

Ismeretlen toroid magjellemzőinek meghatározása

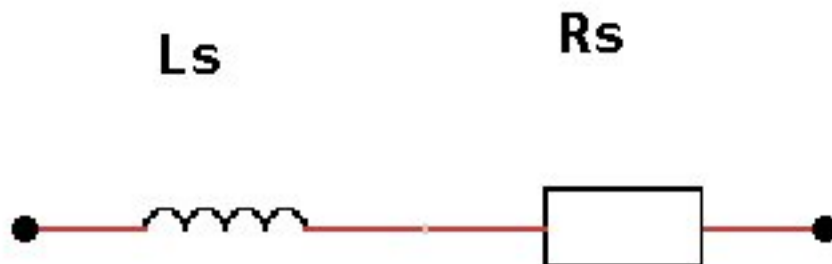
1. Ferrit alapanyagú toroidok jellemzői

A ferrit toroidok a felhasználási célnak megfelelő különféle anyagkeverékekből előállított porkohászati termékek. Általános jellemzőjük a nagy kezdeti permeabilitás és a frekvenciafüggő komplex permeabilitás.

A ferrit alapanyagú toroidok bevonattal általában nem rendelkeznek - kivételek azonban előfordulnak.

Felhasználási területük főleg teljesítményelektronikai, kisfrekvenciás transzformátor és vonaltranszformátor (<1 MHz), nagyfrekvenciás transzformátor, vonaltranszformátor és teljesítmény-vonaltranszformátor, valamint EMI célú (>1 MHz) induktív alkalmazások. Tekintettel arra, hogy a ferritekkel anyagkeverékektől függően a frekvencia növekedésével csökkenő jóságú induktivitás valósítható meg, továbbá az erősen hőmérsékletfüggő komplex permeabilitás és a méretváltozás miatt rezonáns célra csak tág paramétertűrés esetén, főleg kis frekvencián (<1 MHz) alkalmazhatók. Azt is figyelembe kell venni, hogy a magban kialakult örvényáram hatására a mágneses mező nem homogén eloszlású (skin-hatás), emiatt az erővonalasűrűsödés a felület közelében alakul ki.

A ferritanyagok mágneses tulajdonságait soros induktivitással szokás leírni, amelyet az ideális induktivitás és a veszteségi ellenállás jellemez. A mágneses tulajdonságok frekvenciafüggőek, az egyes anyagkeverékekre a gyártó megadja a jelleggörbéket.



