

**ÇİFT DİYODLU SİMETRİK OLMAYAN BİR GUNN
OSİLATÖRÜNÜN ÇALIŞMA KARAKTERİSTİKLERİNİN
TEORİK VE DENEYSEL İNCELENMESİ**

" DOKTORA TEZİ "

Yük.Müh. Cevdet IŞIK

Tezin Fen Bilimleri Ens.Verildiği Tarih: 20.7.1984

Tezin Savunulduğu Tarih : 5.12.1984

Doktorayı Yöneten Öğretim Üyesi: Prof.Dr.Bingül YAZGAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr.Mithat İDEMEN

Doç.Dr.Osman PALAMUTÇUOĞULLARI

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
ELEKTRİK - ELEKTRONİK FAKÜLTESİ
OFSET BASKI ATÖLYESİ**

1985

**T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi**

2161

Tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen hocam ve yöneticim Sayın Prof.Dr. Bingöl YAZGAN 'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	V
SUMMARY	VII
1. GİRİŞ	1
1.1 Çok diyodlu osilatörlerin analizinde karşılaşılan temel problemler	1
1.2 Konuya ilişkin çalışmalar	3
1.3 Tezin kapsamı	7
2. OSİLATÖRE AİT DÜZEN PARAMETRELERİNİN ÖLÇÜLMESİ	10
2.1 Ölçülen düzen ve ölçme yöntemi	11
2.2 Ölçme yönteminde bağıntılar	12
2.3 Hata indirgemesi	15
2.4 Ölçme yönteminin sınanması	18
2.5 Besleme filtreli diyod tutucu düzen parametreleri ve ölçülmesi	20
3. GUNN - DİYOD ADMİTANSININ ÖLÇÜLMESİ	30
3.1 Diyod admitansının tanımı	30
3.2 Gunn - diyod admitansını ölçme yöntemleri	32
3.3 Ölçme yönteminin uygulanması	34
3.4 Gunn - diyod admitansı eğrileri	37
4. İKİ DİYODLU GUNN OSİLATÖRÜNÜN DENEYSEL İNCELENMESİ	44
4.1 İki diyodlu Gunn osilatörü	44
4.2 Osilatörde frekans ve güç - ölçme deneyi	45
4.3 Osilatör - yük empedansı	46

5. İKİ DİYODLU GUNN OSİLATÖRÜNÜN ANALİZİ	51
5.1 Osilatörün devre modeli	51
5.2 Osilatörde osilasyon modları	54
5.3 Osilasyon modlarının bulunması	58
5.4 Osilatörün frekans ve güç eğrileri	62
5.5 Analiz sonuçlarının ölçülen değerlerle karşılaştırılması	63
6. SONUÇLAR	78
KAYNAKLAR	82
EKLER	86
EK - 1	86
EK - 2	88
EK - 3	93
EK - 4	97
EK - 5	102
ÖZGEÇMİŞ	105

ÖZET

Çok diyodlu osilatör devrelerinin analizine ilişkin yayınlanmış çalışmalarda diyodlar basitleştirilmiş devre modelleri ile belirlenmektedir. Ayrıca osilatörün pasif düzeni de çoğu kez diyodlara yüke göre simetrik konumda kılacak bir yapıda olmaktadır. Bu tezde ise diyodları yüke göre simetrik olmayan bir konumda bulunan iki diyodlu Gunn osilatörünün analizi yapılmıştır. Bu analizde diyodlar deneysel olarak belirlenen yarı - lineer elemanlar ile modellenmiştir. Osilatörün deneysel olarak belirlenmiş devre modelinin analizinden ayarlı kısa devre konumlarına göre osilasyon frekansı ve çıkış gücünün değişimleri elde edilmektedir.

Osilatörün pasif düzenine ilişkin parametre değerleri çalışmada geliştirilen bir ölçme yöntemi ile ölçülerek belirlenmektedir. Bu yöntemde transmisyon borusunun bir kesitinde bulunan süreksizliğe karşı düşen T - devre modeli elemanları ölçülmektedir. Süreksizliğin kayıpları bu devre modelinde seri kollarındaki elemanlarda değerlendirilmektedir. Geliştirilen ölçme yönteminde ayarlı kısa devre ile süreksizlik kesitinde seri ve paralel rezonans koşullarının oluşturulması deney sırasında gözlemlenebilir. Bunun için bir ucu ayarlı kısa devre ile sonlandırılmış transmisyon borusunda, diğer uçtaki yansıma katsayısının ayarlı piston konumlarına göre değişimlerinin bir devre analizöründe gözlemlenmesi yeterli olmaktadır.

Osilatörün pasif düzeni içinde en önemli yeri tutan besleme filtreli düzenin parametreleri yukarıda belirtilen yöntemle ölçülmektedir. Bu durumda diyod tutucu düzen bilinen farklı iki reaktansla sonlandırılarak, T - devre modeli parametreleri bulunmaktadır. Ölçülen bu parametreler ve

bilinen sonlandırma reaktanslarından hareketle diyod tutucu düzenin üç kapılı devre modeline ilişkin parametre değerleri hesaplanmaktadır.

Tezde ölçülen yansıma katsayıları, rastlantısal hatalar, ölçü düzeni ve yöntem hataları bakımından ayrıca ele alınarak tekrar değerlendirilmektedir.

Besleme filtrelili diyod tutucu düzen parametreleri ölçüldükten sonra diyodlar tek sinisoidal girişli açıklayıcı fonksiyonlarla tanımlanmış yarı lineer elemanlarla modellenmektedir. Bu modelin belirlenmesinde kullanılacak diyodlarla tek diyodlu osilatör devreleri gerçekleştirilerek bu devrelerde osilasyon frekansı ve çıkış gücü ölçülmektedir. Ayrıca osilatörün parametre değerleri belirli devre modelinden, diyod uçlarına gelen toplam pasif düzen admitansı hesaplanmaktadır. Bu durumda diyod admitansı, diyod uçlarına indirgenmiş pasif düzen admitansının zıt işaretli değerine eşit olmaktadır.

Çalışmada teorik analizden önce iki diyodlu osilatörün, ayarlı kısa devre konumlarına göre, osilasyon frekansı ve çıkış gücü değerleri ölçülmektedir. Analiz, osilatörün iki diyodlu devre modelinden tek diyodlu devre modeline indirgenerek yapılmaktadır. Bu durumda devredeki parametre değerleri ölçme ile elde edilen eğrilerle belirlendiğinden, osilasyon frekansı ve çıkış gücünün devre modelinden hesaplanmasında grafik yöntemler kullanılmaktadır.

Tezde verilen analiz ile iki diyodlu Gunn osilatöründe güç ve frekans karakteristiklerinin, osilatörün modellenmesindeki ve model parametrelerinin değerlendirilmesindeki doğruluğa bağlı olarak, iyi bir yaklaşıklıkla çıkarılabileceği gösterilmiş bulunmaktadır. Frekans ve güç eğrilerinin hesaplanabilmesi, bu karakteristiklere ilişkin frekans bandı, mod atlama ve osilasyon gücünün yüke en az kayıpla aktarılması sorunlarına, iki diyodlu osilatörlerde teorik olarak çözüm aranmasına olanak vermektedir.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS
OF AN ASYMMETRICALLY LOADED TWO-DIODE
GUNN OSCILLATOR

SUMMARY

In all the published papers about the analysis of the multiple-diode oscillator circuits, the diodes have been represented by the simplified circuit models. Furthermore the passive circuit of the oscillator has been assumed to possess certain symmetrical structure. In this thesis, the analysis of the two-diode Gunn oscillator in that the diodes were mounted in the axial direction of the rectangular cavity is accomplished with the utilization of the quasi-linear approximators for the Gunn diodes. Using this analysis, the frequency and power characteristics of the oscillator are found as a function of the sliding short-circuit location.

In the analysis, the quasi-linear approximators for the diodes are defined by the single-sinusoid input describing function which is found from an experimental measurement at the X-band. The other aspect of the analysis that might be leading to some difficulties is the presence of the loading effect of the diodes between each other. Since various parameter values of the oscillator are given by the curves that determined from the measurements, the equations related to the oscillation conditions and the stability of the solutions are studied by the graphical procedures. For this purpose, as a first task, the two-diode oscillator circuit has to be resembled to the that of the single-diode oscillator. In this situation, the application of the graphical procedures has been driven in the literature for some oscillators in which the diode admittance had been limited by only the oscillation voltage across the diode. In this study the diode admittance are defined by some curves related to the oscillation frequency and voltage amplitude across the diode.

The various parameter values of the passive circuit are determined

with a measurement technique which is developed during the course of this study. In this technique the parameters of the T network belonging to a discontinuity in the waveguide could have been measured. In the circuit model, the losses of the discontinuity are represented in the series arms of the T network. To obtain its elements values, the driving-point impedance of the waveguide whose other end has been closed with a sliding short-circuit is measured using common measurement method, achieving the series and parallel resonance conditions at the discontinuity plane. In the measurement technique developed here, the resonance conditions were achieved with a sliding short-circuit. Short circuit positions were located during experiment. The variations of the reflection coefficient for the sliding short locations were observed using a network analyzer.

The waveguide post diode mounting structure with a bias filter at the upper end of the post has occupied an important part of the oscillator passive circuit. The effect of the bias filter on the post parameters have been caused difficulties for the theoretical analysis. In this case, the parameters of the T network belonging to the post structure are measured while the post have been terminated with two different reactances. From the measured values and the terminating reactances the parameters of the three-port circuit model related to the waveguide post are computed. For the effect of the bias filter on the parameters, it was observed that the bias filter had provided an inductive element in series and shunt arm of the T network.

The discontinuities at the experimental setup in which the reflection coefficient have been measured cause some errors in the measured values. To reduce these errors, an error model of the measurement setup has been defined. The parameter values of the model have been found by

the measurements that had been made with using some calibrated loads. The errors, that have caused by the measurement method, at the measured values are estimated to determine the case in which the measurement method errors were large. In this large error case, the mean values possess less error. To reduce the random errors in the measured values, a large number of the measurements are made at the same experimental set-up and then the mean values are selected among these values.

The total error of the measurement technique developed in this thesis after all the error eliminating procedures is discussed on the post structure whose parameter values have been calculated theoretically. Hence, it is seen that the experimental values were obtained agree to within about 10 percent with the theoretical values.

In the thesis the active devices of the oscillator are modelled by the quasi-linear elements defined with using the single-sinusoid input describing functions. In the measurement technique to estimate these quasi-linear elements, the oscillation frequency and output power are measured as the diode was oscillated in the cavity. Then the passive circuit impedance in the diode plane of the cavity is calculated with reducing the total passive circuit of the oscillator to the diode terminals. The oscillation voltage across the diode is found from the oscillation output power and the passive circuit model of the oscillator. The diode admittance that defines the quasi-linear element equals to the reduced passive circuit admittance with reverse sign.

Because of the diode admittance has determined the response of the diode to the single-sinusoid input, there is an oscillation with single frequency in the oscillator. To clarify this, the X-band are swept by using a frequency meter that existed in the measurement setup to meas-

ure the oscillation frequency.

The diode admittance measured in the first step belongs to the packaged diode. But, in the place of the admittance at the analysis, it is more available that the usage of the expanded diode admittance, that is to occupy the waveguide post parameters in addition to the packaged diode admittance.

In the thesis, some experimental results of the two-diode Gunn oscillator are also discussed. For the experiment an oscillator is built with measured diodes and waveguide posts. In the experiment the variations of the oscillation frequency and output power with the short-circuit locations are measured. The load impedance of the two-diode oscillator belonging to the different oscillation modes is determined in another measurement.

The purpose of the analysis of the two-diode Gunn oscillator is to find the curves of the oscillation frequency and output power with the short-circuit locations. Thus, in the first task, the analytical relations due to the oscillation modes are found. Then, with the aid of these relations, the single-diode oscillation circuit model was derived in the form that was more suitable to find the solutions by graphical procedures. After then, the solutions of these relations are investigated by the curves that have been provided by the experimental values.

Since the Gunn-diode admittance in the equivalent single-diode oscillation circuit model depends the frequency and voltage amplitude, the element admittance is defined with a surface in the complex plane. Thus it is rather difficult to deduce the solutions from the intersections in the admittance plane of the curves belonging to the passive circuit and negative resistive element. In this case, to find out

the solutions from the intersection points, the relation of the oscillation condition is separated into the its real and imaginary components and then the curves with single parameter are plotted in a plane. From here, the solutions are investigated by the intersection points of these curves. The solution is determined by the intersection points that have the equal values of the same parameters. The parameters of the same frequency intersection points have the values of the voltage amplitude. In the solution points, these amplitude values that were belonged to the each component of the complex oscillation condition for the same frequency have equal values. Therefore the parameter values of the solution point are the oscillation frequency and oscillation voltage amplitude of the two-diode oscillator.

When the curves of the oscillation frequency and output power due to the experimental and theoretical results are compared, the following conclusions are found :

- i) The errors of the curve of the oscillation frequencies related to the short-circuit locations are about -1 percent.

- ii) The errors of the curve of the oscillation output power related to the short-circuit locations are about -10 percent. In addition, an error about 1mm due to the short-circuit locations are found at the same time.

As another conclusion of this analysis, it shown that certain aspects of the two-diode oscillator have been predicted with some errors limited by the accuracy of the oscillator circuit model and its parameter values determined by the experiments.

In this way, it is possible to draw some general conclusions about the influence of the linear part on the behavior of the total circuit.

Then, synthesis of a linear network giving the total circuit optimal properties in the sense of power combining and frequency band should be achieved for the asymmetrical oscillator passive circuit.



BÖLÜM 1

G İ R İ Ş

1.1 ÇOK DİYODLU OSİLATÖRLERİN ANALİZİNDE KARŞILAŞILAN TEMEL

PROBLEMLER

Günümüzde milimetrik dalgalı radar ve haberleşme sistemlerinin artan uygulamaları yüksek güçlü katı-hal vericilerine olan gereksinimi ortaya çıkarmıştır. Katı-hal elemanlı sistemlerin hacim, ağırlık ve güç kaynağı bakımından tüplü sistemlere göre çok daha iyi çözümler getirmesi, katı-hal elemanların düşük güçlü ve az verimli olmalarına rağmen, milimetrik dalgalı vericilerdeki önemini arttırmaktadır. IMPATT ve Gunn diyodları ile uygulamaların gerektirdiği güç seviyelerine ulaşabilmek için geliştirilen teknikler içerisinde rezonanslı güç toplayıcı düzenler (60-220) GHz bandında oldukça iyi sonuçlar vermiş bulunmaktadır. Ancak bu şekilde gerçekleştirilen çok diyodlu osilatörlerde band genişliği çok az ve ayrıca elektronik veya mekanik akort zor olmaktadır. Diyod sayısının artması da bu düzenlerde osilasyon frekansının kararlılığını etkilemektedir [1]. Bu şekilde gerçekleştirilen osilatör devrelerine ilişkin yayınlanmış çalışmalarda, diyodların ürettiği gücün en az kayıpla yük aktarılması ve osilasyon frekansının kararlılığı çözülmeye çalışılan başlıca sorunlar olmaktadır. Bu durumda, osilatör devresinde aktif eleman olarak diyodun veya pasif düzen parametre değerlerinin, bu sorunlardaki rolleri çoğu kez deneysel olarak belirlenmeye çalışılmaktadır. Genel olarak bilinmesine rağmen [2], çok diyodlu bir osilatör devresinin analiz edilerek, osilasyon frekansı ve gücün devreden hesaplanması, devrenin ancak uygun olarak modellenmesini ve model parametre değerlerinin belirlenmesini gerektirdiğinden oldukça zorlaşmaktadır. Böyle bir analiz için diyodların yarı-lineer eleman modellerinin belirlenmesi zorunludur. Bu ne -

denle literatürde verilen tek diyodlu osilatör düzenlerinin analizi - zinde bile diyodlar için lineer eleman modelleri kullanılarak sonuca varılmaya çalışılmaktadır. Diyodların lineer olmayan davranışlarından kaynaklanan osilasyon frekansı ve gücündeki ani değişimlerin, bu analizlerle doğrudan incelenemeyeceği açıktır.

Diğer taraftan çok diyodlu osilatör devrelerinde diyodlarda üretilen gücün yüke en az kayıpla aktarılması sorunu, diyodların osilatörde birbirlerini yüklemedikleri kabul edilebilecek pasif düzenler için, bir lineer devre sorunu olarak incelenebilmektedir. Bu durumda diyodları yüke bağlayan pasif düzende diyodlar bir kaynak ile modellenerek pasif düzenin getirdiği araya girme kaybını minimum kılan pasif düzen parametre değerleri belirlenmektedir [3] , [4] . Devre simetrisinin herhangi bir şekilde bozulduğu veya simetrik pasif düzenin gerçekleşmesinin zorlaştığı durumlarda, bu analiz geçersiz kalacağından diyodların pasif düzen üzerinden birbirlerini yüklemelerinin de bir şekilde hesaba katılması gerekir. Bu durumda yüke maksimum güç aktarılabilmesi için diyodların maksimum güçte çalışmasını ve diyodlarda üretilen gücün en az kayıpla yüke aktarılmasını birbirinden bağımsız olarak çözmek olanaksızdır. Buna göre çözümü yapabilmek için diyodların yarı-lineer eleman modellerini kullanarak devrenin analiz edilmesi gerekmektedir.

Bu nedenler ile diyodların yüke göre simetrik olmayan rezananslı bir pasif düzen ile gerçekleştirilmiş çok diyodlu bir osilatör devresinin, diyodların yarı-lineer eleman modellerini kullanarak analiz edilebilmesi oldukça önemlidir. Tezde, bu analizin yüke göre simetrik olmayan iki

diyodlu bir Gunn osilatörü için yapılması amaçlanmıştır. Bu durumda iki diyodlu Gunn osilatöründe deney ile belirlenen frekans ve güç eğrileri, osilatörün devre modelinden hareketle teorik olarak elde edilmektedir.

1.2 KONYA İLİŞKİN ÇALIŞMALAR

Yüke aktarılan gücün arttırılması amacı ile birden fazla osilatörün bir rezonatör üzerinden simetrik olarak yüke bağlanması fikri oldukça eskidir. 1939'da Zottu tarafından gerçekleştirilen bir osilatörde birden fazla triyod osilatörü yüke bir koaksiyal rezonatör üzerinden bağlanmıştır. Bundan çok sonra 1968'de benzer düzen transistörlü osilatör ile gerçekleştirilmiştir. 1971'de K. Kurokawa tarafından benzeri düzen IMPATT veya Gunn diyodları ile gerçekleştirilmek istendiğinde osilatörün esas osilasyon modu yanında, N diyod sayısı olmak üzere, en az (N-1) tane istenmeyen osilasyon modunda olduğu görülmüştür [5]. Bu çalışmada istenmeyen osilasyon modlarının bastırıldığı 12 IMPATT diyodlu bir osilatör devresi verilmektedir. Bu durumda diyodlar, koaksiyal hatlar üzerinden dikdörtgen kesitli bir transmisyon borusunun yan yüzeylerinde yarım dalga boyu aralıklarla simetrik olarak sıralanmaktadır.

Böyle bir devrenin analizi de Kurokawa tarafından verilmiştir [2]. Çok diyodlu osilatörlerin analizinde önemli bir yer tutan bu çalışmada, osilatörün istenilen bir modda osilasyona gelmesi için gerekli koşullar bulunmakta, ayrıca istenilen modda osilasyonun kararlılığı, gürültüsü, faz kilitlemeli çalışabilirliği ve yüke aktarılan güç bakımından verimliliği incelenmektedir. Analizde diyodların birbirine özdeş olduğu ve diyod admitansının sadece osilasyon genliğine bağlı olduğu kabul edilmektedir. Osilatörün matrisel formda yazılan osilasyon koşulu, pasif düzenin öz-de-

gerileri ve öz-vektörleri cinsinden daha basit bağıntılara dönüştürülmektedir. Bu bağıntılardan osilasyon gerilimleri bir öz-vektörden bir çarpan farkı ile elde edilmektedir. Ayrıca buradan rezonatör uçlarına indirgenmiş diyod admitansları toplamının, rezonatörün bir frekanstaki admitansının ters işaretli değerine eşit olduğu diğer bir bağıntıya varılmaktadır. Osilatörün osilasyon modları, bu bağıntılardan bütün diyodların eşit osilasyon genliği verdiği kabul edilerek çözülmektedir. Devrede yapılan kararlılık, gürültü ve faz kilitlemeli çalışabilirlik incelemeleri, daha önce 1969'da verdiği tek diyodlu osilatörlere ilişkin çalışmasındaki [6] incelemelerinin bir genelleştirmesi olmaktadır.

K. Fukui ve S. Nogi tarafından 1980'de yapılan bir çalışmada [7], endüktans ile birbirlerine ve yüke kuple edilmiş van der Pol osilatörlerinde bir yüke güç aktarma verimleri ve tüm sistemde osilasyon modlarının kararlılıkları incelenmiştir. Analizde lineer olmayan iki uçlu elemanın akım gerilim karakteristiği bir üçüncü dereceden tek fonksiyon ile tanımlanmaktadır. Devrenin analizi, zaman domeninde yazılan devre denklemleri ile yapılmaktadır. Bu çalışmada daha önce 1976'da Endo T., ve Mari S., tarafından aynı osilatörün endüktif veya kapasitif kuplaj halinde yapılan analizin [8], osilatör sistemine yük eklenerek yapılan bir genelleştirmesi olmaktadır.

1979'da Talwar A.K. tarafından yapılan deneysel çalışmada dikdörtgen kesitli boru ile iki diyodlu olarak gerçekleştirilen osilatör devresinde, diyodlar arası uzaklığın osilasyon frekansı ve gücüne etkisi araştırılmıştır. Bu devrede diyodlar bir disk üzerinden devreye bağlanmaktadır [9].

Aynı yılda Sun C.ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen diğer bir deneysel çalışmada,iki diyodun aynı bir tutucu düzen ile dikdörtgen kesitli boruya bağlanması ile ve ayarlı bir kısa devre kullanılarak mekanik akortlu olarak gerçekleştirilen osilatör devresinin akort band genişliği bakımından iyi sonuç verdiği belirtilmektedir [10] .

1980'de Chang K.ve Ebert R.L. tarafından yapılan çalışmada,aynı bir kesitte farklı tutucularla iki diyodun dikdörtgen kesitli boruya bağlanması ile gerçekleştirilen 2 ve 4 diyodlu osilatörde,gücün en az kayıpla yüke aktarılması için gerekli diyod tutucu düzen parametre değerleri hesaplanmaktadır [11] .Diyod tutucu düzen bu çalışmada 10 tane parametre ile modellenmektedir.IMPATT diyodları,küçük işaret modeli ile teorik olarak,diyod kılıfı da deneysel sonuçlardan modellenerek belirlenmektedir.Gücün en az kayıp ile yüke aktarılabilmesi için gerekli pasif düzen parametre değerleri,diyodların birbirine olan yük etkileri ihmal edilerek bulunmaktadır.Maksimum verimin parametre değerlerine kritik olarak bağlı olması,mechanik akort elemanları ile devrede ince ayar yapılmasını gerektirmektedir.

Aynı yıl Dydyk M. tarafından yapılmış benzer bir çalışmada,silindirik rezonatör içine yerleştirilmiş diyodlardan gücün en az kayıp ile aktarılabilmesi için gerekli pasif düzen parametre değerleri belirlenmektedir [3] .Burada diyodlar güç kaynağı olarak modellendikten sonra,yükle diyodlar arasındaki pasif düzen için araya girme kaybını minimum kılan parametre değerleri araştırılmaktadır.Tek diyodlu düzen için ayrıntılı olarak verilen bu analiz,çok diyodlu osilatörde,pasif düzenin simetrisinden dolayı,diyodların birbirlerini yüklemedikleri kabul edi-

lerek uygulanmaktadır.Burada ayrıca osilatörün simetrik yapısı için diyodların birbirine özdeş olarak maksimum güç durumunda bulunmaları da gerekmektedir.

1982'de Peterson D.F. tarafından yapılan bir çalışmada [12] ,çok diyodlu osilatör düzenlerinde yüke aktarılan gücün,osilasyon modlarının fundamental ve harmonik frekanslarındaki osilasyon güçlerinden devrenin lineer olmayan yapısı içinde frekans çevirme işlemi ile oluşturulması amaçlanmaktadır.Bunun için osilatörün analizinde diyodlara göre simetrik yapıda bir pasif düzen ve diyodların çok katlı sinüsoidal girişli açıklayıcı fonksiyonlar ile tanımlanmış yarı-lineer eleman modelleri kullanılmaktadır.Devrede osilasyon koşulu,Kurokawa'nın verdiği [2] gibi,öz-vektör ve öz-değerler cinsinden yazılan formu kullanılarak gözölmektedir.Burada gözömler osilasyon gücünün toplanarak devreden yüke aktarılabilcek harmonikleri,özdeş diyodlarda özdeş dalga şekilli osilasyon gerilim işaretleri için belirlemektedir.

Yine aynı yılda Kinman D.M.ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada [4] ,aktif elemanların yüke göre simetrik olduğu çok diyodlu bir osilatörde,osilasyon gücünün en az kayıp ile yüke aktarılması sorunu S-parametreleri ile genel olarak incelenmektedir.Yapılan analizde osilatördeki bütün diyodların birbirine özdeş olduğu,diyodların uçlarındaki osilasyon gerilimlerinin eşit olduğu ve diyodların birbirlerine yük etkisi getirmediikleri kabul edilmektedir.Analizde görölen S-parametreleri verilen bir ölçme yöntemi ile osilatör devresinden belirlenmektedir.Ayrıca bir kısım diyodların bozularak pasif duruma geçirilmektedir.

melerinin yüke aktarılan gc üzerindeki etkisi de incelenmektedir.Bu durumda bozulan diyodların aynı bir pasif elemana eşit olduğu kabul edilmektedir.

1982'de Potoczniak J.J. ve arkadaşları tarafından verilen deneysel çalışmada [13], dielektrik rezonatörlü iki ayrı Gunn osilatörü aynı bir dielektrik rezonatöre ısıma ile kuple edilmektedir.Osilatördeki üç dielektrik rezonatörün birbirlerine göre konumları ayarlanarak,yüke aktarılan gc maksimum kılınılmaktadır.Ayrıca devrede bulunan ayarlı bir piston ile de devrede ince ayar yapılmaktadır.Çalışmada devre üzerinde yapılan ölçmeler ile yüke aktarılan gc ve osilasyon frekanslarının besleme gerilimine göre değişimleri,aktif olarak önce tek diyod sonra da iki diyod birlikte çalışıyor iken,bulunmaktadır.Buna göre iki diyodlu çalışmada yüke aktarılan gc tek diyodlu osilatörün verdiği gücün 4 katı olmaktadır.Ayrıca osilatördeki osilasyon işaretinin yüke aktarılmasına ilişkin her bir osilatörün elektromagnetik ısıma diyagramları ile yapılan bir açıklama da bulunmaktadır.

Chang K.ve Sun C.tarafından 1983 yılında yapılan bir derlemede [1], çıkış gücünü arttırmak için çok sayıda yarı-iletken eleman bulunduran osilatör ve kuvvetlendiricilerde kullanılmış teknikler özetlenmektedir. Literatürde verilen çok diyodlu osilatörler ile ilgili deneysel çalışmalar yüke gc aktarmada kullandıkları tekniğe göre sınıflandırılarak belirtilmiştir.

1.3 TEZİN KAPSAMI

Bu çalışmada dikdörtgen kesitli bir rezonatör içine,diyodları yüke göre simetrik olmayan bir düzende yerleştirmek sureti ile gerçeklenmiş

iki diyodlu bir Gunn osilatörünün analizi yapılmaktadır. Bu durumda , diyodlar bir sinüsoidal girişli açıklayıcı fonksiyon ile belirlenen yarı-lineer eleman modelleri ile, rezonatör ve diğer boru parçaları transmisyon hatları ile, diyod tutucu düzenler ve osilatör yük-admittansı da toplu parametrelili devre elemanları ile modellenmiştir. Analizde diyodların birbirlerini yüklemeleri de hesaba katılarak iki diyodlu osilatörün osilasyon frekansları ve gücünün, devrenin mekanik akort elemanı olan ayarlı piston konumlarına göre değişimleri hesaplanmaktadır. Bu tezde analiz, iki diyodlu osilatörün devre modelinin bir diyod uçlarına indirgenerek özdeş tek diyodlu osilatör düzenin bulunması ile yapılmaktadır. Bağlıntıların çözümü ve kararlılık analizi için gereken türevler grafik yöntemler ile bulunmaktadır. Ayrıca analizde elde edilen frekans ve güç eğrileri deneysel eğriler ile karşılaştırılarak izlenen yöntemin bir değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Belirtilen analizin yapılabilmesi için, önce iki diyodlu osilatör devresinde pasif ve aktif düzenlerin modellenerek belirlenmesi gerektiği açıktır. Bu nedenle Bölüm 2'de, iki diyodlu osilatör devresinde kullanılan pasif düzende en önemli yeri tutan diyod tutucu düzenlerin modellenmesi yapılmaktadır. Bu bölümde, diyod tutucu düzen ile birlikte bulunan besleme filtresi literatürde verilen teorik çözümlerin kullanılmasını engellediğinden, diyod tutucu düzen parametreleri deneysel olarak belirlenmektedir. Ayrıca Bölüm 2'de bu ölçmeler için bir ölçme yöntemi de geliştirilmiş bulunmaktadır.

Bölüm 3'te osilatörde kullanılan diyodların bir sinüsoidal girişli açıklayıcı fonksiyon ile tanımlanmış diyod admitansları ölçülmek -

tedir. Bunun için parametreleri ölçülmüş besleme filtrelili diyod tutucu düzen ile tek diyodlu osilatör devresi gerçekleştirilerek bu devrede çeşitli yük admitanslarında osilasyon frekansı ve gücü ölçülmüştür. Buradan elde edilen değerler ile kılıflı diyod admitansı eğrileri ve iki diyodlu osilatör devresinin analizine daha uygun olması nedeni ile, diyod tutucu düzen parametrelerini de içine alan diyod admitansı eğrileri çizilmektedir.

Bölüm 2 ve Bölüm 3'te ölçülen pasif ve aktif düzenler ile gerçekleştirilen iki diyodlu bir Gunn osilatöründe ayarlı kısa devre konumlarına göre osilasyon frekansı ve gücünün ölçülmesi deneyi Bölüm 4'te verilmektedir. Bu bölümde, ayrıca osilatörün yükünün her bir osilasyon frekansındaki değerinin belirlendiği bir empedans ölçme deneyi de bulunmaktadır.

Yük admitansları Bölüm 4'te, diyod admitansları Bölüm 3'te ve diyod tutucu düzen parametreleri Bölüm 2'de belirlenen iki diyodlu osilatör devresinin analizi de Bölüm 5'te yapılmaktadır. Osilatörün Bölüm 4'te verilen deneysel güç ve frekans eğrileri, bu analiz ile frekanslarda -1 %, güç seviyelerinde ise ortalama -10 % hatalı olarak elde edilebilmiştir. Bu eğriler değişim bakımından da deneysel eğrilerle büyük benzerlik göstermektedir.

BÖLÜM 2

OSİLATÖRE AİT PASİF DÜZEN PARAMETRELERİNİN ÖLÇÜLMESİ

X-bandı veya daha yüksek frekans bandlarındaki diyodlu osilatörlerde osilatörün pasif düzeninde, çoğunlukla dikdörtgen kesitli bir transmisyon borusu ile diyodun hem beslenmesini ve hemde boruya bağlantısını sağlayan bir silindirik gubuk bulunur. Ayrıca transmisyon borusu, bir uçtan kısa devre pistonu ve diğer uçtan da yük ile kapatılmıştır. Diyodu besleyen devrenin osilatörün pasif düzenini etkilememesi için, diyod tutucu düzen bir alçak geçiren filtre üzerinden kaynağa bağlanır. Bir osilatörün çoğunlukla bu kısımlardan oluşan pasif düzeninin devre modelinin belirlenmesinde en önemli sorun, diyod tutucu düzeninin modelinin belirlenmesinde çıkmaktadır. Diyod tutucu düzen dışındaki osilatörün pasif düzen kısımları, sonu kısa devre veya bir yük ile sonlu hat parçalarıyla kolaylıkla modellenenebilirken, diyod tutucu düzenin modellerinin belirlenmesi zorlaşmaktadır. Literatürde verilen diyod tutucu düzenin devre modellerinin kullanılması, besleme filtresinin diyod tutucu düzenle birlikte bulunması, uygulamada bir hata getirmektedir. Bu nedenle diyod tutucu düzenin devre modeli bu çalışmada ölçme yolu ile belirlenecektir.

Kullanılacak ölçme yöntemi, ölçülen ilk büyüklükler bakımından, önce eldeki ölçme sorununa ve deney olanaklarına uydurulmuştur. Bu uyarlama çalışması sonucunda bulunan ölçme yöntemi, önce, teorik çözümü bilinen bir diyod tutucu düzen üzerinde eldeki ölçme düzeniyle nasıl bir doğrulukla sonuç verdiği belirlenmek üzere uygulanmıştır. Bölümün diğer kısmında bu uygulamayla bağıntıları, ölçülen ilk büyüklükleri ve hata sınırları belirtilen bu ölçme yöntemi eldeki esas ölçme sorununa uygu-

lanmıştır.Bu şekilde elde edilen besleme filtreli diyod tutucu düzen parametre değerleri bölüm sonunda verilmektedir.

2.1 ÖLÇÜLEN DÜZEN VE ÖLÇME YÖNTEMİ

Teorik çözümü bilindiği için ölçme yönteminin testinde kullanılmış olan diyod tutucu düzen Şek.2.1 a'da gösterilmiştir.Bu düzenin Marcuvitz tarafından verilen iki kapılı bir devre modeli [14] ve ölçme yönteminin tanıtılmasında kullanılan eleman notasyonları Şek.2.1 b'de verilmiştir.Bu şekilde $l_1 = 30.43$ mm, $l_2 = 29.30$ mm ve silindirik gubüğün çapı 3.1 mm,boyu 8.0 mm ve kenar yüzeylerden uzaklığı $S=11.43$ mm'dir. Buradaki Z_0 ve β ,kenarları 10.16 mm ve 22.86 mm olan devredeki dik-dörtgen kesitli transmisyon borusunun dominant moddaki karakteristik dalga empedansı ve propagasyon faz sabitidir.Devre modelinde diyod tutucu düzene karşı düşen T - modeli eşdeğer devrede görülen Z_c ve Z_p empedanslarının ölçülmesi,bu kısımda tanıtılacak ölçme yönteminin esas amacıdır.

Z_c ve Z_p parametrelerinin ölçülmesinde,sonuca,pasif düzenin bir kapısı ayarlı bir kısa devreyle sonlandırılmışken düzenin diğer kapısından ölçülen yansıma katsayılarından ulaşılmaktadır (Şek.2.1).Genel hatları ile bu şekilde Marcuvitz tarafından [14] 'de belirtilen bu yöntemde sonuca gidebilmek için,süreksizlik kesitinde seri ve paralel rezonans koşullarını sağlayacak piston konumlarının önceden her bir frekans için hesaplanması gerekmektedir.Ancak gerekli piston konumlarının belirlenmesinde yapılacak 0.01 mm mertebesindeki hataların bile parametre değerlerinde oldukça etkili olması [14] ,yöntemin bu şekilde uygulanmasını güçleştirir.

