

BOLYAI FARKAS ELMÉLETI LÍCEUM

SAJTOS ÁLLÓHULLÁMOK

IRÁNYÍTÓ TANÁR:

BERECKI BEÁTA

SZÁSZ ÁGOTA

TOTH HELGA

2007

Tartalom

1. Bevezető.....	1
2. Egy kis történelem	1
3. Mik a mikrohullámok?.....	1
4. Alkalmazások.....	2
5. Mikrohullámú sütő.....	3
5.1. Hogyan működik a mikrohullámú sütő?.....	3
5.2. Hogyan állít elő mikrohullámot?	4
5.3. Kísérlet.....	4
6. Kísérleti megfigyelések	5
6.1. A reflex klisztron	5
Mérési igazolás	7
7. Összefoglaló.....	8
8. Felhasznált irodalom.....	8
9. Függelék.....	8
10. Képek – mérések közben	12

Bevezető

Az utóbbi időben egyre nagyobb teret hódítottak a mikrohullámok, napjainkban már számos területen használják őket (kommunikáció, gyógyászat, háztartási készülékek, stb) és erre mi is felfigyeltünk.

Mi először csak arra voltunk kíváncsiak, hogy hogyan is működik egy mikrohullámú sütő, mert újabban, ebben a rohanó világban, elég fontos szerepet tölt be mindenki életében. Ugyanakkor számos tévhit kering erről a készülékről és meg akartuk tudni, hogy melyeknek van valós alapjuk és melyeknek nincs.

Ezek után a kíváncsiság, hogy mik is a mikrohullámok, arra késztetett, hogy elkezdjünk kutatni. Tanulmányoztuk fizikai szempontból a mikrohullámokat, az előállítási módjukat, tulajdonságaikat, gyakorlati alkalmazásaikat.

Gyakorlati munkánkban sikerült megmérni egy pár esetben a mikrohullámok hullámhosszát, érdekes és hasznos kísérleteket végeztünk ezekkel kapcsolatosan.

Ezek után elgondolkodtunk, hogy mely tulajdonságai teszik lehetővé, hogy az élet számos területén alkalmazzák és összefüggéseket kerestünk ezek között.

Egy kis történelem

A mikrohullám kifejezés talán első előfordulása 1931-ben:

„Amikor nyilvánosságra hozták az eredményeket olyan rövid hullámhosszú hullámokról, mint 18cm, egy leplezetlen öröm öntött el minket afelől hogy a mikrohullám problémáját ilyen hamar megoldották.” Telegraph & Telephone Journal XVII. 179/1

Talán első csillagászati előfordulása a mikrohullám kifejezésnek 1946-ból származik, a következő cikkben található: „Mikrohullámú sugárzás a Napból és a Holdból” Robert Dicke-től és Robert Beringertől.

Mik a mikrohullámok?

A mikrohullámok elektromágneses hullámok a Terahertz (THz) tartományénál hosszabb hullámhosszal, de rövidebbel, mint a rádióhullámok. A mikrohullámok hullámhossza megközelítőleg a 30 cm-től (1 GHz-es frekvencia) az 1 mm-ig (300GHz) terjed. Mindazonáltal a határok az infravörös fény, Terahertz-es sugárzás, mikrohullámok, és UHF rádióhullámok között eléggé szabadon értelmezettek, és tudományágak szerint változhatnak. Egy hitelesnek vélhető definíció Pozartól ered, aki könyvében kimondja, hogy a mikrohullám fogalma „300 MHz ($3 \cdot 10^8$ Hz) és 300 GHz ($3 \cdot 10^{11}$ Hz) közti váltakozó feszültségű jeleket ír le.”

E hullámok tulajdonságaik tekintetében mintegy középhelyzetet foglalnak el a fény- és a rádióhullámok között, mert köd, eső nem tartóztatja őket terjedésükben, viszont csak egyenes vonalban terjednek, úgy, hogy az adóállomás vétele csak annak optikai látókörzetén belül lehetséges.

Az elektromágneses hullámok létét – amelyek magasabb frekvenciatartományának a részét képezik a mikrohullámok – James Clerk Maxwell jósolta meg 1864-ben híres egyenleteiből. 1888-ban, Heinrich Hertz volt az aki először

volt képes szemléltetni az elektromágneses hullámokat, egy rádióhullámokat kibocsátó gépezettel.

