

Vasmagok jellemzőinek mérése

2017.02.11.

Összeállította: Mészáros András

Műszerek és kellékek:

- Mérődoboz,
- Mérendő transzformátorok,
- Kondenzátorok 3 db,
- 0-24V toroid transzformátor,
- Hameg HM8012 digitális multiméter 1 db,
- Hameg HM303-6 oszcilloszkóp,
- BNC-BNC mérővezetékek 2 db.

A foglalkozásban taglaltakhoz erősen ajánlott a dr. Szentiday Klára és Baumann Péter által írt Passzív Áramköri Elemek című jegyzet idetartozó fejezeteinek áttanulmányozása (4. fejezet 107-168. oldal), valamint a Passzív Áramkörök előadás témához kapcsolódó órai jegyzete:

<http://mti.kvk.uni-obuda.hu/adat/tananyag/passziv/Passziv5MagnesesKorok2014.pdf>

A mérés célja tekercsekben és transzformátorokban vasmagként használt ferromágneses anyagok a gyakorlatban lényeges fizikai jellemzőinek meghatározása.

Ide tartoznak:

- Koercitív erő (H_C),
- Maximális indukcióhoz tartozó mágneses térerősség (H_0 vagy H_{max}),
- Maximális indukció (B_0 vagy B_{max}),
- Remanens mágnesség (B_R),
- Relatív permeabilitás (μ_r)
- Fajlagos induktivitás (A_L).

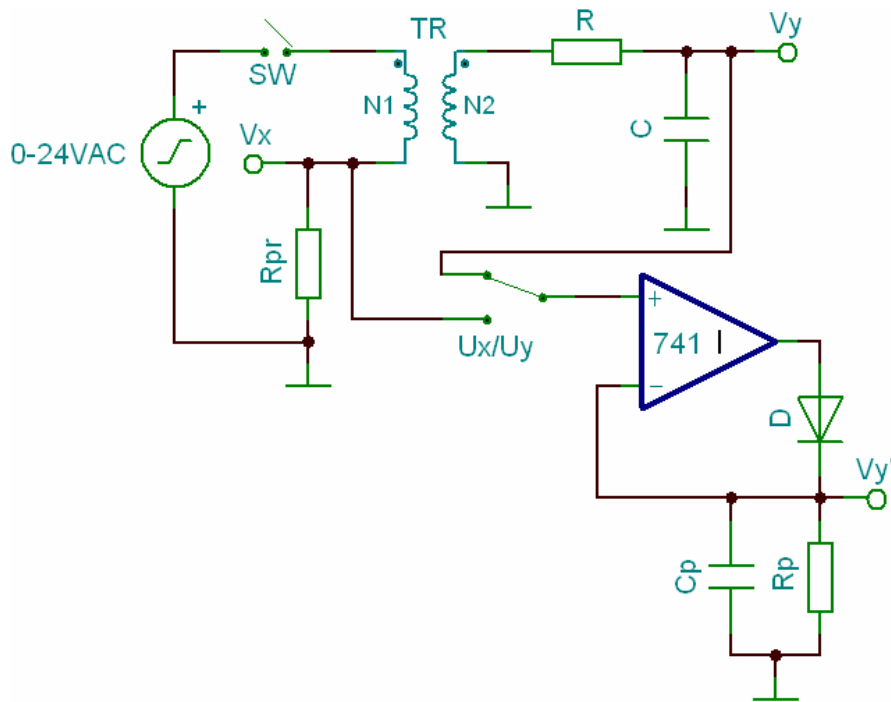
Elméleti összefoglalás:

A mérésben releváns mágnességgel kapcsolatos alapfogalmak:

