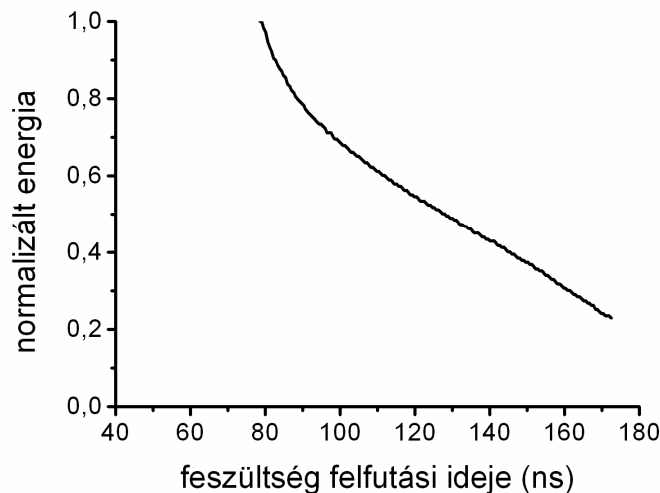


Mágneses telítődésen alapuló impulzus kompresszió vizsgálata.

I. Excimer lézerek gázkisüléssel történő gerjesztése mágneses impulzus kompresszió elvén működő gerjesztő körökkel

Az excimer (excited dimer) lézerek aktív közege egy speciális gázkeverék (pl.:KrF, XeCl, ArF...), a melyet elektromos gázkisüléssel vagy elektronsugárral is gerjeszthetünk. Gázkisüléssel táplált lézerek esetében különösen fontos a homogén kisülés létrehozása ugyanis ennek minősége döntően meghatározza a lézernyaláb homogenitását, minőségét. Az excimerben homogén gázkisülés létrehozásának egyik szükséges feltétele az elektrodákon a feszültség gyors felfutása.

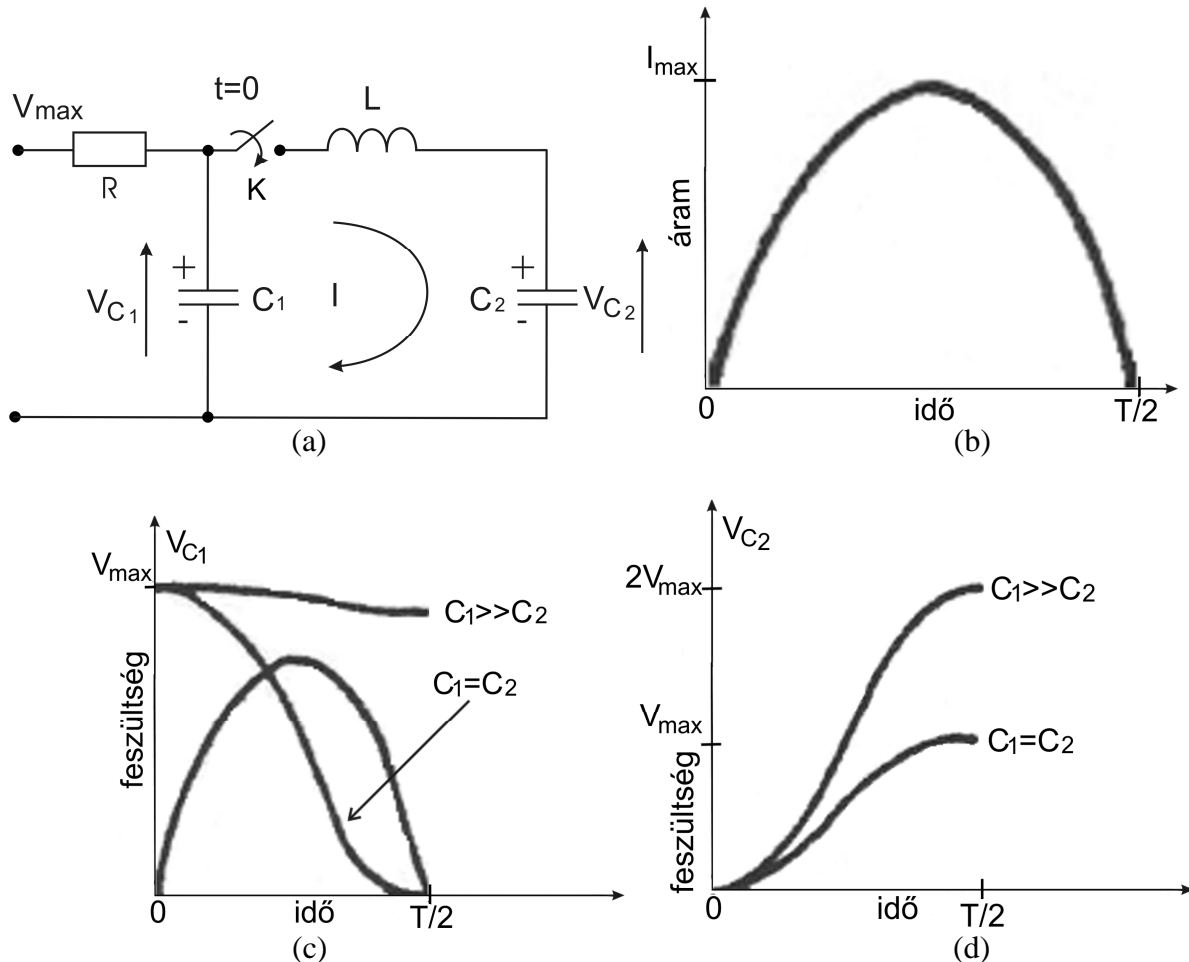
KrF lézerrel végzett kísérletek eredményeként azt nyerték, hogy a gerjesztő feszültségimpulzus felfutási ideje jelentősen befolyásolja a lézer kimenő energiáját (1. ábra). A kísérletek során a feszültségimpulzus felfutási idejét a gerjesztő áramkörbe szerelt - különböző induktivitású - tekercsek segítségével változtatták.



