

KAHVELab'da UHF Bandında Proton Hızlandırıcısı

Şeyma ESEN¹,

A. Adıgüzel^{1,2,5}, A. Çağlar³, E. Çelebi⁴, A. Karatay⁷, Ü. Kaya¹⁰, A. Kılıçgedik⁸, O. Koçer¹, S. Öz⁴, V. E. Özcan^{2,4,5,9}, G. Türemen⁹, N. G. Ünel^{2,4,5,6}, F. Yaman⁷, Ö. H. Yılmaz⁷

¹ İstanbul Üniversitesi

² Feza Gürsey Fizik ve Matematik Merkezi

³ Yıldız Teknik Üniversitesi

⁴ Boğaziçi Üniversitesi

⁵ CERN

⁶ California University of Irvine

⁷ İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü

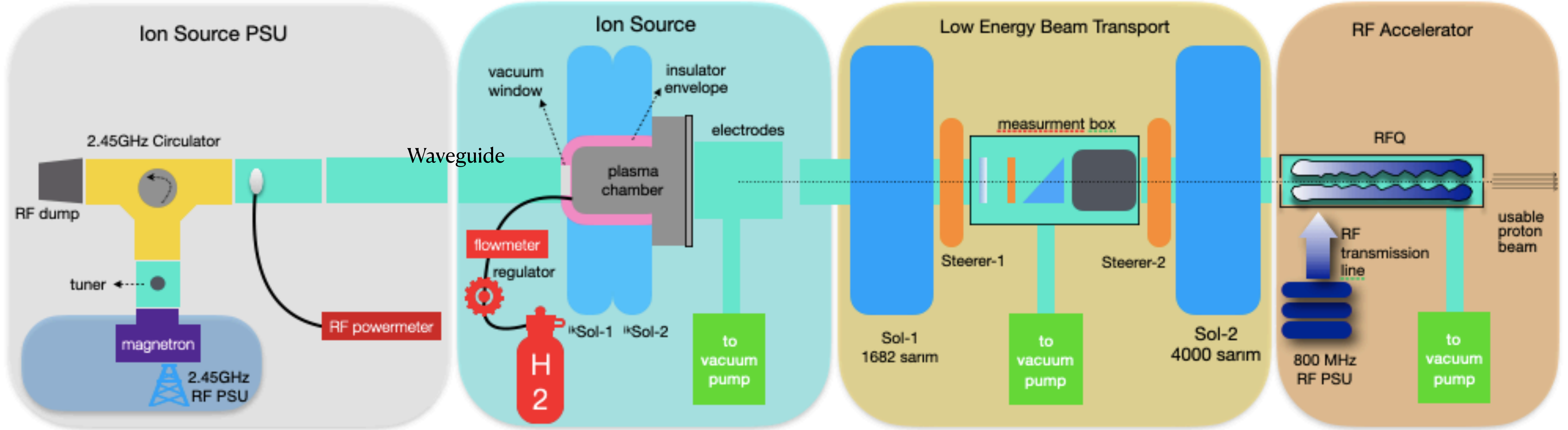
⁸ Marmara Üniversitesi

⁹ Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu

¹⁰ İstinye Üniversitesi

İçerik

- Motivasyon
- Genel Tasarım
- Elektromanyetik Tasarım
- RFQ Prototip Üretimi
- RF Güç Kuplörü Tasarımı
- RFQ Prototip Vakum Testleri
- Boncuk-Çekim Deney Sistemi ve Sonuçları
- LabVIEW Kontrol Programı
- Yüzey Pürüzlülük Çalışması
- Özet ve Hedefler



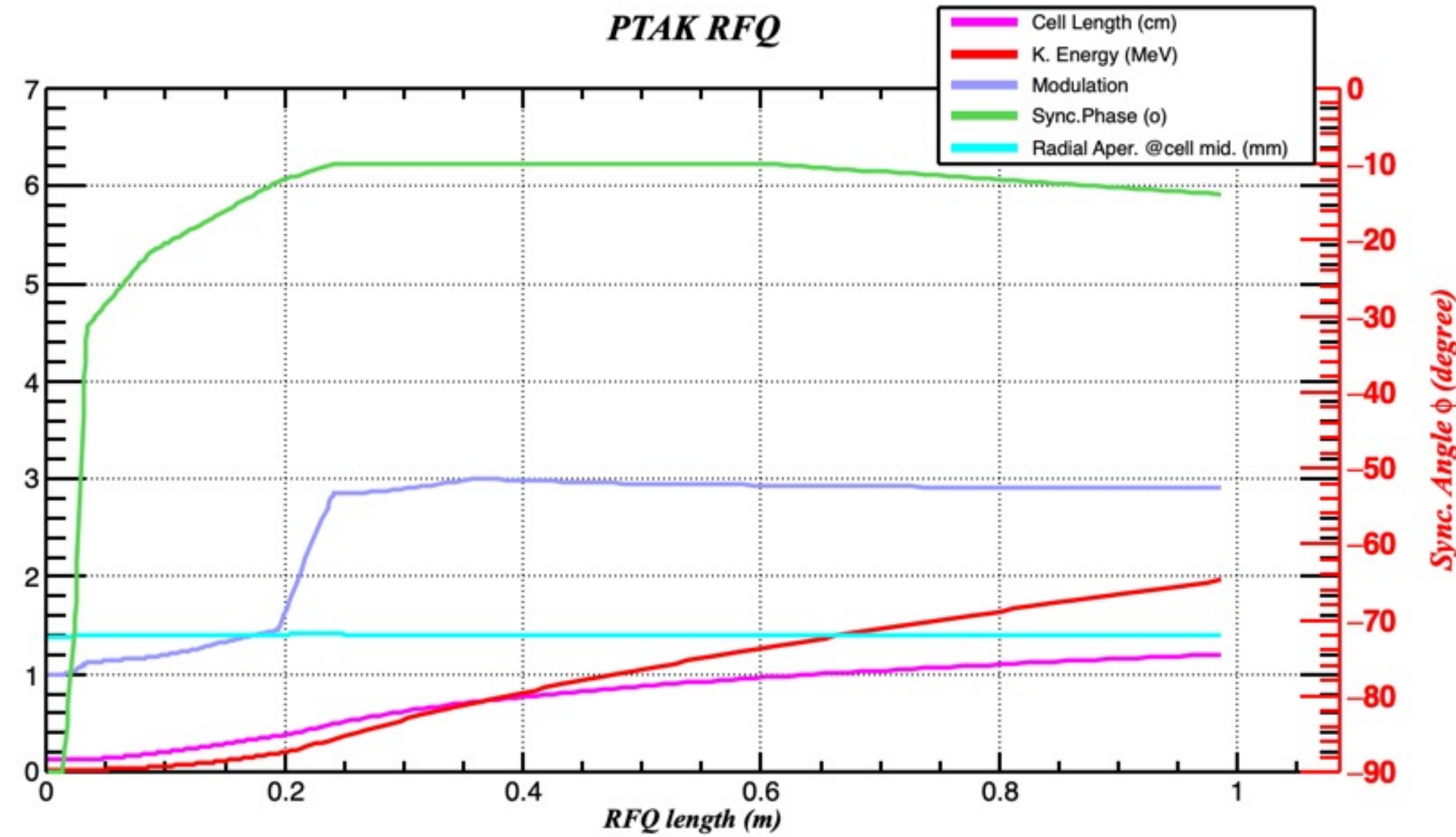
- PTAK RFQ tasarım süreci, yerel üretim kabiliyetine sahip son teknoloji ürünü bir hızlandırıcıya ulaşmayı amaçlamaktadır.

Bu proje TÜBİTAK tarafından desteklenmektedir.

Proje no: 118E838

KAHVELab Proton Hatti





- 800 MHz'de 60 kW'dan daha az darbeleri RF gücü kullanarak 1 mA'lık bir proton demetinin %30'unu 2 MeV'e ulaştırmak için seçilen tasarım hedefleri verilmiştir.

PARAMETERS	PTAK-RFQ
RF FREQUENCY	800 MHz
LENGTH	980 mm
INPUT ENERGY	20 keV
OUTPUT ENERGY	2 MeV
VANE VOLTAGE	33 kV
MIN APERTURE	0.64 mm
MAX. APERTURE	3.0 mm
VANE TIP RADIUS	1.39 mm
TRANSMISSION	%30
ACCEPTANCE (total norm.)	0.16 mm.mrad
RF PEAK POWER	48.5 kW
KP VALUE	1.39

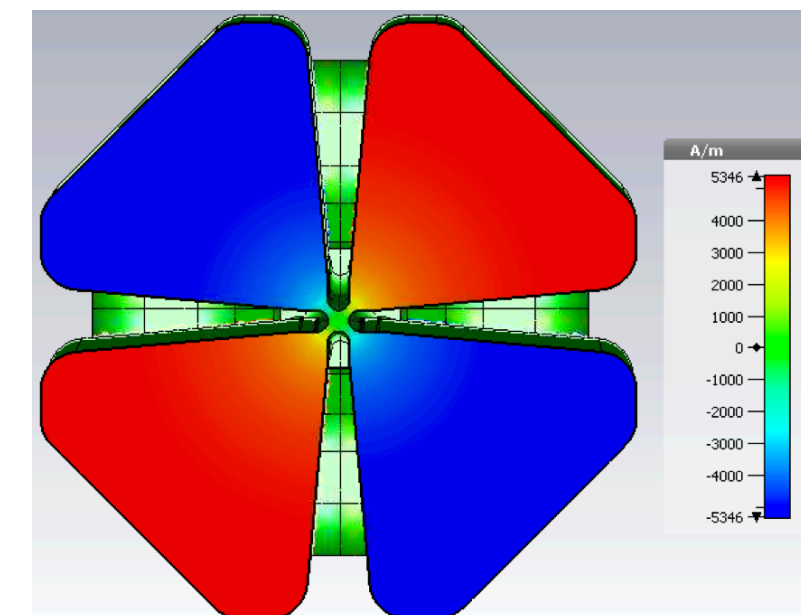
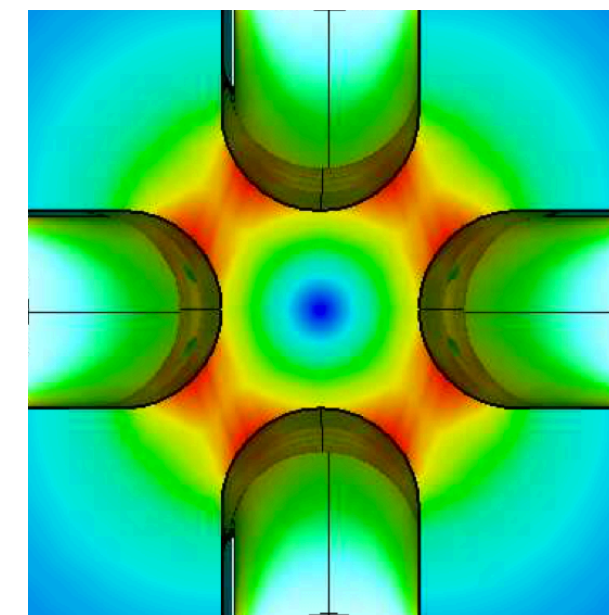
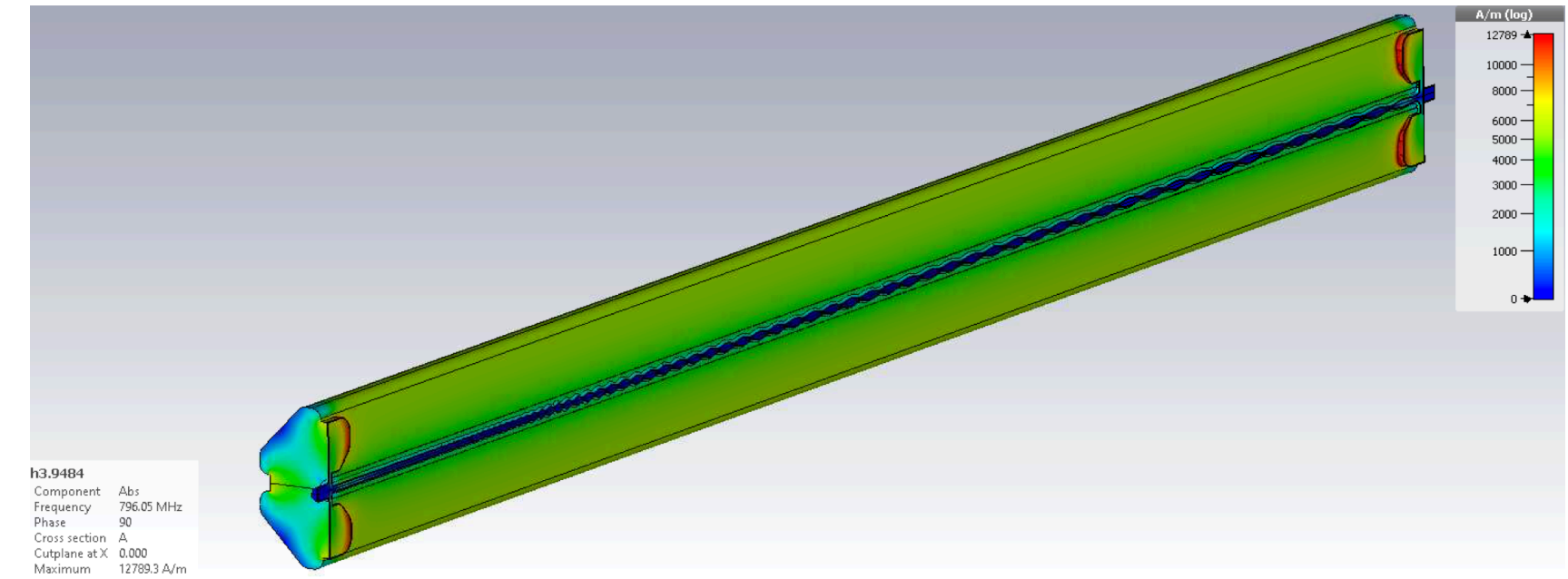
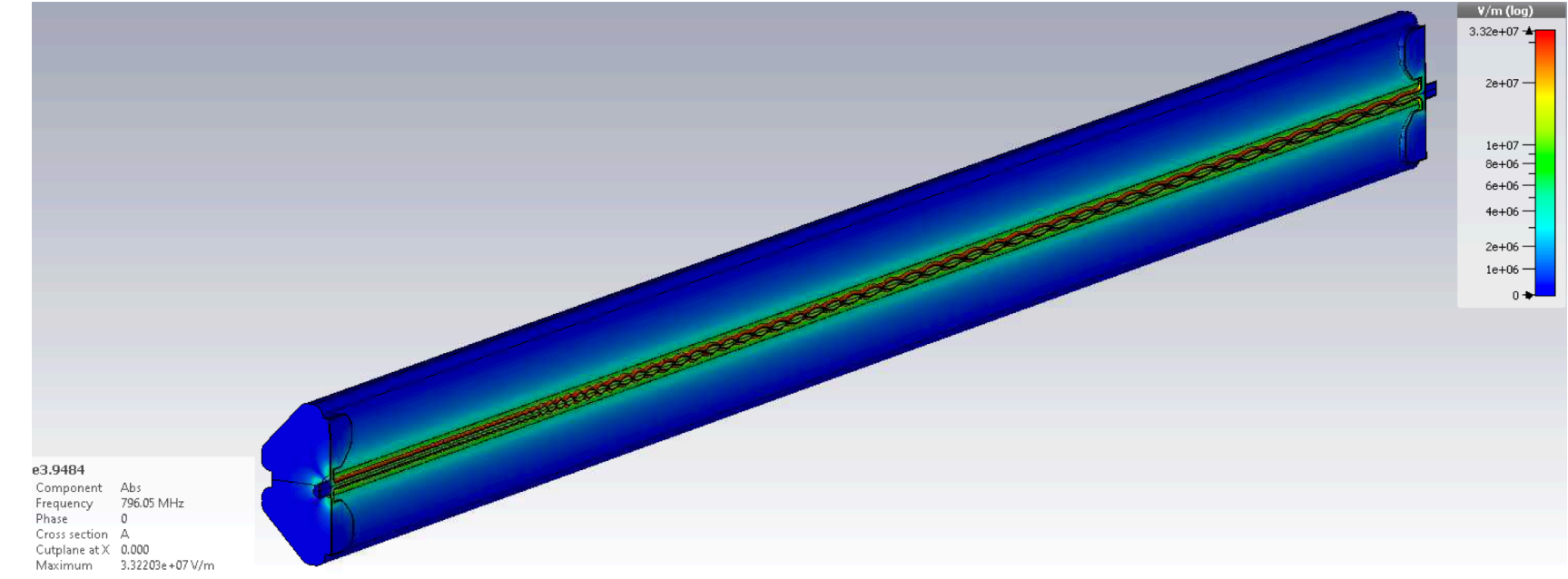
Elektromanyetik Tasarım