- Közepes mágneses úthossz (l_m): A vasmagban körbeheladó mágneses erővonalak átlagos úthossza méterben vagy mm-ben.
- Mágneses keresztmetszet (A_m): a tekercs belsejében elhelyezkedő vasmag keresztmetszete m^2 -ben vagy cm^2 -ben kifejezve.
- Primer és szekunder tekercsek menetszáma (N_{pr} és N_{sz}); dimenzió nélküli mennyiség.
- Mágneses térerősség (H): mértékegysége A/m. Egyenesen arányos az őt létrehozó tekercs menetszámával (N_{pr}) és az azon átfolyó árammal (I_{pr}), egyúttal fordítottan arányos a közepes mágneses úthosszal (l_m).
- Fluxus (Φ ; fi): mértékegysége Wb (Weber): A primer tekercs által keltett mágneses erővonalak összessége.
- Indukció (B): mértékegysége T (Tesla) a mágneses erővonalak sűrűsége (Φ), vagyis a fluxus adott mágneses keresztmetszet (A_m) mellett, ezért fluxussűrűségnek is nevezik.
- Remanens mágnesség (B_R): adott H mágneses térerősség után visszamaradó mágnesezettség.
- Koercitív erő (H_C): a B_R remanens mágnesség kioltásához szükséges ellenirányú mágneses térerősség.
- Permeabilitás (μ): A H mágneses térerősség és B mágneses indukció közötti arányossági tényező.
- Abszolút permeabilitás (μ_0): referenciaérték, vákuumra jellemző fizikai állandó; értéke: $4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am.
- Relatív permeabilitás (μ_r): az adott anyagra jellemző permeabilitás mértéke a vákuuméhoz képest; dimenzió nélküli.
- Fajlagos induktivitás (A_L): mértékegysége nH (nanoHenry), adott vasmagra jellemző mennyiség, pusztán a fizikai jellemzők ismeretében meghatározható, katalógus adat.
- Induktivitás (L): mértékegysége H (Henry), a fajlagos induktivitás és a menetszám négyzetének szorzatával számolandó.

A mérés menete, szükséges formulák:

Kiindulási adatok: $U_x, U_y, R_{pr}, I_m, A_m, N_{pr}, N_{sz}, R, C$			
I.	Primer áram (I_{pr}):	$I_{pr} = \frac{U_x}{R_{pr}}$	$[A] = \frac{[V]}{[\Omega]}$
II.	Mágneses térerősség (H):	$H = \frac{N_{pr} \cdot I_{pr}}{l_m}$	$\left[\frac{A}{m}\right] = \frac{[1] \cdot [A]}{[m]}$
III.	Fluxus (Φ):	$\Phi = U_y \frac{RC}{N_{sz}}$	$[Wb] = [Tm^2] = [Vs] = [V] \frac{[\Omega] \cdot [F]}{[1]}$
IV.	Indukció (B):	$B = \frac{\Phi}{A_m}$	$[T] = \left[\frac{Vs}{m^2}\right] = \frac{[Vs]}{[m^2]}$
V.	Remanens mágnesség (B_R):	$B_R = \frac{\Phi}{A_m} \Big _{H=0}$	$[T] = \left[\frac{Vs}{m^2}\right] = \frac{[Vs]}{[m^2]}$
VI.	Koercitív erő (H_C):	$H_C = \frac{N_{pr} \cdot I_{pr}}{l_m} \Big _{B=0}$	$\left[\frac{A}{m}\right] = \frac{[- \cdot A]}{[m]}$
VII.	Relatív permeabilitás(μ_r):	$\mu_r = \frac{B}{H \cdot \mu_0}$	$\left[\frac{Vs}{Am}\right]$
VIII.	Fajlagos induktivitás (A_L):	$A_L = \mu_0 \cdot \mu_r \frac{A_m}{l_m}$	$[nH] = \left[\frac{Vs}{Am}\right] \cdot [1] \cdot \frac{[m^2]}{[m]} \cdot 10^{-9}$
IX.	Induktivitás(L):	$L = N^2 \cdot A_L$	$[H] = [1] \cdot [nH]$



1. ábra: A mérőáramkör

Az ismeretlen anyagi jellemzőkkel bíró vasmagot egy N_{pr} primer tekercs segítségével gerjesztünk úgy, hogy annak megtáplálását egy állítható kimeneti feszültségű (toroid) transzformátorral biztosítjuk. A beállított feszültségnek megfelelően I_{pr} áram indul meg a primer tekercsen **(I.)**, mellyel egyenes arányosságban létrejön a vasmagban a H mágneses térerősség **(II.)**. I_{pr} áram pontos értéke az R_{pr} ellenálláson eső feszültségből meghatározható.