1. ábra A KrF lézer impulzusainak energiája gerjesztő feszültségimpulzus felfutási idejének függvényében.

Az 1. ábráról leolvasható, hogy a KrF lézer gázkisüléssel történő gerjesztése igen meredek felfutású feszültségimpulzusokat igényel, a felfutási idő növekedése a kimenő energia csökkenéséhez vezet. Az úgynevezett C-C áttöltés és az impulzuskompresszió elvén működő áramköröket sikeresen alkalmazták excimer lézerek gázkisüléssel történő gerjesztésére. A gyakorlat célja ezeknek az áramköröknek a vizsgálata. A következőkben rövid áttekintést nyújtunk a C-C áttöltés és a mágneses impulzuskompresszió elvén működő gerjesztő körökről.

A hagyományos nagy teljesítményű, impulzusüzemű áramforrásokban az egyenáramú áramforrásból származó energia – egy gáztöltésű vagy szilárdtest kapcsolón keresztül – egy köztes tároló egységbe (pl. kondenzátorba) jut, majd onnan – egy másik kapcsolón (pl. egy mágneskapcsolón) keresztül – jut a fogyasztóra. A köztes tároló egység feltöltéséhez szükséges időtartam a fogyasztóra kapcsolt feszültségimpulzus hosszához viszonyítva általában hosszú. Az egyenáramú áramforrás és a fogyasztó közötti tároló egységek száma növelhető. Mivel megfelelő tervezés esetén az egyes tárolóegységeken az elektromos energia egyre rövidebb idő alatt jut át, így a pillanatnyi teljesítmény növelhető. A legtöbb impulzusüzemű, nagyteljesítményű, nagyfeszültségű áramforrás a C-C áttöltés (vagy rezonáns töltés) elve alapján működik (a 2. ábrán a C₁-C₂ kondenzátorok).



2. ábra. A C-C áttöltés elvén működő áramköri kapcsolás (2.(a)) és jellemző áram-idő (2.(b)) és feszültség-idő(2.(c)-(d)) görbéi.

Ebben az áramkörben (2.(a)) egy egyenáramú áramforrás töltse fel a C_1 kondenzátort V_{\max} feszültségre. Ha a K kapcsolót - $t = 0$ időpillanatban – zárjuk, akkor a C_1 kondenzátorban tárolt energia az L induktivitáson keresztül a C_2 kondenzátorba töltődik át. Az áramkörben folyó áram alakja szinuszos, és ha nincs ohmos veszteség, akkor a következőképpen írható fel:

$$I(t) = I_{\max} \sin \omega t , \quad (1)$$

ahol

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L_T C_T}} , \quad (2)$$

ahol L_T az áramkör teljes induktivitását, és C_T az összes kapacitását jelenti. Ez utóbbi mennyiséget a

$$C_T = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad (3)$$

összefüggés alapján számíthatjuk ki.

A rezgés periódusideje:

$$T = 2\pi\sqrt{L_T C_T} . \quad (4)$$

Az 2.(a) ábrán látható áramköri kapcsolásra vonatkozó egyik fontos jellemző mennyiség a maximális *energiatranszfer* (E_T), amelyet az

$$E_T = \int_0^{T/2} I(t)V(t)dt \quad (5)$$

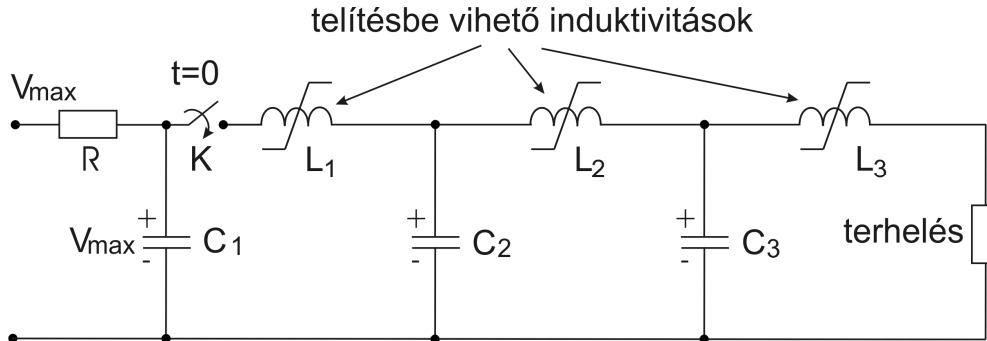
összefüggés határoz meg. Itt nem részletezett számítások alapján az 2. ábrán a (b)-(d) görbék a C-C áttöltés elvén működő kapcsolásnak két fontos tulajdonságát mutatják:

1) Ha ohmos veszteség nincs és $C_1 = C_2$, akkor a C_1 -ben tárolt energia teljes egészében C_2 -be jut.

