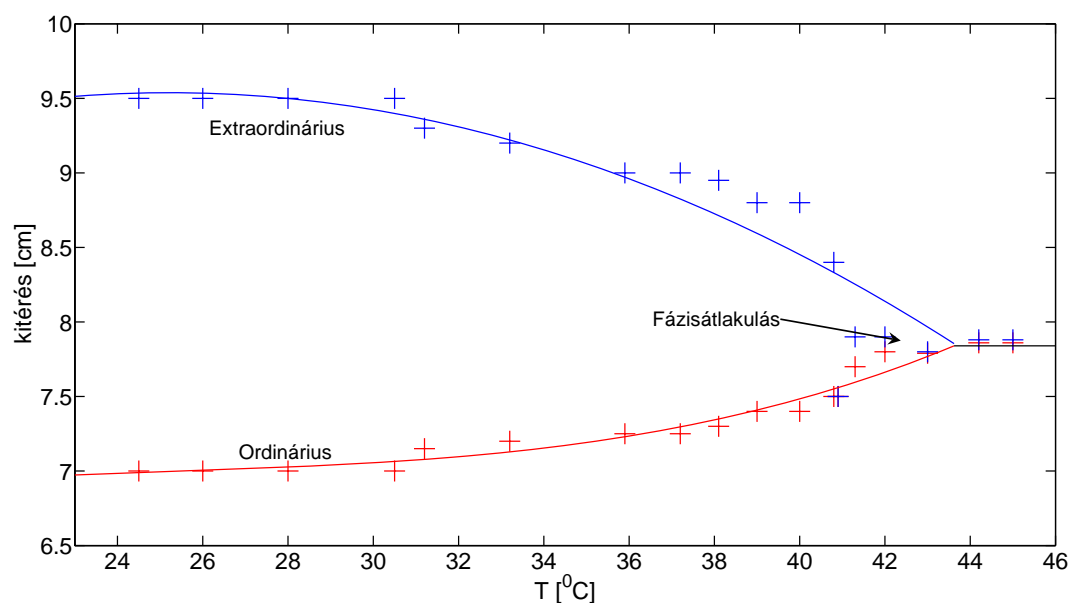


1. Bevezetés

A mérés célja folyadékkristályok optikai tulajdonságainak vizsgálata. A „folyadékkristályos állapot” nem más, mint bizonyos anyagoknak szűk hőmérséklettartományba eső fázisa. A mérés folyamán többek között nematikus folyadékkristályok fázisátalakulását figyeljük majd meg. Az átalakulást a minta optikai tulajdonságainak megfigyelésével tudjuk nyomon követni. Ezt követően a nematikus minta két oldalára csatlakoztatott elektródák segítségével „csavart nematikus kijelzőt” állíthatunk elő (feszültség nélküli eset). Az elektródákra különböző feszültségjelalakokat vezetünk, és vizsgáljuk a minta polarizált fénnel szembeni viselkedését. A mérés során lehetőségünk adódik egy ferroelektromos cella hasonló típusú vizsgálatára is.