A mikrohullámú tartomány tartalmazza az alábbiakat:

- ultra-magas frekvencia: ultra-high frequency (UHF) (0,3-3 GHz),
 - szuper-magas frekvencia: super high frequency (SHF) (3-30 GHz),
 - extrém-magas frekvencia: extremely high frequency (EHF) (30-300 GHz) jeleket.
- 300 GHz fölött, a föld légköre gyakorlatilag minden elektromágneses sugárzást elnyel kivéve az úgynevezett optikai, illetve infravörös frekvenciatartományokat.

Alkalmazások

- A mikrohullámú sütő egy magnetron mikrohullámú generátort használ arra hogy egy körülbelül 2,5 GHz-es mikrohullámú sugárzást hozzon létre főzés céljából. A mikrohullámok főzendő ételben a víznek és egyéb vegyületeknek a molekuláit rezegtetik, illetve forgatják. A rezgés súrlódást okoz, ami hővé alakul, ami az ételt melegíti. Mivel a szerves anyagok többnyire vízből állnak, így az ételt is könnyű ilyen módszerrel melegíteni.

- A mikrohullámokat műsorszórásban is használják, mivelhogy a mikrohullámok könnyebben hatolnak át a föld atmoszféráján, kisebb zajjal, mint a hosszabb hullámhosszak. Ráadásul sokkal nagyobb a mikrohullámú spektrum sávszélessége, mint más rádiófrekvenciás tartományoké. Egy tipikus alkalmazása például a híradós kocsikból szórt műsor, amelyet különleges földi állomásoknak továbbíthatják a híreket.

A méteres hullámhosszú ultrarövid hullámok (VHF), valamint a deciméteres (UHF), a centiméteres (SHF) és a milliméteres (EHF) hullámhosszú mikrohullámok egyenes vonalban terjednek, az ionoszférán áthatolnak, és kijutnak a világűrbe. Emiatt csak az adó látótávolságában vehetők. Mesterséges holdakkal azonban megvalósítható a nagy távolságú vétel is, olyan módon, hogy a földi adó sugárzását a Föld egyenlítője fölött ún. geostacionárius pályán keringő műhold veszi és visszasugározza a Földre. Ahhoz, hogy a mesterséges hold a Föld két adott pontja, vagyis az adó és a vevő között állandó összeköttetést biztosítson, a földfelülethez képest állóhelyzetben kell maradnia. Ez akkor teljesül, ha a műsorszóró hold keringési ideje megegyezik a Föld $T=24$ h=86400 s forgási idejével. (1.ábra)

- A radar szintén mikrohullámokat használ arra hogy meghatározza tárgyak távolságát, sebességét és egyéb tulajdonságait. A radar működési elvével behatóbban is foglalkoztunk, pontosabban kísérletekkel megfigyeltük, hogy hogyan is határozza meg az autók sebességét.

- WLAN protokollok, mint a Bluetooth, és az IEEE 802.11g és b is a szabadon felhasználható 2,4 GHz-es frekvenciát használják. A 802.11a szabvány az 5 GHz-es tartományban működik. A korlátozott, hosszútávú (akár 25 km) vezeték nélküli internet hozzáférési szolgáltatások is sok országban megtalálhatóak (az USA-ban nem) ezek a 3,5 – 4 GHz tartományban működnek.

- A MAN hálózati protokollok, mint például a WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) is az IEEE 802.16-os specifikáció alapján működnek. Az IEEE 802.16 szabvány eredetileg 2-től 11 GHz-ig működik de a forgalomba került implementációk 2,5GHz, 3,5GHz és 5,8 GHz-es tartományban működnek.

- A koaxiális kábel¹ továbbított kábeltévé és internet szolgáltatások és a felszíni televízió műsorszórás is az alacsonyabb mikrohullámú frekvenciát használják. Bizonyos telefonhálózatok mint például a GSM is az alacsony mikrohullámtartományt használják.
- Sok félvezetőgyártási eljárás is mikrohullámot használ hogy plazmát generáljanak a reaktív-ion maratáshoz illetve a plazmával fokozott vegyi gőzöléshez.
- Mikrohullámokkal energiát is lehet átvinni nagy távolságokra, a II. világháború utáni kutatások ennek lehetőségeit kutatták. A NASA az 1970-es években dolgozott egy olyan rendszeren, ami orbitális napkollektorok energiáját gyűjtené össze és küldené le a földre mikrohullámok segítségével.
- A maser egy a lézerhez hasonlító eszköz ami mikrohullámú frekvenciákban működik.

Mikrohullámú sütő

A mikrohullámú készülék elsősorban az új generáció, a rohanó, kevés idővel rendelkező ember készüléke. A mikrohullámú sütő megalkotása - sok más nagy találmányhoz hasonlóan - a véletlennek köszönhető. Egy amerikai mérnök, Percy Spencer egy radaralkatrész kifejlesztésén dolgozott 1946-ban. Az egyik nap egy szelet csokoládét vitt magával a laboratóriumba, amit letett az asztalra az egyik mikrohullámokat kibocsátó készülék mellé. A csoki helyén hamarosan csak az olvadt massa folydogált.