2) Ha $C_1 \gg C_2$, akkor a C_2 -n mérhető feszültség maximuma a C_1 -en mérhető maximális feszültség közel kétszerese.

Az előzőekben ismertetett analízis legfontosabb eredménye az, hogy ha V_{max} maximális feszültség esetén $T/2$ idő alatt kívánunk E_T energiát juttatni C_2 -re, akkor az áramkör teljes induktivitása nem haladhatja meg az L_T -t. Az áramkör teljes induktivitásának jelentős részét a vasmaggal ellátott tekercsek induktivitása teszi ki. Abból a célból, hogy az energiatranszfer maximális legyen, célszerű az áramköri elemeket úgy méretezni, hogy azok induktivitása elhanyagolható legyen a vasmagos tekercsek induktivitásához képest.

Az 3. ábrán egy soros kapcsolású mágneses impulzuskompresszor kapcsolási rajzát láthatjuk.

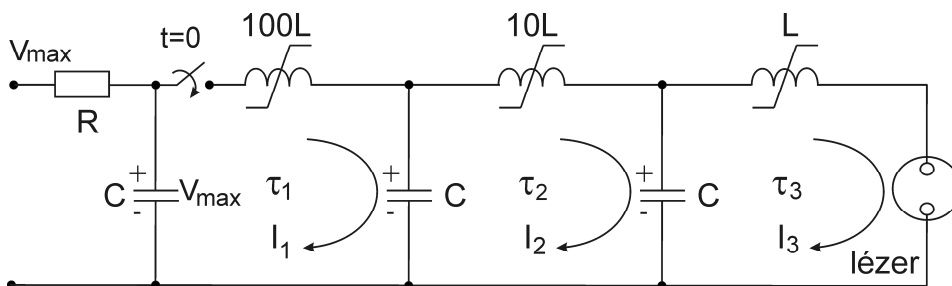


3. ábra. Három-lépcsős, soros kapcsolású mágneses impulzuskompresszor.

Az 3. ábrán látható áramkörben kapcsolóként (K) szokásosan tirátront vagy szikraközt alkalmaznak. Ebben az esetben a K kapcsolóelemen átfolyó maximális áram nagyságát az L_1 mágneskapcsoló korlátozza. Az áramkört alkotó egyes mágneskapcsolókat (L_1 , L_2 , L_3) úgy tervezik meg, hogy azok akkor kerüljenek telített állapotba, ha az áramkör előző egységében jelenlevő kondenzátor V_{max} maximális feszültségre töltődött.

Mivel az 4. ábrán látható soros kapcsolású impulzuskompresszorban az egyes egységekhez rendelhető rezonanciafrekvencia a lánc vége felé haladva (balról jobbra) nő, ezért a láncban áramerősítés lép fel. A rezonanciafrekvencia növekedését itt az - egyes egységekhez tartozó - mágneskapcsolók telített állapotához tartozó induktivitások fokozatos csökkentésével valósították meg.

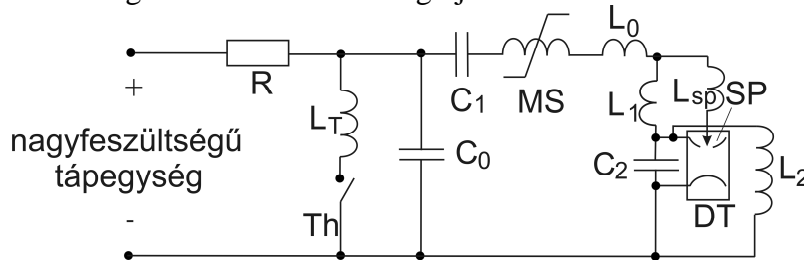
Ha az ohmos veszteségek elhanyagolhatók és az áramkörben minden kapacitás értéke ugyanakkora, akkor a terhelésen (a 4. ábra: a lézer) megjelenő feszültség egyenlő a kezdeti V_{max} feszültséggel, és így az energiatranszfer hatásfoka 100% lesz. Az 4. ábrán látható kapcsolás esetén az impulzuskompresszió: $\tau_1 / \tau_3 = \sqrt{50} \approx 7$, és az áramerősítés: $I_3 / I_1 = \sqrt{50} \approx 7$.



4. ábra. Soros kapcsolású mágneses impulzuskompresszor, amelyben az áram az egyes áramköri egységekben fokozatosan erősödik.

A C-C áttöltés és az impulzuskompresszió elvén működő áramköröket sikeresen alkalmazták excimer lézerek gázkisüléssel történő gerjesztésére.

Az 5. ábrán a gyakorlaton vizsgálandó excimer lézer gerjesztő körének sematikus rajza látható.



