



Salim OĞUR

Boğaziçi Üniversitesi Fizik Bölümü & CERN

SPP Takımı Adına

SPP'de RF Mühendisliği: Güç Kaynağı, İletim Hattı ve Dolaştırıcı



Hızlandırıcı ve Algıç Fiziği Çalıştayı
31 Mayıs - 03 Haziran 2016,
Marmara Üniversitesi



TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU

Amaç :



Radyo Frekansında (3 kHz - 300 GHz) salınan EM dalgaya RF denir.
SPP 352.2 MHz'lük bir frekans kullanıyor.

Amaç :



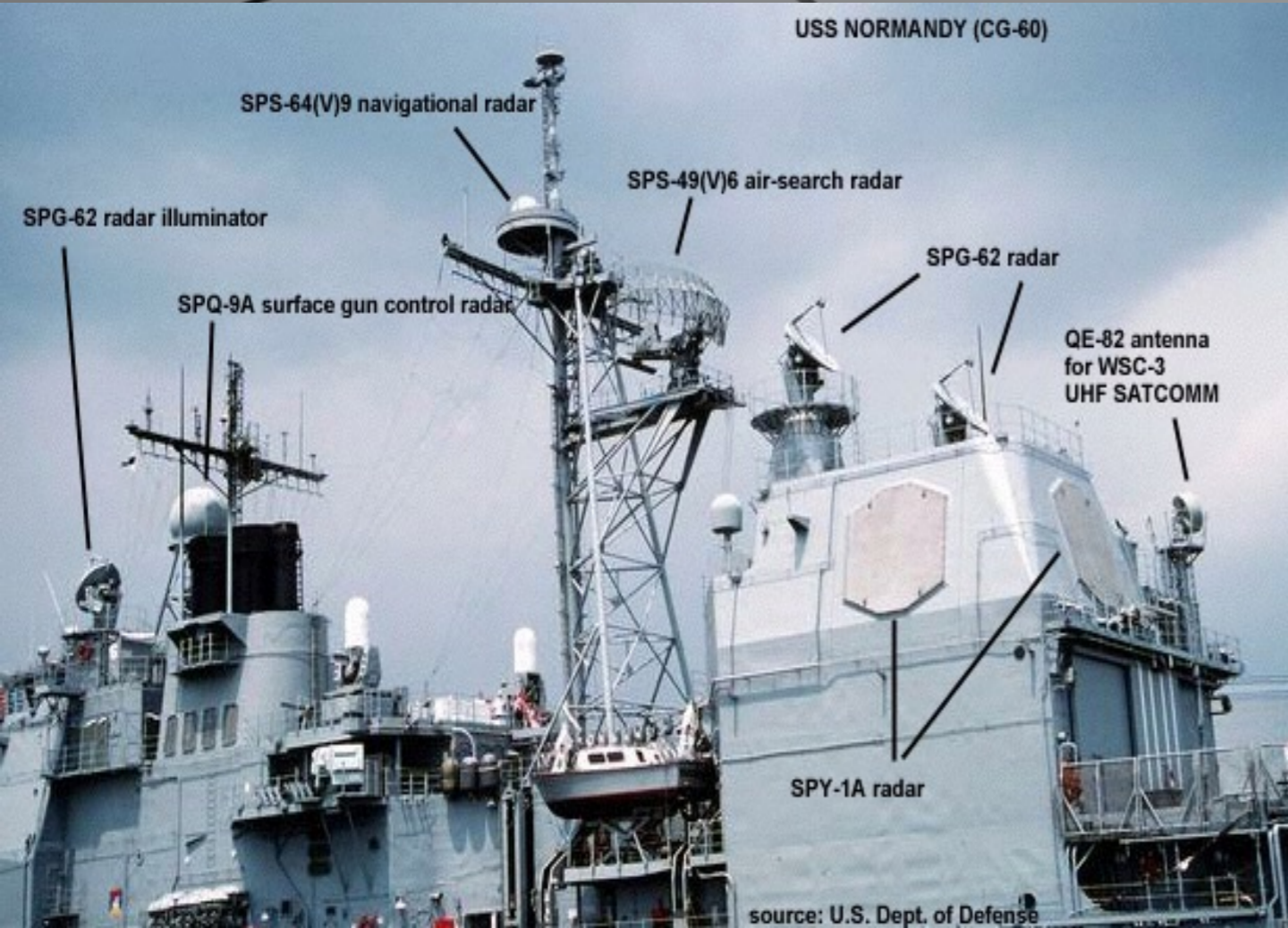
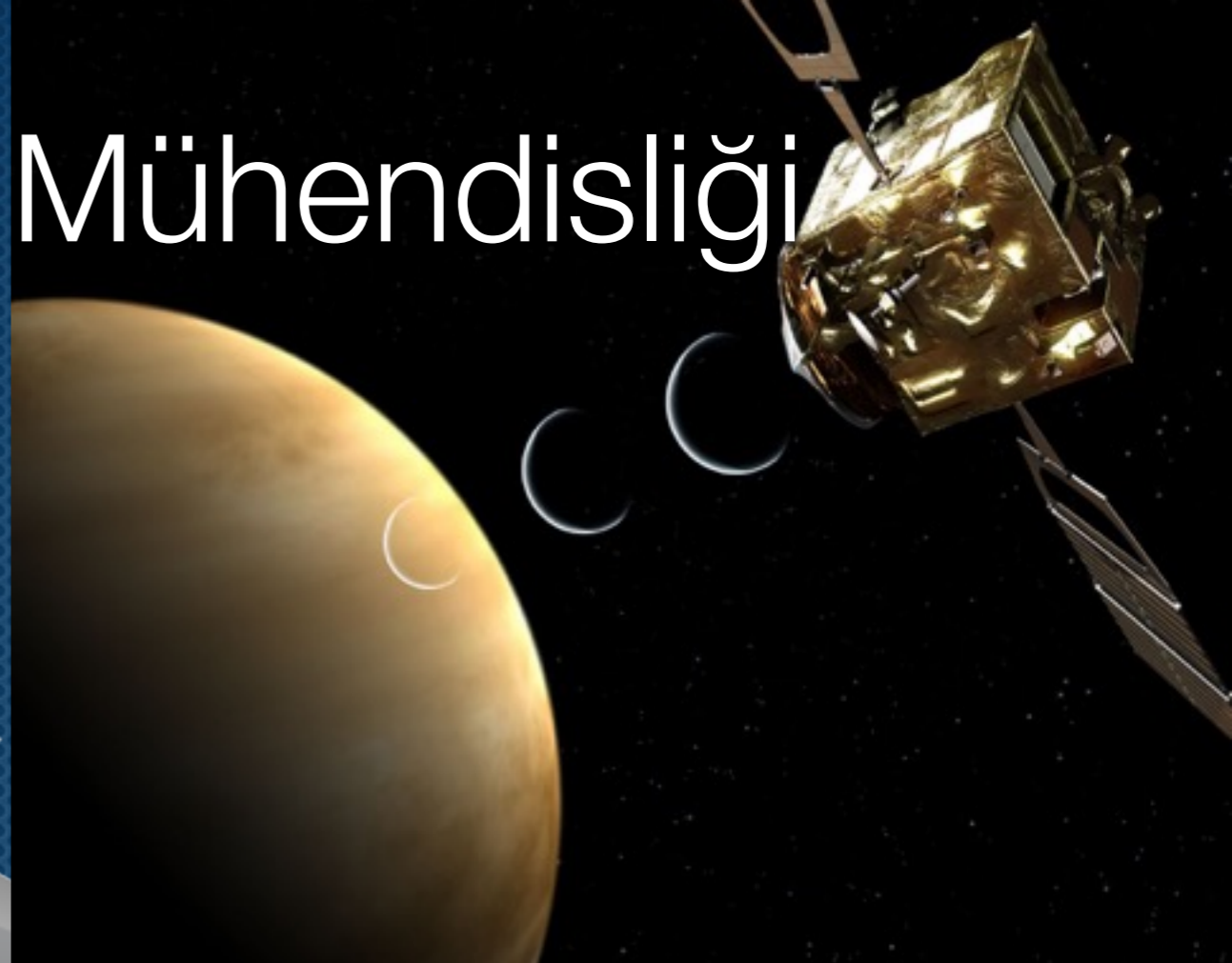
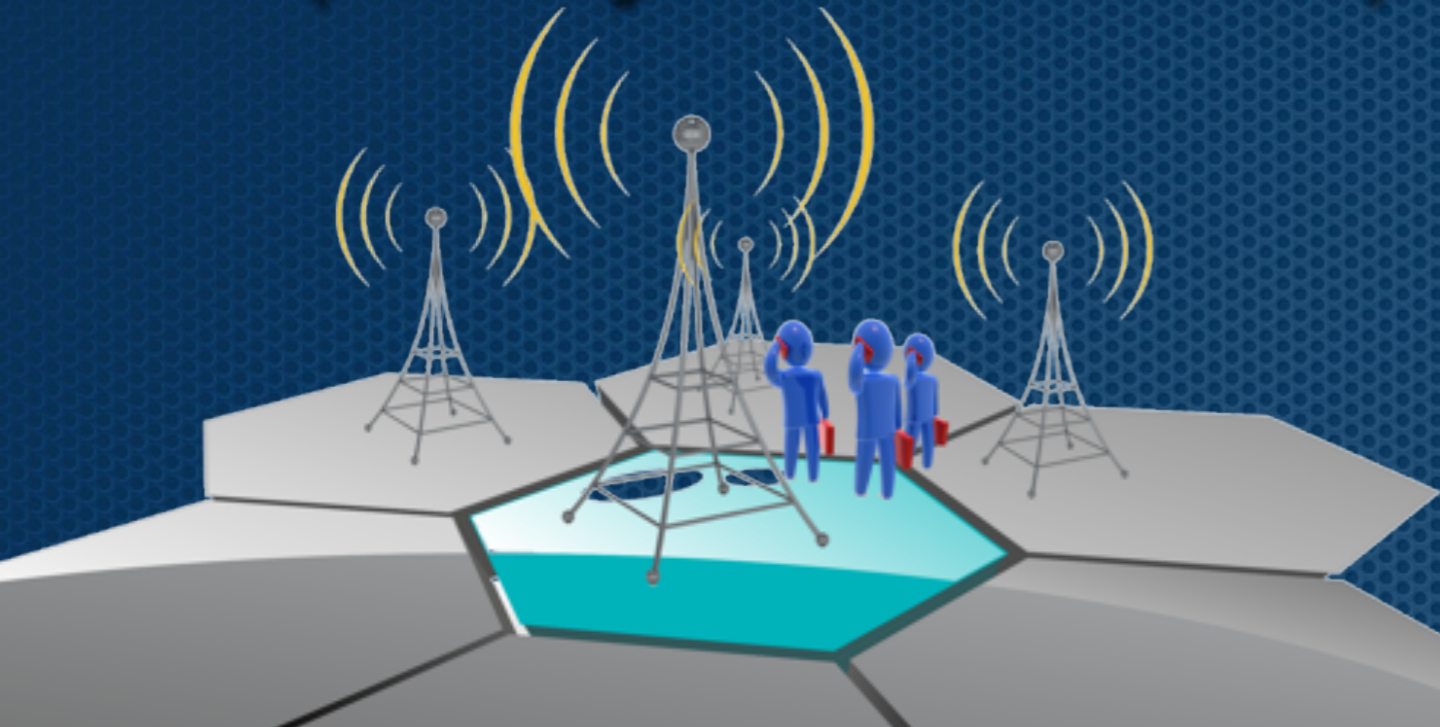
Radyo Frekansında (3 kHz - 300 GHz) salınan EM dalgaya RF denir.
SPP 352.2 MHz'lük bir frekans kullanıyor.

Amaç : ★ Güç Dalgasını Yarat ve İlet

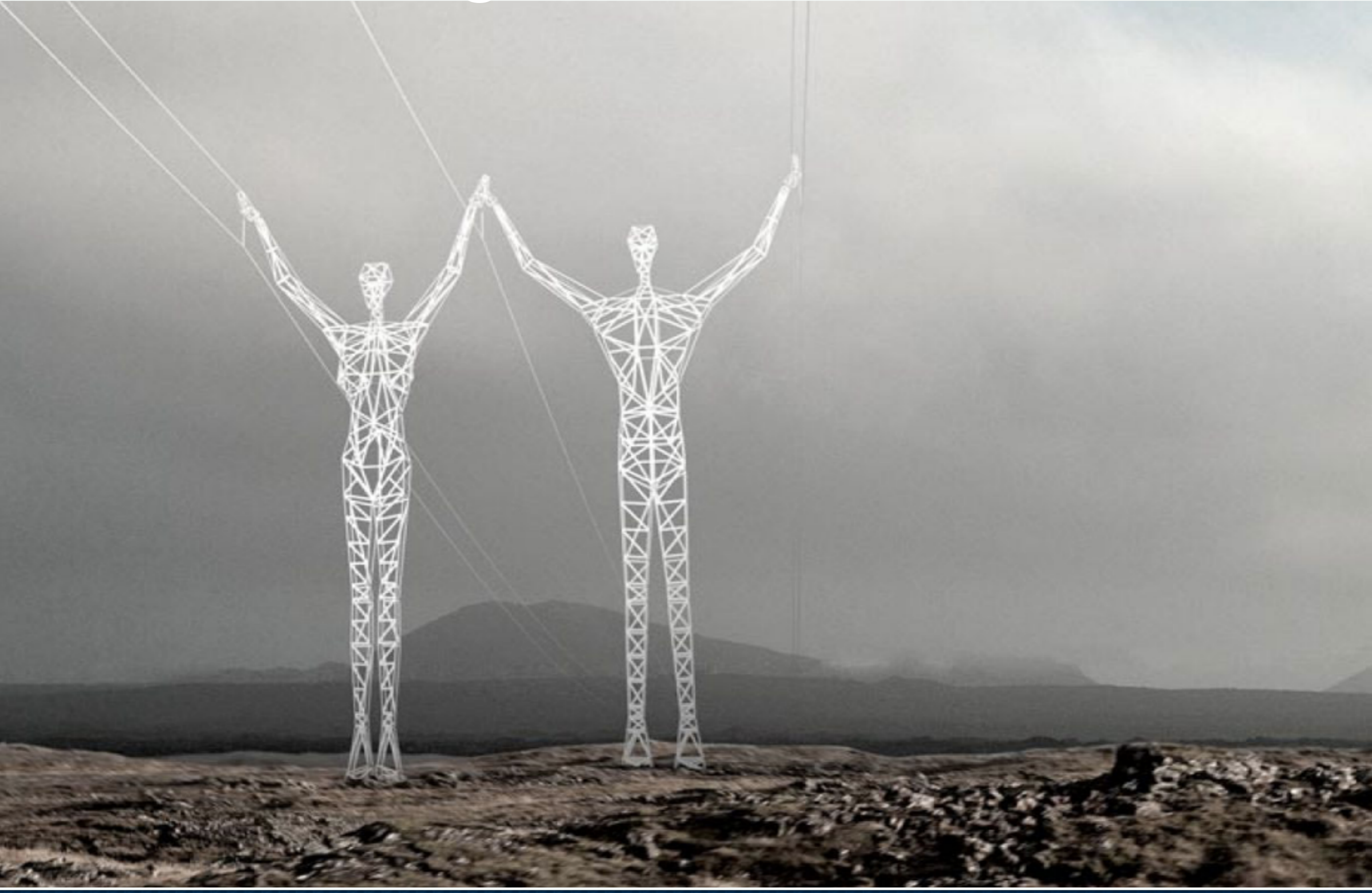


Radyo Frekansında (3 kHz - 300 GHz) salınan EM dalgaya RF denir.
SPP 352.2 MHz'lük bir frekans kullanıyor.

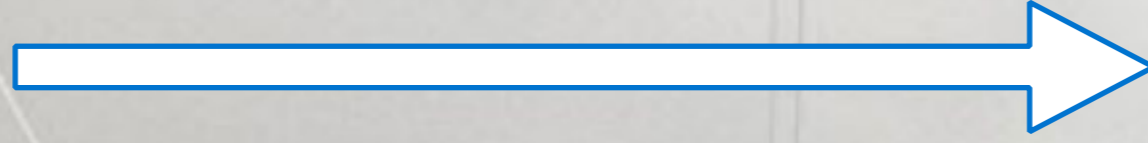
RF (Radyo Frekansı) Mühendisliği



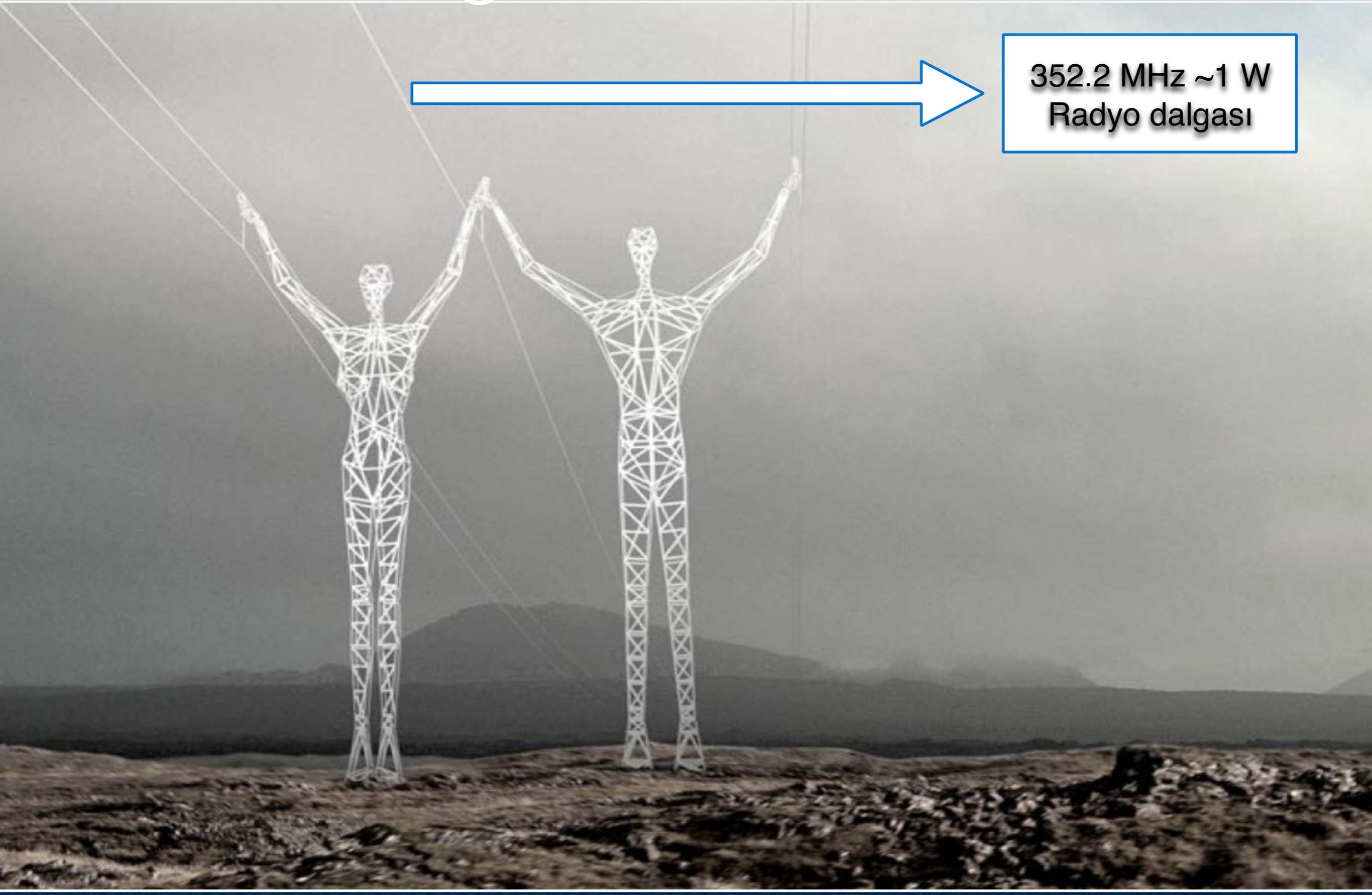
0 - RF Dalgasının Üretimi



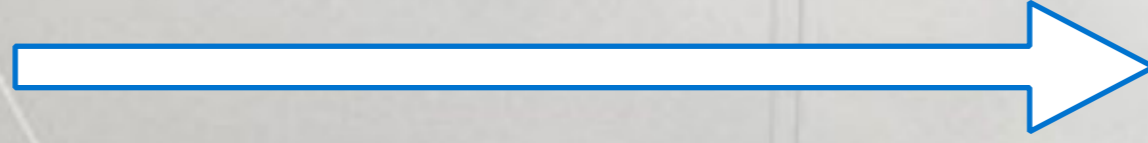
0 - RF Dalgasının Üretimi



352.2 MHz ~1 W
Radyo dalgası



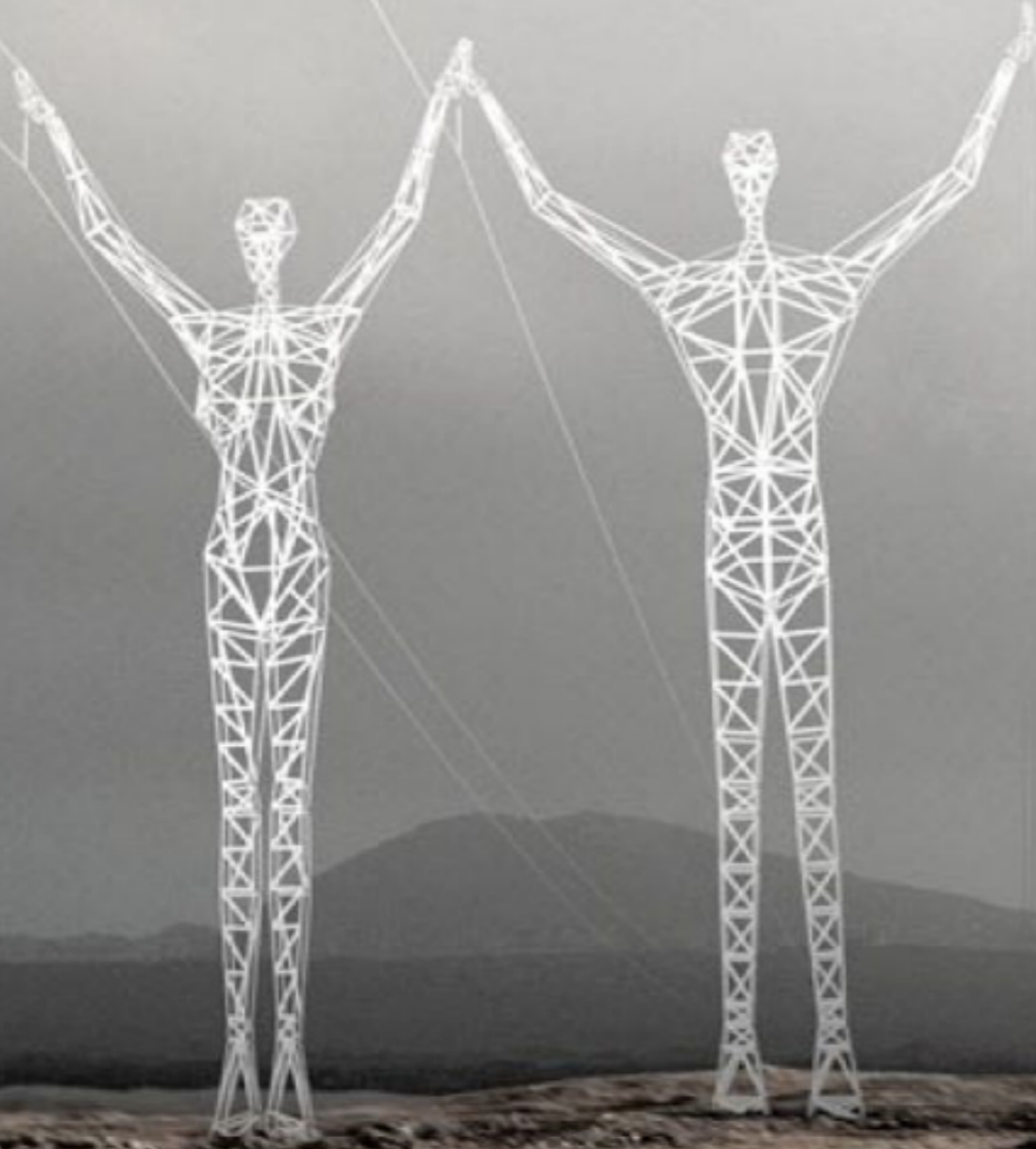
0 - RF Dalgasının Üretimi



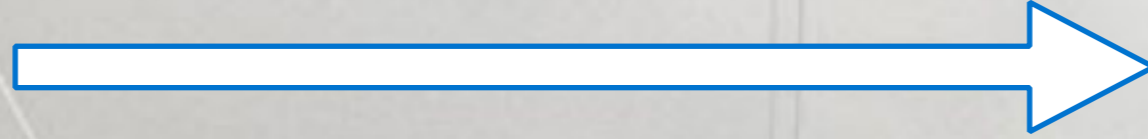
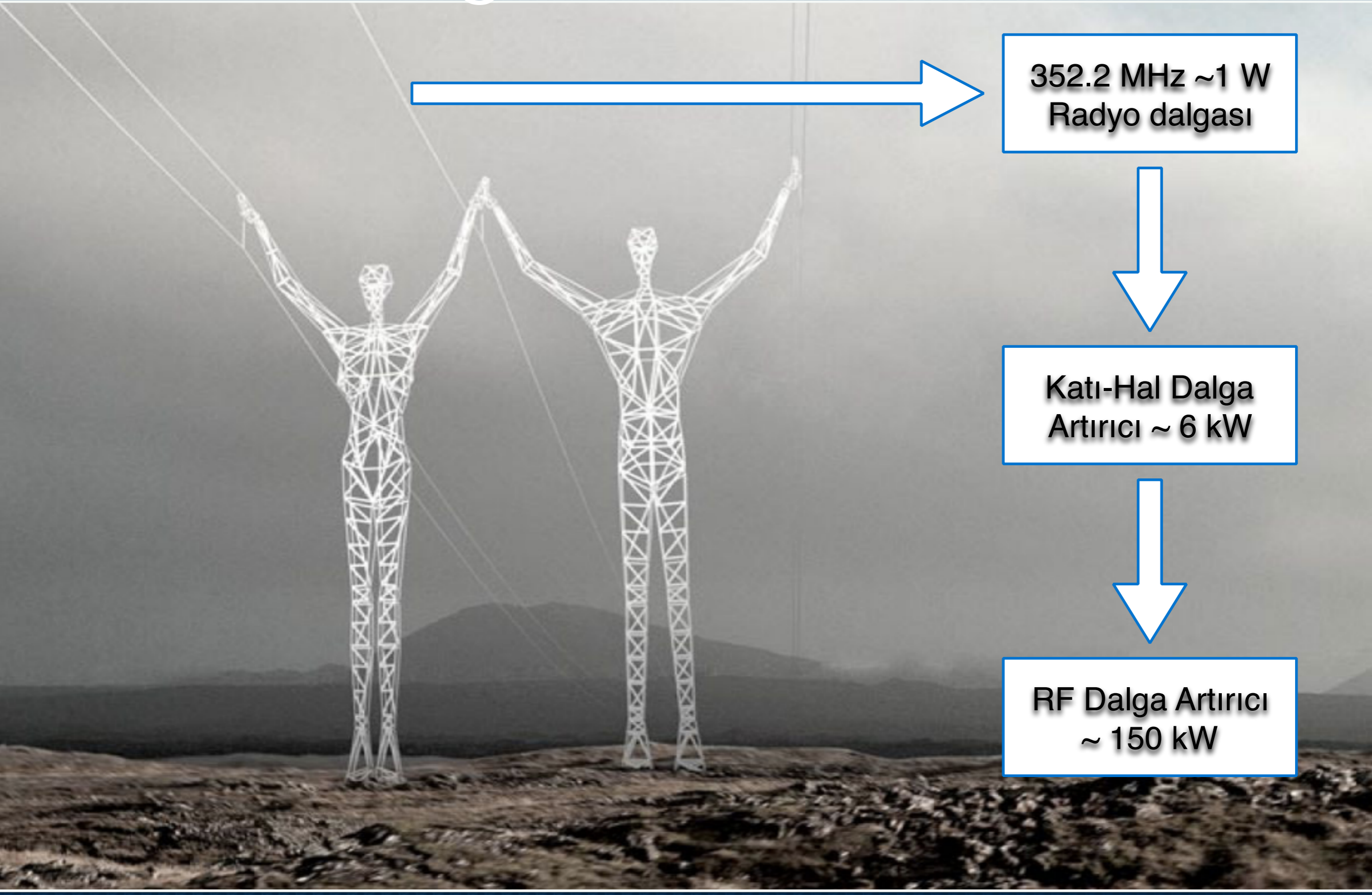
352.2 MHz ~1 W
Radyo dalgası



