

S Bandında RF Güç Kaynağı ve Dolaştırıcı Tasarımı, Üretimi ve Proton Demet Hattında Kullanımları

Oğuz KOÇER¹, Aytül ADIGÜZEL^{1,2,4}, Veysi Erkcan ÖZCAN^{2,3,4}, N. Gökhan ÜNEL^{4,5}

¹ İstanbul Üniversitesi

² Feza Gürsey Fizik ve Matematik Merkezi

³ Boğaziçi Üniversitesi

⁴ CERN

⁵ California University of Irvine

Sunum İçeriđi

1. Çalışma Amacı
2. KAHVELab Proton Hızlandırıcı Hattı
3. RF Güç Kaynağı (Magnetron)
 - a. Katot Yapısı
 - b. Tasarım için Kritik Kavramlar
 - c. Tasarım Parametrelerin ıkarımı
 - d. Benzetim alışmaları
4. Proton Demet Hattında Kullanımı
5. Sonuç

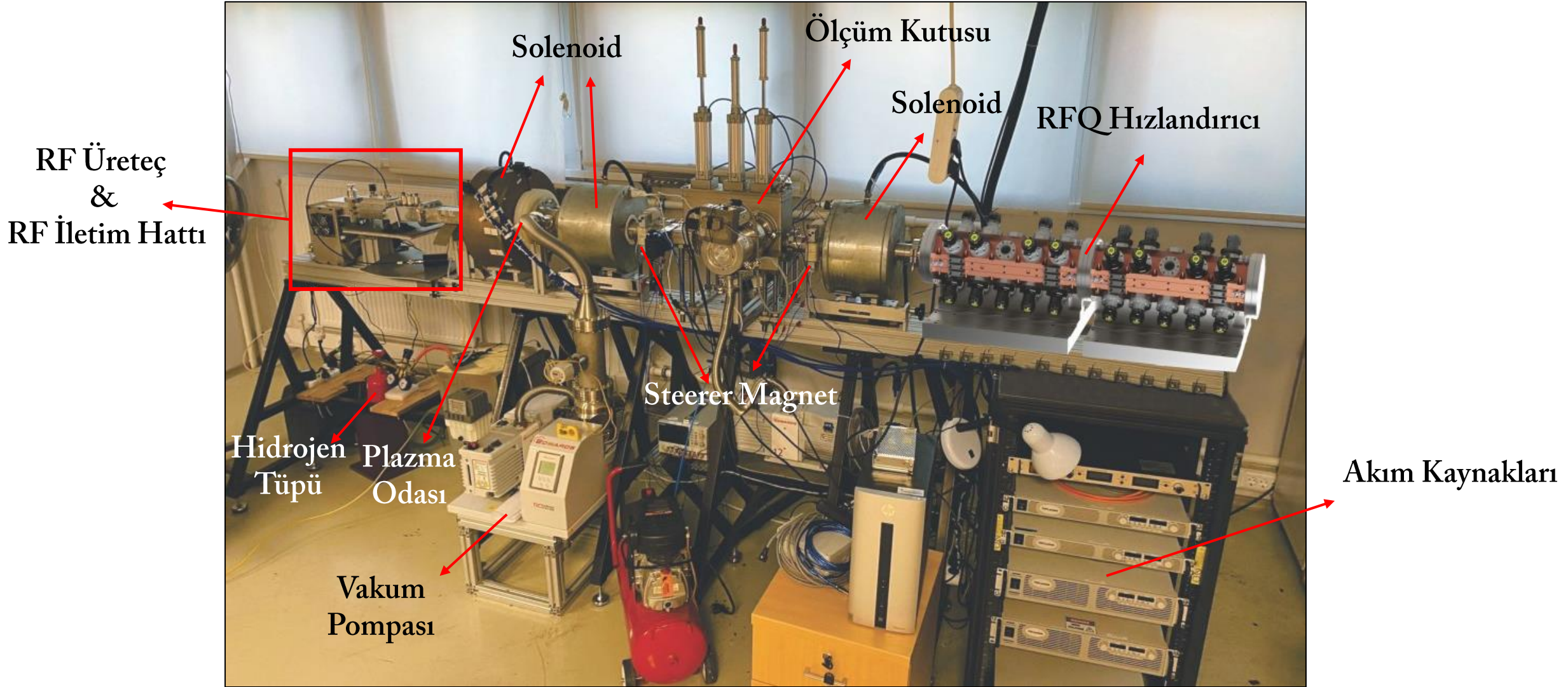
Çalışma Amacı

- Kandilli Algıç Hızlandırıcı ve Enstrümantasyon Laboratuvarı 'nda (KAHVELab) bulunan Mikrodalga Deşarj İyon Kaynağı 'nın (MDİS) RF güç üretici magnetronun yerine,
 - **Tasarımı Özgün**
 - **Yerli İmkanlarla** yapılacak olan

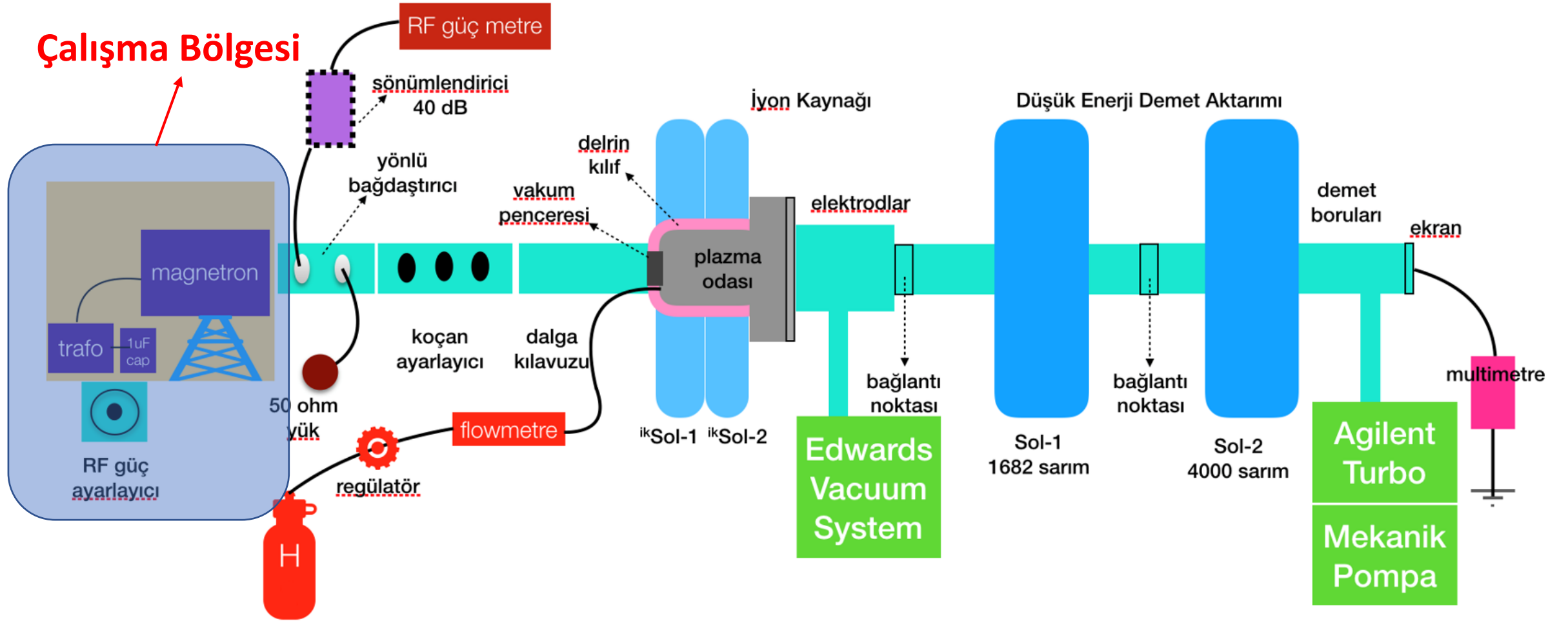
Magnetronun üretilip hızlandırıcı sistemimize kazandırılacaktır.
- Ayrıca Farklı RF güç değerlerinde, proton demetin,
 - **Akım değeri,**
 - **Demet yayınındaki**

değişmeler gözlemlenecektir.

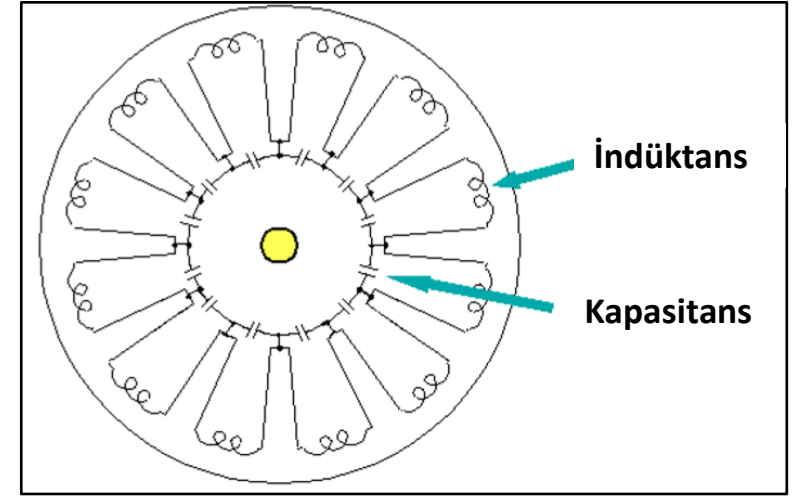
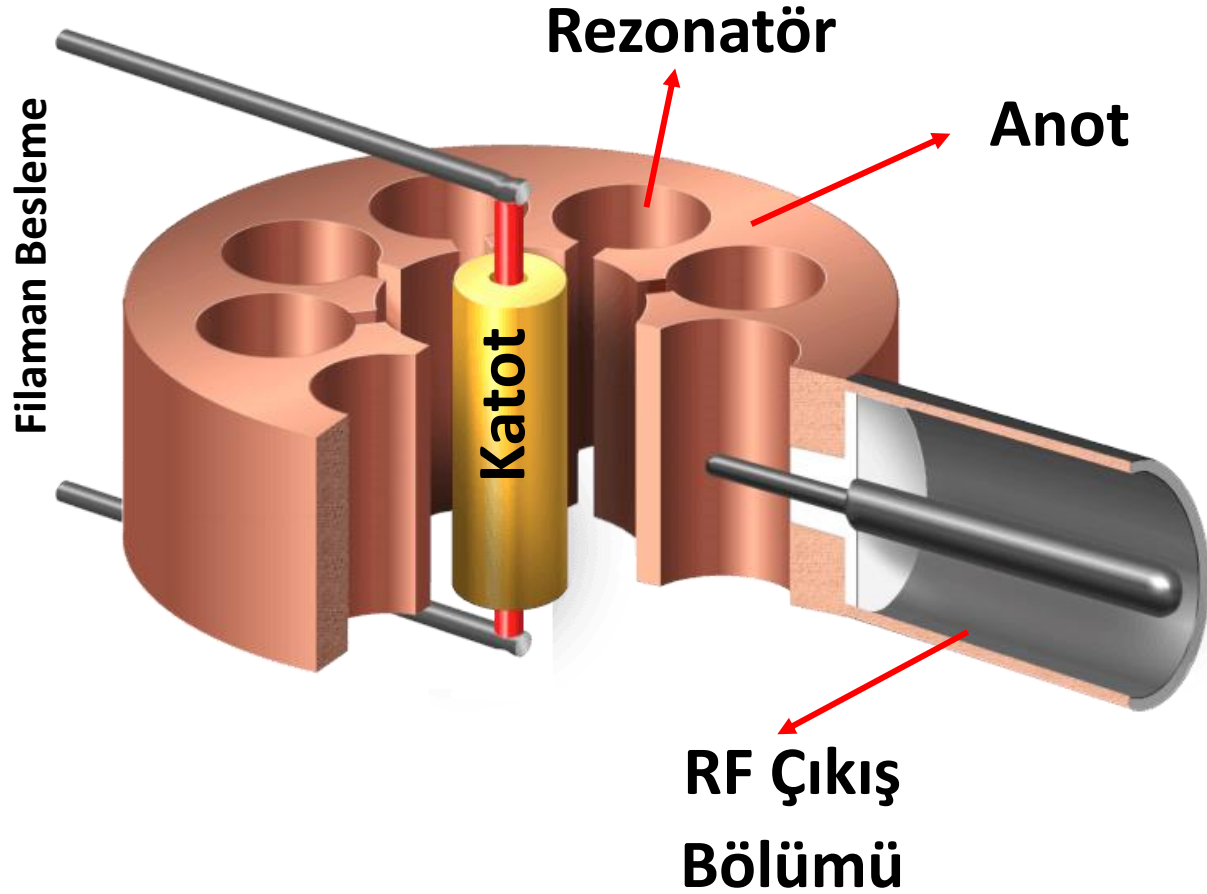
KAHVELab Proton Demet Hattı



KAHVELab Proton Demet Hattı



RF Güç Kaynağı (Magnetron)



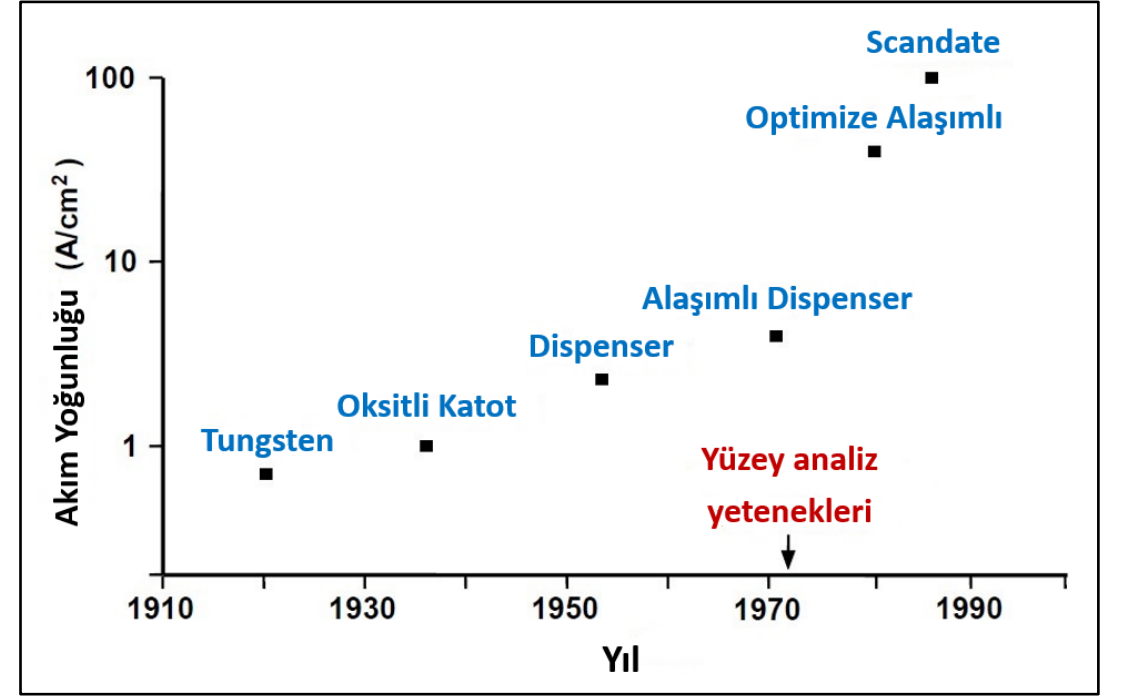
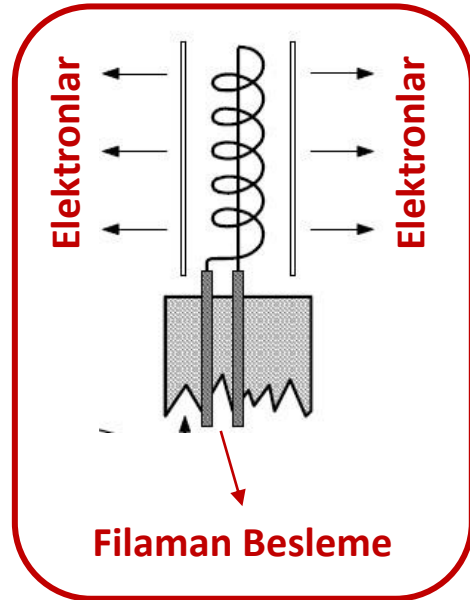
- **Magnetron** yüksek frekanslı salınımlar ve yüksek darbe gücü üreten vakum tüpüdür.
- Elektron salınımı yapan **katot** ve çevreleyen **anot** yapısından oluşur.
- Katot ile anot arasındaki bölgeye **etkileşim bölgesi** denir.
- Bu bölgede elektrostatik ve manyetik alanlar elektronların hareket yörüngesini belirler ve **elektronlar enerjilerini RF dalgasına aktarır**.
- Magnetronlara **cross-field** yapılarda denilmektedir. Bunun sebebi, elektrik alan ile manyetik alan birbirine diktir.