Yöntemin bu çalışma için elde edilen uygulama şeklinde de ayarlı kısa devre pistonuyla,ölçülen düzenin süreksizlik kesitinde yine seri

ve paralel rezonans koşulları oluşturulmaktadır. Ancak bunun için önceden herhangi bir piston konumunun belirlenmesi gerekmez, gerekli piston konumu deney sırasında gözlemle aşağıda belirtildiği gibi yapılabilmektedir. Şek. 2.1 c 'deki ölçme düzeninde ρ'_g yansıma katsayısının l_p piston konumuna göre değişiminin dairesel bir kapalı eğri olduğu gözlemlenebilmektedir. Bu değişimde, Q_{II} noktasında ρ'_g 'nin l_p 'ye bağımlılığı minimum, Q_I noktasında ise maksimum olmaktadır. Burada verilecek yöntem için Q_I ve Q_{II} noktalarındaki ρ'_{gI} ve ρ'_{gII} yansıma katsayılarının (Şek. 2.2a) ölçülmesi yeterlidir. Ancak Q_{II} noktasının deneyde fark edilmesi kolay olduğu halde Q_I için durum böyle değildir. Bu nedenle Q_I noktası yerine, Q_{II} 'den geçen çapın diğer ucu olan Q'_I noktası belirlenmiştir. Deneyden sonra Q_I noktası, ilerde belirtildiği gibi Q'_I ve Q_{II} noktalarından bulunabilmektedir. Buna göre her bir frekansda Z_c ve Z_p 'nin belirlenebilmesi için gereken toplam ölçme sayısı biri ρ'_{gI} , diğeri de ρ'_{gII} olmak üzere iki tanedir.

2.2 ÖLÇME YÖNTEMİNDE BAĞINTILAR

Bu kısımda Z_p ve Z_c 'nin ölçülen ilk büyüklükten hareketle çözümünü veren bağıntılar, diyod tutucu düzenin bulunduğu boru kesitine indirgenmiş normalize empedans ve admitanslar cinsinden verilmektedir. Şek. 2.1b'deki notasyonlarla, diyod tutucu düzenin bulunduğu kesite indirgenmiş normalize giriş empedansı için,

$$z_g = z_c + \frac{z_c + z_k}{y_p \cdot (z_c + z_k) + 1} \quad \text{-----}(2.1)$$

yazılabilir. Bu bağıntıdan Q_I ve Q_{II} noktalarına karşı düzen diyod tutu-

cu düzenin bulunduğu kesitteki normalize empedanslar cinsinden Şek.2. 2b'de gösterilen koşullar bulunabilir. Bunun için

$$u \triangleq y_p \cdot (z_c + z_k) + 1 \quad \text{-----} (2.2)$$

$$\operatorname{Re}\{z_k\} = 0 \quad \text{-----} (2.3a)$$

$$\operatorname{Re}\{y_p\} = 0 \quad \text{-----} (2.3b)$$

olmak üzere u 'nın z_k 'ye göre değişiminin gizilmesi yararlı olmaktadır (Şek.2.2b). Bu şekildeki B ve C noktalarındaki z_k parametresinin ve C noktasındaki u değerinin,

$$(z_k)_B = -jx_c \quad \text{-----} (2.4a)$$

$$(z_k)_C = -jx_c - z_p \quad \text{-----} (2.4b)$$

$$\alpha \triangleq r_c \cdot \operatorname{Im}\{y_p\} \quad \text{-----} (2.4c)$$

olduğu gösterilebilir. Buradaki r_c ve jx_c , z_c 'nin bileşenleri, y_p ise z_p 'nin tersidir. (2.3a) koşulu ayarlı kısa devrenin ve transmisyon bo - rusunun kayıpsız kabul edildiğini göstermektedir. (2.3b) koşulu da z_p için Marcuvitz'in verdiği gözümünden bulunmuştur. Bu (2.3b) koşulu, yöntemin uygulanmasında görülen Q_r noktasından Q_r noktasına geçişte basitlik sağlamaktadır. Şek 2.2b'de görüldüğü gibi $|z_k|$ parametresi, $|(z_k)_C|$ den çok büyük değerlere gittikçe $|u_1| \rightarrow \infty$ olmaktadır. Bu takdirde (2.1) bağıntısı C noktası ve $|u_1| \rightarrow \infty$ için tekrar yazılarak z_k 'e bağıllık yönünden incelenirse,

$$z_{gr} = z_c \cdot \left(1 + \frac{1}{j\alpha}\right) + (z_k)_C \cdot \left(\frac{1}{j\alpha}\right), \quad (\alpha \neq 0) \quad \text{-----} (2.5a)$$

$$z_{gr} = z_c + z_p \quad \text{-----} (2.5b)$$

elde edilmektedir. (2.5) bağıntılarına göre Q_r noktası Şek.2.2b ' de C

noktasına, Q_{II} noktası da u doğrusunun sonsuzdaki noktalarına karşı düşmektedir. Ayrıca Q_I ve Q_{II} noktalarındaki z_k değerlerinden, diyod tutucu düzenin bulunduğu kesitte, Q_I noktasındayken seri rezonans, Q_{II} 'de ise paralel rezonans koşullarının olduğu anlaşılmaktadır.

Yukarıda verilen bağıntılardan z_c ve z_p normalize empedansları çözülebilmektedir. Buna göre (2.3b) ve (2.5b)'den r_c , $(z_k)_c$ ve α değerlerinin (2.5) bağıntılarında kullanılmasıyla da yöntemde Q_I ve Q_{II} 'den Q_I 'e geçişi sağlayan önemli diğer bir bağıntı bulunur :

$$r_c = \operatorname{Re} \{ z_{gII} \} \quad (2.6)$$

$$\operatorname{Im} \{ (z_k)_c \} = - \operatorname{Im} \{ z_{gI} \} - \operatorname{Im} \{ z_{gII} \} \quad (2.7)$$

(2.7) bağıntısında görüldüğü gibi Q_I ve Q_{II} noktalarında, borunun diyod tutucu düzenin bulunduğu kesite indirgenmiş giriş empedanslarının sanal kısımları eşit olmaktadır. Ayrıca α ve $(z_k)_c$ 'nin değerlerini (2.5) bağıntılarında yazarak z_c ve z_p 'de çözülebilir:

$$z_p = \pm j \cdot \sqrt{\operatorname{Re} \{ z_{gII} \} \cdot [\operatorname{Re} \{ z_{gI} \} - \operatorname{Re} \{ z_{gII} \}]} \quad (2.8a)$$

$$j x_c = j \operatorname{Im} \{ z_{gII} \} - z_p \quad (2.8b)$$

Elde edilen bu (2.8) bağıntıları daha önce de belirtildiği gibi α 'nın sıfırdan farklı olması durumunda geçerlidir. $\alpha \rightarrow \infty$ için Q_I noktası da Q_{II} 'e gideceğinden ρ_g 'nin Şek.2.2a 'da gösterilen dairesel değişimi sabit bir noktaya döner. Bu durum (2.4c)'den görüldüğü gibi $z_p \rightarrow 0$ için meydana gelir ve devrenin çözümünü veren bağıntılar,

$$z_c = z_{gI} = z_{gII} \quad , \quad (\alpha \rightarrow \infty) \quad (2.8c)$$

şekline dönuşür. $r_0 \rightarrow 0$ için, (2.5a) bağıntısında $\alpha \rightarrow 0$ alınır, Q_I noktasında ölçülecek z_{g1} empedansının sonsuza gittiği görülmektedir. Bu durumda ölçülen düzen kayıpsız olduğundan σ'_g değişiminde dairenin çapı maksimum değerine ulaşır yani 2 olur. Q_I noktası z_c ve z_p parametre değerlerinden bağımsız olduğundan yöntem buradaki şekliyle artık uygulanamaz. $y_p \rightarrow 0$ için (2.2)'den $u \rightarrow 1$ olduğu yani Q_I ve Q_{II} noktalarının kaybolduğu görülür. Dolayısıyla yöntem yine uygulanamaz. Sonuç olarak buradaki verilen yöntemin uygulanabilmesi için $\alpha \neq 0$ olmalıdır.

(2.8a) bağıntısında z_p için iki çözüm bulunmaktadır. Bu iki çözümden uygun olanı z_p 'nin frekansla değişiminin bir seri rezonans karakteristiği göstermesinden [15] yararlanarak belirlenebilir. Buna göre ölçülen $|z_p|$ değerleri frekansla azalıyorsa (2.8a)'daki uygun çözüm, negatif işaretli aksi halde ise pozitif işaretli olur.

2.3 HATA İNDİRGEMESİ

Genel olarak bir ölçme yönteminin bir ölçü düzeninde uygulanmasıyla ölçülen ilk büyüklüklerdeki mevcut hatalar, rastlantısal hatalar ve sistematik hatalar olarak iki kısımda toplanabilir. Rastlantısal hatalar bir istatistik dağılım yasasına bağlı olarak oluşan hataları, yanlış okumalar ve dikkatsizlik eseri oluşan diğer hataları kapsamaktadır. Sistematiik hataları da ölçme yönteminin hatası ve ölçü düzeninin hataları oluşturmaktadır. Rastlantısal hatalar aynı bir büyüklüğü çok sayıda ölçerek ortalama alınmak suretiyle yok edilebildiği halde [16], ölçü düzeninin hataları ölçü düzeninin bir hata modelini deneyin yapıldığı koşullarda çıkarmakla ancak azaltılabilir. Ölçme yönteminin getirdiği hataların ölçü sonuçlarından ayıklanabilmesi de yönteme bağlıdır [17].

Şek.2.1c 'deki ölçü düzeninin bir hata modeli Şek.2.3 'de gösterilmiştir. Bu modelde referans düzlemi ölçülecek yükün bağlandığı kapıyı, ölçü düzlemi de ölçülen işaretin ölçü düzeninden alındığı kapıyı göstermektedir. Ayrıca (E_{12} E_{21}) ölçü düzeninde ölçü düzlemi ve referans düzlemi arasındaki yolda oluşan zayıflama ve faz farklılaşmasını, E_{11} ölçü düzeninde referans düzlemine gelmeden yolda olan yansımaları, E_{22} 'de ölçü düzlemine giden işaretin yolda olan yansımalarla tekrar referans düzlemine dönen kısmını belirlemektedir. Bu hata modeliyle ölçü düzeninde herhangi bir şekilde oluşan ve ölçülmek istenen işarette birlikte ölçü düzeni tarafından değerlendirilen işaretlerin oluşturduğu hatalar azaltılmış olur. Hata modelinin üç parametresi her bir frekansta gerçek değeri bilinen üç ayrı sonlandırma kullanarak belirlenebilir [17] . Bunun için burada uygun yük kısa devre plâkası ve kısa devre pistonuyla oluşturulmuş açık devre sonlandırılmaları kullanılmıştır. Kullanılan ayarlı kısa devrenin bir piston konumundaki giriş yansıma katsayısı teorik olarak belirlenmiştir. Hata modeli için yazılabilen (2.9) bağıntısından, ρ_{m1} uygun yükün ölçülen değerini, ρ_{y2} 'de ölçü düzeninde $\rho_{m2}=+1$ olarak ölçülen ayarlı kısa devrenin giriş yansıma katsayısını göstermek üzere, hata modeli parametreleri çözülebilir (2.10).

$$\rho_m = E_{11} + \frac{E_{12} E_{21}}{1 - \rho_y \cdot E_{22}} \cdot \rho_y \quad \text{-----} (2.9)$$

$$E_{11} = \rho_{m1} \quad \text{-----} (2.10a)$$

$$E_{22} = \frac{1 - \rho_{y2} - (1 + \rho_{y2}) \cdot \rho_{m1}}{2 \cdot \rho_{y2}} \quad \text{-----} (2.10b)$$

$$E_{12} \cdot E_{21} = (1 + E_{11})(1 + E_{22}) \quad \text{-----}(2.10c)$$

(2.10) bağıntılarından her bir frekans için belirlenen hata modeli parametreleri ve bir ρ_y yükünün ölçülen ρ_m değeri, (2.9) bağıntısının ρ_y 'e göre çözümü olan (2.11) bağıntısında yerlerine konursa, hata indirilmesi yapılmış ρ_m değeri yani ρ_y bulunmuş olur [17].

$$\rho_y = \frac{-E_{11} + \rho_m}{(\rho_m - E_{11}) \cdot E_{22} + E_{12} \cdot E_{21}} \quad \text{-----}(2.11)$$

Bu ölçme yönteminde Q'_I noktasından Q_I noktası bulunurken Şek.2.2a'da gösterilen değişimin tam daire şeklinde olduğunun kabul edilmesi bir yöntem hatası oluşturmaktadır. Q'_I 'nin Q_I 'e yeteri kadar yakın olduğu $\overline{Q'_I Q_{II}} < 0.5$ ve $\overline{Q'_I Q_{II}} > 1.2$ durumlarında, gerçek ρ'_{gi} değişiminin Q'_I 'nin yakın bir civarında $\overline{Q'_I Q_{II}}$ çaplı daireyle çakışması nedeniyle yöntem hatası bulunmadığı kabul edilebilir. Buna göre $0.5 < \overline{Q'_I Q_{II}} < 1.2$ için ölçülen parametre değerlerinde bir yöntem hatası bulunmaktadır.

Herhangi bir şekilde z_{gi} ve z_{gii} empedansları üzerinde kalabilecek bir hatanın sonuçlara etkisi ölçülen ilk büyüklükler ρ'_{gi} ve ρ'_{gii} cinsinden değerlendirilebilir. Bunun için (2.8) bağıntılarında z_{gi} ve z_{gii} 'e göre diferansiyeller alınır. $\text{Re}\{z_{gi}\} \gg \text{Re}\{z_{gii}\}$ için elde edilen bağıntılar,

$$2 \cdot \Delta \text{Im}\{z_p\} \approx \sqrt{\frac{\text{Re}\{z_{gi}\}}{\text{Re}\{z_{gii}\}}} \cdot \Delta \text{Re}\{z_{gii}\} + \sqrt{\frac{\text{Re}\{z_{gii}\}}{\text{Re}\{z_{gi}\}}} \cdot \Delta \text{Re}\{z_{gi}\} \quad \text{---}(2.12a)$$

$$\Delta z_c = \Delta \text{Re}\{z_{gii}\} + j[\Delta \text{Im}\{z_{gii}\} - \Delta \text{Im}\{z_p\}] \quad \text{-----}(2.12b)$$

olmaktadır. Görüldüğü gibi bu bağıntılarda $\text{Re} \{ z_{gI} \} \gg \text{Re} \{ z_{gII} \}$ olduğundan $\Delta \text{Re} \{ z_{gII} \}$ en etkin durumdadır. Dolayısıyla bu katsayının büyük olduğu durumlarda $\text{Re} \{ z_{gII} \}$ 'deki hatalar, ölçü sonuçlarında büyük hatalara neden olabilecektir.

2.4 ÖLÇME YÖNTEMİNİN SINANMASI

Yukarıda tanıtılan ölçme yönteminin Şek.2.1c'deki ölçme düzeninde hata indirgemeleri ile birlikte nasıl bir doğrulukla sonuç vereceği, Şek.2.1a'da verilen ve teorik çözümü bilinen bir diyod tutucu düzen üzerinde ölçme yapılarak araştırılmıştır. Bu durumda Eisenhart tarafından verilen diyod tutucu düzen modeli parametrelerinden, [15], hareketle Z_p değerleri hesaplanmıştır. X_c reaktansı da,

$$j X_c = -j Z_o \cdot \left(\frac{a}{\lambda_g} \right) \cdot \left(\frac{\pi \cdot d}{a} \right)^2 \cdot \sin^2 \left(\frac{\pi \cdot s}{a} \right) \quad (2.13)$$

'den hesaplanmıştır [14]. Burada Z_o karakteristik dalga empedansını, a transmisyon borusunun geniş kenarını, d diyod tutucu düzenin çapını, λ_g boru içi dalga boyunu, s ise diyod tutucu düzenin borunun kenar yüzeylerinden uzaklığını göstermektedir. Bu parametre değerleri ölçülen düzen için Şek.2.1'de belirtilmiştir. Buna göre Ek-1 'de verilen ρ'_g ve hata modeli parametre değerleri için bulunan Z_p ve X_c değerleri Şek.2.4a'da gösterilmiştir. Bu şekilde ayrıca post ucundaki aralığın boşluk kapasitesi C_g 'nin

$$C_g = \epsilon_o \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot g} \cong 0.03 \text{ pF} \quad (2.14)$$

değerini de dikkate alarak Z_p 'nin hesabında kullanılan Z_1 ve Y_2 değer -

leri de bulunmaktadır. Ölçülen R_c değerleri ($\sim 3 \Omega$) ölçü düzenindeki devre analizöründe $|p'_{gII}|$ için gözlemlenen okuma hatasının maksimum değeri (~ 0.005) mertebesinde dir. Bu nedenle R_c için ayrıca bir teorik incelemeye gidilmemiştir.

Ölçülen değerlerin teorik değerlerden farkı, teorik değerler hatasız kabul edilirse, ölçülen değerlerdeki toplam hatayı gösterecektir. Bu hatanın $Q'_I Q_{II}$ çapı ve (2.12a) bağıntısındaki $\Delta Re\{z_{gII}\}$ 'nin katsayısına göre durumu da Şek.2.4b'de belirtilmektedir. Buna göre yöntemdeki hatanın $Q'_I Q_{II} < 0.5$ için en az, $0.5 < Q'_I Q_{II} < 1.2$ için ise en fazla olduğu görülmektedir. Bu belirtilen hata sınırları, yöntem hatasının büyük olduğu bölgeye karşı düştüğünden, toplam hatada yöntem hatası baskın durumdadır. Ancak Şek.2.4a'da, deneysel eğrilerde ortalama eğriler çizilirse yöntem hatasının fazla olduğu bölgede toplam hatanın yarıya indiği görülmektedir.

Ayrıca diyod tutucu düzenin ölçülen parametre değerleri üzerinde etkisini belirlemek amacıyla da ölçülen değerler $l_1 = 30.57$ mm için tekrar değerlendirilmiştir. Bu ölçülen devrede diyod tutucu çubuğun alt ucuna göre l_1 'in değerini vermektedir. Buna göre Şek.2.4a'da görüldüğü gibi, l_1 'deki bu değişim X_c değerleri üzerinde oldukça etkili, Z_p 'de ise etkisiz sayılabilecek seviyededir. Ayrıca X_c değerleri bakımından diyod tutucu düzenin açıktaki ucuna göre belirlenen l_1 değerlerinin daha doğru sonuç verdiği de bu eğrilerden görülebilmektedir.

Yöntemin bulunan uygulama şeklinde Q'_I noktasında yansıma katsayısının sadece modülünü bilmek yeterlidir. Modülün Q'_I noktası civarında açığa göre çok daha yavaş değişmesi, bu ölçme için kısa devre ayarında bir

miktar serbestlik sağlar.Eğer gerekli kısa devre konumları önceden hesaplanarak yöntem uygulanmak istenirse, l_2 (Şek.2.1) uzunluğu da işlemlere girer.Deney düzeninde frekansın 1 MHz hata ile belirlenebilmesi nin,gerekli piston konumu ayarına getireceği hesaplanabilen yaklaşık ~ 0.004 mm'lik bir hata yanında l_2 uzunluğunun ~ 0.005 mm'lik bir hata ile ancak ölçülebildiği de göz önüne alınırsa,piston konumu için teorik belirlemede yaklaşık 0.01 mm'lik bir hata kaçınılmaz olmaktadır.Ayrıca hesaplanan konumun ayarında bir serbestlikde,hataya neden olacağından, bulunmaz.

Her iki yöntemin ölçülen ilk büyüklüklerden Z_p ve Z_c parametrelerinin çözümünü veren bağıntıları da, Z_p ve Z_c köklerinin ölçülen ilk büyüklüklere bağımlılığı yönünden karşılaştırılabilir. (2.1) bağıntısında $z_k = 0$ ve $z_k \rightarrow \infty$ olacak şekilde kısa devre konumlarını hesapla belirleyen genel uygulama şeklinde, Z_p ve Z_c değerleri ölçülen z_g empedanslarının sanal kısımlarına da bağlıdır.Bu durumda,yöntemin genel uygulama şeklinde,ölçülen ilk büyüklüklerde bulunan bir hatanın Z_p ve Z_c 'ye etkisi,burada verilen uygulama şeklindekine göre daha fazla olmaktadır.

2.5 BESLEME FİLTRELİ DİYOD TUTUCU DÜZEN PARAMETRELERİ VE ÖLÇÜLMESİ

Borulu bir osilatörün Şek.2.5a'da görülen pasif düzeninde modelleme bakımından en önemli yapısı diyod tutucu düzendir.Bu düzende besleme devresi,çeyrek dalga empedans transformatörleriyle 10 GHz merkez frekansı olmak üzere hesaplanmıştır.Buna göre dielektrik sabiti 2.3 ve çeyrek dalga boyundaki hatların boyu 5.0 mm,orta iletkenlerin çapı 6.5 mm ve 0.2 mm'dir.Besleme filtresindeki dış iletken ise 7.5 mm çapında, diyod tutucu düzen ise 3.0 mm çapında ve 8.2 mm uzunluğundadır.Bu düze-

nin osilatör devresindeki durumu üç kapılı bir devre modelinin kullanılmasını gerektirmektedir. Diyod tutucu düzenin bu şekilde modellenmesine ilişkin literatürde verilen çalışmalarda devre modelleri [15,18,19] Şek.-2.5b'de gösterilen devre modeline indirgenebilir. Bu şekilde diyod tutucu düzenin devre modeli ölçme amacıyla devreye bağlanmış bir C_1 kapasitesi ile birlikte gösterilmektedir. Model parametreleri, besleme filtresi yokken, Z_0 diyod tutucu düzenin kalınlığının etkilerini belirleyen bir reaktansı, Z_1 ve Y_2 boruda dominant mod dışındaki bütün modların etkilerini belirleyen reaktans ve suseptansı, n ise diyod tutucu düzenin borunun enine kesit düzlemindeki yerini belirleyen bir transformatörü göstermektedir. Besleme filtresinin diyod tutucu düzen parametrelerine etkisinin varlığı [20] diyod tutucu düzen parametrelerinin belirlenmesinde verilen teorik çözümleri, bu çalışma için yetersiz kılmaktadır. Bu nedenle diyod tutucu düzenin belirlenmesi için deneysel çalışmak zorunlu olmaktadır.

Besleme filtreli diyod tutucu düzenin devre modeli parametreleri, önceki kısımlarda verilen ölçme yöntemi ile, Şek.2.5'de gösterilen C_1 ($i=1,2$) sonlandırmaları varken ölçülen Z_{p1} , Z_{p2} ve Z_0 değerlerinden bulunabilmektedir. Buradaki C_1 , C_2 kapasitelerinin seçiminde, bağlanacağı yerin boyutları ve çalışma frekansı nedeni ile fazla olanak yoktur. Deneyde kullanılan C_1 kapasitesi, diyodun bulunduğu aralığa ilişkin kapasitedir, ve (2.14)'den hesaplanan değeri bu diyod tutucu düzen için $C_1 = 0.03$ pF olmaktadır. C_2 kapasitesi de uygun boyutlu bir diyod kılıfının kapasitesidir. Deneyde kullanılan VSX 9201 KJ serisi bir Gunn diyodu kılıfının, (Hp 4815 A) Vektör Empedansmetre ile 40- 100 MHz bandında

yapılan ölçmelerde 0.80 pF'lık bir kapasitesi olduğu görülmüştür. X-bandi içinde, bu kılıf kapasitesi için, $C_2 = 0.80$ pF alınmıştır.

Z_{p1} ve Z_{p2} ölçülebildiğine göre Y_2 ve Z_1 parametreleri Şek.2.5b' de gösterilen Z_{p1} devre modelinden giderek Z_{p1}, Z_{p2}, C_1, C_2 ve n parametreleri cinsinden gözlemlenmektedir :

$$Z_1 = Z_{p1} - \frac{n^2}{Y_2 + j\omega C_1}, \quad i=1,2 \quad \text{-----}(2.15a)$$

$$\text{Im}\{Y_2\} + \omega \cdot (C_1 + C_2) \cdot \text{Im}\{Y_2\} + \omega^2 C_1 C_2 + n^2 \cdot \frac{\omega \cdot (C_2 - C_1)}{\text{Im}\{Z_{p1} - Z_{p2}\}} = 0 \quad \text{---}(2.15b)$$

Bu bağıntılarda $C_1 = 0.03$ pF, $C_2 = 0.80$ pF, $n = 1.024$ 'dir. Bu n parametre değeri, diyod tutucu düzen için Eisenhart tarafından verilen devre modelinden [15] belirlenmiştir. (2.15) bağıntılarında, Z_1 ve Y_2 için pozitif çözüm takımı, model parametre değerlerini verir. Z_c değerleri her iki devrede de aynı olduğundan (2.6) ve (2.8) bağıntılarına göre hesaplanan Z_{c1} ve Z_{c2} değerlerinden, kısım 2.4'de verilen hata incelemesine göre daha doğru olan bileşenler alınarak, Z_c için,

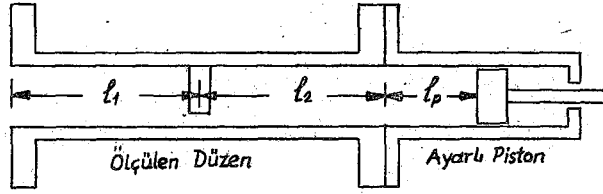
$$Z_c = R_{c2} + j X_{c1} \quad \text{-----}(2.16)$$

elde edilmiştir.

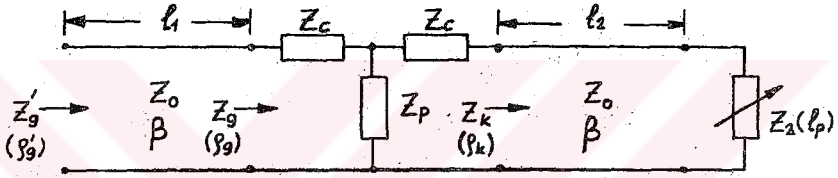
Şek.2.5c'deki deney düzeninde ölçülmüş değerlere göre (Ek-2) hesaplanmış Z_c ve Z_{p1}, Z_{p2} değerleri Şek.2.6'da gösterilmiştir. Daha önce Şek.2.4a'da verilmiş olan deney sonuçları, aynı boyutlarda ancak besleme filtresiz olan diyod tutucu düzene ilişkindir. Bu iki duruma ilişkin Z_p ve Z_{p1} değerlerini karşılaştırdığımızda, besleme filtresinin

j X_c ve Z_p üzerindeki etkisi açıkça görülebilmektedir. Buna göre besleme filtresi Z_p ve Z_c parametrelerine endüktif bileşen getirmektedir. Ayrıca Şek.2.4a'daki Eisenhart'ın devre modeline [15] göre belirlenmiş teorik Y_2 ve Z_1 değerlerine göre filtreli diyod tutucu düzenin ölçülen Y_2 değerleri 10.6 ÷ 11.0 GHz bandında, Z_1 ise 10.0 ÷ 10.3 GHz bandında aynı mertebeden çıkmaktadır. Diğer değerler ise büyük farklar göstermektedir.

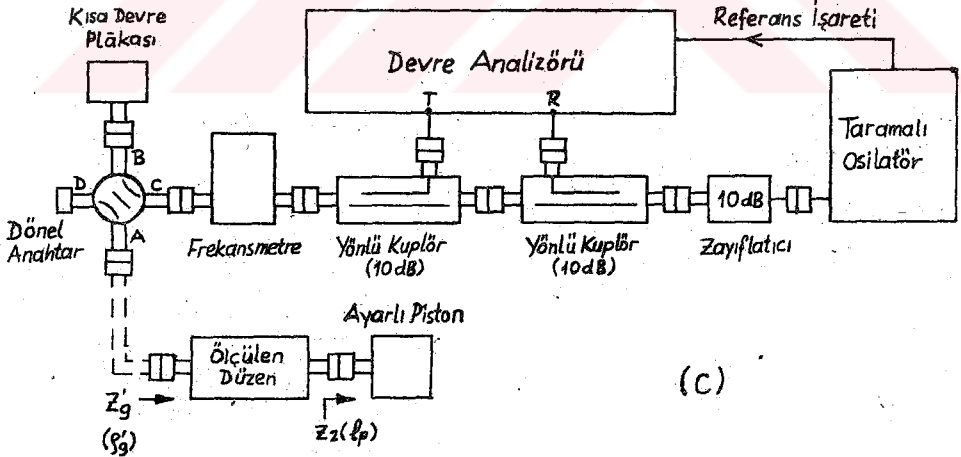
Şek.2.6'da verilen Y_2 ve Z_1 parametre değerleri ilerdeki bölümlerde Gunn diyonu admitansının ölçülmesi ve iki diyodlu osilatörün analizinde de aynen kullanılacaktır. Bu nedenle ilerdeki bölümlerde bulunan besleme filtreli diyod düzenleri de, bu kısımda ölçülen düzene özdeş boyutlarda gerçekleştirilmiştir.



(a)

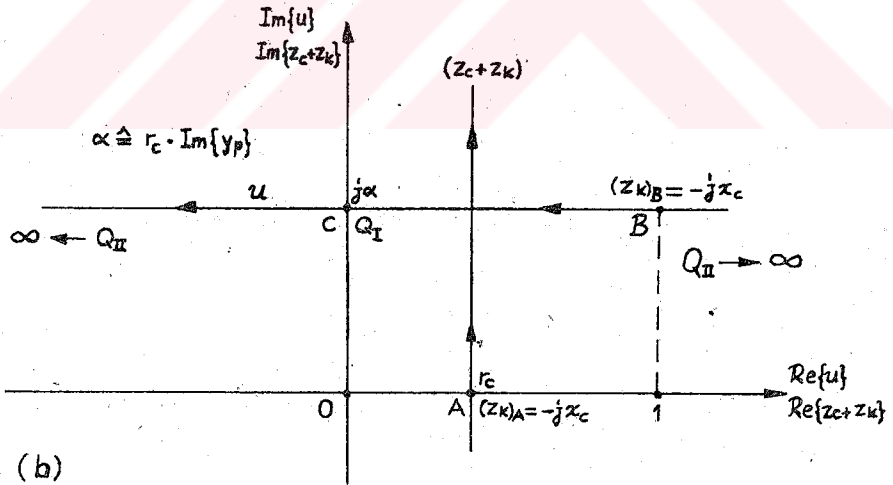
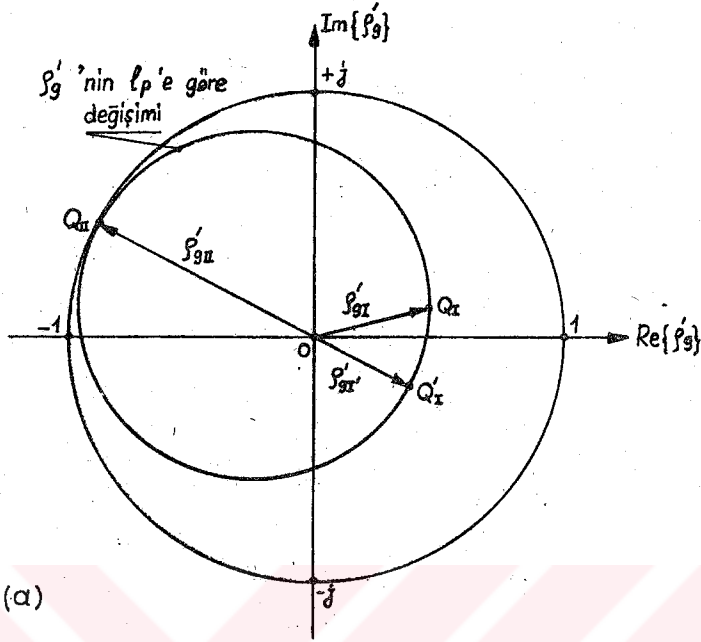


(b)

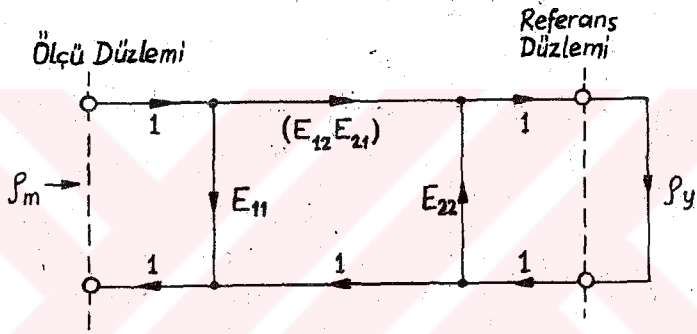


(c)

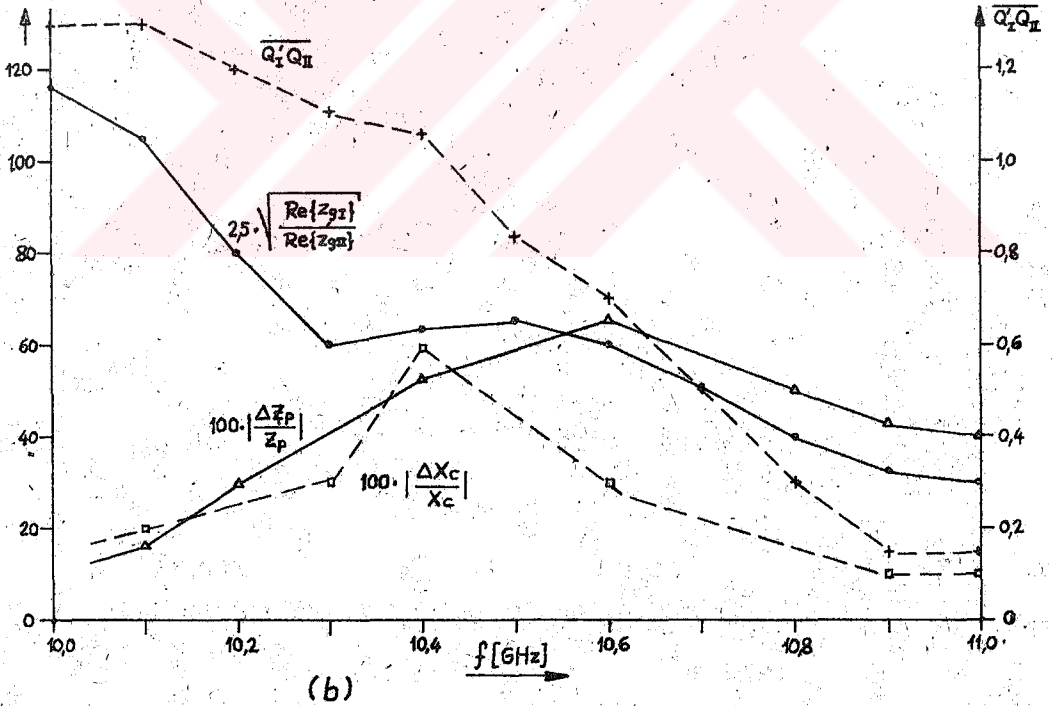
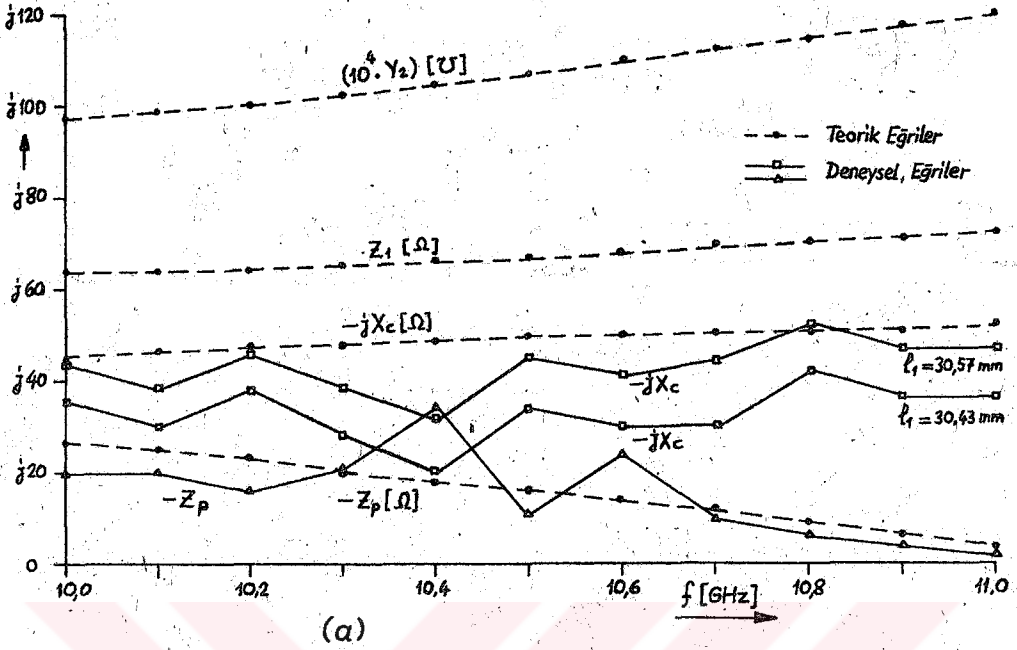
Şek.2.1 Ölçme yönteminin test edildiği, a) teorik çözümü bilinen diyod tucucu düzen, b) bu düzenin devre modeli, c) ölçmenin yapıldığı deney düzeni.



