 2 | 1,81 | 3,95 | 0,22 | 0,002 |
| 3 | 1,82 | 3,90 | 0,21 | 0,005 |
| 4 | 1,82 | 3,85 | 0,21 | 0,007 |
| 5 | 1,82 | 3,60 | 0,21 | 0,021 |
| 6 | 1,83 | 3,65 | 0,19 | 0,018 |
| 7 | 1,83 | 3,15 | 0,19 | 0,052 |
| 8 | 1,83 | 3,30 | 0,19 | 0,041 |
| 9 | 1,83 | 2,75 | 0,19 | 0,087 |
| 10 | 1,85 | 2,70 | 0,17 | 0,093 |
| 11 | 1,89 | 2,65 | 0,12 | 0,098 |
| 12 | 1,89 | 2,63 | 0,12 | 0,100 |
| 13 | 1,91 | 2,80 | 0,10 | 0,082 |
| 14 | 1,92 | 2,95 | 0,09 | 0,068 |
| 15 | 1,93 | 3,20 | 0,07 | 0,048 |
| 16 | 1,95 | 3,42 | 0,05 | 0,033 |
| 17 | 1,96 | 3,40 | 0,04 | 0,034 |
| 18 | 1,97 | 3,80 | 0,03 | 0,010 |
| 19 | 1,97 | 3,95 | 0,03 | 0,002 |
| 20 | 1,99 | 4,00 | 0,01 | 0,000 |
| 21 | 1,99 | 4,00 | 0,01 | 0,000 |

Boş Bobin

Zr

R

Q

A

Dolu Bobin

$\chi'(\text{lim})$

$\chi'(\text{lim})/2$

$\chi''(\text{max})$

A

Tablo : B.4.1

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | HNO_3 | Bobin No | 1 | |
| V_0 | 5,50 V | V_{ro} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,06 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 25,7 μH | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,96 | 3,60 | 0,04 | 0,005 |
| 1 | 1,96 | 3,80 | 0,04 | 0,002 |
| 2 | 1,97 | 3,85 | 0,03 | 0,002 |
| 3 | 1,97 | 3,90 | 0,03 | 0,001 |
| 4 | 1,97 | 3,95 | 0,03 | 0,001 |
| 5 | 1,97 | 3,95 | 0,03 | 0,001 |
| 6 | 1,97 | 3,95 | 0,03 | 0,001 |
| 7 | 1,97 | 3,90 | 0,03 | 0,001 |
| 8 | 1,97 | 3,85 | 0,03 | 0,002 |
| 9 | 1,97 | 3,70 | 0,03 | 0,003 |
| 10 | 1,97 | 3,60 | 0,03 | 0,005 |
| 11 | 1,97 | 3,55 | 0,03 | 0,005 |
| 12 | 1,98 | 3,20 | 0,02 | 0,011 |
| 13 | 1,97 | 3,10 | 0,03 | 0,012 |
| 14 | 1,97 | 3,00 | 0,03 | 0,014 |
| 15 | 1,98 | 3,05 | 0,02 | 0,013 |
| 16 | 1,99 | 3,10 | 0,01 | 0,012 |
| 17 | 1,99 | 3,40 | 0,01 | 0,008 |
| 18 | 1,99 | 3,65 | 0,01 | 0,004 |
| 19 | 1,99 | 3,85 | 0,01 | 0,002 |
| 20 | 2,00 | 3,95 | 0,00 | 0,001 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

Boş Bobin

Zr

R

Q

A

Dolu Bobin

$\chi'(\lim)$

$\chi'(\lim)/2$

$\chi''(\max)$

: 27,8 k Ω

: 3,7 Ω

: 86,2

: 0,043

: 0,04

: 0,02

: 0,014

Tablo : B.4.2

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | HNO_3 | Bobin No | 2 | |
| V_0 | 4,85 V | V_{ro} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 11,96 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 43,6 μH | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,93 | 3,80 | 0,07 | 0,003 |
| 1 | 1,94 | 3,80 | 0,06 | 0,003 |
| 2 | 1,95 | 3,85 | 0,05 | 0,002 |
| 3 | 1,94 | 3,85 | 0,06 | 0,002 |
| 4 | 1,95 | 3,90 | 0,05 | 0,002 |
| 5 | 1,95 | 3,90 | 0,05 | 0,002 |
| 6 | 1,95 | 3,90 | 0,05 | 0,002 |
| 7 | 1,94 | 3,80 | 0,06 | 0,003 |
| 8 | 1,96 | 3,80 | 0,04 | 0,003 |
| 9 | 1,95 | 3,65 | 0,05 | 0,006 |
| 10 | 1,95 | 3,60 | 0,05 | 0,007 |
| 11 | 1,95 | 3,55 | 0,05 | 0,008 |
| 12 | 1,95 | 3,20 | 0,05 | 0,016 |
| 13 | 1,95 | 3,05 | 0,05 | 0,020 |
| 14 | 1,95 | 2,80 | 0,05 | 0,027 |
| 15 | 1,97 | 2,90 | 0,03 | 0,024 |
| 16 | 1,98 | 3,00 | 0,02 | 0,021 |
| 17 | 1,98 | 3,20 | 0,02 | 0,016 |
| 18 | 1,99 | 3,50 | 0,01 | 0,009 |
| 19 | 1,99 | 3,70 | 0,01 | 0,005 |
| 20 | 1,99 | 3,85 | 0,01 | 0,002 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

Boş Bobin

Zr

R

Q

A

Dolu Bobin

$\chi'_{(lim)}$

$\chi'_{(lim)}/2$

$\chi''_{(max)}$

Zr

R

Q

A

Tablo : B.4.3

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | HNO_3 | Bobin No | 3 | |
| V_0 | 4,80 V | V_{ro} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,01 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 64,3 μH | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,90 | 3,80 | 0,11 | 0,005 |
| 1 | 1,90 | 3,85 | 0,11 | 0,004 |
| 2 | 1,92 | 3,85 | 0,09 | 0,004 |
| 3 | 1,92 | 3,90 | 0,09 | 0,002 |
| 4 | 1,91 | 3,90 | 0,10 | 0,002 |
| 5 | 1,91 | 3,90 | 0,10 | 0,002 |
| 6 | 1,92 | 3,90 | 0,09 | 0,002 |
| 7 | 1,91 | 3,85 | 0,10 | 0,004 |
| 8 | 1,91 | 3,80 | 0,10 | 0,005 |
| 9 | 1,92 | 3,70 | 0,09 | 0,008 |
| 10 | 1,91 | 3,60 | 0,10 | 0,010 |
| 11 | 1,91 | 3,50 | 0,10 | 0,013 |
| 12 | 1,91 | 3,20 | 0,10 | 0,023 |
| 13 | 1,91 | 3,10 | 0,10 | 0,027 |
| 14 | 1,92 | 2,90 | 0,09 | 0,035 |
| 15 | 1,94 | 3,00 | 0,06 | 0,031 |
| 16 | 1,96 | 3,15 | 0,04 | 0,025 |
| 17 | 1,97 | 3,30 | 0,03 | 0,020 |
| 18 | 1,99 | 3,60 | 0,01 | 0,010 |
| 19 | 1,99 | 3,80 | 0,01 | 0,005 |
| 20 | 1,99 | 3,85 | 0,01 | 0,004 |
| 21 | 1,99 | 4,00 | 0,01 | 0,000 |

Boş Bobin

Zr

R

Q

A

Dolu Bobin

$\chi'_{(lim)}$

$\chi'_{(lim)}/2$

$\chi''_{(max)}$

Tablo : B.4.4

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | HNO_3 | Bobin No | 4 | |
| V_0 | 4,60 V | V_{ro} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,00 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 82,5 μH | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,90 | 3,85 | 0,11 | 0,004 |
| 1 | 1,90 | 3,90 | 0,11 | 0,003 |
| 2 | 1,91 | 3,95 | 0,10 | 0,001 |
| 3 | 1,91 | 3,95 | 0,10 | 0,001 |
| 4 | 1,92 | 3,97 | 0,09 | 0,001 |
| 5 | 1,92 | 3,90 | 0,09 | 0,003 |
| 6 | 1,92 | 3,90 | 0,09 | 0,003 |
| 7 | 1,91 | 3,80 | 0,10 | 0,006 |
| 8 | 1,91 | 3,80 | 0,10 | 0,006 |
| 9 | 1,91 | 3,65 | 0,10 | 0,011 |
| 10 | 1,92 | 3,55 | 0,09 | 0,014 |
| 11 | 1,92 | 3,50 | 0,09 | 0,016 |
| 12 | 1,92 | 3,10 | 0,09 | 0,033 |
| 13 | 1,92 | 3,00 | 0,09 | 0,038 |
| 14 | 1,93 | 2,70 | 0,07 | 0,055 |
| 15 | 1,96 | 2,80 | 0,04 | 0,049 |
| 16 | 1,99 | 2,85 | 0,01 | 0,046 |
| 17 | 1,99 | 3,25 | 0,01 | 0,026 |
| 18 | 2,00 | 3,60 | 0,00 | 0,013 |
| 19 | 2,00 | 3,80 | 0,00 | 0,006 |
| 20 | 2,00 | 3,90 | 0,00 | 0,003 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

Boş Bobin

Zr

R

Q

A

Dolu Bobin

$\chi'_{(lim)}$

$\chi'_{(lim)}/2$

$\chi''_{(max)}$

Tablo : B.4.5

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | HNO_3 | Bobin No | 5 | |
| V_0 | 4,50 V | V_{ro} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,01 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 100,2 μH | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,85 | 3,85 | 0,17 | 0,005 |
| 1 | 1,86 | 3,85 | 0,16 | 0,005 |
| 2 | 1,86 | 3,85 | 0,16 | 0,005 |
| 3 | 1,86 | 3,90 | 0,16 | 0,003 |
| 4 | 1,86 | 3,95 | 0,16 | 0,002 |
| 5 | 1,85 | 3,90 | 0,17 | 0,003 |
| 6 | 1,86 | 3,85 | 0,16 | 0,005 |
| 7 | 1,86 | 3,80 | 0,16 | 0,007 |
| 8 | 1,87 | 3,70 | 0,14 | 0,011 |
| 9 | 1,86 | 3,60 | 0,16 | 0,015 |
| 10 | 1,86 | 3,45 | 0,16 | 0,022 |
| 11 | 1,86 | 3,40 | 0,16 | 0,024 |
| 12 | 1,87 | 3,00 | 0,14 | 0,045 |
| 13 | 1,88 | 2,90 | 0,13 | 0,051 |
| 14 | 1,90 | 2,65 | 0,11 | 0,069 |
| 15 | 1,95 | 2,80 | 0,05 | 0,058 |
| 16 | 1,96 | 2,85 | 0,04 | 0,055 |
| 17 | 1,99 | 3,20 | 0,01 | 0,034 |
| 18 | 1,99 | 3,50 | 0,01 | 0,019 |
| 19 | 2,00 | 3,70 | 0,00 | 0,011 |
| 20 | 2,00 | 3,85 | 0,00 | 0,005 |
| 21 | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |

Boş Bobin

Zr

R

Q

A

Dolu Bobin

χ' (lim)

χ' (lim)/2

χ'' (max)

Tablo : B.4.6

| | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|----------|----------|
| Elektrolit | HNO_3 | Bobin No | 6 | |
| V_0 | 4,50 V | V_{ro} | 4,00 V | |
| l (Bobin Boyu) | 12,01 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz | |
| L_0 | 117,6 μH | T (Sıcaklık) | 25 °C | |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N | |
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,80 | 3,85 | 0,23 | 0,006 |
| 1 | 1,81 | 3,90 | 0,22 | 0,004 |
| 2 | 1,82 | 3,90 | 0,21 | 0,004 |
| 3 | 1,82 | 3,95 | 0,21 | 0,002 |
| 4 | 1,82 | 3,95 | 0,21 | 0,002 |
| 5 | 1,81 | 3,95 | 0,22 | 0,002 |
| 6 | 1,81 | 3,90 | 0,22 | 0,004 |
| 7 | 1,81 | 3,85 | 0,22 | 0,006 |
| 8 | 1,80 | 3,70 | 0,23 | 0,013 |
| 9 | 1,81 | 3,60 | 0,22 | 0,018 |
| 10 | 1,81 | 3,45 | 0,22 | 0,025 |
| 11 | 1,82 | 3,40 | 0,21 | 0,028 |
| 12 | 1,80 | 3,05 | 0,23 | 0,050 |
| 13 | 1,86 | 2,90 | 0,16 | 0,060 |
| 14 | 1,86 | 2,65 | 0,16 | 0,081 |
| 15 | 1,92 | 2,75 | 0,09 | 0,072 |
| 16 | 1,92 | 2,85 | 0,09 | 0,064 |
| 17 | 1,95 | 3,20 | 0,05 | 0,040 |
| 18 | 1,99 | 3,45 | 0,01 | 0,025 |
| 19 | 1,99 | 3,70 | 0,01 | 0,013 |
| 20 | 1,99 | 3,85 | 0,01 | 0,006 |
| 21 | 1,99 | 3,95 | 0,01 | 0,002 |

Boş Bobin

Zr

R

Q

A

Dolu Bobin

$\chi'_{(lim)}$

$\chi'_{(lim)}/2$

$\chi''_{(max)}$

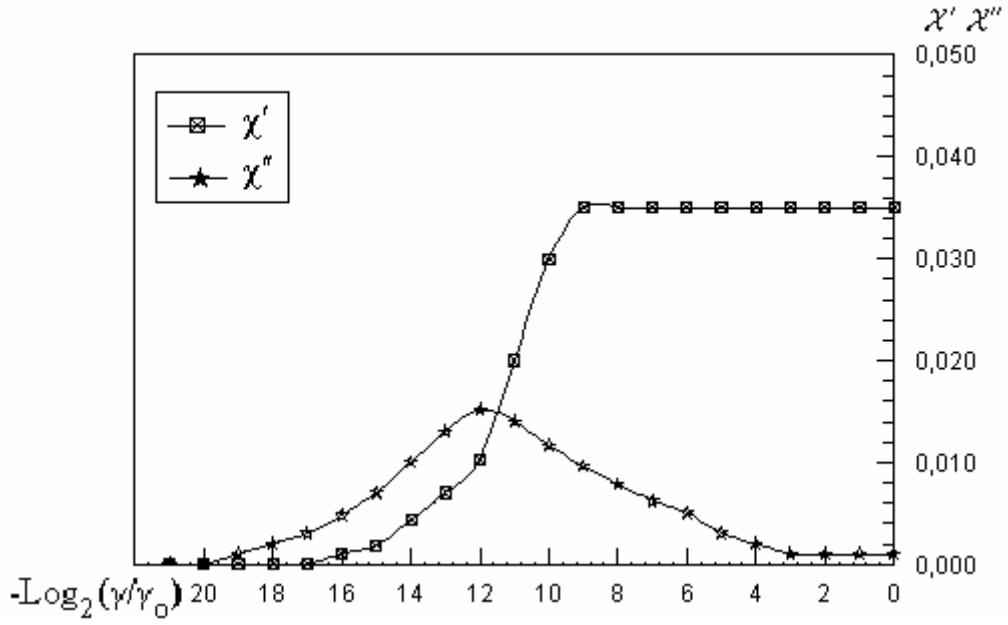
Tablo : B.4.7

| | | | |
|------------------------|----------------|------------------------------|----------|
| Elektrolit | HNO_3 | Bobin No | 7 |
| V_0 | 4,50 V | V_{ro} | 4,00 V |
| l (Bobin Boyu) | 12,01 cm | F_0 (Frekans) | 2,00 MHz |
| L_0 | 141,9 μH | T (Sıcaklık) | 25 °C |
| R_0 | 10440 Ω | γ_0 (Normalite) | 4,00 N |

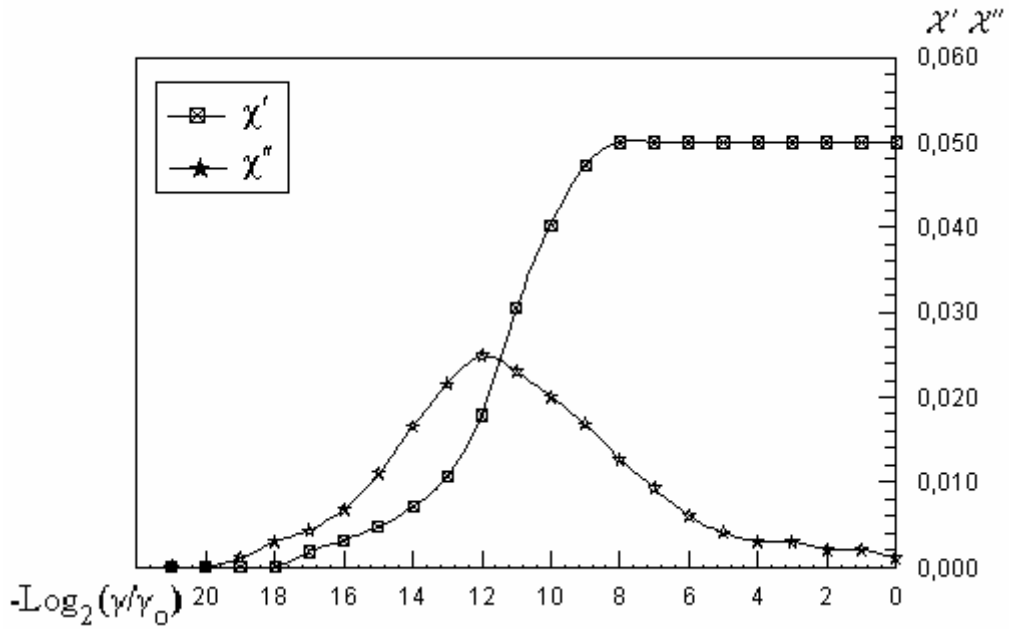
| $-\log_2(\gamma/\gamma_0)$ | F_r (MHz) | V_r (V) | χ' | χ'' |
|----------------------------|-------------|-----------|---------|----------|
| BOŞ | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| SAF SU | 2,00 | 4,00 | 0,00 | 0,000 |
| 0 | 1,78 | 3,90 | 0,26 | 0,005 |
| 1 | 1,78 | 3,95 | 0,26 | 0,002 |
| 2 | 1,78 | 3,95 | 0,26 | 0,002 |
| 3 | 1,79 | 3,95 | 0,25 | 0,002 |
| 4 | 1,78 | 3,95 | 0,26 | 0,002 |
| 5 | 1,79 | 3,90 | 0,25 | 0,005 |
| 6 | 1,78 | 3,85 | 0,26 | 0,007 |
| 7 | 1,78 | 3,80 | 0,26 | 0,010 |
| 8 | 1,79 | 3,75 | 0,25 | 0,013 |
| 9 | 1,79 | 3,65 | 0,25 | 0,018 |
| 10 | 1,81 | 3,50 | 0,22 | 0,027 |
| 11 | 1,81 | 3,45 | 0,22 | 0,031 |
| 12 | 1,82 | 3,00 | 0,21 | 0,064 |
| 13 | 1,85 | 2,95 | 0,17 | 0,068 |
| 14 | 1,87 | 2,70 | 0,14 | 0,093 |
| 15 | 1,92 | 2,80 | 0,09 | 0,082 |
| 16 | 1,93 | 2,85 | 0,07 | 0,078 |
| 17 | 1,95 | 3,20 | 0,05 | 0,048 |
| 18 | 1,97 | 3,55 | 0,03 | 0,024 |
| 19 | 1,98 | 3,75 | 0,02 | 0,013 |
| 20 | 1,99 | 3,90 | 0,01 | 0,005 |
| 21 | 1,99 | 4,00 | 0,01 | 0,000 |

| Boş Bobin | Dolu Bobin | | |
|-----------|-----------------|-------------------------|-------|
| Zr | 83,5 k Ω | $\chi'_{(lim)}$ | 0,26 |
| R | 38,1 Ω | $\chi'_{(lim)}/2$ | 0,13 |
| Q | 46,8 | $\chi''_{(max)}$ | 0,093 |
| A | 0,192 | | |

