

# Kijelzők vizsgálatára alkalmas fény-sűrűségmérő tervezése és építése

DR. SZENTIDAY KLÁRA  
Kandó Kálmán Villamosipari  
Műszaki Főiskola

A laboratóriumi mérőműszerekben, a híradástechnikai és számítástechnikai berendezésekben elterjedten alkalmazzák a különféle számkijelzőket és adatmegjelenítőket, amelyek — mint sugárzó felületek — fény-sűrűségükkel jellemezhetők. A fény-sűrűség túlságosan kicsiny vagy nagy értéke és esetleges ingadozása rontja a láthatóságot. Ugyancsak zavaróan hat, ha pl. LED-sorok elemei vagy számkijelzők egyes digitjei és szegmensei egymástól eltérő fény-sűrűségűek.

A sugárzók fény-sűrűségét a felületegység által kisugárzott fényerősséggel definiálják. A fény-sűrűség fénytechnikai alappmenység és egysége az SI-mértékrendszerben a  $\text{cd/m}^2$  (nit). Az angolszász irodalomban a foot lambert egység használatos, 1 fL 3,426 nit-nek felel meg. A sugárzás- és fénytechnikai mennyiségek meghatározását a magyar szabványok rögzítik [1]. A látható tartományra vonatkozó mennyiségeket nevezik fénytechnikai egységeknek, és ezek magukban foglalják az emberi szem spektrális érzékenységgörbéjét, a  $V(\lambda)$  függvényt [2].

Az Egyesült Izzólámpa és Villamossági RT kísérleti gyártás keretében készített vákuum-fluoreszcens számkijelzőket, amelyek fény-sűrűségmérése szükségessé vált. Ezeknek a hétszegmenses számkijelzőknek a vizsgálatára az EIVRT megbízásából készítettük a közleményünk tárgyát képező mérőegységet. A műszer felépítése és mérési elve lehetőséget nyújt arra, hogy ilyen elrendezésben másféle méretű és jellegű sugárzók fény-sűrűségmérése is megoldhatóvá váljék.

## 1. A fotodetektor megválasztásának szempontjai

A vizsgálatra szánt DTM 208R típusú kijelzők fény-sűrűségét az egyes paraméterek (fűtőáram, anód- és rácsheszültség) függvényében mértük. Ennek következtében olyan mérőműszerre volt szükség, amely kis fény-sűrűségek ( $\sim 10$  nit) regisztrálására is alkalmas.

Fény-sűrűségmérés céljára hagyományos módon fotoelektron-sokszorozót alkalmaznak fényérzékelőként, amely a látható tartományban — megfelelő üzemi körülmények között — már néhány foton detektálására is képes. A fotomultiplierek alkalmazását nehezíti viszonylag nagy méretük, törekenységük, rázásra való érzékenységük, nagyfeszültség-igé-

nyük, továbbá az a körülmény, hogy a fotoelektron-sokszorozót a külső szórt fénytől tökéletesen el kell zárni és elektromosan is árnyékolni kell. Ezenkívül sok csőtípusnál a jel/zaj viszony javítása érdekében külső mágneses fókuszálást vagy hűtést is alkalmazni kell.

Az elmondottakból következik, hogy a korszerű laboratóriumi mérési igényeknek sokkal jobban megfelelnek a félvezető fotovevők, amelyek kis méretűk, kis feszültségigényük és teljesítményfelvételük, valamint egyszerű alkalmazhatóságuk folytán kedvezőbben illeszthetők a tranzisztoros és integrált áramkörös kapcsolásokhoz.