Katot Yapısı

- Tüm mikrodalga tüplerinde, elektron demeti için elektron kaynakları **katottur**.
- Katotlarda kullanılan amaca göre **elektron emisyon akım yoğunluk** değeri önem taşımaktadır.
- Elektron emisyon akım yoğunluğu, katot alanın birim cm^2 başına çıkan akım değeridir.
- Genelde termiyonik katotlar kullanılmaktadır.
- Termiyonik Katot, içerisinde yer alan filamana uygun potansiyel fark uygulayarak ısınmasına yol açılır. Isıtılan katot yüzeyinden belirli sıcaklıklarda elektron yayını yapar.

Termiyonik Katotlar

- Dispenser Katotlar
- Oksitli Katotlar
- L tipi Katotlar
- Emdirilmiş Katotlar
- Scandate Katotlar
- Nikel Katkılı Katotlar
- Hollow Katotlar
- Toryum Katkılı Katotlar



Dispenser Katot

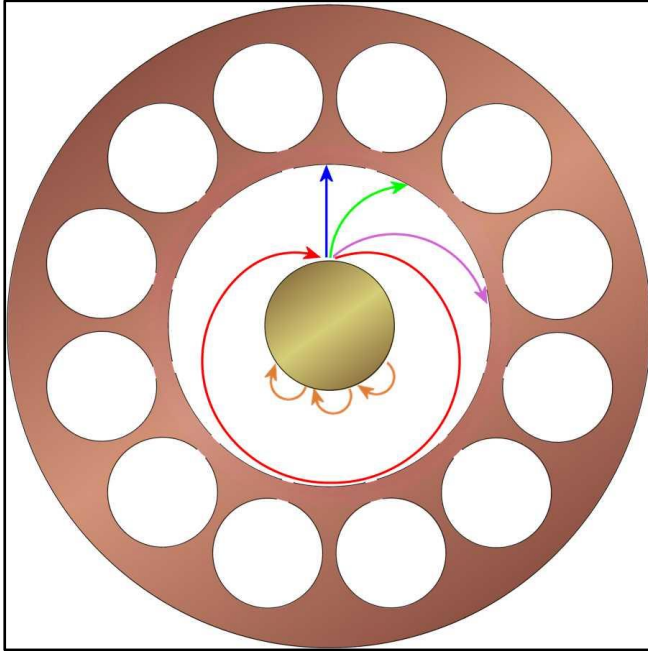


Hollow Katot

Hull & Hartree Gerilimleri

Hull Gerilimi

- Hull gerilimi, elektronların anoda akışını önleyen manyetik alanın fonksiyonu olan anot gerilimi olarak tanımlanır.



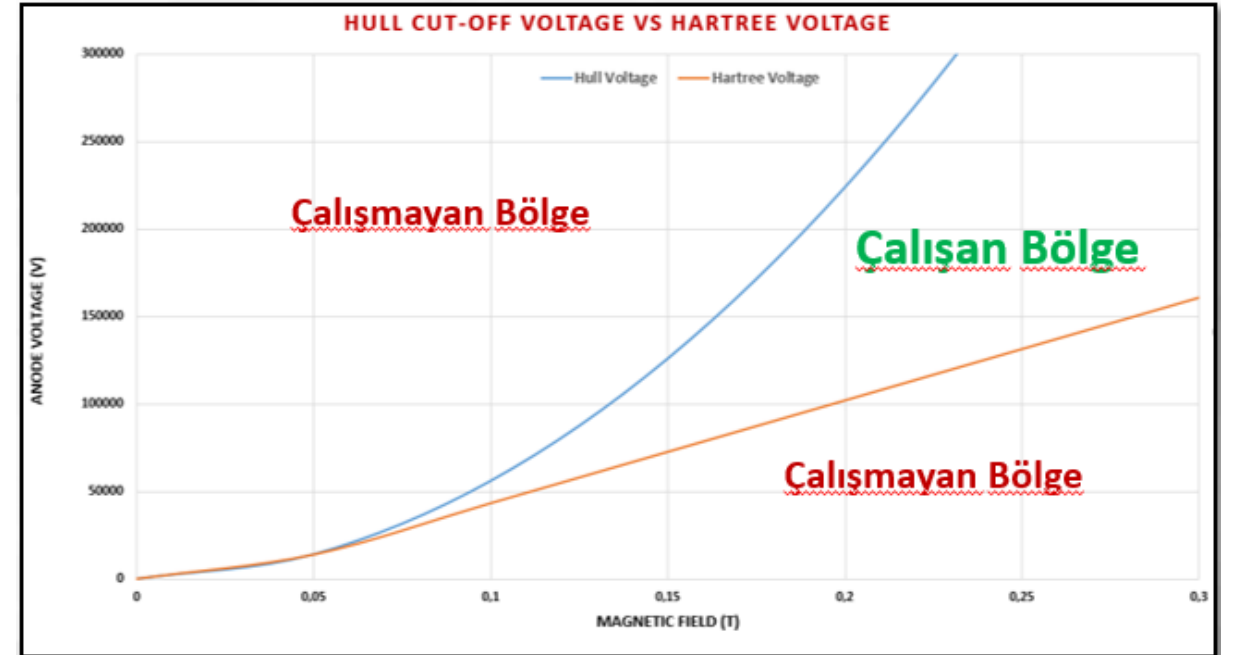
- e : elektrik yükü
 m : elektron kütlesi
 B : manyetik alan
 r_a : anot yarıçap
 r_c : katot yarıçap
 f : frekans
 N : rezonatör sayısı
 $n = \frac{N}{2}$

$$V_{Hull} = \frac{e r_a^2}{8 m} \left(1 - \frac{r_c^2}{r_a^2} \right) B^2$$

Hartree Gerilimi

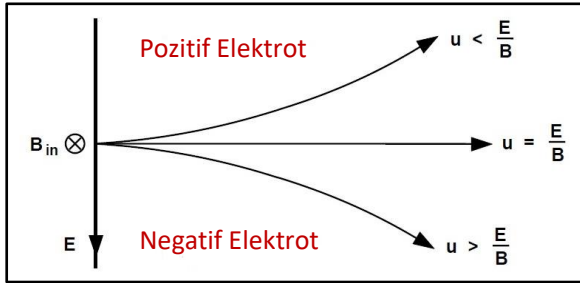
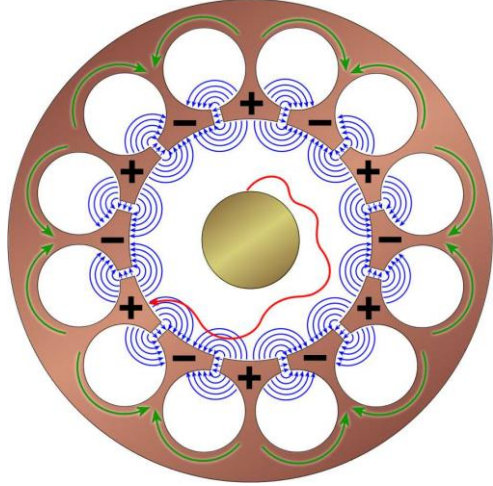
- Hartree gerilimi, elektronlardan RF dalgasına enerji aktarımının olmadığı ve magnetronun çalışmayı durdurduğu kritik gerilime denir.

$$V_H = \frac{r_a^2}{8 m} \left(1 - \frac{r_c^2}{r_a^2} \right) \frac{2 \pi f}{n} B - \frac{r_a^2 m}{2 e} \left(\frac{2 \pi f}{n} \right)^2$$



Spoke & Mod Kavramları

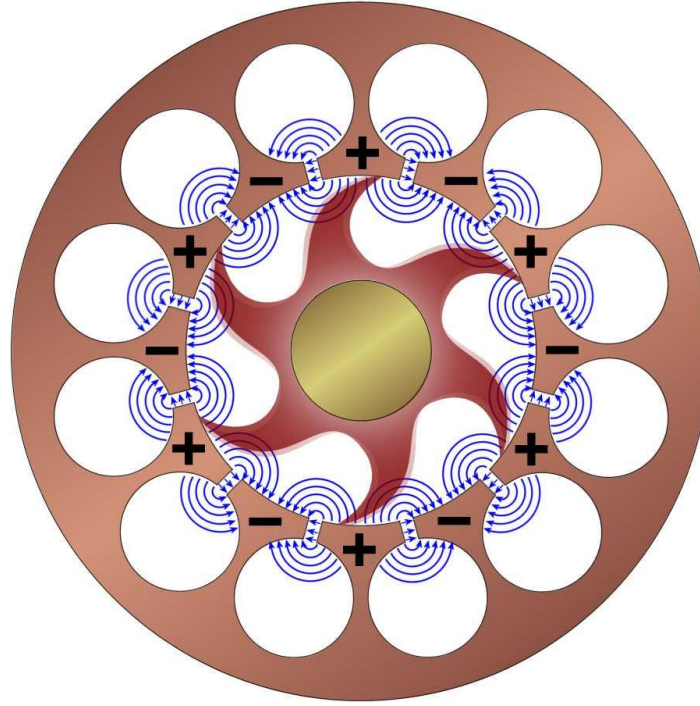
Tek Elektron incelendiğinde



u : elektronun hızı, E : elektrik alan, B : manyetik alan

- Elektron hızı E/B den küçük ise elektronlar pozitif elektroda hareket eder.
- Elektron hızı E/B den büyük ise elektronlar negatif elektroda hareket eder.
- Elektron hızı E/B 'ye eşit ise düz hareket eder.

Tüm Elektronlar incelendiğinde

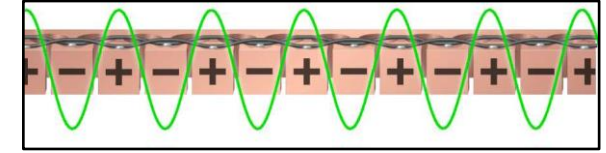


- **Spoke sayısı** magnetronun çalışma moduna göre değişir.
- Görseldeki tasarım π - modunda çalışmaktadır.
- Verimlilik olması için π - modunda çalışılması hedeflenir.

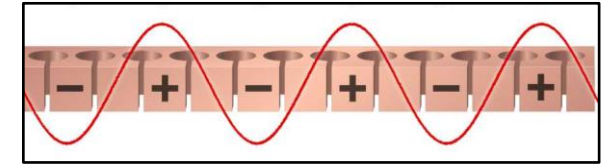
Mod Kavramı

- Mod, magnetronun anodunda yer alan rezonatörlerin arasında oluşan osilasyon türüdür.
- Birden fazla osilasyon moduna sahip olabilir.

π modu



$\frac{\pi}{2}$ modu



$\frac{3\pi}{4}$ modu

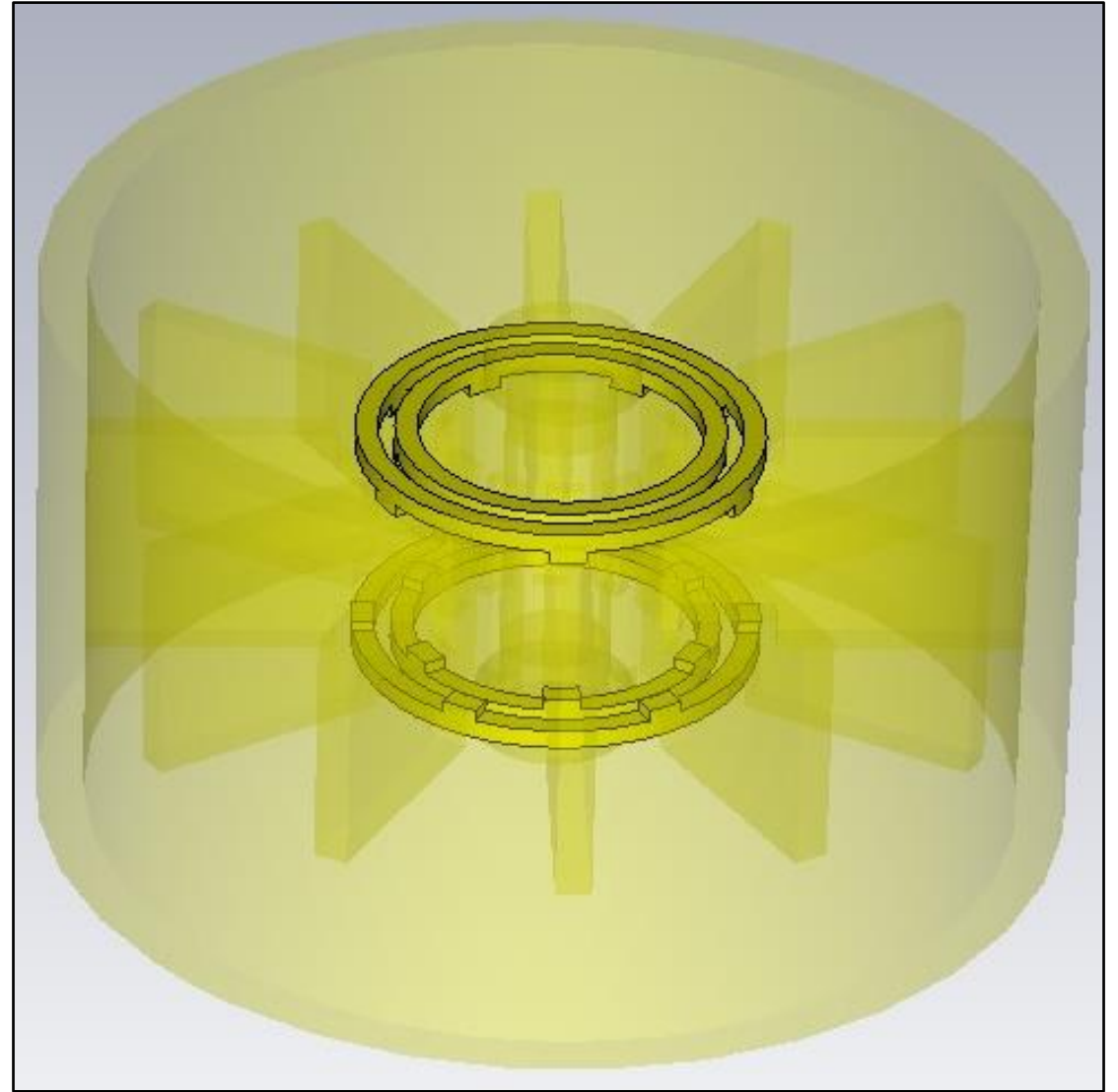


- Osilasyon modu iyi sağlanmazsa istenen frekans dışındaki frekanslarda magnetronun çalışmasına sebep olur.