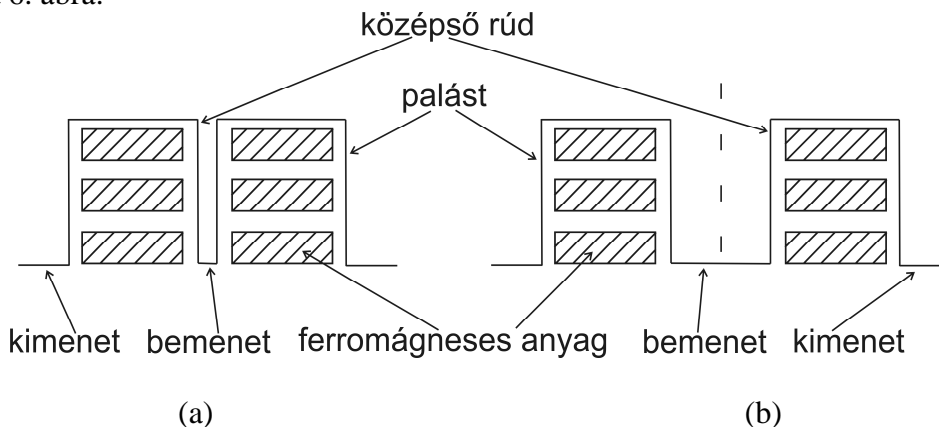
5. ábra. L-C inverziós gerjesztő kör.

Azokban a lézerekben, amelyekben az MSC (Magnetic Switch Control) technológiát alkalmazzák (az MSC technológiát 1983-ban szabadalmaztatták), a tirátronok élettartama megnövekszik. Az MSC technológiával felszerelt lézerek előnye a mágneskapcsoló nélküli készített lézerekhez képest az, hogy a mágneskapcsoló elválasztja egymástól a gázkisülést közvetlenül tápláló (a peaking kondenzátorokat tartalmazó) gyors, kis periódusidejű rezgőkört a tirátron rezgőkörétől. Az MSC technológia lehetővé teszi, hogy mindkét rezgőkör tulajdonságait optimálisan alakíthassuk. Az optimálisan kialakított L-C inverziós áramkörrel

1. a tirátronra eső feszültség és a rajta átfolyó áram a tirátron határértékei (maximális áram és feszültség) alá csökkenthető, és
2. a gázkisülés kis impedanciás, gyors áramkörrel táplálható.

A méréseket L-C inverziós áramkörön végezzük, ennek működését részletesebben az 5. ábra alapján ismertetjük. A nagyfeszültségű tápegység az R zavarszűrő ellenálláson és az L_2 induktivitáson keresztül feltölti a C_0 és C_1 kondenzátorokat egy előre meghatározott értékre. Ezután a tirátron (Th) vezérlő rácsára indító impulzust kapcsolunk, amelynek hatására a tirátron zár. Ekkor az L_T - C_0 -Th áramköri elemek által alkotott rezgőkörben elektromos rezgés keletkezik, miközben a mágneskapcsoló nyitott állapotban van. A telítési fluxust úgy állítják be, hogy a mágneskapcsoló akkor kerüljön telített állapotba, amikor a C_0 feszültsége eléri a kezdeti értékének -1 szeresét. Miután a mágneskapcsoló zárt állapotba került a C_0 és C_1 kondenzátorokat elektromos szempontból sorba kapcsolunk tekinthetjük és ezek a kondenzátorok - az MS mágneskapcsolón és a SP előionizáló szikraközökön keresztül - töltik a peaking (C_2) kondenzátort (l. 5. ábra). A lézerbe általában több tíz előionizáló szikraközt szerelnek, az előionizáció homogenitásának érdekében gondoskodni kell azok egyforma elektromos táplálásáról. Minden szikraközhez kapcsolt L_{SP} induktivitás feladata az, hogy elősegítse az elektromos energia egyenletes elosztását a szikraközök között. Az L_1 induktivitás feladata az, hogy rövidzárat létesítsen, s így a gerjesztő feszültségimpulzus kezdeti, kis meredekségű szakaszának a szikraközre jutását megakadályozza. Azonban a kis felfutási idejű feszültségimpulzusok – ezeket L_1 nem zárja rövidre - az SP szikraközökön megjelennek, s ezáltal

a szikraközök működésének megbízhatósága növekszik. Az 5. ábrán az L_0 induktivitás a töltőkörben mindig jelenlevő parazita induktivitást jelöli. Ha a C_2 kondenzátor feszültsége elérte a kisülési térben levő gáz letörési feszültségét, akkor beindul a gázkisülés. Az 5. ábrán az L_2 induktivitásnak a feladata biztosítani, hogy a töltőkör impedanciája illeszkedjék a gázkisülés impedanciájához. Mivel az áramkörnek a peaking kondenzátorokon kívül eső része a nagy induktivitás miatt alkalmatlan a gázkisülés közvetlen táplálására, ezért a gázkisülésbe táplált energia azzal az elektromos energiával arányos, amelyet a letörés pillanatában a peaking kondenzátorok tárolnak. A mágneskapcsolóval párhuzamosan kötött induktivitás (megjegyezzük, hogy ez az ábrán nincs jelölve) rezgőkört alkot a töltőkör kondenzátoraival. A gázkisülés megszüntetésével a rezgőkörben fellépő rezgések demagnetizálják a mágneskapcsolót. Ha nem demagnetizáljuk a mágneskapcsolót, akkor a kapcsolás időbeli bizonytalansága (jittere) megnövekszik. Megjegyezzük, hogy a hagyományos töltőkörökben a töltőkör induktivitásának jelentős részét a mágneskapcsoló zárt állapotú L induktivitása alkotja. Az L induktivitás csökkenthető lenne, ha növelnénk a vasmagokat befogadó cylinder geometriai méreteit, ezzel azonban növelnünk kellene a speciális vasmag mennyiségét is. Mivel a homogén kisülés biztosítása szempontjából célszerű gyors töltőkört építeni, a lézer működése szempontjából előnyös, ha L értéke kicsi. Ebben az esetben azonban a szükséges nagyobb mennyiségű vasmagban az energia veszteség is nagyobb. A lézer fejlesztésével kapcsolatban, a mágneskapcsoló legkisebb – zárt állapotú - induktivitása és a felhasznált vasmag mennyisége között anyagi kompromisszumot kell kötni. Az előző gondolatmenet megértéséhez nyújt segítséget a 6. ábra.