Hogyan működik a mikrohullámú sütő?

A hagyományos főző- és sütő eljárásoknál az étel melegítése az edényzeten keresztül, kívülről befelé történik, a felhasznált energia az étel és az edény felmelegítésére fordítódik. A mikrohullámú készülékekben az étel teljes keresztmetszetében egyszerre melegszik, az energia csak az étel felmelegítésére fordítódik, az edény hideg marad, csupán az ételtől vesz át némi meleget.

A mikrohullámú készülék szerkezeti felépítése: lásd 2. ábra

A mikrohullámú készülékben a hálózati 50 Hz frekvenciájú villamos energiát egy különleges elektroncső, a magnetron alakítja át 2450 MHz nagyfrekvenciájú energiává. A magnetron által leadott energiát a hullámvezetők irányítják a hasznos térbe, ahol az élelmiszerek a nagyfrekvenciás tér hatására felmelegsznek. (3. ábra) A mikrohullámú készülékekben kizárólag az étel abszorbeálja (nyeli el) az energiát. A magnetron által előállított 2450 MHz nagyfrekvenciás energiának megközelítőleg 12,25 cm-es hullámhossz felel meg. Ez a hullámhossz az elektromágneses hullámok tartományában a rádióhullámok és az infravörös sugárzás tartománya között helyezkedik el. Az élelmiszerekben a nagyfrekvenciás erőter hatására dipólusok képződnek, illetve a meglévő dipólusok (kétpólus) a külső tér irányába rendeződnek. A villamos erőter irányváloztatására a dipólusokra váltakozó irányú erők hatnak, amelyeknek hatására az anyag belsejében hő keletkezik. A keletkezett hőteljesítmény az anyag térfogatával

¹ Olyan híradástechnikai kábeltípus, ami középen egy érből (általában tömör), az azt borító szigetelésből, azon pedig körkörös fémhálóból, majd újabb réteg szigetelésből áll. A fémhálót szokás harisnyának is nevezni, ezt földelni szokták, az ér középen pedig a melegpont. Sok fajtája létezik.

arányos, négyzetesen függ a térerősségtől, függ továbbá az anyag dielektromos jellemzőitől és a veszteségi tényezőtől, amely villamos szempontból jellemző.

A magnetron által leadott energia az üreges vezetőn keresztül jut a hasznos térbe, amelynek méretei összhangban vannak a hullámhosszal. A forgó ventilátorszárnny és a fémfalazat hullámokat ver vissza, aminek eredményeként az energia térelosztása homogén lesz.

A mikrohullámok a villamos vezető anyagokon – tehát a fémeken – visszaverődnek. Ezért a megszokott fémedények vagy az alumíniumfóliából készült tálcák a mikrohullámú készülékekhez nem használhatók. Vonatkozik ez a fém konzervdobozokra vagy a fém díszítésű (pl. aranyozott szegélyű) porcelánokra is. Faedényeket és deszkákat sem tanácsos a készülékben használni, mert kiszáradnak és eltörnek. A mikrohullámú készülékekhez porcelán, üveg, papír vagy műanyag edényeket célszerű használni. A műanyagban azonban nem lehet túl alacsony az olvadáspontja, és a papírárukon nem lehet viaszbevonat.

A mikrohullámú készülékekben az élelmiszerek hőkezelése 100 °C-n lehetséges, addig, amíg az ételnek víztartalma van. Ha ugyanis az anyagban nincs víz vagy már elpárolgott, olyan magas hőmérséklet is keletkezhet, hogy az anyag szénné ég. Ez a magyarázata annak, hogy a mikrohullámú készülékben csak felmelegíteni és főzni lehet. A sütéshez, illetve felületi kérgesítéshez (pirításhoz) külön erre a célra alkalmas fűtőtesteket vagy edényeket kell alkalmazni.

Hogyan állít elő mikrohullámot?

Az elektromágneses rezgés keltésére magnetroncsövet használnak, amely egy speciális kialakítású vákuum dióda. Két végén állandó mágnesek találhatók. A vákuumcső tengelyében egy izzítható katód felületéből lépnek ki az elektronok. A katód és az anód közötti, jellemzően 4 KV-os feszültség hatására az elektronok sugár irányban indulnak el. A katódból kilépő elektronokat mágneses tér segítségével spirális pályára kényszerítik. A spirális pályán mozgó elektron gyorsulva mozog, és így elektromágneses hullámokat gerjeszt. Ezek felerősítésére az anód körül fémből készített üregek vannak kialakítva (4. ábra).