$$Z = j \omega L_s + R_s = j \omega L_0 (\mu'_s + j \mu''_s)$$

$$\omega L_s = \omega L_0 \mu'_s$$

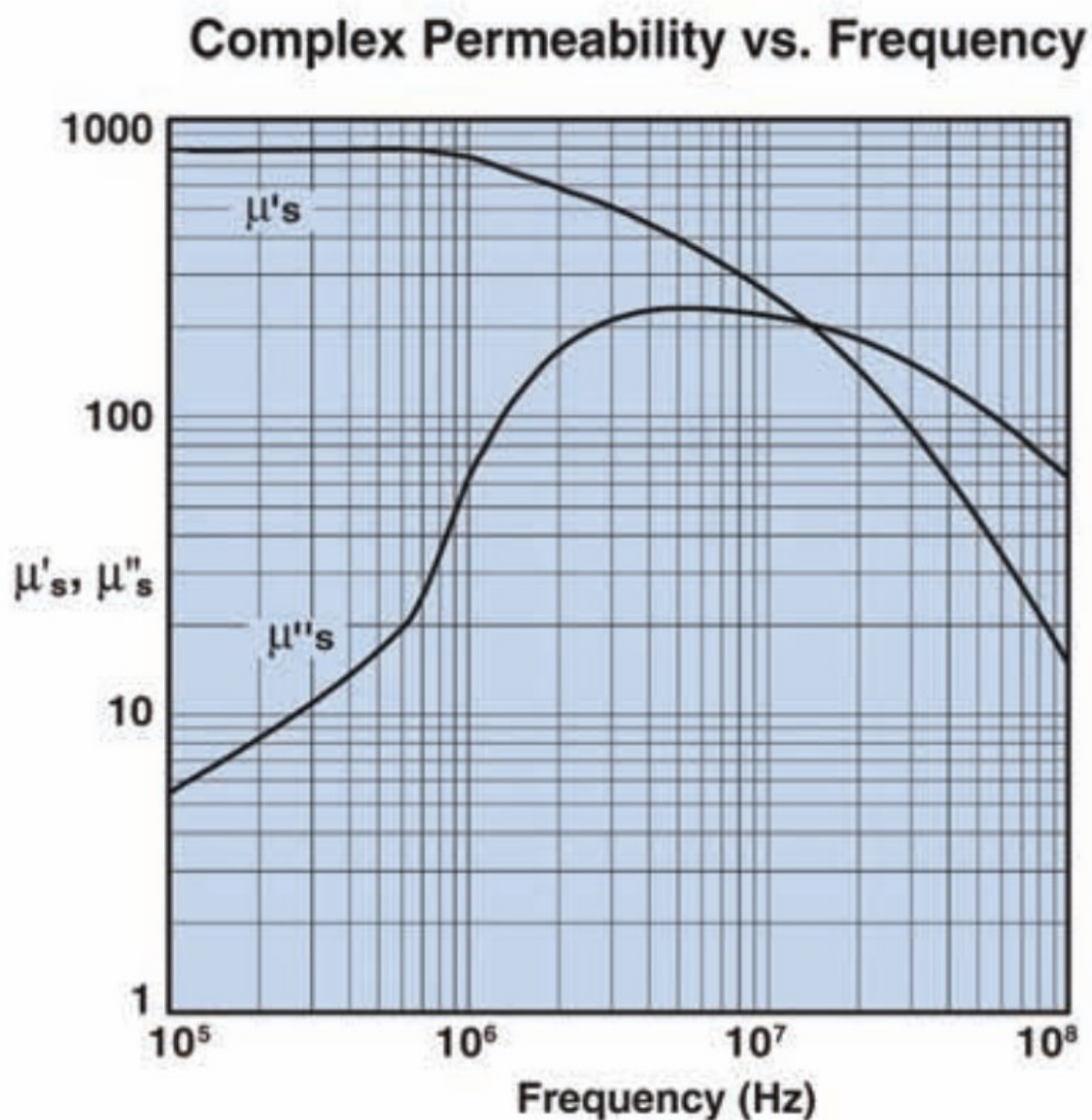
$$R_s = \omega L_0 \mu''_s$$

$$L_0 = 4 \pi N^2 10^{-9} / C \quad \text{ahol } C = \text{formatényező}$$

Komplex permeabilitás: $\mu_c = \sqrt{\mu'^2_s + \mu''^2_s}$

Jósági tényező: $Q = \mu'_s / \mu''_s$

A rövidhullámú tartományba lineáris induktivitású vonaltranszformátor és teljesítmény-vonaltranszformátor, továbbá 20 MHz feletti EMI alkalmazáshoz ajánlott **NiZn** ferrit anyagkeverék (**#43**) gyártó által felvett jelleggörbéi:



Egy adott méretű, menetszámú toroidtekerics induktivitásának kiszámítása egy adott frekvencián:

$$L_{(fx)} = \mu_0 \mu_{c(fx)} n^2 A_e / l = \mu_{c(fx)} n^2 C \quad C = \mu_0 A_e / l$$

ahol

- $L_{(fx)}$ = tekerics induktivitása egy adott frekvencián
- μ_0 = szabad tér permeabilitása = $4 \pi \cdot 10^{-7}$ (H/m)
- $\mu_{c(fx)}$ = a mag komplex permeabilitása az adott frekvencián
- n = menetszám
- C = fomatényező
- A_e = keresztmetszet
- l = közepek erővonalhossz

Megjegyzés: amennyiben a mag és a tekerics között bevonat, szigetelés, eltartás van, azt figyelembe kell venni az induktivitás kiszámításánál.