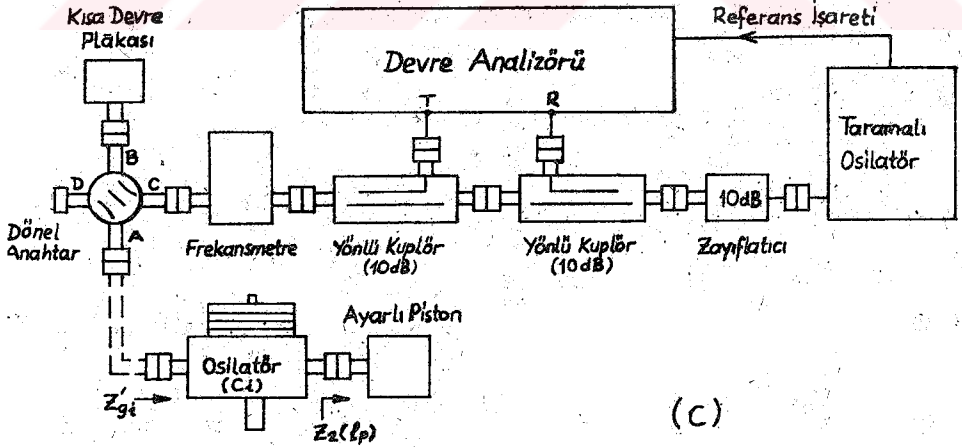
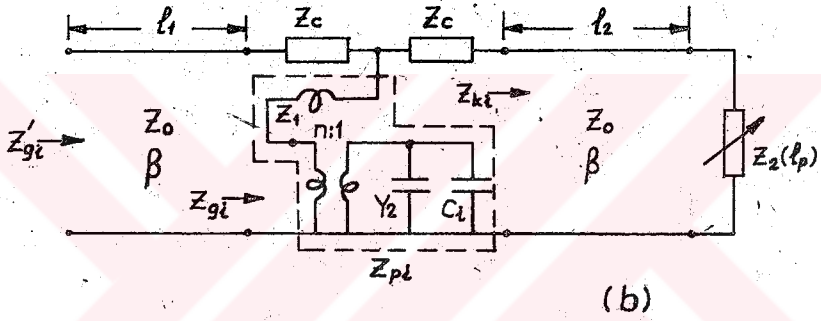
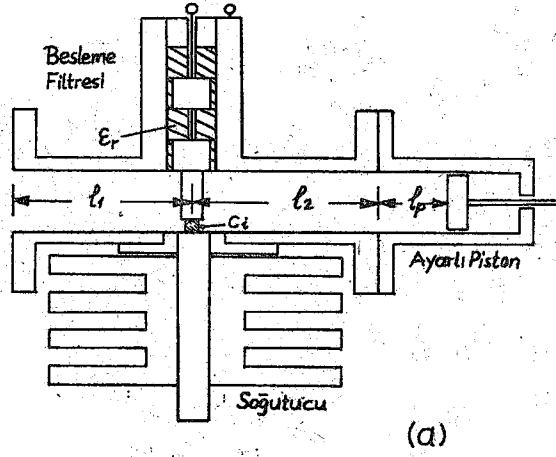
Şek.2.2 Ölçme yönteminde ölçülen ilk büyüklükleri belirleyen Q'_I ve Q_{II} noktalarının, a) s'_g düzleminde, b) diyod tutucu düzen kesitindeki normalize empedanslar cinsinden yerleri.



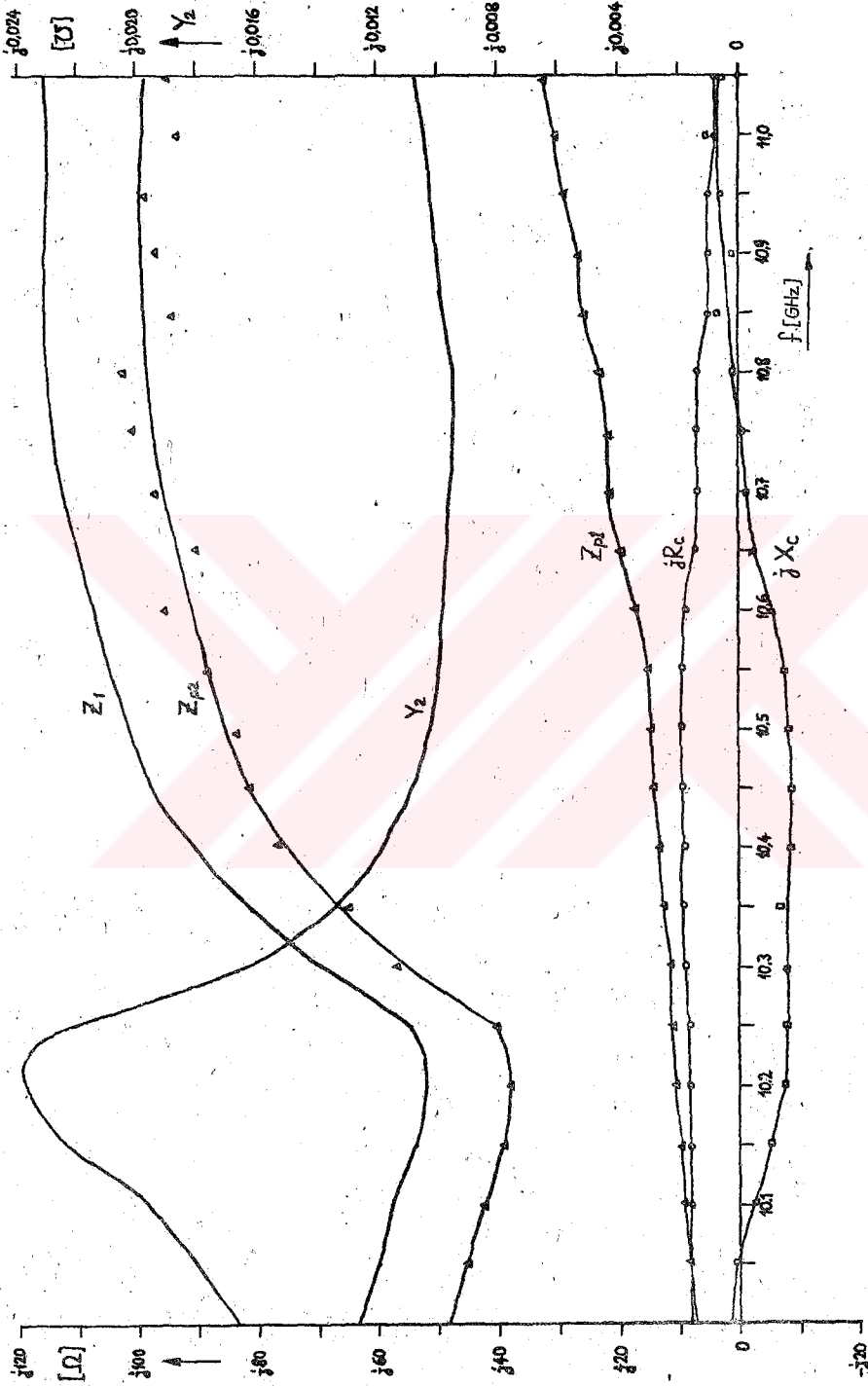
Şek.2.3 Giriş empedansını ölçme düzenine ilişkin hata modeli.



Şek.2.4 a) Diyod tutucu düzenin deneyle ve hesaplama bulunan Z_p ve X_c değerleri ve teorik çözümde kullanılan Y_2 ve Z_1 değerleri, b) teorik ve deneysel değerler arasındaki farkın, $Q_1'Q_{11}$ ve $\Delta \text{Re}\{z_{g11}\}$ 'nin (2.12 a) bağıntısındaki katsayısına göre $l_1 = 30.57$ mm için değişimleri.



Şek.2.5 a) Parametreleri ölçülen besleme filtreli diyod tutucu düzen ve birlikte bulunduğu diğer pasif elemanlar, b) bu düzenin devre modeli, c) ölçmenin yapıldığı deney düzeni. ($l_1 = 28.50 \text{ mm}$, $l_2 = 29.40 \text{ mm}$, di-yod tutucu düzen ve boru Şek.2.1 a'daki düzen ile aynı boyutlarda.)



Sek.2.6 Besleme filtrelı diıod tutucu düzende  l  len Z_{p1} , Z_{p2} ve Z_c değerleri ve buradan hesaplanmış Z_1 , Y_2 değerleri.

BÖLÜM 3

GUNN - DİYOD ADMİTANSININ ÖLÇÜLMESİ

İncelenen iki diyodlu osilatör düzenin analizinde bilinen analiz yöntemlerinin uygulanabilmesi, tüm sistemin amaca uygun olarak modellenenbilmesine bağlıdır. Osilatör devresinin pasif düzenlerinin modellenmesinde ortaya çıkan en önemli sorun, diyod tutucu düzenin modellenmesidir. Bölüm 2'de verilen ölçme yöntemi ile bu sorun deneysel olarak çözülmüş ve sonuçlar Şek.2.6'da verilmişti. Bu arada diyod tutucu düzen dışındaki pasif elemanların modellenmesi Şek.2.5b'de gösterildiği gibi zaten yapılmış olduğundan, modelleme sorunu aktif düzen dışında Bölüm 2'de çözülmüş bulunmaktadır. Osilatörün aktif elemanlarının modellenmesi de bu bölümde verilmektedir. Ancak burada incelenen osilatör devresindeki iki diyodun deneyle ayrı ayrı modellenmesi yerine aynı tipten yakın seri numaralı iki Gunn diyodu kullanarak bunlardan sadece birisinin deneyle modellenmesi yapılmıştır.

Ölçülen kılıflı diyod admitanslarından, Bölüm 4'de verilen iki diyodlu osilatör devresinin analizine daha uygun olması nedeniyle, ayrıca bölüm sonunda diyod tutucu düzenin Y_2 , Z_1 ve n parametrelerini de içine alan ikinci bir diyod admitansı tanımlanmıştır.

3.1 DİYOD ADMİTANSININ TANIMI

Lineer olmıyan sistemlerin analizinde çok kullanılan yöntemlerden biri de, lineer olmayan elemanların yaklaşık lineer modelleri yardımı ile analizin lineerleştirilmesidir. Küçük işaret modeli, lineer olmayan elemanlar için en çok kullanılan lineer modellerden biridir. Bu modelle lineer olmayan sistemin yeteri kadar küçük işaretler için gösterdiği lineer davranış incelenebilir. Ancak modellemede lineer olmayan elemanın belirli bir formdaki işarete karşı cevabını belirleyen yarı-lineer modeller kul-

lanılırsa lineer olmayan sistemin bu formdaki işarete karşı davranışı , lineer yöntemlerle çok iyi bir yaklaşıklıkla incelenebilmektedir.Bu nedenle sistemdeki işaretin formunun çok iyi bilindiği yüksek Q - faktörlü osilatör devrelerinde bu yöntem kolaylıkla uygulanabilir.Dolayısıyla bu devrelerin lineer olmayan elemanlarının yarı-lineer elemanlarla modellenmesi devrenin analizi için çok uygun olmaktadır [21], [22] .

Mikrodalga osilatörleri incelenirken devredeki işaret harmoniksiz bir sinüsoidal işaret olarak alınabilmektedir.Bu şekilde yapılacak analizle bulunan osilasyonların genlik ve frekanslarında 0.001 mertebesinde bir hata olmaktadır [22] .Bu nedenle,Bölüm 4'de analizi verilecek osilatör devresinde harmoniksiz osilasyonlar bulunduğu kabul edilecektir. Bu durumda analizde,Gunn diyonu için kullanılabilecek yarı-lineer modelin işaret formu,ortalama değeri diyodun beslenme gerilimine eşit olan bir sinüsoidal gerilimdir.Bu yarı-lineer model,verilen devrede Gunn diyonunun bu formdaki bir gerilimle uyarıldığı zaman akıtacağı akımı,minimum ortalama karesel hata ile belirlemektedir [21].Bir sinüsoid girişli açıklayıcı fonksiyon olarak tanımlanan bu yarı-lineer modele,admittans boyutunda olması nedeniyle diyod admittansı da denmektedir [23] . Bu şekilde tanımlanan diyod admittansı işaretin genliğine ve frekansına bağlıdır.Ayrıca yarı-lineer model olduğundan büyük genlikli sinüsoidal işaretler içinde tanımlı kalabilmektedir.

Literatürde diyod admittansı ile verilen model,diyodun sadece yarıiletken kırmığını içermektedir.Ancak bu çalışmada Gunn diyonunun yarıiletken kırmık düzeyinde modelinin çıkarılması gerekmemektedir.Bu bölümün sonunda görüleceği gibi,diyod kılıfı yanında diyod tutucu düzeni de

içine alacak bir admitans modeli de,Bölüm 4'de verilecek analiz için daha uygun olması nedeni ile,ayrıca verilecektir.

3.2 GUNN- DİYOD ADMİTANSINI ÖLÇME YÖNTEMLERİ

Bir Gunn osilatöründe osilasyonların belirli bir Gunn modunda üretilmesini sağlamak eldeki herhangi bir Gunn diyodu için pek kolay değildir.Özellikle n katkı yoğunluğu, l 'de aktif tabaka kalınlığı olmak üzere $n \cdot l \sim 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ olan diyodlarda uzay yükü modlarının hepsinin de uyandırılabilmesi bunu zorlaştırır.Diyodun belirli bir modda osilasyona zorlanması besleme gerilimi ve pasif düzenin seçimi ile bir ölçüde sağlanabilir.Ancak arzu edilen modda çalışmaya eldeki diyodun yapısının da uygun olması gerekir [24] .Diyodun yapısının bilinmemesi oluşacak uzay yükü modu veya modlarının cinslerinin ve bu modlarla çalışan diyodların modellerinin teorik olarak belirlenmesini imkansızlaştırır.Bu durumda osilatör devresinin analizi için diyodun modellenmesi,ancak incelenecek osilatör devresine benzer bir devrede ölçme ile deneysel olarak yapılabilir.Ölçülen devrenin incelenecek osilatör devresine benzerliği, her iki düzende de diyodun aynı modlarla çalışmasını sağlamak için gereklidir.

Diyod admitansını ölçme yöntemlerinin en basiti,diyodu ölçme düzeni içinde osilasyona getirip,her bir osilasyon frekansı ve gücü için diyod uçlarından görülen pasif düzen admitansını belirlemeye dayanır.Bu takdirde diyod admitansı,belirlenen bu pasif düzen admitansının ters işaretlisi olarak elde edilir.Bu yöntemde devrede serbest kararlı osilasyonlarla çalışıldığından ölçülen diyod admitansları,osilasyon genliğine göre negatif eğimli olan diyod admitansı bölgelerini belirler [25],[26].

Son yıllarda diyod admitansının osilasyon genliğine göre pozitif eğimli bölgeleri ile birlikte ölçülmesinde en çok kullanılan bir yöntem Hartnagel tarafından verilmiştir [24]. Bu yöntemde, diyod yükselme süresi 1 ns'den daha az olan 30 ns genişliğinde doğru gerilim darbele-ri ile beslenir. Bu durumda osilatörde osilasyonların sabit bir genliğe ulaşmaya kadar olan değişimi bir örnekleme osiloskopunda gözlemle- nir. Osilasyon genliğinin ani değerleri ve ani değişme hızları bura- dan çeşitli anlarda belirlenir. Bu durumda ayrı bir deney ile rezona- törde Q-faktörü ve yüke kuplaj oranı da ölçülerek diyod admitansı hesaplanabilmektedir. Bu yöntem bir frekanstaki admitans eğrilerini çıkartmak ve bu eğrilere besleme geriliminin, harmonik frekansların etkisini incelemek için çok uygun olmaktadır. Farklı frekanslar için yöntemin uygulanmasında görülen başlıca zorluk her bir frekans için uygun bir rezonatör ve yüke kuplaj, Q-faktörü ölçmelerinin gerekmesidir.

Diyod admitansının ölçülmesinde kullanılan diğer bir yöntem de Young tarafından verilmiştir [27]. Bu yöntemde diyod admitansı, osila- törde faz kilitlemeli olarak osilasyona getirilir. Her bir osilasyon fre- kansı için devrede güç, faz ve kazanç ölçmeleri yapılır. Bu ölçülen değer-lerden diyod admitansına geçebilmek için, diyodun aynı osilatörde ayrıca serbest osilasyon modunda çalıştırılarak diyod admitansının ve osilas- yon genliğinin ölçülmesi gerekmektedir. Ancak sıcaklık, besleme gerilimin- deki değişimlere göre özellikle diyod iletkenliğinin bağlı değişimi in- celenmek istenirse devrede sadece faz kilitlemeli osilasyonlar için güç, faz ve kazanç ölçmeleri yapmak yeterli olmaktadır.

Bu çalışmada diyod admitansının, osilasyonun frekans ve genliğine gö- re değişiminin ölçülmesi gerekmektedir. Bu nedenle sadece diyod iletken-

liğinin osilasyon genliğine göre değişimini veren ikinci yöntem ile bir serbest osilasyon modunda ölçülen güç ve frekansların yakın bir civarındaki frekans ve güçlerdeki diyod admitanslarını veren üçüncü yöntem bu çalışma için pek uygun değildir. Ayrıca diyod iletkenliğinin belirlendiği bir ek yöntem olarak ikinci yöntemin kullanılması da örnekleme osiloskobu gerektirdiğinden yapılamamıştır. Bu nedenlerle kullanılan Gunn-diyod admitansını ölçmek için zorunlu olarak ilk yöntemde karar kılınmıştır.

3.3 ÖLÇME YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

Bölüm 2'de parametreleri ölçülmüş besleme filtrelili diyod tutucu düzenle hazırlanan ve diyod admitansını ölçmek için kullanılan osilatör devresi Şek.3.1a'da gösterilmiştir. Gerçek boyutlarda çizilen bu devrede besleme filtresi, doğru akım yolunun osilasyon frekanslarında kısa devre edilmesini sağlamaktadır. Ayarlı piston ile, ayarlı yükün sabit bir konumunda osilatörün osilasyon frekansının değiştirilmesi, ayarlı yük ile de osilatörün farklı güç seviyelerinde osilasyonlar üretmesi sağlanmaktadır. Gunn diyodunun sıcaklığa bağlı değişimleri, deney düzeninde hava ile soğutulan Gunn diyodu soğutucuları kullanılarak kontrol edilmiştir. Gunn diyodunun, diyod tutucu düzene bağlantısı sıkı temasla sağlanmaktadır. Bağlantı için daha ideal olan esnek temas, gerektirdiği malzeme ve düzen şekli nedeni ile gerçekleştirilememiştir. Isıl genleşmelerin bu sıkı teması gevşetmesi çalkış gücünde azalmalara yol açtığından deney bu bağlantının durumu denetlenerek yapılmıştır. Deneyde kullanılan Gunn diyodu, VSX 9201 KJ tipinde 482-64-104 seri numaralıdır. Bu diyod için verilen optimum besleme gerilimi

10 V, çalışma frekansı 9.0 GHz ve çıkış gücü 280 mW'dır. Diyod admitansını ölçme yönteminin uygulanması iki ayrı deneyle yapılabilmektedir. Şek. 3.1c'deki deney düzeninde yapılan ilk deneyde, osilatör ayarlı piston ve ayarlı yükle çeşitli frekans ve güç değerlerinde çalıştırılarak, devredeki frekans ve yüke giden güç ölçülmüştür. Ayrıca ölçülen her bir frekans ve güç için ayarlı yük ve piston konumları belirlenmiştir. İkinci deneyde ise belirlenen ayarlı yük konumlarına ilişkin Şek. 3.1c'de gösterilen osilatörün yük empedansı Z_y 'i belirlemek amacı ile empedans ölçmeleri yapılmıştır. Şek. 2.5c'deki empedans ölçme düzeninde yapılan bu deneyde, Şek. 3.1c deney düzeninde osilatörün yükü durumunda bulunan kısmın, osilatörün güç ve frekans ölçmelerinde ayarlı olduğu durumları tekrarlanarak Z_y giriş empedansı ölçülmüştür. Bölüm 2'de belirtildiği gibi hata indirgemelerinde kullanılan hata modeli için, besleme filtrelili diyod tutucu düzen ölçmelerinde bulunan hata modeli parametre değerleri test edilerek tekrar kullanılmıştır. Diyod admitansını ölçmek için yapılan her iki deneyde de ölçülen değerler Ek-3'de verilmiştir.

Diyod admitansını ölçme yönteminde her osilasyon güç ve frekans değeri için diyod uçlarına indirgenmiş pasif düzen admitansının belirlenmesi gerekir. Osilatörün Şek. 3.1c'de görülen devre modelinde pasif düzen, yukarıda belirtilen iki deney sonunda her bir osilasyon frekans ve güç değeri için tamamen belirlenmiş olmaktadır.

Buna göre Şek. 3.1b'deki notasyonlarla, ölçülen osilasyon frekansı f_0 ve Z_y 'e giden güç P_0 olmak üzere pasif düzen admitansı Y_p ve osilasyon genliği A_0 aşağıdaki bağıntılardan hesaplanabilmektedir:

$$Y_p = Y_2 + \frac{n^2}{Z_1 + \frac{(Z_c + Z'_y) \cdot (Z_c + Z_k)}{2 \cdot Z_c + Z_k + Z'_y}} \quad \text{-----}(3.1)$$

$$A_o \triangleq |V_o| = \frac{1}{n} \cdot |I_1| \cdot \left| Z_1 + \frac{(Z_c + Z'_y) \cdot (Z_c + Z_k)}{2 \cdot Z_c + Z_k + Z'_y} \right| \quad \text{-----}(3.2a)$$

$$|I_1| = |V_1| \cdot \left| \frac{2 \cdot Z_c + Z_k + Z'_y}{(Z_c + Z'_y) \cdot (Z_c + Z_k)} \right| \quad \text{-----}(3.2b)$$

$$|V_1| = |V_2| \cdot \left| \frac{Z_c + Z'_y}{Z'_y} \right| \quad \text{-----}(3.2c)$$

$$|V_2| = \sqrt{2 \cdot P_o \cdot Z_o} \cdot |1 + \rho'_y| \quad \text{-----}(3.2d)$$

Bu bağıntılarda Z'_y, Z_y yük empedansının diyod tutucu düzenin bulunduğu kesite indirgenmiş değerini, ρ'_y ise Z'_y 'e karşı düşen yansıma katsayısını göstermektedir.

Devrede osilasyon için gerekirlik koşulu olduğundan diyodun bağlandığı uçlar için,

$$Y_p(f_o) + Y_D(A_o, f_o) = 0 \quad \text{-----}(3.3a)$$

yazılabilir [23]. Buna göre Gunn -diyod admitansı, her bir osilasyon frekansı f_o , ve osilasyon genliği A_o için

$$Y_D(A_o, f_o) = -Y_p(f_o) \quad \text{-----}(3.3b)$$

olmaktadır. Burada Y_p ve A_o , (3.1-2) bağıntılarından her bir osilasyon frekansı f_o ve bu frekansda yüke giden güç P_o , için hesaplanabilmektedir.

Bu bağıntılardaki besleme filtreli diyod tutucu düzen parametreleri

Bölüm 2'de belirlenen değerlerde bulunmaktadır.

3.4 GUNN - DİYOD ADMİTANSI EĞRİLERİ

Şek.3.1c'deki deney düzeninde 10 V ile beslenmiş Gunn diyodunda yapılan diyod admitansı ölçmelerinde ve buna ilişkin empedans ölçmelerinde elde edilen değerler Ek-3'de verilmiştir. Ölçülmek istenen diyod admitansı, kısım 3.1'de yapılan tanımda belirtildiği gibi, Gunn diyodunun bir doğru gerilimle besleniyorken bir sinüsoidal gerilime cevabını belirlemektedir. Bu nedenle ölçülen her bir osilasyon frekansı için devrede aynı anda başka frekansta osilasyonların da olup olmadığının bilinmesi gerekmektedir. Bu işlem Şek.3.1c'deki deney düzeninde, frekansmetre ile X-bandı taranarak yapılmıştır. Buradan kısım 3.3'de açıklandığı gibi hesaplanan Gunn-diyod admitansı eğrileri Şek.3.2'de gösterilmektedir. Bu eğriler kılıflı diyoda ilişkindir. Ölçme yöntemi tanımlanırken belirtildiği gibi, ölçülen diyod eğrileri osilasyon genliğine göre her bir frekansta negatif eğimlidir. Ayrıca ölçülen diyod eğrilerinden, Gunn diyodu Q-faktörü [28], belirlendiğinde $Q_D \sim 1$ olduğu görülmektedir. Ölçülen diyod eğrilerinde bulunan büyük dalgalanmalarla birlikte $Q_D \sim 1$ durumu, ölçülen Gunn diyodunda belirtilen optimum çalışma frekansı 9.0 GHz'den fazla uzaklaşmış olmakla açıklanabilir [12].

Bölüm 4'de yapılacak olan analizde kılıflı diyod admitansı eğrileri yerine diyod tutucu düzen parametrelerini de Şek.3.3a'da gösterildiği gibi içine alan $Y_{Dp}(A, f)$ admitansı eğrilerini kullanmak daha uygun olmaktadır. Buna göre besleme filtreli diyod tutucu düzen parametre değerleri ve kılıflı diyod eğrilerinden elde edilen $Y_{Dp}(A, f)$ eğrileri Şek.3.3 ve Şek.3.4'de gösterilmiştir. Bu eğriler Şek.3.3a'da verilen devre modelinden elde edilen (3.4)bağıntıları yardımı ile belirlenmiş-

tir.

$$G_{Dp} = \frac{G_D}{[1 - X_1 \cdot (B_2 + B_D)]^2 + X_1^2 \cdot G_D^2} \quad \text{-----}(3.4a)$$

$$B_{Dp} = \frac{[1 - X_1 \cdot (B_2 + B_D)] \cdot (B_2 + B_D) - X_1 \cdot G_D^2}{[1 - X_1 \cdot (B_2 + B_D)]^2 + X_1^2 \cdot G_D^2} \quad \text{-----}(3.4b)$$

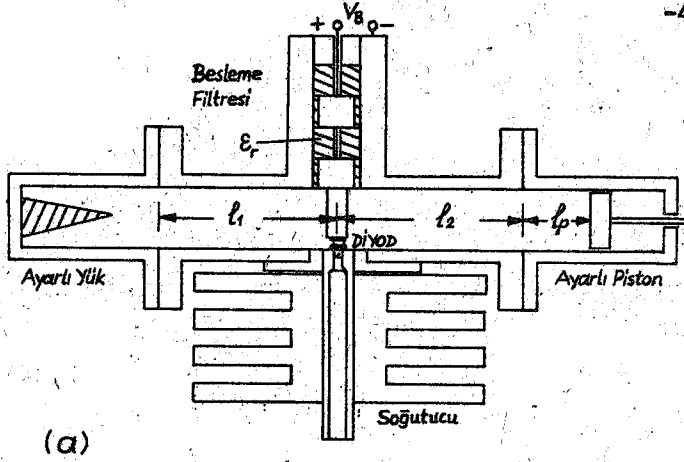
$$A = A_0 \cdot \sqrt{[1 - X_1 \cdot (B_2 + B_D)]^2 + X_1^2 \cdot G_D^2} \quad \text{-----}(3.4c)$$

Burada X_1 , Z_1 'in B_2, Y_2 'nin B_D ise Y_D 'nin sanal kısmıdır. G_D 'de Y_D 'nin reel kısmıdır. A diyod tutucu düzen parametrelerini de içine alan diyod admitansı modelinde, diyod uçlarındaki osilasyon gerilim işaretinin genliğini göstermektedir. A_0 ise kalıflı diyodun uçlarındaki osilasyon geriliminin genlik değeridir.

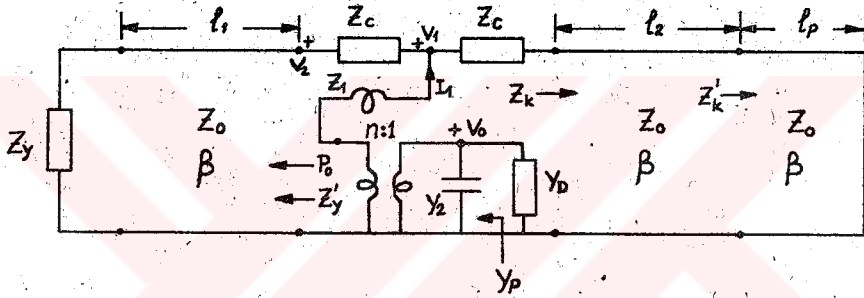
Bu eğrilerde Gunn-diyodunun değer katsayısı $Q_D < 1$ 'dir. Ayrıca diyod admitansının frekansa göre değişiminde görülen dalgalanmalar bu eğrilerde daha büyüktür.

Diyod admitansının osilasyon genliğine göre değişiminde görülen (Şek.3.4) kesik çizgiler, sabit frekanslı admitans eğrilerinin osilasyon genliğine göre eğiminin değişimi esas alınarak çizilen eğri parçalarını göstermektedir. Ölçme ile doğrudan belirlenemiyen noktalardaki admitans değerleri de bu şekilde belirlenmeye çalışılmıştır. Küçük A değerlerindeki kesik çizgiler her ne kadar bir sabit eğimli değişimle admitans değerlerini belirliyorsa da, 10.1 GHz frekanslı sabit frekans eğrisinden, $A < 2 V$ için admitans değerlerinde bir eğim değişiminin varlığı görülebilmektedir. Ancak bu eğim değişimini değerlendirebile -

cek yeterlikte ölçü sonucu olmadığından bu azalma ihmal edilmiştir. İleride verilecek analizde diyod admitansı eğrileri Şek.3.3 ve Şek. 3.4'de verilen şekilleri ile hesaba girmiş bulunmaktadır.

