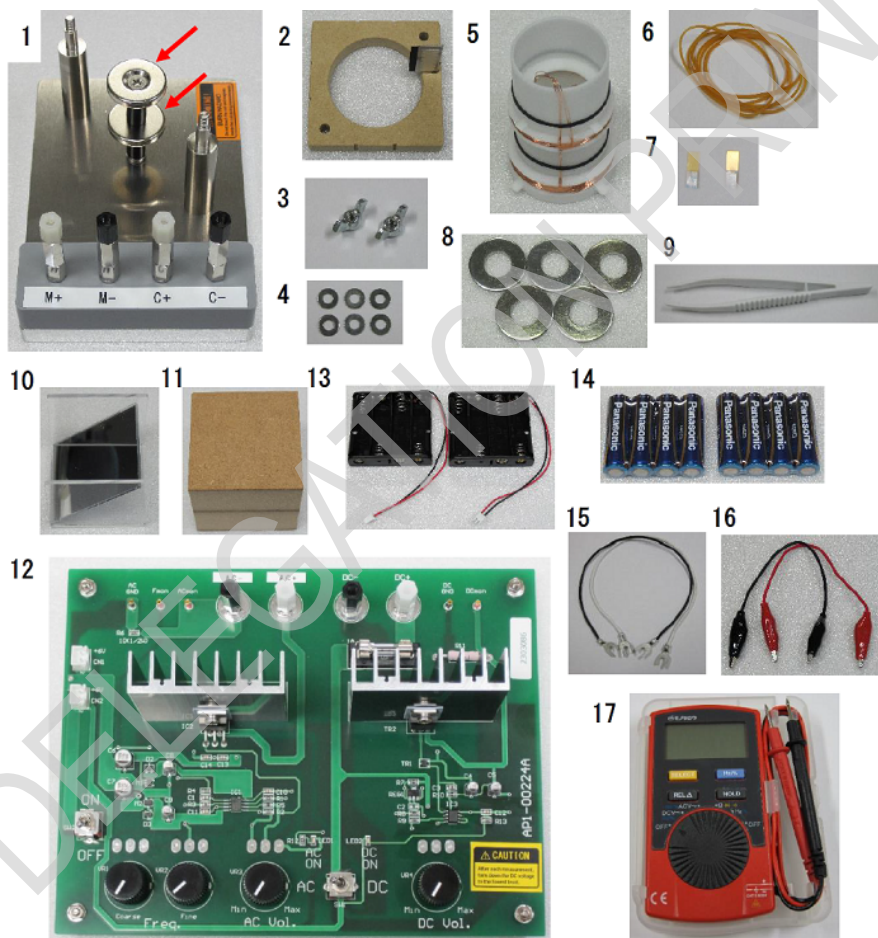


Tömegmérés (10 pont)

Ebben a kísérleti feladatban a tömeg mérésére teszünk kísérletet. A továbbiakban a harmonikus oszcillátor rezonanciajellemzőit felhasználva mérjük a tömeget.

A kísérleti elrendezés

Az alábbiakban az eszközök listája látható (1. ábra). Ezek mennyiségét a [] jelben lévő szám jelöli, ha csak kettő vagy több van belőlük.



1. ábra: A kísérleti eszközök

1. Alap az összeszereléshez:

Megjegyzés: az alapon lévő mágneses egység a mágnespár középpontja közelében, a ± 3 mm magasságon belül magasságfüggetlen, garantáltan homogén, radiális irányú mágneses mezőt hoz létre.

2. (Oscillátor)támasz

3. Pillangócsavarok [2]:

Megjegyzés: A használathoz vedd le a 2. és 3. eszközt a csomagban lévő 1. eszköztől.

4. Csavaralátét [6]
5. Hengeres oszcillátor
6. Gumiszalagok [6]
7. Markerek [2]
8. Súlyok [5]
9. Csipeszek
10. Tükör
11. Emelőtömb
12. Tápegység (PS):

DC vagy AC üzemmóddal.