Katı-Hal Dalga
Artırıcı ~ 6 kW



0 - RF Dalgasının Üretimi



352.2 MHz ~1 W
Radyo dalgası

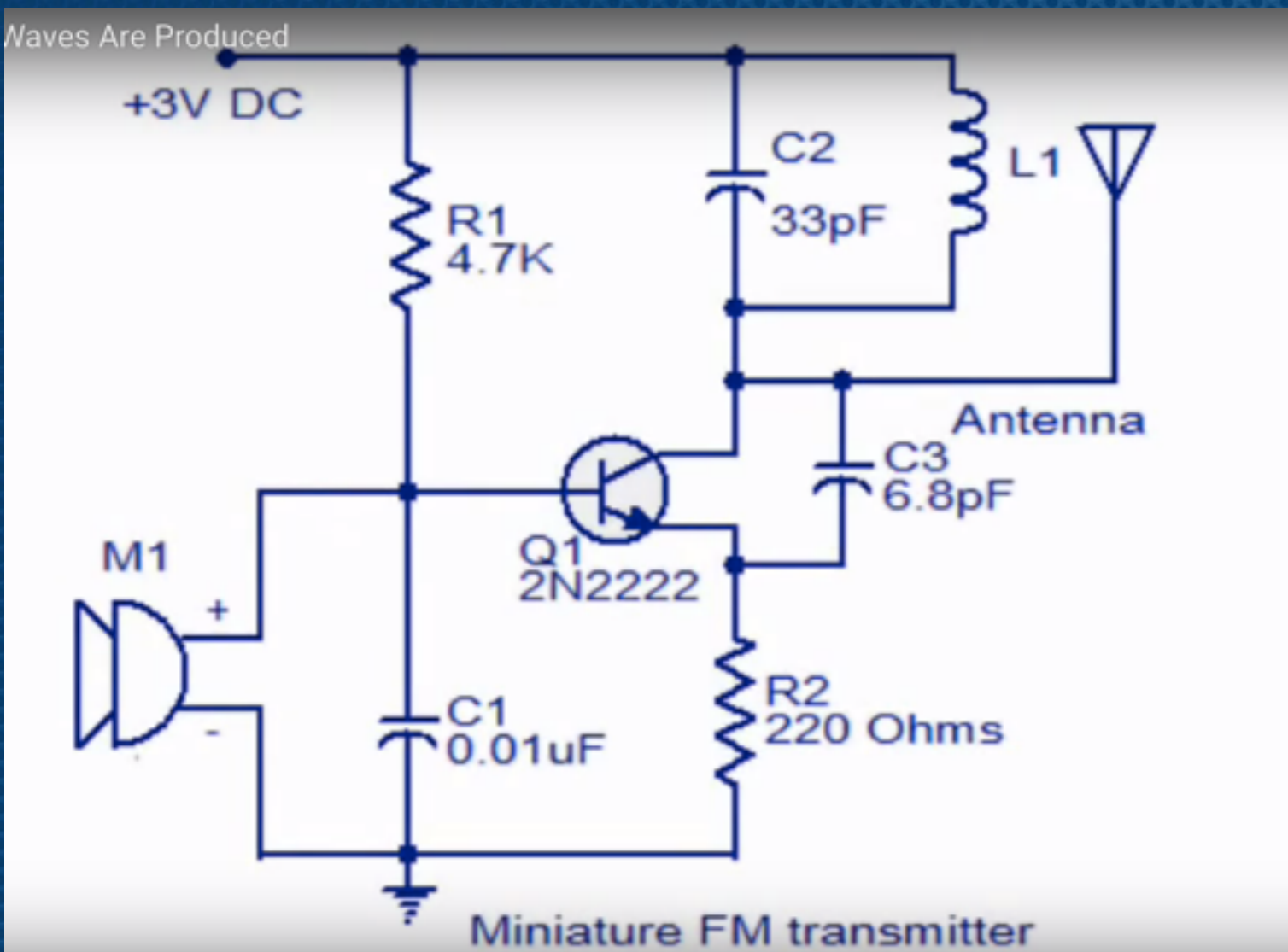


Katı-Hal Dalga
Artırıcı ~ 6 kW



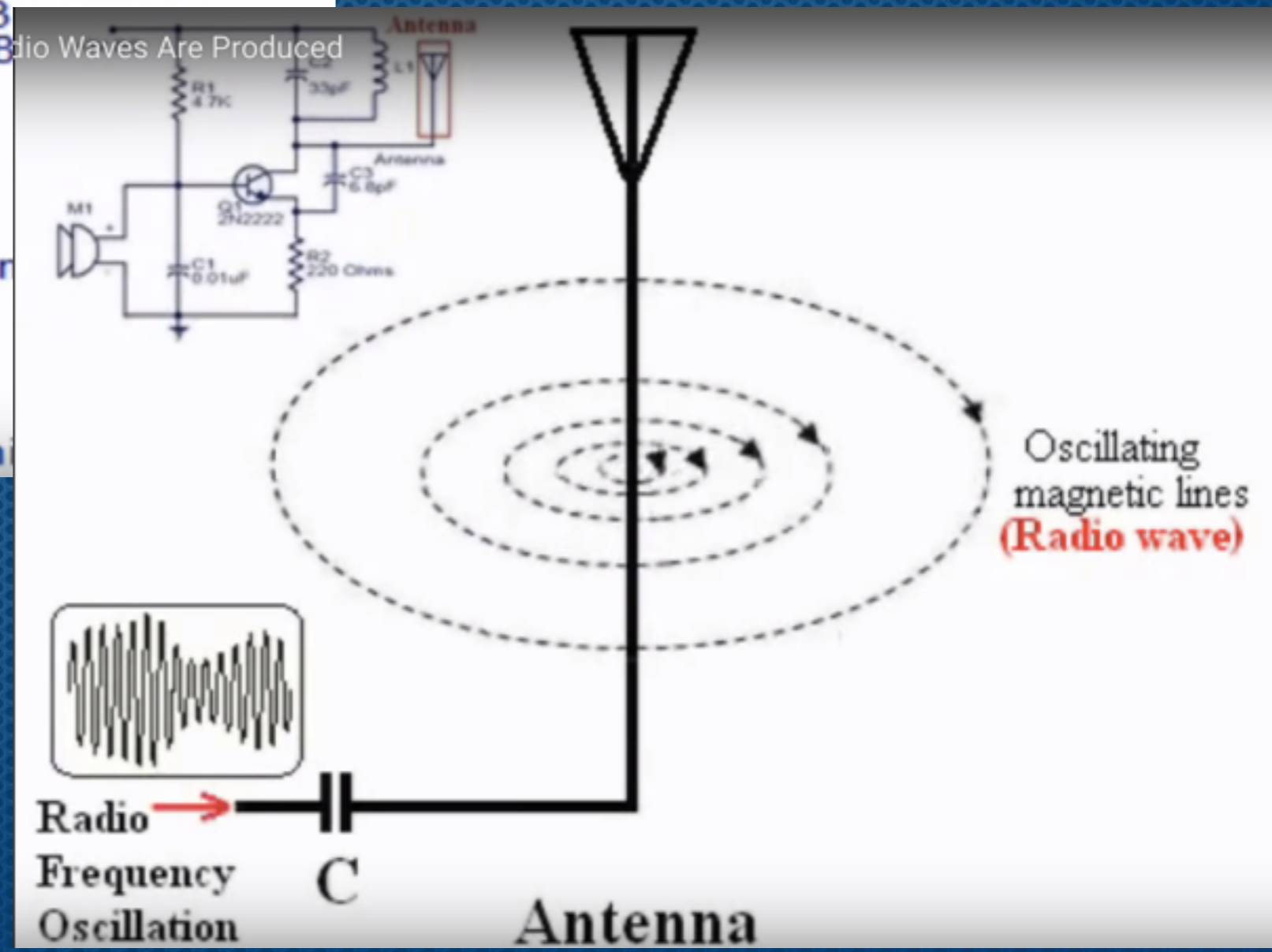
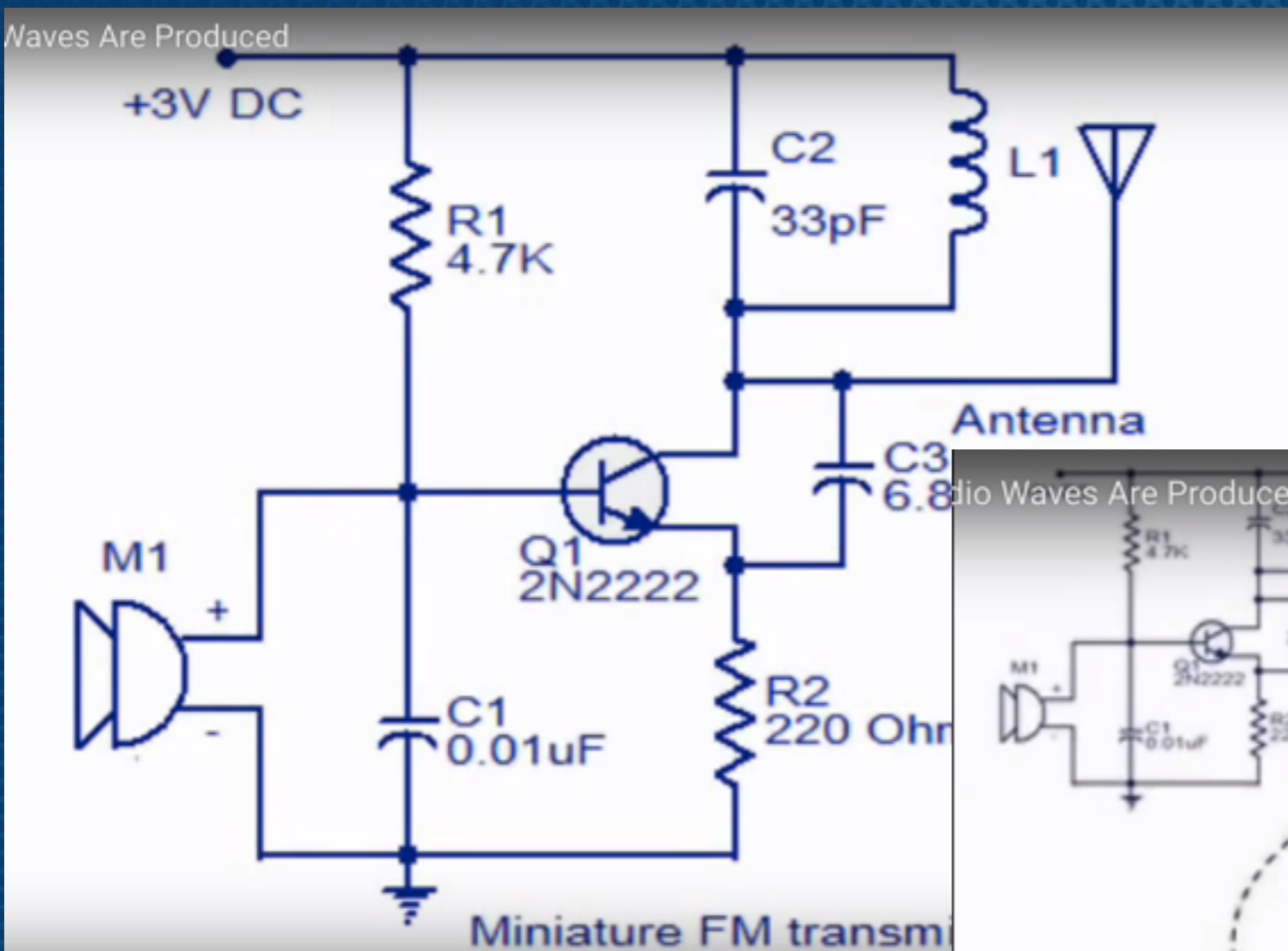
RF Dalga Artırıcı
~ 150 kW

0 - RF Dalgasının Üretimi- 1.adım



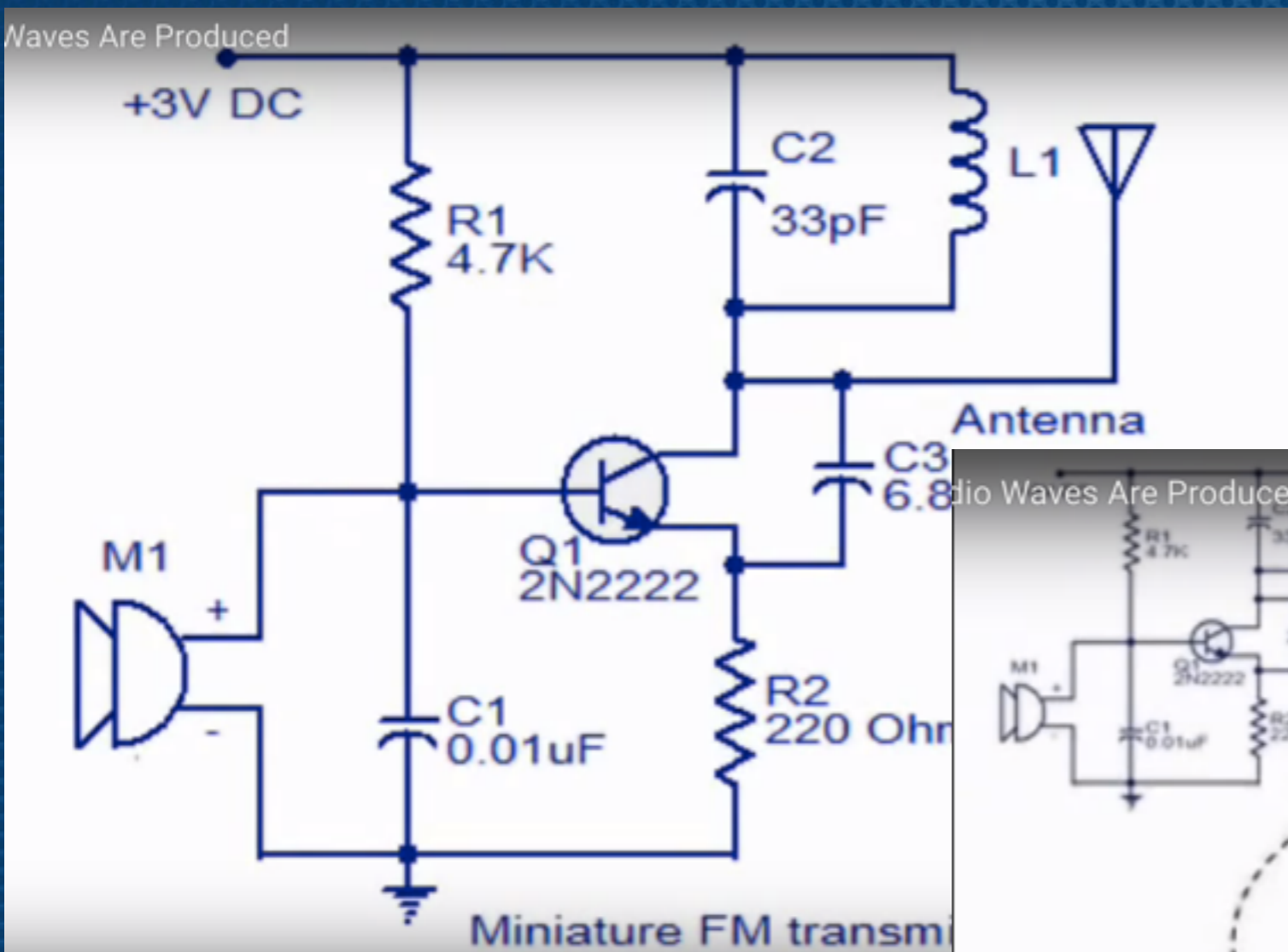
Ref: <https://www.youtube.com/watch?v=aAcDM2ypBfE>

0 - RF Dalgasının Üretimi- 1.adım

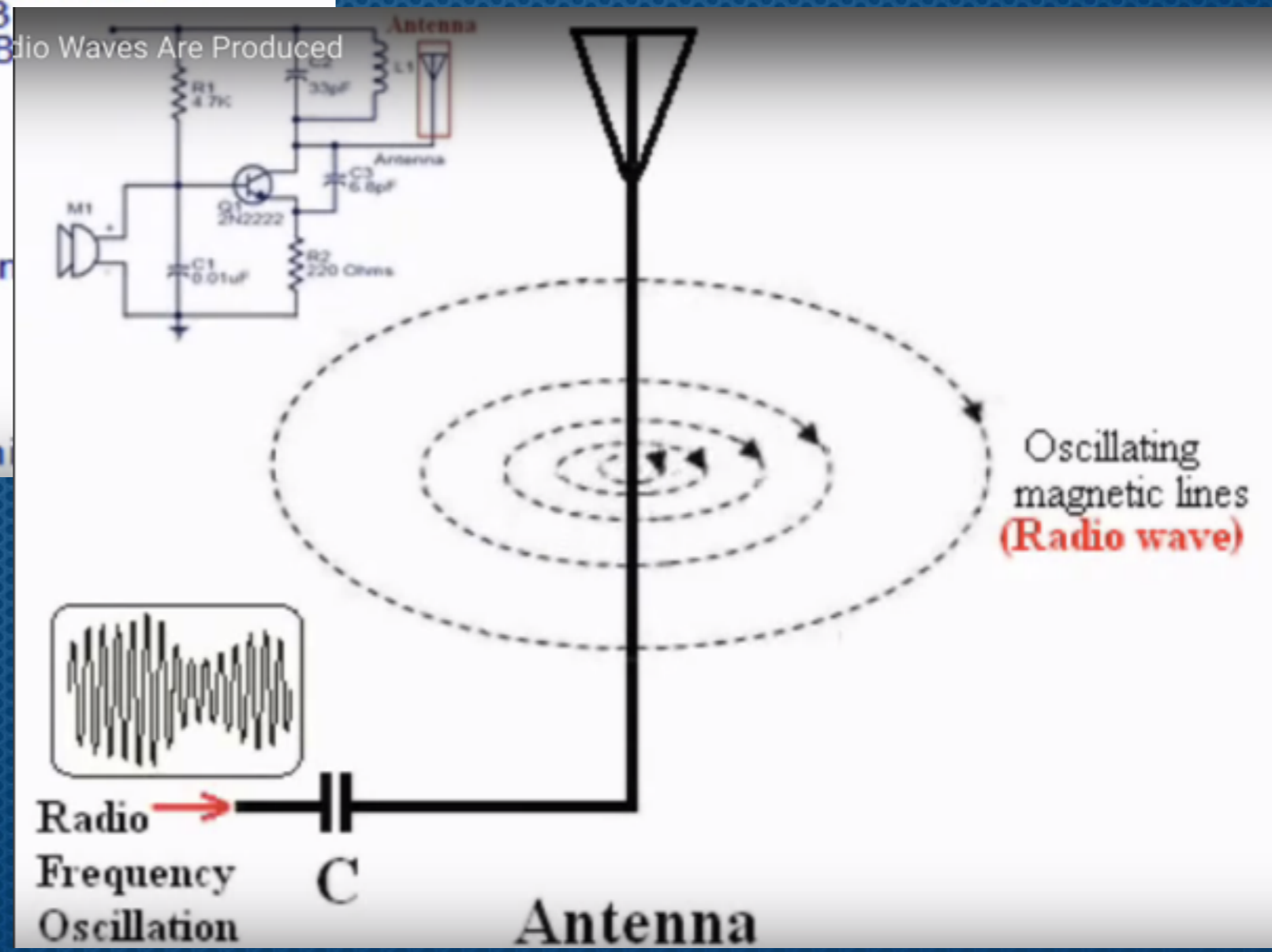


Ref: <https://www.youtube.com/watch?v=aAcDM2ypBfE>

0 - RF Dalgasının Üretimi- 1.adım



*elektronu salındırırsanız,
radyasyon (ışığa yapar) !*



Ref: <https://www.youtube.com/watch?v=aAcDM2ypBfE>

0 - RF Dalgasının Üretimi- 1.adım



Waves Are Produced
+3V
M1

...niz,
...ar)!