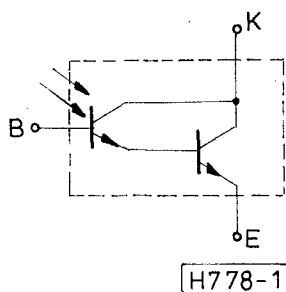
A látható tartományba eső sugárzás érzékelésére alkalmasak a kadmiumkalkogenid fotoellenállások (CdS, CdSe, CdTe), ezek a detektorok azonban lineáritás szempontjából nagyon kedvezőtlenek, zajosak; válaszelületet befolyásolja, hogy előzőleg mennyi ideig voltak megvilágítva, továbbá feszültségigényük is általában 100 V feletti [3].

A szilíciumból készült záróréteges fotovevők mentesek az előbb említett kedvezőtlen tulajdonságoktól, válaszelületük a megvilágítással egyenes arányban növekszik, sötétáramuk és zajuk kicsiny, működésük mentes az öregedési jelenségektől és zárófeszültség-igényük 20 V alatti. Hátrányuk viszont, hogy maximális érzékenyséjük általában 800...950 nm közé esik és 555 nm-en, tehát az emberi szem legnagyobb érzékenyséű hullámhosszán, válaszelületük már erősen lecsökken. A korszerűbb technológiával gyártott fotovevők érzékenysége a  $V(\lambda)$  függvényhez jobban illeszkedik, sőt ultraibolya-érzékeny fotodetektorokat is tudnak már készíteni Schottky-átmenetes félvezetőkből [4].

A külföldi gyártó cégek nagy számban és választékban készítenek félvezető fotodetektorokat, legismertebbek a Siemens, Texas, Telefunken, Centronic és UDT (United Detector Technology) gyártmányai. Hazánkban a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet foglalkozik fényelemek gyártásával. Fény-sűrűségmérés céljára elsősorban a viszonylag nagy fényérzékeny felületű szilícium planár fotodiódák alkalmasak, mint pl. az UDT által gyártott PIN-10 típus valamelyike. Sajnos ezek a fotovevők igen drágák, és nehezen beszerezhetők.

A fotovevő érzékenysége jelentősen növelhető, ha fotodióda helyett fototranzisztort, azaz két pn-átmenetű eszközt készítenek. Ebben az esetben — ha az emitter-bázis átmenetet világítják meg és a kollektor-bázis átmenetet zárófeszültséggel látják el — a tranzisztor földelt emitteres erősítőként működik,

Beérkezett: 1981. i. 14.



1. ábra. Darlingtoncsatolású fototranzisztor kapcsolása

ahol a bázisáramnak a fotoáram feleltethető meg. További erősítésnövekedés érhető el, ha a fototranzisztorhoz Darlington-csatolással újabb tranzisztort illesztünk. Az így kialakított, integrált fotovevő kapcsolását az 1. ábra mutatja be. Ilyen felépítésű eszköz a Telefunken által gyártott BPW 30 fotovevő, amely viszonylag olcsón, kereskedelmi forgalomban beszerezhető. Ez a típus TO-18 tokozású, báziskivezetésű, előtétlencsével ellátott kivitelben kapható. A lencse növeli a merőleges és a merőlegeshez közel eső sugarak hatását, de az érzékelést  $\alpha$  nyílásszögre korlátozza. A BPW 30 adatait összehasonlítottuk a vele azonos kivitelű BPW 24 fotodióda megfelelő jellemzőivel (ld. 1. táblázat, [5]). Ha a két detektor érzékenységének és sötétáramának viszonyát összehasonlítjuk, a fotodarlington több, mint két nagyságrenddel hatékonyabb a fotodiódánál.

## 2. A fénysűrűségmérő optikai elemei

A fénysűrűség végtelenül kis terület által végtelenül kis térszögben kisugárzott fénnyel határozható meg, a gyakorlatban azonban csak véges terület véges térszögben emittált fényét tudjuk mérni. A fénysűrűségmérő tehát átlagol mind a vizsgált felületre, mind pedig a fénykibocsátási irányokra vonatkozóan. A geometriai optika alaptörvényei segítségével igazolható, hogy a fénysűrűségnek kitüntetett szerepe van a fotometriában: semmilyen optikai rendszer közbeiktatásával a tárgy fénysűrűsége nem változtatható meg (eltekintve az üveglencsék vagy tükrök abszorpciós és reflexiós veszteségeitől) [6].