Kısa Devre Halkaları

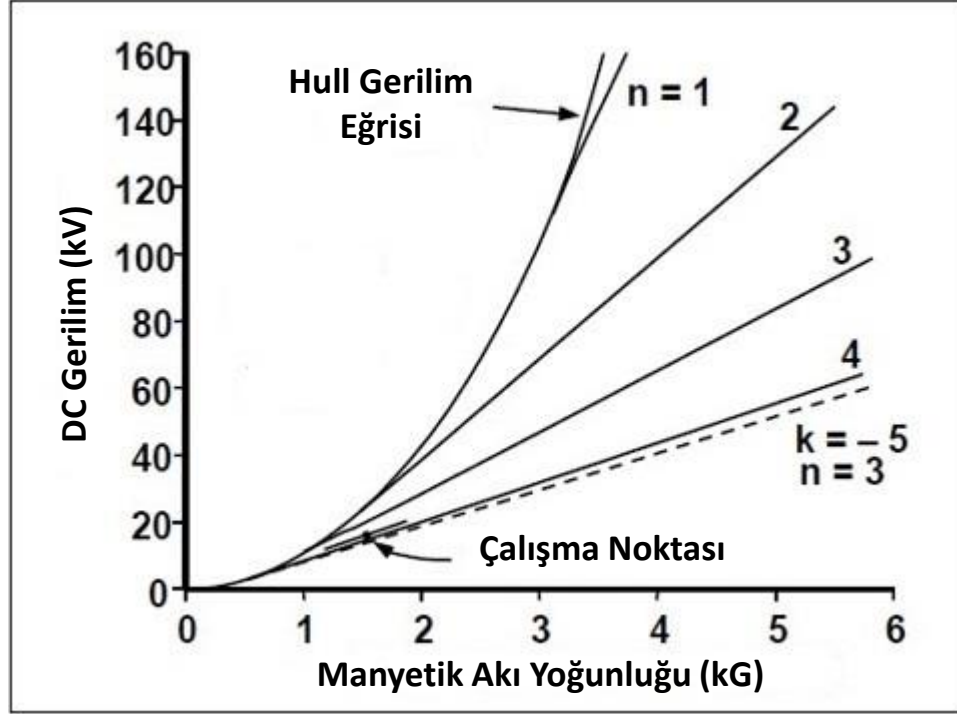


- Mod ayrımı oluşturmak için kullanılan yapılardır. Farklı kısa devre halka kombinasyonları mevcuttur.



Kısa Devre Halkaları

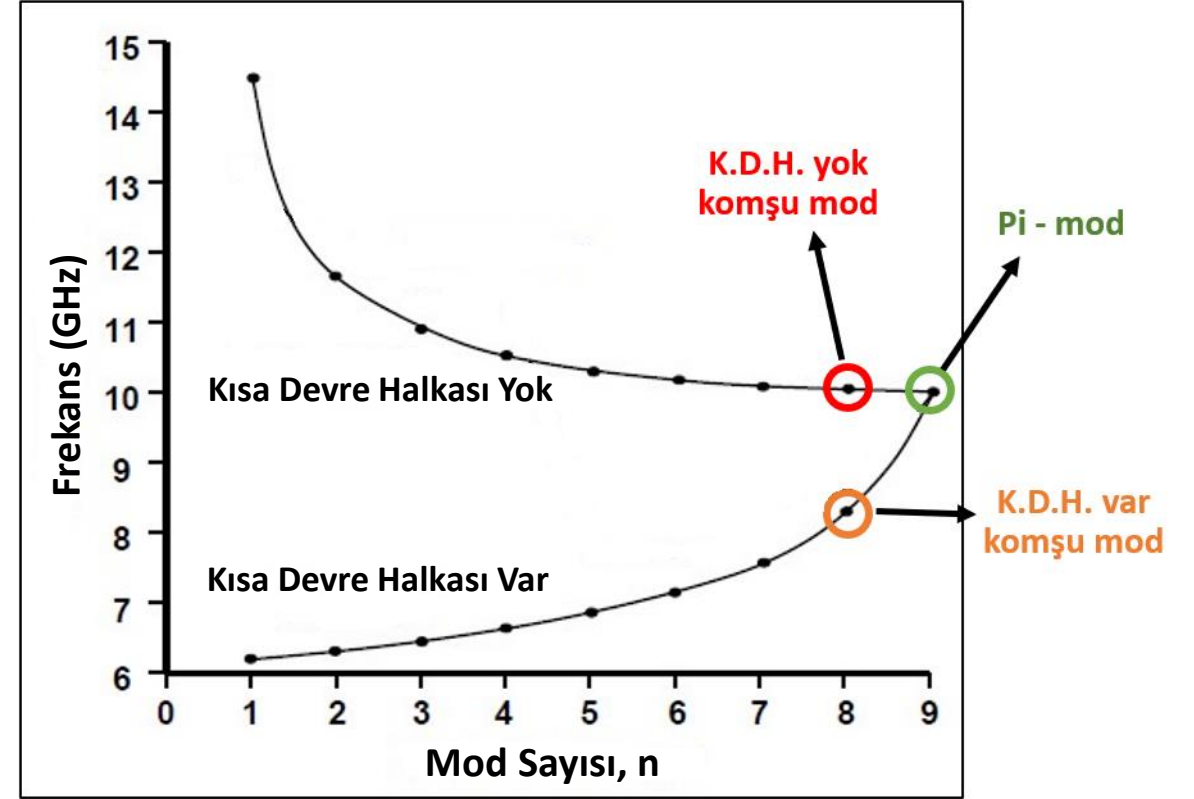
Kısa Devre Halkası Yok iken



8 kaviteli anot tasarımı

- Çeşitli modların frekans değerleri birbirine çok yakın görülmektedir.
- Şekilde $n=3$ ve $n=4$ modları arasındaki ayırım %1 ile %2 dir.
- 8 kaviteden fazla kaviteye sahip yapılar için, pi modu ile en yakın komşu mod arasındaki ayırım %1 den daha düşüktür.
- Mod ayırımı küçük olduğunda frekans kararsızlıkları nedeniyle bu ayırımı arttırmak için kısa devre halkaları kullanılır.

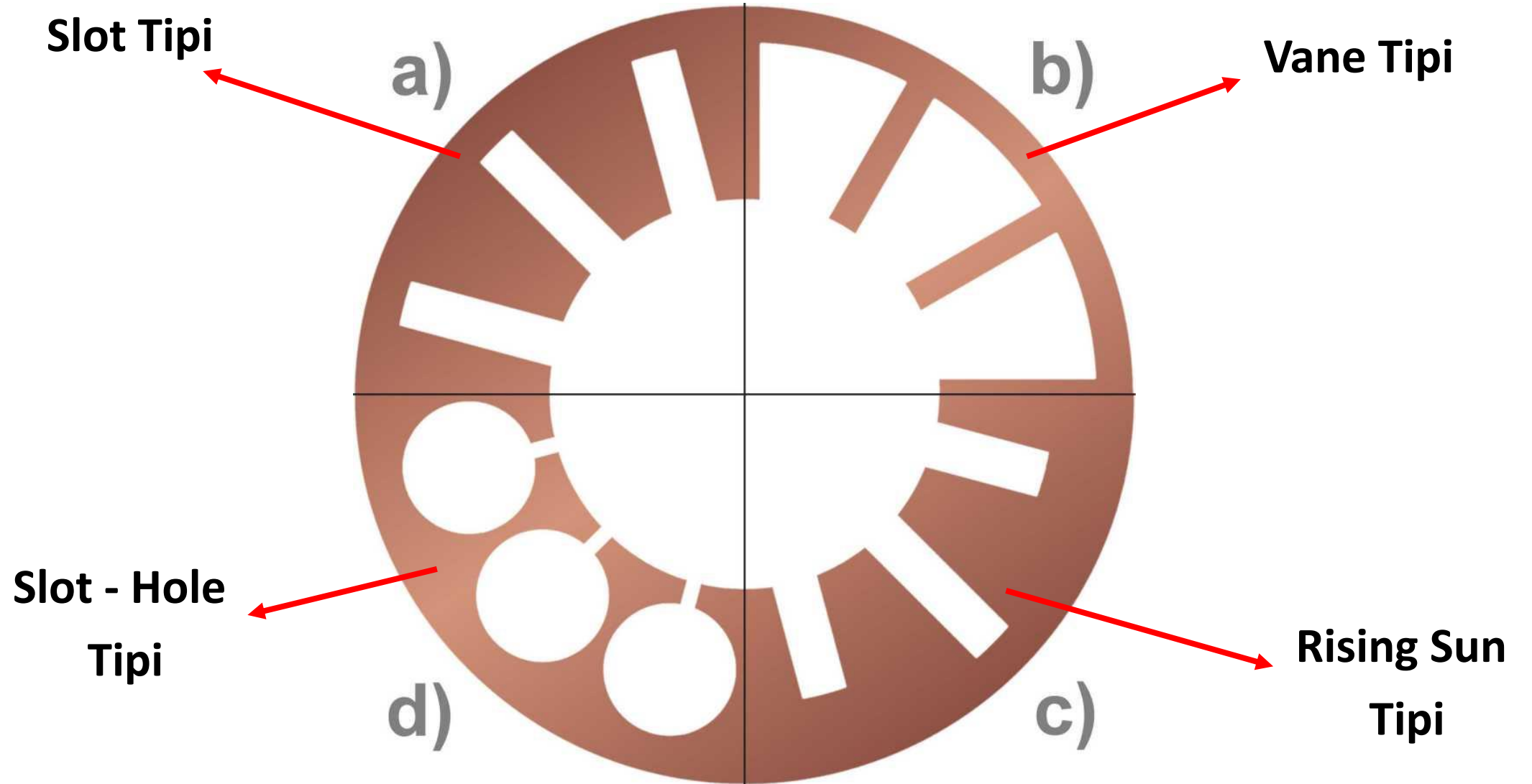
Kısa Devre Halkası Var iken



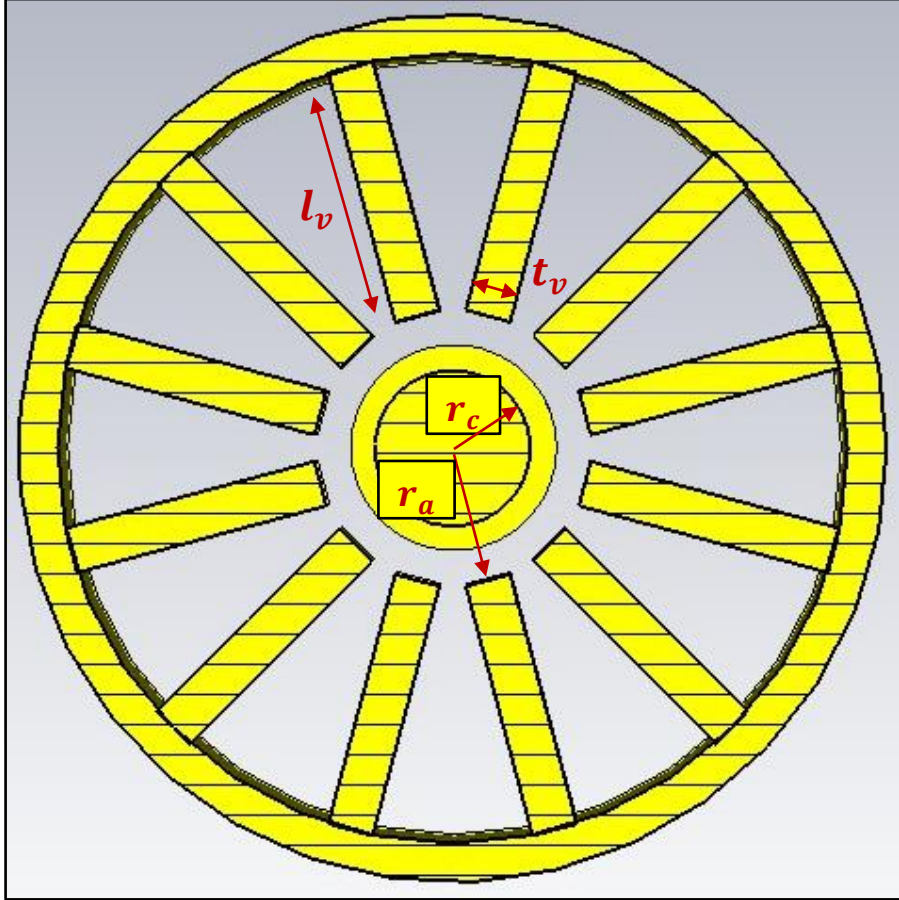
18 kaviteli anot tasarımı

- Kısa devre halkaları devreye kapasitans ekler, ve pi modu ve diğer modların frekansı değişir.
- Düşük güçlü tüplerde, strap ile %25 - %35 mod ayırımı elde edilirken, yüksek güçlü tüplerde ise %10 - %14 tür.

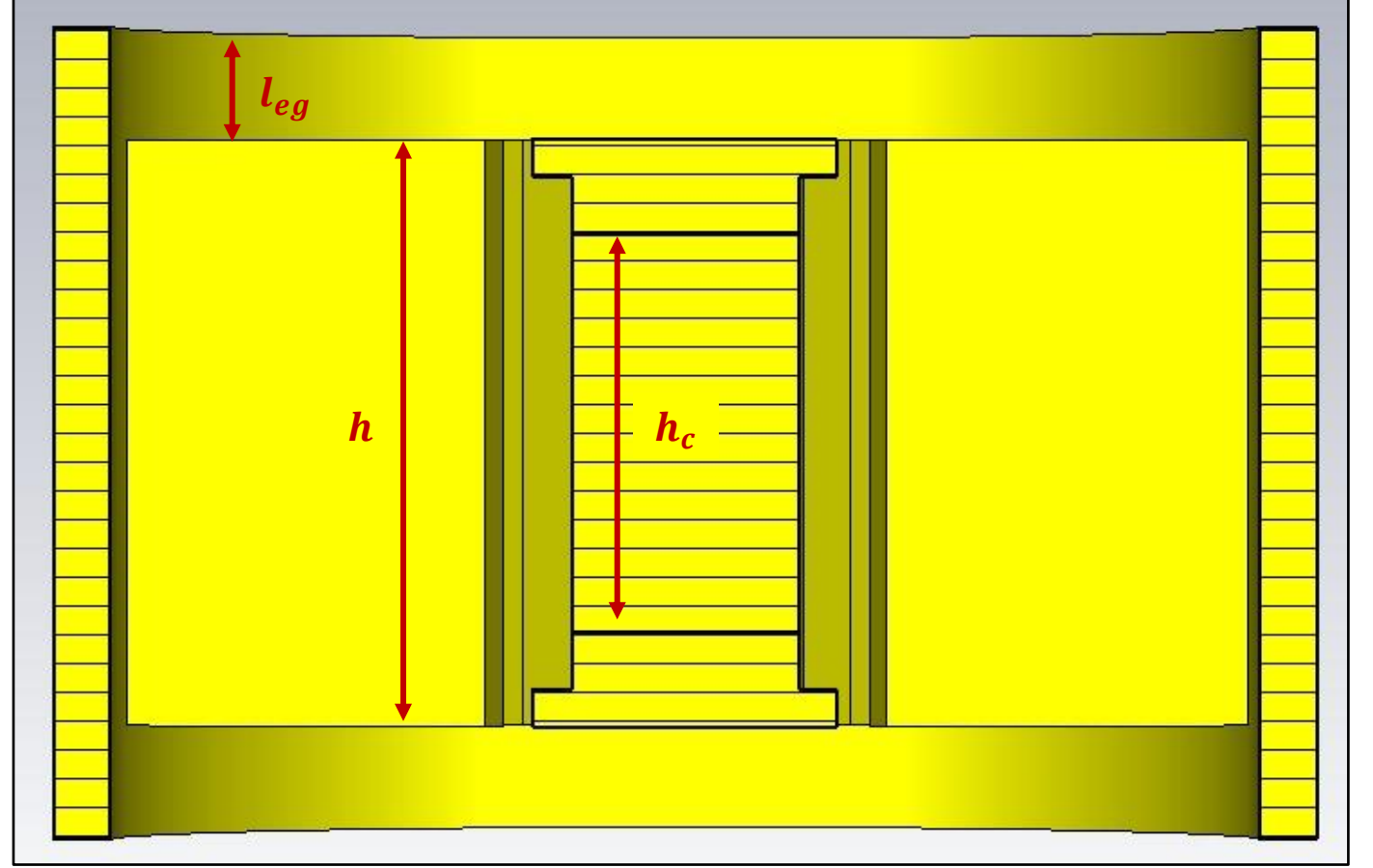
Rezonatör Çeşitleri



Magnetron Tasarım Parametrelerinin Çıkarımı



r_a : anot yarıçap
 r_c : katot yarıçap
 t_v : vane kalınlığı
 l_v : vane uzunluğu



h_c : katot uzunluğu
 h : anot yarıçap
 l_{eg} : anot ek uzunluk

i : emisyon akımı
 v : uygulanan gerilim
 B : manyetik alan
 j : akım yoğunluğu

Magnetron Tasarım Parametrelerinin Çıkarımı

Girdiler

N: Rezonatör Sayısı
I : Emisyon Akımı
J: Akım Yoğunluğu
V: Uygulanan Gerilim
f: Frekans