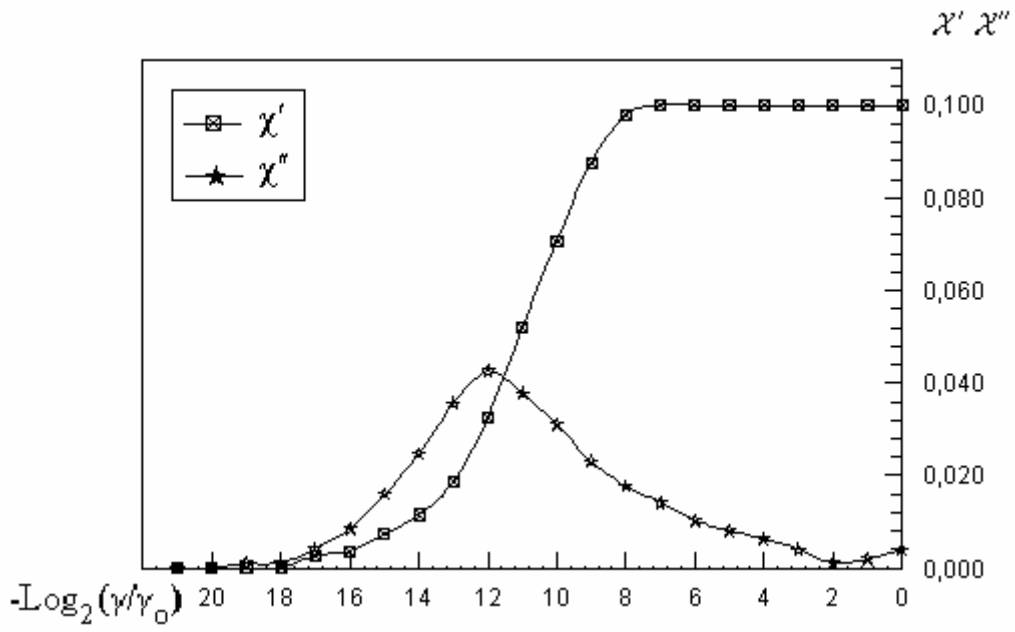
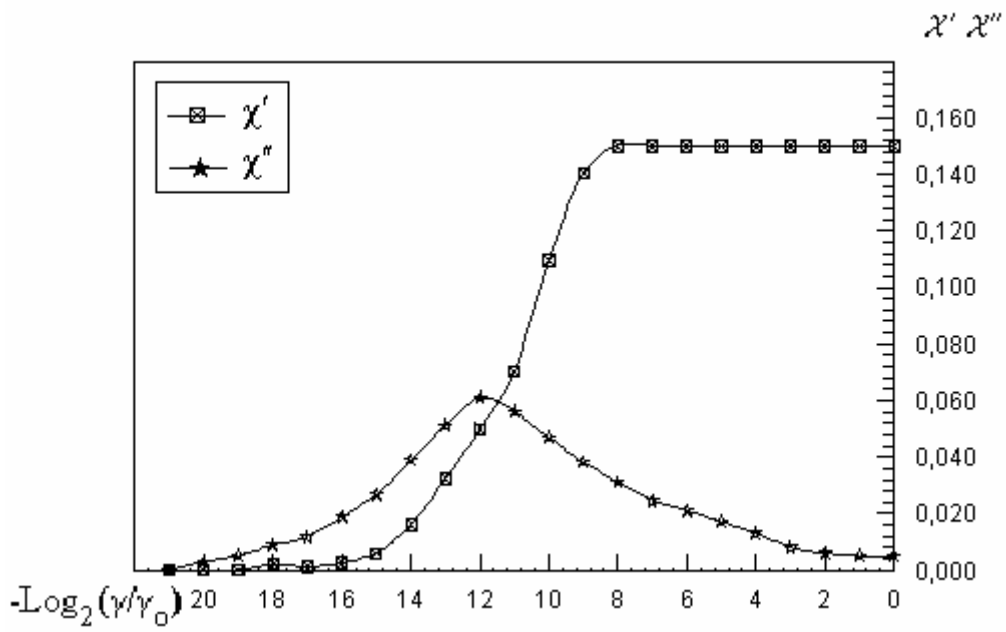
Ek-C Değişik çözelti ve ölçme hücreleri için deneysel kayıp (χ'') ve dispersiyon (χ') faktörlerinin konsantrasyona göre değişimleri (Ek-B'de verilen tablolardan yararlanılarak çizilmiştir)

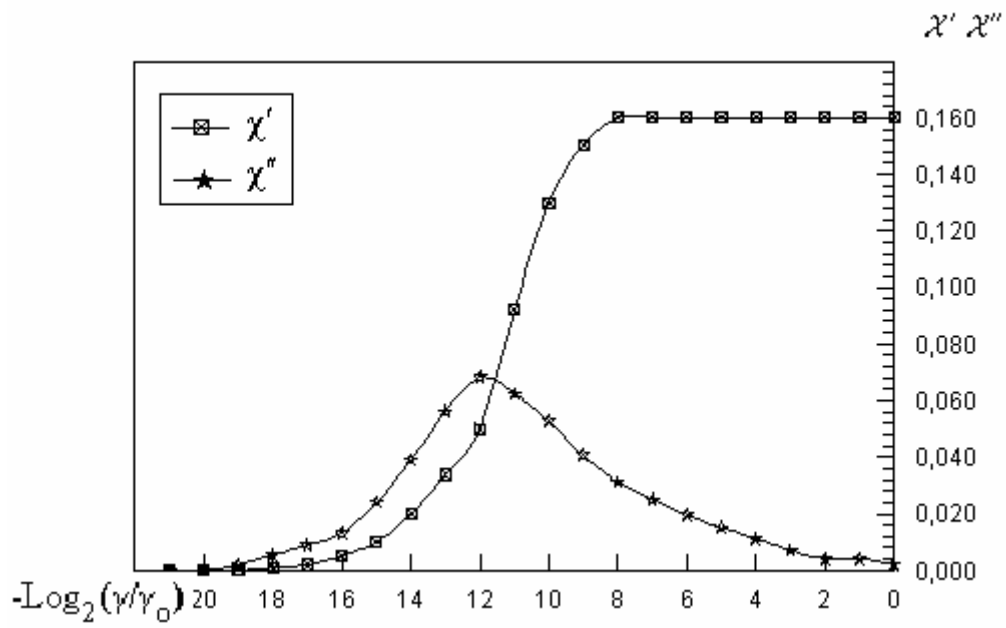
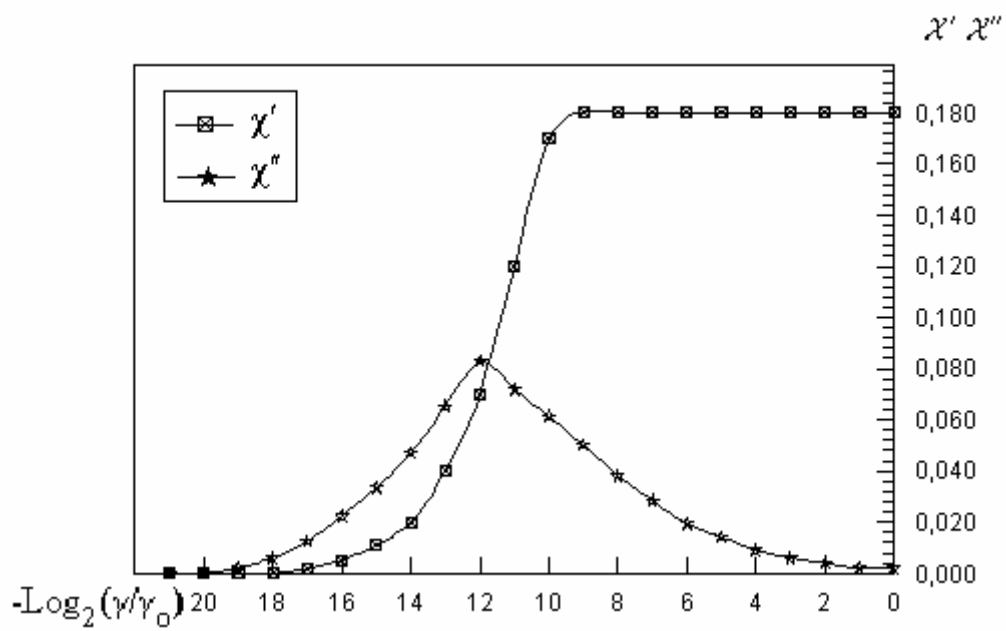


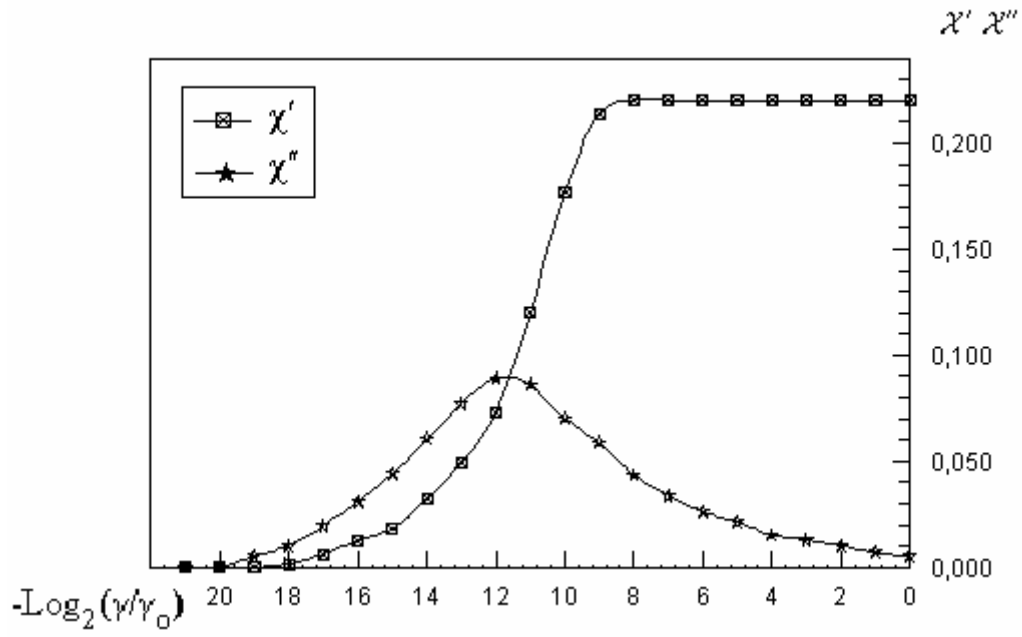
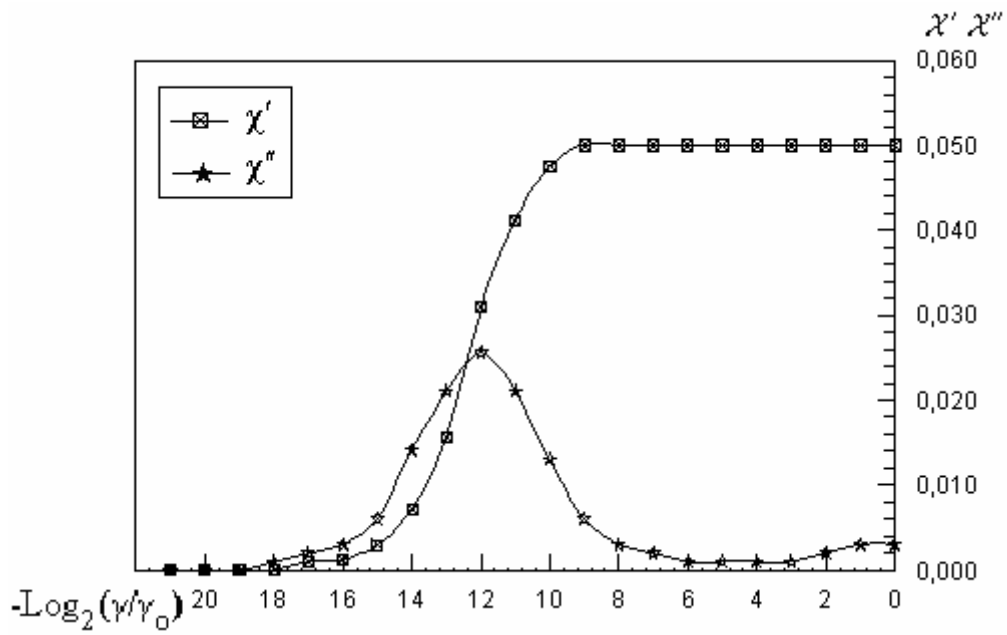
Şekil C.1.1 (H_3PO_4 , 25.70 μH)

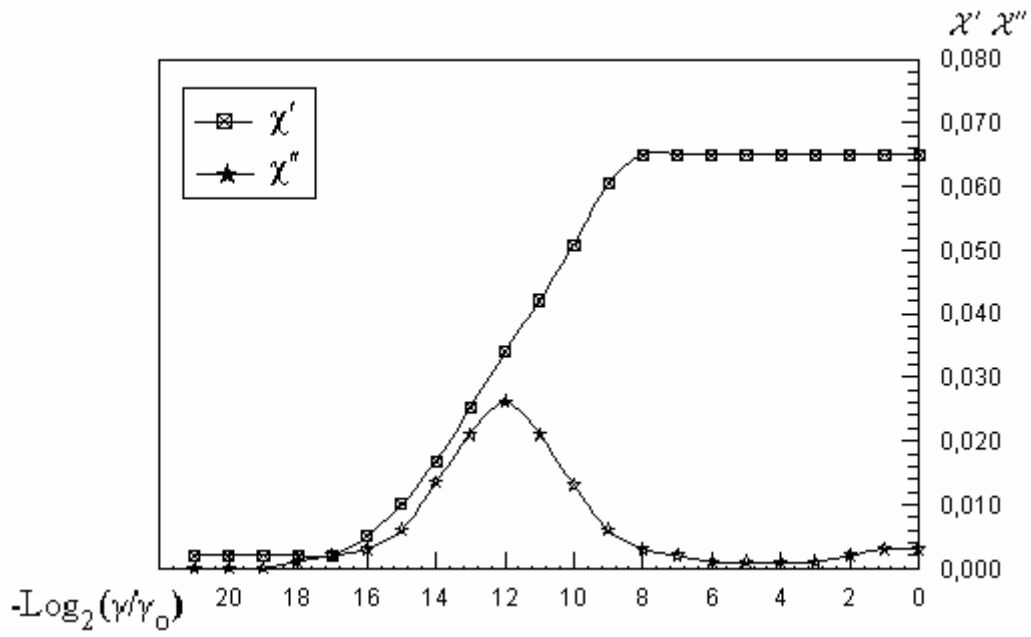
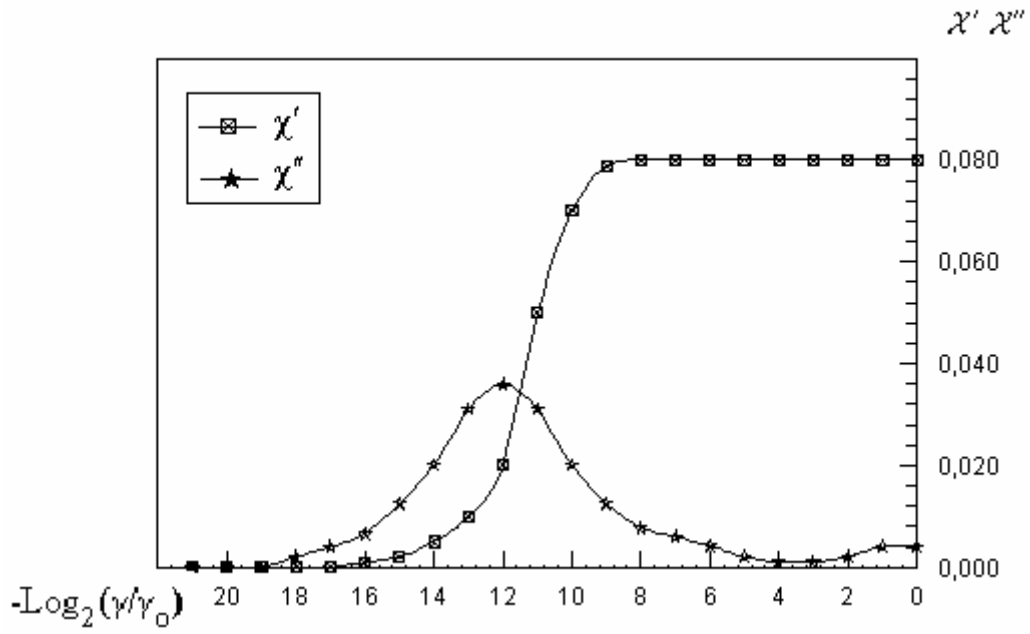


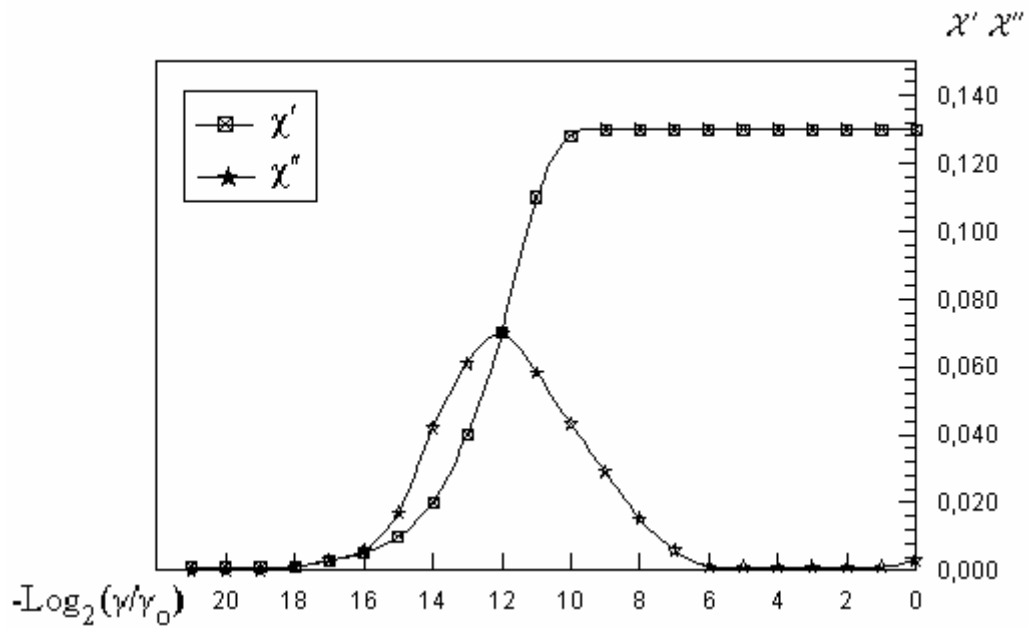
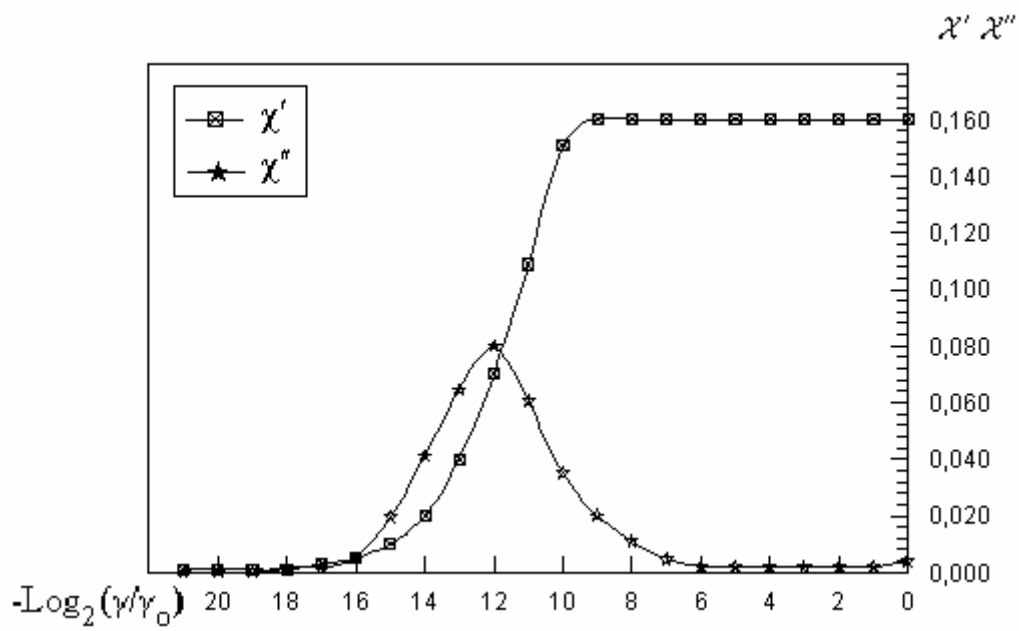
Şekil C.1.2 (H_3PO_4 , 43.60 μH)