- RFQ kavitesinin kesit alanı SUPERFISH ile optimize edilmiştir ve 3D efektler dahil CST MWS eigen mod çözücü ile 800 MHz'de çalışacak şekilde tasarlanmıştır.
- Tasarımsal parametreler:

$$Q = 6973$$

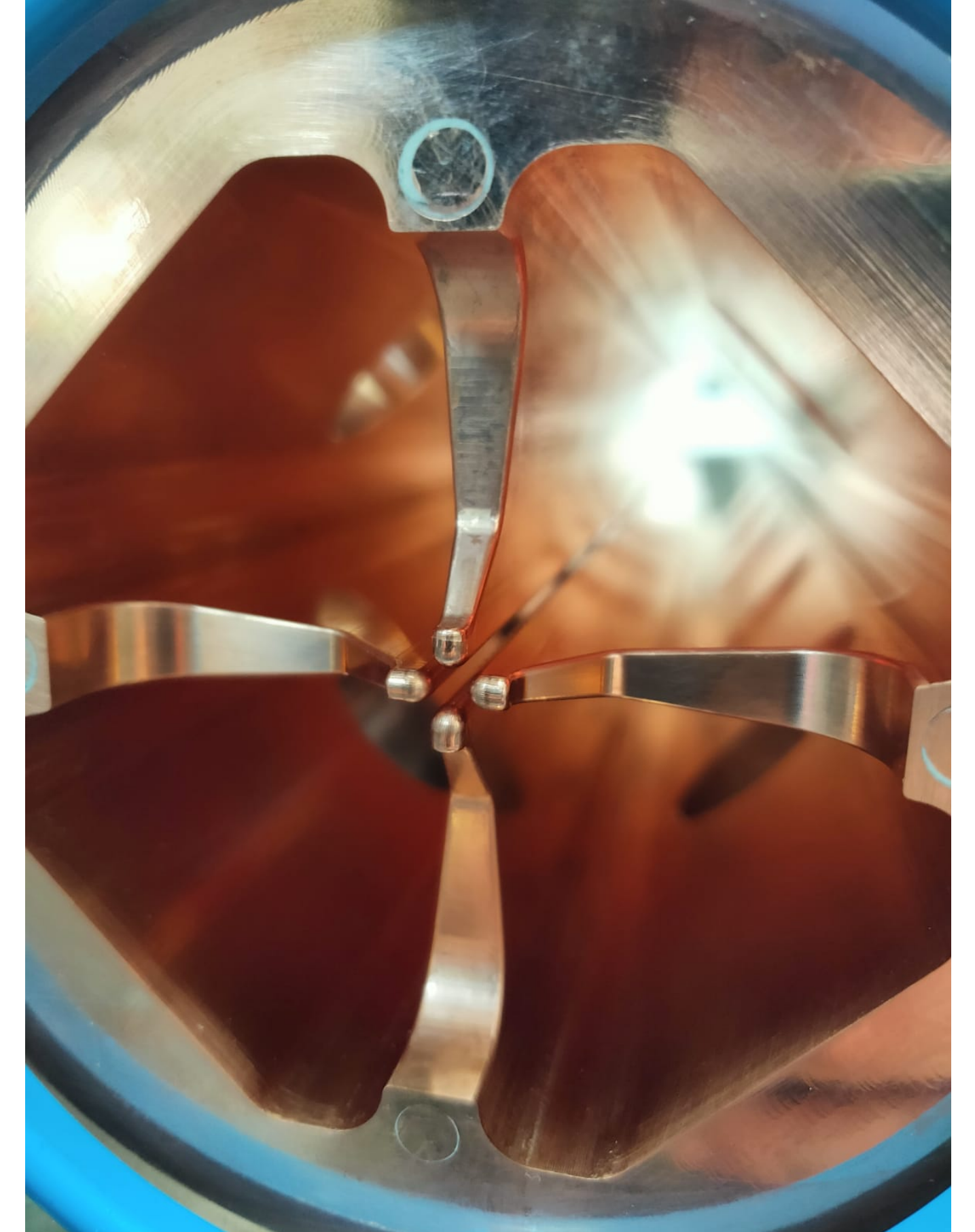
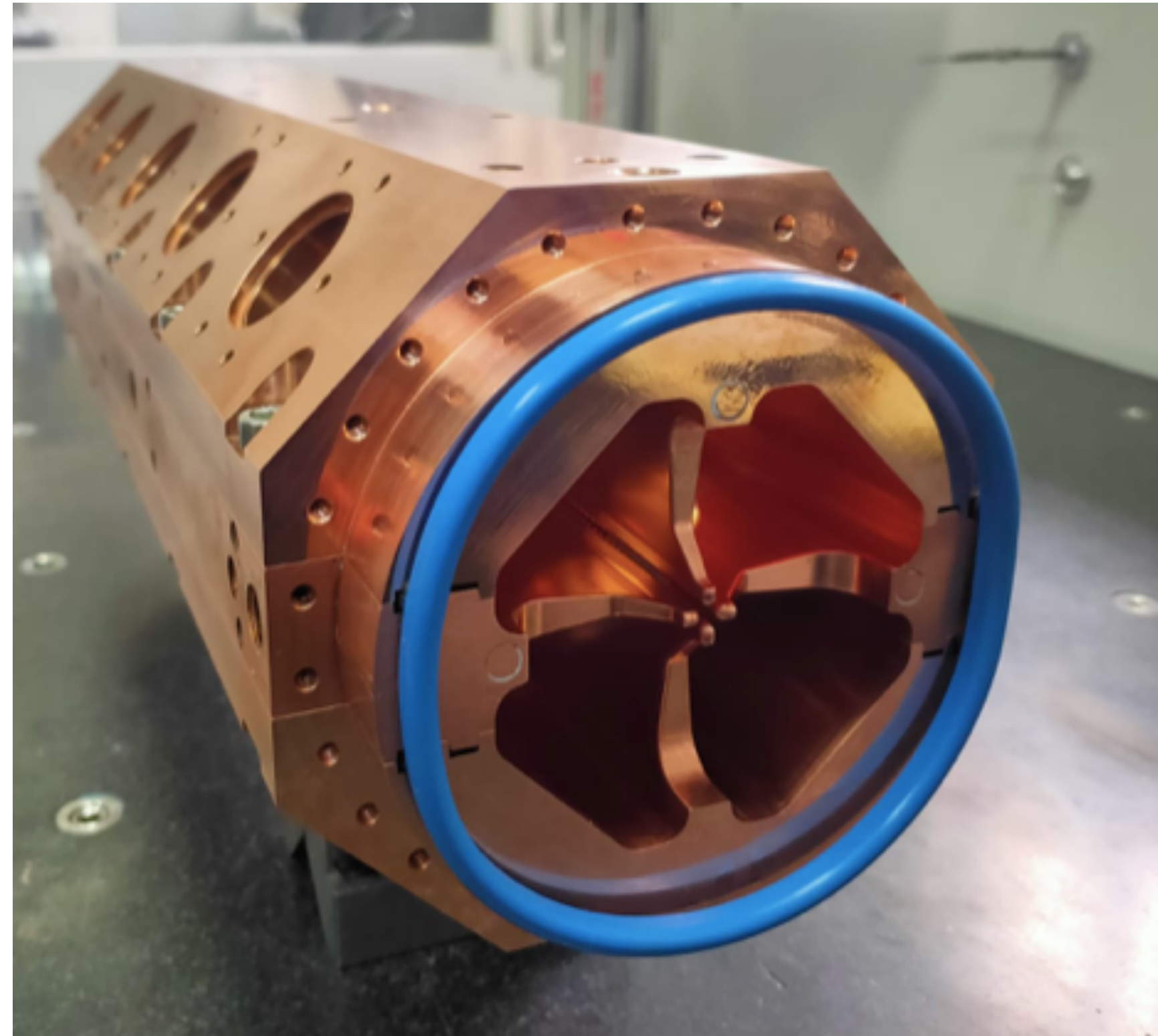
$$f = 796.05 \text{ MHz}$$

$$KP = 1.39$$



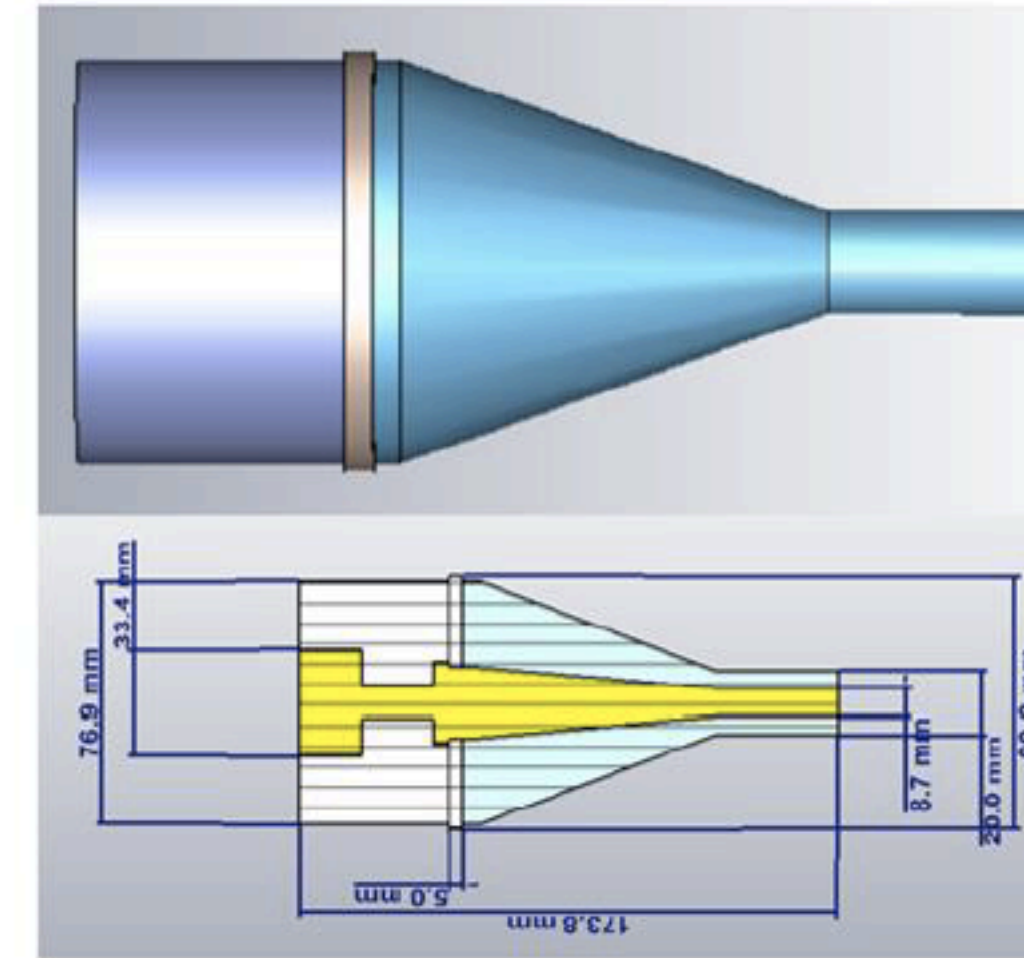
RFQ Prototip Üretimi

Parameters of Prototype	Value
Q	4162
Q	5850
S21	-41 dB
T	23 °C
f	799.58 MHz
Mounting sensitivity	18±1 um