Mérőrendszerünk kialakításánál a jól ismert objektív fénysűrűségmérési elvet követtük, ahol a tárgy

1. táblázat

Jellemző adatok	BPW 30 fotodarlington tranzisztor	BPW 24 PIN fotodióda
Tokozás	TO 18	TO 18
Lencse nyílásszöge	25°	40°
Sötétáram (20 V zárófeszültségnél)	20...200 nA	1...5 nA
Érzékenység*, s	100...300 $\mu\text{A}/\text{lx}$	25...45 nA/lx
Max. érz. hullámhossz, $\lambda_p$	780 nm	900 nm

\* „A” fényforrásra vonatkoztatva.

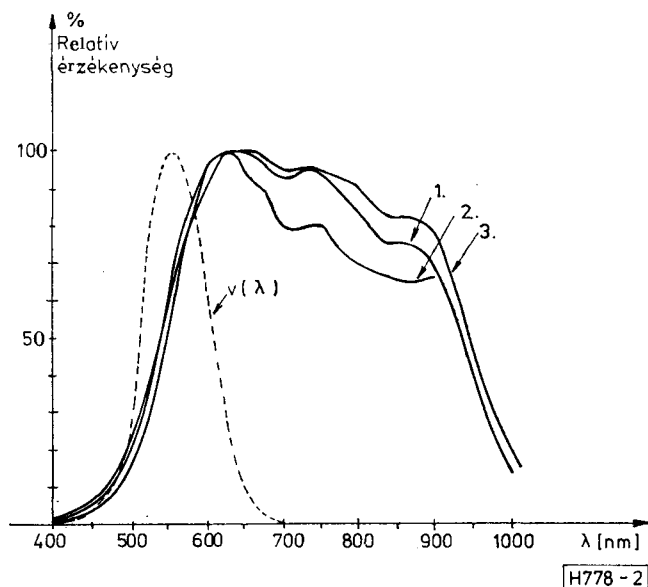
fényét lencse vetíti a fényérzékelőre. Leképező rendszerként azonban egyetlen objektív helyett Exakta VX 500 típusú fényképezőgépet alkalmaztunk. A gép hátsó lemezén furatot készítettünk, ide csatlakoztattuk a termosztálható dobozban elhelyezett fotovevőt. Mivel az alkalmazott fényképezőgép tüköraknás, a keresőn beállítható a vizsgálandó fényfolt, majd exponálva és a kioldót rögzítve, a fény a gépen át a detektorra jut. A géphez 6 cm-es közgyűrű beiktatásával csatlakoztattuk a 2,8/50 mm-es Domiplan objektívet. A vizsgálatra szánt kijelzőt fényzáró dobozba helyeztük, és az objektívet úgy illesztettük a doboz nyílásához, hogy azon keresztül a vizsgált sugárzó fényen kívül más, zavaró háttérfény ne érje a detektort.

Az optikai rendszert két változatban készítettük el:

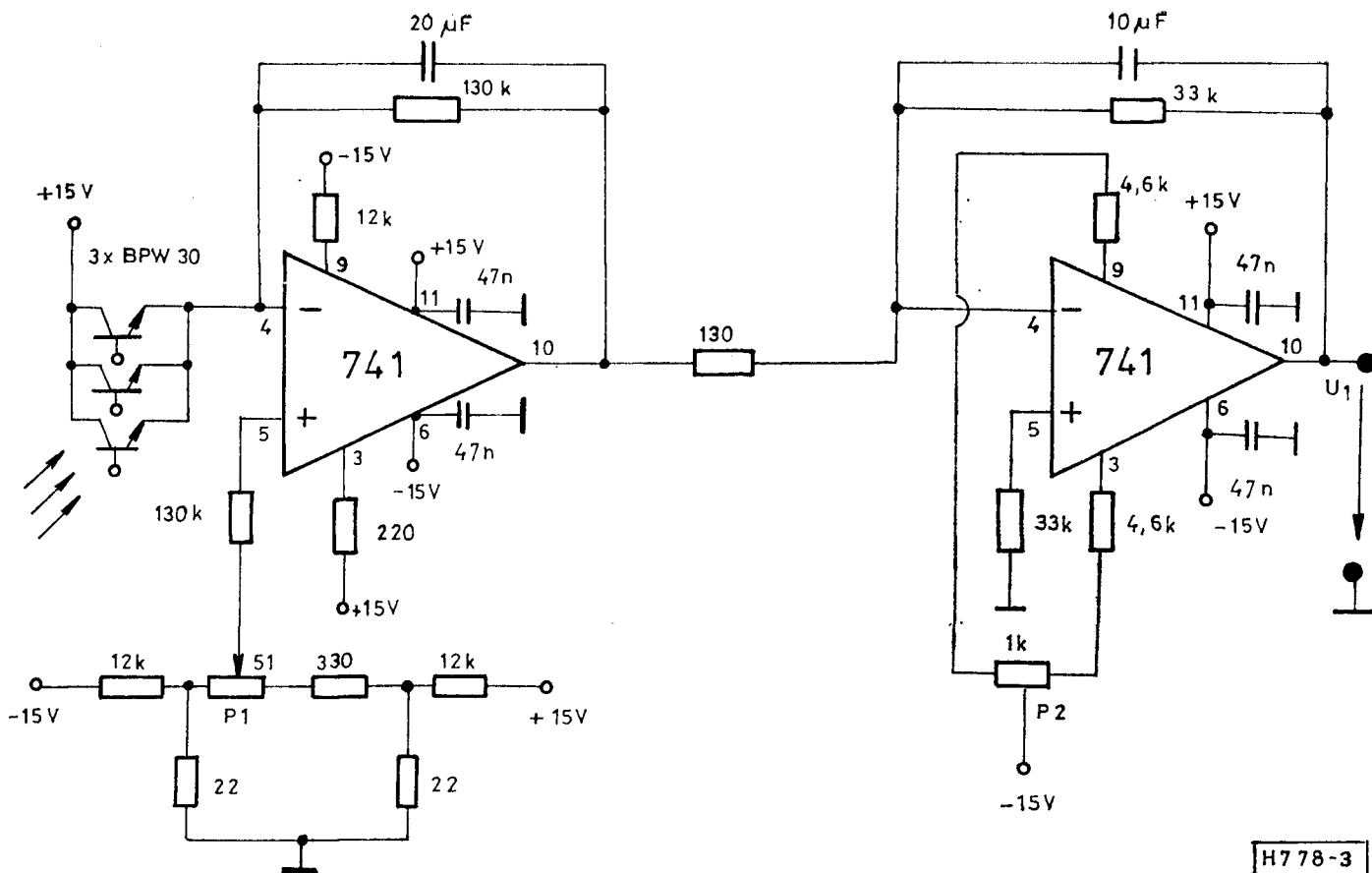
a) Egyetlen BPW 30 detektort helyeztünk a gép hátleméhez. Ekkor, mivel a közgyűrűvel illesztett objektív a fénylő tárgy valódi és nagyított képét állítja elő, a detektor a fényérzékeny felületnek megfelelő (kb. 1 mm<sup>2</sup>) nagyságú kép fénysűrűségét átlagolja. Így lehetőség nyílik a tárgy vagy a gép mozgásával a sugárzó felület végigpásztázására. Sajnos ezt a megoldást csak erősebb sugárzók esetében alkalmazhattuk.

b) Három BPW 30 detektort helyeztünk el egymáshoz közel, háromszög alakzatban. A tárgytávolságot úgy állítottuk be, hogy a sugárzó felület a három detektort beborító fényfoltot adjon. Ebben az esetben a detektorok együttes válaszejele az egész sugárzó felület — esetünkben egy teljes szegmens — átlagos fénysűrűségével volt arányos.