A gyártó megadja az anyagkeverékre vonatkozó kezdeti permeabilitást (μ_i). A jelleggörbékéből látható, hogy a #43-as keverék esetén ($\mu_i = 800$).kb. 600 kHz-ig fogadható el irányadó értéknek.

A szabványosnak elfogadott ferrit anyagokat és azok kezdeti permeabilitását az alábbi táblázat tartalmazza:

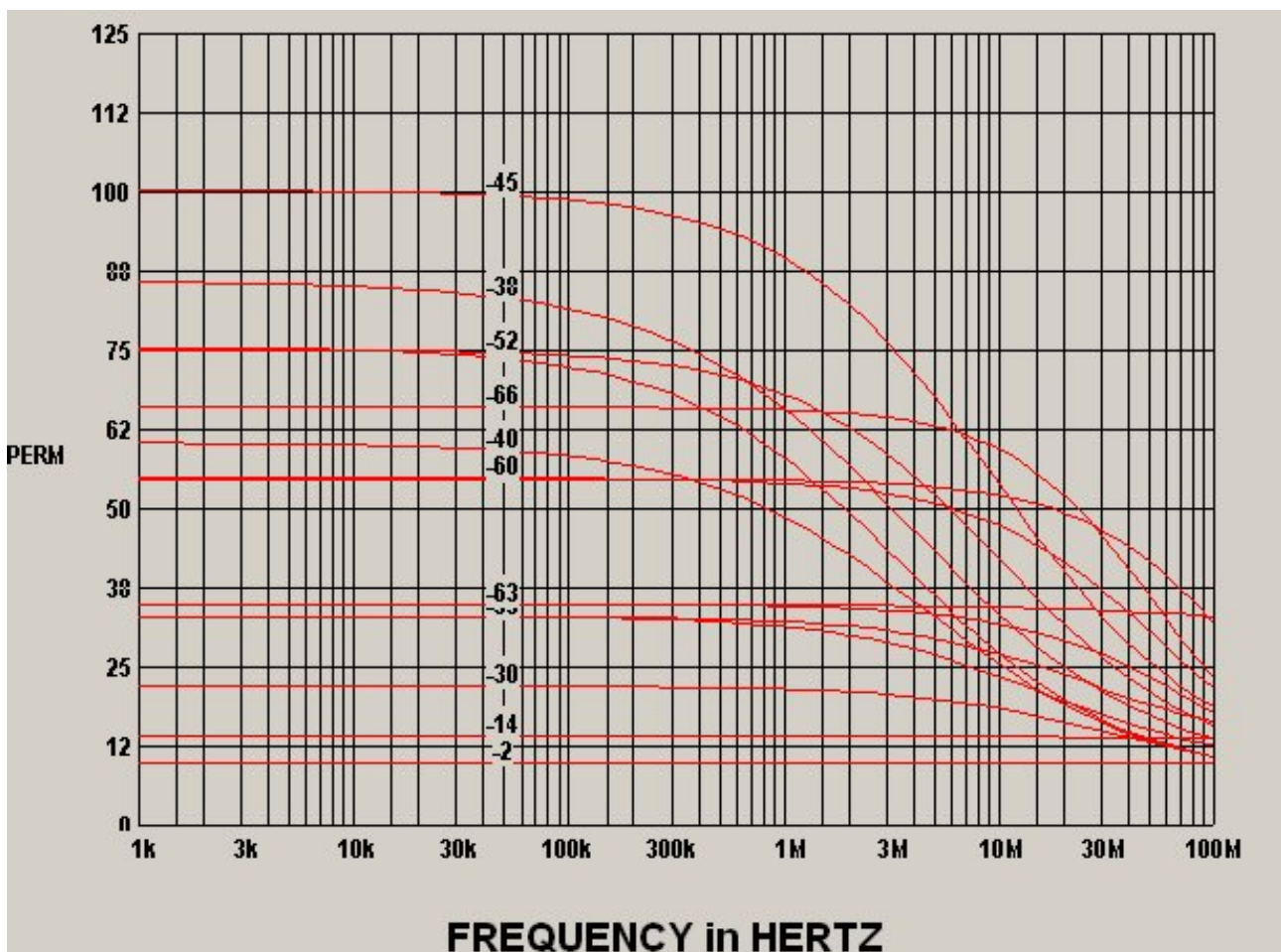
#	68	67	61	52	51	44	46	33	85
μ_i	16	40	125	250	350	500	500	600	600
#	43	79	31	77	78	73	75	76	
μ_i	800	1400	1500	2000	2300	2500	5000	10000	