6.(a),(b) ábra. Különböző központi átmérővel készült mágneskapcsolók keresztmetszeti rajza és egy valódi, vasmagok nélküli mágneskapcsoló cylinderének fényképe.

A 6.(a) ábrán egy olyan mágneskapcsoló konfigurációt látunk, amelybe a lehetséges legkisebb átmérőjű vasmagok szerelhetők. Ez azt jelenti, hogy a vasmagokban fellépő energiaveszteséget minimalizáljuk. Ennek a megoldásnak azonban az a hátránya, hogy a mágneskapcsoló zárt állapotú induktivitását megnöveljük. Az induktivitást lényegében a mágneskapcsoló tengelyében elhelyezkedő rúd határozza meg, mivel ennek a keresztmetszete jelentősen kisebb, mint a mágneskapcsoló tetejének vagy külső héjának keresztmetszete. A 6.(b) ábrán egy megnövelt belső átmérőjű mágneskapcsoló keresztmetszeti rajzát láthatjuk. Ennek zárt (telített) állapotú induktivitása kisebb, mint a 6.(a) ábrán levőé. Ez az elrendezés azonban nagyobb mennyiségű speciális vasmagot igényel, így drágább, és emellett a telítési fluxusa sem változik. A telítési fluxus növelése azért lenne célszerű, mert a tirátron rezgőkörében a feszültség nagyobb értéket érhetne el mielőtt a mágneskapcsoló telítésbe megy.

II. A B-H görbe mérése, elméleti áttekintés.

Az excimer lézerek gerjesztő köreiből használatos mágneskapcsolók speciális telítődő induktivitások. Ezeknek a kapcsolóknak az elektromos tulajdonságait döntően a ferromágneses

anyagból készült vasmag mágneses tulajdonságai határozzák meg. Ezeknek az anyagoknak a jellemzésére a χ_m mágneses szuszceptibilitás és a μ_r relatív permeabilitás használatos. A H mágneses térerősséget definiáló

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} - \mathbf{M} \quad (6)$$

illetve a kísérleti tapasztalatok szerint fennálló

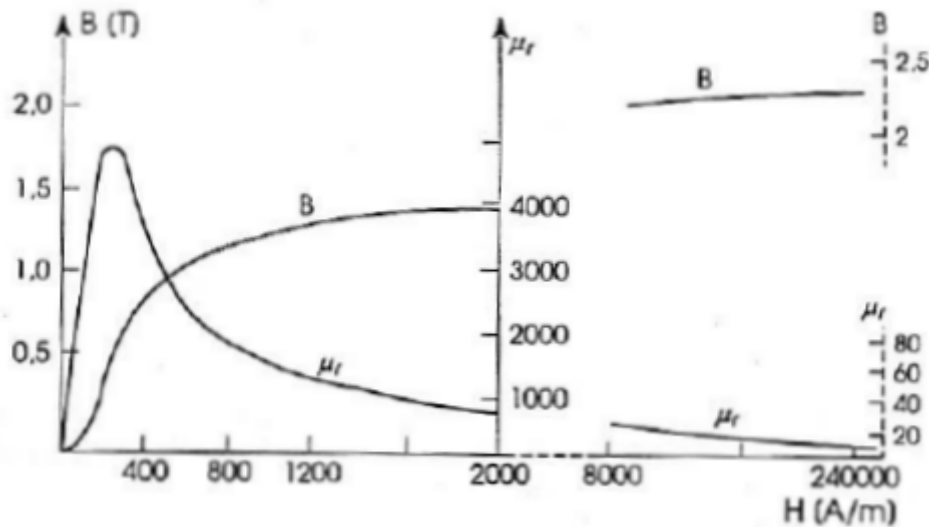
$$\mathbf{M} = \chi_m \mathbf{H} \quad (7)$$

egyenletekből következik, hogy

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{B}}{\mu_0 \mu_r}, \quad (8)$$

ahol $\mu_r \equiv 1 + \chi_m$ a relatív mágneses permeabilitás.