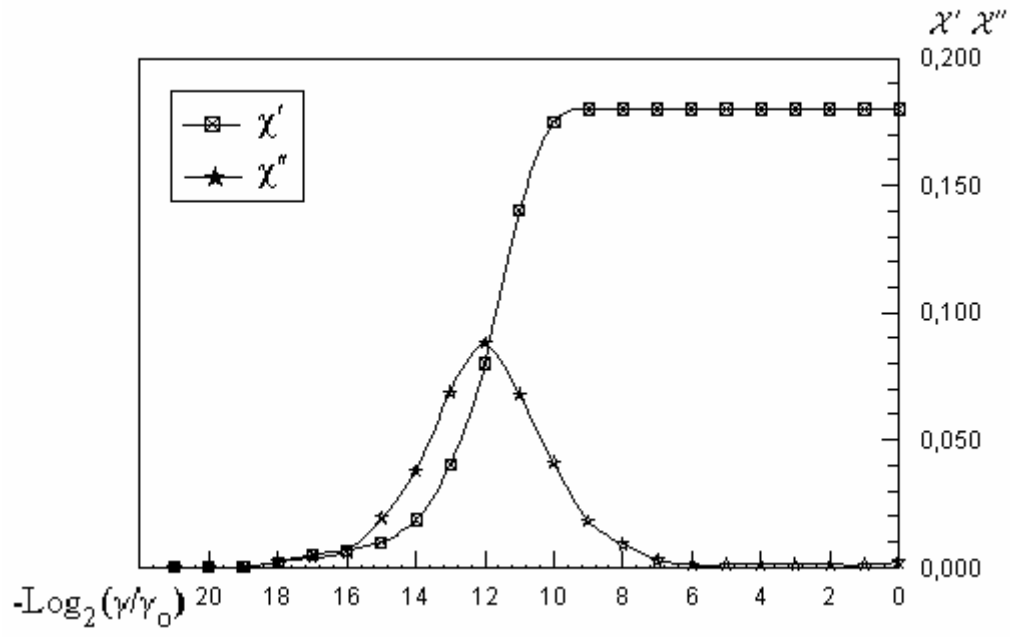
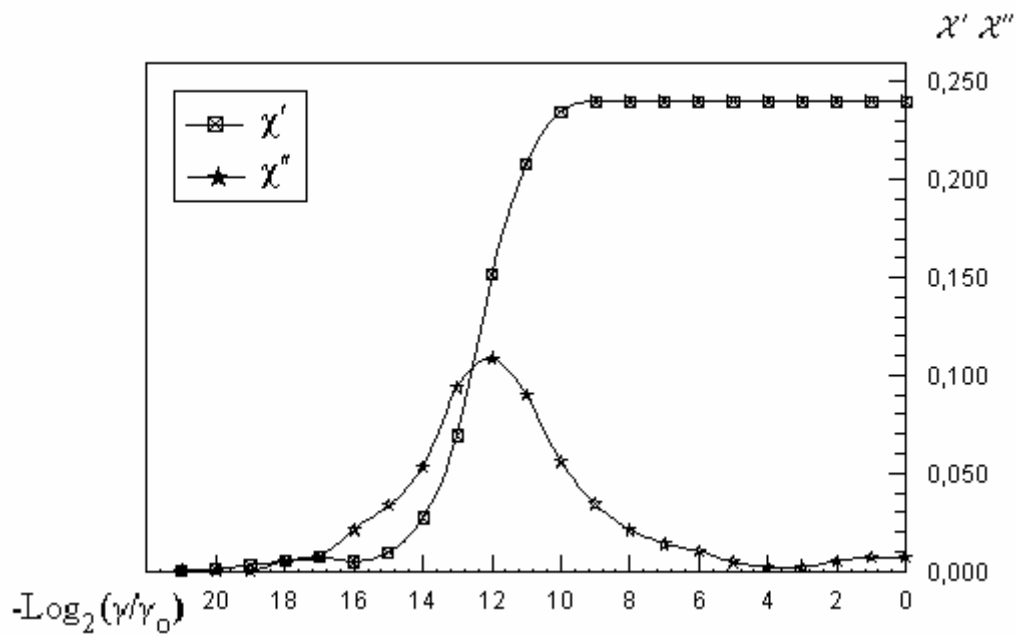
Şekil C.1.3 (H_3PO_4 , $64.30 \mu\text{H}$)Şekil C.1.4 (H_3PO_4 , $82.50 \mu\text{H}$)

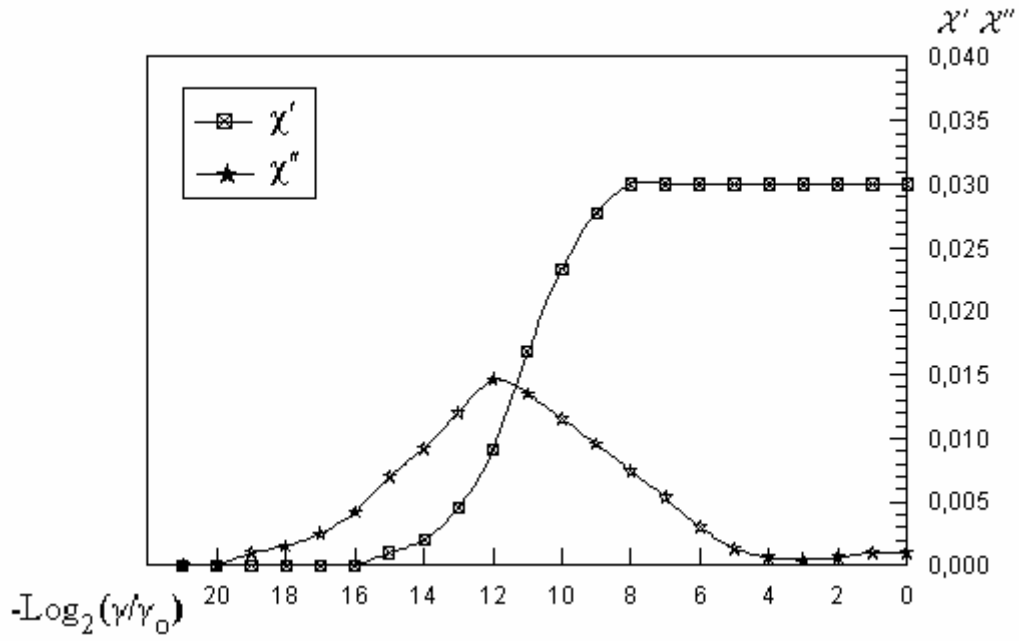
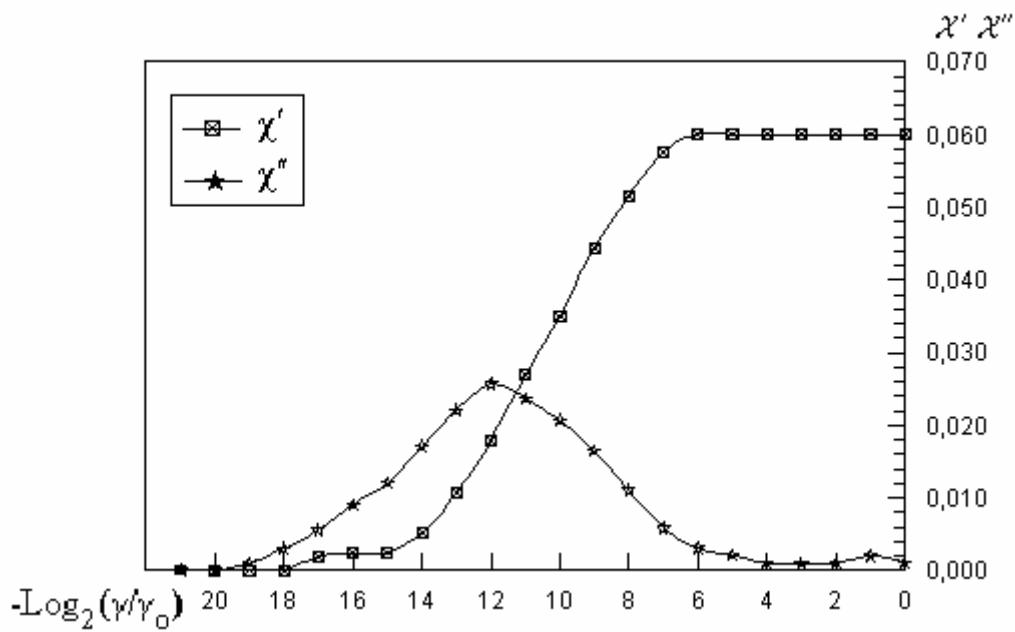
Şekil C.1.5 (H_3PO_4 , $100.20 \mu\text{H}$)Şekil C.1.6 (H_3PO_4 , $117.60 \mu\text{H}$)

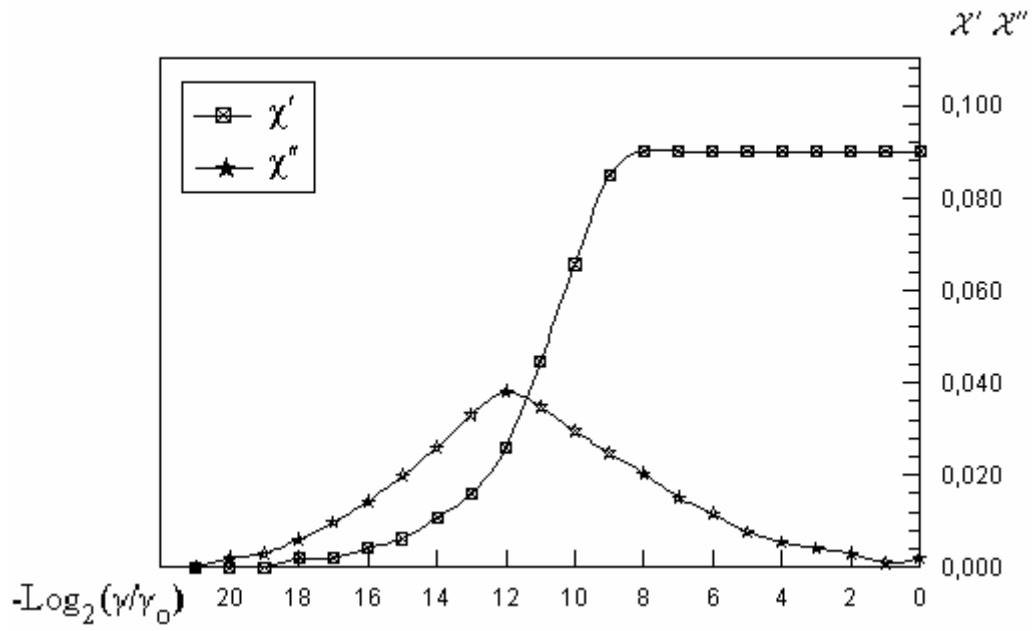
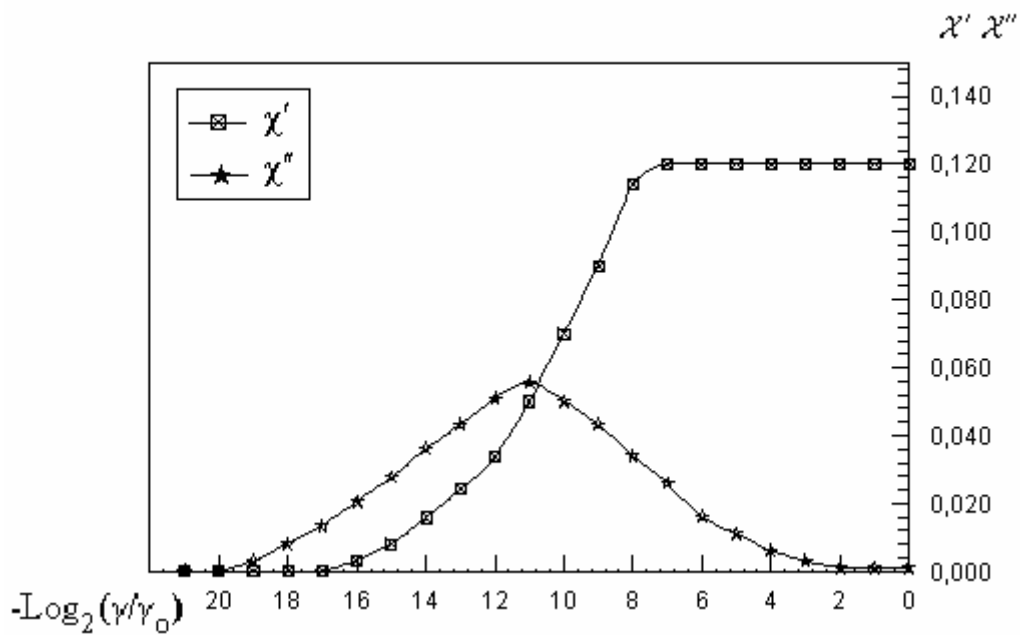
Şekil C.1.7 (H_3PO_4 , $141.90 \mu\text{H}$)Şekil C.2.1 (HCl , $25.70 \mu\text{H}$)

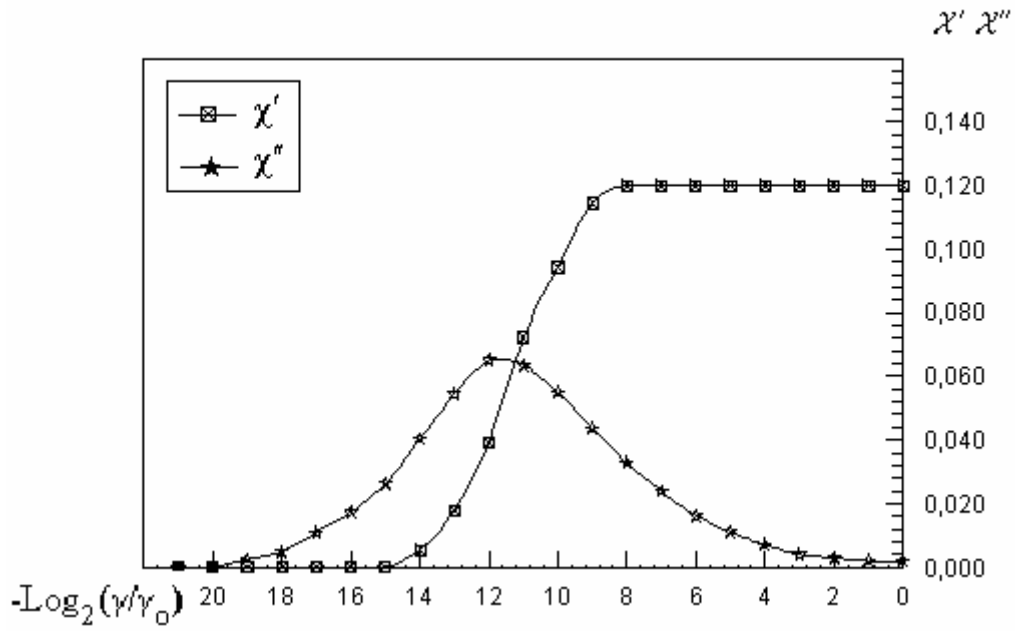
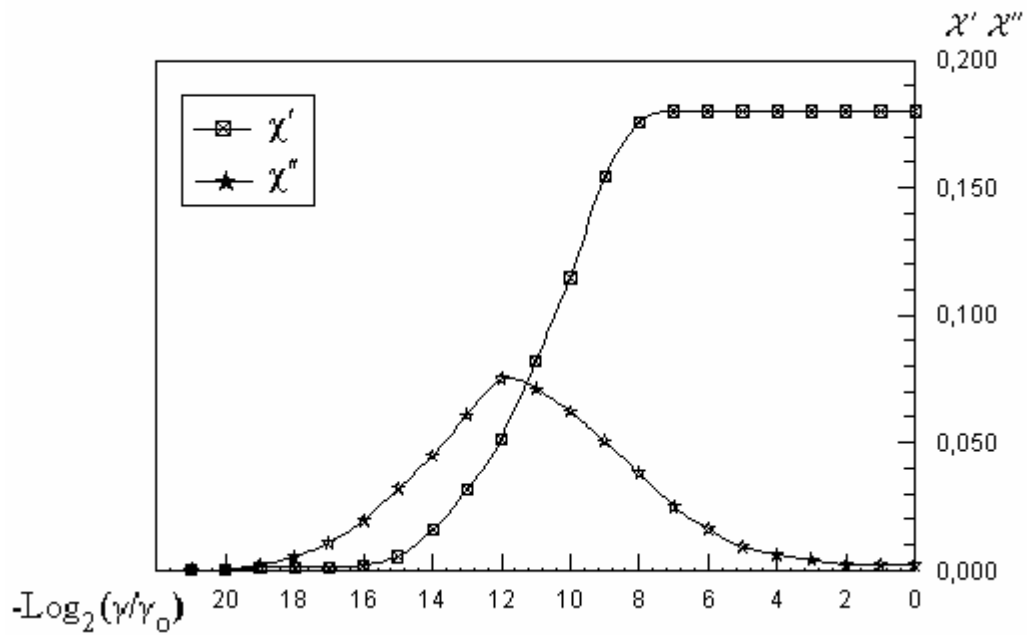
Şekil C.2.2 (HCl , $43.60 \mu\text{H}$)Şekil C.2.3 (HCl , $64.30 \mu\text{H}$)

