

E6 laboratóriumi mérés – Fizikai Tanszék

Parázfény-lámpa feszültség-áram karakterisztikájának felvétele

1. A mérés célja, elve

A parázfény-lámpa speciális fényforrás, amelyben nem a szokásos izzószál sugárzása jelenti a fényforrást, hanem egy nagyon ritka gázban lejátszódó ködfény-kisülés.

A parázfény-lámpa belsejében két vezetősál található (az egyik a negatív pólusú katód, a másik a pozitív pólusú anód), amelyek nincsenek összekötve, alaphelyzetben köztük áram nem folyhat. A lámpatest töltve van megfelelően ritka gázzal (ez lehet akár levegő is), ez nagyságrendileg mbar körüli nyomást jelent (kb. 0,1mbar – 30mbar).

A lámpában lévő gázban a külső hatásoknak (természetes radioaktivitás, kozmikus sugárzás) köszönhetően mindig van néhány töltött részecske. A lámpára kapcsolt (és így a két vezetősál között megjelenő) feszültség ezeket a töltéseket kezdi el mozgatni. Ezeknek a ritkán elhelyezkedő töltéseknek a mozgása minimális áramerősséget jelent, de ez a mérés során elhanyagolható, lényegében nullának tekinthető.

Azonban a mozgó töltések ütköznek a semleges atomokkal/molekulákkal, ezzel hatást gyakorolva azok kötött elektronjaira is. Egy adott feszültség érték felett a töltött részecskék mozgása, és az abból származó ütközések annyira hevesse válnak, hogy ionizálják a gáz atomjait/molekuláit, és az így keletkező töltéseket is az áramkörre kapcsolt feszültség mozgatja. Az így kiszabaduló töltések lavinaszerűen tovább erősítik a hatást, amelynek hatására már mérhető mennyiségű töltés fog áramlani a feszültség hatására az anód és a katód között – vagyis mérhető nagyságú áram fog folyni az áramkörben.

A fényjelenségért is az említett ütközések a felelősek. Azok az ütközések, amelyek nem ionizálnak atomokat/molekulákat, elektronokat juttatnak gerjesztett állapotba, amik azután visszatérve alapállapotukba, a felesleges energiát fény formájában sugározzák ki. Így a kisugárzott fény jellemző a lámpát megtöltő gázra.

A parázfény-lámpák másik sajátossága, hogy a magas feszültségen benne zajló heves, csatolt folyamatoknak köszönhetően karakterisztikájuk egy ponton túl negatív meredekségű, vagyis egyre nagyobb áramerősségekhez egyre kisebb feszültségértékek tartoznak. A lámpa ebben a működési szakaszban tönkremegy, szélsőséges esetben a benne lévő kisnyomású gáz hatására szét is robbanhat. Ezért védőellenállással sorba kapcsolva használjuk ezeket az érzékeny eszközöket.

A mérés célja ezen működési sajátosságok bemutatása, amely a védőellenállás és a parázfény-lámpa feszültség-áram karakterisztikájának felvételével és értékelésével történik. Feladat továbbá a parázfény-lámpa gyújtási és kioltási feszültségének mérése.

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. Az Ohm törvény integrális alakja

A tapasztalat szerint egy homogén vezetőben folyó áram I erőssége arányos a vezető két sarka közötti U feszültséggel. Az arányossági tényezőt ellenállásnak nevezzük, R -rel jelöljük, mértékegysége az Ohm (Ω):

$$R = \frac{U}{I}$$

Az Ohm-törvény fontossága – bár hatóköre erősen korlátozott – számunkra elsősorban az, hogy a karakterisztikák mérésekor a referenciaként alkalmazott konduktív ellenállásokra nagy pontossággal igaz. Így azoknak az áramköri elemeknek a pontos működését, amelyekre a fenti arányosság nem igaz – esetünkben a parázsfény-lámpára – szemléletesebben és pontosabban tudjuk megvizsgálni.

2.2. Az áramköri elemekre kapcsolható maximális feszültség és áramerősség

Az egyes áramköri elemek mindegyike tönkremegy, ha túlságosan nagy feszültséget vagy áramot kapcsolunk rá. A pontos határértékek meghatározása a mérés előkészítésének egyik legfontosabb feladata. Amellett, hogy a mérőműszerek méréshatárának beállításakor ezek az információk elengedhetetlenek, balesetvédelmi szempontból is fontos tudni, hogy a vizsgált áramköri elemek mekkora feszültséggel és áramerősséggel terhelhetőek.

Azonban nem minden elemnek vannak ezek az információk megadva. Gyakori, hogy az ellenállás, illetve a maximális teljesítmény van megadva, de ezek bármelyikét helyettesítheti a maximális feszültség, ritkábban a maximális áramerősség mértéke.

Ezek a mennyiségek azonban könnyedén kiszámolhatóak egymásból, figyelembe véve, hogy a stacionárius áram teljesítménye

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

Ez alapján a maximális feszültség, a maximális ellenállás, és a maximális teljesítmény az alábbi összefüggéseken keresztül számolhatóak ki egymásból:

$$P_{\max} = U_{\max} I_{\max} = I_{\max}^2 R = \frac{U_{\max}^2}{R}$$

2.3. Áram- és feszültségmérés

A mérések során különböző áramkörök összeállítására lesz szükség. Gyakran kell majd áramerősséget és/vagy feszültséget mérni, sőt, a karakterisztikák mérésének éppen ez a legfontosabb módszere.

Az áramkörökben szereplő feszültség- és áramforrások valóságos forrásnak tekinthetőek, technikai adataikban azonban már figyelembe van véve azok belső ellenállása. Azonban az előfordulhat, hogy a mérőberendezés aktuális állapota, vagy bizonyos környezeti tényezők miatt mégsem pontosan azonosak az eszköz leírásában szereplő üzemi adatok a valósággal. Ezért lesz fontos a feszültségek és áramerősségek együttes mérése.

Egy adott áramköri elem első feszültség méréséhez a feszültségmérőt párhuzamosan kell kapcsoljunk, a rajta átfolyó áramerősség mérésekor az áramerősség-mérő eszközt sorosan kell kapcsolnunk a vizsgált áramköri elemmel.

Mi azonban a két mennyiséget egyidejűleg szeretnénk mérni. Erre kétféle megoldást választhatunk:



1. ábra Az áramerősség és a feszültség együttes mérésére alkalmas áramköri kapcsolások.

Bal oldalon a szövegben szereplő 1. eset, jobb oldalon a 2.

Mindkét esetben a mérés pontatlansággal terhelt. Amikor a feszültséget úgy mérjük, hogy a feszültségmérőt az ampermérővel is párhuzamosan kötjük be (1. eset), akkor a mért feszültség értékben az ampermérőn eső feszültség is szerepelni fog. Ha pedig az áramerősség-mérőt kötjük sorosan az áramköri

elemet és a feszültségmérőt párhuzamos kötésben tartalmazó körrel (2. eset), akkor pedig az áramköri elem és a feszültségmérőn összesen átfolyó áramerősséget mérjük.

Ezek azonban nagyon kicsi hatások. A feszültségmérő óriási ellenállása miatt csak nagyon kevés áram folyik át rajta, az ampermérőn pedig nagyon kicsi a feszültségésés, mivel egészen kicsi az ellenállása. A mérések során használt áramkörök összeállításánál mi az első változatot követjük, mivel az a megbízhatóbb, vagyis az áramköri elemmel sorosan kapcsolt ampermérővel is párhuzamosan kötjük a feszültségmérő eszközt.

2.4. A feszültség- és áramerősség-mérő eszközök méréshatára

A mérés során olyan feszültségmérő eszközt használunk, amely méréshatára változtatható. A megfelelő méréshatár beállítása a mérés elvégzésének fontos része.

A méréshatár optimális beállításához először szükség van a vizsgált áramköri elemre kapcsolható maximális feszültség és áramerősség értékekre. Ezekhez képest a méréshatárt lehet a maximális érték közvetlenül alá vagy fölé választani (esetleg a két módszert kombinálni). Ezen alfejezet végén ezek a lehetőségek részletesen kitárgyalásra kerülnek.

De először tekintsük át, hogy adott méréshatár beállítása esetén hogyan működik a mért értékek leolvasása, és azok alapján a valóságos értékek kiszámítása.



1. kép Feszültségmérő eszköz



2. kép Adott méréshatárra beállított feszültségmérő

Az 1. képen egy feszültségmérő eszköz látható. Jól látható az eszköz pozitív és negatív pólusa, illetve a felső szekcióban a méréshatár beállítására szolgáló lyukak. A méréshatár (vagyis a végkitéréshez tartozó feszültségérték) beállítása (lásd a 2. képen) egy tűske segítségével történik.

A beállított méréshatár a maximálisan mérhető feszültséget jelenti. A 2. képen szereplő példában ez 7,5V. Ez annyit jelent, hogy a mérőberendezés végkitérése (vagyis a 150-es osztáspont) 7,5V feszültségnek felel meg. Vagyis egy skálaosztás $7,5V/150=0,05V$ -nak felel meg. A példában beállított 90-es osztás tehát $90*0,05V$ -nak, vagyis 4,5V-nak felel meg a valóságban.

Általánosságban tehát az alábbi összefüggés szerint számolhatóak ki a valóságosan mért adatok:

$$U_{\text{valós}} = U_{\text{osztás}} * U_{\text{max}} / 150.$$

Az áramerősség-mérő méréshatára nem változtatható, pontos értéke 15mA. Vagyis a 150-es osztáshoz tartozó végkitérés 15mA valóságos áramerősséget jelent. Így $I_{\text{valós}} = I_{\text{osztás}} * 0,1mA$.

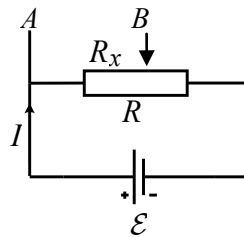
Jellemző erre a mérésre, hogy a mérőberendezéseken beállítható méréshatárok nem ideálisak a mérendő áramköri elemek tulajdonságainak mérésére. A beállítandó méréshatár sokkal kisebb, mint a számolt maximum, de az egyel magasabb már "túl magas". A méréshatár mérés közbeni változtatása az analóg

eszközöknél nagy mértékben rontja a mérés pontosságát. Továbbá ezek az analóg mérőberendezések jellemző módon a mérési tartomány felső kétharmada körül mérnek pontosan.

Fontos a fenti megfontolások mellett az is, hogy a megmutatni kívánt fizikai jelenségek egy része csak magas feszültség-értékek esetében lehetséges. Ezért a méréshatárok beállítását is ennek rendeljük alá. A részleteket a mérési összeállítás elkészítésénél tisztázzuk.

2.5. Feszültségosztó (potenciométeres) kapcsolás

A méréshez viszont nem csak a két mennyiség együttes mérésére lesz szükségünk, a feszültséget folytonosan változtatnunk kell, hogy megmérhessük, hogy különböző feszültség értékekhez milyen átfolyó áramerősségek tartoznak. Vagyis egy fix feszültségű forrás segítségével változtatható feszültséget kell előállítanunk. Ezt a feladatot valósíthatjuk meg feszültségosztó kapcsolás segítségével, amelynek lényege egy olyan áramköri elem, amelynek változtathatjuk az ellenállását:



2. ábra Potenciométeres kapcsolás

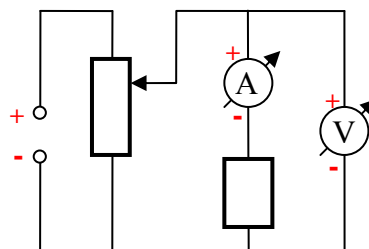
A főkörben folyó áramerősség természetesen $I = \frac{\mathcal{E}}{R}$, így az R_x ellenálláson eső feszültség:

$$U_{AB} = R_x I = \mathcal{E} \frac{R_x}{R}$$

A terheletlen potenciométer két kapcsán (A és B ponttal jelzett) megjelenő feszültség lineáris függvénye az R_x ellenállásnak, és $0 \leq U_{AB} \leq \mathcal{E}$. Így állíthatunk elő manuálisan változtatható feszültséget akkor is, ha a forrásunk állandó feszültséget biztosít számunkra.

2.6. karakterisztika méréséhez a mérési összeállítás

A fentiek alapján az áramköri elemek karakterisztikájának mérése során az alábbi áramköri kapcsolást alkalmazzuk:



3. ábra A feszültség és áramerősség együttes mérésére alkalmas áramköri kapcsolás

Ennek a kapcsolásnak köszönhetően tudjuk a vizsgálandó áramköri elemek karakterisztikáját mérni, vagyis minden feszültség értékhez meg tudjuk határozni, hogy mekkora az átfolyó áram erőssége, és viszont. Az áramkörben a feszültséget az áramerősség-mérő folyamatos ellenőrzésével állíthatjuk be úgy, hogy az meghatározott lépésközzel változzon, majd ez után kerül sor az átfolyó áramerősséghez tartozó feszültségérték leolvasására.

A fenti kapcsolási rajz a mérés előtt számonkérhető!

3. A mérés módszere

A parázzsfény-lámpa csak adott feszültség felett kezd el világítani (gyújtási feszültség, csak e fölötti feszültség hatására folyik mérhető áram át a lámpán), és karakterisztikája akkor sem lineáris, vagyis nem felel meg az Ohm-törvénynek. Továbbá, az égő parázzsfény-lámpára kapcsolt feszültség csökkentése során egy adott feszültség alatt már nem folyik áram (kioltási feszültség) - ekkor alszik ki a lámpa. A mérés célja a gyújtási és kioltási feszültségértékek meghatározása, és a nemlineáris karakterisztika bemutatása.

A nemlineáris karakterisztikának van egy olyan szakasza, amelyen a karakterisztika negatív irányú, vagyis növekvő áramerősségekhez csökkenő feszültség adódik. Ebben a szakaszban, ha a lámpát önmagában tesszük ki feszültségnek, a lámpa tönkremehet, vagy a hirtelen megnövekvő áramerősség hatására fel is robbanhat. Ennek elkerülése végett az izzó karakterisztikáját nem önmagában vesszük fel, hanem egy védőellenállással (ez egyszerű, az Ohm-törvénynek megfelelően működő, úgynevezett konduktív ellenállás) sorosan kapcsolva.

Ahhoz, hogy a parázzsfény-lámpa karakterisztikáját fel tudjuk rajzolni, szükségünk lesz a konduktív ellenállás saját karakterisztikájára. Az ellenállás és a lámpa közös karakterisztikájából ennek segítségével tudjuk meghatározni a lámpára jellemző mérési pontokat.

A mérés első részében a konduktív ellenállás karakterisztikája kerül felvételre, vagyis egyenletesen választott áramerősség értékekhez mérjük a feszültség értékét. Ez adja az $U_R(I)$ függvény pontjait. A második részben ugyanezekhez az áramerősség értékekhez mérjük az ellenállással sorosan kapcsolt parázzsfény-lámpa feszültségét, ami az $U_{összes}(I)$ függvény pontjait adja majd.

A fenti függvények ismeretében (mivel soros kapcsolás esetén a feszültségértékek összeadódnak) a parázzsfény-lámpa karakterisztikájának egyes pontjai már meghatározhatóak, minden adott I áramerősség-értékhez kiszámolva az

$$U_{lámpa}(I) = U_{összes}(I) - U_R(I)$$

feszültségértéket.

A karakterisztika együttes feszültség és áramerősség-mérés során valósul meg, amelyben a feszültség változtatása feszültségosztó beiktatásával történik.

4. Előkészítő számítások

A konduktív ellenálláson közölt technikai adatok alapján ki kell számolni az elemre kapcsolható maximális áramerősséget és feszültséget.

Azonban a parázzsfény-lámpa esetén a maximálisan megengedhető áramerősség 11mA. A konduktív ellenállásra vonatkozó mérést is ennek rendeljük alá. Ki kell számolni a konduktív ellenállás Ohm-os ellenállásának értékéből, hogy mekkora feszültség tartozik a 11mA-es áramerősséghez. Ez az érték lesz a még mindenképpen kimérendő tartomány felső határa.

A számítások és az eredmények szerepeljenek a jegyzőkönyvben!

5. A mérés folyamata

A mérés során a konduktív ellenállás és a sorosan kapcsolt ellenállás+lámpa közös karakterisztikájának a felvétele a feladat. Ehhez az alábbi folyamatot először az ellenállás esetében kell elvégezni, majd a tápegység lekapcsolása és az új áramkör összeállítása után a tápegység újbóli bekapcsolásával következik a folyamat végigvitele az ellenállás és az azzal sorba kötött parázzsfény-lámpa esetében is.

5.1. A kapcsolás összeállítása

A mérés elvégzéséhez a 3. ábrán látható kapcsolást kell összeállítani. Az első esetben a mérendő áramköri elem a konduktív ellenállás, a második esetben az ellenállás és a parázsfény-lámpa sorosan kapcsolva.



3. kép Az ellenállás karakterisztikájának méréséhez így kell bekötni a kétpólust



4. kép A közös karakterisztika méréséhez így kell bekötni a kétpólust

A feszültségosztók (potenciométerek) használata:



5. kép A mérés során használt potenciométerek

- 1 – A feszültségosztónak ezt a pólusát kötjük a tápegység és az áramkör negatív pólusához
 - 2 – A feszültségosztónak ezt a pólusát kötjük a tápegység pozitív pólusához
 - 3 – Ez a pont a változtatható ellenálláshoz tartozik, ezt kötjük az áramkör pozitív pólusára
 - 4 – Ezzel a tárcsával lehet az ellenállás nagyságát, vagyis a feszültség értékét szabályozni
- A tápegység működtetéséhez az alábbiakat kell tudni:



6. kép A mérés során alkalmazott tápegység előlapja

- 1 – A tápegység kimenetének pozitív pólusa
- 2 – A tápegység kimenetének negatív pólusa
- 3 – Központi kapcsoló
- 4 – A feszültség szabályzója – a beállítást a gyakorlatvezető ellenőrzi
- 5 – A feszültség finomszabályzója (a mérés során erre nincs szükség)
- 6 – Áram- feszültségforrás kapcsoló (ennek „feszültség” állásban kell lennie)
- 7 – Beépített feszültségmérő kijelzője

Érdeemes az összeállítást a potenciométeres kapcsolással indítani, azt követheti a potenciométer kimenete - mérendő kétpólus – áramerősség-mérő soros kör, és a feszültségmérőt a mérendő kétpólus bemenete és az áramerősség-mérő kimenete közé bekötni.

A konduktív ellenállás esetében a 11mA-hez számolt feszültségérték FÖLÉ kell választani a feszültségmérő berendezés méréshatárát.

A sorba kapcsolt konduktív ellenállás és lámpa esetén a feszültségmérő felső határát 300V-ra kell állítani!

A bekapcsolás előtt ellenőrizni kell, hogy a potenciométer nulla feszültség leadására van-e beállítva!

Szigorúan tilos az áramkörbe a parázfény-lámpát a védőellenállás nélkül bekötni!

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

A központi feszültség bekapcsolása után a tápegység központi kapcsolójának (6. kép 3. pont) felkattintásával kezdődhet a mérés. A tápegységnek szüksége van némi időre, míg a benne lévő elektroncsövek felmelegszenek. Ezt az időt ki kell várni (néhányszor 10 másodpercről van szó). Az üzemi hőmérséklet elérését a tápegység saját feszültségmérőjének kilengése jelzi.

A tápegység kimenő feszültségét 250V-ra kell beállítani (ezt a tápegység saját feszültségmérőjén lehet leolvasni), azt utána nem változtatni (a változtatást a potenciométerrel kell megoldani). Ezt a mérés megkezdése előtt a gyakorlatvezető ellenőrzi.

5.2. A karakterisztikák felvétele

Az egyes karakterisztikák felvétele során a feszültséget a potenciométer segítségével úgy kell változtatni, hogy az állandó, jól leolvasható áramerősség-értékeket eredményezzen. Ezekhez az áramerősségekhez kell leolvasni a feszültég értékét. A feszültséget zérus értékről növeljük legalább 15 lépésben úgy, hogy se a feszültség, se az áramerősség ne lépje át a kiszámolt határértéket.

Mindkét karakterisztika esetében a maximális áramerősség 11mA lehet, vagyis a mérés során ne lépjük át az ampermérő 110-es osztását!

Az első pont maga az origó, vagyis 0A áramerősséghez 0V feszültség tartozik.

A konduktív ellenállás karakterisztikája pontjainak mérése után a feszültségosztót mindenképpen állítsuk vissza alaphelyzetbe. Csak ez után szabad a sorba kapcsolt ellenállás+parázzsfény-lámpa mérését megkezdeni.

Az ellenállás és parázzsfény-lámpa közös karakterisztikájának mérése előtt a feszültség-mérő berendezés méréshatárát 300V-ra kell állítani (a potenciométer maximális kitérésénél a rendszer a tápegység által szolgáltatott 250V-os feszültséget kapja).

A sorba kötött konduktív ellenállás és a parázzsfény-lámpa esetén először érdemes kimérni a gyújtási feszültséget. Ennél kisebb feszültség esetén az áramerősség zérus. A kérdéses feszültség megméréséhez el kell találni azt a pontot, amikor már éppen nem nulla az áramerősség. Az ehhez tartozó feszültséget kell leolvasni, azt a jegyzőkönyvben külön szerepeltetni. Vizuálisan az említett pont úgy érzékelhető, hogy a lámpa elkezd gyengén világítani.

Hasonlóan zajlik a kioltási feszültség mérése is, ebben az esetben viszont az égő izzón csökkentjük a feszültséget addig, amíg azon már éppen nem folyik áram. Az ehhez a ponthoz tartozó feszültség a kioltási feszültség. Vizuálisan ez úgy érzékelhető, hogy ezen a ponton a lámpa kialszik.

Mivel a konduktív ellenállás és a parázzsfény-lámpa más feszültségtartományban működik, a mérés során szükséges a feszültségmérő eszköz méréshatárának változtatása a mérések között (lásd fent). Fontos figyelembe venni, hogy a valóságosan mért érték függ az eszköz skálaosztásától, amit beállított méréshatár határoz meg. Ezért érdemes az eredményeket egy táblázatba beírni. Ennek kinyomtatható változata a mellékletben megtalálható.

A táblázatban az egyes mérési pontoknál a leolvasott skálaosztásokat, és a mérőeszközök aktuálisan beállított méréshatárait kell csak beírni, a tényleges feszültség és áramerősség értékek kiszámítását később is el lehet végezni, bár hasznos azonnal kiszámolni őket, és az eredményeket beírni a táblázat 3.-ik és 6.-ik oszlopába.

A jegyzőkönyvbe a mért eredményeket ezen táblázat formájában kérjük beadni!

5.3. A mérés után

A mérési feladatok elvégzése után a potmétert vissza kell állítani alaphelyzetbe, majd a tápegységet ki kell kapcsolni. Ezután lehet szétszedni az összeállított áramkört, az egyes áramköri elemeket rendezetten elhelyezve.

6. Kiértékelés, számolások, tapasztalatok

A kiértékelés első lépése a konduktív ellenállás karakterisztikájának ábrázolása olyan koordináta-rendszerben, amelynek vízszintes tengelyén az áramerősség szerepel, a függőleges tengelyen pedig a feszültség. Fontos, hogy a feszültség és áramerősség értékek is a valós értékek legyenek, vagyis alkalmazni kell a 2.4. alfejezetben leírt átváltásokat, amelyeket a mérőeszközök méréshatára határoz meg.

A parázzsfény-lámpa és a vele sorba kötött ellenállás közös karakterisztikáját ugyanabban a koordináta-rendszerben kell ábrázolni.

Az $U_{\text{lámpa}}(I) = U_{\text{összes}}(I) - U_R(I)$ feszültségértékek kiszámolásával felrajzolható a parázzsfény-lámpa saját karakterisztikája. Ennek pontjait is ugyanabban a koordináta-rendszerben kell ábrázolni, mint a fenti két esetet, így egy ábrán jól láthatóak lesznek a mérési eredmények és a számolt karakterisztika pontjai is.

7. A jegyzőkönyv elkészítésének specifikumai

A jegyzőkönyvnek az általános szabályokon túl az alábbiaknak kell megfelelni:

- A kapcsolási rajzot az elméleti anyag alapján kell beilleszteni.
- A méréshatárokhoz tartozó számolásokat a jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell.
- A mért eredményeket a bemutatott táblázat formájában kell beilleszteni.
- A gyújtási és kioltási feszültség mért értékeinek szerepelni kell a jegyzőkönyvben.
- A három karakterisztikát (konduktív ellenállás, sorosan kapcsolt lámpa+ellenállás, és a számolt értékekből a parázfény-lámpa) ugyanazon ábrán, ugyanabban a koordináta-rendszerben felrajzolva kérjük leadni.

	Mért U	Méréshatár: Max. skálaosztás	Valós U	Mért I	Méréshatár: Max. skálaosztás	Valós I
1. pont						
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						

	Mért U	Méréshatár: Max. skálaosztás	Valós U	Mért I	Méréshatár: Max. skálaosztás	Valós I
1. pont						
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						