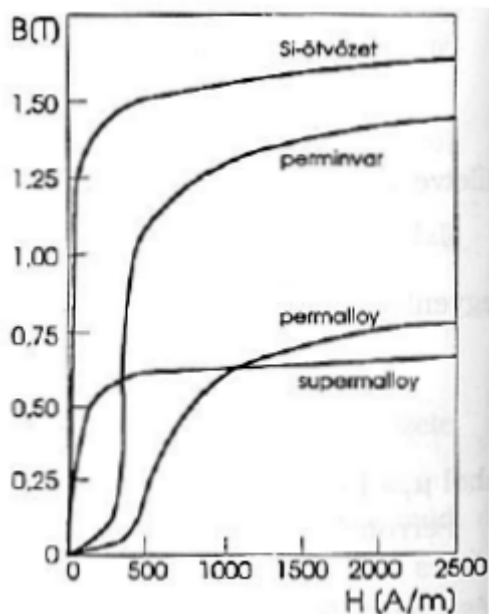
Ferromágneses anyagokban azonos H térerősség mellett az M mágnesezettség és a B indukció több nagyságrenddel nagyobb, mint más anyagokban, másrészt M és B nem arányos H -val, azaz χ_m szuszceptibilitás és a μ_r permeabilitás nem anyagállandók, hanem függenek a H -tól, valamint az anyag „mágneses előéletétől” is. Ha pl. tekercs belsejébe helyezett, kezdetben nem mágneses vasmintában a H térerősséget a tekercs áramának fokozatos emelésével növeljük, és az egyes H értékekhez tartozó B értékeket meghatározzuk, akkor az 7. ábra szerinti $B(H)$ görbét kapjuk. Az egymáshoz tartozó B és H értékek hányadosa megadja a permeabilitásnak a térerősségtől való függését ábrázoló $\mu_r = \mu_r(H)$ görbét.



7. ábra. A B mágneses indukció és a μ_r relatív permeabilitás a H mágneses térerősség függvényében.

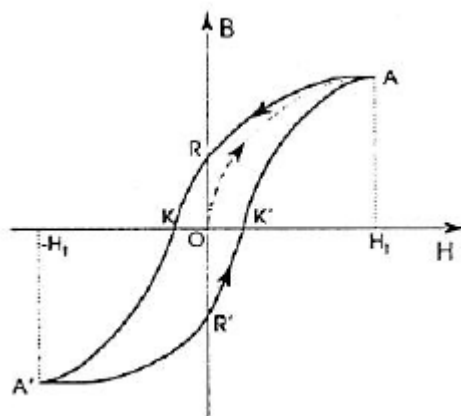
Mint látható, B a H növelésével eleinte gyorsan, majd egyre lassabban növekszik, az M állandóvá válik (telítési mágnesezettség).

A 8. ábrán néhány, a gyakorlatban használatos anyag mágnesezési görbéjét láthatjuk. Ezeket a görbéket első mágnesezési görbének nevezzük, ugyanis nulla térerősségnél a mágneses indukció értéke is nulla.



8. ábra. Különböző anyagok mágnesezési görbéi

A ferromágneses anyagok B - H görbéje ciklikus mágnesezésnél az anyagra jellemző hiszterézis görbe. Ha kezdeten nem mágneses vasmintát a telítésig mágnesezünk (l. a 9. ábrán a szaggatott OA görbét), majd a tekercs áramának fokozatos változtatásával a térerősséget H_r -ről zérusra csökkentjük, ezután az ellenkező irányban $-H_r$ -ig növeljük, majd ismét visszatérünk H_r -re, akkor a 9. ábrán látható zárt görbét kapjuk. Eszerint a térerősség nagyságának csökkentésekor (pl. az AR szakaszon) ugyanazon H értékhez nagyobb B indukció tartozik, mint a térerősség növelésekor (pl. az R'A szakaszon). Ez a jelenség a mágneses hiszterézis, az ARA'R'A görbe a hiszterézishurok, a még nem mágnesezett anyagra vonatkozó, nem megisméltendő OA görbe pedig az első mágnesezési görbe. A hiszterézishurok ARK szakaszából látható, hogy amikor a térerősség zérusra csökkent, a vasban visszamaradt, az OR-nek megfelelő B_r „remanens” indukció, röviden remanencia - a vas tehát permanens mágnessé vált - és e mágnesség megszüntetéséhez az előbbivel ellentétes irányú, OK-nak megfelelő nagyságú H_k térerősség, az úgynevezett koercitív erő szükséges. Az ARA'R'A hiszterézishuroknak megfelelő ciklus mágnesezés során munkát kell végezni. (az anyag „elemi mágneses dipólusainak” átállítási miatt) és ez a munka az anyagban hővé alakul át. (A mágneskapcsolókat ezért általában olajjal hűtik.) Az így keletkező hiszterézisvesztések alkotják az örvényáramú veszteségek mellett az úgynevezett vasvesztések jelentős részét. Ki lehet mutatni, hogy az egyszeri ciklikus mágnesezés során végzendő W munka - vagy a megfelelő hiszterézisvesztés - arányos a hiszterézishurok területével.



9. ábra. Ferromágneses anyag B - H görbéje

A hiszterézishurok alakja az anyag mágneses tulajdonságaira jellemző: a könnyen átmágnesezhető lágyvas hiszterézisgörbéje keskeny, és már kis mágneses térerősségeknél telítést mutat, a nehezen mágnesezhető, permanens mágneses anyagoknál a hiszterézishurok széles.