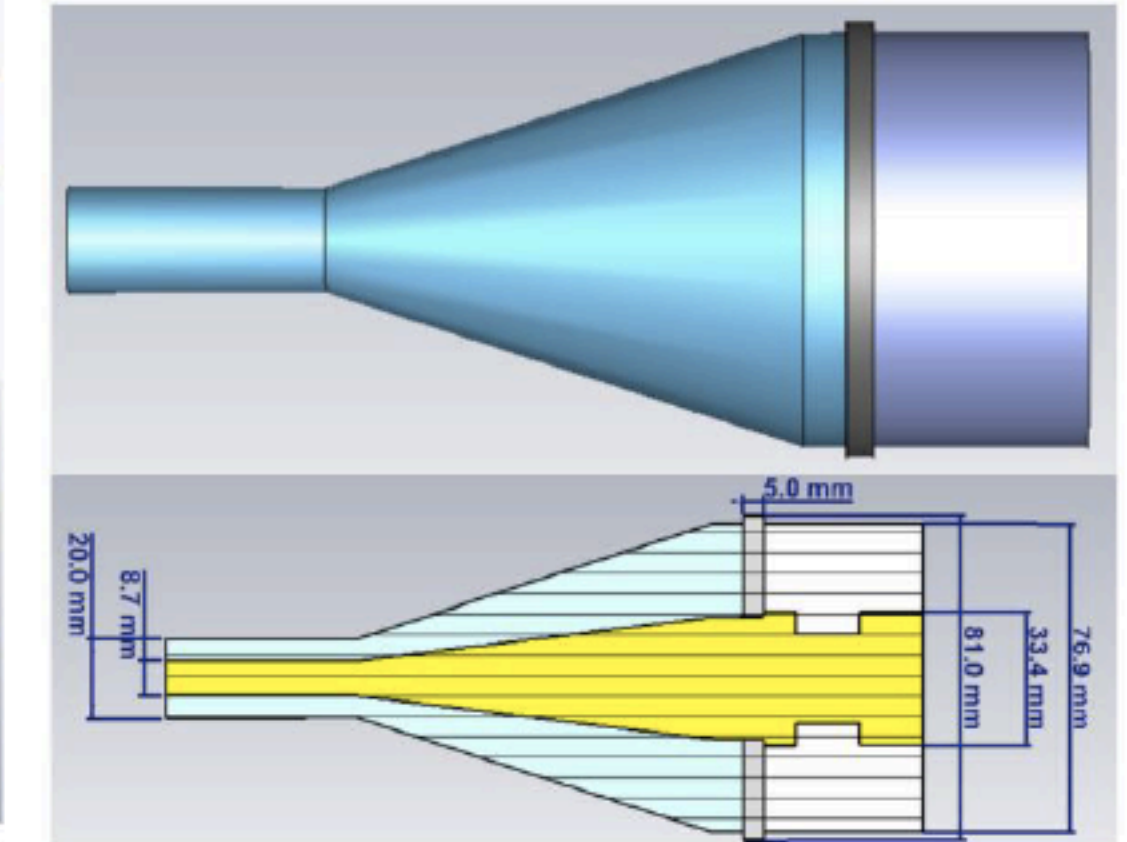


RF Güç Kuplörü Tasarımı

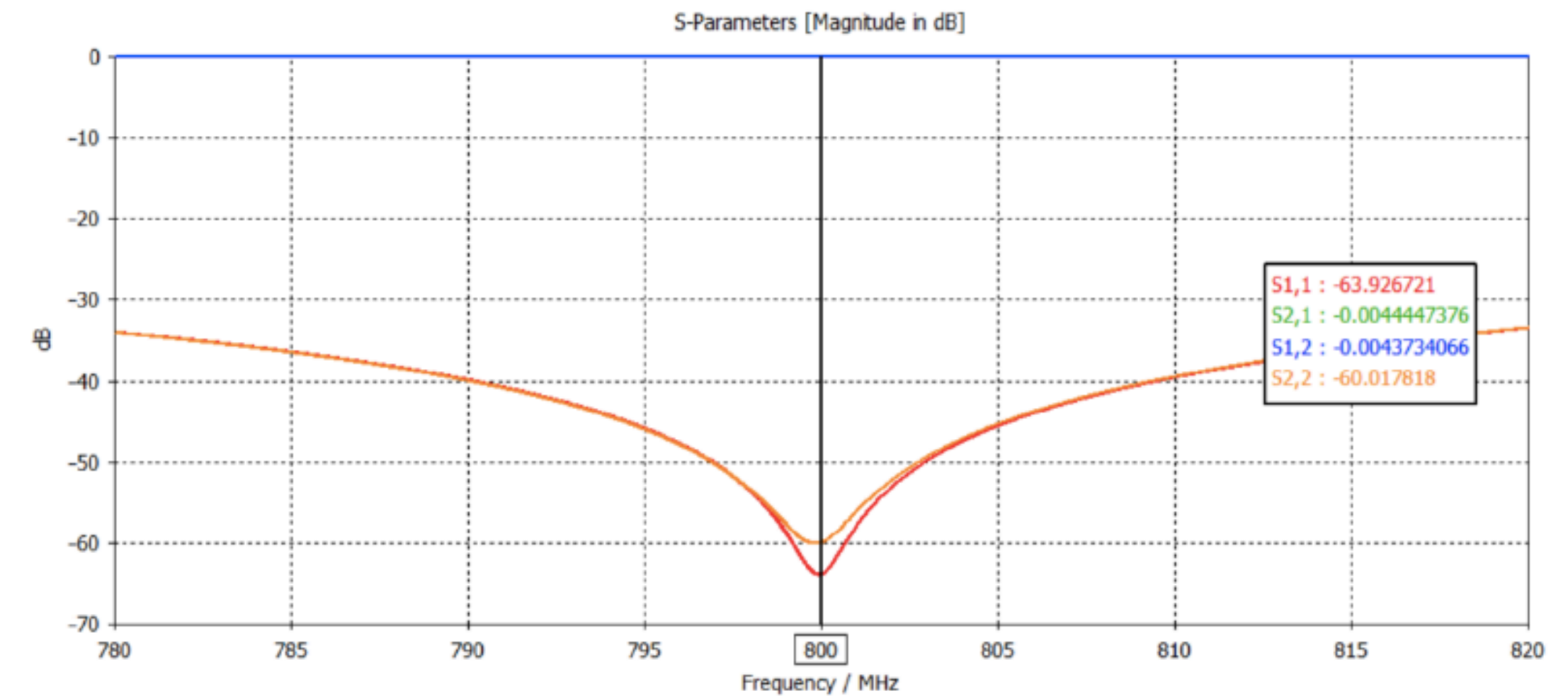
- Kuplör tasarımında RF penceresi olarak peek ve alumina malzemeleri kullanılarak iki farklı koaksiyel güç kuplörü tasarlanmıştır.
- Benzetimdeki S-parametre sonuçlarına göre tasarlanan iki bağdaştırıcı için de 800 MHz'de maksimum güç iletimi ve minimum güç kaybı elde edilmiştir.



Alumina RF Pencere

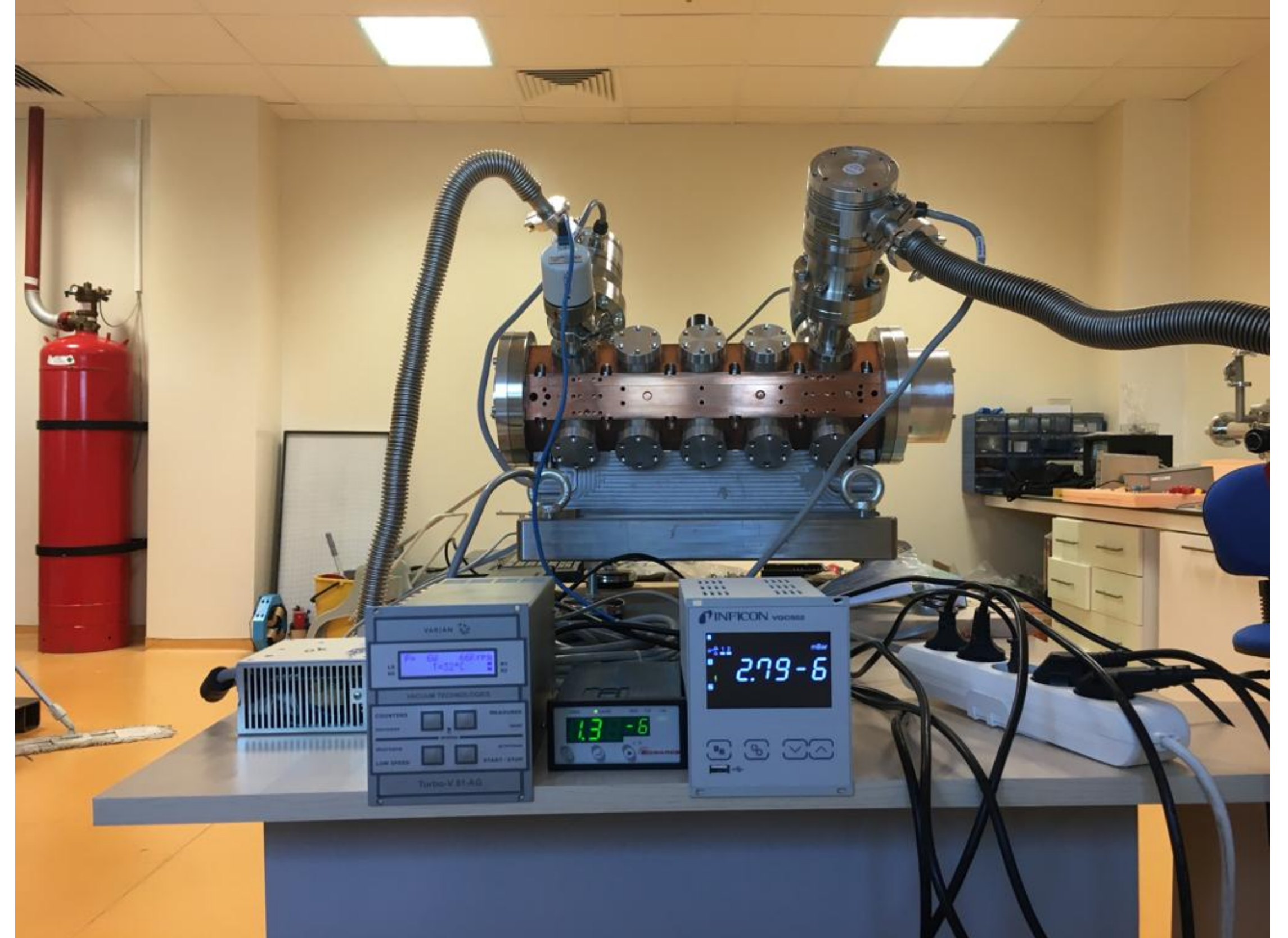


Peek RF Pencere



Prototip RFQ Vakum Testleri

- RFQ için He Leak dedektörü ile vakum testleri sonuçlandırıldı. Ankara'da yapılan testlerde prototip RFQ için vakum seviyesi 2.79×10^{-6} mbar mertebesinde dir.
- Sızdırmazlık Viton 3D O-ring ile sağlanmıştır.