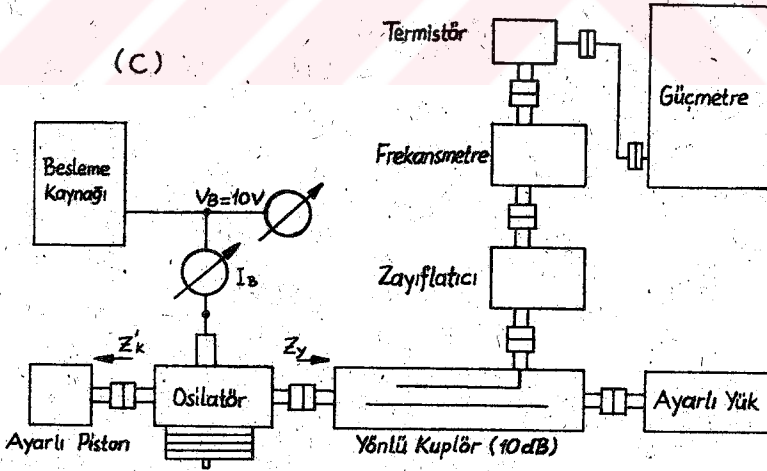


(a)

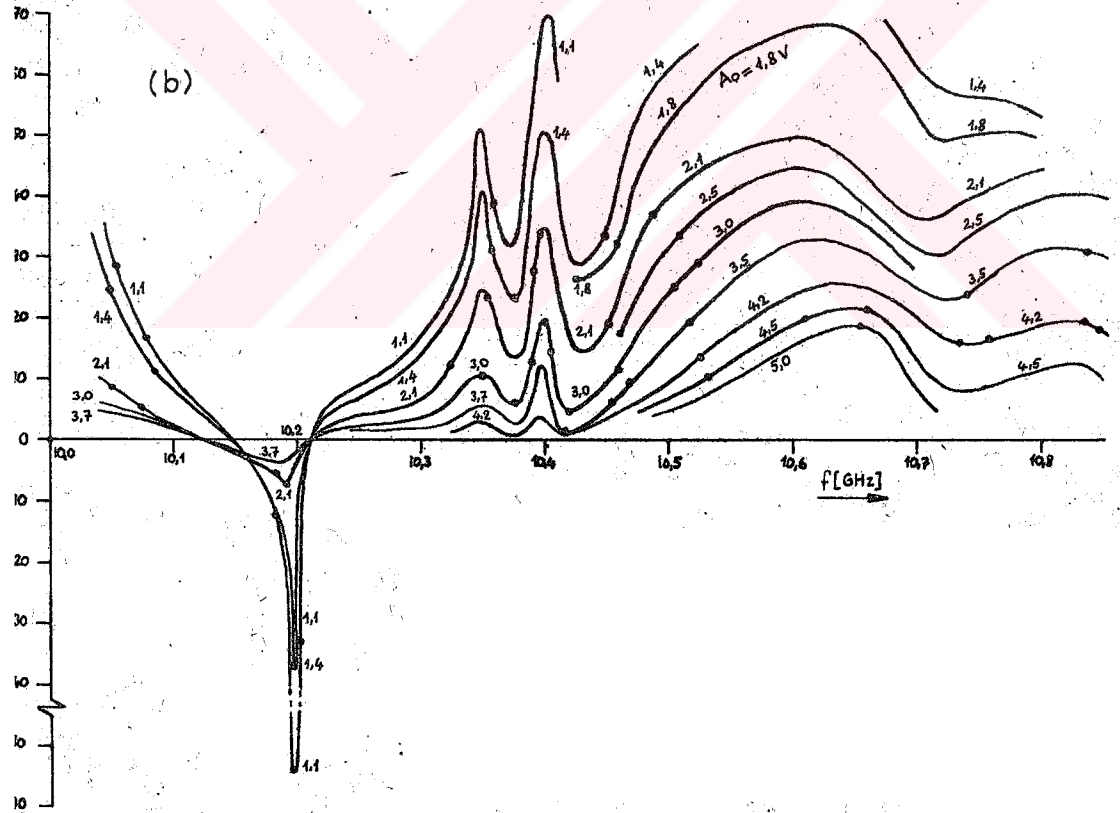
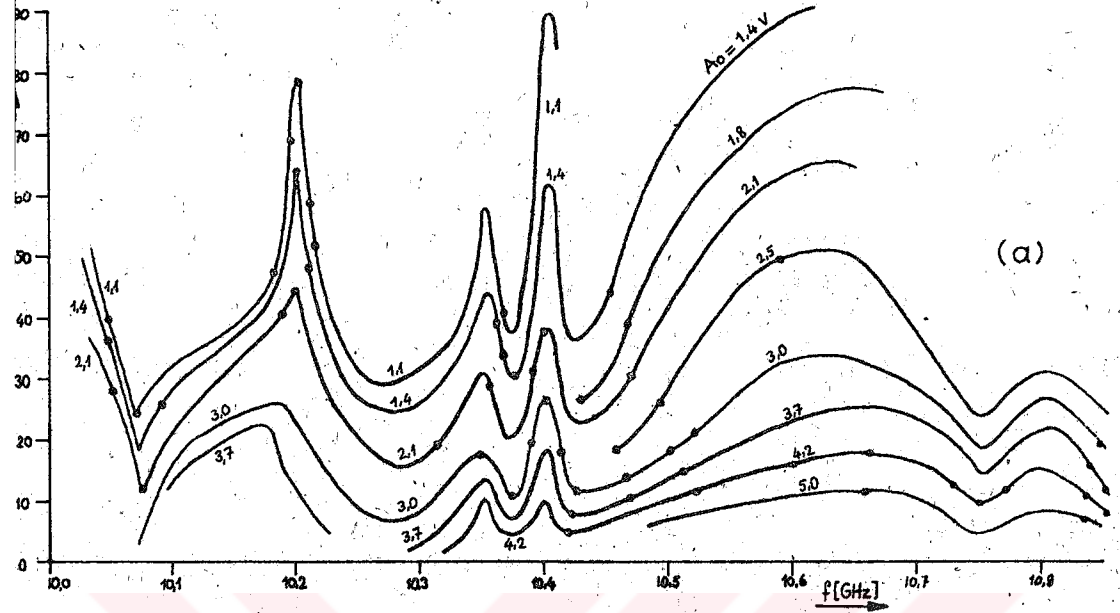


(b)

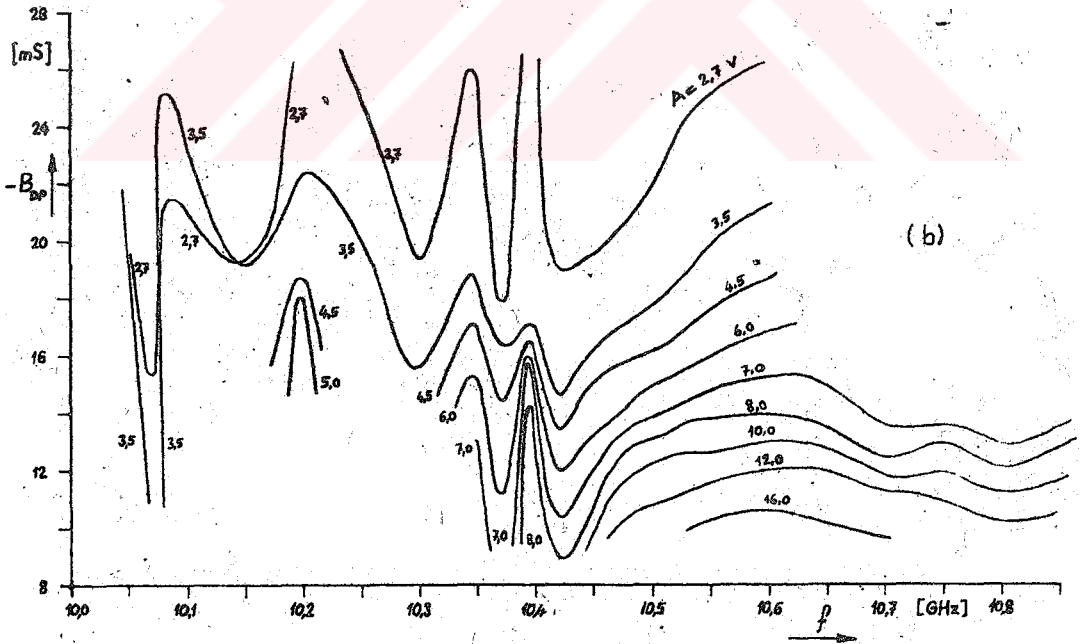
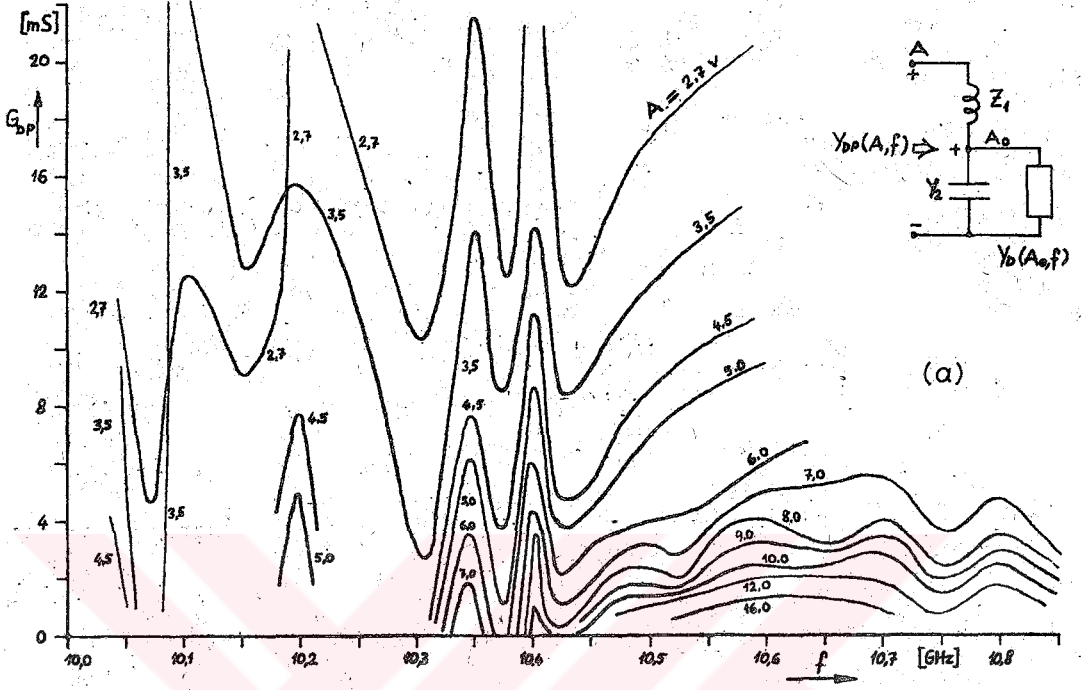
(c)



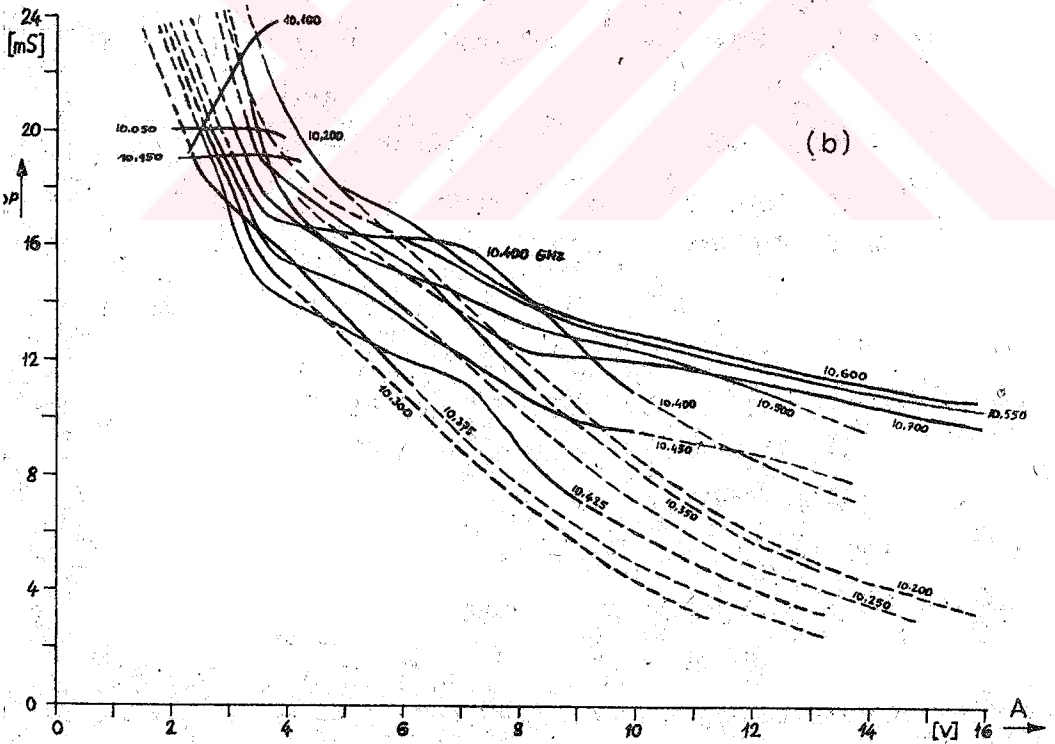
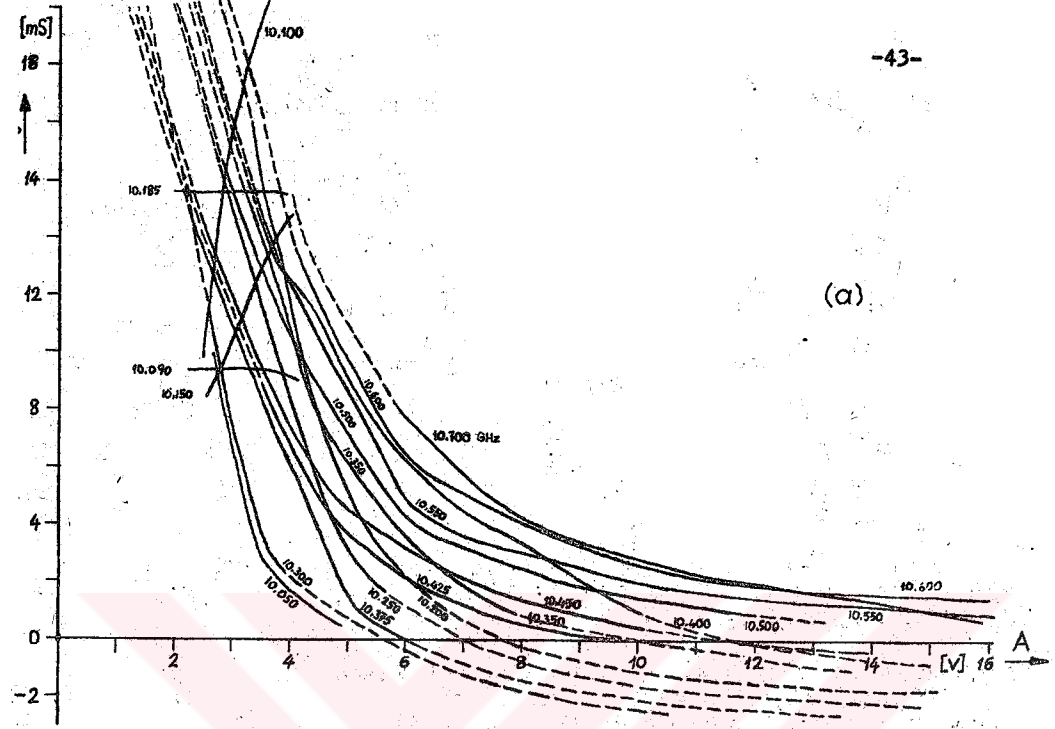
Şek.3.1 Diyod admitansını ölçmek için hazırlanan a) osilatör devresi, b) osilatör devresinin devre modeli , c) ölçme düzeni.



Şek.3.2 VSX 9201 KJ tipi ve 482-64-112 seri numaralı bir Gunn diyodu için Şek.3.1 c'deki deney düzeninde besleme gerilimi 10 V'da iken ölçülen kılıflı diyod admitansı eğrileri.



Şek.3.3 Besleme filtreli diyod tutucu düzen parametrelerini de içine alan Gunn-diyod admitansı eğrileri.



Şek.3.4 Diyod tutucu düzen parametrelerini de içine alan ve frekans parametre olmak üzere Şek.3.3'den osilasyon genliği A 'a göre çizilen Gunn-diyod admitansı eğrileri.

BÖLÜM 4

İKİ DİYODLU GUNN OSİLATÖRÜNÜN DENEYSEL İNCELENMESİ

Bu bölümde, daha önceki bölümlerde ölçülerek devre modeli parametreleri belirlenmiş bulunan besleme filtrelili diyod tutucu düzenler ve Gunn diyodları ile hazırlanan iki diyodlu bir osilatör devresinde yapılan osilasyon frekansı ve güç ölçmeleri belirtilmektedir. Deneyde kullanılan osilatör yükünü belirlemek için ayrıca yapılan empedans ölçme deneyi sonuçları da bu arada verilmektedir.

Hazırlanan osilatör devresinde, ayarlı piston konumlarına göre osilasyon frekanslarının ve yüke aktarılan gücün değişimin çıkarılması bu bölümde yapılan deneylerin esas amacıdır. Osilatör devresinin, devre modelinden hareketle, osilatörün güç ve frekans karakteristiklerinin çıkarılması tezin esas konusu olduğundan, pasif düzenin daha önce belirlenen parametre değerleri değiştirilmeden bu deney gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle osilatör devresinden maksimum seviyede güç çekilmesi için pasif düzen parametrelerinde, çoğunlukla akort vidaları ile gerçekleştirilen herhangi bir ayarlama yapılmamıştır.

4.1 İKİ DİYODLU GUNN OSİLATÖRÜ

Şek. 4.1a'da deney için hazırlanan iki diyodlu Gunn osilatörü devresi görülmektedir. Devredeki Gunn diyodları, VSX 9201 KJ tipinde 482-64-112 ve 482-64-104 seri numaralıdır. Her iki diyod içinde verilen optimum besleme gerilimi 10 V, çalışma frekansı 9.0 GHz ve çıkış güçleri 270 ve 280 mW'dır. Her iki diyodunda besleme filtresi ve diyod tutucu düzenleri Bölüm 2'de ölçülen düzenin aynısıdır. Diyodların diyod tutucu düzene bağlantısı sıkı temasla sağlanmaktadır. Esnek temaslı bağlantının olmayışı, ısı genleşmelerin diyodun tutucusu ile olan bağlantısını gevşetmesine neden olmaktadır. Bu sorun, deney boyunca gerekli kontrol yapılarak çözülmeye çalışılmıştır. Diyod admitansının ölçülmesinde olduğu gibi, bu

deneyde de diyod soğutucuları bir zorunlu hava akımına tutulmuştur. Soğutucuların boyutları osilatör devresinde görüldüğü gibi l_1 , l ve l_2 boyutlarının seçimini sınırlamaktadır. Bunlardan l parametresinin değeri, literatürde maksimum çıkış gücüne erişmek için sağlanması gereken bir deneysel sonuca göre belirlenmiştir. Ashok'ın [29] 'de Young' ın [30] 'de verdiği deneysel çalışmalarda maksimum çıkış gücüne kısa devre ayarı ve akort vidası ayarları ile birlikte $(\frac{\lambda_g}{4})$ 'in tam katı olan l değerlerinde ulaşılabildiği belirtilmektedir. Burada λ_g boru içi dalga boyudur. Buna göre $l=36.0$ mm alınarak iki diyodlu osilatörün, Bölüm 3'de ölçülen diyod admitanslarının tanımlı olduğu frekans bölgesinde kalması amaçlanmıştır. $l=\lambda_g=36.0$ mm olmak üzere belirlenen frekans 10.607 GHz'dır. l_1 ve l_2 uzunluklarının büyük değerlerinde rezonatörün rezonans frekansı mod sayısı arttığından, $\lambda_g/2$ 'e göre büyük l_1 ve l_2 değerleri, ayarlı yük ve ayarlı pistonun osilasyon modlarının istenilen bir bölgede kontrolunu olumsuz etkilemektedir [31]. Gerçeklenen osilatörde bu uzunluklar, soğutucu düzenin belirlediği bir alt sınırdır, $l_1=29.2$ mm, $l_2=29.8$ mm değerlerinde alınmıştır.

4.2 OSİLATÖRDE FREKANS VE GÜÇ-ÖLÇME DENEYİ

Hazırlanan iki diyodlu Gunn osilatöründe frekans ve yüke aktarılan gücün ayarlı piston konumlarına göre değerleri Şek.4.1b'deki deney düzeninde ölçülmüştür. Deney düzeninde her iki diyod da 10 V ile beslenmektedir. Deney düzeni ısı kararlılığına ulaştıktan sonra yapılan ölçmelerde, osilasyon frekansı ve gücünün ayarlı piston konumunun bir yöndeki değişimlerine nasıl bağlı olduğu belirlenmiştir. Bunun için

Önce piston konumunun artan,sonrada azalan değerlerinde ölçmeler yapılmıştır.Ek-4'de verilen deney sonuçlarına göre çizilen frekans ve güç karakteristikleri, l_p ayarlı-piston konumu olmak üzere,Şek.4.2'de gösterilmiştir.

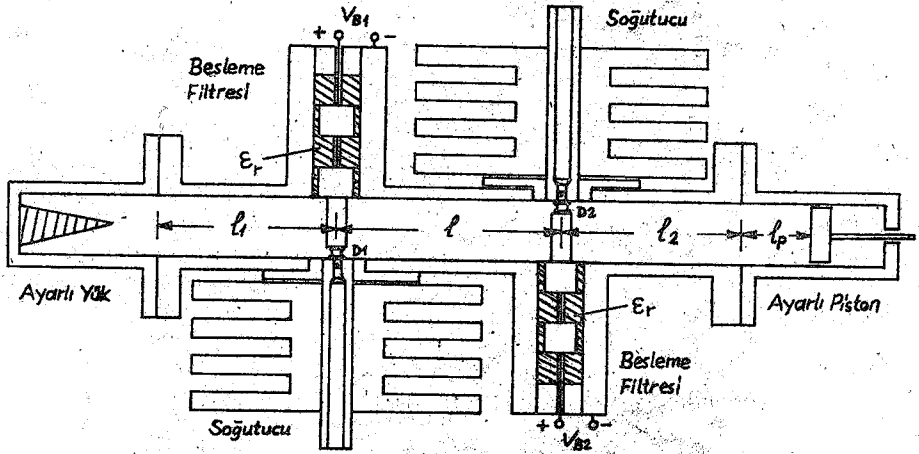
Bu eğrilerde, l_p 'nin her iki yöne değişimleri ile varılan aynı bir piston konumundaki frekans değerleri eşitse osilasyon güç seviyelerinin de yaklaşık eşit olduğu,aksi durumda güçlerinde oldukça farklı olduğu görülmektedir. $l_p < 6$ mm konumlarındaki güç seviyelerindeki farklılık ise ısı genleşmelerin,sıkı temasla sağlanan Gunn diyodu bağlantılarına olumsuz etkisinden ileri gelmektedir.

Şek.4.2b'de verilen frekans karakteristiğinde,osilasyon frekansları l_p konumlarının artan değerleri için belirli aralıklar ile bir üst boru moduna sıçramalar yaparak düzgün değişmektedir.Ancak azalan l_p değerleri için,osilasyon frekanslarının bir boru modunda bulunuyorken farklı osilasyon modlarına geçişler olmaktadır.Bu sıçranarak geçirilen osilasyon modlarının frekansları ancak X-bandında oldukları zaman deney düzeninde ölçülebildiğinden,aksi durumlarda osilasyonun sadece ölçülen gücü Şek.4.2a'da verilmiştir.Ayrıca belirtilen bu mod sıçramalarının aynı bir frekans seviyesinde olduğu da Şek.4.2b'den görülebilmektedir.

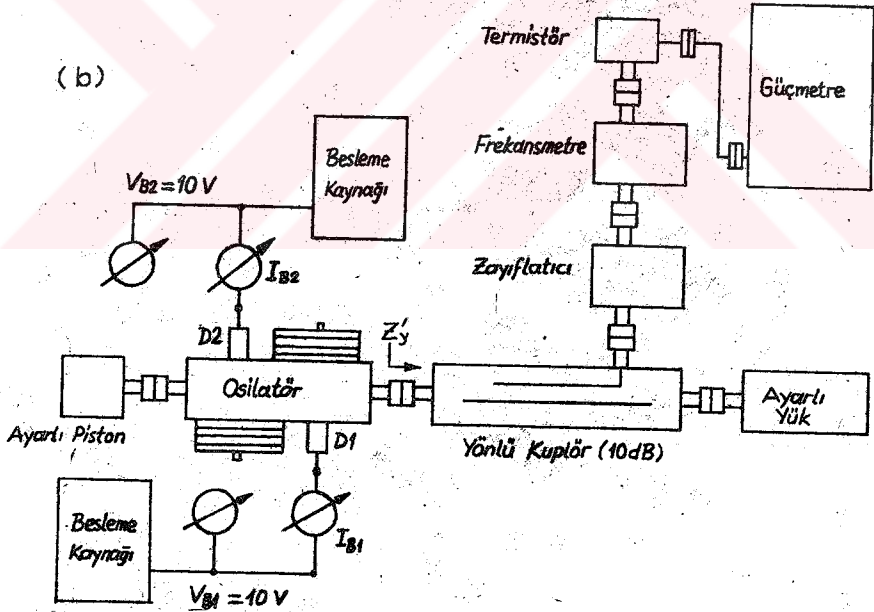
4.3 OSİLATÖR - YÜK EMPEDANSI

Şek.4.1b'deki deney düzeninde ölçülen her bir osilasyon frekansında,osilatörün yük empedansını,osilatörün ilgili kapısına bağlı ölçü düzeni oluşturmaktadır.Şek.4.1b'de Z_y ile gösterilen bu empedans Şek. 2.5a'daki deney düzeninde,deney düzeninin hata modelini de belirliyerek, her bir frekans için ölçülmüştür.Bu durumda elde edilen değerler

Ek-4'de verilmiştir. Buna göre elde edilen Z'_y ve D_1 diyodunun bulunduğu boru kesitine indirgenmiş empedans değerleri Z_y , Şek.4.3'de gösterilmiştir. Bu Z_y değerleri Bölüm 5'te yapılacak analizde, osilatörün devre modelinde yük empedansı olarak kullanılacaktır.

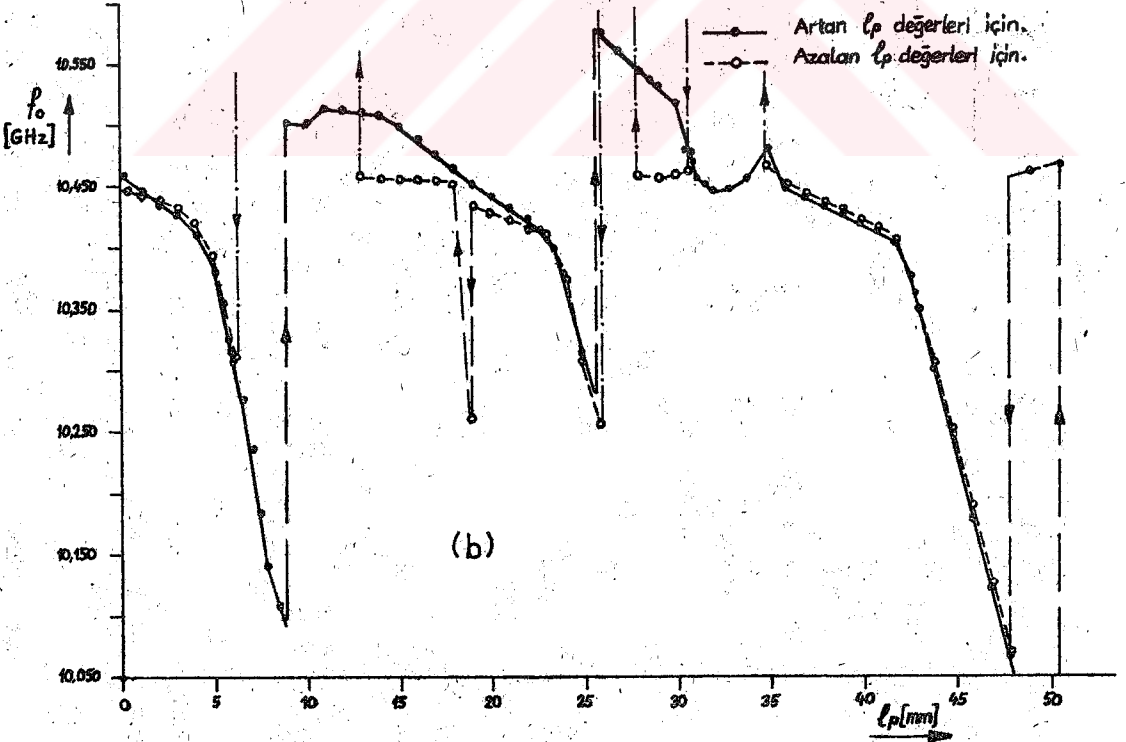
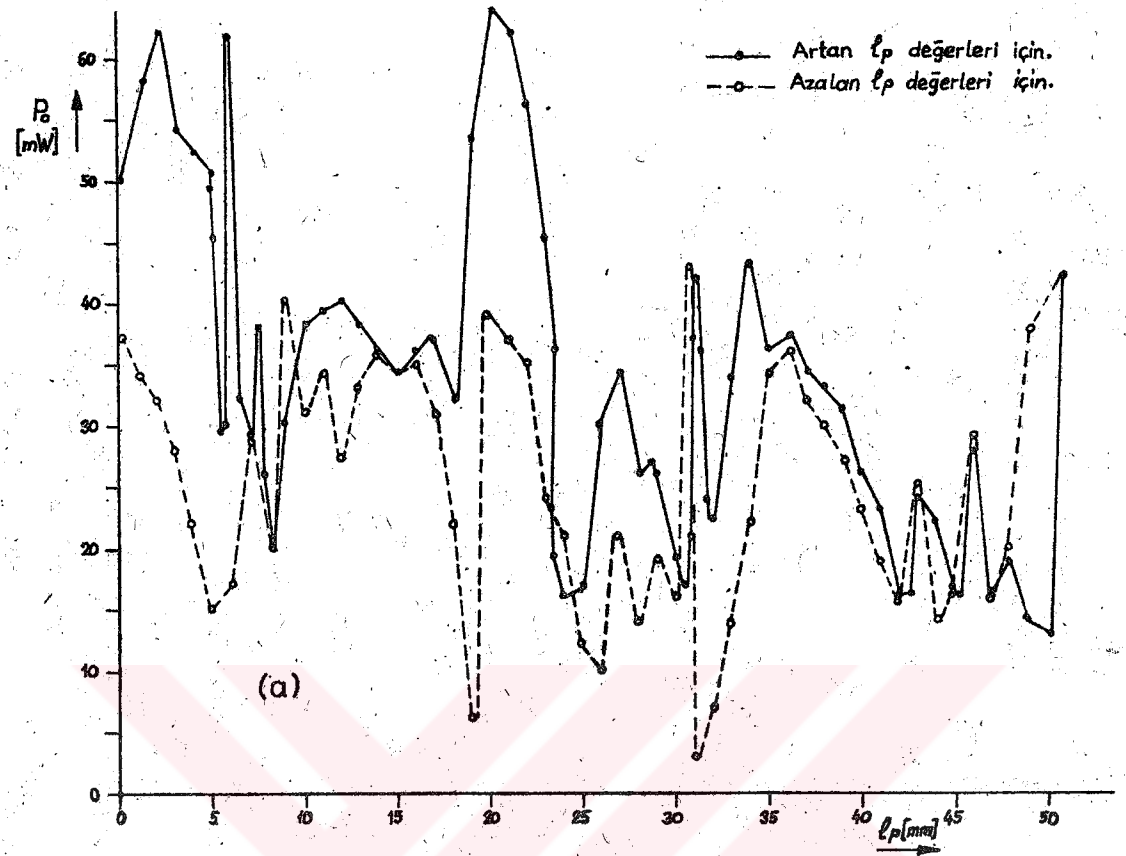


(a)

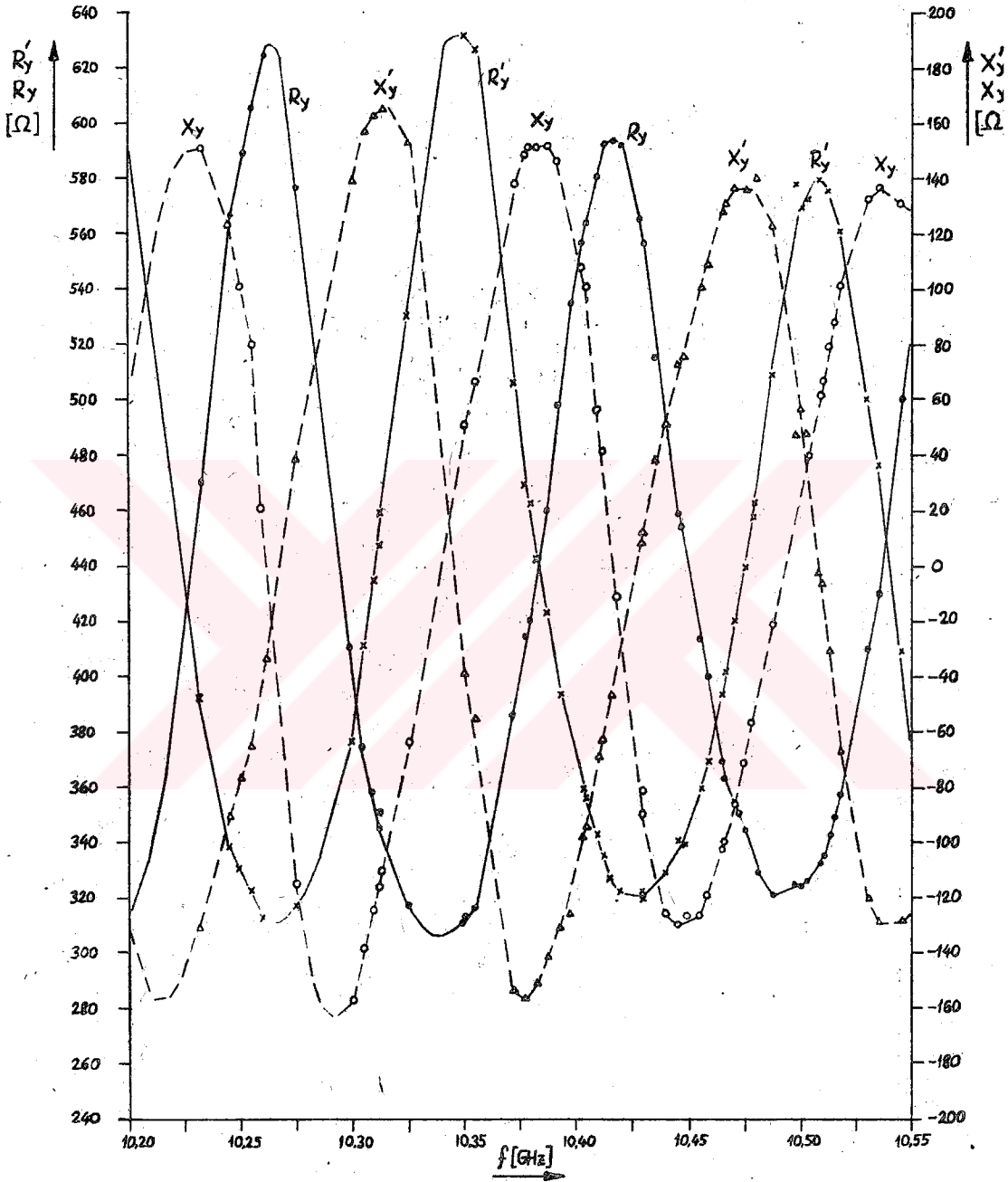


(b)

Şek.4.1 a) İki diyodlu Gunn - osilatör devresi. b) osilatörün frekans ve güç karakteristiklerinin ölçüldüğü deney düzeni.



Şek.4.2 İki diyodlu Gunn osilatöründe ayarlı piston konumlarına göre ölçülen a) frekans , b) güç karakteristikleri.



Şek.4.3 Şek.4.1 b'deki deney düzeninde,iki diyodlu osilatörün yük empedansı Z'_y ve bu empedansın D_1 diyodunun bulunduğu kesite indirgenmiş Z_y değerleri ($Z'_y \triangleq R'_y + jX'_y$ ve $Z_y \triangleq R_y + jX_y$).

BÖLÜM 5

İKİ DİYODLU GUNN OSİLATÖRÜNÜN ANALİZİ

Önceki bölümlerde pasif düzeni ve diyod admitansı ölçülerek belirlenen iki diyodlu Gunn osilatörünün, Bölüm 4'de verilen deney düzeni ile osilasyon frekansı ve güç karakteristikleri bulunmaktadır. Bu bölümde de lineer analiz yöntemleri ile, aynı eğrilerin osilatörün devre modelinden hesaplanarak elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bunun için önce osilatördeki osilasyon modlarına ilişkin analitik bağıntılar bulunmalıdır. Sonra bu bağıntıların osilatörün devre modelindeki parametre değerlerine göre çözümüne geçilmektedir. Devre modelindeki yük empedansı, diyod tutucu düzen parametreleri ve diyod admitansı değerleri, eğrilerle belirlendiğinden bağıntıların çözümleri grafik yöntemlerle yapılmaktadır.

Bu bölümde osilatörün analizi iki diyodlu devre modelinden tek diyodlu devre modeline geçerek yapılmaktadır. Elde edilen tek diyodlu osilatör devresi de, bu devreler için literatürde verilen sonuçlar kullanılarak, grafik yöntemlerle çözülmektedir. Bu şekilde bulunan frekans ve güç eğrileri bölüm sonunda analiz sonuçları ile birlikte verilmektedir.