Kísérlet

A legtöbb mikrosütőben forgó tányért találunk. Ugyanis a melegítőtérben állóhullámok alakulnak ki, melyek hullámhossza kb. 12 cm, vagyis 6 cm-enként találunk egy csomópontot. Ennek duzzadóhelyén nagyon, csomópontján pedig egyáltalán nem melegszik az étel. A forgatás hatására az étel minden pontja eljut a duzzadóhelyre, és így lesz egyenletesen meleg. Sokan talán az esztétikai érzékükre hallgatva a forgó tányér közepére helyezik a melegítendő ételt. Ha a sütőben itt duzzadó hely van, akkor az ételben koncentrikus körök mentén eltérő hőmérsékletet hozunk létre.

Az állóhullámok bemutatására egy sajtos kísérletet végeztünk. Hallottunk már hasonló kísérletekről és kíváncsiak voltunk milyen ez a valóságban. Elhelyeztünk egy kartonlapot a sütőbe, amely méretei éppen megegyeznek a melegítőtér méreteivel, és megszórtuk egyenletesen reszelt sajttal. Majd kb. 30 másodpercig bekapcsoltuk a sütőt. A kartonlapot kivéve láthatóvá vált mikrosütőnk állóhullámképe; ahol a sajt megolvadt ott orsópont, ahol hideg maradt csomópont van (5. ábra).

Mivel a sajtos állóhullám ábránk csak egy keresztmetszete a kialakult térbeli állóhullámoknak, ezért be kell valljuk, hogy rengeteg sajtunkba került az, hogy egyáltalán meg tudjuk becsülni két csomópont közötti maximális távolságot, a sütő tengelye mentén. A mi becsléseink szerint a hullámhossznak átlagosan 12 cm felel meg, aminek alapján számított sebesség értéke ($2,94 \cdot 10^8$ m/s) nem igazán felel meg a szakirodalom által megjelölt értéknek.

Kísérleti megfigyelések

Ezért elkezdtünk kutatni, hogy milyen más módon lehet mikrohullámokat előállítani, és ezeket részletesen megvizsgálni.

A mikrohullámokat a reflex klisztronnal állítottuk elő, a mikrohullámú mérőpad (6. ábra) segítségével tanulmányoztuk a tulajdonságaikat (megmértük a hullámhosszukat, frekvenciájukat, és bebizonyítottuk, hogy csak véges számú reflexiós üzemmódban lehet a klisztront berezegtetni). Mindezeket a kísérleteket a Sapientia egyetem fizika laboratóriumában végeztük el.

A reflex klisztron

A reflex klisztron egy sebességmodulált elektronsugárral működő mikrohullámú eszköz, amelyet kisteljesítményű oszcillátorként használnak. Mivel a zajszintje alacsony, modulációja és hangolása egyszerű, a félvezető eszközök előretörése sem szorította ki a divatból.

Felépítését tekintve, általában egy fémballonos elektroncső, közvetett fűtésű oxidkatóddal (7. ábra). A katódból kilépő elektronokat egy rács a rezonátor felé gyorsítja 200-300 V egyenfeszültséggel. A csővel egybeépített üregrezonátor ugyanazt a szerepet játssza mint a rezgőkör a klasszikus oszcillátorokban. Az üregrezonátoron áthaladó elektronsugár a sebesség moduláció miatt kötegelődik, majd az elektron-kötegeket egy reflektornak nevezett, erősen negatív potenciálú (350-800 V) elektród visszatéríti a rezonátor felé. A reflektor potenciálját megfelelően állítva elérhetjük, hogy a már kialakult elektronkötegek mindig fékezési fázisban érkezenek a rezonátorba. Így a rezonátornak energiát adnak le, amit vagy egy szonda segítségével csatolnak ki, vagy közvetlenül egy diafragmán keresztül, egyenesen a hullámvezetőbe. A rezonátor egy cilindrikus szimmetriájú üreg, közepén két párhuzamos síkráccsal (8. ábra). A szimmetriatengely megegyezik az elektronsugár terjedési irányával, az ábra a nagyfrekvenciás elektromágneses tér eloszlását mutatja. Miután az elektródák megfelelő egyenfeszültségeit beállítottuk, bármilyen instabilitás megjelenése a rezgésállapot kialakulásához vezet.

A mérésekhez a Philips PM 7000X mérőpadot használtuk, megfelelően kiegészítve az elektromos paraméterek mérésére és a jel kimutatására.