Mint bevezetőnkben említettük, a fénysűrűség fénytechnikai mennyiség, ezért a detektorok relatív spektrális érzékenységét az emberi szem spektrális fényhatásfokához, a  $V(\lambda)$  függvényhez illeszteni kell. Ehhez olyan szűrő kialakítása szükséges, amely biz-



2. ábra. BPW 30 Telefunken fotodarlington tranzisztorok három példányán mért relatív spektrális érzékenység és a  $V(\lambda)$  szemérzékenységi függvény



H778-3

3. ábra. Párhuzamosan kapcsolt fotodarlingtonok válaszjelét erősítő kétfokozatú erősítő kapcsolási rajza

tosítja, hogy a szűrő és detektor együttes relatív spektrális érzékenysége éppen a  $V(\lambda)$  függvénnyel egyezzen meg. A megfelelő szűrő kiválasztásához mindenekelőtt ismerni kell az alkalmazni kívánt detektorpéldány relatív spektrális érzékenységét. E tekintetben nem hagyatkozhatunk a katalógusokban közölt jelleggörbékre, mivel mérési tapasztalataink szerint azonos típuson belül is jelentős szórás mutatkozik példányonként. A 2. ábra BPW 30 fotovevő három példányának relatív spektrális érzékenységét szemlélteti, feltüntetve a  $V(\lambda)$  függvényt is.

Az illesztés különböző színű Schott-szűrőkkel végezhető el. A színes üvegszűrők  $\alpha$  elnyelési együtthatója hullámhosszfüggő. Az  $\alpha(\lambda)$  elnyelési függvény ismeretében a szűrő átteresztőképessége  $d$  szűrővastagság esetén:

$$s(\lambda) = [1 - R(\lambda)] \exp(-\alpha(\lambda)d) \quad (1)$$

alapján számítható. A szűrők  $R(\lambda)$  reflexiója is hullámhosszfüggő, azonban ez a függés a látható tartományban olyan csekély, hogy  $R$ -et állandónak vehetjük. Az (1) összefüggésből látható, hogy a  $d$  vastagság változtatásával adott  $\alpha(\lambda)$  elnyelésű szűrő átteresztőképességének hullámhosszfüggése változtatható. Alkalmasan választott elnyelési együtthatójú szűrőnél tehát meghatározható az az optimális szűrővastagság, amely a legjobb illesztést biztosítja. Pontosabb eredmény érhető el, ha nem egyetlen szűrőt, hanem szűrősorozatot alkalmazunk. Ekkor az illesztés feltétele:

$$V(\lambda) = D(\lambda) \prod_{i=1}^n S_i(\lambda), \quad (2)$$

ahol  $S_i(\lambda)$  az egyes szűrők (1) alapján definiált átteresztőképessége és

$D(\lambda)$  a detektor hullámhosszfüggő érzékenysége.

A feladat minimum-keresésre vezethető vissza; adott szűrők esetén meg kell határozni azokat a  $d_i$  vastagságértékeket, amelyekkel a szűrősorozat a legkisebb hibával illeszti a detektort a szemérzékenységhez. A számítást FORTRAN nyelven írt számítógépes program segítségével végeztük el a 2. ábrán feltüntetett 1. sz. detektorra vonatkoztatva. A rendelkezésünkre álló szűrők közül

- 0,90 ± 0,01 mm vastagságú VG-4 és
- 1,10 ± 0,01 mm vastagságú BG-23

Schott-szűrő együttes alkalmazása adott optimális eredményt.

### 3. A fénysűrűségmérő elektronikus regisztráló egységei

A fénysűrűségmérő a következő főbb elektronikus egységeket tartalmazza:

- a detektorház hőmérséklet-szabályozó egységét,
- egyenáramerősítőt,
- integrátort,
- tápegységeket.

## Hőmérséklet-szabályozó egység

A fotodarlington tranzisztorok válaszjele erősen hőmérsékletfüggő, így a detektorokat a különböző időszakokban végzett mérések során állandó hőmérsékleten kell tartani. Ezért a fényképezőgép hátlapjára illesztett detektordobozt úgy alakítottuk ki, hogy a detektorral, illetve a detektorokkal közös rézlapra BD 242 teljesítmény-tranzisztort szereltünk, ami a szobahőmérséklet fölé fűti környezetét. A doboz belsejét üvegyapot hőszigetelővel béleltük. A hőmérséklet-szabályozást hídba kapcsolt termisztoros visszacsabályozó biztosítja. A tárcsa-termisztorot ugyancsak a detektorokat befogó réztömbbe ágyaztuk be. A termisztoros hidat úgy méreteztük, hogy az mintegy 34 °C-ra való felfűtést biztosítson. Magasabb hőmérsékleten a detektorok jel/zaj viszonya már erősen leromlik. A teljesítmény tranzisztor áramellátását a termisztoros híd jelét érzékelő 741 műveleti erősítő szabályozza [7].

## Egyenáramerősítő

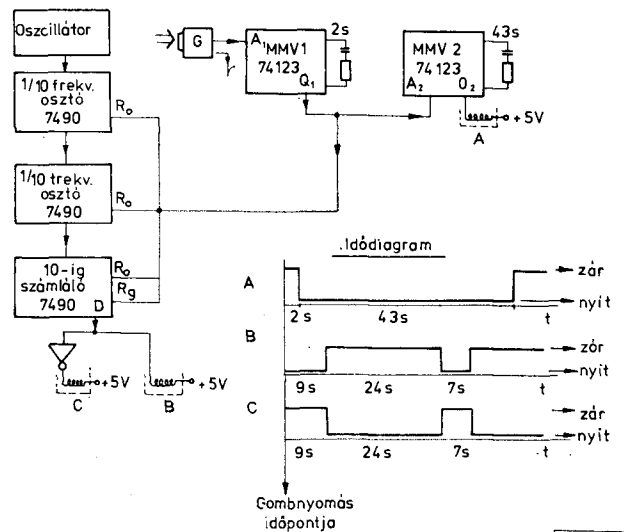
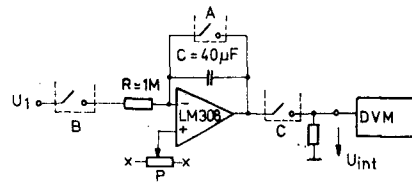
Az erősítő kapcsolási rajza a 3. ábrán látható. Az első fokozat áramerősítőként működik, a második fokozat pedig az első fokozat kimenetén megjelenő feszültséget erősíti. A visszacsatoló-ágakban elhelyezett 20  $\mu$ F és 10  $\mu$ F értékű kondenzátorok integráló hatásúak, és csökkentik a zaj okozta feszültség-ingadozást. Az erősítő a P1 és P2 potenciométerekkel nullázható. Abban az esetben, ha egyetlen fotovevő helyett többet alkalmazunk, a megfelelő kivezetéseket összekötjük. A kapcsolásban feltüntetett 3 db BPW 30 fotodarlington emitter- és kollektorkivezetéseit összekapcsoltuk, a báziskivezetéseket szabadon hagytuk. A kollektor-átmenetet 15 V zárófeszültséggel láttuk el.

## Integrátor

Tekintettel arra, hogy a  $V(\lambda)$  szűrővel való illesztés erősen lecsökkenti a kijelzőről a detektorba jutó fényt, kis fényerőségek mérésénél a detektor válaszjele eléggé megközelíti a sötétáram és zaj által határolt küszöbérzékenységet. Amennyiben egyetlen mérési pillanat helyett hosszabb időtartamra átlagolt válaszjelet indikálunk, lényegesen pontosabb mérési eredményt kapunk. Ezért az egyenáramerősítő kimeneti feszültségét integrátorra vezetjük. Integrátor céljára kis hibaáramú és kis zajú műveleti erősítőt, az LM 308 típust alkalmaztuk [8]. Az integrátorhoz időzítő áramköri egység csatlakozik, amely a következő időszakokra bontja a működést:

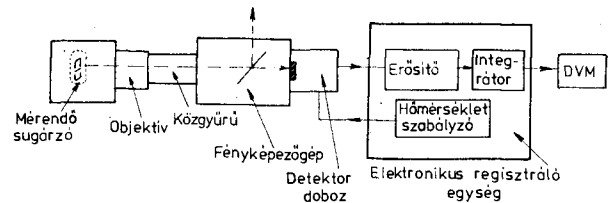
1. A mérés megkezdése előtt kisüti az integráló kondenzátort és nullázza a számlálót.
2. Meghatározott ideig mintát vesz a mérendő jelből.
3. A mért értéket kijelzi.
4. Az integrátor-egységet leválasztja a DVM-ről, majd az integráló kondenzátort rövidre zárja.

Az integrálás gombnyomással indítható. Maga a nyomógomb is TTL-kaput tartalmaz, amely feszültségugrást ad a monostabil multivibrátor-fokozatoknak. Kapcsolók céljára miniatűr VE 721 Siemens jelfogókat alkalmaztunk, amelyek TTL-jelekkel ve-



H778-4

4. ábra. Időzítő áramkörökkel ellátott integrátor-kapcsolás. Az A, B és C jelfogók be- és kikapcsolt állapotának idődiagramja



H778-5

5. ábra. A fényerőségmérő rendszer egységei

zérhetnek. Időalapként 741 műveleti erősítővel felépített Wien-hidas szinusz-oszcillátort készítettünk, amely 260 Hz alaphékvenciájú jelet kelt.

Az integrátor kimeneti feszültségét az egységhez kívülről csatlakoztatott 3 és 1/2 digitális digitális voltmérő jelzi ki. Az integrátor kapcsolási vázlatja és a jelfogók időzítési szakaszait feltüntető idődiagram a 4. ábrán látható.

A teljes mérőrendszer felépítését az 5. ábra mutatja be.

## 4. Mérési eredmények

A fényerőségmérő integrátorának kimenetéhez csatlakoztatott digitális voltmérő a fényerőséggel arányos feszültségértéket jelzi ki. A műszerrel közvetlenül tehát csak a fényerőség relatív változásait regisztrálhatjuk. Abszolút mérés céljából a műszert Spectra Pritchard, fotoelektron-sokszorozót tartalmazó precíziós fényerőségmérővel hitelesítettük

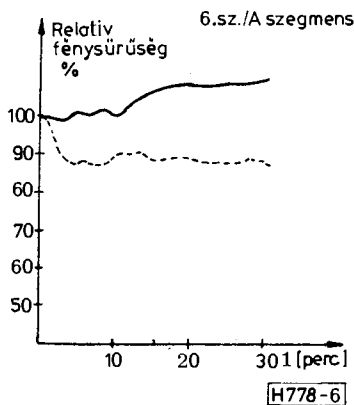
úgy, hogy ugyanazokat a sugárzókat mindkét műszerrel megmértük. Az integrátor kimenetén mérhető  $U_{\text{int}}$  feszültségek és a Pritchard műszerrel mért  $L_p$  fénysűrűségek megfeleltetését a 2. táblázat mutatja be. A két eredmény között  $r=0,989$  korrelációs együtthatóval lineáris a kapcsolat, és az

$$L_p = 103,2U_{\text{int}} - 4,03 \quad (3)$$

átszámítási képlet alkalmazható, ahol  $L_p$  értéke  $\text{cd}/\text{m}^2$ -ben és  $U_{\text{int}}$  voltban értendő. A (3) összefüggés a három darab detektorral kialakított mérési összeállításra vonatkozik.