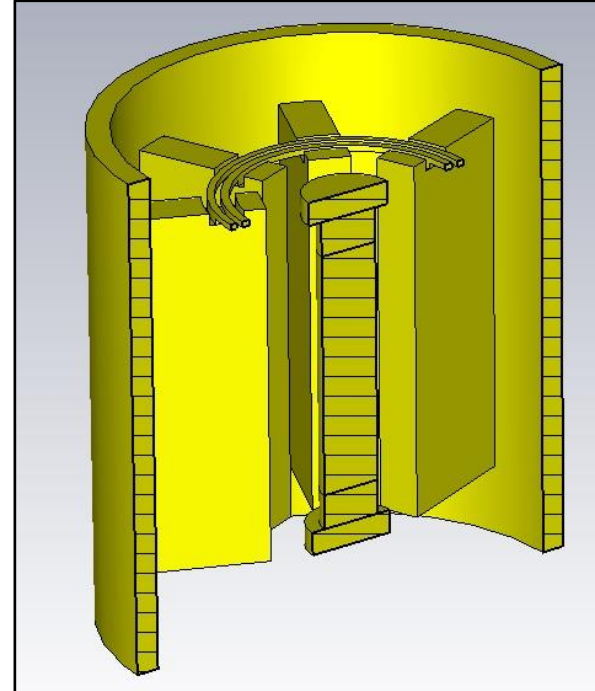
Tasarım Katsayıları

v, i, b, q

Tasarım Parametreleri

r_a : anot yarıçap
 r_c : katot yarıçap
 t_v : vane kalınlığı
 l_v : vane uzunluğu
 h_c : katot uzunluğu
 h : anot yüksekliği
 l_{eg} : anot ek uzunluk
 B : manyetik alan

Benzetim Ortamı



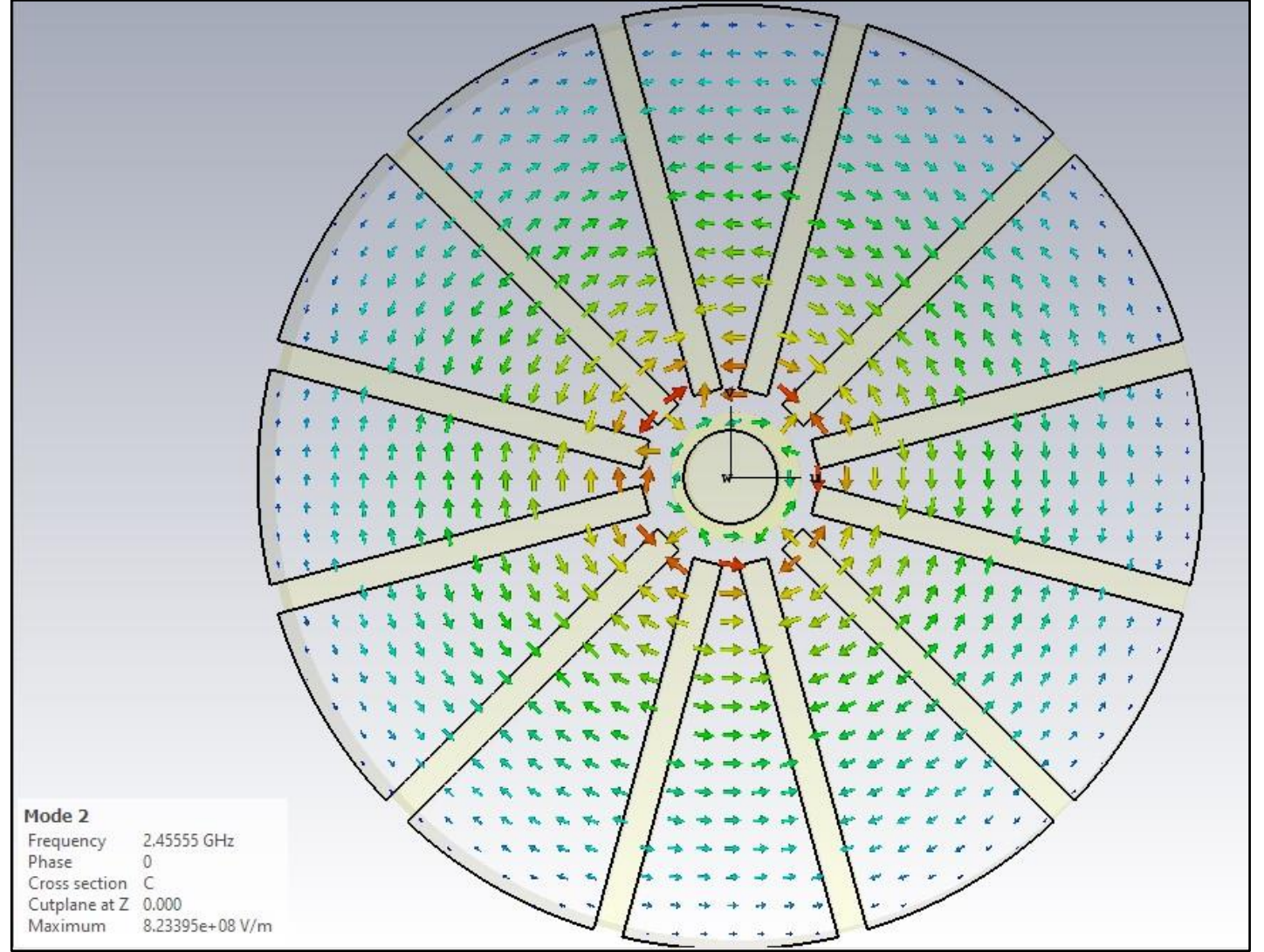
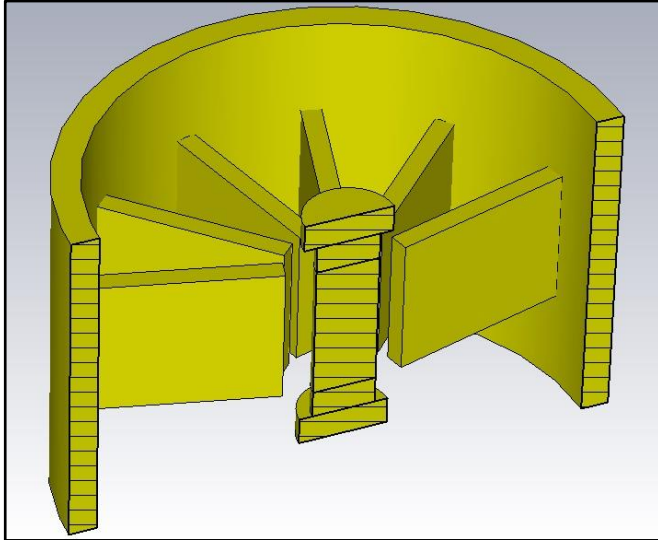
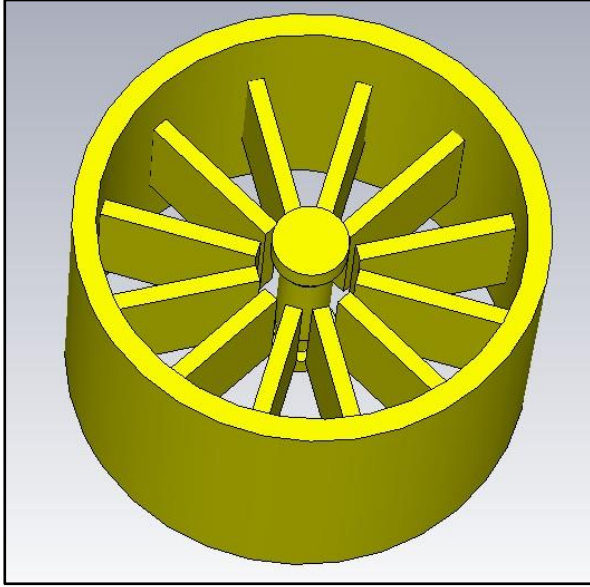
Soğuk Test Benzetimi

- Parçacıkların olmadığı durumda, anot yapısında elektromanyetik dağılımlarının, rezonans frekans değerinin incelendiği benzetim çalışmasıdır.
- Mod, frekans değerleri gözlemlenir.

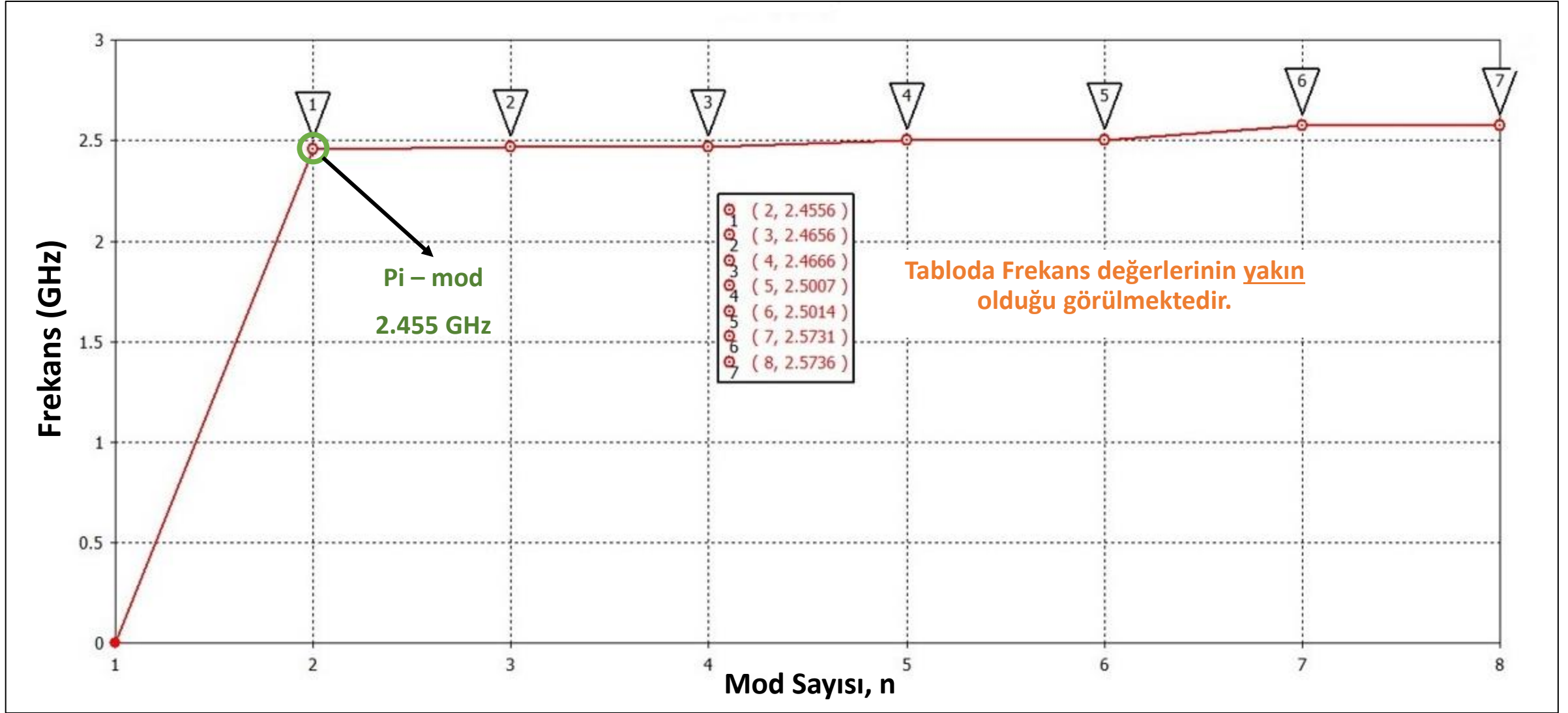
Sıcak Test Benzetimi

- Parçacıkların sisteme dahil edildiği durumda, parçacıkların RF dalgasına enerji aktarımının incelendiği benzetim çalışmasıdır.
- Spoke, çıkış gücü, frekans değerleri gözlemlenir.

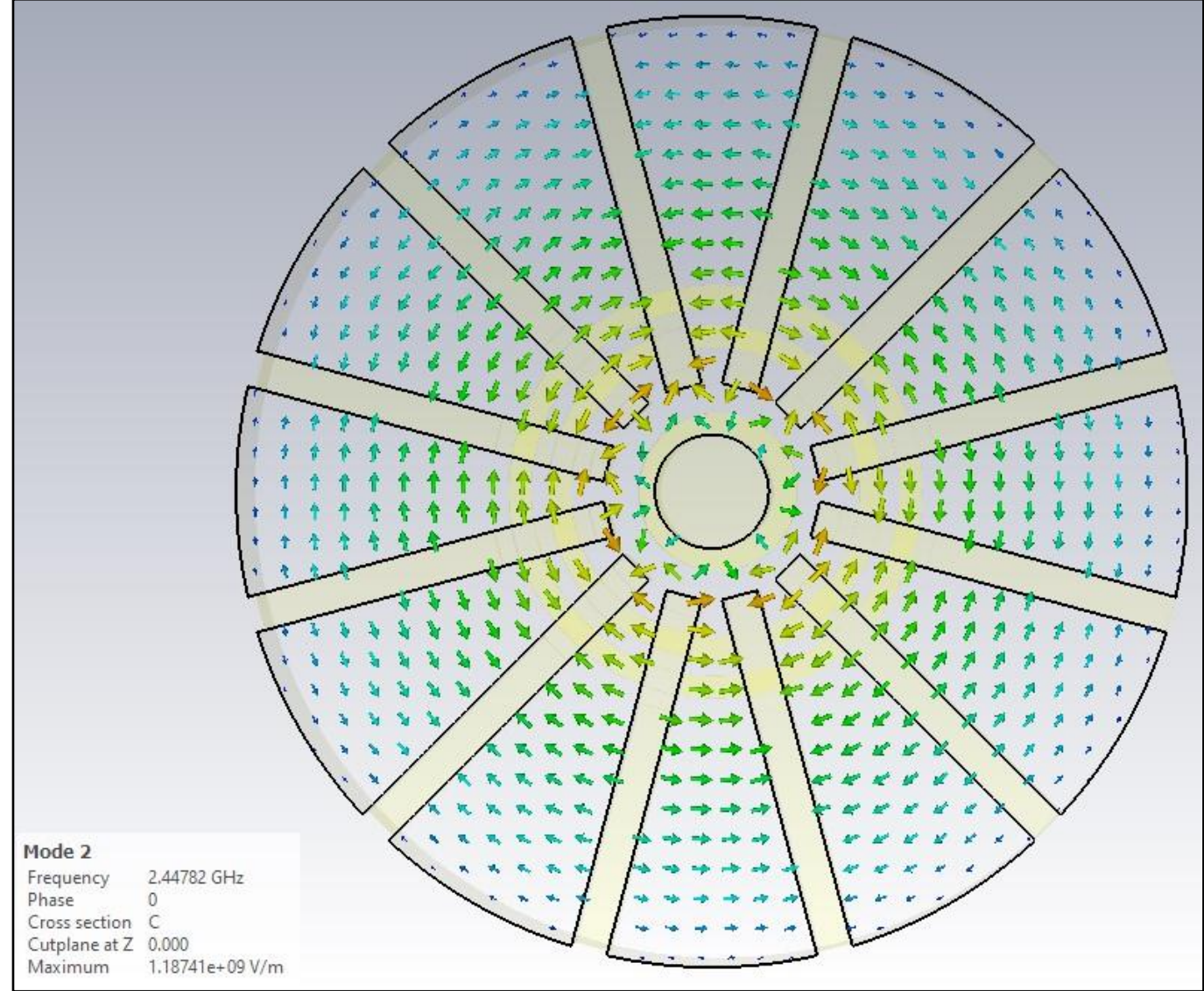
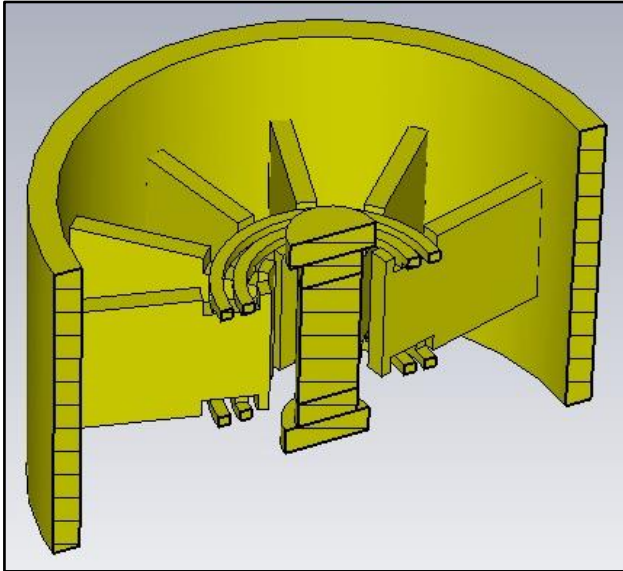
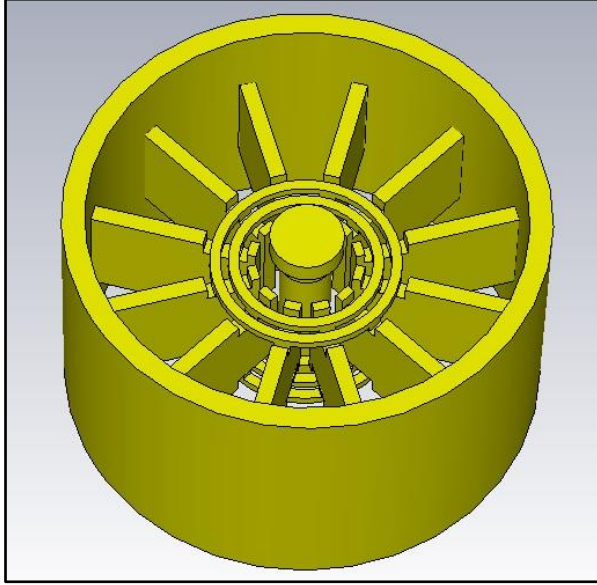
Soğuk Test Benzetimi