A mérőpad (4. ábra) segítségével a klisztront stabil rezgésállapotba hoztuk. Megmértük frekvenciáját ($\nu = 9570 \text{ MHz} = 9,5 \text{ GHz}$), és λ_g hullámhosszat (állóhullámarány detektor segítségével megállapítottuk, hogy $X_1 = 83,3 \text{ mm}$, valamint $X_2 = 104,5 \text{ mm}$ pontokban sikerült berezegtetni a klisztront, így a $\lambda_g = X_2 - X_1 = 42,4 \text{ mm} = 4,24 \text{ cm}$).

A továbbiakban azt sikerült bizonyítanunk, hogy csak véges számú reflexiós üzemmódban lehet a klisztront berezegtetni. A 9. ábrán láthatjuk a reflex klisztron metszetét, és a működését.

Felgyorsított elektron sebessége: v

$$\frac{m_0 v^2}{2} = eU_k, \text{ ahol } v \text{ sokkal kisebb, mint } c$$

$$v^2 = \frac{2eU_k}{m_0}, \text{ ebből következik, hogy } v = \sqrt{\frac{2eU_k}{m_0}}$$

$$\text{A fékerő: } F_y = -eE_y, \text{ ahol } E_y = \frac{U_R}{d}$$

$$\text{Az elektron gyorsulása: } a_y = \frac{F_y}{m_0}, \text{ ebből következik: } a_y = \frac{-eU_R}{m_0 d}$$

A fékerő térbeni tartózkodási (repülési) ideje - amennyiben az elektron nem éri el a reflektort:

$$\Delta t = 2 \frac{v_y}{a_y} \quad (\text{egyenletesen lassuló, majd gyorsuló mozgás})$$

$$a_y = \frac{eE_y}{m}$$

Így:

$$\Delta t = m_0 d \frac{2 \sqrt{\frac{2eU_k}{m_0}}}{eU_k} \quad - \text{ ez a „késési idő”}$$

Vagy:

$$\Delta t = 2 \sqrt{\frac{2m_0 U_k}{e}} \frac{d}{U_R}$$

Jelölje:

$$K = 2d \sqrt{\frac{2m_0 U_k}{e}}, \text{ így } \Delta t = \frac{K}{U_R}, \text{ amiből következik, hogy } \Delta t \approx \frac{1}{U_R}$$

Arra a következtetésre jutottunk, hogy a fékezési idő fordítottan arányos a reflektor feszültségre.

Mérési igazolás

Ha $d=1\text{ mm}$, $U_k=300\text{ V}$, $\nu_0=10\text{GHz}$

$$K=1,168 \cdot 10^{-7}$$

Mivel $\nu_0=10\text{GHz}$

$$\Rightarrow T=10^{-10}\text{ s}$$

$$\Rightarrow \Delta t = \left(n + \frac{3}{4}\right)T \quad n=0,1,2,3,\dots,n;$$

$$U_{rn} = \frac{K}{\Delta t_n}$$

$$n=0 \quad \Delta t_0=0.75 \cdot T=0.75 \cdot 10^{-10}\text{ s} \quad U_{R0}=1558\text{ V}$$

$$n=1 \quad \Delta t_1=1.75 \cdot T=1.75 \cdot 10^{-10}\text{ s} \quad U_{R1}=668\text{ V}$$

$$n=2 \quad \Delta t_2=2.75 \cdot T=2.75 \cdot 10^{-10}\text{ s} \quad U_{R2}=425\text{ V}$$

$$n=3 \quad \Delta t_3=3.75 \cdot T=3.75 \cdot 10^{-10}\text{ s} \quad U_{R3}=312\text{ V}$$

$$n=4 \quad \Delta t_0=0.75 \cdot T=0.75 \cdot 10^{-10}\text{ s} \quad U_{R4}=264\text{ V}$$

Viszont $203 < 264 < 300\text{V}$

$U_{R5} < U_{R4} < U_k \Rightarrow$ az $n=4,5$ nem lehetséges.

$$\text{A megállítási feltétele } U_R > U_k \Rightarrow U_{Rmin}=U_k \Rightarrow \Delta t_{\max} = 2d \sqrt{\frac{2m_0}{eU_k}}$$

$$\Rightarrow \text{De } \Delta t = \left(n + \frac{3}{4}\right)T \quad n=0,1,2,3,\dots,n;$$

$$\text{Itt } \Delta t_{n \max} \leq \Delta t_{\max}$$

$$\Delta t = \left(n + \frac{3}{4}\right)T \leq 2d \sqrt{\frac{2m_0}{eU_k}}, \text{ ebből következik: } n_{\max} = \left[\frac{2d}{T} \sqrt{\frac{2m_0}{eU_k}} - \frac{3}{4} \right]$$

Példa: ha $U_k=300\text{V}$, $d=1\text{mm}$, $\nu=10\text{GHz} \Rightarrow n_{\max}=[3,15]=3$

Igy a lehetséges berezési üzemmódok: $n=0,1,2,3$.