Megjegyzés: a kezdeti permeabilitás értékek anyagkeveréktől függően 1, 10 vagy 100 kHz-re, illetve 1 MHz-re vonatkoznak. Fontos tudni, hogy a távolkeleti gyártmányok (főleg EMI és teljesítményelektronikai célra készülnek) méreteikben eltérnek a szabványos méretsoroktól, viszont anyagukban a jól bevált keverékrecepteket alkalmazzák. A távolkeletről származó EMI célú ferritek anyagválasztása esetén kevésbé megfelelő (kisfrekvenciás célra ajánlott) összetételekkel lehet találkozni.

2. Porvasmag anyagú toroidok jellemzői

A porvasmagokat általában a kis permeabilitás jellemzi. A magok fizikai és mágneses stabilitása lényegesen jobb, mint a ferriteké. Az ajánlott frekvenciatartományban a kezdeti permeabilitást stabilan megtartják. A gyártó a komplex permeabilitáshoz szükséges adatokat nem adja meg, ezért a kalkulációban $\mu_0 = \mu_c = \mu'_s$ és $\mu''_s = 0$ feltételezéssel élnek a tervezők.

A permeabilitás és a frekvencia összefüggését az alábbi grafikon ábrázolja:



A jól ismert **-2** jelű anyagösszetétel 1 kHz - 100 MHz tartományban $\mu_0 = \mu_c = \mu'_s = 10$ értéket tart, alkalmazása 250 kHz - 40 MHz tartományban ajánlott. A tekercs jósága e tartományban **Q = 80 - többszáz** (ez utóbbi a közepes frekvenciáknál) jellemző értéket vesz fel.

Megjegyzés: A gyártó a permeabilitást μ_i helyett μ_0 szimbólummal jelzi.

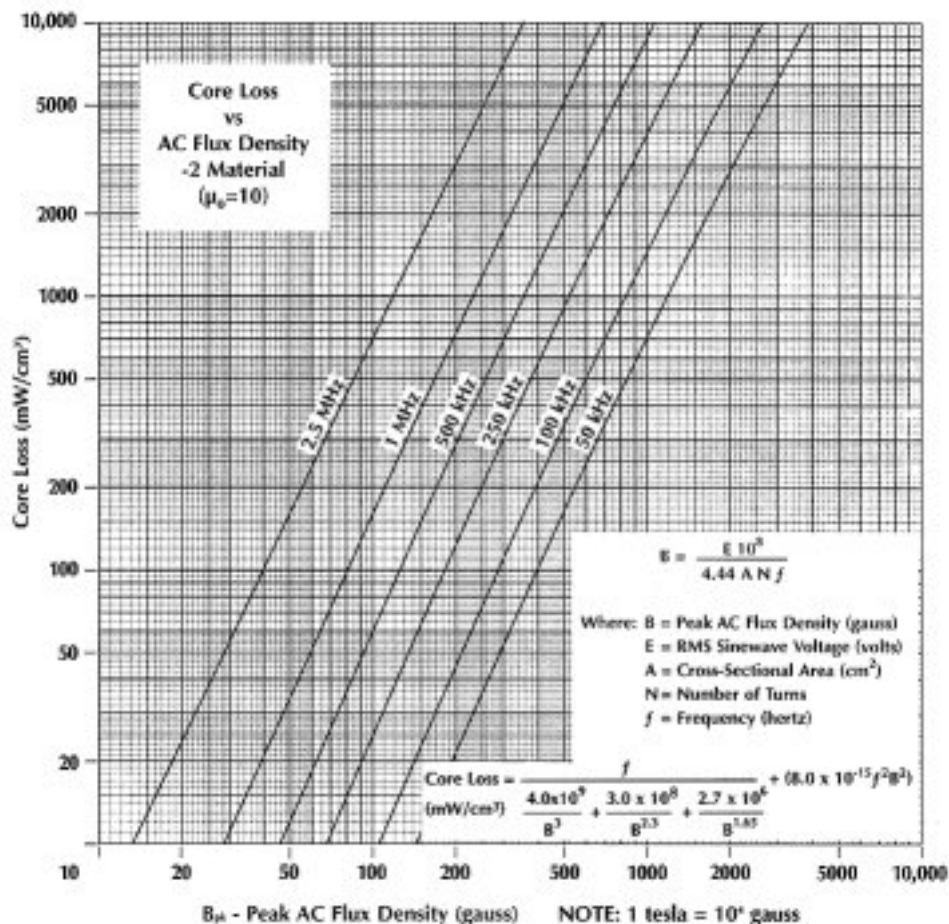
A magok szabványos színű bevonattal rendelkeznek, méreteik szabványosak. E tulajdonságok alapján a porvasmagok kimondottan rezonáns célú alkalmazásokra javasoltak - nagy jóságú rezgőkörök, rezonáns transzformátorok kialakítására kiválóan megfelelnek. A nagy Q, valamint az alacsony és konstans permeabilitás miatt szélessávú vonaltranszformátor