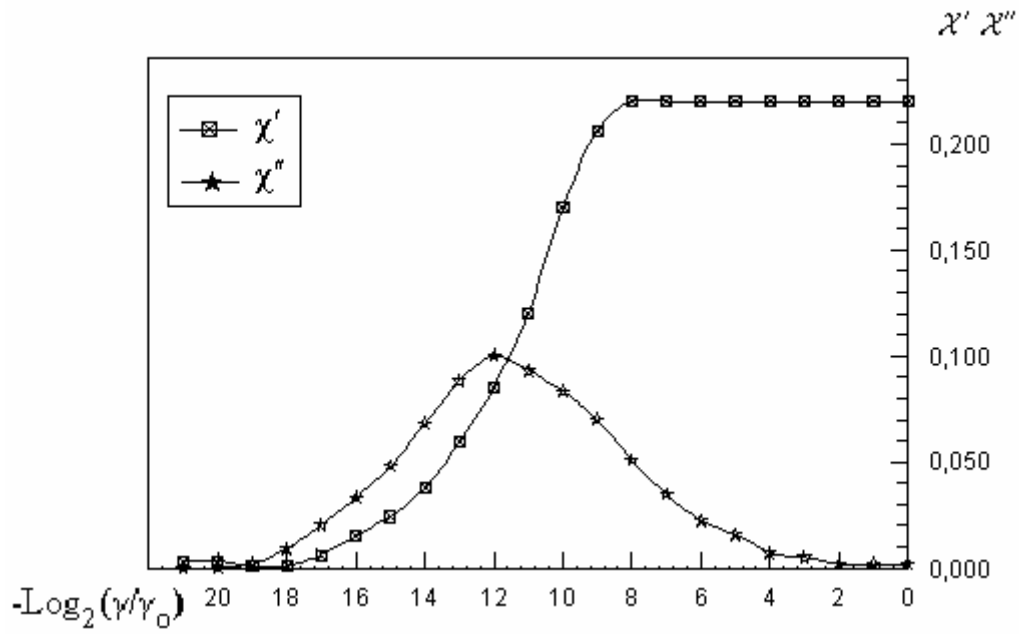
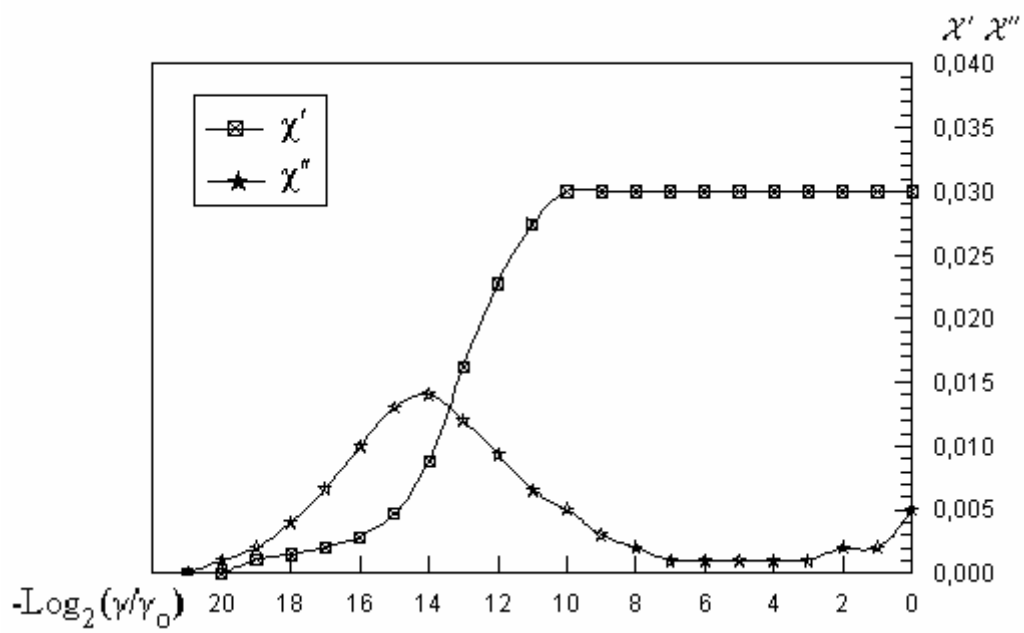
Şekil C.2.4 (HCl, 82.50 μH)Şekil C.2.5 (HCl, 100.20 μH)

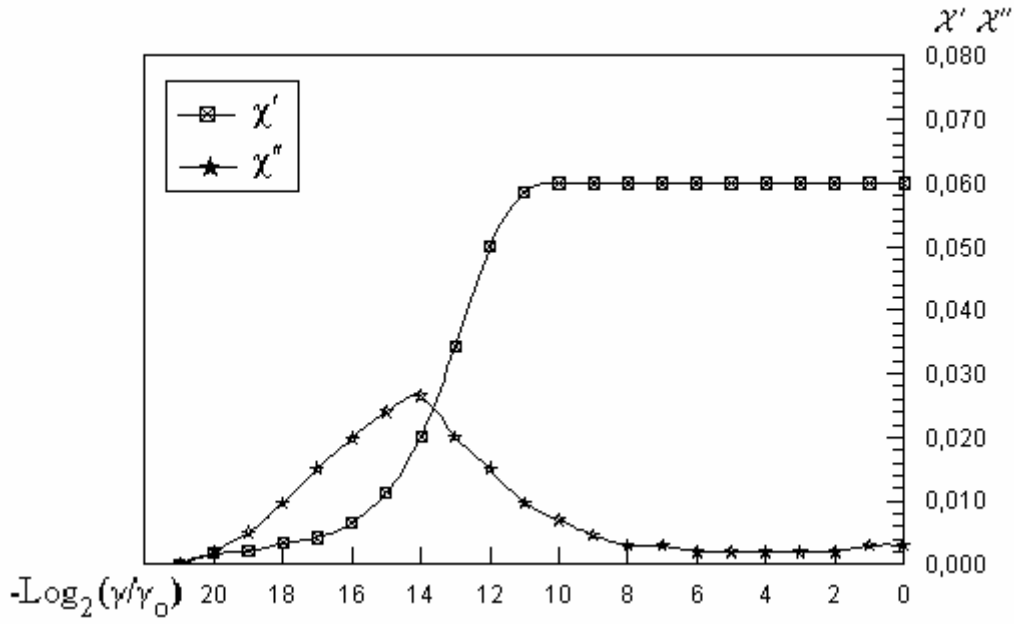
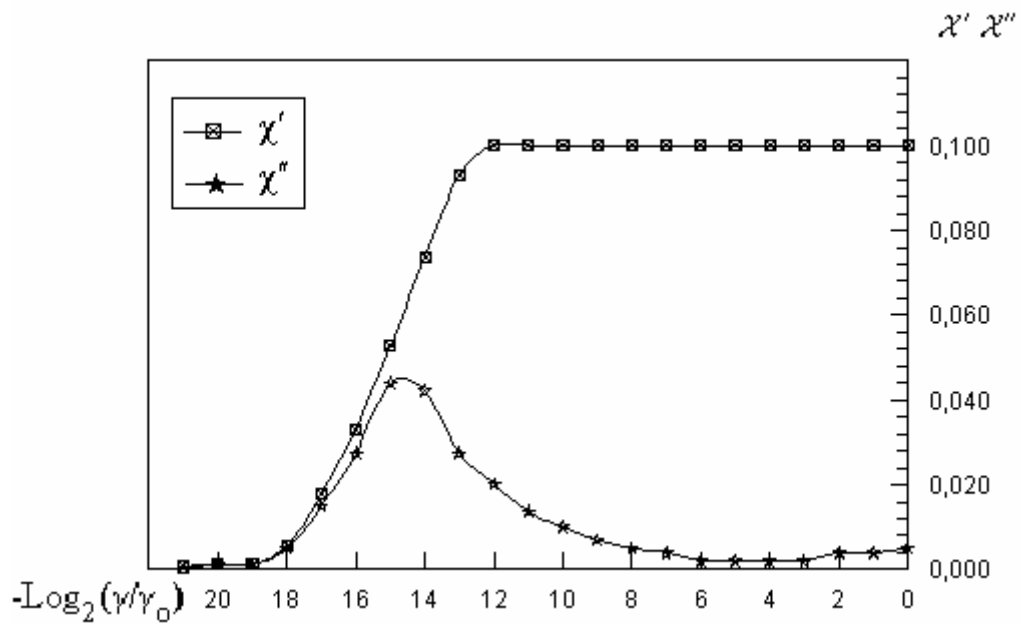
Şekil C.2.6 (HCl , 117.60 μH)Şekil C.2.7 (HCl , 141.90 μH)

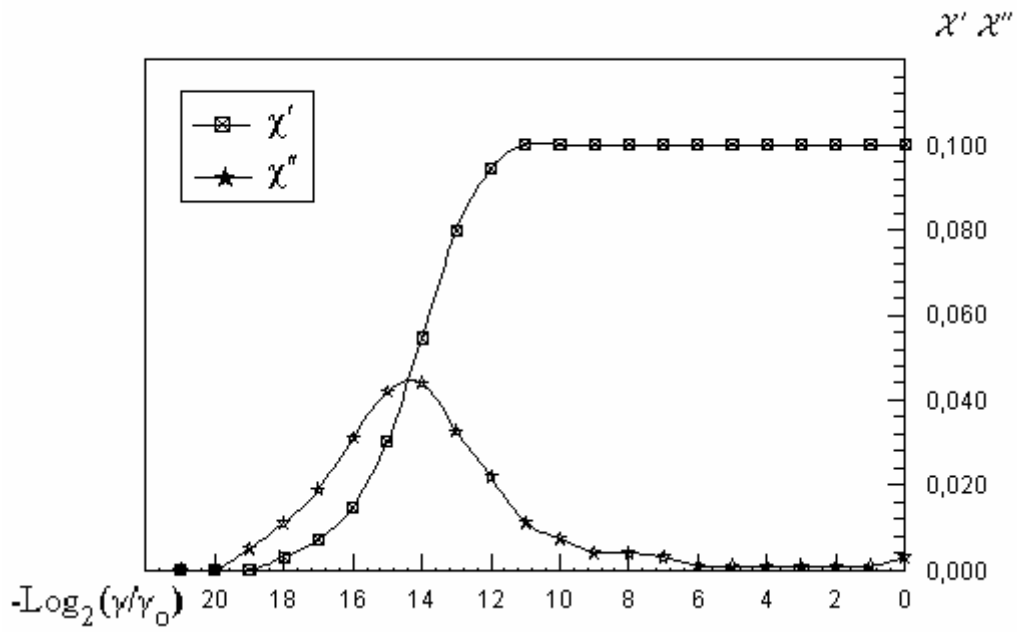
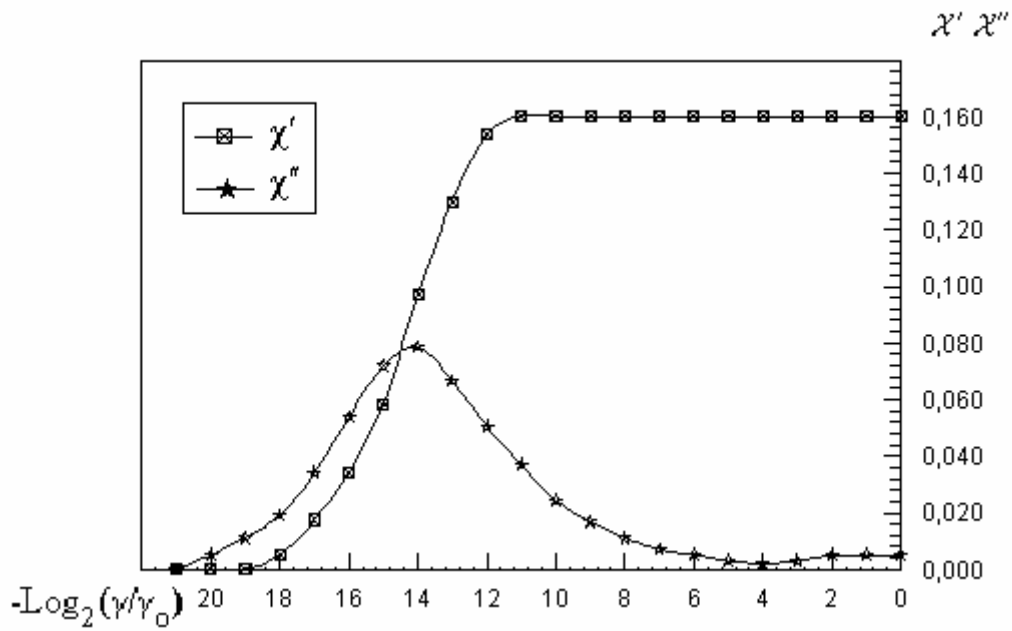
Şekil C.3.1 (HF , 25.70 μH)Şekil C.3.2 (HF , 43.60 μH)

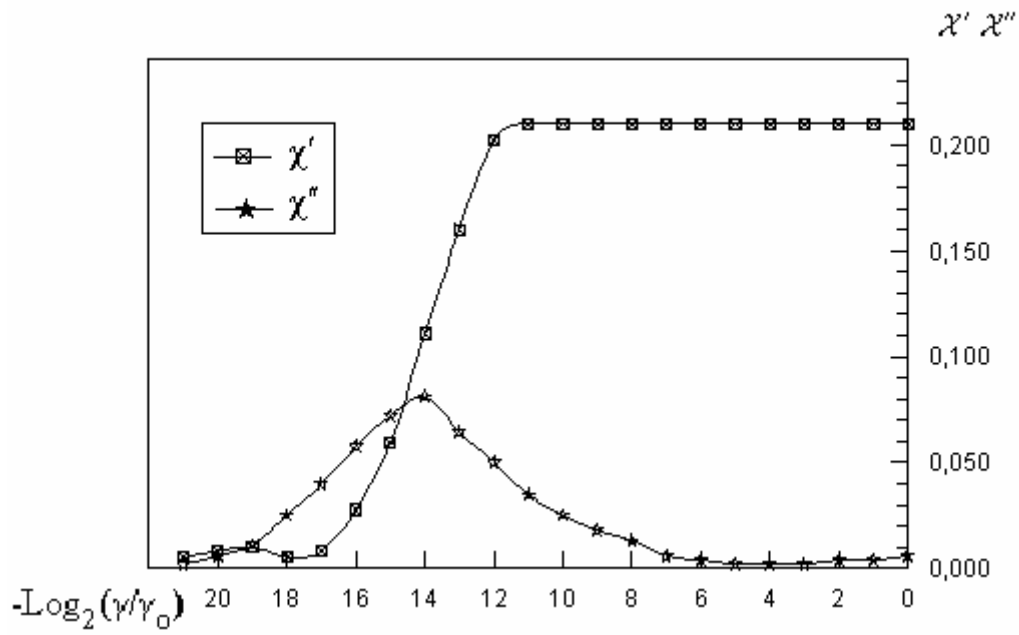
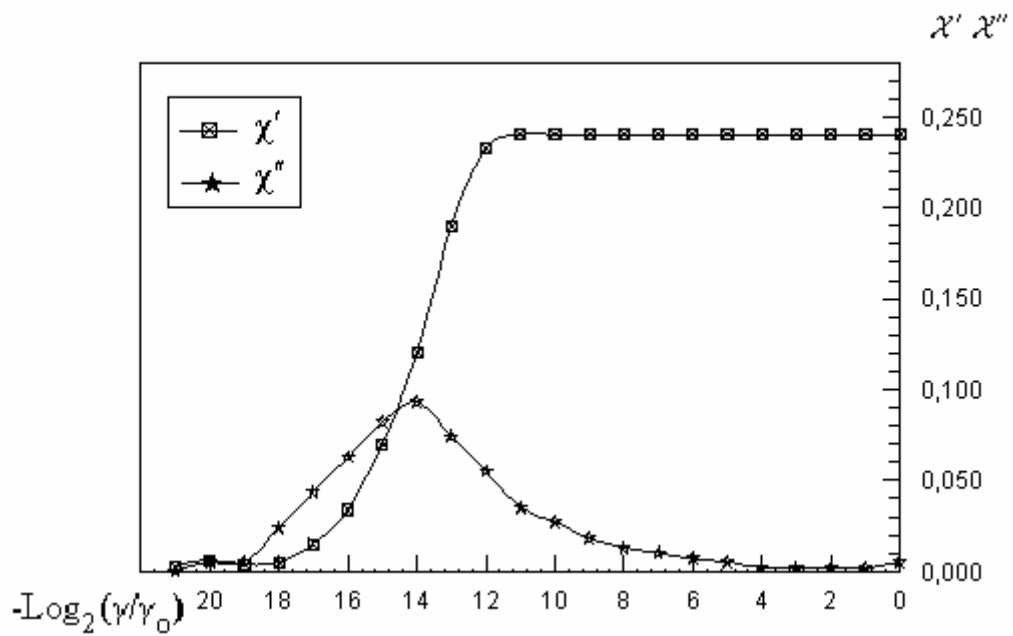
Şekil C.3.3 (HF, $64.30 \mu\text{H}$)Şekil C.3.4 (HF, $82.50 \mu\text{H}$)

Şekil C.3.5 (HF , 100.20 μH)Şekil C.3.6 (HF , 117.60 μH)

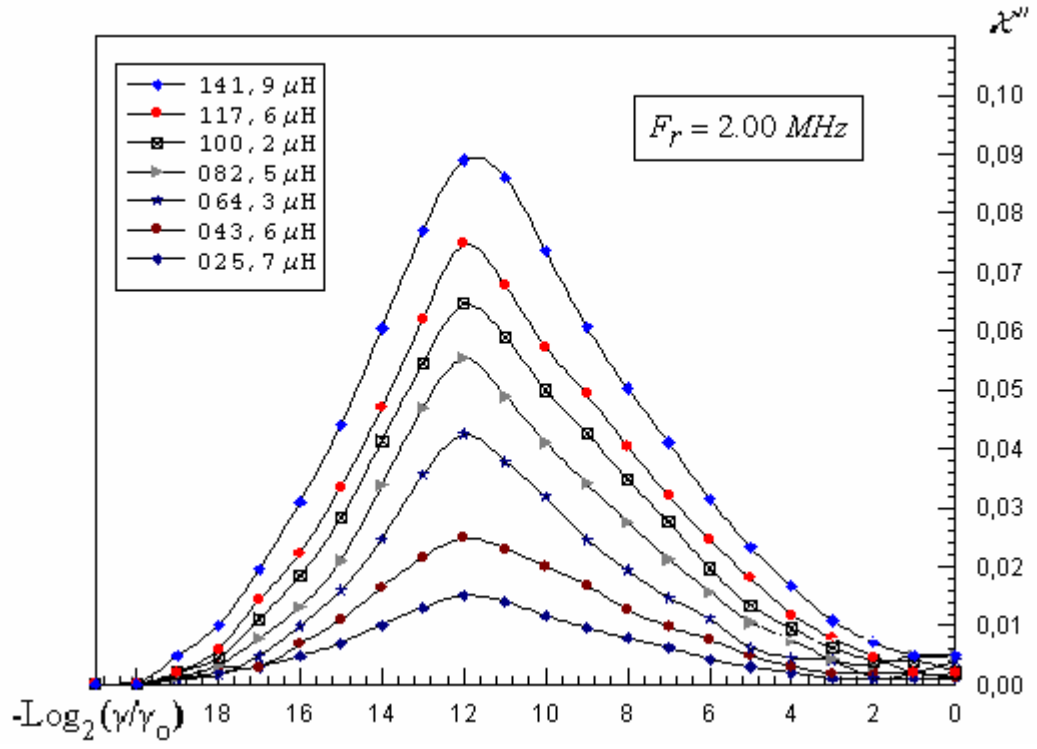
Şekil C.3.7 (HF , 141.90 μH)Şekil C.4.1 (HNO₃ , 25.70 μH)

Şekil C.4.2 (HNO_3 , $43.60 \mu\text{H}$)Şekil C.4.3 (HNO_3 , $64.30 \mu\text{H}$)