A következtetést levonva csak véges számú (néhány) reflexiós üzemmódban lehet a klisztront berezgetni, ezzel az elméletünket bizonyítottuk.

További mérési eredmények:

$d[\text{mm}]$	$U_k[\text{ V}]$	$\nu_0[\text{GHz}]$	n
1	300	10	3
1	350	9.9	2
1	240	9.7	3
1	440	9.8	2

Összefoglaló

A kutatásaink során felállítottunk egy elméletet, amelyet sikerült igazolni is, ezen kívül számos érdekes kísérletet végeztünk, mint például a radar-elv szemléltetése.

Ugyanakkor kísérleteink során tanulmányoztuk a mikrohullámok néhány tulajdonságát (hullámhosszukat, frekvenciájukat), más előállítási módokat kerestünk, sikerrel (a mikrohullámú mérőpaddal), és megvizsgáltuk, hogy milyen tulajdonságaiknak köszönhető számos területen való felhasználásuk. Arra a következtetésre jutottunk, hogy a mikrohullámokat rendkívül sok területen alkalmazzák, és véleményünk szerint e területek száma továbbra is növekedni fog.

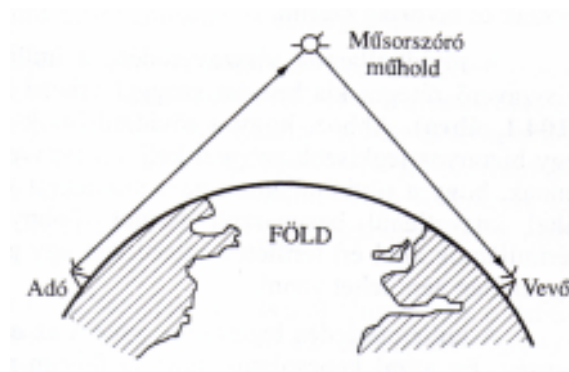
Kutatómunkánkat továbbra is szeretnénk folytatni, mert úgy véljük, hogy a mikrohullámoknak még csak igen kis területét sikerült feltérképezni.

Felhasznált irodalom

1. D. M. Pozar, Microwave Engineering („Mikrohullámú Mérnöki Tudomány”), Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., N.J. 2005
2. Tolnai lexikon
3. Dr. Litz József, Elektromosságtan és mágnességtan, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1998
4. Fizikai szemle, Az Ötvös Lóránd fizikai társulat lapja, VI. Évfolyam, 3. szám, 1956. május
5. Tellmann Jenő, Fizika, Tankönyv a XI. Osztály számára
6. Budó Á.:Kísérleti fizika II.kötet. Elektromágnességtan és mágnességtan. Tankönyvkiadó, Budapest 1991.
7. <http://www.ofe.hu/teka/t3/st5.htm>
8. <http://hu.wikipedia.org/wiki/Mikrohull%C3%A1m>
9. <http://de.wikipedia.org/wiki/magnetron>