Az egyenáramú üzemmódban (DC) állandó áramerősségű áramforrásként működik. Az áram beállításához fordasd el a „DC Vol” feliratú gombot. Az áramerősség nagyságát a „DCmon” és a „DC GND” közötti feszültségből kapod meg az 1.00 A/V átalakítási tényező segítségével.

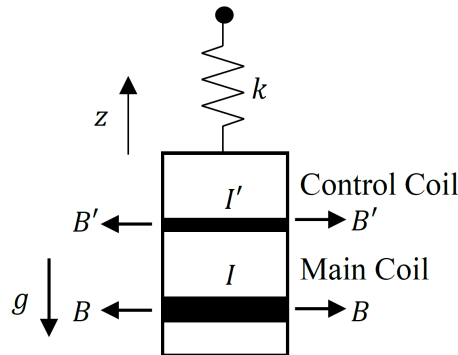
A váltakozó áramú üzemmódban (AC) rögzített amplitúdójú feszültségforrásként működik. A feszültség beállításához fordasd el az „AC Vol” gombot. A váltakozó áramot az „ACmon” és az „AC GND” közötti AC feszültségből kapod meg a 0.106 A/V átalakítási tényező segítségével. A frekvencia (Freq.) a „Coarse” (nagyobb léptékű) és a „Fine” (kisebb léptékű) gombok segítségével hangolható.

13. Elemtartók [2]
14. Elemek [8]
15. U-alakú, krimpelős végű vezetékek [2]
16. Krokodilcsipeszes drótok [2]
17. Digitális multiméter (DMM):

Fordasd el a gombot a megfelelő mérési mód kiválasztásához, „DCV”, „ACV” és „Hz”. Figyelj arra, hogy a váltakozó feszültség megjelenített értéke a négyzetes középértéket (RMS), azaz az effektív értéket mutatja.

A rendszer modellezése

A 2. ábra a kísérleti elrendezés egyszerűsített modelljét mutatja be. Lényegében egy meghajtott tömeg-rezgő rendszerrel (oszcillátorral) van szó.



2. ábra: A harmonikus oszcillátor modellje (Main coil: főtekercs; control coil: vezérlő tekercs)

- M : a (hengeres) oszcillátor tömege
- m : egyetlen súly tömege
- N : a súlyok száma
- g : a nehézségi gyorsulás
- k : a függőleges mozgásra vonatkozó effektív rugóállandó
- z : oszcillátor magassága (vagy elmozdulása)
- z_e : az oszcillátor magassága, amelynél a gravitációs és az elektromágneses erők nélküli erőegyensúly kialakul
- $B(B')$: a főtekercsre (vezérlő tekercsre) alkalmazott mágneses mező
- $L(L')$: a főtekercs (vezérlő tekercs) vezetőhuzalának hossza
- $I(I')$: a főtekercsen (vezérlőtekercsen) átfolyó áram erőssége
- α : pozitív közegellenállási együttható

A mozgásegyenlet a következő

$$(M + Nm) \frac{d^2 z}{dt^2} = -(M + Nm)g - k(z - z_e) + BLI + B'L'I' - \alpha \frac{dz}{dt}. \quad (1)$$