céljára nem alkalmasak. **A porvasmagok permeabilitása a felhasználásukra ajánlott frekvenciatartományban tehát nem függ a frekvenciától. A veszteség frekvenciafüggő és a gerjesztéstől függ. A porvasmag egyéb tulajdonságait a gyártó által megadottak alapján kell figyelembe venni!**

Veszteségszámítás:

http://www.micrometals.com/materials_index.html

-2-es anyag veszteségi jelleggörbéi



Megjegyzés: egyes források szerint a veszteségmérések nem esnek egybe a kalkulált értékekkel.

3. Ismeretlen toroid mérése

Mint a fentiekből látható, a toroidok mágneses tulajdonságait az anyaguk jellemzi. Ahhoz, hogy egy ismeretlen toroid jellemzői felmérhetők legyenek, széles frekvenciatartományban kellene megmérni az induktív tulajdonságokat. E komplex méréssorozat végrehajtására jól felszerelt laboratóriumra lenne szükség, amely képes lenne a frekvencia függvényében mérni az induktivitást, a veszteségi ellenállást (reaktanciát, impedanciát), az anyag mágneses és dielektromos tulajdonságait és ohmikus vezetőképességét.

Amatőr módszerrel kivitelezhető alacsonyfrekvenciás induktivitásmérés, amely célra az LC100-A digitális LC mérő áll rendelkezésre. E műszer tulajdonsága, hogy kijelzhető a mérési frekvencia. Alacsony induktivitások esetén 600-700 kHz frekvenciát választ a műszer, nagy induktivitást néhány száz hertzel mér.

A néhány száz kHz frekvenciatartományban a ferrit próbatekercsének méréséből számított permeabilitás ugyan még közel van a kezdeti permeabilitáshoz tartozó értékhez, ebből már gyanítható, hogy a ferrit melyik szabványos anyaghoz közelálló permeabilitást mutat a mérés frekvenciáján.

A porvasmagok megkülönböztethetők a ferrittől (bevonat, szinkód), ezeknél a permeabilitás kiszámítása meg is mutatja a porvasmag anyagát.

A méréshez felhasználásra került tehát az LC100-A tip. LC mérő, a számításhoz felhasznált szoftver (freeware) minirk12 - Ring Core Calculator Version 1.2 (2005-06) by DL5SWB .