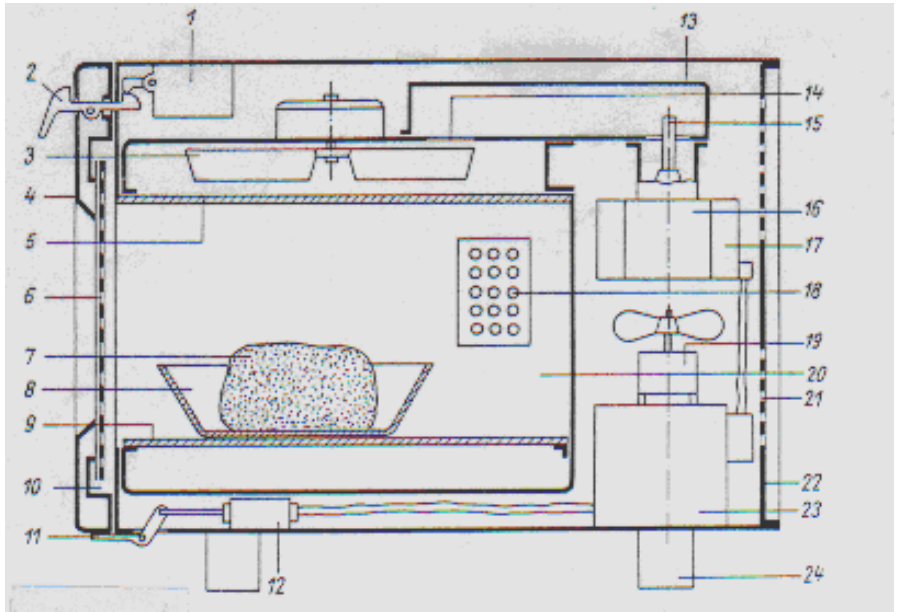
Függelék

1. ábra



2.ábra- A mikrohullámú készülék szerkezeti felépítése

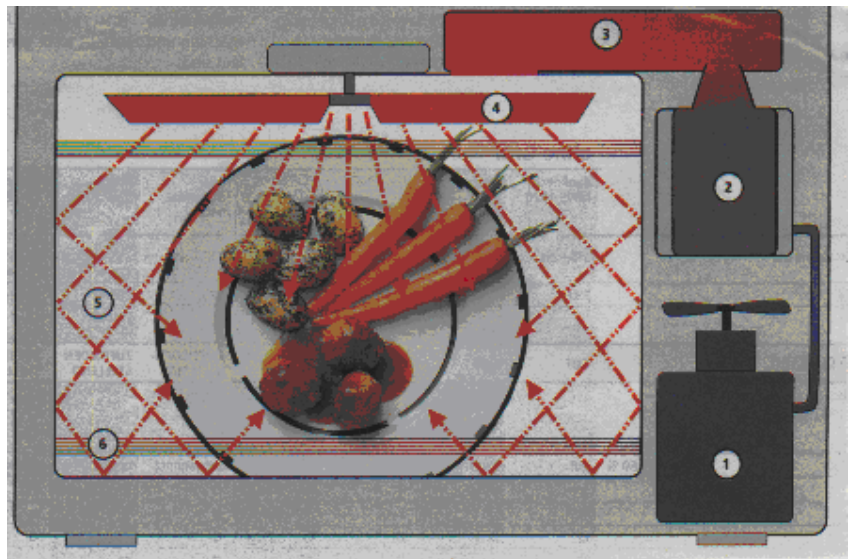
1 biztonsági kapcsoló, 2 a biztonsági kapcsoló ajtóreteszélése; 3 a tető ventilátor szárnya, 4 a hasznos tér ajtaja, 5 fedéllemez; 6 perforált lemez az ajtón; 7 az élelmiszer; 8 az élelmiszert tartó edény, 9 fenéklap; 10 a hullámhossz egynegyedére méretezett tér mint hullámcsapda; 11 az ajtócsuklópánt amely a 12 biztonsági kapcsolót



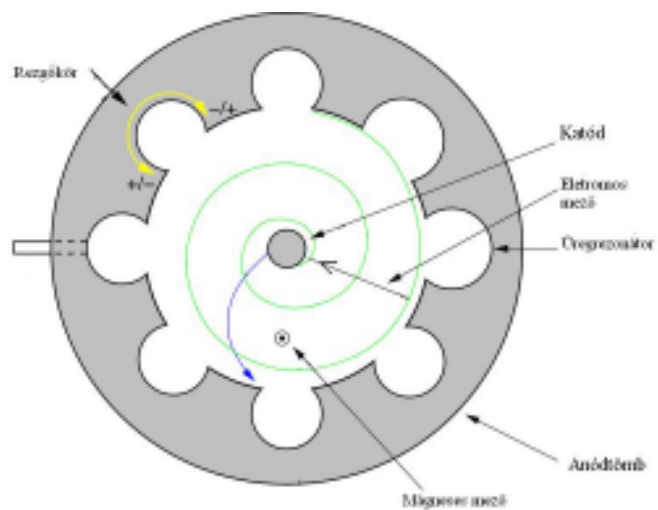
működteti; 13 üregrezonátor; 14 belépőnyílás; 15 csatlakozócsap; 16 magnetron; 17 hűtőtest; 18 világítás; 19 hűtőventillátor; 20 hasznos tér; 21 léghűtés rácsa; 22 hátfal; 23 az elektromos (hálózati szűrő, relé, nagyfeszültségű transzformátor, egyenirányító, kondenzátor, hűtőtranszformátor, időkapcsoló); 24 láb

3.ábra-

- 1.a nagyfrekvenciás elektronika;
2. a magnetron;
3. üreg rezonátor;
4. ventilátor;
5. hasznos tér;
6. fenéklap