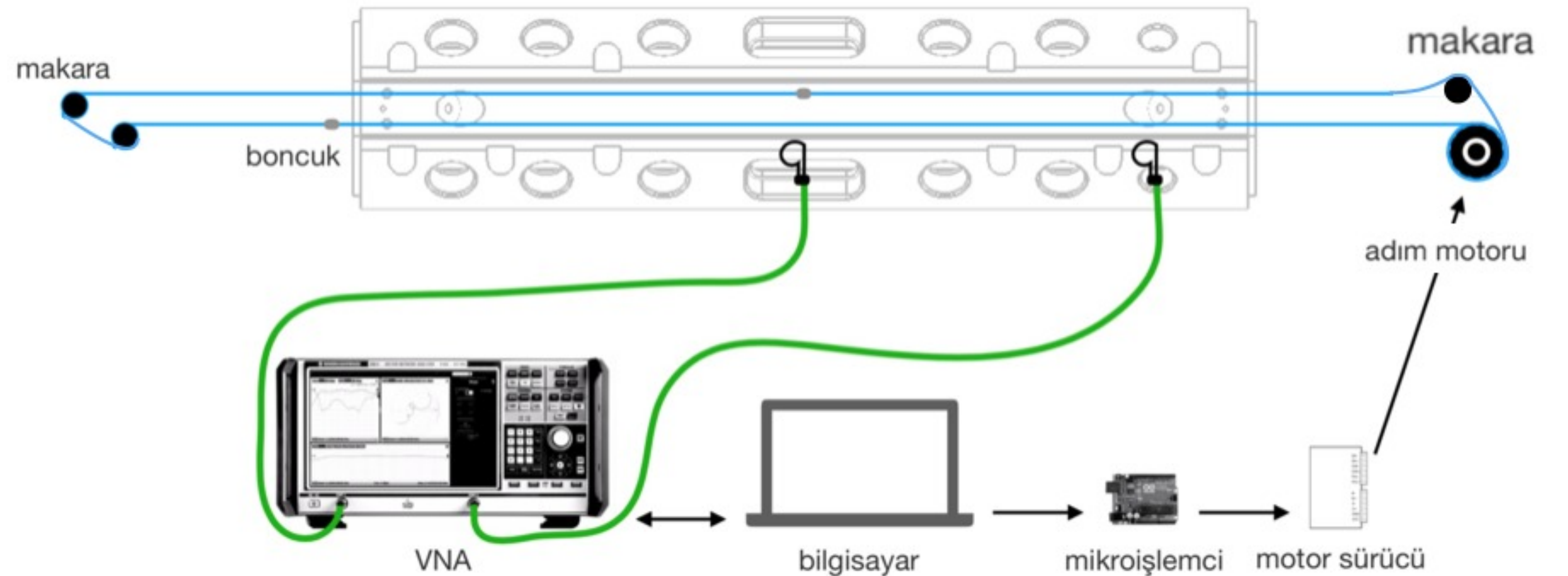


Boncuk-Çekim Yöntemi Deneyi Amacı

- Boncuk-çekim yöntemi kullanılarak hızlandırıcı kovuk içindeki RF elektromanyetik alanın düzgünlüğü tahmin edilebilir ve ayarlayıcılar ile ayarlanabilir hale gelir.
- Alanın düzgünlüğü -> daha düzgün bir hızlandırma!
- Bu sebeple kovuk içi alan testleri çok önemlidir.

Boncuk-Çekim Yöntemi

- Adım motor, sürücü devre ve Arduino
- VNA
- LabVIEW kontrol kodu
- Boncuk
- Makara sistemi
- Ayarlayıcılar



Teori

- Kovuk içinde oluşan elektromanyetik alanın düzgünlüğü kovuk içinde yürütülen, değişimin gözlenmek istendiği alana göre seçilen iletken veya dielektrik bir boncuk ile test edilir. Testler sırasında **Slater pertürbasyon kuramı** kullanılır:

$$\frac{\Delta f}{f} \cong \frac{\Delta U}{U} = \frac{\tan[\phi(f)]}{2Q_L} = \frac{-\pi r^3}{U} \left(\epsilon_0 \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 2} E_0^2 + \mu_0 \frac{\mu_r - 1}{\mu_r + 2} H_0^2 \right)$$

Frekanstaki kayma miktarı

Faz açısı

Boncuk yarıçapı

Elektrik Alan

Manyetik Alan

Rezonans Frekans

f'deki kalite faktörü

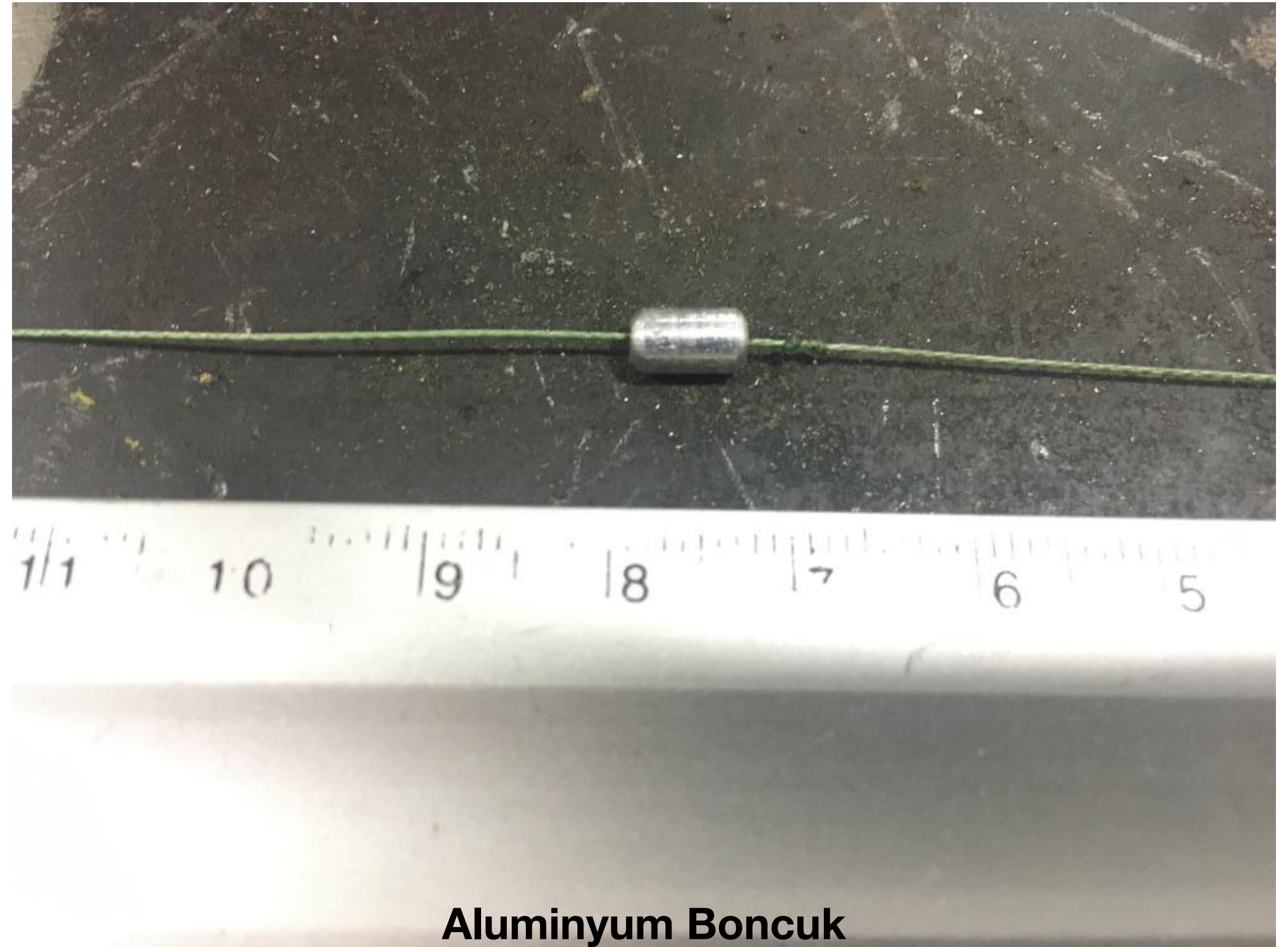
Boncuk geçirgenliği

Boncuk manyetik geçirgenlik

Vakumdaki geçirgenlik

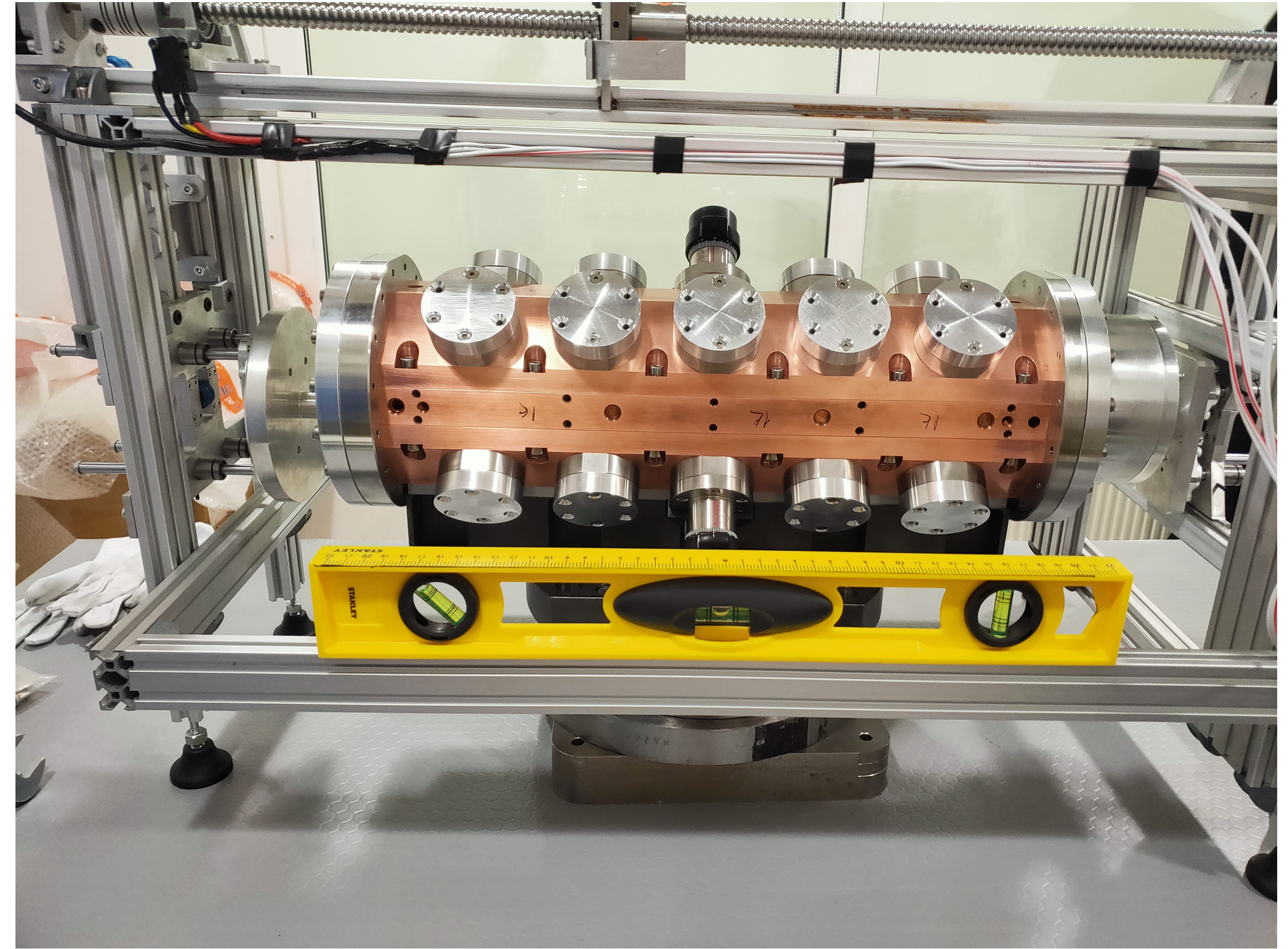
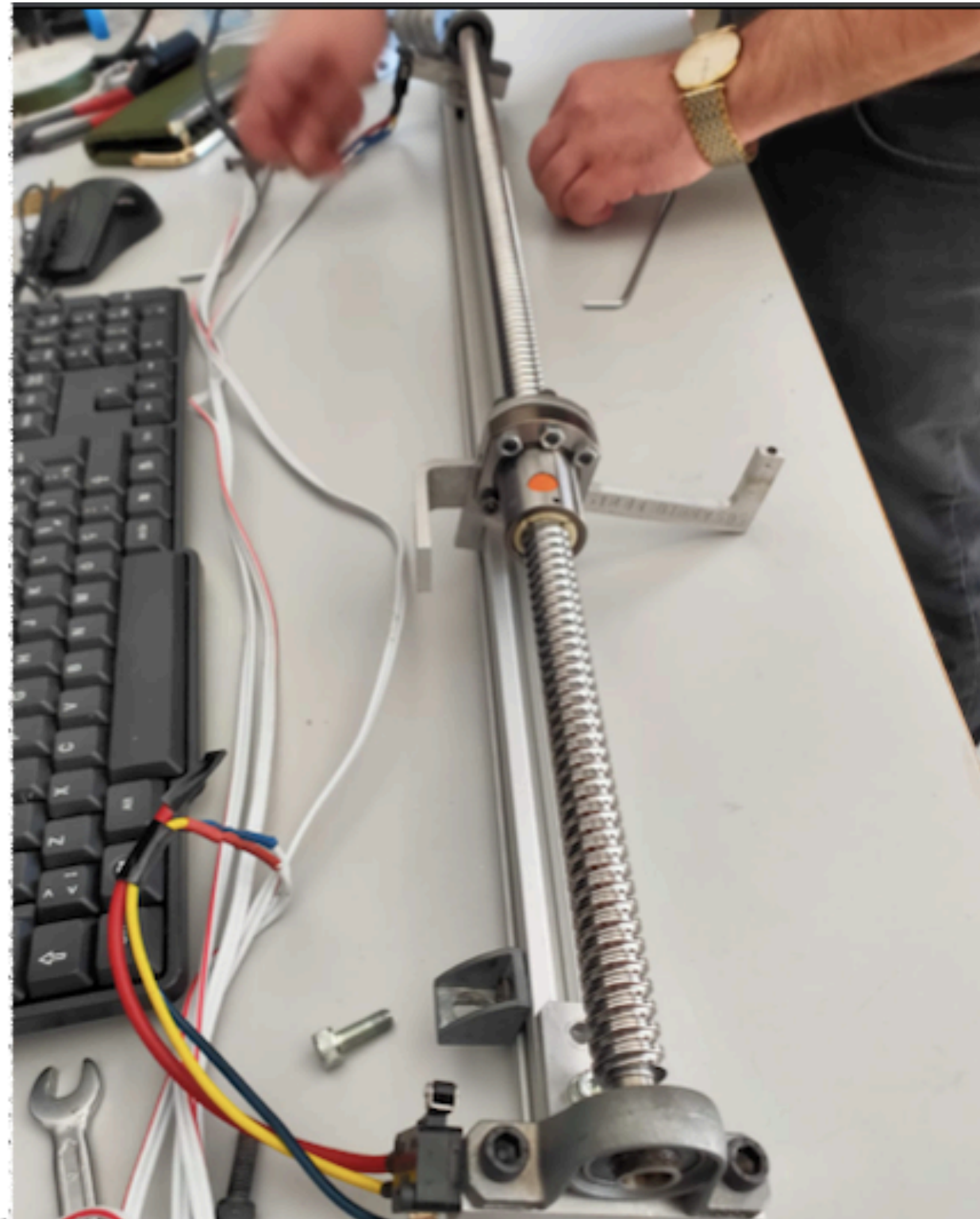