5.1 OSİLATÖRÜN DEVRE MODELİ

Önceki bölümde frekans ve güç eğrileri çıkarılan osilatör devresinin (Şek.4.1a) devre modeli Şek.5.1'de gösterilmiştir. Bu devrede Z_y osilatörün yük empedansının, Z_k 'da ayarlı piston empedansının diyodlarının bulunduğu boru kesitine indirgenmiş değerlerini göstermektedir. Buradaki Z_y değerleri Şek.4.3'de verilmektedir. Z_k ise

$$Z_k = jZ_0 \cdot \tan \beta(\ell_1 + \ell_2) \quad \text{-----}(5.1)$$

'den hesaplanabilmektedir. Bu bağıntıdaki ve devre modelindeki Z_0 ve β

parametreleri, osilatörün dikdörtgen kesitli boru parçalarına ilişkin dominant moddaki karakteristik dalga empedansı ve propagasyon faz sabitidir. ℓ_p ise ayarlı kısa devrenin konumunu belirlemektedir. Ayrıca $\ell = 36.0$ mm ve $\ell_2 = 29.8$ mm'dir.

Devre modelinde, diyodlar diyod tutucu düzen parametreleri Z_1 , Y_2 ve n 'i içine alan diyod admitansları ile modellenmiştir. Bu Y_{Dp} diyod admitansına ilişkin eğriler Şek.3.3 ve Şek.3.4'de verilmektedir.

Osilatörün analizde kullanılan devre modelinde, diyod tutucu düzenin sadece Z_c parametresi açıkça bulunmaktadır. Bu parametrenin ölçülen değerleri Şek.2.6'da verilmiştir.

Osilatörde diyodların birbirine iki uçtan N_1 ve N_2 devreleri aracılığı ile ℓ uzunluklu bir hat parçası üzerinden bağlı olduğu Şek.5.1b'de görülmektedir. Bu pasif devrenin diyodların bulunduğu uçlara göre y - parametreleri, N_1 , N_2 ve hattın Şek.5.1b'deki notasyonlarla yazılan (5.2) bağıntılarından bulunabilir.

$$\begin{bmatrix} V_{1H} \\ -I_{1H} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{Z_c}{Z_c + Z_y} & -Z_c \\ \frac{1}{Z_c + Z_y} & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} \quad \text{-----}(5.2a)$$

$$\begin{bmatrix} V_{2H} \\ I_{2H} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{Z_c}{Z_c + Z_k} & -Z_c \\ \frac{1}{Z_c + Z_k} & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad \text{-----}(5.2b)$$

$$\begin{bmatrix} V_{1H} \\ I_{1H} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta \cdot l & j \cdot Z_0 \cdot \sin \beta \cdot l \\ j \cdot \frac{\sin \beta \cdot l}{Z_0} & \cos \beta \cdot l \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_{2H} \\ I_{2H} \end{bmatrix} \quad \text{-----}(5.2c)$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_0 + \frac{1}{Z_0 + Z_y} & -\frac{1}{\Delta} \\ -\frac{1}{\Delta} & y_0 + \frac{1}{Z_0 + Z_k} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad \text{-----}(5.3a)$$

$$y_0 \triangleq \frac{1}{\Delta} \cdot (\cos \beta l + j \cdot \frac{Z_c}{Z_0} \cdot \sin \beta l) \quad \text{-----}(5.3b)$$

$$\Delta \triangleq 2 \cdot Z_0 \cdot \cos \beta l + j \cdot [Z_0 + \frac{Z_c^2}{Z_0}] \cdot \sin \beta l \quad \text{-----}(5.3c)$$

Diyodlar arasındaki pasif düzenin y - parametreleri, $\Delta \neq 0$ koşulu altında (5.3) bağıntıları ile hesaplanabilmektedir. (5.3c)'deki Δ 'nın tanım bağıntısı,

$$\Delta = 2 \cdot R_c \cdot \cos \beta l - 2 \cdot \frac{R_c \cdot X_c}{Z_0} \cdot \sin \beta l + j \cdot [2 \cdot X_c \cdot \cos \beta l + (Z_0 + \frac{R_c^2 - X_c^2}{Z_0}) \cdot \sin \beta l] \quad \text{--}(5.4)$$

şeklinde yazılabilir. Burada R_c ve X_c , Z_c 'nin reel ve sanal kısımlarıdır. Bu bağıntıdan $R_c \neq 0$ için $\Delta \neq 0$ olduğu görülebilmektedir. Bu nedenle (5.3) bağıntısı osilatör devresinde diyodlar arasındaki pasif düzeni

bütün frekanslarda belirlemektedir.

5.2 OSİLATÖRDE OSİLASYON MODLARI

Bir osilatör devresinde her hangi bir osilasyon modunda osilasyon işaretinin sıfırdan farklı olmasının gerekeceği açıktır. Bu nedenle Şek. 5.1'deki osilatör devresinde de, osilasyon halinde, diyodlardan en az birinin uçlarındaki gerilim sıfırdan farklı olmalıdır. Buna göre devrenin osilasyonu için gerek koşul

$$\begin{bmatrix} V_1 & V_2 \end{bmatrix} \neq \begin{bmatrix} 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{-----(5.5)}$$

olarak alınabilir. Bu koşul altında devrenin akım ve gerilim bağıntıları Şek. 5.1b'den elde edilebilir :

$$I_1 = -Y_{Dp}(A_1, f) \cdot V_1 \quad \text{-----(5.6a)}$$

$$I_2 = -Y_{Dp}(A_2, f) \cdot V_2 \quad \text{-----(5.6b)}$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \triangleq \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{12} & y_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad \text{-----(5.6c)}$$

Bu bağıntılarda A_1 , V_1 'in A_2 'de V_2 'nin modülü, y_{11} , y_{12} ve y_{22} de diyodlar arasındaki pasif düzenin (5.3) bağıntıları ile verilen y- parametreleridir. Ayrıca $Y_{Dp}(A_1, f)$ ve $Y_{Dp}(A_2, f)$ admitansları da diyod tutucu düzen parametrelerini de içine alan kılıflı diyod admitanslarıdır. (5.6) bağıntılarından devrenin osilasyon frekansı ve gerilimlerin gözlemlendiği (5.7) bağıntısı bulunur.

$$\begin{bmatrix} y_{11} + Y_{Dp}(A_1, f) & y_{12} \\ y_{12} & y_{22} + Y_{Dp}(A_2, f) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = 0 \quad \text{-----(5.7)}$$

Bu bağıntıdan, $y_{12} \neq 0$ ve $y_{11} + Y_{Dp}(A_1, f) \neq 0$ için,

$$Y_D(A_2, f) = \frac{y_{12}^2}{y_{11} + Y_{Dp}(A_1, f)} - y_{22} \quad \text{-----}(5.8a)$$

$$V_2 = - \frac{1}{y_{12}} \cdot [y_{11} + Y_{Dp}(A_1, f)] \cdot V_1 \quad \text{-----}(5.8b)$$

yazılabilir. Ayrıca (5.8) bağıntılarının kapsamadığı osilasyon modu için de (5.7) bağıntısından,

$$y_{11}(f_0) + Y_{Dp}(A_1, f_0) = 0 \quad \text{-----}(5.9a)$$

$$y_{22}(f_0) + Y_{Dp}(A_2, f_0) = 0 \quad \text{-----}(5.9b)$$

$$y_{12}(f_0) = 0 \quad \text{-----}(5.9c)$$

elde edilir. Ölçülen R_c ve X_c değerleri için (5.3c) bağıntısından görülebildiğine göre bütün frekanslarda Δ sonlu kalmaktadır. Bu nedenle (5.9c) bağıntısını sağlayan f_0 çözümü yoktur. Buna göre (5.7) bağıntısının bütün çözümleri (5.8) bağıntılarından elde edilebilecektir.

(5.8) bağıntılarının formu tek diyodlu osilatör devresindeki bağıntıların formuna benzetilebilir. Bu şekilde osilasyon işaretinin frekans ve genliklerinin bulunabilmesi ve ayrıca osilasyon işareti için kararlılık testinin yapılabilmesi basitleşmektedir. Buna göre (5.8) bağıntıları,

$$Y_D''(A_2, f) + \frac{1}{(Z_c + Z_k)} = 0 \quad \text{-----}(5.10a)$$

$$Y_D''(A_2, f) \triangleq Y_{Dp}(A_2, f) - \frac{y_{12}^2}{y_{11} + Y_{Dp}(A_1, f)} + y_0 \quad \text{--}(5.10b)$$

$$A_1 : |y_{12}| \cdot A_2 - |y_{11} + Y_{Dp}(A_1, f)| \cdot A_1 = 0 \quad \text{---(5.10c)}$$

şeklinde düzenlenebilir. Burada (5.10c) bağıntısı, (5.10b) bağıntısındaki A_1 parametresini tanımlamaktadır. y_{11}, y_o ve y_{12} parametreleri de (5.3) bağıntıları ile belirlenmektedir. $Y_{Dp}(A_1, f)$, diyod tutucu düzen parametrelerini de içine alan kılıflı diyod admitanslarıdır (Şek.3.3, Şek.3.4). Ayrıca $A_2 \triangleq |V_2|$ ve Şek.5.1b'den görüldüğü gibi $(Z_c + Z_k)$ empedansının uçlarındaki gerilimde V_2 'dir. Bu durumda (5.10a) bağıntısı, $Y_D''(A_2, f)$ aktif düzen admitansını $(Z_c + Z_k)$ 'da aktif düzen uçlarına indirgenmiş toplam pasif düzen empedansını gösterdiğine göre, tek di-yodlu osilatör devresindeki osilasyonun gerek koşuluna karşı düşmektedir [23]. Tek diyodlu osilatör devresinde osilasyonun kararlılık koşulu [32], (5.10a) bağıntısındaki aktif ve pasif düzen admitansları için yazılırsa,

$$\Delta_K \triangleq \frac{\partial B}{\partial f} \cdot \frac{\partial G_D''}{\partial A_2} - \frac{\partial G}{\partial f} \cdot \frac{\partial B_D''}{\partial A_2} > 0 \quad \text{-----(5.11a)}$$

$$G(A_2, f) + jB(A_2, f) \triangleq Y_D''(A_2, f) + \frac{1}{Z_c + Z_k} \quad \text{-----(5.11b)}$$

$$Y_D''(A_2, f) \triangleq G_D''(A_2, f) + j \cdot B_D''(A_2, f) \quad \text{-----(5.11c)}$$

elde edilmektedir. Burada kısmî türevler, (5.10) bağıntısının kararlılığı test edilecek bir (A_2, f) çözüm noktası için alınmaktadır. (5.11a) eşitsizliği (A_2, f) çözümü kararlı ise $\Delta_K > 0$ şeklinde sağlanmaktadır.

Osilatör devresinde bir osilasyon işaretine ilişkin (A_1, A_2, f_o) büyüklüklerinin (5.10) bağıntılarından A_2 ve f_o 'ı çözerek hesaplanması, (5.10c) bağıntısı A_2 'e göre çok değerli olduğundan zorlaşmaktadır. Bu

nedenle çözüme A_1 ve f_0 üzerinden gidilmesi daha uygun olmaktadır.(5.

10) bağıntıları bunun için,

$$Y'_D(A_1, f) + \frac{1}{Z_c + Z_k} = 0 \quad \text{-----}(5.12a)$$

$$Y'_D(A_1, f) \triangleq Y_{Dp}(A_2, f) - \frac{y_{12}^2}{y_{11} + Y_{Dp}(A_1, f)} + y_0 \quad \text{---}(5.12b)$$

$$A_2 \triangleq \frac{|y_{11} + Y_{Dp}(A_1, f)|}{|y_{12}|} \cdot A_1 \quad \text{-----}(5.12c)$$

formunda yazılabilir. Bu durumda,

$$Y'_D(A_1, f) = Y''_D(A_2(A_1, f), f) \quad \text{-----}(5.13)$$

olduğu görülmektedir. Buna göre kararlılık analizi de (5.11a) koşulundaki kısmi türevleri $Y'_D(A_1, f)$ admitans fonksiyonundan ve (5.12c) bağıntısından,

$$\frac{\partial Y''_D}{\partial A_2} = \frac{\left(\frac{\partial Y'_D}{\partial A_1} \right)}{\left(\frac{\partial A_2}{\partial A_1} \right)}, \quad \left(\frac{\partial A_2}{\partial A_1} \right) \neq 0 \quad \text{-----}(5.14a)$$

$$\frac{\partial Y''_D}{\partial f} = \frac{\partial Y'_D}{\partial f} - \frac{\partial Y''_D}{\partial A_2} \cdot \frac{\partial A_2}{\partial f} \quad \text{-----}(5.14b)$$

şeklinde bularak yapılabilecektir. Bu bağıntılarda türevler kararlılık analizi yapılan osilasyon moduna ilişkin (A_1, A_2, f_0) değerlerinde alınmaktadır.

Sonuç olarak iki diyodlu osilatör devresindeki bütün osilasyon frekansları ve A_1 , A_2 osilasyon genlikleri (5.12) bağıntılarından hesaplanabilir. Ayrıca osilasyonların kararlılık analizi de (5.11) ve (5.14) bağıntılarına göre yapılabilecektir.

5.3 OSİLAYON MODLARININ BULUNMASI

Osilasyon modlarını veren (5.12) bağıntılarında $Y_{Dp}(A_1, f)$ ve $Y_{Dp}(A_2, f)$ admitansları eğrilerle tanımlandığı için, osilasyon modlarının çözümünde grafik yöntemlerin gerektiği açıktır. Burada kullanılan grafik yöntemde (5.12a) bağıntısının çözümü,

$$-Y'_D(A_1, f) = \frac{1}{Z_c(f) + Z_k(f, l_p)} \quad \text{-----}(5.15)$$

şeklinde aranmaktadır. Bu bağıntıda Z_k , (5.1)'den hesaplanan ve ayarlı kısa-devre konumu l_p 'e de bağlı bir empedanstır. Z_c ise diyod tutucu düzen parametrelerinden biridir, ve Şek.2.6'da verilen değerlerdedir. $-Y'_D(A_1, f)$ admitansları da (5.12b) ve (5.12c) bağıntılarından, diyod tutucu düzen parametrelerini de içine alan kılıflı diyod admitansları $Y_{Dp}(A_1, f)$ ve $Y_{Dp}(A_2, f)$ 'e ilişkin eğrileri kullanarak hesaplanabilmektedir. Buradan elde edilen $A_2(A_1, f)$ eğrileri Şek.5.2'de, $-Y'_D(A_1, f)$ eğrileri de Şek.5.3'de gösterilmiştir.

Bu durumda (5.15) bağıntısını sağlayan çözümler, eşitliğin her iki tarafındaki admitanslara ilişkin eğrilerin kesişme noktalarından, a - ayarlı piston konumu l_p parametre olmak üzere belirlenir. Ancak çözümün bu şekilde admitans düzlemlerinde aranması $-Y'_D(A_1, f)$ admitansının A_1 ve f 'e göre parametrelili eğrilerin çizimini gerektirir. Bunun yerine (5.15) bağıntısını reel ve sanal kısımlarına ayırarak,

$$-G'_D(A_1, f) = \operatorname{Re} \left\{ \frac{1}{Z_c(f) + Z_k(f, \ell_p)} \right\} \quad \text{-----}(5.16a)$$

$$-B'_D(A_1, f) = \operatorname{Im} \left\{ \frac{1}{Z_c(f) + Z_k(f, \ell_p)} \right\} \quad \text{-----}(5.16b)$$

çözümün bu tek parametrelili eğrilerin kesişme noktalarından aranması daha kolay olmaktadır.

Buna göre ℓ_p 'nin sabit bir değeri için, (5.16a) ve (5.16b) bağıntıları yardımı ile, bu bağıntıların sağındaki admitansa ilişkin eğrilerin her bir noktasına bir A_1 parametresi karşı düşürülebilir. Bu durumda her iki eğrinin her bir noktasına karşı düşen A_1 değerleri, frekans aynı iken her iki eğri için de aynı oluyorsa, bu nokta aranan çözüm noktasıdır. Zira bu noktaya ilişkin (A_1, f) değerleri ℓ_p 'nin belirtilen değeri için (5.16) bağıntılarını aynı zamanda sağlamaktadır.

Yukarıda belirtilen çözüm noktasının bulunmasına ilişkin yöntemin $\ell_p = 9$ mm için bir uygulaması Şek.5.4'de açıkça gösterilmektedir. Bu şekilde grafik çözüm yönteminin üç adımda sonuca ulaştığı görülmektedir. İlk iki adımda (5.16a) ve (5.16b) eşitlikleri, eğrilerin kesiştirilmesi ile grafik olarak kurulmaktadır. Üçüncü adımda ise (Şek.5.4c), kesişme noktalarından hareketle kesikli eğrilerin her bir noktasına karşı düşürülen A_1 parametre değerleri, frekans aynı kalmak üzere karşılaştırılmaktadır. Bu iki eğrinin kesişme noktaları aranan (A_1, f) çözümünü verdiğinden Şek.5.4c'de görüldüğü gibi üç çözüm noktası bulunmaktadır. Bu noktalardan kararlılık koşulunu sağlayan noktalarda osilasyon olacağından devrenin gerçek çözümü kararlılık analizi ile tamamen belirlenir.

Eğer kararlılık analizi birden fazla çözüm noktasında kararlı çözüm veriyor ise bu durumda devrenin osilasyon frekansını, ℓ_p 'nin önceki değerinde devrede bulunan osilasyon frekansı belirlemektedir [6]. Buna göre devre, önceki osilasyon frekansına, ℓ_p 'nin değişim yönü ile belirli osilasyon frekansının değişim yönünde en yakın kararlı osilasyon frekansında çalışacaktır.

Şek.5.4'de $\ell_p = 9$ mm için elde edilen çözümlerden Q noktası için kararlılık analizi (5.11) ve (5.14) bağıntılarına göre yapılmaktadır. Kararlılık analizi için çözüm noktaları arasında ℓ_p 'nin değişim yönüne göre yukarıda belirtildiği bir öncelik sırası belirlenebildiğinden, artan ℓ_p değerlerinde $\ell_p = 9$ mm için önce Q noktasında kararlılık analizinin yapılması uygun olmaktadır. Kararlılık analizi için (5.11) ve (5.14) bağıntılarında kullanılan kısmi türevlerin Şek.5.2 ve Şek.5.3 eğrilerinden yaklaşık olarak nasıl elde edildiği aşağıda $\ell_p = 9$ mm için belirtilmiştir.

$(A_1, f)_Q = (5.7 \text{ V}, 10.422 \text{ GHz})$ osilasyon işareti için A_2 değerinin Şek.5.2a'dan yaklaşık 1.4 V olduğu görülmektedir. Buna göre kararlılık analizi için gereken $\frac{\partial A_2}{\partial A_1}$ ve $\frac{\partial A_2}{\partial f}$ kısmi türevleri, Şek.5.2 eğrilerinden,

Şek.5.5'de gösterildiği gibi

$$\frac{\partial A_2}{\partial A_1} = 0.1, \quad \frac{\partial A_2}{\partial f} = -0.05 \frac{\text{V}}{\text{MHz}}$$

olarak bulunmaktadır. Benzer şekilde, Şek.5.3 eğrilerinden, Şek.5.4a'da gösterildiği gibi, diğer türevler içinde

$$\frac{\partial}{\partial A_1} [-G'_D(A_1, f)] = -15 \frac{\text{mS}}{\text{V}}, \quad \frac{\partial}{\partial f} [-G'_D(A_1, f)] = -0.4 \frac{\text{mS}}{\text{MHz}}$$

$$\frac{\partial}{\partial A_1} \cdot [-B'_D(A_1, f)] = -15 \frac{mS}{V} \quad , \quad \frac{\partial}{\partial f} \cdot [-B'_D(A_1, f)] = -0.6 \frac{mS}{MHz}$$

elde edilir. Ayrıca Şek.5.4'den $f_0 = 10.422$ GHz için

$$\frac{\partial G_p}{\partial f} \triangleq \frac{\partial}{\partial f} \operatorname{Re} \left\{ \frac{1}{Z_c + Z_k} \right\} = -0.02 \frac{mS}{MHz}$$

$$\frac{\partial B_p}{\partial f} \triangleq \frac{\partial}{\partial f} \operatorname{Im} \left\{ \frac{1}{Z_c + Z_k} \right\} = 0.1 \frac{mS}{MHz}$$

değerleri elde edilir. $-Y'_D(A_1, f)$ 'nin yukarıda verilen kısmi türev değerleri (5.14) bağıntılarında kullanılırsa $-Y''_D(A_2, f)$ 'nin türevleri bulunur:

$$\frac{\partial}{\partial A_2} \cdot [-G''_D(A_2, f)] = -150 \frac{mS}{V} \quad , \quad \frac{\partial}{\partial f} \cdot [-G''_D(A_2, f)] = -7.9 \frac{mS}{MHz}$$

$$\frac{\partial}{\partial A_2} \cdot [-B''_D(A_2, f)] = -150 \frac{mS}{V} \quad , \quad \frac{\partial}{\partial f} \cdot [-B''_D(A_2, f)] = -8.1 \frac{mS}{MHz}$$

Bulunan değerlere göre (5.11) kararlılık ifadesi oluşturulur ise,

$$\Delta_K = (0.1 + 8.2) \cdot 150 - (-0.02 + 7.9) \cdot 150 = 48 \frac{(mS)^2}{V \cdot MHz} > 0$$

elde edilir. Buna göre $l_p = 9$ mm için elde edilen,

$$(A_1, f) = (5.7 V, 10.422 GHz) \text{ çözümü kararlı olmaktadır.}$$

Osilatör devresindeki ayarlı piston konumunun her bir l_p değeri için osilasyon işaretinin frekansı ve A_1, A_2 genlikleri yukarıda belirtildiği gibi bulunabilir. Bu durumda devrede her bir diyoda üretilen

osilasyon gücü, bir (A_1, A_2, f_0) osilasyon modu için,

$$P_1 = \frac{1}{2} \cdot A_1^2 \cdot |G_{Dp}(A_1, f_0)| \quad \text{-----} (5.17a)$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \cdot A_2^2 \cdot |G_{Dp}(A_2, f_0)| \quad \text{-----} (5.17b)$$

bağıntılarından hesaplanabilir. Osilatör devresinden Z_y yüküne bu osilasyon işareti için aktarılan güçte Şek.5.1b'e göre,

$$P_0 \approx \frac{1}{2} \cdot A_1^2 \cdot \operatorname{Re} \left\{ \frac{1}{Z_c + Z_y(f)} \right\} \quad \text{-----} (5.18)$$

olmaktadır. Bu bağıntıdaki Z_y değerleri Bölüm 4'de ayrıca yapılan empedans ölçme deneyi ile belirlenmiş bulunmaktadır (Şek.4.3).

Sonuç olarak yukarıda verilen çözüm yöntemi ve kararlılık analizi ile, incelenen osilatör devresinin osilasyon frekansı ve A_1, A_2 genlikleri ayarlı pistonun her bir ℓ_p konumu için belirlenebildiğinden, osilatörün frekans ve güç eğrileri bu şekilde çıkarılabilecektir.

5.4 OSİLATÖRÜN FREKANS VE GÜÇ EĞRİLERİ

İki diyodlu devrede osilasyon işaretinin bundan önceki kısımda belirtildiği gibi, ayarlı piston konumunun artan ℓ_p değerleri için bulunan çözümleri ve bu çözümlere ilişkin kararlık analizinde kullanılan türev değerleri Ek-5'de verilmektedir. Burada görüldüğü gibi, her bir ℓ_p konumu için bulunan çözümlerden sadece bir tanesi kararlıdır. Bu nedenle ℓ_p 'nin artan ve azalan değerleri için çözümlerden elde edilecek frekans ve güç eğrileri birbirinin aynı olacaktır. Ek-5'de belirtilmeyen ve her ℓ_p konumu için elde edilen diğer kararsız çözümlerin, $(A_1, f_0)_1 = (7.5 \text{ V}, 10.405 \text{ GHz})$ ve $(A_1, f_0)_2 = (7.0 \text{ V}, 10.392 \text{ GHz})$ olmak

üzere hep $(A_1, f_0)_1$ ve $(A_1, f_0)_2$ şeklinde aynı değerlerde çıktığı görülmüş bulunmaktadır.

EK-5'deki değerlere göre artan ℓ_p değerleri için elde edilen frekans eğrileri Şek.5.6'da ve (5.18) bağıntısından hesaplanan yüke aktarılan güç değerleri Şek.5.7'de gösterilmektedir. Bu iki şekilde de görülen taralı bölgeler (5.11)'de tanımlanan ΔK kararlılık ifadesinin negatif olduğu Şek.5.8'de gösterilen taralı bölgelerine karşıdır. Bu nedenle taralı bölgelerde bulunan çözümler kararsız olduğundan, devrede, bu bölgelere ilişkin ℓ_p değerlerinde verilen frekanslarda osilasyon işareti bulunmaz.

Şek.5.9'da, osilatörün ayarlı kısa devrenin ℓ_p konumlarına göre hesaplanan frekans ve güç eğrilerinden çizilen yüke aktarılan gücün frekansla değişimi de gösterilmiştir. Burada hesaplanan değerlere karşı düşen deneysel sonuçlar ayrıca belirtilmektedir.

Osilatörde üretilen toplam gücün, diyodlara dağılımı Şek.5.10'da görülmektedir.

5.5 ANALİZ SONUÇLARININ ÖLÇÜLEN DEĞERLER İLE KARŞILAŞTIRILMASI

İki diyodlu osilatör devresinin hesaplanan frekans ve güç eğrilerinin Şek.4.2'de verilen ayarlı pistonun artan ℓ_p değerlerine ilişkin frekans ve güç eğrileri ile karşılaştırılmasından bu bölümde yapılan analiz için şu sonuçlara varılabilmektedir :

1) Osilasyon frekanslarının ayarlı kısa devrenin konumlarına göre değişimleri eğim ve değer bakımından az hata ile belirlenmektedir. Bu durumda frekans değerlerinde -100 MHz'lik sabit bir hata bulunmaktadır.

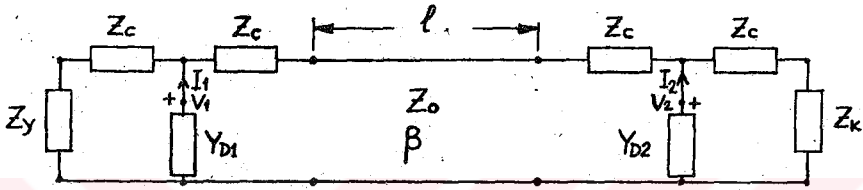
ii) Güç eğrilerinin ayarlı kısa devrenin konumlarına göre değişimleri de ortalama -10 % hata ile belirlenebilmektedir. Ayrıca güç eğrilerinin eğim bakımından da deneysel eğrilere uyduğu görülmektedir.

iii) Analizde kısa devrenin her iki yöndeki değişimleri için aynı osilasyon frekansları elde edilirken deneyde durum böyle olmamaktadır. Ancak deneysel eğrilerdeki ayarlı kısa devrenin rezonatör boyunu azaltan yöndeki sürekli değişimine karşı düşen osilasyon frekansları analizde kararsız çözümler şeklinde ortaya çıkmaktadır.

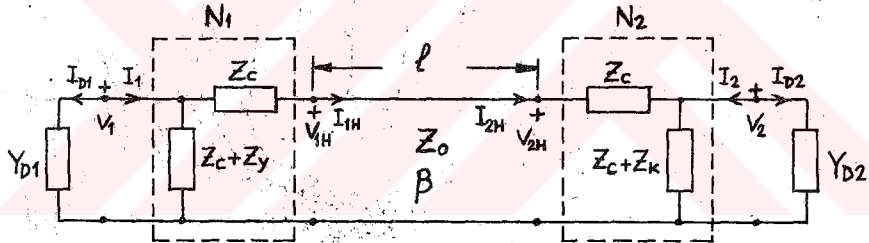
iv) Frekans eğrilerinin ve güç eğrilerinin ayarlı kısa devre konumlarına göre bir dereceye kadar periyodik olan yapısı, ayarlı kısa devre konumuna göre ortalama 1 mm'lik bir hata ile belirlenebilmektedir. Bu durumda periyodik değişimlerde alçak frekanslara karşı düşen kısımlar analizde, diyod admitansının ölçülemiyen bölgesine karşı düşmesi nedeni ile, bulunamamaktadır.

v) Şek.5.9'da görüldüğü gibi güç-frekans eğrisinin, deneysel eğri ile dalgalılık şekli ve güç seviyeleri bakımından benzerliği açıkça görülmektedir. İki eğri, 100 MHz'lik bir ötelenme ile birbirine çakışabilmektedir.

vi) Şek.5.10'da osilatörde üretilen toplam gücün diyodlar arasındaki dağılımı, her bir ayarlı kısa devre konumu için gösterilmiş bulunmaktadır. Şek.5.7'de verilen yüke aktarılan gücün ayarlı kısa devre konumuna göre değişimlerinden ve Şek.5.10'dan yararlanarak osilatörün pasif düzeninde kayıp olan osilasyon gücü belirlenebilmektedir.

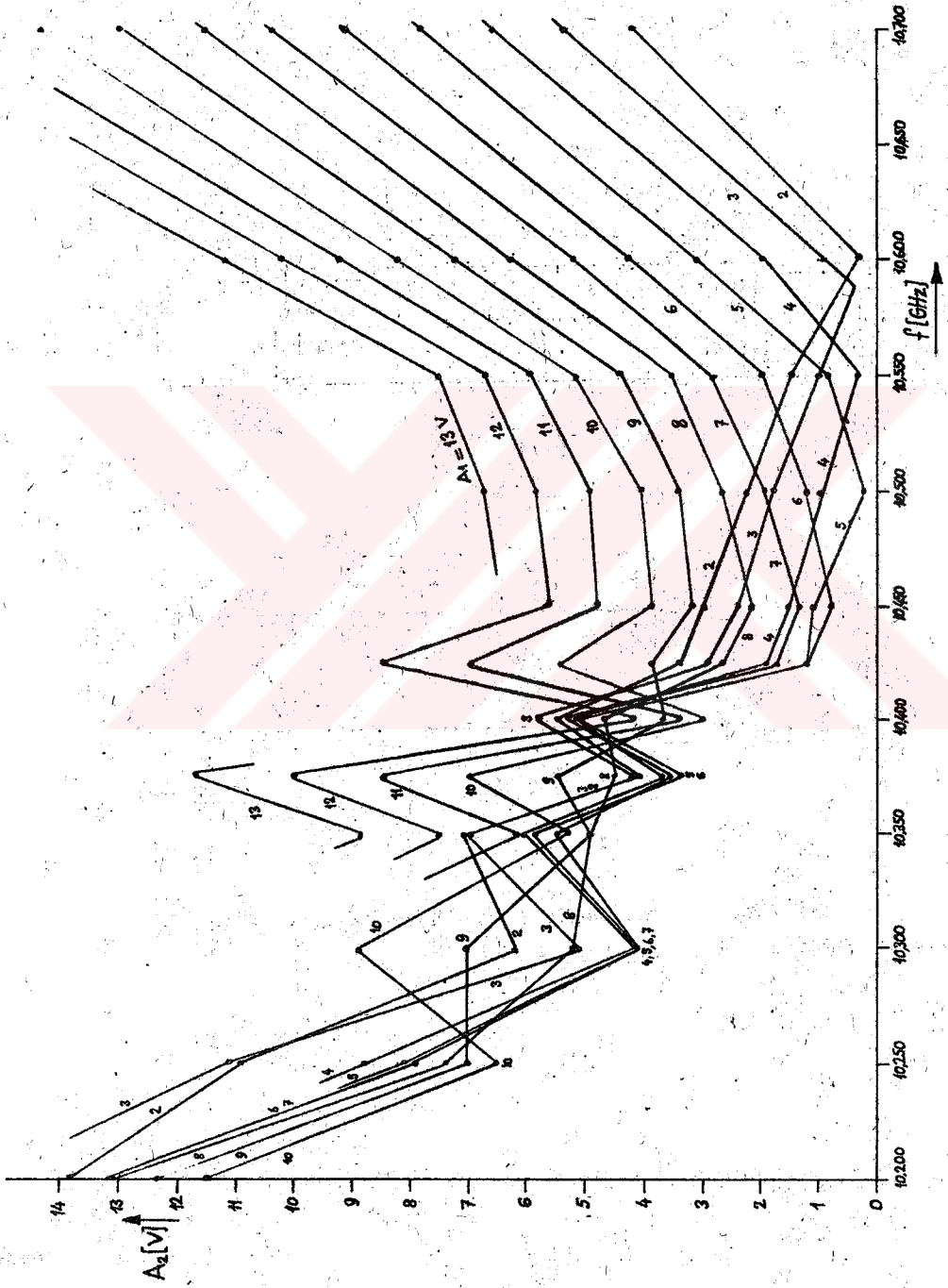


(a)

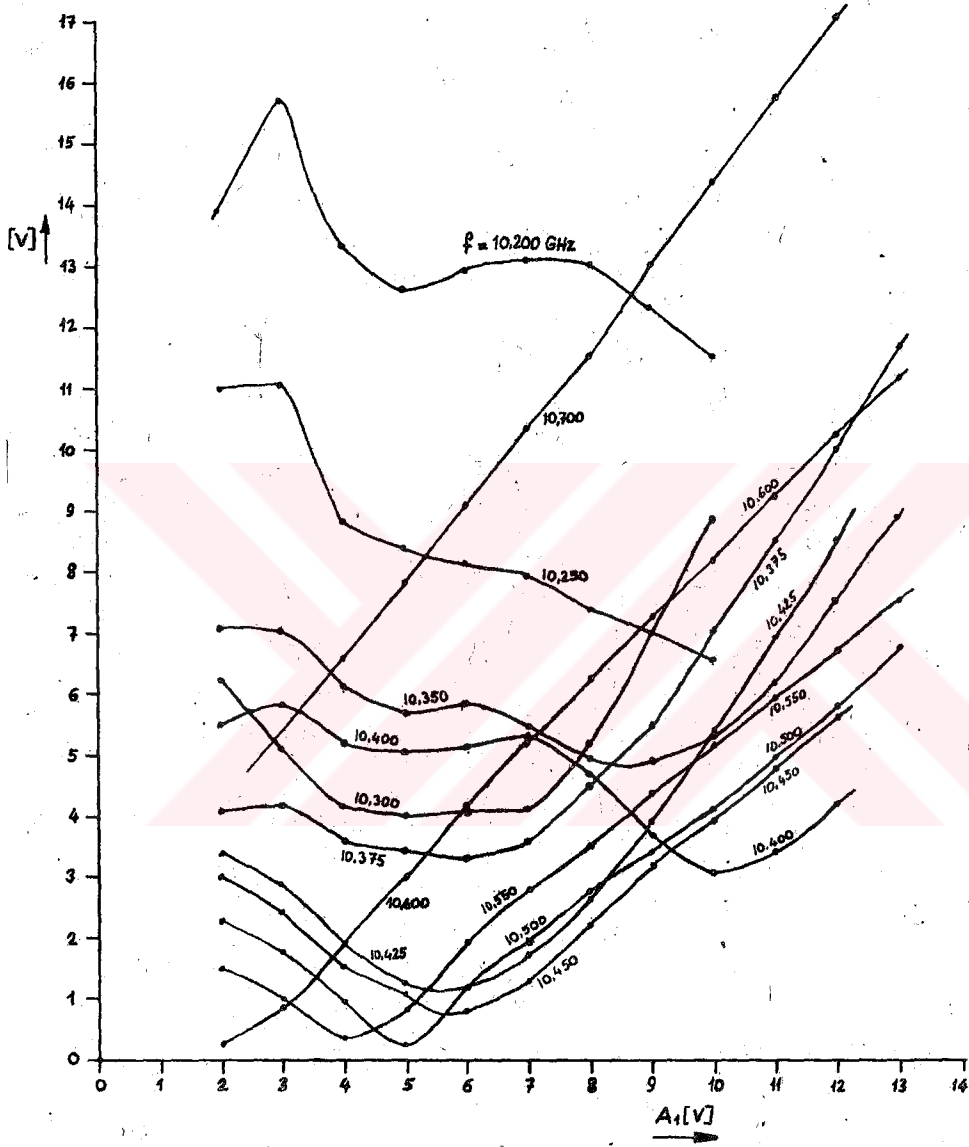


(b)

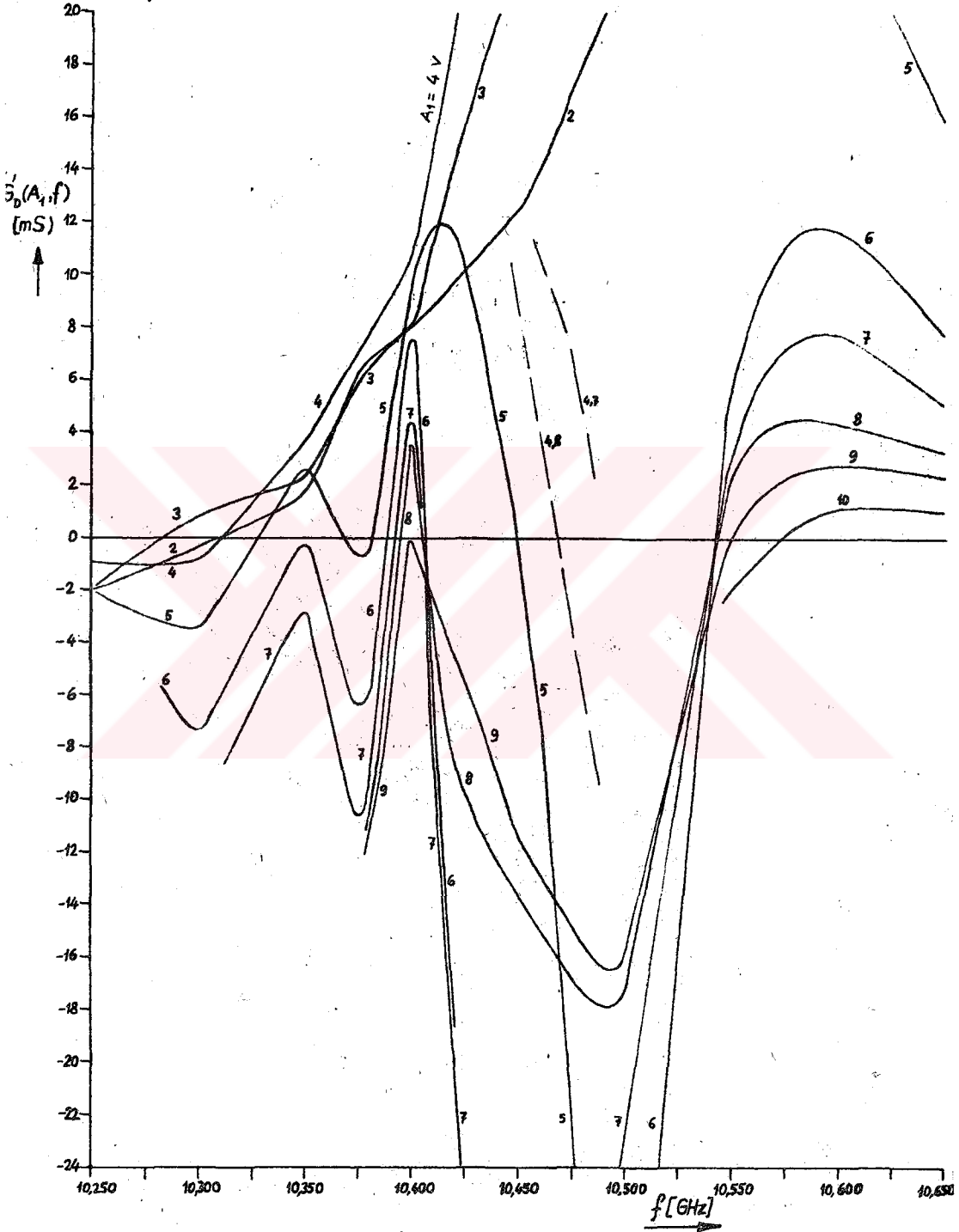
Şek.5.1 a) İki diyodlu Gunn osilatörünün devre modeli, b) diyodları birbirine bağlayan pasif düzen.