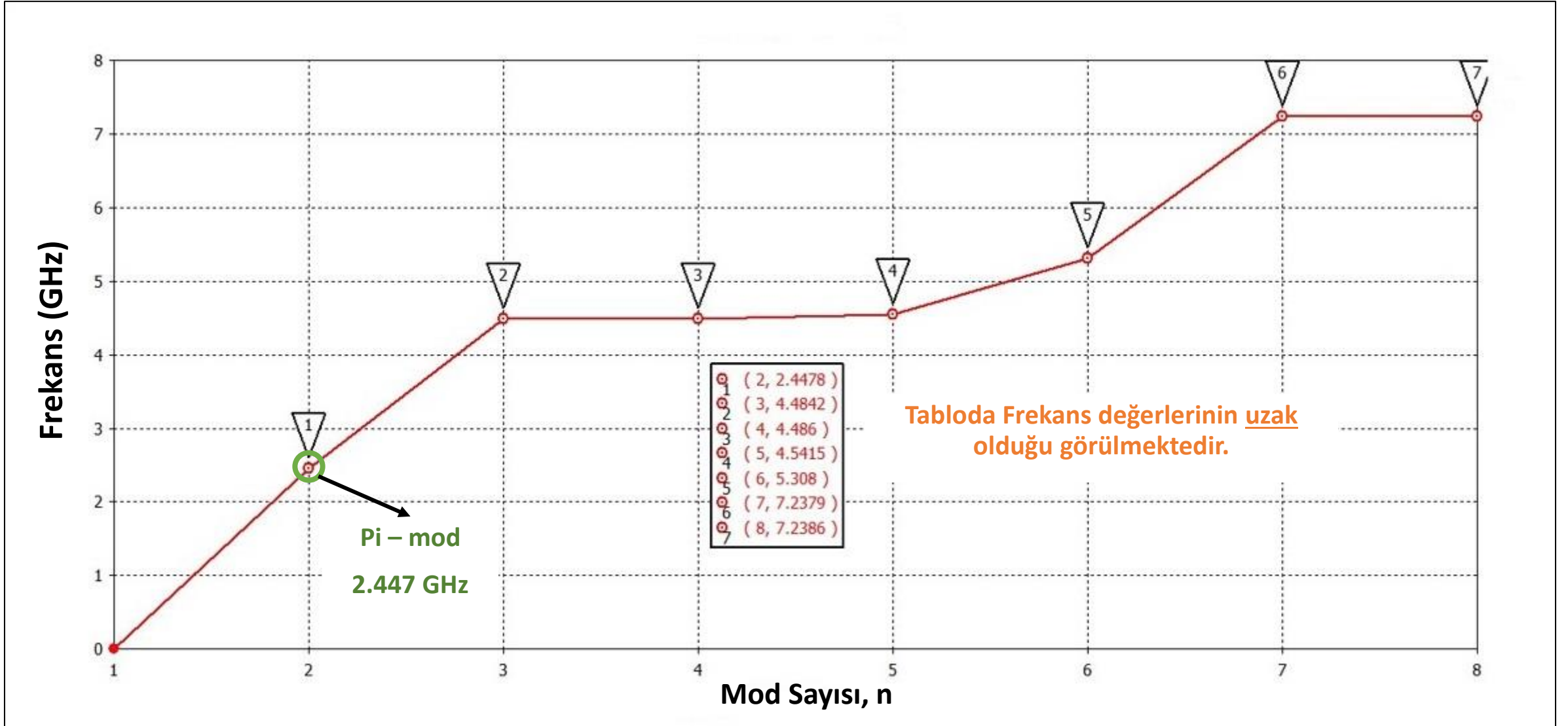
Soğuk Test Benzetimi



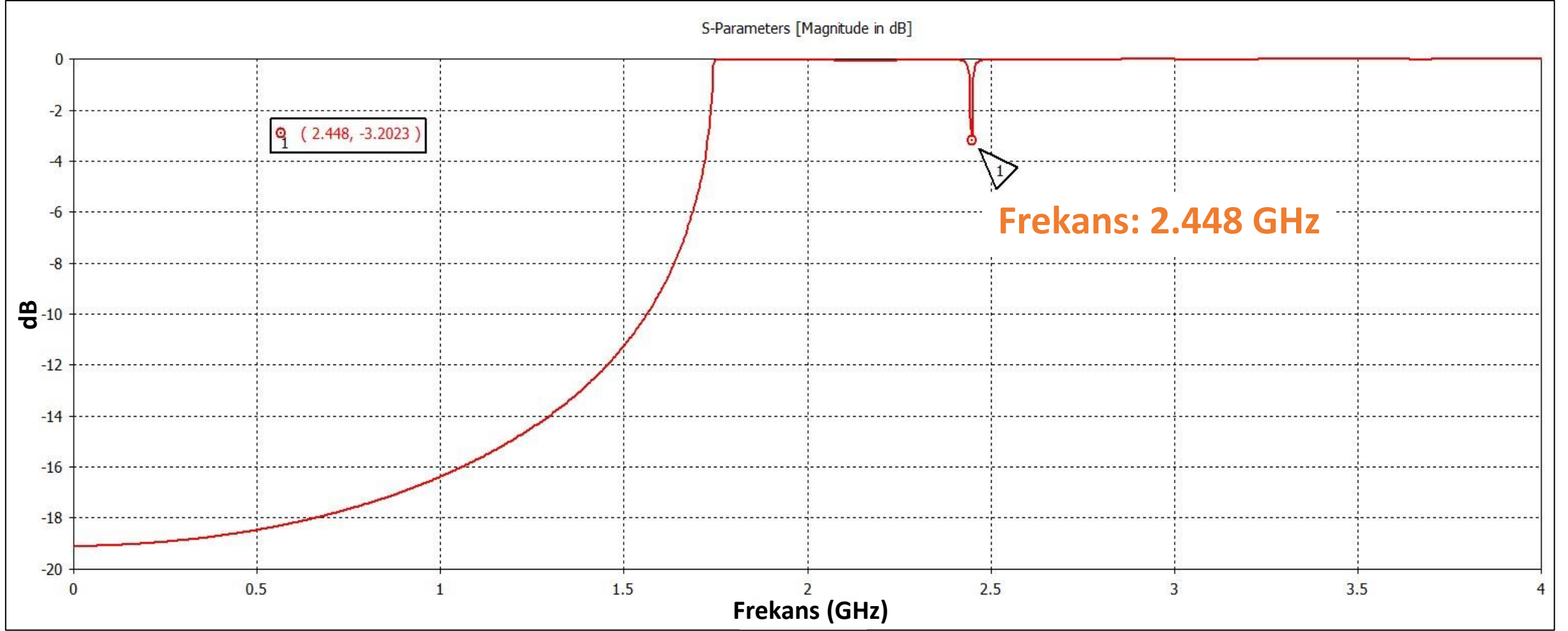
Soğuk Test Benzetimi – Kısa Devre Halkaları Ekli



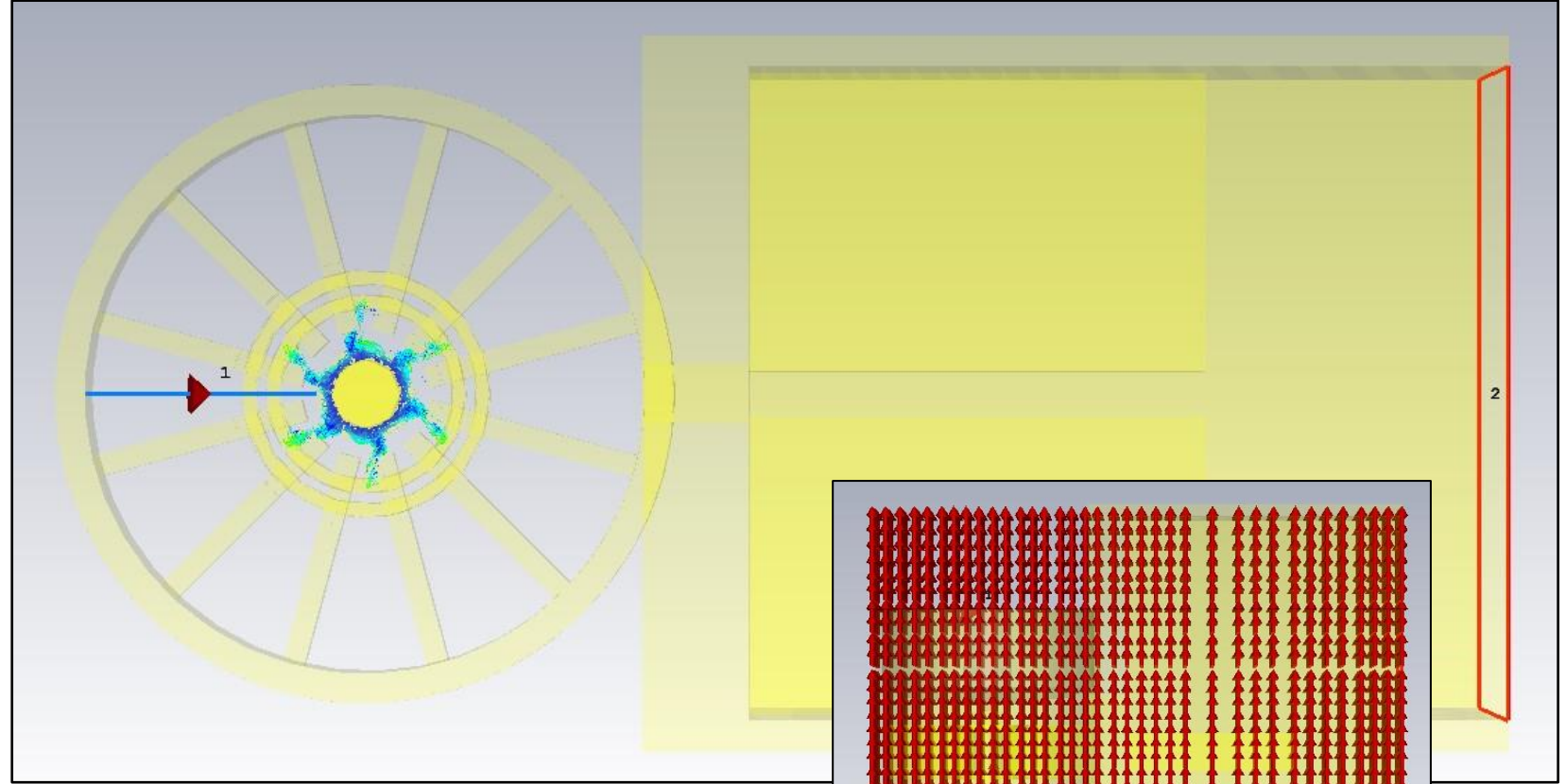
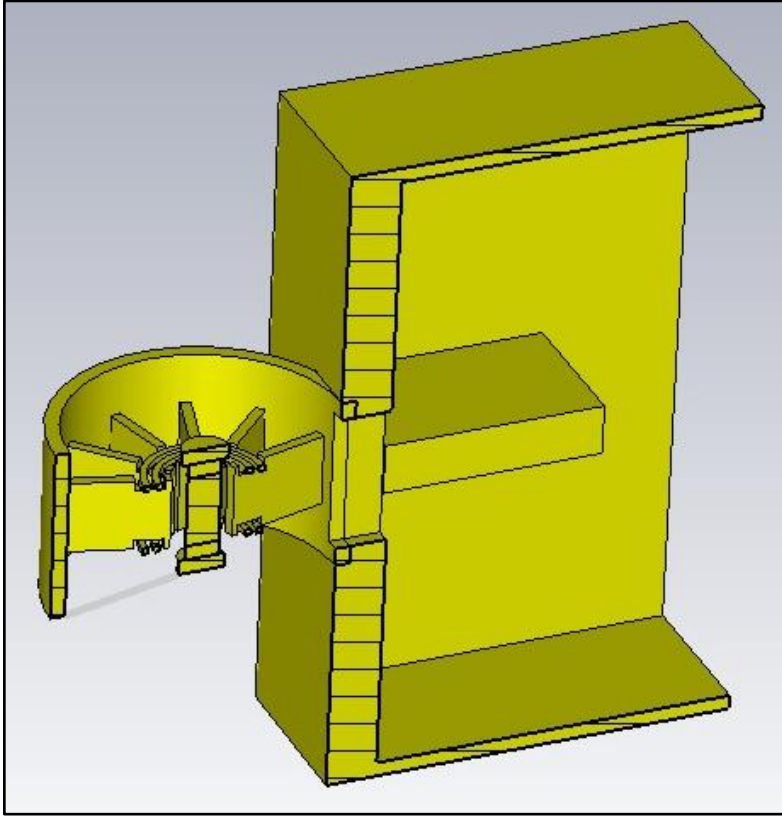
Soğuk Test Benzetimi – Kısa Devre Halkaları Ekli