A vasmagban a szinuszosan váltakozó primeroldali táplálás miatt szintén szinuszosan váltakozó Φ fluxus, illetőleg a vasmag A_m keresztmetszetével arányosan B indukció jön létre.

Az U_{sz} szekunder feszültség a vasmagban jelen lévő fluxusváltozás végett indukálódik (elektromágneses indukció törvény), azaz a szekunder feszültség a fluxusváltozás idő szerinti elsőrendű deriváltja ($d\Phi/dt$), ezért a kimeneten fellépő fáziseltolódást egy integráló kapcsolással (RC tag) kell kompenzálni **(III.)**. Az így kapott, fázisban korrigált szekunderoldali feszültség az U_Y .

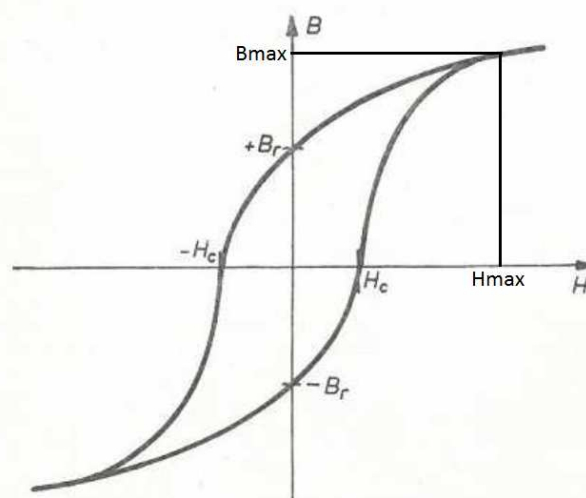
A Φ fluxus és az A_m mágneses keresztmetszet ismeretében a B elektromágneses indukció egyértelműen meghatározható a mágnesezési görbe minden pontján **(IV.)**.

Adott B_R remanens mágnességhez **(V.)** tartozó H_c koercitív erő is minden esetben meghatározható **(VI.)**.

A μ_r relatív permeabilitás B indukció és H elektromágneses térerősség értékének ismeretében kiszámolható **(VII.)**, továbbá az is, hogy nagysága miként függ a H térerősségtől. A képletek alapján látni, hogy a H térerősség, mint bemeneti és B indukció, mint kimeneti paraméterek között egyenes arányosságnak kellene fennállnia. A mágneses hiszterézist a vasmagban található mágneses domének véges irányba fordulási ideje, valamint az aktuális elfordulásukhoz képesti előző állapotuk okozza.

A vizsgált vasmag permeabilitás értékének meghatározását követően, a fizikai méretek ismeretében számítható az A_L fajlagos induktivitás **(VIII.)**, mely rend szerint egyúttal az adott anyagra jellemző katalógus adat.

Ezen A_L fajlagos induktivitásérték és a menetszám négyzetének szorzatával számolható az induktivitás körülbelüli értéke, vagyis segítségével lehet induktív elemeket méretezni **(IX.)**.



2. ábra: Hiszterézis-, avagy BH-görbe

Mérési feladatok:

A foglalkozás során bemérésre kerülő három transzformátor magja:

1. lemezelt EI,
2. hiperszil,
3. ferrit.

A számítások egyszerűsítésének érdekében a primer- és szekunderoldali menetszám egyaránt 100. A primeroldali mérőellenállás hozzávetőleges értéke 11Ω , a szekunderoldali integrátor ellenállása $150k\Omega$, kondenzátora pedig $570nF$.

A mérődobozban beépítésre került egy csúcsérték egyenirányító (Peak Detector), ezzel megkönnyítve az U_Y kimeneti feszültség, valamint az I_{pr} gerjesztőárammal arányos U_X feszültség mérését. A mérődoboz alján található billenő kapcsolóval lehet kiválasztani, hogy a két feszültségérték közül melyiket mérhessük az U_Y' kimeneten.

A gerjesztőárammal arányos U_X feszültséget a csúcsérték egyenirányítóval csak kb. 10V értékig mérjük, azt meghaladva hagyatkozunk az oszcilloszkópról történő leolvasási pontosságra.