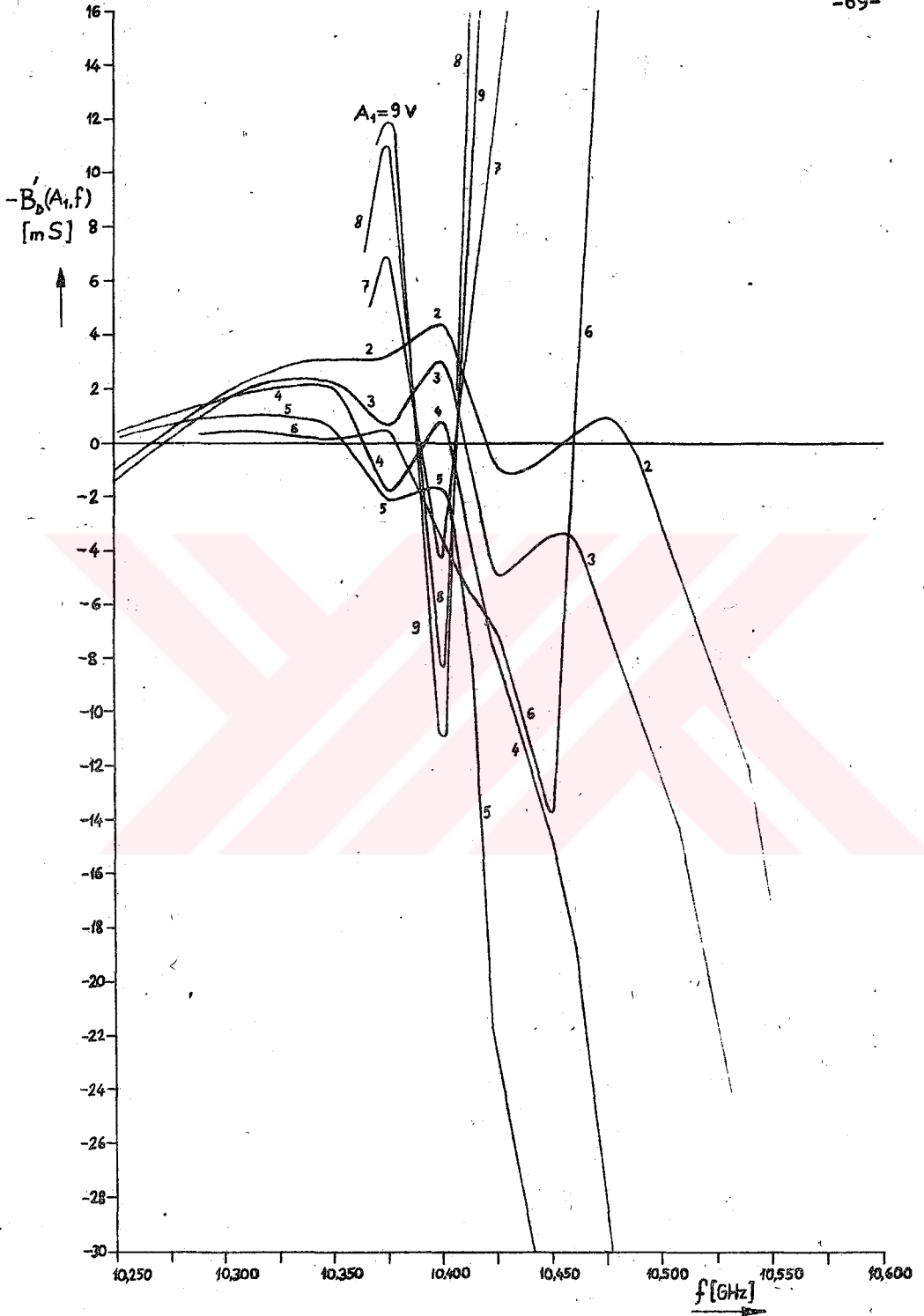
Şek.5.2 a (5.12 c) bağıntısından hesaplanan $A_2(A_1, f)$ değerleri için A_1 parametre olmak üzere çizilen eğriler.



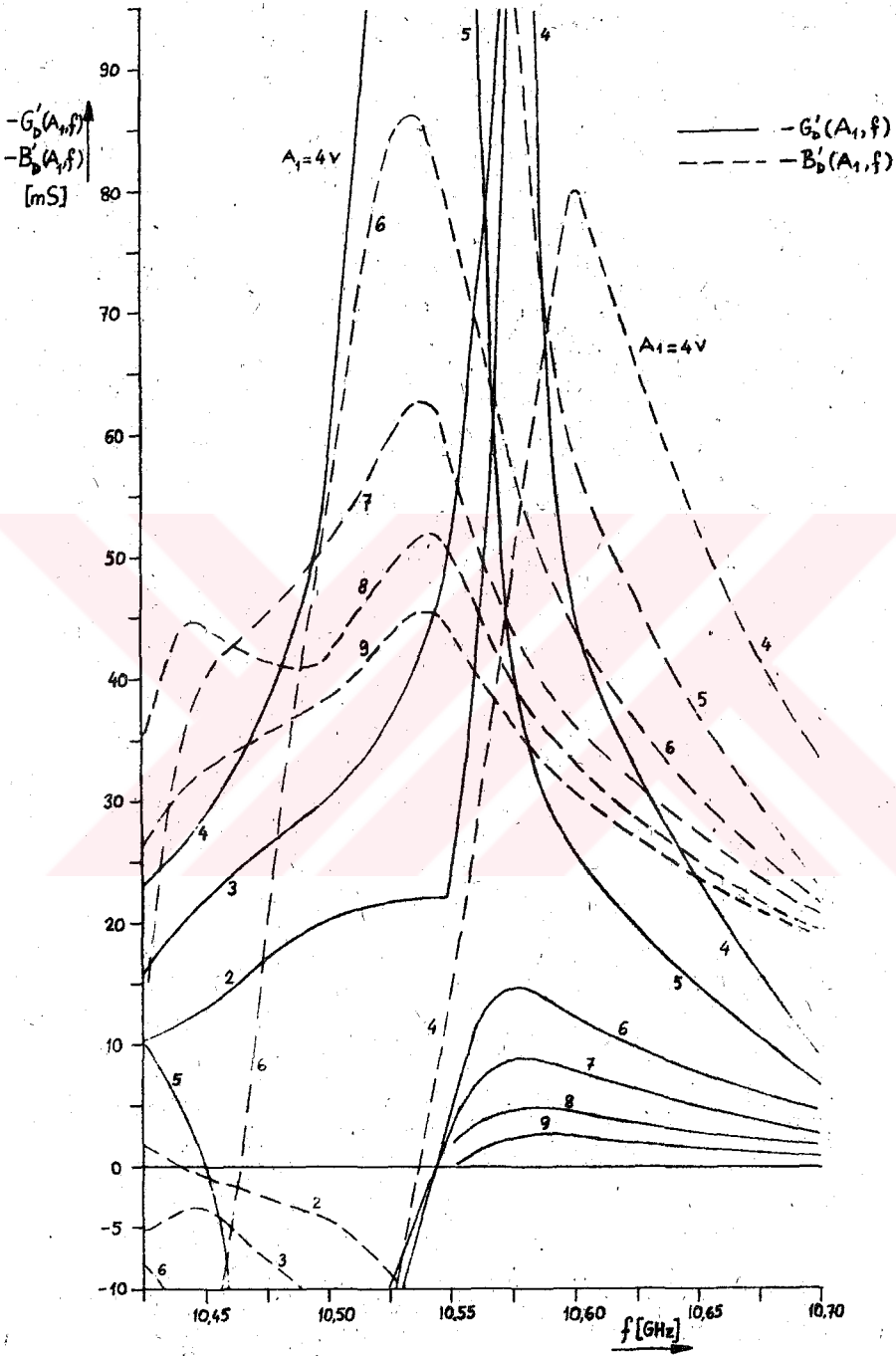
Şek.5.2 b (5.12 c) bağıntısından hesaplanan $A_2(A_1, f)$ değerleri için frekans parametre olmak üzere çizilen eğriler.



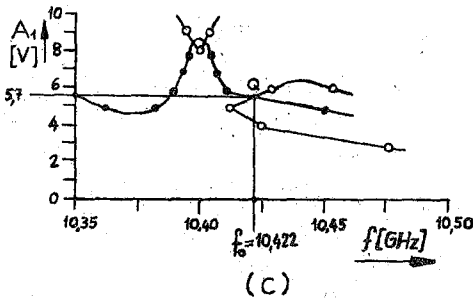
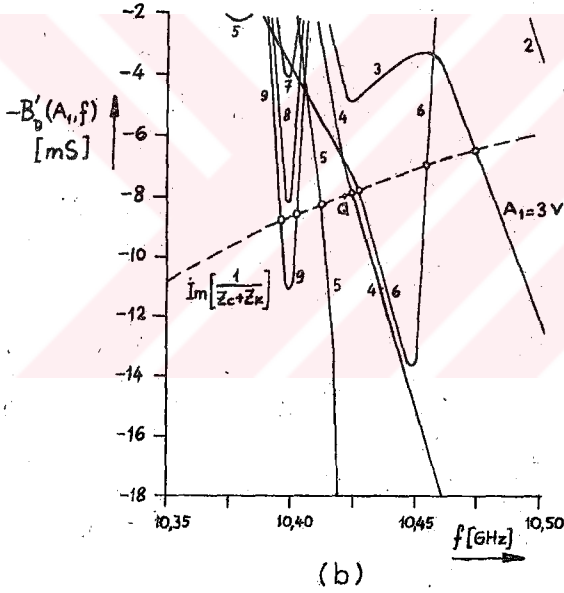
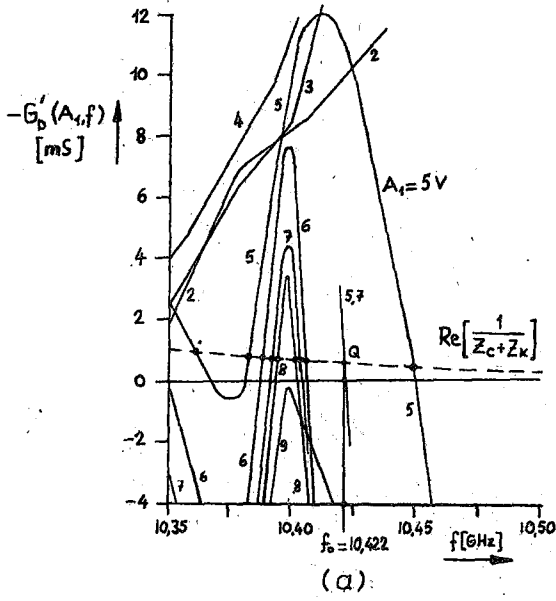
Şek.5.3 a (5.15) bağıntısındaki $-Y_D'(A_1, f)$ admitansının reel bileşeni.



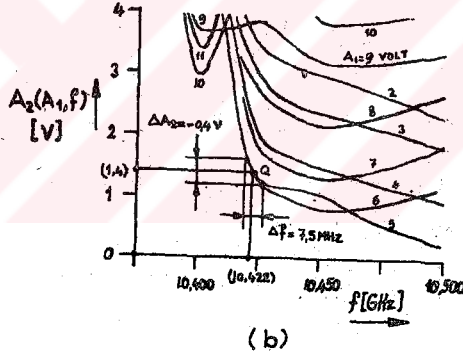
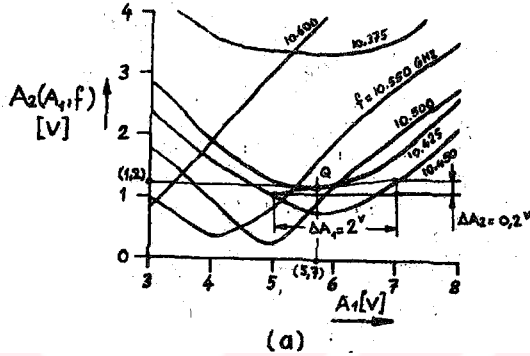
Şek.5.3 b (5.15) bağıntısındaki $-Y'_D(A_1, f)$ admitansının sanal bileşeni.



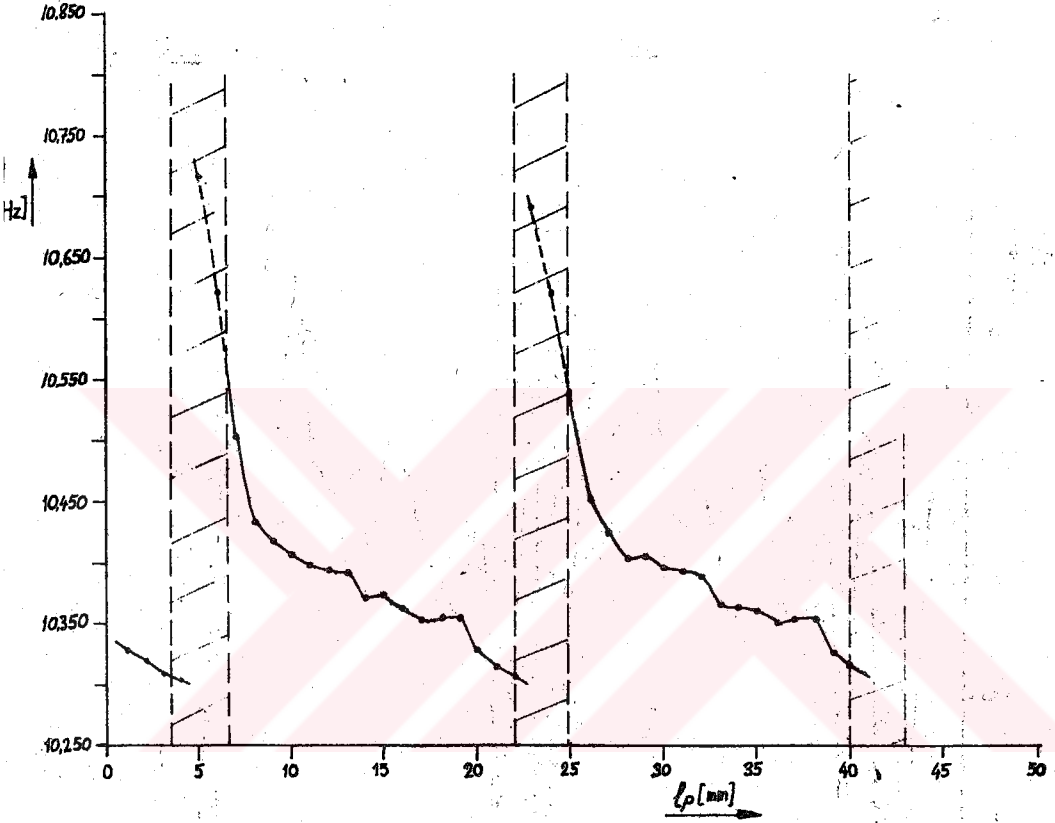
Şek.5.3 c (Şek.5.3a ve b'nin devamı.)



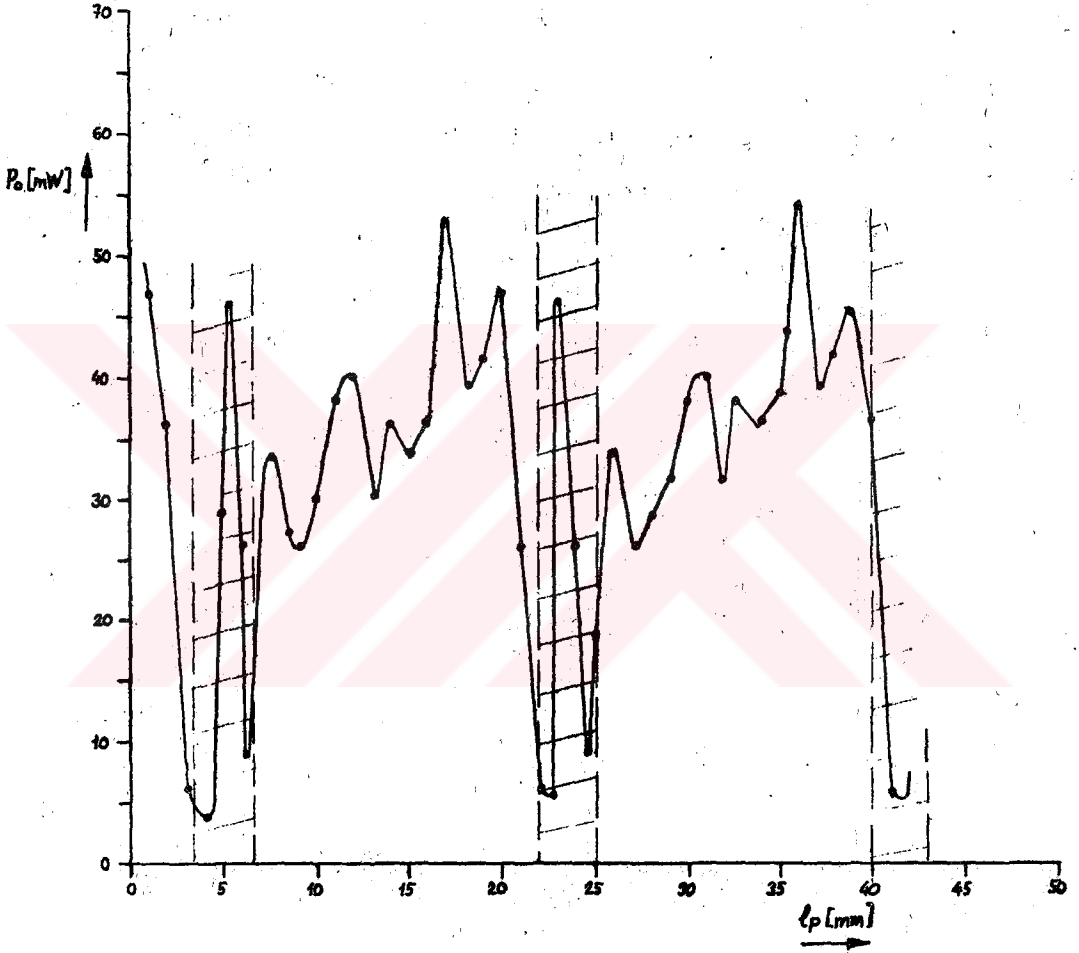
Şek.5.4 Osilasyon işaretinin frekans ve genliğinin $\ell_p = 9$ mm için grafik yöntemle bulunması.



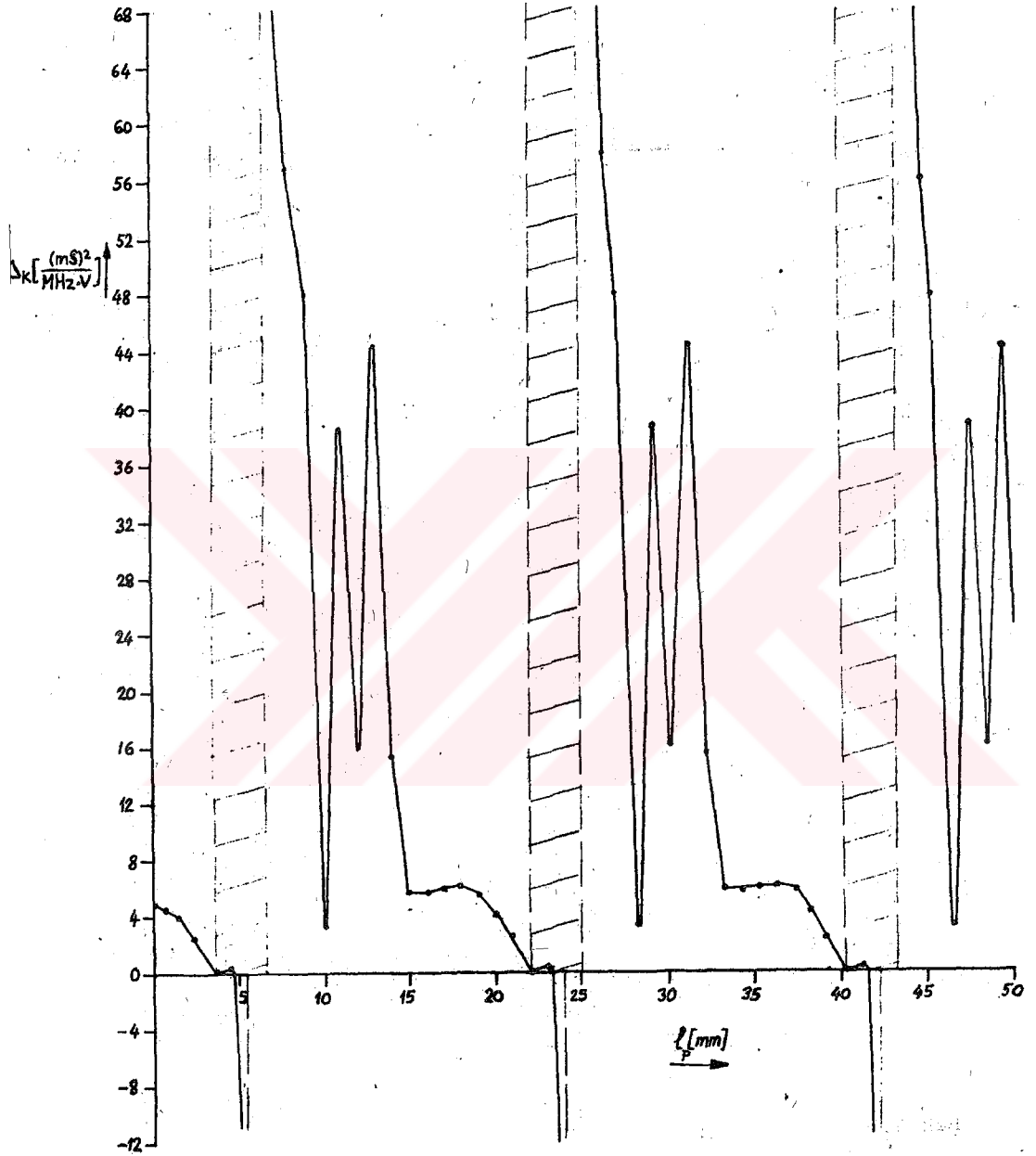
Şek.5.5 $\ell_p=9$ mm için elde edilen $(A_1, A_2, f_0) = (5.7 \text{ V}, 1.4 \text{ V}, 10.422 \text{ GHz})$ çözüm noktasındaki kısmi türevlerden a) $\partial A_2 / \partial A_1$ 'nin, b) $\partial A_2 / \partial f$ 'nin eğrilerden bulunması.



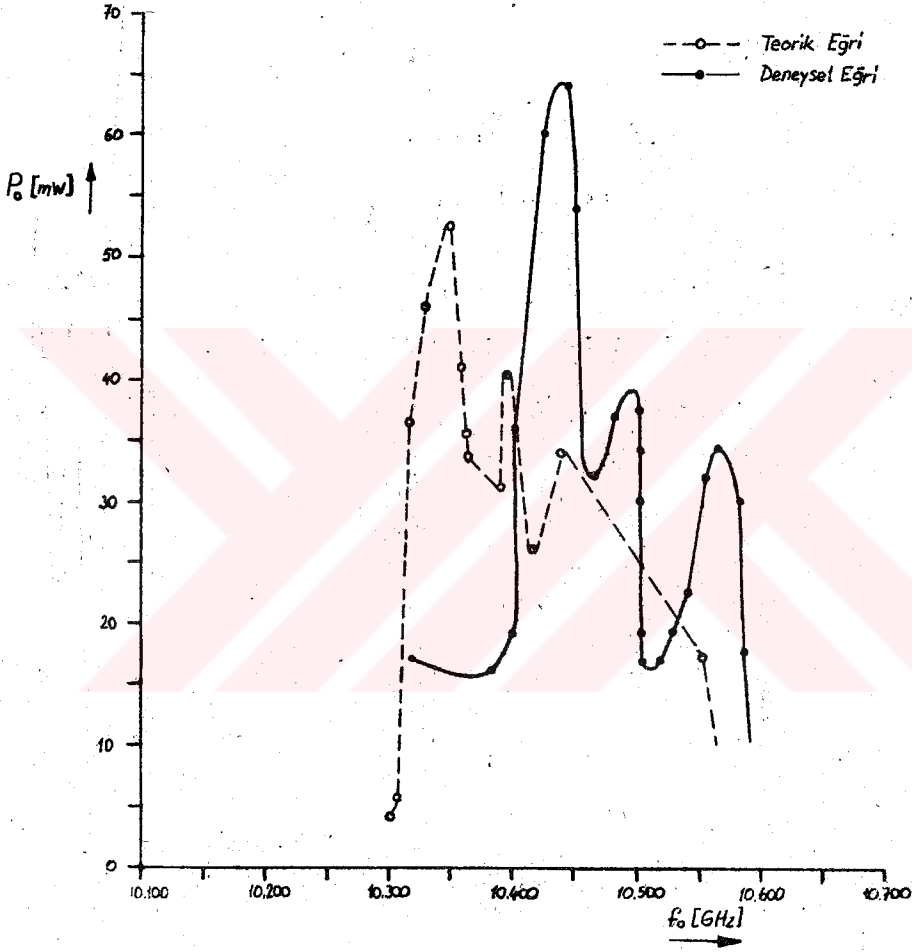
Şek.5.6 İki diyodlu Gunn osilatöründe ayarlı kısa devrenin l_p konumlarına göre hesaplanan frekans değerleri.



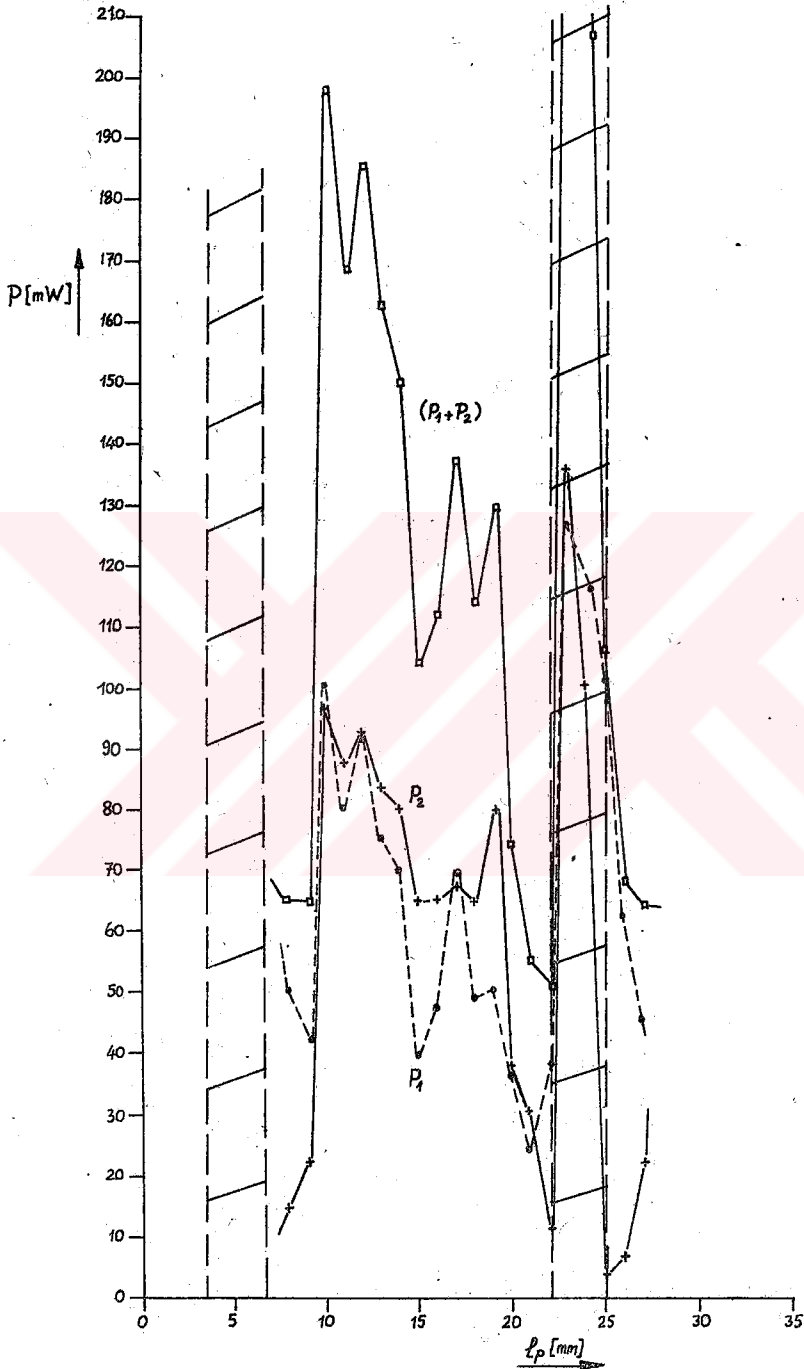
Şek.5.7 İki diyodlu Gunn osilatöründe ayarlı kısa devrenin l_p konumlarına göre hesaplanan çıkış gücü değerleri.



Sek.5.8 İki diyodlu Gunn osilatöründe ayarlı kısa devrenin l_p konumlarına göre hesaplanan osilasyon işaretlerine ilişkin Δ_K kararlılık ifadesinin değerleri.



Şek.5.9 İki diyodlu Gunn osilatöründe hesaplanan ve ölçülen çıkış gücü - frekans eğrileri.



Şek.5.10 İki diyodlu Gunn osilatöründe her bir diyodun ürettiği osilasyon güçleri P_1 ve P_2 ile devrede üretilen toplam osilasyon gücünün ayarlı piston konumlarına göre değişimleri.

BÖLÜM 6

S O N U Ç L A R

Bu tezde iki diyodlu bir Gunn osilatörünün frekans ve güç eğrilerinin, osilatörün devre modelini belirleyerek teorik yoldan çıkarılması amaçlanmaktadır. Osilatörün aktif ve pasif düzen parametrelerinin ölçülerek belirlendiği bu çalışmada, model parametre değerlerinin elde edilen değişimlerinin devrenin analizine aynen yansıtılmasını sağlamak için, ilgili bağıntıların çözümü grafik yöntemler ile yapılmaktadır. Analizle izlenen yolda önce iki diyodlu osilatörün devre modelinden indirgeme ile özdeş tek diyodlu osilatör devresinin devre modeline geçilmektedir. Sonra bu tek diyodlu osilatör devresinin analizi literatürde belirtilen yöntemler ile yapılmaktadır.

