

## ELEKTRİK ENERJİSİNİN DAİRESEL SÜPER İLETKENLİ DALGA TAŞIYICILARIYLA İLETİLMESİ

Arif HAŞİMOV, Seyyad HÜMBETOV, Ahmet NAYIR

*Azerbaycan İlimler Akademisi, Fizik Enstitüsü, Bakü-AZERBAYCAN*

Geliş Tarihi: 22.11.2002

### ELECTRIC ENERGY TRANSMISSION BY THE CIRCULAR SUPERCONDUCTING WAVEGUIDE

#### ABSTRACT

In the present study, the possibilities of application of circular waveguide made from high temperature super conductors for transmission ultra high frequency electromagnetic energy on the large distances are considered. **Keywords:** Superconducting, Electromagnetic wave guide, Frequency

#### ÖZET

Bu çalışmada süper iletkenlerin; yüksek frekanslı enerjinin uzun mesafelere iletilmesinde bu malzemelerin süper iletken dalga taşıyıcıların hazırlanmasında istifade edilmesi imkanları incelenmiştir. **Anahtar Sözcükler:** Süper iletken, Elektromanyetik dalga taşıyıcısı, Frekans

#### 1. GİRİŞ

Yüksek sıcaklıklı süper iletkenlerin bulunması [1], bu alanda kazanılan başarılar [1,3,4] yüksek frekanslı enerjinin uzun mesafelere iletilmesi için bu malzemelerin süper iletkenli dalga taşıyıcıların hazırlanmasında istifade edilmesine imkan vermiştir. [5] çalışmasında enerjinin dalga taşıyıcıları ile iletilmesinin esas teknik üstünlükleri kaydedilmiştir. Doğru akım ve alternatif akımla enerji iletiminde bazı problemler olduğu bilinmektedir. Bu durum; enerji iletim hatlarının açık olması ile bağlı olmaktadır. Bu hatlar yıldırım boşalmasının tesirine maruz kalabilirler ve ilave gerilimle; korona boşalması meydana çıkabilir. Bu ve benzeri olaylar enerjinin dalga taşıyıcıları vasıtasıyla iletilmesinde ortaya çıkmıyor. Dalga taşıyıcıları yeraltına yerleştirilebilir ve normal bilinen iletim hattından daha ucuza mal olmaktadır. Dalga taşıyıcılarında ikinci hat ve pahalı izolasyon lazım değildir. Enerji dalga taşıyıcılarının normal hatlara göre kayıpları az olduğu için verimi yüksektir. Bu metotla enerjinin iletilmesinin ekonomikliği; doğru akımların yüksek frekanslı akımlara çevirme eşdeğerine sahip güçlü yüksek frekanslı generatörlerden ve yüksek frekanslı enerjiyi doğru akıma çeviren avadanlıklara bağlıdır.

#### 2. SÜPER İLETKENLERİN YÜKSEK FREKANSLI ALANDA DAVRANIŞI

T=0 olduğunda süper iletkende istenilen enerjiyi yutabilen kuasi zerrecikler olmaz. Elektromanyetik dalgaların yutulması

$$h\omega_{kr}=2\Delta(0)$$

olduğunda oluşur.

(1)

Burada  $\omega_{kr}$  –Kritik açısal frekansı,  $2\Delta(0) - (T=0)$  olduğunda süper iletkenin enerji sahasının genişliği,  $\hbar = 1,054 \cdot 10^{-34}$  joul.sn planck sabitidir. Bu enerji super iletken çiftlerini kırmak için lazım olan enerjidir. Limitde  $\hbar\omega \gg 2\Delta(0)$ , olduğunda süper iletken ile normal metal arasında fark olmaz. Yani akımla saha arasındaki ilişki normal metal de olduğu gibi olur. Düşük sıcaklıklarda  $\hbar\omega_{kr} = 2\Delta = 3,52K_b T_{kr}$  dir.  $\omega_{kp} = 2\pi f_{kr}$ , olduğunu dikkate alsak, bu durumda