1. mérési példa

Ferritcső, monitor- vagy billentyűzetkábelről bontott, EMI célú alkalmazásra szánt. Fizikai méretek:

OD=18,5 mm

ID=9,5 mm

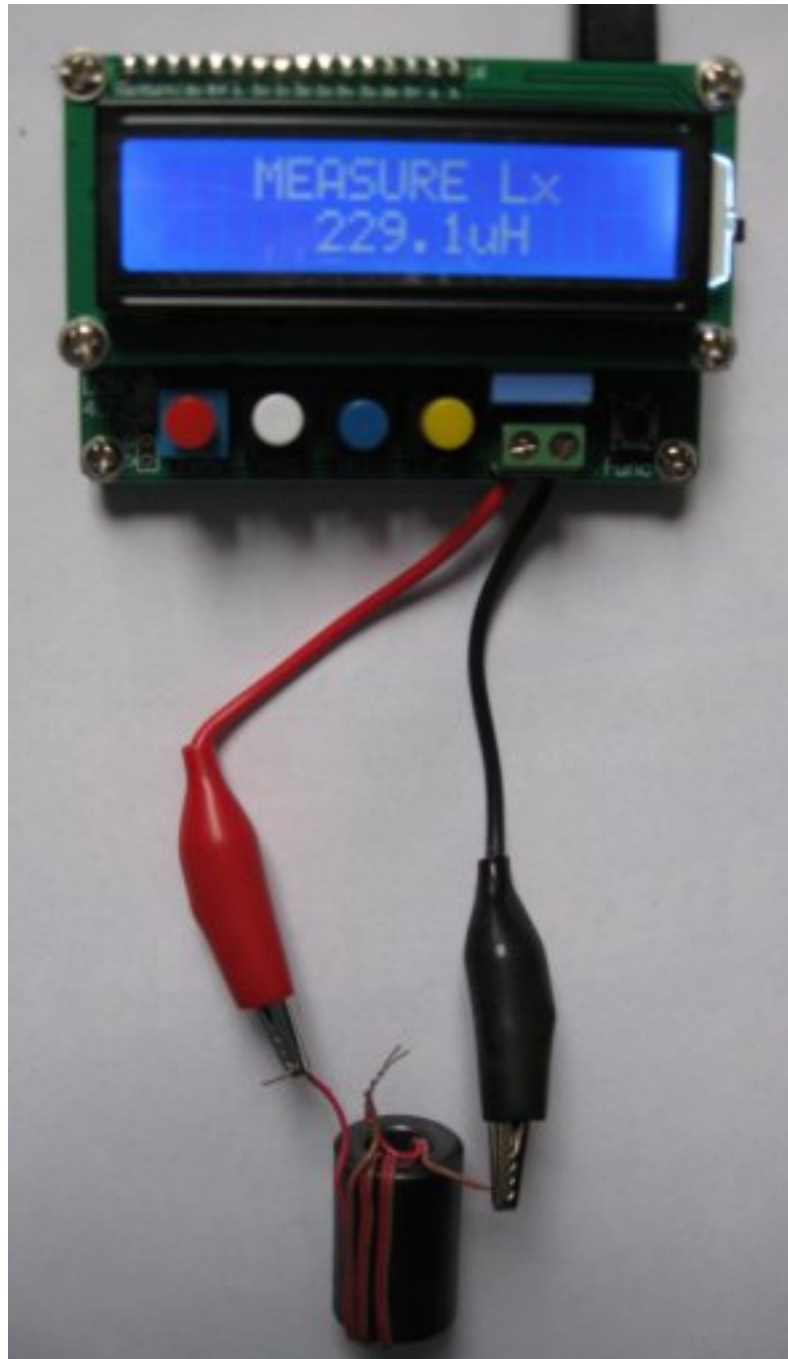
h=27,5 mm

Coating=0,25 mm (becsült érték)

Mérés frekvenciája (f_x): 300 kHz - a műszer által mutatott érték

n=6 (2x3 bifiláris) menet.

Mérési elrendezés:



A mérés frekvenciája $f_x=300$ kHz (func gomb megnyomásakor mutatja a műszer). A mért adatok szoftveres feldolgozása a következő oldalon található:

Determine AL and μ_i

Turns: **6** wound
Inductance: **229.1** μH measured

Calculating core parameters:

OD: **18.5** mm ID: **9.5** mm h: **27.5** mm Coating: **0.25** mm

A_e : **104.9** mm² l_e : **41.5** mm $\Sigma(l_e/A_e)$: **0.4** 1/mm

AL = 6363.89 nH/N² **$\mu_i = 2005.0$**

mini Ring Core Calculator 1.2

Info Tools Language (Sprache) Units Help

A, μ_i Cu $\frac{m}{inft}$?