Dielektrik Boncuk

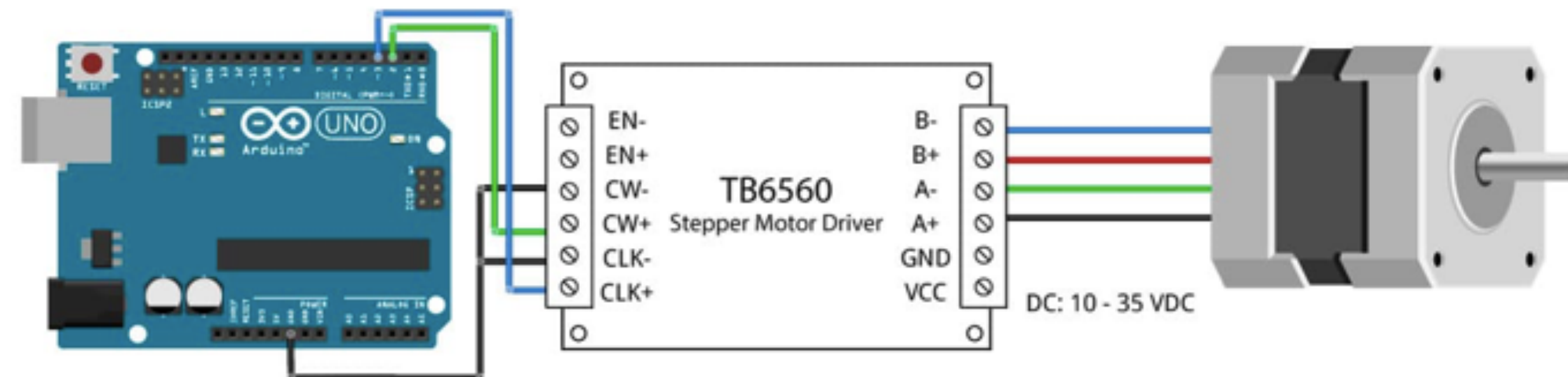
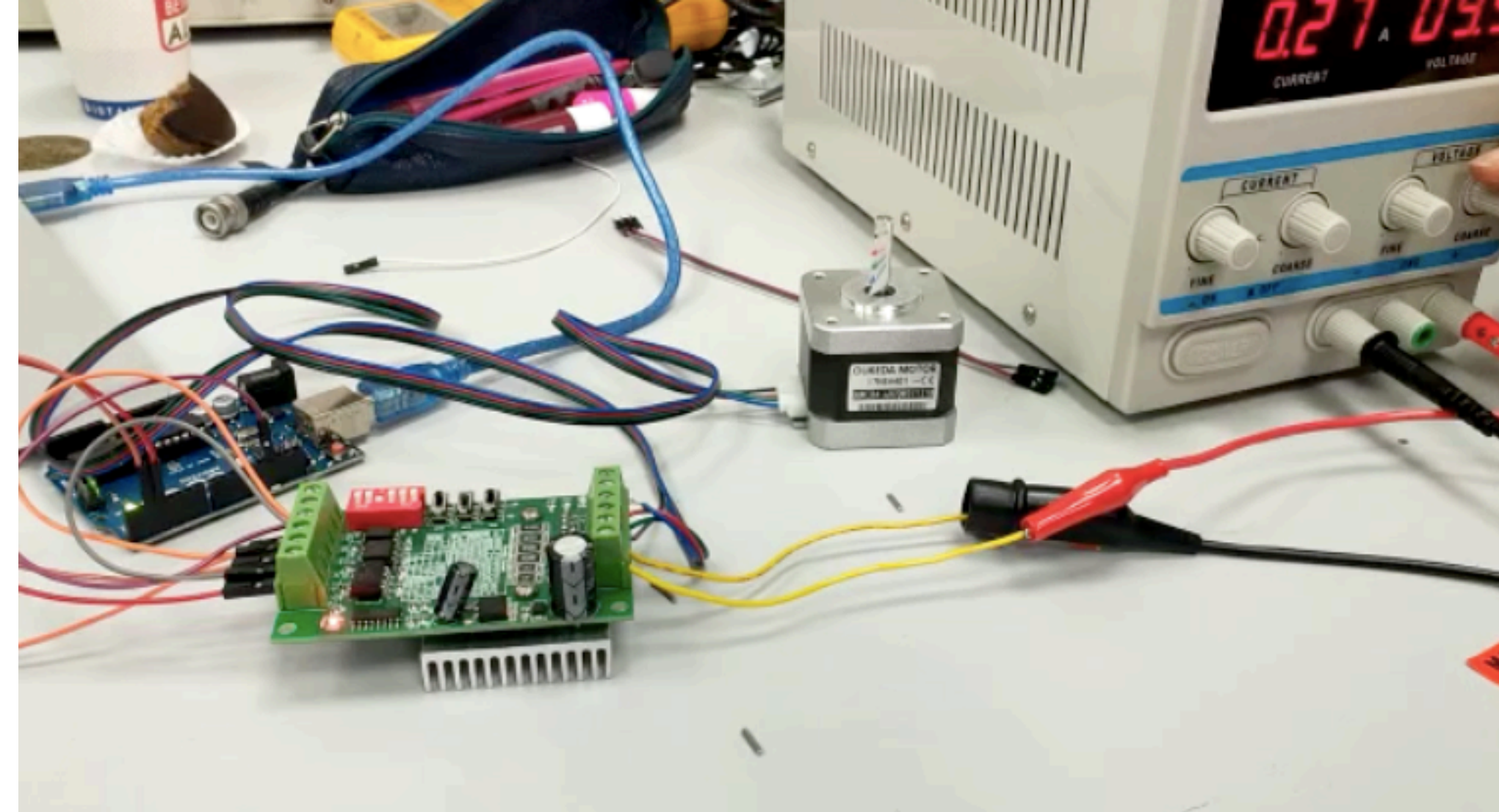


Aluminyum Boncuk

Adım Motor



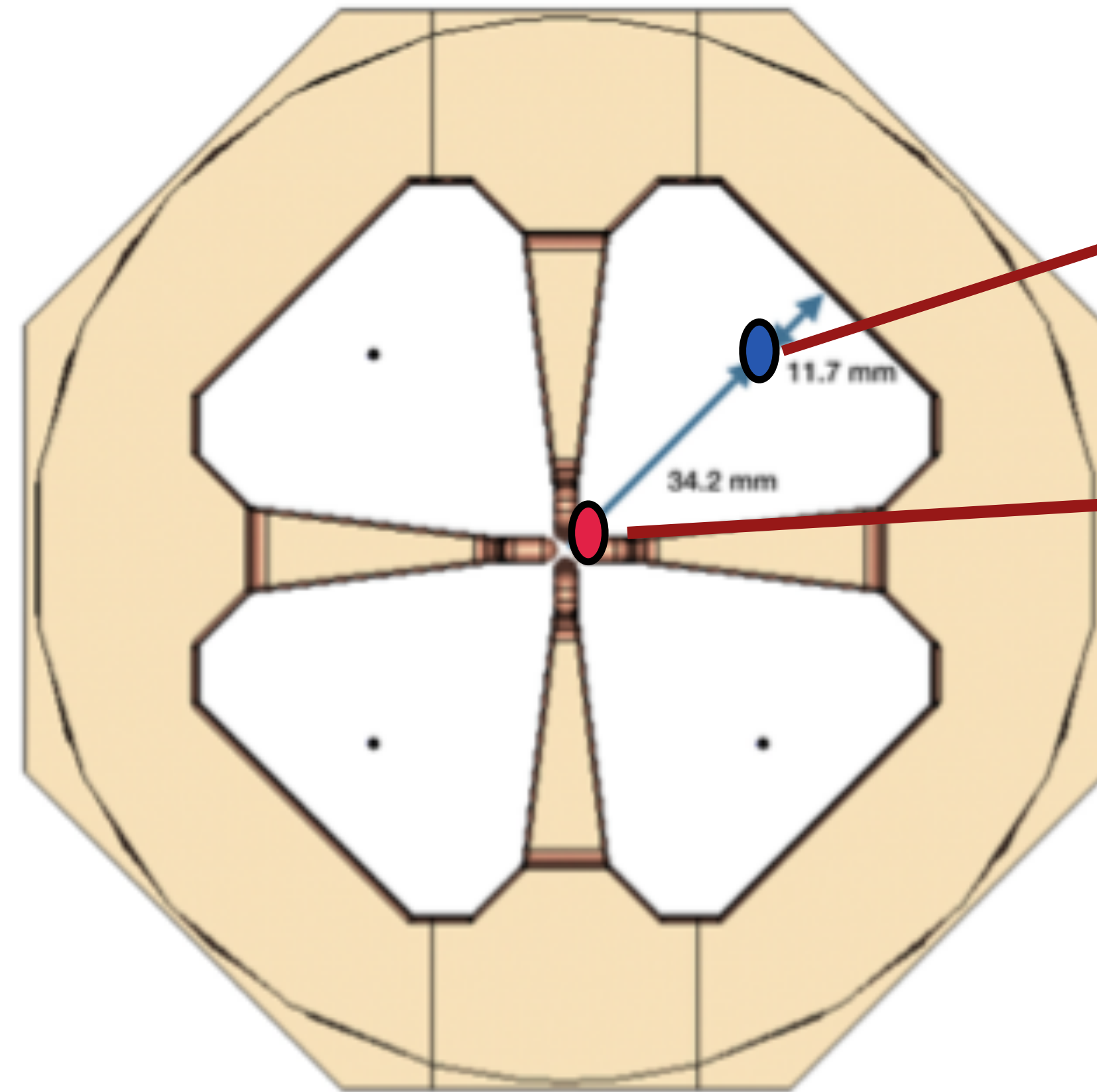
Arduino ve Sürücü Devre



- Vektör Ağ Analizörü (VNA), kovuk içindeki empedansla RF kaynağın empedansı arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılır.
- İletilen ve yansıyan güçle ilgili S saçılma parametreleri aracılığıyla bilgi verir.