4.ábra

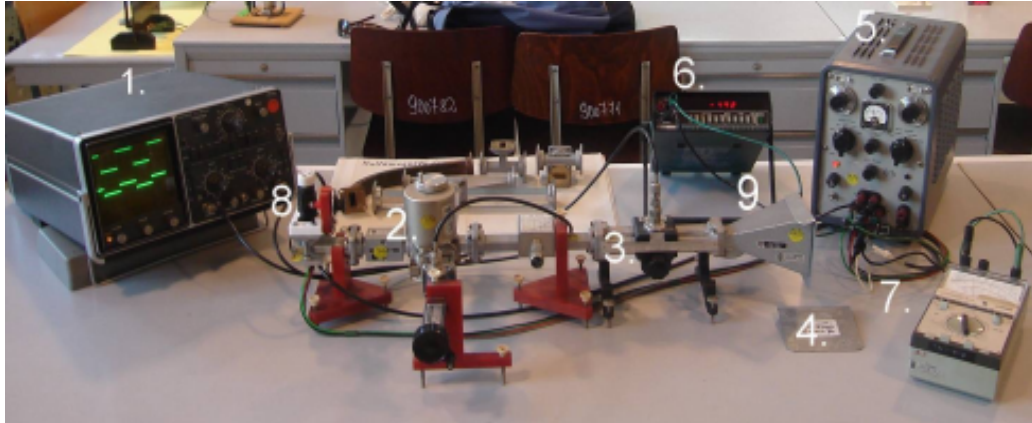


5.ábra



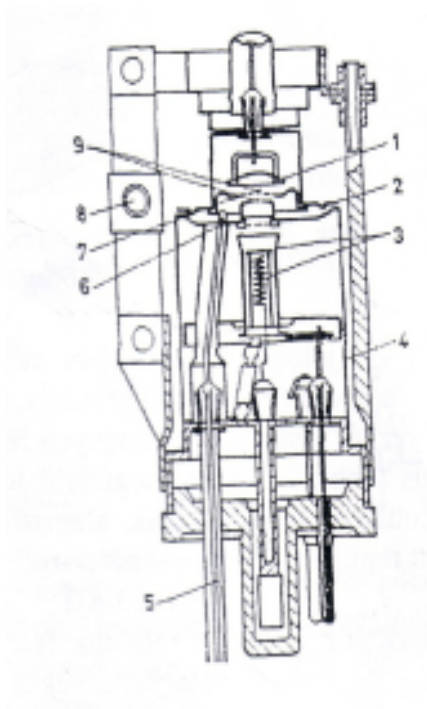
6. ábra: A mérőpad részei

1. Oszilloszkóp
2. Frekvenciamérő
3. Állóhullámarány detektor
4. Al, Fe véglap
5. Tápegység
6. Digitális Voltmérő, rezonátor-repeller feszültség mérésére
7. Voltmérő, rezonátor- katód feszültség mérésére
8. Klisztron
9. Tölcsérantenna

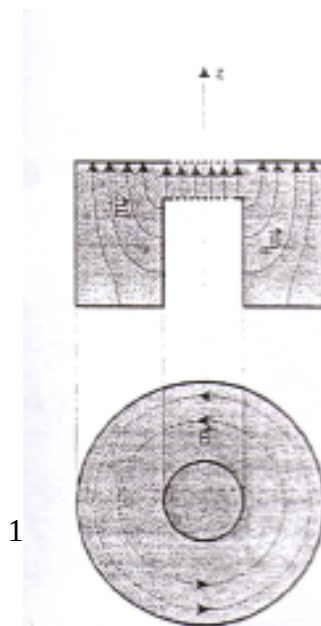


7. ábra: A klisztron metszetrajza valamint az általunk használt példány

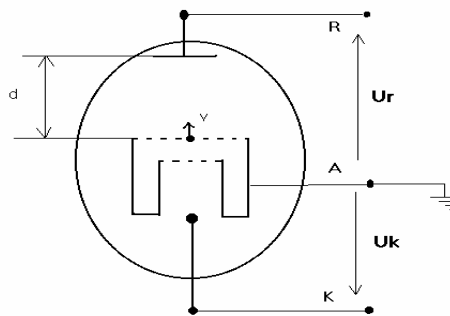
1. reflektor vagy repeller
2. membrán
3. elektronágyú
4. ballon
5. energia-vezeték
6. csatolóhurok
7. rezonanciarés
8. hangolócsavar
9. rácsok



8. ábra: Az üregrezonátor elektromágneses tere és az elektronsugár kötegélődése



9. ábra



Képek – mérések
közben