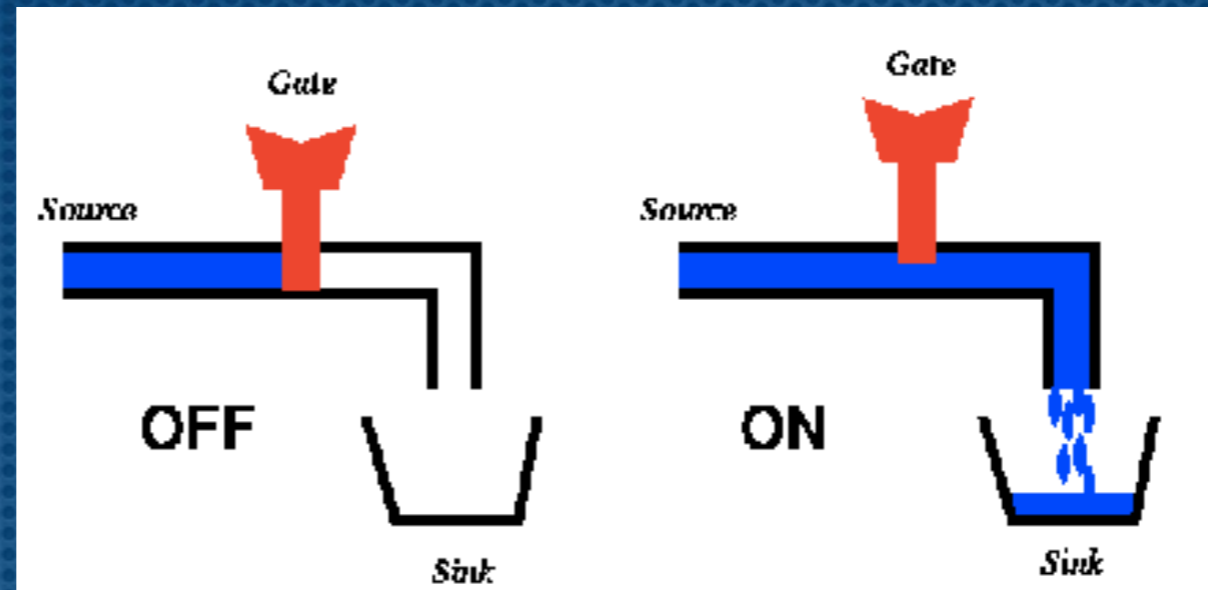
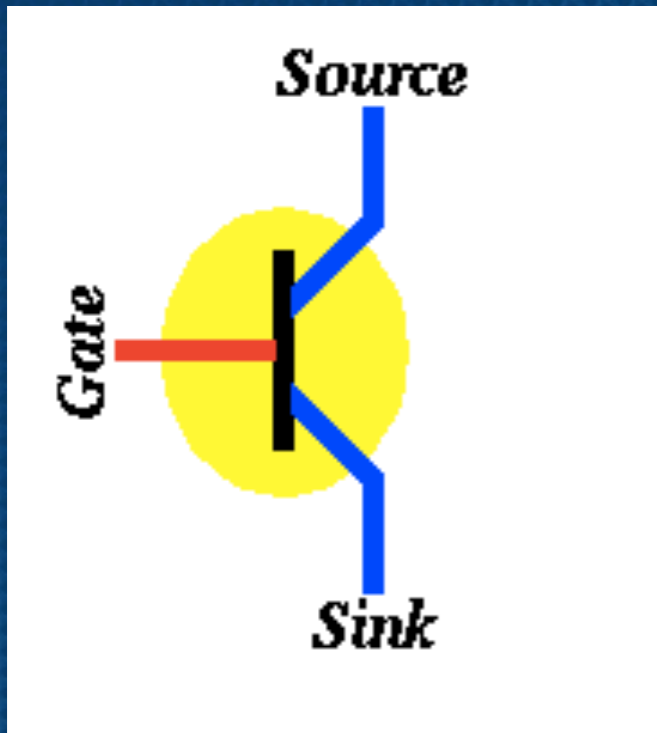
...illating
...netic lines
...io wave)

Ref: ht
wa

Oscillation

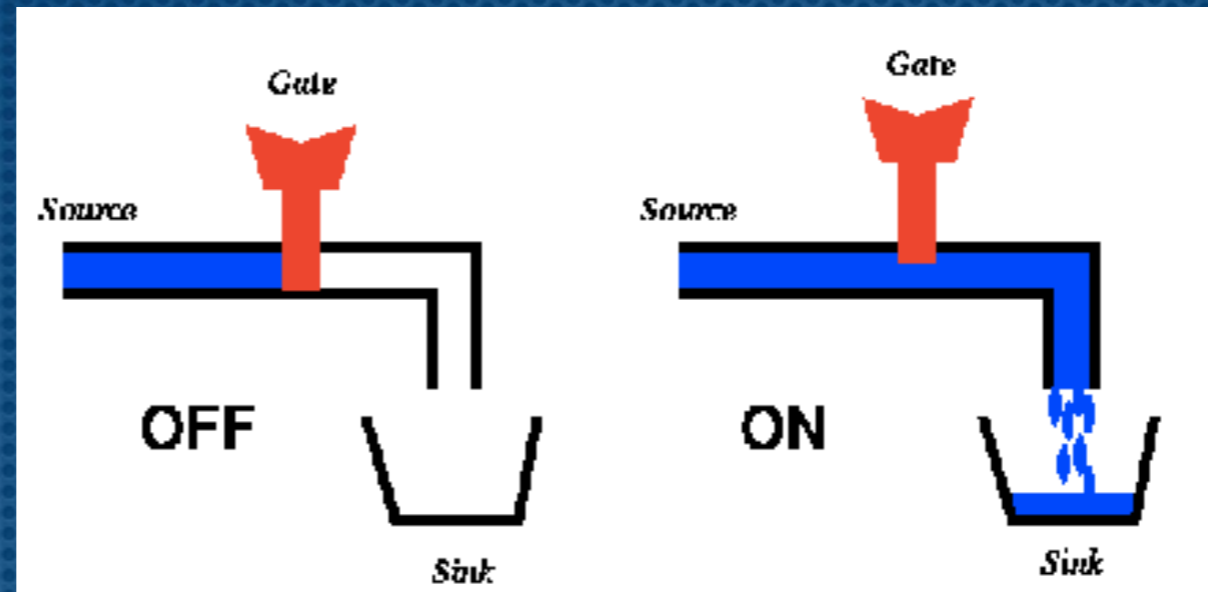
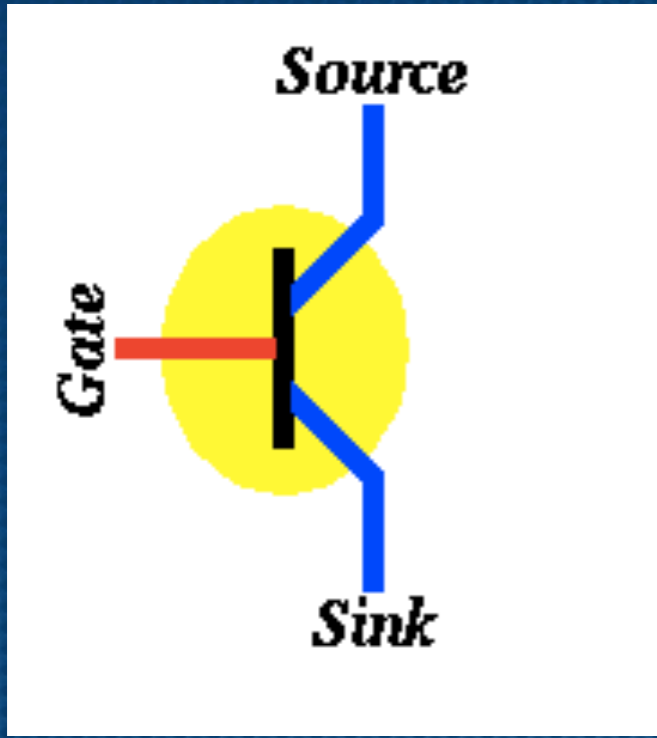
Antenna

0 - RF Dalgasının Üretimi- 2.adım

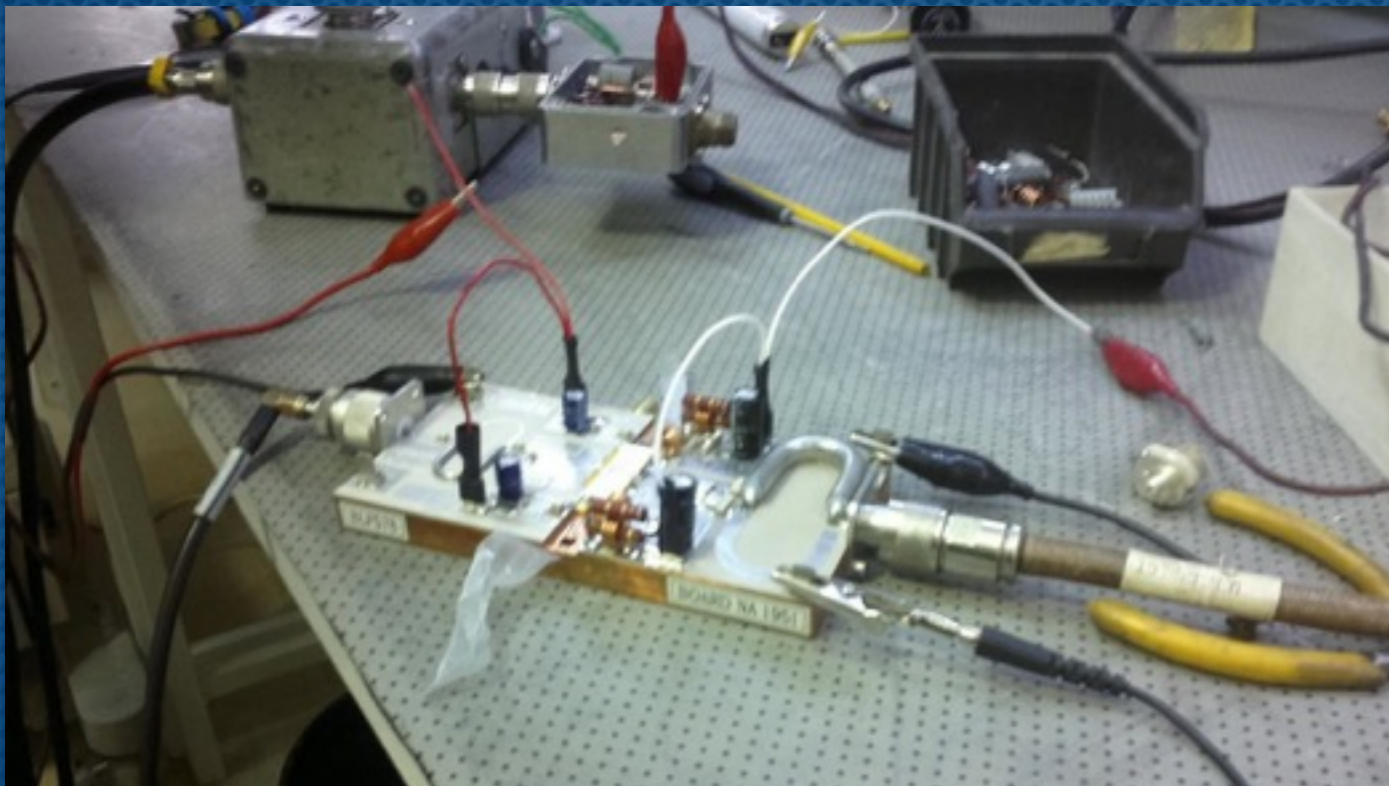


<http://www.cs.bu.edu/~best/courses/cs109/modules/transistors2gates/>

0 - RF Dalgasının Üretimi- 2.adım

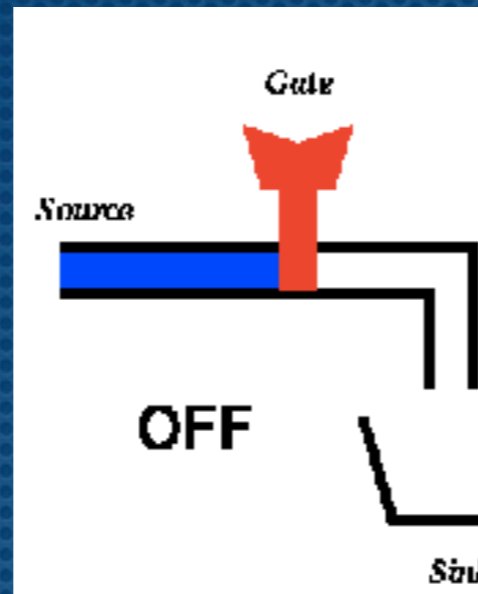
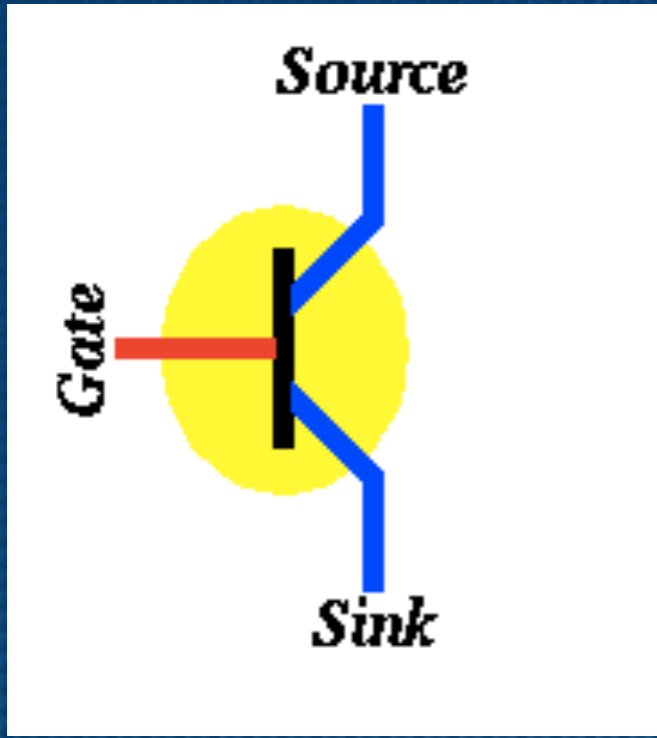


<http://www.cs.bu.edu/~best/courses/cs109/modules/transistors2gates/>

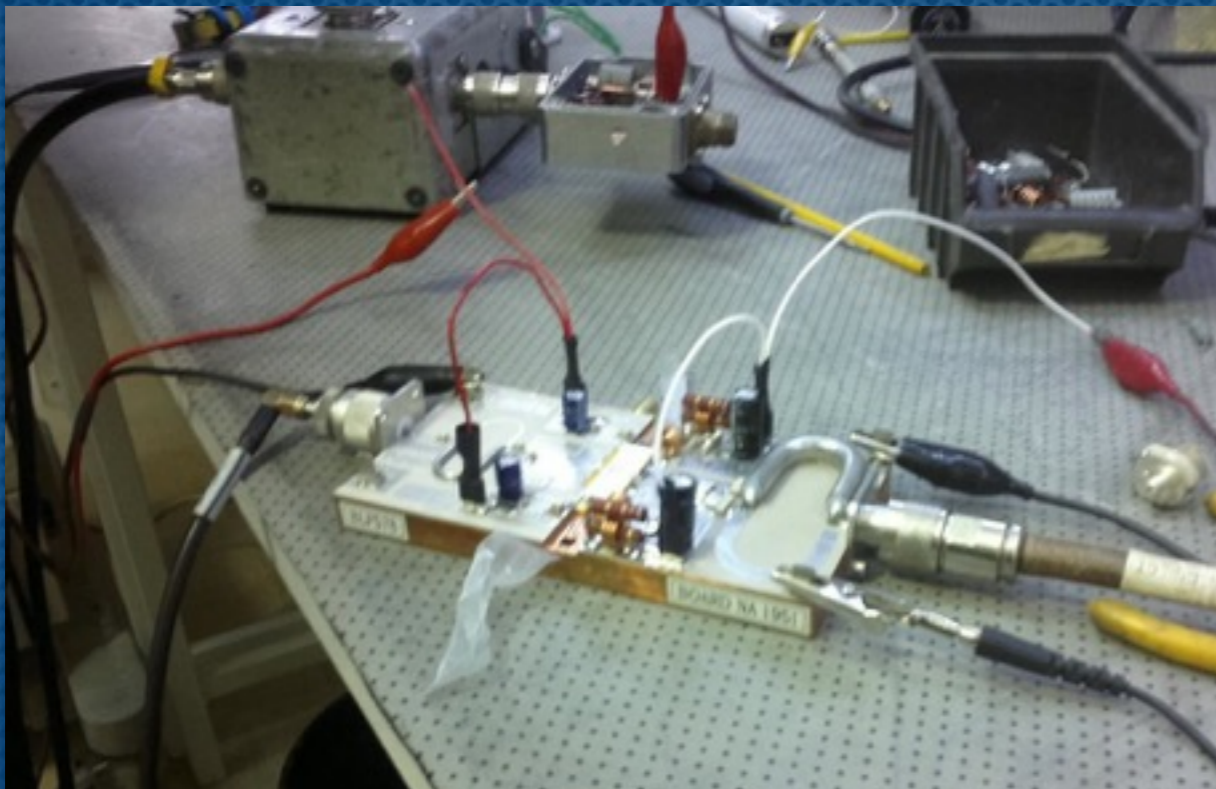
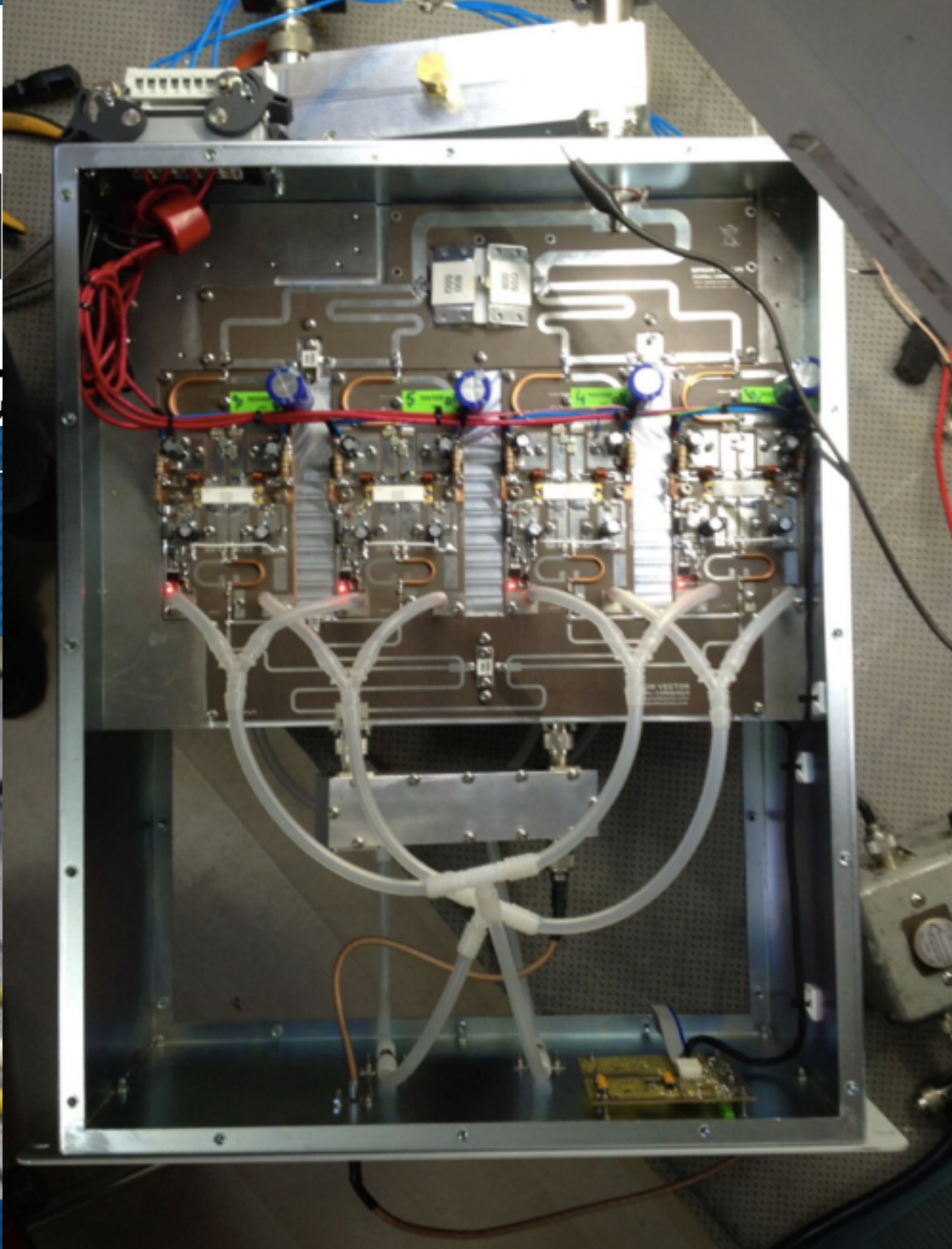


➔ Tek başına bir transistör, ve hazırladığımız kontrol devresi, bir transistör sürekli ~1.5 kW.