Iron Powder T... Ferrite FT... SIFFERIT
Ferroxcube **Unknown Cores** Air Cores

Inductance: **229.1** μH AL-Value: **6363.89** nH/N² Turns: **6** =>

Copy AL from Tool

OD: **18.5** mm ID: **9.5** mm h: **27.5** mm => Length [wire]: **39** cm max. D [wire]: **3.17** mm

Copy Dimensions from Tool

Application

Frequency: **300** kHz => $X_L = 431.843$ Ω

Calculating inductance by number of turns

6 N **229.100** μH $X_L = 431.843$ Ω

A mérés alapján kalkulált permeabilitás $\mu_{c(300\text{kHz})} = \underline{\underline{2005}}$

A mérés alapján kalkulált érték nagyon közel áll **#77**-es anyag kezdeti permeabilitásához ($\mu_i = 2000$).

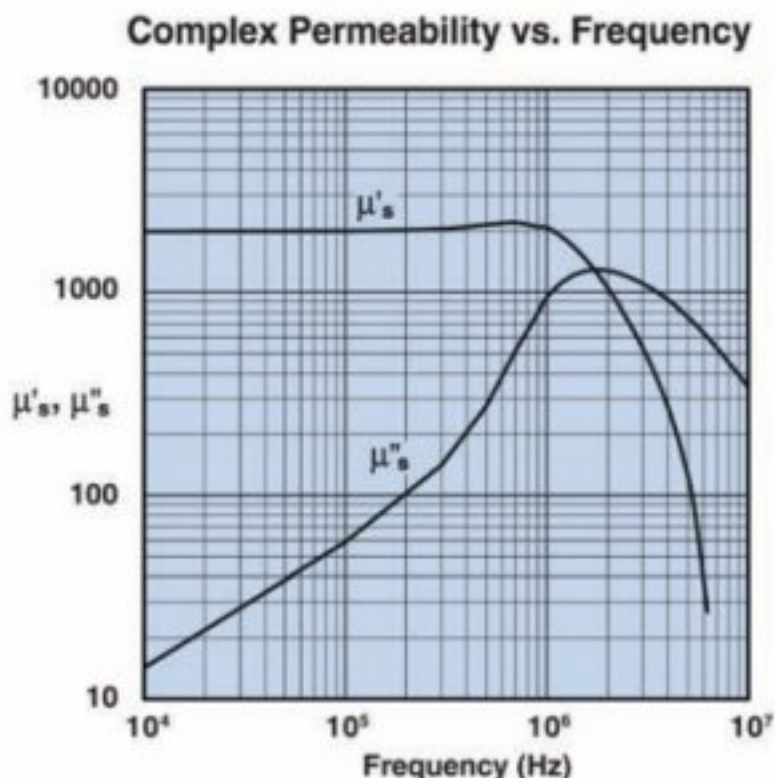
A #77-es anyag jelleggörbéinek leolvasása 300 kHz-en a következő értékeket eredményezi: $\mu'_s = 2000$, $\mu''_s = 140$. A komplex permeabilitás $\mu_c = \text{sqrt}(\mu'^2_s + \mu''^2_s)$, tehát

$$\mu_{c(300\text{kHz})} = \text{sqrt}(2000^2 + 140^2) = \underline{\underline{2004,89}}$$

A tekercs jósága $Q = \mu'_s / \mu''_s$, azaz $Q_{(300\text{ kHz})} = 2000 / 140 = \underline{\underline{14,29}}$

A jelleggörbe alapján kalkulált permeabilitás megegyezik a mérés alapján kalkulált permeabilitással, tehát erősen gyanítható, hogy a mért ferrit - bár nem szabványos méretű, de a **#77-es anyagkeverékből készült**.