2. A nematikus minta fázisátalakulása

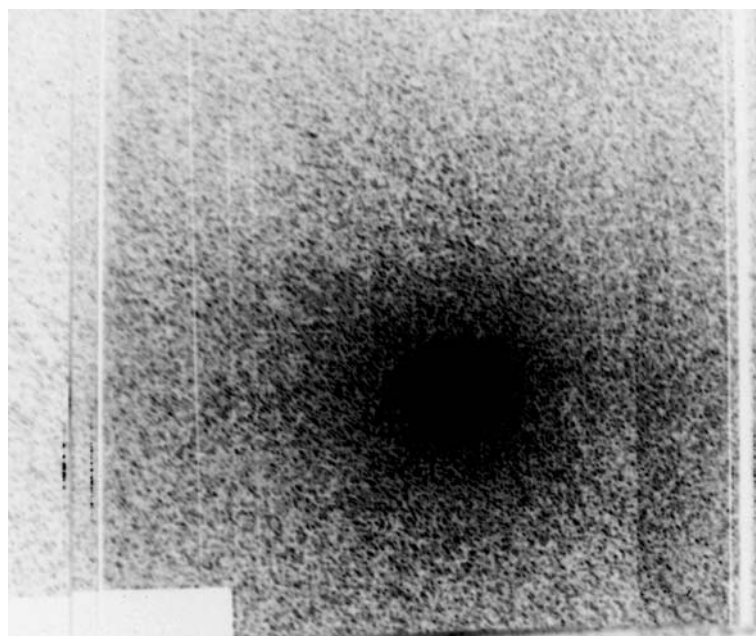


1. ábra. Az ordinárius és extraordinárius fénysugarak eltérése az eredeti lézersugártól a hőmérséklet függvényében.

A nematikus minta helyről helyre a direktor irányába álló hosszúkás molekulákból áll. A rajtuk átvezetett fényaláb különböző polarizáltságú összetevői más-más optikai törésmutatót éreznek, így különböző képpen törnek is meg a határfelületeken. Mi megfigyeltük az ordinárius és extraordinárius fénysugarak eltérést a hőmérséklet függvényében. A mért adatokat a csatolt milliméterpapíron szerepelnek, a grafikus eredményeket az 1. ábra szemlélteti. A grafikonhoz tartozó adatokat az alábbi táblázat tartalmazza:

Hőmérséklet [°C]	Ordinárius sugár [cm]	Extraordinárius sugár [cm]	Hőmérséklet [°C]	Ordinárius sugár [cm]	Extraordinárius sugár [cm]
24.5	7	9.5	39.0	7.4	8.8
26	7	9.5	40.0	7.4	8.8
28	7	9.5	40.8	7.5	8.4
30.5	7	9.5	40.9	7.5	7.5
31.2	7.15	9.3	41.3	7.7	7.9
33.2	7.2	9.2	42.0	7.8	7.9
35.9	7.25	9.0	43.0	7.8	7.8
37.2	7.25	9.0	44.2	7.85	7.9
38.1	7.3	8.95	45.0	7.85	7.9

Az eltérések a vizsgált hőmérséklettartományon kívül már nem változtak. A grafikon nagyszerűen mutatja a fázisátalakulás folyamatát, ahogyan a két különböző polarizáltságú fénysugár összeér. Innen kezdve a minta már nem kettőtörő. A fázisátalakulás előtt két fényfoltot láttunk a felragasztott milliméterpapíron, az átalakulás után már csupán egyet. A fázisátalakulás pillanataiban viszont látványos, időben dinamikusán örvénylő, kaotikusan fejlődő képet láttunk. Egy pillanatfelvételt mutat a 2. ábra.

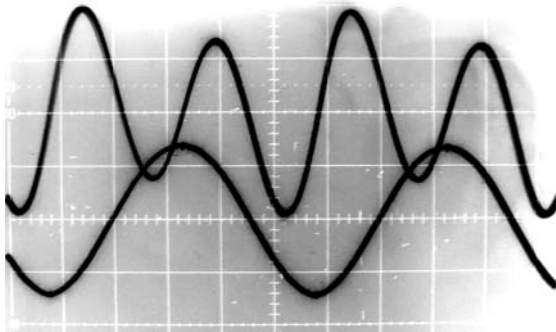


2. ábra. A fázisátalakulás pillanata.