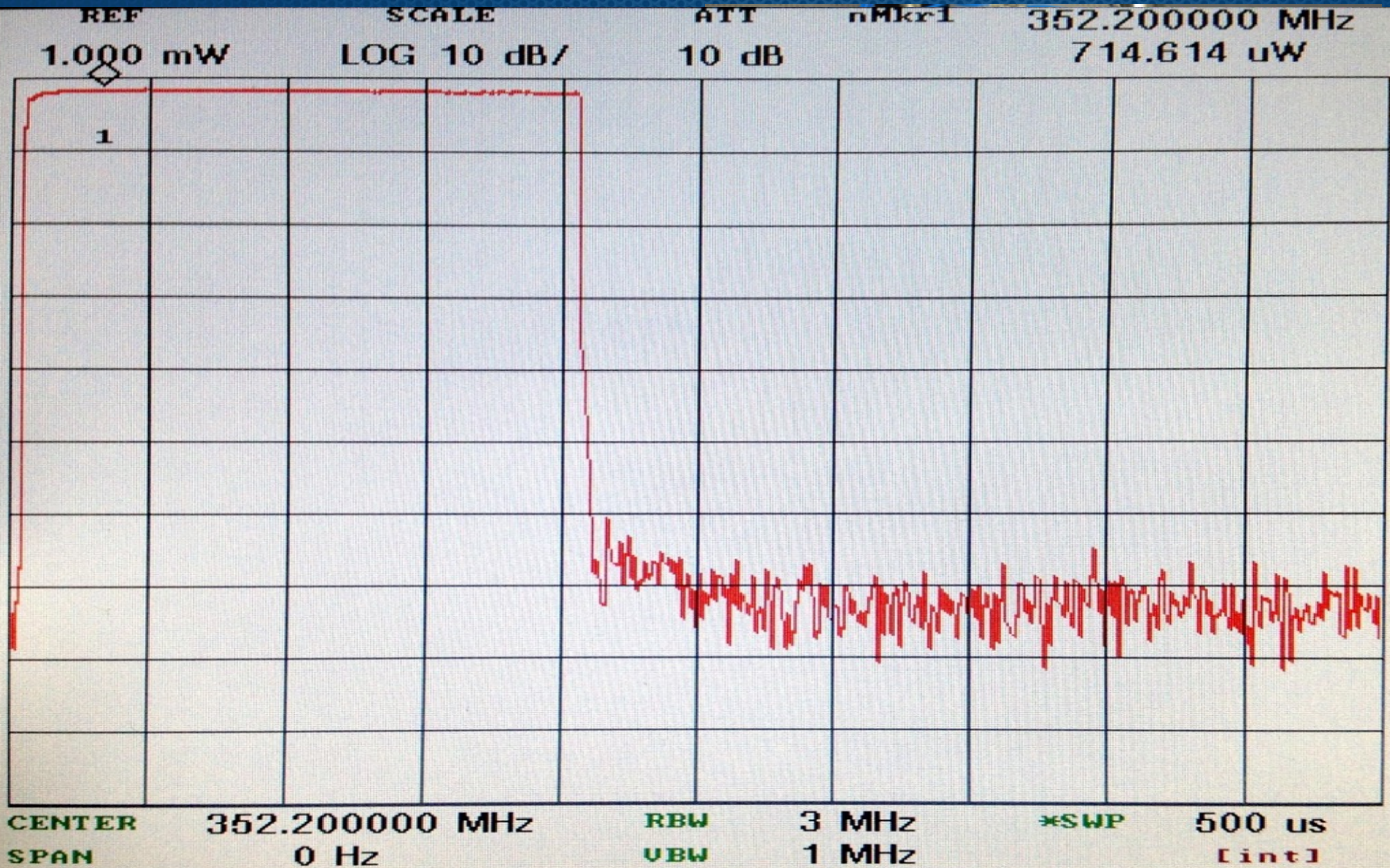
0 - RF Dalgasının Üretimi- 2.adım



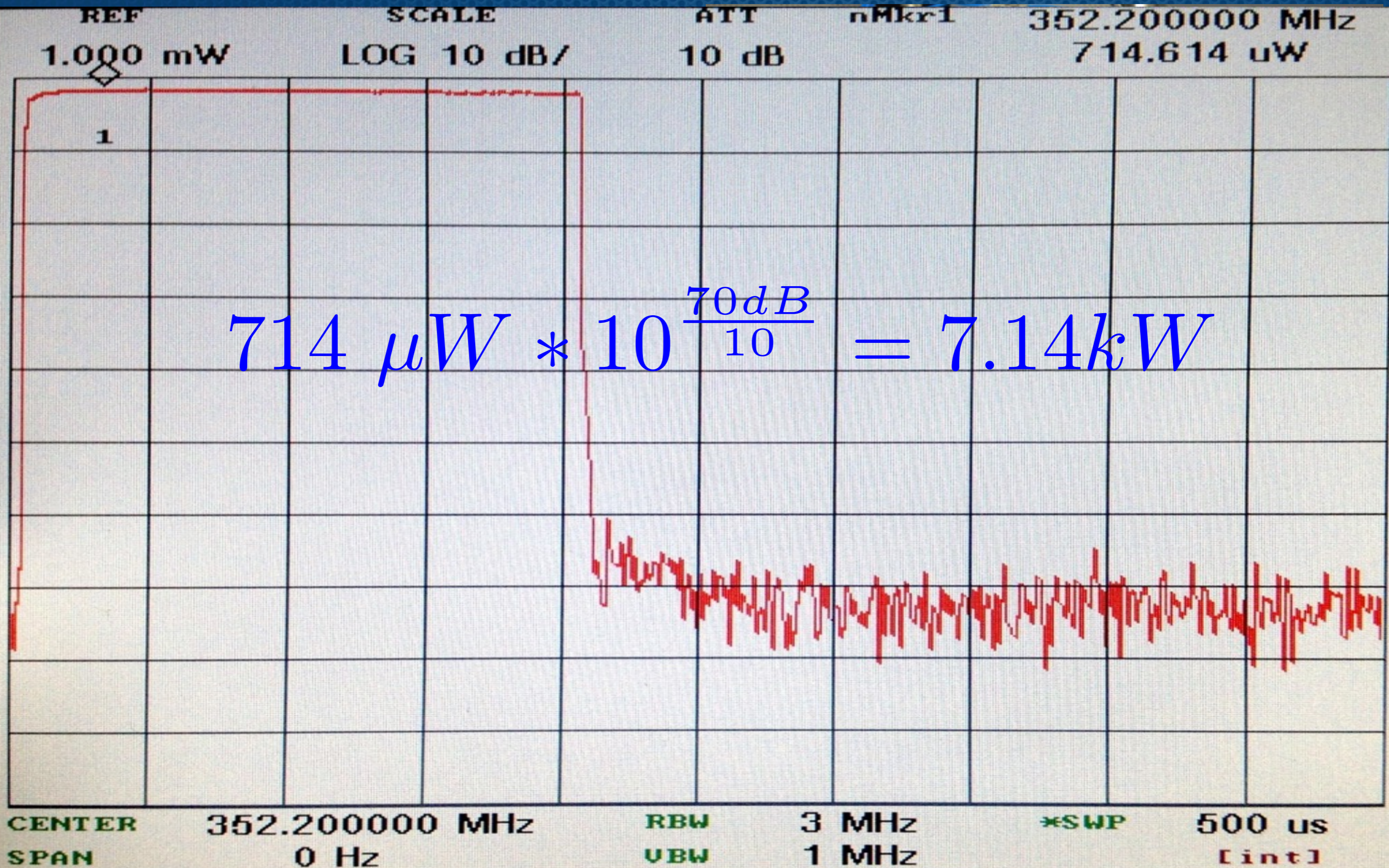
<http://www.cs.bu>



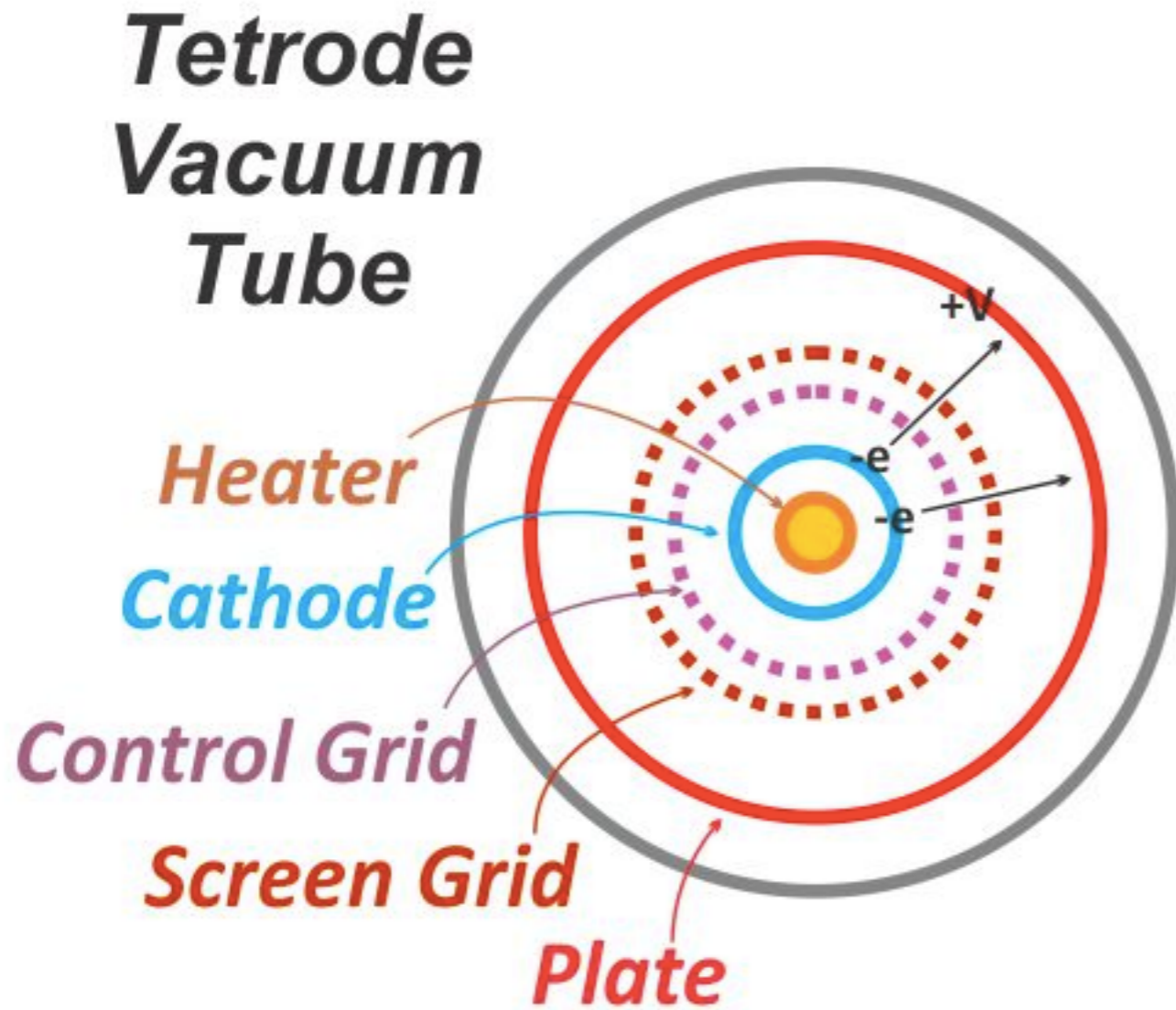
0 - RF Dalgasının Üretimi- 2.adım



0 - RF Dalgasının Üretimi- 2.adım



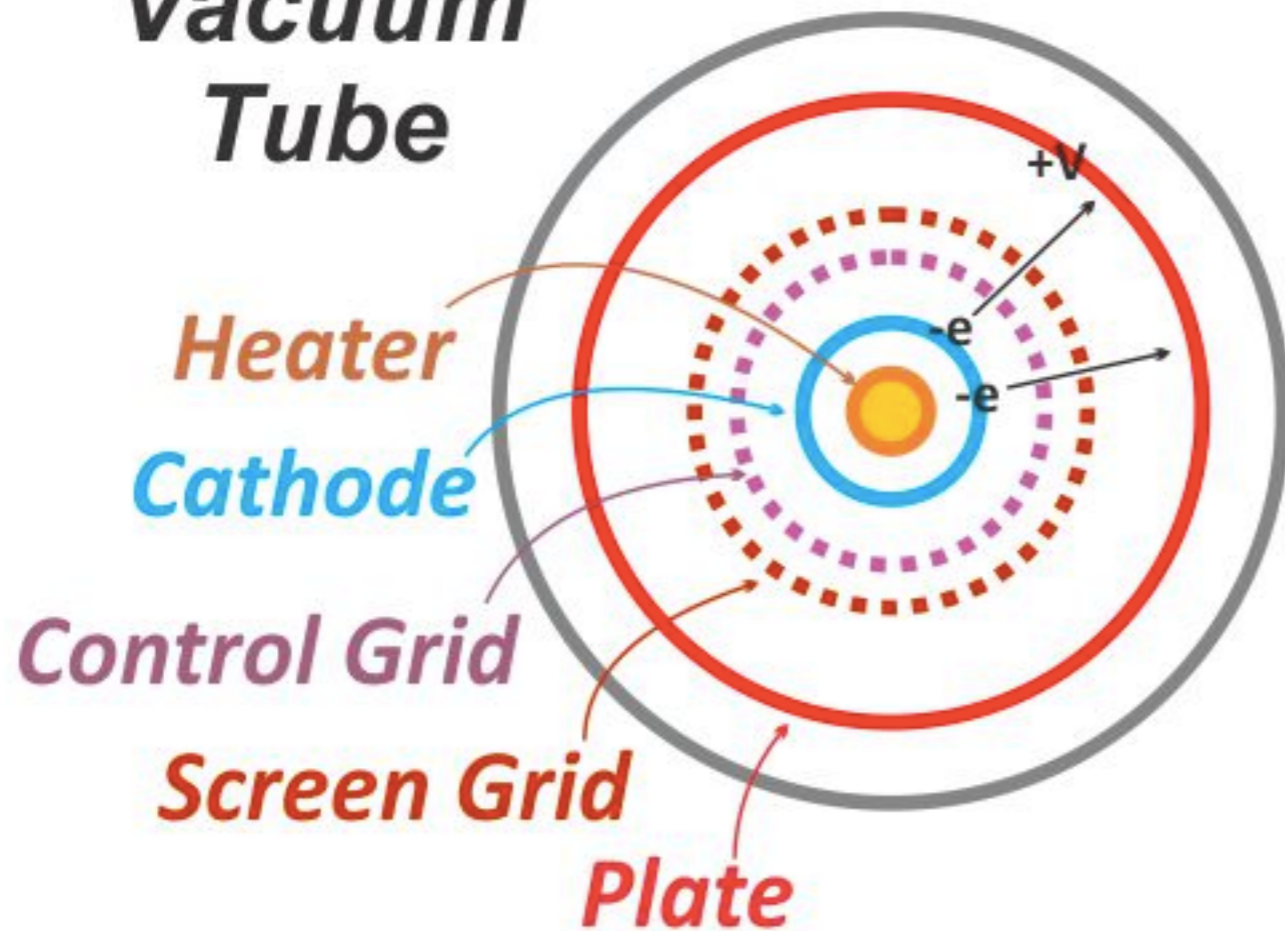
0 - RF Dalgasının Üretimi- 3. adım



Hızlandırıcı içinde hızlandırıcı.

0 - RF Dalgasının Üretimi- 3. adım

Tetrode Vacuum Tube



$$6 \text{ kW} * 10^{\frac{15 \text{ dB}}{10}} = 190 \text{ kW}$$



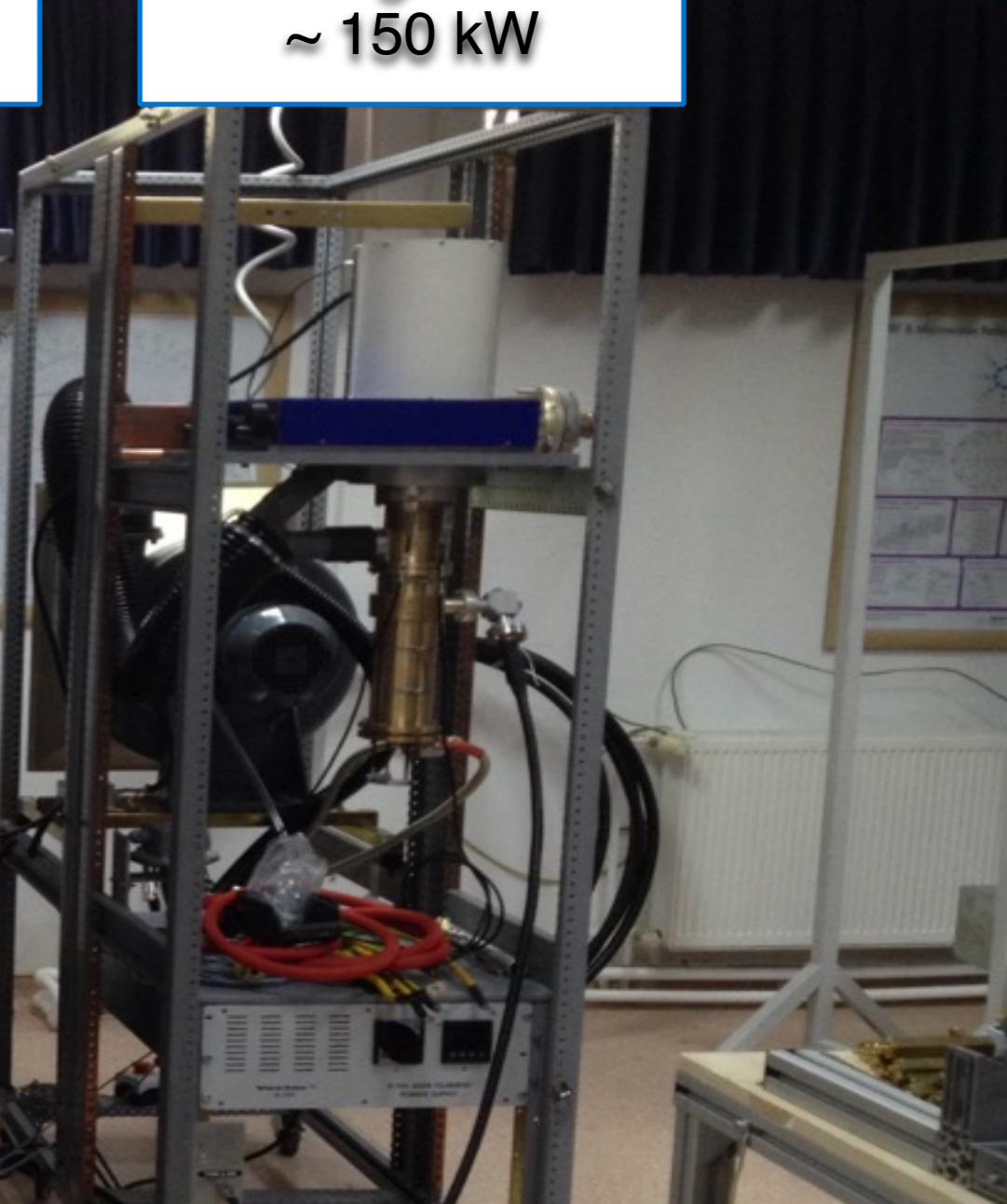
Hızlandırıcı içinde hızlandırıcı.

0 - RF Dalgasının Üretimi

352.2 MHz ~1 W
Radyo dalgası

Katı-Hal Dalga
Artırıcı ~ 6 kW

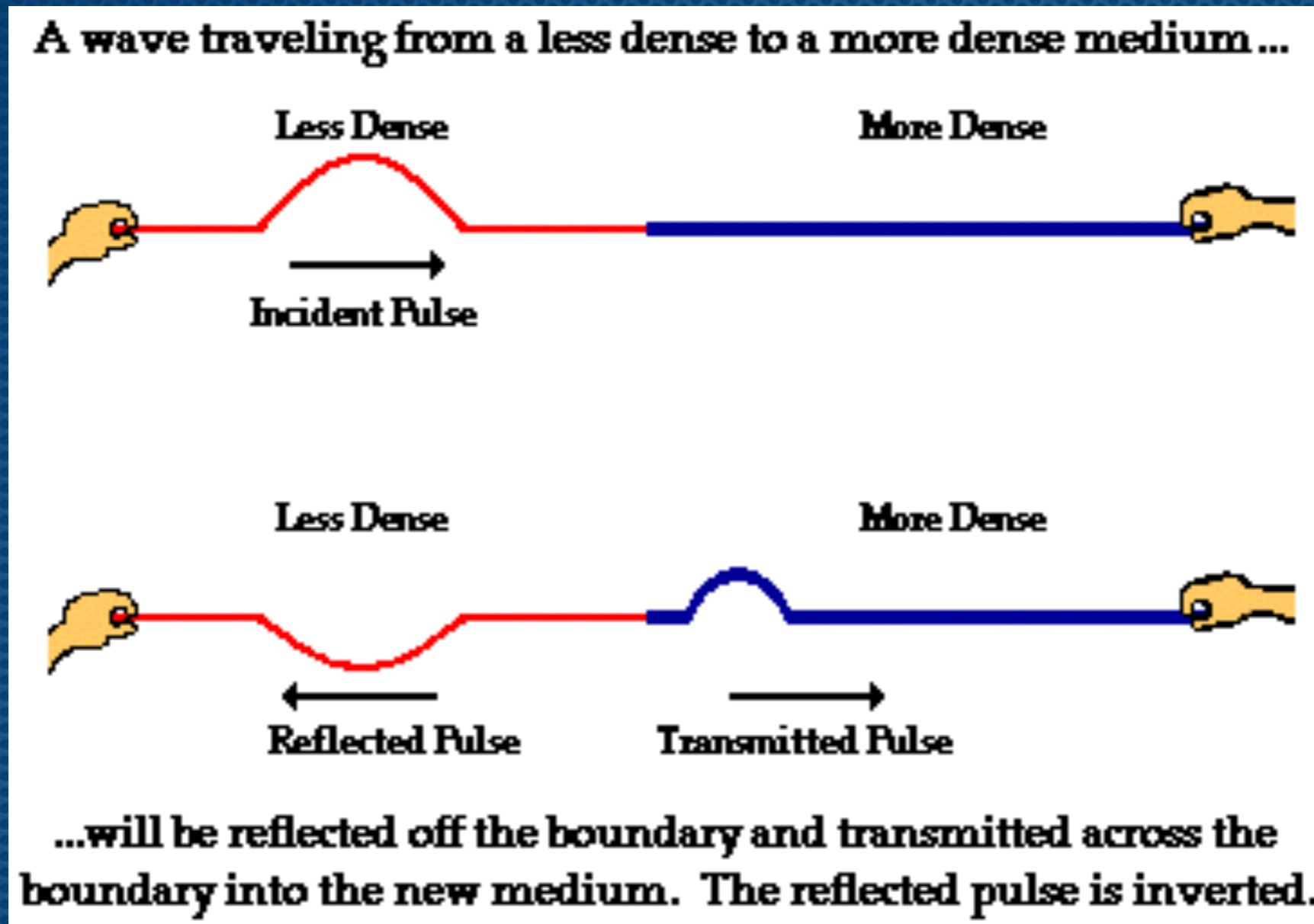
RF Dalga Artırıcı
~ 150 kW



Üretim Yeri: EPROM LTD. ŞTİ,
Ostim / Ankara

1 - RF Dalgasının İletimi - Dalga

1 - RF Dalgasının İletimi - Dalga



1 - RF Dalgasının İletimi - RLC


- ✓ Bir dalganın geri yansımaması için “dalganın ilerlediği ortamın” dalganın hızını, frekansını değiştirmemesi lazım. İp örneğinde, ipin kalınlığı ve cinsi değişmemeli.

1 - RF Dalgasının İletimi - RLC

- ✓ Bir dalganın geri yansımaması için “dalganın ilerlediği ortamın” dalganın hızını, frekansını değiştirmemesi lazım. İp örneğinde, ipin kalınlığı ve cinsi değişmemeli.
- ✓ Elektromanyetik Dalganın kayıpsız ilerlemesi için ise ortamın EMPEDANS (ETKİN DİRENÇ)'inin eşleşmesi lazım.

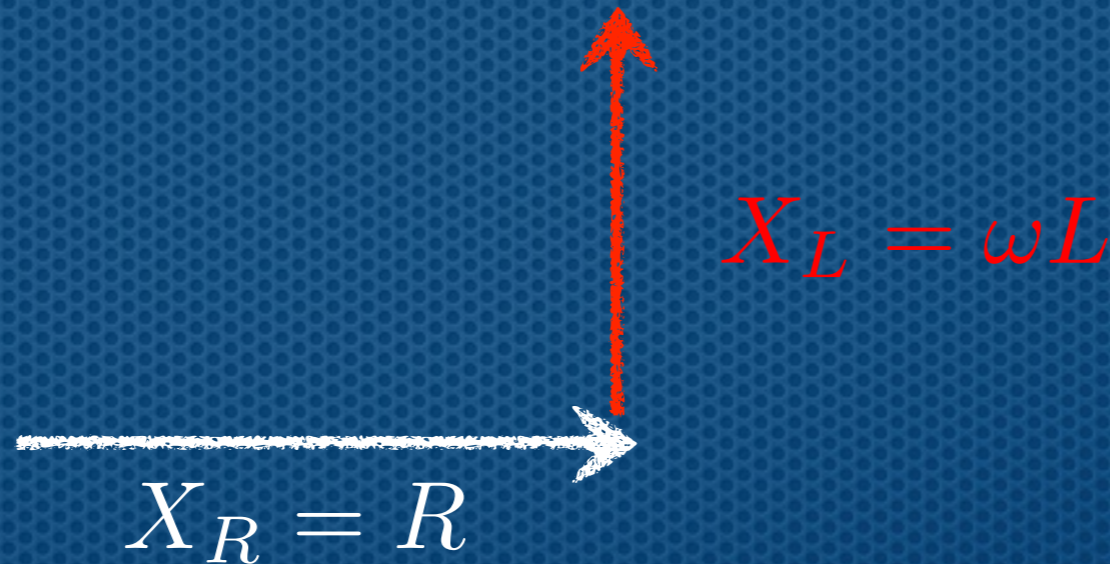
1 - RF Dalgasının İletimi - RLC

- ✓ Bir dalganın geri yansımaması için “dalganın ilerlediği ortamın” dalganın hızını, frekansını değiştirmemesi lazım. İp örneğinde, ipin kalınlığı ve cinsi değişmemeli.
- ✓ Elektromanyetik Dalganın kayıpsız ilerlemesi için ise ortamın EMPEDANS (ETKİN DİRENÇ)'inin eşleşmesi lazım.


$$X_R = R$$

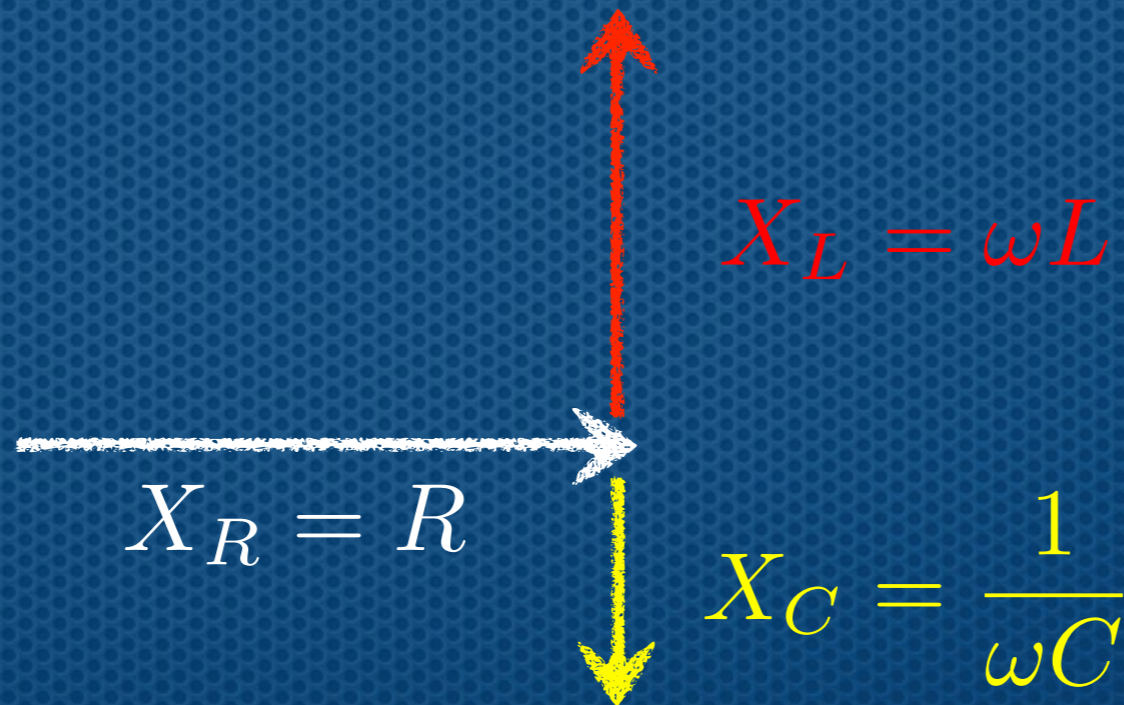
1 - RF Dalgasının İletimi - RLC

- ✓ Bir dalganın geri yansımaması için “dalganın ilerlediği ortamın” dalganın hızını, frekansını değiştirmemesi lazım. İp örneğinde, ipin kalınlığı ve cinsi değişmemeli.
- ✓ Elektromanyetik Dalganın kayıpsız ilerlemesi için ise ortamın EMPEDANS (ETKİN DİRENÇ)'inin eşleşmesi lazım.



1 - RF Dalgasının İletimi - RLC

- ✓ Bir dalganın geri yansımaması için “dalganın ilerlediği ortamın” dalganın hızını, frekansını değiştirmemesi lazım. İp örneğinde, ipin kalınlığı ve cinsi değişmemeli.
- ✓ Elektromanyetik Dalganın kayıpsız ilerlemesi için ise ortamın EMPEDANS (ETKİN DİRENÇ)’inin eşleşmesi lazım.



1 - RF Dalgasının İletimi - RLC

- ✓ Bir dalga'nın geri yansımaması için “dalga'nın ilerlediği ortamın” dalga'nın hızını, frekansını değiştirmemesi lazım. İp örneğinde, ipin kalınlığı ve cinsi değişmemeli.
- ✓ Elektromanyetik Dalga'nın kayıpsız ilerlemesi için ise ortamın EMPEDANS (ETKİN DİRENÇ)'inin eşleşmesi lazım.