Soğuk Test Benzetimi – Kısa Devre Halkaları Ekli



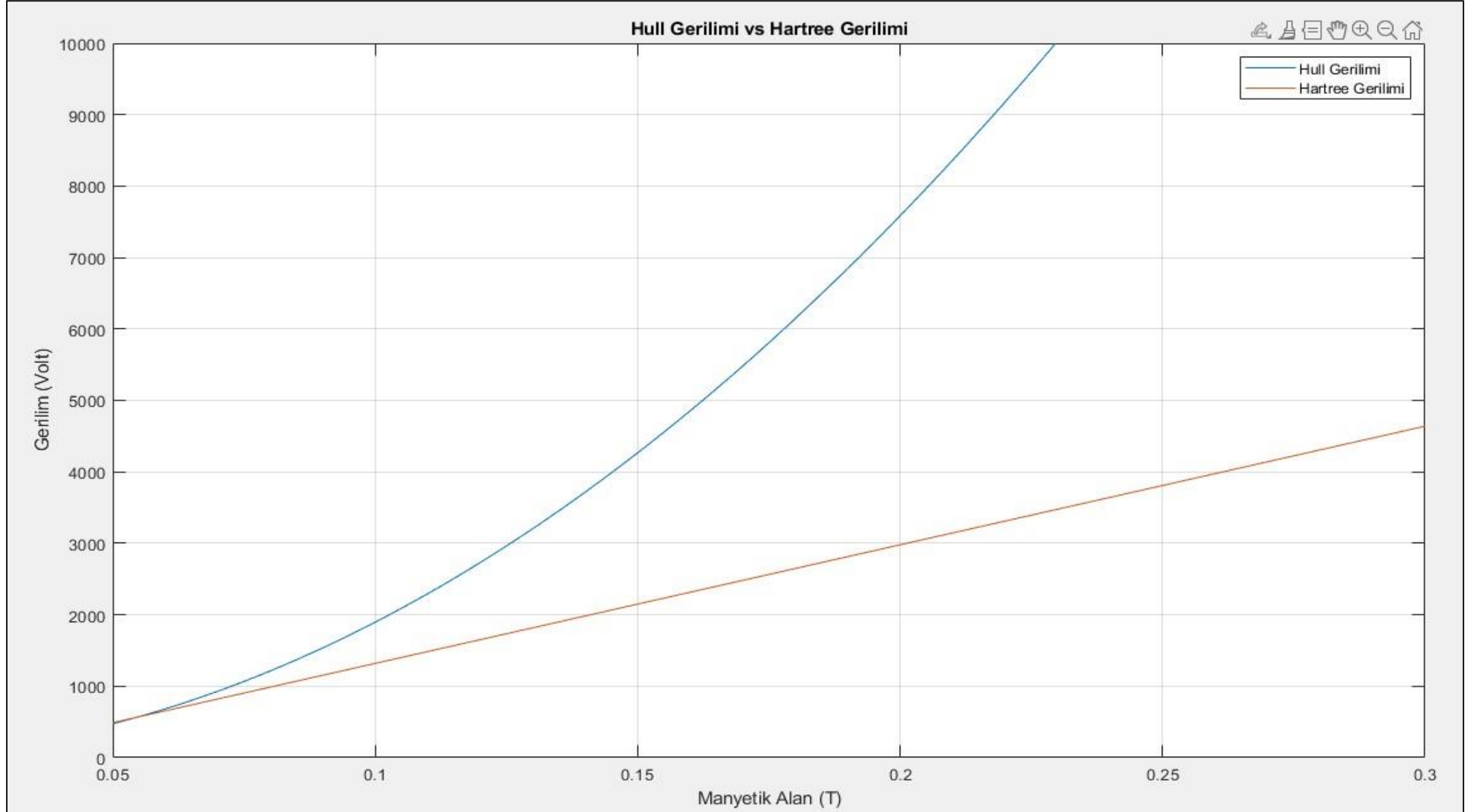
Sıcak Test Benzetimi



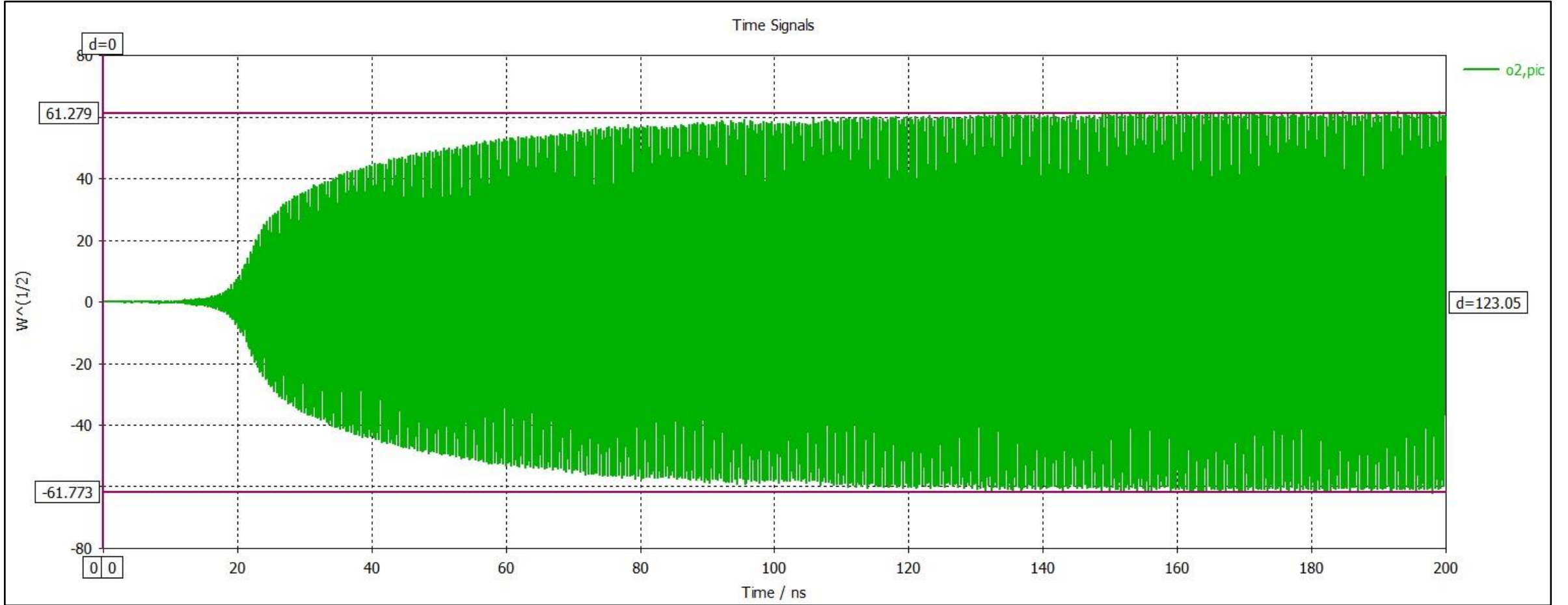
Homojen manyetik alan tanımlandı.