Bu durumda osilatör devresinin modellenmesi, model parametre değerlerinin belirlenmesi ve belirlenen devre modelinin analizi aşamalarında gerçekleştirilen özgün çalışmalar ve sonuçlar aşağıda verilmiştir :

1. Bölüm 2'de, osilatör pasif düzeninde önemli bir yer tutan besleme filtreli diyod tutucu düzenin bir devre modeli verilmiştir. Bu modelde gerçekleşen diyod tutucu düzenin tüm kayıtlarını karşılamak üzere devre modelinde Z_c elemanına bir de R_c reel bileşen eklenmiştir. Ayrıca bu parametre değerlerinin ölçülebilmesi için genel olarak bilinen bir ölçme yönteminin çalışmadaki ölçme sorununa bir uyarlaması yapılmıştır. Bulunan ölçme yönteminin hata sınırları da teorik çözümü bilinen bir devre üzerinde ölçme yaparak belirlenmiştir. Bu yöntem ile ölçülen besleme filtreli diyod tutucu düzen parametre değerleri Bölüm 2 sonunda verilmiştir. Ayrıca ölçülen parametre değerlerinin, filtresiz diyod tutucu düzenin ölçülen parametre değerleri ile karşılaştırılması sureti ile filtrenin etkisi ortaya konmuştur.

2. Bölüm 3'de Gunn diyodunun bir yarı-lineer eleman modeli çıkarılmaktadır. Bunun için önce ölçülen besleme filtreli diyod tutucu düzen ile bir osilatör devresi oluşturularak devrenin serbest osilasyon modlarındaki çıkış gücü ve osilasyon frekansları, bu moda karşı düğen yük ve ayarlı piston konumları ile birlikte ölçülmüştür. Sonra bu değerlerden Gunn diyodunun diyod admitansına geçilmiştir. Bu şekilde elde edilen diyod admitansı, kılıflı diyoda ilişkindir. Ancak iki diyodlu osilatör devresinin frekans ve güç karakteristiklerini belirlemede, bu kılıflı diyod admitansı yerine diyod tutucu düzen parametrelerini de içine alan diyod admitansını kullanmak daha uygun olmaktadır. Bu nedenle bölüm sonunda diyod admitansının diyod tutucu düzen parametrelerini de içine alan değerleri elde edilerek verilmiştir.

3. Analizi amaçlanan osilatör devresi, ölçülen diyodlar ve besleme filtreli diyod tutucu düzenle birlikte gerçekleştirilerek üzerinde çok sayıda deney yapılmıştır. Bölüm 4'de verilen bu deneylerde iki diyodlu osilatörün serbest osilasyon modlarındaki çıkış gücü ve osilasyon frekansı, bu moda karşı düğen ayarlı kısa devre konumu ve ayarlı yük ile birlikte belirlenmiştir. Ayrıca yapılan empedans ölçmeleri ile osilatörün gerçek yük empedansı her bir osilasyon modu için bulunmuştur. Bu şekilde güç ve frekans eğrileri ölçülen iki diyodlu osilatörün pasif düzeni her bir osilasyon modu için tamamen belirlenmiş olmaktadır. Deneyde birbirine yakın seri no'lu aynı tipten iki diyod kullanıldığından birisinin ölçülerek belirlenen yarı-iletken eleman modeli, diğer diyod için de aynen alınmaktadır.

4. Bölüm 5'de iki diyodlu osilatör devresinin belirlenen devre modelinden hareketle, osilatörün frekans ve güç eğrileri çıkarılmaktadır. Bu

amaç ile önce osilatörün tüm pasif düzeni uçlarında diyodların bulunduğu iki kapılı bir pasif devreye indirgenmiş, sonra bu devrenin y-parametrelerinin bütün frekanslarda tanımlı olduğu gösterilmiştir. Daha sonra buradan devrenin tüm osilasyon modlarına ilişkin analitik ifadeler elde edilmiştir. Analitik ifadeler tek diyodlu osilatör devresinin devre modeline ilişkin osilasyon koşuluna indirgendikten sonra, grafik yöntem ile osilasyon frekansı ve güç değerlerinin hesabına geçilmiştir. Bulunan çözümlerin kararlılık testi de eğrilerden belirlenen eğimlerle yapılmıştır. Bu şekilde elde edilen çözümler, ayarlı pistonun l_p konum değerlerine göre çizilmiş frekans ve güç eğrileri ile gösterilmiştir. Ayrıca bu iki eğriden ve deneysel sonuçlardan yararlanarak iki diyodlu osilatörün deneysel ve teorik güç-frekans eğrileri de bulunmuştur.

Bu şekilde analiz ile bulunan eğriler, deneysel eğrilerle karşılaştırıldığında analiz ile bulunan eğriler için aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir.

i) Çıkış gücünün ayarlı pistonun l_p konumlarına göre değişimleri, artan l_p değerleri için, güç bakımından -10 %, l_p bakımından da ~1 mm'lik bir hata ile belirlenebilmektedir.

ii) Osilasyon frekansının l_p değerlerine göre yaptığı dalgalanmalar, artan l_p değerler için, eğim bakımından iyi bir yaklaşıklıkla, l_p 'e göre yeri bakımından ise ortalama 1 mm hata ile belirlenebilmektedir. Ayrıca her bir l_p değerine karşı düşen deneysel ve teorik değerler arasında 100 MHz'lik sabit bir hata bulunmaktadır.

iii) Osilasyon gücünün frekansa göre değişimini veren eğrilerden de, deneysel eğrideki bütün dalgalanmaların 100 MHz'lik bir sabit frekans hatası ile teorik eğride bulunduğu ve dalgalanmalardaki sınır

değerlerinde, analiz ile, ortalama -10 % hata ile belirlenebildiği görülmektedir.

Sonuç olarak bu tezde iki diyodlu Gunn osilatöründeki güç ve frekans eğrilerinin, osilatörün modellenmesinde ve model parametrelerinin belirlenmesindeki doğruluğa bağlı olarak iyi bir yaklaşıklıkla çıkarılabileceği gösterilmiş bulunmaktadır.

Bu tezde gösterildiği gibi iki diyodlu osilatörün devre modelinden osilatörün frekans ve güç eğrilerinin hesaplanabilmesi ilk adımda iki diyodlu osilatör devresinde mod atlaması, diyodlardan maksimum osilasyon gücünün çekilerek yüke aktarılması sorunlarına teorik olarak çözüm aramaya olanak vermektedir. Zira bu sorunların çözümü, osilatörde ilgilenilen parametreye göre osilasyon frekansı ve gücündeki değişimlerin belirlenmesini gerektirmektedir.

Ayrıca diyod admitansındaki osilasyon genliği ve frekansına göre olan değişimlerin iki diyodlu osilatörün osilasyon frekansı ve gücü üzerindeki etkileri de bu analizle belirlenebileceğinden, diyod admitansı eğrilerinin analiz için daha basit ve uygun şekillere indirgenip indirgenemeyeceği de bu analizle incelenebilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] CHANG K. , SUN C. , " Millimeter - wave power - combining tech - niques, " IEEE Trans. Microwave Theory Tech. , vol, MTT - 31, pp. 91 - 107 , Feb.1983.
- [2] KUROKAWA K. , " The single - cavity multiple device oscillator," IEEE Trans. Microwave Theory Tech. , vol. MTT - 19, pp.793 - 801, Oct.1971.
- [3] DYDYK M. , " Efficient power combining," IEEE Trans. Microwave Theory Tech. , vol.MTT - 28 , pp.755 - 762 , July 1980.
- [4] KINMAN D.M. , WHITE D.J. , AFENDYKIW M. , " Symmetrical combiner analysis using S - parameters, " IEEE Trans.Microwave Theory Tech., vol. MTT - 30 , pp.268 - 277 , March 1982.
- [5] KUROKAWA K. , MAGALHAES F.M. , " An X - band 10 - watt multiple - IMPATT oscillator, " Proc. IEEE (Letters), vol.59,pp.102 - 103, Jan.1971.
- [6] KUROKAWA K. , " Some basic characteristics of broad band negative resistance oscillator circuits, " B.S.T.J., 48, No.6,pp.1937 - 1955 , July 1969.
- [7] FUKUI K. , NOGI S. , " Power combining ladder network with many active devices, " IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT - 28 , pp. 1059 - 1067 , Oct.1980.
- [8] ENDO T. , MORI S. , " Mode analysis of a multimode ladder oscil - lator, " IEEE Trans. Circuits Syst. , vol. CAS - 2B , pp. 100 - 113 , Feb.1976.

- [9] TAIWAR A.K. , " A dual - diode 73 - GHz Gunn oscillator, " IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.MTT - 27 , May 1979.
- [10] SUN C. BENKO E., TULLY J. W., " A tunable high - power V - band Gunn oscillator, " IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT - 27 , pp. 512 - 514 , May 1979.
- [11] CHANG K. , EBERT R.L., " W - band power combiner desing, "IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT - 28 , April 1980 , p. 295 - 305 .
- [12] PETERSON D.F., " Harmonic power combining of microwave solid - state active devices, " IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT - 30 , pp.260 - 268 , March 1982.
- [13] POTOCZNIAK J.J., JACOBS H., CASIO C.M.L., NOVICK G., " Power combiner with Gunn diode oscillators, " IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT - 30 , pp. 724 - 728 , May 1982.
- [14] MARCUVITZ N. " Waveguide Handbook, " McGraw - Hill , New York, 1951.
- [15] EISENHART R.L., KHAN P.J. "Theoritical and experimental analysis of a waveguide mounting structure " IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol.MTT - 19 , pp.706 - 719 , August 1971.
- [16] ÖNAL H. " Ölçü sonuçlarının dağılımı ve değerlendirilmesi, " İ.T.Ü.D. Cilt 19 , Sayı 4, 1961.
- [17] " Seminar on Vector Measurements of High Frequency Networks, " Hewlett Packard , Printed in U.S.A.
- [18] LEWIN L. " A contribution to the theory of probes in waveguides" Proc. Inst. Elec. Eng. Monogr. 259 R, pp. 109 - 116 , Oct. 1957.

- [19] EISENHART R.L. " Discussion of a 2 - gap waveguide Mount, " IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol. MTT - 24 , pp. 987 - 990 , Dec. 1976.
- [20] JOSEPH F.W. " Simplified theory for post coupling Gunn diodes to waveguide, " IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques , vol. MTT - 20 , pp. 372 - 378 , June 1972.
- [21] GELB A. and VELDE W.E.V.D. , Multiple - input Describing Functions and Nonlinear System Design. New York. McGraw - Hill , 1968.
- [22] GUSTAFSSON L., HANSSON G.H.B., LUNDSTROM K.I., " On the use of describing functions in the study of nonlinear active microwave circuits, " IEEE Trans. Microwave Theory and Tech. vol. MTT - 20, No. 6 , June 1972.
- [23] KUROKAWA K., " Injection locking of microwave Solid - state oscillators, " Proc. IEEE , vol. 61 , No. 10 , October 1973, pp. 1386 - 1410 .
- [24] HARTNAGEL H.L., KAWASHIMA M., " Negative TEO - diode Conductance by transient measurment and computer simulation, " IEEE Trans. Microwave Theory Tech. , vol. MTT - 21 , No. 7 , pp. 468 - 477 , July 1973.
- [25] KHANDLWAL D.D., CURTICE W.R., " A study of the single - frequency quenched - domain mode Gunn - effect oscillator, " IEEE Trans. Microwave Theory Tech. vol. MTT - 18 , No.4 , pp. 178 - 187 , April 1970.
- [26] HOWES M.J., JEREMY M.L., " Large signal circuit characterization of solid - state microwave oscillator devices," IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED - 21 , No.8 , August 1974 , pp. 488 - 499.

- 7] YOUNG J.C.T., STEPHENSON I.M., " Measurement of the large - signal characteristics of microwave solid - state devices using an injection - locking Tech. , " IEEE Trans. Microwave Theory Tech., pp. 1320 - 1323 , December 1974.
- 28] HOBSON G.S., " The Gunn effect," Clarendon Press Oxford, 1974.
- 29] ASHOK K.T. " A dual - diode 73 - GHz Gunn oscillator, " IEEE Trans. Microwave Theory and Tech. vol. MTT - 27 , pp. 510 - 512 , May 1979.
- 30] YOUNG E.M., CHENG S. " 1 - W millimeter - wave Gunn diode combiner, " IEEE Trans. Microwave Theory and Tech. vol. MTT - 28 , No. 12 , December 1980.
- [31] JETHWA C.P., GUNSHOR R.L. " An analytical equivalent circuit representation for waveguide mounted Gunn oscillators, " IEEE Trans. Microwave Theory and Tech. vol. MTT - 20 , pp. 565 - 572 , September 1972.
- [32] ENDERS G., " Stability and linearity of frequency modulated and injection locked oscillators for communications systems, " Ericsson Technics , No. 4 , pp. 253 - 308 , 1976.

E K L E R

EK - 1

Diyod tutucu düzen parametrelerini ölçmek için geliştirilen ölçme yönteminin sınındığı ölçme deneyine ilişkin sonuçlar (Şek.2.1 ve Şek. 2.2 a'daki notasyonlara ve ölçü düzenine göre).

Tablo 1.1 Ölçülen yansıma katsayıları ve bunlara ilişkin ölçü düzeni hatası indirgenmiş diyod tutucu düzen kesitindeki normalize em - pedanslar.

f (GHz)	ρ'_{gii}		ρ'_{gi}		$l_1 = 30.43\text{mm}$	$l_1 = 30.43\text{mm}$
	Modül	Açı	Modül	Açı	z_{gii}	z'_{gi}
10.0	1.00	2.5°	0.37	180°	0.001-j0.128	1.993+j0.490
10.1	1.00	-10°	0.28	165°	0.001-j0.114	2.223+j0.256
10.2	0.99	-17°	0.17	165°	0.001-j0.124	1.408+j0.154
10.3	1.01	-26°	0.08	155°	0.002-j0.114	1.180+j0.072
10.4	1.00	-33°	0.05	-30°	0.007-j0.128	0.906-j0.009
10.5	1.02	-45°	0.20	-45°	0.001-j0.107	0.659-j0.059
10.6	1.02	-55°	0.34	-55°	0.006-j0.127	0.499-j0.097
10.7	1.02	-67°	0.53	-67°	0.002-j0.096	0.309-j0.091
10.8	1.02	-77°	0.70	-77°	0.001-j0.114	0.189-j0.108
10.9	1.01	-86°	0.87	-86°	0.001-j0.094	0.075-j0.094
11.0	1.02	-96°	0.87	-96°	0.000-j0.094	0.071-j0.094

Tablo 1.2 (Tablo 1.1 'in devamı.)

f (GHz)	$l_1 = 30.57 \text{ mm}$	$l_1 = 30.57 \text{ mm}$	$l_1 = 30.43 \text{ mm}$	$l_1 = 30.57 \text{ mm}$
	z_{gII}	z'_{gI}	z_{gI}	z_{gI}
10.0	0.001-j0.150	1.950+j0.550	2.200-j0.128	2.200-j0.150
10.1	0.001-j0.137	2.200+j0.350	2.300-j0.114	2.300-j0.137
10.2	0.001-j0.148	1.390+j0.175	1.470-j0.124	1.470-j0.148
10.3	0.002-j0.137	1.175+j0.080	1.210-j0.114	1.210-j0.137
10.4	0.007-j0.152	0.906-j0.012	0.925-j0.128	0.925-j0.152
10.5	0.001-j0.131	0.665-j0.075	0.665-j0.107	0.670-j0.131
10.6	0.006-j0.152	0.505-j0.115	0.500-j0.127	0.505-j0.152
10.7	0.002-j0.128	0.310-j0.126	0.309-j0.096	0.310-j0.128
10.8	0.001-j0.139	0.190-j0.131	0.189-j0.114	0.190-j0.139
10.9	0.001-j0.122	0.075-j0.122	0.075-j0.094	0.075-j0.122
11.0	0.000-j0.120	0.072-j0.120	0.071-j0.094	0.072-j0.120

Tablo 1.3 Ölçü düzenine ilişkin hata modelini belirleme deneyinde ölçülen değerler ve buradan hesaplanan hata modeli parametre değerleri.

f(GHz)	$l_p(\text{mm})$	ρ_{m2}	$ E_{11} $	$\arg(E_{11})_{[D]}$	E_{22}	$E_{12}E_{21}$
10.0	9.75	1	0.010	-110	0.005+j0.021	1.003+j0.012
10.1	9.50	1	0.011	-60	-0.002+j0.010	1.002
10.2	9.40	0.98	0.010	-20	-0.017+j0.013	0.992+j0.010
10.3	9.34	1	0.011	10	-0.008+j0.023	1.002+j0.026
10.4	9.25	1	0.012	50	-0.005+j0.026	1.001+j0.036
10.5	9.17	1	0.011	110	0.005+j0.037	1.000+j0.047
10.6	8.89	1.02	0.007	150	0.018+j0.019	1.012+j0.022
10.7	8.76	0.99	0.005	175	-0.002+j0.023	0.992+j0.023
10.8	8.50	1.02	0.005	-130	0.015+j0.003	1.012
10.9	8.44	0.99	0.005	-70	-0.009+j0.016	0.992+j0.011
11.0	8.24	1	0.007	-20	-0.004-j0.001	1.002-j0.003

Besleme filtreli diyod tutucu düzenin devre modeline ilişkin parametrelerini belirlemek için yapılan deneylerde elde edilen değerler (Şek.2.2 a , Şek.2.3 ve Şek.2.5 'deki notasyonlara ve ölçü düzenine göre).

Tablo 2.1 Ölçülen giriş yansımaya katsayısı değerleri.

f [GHz]	$(\rho_{g2})_i$ ($C_2=0.80$ pF, $i=2$)		$(\rho_{g2})_{ii}$ ($C_2=0.80$ pF, $i=2$)		$(\rho_{g1})_i$ ($C_1=0.03$ pF, $i=1$)		$(\rho_{g1})_{ii}$ ($C_1=0.03$ pF, $i=1$)	
	Modül	[D]	Modül	[D]	Modül	[D]	Modül	[D]
10.647	0.500	130	0.980	-50	0.760	-29	0.990	-29
10.657	0.520	130	0.975	-50	0.745	-32	0.980	-32
10.665	0.515	120	0.965	-60	0.730	-33	0.960	-33
10.670	0.515	120	0.960	-60	0.720	-34	0.955	-34
10.675	0.515	120	0.965	-60	0.715	-34	0.950	-34
10.682	0.525	120	0.985	-60	0.715	-34	0.965	-34
10.660	0.510	120	0.970	-60	0.740	-32	0.975	-32
10.655	0.500	120	0.980	-60	0.750	-31	0.980	-31
10.651	0.500	120	0.980	-60	0.750	-30	0.980	-30
10.644	0.490	130	0.970	-50	0.750	-27.5	0.975	-27.5
10.581	0.400	130	1.000	-50	0.830	-26	1.005	-26
10.383	0.160	150	0.980	-30	0.895	-7	1.000	-7
10.386	0.170	150	0.980	-30	0.890	-7	0.990	-7
10.389	0.175	150	0.970	-30	0.875	-7	0.980	-7
10.395	0.190	150	0.975	-30	0.870	-6	0.965	-6
10.410	0.225	150	1.000	-30	0.885	-7	0.995	-7
10.402	0.205	150	1.000	-30	0.870	-6	0.980	-6
10.397	0.195	150	0.980	-30	0.865	-6	0.965	-6
10.393	0.190	150	0.970	-30	0.865	-6	0.965	-6
10.378	0.150	150	1.010	-30	0.920	-6	1.025	-6
10.208	0.465	-20	1.000	-20	0.910	10	0.980	10
10.210	0.465	-23	1.000	-23	0.910	10	0.985	10
10.205	0.465	-20	1.000	-20	0.900	10	0.975	10
10.203	0.465	-20	1.000	-20	0.900	10	0.980	10
10.199	0.465	-18	0.980	-18	0.890	10	0.960	10
10.196	0.465	-20	0.975	-20	0.895	10	0.965	10
10.193	0.465	-20	0.970	-20	0.905	10	0.965	10
10.188	0.465	-20	0.980	-20	0.915	8	0.985	8
10.184	0.465	-20	1.000	-20	0.940	8	1.010	8
10.040	0.250	-3	0.990	-3	0.960	25	0.970	25
10.045	0.250	-3	1.010	-3	0.960	25	0.980	25
10.047	0.250	-3	1.010	-3	0.960	25	0.990	25
10.049	0.250	-3	1.010	-3	0.970	25	1.000	25
11.052	0.670	100	0.980	-80	0.390	-70	0.980	-70
11.058	0.670	100	0.975	-80	0.380	-70	0.980	-70
11.065	0.675	100	0.960	-80	0.370	-70	0.960	-70
11.063	0.680	100	0.960	-80	0.380	-70	0.970	-70
10.610	0.450	130	1.010	-50	0.810	-26	1.000	-26
10.613	0.455	130	1.010	-50	0.810	-26	1.010	-26
10.732	0.560	120	1.010	-60	0.710	-40	1.010	-40
10.742	0.570	120	1.000	-60	0.700	-43	1.000	-43
10.750	0.565	120	0.980	-60	0.680	-45	0.980	-45
10.760	0.570	120	0.980	-60	0.670	-45	0.975	-45

Tablo 2.2 (Tablo 2.1 'in devamı.)

f [GHz]	$(\rho'_{g2})_{r'}$ ($C_2=0.80\text{pF}, i=2$)		$(\rho'_{g2})_{ir}$ ($C_2=0.80\text{pF}, i=2$)		$(\rho'_{g1})_{r'}$ ($C_1=0.03\text{pF}, i=1$)		$(\rho'_{g1})_{ir}$ ($C_1=0.03\text{pF}, i=1$)	
	Modül	[D]	Modül	[D]	Modül	[D]	Modül	[D]
10.745	0.570	120	0.985	-60	0.690	-45	0.995	-45
10.737	0.570	120	1.010	-60	0.720	-45	1.010	-45
10.740	0.570	120	1.010	-60	0.710	-45	1.005	-45
10.723	0.560	120	1.000	-60	0.720	-41	1.000	-41
10.506	0.320	130	0.990	-40	0.870	-20	0.990	-20
10.511	0.330	130	0.975	-40	0.850	-20	0.975	-20
10.514	0.330	130	0.975	-40	0.850	-20	0.970	-20
10.508	0.325	130	0.980	-40	0.870	-20	0.980	-20
10.526	0.335	130	0.995	-40	0.870	-20	0.975	-20
10.524	0.335	130	0.985	-40	0.860	-20	0.965	-20
10.522	0.335	130	0.975	-40	0.855	-20	0.965	-20
10.518	0.335	130	0.975	-40	0.860	-20	0.960	-20
10.515	0.320	140	0.975	-40	0.860	-20	0.965	-20
10.501	0.320	140	1.010	-40	0.890	-20	0.995	-20
10.493	0.320	140	1.010	-40	0.880	-15	0.990	-15
10.478	0.295	140	0.960	-40	0.840	-15	0.930	-15
10.859	0.615	110	0.975	-70	0.610	-55	0.970	-55
10.856	0.615	110	0.980	-70	0.620	-55	0.980	-55
10.850	0.610	110	0.985	-70	0.625	-50	0.980	-50
10.840	0.600	110	0.970	-70	0.620	-50	0.960	-50
10.836	0.590	110	0.960	-70	0.620	-50	0.960	-50
10.828	0.600	110	0.960	-70	0.645	-50	0.970	-50
10.845	0.600	110	0.980	-70	0.620	-50	0.960	-50
10.854	0.610	110	0.980	-70	0.625	-50	0.980	-50
10.358	0.100	150	0.990	-30	0.880	-5	0.975	-5
10.364	0.110	150	1.010	-30	0.900	-5	1.000	-5
10.368	0.120	150	1.020	-30	0.920	-5	1.020	-5
10.373	0.140	150	1.020	-30	0.930	-5	1.030	-5
10.370	0.130	150	1.030	-30	0.915	-5	1.020	-5
10.376	0.150	150	1.015	-30	0.935	-5	1.020	-5
10.432	0.250	150	0.960	-30	0.860	-10	0.945	-10
10.429	0.250	150	0.950	-30	0.860	-10	0.950	-10
10.418	0.235	150	0.985	-30	0.890	-8	0.990	-8
10.416	0.230	150	0.990	-30	0.895	-8	0.990	-8
10.420	0.240	150	0.980	-30	0.885	-8.5	0.980	-8.5
10.426	0.250	150	0.960	-30	0.870	-10	0.965	-10
10.433	0.255	150	0.950	-30	0.850	-10	0.940	-10
10.073	0.260	0.0	0.930	0.0	0.920	11.5	0.950	11.5
10.075	0.260	0.0	0.930	0.0	0.920	11.5	0.940	11.5
10.086	0.275	-10	0.975	-10	0.940	11.5	0.960	11.5
10.325	0.020	-20	1.000	-30	0.900	0.0	0.985	0.0
10.317	0.050	-30	0.980	-30	0.880	0.0	0.960	0.0
10.458	0.280	150	0.970	-30	0.890	-11	0.985	-11
10.463	0.280	150	0.945	-30	0.870	-11.5	0.960	-11.5
10.465	0.280	150	0.945	-30	0.870	-12	0.960	-12
10.456	0.280	150	0.970	-30	0.885	-12	0.980	-12
10.451	0.280	150	0.985	-30	0.890	-10	0.990	-10
10.443	0.260	150	0.975	-30	0.890	-12	0.990	-12
10.447	0.270	150	0.985	-30	0.885	-8	0.980	-8
10.438	0.255	150	0.960	-30	0.870	-8	0.950	-8

Tablo 2.3 Ölçü düzenine ilişkin hata modelini belirleme deneyinde a -
yarlı piston konumlarının ölçülen yansıma katsayısı değerleri.

f [GHz]	l_p [mm]	$ \rho_{m2} $	$\text{Arg}(\rho_{m2})$ [D]	f [GHz]	l_p [mm]	$ \rho_{m2} $	$\text{Arg}(\rho_{m2})$ [D]
10.647	5.090	0.980	74.0	11.065	19.44	1.01	117.0
10.657	4.965	1.000	75.5	11.066	19.34	1.00	120.0
10.665	4.860	0.990	77.0	11.063	19.21	1.00	124.0
10.670	4.780	0.980	78.5	11.065	19.11	1.00	125.0
10.675	4.670	0.980	82.0	10.610	22.86	1.01	79.0
10.682	4.530	0.980	85.0	10.613	22.74	1.01	82.5
10.660	4.565	0.995	85.5	10.732	22.17	0.98	83.0
10.655	4.790	0.995	81.5	10.742	22.00	0.99	87.0
10.651	4.885	0.995	80.0	10.750	21.80	0.98	87.0
10.644	4.970	0.980	79.0	10.760	21.51	0.98	92.0
10.656	4.980	1.000	77.5	10.745	21.45	0.98	97.5
10.650	5.125	0.990	75.0	10.737	21.85	0.99	91.0
10.647	5.295	0.985	71.5	10.744	21.92	0.99	88.0
10.651	5.430	0.990	69.0	10.740	22.03	1.00	86.0
10.581	5.275	1.040	72.0	10.723	22.30	0.98	84.0
10.383	6.675	1.030	35.0	10.506	24.10	0.98	63.5
10.384	6.600	1.020	49.0	10.511	23.99	0.97	66.0
10.386	6.500	1.020	50.0	10.512	23.91	0.96	67.0
10.389	6.390	1.005	51.5	10.514	23.84	0.96	68.0
10.395	6.175	0.995	57.0	10.512	23.81	0.96	68.5
10.393	6.260	1.000	57.0	10.508	23.78	0.98	70.0
10.388	6.555	1.010	50.0	10.508	23.70	0.98	71.0
10.378	6.810	1.050	45.0	10.513	23.50	0.96	75.0
10.378	6.955	1.050	43.0	10.526	23.18	0.96	80.5
10.210	7.625	1.010	33.0	10.527	23.21	0.96	80.0
10.208	7.720	1.010	30.5	10.524	23.47	0.96	75.5
10.410	6.105	1.005	58.5	10.522	23.59	0.96	73.0
10.402	6.365	1.000	57.0	10.518	23.71	0.96	70.5
10.397	6.470	0.995	54.5	10.515	23.83	0.96	68.5
10.210	7.625	1.010	34.0	10.506	23.94	0.98	67.0
10.208	7.565	1.010	35.0	10.501	24.07	0.99	65.0
10.205	7.510	1.015	27.5	10.493	24.21	1.00	64.5
10.203	7.460	1.000	38.0	10.478	24.45	0.98	59.5
10.201	7.410	1.000	38.5	10.859	3.29	1.00	108.0
10.199	7.380	0.990	39.0	10.856	3.38	0.99	106.5

Tablo 2.5 Ölçü düzenine ilişkin hata modelindeki E_{11} parametresinin
ölçülen değerleri.

f [GHz]	$ E_{11} $	$\text{Arg}(E_{11})$ [D]	f [GHz]	$ E_{11} $	$\text{Arg}(E_{11})$ [D]
10.859	0.032	-150	10.840	0.032	-150
10.828	0.032	-150	10.358	0.000	
10.364	0.000		10.376	0.000	
10.432	0.006	152	10.418	0.006	137
10.073	0.018	-140	10.086	0.018	-140
10.325	0.000		10.317	0.000	
10.458	0.011	160	10.465	0.011	170
10.443	0.008	160	10.451	0.009	165
10.426	0.007	140	10.581	0.021	-160

Tablo 2.4 (Tablo 2.3 'in devamı.)

f [GHz]	l_p [mm]	$ \rho_{m2} $	$\text{Arg}(\rho_{m2})$ [D]	f [GHz]	l_p [mm]	$ \rho_{m2} $	$\text{Arg}(\rho_{m2})$ [D]
10.196	7.350	0.990	38.5	10.850	3.63	0.990	102.0
10.193	7.320	0.990	38.5	10.840	3.79	0.980	97.5
10.192	7.245	1.000	40.0	10.836	3.88	0.975	95.0
10.193	7.135	0.990	42.5	10.828	4.07	0.990	92.0
10.199	7.120	0.990	43.0	10.841	3.92	0.980	96.0
10.199	7.180	0.990	42.0	10.836	3.86	0.980	95.5
10.198	7.260	0.990	41.5	10.845	3.75	0.980	98.5
10.197	7.350	0.990	38.5	10.854	3.58	1.000	102.5
10.195	7.435	0.990	37.5	10.857	3.44	1.000	105.0
10.195	7.450	0.990	37.5	10.358	6.68	1.000	47.0
10.194	7.220	0.995	40.5	10.364	6.51	1.020	51.5
10.192	7.590	1.000	33.0	10.368	6.35	1.030	55.0
10.192	7.650	1.000	32.0	10.373	6.13	1.050	57.5
10.188	7.745	1.000	28.0	10.369	6.35	1.040	55.0
10.184	7.860	1.020	26.0	10.370	6.49	1.040	52.5
10.040	8.840	0.990	3.5	10.373	6.36	1.050	54.0
10.045	8.665	1.020	18.0	10.368	6.62	1.040	50.0
10.046	8.565	1.030	20.0	10.359	6.87	1.005	44.5
10.047	8.495	1.030	22.0	10.376	5.85	1.050	63.0
10.049	8.290	1.030	23.0	10.432	4.52	0.980	88.5
10.048	8.270	1.030	25.0	10.429	4.73	0.990	84.5
11.052	19.755	1.000	111.5	10.418	4.08	1.005	97.5
11.058	19.615	1.010	115.5	10.416	4.31	1.005	93.0
10.417	4.140	1.005	97.0	10.318	6.01	0.960	62.0
10.416	3.860	1.000	102.5	10.458	5.50	1.000	70.0
10.417	4.100	1.005	98.0	10.463	5.00	1.000	80.0
10.420	4.350	1.005	92.5	10.465	4.69	1.000	86.0
10.426	4.455	0.995	89.5	10.456	5.02	1.005	80.0
10.433	4.470	0.980	90.0	10.451	5.58	1.000	70.0
10.073	8.280	0.955	24.0	10.443	5.93	0.975	63.0
10.075	8.060	0.960	28.0	10.447	5.78	0.990	66.5
10.086	7.975	0.990	30.5	10.438	6.05	0.970	61.0
10.325	6.070	0.980	61.0	10.434	6.17	0.970	58.0
10.317	6.125	0.960	59.0	10.426	6.31	0.995	90.0

Tablo 2.6 (Tablo 2.5 'in devamı.)

f [GHz]	$ E_{11} $	$\text{Arg}(E_{11})$ [D]	f [GHz]	$ E_{11} $	$\text{Arg}(E_{11})$ [D]
10.647	0.023	-153	10.657	0.023	-153
10.665	0.023	-153	10.670	0.023	-153
10.675	0.023	-153	10.682	0.023	-154
10.383	0.000		10.389	0.000	
10.395	0.000	-154	10.410	0.005	132
10.208	0.010	-147	10.199	0.011	-145
10.188	0.011	-154	10.184	0.011	-153
10.040	0.020	-137	10.049	0.019	-137
11.052	0.020	175	11.065	0.019	175
10.610	0.023	-155	10.732	0.030	-156
10.750	0.030	-157	10.760	0.030	-157
10.723	0.026	-155	10.506	0.015	-175
10.514	0.016	-173	10.526	0.016	170
10.493	0.013	175	10.478	0.013	177

Tablo 2.7 Tablo 2.1 'deki değerlerden ölçü düzeni ve rastlantısal hata indirgemesi yapılarak ve diyod tutucu düzenin bulunduğu kesite indirgenerek elde edilmiş yansıma katsayısı değerleri ve bunlardan hesaplanan diğer parametre değerleri.

f [GHz]	$(\rho_{g1})_1'$ ($C_1=0.03$ pF, $i=1$)		$(\rho_{g1})_{11}$ ($C_1=0.03$ pF, $i=1$)		$(\rho_{g2})_1'$ ($C_2=0.80$ pF, $i=2$)		$(\rho_{g2})_{11}$ ($C_2=0.80$ pF, $i=2$)	
	Modül	[D]	Modül	[D]	Modül	[D]	Modül	[D]
10.05	0.930	182	0.970	182	0.265	165	0.970	165
10.10	0.920	183	0.970	183	0.310	160	0.965	160
10.15	0.910	184	0.970	184	0.390	158	0.965	158
10.20	0.890	185	0.970	185	0.470	156	0.970	156
10.25	0.890	185	0.970	185	0.360	158	0.965	158
10.30	0.890	185	0.970	185	0.110	160	0.960	160
10.35	0.880	185	0.965	185	0.050	-30	0.960	162
10.40	0.865	186	0.965	186	0.200	-27	0.960	164
10.45	0.860	186	0.965	186	0.260	-25	0.960	164
10.50	0.850	186	0.965	186	0.300	-23	0.960	164
10.55	0.845	186	0.965	186	0.355	-21	0.960	164
10.60	0.800	186	0.965	186	0.420	-20	0.960	164
10.65	0.750	186	0.965	186	0.400	-18	0.970	164
10.70	0.725	186	0.965	186	0.540	-16	0.970	164
10.75	0.725	186	0.965	186	0.580	-16	0.970	166
10.80	0.680	186	0.965	186	0.595	-16	0.970	167
10.85	0.625	186	0.965	186	0.610	-16	0.975	168
10.90	0.570	187	0.970	187	0.630	-15	0.975	168
10.95	0.520	187	0.970	187	0.645	-15	0.975	168
11.00	0.465	187	0.970	187	0.660	-13	0.980	169
11.05	0.415	187	0.970	187	0.675	-11	0.980	170

Tablo 2.8 (Tablo 2.7 'nin devamı.)

f [GHz]	$(\rho_{g1})_1$ ($C_1=0.03$ pF, $i=1$)		$(\rho_{g2})_1$ ($C_1=0.80$ pF, $i=2$)		R_c [Ω]	X_c [Ω]	Z_{p1} [Ω]	Z_{p2} [Ω]
	Modül	[D]	Modül	[D]				
10.05	0.930	182	0.265	157	8	0.2	j7.9	j45.10
10.10	0.920	183	0.315	151	8	-2.6	j8.8	j42.90
10.15	0.910	184	0.395	151.5	8	-5.6	j9.6	j39.00
10.20	0.890	185	0.475	152	8	-7.8	j11.1	j38.10
10.25	0.890	185	0.360	152	8	-7.8	j11.1	j40.30
10.30	0.890	185	0.130	127	9	-7.8	j11.1	j56.90
10.35	0.880	185	0.100	46	9	-6.4	j12.4	j64.70
10.40	0.865	186	0.210	13	9	-9.1	j13.5	j76.20
10.45	0.860	186	0.270	8	9	-8.7	j13.8	j81.40
10.50	0.850	186	0.310	7	9	-8.0	j14.4	j82.80
10.55	0.845	186	0.360	5	9	-7.6	j14.7	j87.50
10.60	0.800	186	0.430	3	9	-4.9	j17.4	j95.00
10.65	0.750	186	0.497	2	7	-2.1	j20.1	j89.55
10.70	0.725	186	0.554	1.5	7	-0.8	j21.3	j96.67
10.75	0.725	186	0.580	1	7	-0.8	j21.3	j100.24
10.80	0.680	186	0.595	1	7	1.3	j23.4	j102.30
10.85	0.625	186	0.610	0.5	5	3.9	j25.9	j93.50
10.90	0.570	187	0.630	0.5	5	0.7	j26.4	j96.30
10.95	0.520	188	0.645	0.5	5	2.8	j28.4	j98.50
11.00	0.465	188	0.660	0.2	4	5.0	j30.5	j92.20
11.05	0.415	188.2	0.675	0.2	4	3.1	j32.3	j94.50

Diyod admitansını ölçme deneyinde ölçülen değerler (Şek.3.1 'deki notasyonlara göre).