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

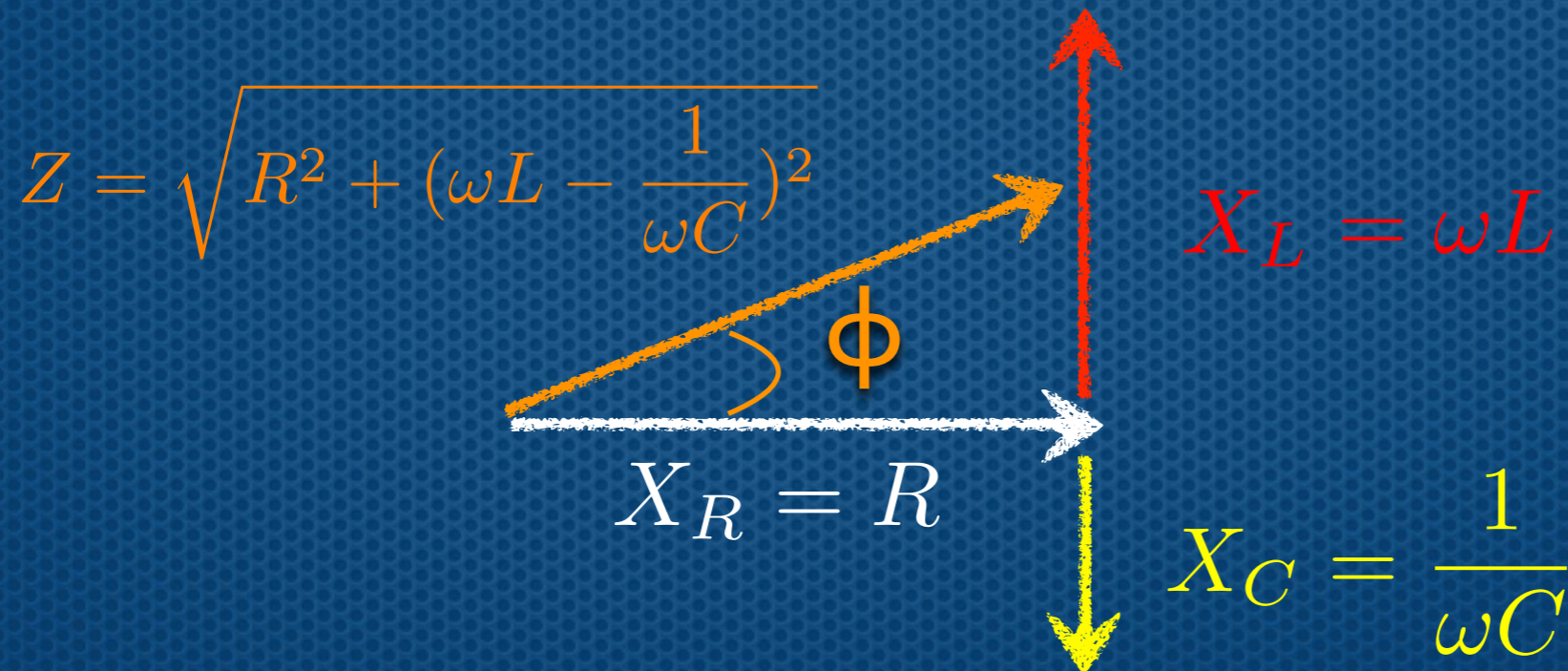
$X_L = \omega L$

$X_R = R$

$X_C = \frac{1}{\omega C}$

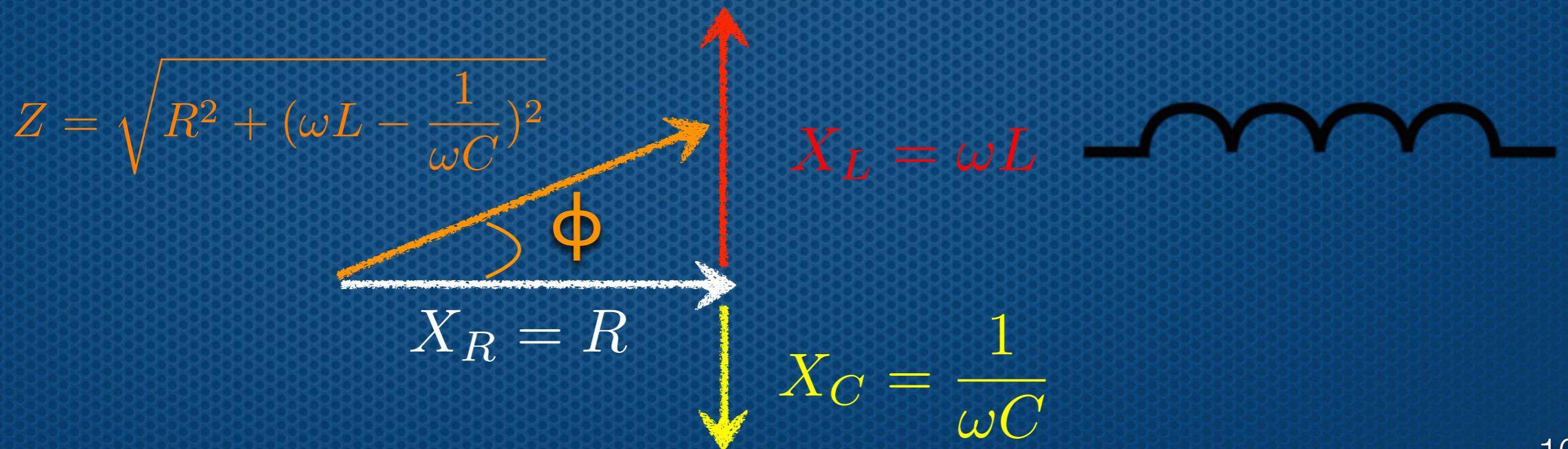
1 - RF Dalgasının İletimi - RLC

- ✓ Bir dalganın geri yansımaması için “dalganın ilerlediği ortamın” dalganın hızını, frekansını değiştirmemesi lazım. İp örneğinde, ipin kalınlığı ve cinsi değişmemeli.
- ✓ Elektromanyetik Dalganın kayıpsız ilerlemesi için ise ortamın EMPEDANS (ETKİN DİRENÇ)’inin eşleşmesi lazım.



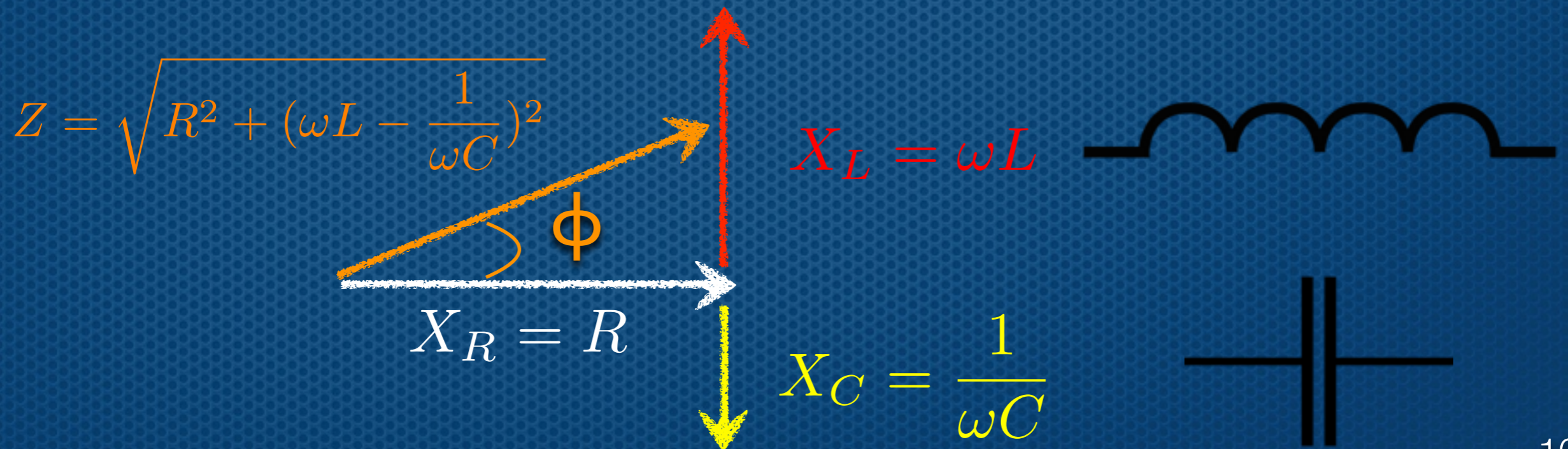
1 - RF Dalgasının İletimi - RLC

- ✓ Bir dalga'nın geri yansımaması için “dalga'nın ilerlediği ortamın” dalga'nın hızını, frekansını değiştirmemesi lazım. İp örneğinde, ipin kalınlığı ve cinsi değişmemeli.
- ✓ Elektromanyetik Dalga'nın kayıpsız ilerlemesi için ise ortamın EMPEDANS (ETKİN DİRENÇ)'inin eşleşmesi lazım.

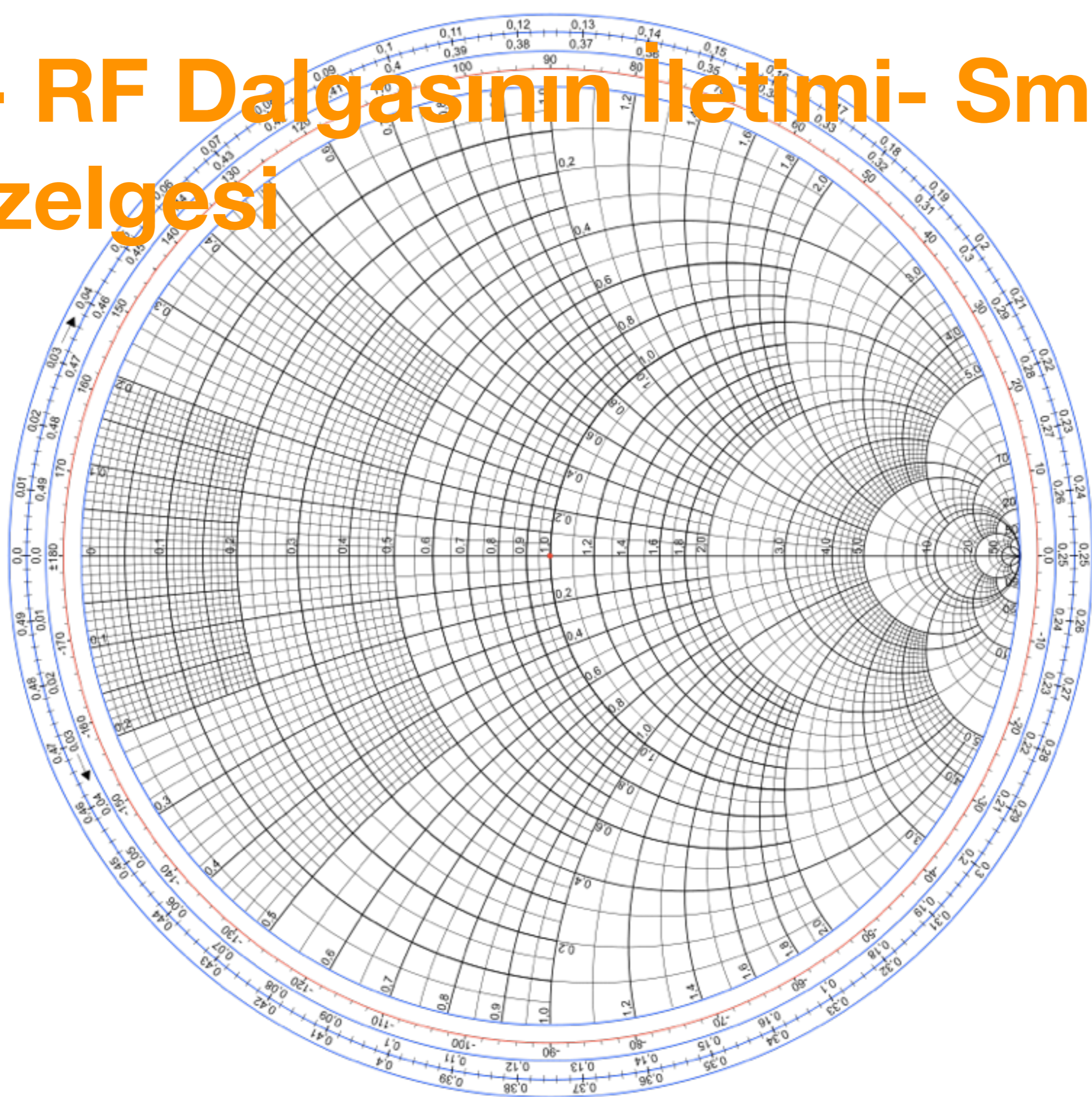


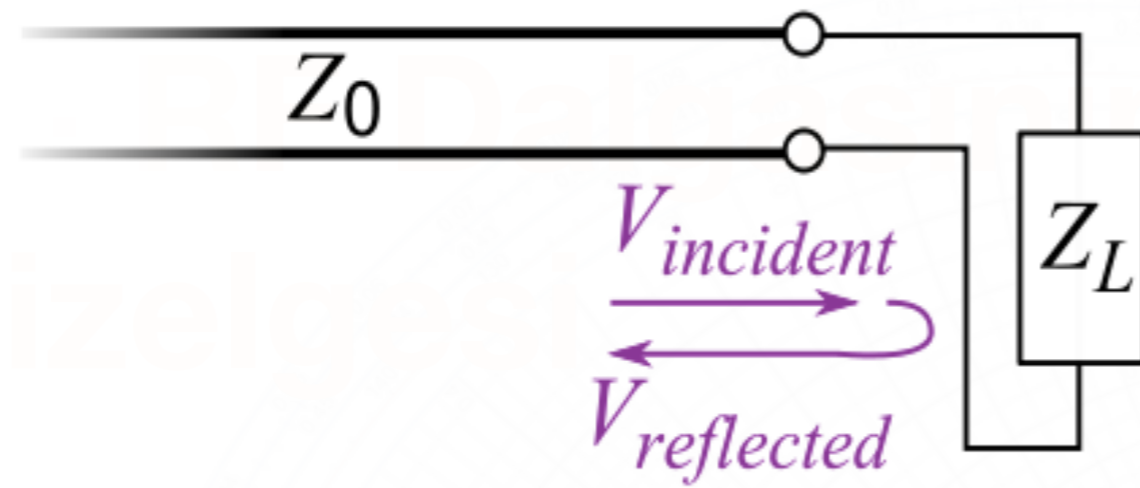
1 - RF Dalgasının İletimi - RLC

- ✓ Bir dalga'nın geri yansımaması için “dalga'nın ilerlediği ortamın” dalga'nın hızını, frekansını değiştirmemesi lazım. İp örneğinde, ipin kalınlığı ve cinsi değişmemeli.
- ✓ Elektromanyetik Dalga'nın kayıpsız ilerlemesi için ise ortamın EMPEDANS (ETKİN DİRENÇ)'inin eşleşmesi lazım.



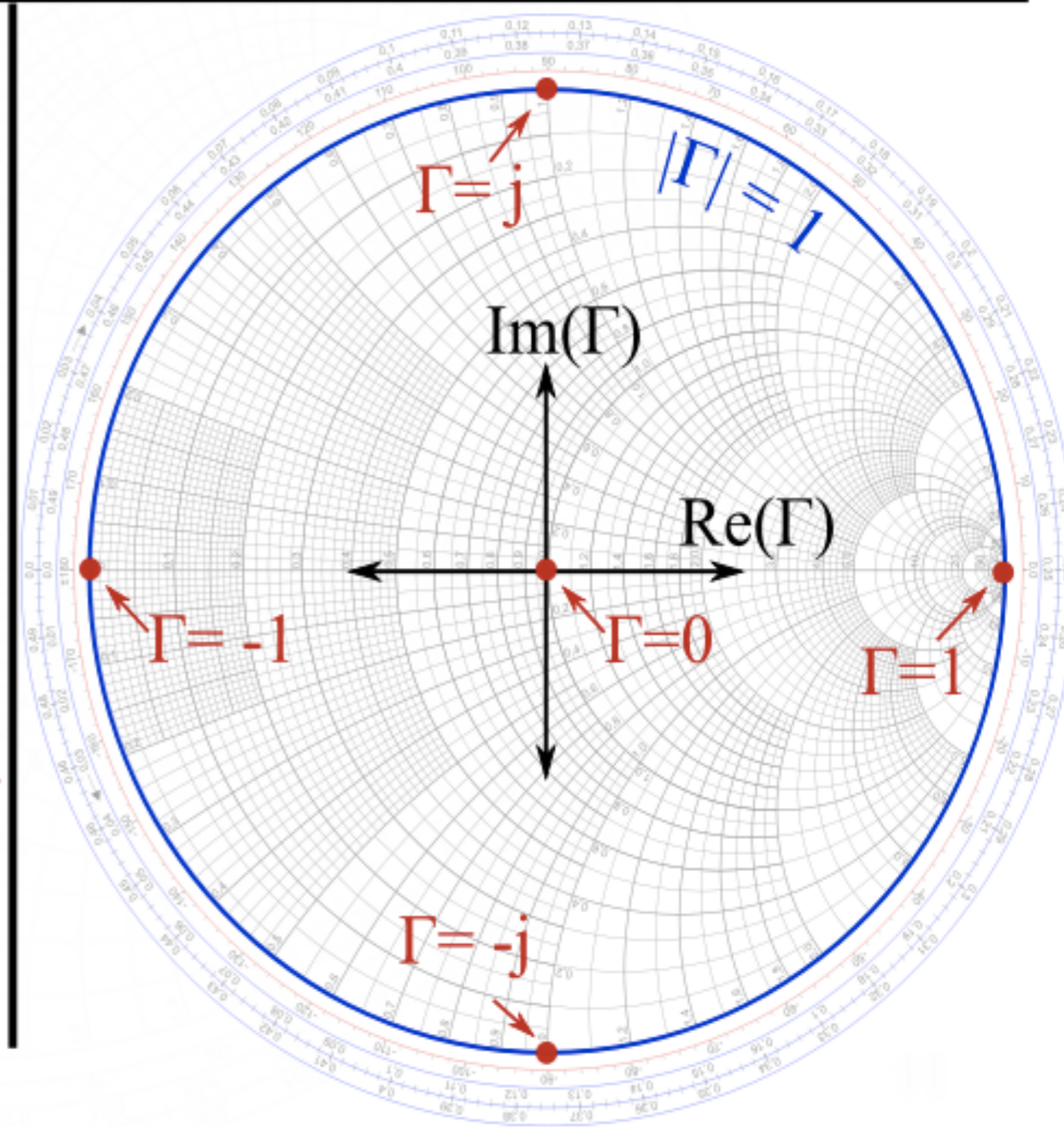
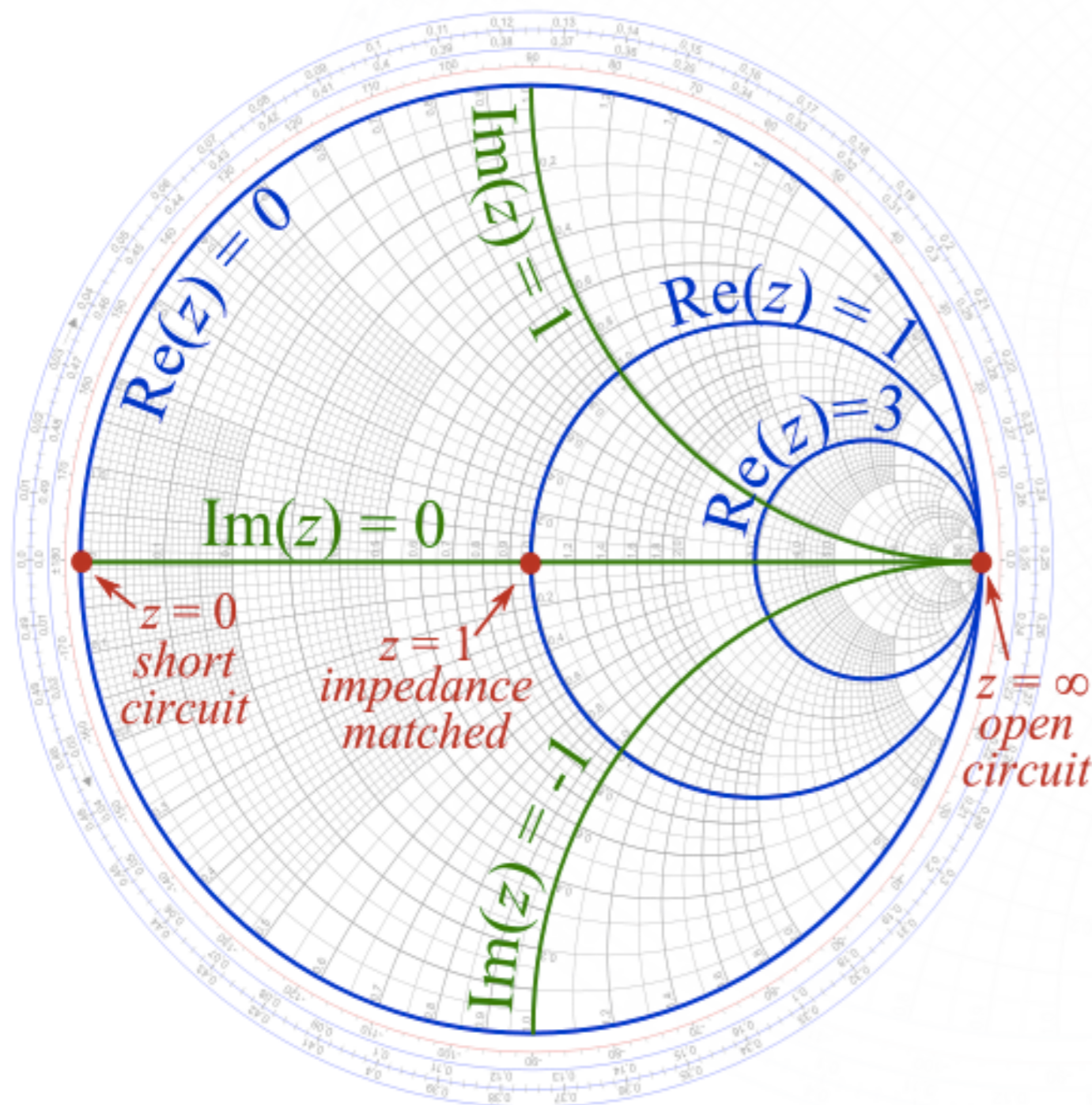
1 - RF Dalgasının İletimi- Smith Çizelgesi





$$z = \frac{Z_L}{Z_0}$$

$$\Gamma = \frac{V_{reflected}}{V_{incident}}$$



1 - RF Dalgasının İletimi- REZONANS !

1 - RF Dalgasının İletimi- REZONANS !

- ◆ **EMPEDANS (ETKİN DİRENÇ)**, dalganın İLERLEYEMEMESİNİN ölçütü,
ADMITTANCE (ETKİN İLETİLEBİLİRLİK) dalganın ilerlemesinin ölçütü.

1 - RF Dalgasının İletimi- REZONANS !

- ◆ **EMPEDANS (ETKİN DİRENÇ)**, dalganın İLERLEYEMEMESİNİN ölçütü,
ADMITTANCE (ETKİN İLETİLEBİLİRLİK) dalganın ilerlemesinin ölçütü.

$$\frac{1}{Z} = |Y(s = j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

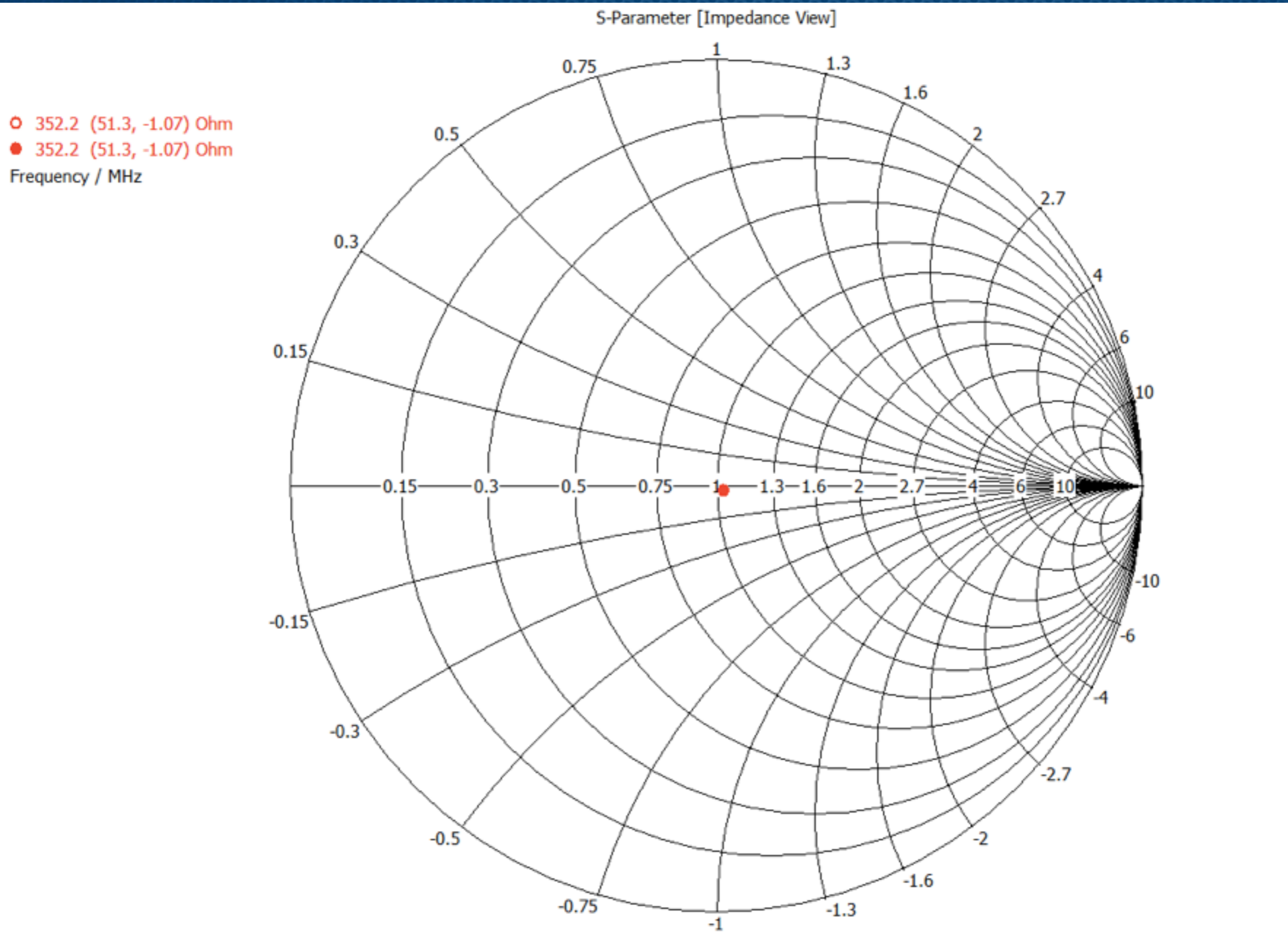
1 - RF Dalgasının İletimi- REZONANS !