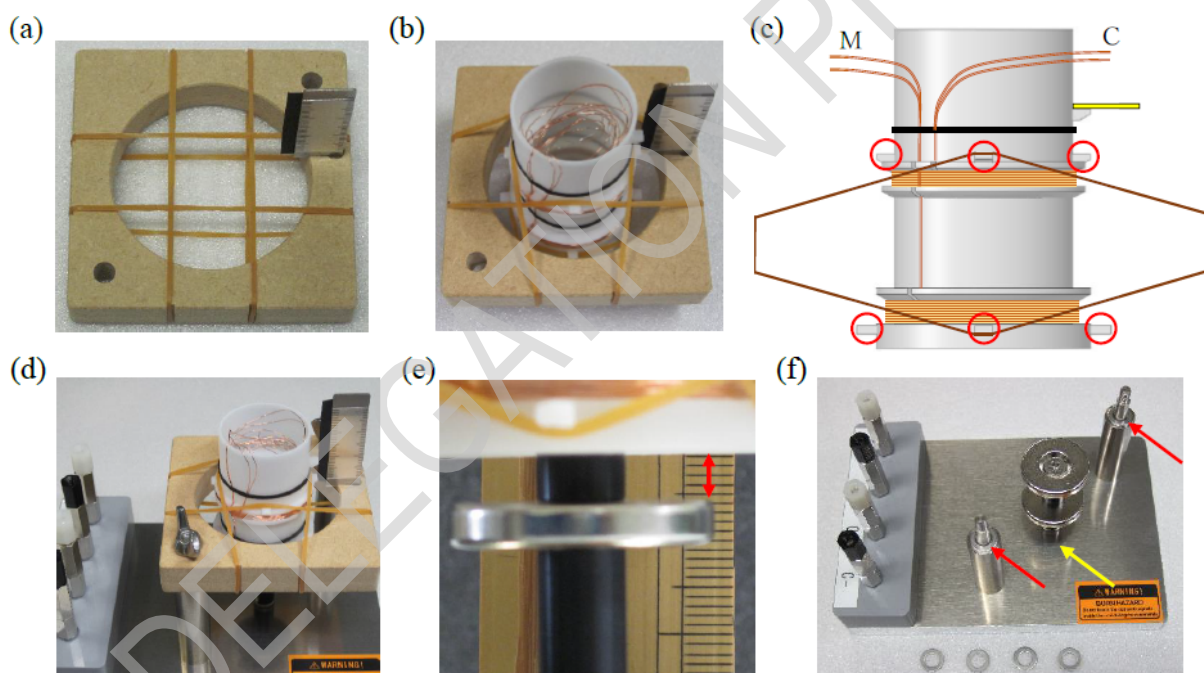
Az oszcillátor felszerelése

1. Vedd le a tartót az alapról. Tekerd körbe a tartót négy gumiszalaggal rácsos mintázatban (lásd a 3. (a) ábrát).
2. Tedd a hengeres oszcillátort a tartó skála felőli oldaláról a gumiszalagok között lévő, négyzet alakú nyílásba. Helyezd a vezetékeket a skála átellenes oldalára. (3. (b) ábra).
3. Az oszcillátort úgy tervezték, hogy négy gumiszalaggal és nyolc kis kampóval (piros karikák a 3. (c) ábrán) lógjon a tartón. Megfelelő felszerelés esetén oldalnézetben az egyik gumiszalaghurok egy csonka rombuszt formál két kampóval a tartó szintje felett és alatt.

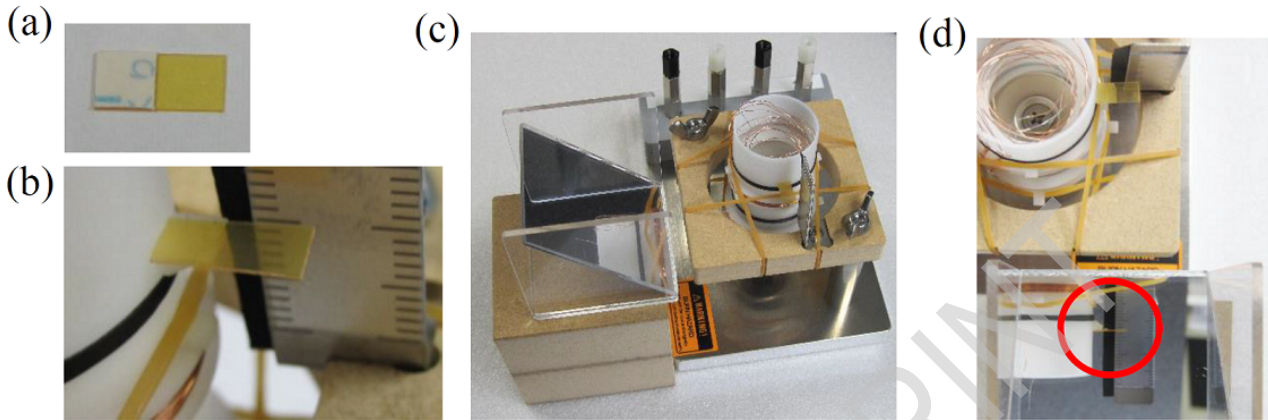
Megjegyzés: Ebben a kísérletben feltételezhetjük, hogy a gumiszalagok által kifejtett effektív erő a Hooke-törvénynek megfelelően változik.

4. Tedd vissza és rögzítsd a tartót az oszlophoz átlósan a két pillangócsavarral. A skála függőlegesen felfelé álljon és ne a csatlakozási oszlopok felőli oldalon legyen (3. (d) ábra).

5. Állítsd az oszcillátort függőleges pozícióba. A tengelyének függőlegesen kell állnia, és a mágneses egységgel közös tengelyen kell lennie.
6. A főtekercsnek nyugalmi állapotban a két mágnes közepe közelében kell lennie, aminek helyességéről úgy lehet meggyőződni, hogy az alsó mágnes felső felülete és az oszcillátor alsó felülete 3-5 mm távolságra van egymástól (piros nyíl a 3. (e) ábrán). Ha ez alacsonyan van, tegyél alátéteket az oszlopok és a tartó közé (piros nyíl a 3. (f) ábrán). Ha magasan van, akkor csavard le a mágnes oszlopát, majd tegyél alátétet az oszlop alá (sárga nyíl a 3. (f) ábrán).
7. Tedd szabaddá a markeren lévő kétoldalas ragasztószalag ragacsos felületét (4. (a) ábra). Ragaszd a markert az oszcillátoron lévő apró, lebegő polcra a magasságméréshez (4. (b) ábra).
8. Tedd a tükröt az emelőtömbre (4. (c) ábra). Győződj meg róla, hogy a markert tisztán látod felülről a tükrökben (piros kör a 4. (d) ábrán).



3. ábra: Az oszcillátor összeszerelése

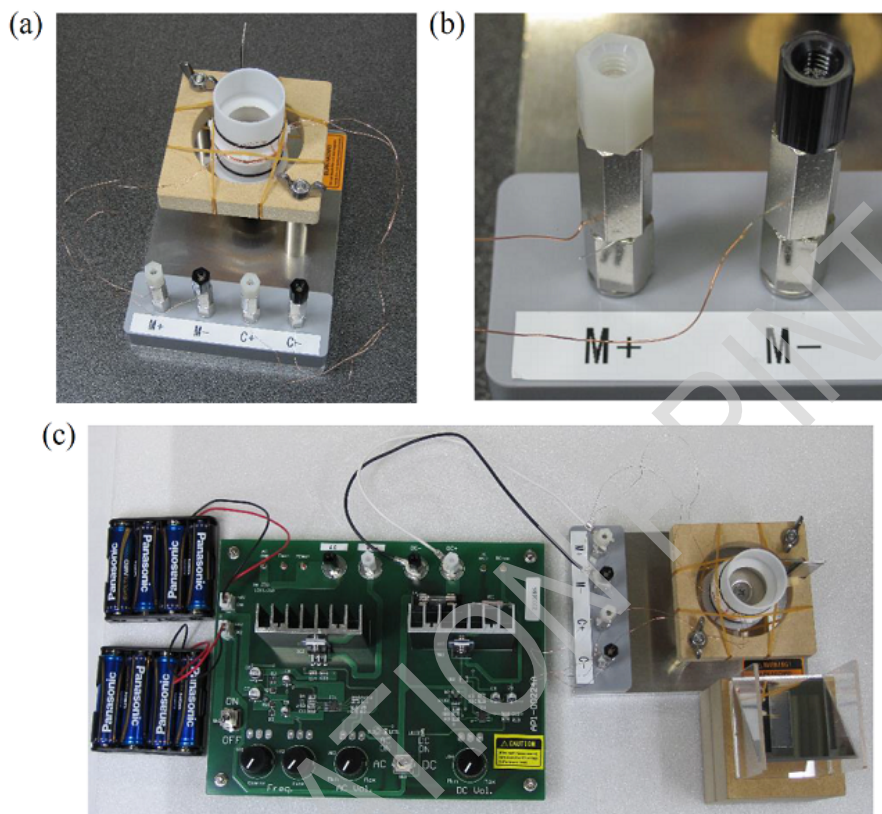


4. ábra: A marker és a tükör felszerelése

A vezetékezés

1. Fogd meg és óvatosan húzd ki az oszcillátor belsejéből (3. (b) ábra) a főtekercshez (M) és a vezérlő tekercshez (C) tartozó megfelelő vezetékpárokat (3. (c) ábra). Ellenőrizd, hogy a végekről a szigetelőréteg le van-e szedve.
2. Lazítsd meg az M+ és M- csatlakozási oszlopokon lévő csavarokat. Az így kialakult alsó hézagokat használd a vezetékezéshez (5. (a) és (b) ábra). A polaritás ellenőrzése ezután hamarosan következik.
3. A C+ és C- jelű csatlakozási pontokat ugyanígy vezetékezd. (Bármelyik polaritás elfogadható.)
4. Tedd az elemeket az elemtartókba, és kösd be a PS-hez (CN1, CN2) (5. (c) ábra).
5. Csatlakoztasd az M+ és M- csatlakozási pontokat a PS egyenáramú kimenetéhez (DC+ és DC-) az U-alakú krimpelős végű vezetékekkel.
6. A PST-t tedd DC módba és kapcsold be.
7. Tekerd el a „DC Vol.” gombot az áram beállításához. Ellenőrizd, hogy az oszcillátor elmozdul-e felfelé 2mm-t vagy többet. Ha lefelé mozdul, fordítsd meg a polaritást a vezetékek megcserélésével, majd próbáld újra.

Vigyázat! Az alkatrészek forrók. Vigyázz a tekercssekkel és mágnesekkel. Minden lépés végén állítsd le a DC kimenetet a minimumra!



5. ábra: (a), (b) A bekötött csatlakozási oszlopok, (c) a teljes elrendezés bekötve, beleértve a PS-t és az elemeket.

Oscillátorteszt

1. Kösd az M+ és M- csatlakozási pontokat a váltakozó áramú kimenethez (AC+ és AC-) a krimpelős végű vezetékkel.
2. A PS-t tedd AC módba, és kapcsold be.
3. Tekerd az „AC Vol.” feliratú gombot az óramutató járásával megegyező irányba a minimumtól kezdve egy negyed fordulatig. A frekvenciát a „Coarse” szabályozógombbal változtasd a rezgés elindításához.
4. Állítsd be az AC kimeneti feszültséget és frekvenciát úgy, hogy az oszcilláció amplitúdója körülbelül $A = 3\text{mm}$ legyen (6. ábra). Ha az oszcilláció instabil, módosítsd az oszcillátor beállításait a megfelelő módon.
5. Válaszd le az M+ és M- csatlakozókat, és kösd a C+ és C- csatlakozási pontokat a váltakozó áramú kimenethez.
6. Kapcsold be a PS-t a rezgés újraindításához.

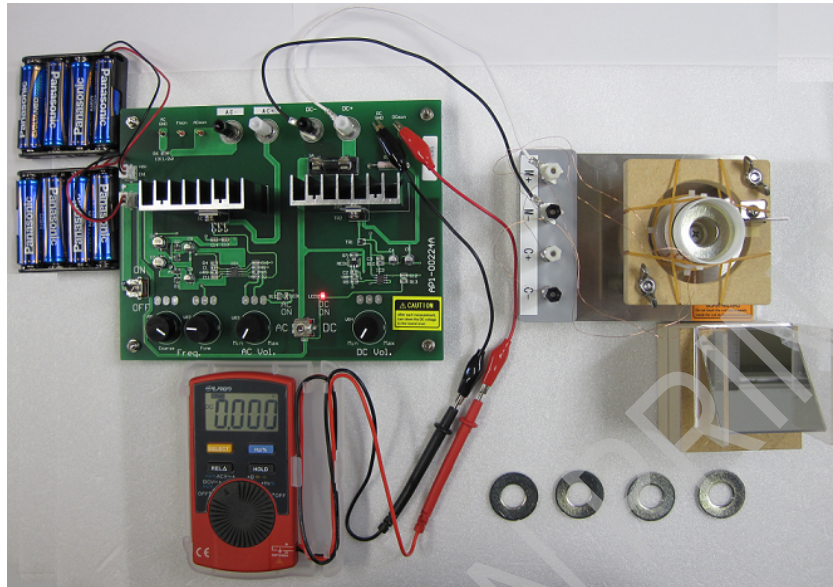


6. ábra: A tükrön keresztül látható oszcilláció

Part A. Hook-törvény és elektromágneses erők (2,4 pont)

A.1 A válaszlapra rajzold be két azonos erősségű, északi pólusukkal egymás felé fordított, korong alakú mágnes által keltett mágneses tér erővonalait! 0.4 pt

A.2 Csatlakoztasd az M+ és M- pontokat a tápegység DC kimenetéhez. A krokodilcsipeszes vezetékek segítségével csatold a digitális multimétert az egyenárammérő kimenetekhez (7. ábra).
Olvasd le az oszcillátor z magasságát zérus DC áram mellett, súlyok nélkül, azaz $N = 0$ esetén! Az eredményt írd be az **A.2 táblázatba**.
Helyezz egyetlen súlyt ($N = 1$) a hengeres oszcillátor belső felületén kialakított peremére, és jegyezd fel az egyensúly beállta után az oszcillátor z magasságát! Mekkora I erősségű áram folyjon át a főtekercsen, hogy az oszcillátor visszakerüljön a súly nélküli helyzetébe?
Méréseidet ismételd meg a súlyok N számát 5-ig növelve, és eredményeidet írd be az **A.2 táblázatba**!



7. ábra: A multiméter csatlakoztatva az árammérő pontokhoz. Az oszcillátor a súlyokkal az ábra jobb oldalán látható

A.3 Ábrázold a súlyok N száma és z egyensúlyi helyzet közötti összefüggést! A grafikon alapján határozd meg az $a = \frac{\Delta z}{\Delta N}$ meredekséget és ennek hibáját! 0.7 pt

A.4 Ábrázold a súlyok N száma és az I áram közötti összefüggést! A grafikon alapján határozd meg a $b = \frac{I}{N}$ képlettel definiált b mennyiség értékét és annak hibáját! 0.7 pt

Part B. Indukált elektromotoros erő (3,0 pont)

B.1 Tegyük fel, hogy az oszcillátorban nincs súly, és a vezérlő tekercsben f frekvenciájú váltóáram folyik, melynek hatására az oszcillátor magassága a 0.2 pt

$$z - z_0 = A \sin(2\pi ft) \quad (2)$$

egyenlet szerint időben szinuszosan változik, ahol z_0 az egyensúlyi helyzet magassága, A pedig a rezgés amplitúdója.

Írd fel a főtekercsben indukált feszültség V amplitúdóját megadó kifejezést!

| | | |
|------------|---|--------|
| B.2 | <p>Csatlakoztasd a C+ és C- pontokat a tápegység váltóáramú (AC) kimenetéhez! Kösd a digitális multimétert az „Fmon” és „AC GND” frekvenciamérő kimenetekhez.</p> <p>A váltóáramú kimenet frekvenciáját és amplitúdóját állítsd be úgy, hogy alkalmas amplitúdójú, időben állandó oszcilláció alakuljon ki. Mérd meg és jegyezd fel a válaszlapra az f_B frekvenciát!</p> <p>Kösd a digitális multimétert az M+ és M- pontokhoz. A frekvenciát fixen tartva változtasd a kimeneti váltófeszültség amplitúdóját, és mérd meg az oszcillátor rezgésének A amplitúdóját, valamint a főtekercsben indukált $V'(V' = V/\sqrt{2})$ váltófeszültséget!</p> <p>Eredményeidet jegyezd fel a B.2 táblázatban!</p> | 0.5 pt |
| B.3 | <p>Ábrázold grafikonon az A amplitúdó és a V' feszültség közötti összefüggést! A grafikon alapján határozd meg a $c = \frac{V'}{A}$ képlettel definiált c mennyiség értékét és annak hibáját!</p> | 0.7 pt |
| B.4 | <p>A B.3 pontban kapott eredmény felhasználásával számold ki BL értékét és annak hibáját!</p> | 0.4 pt |
| B.5 | <p>Az A.3, A.4 és B.4 pontokban kapott eredmények felhasználásával határozd meg m és k értékét és ezek hibáját! Ahol szükséges, a nehézségi gyorsulás értékét vedd $g = 9.80 \text{ m/s}^2$-nek!</p> | 1.2 pt |

Part C: A rezonanciafrekvencia tömegfüggése (2,3 pont)

A következő feladatokban használd a főtekercszet az oszcillátor meghajtására. A csatlakozásokat ennek megfelelően változtasd meg.

| | | |
|------------|---|--------|
| C.1 | <p>Írd fel az N darab súllyal terhelt oszcillátor (szabad) rezgésének f frekvenciáját! Rezgő rendszer esetén a rugóállandó legyen k', ami különbözik a statikus rendszert jellemző k-tól.</p> | 0.2 pt |
| C.2 | <p>Kapcsold a váltófeszültséget a főtekercsre, így gerjesztve az oszcillátort. A súlyok számát $N = 0$ től 5-ig változtatva mérd meg az f rezonanciafrekvenciát, és az értékeket írd be a C.2 táblázatba! Ügyelj arra, hogy a súlyok ne ugráljanak.</p> | 0.5 pt |
| C.3 | <p>A C.2 pontban kapott adatok felhasználásával készíts alkalmas ábrát, és ennek segítségével határozd meg $\frac{M}{k'}$ és $\frac{m}{k'}$ értékét! Eredményeidet írd fel a válaszlapra! Ha szükséges, a C.2 táblázat üres oszlopait használhatod az adatok transzformálására.</p> | 1.0 pt |
| C.4 | <p>Mekkora az $\frac{M}{m}$ hányados értéke? A B.5 pontban kapott eredmények felhasználásával számold ki M és k' értékét!</p> | 0.6 pt |

Part D. Rezonanciajellemzők (2,3 pont)

Ha a súlyokkal nem terhelt oszcillátorra F_{AC} amplitúdójú, f frekvenciájú periodikus gerjesztő erő hat, a kialakuló kényszerrezgés A amplitúdóját jól leírja a

$$A(f) = \frac{F_{AC}}{8\pi^2 M f_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{(f - f_0)^2 + (\Delta f)^2}}. \quad (3)$$

rezonanciagörbe, ahol $\Delta f = \frac{\alpha}{4\pi M}$. Ez az összefüggés csak abban a frekvenciatartományban érvényes, ahol $|f - f_0| \ll f_0$ releváns.

Ebben a részben a rezonanciagörbe segítségével határozzuk meg az oszcillátor M tömegét, feltéve, hogy a (3) egyenlet mindenütt igaz.

D.1 A főtekerésre váltófeszültséget kapcsolva gerjeszd az oszcillátort. A váltófeszültség frekvenciáját és kimeneti feszültségét állítsd be úgy, hogy alkalmas amplitúdójú kényszerrezgés alakuljon ki. 0.4 pt
Írd a válaszlapra az „ACmon” és „AC GND” pontok között mérhető V'_{AC} váltófeszültséget!
A **B.4** pontban kapott eredmények és a 0.106 A/V átalakítási tényező felhasználásával határozd meg az oszcillátorra ható periodikus elektromágneses gerjesztőerő F_{AC} amplitúdóját!

D.2 A **D.2 táblázatba** vedd fel a kényszerrezgés A amplitúdóját az f frekvencia függvényében! A mérés során a gerjesztés F_{AC} amplitúdója legyen állandó. 0.9 pt
Ábrázold grafikonon az f frekvencia és az A amplitúdó közötti összefüggést!

D.3 A **D.1** és **D.2** pontok felhasználásával határozd meg az M tömeget! 1.0 pt