Sıcak Test Benzetimi

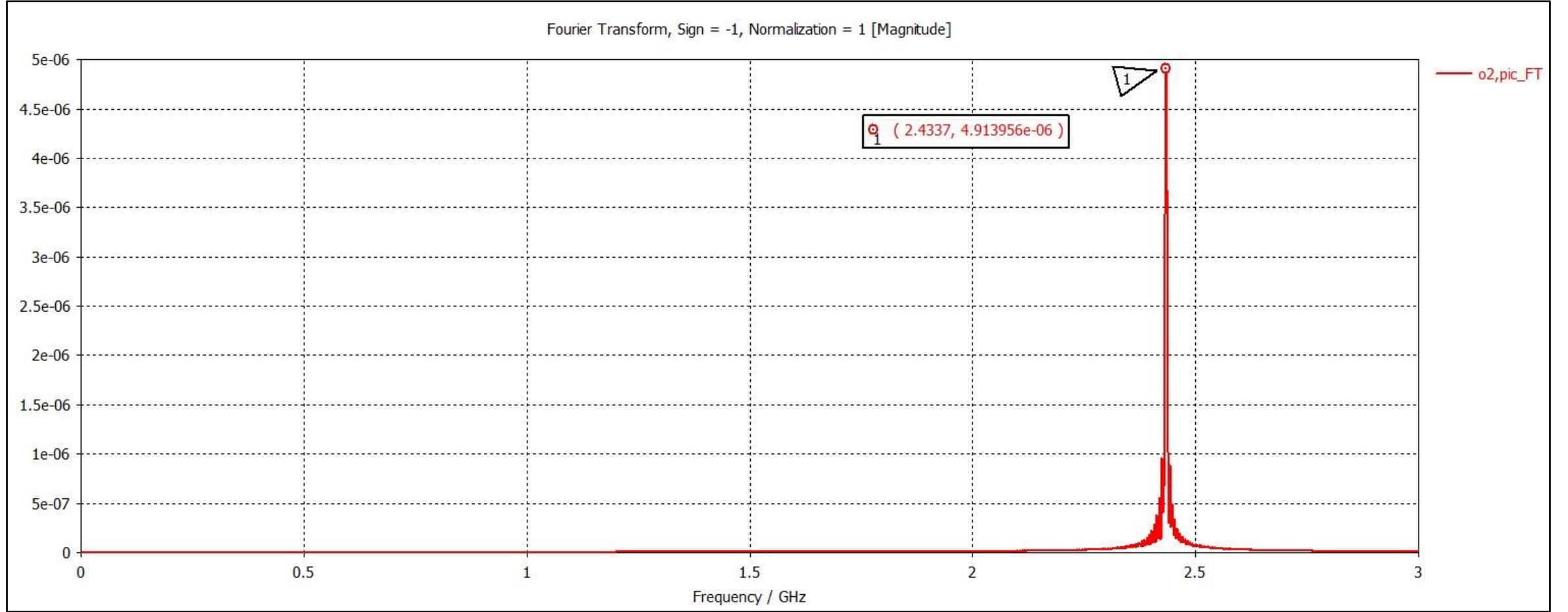


Sıcak Test Benzetimi – Düşük Mesh



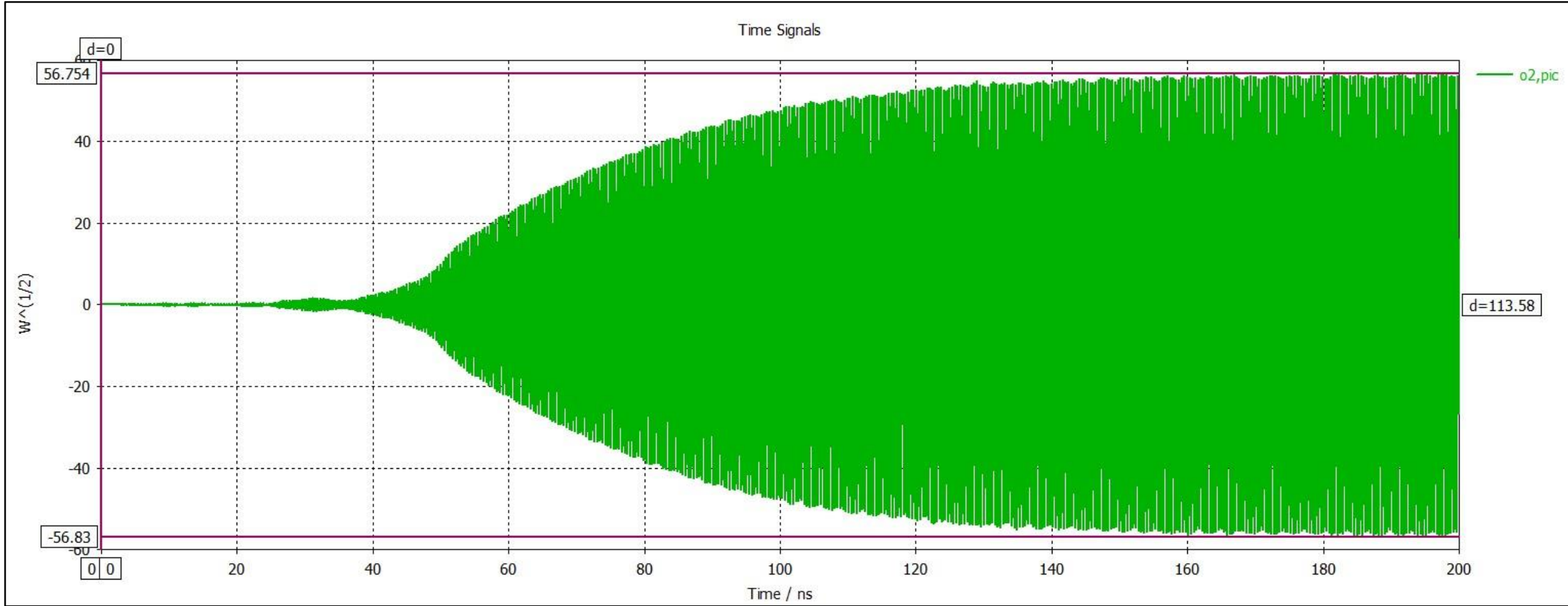
Güç: 1.8 kW

Sıcak Test Benzetimi – Düşük Mesh



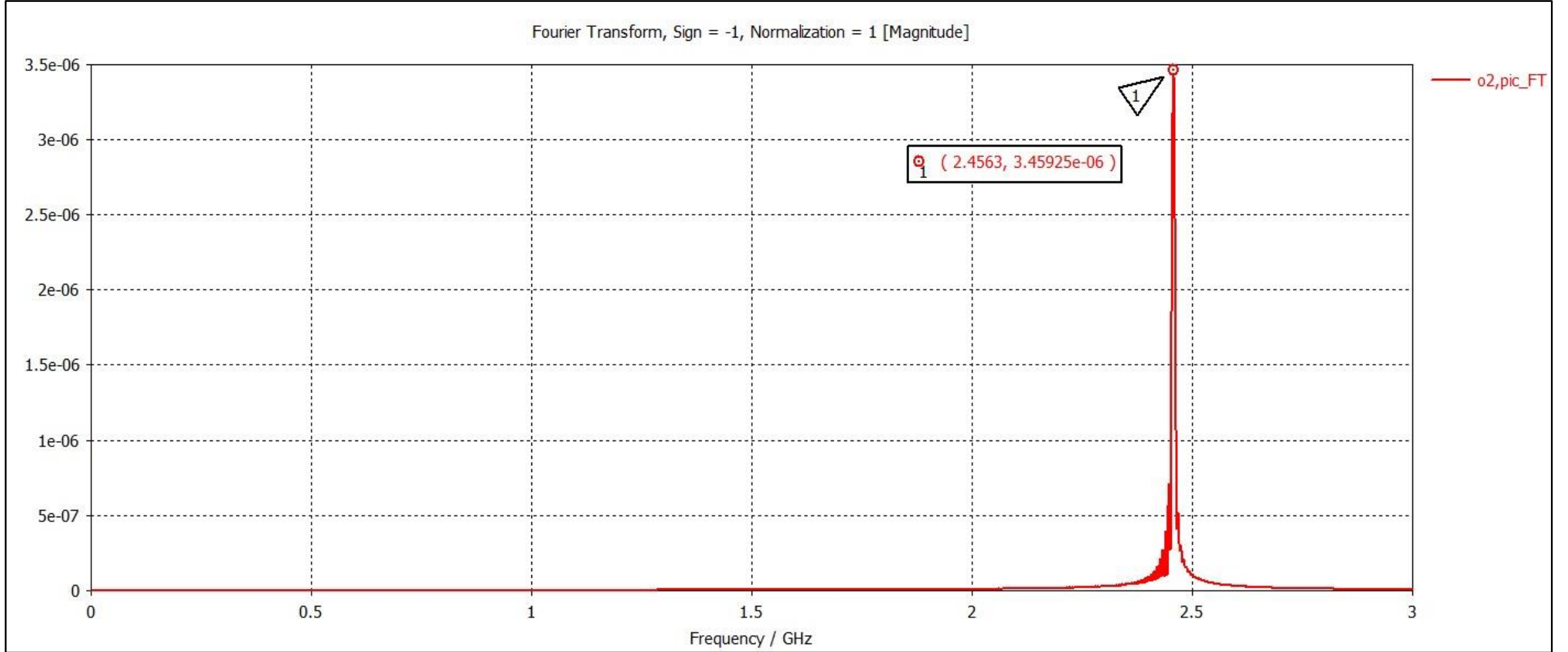
Frekans: 2.433 GHz

Sıcak Test Benzetimi – Yüksek Mesh



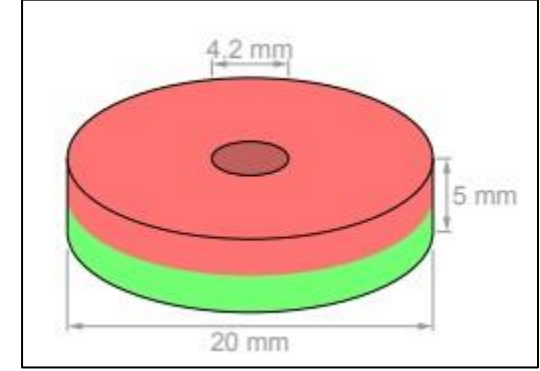
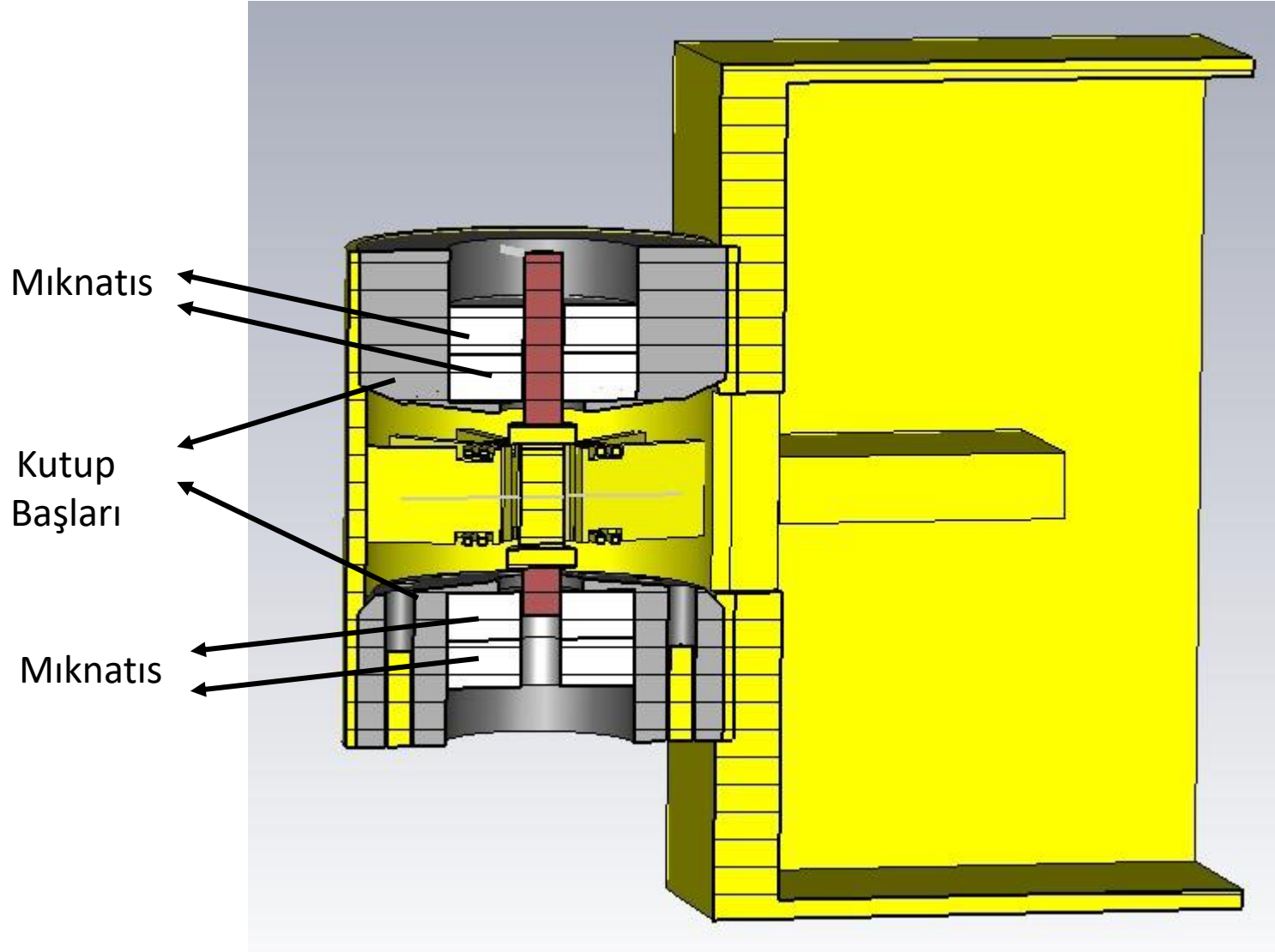
Güç: 1.6 kW

Sıcak Test Benzetimi – Yüksek Mesh

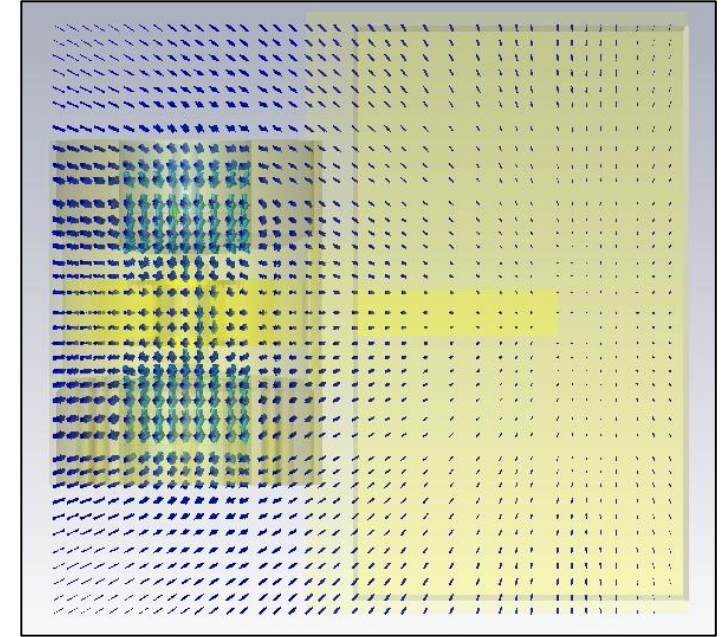


Frekans: 2.456 GHz

Sıcak Test Benzetimi – Yüksek Mesh

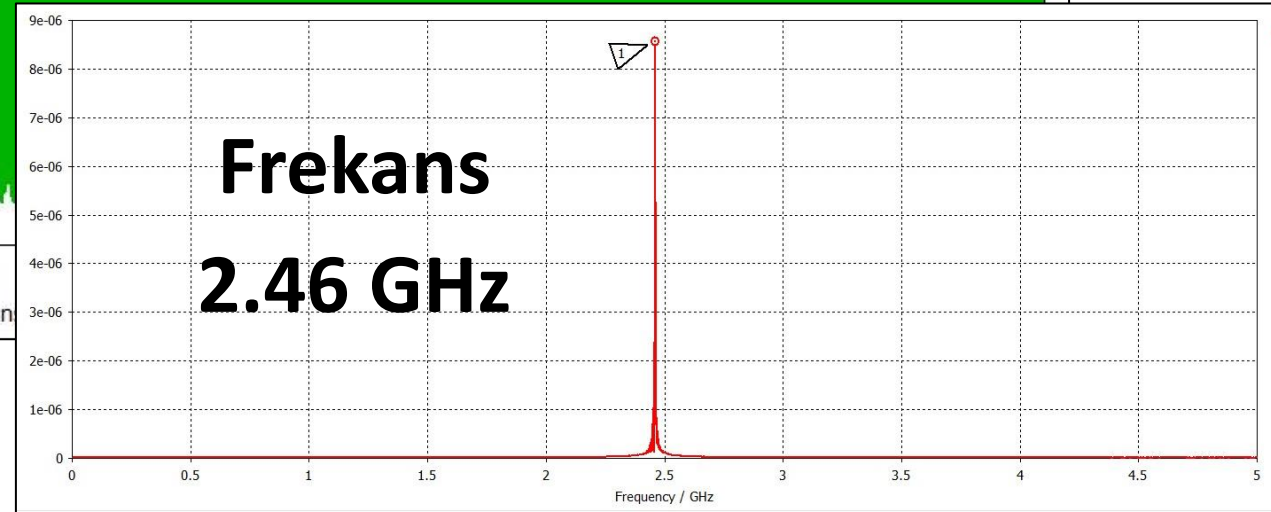
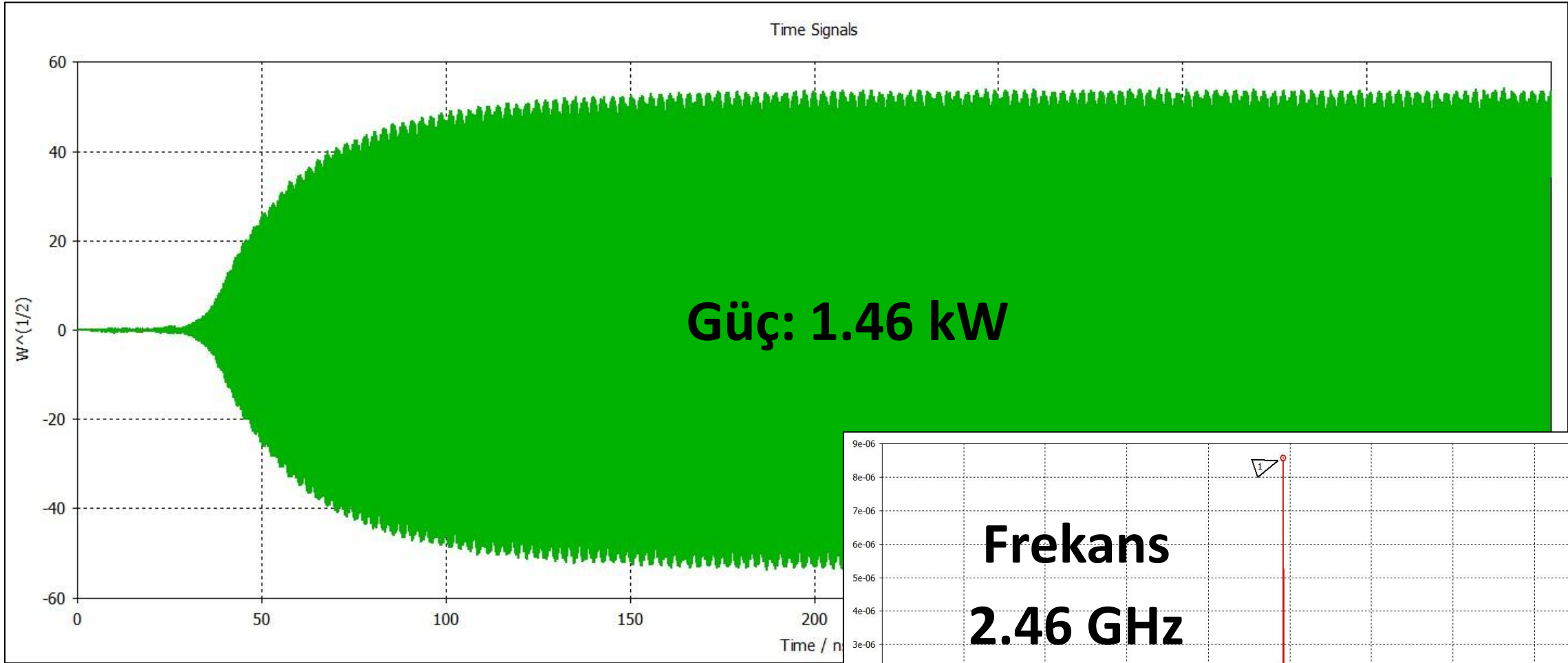


Magnetisation	N45
Residual magnetism Br	13200-13700 G, 1.32-1.37 T



Manyetik Alan Dağılımı Sonucu

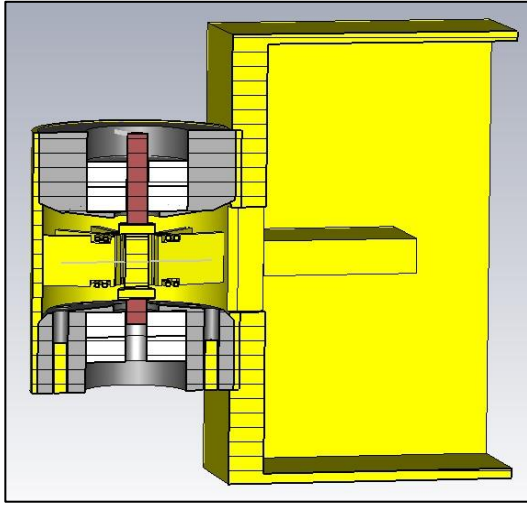
Sıcak Test Benzetimi – Yüksek Mesh



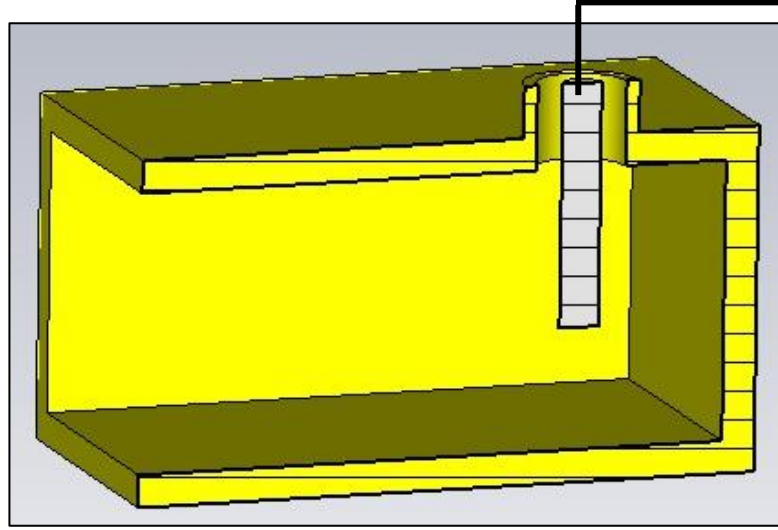
Ölçüm Teknikleri – Soğuk Test Ölçümü

Magnetron yapısının, rezonans frekansı (çalışma frekansı), kalite faktörün ölçümleri yapılır.