Tablo 3.1 Diyod admitansını ölçmek için gerçekleştirilen osilatörde ayarlı yük ve kısa - devre konumlarına göre osilasyon frekansı ve gücü değerleri.

f_o [GHz]	P_o [mW]	l_p [mm]	$ \rho_y $	$Arg(\rho_y)$ [mm]	I_B [mA]
10.647	100	5.090	0.78	26.91	520
10.657	105	4.965	0.78	26.91	515
10.670	140	4.780	0.78	26.91	518
10.675	160	4.670	0.78	26.91	520
10.682	180	4.530	0.78	26.91	520
10.660	188	4.565	0.78	30.14	520
10.655	160	4.790	0.78	29.45	518
10.651	140	4.885	0.78	29.39	515
10.644	120	4.970	0.78	29.70	515
10.656	100	4.980	0.78	26.80	515
10.650	80	5.125	0.78	25.43	518
10.647	60	5.295	0.78	22.87	525
10.651	40	5.430	0.78	20.21	522
10.581	120	5.275	0.78	20.21	520
10.383	60	6.675	0.78	25.11	522
10.384	80	6.600	0.78	25.55	522
10.386	100	6.500	0.78	25.82	522
10.389	120	6.390	0.78	25.15	522
10.395	140	6.175	0.78	26.06	522
10.410	148	6.105	0.78	24.06	522
10.402	120	6.365	0.78	24.05	522
10.397	100	6.470	0.78	24.05	522
10.393	80	6.260	0.78	24.05	522
10.388	60	6.655	0.78	24.05	522
10.378	40	6.810	0.78	24.05	521
10.378	20	6.955	0.78	21.20	520
10.208	40	7.720	0.98	29.86	515
10.210	60	7.625	0.98	30.00	520
10.208	80	7.565	0.98	30.62	520
10.205	100	7.510	0.98	31.32	520
10.203	120	7.460	0.98	31.93	521
10.201	140	7.410	0.98	32.32	521
10.199	160	7.380	0.98	32.68	520
10.196	180	7.350	0.98	33.22	520
10.193	200	7.320	0.98	33.61	520
10.192	220	7.245	0.98	34.12	520
10.193	240	7.135	0.98	34.04	520
10.199	240	7.120	0.98	33.11	520
10.199	220	7.180	0.98	33.04	520
10.198	200	7.260	0.98	33.04	520
10.197	180	7.350	0.98	33.04	520
10.195	160	7.435	0.98	33.04	520
10.195	140	7.450	0.98	33.04	515
10.194	120	7.220	0.98	33.04	512
10.192	100	7.590	0.98	33.04	511
10.192	80	7.650	0.98	33.04	511
10.188	60	7.745	0.98	33.04	511
10.184	40	7.860	0.98	33.04	515
10.040	40	8.840	0.98	33.57	500
10.045	60	8.665	0.98	33.57	500
10.046	80	8.565	0.98	33.57	500
10.047	100	8.495	0.98	33.57	500
10.049	120	8.290	0.98	33.79	500

Tablo 3.2 (Tablo 3.1 'in devamı.)

f_0 [GHz]	P_0 [mW]	l_p [mm]	$ \rho_y $	$\text{Arg}(\rho_y)$ [mm]	I_B [mA]
11.052	80	19.755	0.98	15.475	505
11.058	100	19.615	0.98	16.150	502
11.065	120	19.440	0.98	16.980	501
11.066	140	19.340	0.98	17.680	505
11.063	160	19.210	0.98	18.920	508
11.065	170	19.110	0.98	18.990	510
10.610	200	22.860	0.98	17.685	515
10.613	220	22.740	0.98	17.685	515
10.732	80	22.170	0.98	0.000	511
10.742	100	22.000	0.98	0.000	511
10.750	120	21.805	0.98	0.000	511
10.760	140	21.540	0.98	0.000	510
10.745	140	21.455	0.98	2.030	510
10.737	120	21.855	0.98	1.930	510
10.744	100	21.920	0.98	0.370	510
10.740	80	22.030	0.98	0.000	510
10.723	60	22.305	0.98	0.000	510
10.506	60	24.105	0.98	8.000	508
10.511	80	23.990	0.98	8.675	505
10.512	100	23.915	0.98	9.110	505
10.514	120	23.840	0.98	9.540	505
10.512	140	23.815	0.98	10.120	505
10.508	160	23.780	0.98	10.970	505
10.508	180	23.700	0.98	11.270	505
10.513	200	23.500	0.98	11.265	505
10.526	220	23.180	0.98	10.135	505
10.527	200	23.210	0.98	10.135	515
10.524	180	23.470	0.98	10.010	515
10.522	160	23.590	0.98	10.010	515
10.518	140	23.715	0.98	10.010	515
10.515	120	23.830	0.98	10.010	515
10.506	100	23.945	0.98	10.010	515
10.501	80	24.070	0.98	10.010	515
10.493	60	24.215	0.98	10.010	505
10.478	40	24.450	0.98	10.010	505
10.859	160	3.295	0.98	6.900	520
10.856	140	3.380	0.98	7.110	520
10.850	120	3.630	0.98	6.750	520
10.840	100	3.795	0.98	7.145	520
10.836	80	3.880	0.98	6.520	515
10.828	60	4.070	0.98	5.320	521
10.841	60	3.920	0.98	4.770	511
10.836	80	3.865	0.98	6.560	515
10.845	100	3.750	0.98	6.580	520
10.854	120	3.580	0.98	6.540	520
10.857	120	3.445	0.98	6.540	515
10.358	40	6.685	0.98	48.465	505
10.364	60	6.515	0.98	48.465	505
10.368	80	6.355	0.98	48.465	502
10.373	100	6.130	0.98	48.465	502
10.369	80	6.350	0.98	48.390	502
10.370	60	6.490	0.98	47.630	502
10.373	80	6.360	0.98	47.630	502
10.368	40	6.620	0.98	46.950	502
10.359	20	6.870	0.98	46.510	505
10.376	120	5.850	0.98	29.130	505

Tablo 3.3 (Tablo 3.1 'in devamı.)

f_o [GHz]	P_o [mW]	l_p [mm]	$ \rho_y $	$\text{Arg}(\rho_y)$ [mm]	I_B [mA]
10.432	160	4.525	0.98	3.460	505
10.429	140	4.715	0.98	3.700	502
10.418	120	4.080	0.98	4.900	500
10.416	100	4.315	0.98	5.690	502
10.417	80	4.140	0.98	5.770	502
10.416	60	3.860	0.98	5.780	490
10.417	80	4.100	0.98	5.500	490
10.420	120	4.350	0.98	5.030	505
10.426	140	4.455	0.98	4.250	505
10.433	160	4.470	0.98	3.320	510
10.073	60	8.280	0.98	30.330	500
10.075	80	8.060	0.98	30.330	500
10.086	100	7.975	0.98	28.410	500
10.325	120	6.070	0.98	36.050	505
10.317	132	6.125	0.98	37.090	505
10.318	120	6.015	0.98	37.090	505
10.458	140	5.505	0.98	37.090	500
10.463	160	5.000	0.98	37.090	500
10.465	180	4.690	0.98	37.090	500
10.456	160	5.020	0.98	37.950	500
10.451	140	5.580	0.98	37.950	500
10.443	100	5.935	0.98	37.950	500
10.447	120	5.780	0.98	37.950	500
10.438	80	6.055	0.98	37.950	500
10.434	60	6.175	0.98	37.950	500
10.426	40	6.310	0.98	37.950	500

Tablo 3.4 Diyod admitansını ölçmek için gerçekleştirilen osilatörde osilasyon modlarına ilişkin yük empedanslarının ölçülen değerleri.

P_o [mW]	f_o [GHz]	$ \rho_y $	$\text{Arg}(\rho_y)$ [D]	P_o [mW]	f_o [GHz]	$ \rho_y $	$\text{Arg}(\rho_y)$ [D]
140	11.066	0.860	134.0	60	10.416	0.850	6.8
160	11.063	0.860	113.7	80	10.417	0.855	12.4
170	11.065	0.860	109.0	120	10.420	0.850	13.1
140	10.426	0.830	14.1	180	10.465	0.830	27.6
160	10.433	0.830	17.2	160	10.456	0.850	49.0
120	10.325	0.900	17.2	140	10.451	0.860	63.5
132	10.317	0.890	16.4	100	10.443	0.860	82.5
60	10.073	0.860	-7.1	120	10.447	0.860	83.7
80	10.075	0.860	-11.1	80	10.438	0.850	94.5
140	10.458	0.835	45.3	60	10.434	0.840	103.2
160	10.463	0.830	30.8	40	10.426	0.855	121.9

Tablo 3.5 (Tablo 3.4 'ün devamı.)

P_o [mW]	f_o [GHz]	$ \rho_y $	$\text{Arg}(\rho_y)$ [D]	P_o [mW]	f_o [GHz]	$ \rho_y $	$\text{Arg}(\rho_y)$ [D]
100	10.647	0.770	164.7	200	10.610	0.870	66.5
105	10.657	0.755	139.0	220	10.613	0.865	58.0
140	10.670	0.730	107.6	80	10.732	0.910	143.5
160	10.675	0.750	96.0	100	10.742	0.890	119.0
180	10.682	0.780	77.2	120	10.750	0.870	100.0
188	10.660	0.740	76.3	140	10.760	0.890	78.2
160	10.655	0.740	89.0	140	10.745	0.870	70.0
140	10.651	0.750	102.7	120	10.737	0.890	88.5
120	10.644	0.755	114.0	100	10.744	0.880	108.0
100	10.656	0.765	143.5	80	10.740	0.890	124.0
80	10.650	0.775	174.7	60	10.723	0.895	166.0
60	10.647	0.770	244.7	60	10.506	0.850	129.3
120	10.581	0.780	82.3	80	10.511	0.850	105.0
60	10.383	0.780	78.3	100	10.512	0.860	93.6
80	10.384	0.775	68.0	120	10.514	0.870	83.6
100	10.386	0.760	60.1	140	10.512	0.875	76.6
140	10.395	0.760	36.4	160	10.508	0.875	67.5
148	10.410	0.775	39.0	180	10.508	0.880	62.5
120	10.402	0.770	58.7	200	10.513	0.870	51.6
100	10.397	0.760	67.0	220	10.526	0.900	41.7
80	10.393	0.755	79.0	200	10.527	0.900	40.7
60	10.388	0.765	88.0	180	10.524	0.900	52.2
40	10.378	0.790	109.5	160	10.522	0.900	58.2
20	10.378	0.800	165.0	140	10.518	0.890	65.0
40	10.208	0.880	43.0	120	10.515	0.880	70.6
60	10.210	0.880	35.0	100	10.506	0.870	88.4
80	10.208	0.880	30.0	80	10.501	0.870	100.0
100	10.205	0.875	23.0	60	10.493	0.870	123.0
120	10.203	0.865	16.7	40	10.478	0.860	155.2
140	10.201	0.870	14.6	160	10.859	0.860	83.5
160	10.199	0.860	12.5	140	10.856	0.860	84.2
180	10.196	0.860	10.0	120	10.850	0.850	104.0
200	10.193	0.860	9.4	100	10.840	0.830	122.5
220	10.192	0.860	4.5	80	10.836	0.830	169.0
240	10.193	0.850	2.4	60	10.828	0.830	184.0
240	10.199	0.860	3.4	60	10.841	0.840	166.0
220	10.199	0.860	5.0	80	10.836	0.830	143.0
200	10.198	0.860	8.0	100	10.845	0.840	119.3
180	10.197	0.855	12.4	120	10.854	0.850	99.7
160	10.195	0.855	15.4	120	10.857	0.860	93.7
120	10.194	0.850	19.4	40	10.358	0.850	62.7
100	10.192	0.850	22.4	60	10.364	0.870	51.5
80	10.192	0.860	25.0	80	10.368	0.890	41.3
60	10.188	0.870	31.6	100	10.373	0.890	30.0
40	10.184	0.880	41.0	80	10.369	0.890	40.7
40	10.040	0.860	18.2	60	10.370	0.890	50.7
60	10.045	0.875	5.5	80	10.373	0.890	43.2
80	10.046	0.880	3.8	40	10.368	0.880	67.8
100	10.047	0.885	-0.5	20	10.359	0.860	98.2
120	10.049	0.890	-8.7	120	10.376	0.885	20.5
132	10.048	0.890	-8.2	160	10.432	0.830	18.7
80	11.052	0.840	211.4	140	10.429	0.830	9.9
100	11.058	0.840	183.7	100	10.416	0.850	9.3
120	11.065	0.860	151.0	80	10.417	0.850	6.9

EK - 4

İki diyodlu Gunn osilatörüne ilişkin deney sonuçları (Şek.4.1 'deki notasyonlara göre).

Tablo 4.1 Osilatörde ayarlı yük ve kısa - devre konumlarına göre ölçülen osilasyon frekansı ve gücü değerleri.

f_o [GHz]	P_o [mW]	ℓ_p [mm]	$ \rho'_y $	$\text{Arg}(\rho'_y)$ [mm]	I_{B2} [mA]	I_{B1} [mA]
10.457	37	14.00	0.1	15.00	475	485
10.460	33	13.00	0.1	15.00	475	485
-	27	12.00	0.1	15.00	480	480
-	34	11.00	0.1	15.00	478	478
-	31	10.00	0.1	15.00	480	480
-	40	9.00	0.1	15.00	480	490
-	20	8.00	0.1	15.00	480	485
-	30	7.00	0.1	15.00	495	485
10.312	17	6.00	0.1	15.00	485	490
10.393	15	5.00	0.1	15.00	485	490
10.419	22	4.00	0.1	15.00	490	490
10.432	28	3.00	0.1	15.00	485	490
10.441	32	2.00	0.1	15.00	490	488
10.443	34	1.00	0.1	15.00	495	490
10.446	37	0	0.1	15.00	480	485
10.464	42	0	0.1	15.00	480	505
10.450	39	1.12	0.1	15.00	480	498
10.445	37	2.00	0.1	15.00	480	498

Tablo 4.2 (Tablo 4.1 'in devamı.)

f_0 [GHz]	P_0 [mW]	l_p [mm]	$ \rho'_y $	$\text{Arg}(\rho'_y)$ [mm]	I_{B2} [mA]	I_{B1} [mA]
10.457	50	0	0.1	15.00	488	498
10.446	58	1.12	0.1	15.00	490	500
10.436	62	2.00	0.1	15.00	500	500
10.429	54	3.00	0.1	15.00	495	500
10.410	52	4.00	0.1	15.00	495	500
10.387	49	4.80	0.1	15.00	500	500
10.383	51	4.90	0.1	15.00	500	500
10.380	45	5.00	0.1	15.00	500	500
10.354	29	5.40	0.1	15.00	490	495
10.324	30	5.75	0.1	15.00	490	495
10.313	62	5.81	0.1	15.00	498	502
10.305	45	6.00	0.1	15.00	498	500
10.275	32	6.50	0.1	15.00	500	500
10.233	29	7.00	0.1	15.00	500	492
10.182	38	7.40	0.1	15.00	500	492
10.137	26	7.80	0.1	15.00	500	490
10.106	20	8.20	0.1	15.00	495	495
10.502	30	9.00	0.1	15.00	480	495
10.501	38	10.00	0.1	15.00	470	495
10.515	39	11.00	0.1	15.00	475	495
10.512	40	12.00	0.1	15.00	475	495
10.509	38	13.00	0.1	15.00	475	500
10.508	36	14.00	0.1	15.00	475	500
10.498	34	15.00	0.1	15.00	475	495
10.487	36	16.00	0.1	15.00	480	495
10.474	37	17.00	0.1	15.00	480	495
10.464	32	18.00	0.1	15.00	480	495
10.447	54	19.00	0.1	15.00	490	500
10.440	64	20.00	0.1	15.00	495	500
10.430	62	21.00	0.1	15.00	495	500
10.420	56	22.00	0.1	15.00	500	500
10.412	45	22.71	0.1	15.00	500	500
10.404	45	23.00	0.1	15.00	500	500
10.393	36	23.40	0.1	15.00	500	500
10.398	19	23.40	0.1	15.00	495	495
10.378	16	24.00	0.1	15.00	495	493
10.312	18	25.00	0.1	15.00	495	500
10.574	30	26.00	0.1	15.00	495	510
10.558	34	27.00	0.1	15.00	485	510
10.545	26	28.00	0.1	15.00	480	510
10.534	27	28.60	0.1	15.00	475	505
10.530	26	29.00	0.1	15.00	475	505
10.518	19	30.00	0.1	15.00	475	505
10.478	16	30.50	0.1	15.00	475	500
10.477	21	30.70	0.1	15.00	475	500
10.470	32	30.87	0.1	15.00	475	500
10.465	37	31.00	0.1	15.00	480	500
10.455	42	31.10	0.1	15.00	480	495
10.452	36	31.25	0.1	15.00	480	495
10.452	33	31.30	0.1	15.00	480	495
10.451	24	31.65	0.1	15.00	485	495
10.445	22	32.00	0.1	15.00	480	485
10.447	34	33.00	0.1	15.00	485	485
10.457	43	34.00	0.1	15.00	480	485

Tablo 4.3 (Tablo 4.1 'in devamı.)

f_0 [GHz]	P_0 [mW]	l_p [mm]	$ \rho'_y $	$\text{Arg}(\rho'_y)$ [mm]	I_{B2} [mA]	I_{B1} [mA]
10.460	36	35.00	0.1	15.00	480	480
10.444	37	36.00	0.1	15.00	490	480
10.440	34	37.00	0.1	15.00	490	485
10.435	33	38.00	0.1	15.00	490	485
10.428	31	39.00	0.1	15.00	490	485
10.418	27	40.00	0.1	15.00	495	490
10.418	26	40.00	0.1	15.00	495	490
10.410	23	41.00	0.1	15.00	495	490
10.402	16	42.00	0.1	15.00	500	490
10.373	16	42.70	0.1	15.00	495	492
10.351	24	43.00	0.1	15.00	495	495
10.299	22	44.00	0.1	15.00	500	495
10.246	16	45.00	0.1	15.00	495	490
10.178	28	46.00	0.1	15.00	485	480
10.122	16	47.00	0.1	15.00	485	485
10.063	19	48.00	0.1	15.00	485	490
-	13	49.00	0.1	15.00	485	485
10.462	42	50.87	0.1	15.00	480	490
10.460	38	49.00	0.1	15.00	478	485
10.064	20	48.00	0.1	15.00	485	490
10.123	16	47.00	0.1	15.00	485	490
10.182	29	46.00	0.1	15.00	485	480
10.250	16	45.00	0.1	15.00	495	485
10.304	14	44.00	0.1	15.00	495	495
10.350	25	43.00	0.1	15.00	495	495
10.402	16	42.00	0.1	15.00	500	490
10.416	19	41.00	0.1	15.00	490	490
10.425	23	40.00	0.1	15.00	490	490
10.431	27	39.00	0.1	15.00	490	490
10.436	30	38.00	0.1	15.00	488	490
10.440	32	37.00	0.1	15.00	485	490
10.447	36	36.00	0.1	15.00	490	485
10.465	34	35.00	0.1	15.00	480	480
-	22	34.00	0.1	15.00	485	480
-	14	33.00	0.1	15.00	485	480
-	7	32.00	0.1	15.00	485	480
-	3	31.00	0.1	15.00	480	480
10.460	43	30.82	0.1	15.00	475	490
10.456	16	30.00	0.1	15.00	475	492
10.453	19	29.00	0.1	15.00	475	485
10.456	14	28.00	0.1	15.00	480	485
-	21	27.00	0.1	15.00	485	485
10.254	10	26.00	0.1	15.00	490	488
10.310	17	25.00	0.1	15.00	490	490
10.380	21	24.00	0.1	15.00	500	500
10.412	24	23.00	0.1	15.00	490	490
10.415	35	22.00	0.1	15.00	490	485
10.420	37	21.00	0.1	15.00	492	488
10.427	39	20.00	0.1	15.00	490	490
10.260	6	19.00	0.1	15.00	475	485
10.452	22	18.00	0.1	15.00	475	495
10.457	31	17.00	0.1	15.00	475	495
10.452	35	16.00	0.1	15.00	475	490
10.454	34	15.00	0.1	15.00	475	485

Tablo 4.4 Osilatördeki osilasyon modlarına ilişkin ayarlı yük empedansının ölçülen değerleri.

f [GHz]	$ \rho'_y $	$\text{Arg}(\rho'_y)$ [D]	f [GHz]	$ \rho'_y $	$\frac{\rho'_y}{[D]}$
10.457	0.155	111.5	10.464	0.160	97
10.446	0.150	136	10.447	0.153	135
10.436	0.145	157	10.440	0.150	149
10.429	0.145	175	10.430	0.150	173
10.410	0.145	223	10.420	0.150	197
10.387	0.165	-84	10.412	0.150	218
10.383	0.170	-77	10.404	0.153	238
10.380	0.175	-69	10.393	0.163	-97
10.354	0.190	-13	10.398	0.155	250
10.324	0.185	49	10.378	0.175	-67
10.313	0.185	71	10.312	0.185	75
10.305	0.185	88	10.574	0.180	205
10.275	0.165	159	10.558	0.163	249
10.233	0.165	261	10.545	0.155	-90
10.182	0.180	15	10.534	0.150	-61
10.137	0.145	129	10.530	0.150	-52
10.106	0.160	209	10.518	0.150	-23
10.502	0.150	16	10.478	0.160	68
10.501	0.150	19	10.477	0.160	70
10.515	0.150	-16	10.470	0.160	85
10.512	0.150	-10	10.465	0.160	93
10.509	0.150	-2	10.455	0.155	118
10.508	0.150	1	10.452	0.155	122
10.498	0.155	15	10.451	0.155	126
10.487	0.155	50	10.445	0.153	139
10.474	0.155	77	10.447	0.153	134
10.457	0.155	112	10.460	0.160	105
10.444	0.150	141	10.440	0.150	149
10.435	0.150	160	10.428	0.150	177
10.418	0.150	201	10.410	0.150	223
10.402	0.153	241	10.373	0.180	-55
10.351	0.190	-9	10.299	0.183	103
10.246	0.170	230	10.178	0.175	22
10.122	0.150	168	10.063	0.185	-59
10.250	0.170	222	10.350	0.190	-6
10.416	0.150	208	10.425	0.150	185
10.254	0.170	215	10.310	0.185	79
10.260	0.170	198	10.432	0.150	168

Tablo 4.5 Ayarlı yükün ölçüldüğü Şek.2.5 c deney düzenine ilişkin hata modeli parametrelerini belirlemek için ölçülen değerler.

f [GHz]	l_p [mm]	$ \rho_{m2} $	$\frac{[D]}{\rho_{m2}}$	$ E_{11} $	$\frac{[D]}{E_{11}}$
10.450	9.360	0.980	0	0.013	65
10.460	9.300	1.010	0	0.013	70
10.470	9.220	0.980	0	0.013	75
10.480	9.250	0.950	0	-	-
10.490	9.270	0.970	0	0.012	85
10.500	9.150	1.000	0	-	-
10.510	9.050	0.990	0	0.010	90
10.520	9.080	0.970	0	-	-
10.530	9.120	1.000	0	0.010	102
10.540	9.050	1.020	0	-	-
10.550	8.980	1.010	0	0.008	110
10.560	8.955	0.980	0	-	-
10.570	8.975	1.010	0	0.007	115
10.590	8.860	1.030	0	0.007	125
10.440	9.240	0.970	0	-	-
10.430	9.210	0.990	0	0.013	58
10.420	9.250	1.020	0	-	-
10.410	9.320	1.010	0	0.014	50
10.400	9.230	0.990	0	-	-
10.390	9.120	1.020	0	0.014	40
10.380	9.180	1.040	0	-	-
10.370	9.240	1.020	0	0.013	32
10.360	9.240	0.980	0	-	-
10.350	9.150	1.000	0	0.013	25
10.340	9.280	1.020	0	-	-
10.330	9.360	1.010	0	0.015	22
10.320	9.350	0.980	0	-	-
10.310	9.240	0.990	0	0.013	12
10.300	9.330	1.000	0	0.013	10
10.275	9.430	0.950	0	0.012	5
10.260	9.430	1.010	0	-	-
10.250	9.510	0.990	0	0.012	0
10.246	9.440	0.980	0	0.012	-2
10.233	9.330	0.970	0	0.013	-3
10.182	9.330	1.040	0	0.013	-20
10.178	9.360	1.050	0	0.012	-20
10.137	9.510	1.030	0	0.012	-40
10.122	9.520	0.980	0	0.011	-45
10.106	9.370	1.000	0	0.012	-50
10.063	9.570	1.010	0	0.011	-70
10.065	9.560	1.000	0	0.011	-70
10.540	9.080	1.020	0	-	-
10.450	9.360	0.980	0	-	-

EK - 5

İki diyodlu Gunn osilatörünün analizinde osilasyon modlarına ilişkin olarak hesaplanan değerler (Şek.5.1 ve (5.11) , (5.14) bağlantılarındaki notasyonlara göre).

Tablo 5.1 Ayarlı piston konumlarına göre hesaplanmış osilasyon frekansı, genliği ve çıkış gücü değerleri.

l_p [mm]	f_o [GHz]	A_1 [V]	$Re\{\frac{1}{Z_y+Z_c}\}$ [mS]	P_o [mW]
1	10.327	5.5	3.1	46.9
2	10.320	4.5	2.8	28.3
3	10.308	2.1	2.4	5.3
4	10.305	1.9	2.3	4.1
5	10.715	6.0	1.6	28.8
6	10.620	4.5	2.6	26.3
7	10.502	4.0	3.0	24.0
8	10.432	5.6	1.7	26.6
9	10.425	5.7	1.6	26.0
10	10.405	6.0	1.7	30.6
11	10.395	6.5	1.8	38.0
12	10.393	6.5	1.9	40.1
13	10.390	5.5	2.0	30.2
14	10.367	5.3	2.6	36.5
15	10.365	5.1	2.6	33.8
16	10.365	5.2	2.7	36.5
17	10.350	5.9	3.0	52.2
18	10.362	5.3	2.7	38.0
19	10.360	5.4	2.8	40.8
20	10.327	5.5	3.1	46.9
21	10.315	5.2	2.7	36.5
22	10.307	2.2	2.4	5.8
23	10.688	6.8	2.0	46.2
24	10.620	4.5	2.6	26.3
25	10.537	4.3	2.0	18.5
26	10.450	5.7	2.1	34.1
27	10.422	5.7	1.6	26.0
28	10.403	6.0	1.7	30.6
29	10.405	6.0	1.7	30.6
30	10.395	6.5	1.8	38.0
31	10.393	6.5	1.9	40.1
32	10.387	5.3	2.0	28.1
33	10.365	5.1	2.7	33.8
34	10.363	5.3	2.7	36.5
35	10.360	5.5	2.8	36.5
36	10.350	5.9	3.1	53.9
37	10.352	5.0	3.1	39.0
38	10.354	5.2	3.1	42.9
39	10.327	5.5	3.0	45.4
40	10.315	5.2	2.7	36.5
41	10.310	2.2	2.4	5.8

Tablo 5.2 Osilasyon modlarının kararlılık testinde hesaplanan büyüklüklerin ve kararlılık ifadesinin ayarlı piston konumlarına göre değerleri.

l_p [mm]	f_o [GHz]	A_1 [V]	A_2 [V]	$\partial A_2 / \partial A_1$ -	$\partial A_2 / \partial f$ [V/MHz]	$\partial B_p / \partial f$ [mS/MHz]	$-\partial B_D'' / \partial f$ [mS/MHz]
8	10.432	5.6	1.1	0.15	-0.040	0.140	-2.40
9	10.422	5.7	1.4	0.10	-0.050	0.100	-8.10
10	10.405	6.0	4.8	0.20	-0.108	0.008	-0.23
11	10.395	6.5	5.0	0.10	0.004	0.008	-0.69
12	10.393	6.5	4.8	0.20	0.080	0.008	0.80
13	10.390	5.5	4.4	-0.05	0.080	0.002	6.14
14	10.367	5.3	4.0	-0.05	0.080	0.004	3.04
15	10.365	5.1	4.3	0.10	-0.104	0.004	-0.41
16	10.362	5.2	4.5	0.10	-0.104	0.004	-0.41
17	10.350	5.9	5.8	0.05	0	0.002	-0.12
18	10.362	5.3	4.5	0.10	-0.104	0.004	-0.41
19	10.360	5.4	5.0	0.10	-0.104	0.004	-0.41
20	10.327	5.5	5.0	0.05	0.032	0.004	0.95
21	10.315	5.2	4.5	0.05	0.032	0.004	0.64
22	10.307	2.2	6.0	-1.00	0.020	0.008	-0.014
23	10.688	6.8	9.5	1.3	0.052	0.320	-0.08
24	10.620	4.5	3.4	1	0.048	0.800	0.34
25	10.537	4.3	0.5	0.1	-0.016	-1.200	-3
26	10.450	5.7	0.7	0.1	-0.012	0.5	-2.3
27	10.422	5.7	1.4	0.1	-0.050	0.1	-8.1

Tablo 5.3 (Tablo 5.2 'nin devamı.)

l_p [mm]	f_o [GHz]	$\partial G_p / \partial f$ [mS/MHz]	$-\partial G_D'' / \partial f$ [mS/MHz]	$-\partial B_D'' / \partial A_2$ [mS/V]	$-\partial G_D'' / \partial A_2$ [mS/V]	ΔK (mS) ² MHz.V
8	10.432	0	-4.3	-46.7	-100	56.9
9	10.422	-0.02	-7.9	-150	-150	48
10	10.405	0	-4.98	-1	-35	3.35
11	10.395	0	0.88	-28	-20	38.6
12	10.393	0	1.6	-15	-10	16.08
13	10.390	0	-5.2	-80	75	44.35
14	10.367	0	-7.2	-40	100	15.6
15	10.365	0	-3.29	-2	-30	5.84
16	10.362	0	-3.29	-2	-30	5.84
17	10.350	0	0	40	-50	6.1
18	10.362	0	-3.29	-2	-30	5.84
19	10.360	0	-3.29	-2	-30	5.84
20	10.327	0	1.72	-30	-50	4.3
21	10.315	0	1.72	-20	-50	2.6
22	10.307	0	0.034	1	-1.5	-0.001
23	10.688	0.12	0	-0.77	-1.15	0.37
24	10.620	4.0	0.12	-17.5	-15.0	-61.0
25	10.537	-2.0	2.6	-150	125	465
26	10.450	-0.88	-8.0	-150	-600	612
27	10.422	-0.02	-7.9	-150	-150	48

Tablo 5.4 Osilatörde her bir diyod tarafından üretilen osilasyon gücünün ayarlı piston konumlarına göre hesaplanan değerleri.

l_p [mm]	f_o [GHz]	A_1 Volt	$-G_1$ [mS]	P_1 [mW]	A_2 Volt	$-G_2$ [mS]	P_2 [mW]	P_1+P_2 [mW]
8	10.432	5.6	3.2	50.2	1.1	23.6	14.3	64.5
9	10.422	5.7	2.6	42.2	1.4	22.6	22.1	64.3
10	10.405	6.0	5.6	100.8	4.8	8.4	96.8	197.6
11	10.395	6.5	3.8	80.3	5.0	7.0	87.5	168.0
12	10.393	6.5	4.4	93.0	4.8	8.0	92.2	185.0
13	10.390	5.5	5.0	75.6	4.4	8.6	83.2	162.0
14	10.387	5.3	5.0	70.2	4.0	10.0	80.0	150.0
15	10.365	5.1	3.0	39.0	4.3	7.0	64.7	104.0
16	10.362	5.2	3.5	47.3	4.5	6.4	64.8	112.0
17	10.350	5.9	4.0	69.6	5.8	4.0	67.3	137.0
18	10.347	6.0	3.0	54.0	5.8	3.6	60.5	114.0
19	10.337	5.7	3.0	48.7	5.4	4.2	61.2	110.0
20	10.327	5.5	2.4	36.3	5.0	3.0	37.5	74.0
21	10.315	5.2	1.8	24.3	4.5	3.0	30.4	55.0
22	10.307	2.2	15.8	38.2	6.0	0.6	10.8	49.0
23	10.688	6.8	5.5	127.1	9.5	3.0	135.4	262.0
24	10.620	4.5	11.5	116.4	3.4	17.0	98.3	214.7
25	10.537	4.3	11.0	101.7	0.5	32.0	4.0	106.0
26	10.450	5.7	3.8	61.7	0.7	26.0	6.4	68.0
27	10.422	5.7	2.6	42.2	1.4	23.2	22.1	64.3

ÖZGEÇMİŞ

Cevdet Işık 6.10.1951 tarihinde Adana'nın Mansurlu nahiyesinde doğdu. İlk öğrenimini Kahramanmaraş'da, orta öğrenimini de Kahramanmaraş ve İstanbul'da yaptı. 1969 yılında İstanbul Bakırköy Lisesi'nden mezun olduktan sonra aynı yıl İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi'nde yüksek öğrenimine başladı. Lisans öğrenimini 1974 'de, yüksek lisans öğrenimini de 1977 'de aynı üniversitede tamamladı. 1976 'da İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi'nde mühendis teknisyen olarak göreve başladı. 1978 'den beri önce asistan, sonra da araştırma görevlisi olarak İ.T.Ü. Elektrik - Elektronik Fakültesi Mikrodalga Tekniği Birimi'nde çalışmaktadır.

Y. C.

Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi