

E23 laboratóriumi mérés – Fizikai Tanszék

Kondenzátor kisütő áramának időbeli változása

1. A mérés célja, elve

A kondenzátorok és tekercsek az egyenáramú hálózatokban triviálisan működnek (a kondenzátor szakadás-ként; az ideális tekercs mintha nem is lenne). Azonban egy áramkör bekapcsolása és/vagy kikapcsolása után a stacionárius helyzet elérése előtt a feszültség és az áramerősség folyamatosan változik ezeken.

A kondenzátorok esetén például a feszültség áramkörre kapcsolása után a fegyverzetek folyamatosan töltődnek fel, nem kerülnek azonnal teljesen feltöltött állapotba. Ugyanígy, kikapcsolás után a fegyverzeteken felhalmozódott töltéseknek időre van szüksége ahhoz, hogy új egyensúlyi helyzetet találjanak. Jelen mérés ezt a jelenséget vizsgálja.

A mérés során a kikapcsolás során egyensúlyi helyzetet kereső töltések áramát fogjuk mérni, ezt nevezzük kisütő áramnak. A mérés célja, hogy a kisütő áram időbeli változását bemutassuk. Feladat továbbá három féle módon meghatározni az áramkörre jellemző relaxációs időt (más néven időállandót).

2. Elméleti és technikai leírások

Az alábbi rövid összefoglalás nem az elméleti anyag részletezését célozza, pusztán emlékeztető az előadásokon és gyakorlatokon tanultakra, illetve bemutatjuk azok technikai alkalmazásait.

Az egyes alfejezetekben szereplő, aláhúzott, vagy bekeretezett részek, illetve a mérések kapcsolási rajzai a laboratóriumi mérések beugró dolgozataiban számon kérhetőek.

2.1. A kisütő áram időfüggésének leírása

Ahhoz, hogy az időben változó elektromágneses folyamatokat le tudjuk írni egy áramkörben, az általánosított huroktörvényből kell kiindulnunk. Egy soros kapcsolású áramkörre, amelyben található egy R ellenállás, egy C kapacitású kondenzátorból, egy L indukciós együtthatóval rendelkező tekercsből és egy $\varepsilon(t)$ váltófeszültséget előállító forrásból álló áramkörre ez az egyenlet az alábbi alakú:

$$L \frac{dI(t)}{dt} + I(t)R + \frac{Q(t)}{C} = \varepsilon(t),$$

ahol $I(t)$ adja meg az áramerősség, $Q(t)$ pedig a kondenzátor töltésének időfüggését.

A kondenzátor kisütő áramának vizsgálatakor ennek az egyenletnek egy sokkal egyszerűbb alakjával kell csak foglalkoznunk. Tekercs nincs a vizsgált rendszerben, illetve a forrás által biztosított feszültség zérus (kikapcsolás után vagyunk), viszont a kondenzátor töltése kezdetben nem nulla. Így egy olyan kört kapunk, ami csupán egy feltöltött kondenzátorból és egy ellenállásból áll, és erre a huroktörvény:

$$I(t)R + \frac{Q(t)}{C} = 0.$$

Mivel az áramerősség az áthaladó töltés idő szerinti deriváltja, a fenti egyenletet deriválva az alábbi egyszerű differenciál-egyenletre jutunk:

$$\frac{dI(t)}{dt} R + \frac{I(t)}{C} = 0.$$

Az egyenletet kiintegrálva megkapjuk, hogy a töltések visszarendeződése milyen mérhető áramerősséget ad, ez

$$I(t) = I_0 e^{-\frac{t}{RC}} = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}},$$

ahol bevezettük a $\tau=RC$ relaxációs időt, vagy más néven a kör időállandóját.

2.2. A relaxációs idő kiszámítása

Bár ez a szakasz inkább a mérés kiértékeléséhez tartozik, a levezetéseket inkább itt foglaltuk össze, az általános leírásban.

Ha ismerjük az áramerősség $I(t)$ időfüggését, abból kiszámítható a τ időállandó értéke. A kezdeti áramerősséggel való osztás után véve az egyenlet logaritmusát az alábbi eredményt kapjuk:

$$\ln \frac{I(t)}{I_0} = -\frac{1}{\tau} t,$$

vagy ezzel egyenértékűen

$$\ln \frac{I_0}{I(t)} = \frac{1}{\tau} t.$$

Ezekből jól látszik, hogy az áramerősségek hányadosának logaritmusát egy egyenes függvényként eredményül, amelynek meredeksége a relaxációs idő reciproka (az előjelre figyelni kell!).

Egy másik számolási lehetőség is rendelkezésünkre áll. Helyettesítsük be a bekeretezett megoldásba az idő helyére az időállandót! Ekkor

$$I(t = \tau) = I_0 e^{-\frac{\tau}{\tau}} = \frac{I_0}{e},$$

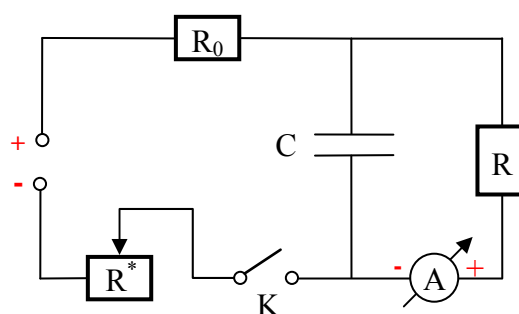
vagyis τ az az idő, ami alatt az eredeti I_0 áramerősség az e -ad részére csökken.

2.3. Áram- és feszültségmérés

A mérés során használandó áramerősség-mérő eszköz méréshatárát változtatni nem lehet. Azonban figyelembe kell venni a méréshatár nagyságát, aminek pontos értéke 15mA. Ez azt jelenti, hogy a 150-es osztáshoz tartozó végkitérés 15mA valóságos áramerősséget jelent. Így $I_{\text{valós}} = I_{\text{osztás}} \cdot 0,1 \text{mA}$. A mért osztásértékeket ennek megfelelően kell majd átváltani valós áramerősség-értékekre.

2.4. A kisütő áram időbeli változásának méréséhez a mérési összeállítás

A kisütő áram mérésére az alábbi áramköri kapcsolást használjuk:



1. ábra A kisütő áram mérésére alkalmas áramköri kapcsolás

A kisütő áram méréséhez felépített kapcsolás kulcsa a C kapacitású kondenzátorból, az R ellenállásból és az áramerősség-mérőből álló jobb oldali hurok. A feltöltött kondenzátor a feszültség lekapcsolása után kisül az R ellenálláson, és az áram-erősségmérővel mérhetjük a kisütő áram változását.

Az áramkörben a másik, bal oldali hurok a kondenzátor szabályozható feltöltését szolgálja. Ennek része egy feszültségforrás, egy R_0 védőellenállás, egy K-val jelölt egyszerű kapcsoló, és egy R^* -gal jelölt változtatható ellenállás (ez ad lehetőséget a feltöltés sebességének, illetve a maximális áramerősségnek a szabályozására).

Ennek a kapcsolásnak köszönhetően a feltöltött kondenzátor körét a forrásról a K kapcsolóval történő leválasztása után tudjuk a kisütő áram nagyságát mérni. A méréshez tartozó stopperóra, vagy bármilyen, megfelelően precíz időmérő berendezés ezzel együtt lehetőséget ad az $I(t)$ kisütő áram időfüggésének kimérésére.

A fenti kapcsolási rajz a mérés előtt számonkérhető!

3. A mérés módszere

A mérés során az áramkör zárásával feltöltjük a vizsgált kondenzátort, majd a kapcsoló segítségével lekapcsoljuk a kört a feszültség-forrásról. A kondenzátor kisülése során adott áramerősség-értékek elérésének idejét mérjük (stopperórával), és ebből alakul ki a kisütő áram $I(t)$ időfüggésének képe.

A cél a τ időállandó meghatározása a mért $I(t)$ görbe kiértékelésével, számolással a $\tau=RC$ összefüggésből, illetve közvetlen méréssel. A három, különböző eljárás eredményei összehasonlíthatóak.

4. A mérés folyamata

4.1. A kapcsolás összeállítása

Mivel több mérőpulton is ez a mérés lett elhelyezve, több fajta tápegységgel is találkozhatunk. Ezek működtetésének részleteit nem kell ismerni, csupán a következőket:

- Az áramkör összeállításánál figyelni kell arra, hogy a tápegységet megfelelő polaritással kössük be, vagyis figyelni kell, hogy a pozitív és negatív kimenete a tápegységnek a megfelelő pontra csatlakozzon.
- A tápegységen beállított feszültség és/vagy áramerősség értéket változtatni nem szabad!
- A tápegység bekapcsolását csak a központi feszültség oktató általi felkapcsolása után lehet elvégezni. Ennek részeként fel kell kapcsolni a tápegység központi kapcsolóját, illetve egyes típusoknál az egyenáramot a rendszerre adó kapcsolót is.

Az áramkör összeállítása során fontos még a beiktatandó, R^* -gal jelölt változtatható ellenállás (potenciométer) megfelelő bekötése. Ennél arra kell figyelni, hogy a tápegység negatív sarkára a potenciométer negatív polaritású bemenetét kapcsoljuk, míg a K kapcsoló felé a változtatható ellenálláshoz tartozó kimenetet (ez rendszerint a három csatlakozási lehetőség közül a középső).

A mérési összeállításra a központi feszültséget a gyakorlatvezető az áramkör ellenőrzése után kapcsolja rá.

A központi feszültség bekapcsolása után a tápegység központi kapcsolójának használatával, illetve ahol szükséges, az egyenfeszültséget az áramkörre adó kapcsoló felkattintásával kezdődhet a mérés.

4.2. A kisütő áram időbeli változásának mérése

Az első lépés a mérés számára a kényelmes kondenzátor feltöltés beállítása. Az I_0 kezdeti áramerősséget 14mA-nek érdemes választani (esetleg 13mA-nek). A kondenzátor feltöltése a K kapcsoló benyomásával történik. Ha ez túl gyors, vagy túl lassú, akkor az R^* ellenállás változtatásával beállíthatjuk a kényelmes sebességet.

A kondenzátort a választott kiindulási áramerősség fölé érdemes feltölteni.

Ezután következik az $I(t)$ függvény kimérése. Ennek módszere az, hogy figyeljük, ahogy a kisülés során az áram egyre kisebb értékeket vesz fel, és feljegyezzük, hogy az áramerősség mikor éri el a 13mA-t, majd 12mA-t, és így tovább. Ezt két féleképpen lehet elvégezni:

1. Lehetőség

Lehet használni a méréshez adott stopperórát. Ez részidők mérésére nem alkalmas, ezért minden pontban újra fel kell tölteni a kondenzátort. Ezzel a mérés lépései a következők:

1. Kondenzátor feltöltése
2. Idő mérése, amíg az áramerősség 14mA-ról 13-ra esik
3. Kondenzátor feltöltése
4. Idő mérése, amíg az áramerősség 14mA-ról 12-re esik
5. Kondenzátor feltöltése
6. Idő mérése, amíg az áramerősség 14mA-ról 11-re esik
stb., 1mA-ig mérve.

A mérési pontokat háromszor kell felvenni a fenti módszerrel, hogy minél pontosabb mérési eredményeket kapjunk egy átlagolás után.

2. Lehetőség

Ha van olyan eszköz a hallgatónál, amely pontosan tud időt mérni, és az eszköz alkalmas részidők mérésére és tárolására, akkor a fenti módszer helyett a következő gyorsabb módszer alkalmazható:

1. Kondenzátor feltöltése
2. Részidők mérése 14mA-tól 1mA-enként 1mA-ig.
3. Részidők feljegyzése.

A mérési pontokat ebben az esetben is háromszor kell felvenni a fenti módszerrel, hogy minél pontosabb mérési eredményeket kapjunk egy átlagolás után.

Minden mért eredményt be kell írni a jegyzőkönyvbe, nem csak az átlagolt értékeket!

4.3. Az időállandó közvetlen mérése

Mivel az időállandó az az idő, ami alatt az áramerősség e-ad részére csökken, azt közvetlenül is mérni tudjuk.

1. A választott I_0 -ból ki kell számítani annak e-ad részét (ezt a jegyzőkönyvben rögzíteni kell).
2. Meg kell mérni stopperórával azt az időt, amíg az áramerősség I_0 -ról kiszámított értékig esik. Ezt átlagoláshoz háromszor kell megismételni, az eredményeket feljegyezni.

Minden mért eredményt be kell írni a jegyzőkönyvbe, nem csak az átlagolt értékeket!

4.4. A mérés után

A mérési feladatok elvégzése után az egyenfeszültséget biztosító kapcsolót „off” állásba kapcsolni, majd a tápegységet ki kell kapcsolni. Ezek után lehet szétszedni az összeállított áramkört, az egyes áramköri elemeket rendezetten elhelyezve.

Ha a mérés során a hallgató az idő mérésére a stopperórát használja, azt a mérés után elindított helyzetben kell a dobozába visszategye (a benne lévő rugó így nem marad nyújtott állapotban).

5. Kiértékelés, számolások, tapasztalatok

Először is a mérőpadon elhelyezett adatlap alapján ki kell számolni az áramkörü elemek adataiból az időállandót ($\tau=RC$). Ezt rögzíteni kell a jegyzőkönyvben.

Másodsor, a közvetlen időállandó-mérések eredményeit átlagolni kell. Az eredményt rögzíteni kell a jegyzőkönyvben.

Harmadszor, ábrázolni kell a mért $I(t)$ függvényt. Ehhez az egyes mért időket pontonként átlagolni kell, ezek a csatolt táblázatban feltüntetendők. Ezek alapján kell ábrázolni a függvényt, a vízszintes tengelyen az idővel, a függőlegesen az áramerősséggel (az oktató ettől eltekinthet).

Negyedszer, a 2.2. alfejezetben szereplő egyik módon pontonként ki kell számolni az I-k hányadosának logaritmusát, és annak az időfüggését ábrázolni (ez mindenképpen kötelező).

Az így kapott pontokra egyenest illesztve az egyenes meredekségéből kiszámítható τ értéke (reciproképítés és előjel). Az eredményt a jegyzőkönyvben rögzíteni kell.

A három eredmény összehasonlításának tapasztalatait a jegyzőkönyvbe le kell írni.

Amennyiben lehetőség nyílik rá, és az oktató egyéb, a kondenzátorok kisülésével kapcsolatos mérést is elvégeztet a hallgatókkal (például sorosan és párhuzamosan kapcsolt kondenzátorok vizsgálata), annak tapasztalatait is le kell írni a jegyzőkönyvbe.

6. A jegyzőkönyv elkészítésének specifikumai

A jegyzőkönyvnek az általános szabályokon túl az alábbiaknak kell megfelelni:

- A kapcsolási rajzot az elméleti anyag alapján kell beilleszteni.
- Az időállandó közvetlen számolásának eredményét a jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell.
- A mért eredményeket a bemutatott táblázat formájában kell beilleszteni.
- A közvetlen időállandó-mérés mindhárom értékét és az átlagolás eredményét is közölni kell.
- Az időállandó illesztéses kiszámításakor, ha az egyenest számítógéppel illesztjük, az illesztésről, illetve az alkalmazott programról röviden írni kell.
- Ha a jegyzőkönyv az exponenciális görbét és az egyenest is tartalmazza, akkor azokat külön kell ábrázolni, és csak az átlagolt értékeket kell figyelembe venni.
- Ha az időállandó számolt és mért értékei között különbség van, akkor annak feltételezett okáról röviden írni kell az eredmények kiértékelésének végén.
- Ha az oktató további mérési feladatokat kér a hallgatótól, akkor annak tapasztalatait is röviden le kell írni a jegyzőkönyvbe.

	I (mA)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	$t_{\text{átlag}}$ (s)	$\ln(I/I_0)$ vagy $\ln(I_0/I)$
1. pont	$I_0=$	0	0	0	0	0
2. pont						
3. pont						
4. pont						
5. pont						
6. pont						
7. pont						
8. pont						
9. pont						
10. pont						
11. pont						
12. pont						
13. pont						
14. pont						
15. pont						

I_0/e (mA)	τ_1 (s)	τ_2 (s)	τ_3 (s)	$\tau_{\text{átlag}}$ (s)