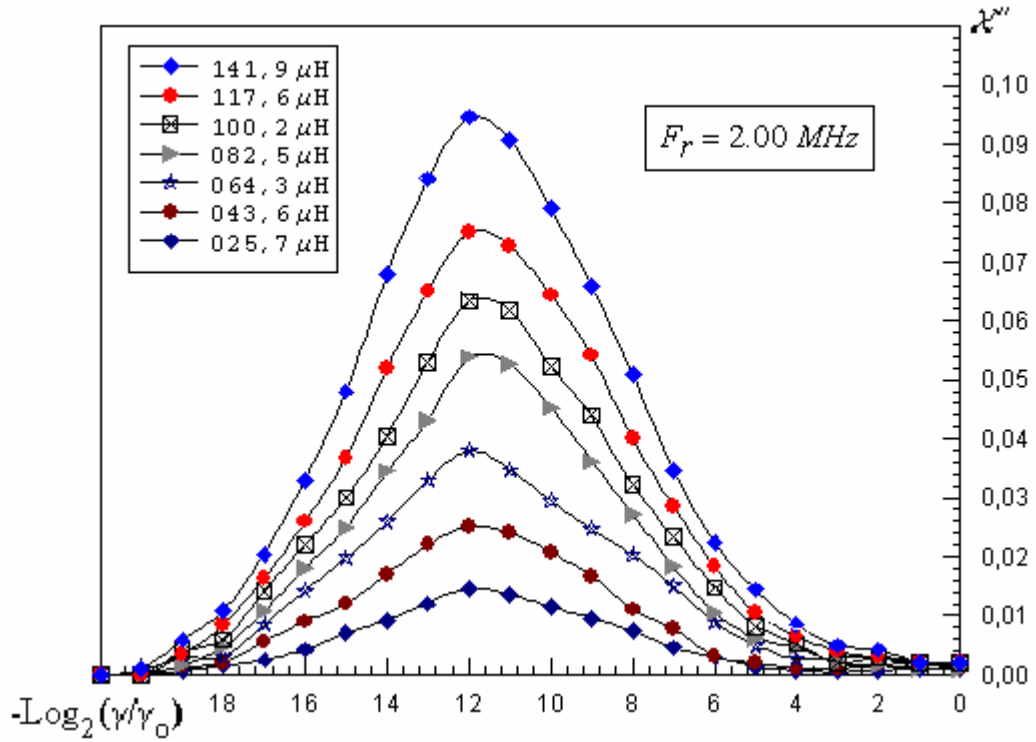
Şekil C.4.4 (HNO_3 , $82.50 \mu\text{H}$)Şekil C.4.5 (HNO_3 , $100.20 \mu\text{H}$)

Şekil C.4.6 (HNO_3 , 117.60 μH)Şekil C.4.7 (HNO_3 , 141.90 μH)

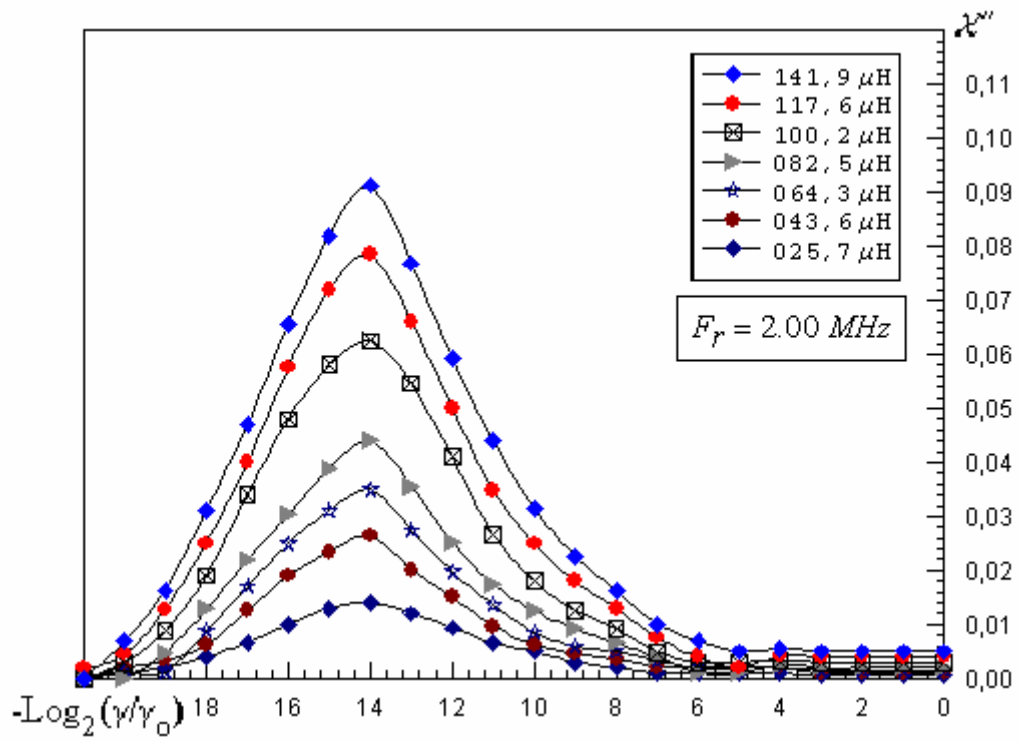
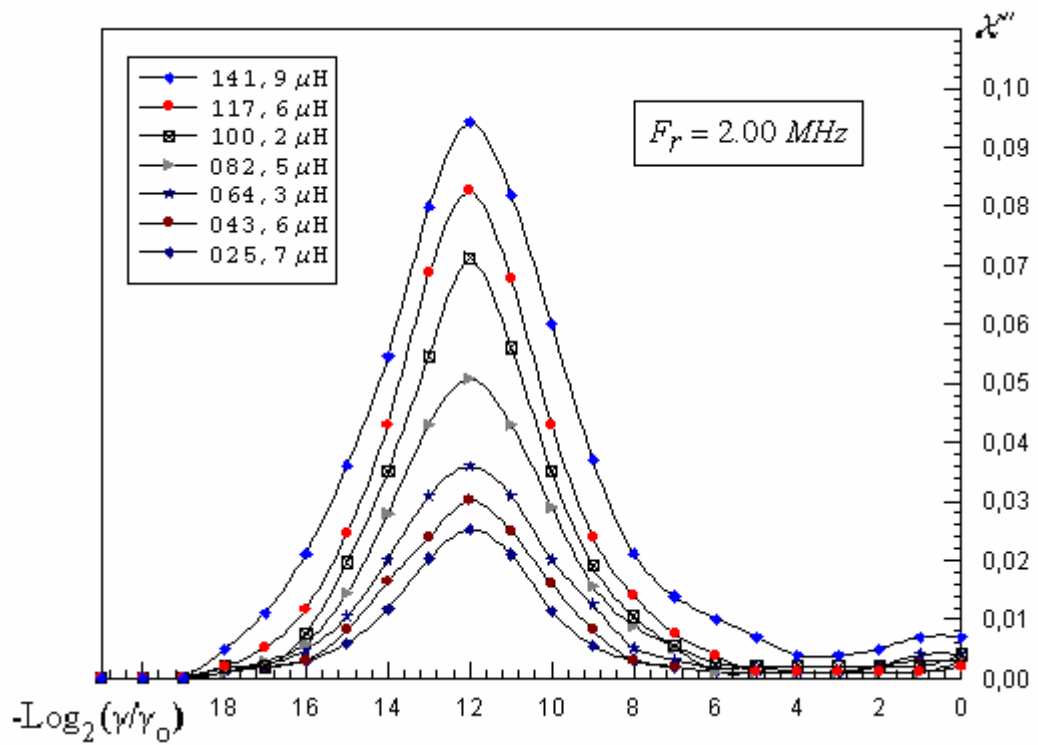
Ek-D Kayıp (χ'') faktörlerinin konsantrasyona göre değişimleri



Şekil D.1 Çözelti H_3PO_4

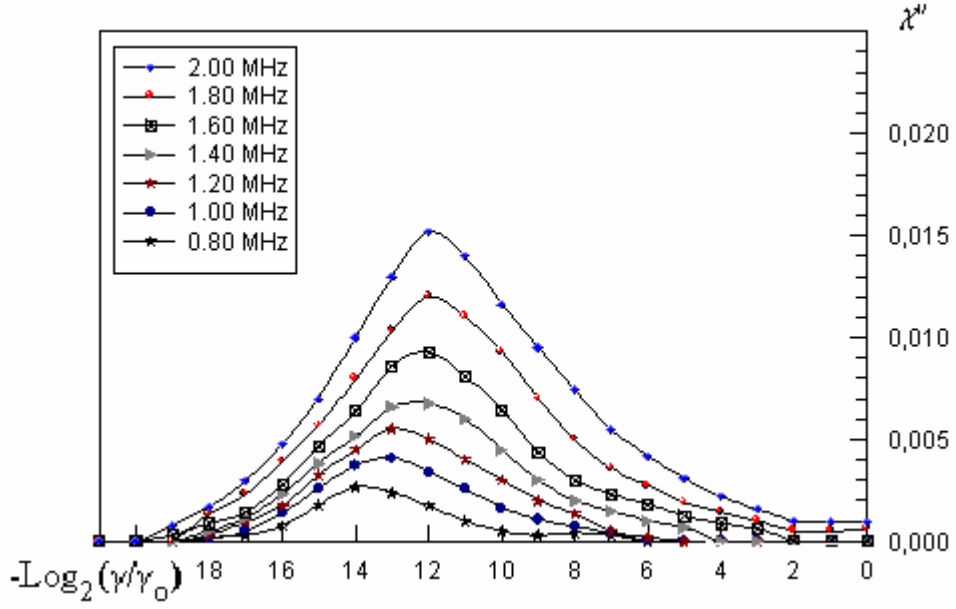


Şekil D.2 Çözelti HF

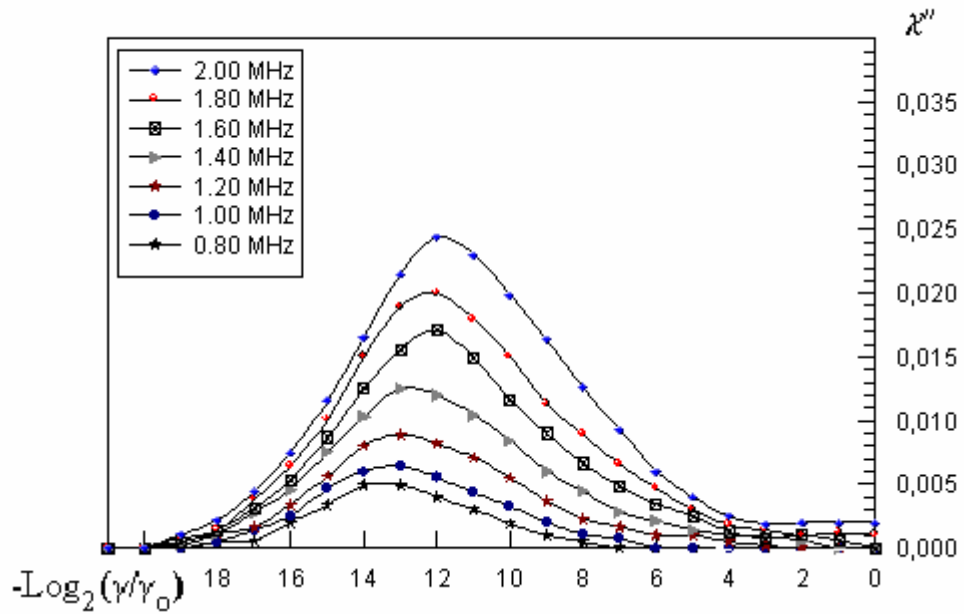
Şekil D.3 Çözelti HNO₃

Şekil D.4 Çözelti HCl

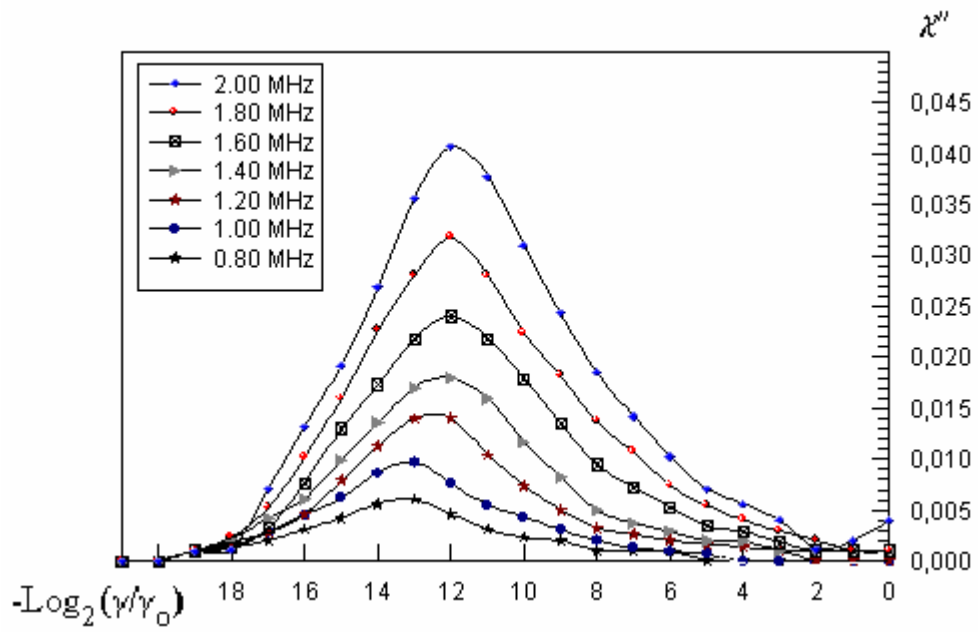
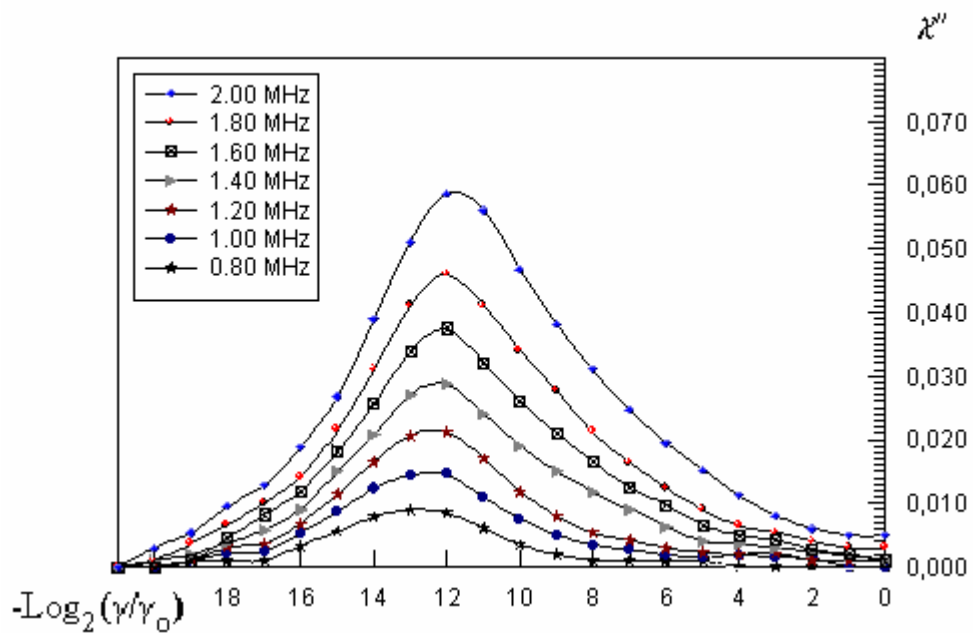
Ek-E Yedi farklı frekansta kayıp (χ'') faktörlerinin konsantrasyona göre değişimleri

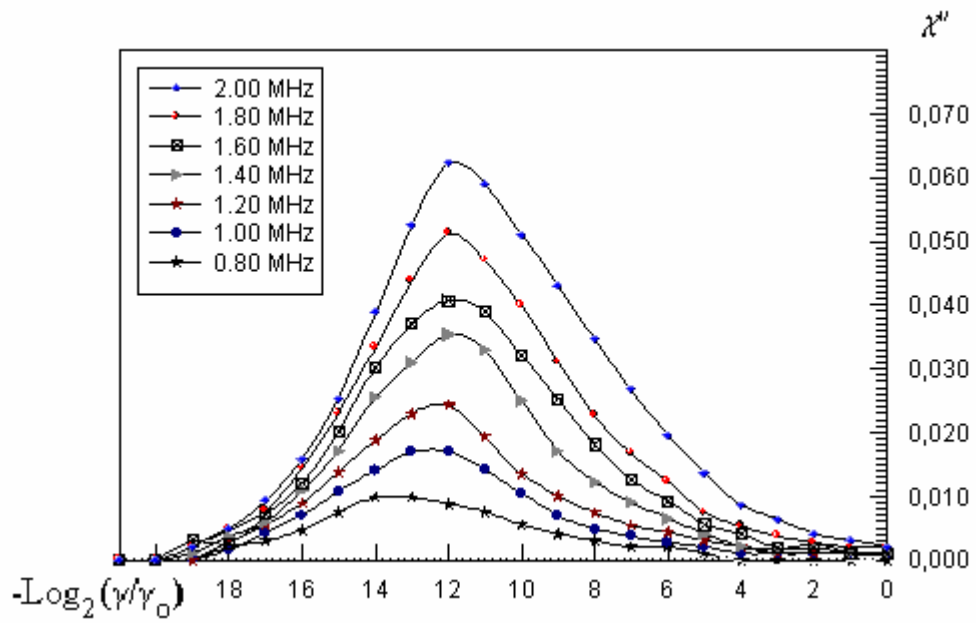
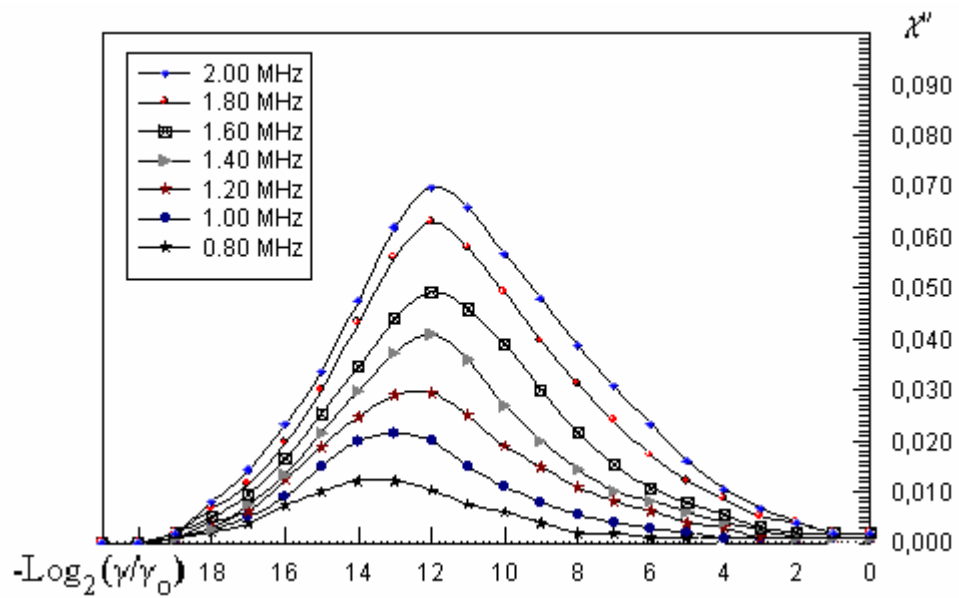


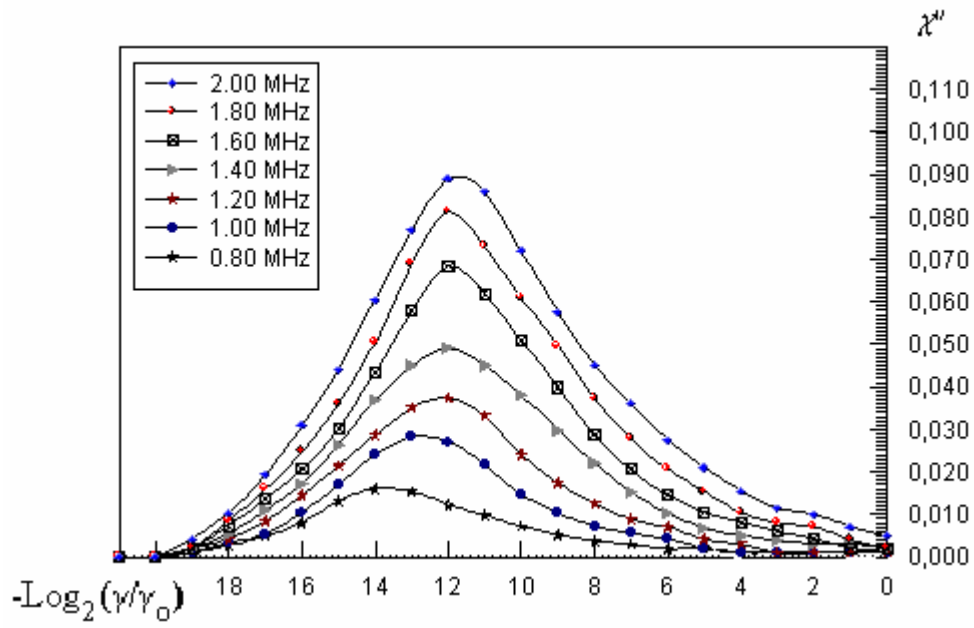
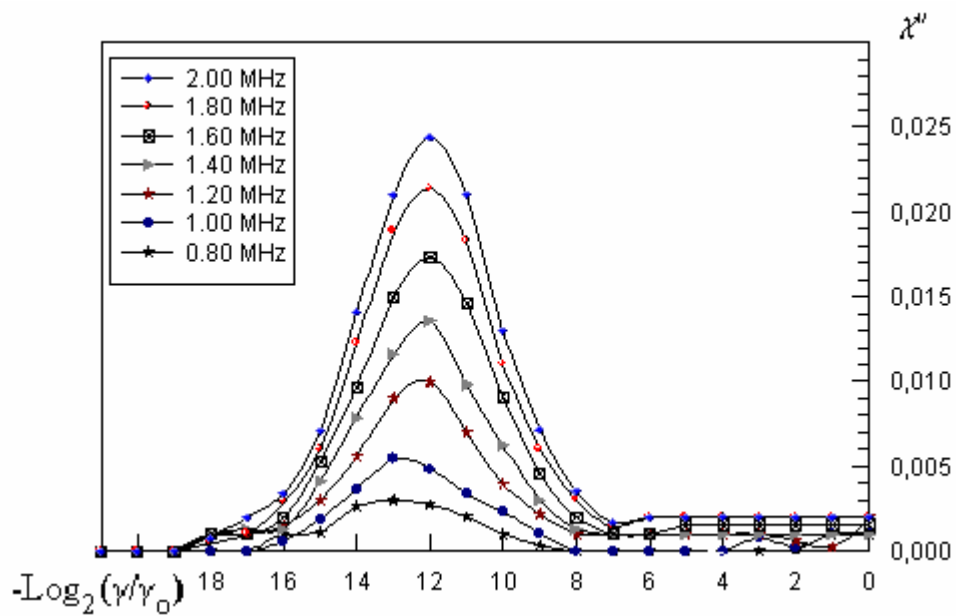
Şekil E.1.1 (H_3PO_4 , $L_{01}=25.70 \mu\text{H}$)

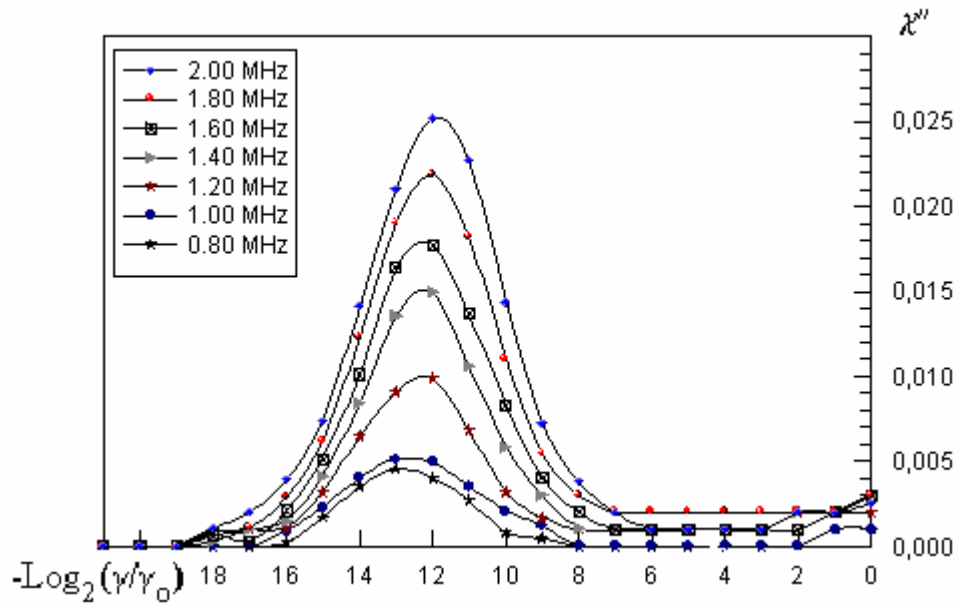
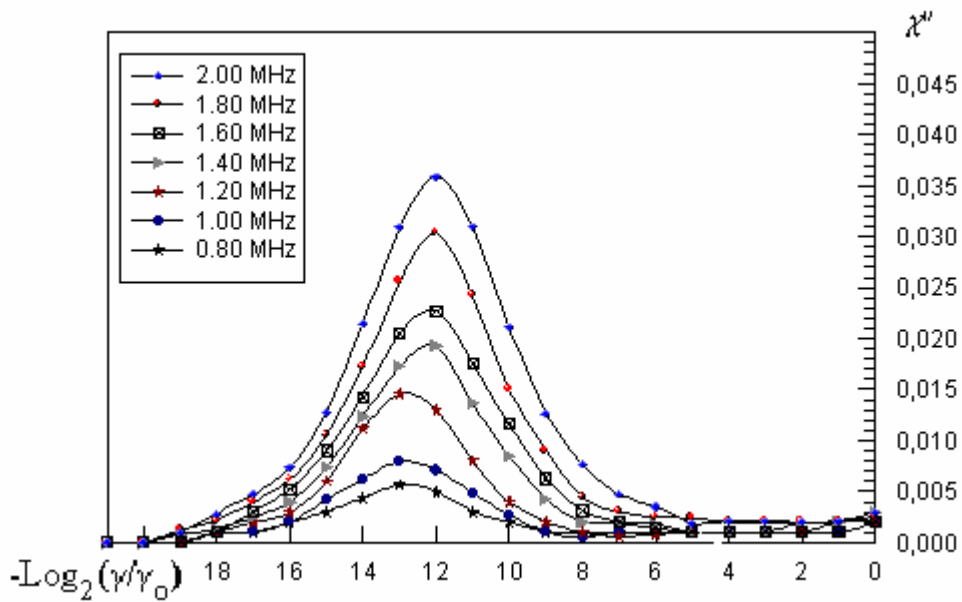


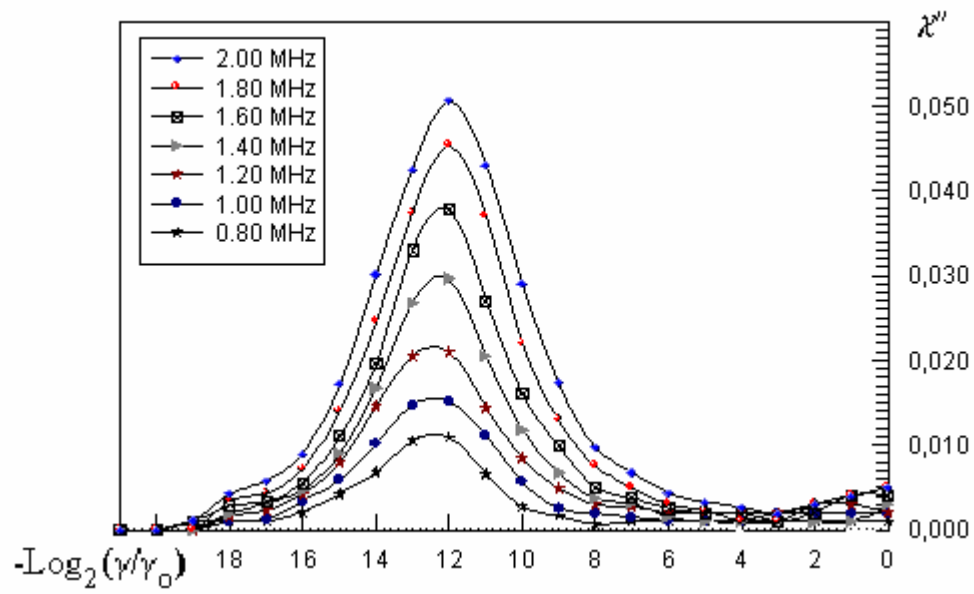
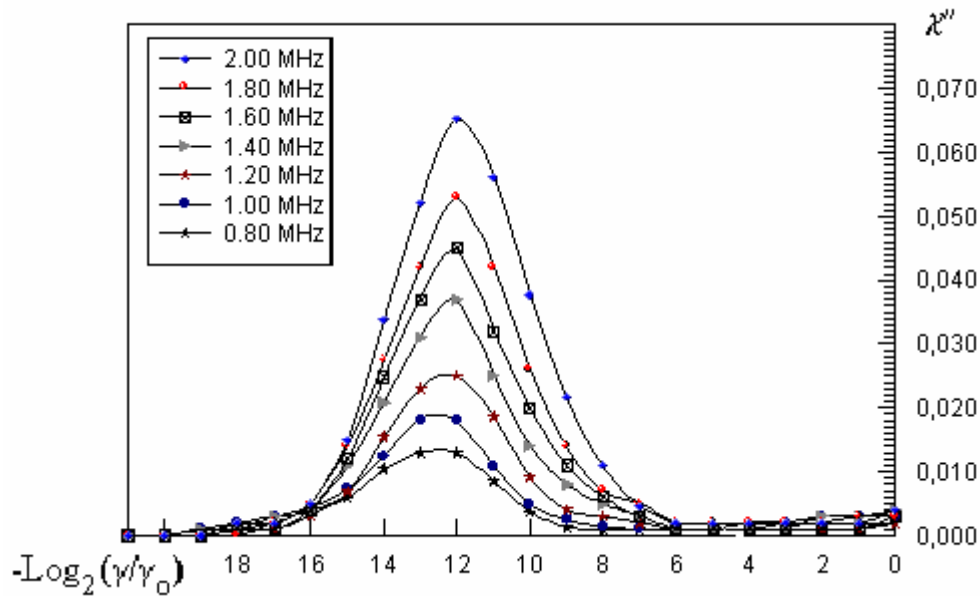
Şekil E.1.2 (H_3PO_4 , $L_{02}=43.60 \mu\text{H}$)

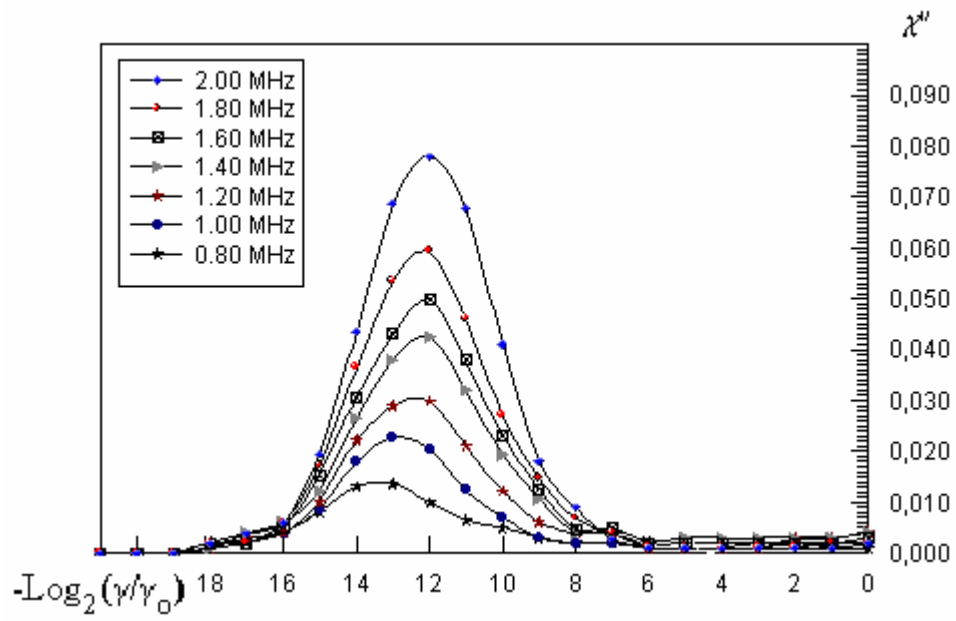
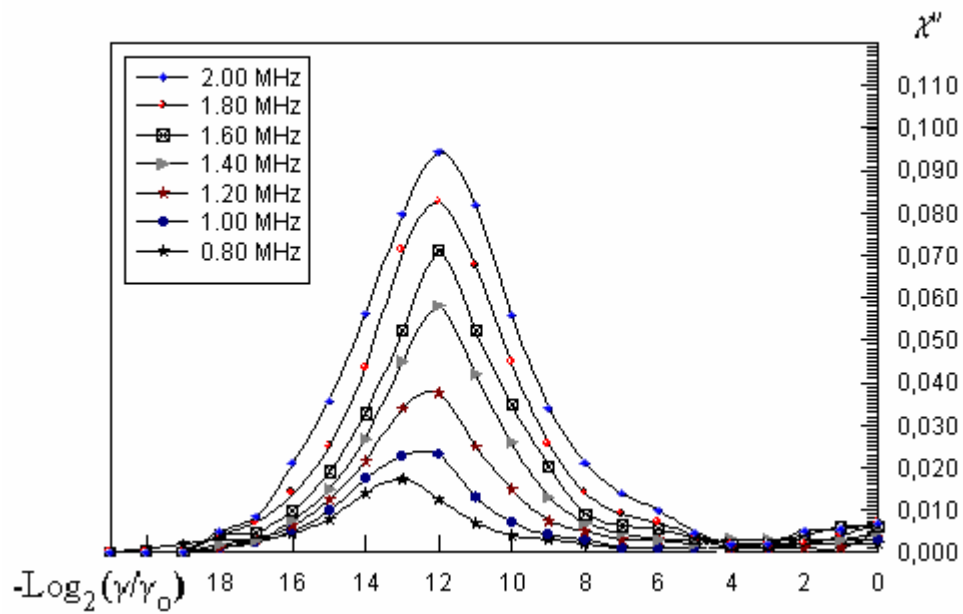
Şekil E.1.3 (H_3PO_4 , $L_{03} = 64.30 \mu\text{H}$)Şekil E.1.4 (H_3PO_4 , $L_{04} = 82.50 \mu\text{H}$)

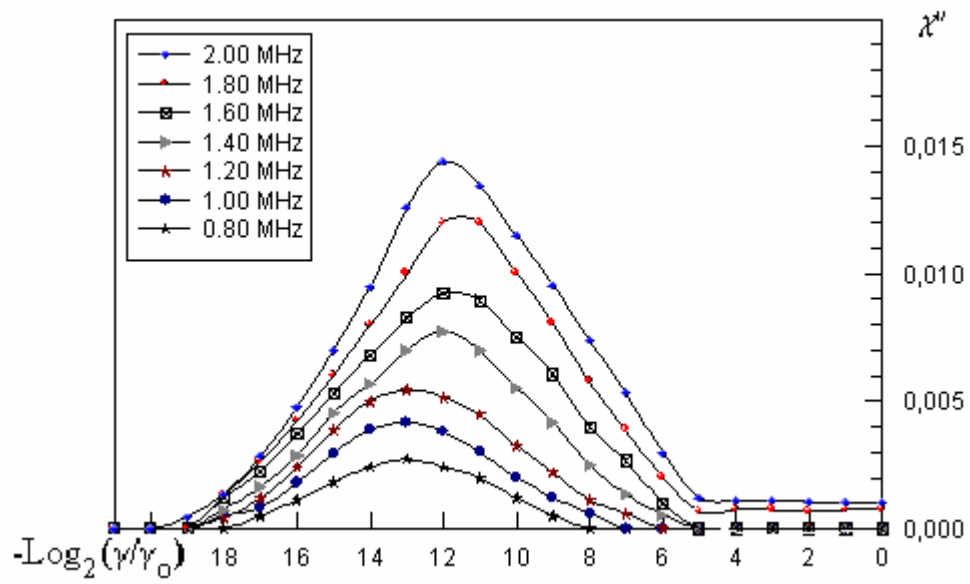
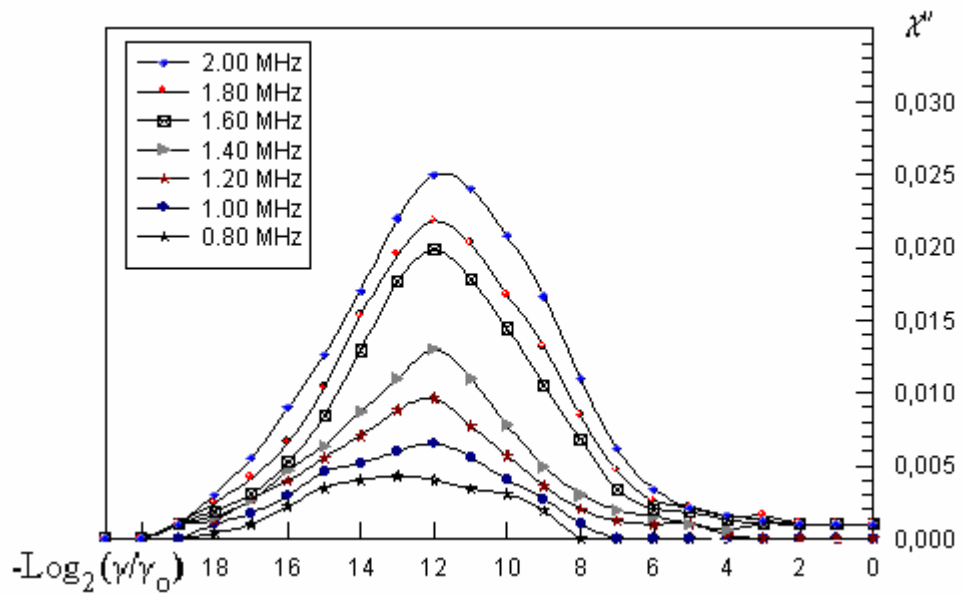
Şekil E.1.5 (H_3PO_4 , $L_{05} = 100.20 \mu\text{H}$)Şekil E.1.6 (H_3PO_4 , $L_{06} = 117.60 \mu\text{H}$)

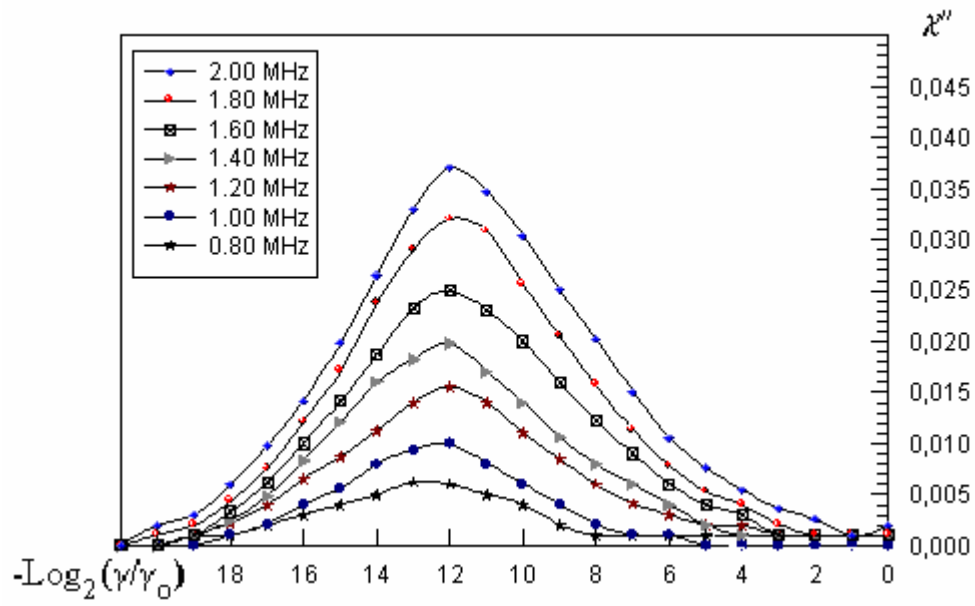
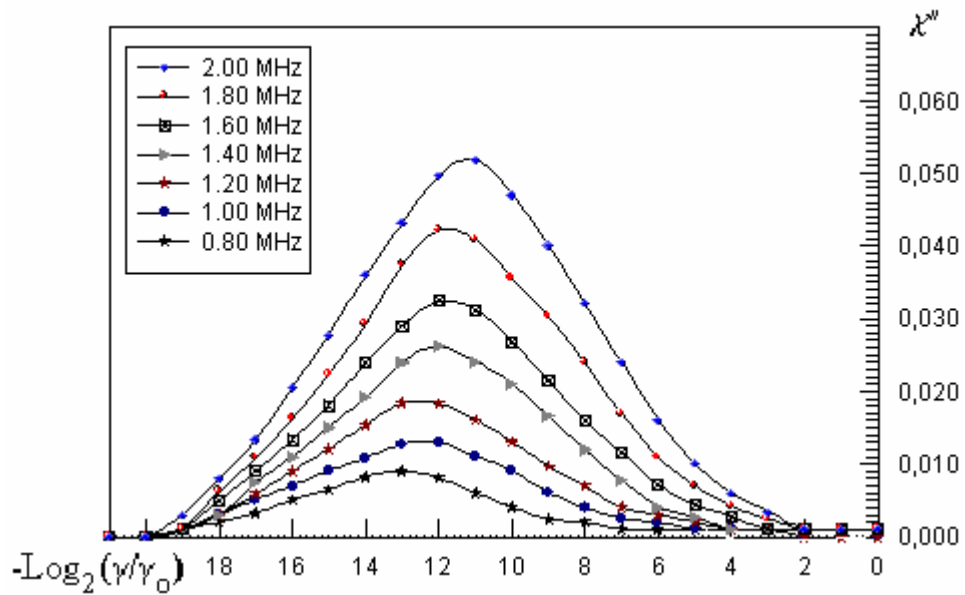
Şekil E.1.7 (H_3PO_4 , $L_{07}=141.90 \mu\text{H}$)Şekil E.2.1 (HCl , $L_{01}=25.70 \mu\text{H}$)

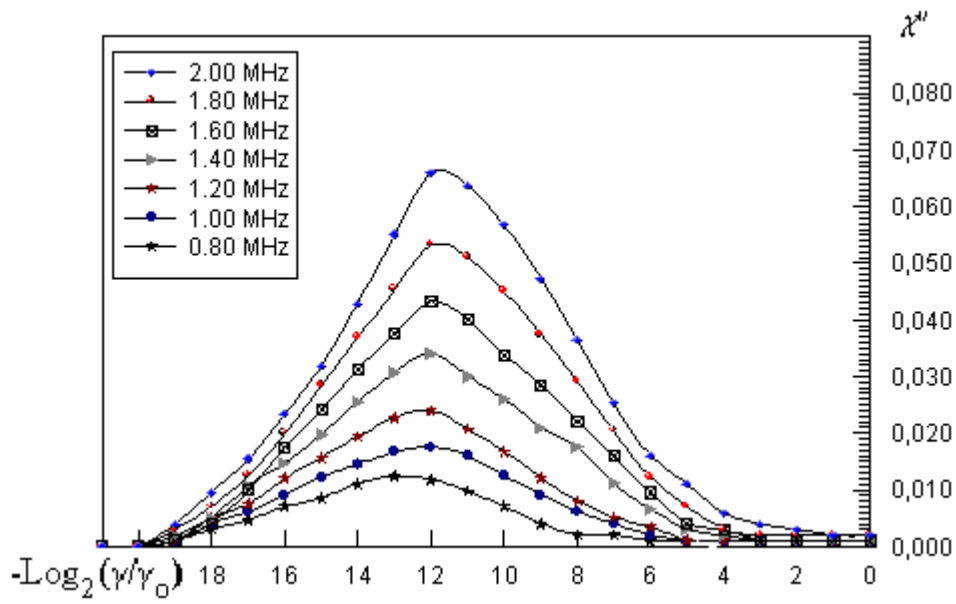
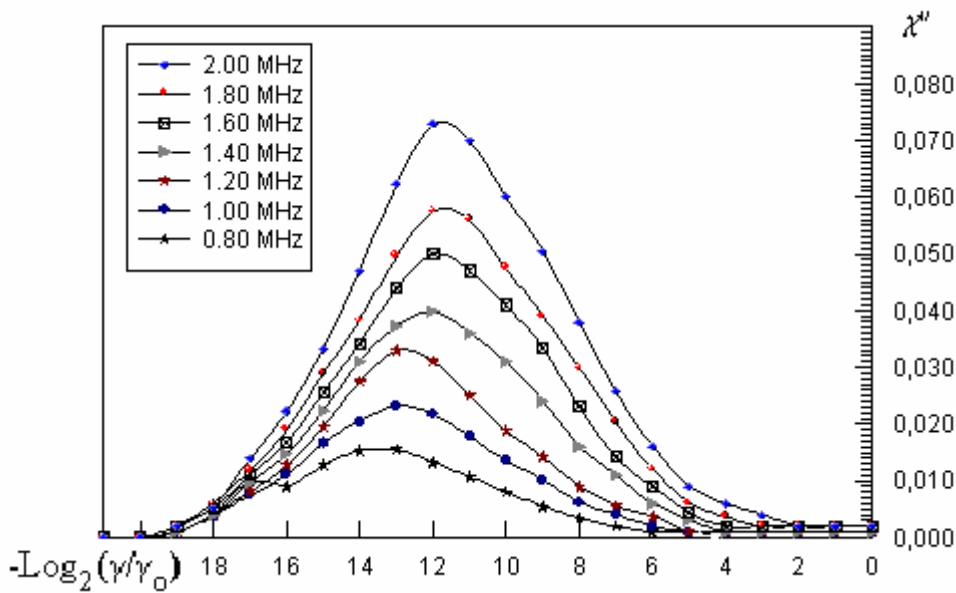
Şekil E.2.2 (HCl , $L_{02}=43.60 \mu\text{H}$)Şekil E.2.3 (HCl , $L_{03}=64.30 \mu\text{H}$)

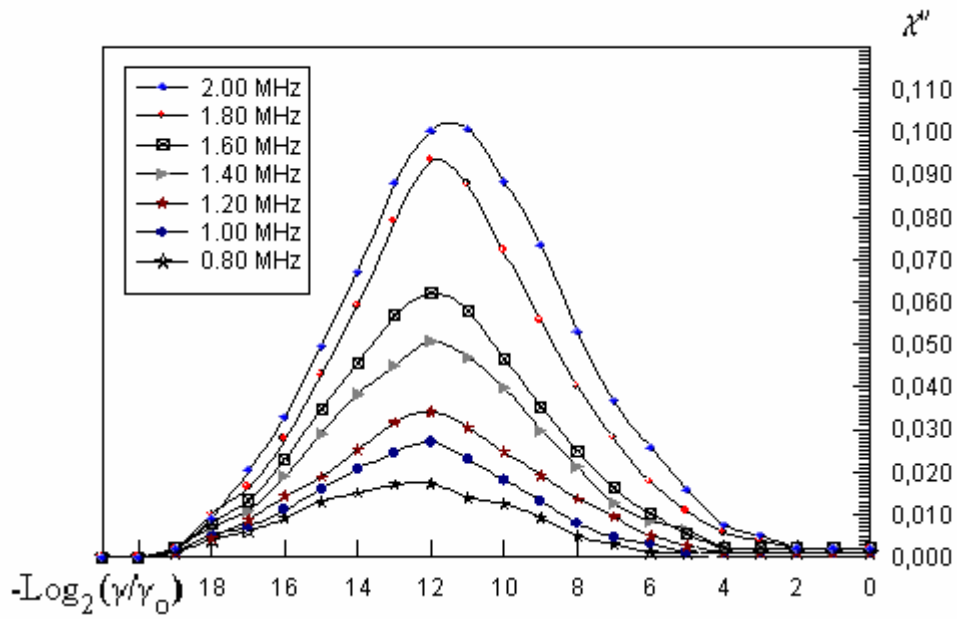
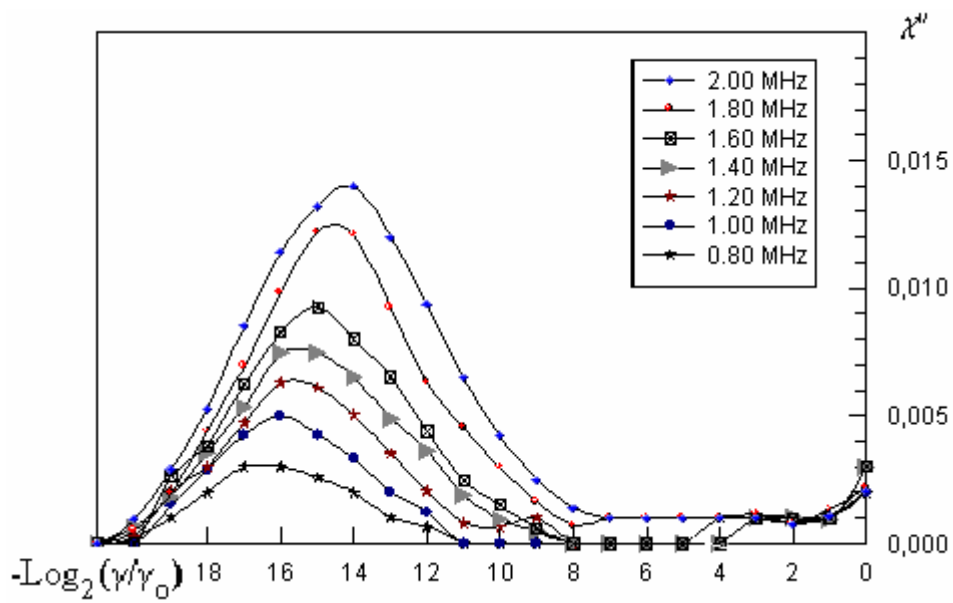
Şekil E.2.4 (HCl , $L_{04} = 82.50 \mu\text{H}$)Şekil E.2.5 (HCl , $L_{05} = 100.20 \mu\text{H}$)

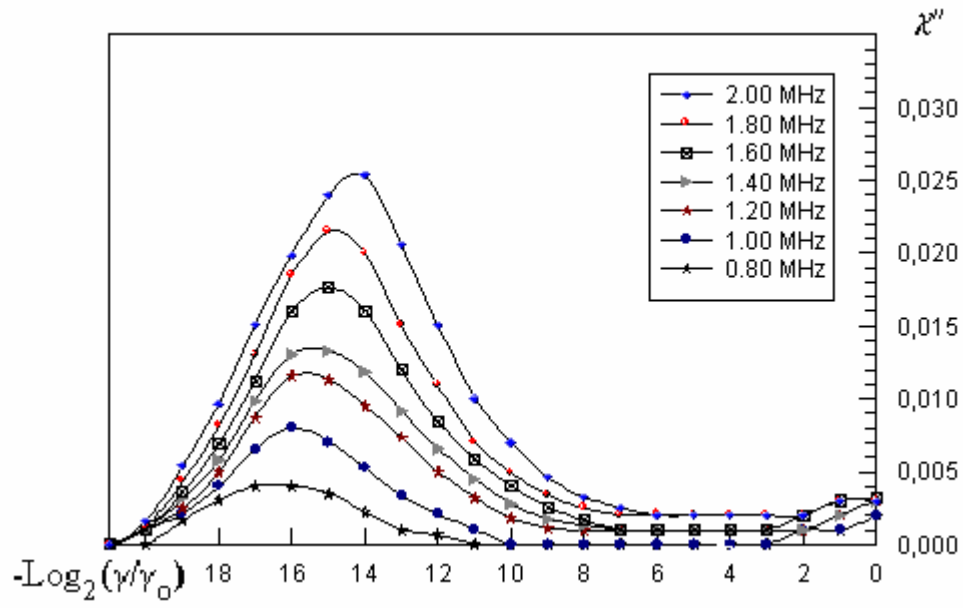
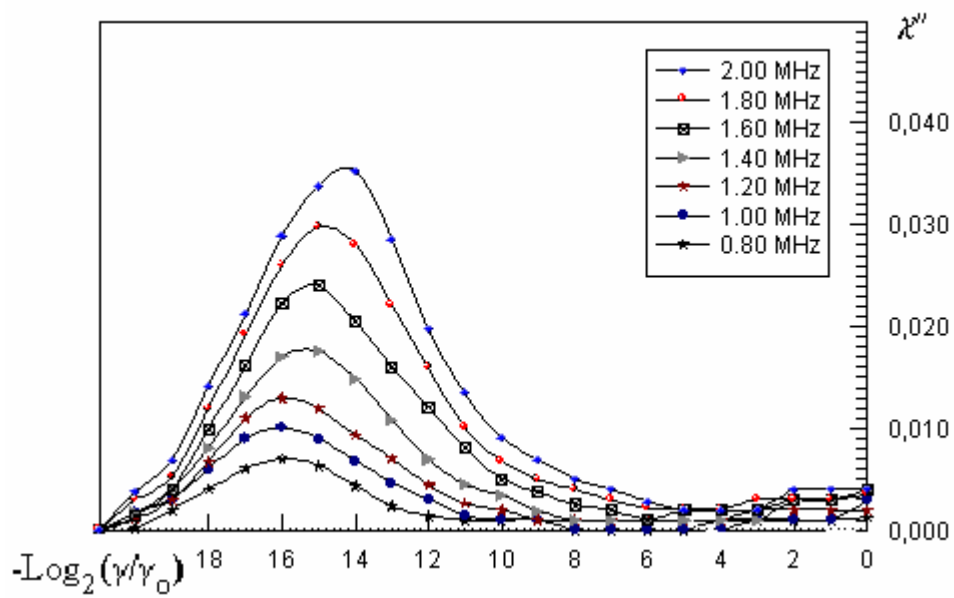
Şekil E.2.6 (HCl , $L_{06} = 117.60 \mu\text{H}$)Şekil E.2.7 (HCl , $L_{07} = 141.90 \mu\text{H}$)

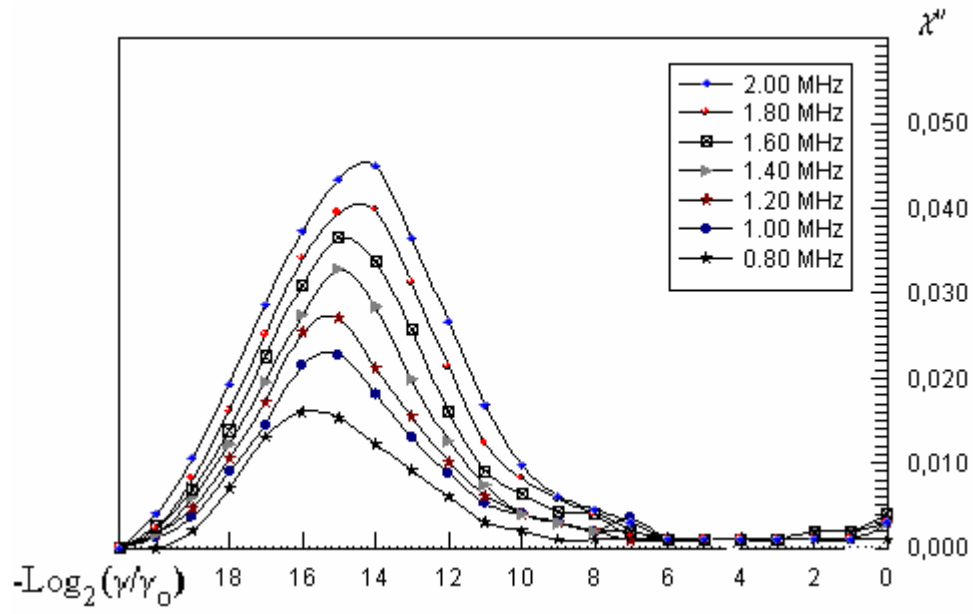
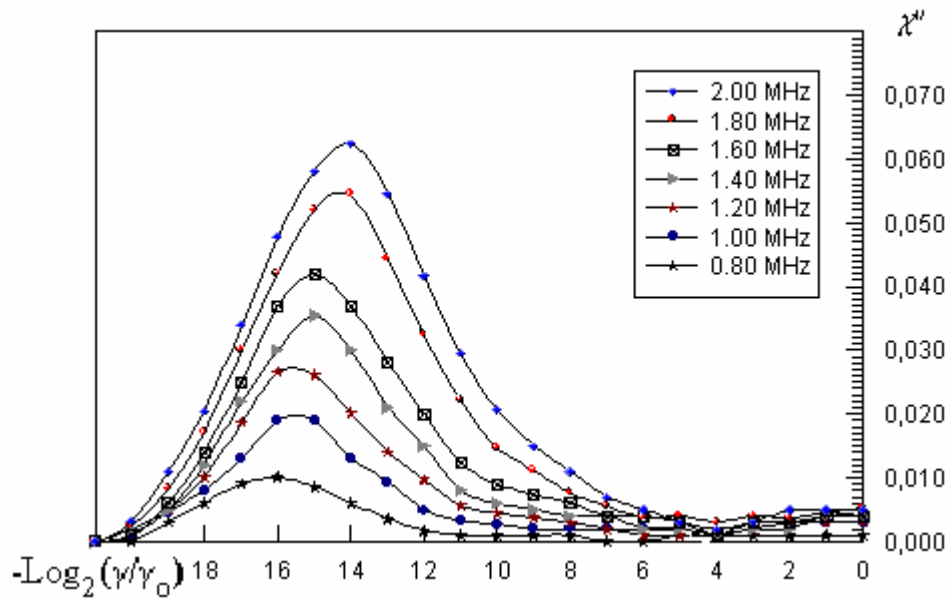
Şekil E.3.1 (HF , $L_{01}=25.70 \mu\text{H}$)Şekil E.3.2 (HF , $L_{02}=43.60 \mu\text{H}$)

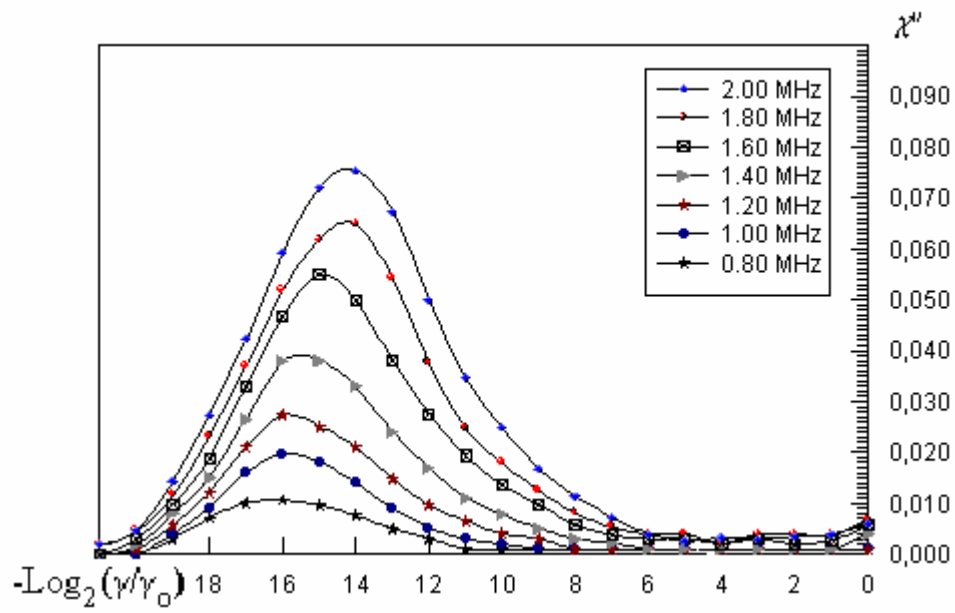
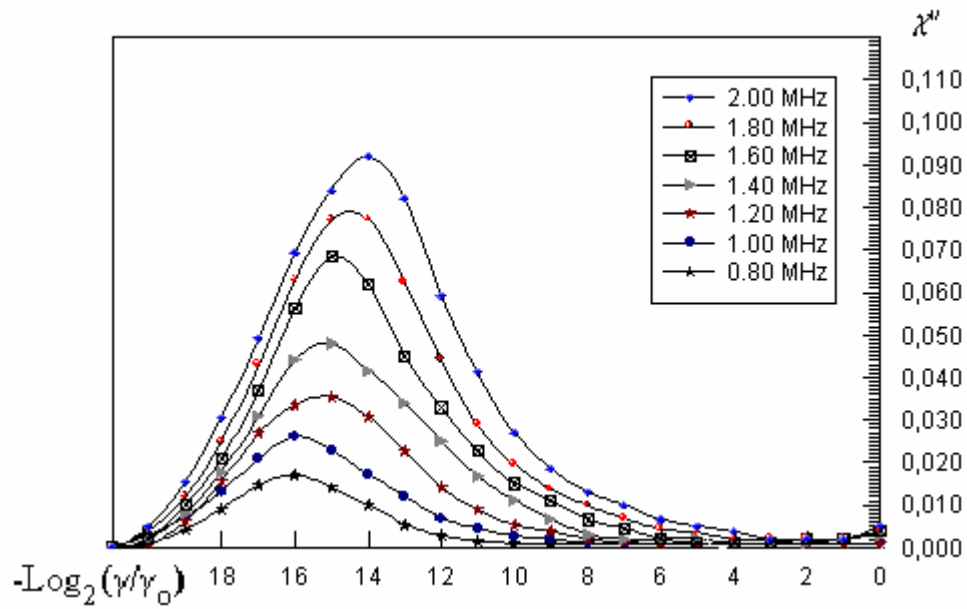
Şekil E.3.3 (HF , $L_{03}=64.30 \mu\text{H}$)Şekil E.3.4 (HF , $L_{04}=82.50 \mu\text{H}$)

Şekil E.3.5 (HF , $L_{05}=100.20 \mu\text{H}$)Şekil E.3.6 (HF , $L_{06}=117.60 \mu\text{H}$)

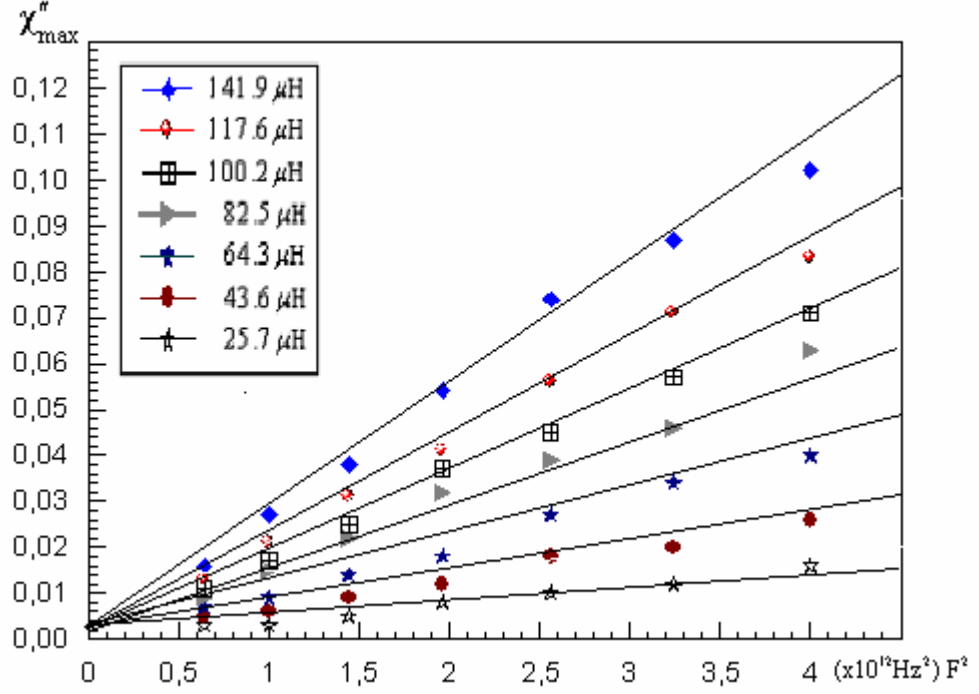
Şekil E.3.7 (HF , $L_{07}=141.90 \mu\text{H}$)Şekil E.4.1 (HNO₃ , $L_{01}=25.70 \mu\text{H}$)

Şekil E.4.2 (HNO_3 , $L_{02} = 43.60 \mu\text{H}$)Şekil E.4.3 (HNO_3 , $L_{03} = 64.30 \mu\text{H}$)

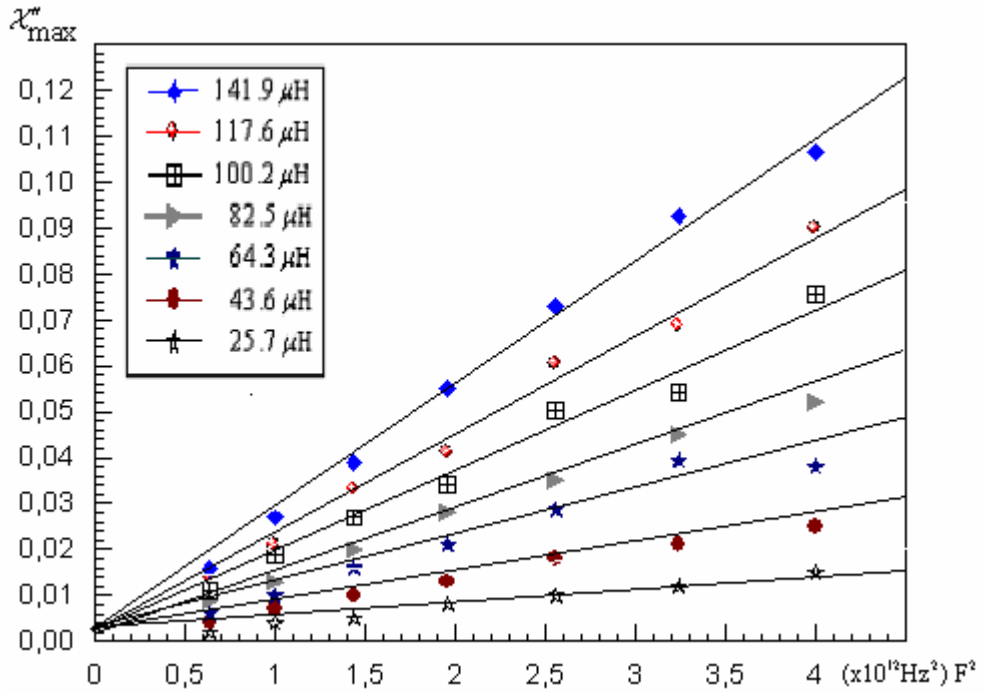
Şekil E.4.4 (HNO_3 , $L_{04} = 82.50 \mu\text{H}$)Şekil E.4.5 (HNO_3 , $L_{05} = 100.20 \mu\text{H}$)

Şekil E.4.6 (HNO_3 , $L_{06} = 117.60 \mu\text{H}$)Şekil E.4.7 (HNO_3 , $L_{07} = 141.90 \mu\text{H}$)

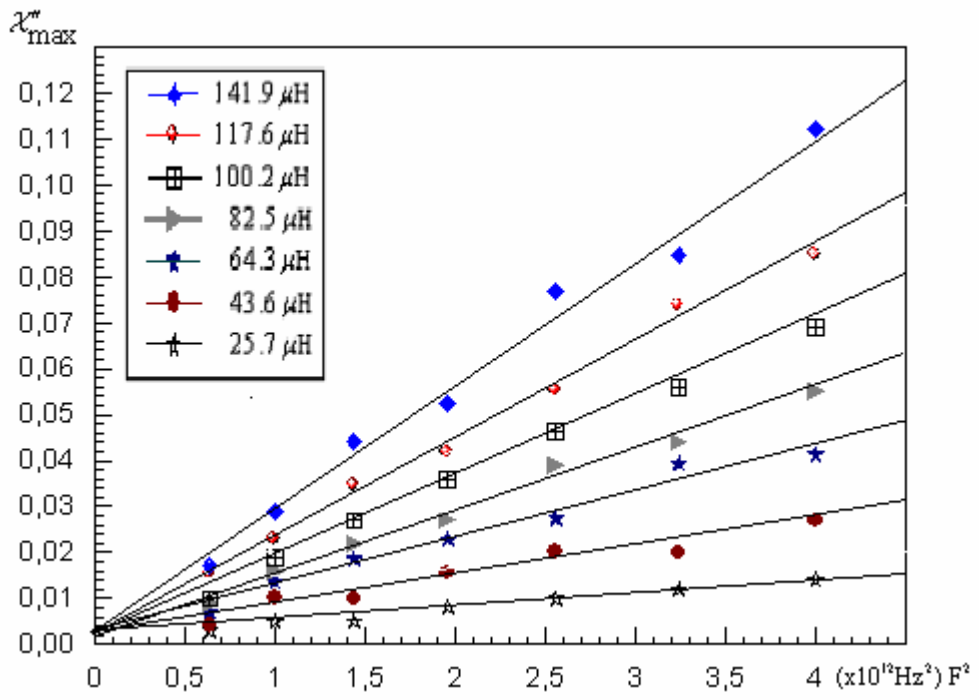
Ek-F Farklı indüktanslı bobinlerde maksimum kayıp (χ''_{\max}) faktörlerinin frekans-kareye (F^2) göre değişimleri



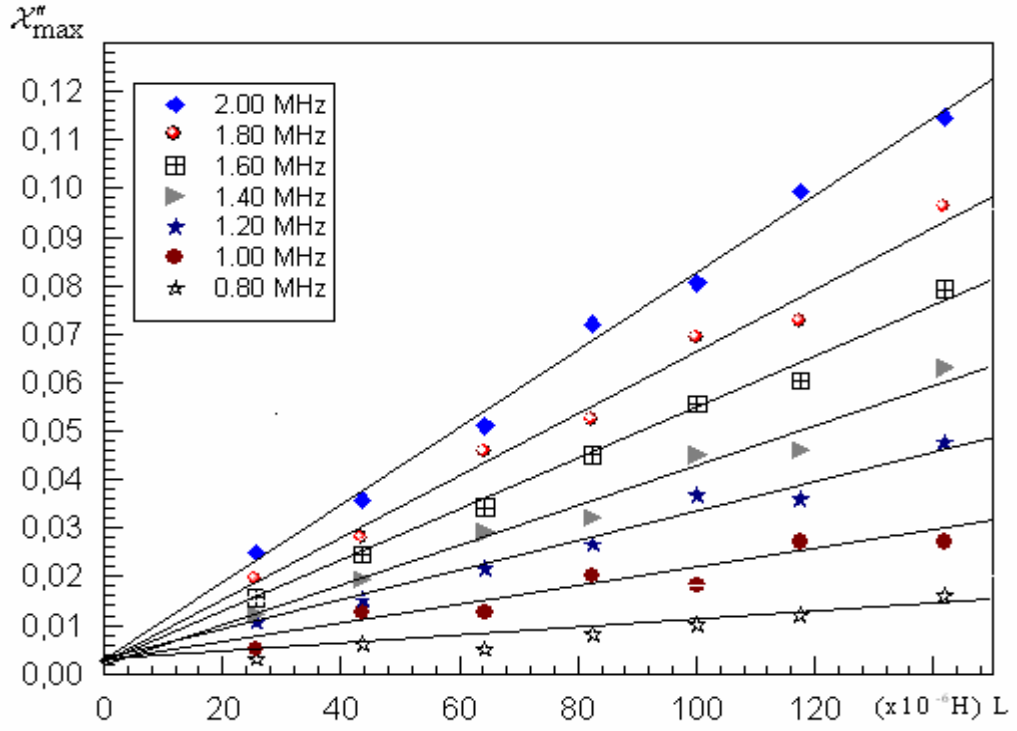
Şekil F.1 Çözelti H₃PO₄



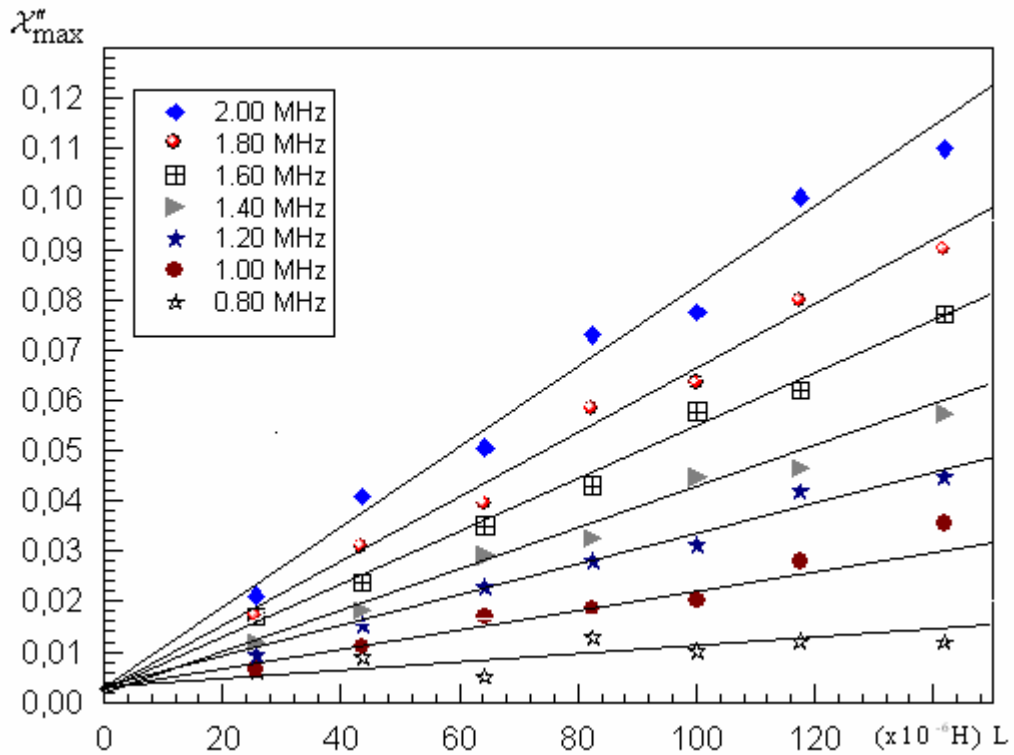
Şekil F.2 Çözelti HF

Şekil F.3 Çözelti HNO₃

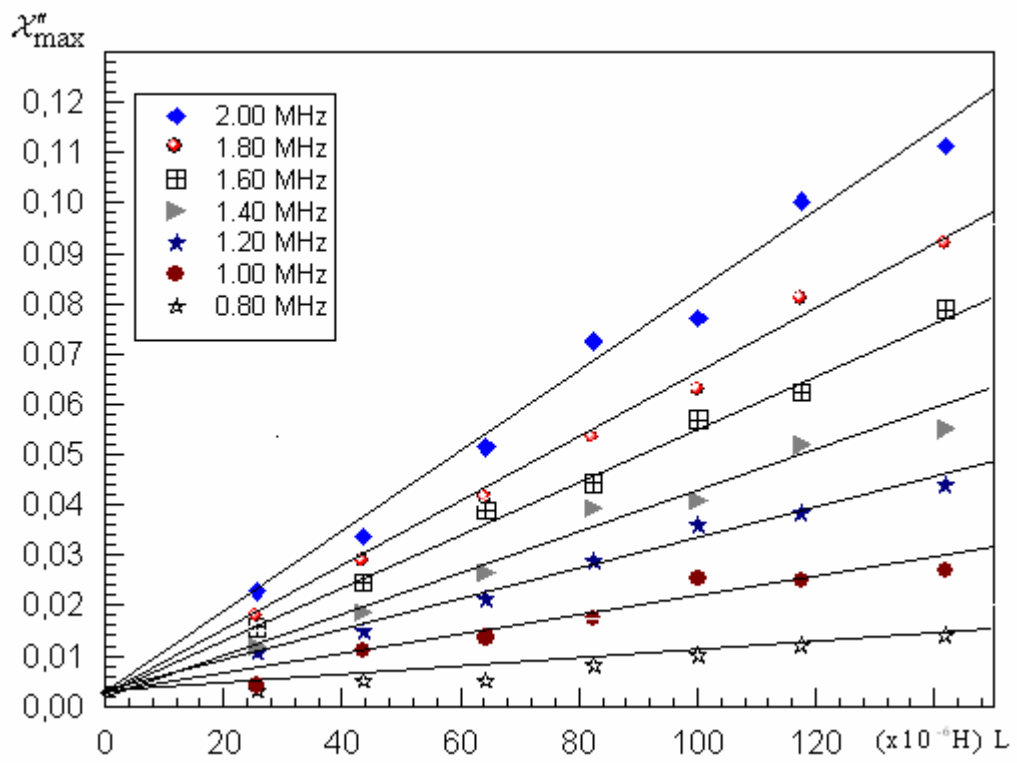
Ek-G Farklı frekanslarda maksimum kayıp (χ''_{\max}) faktörlerinin İndüktansa (L) göre değişimleri



Şekil G.1 Çözelti H₃PO₄



Şekil G.2 Çözelti HF

Şekil G.3 Çözelti HNO₃

Ek-H Deneysel çalışmada kullanılan bobinlerin fiziksel özellikleri

| Bobin No | ÖLÇÜ ALETİ İLE OKUNAN DEĞERLER | | Bobinin | | Telin | Sarılan Bobinin | | | HESAPLAMA YOLU İLE BULUNAN DEĞERLER | |
|----------|--------------------------------|-------------------|------------------------|---|--------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--|---|--|
| | L_0 (μH) | R (Ω) | sarım sayısı (Sarm) | boyu ℓ ($\ell \pm 0,10$) (cm) | Çapı 2r (mm) | iç çapı 2R _i (mm) | dış çapı 2R _d (mm) | etkin yarıçapı $R_{et} = \frac{R_i + R_d}{2}$ (mm) | $L_0 = \mu_0 \frac{N^2 A}{\ell_b}$ $= 4k \frac{(N\pi R_{et})^2}{\ell_b}$ (μH) A:Bobinin kesit alanı | $R = \rho \frac{\ell_{tel}}{S_{tel}}$ $= \rho \frac{2NR_{et}}{r_{tel}^2}$ (Ω) |
| 1 | 25.70 | 0.13 | 98 | 12.06 | 1.10 | 19.28 | 20.48 | 9.64 | 29.21 | 0.12 |
| 2 | 43.60 | 0.29 | 128 | 11.96 | 0.82 | 18.94 | 19.80 | 9.47 | 48.50 | 0.24 |
| 3 | 64.30 | 0.44 | 155 | 12.01 | 0.70 | 18.86 | 19.70 | 9.43 | 70.19 | 0.38 |
| 4 | 82,50 | 0.66 | 179 | 12.00 | 0.60 | 18.42 | 19.10 | 9.21 | 89.37 | 0.61 |
| 5 | 100.20 | 0.86 | 190 | 12.01 | 0.55 | 18.65 | 19.26 | 9.32 | 103.05 | 0.79 |
| 6 | 117.60 | 1.16 | 210 | 12.01 | 0.50 | 18.45 | 18.95 | 9.22 | 123.22 | 1.03 |
| 7 | 141.90 | 1.46 | 229 | 12.01 | 0.40 | 18.22 | 18.64 | 9.11 | 142.90 | 1.37 |

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Düzce ilinin Gümüşova ilçesinde doğdu. İlköğrenimini ve orta öğrenimini Düzce’de bitirdi (1983-1990). Lise öğrenimini Düzce Lisesinde tamamladı (1990-1993). 1993’de kayıt olduğu İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü’nü 1999 yılında bitirdi. 1999’dan buyana özel bir okulda Fizik Öğretmeni olarak görev yapmaktadır.

Evli ve iki çocuk babasıdır.