$$f_{kr} = 3,52K_b T_{kr} / 2\pi\hbar \quad (2)$$

Burada  $K_b = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Joule/K –Boltzman sabiti,  $f_{kr}$ – kritik frekans,  $T_{kr}$ - Süper iletken durumuna geçme sıcaklığı (K). (2) formülünden  $T_{kr} = 1K$  ise  $f_{kr} > 70$  GHz olduğu görülmektedir. Daha yüksek  $T_{kr}$ , sıcaklığına sahip süper iletkenler için  $f_{kr}$  bir kaç bin Giga hertz ( $10^9$  Hz) değerine ulaşır. Süper iletkende akım çok ince yüzey katında akmaktadır. Yüzey empedansı  $Z_s(\omega)$  ve nüfuz etme derinliği  $\delta$  süper iletkenlerin yüksek frekanslı sahada özelliklerini karakterize eder. Yüzey empedansı

$$Z_s(\omega) = R + iX \quad (3)$$

Formülü ile bulunur. Burada R= Yüzey empedansının gerçek bileşeni (yüzey direnci) X=Sanal hisse R ve X değerleri metal yüzeyden dönen dalğanın genliği ve fazının değişmesine göre tayin edilir. Gerçek hisse elektromanyetik dalğanın geri dönmesi anında enerji kaybını gösterir. Malzeme yüksek frekanslı alanda yerleştirildiği zaman ayrılan sıcaklık, enerjisine göre tayin edilebilir. Süper iletkenler için yüzey empedansı çok küçüktür. Bu da elektrik sahasının süper iletkenin sınırında yatay toplamının küçük olduğunu gösterir. Süper iletkenlerin yüksek frekanslardaki özelliği; süper iletkenliğe geçiş hali ani değildir. [6] çalışmasında alüminyum yüzey mukavemetinin sıcaklık ve frekanstan bağıllığı öğrenilmiştir.  $\omega = 0$  ve  $T \rightarrow 0$  yaklaştığında iletkenlik durumunda direnç yaklaşık olarak sıfır olur. Ancak yüksek frekanslarda direnç hatta  $T=0$  olduğunda direnç sıfırdan farklı olacak ve frekansın artması ile daha hızlı artmaya başlayacaktır.

### 3. ÇOK YÜKSEK FREKANSLI ELEKTROMANYETİK DALGALARIN DAİRESEL SÜPER İLETKEN DALGA TAŞIYICILARINDA YAYILMASI

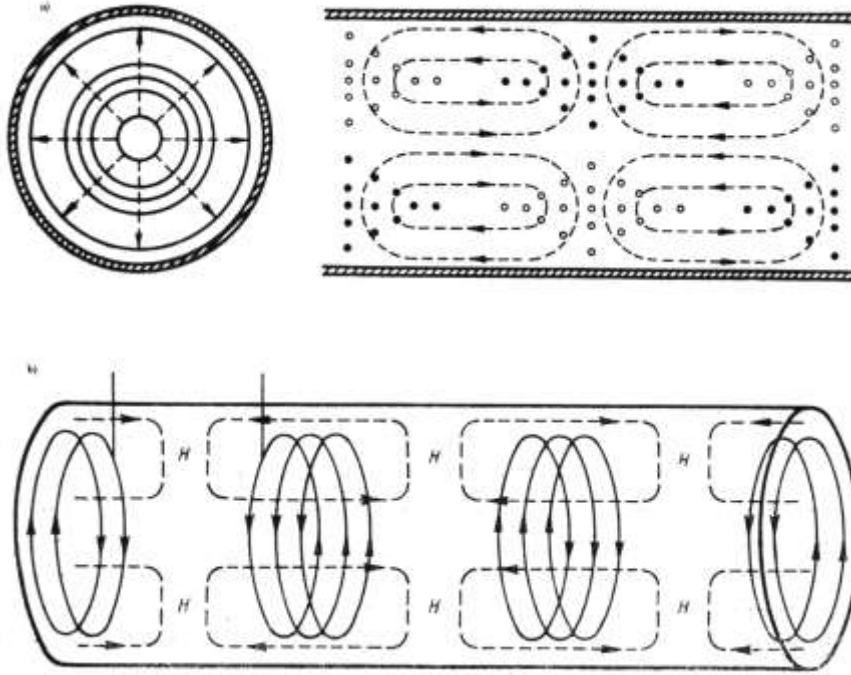
Dalga taşıyıcısı kesiti dikdörtgen ve dairesel olan metal boru ve yönlendirilmiş sistemdir. Bu borunun içerisinde elektromanyetik dalgaların yayılır. Dalga taşıyıcılarında dalğanın yayılması istikametinde toplamları olan yani enine elektrik (E) enine manyetik (H) ve başka karışık tipli yönlendirilmiş dalgaların yayılması mümkündür. Dalga uzunluğu dalga taşıyıcısının ölçüleri ile tayin edilen kritik ölçüden küçük olmalıdır. Çok yüksek frekanslarda; 1GHz. den yukarı enerjinin istikametlenmiş dalga taşıyıcıları ile iletilmesi hatlarla iletilmeden daha ekonomik ve teknik yönden daha maksada uygun sayılmaktadır. Hatlarda yönlenmiş dalgalara uygun olarak dalga taşıyıcılarında dalgalara iki ve daha fazla düzlem dalgaların üst üste konulmuş paketi gibi bakılabilir. Bu paket testere dişi yolla dalga taşıyıcısının duvarlarına açılı olarak ve çok sayıda yansımalara maruz kalmış dalga gibi yayılır. Dalga, dalga taşıyıcısı boyunca yayıldığı zaman dalga taşıyıcısının iletken duvarlarında ve onu dolduran dielektrikte enerji kaybı meydana gelir. Bu kayıp dalğanın sönmesine sebep olur. Dalğanın, dalga taşıyıcısı boyunca yayılması zamanı sönme ve bu sönmeyi dikkate alarak dalga taşıyıcısının optimal ölçülerinin seçilmesi problemi daha detaylı inceleyelim. Basit dalga taşıyıcıları için duvar iletkenliğinin sonlu değere sahip olması durumu için sönme, Şukun-Leontoviç formülü ile bulunur. Eğer dalga taşıyıcısı boyunca Umov- Pointing vektör selinin  $P_{u-p}$  dalga taşıyıcısının duvarlarının birim uzunluğuna düşen enerji kaybını  $P_1$  ile göstersek, sönme katsayısı