A mérés menete

Az elektromágneses indukció törvényéből következik, hogy ha változó mágneses térben az indukció vektor irányára merőlegesen N menetszámú tekercset helyezünk, akkor a tekercs kivezetésein

$$U = N \frac{d\Phi}{dt} \quad (9)$$

nagyságú indukált feszültség keletkezik, ahol Φ az egyetlen menet felületén fellépő mágneses fluxus, a differenciálást pedig az idő szerint végezzük. A feszültség mérésével a fluxusváltozás válik ismertté, amiből egyszerű geometriai elrendezés esetén maga az indukcióváltozás adódik, sőt akár maga az indukció is mérhetővé válik. A fluxust vagy a mágneses teret gerjesztő áram megváltoztatásával, vagy a tekercs elmozgatásával változtathatjuk.

A mágneses jellemzők mérését legelőnyösebben toroid alakú zárt anyaggyűrűvel végezhetjük, mert ilyenkor legkisebb az erőtér szóródása. A mérendő anyagból egy A keresztmetszetű, R közepes sugarú gyűrűt készítünk. Erre a gyűrűre tekercselünk egy N_1 menetszámú gerjesztő tekercset és egy N_2 menetszámú tekercset. Ha a gerjesztő tekercsbe I_1 áramot vezetünk, akkor a jól ismert gerjesztési törvény szerint

$$H = \frac{I_1 N_1}{l} \quad (10)$$

mágneses térerősség gerjesztődik a toroid belsejében, ahol $l=2R\pi$ a toroid középkörének kerülete. Egyenáramú gerjesztés esetén pl. az áram irányának megfordításával tudunk fluxusváltozást előidézni. Mivel $B = \mu_0 \mu_r H$, valamint $\Phi = N_2 AB$, így a mérőtekercsben indukálódó feszültséglökés nagysága

$$U = \frac{d\Phi}{dt} = N_2 A \frac{dB}{dt}, \quad (11)$$

amely mérése eléggé nehézkes. Ezért egyenáramú gerjesztés helyett célszerűbb váltóáramú gerjesztést alkalmazni. Ha a gerjesztő tekercsre

$$U_1 = U_0 \sin \omega t \quad (12)$$

Váltófeszültséget kapcsolunk, akkor a toroidban az

$$U_0 \sin \omega t = N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (13)$$

Összefüggésnek megfelelő fluxusváltozás lép fel. Ezen fluxusváltozás hatására a mérőtekercsben

$$U_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt} = N_2 A \frac{dB}{dt} \quad (14)$$

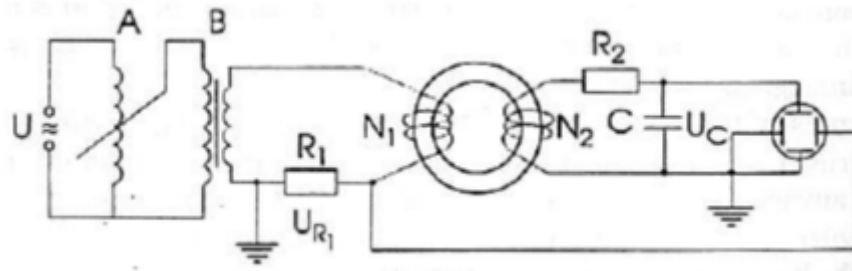
nagyságú feszültség indukálódik.

Kapcsoljunk a mérőtekercsrel sorba egy olyan RC integráló tagot, amelyre $RC \gg \omega^{-1}$. Ekkor a kondenzátor feszültsége a következő lesz:

$$U_c = \frac{1}{C} \int I_2 dt = \frac{1}{RC} \int U_2 dt = \frac{1}{RC} N_2 AB \quad (15)$$

Látjuk tehát, hogy U_c mérésével a toroid belsejében mérhető a mágneses indukció. Ha a gerjesztő áramot is mérjük, akkor mérhetővé válik a $B(I_1)$ függvénykapcsolat, amiből $H(I_1)$ -t számolva μ_r is számítható.

A mérési elrendezést a 10. ábra mutatja. Az itt látható kapcsolásban az A jelzésű toroid transzformátorral a B jelzésű leválasztó transzformátoron keresztül (ezzel a hálózattól függetlenül a mérőrendszerünk földelését) változtatható feszültséget kapcsolunk az N_1 menetszámú gerjesztő tekercsre.