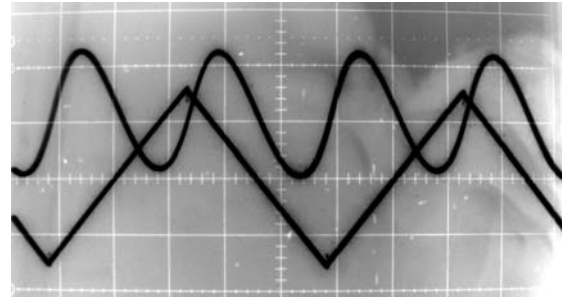
3. A csavart nematikus cella vizsgálata

A cellára erősített elektródák segítségével csavart nematikus cellát hozhatunk létre (feszültség nélküli eset). A cella két oldalára egymásra merőleges irányítású polárszűrőket helyezünk. A nematikus mintát úgy forgatjuk el, hogy a rendszeren átjutó fény intenzitása maximális legyen. Ha

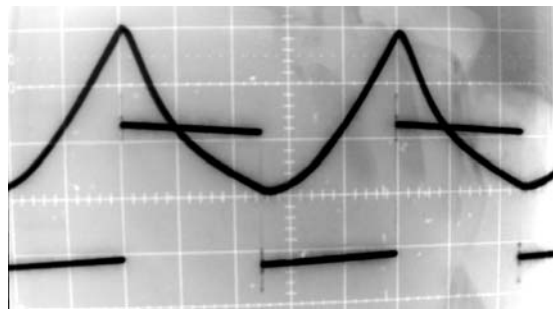
az elektródákra feszültséget kapcsolunk, a csavart nematikus minta bizonyos mértékig „kiegyenesedik” az elektródákra kapcsolt feszültség függvényében, és csökken az átengedett intenzitás. Mi szinuszos, háromszög és négyszög jelalakokat kapcsolunk az elektródákra. Az eredményeket a 3. ábra mutatja.



(a) Az átengedett intenzitás (felső grafikon, $0.2V/osztás$) a szinuszos vezérlőjel hatására (alsó grafikon, $5V/osztás$).



(b) Az átengedett intenzitás (felső grafikon, $0.5V/osztás$) a háromszögjeles vezérlőfeszültség hatására (alsó grafikon, $5V/osztás$).



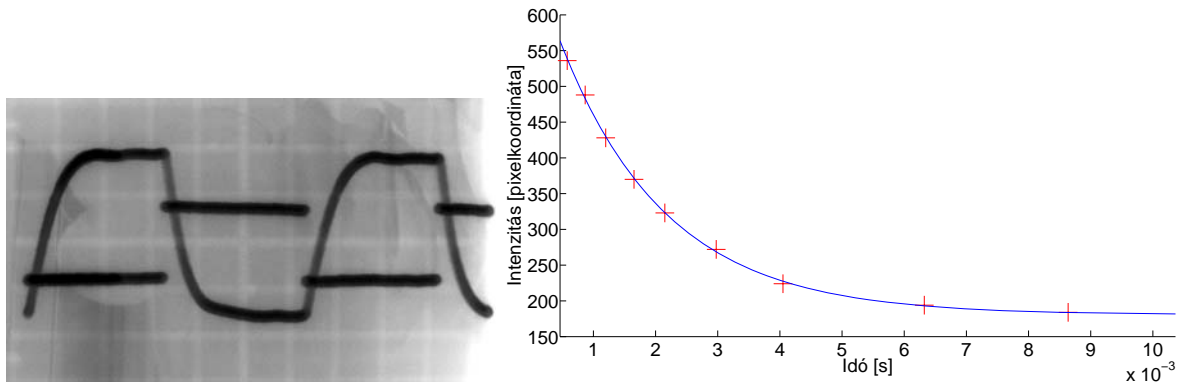
(c) Az átengedett intenzitás (felső grafikon, $30mV/osztás$) a négyszögjeles vezérlőfeszültség hatására (alsó grafikon, $5V/osztás$).

3. ábra. Az átengedett intenzitások különböző alakú vezérlőjelek esetében. A vezérlőjelek mindegyik esetben 100 Hz frekvenciájúak voltak.

Látjuk, hogy a kimenő jel (az intenzitással arányos feszültség) a vezérlőjelnél nagyjából kétszer nagyobb frekvenciájú és hozzá képest fázistolts (szinuszos és háromszögjel esetében). A frekvencia kétszereződését nagyon könnyű megmagyarázni: a nematikus cella „zárni” próbál akár pozitív, akár negatív feszültséget kapcsolunk rá. Az egyenfeszültség nélküli periodikus vezérlőjel egy periodusában a cella kétszer próbál zárni, innen ered a kétszeres frekvencia. A fázistolás pedig a molekulák tehetetlenségéből adódik, mivel nem tudják valós időben követni a vezérlőjel változásait. Négyszögjel esetében nem látunk frekvenciakétszerződést. A molekulák egy exponenciális alakú időfüggés során próbálnak beállni a négyszögjelszintek egyensúlyi állapotaiba, mely során fáziskéső tehetetlenséget sem mutatnak. Az osszcilloszkópról készített felvételeket digitálisan elemezve (pixelkoordináták segítségével) az alábbi eredményekre jutunk:

	szinuszos jel	háromszögjel	négyzetjel
vezérlőjel frekvenciája:	$(100 \pm 2) \text{ Hz}$	$(99 \pm 2) \text{ Hz}$	$(102 \pm 2) \text{ Hz}$
kimenőjel frekvenciája:	$(200 \pm 5) \text{ Hz}$	$(200 \pm 4) \text{ Hz}$	$(101 \pm 2) \text{ Hz}$
fázistolás:	$(1.22 \pm 0.08) \text{ ms}$	$(1.20 \pm 0.07) \text{ ms}$	$\approx 0 \text{ ms}$

4. A nematikus cella kapcsolási ideje



4. ábra. Az átengedett intenzitás a négyzetjeles vezérlőfeszültség hatására. Az időállandó mérése. (a fényképen 1 beosztás = $5 \cdot 10^{-3} \text{ s}$)

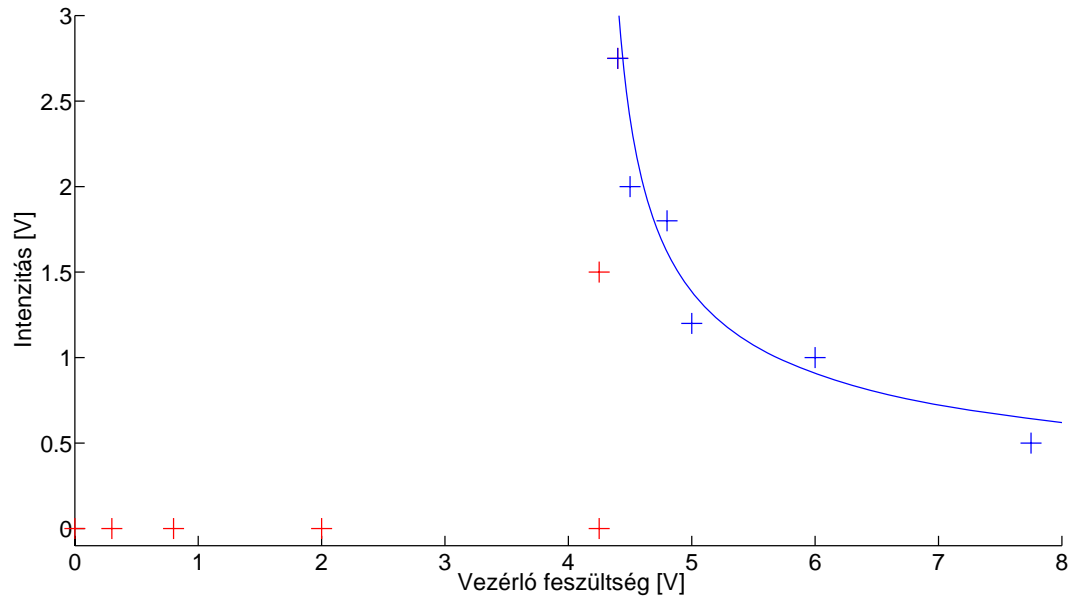
A cellára most egy kicsi frekvenciájú ($f \approx 33 \text{ Hz}$) négyzetjelet kapcsolunk. A oszcilloszkópról készült fénykép segítségével exponenciális görbét illeszthetünk a megfelelő szakaszokra. Az illesztési pontok a fényképről pixelkoordináták formájában leolvasott pontok lesznek. Sajnos ebben az esetben kicsit rosszul sikerült a fénykép, de szerencsére még kiértékelhető maradt. A fénykép és az illesztés a 4. ábrán látható. Az illesztés után a képernyő kapcsolási ideje $\tau = (1.7 \pm 0.1) \text{ ms}$ -nak adódott. Ez az érték nagyon közel esik az előző szakasz táblázatában szereplő fázistolásokhoz. Ez nem véletlen! A képernyő nagyságrendileg ekkora késéssel tudja követni a vezérlőjelet.