Soğuk Test Ölçüm Düzenneği



Magnetron

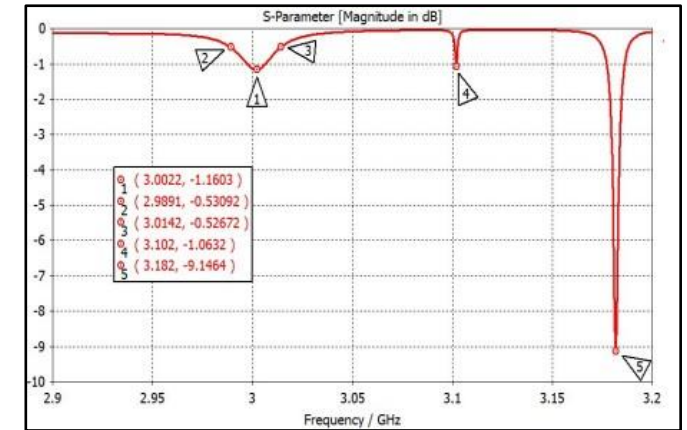


Dalga Kılavuzundan Koaksiyel Dönüştürücü



Vektör Ağ Analizörü

Ölçüm Sonuç Görseli



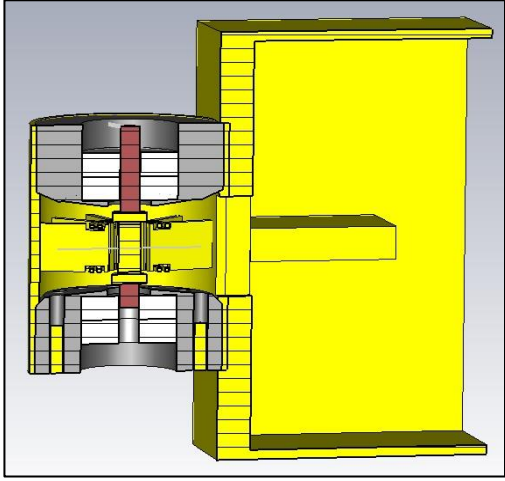
İncelenecek Parametreler

- S_{11} parametre değeri incelenecek
- VSWR değeri incelenecek
- Kalite faktör değerleri hesaplanacak

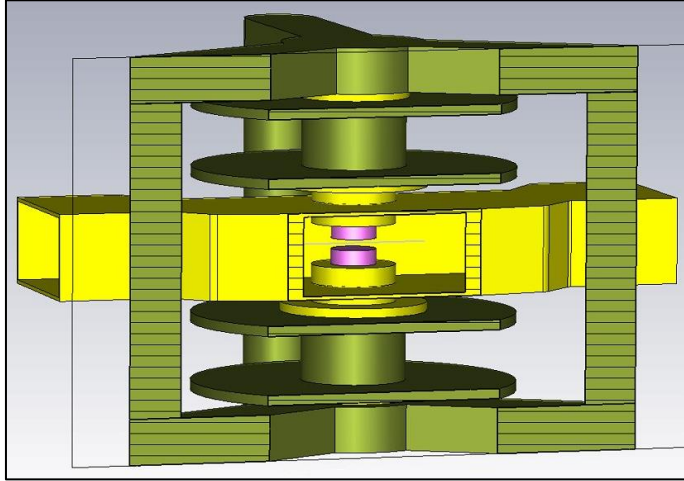
Ölçüm Teknikleri – Sıcak Test Ölçümü

Magnetron yapısının, çıkış gücü ölçümleri yapılır.

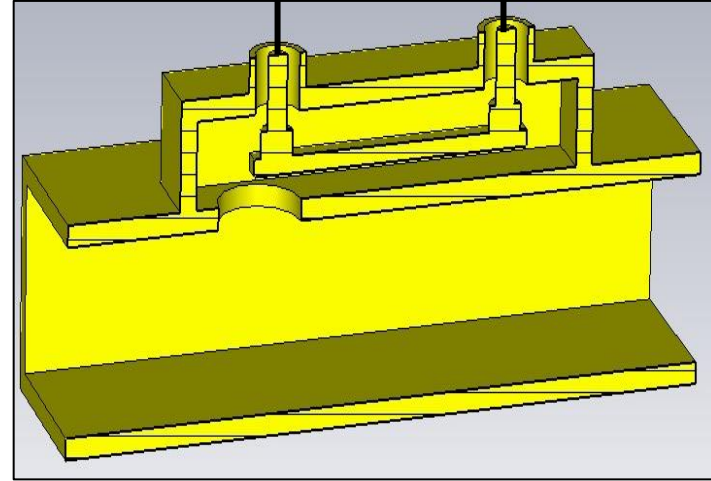
Sıcak Test Ölçüm Düzeneği



Magnetron



Dolaştırıcı



Yönlü Bağdaştırıcı



RF Yük

Spektrum Analizör

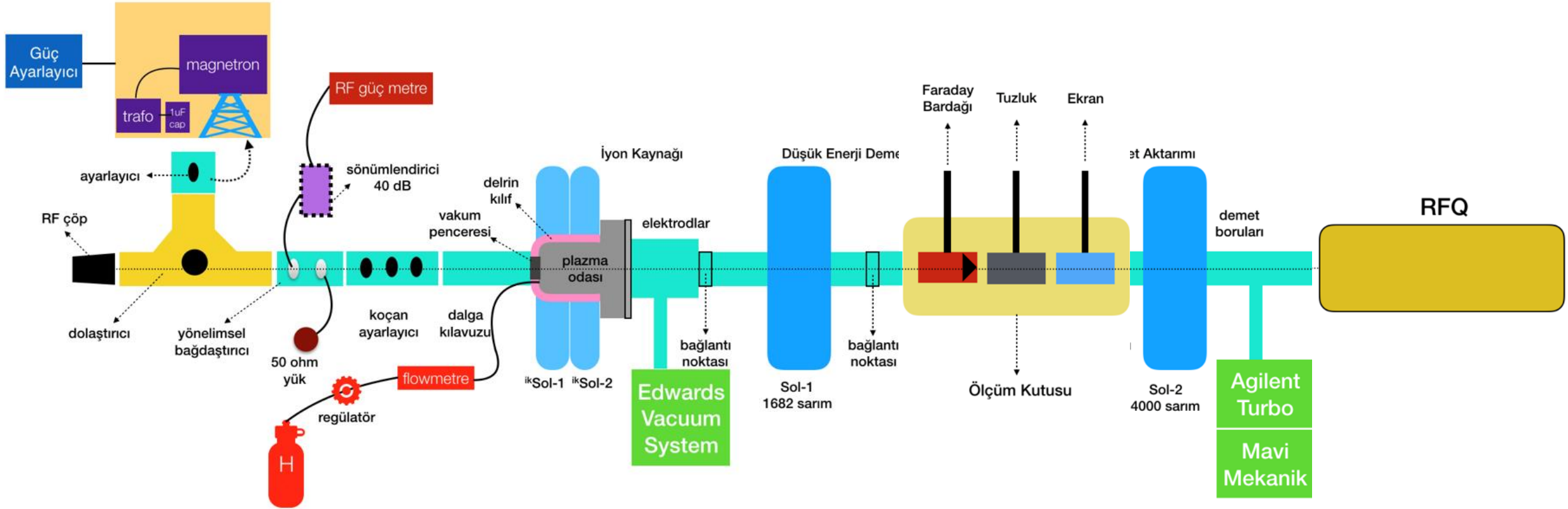
İncelenecek Parametreler

- Frekans değeri incelenecek
- dBm (güç) değeri incelenecek

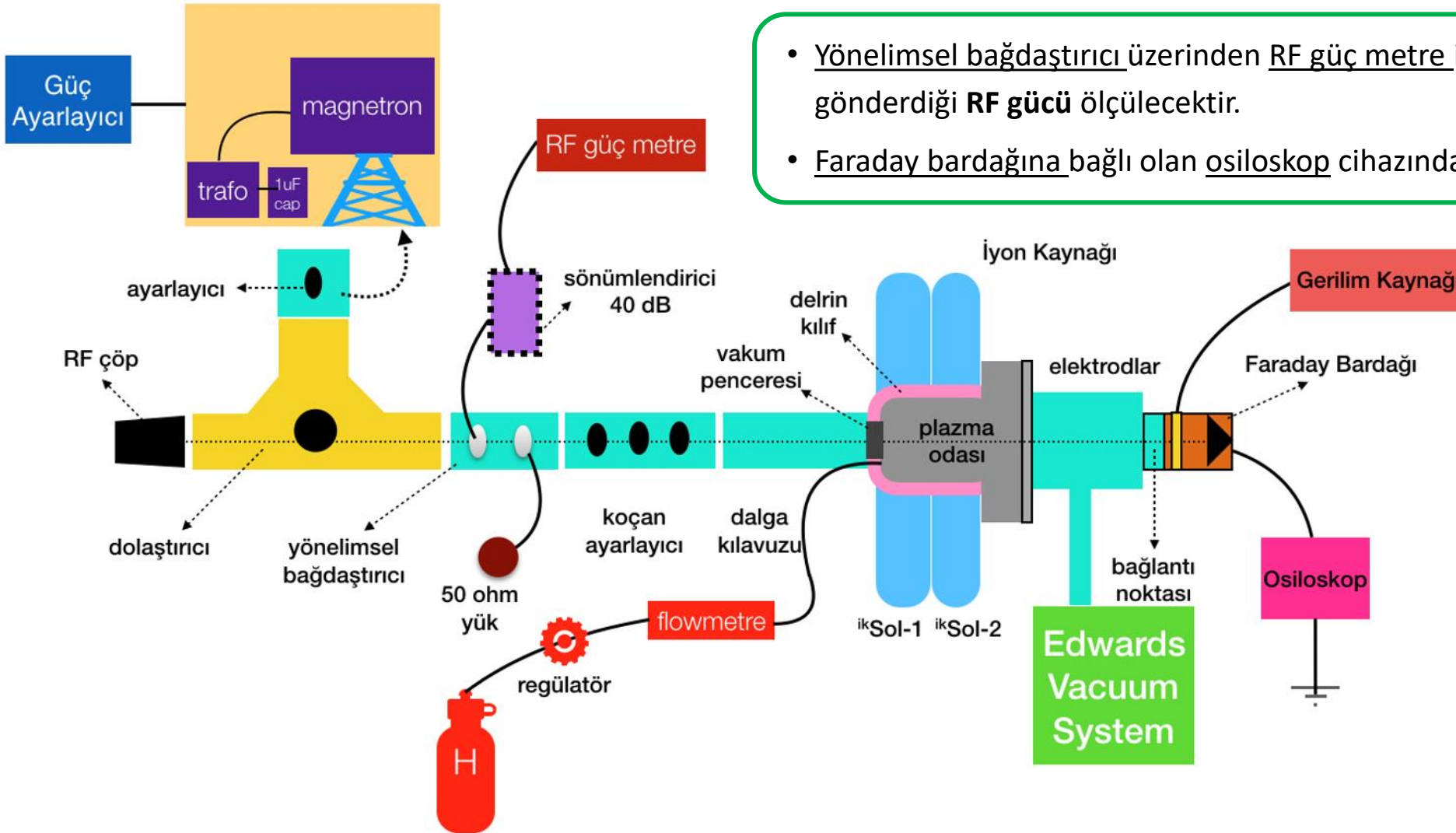


Ölçüm Sonuç Görseli

KAHVELab Proton Demet Hattına Eklenmesi

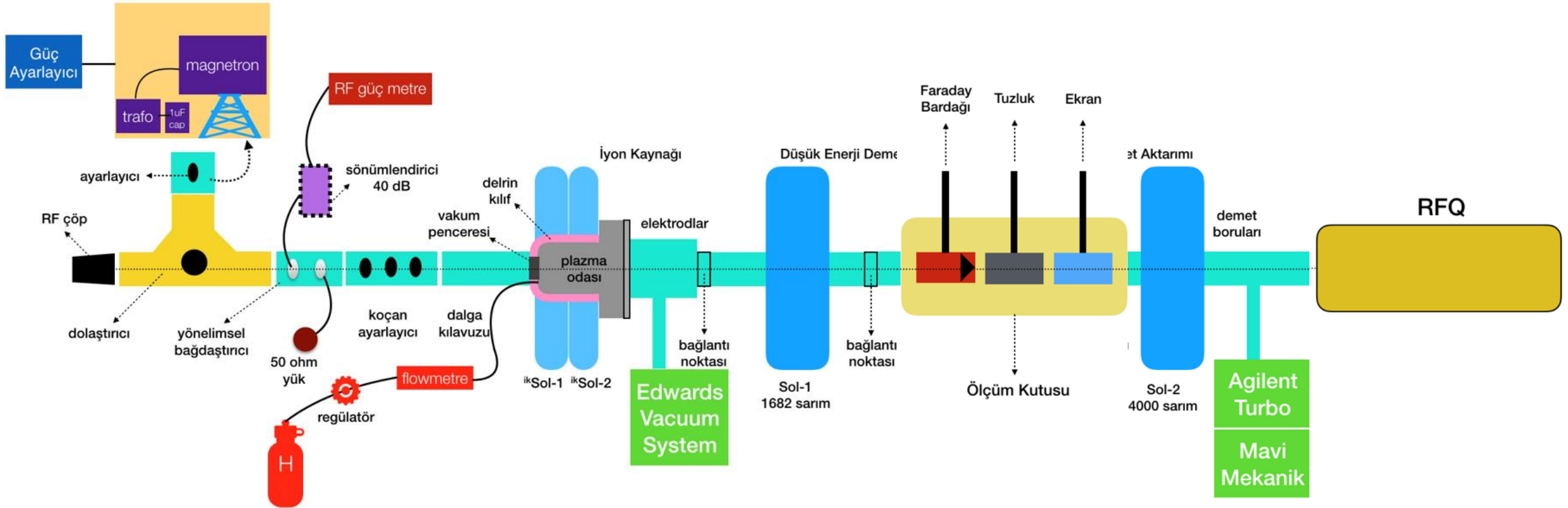


KAHVELab Proton Demet Hattı Şeması (Ölçüm – 1)



- Yönelimsel bağdaştırıcı üzerinden RF güç metre ile magnetronun plazma odasına gönderdiği **RF gücü** ölçülecektir.
- Faraday bardağına bağlı olan osiloskop cihazında **demet akımı** ölçülecektir.

KAHVELab Proton Demet Hattı Şeması (Ölçüm – 2)



- Yönelimsel bağdaştırıcı üzerinden RF güç metre ile magnetronun plazma odasına gönderdiği **RF gücü** ölçülecektir.
- Faraday bardağına bağlı olan osiloskop cihazında **demet akımı** ölçülecektir.
- Tuzluk ve ekran üzerinden **demetin yayılımı** incelenecektir.

Sonuç

Mevcut Durum

- S Bandında çalışan bir magnetronun,
 - Tasarım parametreleri hesaplandı.
 - Soğuk Test & Sıcak Test Benzetim çalışmaları yapıldı.
 - Tasarıma piyasada mevcut satılan magnetlerin özellikleri eklenerek manyetik alan dağılım benzetimi ve sıcak test benzetimleri yapıldı.
 - **Hedeflenen güç ve frekans değerlerine** ulaşıldı.

Hedefler

- Frekans Ayarlayıcı Sistemi eklenecek.
- Farklı gerilim ve manyetik alan değerlerinde çıkış gücün nasıl değiştiği gözlemlenecek.
- Üretim ve ölçümler alınacak.
- **Özgün tasarım** olan, **gücü ve frekansı** ayarlanabilen bir magnetronu laboratuvarın altyapısına kazandırılacaktır.

Referanslar

- **Bailey, R.**, 2013, Proceedings of the CAS-CERN Accelerator School: High Power Hadron Machines, Bilbao, Spain, 24 May-2 June 2011
- **Brown, I. G.**, 2004, The Physics and Technology of Ion Sources, Weinheim: Wiley – VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
- **Zhang, H.**, 1999, Ion Sources; China: Science Press Beijing and Springer – Verlag Berlin Heidelberg
- **Hakan Çetinkaya**, Türk Hızlandırıcı Merkezi Proton Hızlandırıcısı Tesisine Yönelik Prototip İyon Kaynağı Tasarımı, Doktora Tezi
- **A.S. Gilmour. J.**, Klystrons, TWT, Magnetrons, Crossed-Field Amplifiers and Gyrotrons, ISBN-13 978-1-60807-184-5
- **George B. Collins, Louis N. Ridenour**, Microwave Magnetrons, 1948
- **T. Isenlik, K. Yeğın**, 2013, Tutorial on the Design of Hole – Slot Type Cavity Magnetron Using CST Particle Studio
- **Pozar D. M.**, 2012, Microwave Engineering 4th Edition, John Wiley & Sons, USA ISBN: 978-0-470-63155-3
- **Wolski A.**, 2011, Theory of Electromagnetics Fields, CERN Accelerator School CAS, 8 – 17 June 2010
- **Balanis C.A.**, 2012, Advanced Engineering Electromagnetics 2.nd Edition, John Wiley & Sons USA, ISBN: 978-0-470-58948-9
- **Linkhart D.K.**, 2014, Microwave Circulator Design Second Edition, Artech House, Boston, ISBN: 978-1-60807-583-6
- **Yılmaz Dayanıklı, G.**, 2012, Design and implementation of wideband stripline circulators, Thesis (Master), Middle East Technical University.
- **Richard G. Carter, 2018**, Microwave and RF Vacuum Electronics Power Sources, Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-19862-2

Teşekkürler...