- ◆ **EMPEDANS (ETKİN DİRENÇ)**, dalganın İLERLEYEMEMESİNİN ölçütü,
ADMITTANCE (ETKİN İLETİLEBİLİRLİK) dalganın ilerlemesinin ölçütü.

$$\frac{1}{Z} = |Y(s = j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

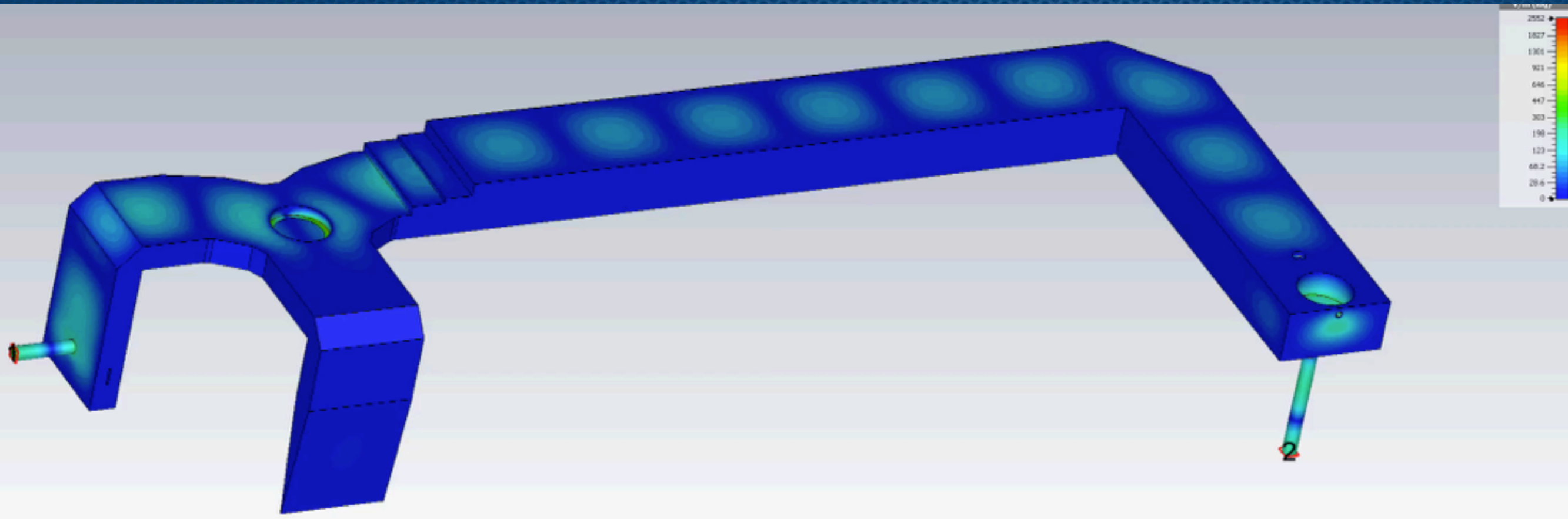
- ◆ Resonans, salınan bir dalganın genliğinin en büyük duruma gelmesi.

1 - RF Dalgasının İletimi- Tasarım

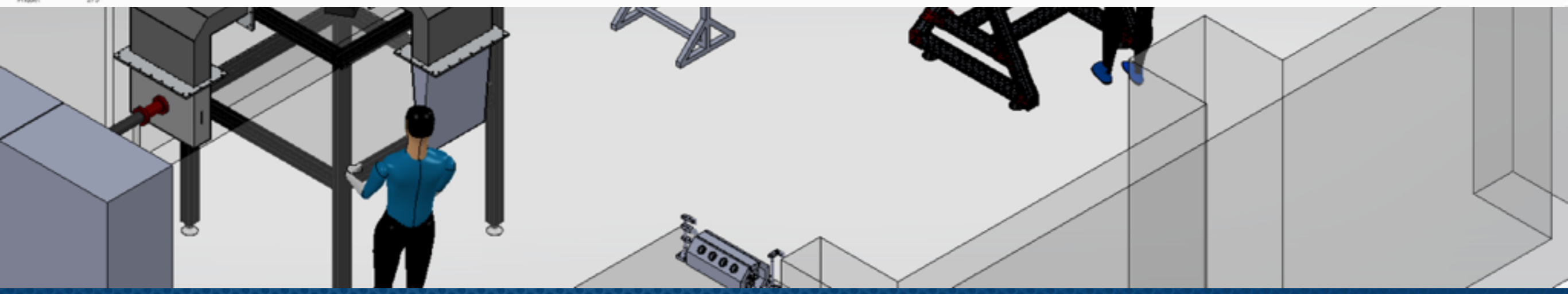


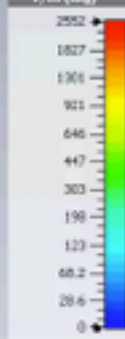
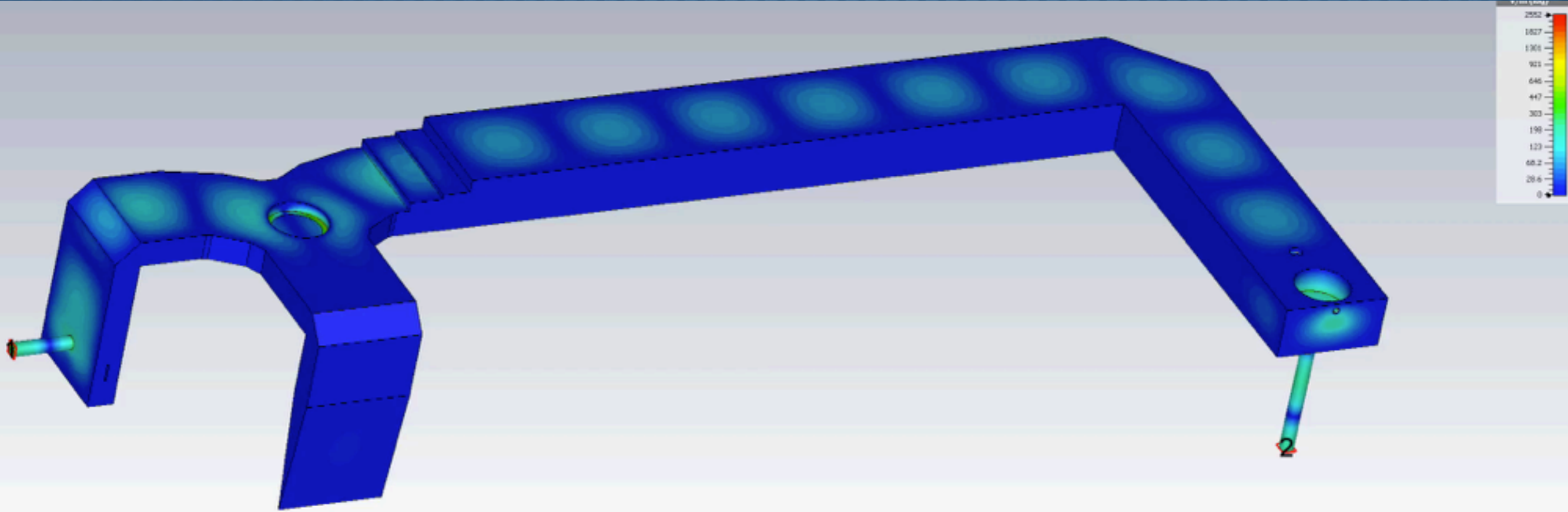






e-field (f=352.2) [1] (peak)
Component: #0
Orientation: Outside
3D Maximum [V/m]: 2552
Frequency: 352.2
Phase: 173





e-field (f=352.2) [1] (peak)
 Component: #0
 Orientation: Outside
 3D Maximum [V/m]: 2552
 Frequency: 352.2
 Phase: 173

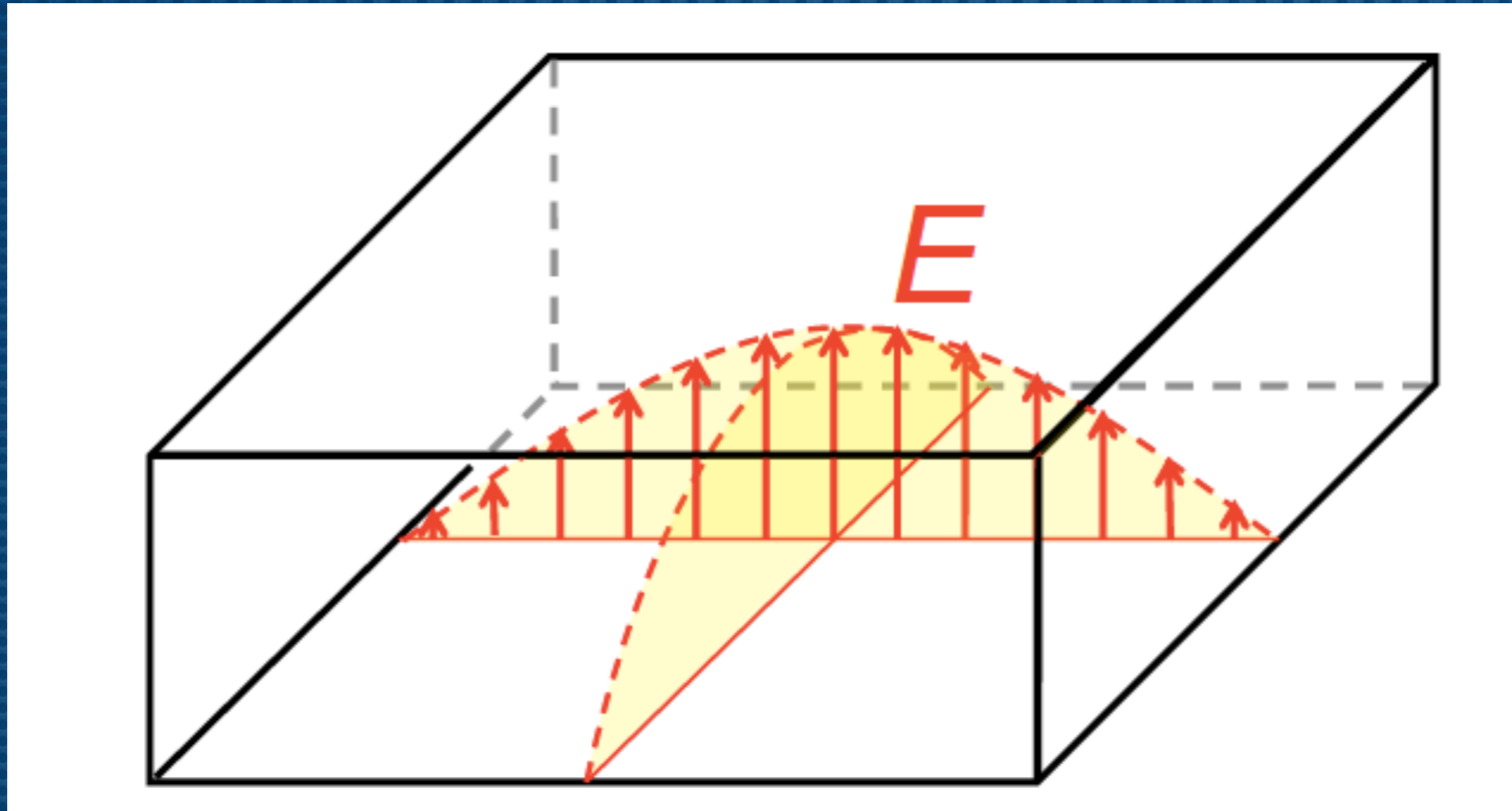


1 - RF Dalgasının İletimi

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300 \times 10^6}{352.2 \times 10^6} = 0.85m$$

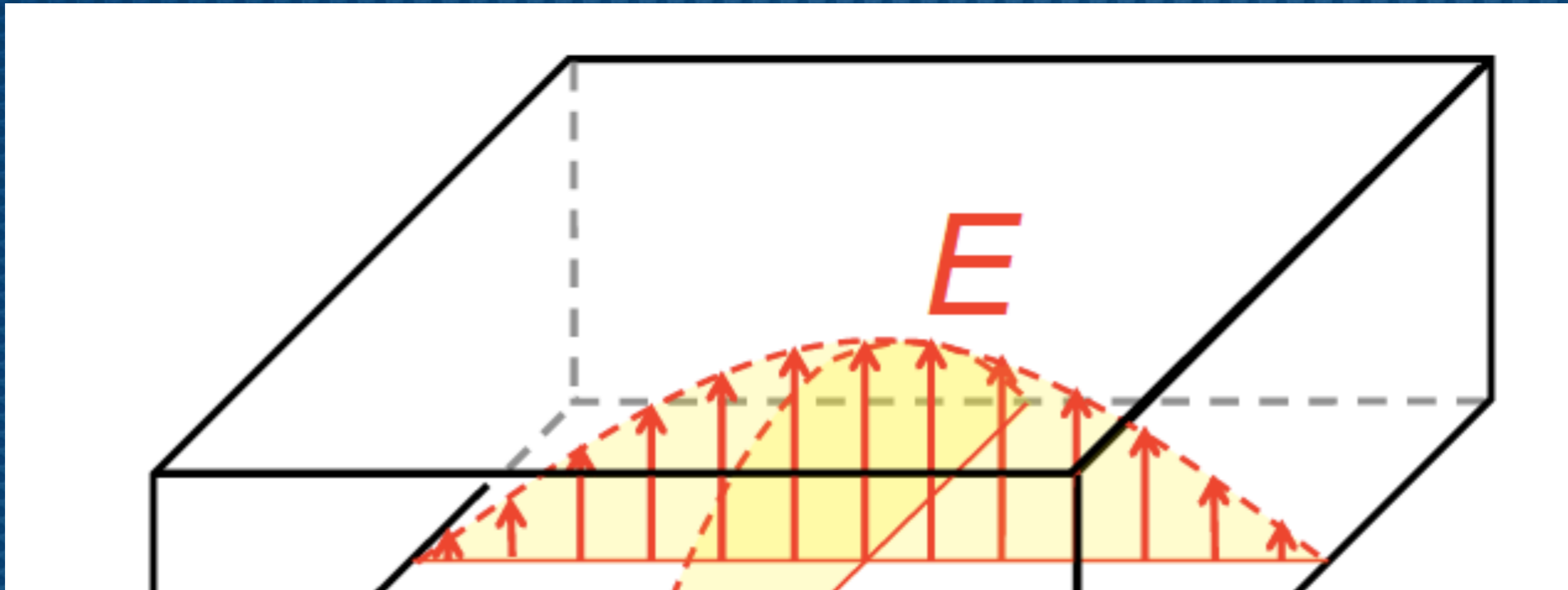
1 - RF Dalgasının İletimi

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300 \times 10^6}{352.2 \times 10^6} = 0.85m$$



1 - RF Dalgasının İletimi

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300 \times 10^6}{352.2 \times 10^6} = 0.85m$$



Waveguide frequency bands and interior dimensions

Frequency Band	Waveguide Standard	Frequency Limits (GHz)	Inner (width x height) Dimensions (inches)	Inner (width x height) Dimensions (mm)
	WR-2300	0.32 - 0.49	23.000 x 11.500	584.2 x 292.1
	WR-2100	0.35 - 0.53	21.000 x 10.500	533.4 x 266.7
	WR-1800	0.43 - 0.62	18.000 x 9.000	457.2 x 228.6

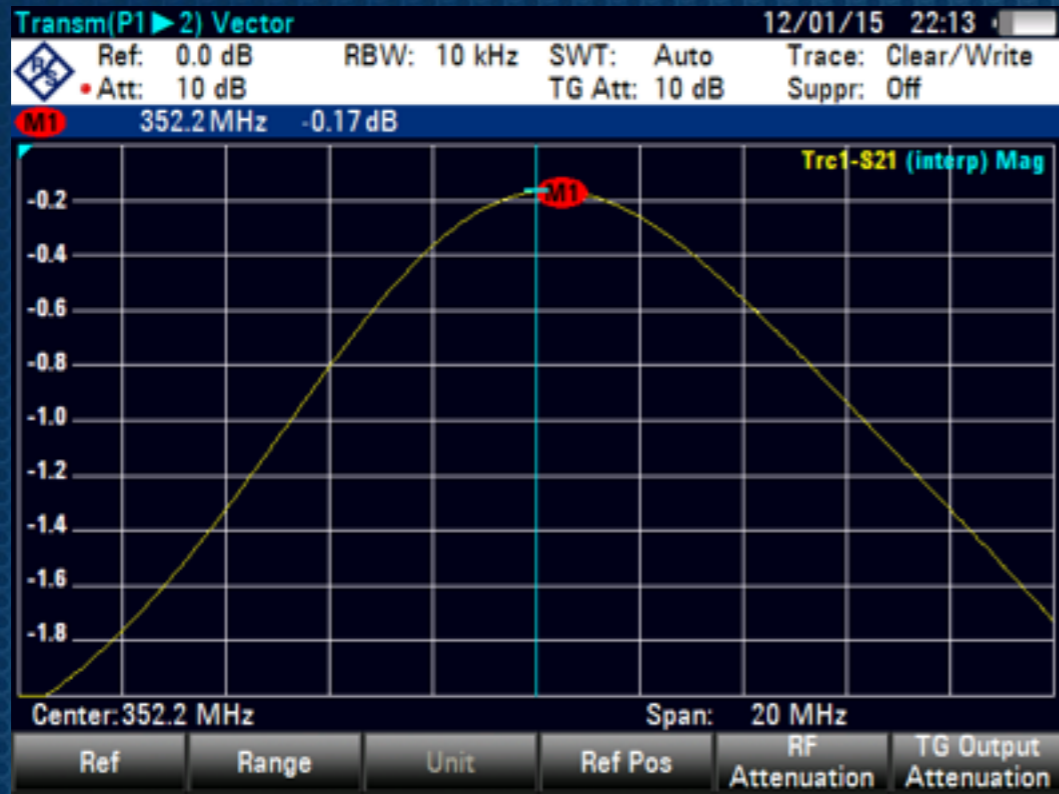
Dalga kılavuzu, dönüştürücüler, çöp



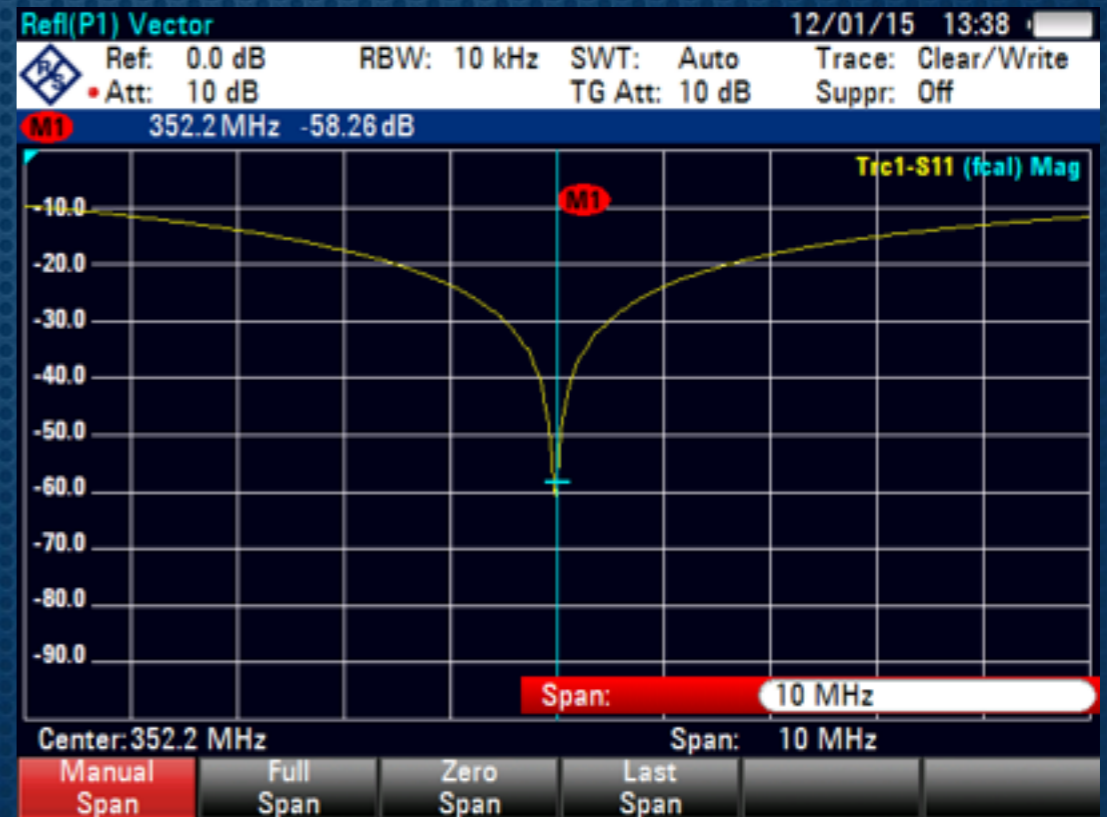
G. Türemen, A. Alaçakır, G. Ünel



Ölçümler 1



G. Türemen, et. al.



Ölçümler 2

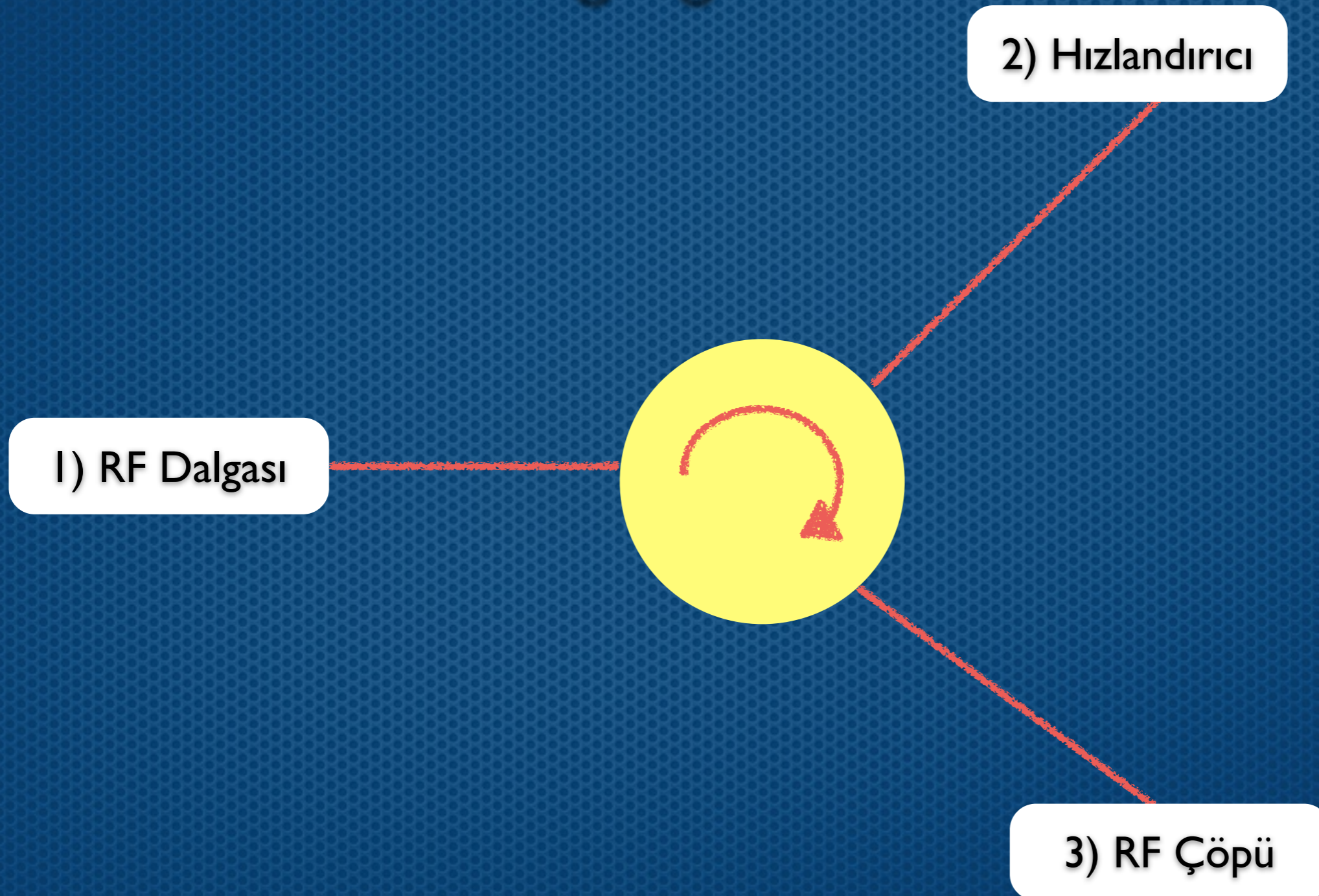


- kurulan RF yolu düşük güçle denendi.

- %98 güç iletimi başarıldı.

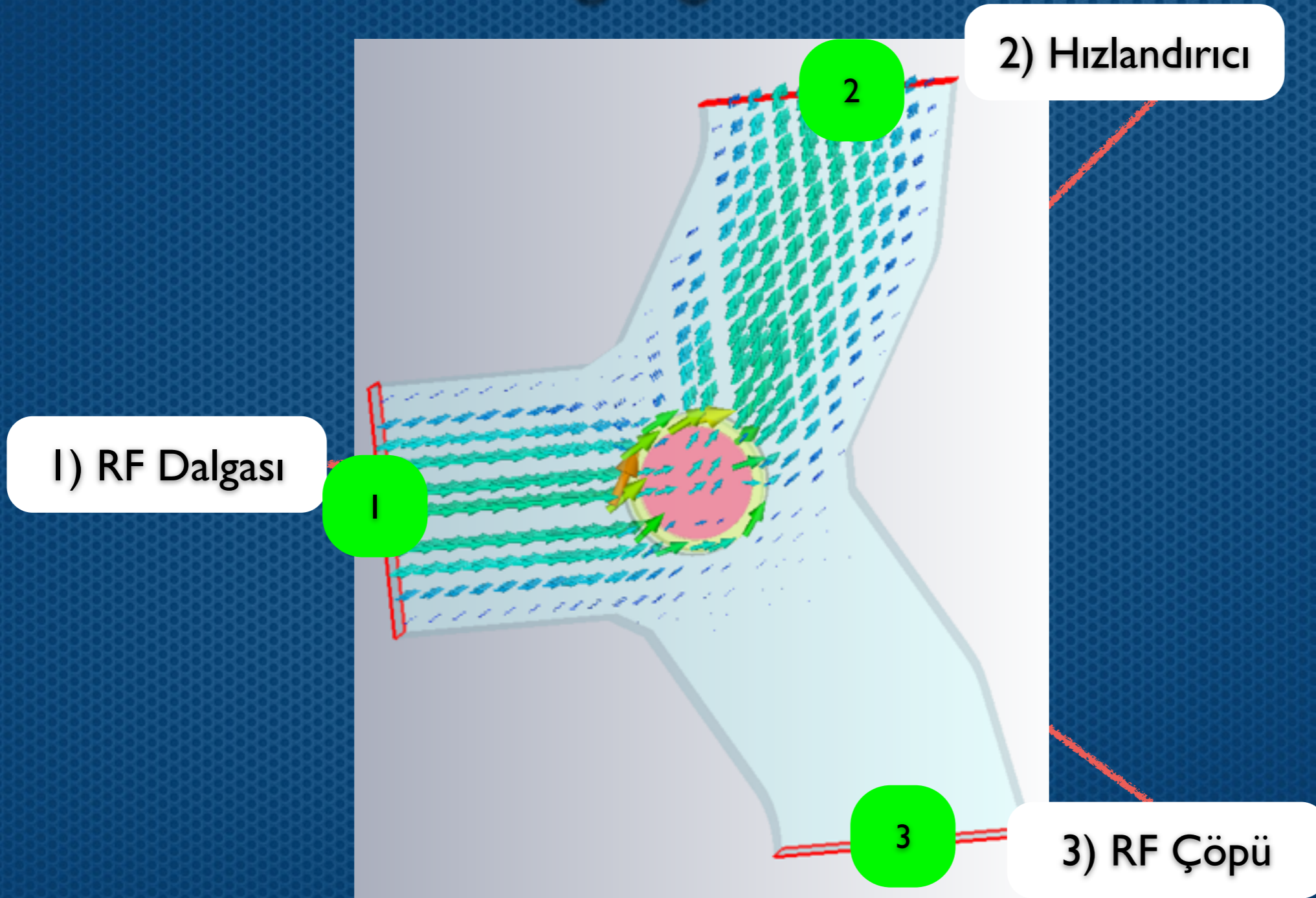
2 - RF Dalgasının İletimi - Dolaştırıcı

★ Ya dalga geri dönerse?