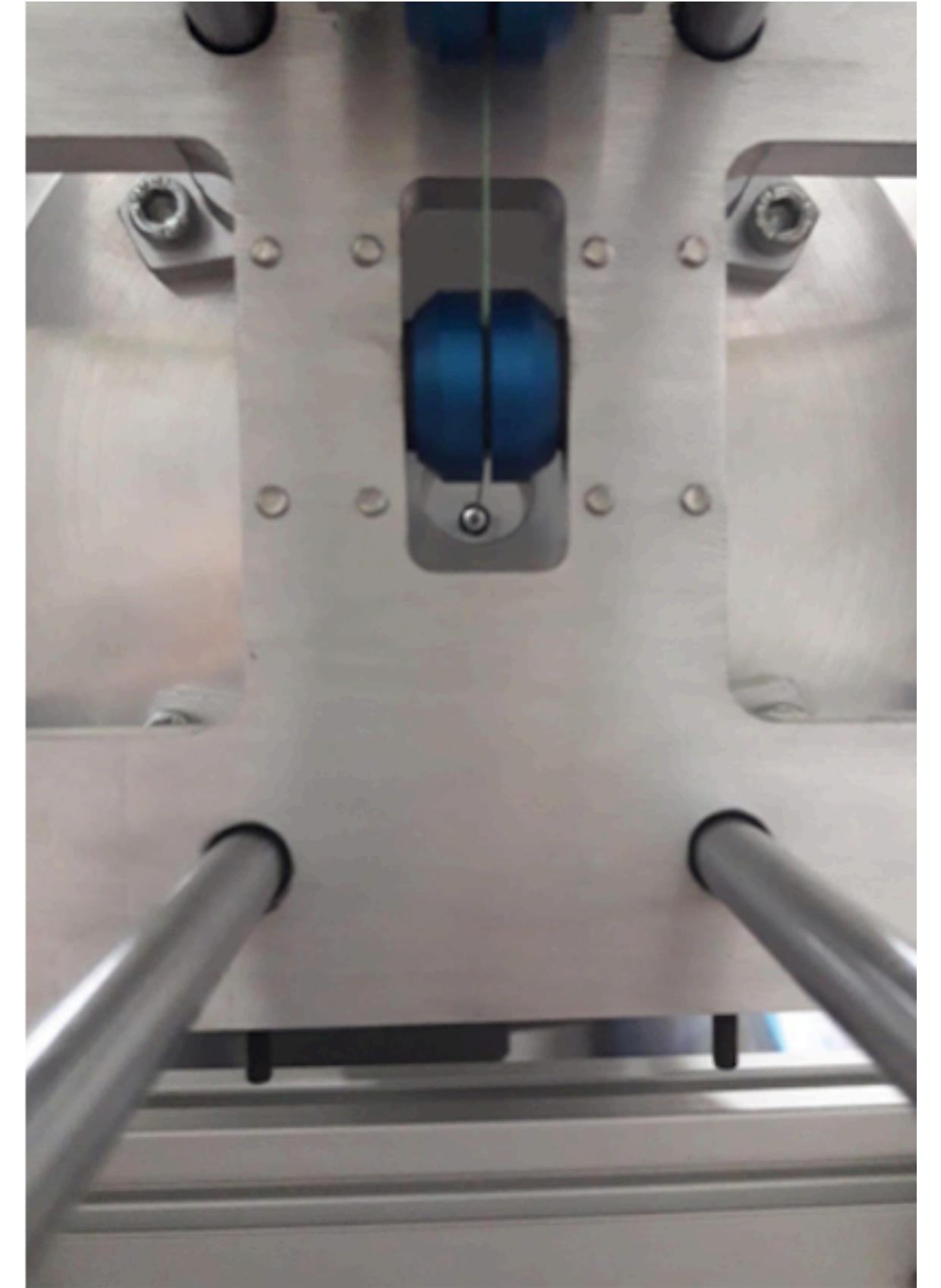
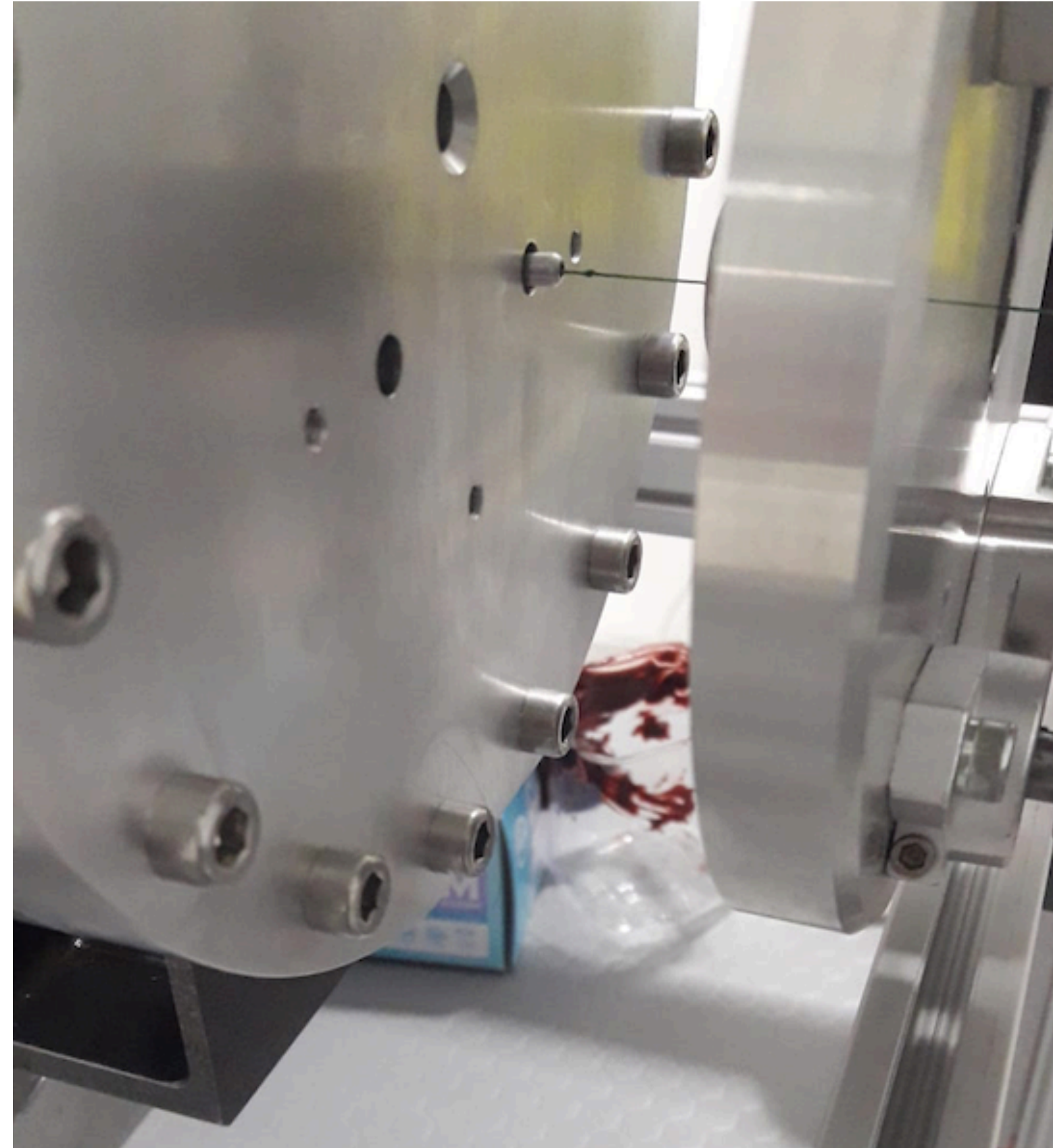
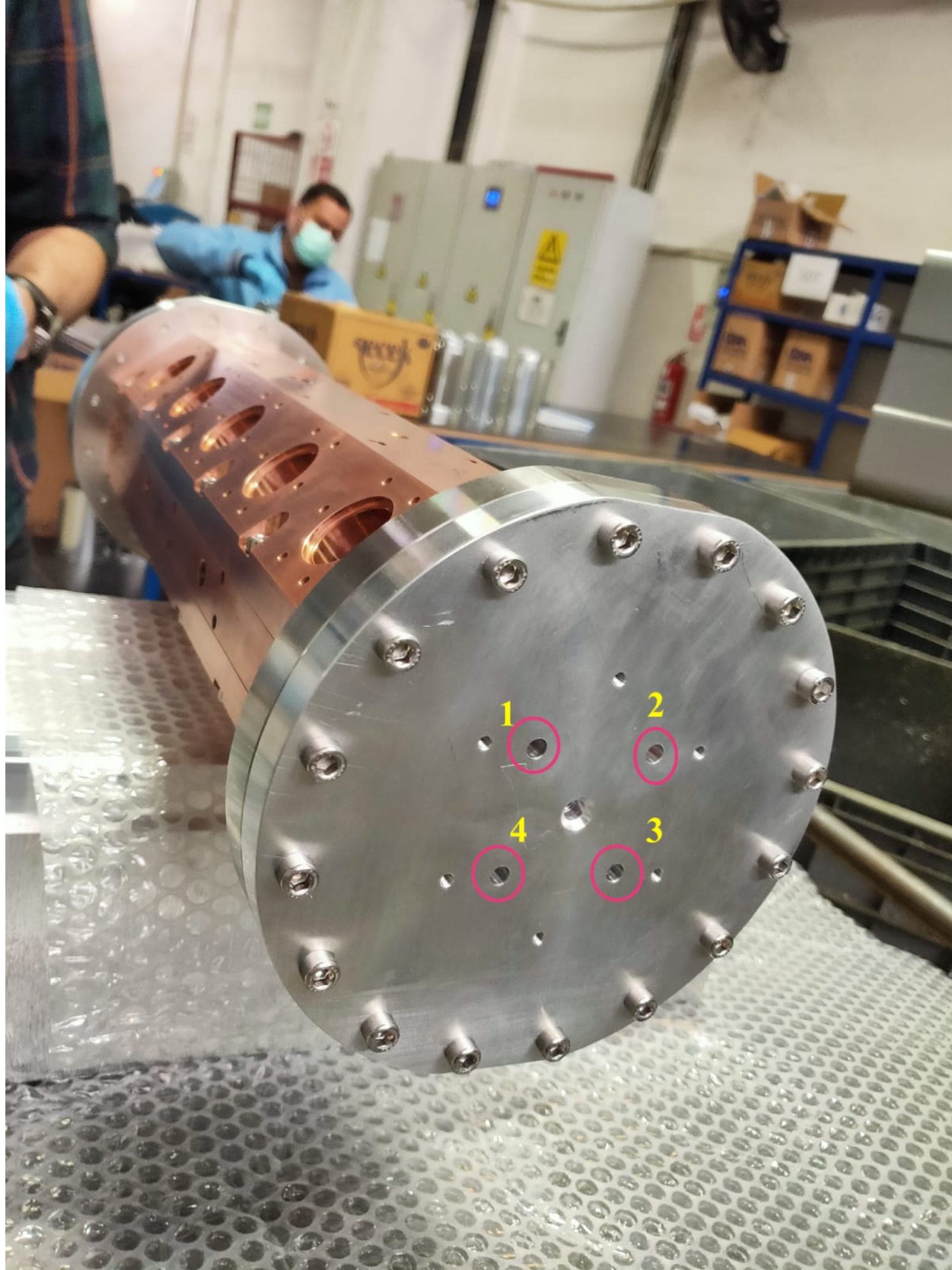
Boncuğun Nereden Geirileceęi Nasıl Tayin Edilir?



Manyetik alan pertürbe
edilmek isteniyorsa

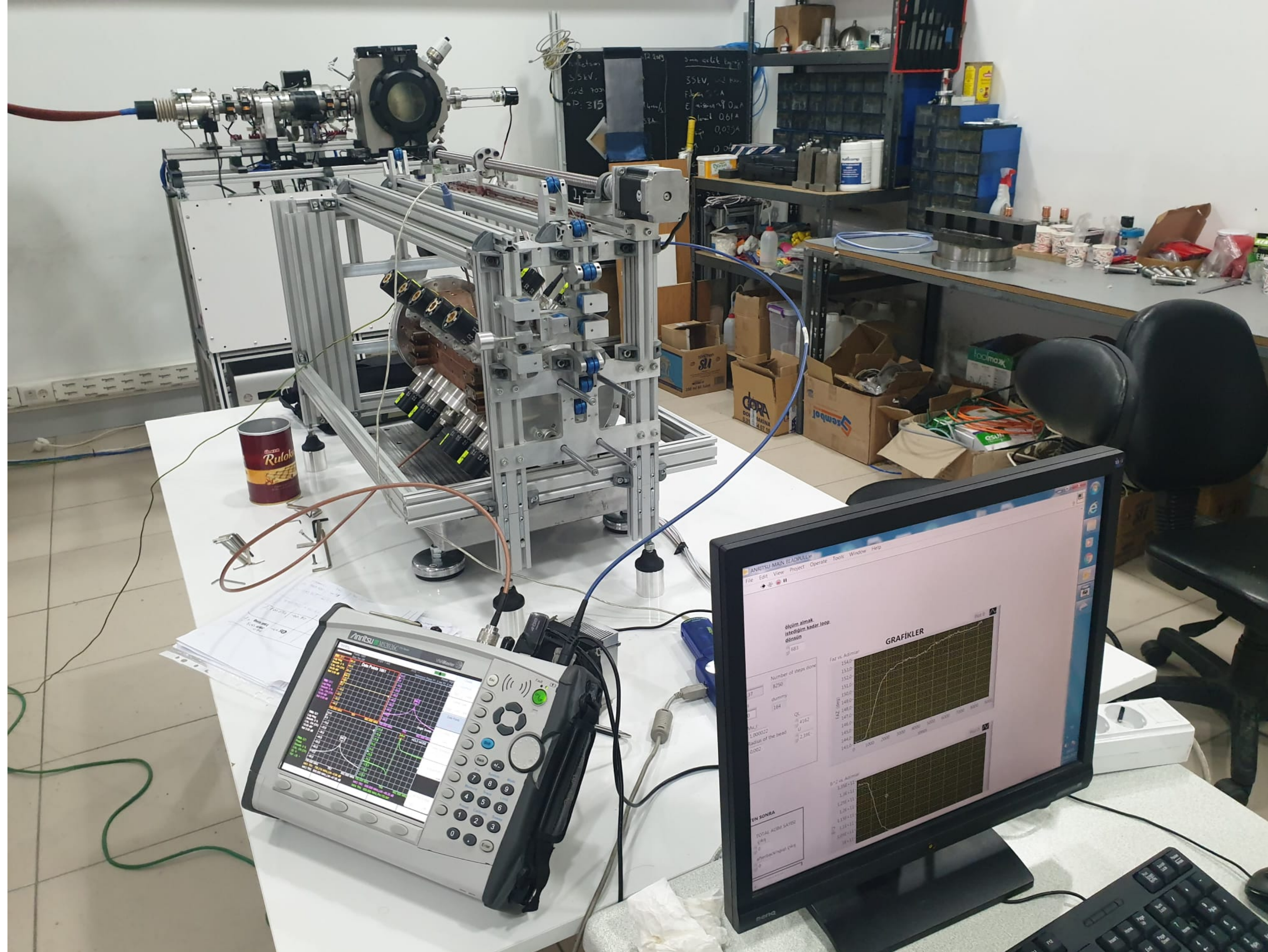
Elektrik alan pertürbe
edilmek isteniyorsa