5. A feszültség-intenzitás karakterisztika

A nematikus cella vizsgálatát 100 Hz -es szinuszos vezérlőjel amplitúdójának változtatásával folytattuk. Oszilloszkóp segítségével megmértük a cella feszültség-intenzitás karakterisztikáját. Az intenzitást természetesen most is egy vele arányos feszültségként kaptuk meg. A mért értékeket az alábbi táblázat mutatja:

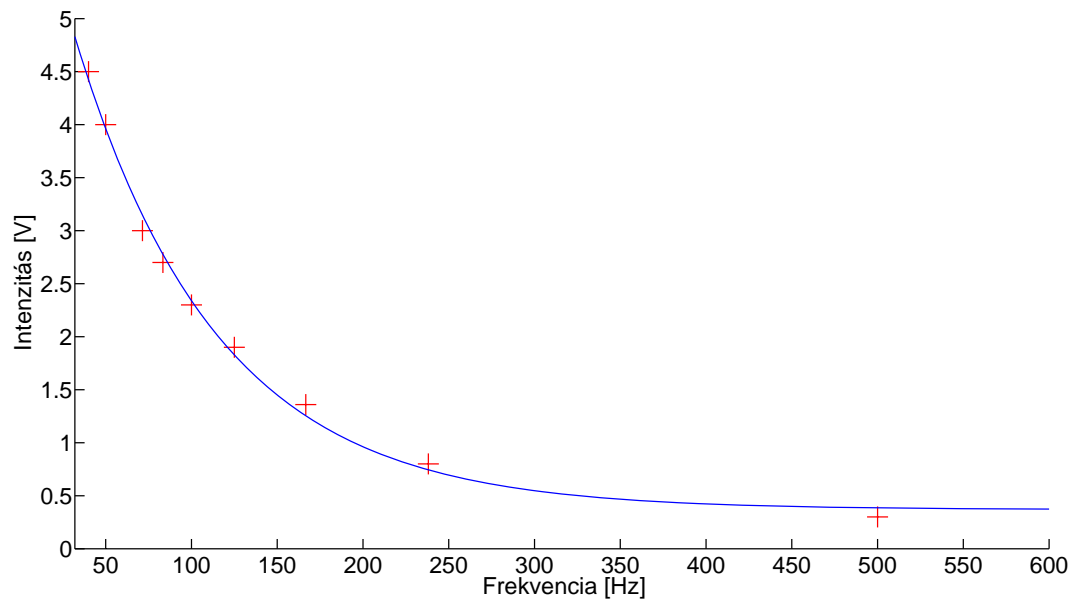
vezérlőjel [V]:	0	0.3	0.8	2.0	4.25	4.25	4.4	4.5	4.8	5.0	6.0	7.75	10.0
intenzitás [V]:	0	0	0	0	0	1.5	2.75	2	1.8	1.2	1.0	0.5	0.25

Az adatok grafikus ábrázolása az 5. ábrán látható. A vezérlőjel ($0 - 4.25 \text{ V}$ -os tartományában a cella nem vezérelhető. (A kimeneten a fotodióda feszültségének változását mérjük. A megadott tartományban ezért 0 V -os kimeneti jelet kapunk annak ellenére, hogy a cella átereszt.) A cellát a legnagyobb intenzitáshoz tartozó feszültségértéknél, azaz 4.4 V amplitúdójú vezérlőjel esetén célszerű működtetni, amennyiben a vezérlőjel egy 100 Hz -es szinuszalak.