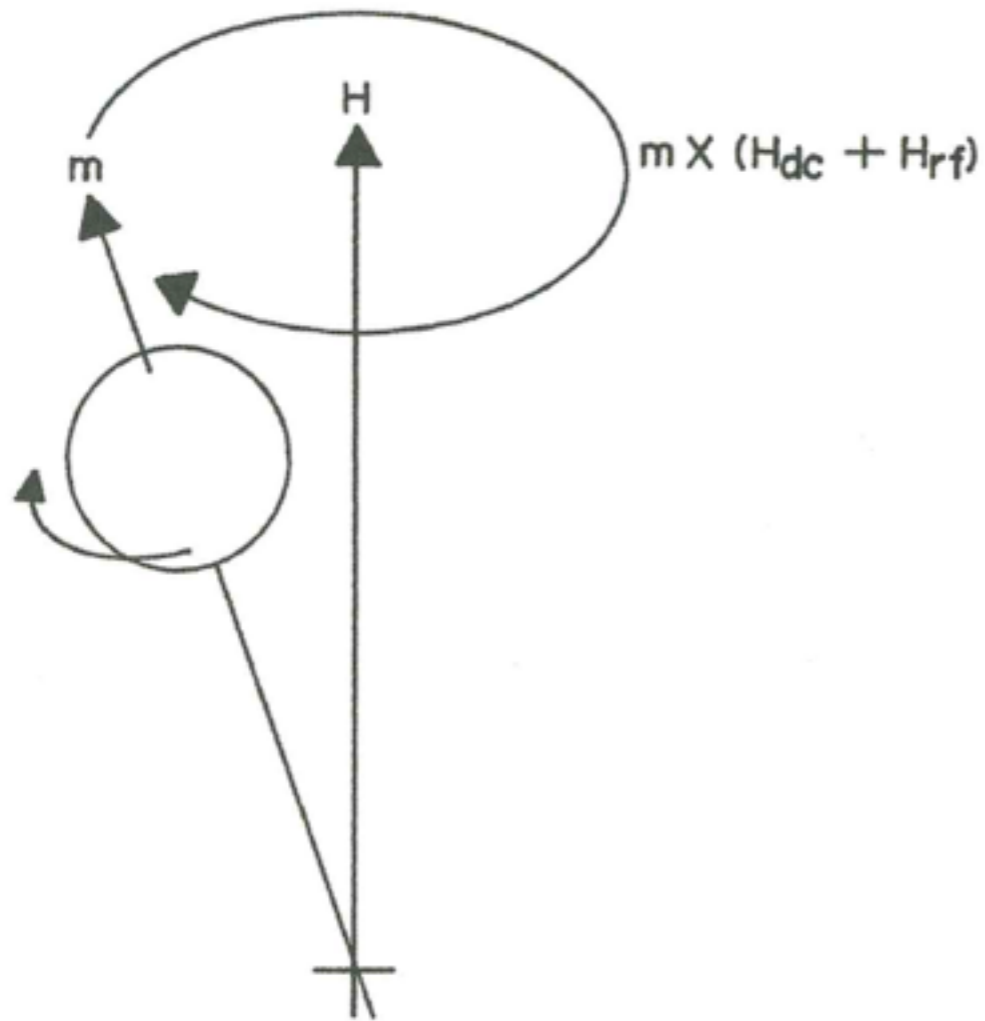


2 - RF Dalgasının İletimi - Dolaştırıcı

★ Ya dalga geri dönerse?



2 - RF Dalgasının İletimi - Dolaştırıcı



Spinning electron in the presence of a magnetic field.

$$\vec{m} = m_x \hat{i} + m_y \hat{j} + m_z \hat{k}$$

$$\vec{H} = B_0 \hat{k}$$

$$\vec{\tau} = \vec{m} \times \vec{H}$$

Temel bilgiler

Polder tensor

From Wikipedia, the free encyclopedia

Polder tensor is a *tensor* used in description of magnetic permeability of ferrites.^[1] The tensor notation needs to be used because ferrimagnetic materials become anisotropic in the presence of magnetizing field.

The tensor is described mathematically as:^[2]

$$B = \begin{bmatrix} \mu & j\kappa & 0 \\ -j\kappa & \mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu_0 \end{bmatrix} H$$

where:

$$\mu = \mu_0 \left(1 + \frac{\omega_0 \omega_m}{\omega_0^2 - \omega^2} \right)$$

$$\kappa = \mu_0 \frac{\omega \omega_m}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

$$\omega_0 = \gamma \mu_0 H_0$$

$$\omega_m = \gamma \mu_0 M$$

and $\gamma = 17.6 \cdot g$ [kHz/(A/m)] is a gyromagnetic ratio and g is a factor between 1.9-2.4 depending on ferrite material. Magnetizing frequency (f) is expressed as $\omega = 2\pi f$, H_0 is a bias field, M is magnetization and μ_0 is magnetic permeability of free space.

Temel bilgiler

Polder tensor

From Wikipedia, the free encyclopedia

Polder tensor is a tensor used in description of magnetic permeability of ferrites.^[1] The tensor notation needs to be used because ferrimagnetic materials become anisotropic in the presence of magnetizing field.

The tensor is described mathematically as:^[2]

$$B = \begin{bmatrix} \mu & j\kappa & 0 \\ -j\kappa & \mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu_0 \end{bmatrix} H$$

where:

$$\mu = \mu_0 \left(1 + \frac{\omega_0 \omega_m}{\omega_0^2 - \omega^2} \right)$$

$$\kappa = \mu_0 \frac{\omega \omega_m}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

$$\omega_0 = \gamma \mu_0 H_0$$

$$\omega_m = \gamma \mu_0 M$$

and $\gamma = 17.6 \cdot g$ [kHz/(A/m)] is a gyromagnetic ratio and g is a factor between 1.9-2.4 depending on ferrite material. Magnetizing frequency (f) is expressed as $\omega = 2\pi f$, H_0 is a bias field, M is magnetization and μ_0 is magnetic permeability of free space.

Temel bilgiler

Polder tensor

From Wikipedia, the free encyclopedia

Polder tensor is a tensor used in description of the magnetic field in the presence of magnetizing field.

The tensor is described mathematically as:^[2]

$$B = \begin{bmatrix} \mu & j\kappa & 0 \\ -j\kappa & \mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu_0 \end{bmatrix} H$$

where:

$$\mu = \mu_0 \left(1 + \frac{\omega_0 \omega_m}{\omega_0^2 - \omega^2} \right)$$

$$\kappa = \mu_0 \frac{\omega \omega_m}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

$$\omega_0 = \gamma \mu_0 H_0$$

$$\omega_m = \gamma \mu_0 M$$

and $\gamma = 17.6 \cdot g$ [kHz/(A/m)] is a gyromagnetic ratio and g is a factor between 1.9-2.4 depending on ferrite material. Magnetizing frequency (f) is expressed as $\omega = 2\pi f$, H_0 is a bias field, M is magnetization and μ_0 is magnetic permeability of free space.

$$B = \begin{bmatrix} \mu & j\kappa & 0 \\ -j\kappa & \mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu_0 \end{bmatrix} H$$

Temel bilgiler

Polder tensor

From Wikipedia, the free encyclopedia

Polder tensor is a tensor used in description of the magnetic field in the presence of magnetizing field.

The tensor is described mathematically as:^[2]

$$B = \begin{bmatrix} \mu & j\kappa & 0 \\ -j\kappa & \mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu_0 \end{bmatrix} H$$

where:

$$\mu = \mu_0 \left(1 + \frac{\omega_0 \omega_m}{\omega_0^2 - \omega^2} \right)$$

$$\kappa = \mu_0 \frac{\omega \omega_m}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

$$\omega_0 = \gamma \mu_0 H_0$$

$$\omega_m = \gamma \mu_0 M$$

and $\gamma = 17.6 \cdot g$ [kHz/(A/m)] is a gyromagnetic ratio and g is a factor between 1.9-2.4 depending on ferrite material. Magnetizing frequency (f) is expressed as $\omega = 2\pi f$, H_0 is a bias field, M is magnetization and μ_0 is magnetic permeability of free space.

$$B = \begin{bmatrix} & & 0 \\ & & 0 \\ 0 & 0 & \mu_0 \end{bmatrix} H$$

Temel bilgiler

Polder tensor

From Wikipedia, the free encyclopedia

Polder tensor is a tensor used in description of the magnetic field in the presence of magnetizing field.

The tensor is described mathematically as:^[2]

$$B = \begin{bmatrix} \mu & j\kappa & 0 \\ -j\kappa & \mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu_0 \end{bmatrix} H$$

where:

$$\mu = \mu_0 \left(1 + \frac{\omega_0 \omega_m}{\omega_0^2 - \omega^2} \right)$$

$$\kappa = \mu_0 \frac{\omega \omega_m}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

$$\omega_0 = \gamma \mu_0 H_0$$

$$\omega_m = \gamma \mu_0 M$$

and $\gamma = 17.6 \cdot g$ [kHz/(A/m)] is a gyromagnetic ratio and g is a factor between 1.9-2.4 depending on ferrite material. Magnetizing frequency (f) is expressed as $\omega = 2\pi f$, H_0 is a bias field, M is magnetization and μ_0 is magnetic permeability of free space.

$$B = \begin{bmatrix} \mu & j\kappa & 0 \\ -j\kappa & \mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu_0 \end{bmatrix} H$$

Temel bilgiler

Polder tensor

From Wikipedia, the free encyclopedia

Polder tensor is a tensor used in description of magnetic permeability of ferrites.^[1] The tensor notation needs to be used because ferrimagnetic materials become anisotropic in the presence of magnetizing field.

The tensor is described mathematically as:^[2]

$$B = \begin{bmatrix} \mu & j\kappa & 0 \\ -j\kappa & \mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu_0 \end{bmatrix} H$$

where:

$$\mu = \mu_0 \left(1 + \frac{\omega_0 \omega_m}{\omega_0^2 - \omega^2} \right)$$

$$\kappa = \mu_0 \frac{\omega \omega_m}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

$$\omega_0 = \gamma \mu_0 H_0$$

$$\omega_m = \gamma \mu_0 M$$

and $\gamma = 17.6 \cdot g$ [kHz/(A/m)] is a gyromagnetic ratio and g is a factor between 1.9-2.4 depending on ferrite material. Magnetizing frequency (f) is expressed as $\omega = 2\pi f$, H_0 is a bias field, M is magnetization and μ_0 is magnetic permeability of free space.

Temel bilgiler

Polder tensor

From Wikipedia, the free encyclopedia

Polder tensor is a *tensor* used in description of magnetic [permeability](#) of [ferrites](#).^[1] The tensor notation needs to be used because ferrimagnetic materials become [anisotropic](#) in the presence of magnetizing field.

The tensor is described mathematically as:^[2]

$$B = \begin{bmatrix} \mu & j\kappa & 0 \\ -j\kappa & \mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu_0 \end{bmatrix} H$$

where:

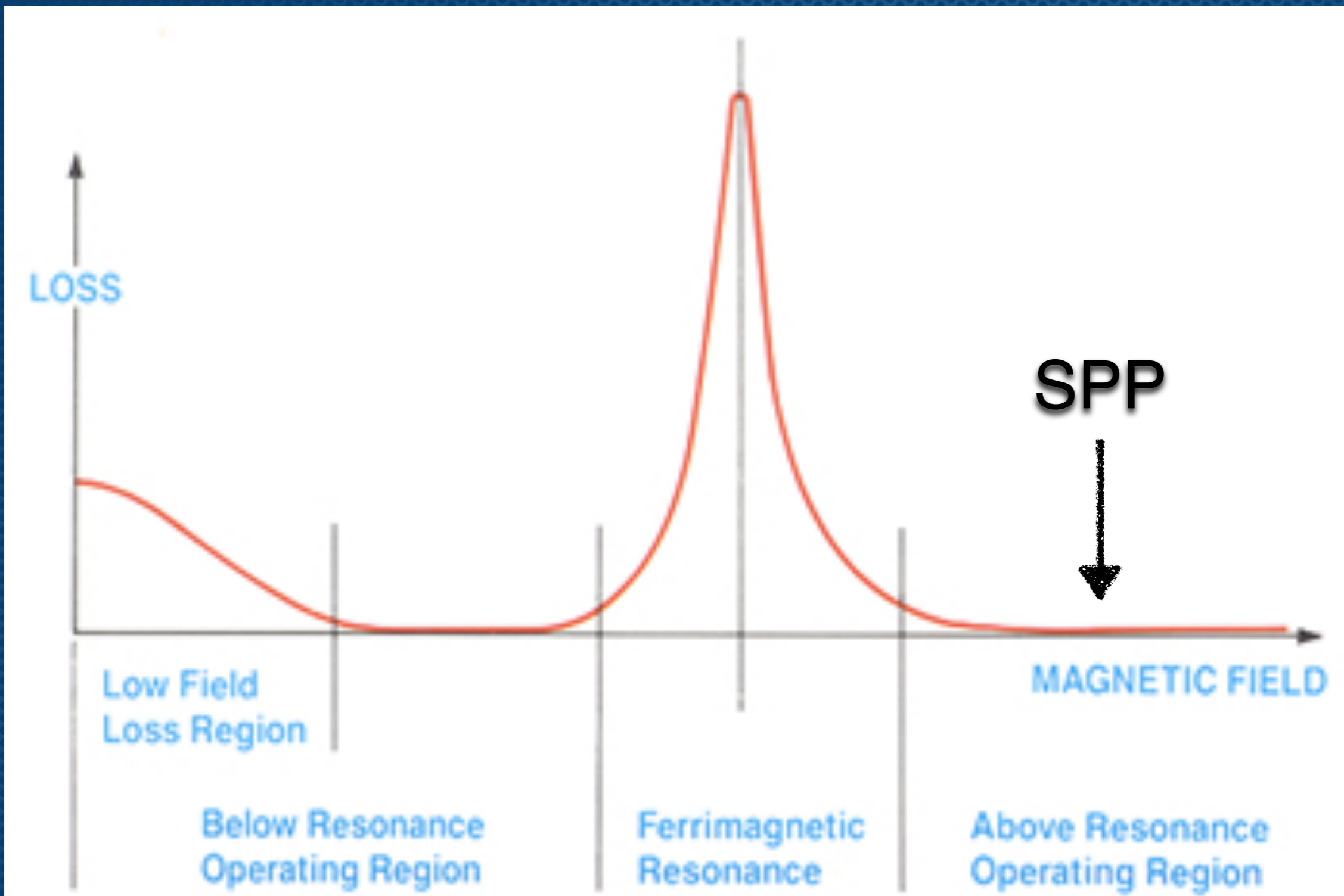
$$\mu = \mu_0 \left(1 + \frac{\omega_0 \omega_m}{\omega_0^2 - \omega^2} \right)$$

$$\kappa = \mu_0 \frac{\omega \omega_m}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

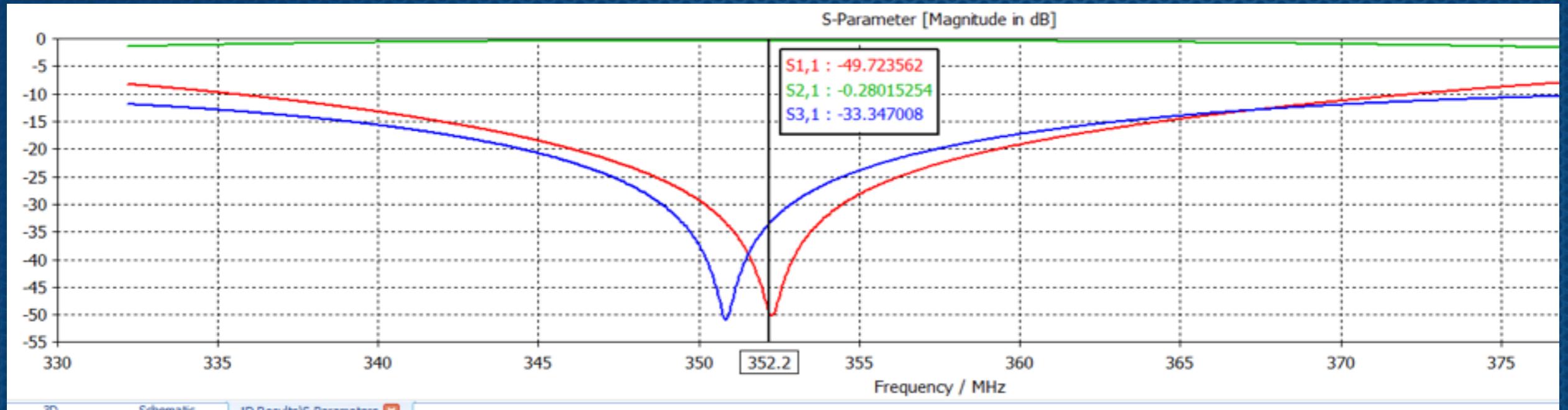
$$\omega_0 = \gamma \mu_0 H_0$$

$$\omega_m = \gamma \mu_0 M$$

and $\gamma = 17.6 \cdot g$ [kHz/(A/m)] is a [gyromagnetic ratio](#) and g is a factor between 1.9-2.4 depending on ferrite material. Magnetizing frequency (f) is expressed as $\omega = 2\pi f$, H_0 is a bias field, M is [magnetization](#) and μ_0 is magnetic [permeability of free space](#).



Dolaştırıcı tek başına benzetim



İletilen Güç Oranı; S' nin birimi dB, ve S parametresi bu tanımda negatif !

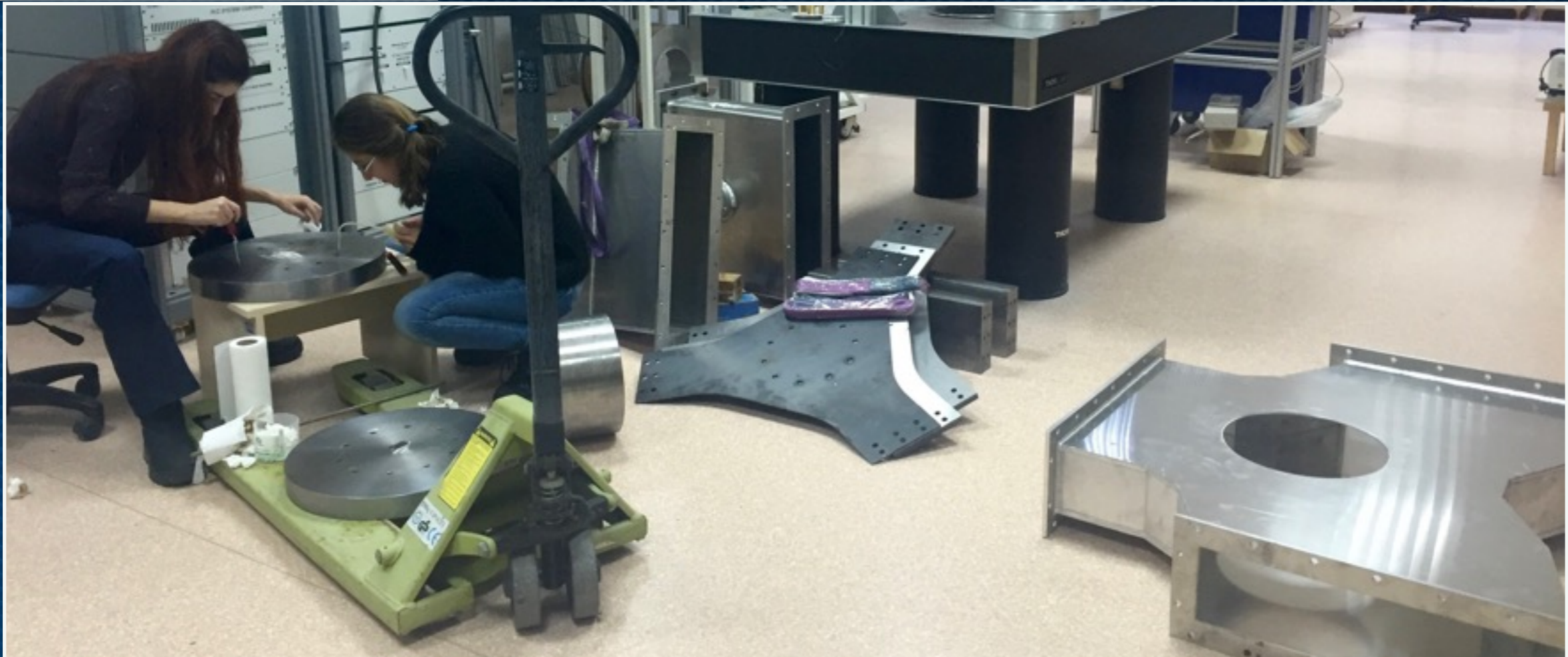
$$P = 10^{\frac{S}{10}}$$

- ✓ -50 dB = % 0.001 -> 1. porttan çıkan gücün 1.porta geri dönen miktarı.
- ✓ -0.28 dB = % 93.8 -> 1. porttan çıkan gücün 2.porta iletilen miktarı.
- ✓ -33 dB = % 0.05 -> 1. porttan çıkan gücün 3.porta iletilen miktarı.