$$\alpha = P_1 / P_{u-p} \quad (4)$$

formülü ile bulunur. Elektrik enerjisinin uzun mesafelere iletilmesi için  $H_{01}, H_{02}, \dots, H_{0n}$ , dalga tipli dairesel dalga taşıyıcıları daha uygundur. En az sönüm eşdeğerine sahiptirler.  $H_{0n}$ , tipli dalgaların küçük sönüme maruz kalması, uzununa akımın olmaması ile izah edilebilir. Bunda dolayı  $H_{01}$  dalgasının yayılması sırasında dalga taşıyıcısının duvarlarında elektrik yükleri oluşmaz. Bundan başka dalga taşıyıcısının duvarında yalnız alanın Hz. Toplamı sıfıra eşit

## Elektrik Enerjisinin Dairesel Süper...

değildir.  $H_{01}$  dalgasının yayılması dalga taşıyıcısının duvarlarında yalnız dairesel akımlar şeklinde görülür. Boyuna akım olmaz. Şekil-1 de  $H_{01}$  tipli dalganın alanı gösterilmiştir. Elektrik alan çizgileri kapalı çevrelerdir. Enerjinin dalga taşıyıcısı boyunca ilerleyen dalgalarla iletilmesi için dalganın F frekansı  $f_{kr}'$ . Frekansından büyük olması lazımdır. Dairesel dalga taşıyıcısında  $H_{01}$  dalgası için [7]:



Şekil 1. Dairesel dalga taşıyıcısında  $H_{01}$  tipli dalganın elektrik (düz çizgiler ve noktalar) ve manyetik (kesik çizgiler) alanlarının a) yüzey ve b) uzay dağılımları gösterilmiştir

$$f_{kr}' = 0.183/r \quad (5)$$

Burada r metrelerle ölçülür.

Enerjiyi iletmek için dairesel süper iletken dalga taşıyıcılardan istifade edildiğinde yeni imkanlar ortaya çıkmaktadır. Enerji kaybı az olduğu için soğutma kaybı dışında verim %100 olabilir. Dalga taşıyıcısında nispeten küçük kayıpları duvarlarının süper iletkenliğe sahip malzeme ile kaplanması ile elde edebiliriz. Duvarları içerden bakırla kaplı dairesel dalga taşıyıcısı incelendiğinde;  $f > f_{kr}'$ , frekanslarda bakırla kaplanmış ideal dalga taşıyıcısının duvarlarında enerji kaybına göre  $H_{01}$ , dalgasının sönme eşdeğeri [7]:

$$\alpha = 2 \cdot 10^8 / r^3 f^{3/2} \quad (6)$$

Örneğin, yarıçapı 1m. olan dalga taşıyıcısında 10 GHz. frekansta  $\alpha = 0,02 \cdot 10^{-5}$  dB/km (Desibel/kilometre) formülünden  $H_{01}$  dalgasının sönmesi dalga taşıyıcısının frekans ve yarıçapının artması ile çabuk ve sonsuz azalır. Aynı zamanda  $f = 2f_{kr}'$  frekansından başlayarak sönme eşdeğeri frekansa bağlı olmuyor [4]. Bundan dolayı verilen frekansta dalga taşıyıcısının maksimum ölçüsü sönme eşdeğerinin azalma şartından ziyade delinme olmaması şartından seçilmelidir. Çok yüksek frekanslı enerjinin uzak mesafelere iletilmesi için sönme eşdeğeri 1dB/km. den çok olmayan

hatlar faydalıdır. Dalga taşıyıcısı boyunca E ve H alanlarının genliğinin azalması yarıçapı r olan silindirik bakır dalga taşıyıcısının uzunluğu boyunca enerji selinin azalmasına getirip çıkarması aşağıdaki gibi olur [4]:

$$P = P_0 \exp(-3.5 \cdot 10^{-6} \lambda^{3/2} \cdot L/r^3) \quad (7)$$

Burada  $P_0$  –Başlangıçta gönderilen enerji,  $\lambda$ , r - metrelerle ölçülür.

$$\text{Hattın verimi: } \eta = P/P_0 = \exp(-3.5 \cdot 10^{-6} \lambda^{3/2} \cdot L/r^3) \quad (8)$$

$$H_{01} \text{ dalgaları ile gönderilen enerji } P_{\max} (H_{01})(\text{GWt}) = 4,46(2r)^2/M^2 \quad (9)$$

şeklinde yazılabilir [8]:

$$\text{veya } P_{\max} = 2r^2 E_{\max}^2 \cdot 10^{-3} \quad (10)$$

şeklinde yazılabilir [7]:

Burada M – elektrik sahasının limit gerilimine göre yedek eşdeğeri,  $E_{\max} = E_0/M$  – alanın maximum elektrik alanı, kV/cm,  $E_0$  – atmosfer basıncında normal hava ile doldurulan dalga taşıyıcısı ile için  $E_0 = 30$  KV/cm [9]. Dalga taşıyıcısı ile gönderilen enerji dalga taşıyıcısının kesitinden dalga taşıyıcısında elektrik alanının maksimum elektrik alanına  $E_{\max}$  ve dalga taşıyıcısının kesitinde sahanın tek tip derecesine bağlıdır. Örneğin  $r=1$  m,  $M=2$ , bu durumda  $P_{\max} = 4,46$  GW. (Gigawatt) Yarıçapı 1m, uzunluğu 1000km. olan hattın verimi %98 dir. Bakır için elektromanyetik alanın nüfuz etme derinliği

$$\Delta = 6.6 \cdot 10^{-2} \cdot f^{1/2}$$

(11)

formülü ile bulunur. 10 GHz. frekansta yaklaşık olarak  $\Delta = 0,7$  mikrometre dir. Dalga taşıyıcısının duvarlarının bakır kaplamasının kalınlığı çok ince olmaktadır.