5. ábra. A feszültség-intenzitás karakterisztika. A folytonos vonal csupán a szemet vezeti.

6. A frekvencia-intenzitás karakterisztika



6. ábra. A feszültség-intenzitás karakterisztika. A folytonos vonal az $U = A e^{b \cdot f} + C$ illesztett függvényt szemlélteti.

Az előző szakaszban a legnagyobb intenzitást a vezérlőjel 4.4 V értékénél kaptuk, ezért a frekvenciakarakteristikát is ennél a feszültségértéknél fogjuk felvenni. A mért adatokat az alábbi táblázat tartalmazza:

frekvencia [Hz]:	40	50	71	83.3	100	125	166.7	238	500
intenzitás [V]:	4.5	4.0	3.0	2.7	2.3	1.9	1.4	0.8	0.3

A mérési pontokra nagyon jól illeszkedik egy $U = A e^{b \cdot f} + C$ alakú függvény, ahol f a szinuszjel frekvenciáját, U az intenzitással arányos feszültséget, A , C és b pedig az illesztési paramétereket jelölik. Az illesztés eredménye:

$$\begin{aligned}
 A &\approx 6.55 \text{ V} & \delta A &= 12.5\% \\
 b &\approx -0.012 \text{ s} & \delta b &= 16\% \\
 C &\approx 0.3694 \text{ V} & \delta C &= 62\%
 \end{aligned}$$

Az eredményeket grafikusán a 6. ábra szemlélteti.

7. A felületstabilizált ferroelektromos folyadékkristály - kijelző

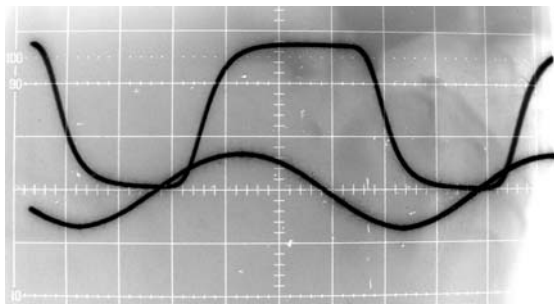
Ennek a cellának a működése eltért az előzőtől. A kimenő jel frekvenciája megegyezik a bemenő jel frekvenciájával, vagyis itt már számít a tér iránya. Ez a fajta cella sokkal alkalmasabb jelvezérelt kontrasztváltásra, mert az előzőnél hűbben követi a feszültségváltozásokat. Négyszögjellel vizsgálva a cellát a kapcsolási időt kb. 0.3 ms-nak találtuk (lásd a köv. szakaszt). Ez az idő egy nagyságrenddel jobb mint a nematikus cella kapcsolási ideje. 170 Hz-es szinuszos, háromszög- és négyszögjel esetén látható intenzitás-időfüggéseket a 7. ábra szemlélteti.