Boncuk-Çekim Deneyi



Şeyma Esen - YEFIST 2022 - 25.09.2022

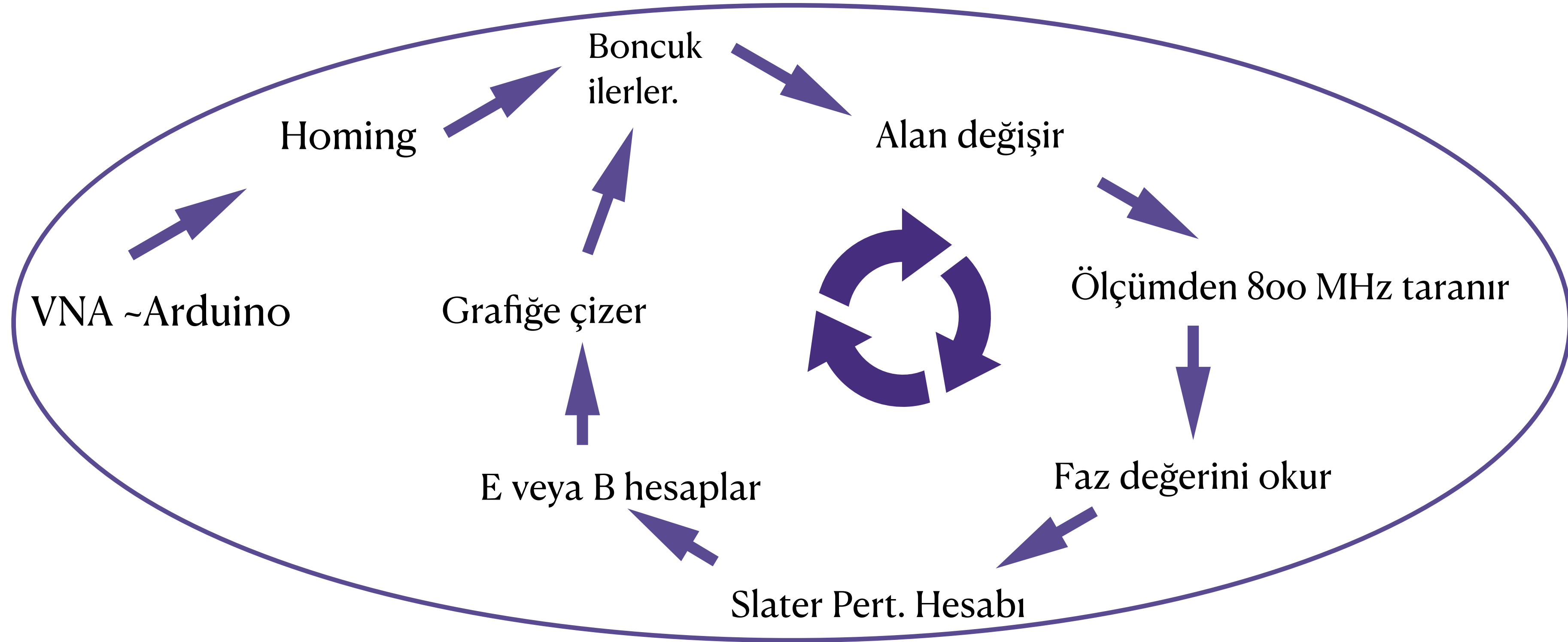
Boncuk-Çekim Deneý Sistemi



Şeyma Esen - YEFIST 2022 - 25.09.2022

LabVIEW Kontrol Programı

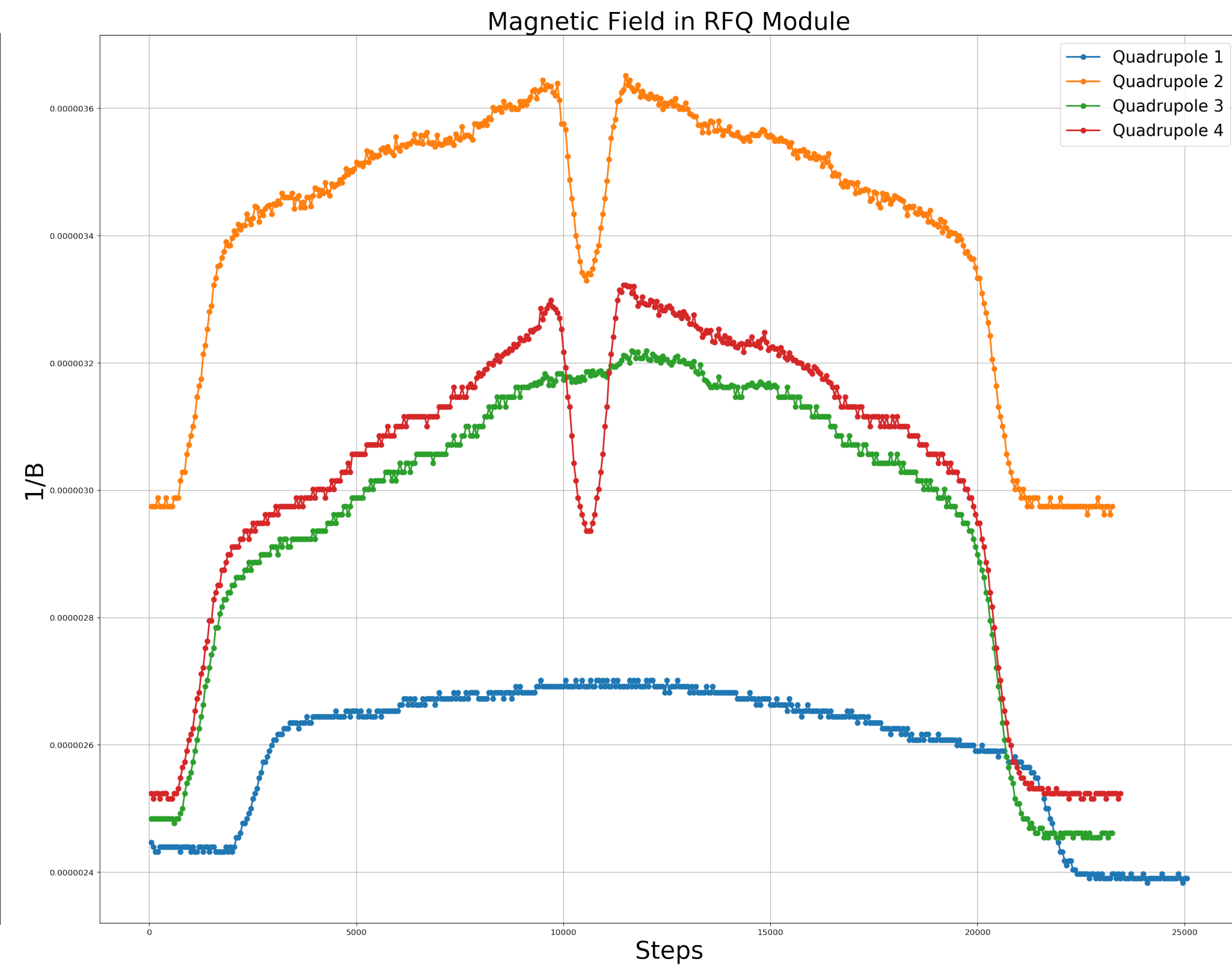
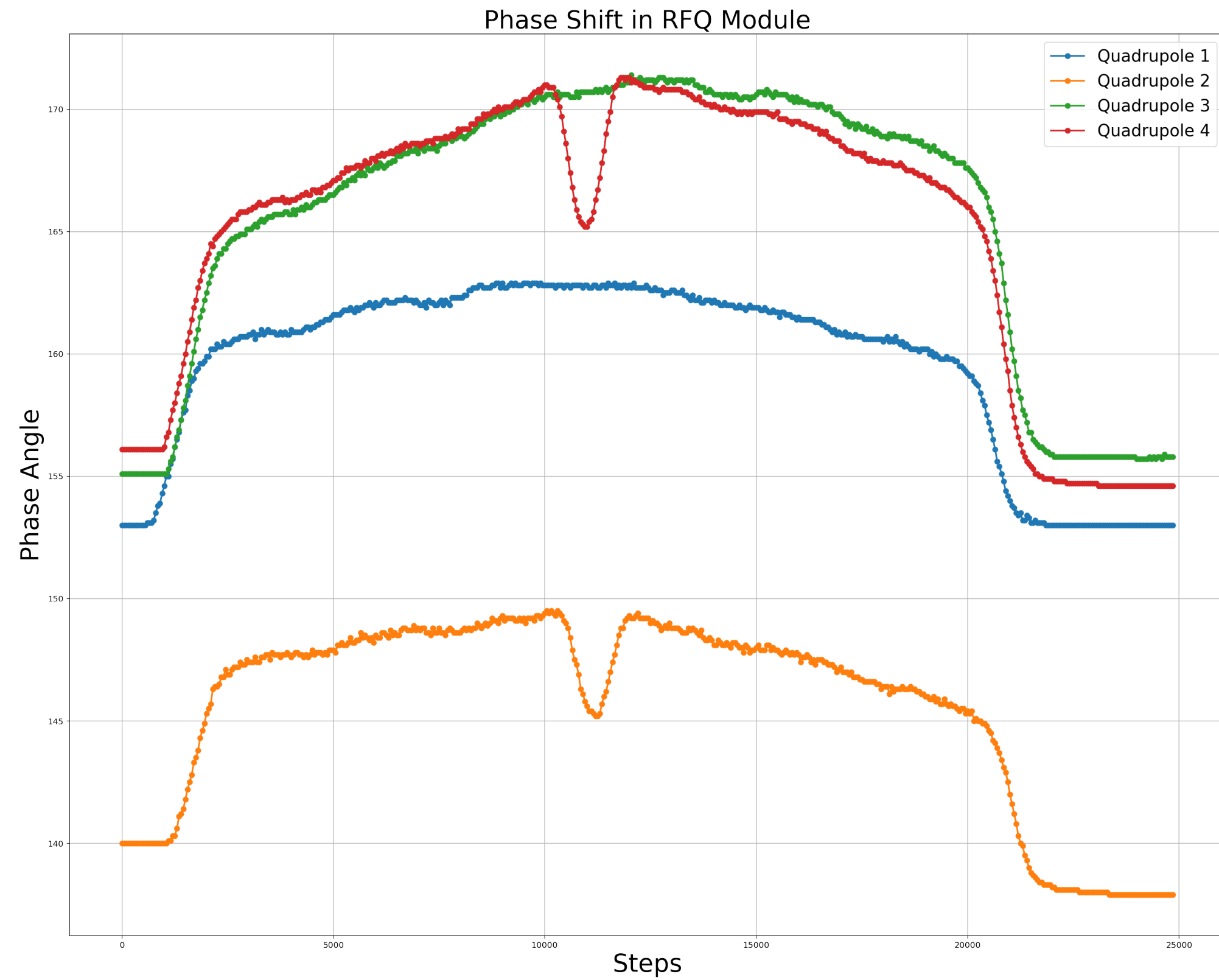
Motor, arduino ve VNA'yı bilgisayardan kontrol etmeye ve verileri işlemeye yarayan bir LabVIEW kontrol programı yazılmıştır.