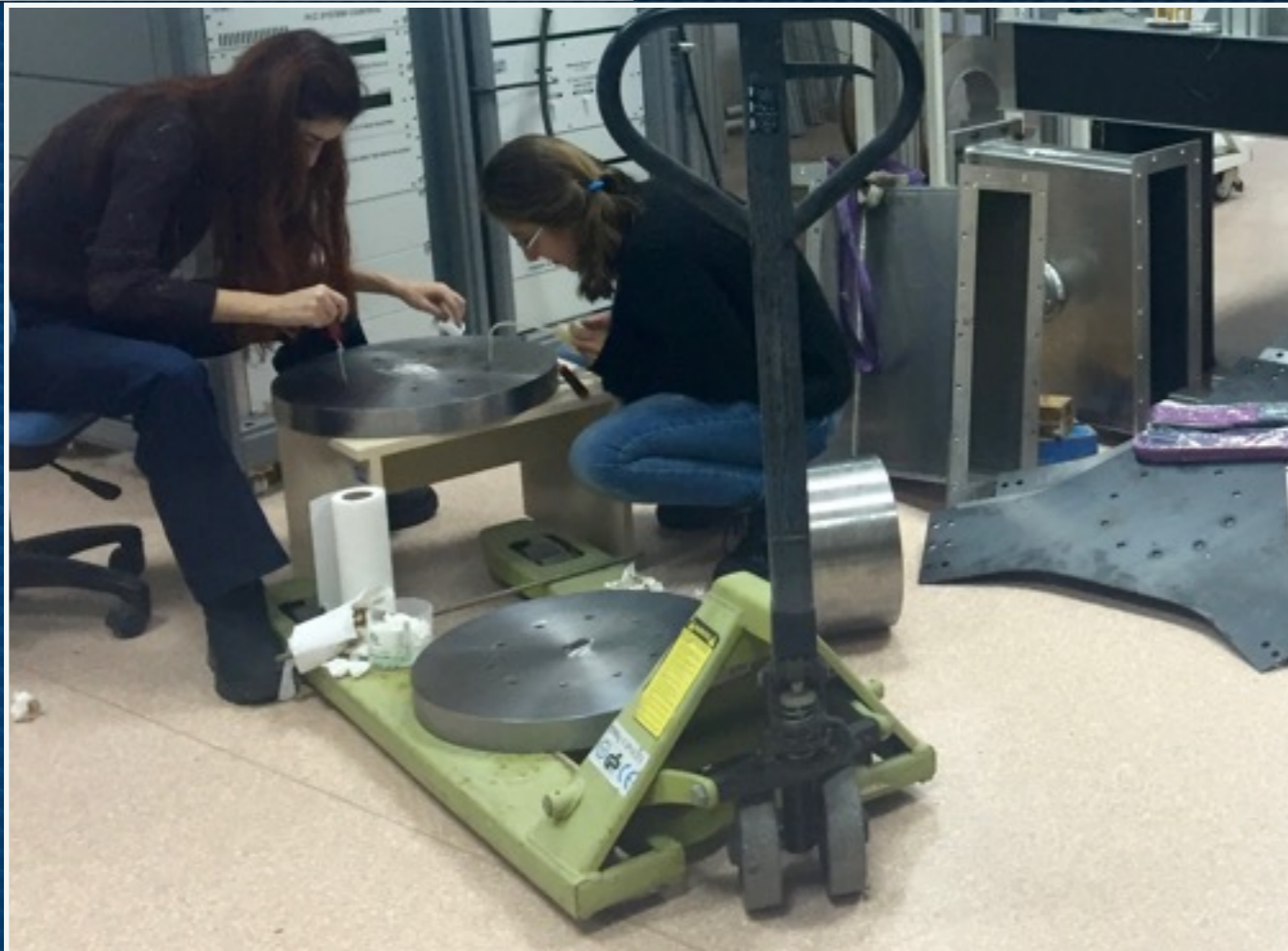
Üretim



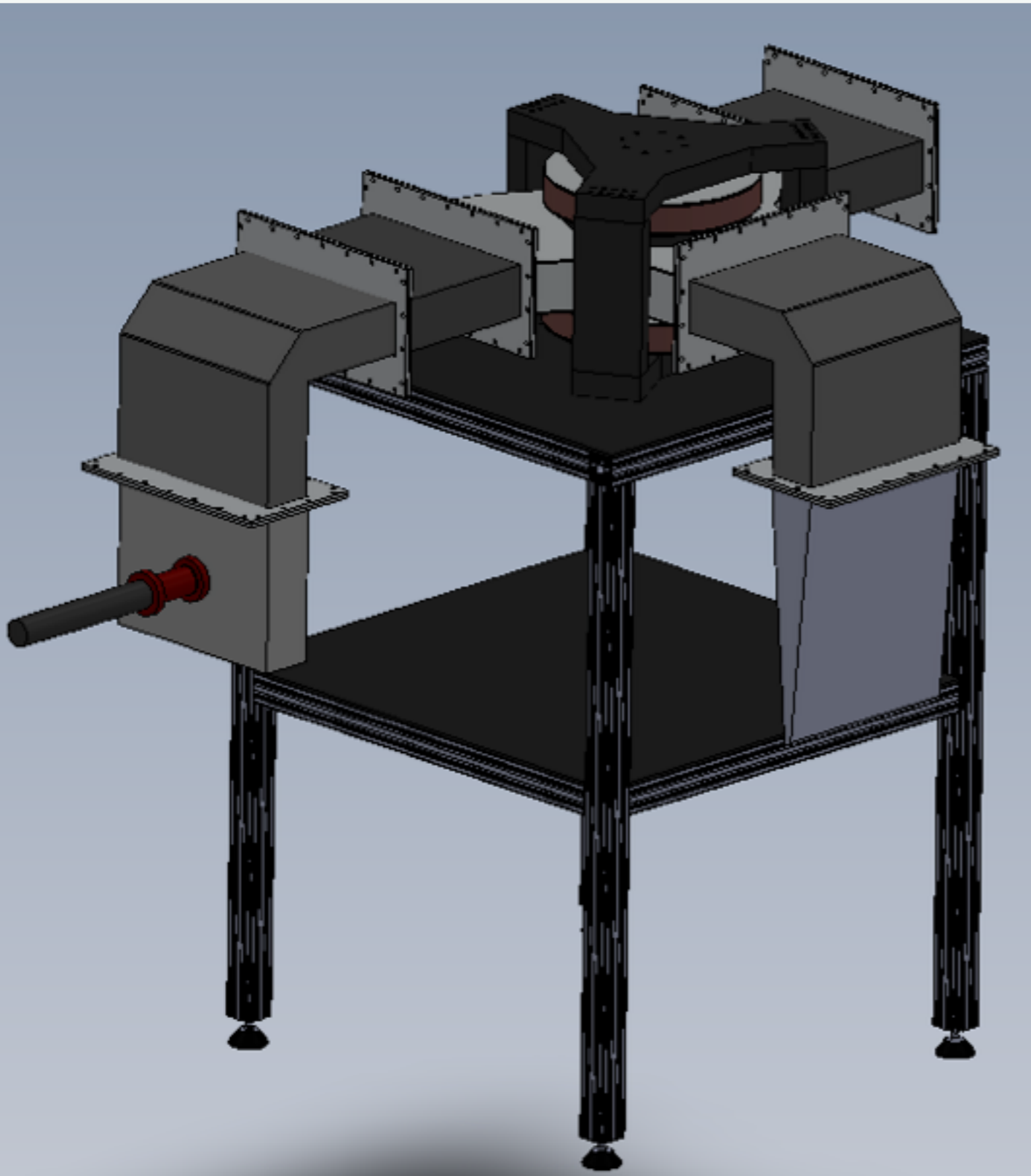
Üretim



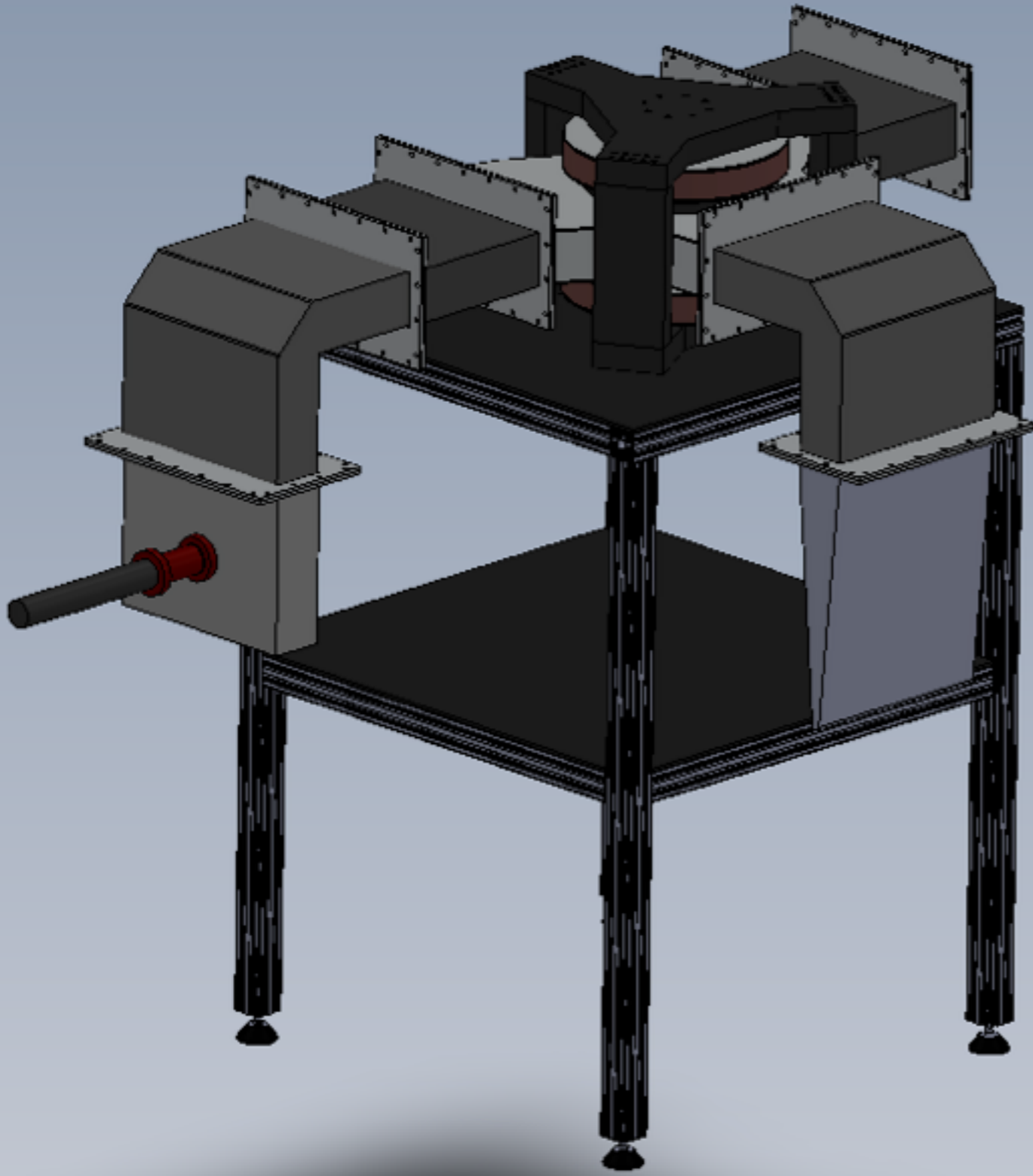
Üretim



Birleřtirme



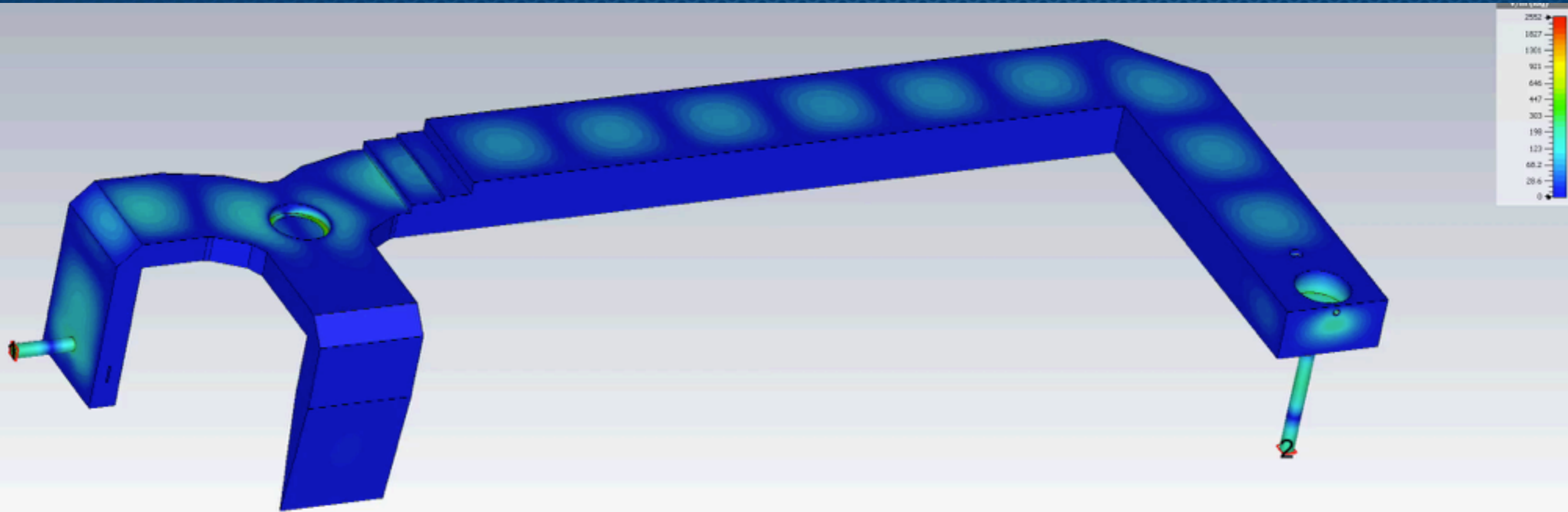
Birleřtirme



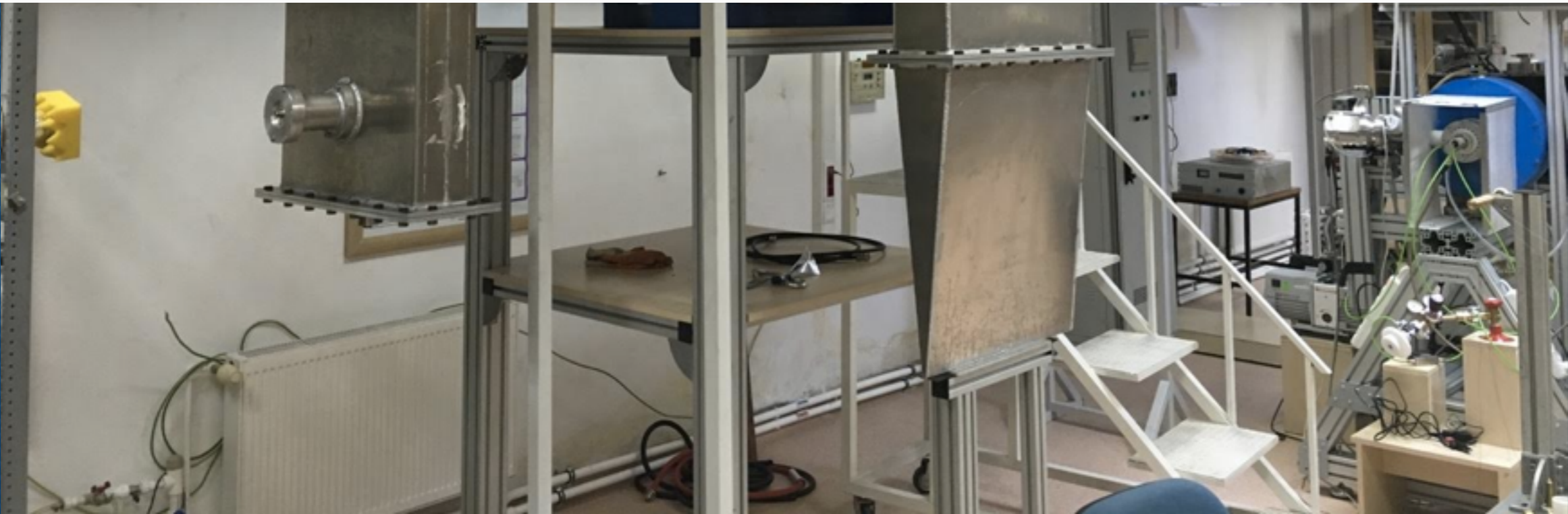
Tüm iletim hattı



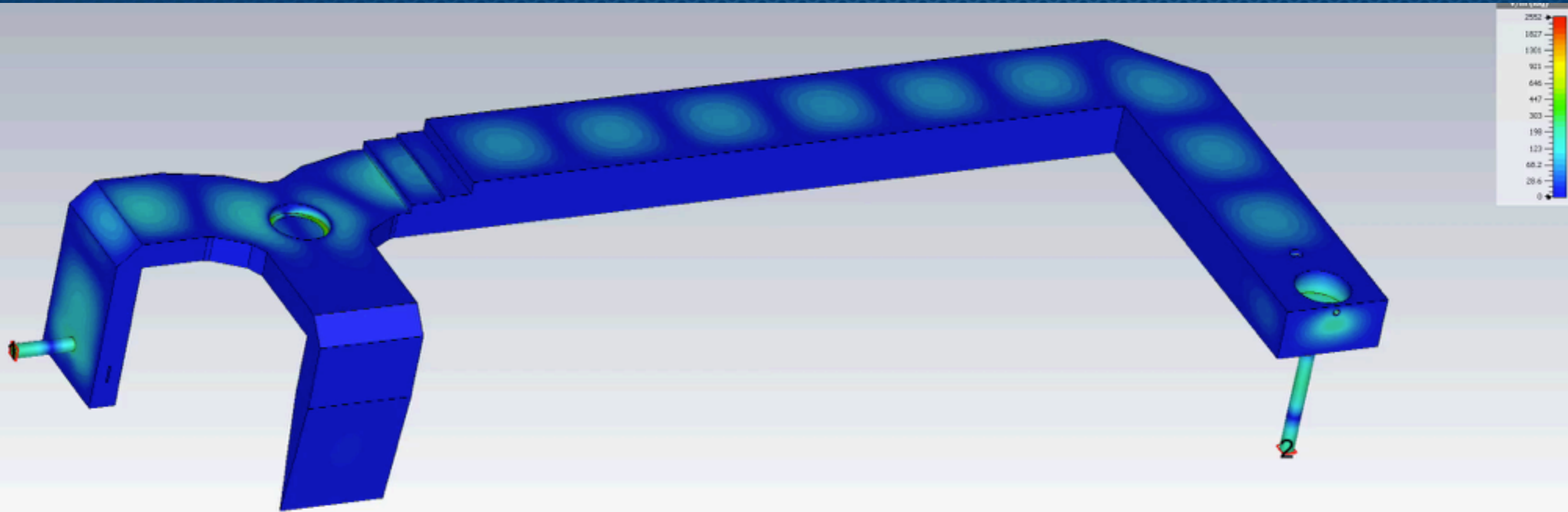
Tüm iletim hattı



e-field (f=352.2) [1] (peak)
Component: #0
Orientation: Outside
3D Maximum [V/m]: 2552
Frequency: 352.2
Phase: 173



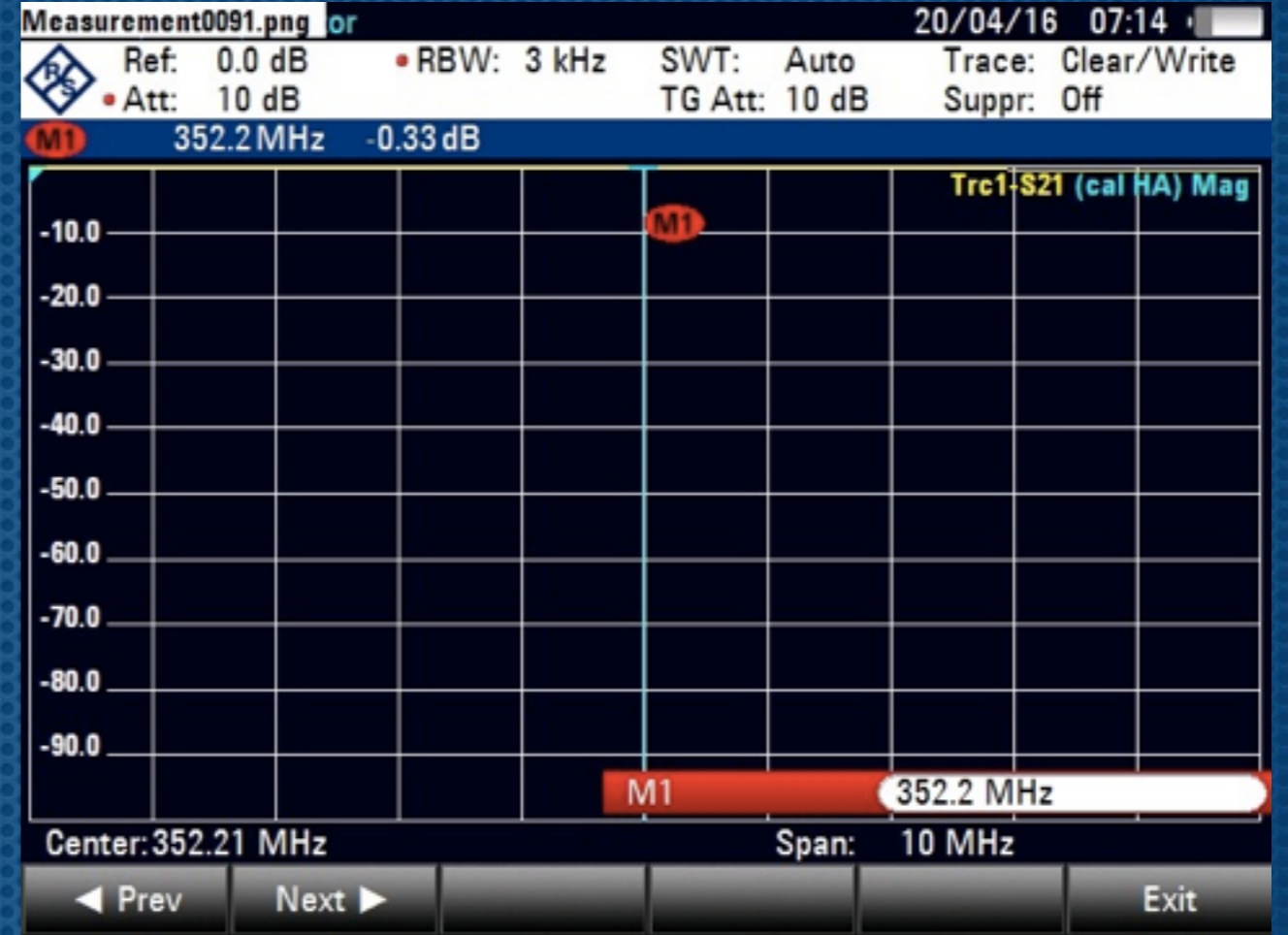
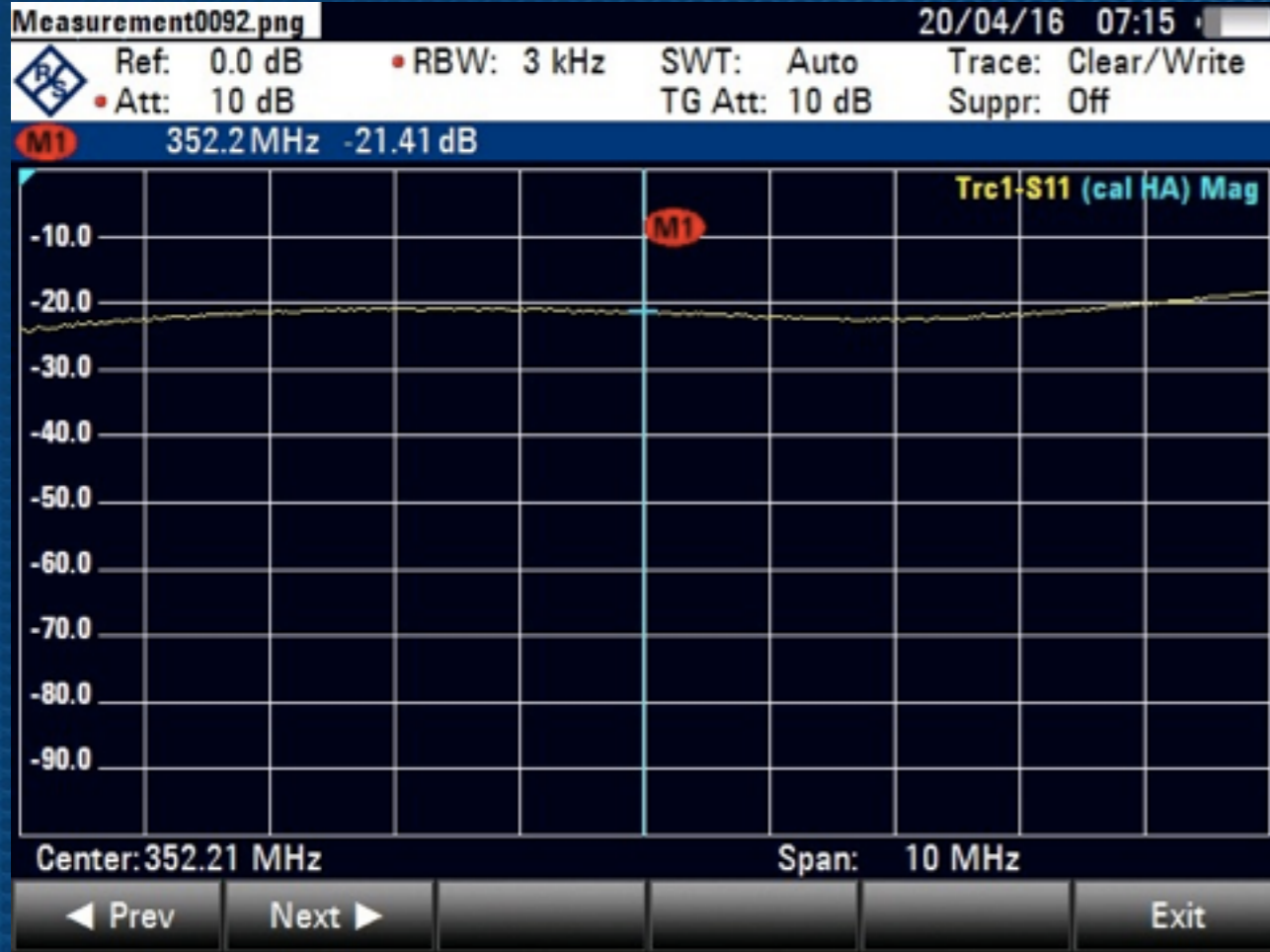
Tüm iletim hattı



e-field (f=352.2) [1] (peak)
Component: #0
Orientation: Outside
3D Maximum [V/m]: 2552
Frequency: 352.2
Phase: 173



Tüm iletim hattı ölçümleri



✓ $-21 \text{ dB} = \% 0.8 \rightarrow$ 1. porttan çıkan gücün 1.porta geri dönen miktarı.

✓ $-0.33 \text{ dB} = \% 92.6 \rightarrow$ 1. porttan çıkan gücün 2.porta iletilen miktarı.

✓ 1. portan göndereceğimiz güç: 150 kW

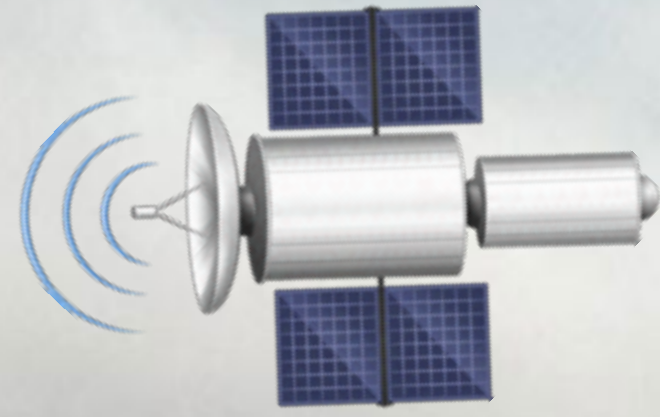
✓ 1. porta dönecek güç: $150 \text{ kW} * 0.008 = 1.2 \text{ kW} - - >$ Çok yüksek enerji !

✓ Ama hızlandırıcı (ve RF) sürekli çalışmayacak saniyenin yüzde 1-3 ünde çalışacak;

$1.2 \text{ kW} * 0.03 = 36 \text{ Watt} - - >$ Her saniye soğutulması gereken 1 lambalık ısı :)

Sonuç ve Sonraki adımlar

- ✓ 3 adımda 150 kW güce ulaşan 352.2 MHz'lik RF üretici saniyenin % 1-3 arasında değişen sıklıkla güç üretecek.
- ✓ Üretilen gücün %93' ünün hızlandırıcıya ulaşacağı, %1'in altında RF güç üreticisine geri döneceği ölçüldü, gücün geri kalanı RF çöpü ve çevresinde ısıya dönüşüyor.
- ✓ Dolaştırıcı, Hızlandırıcının aç-kapa sırasında veya herhangi bir sebepten geri dönen RF dalgasını kontrol edecek.



Təşəkkürlər