8. A ferroelektromos cella kapcsolási ideje

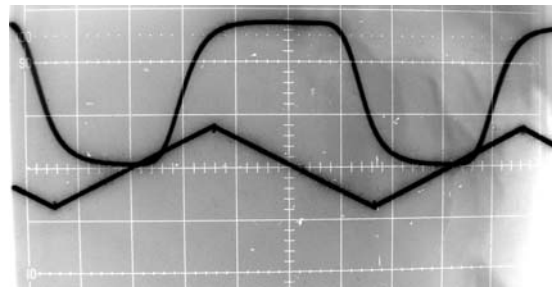
Hasonlóan a nematikus cellához, ebben az esetben is meghatározzuk a négyszögjelre adott válasz időállandóját. A 8. ábrán látható fényképből kiírva a grafikonra illeszkedő néhány pont pixelkoordinátáit, a kapott pontsorra exponenciális görbét illeszthetünk. Az illesztés eredményéből kapott időállandó:

$$\tau = (3.4 \pm 0.1) 10^{-4} \text{ s}$$

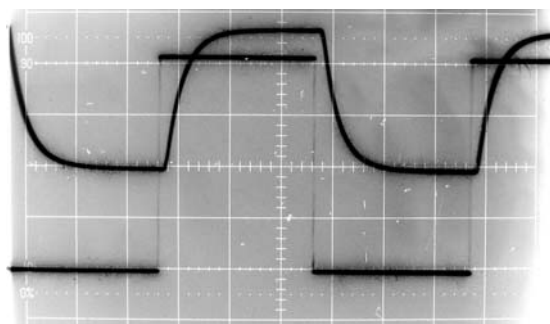
Ahogy már említettük ez a kapcsolási idő egy nagyságrenddel jobb a nematikus cellánál. A ferroelektromos cellát tehát sokkal gyorsabban lehet vezérelni. A működése nagyon jó összhangban van a jegyzetben leírtakkal: a 7. ábrán látható jelalakok arról tanúskodnak, hogy a cellának két stabil állapota van, melybe a cella az elektromos tér irányától függően akar beállni.



(a) Az átengedett intenzitás (felső grafikon, 0.2V/osztás) a szinuszos vezérlőjel hatására (alsó grafikon, 5V/osztás).

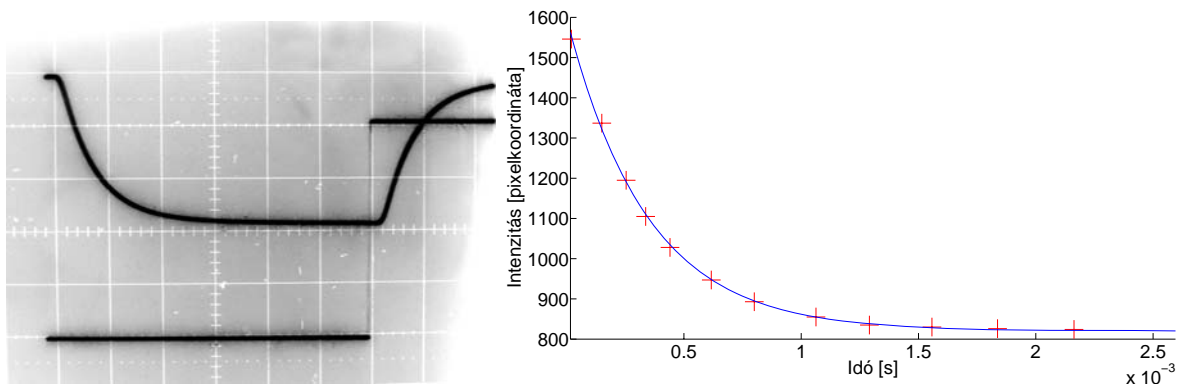


(b) Az átengedett intenzitás (felső grafikon) a háromszögjeles vezérlőfeszültség hatására (alsó grafikon).



(c) Az átengedett intenzitás (felső grafikon) a négyzetjeles vezérlőfeszültség hatására (alsó grafikon).

7. ábra. Az átengedett intenzitások különböző alakú vezérlőjelek esetében. A vezérlőjelek mind-egyik esetben 170 Hz frekvenciájúak voltak.



8. ábra. Az átengedett intenzitás a négyzetjeles vezérlőfeszültség hatására. Az időállandó mérése. (a fényképen 1 beosztás = $5 \cdot 10^{-4} s$)