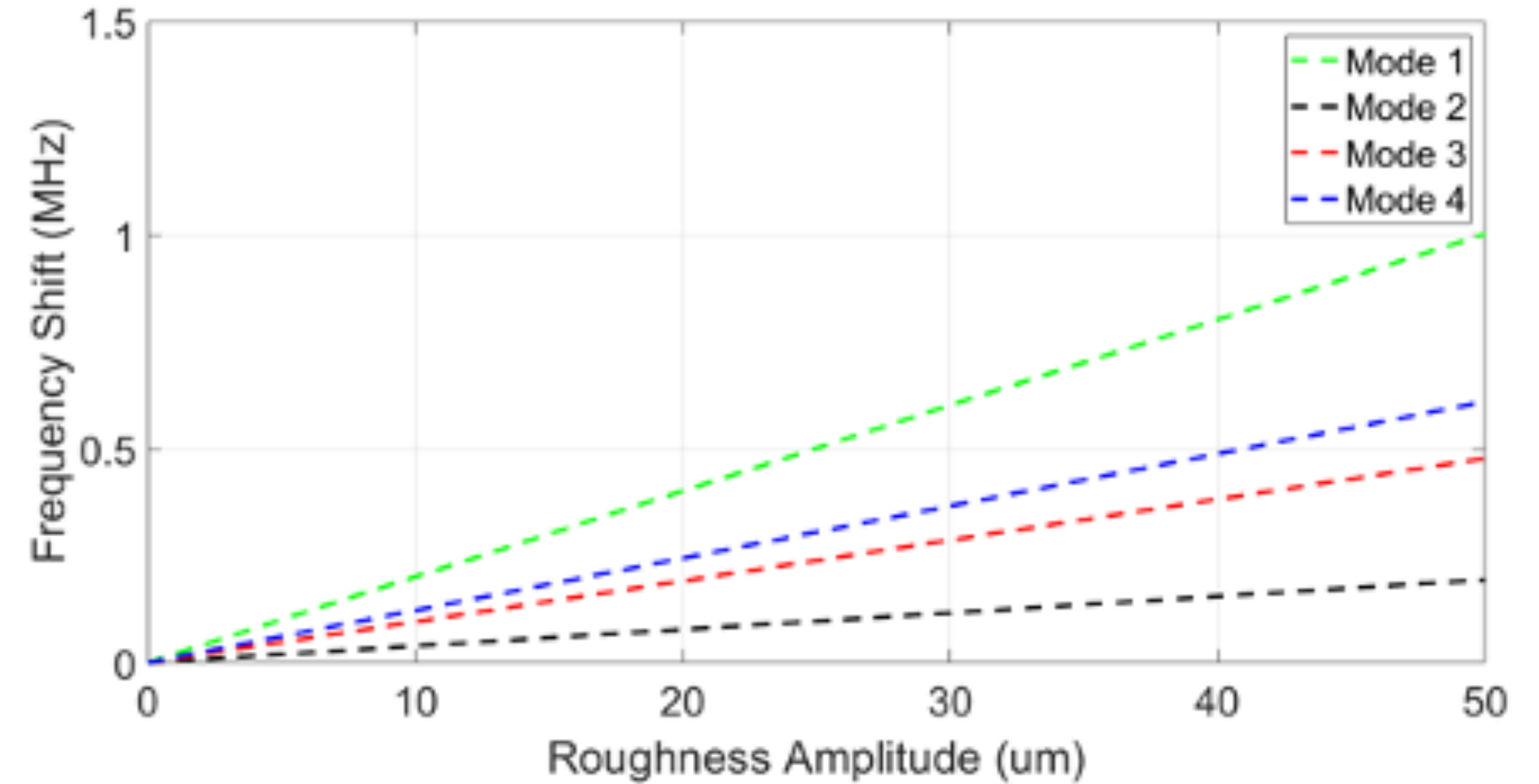
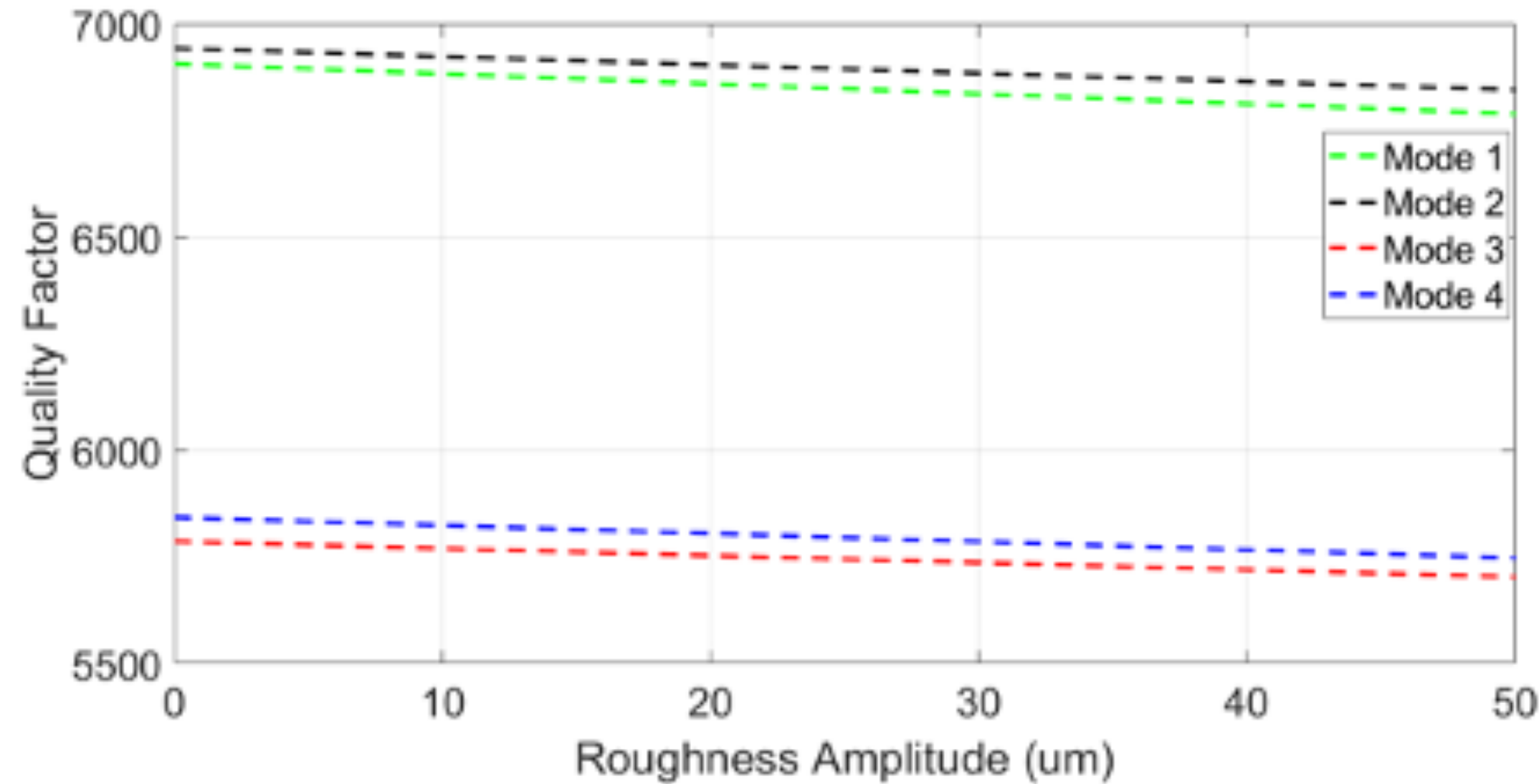
LabVIEW Program Arayüzü

The screenshot shows a LabVIEW program interface for a VNA measurement system. The interface is divided into several sections:

- YÖN**: A green indicator light labeled "YEŞİL : YUKARI" (Green: Up) and a red indicator light labeled "GRİ : AŞAĞI" (Red: Down).
- GİRİŞTE HOMING**: Controls for homing at the start, including "# of steps to move down" (50), "speed(step per second) down" (200), "# of steps to move up" (50), and "speed(step per second) up" (200). It also includes four switches for "upper sw 1 TRUE", "lower sw 1 TRUE", "upper sw 3 FALSE", and "lower sw 3 FALSE".
- VNA**: A dropdown menu set to "rohde&schwarz" and a numeric control set to "0".
- ÖLÇÜM ALMAK İSTEDİĞİM KADAR LOOP DÖNSÜN**: A numeric control set to "0".
- PHASE**: A numeric control set to "0,000E+0". It includes a "Number of steps done" indicator set to "55". Other controls include "E2" (0), "Steps" (0), "dummy" (0), "TOTAL ADIM SAYISI" (0), "sw = 0 olana kadar" (0), "frekans(MHz)" (0), "Eps-r" (2,1), "Radius of the bead" (0,0057), "QL" (6000), "U" (2,39E-), and "number of each scan" (50).
- GRAFİKLER**: Two graphs are displayed:
 - Faz vs. Adımlar**: A plot of Phase (FAZ (deg)) vs. Steps. The y-axis ranges from 92,0 to 112,0, and the x-axis ranges from 0 to 125000.
 - E^2 vs. Adımlar**: A plot of E^2 vs. Steps. The y-axis ranges from 0 to 4E+6, and the x-axis ranges from 0 to 120000.
- ÖLÇÜM ALMAYA BAŞLADIKTAN SONRA LOOP İÇİ SW CONTROL**: Controls for loop control during measurement, including "# of steps to move down" (50), "speed(step per second) down" (200), "# of steps to move up" (50), "speed(step per second) up" (200), and two indicator lights for "üst switch geldi mi?" and "alt switch geldi mi?". It also includes four switches for "upper sw 5 TRUE", "upper sw 6 FALSE", "lower sw 5 TRUE", and "lower sw 6 FALSE".
- ÖLÇÜM BİTTİKTEN SONRA**: Controls for after-measurement actions, including "aşağı inerken sw:0 olana kadar kaç adım" (0), "yukarı sw:0 olana kadar kaç adım" (0), "TOTAL ADIM SAYISI çıkış" (0), and "afterbackingup çıkış" (0). It also includes four switches for "lower sw (ABU) TRUE çıkış", "lower sw (ABU) FALSE çıkış", "upper sw (ABU) TRUE çıkış", and "upper sw (ABU) FALSE çıkış".



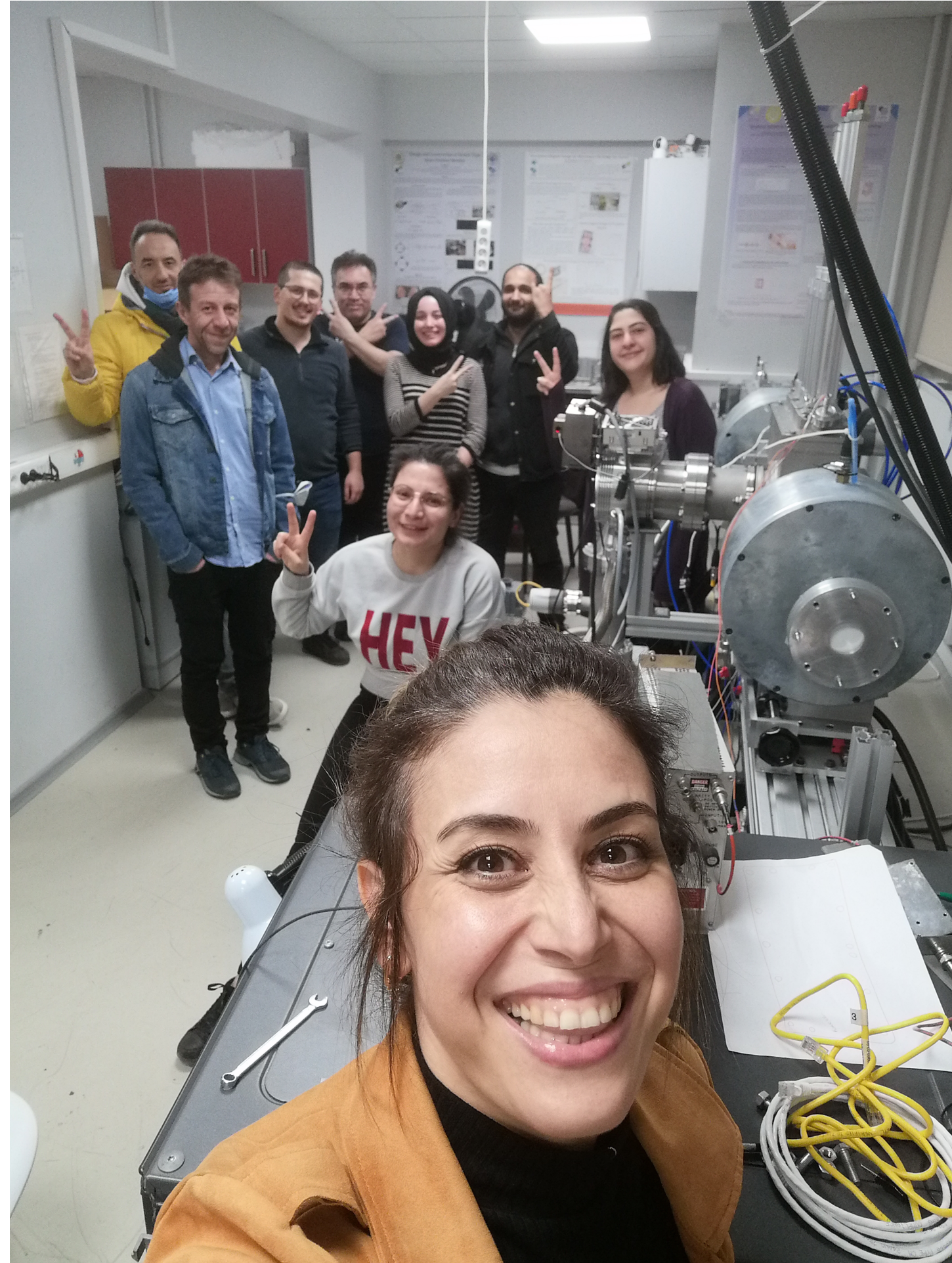
- 50 mikrometre seviyesinde dahi, kalite faktörü ve rezonans frekansındaki değişiklik tolere edilebilir sınırlar içinde kaldı.



Sonuç ve Hedefler

- 800 MHz'de üretilen prototip RFQ modülünün; devam eden mekanik, elektromanyetik ve vakum ölçümleri, boncuk-çekme yöntemi ile yapılan elektromanyetik alan ve ilgili faz/frekans kayması ölçümleri, yüzey pürüzlülük simülasyonları ve bununla ilgili Q değeri değişimleri çalışmaları devam etmektedir.
- Proje, 2023'ün sonuna kadar 20 keV'luk proton demetini 2 MeV enerjiye hızlandırmak için 2 modülü birleştirmeyi hedefliyor.

KAHVELab Ekibi



Teşekkürler.