A csúcsérték egyenirányító tápfeszültsége $\pm 15V$, körülbelül 20mA áramkorláttal. Mivel a mérendő szekunderoldali feszültségértékek pontos leolvasása kritikus a mérés szempontjából, ezért a műveleti erősítő áramkör ofszethibájával kompenzálni kell a leolvasott eredményeket.

- 1) Célszerű az oszcilloszkópot a mérés megkezdésekor áram alá helyezni a benne található mérőáramkörök hőmérsékletfüggése végett.
- 2) Tolómérő vagy vonalzó segítségével határozzuk meg a mérésben használt mérőtranszformátorok I_m és A_m méreteit a mellékelt mintákról.
- 3) Mérjük meg az R_{pr} mérőellenállás pontos értékét HM8012 multiméter segítségével.
- 4) Biztosítsuk a 0-24V szabályozható toroid transzformátor tápellátását valamelyik, a mérőhelyen található 24V-os dugalj segítségével. Két banándugós vezeték felhasználásával kössük össze a toroid transzformátort a mérőpanel bemenetével; először a mérőpanelba dugjuk a vezetékeket, csak aztán a transzformátor dugaljába (ezzel elkerülve az esetleges zárlatot)! A bemenet egyelőre a mérőpanelon található főkapcsoló segítségével maradjon lekapcsolva, a transzformátor pedig 0 kimeneti feszültségállásban legyen.
- 5) Adjunk a fentebb említetteknek megfelelően tápfeszültséget a csúcsérték egyenirányító számára ($\pm 15V$, körülbelül 20-30mA áramkorlát). Vezéreltlen állapotban (vagyis a főkapcsoló továbbra is legyen lekapcsolt állapotban) mérjük meg az egyenirányító kimeneti ofszet feszültségét (mV nagyságrend)! A továbbiakban ezzel az értékkel minden mérést kompenzálni kell!
- 6) U_X és U_Y kimeneti pontokat BNC-BNC kábellel oszcilloszkópra, U_Y' pontot pedig BNC-banán vezetékkel csatlakoztassuk a multiméterre.

- 7) Helyezzük be az első mérendő transzformátort (a primer tekercs a vastagabb, vagy a transzformátorok hordozó lemezének lekerekített sarka kell, hogy kerüljön a mérődobozra bal-felülre).
- 8) Kapcsoljuk fel a mérődoboz főkapcsolóját. Fokozatosan növeljük a primer feszültséget, közben állítsuk az oszcilloszkóp bemeneti fokozatait megfelelő feszültség alapba, hogy a mágnesezési görbét megfelelően lássuk.
- 9) Ismét nulla bemeneti jelszintről indulva fokozatosan és kis léptékben növeljük a gerjesztést, közben rögzítsük U_X és U_Y csúcsértékeket (peak detector segítségével). Nagyobb feszültségek esetén ritkásabban is fel lehet venni a mérési pontokat, de legalább 15 pont kerüljön rögzítésre, ahol a legutolsó a vasmag telítésbe vitt állapotához tartozik.
- 10) Rögzítsük az oszcilloszkópon kirajzolt BH-görbét legalább kettő esetben léptékhelyesen! Az egyik legyen a telítésbe vitt állapothoz tartozó jelleggörbe.
- 11) Határozzuk meg (Excel táblázatkezelő használata erősen javasolt) az alábbiakat: I_{pr} , H , Φ , B , μ_r , H_{max} , B_{max} , B_R , H_C , A_L és L értékeket a felvett U_X és U_Y feszültségek csúcsértékének ismeretében (offset-kompenzálás!)
- 12) A 12. pontban számított értékek alapján ábrázoljuk H függvényében a μ_r és L változását!
- 13) Ismételjük meg a 8-12. mérési pontokat a másik két transzformátorral is!
- 14) Ábrázoljuk a 10. mérési pontban kapott, a három vasmaghoz kapott telítési görbét közös koordináta rendszerben!
- 15) A mért értékek, a kapott jelleggörbék és a transzformátorok ismert fizikai méretei alapján értékeljük ki a mérést!