Megjegyzés: a gyártó az **MnZn #77**-es anyagkeveréket induktív alkalmazásokra ajánlja **100 kHz**-ig. Ez az anyag sem nagyfrekvenciás EMI, sem nagyfrekvenciás (1-50 MHz) vonaltranszformátor célra nem alkalmas. Ellenállása **100 ohm cm**, ezért 100 kHz felett egyre növekvő skin-hatással kell a magban számolni. A gyártó az ajánlását a #77-es anyagkeverék alábbi jelleggörbéire alapozza:



A jelleggörbékéből jól látszik, hogy 7 MHz-től $\mu'_s = 0$, így $Q = 0$. E magkeverék 7 MHz felett a **növekvő frekvenciával csökkenő valós ellenállásként (μ''_s) működik**. Alkalmazása bármely célra az ajánlott tartományon (≤ 100 kHz) kívül tévedés. Különbféle publikációkban gyakran találkozni #77-es anyagú magokkal 1-30 MHz, illetve e tartományú EMI megoldásokkal - ezen publikációkat ignorálni célszerű.

2. mérési példa

Számítógép tápegység hálózati feszültségű bemeneti oldaláról bontott, ellentétes irányú, műanyag tokba zárt, magtól 1-2 mm-rel eltartott sokmenetes tekercselésű (közösmodusú fojtó) kibontott toroid ferritmagja.

Méretetek:

OD=18,15 mm

ID=13 mm

h=6,2 mm

Coating=0,3 mm (becsült érték)

n=6 menet

Mérés frekvenciája (f_x): 384,2 kHz

Környezeti hőmérséklet $T_{(\text{mérési } ^\circ\text{C})} = 22\text{-}23 \text{ } ^\circ\text{C}$



Mért induktivitás: **113,6 μH**

Mérés alapján kalkulált permeabilitás $\mu_{c(384,2\text{kHz})} = \underline{\underline{9077}}$

Megfeleltetés: **#76-os keverék ($\mu_i = 10000$)**, mert az adott anyagra megadott hőmérséklet-permeabilitás jelleggörbe szerint $\mu_{i(22\text{-}23 \text{ } ^\circ\text{C})} \sim \underline{\underline{9000}}$.

Kalkulált jóság $f_x = 384,2$ kHz-en $10000/1180 = 8,47$, a maganyag ellenállása **50 ohm cm**, reaktancia $f_x = 384,2$ kHz-en és $\mu_c(22-23 \text{ °C}) = 9077$ mért értéknél **274,23** ohm.

Megjegyzés: nagy permeabilitású, kis tömegű anyagkeverék esetében a környezeti hőmérséklet (légáramlás, közeli megvilágítás hője) a mérhető induktivitást, ezzel a komplex permeabilitás kalkulációt jelentősen befolyásolja.

4. Összefoglalás

Az ajánlott mérési eljárás alapján kalkulált adatok segítik az ismeretlen toroidok tulajdonságainak valószínűsítését. Figyelembe kell venni azt, hogy teljes bizonyosságot csak széles frekvenciasávban végrehajtott komplex mérések szolgáltathatnak.

Hatékony nagyfrekvenciás EMI célú anyagkeverékek: **#73** (1-25 MHz), **#31** (1-300 MHz), **#43, #44 és #46** (20-300 MHz), **#61** (200+ MHz).

Nagyfrekvenciás lineáris induktivitású vonaltranszformátor, teljesítmény-vonaltranszformátor célra alkalmas anyagok: **#43** (1-50 MHz), magasabb frekvenciákra **#61** és **#67**.

A ferritek érzékenyek a mechanikai behatásokra, a Curie-pontot meghaladó hőterhelésre és a telítési határ túllépésére. E három hatás közül bármelyik a mágneses tulajdonságok végleges megváltozását, elvesztését okozza. A ferritek tulajdonságainak jobb kiismerése céljából ma is kutatások folynak.

Összeállította: HA2MN

2015-04-28

Irodalom:

- Fair-Rite publikációk
- Micrometals publikációk
- owenduffy.net