#### 4. ÇOK YÜKSEK FREKANSLI ENERJİNİN İLETİLMESİ İÇİN YÜKSEK SICAKLIKLI SÜPER İLETKENLERDEN İSTİFADE ETME OLANAKLARI

Yukarıda belirtildiği gibi çok yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların yayılması sırasında enerji kaybını azaltmak için dalga taşıyıcısının duvarının iç yüzeyi iyi iletken malzemeden ince tabaka olarak kaplanmalıdır. Yüksek sıcaklıklı süper iletkenlerden faydalanarak dalga taşıyıcılarını hazırlamak için teknoloji ile alakalı bazı problemleri çözmek lazımdır [4]. Y-Ba-Cu-O seramiğinden ( $T_{kt} > 90K$ ) hazırlanmış süper iletken filimler gevrek olduğundan, herhangi bir metale yapıştırmak lazımdır. Süper iletken rezonatörlerde istifade edilen Y-Ba-Cu-O esasında hazırlanan süper iletken filimlerden çok sağlıklı talepler istenmektedir. Temizlik, tek cinslilik, sıklık, stabilite, yüzeyin mikro profilliği. Bundan başka vakumda ısıtıldığı zaman oksijen kaybı olmamalıdır. Filimler sahicıkların sınırlarında bozukluklara sahip olmamalıdır. Filimler bakır veya başka matrislerin yüzeyine yapışması lazımdır. Bakır tabakanın çalışma yüzeyine süper iletken çok yüksek frekanslı kuruluşun kaliteli olarak kaplanması için kalınlığı 1-2 mikrometre olan Y-Ba-Cu-O filminin stabillliğini temin eden problemi halletmek lazımdır. Problem Y-Ba-Cu-O kristalografik kuruluşun ve bakırın optimal birbirine yapışmasıdır. Bu yapışma, eğer bakır kafesin parametresini 3,61 Å den artırarak Y-a-Cu-O kafesinin parametrelerinin yakın etmek mümkün olursa yapışma ihtimali artar. (Y-Ba-Cu-O Kafesinin parametreleri a=3.82, b=3.89) İletim hatlarında istifade edilen ve sethine yüksek sıcaklıklı super iletkenli filimler yerleştirilen metal altlıklar, yüksek sıcaklık geçirmeye ve erime sıcaklığına, yanma sıcaklığında buharların küçük erimesine sahip olmalıdırlar. Manyetik olmamalıdırlar. Genişlemenin sıcaklık eşdeğeri süper iletkenlere yakın olmalıdır. En iyi parametrelere sahip yüksek sıcaklıklı seramiklerden olan filimleri yüksek enerjiler fiziği enstitüsünde hazırlanmış eksenell magnitron püskürtme metodu ile hazırlayabiliriz [10]. Al-Cu dan istifade ederek galvaniz bakırın çalışma yüzeyine yapıştırılmış Y-Ba-Cu-O filmi en iyi yapışmaya, en çok düzlüğe, yüzey de en eşit kalınlığa sahip olur. Araştırmalar bu metodlar yeteri kadar çeşit olan ve kalınlığı 1.5 mikrometre olan örtü almanin mümkün olduğunu göstermiştir. 1 GHz. frekansta bu filmlerin yüzey direnci  $10^{-6}$  olur.

## 5. SONUÇ

Son zamanlarda çok yüksek frekanslarda yüksek sıcaklıklı süper iletkenlerde alınan sonuçlar ve çok yüksek frekanslı dalgaların üretiminin ve doğru akıma çevrilmesi efektif metodları, elektrik enerjisinin dalga taşıyıcıları ile iletilmesi hatlarının kurulması konusunda ümitleri artırmıştır. Yüksek sıcaklıklı süper iletkenler sahasında başarılı çalışmalar bu iletim hatlarının pratik olarak hayata geçirilmesi için yeni veri tabanı oluşturabilir. Bu hatlar daha kullanışlı olabilir. Eğer daha yüksek sıcaklıkta süper iletken hale geçen malzemeler imal edilebilse, oda sıcaklığında yüksek sıcaklıklı süper iletkenlerin bulunması, ucuz süper iletken enerjiyi kriyostatik iletken aşıırı yüksek frekanslı hatların pratik gerçekleşmesi mümkün olur. Yazılanlara bakarak, enerjiyi iletmek için süper iletken dalga taşıyıcılarından istifade ile alakalı bütün problemleri derinden öğrenmek lazımdır.

## KAYNAKLAR

- [1] Bednorz J.G., Miller K.A. Z.Phys., 1986, v. B 64, № 2, p. 189-194.
- [2] Cava R.J. Genie in a bottle // Nature, 2001, № 410, p.23.
- [3] Namatsu J., Nakagava N., Muzonaka T. et al. Nature, 2001, № 410, p.63.
- [4] Didenko A.N. İzvestiya Akademiya Nauk Rassı, Energetika, 2001, No:4, str. 3-25.
- [5] Kapisa P.L., Elektronika bolşıg moşnoctaeı , M. Izdatelctvo AN SSCB, 1962.
- [6] Maxwell E. Progr. in Cryogenics. 1964, v. 4, p. 123.
- [7] Tıxoodaev N.N. Peredaça Elektriçeskoı energıı, L. Elektroatomizdat, 1984.
- [8] Didenko A. N. Sverxprovodyşie volnovodı ı rezonatori. M. Cov. Radio, 1973.
- [9] Kuxarkin E.S. Sestroreckin B.V. Elektriçeskaya proçnosti bolnovodniğ ustroistv. M. Vıss. Şk. 1963.
- [10] Cevryokova L.M. Dissertation Doctorate. Fiz- Mat. Nauk. M. IFBE, 1963.