2. táblázat

$U_{\text{int}}$ [V]	$L_p$ [ $\text{cd}/\text{m}^2$ ]
1,216	126
1,120	111,7
0,850	81,5
0,766	62,9
0,423	45,2
0,358	30,8
0,312	30,2
0,228	23,5

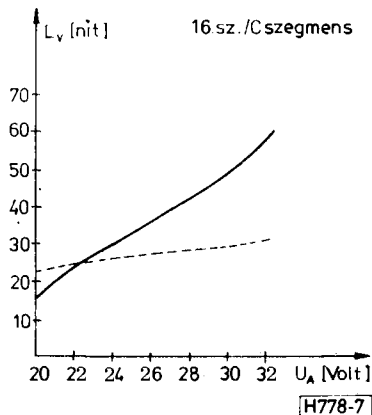


6. ábra. DTM 208R számkijelzőcső egy szegmensének relatív fénysűrűség-változása a bekapcsolás időpillanatától kezdve (6. sz. cső, „A” szegmens)

— egyenfeszültségű anódtáplálás  
 - - - impulzusüzemű anódtáplálás

Befejezésül néhány mérési eredményt közlünk, amelyek az EIVRT gyártmányú, DTM 208R hét-szegmenses kijelzők egy-egy szegmensének átlagos fénysűrűségére vonatkoznak.

A 6. ábra időbeli stabilitás mérését mutatja be állandó anódfeszültségű vezérlés és az időosztásos



7. ábra. DTM 208R számkijelzőcső egy szegmensének abszolút fénysűrűség-változása az anódfeszültség függvényében (16. sz. cső, „C” szegmens)

— egyenfeszültségű anódtáplálás  
 - - - impulzusüzemű anódtáplálás

(multiplex) üzemmódot leutánzó, impulzusos anódtáplálás esetében. A vizsgált csövek fűtőfeszültségét 1,5 V-ra, rácsfeszültségét 20 V-ra állítottuk be; anódfeszültségét egyenfeszültségű táplálásnál 30 V-ra és impulzus üzemmódban 45 V csúcshőfeszültségre választottuk. Az impulzus vezérlésnél 1 kHz ismétlődési frekvenciájú, 1:6 kitöltésű impulzus-sorozatot kapcsolunk a számkijelző csövek anódjára. A stabilitásvizsgálatot 30 percig végeztük percnkénti leolvasással. A bekapcsolás pillanatában mért fénysűrűséget tekintettük 100%-nak.

A 7. ábra a vizsgált kijelzőcső egy szegmensének fénysűrűség-változását mutatja be az anódfeszültség függvényében ugyancsak 1,5 V fűtőfeszültség és 20 V rácsfeszültség mellett.

## I R O D A L O M

- [1] MSZ 9620/1-72
- [2] Szentidai Klára: Félvezető fotodetektorok. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977. 1. fejezet
- [3] TEXAS Optoelektronikai receptek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979. 143. old.
- [4] TEXAS Optoelektronikai receptek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979. 156-159. old.
- [5] AEG-TELEFUNKEN Optoelektronische Bauelemente. 1975. 155-159. és 165-166. old.
- [6] Dr. Schanda János: Fénysűrűség, a világítástechnikai számítások alappmennyisége. Villamosság, 26. évf. 7. sz. 1978. július, 212-217. old.
- [7] TEXAS Analóg és illesztő integrált áramkörök. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979. 59-61. old.
- [8] U. Tietze-Ch. Schenk: Analóg és digitális áramkörök. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974. 2. kiadás. 225-229. old.