10. ábra *Mérési elrendezés*

Ennek hatására az N_2 menetszámú mérőtekercsben feszültség indukálódik. Az R_1 ellenálláson eső feszültség mérésevel az Ohm-törvényből számítható a gerjesztő áram, míg a C kondenzátoron megjelenő feszültség mérésevel számolható a vasmagban kialakuló indukció:

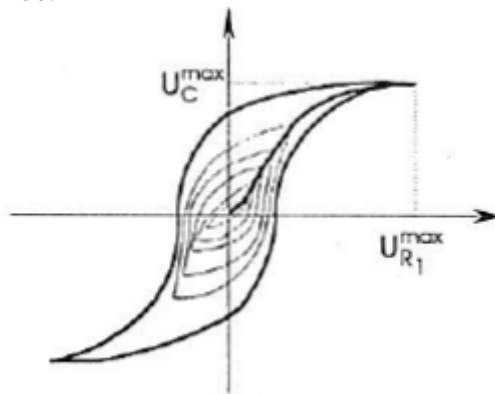
$$B = \frac{U_c R_2 C}{N_2 A} \quad (16)$$

és fluxus

$$\Phi_B = \frac{U_c R_2 C}{N_2} \quad (17)$$

Természetesen mind a B indukció, mind az U_c feszültség időtől függ, tehát U_c maximumával számolva B -re is maximális érték adódik. Mind az U_c , mind az R_1 ellenálláson megjelenő feszültség maximuma leolvasható az oszcilloszkóp képernyőjén megjelenő hiszterézis görbe adataiból. Megjegyezzük, hogy a gyakorlaton alkalmazott eszközben az U_c feszültséget egy 20-szoros feszültségerősítővel felerősítjük, és ezt vezetjük a készülék kimenetére.

Az 11. ábrán különböző $H_t(U_{R_1}^{\max})$ értékekhez tartozó különböző maximális $B(U_c^{\max})$ indukciójú hiszterézis görbék mutatunk be.



11. ábra *Különböző $H_t(U_{R_1}^{\max})$ értékekhez tartozó különböző maximális $B(U_c^{\max})$ indukciójú hiszterézis görbék.*

A hiszterézis görbe függőleges tengelymetszetéből kiszámítható a B_r remanens indukció értéke is, ami a gerjesztő áram függvénye.

III. Eszközök

LPX 100 KrF excimer lézer
GDS-1000A-U digitális oszcilloszkóp
Northstar PVM-2 nagyfeszültségű előosztó

IV. Kérdések, feladatok

1. Mérje meg a feszültség időfüggését az 5. ábra szerinti kapcsolásban a mágneskapcsoló kivezetésein!
2. Az előbbi mérés eredményét felhasználva határozza meg a mágneskapcsoló telítési fluxusát és az impulzus kompresszió mértékét!
3. Mérje meg a kiadott mágneskapcsolóban alkalmazott vasmag $B-H$ görbáját! Rajzolja le mm-papírra az oszcilloszkóp képernyőjén megjelenő hiszterézis görbét!
4. Az oszcilloszkóp X,Y bemenetei V/osztás érzékenység értékeinek, valamint az eszközbe beépített feszültség erősítő erősítésének ismeretében számítsa ki a megfelelő H , illetve B értékeket, és tüntesse fel azokat a hiszterézis $[B(H)]$ görbe koordináta tengelyein! A mérőrendszerben alkalmazott R1, R2 és C értékeket a gyakorlatvezető adja meg.
5. Hasonlítsa össze az előző mérés alapján kapott telítési fluxust a mágneskapcsoló telítési fluxusával! Mivel magyarázható a különbség?
6. Mi a lényeges különbség egy mágneskapcsolóban alkalmazott vasmag $B-H$ görbéje és egy könnyen átmágnesezhető anyag $B-H$ görbéje között? Miért célszerű egy mágneskapcsolóban speciális vasmagot alkalmazni egyszerű vas helyett?
7. Az 1. pontban kapott mérési eredmény felhasználásával valamint az 5. ábra szerinti C_0 kapacitás ismeretében (ezt a gyakorlatvezető adja meg) határozza meg a tirátron kör induktivitását!
8. Mérje meg a feszültség időfüggését a tirátron katódján és hasonlítsa össze a mágneskapcsoló tirátron felőli kivezetésén mért görbével! Mivel magyarázható a különbség?
9. Számítsa ki a „légmagos” mágneskapcsoló induktivitását L definíciója és az Ampère-féle gerjesztési törvény segítségével a gyakorlatvezető által megadott geometriai méretek alapján.
10. Számítsa ki a töltőkör induktivitását a peaking kondenzátorokon (elektrodalapon) mért feszültség felfutási ideje alapján! A kapott értéket hasonlítsa össze a telített (légmagosnak tekinthető) mágneskapcsoló induktivitásával és magyarázza meg a különbséget!
11. Szorgalmi feladat. A peaking kondenzátorokon mért feszültség időbeli változása alapján becsülje meg mekkora átlagos áram folyik az impulzuskompressziós kör végén levő lézeraktív közegben!
12. Szorgalmi feladat. A mágneskapcsoló tirátron felőli kivezetésén mért feszültség időbeli változása és a kisütött kondenzátor bank kapacitása ismeretében számítsa ki a tirátronon folyó átlagos áramot!

Ajánlott irodalom

1. Hevesi I.: Elektromosság, Nemzeti Tankönyvkiadó Rt. 1998.
2. Budó Á.: Kísérleti Fizika II., Tankönyvkiadó, Budapest, 1968.
3. Simonyi K.: Villamosság, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1983.
4. W.C. Nunnally: *Magnetic switches and circuits*. Los Alamos laboratory report LA-8862-MS (1982) (A téma iránt mélyebben érdeklődő hallgatók a gyakorlatvezetőtől kérhetik ez utóbbi ajánlott irodalmat, azonban ennek tanulmányozása nélkül is elvégezhető a gyakorlat.)