

Színes televízióképernyő fénysűrűségét és színkoordinátáit mérő berendezés

ETO 635.651.1.821.397.132

A fényforrások színét a CIE (Nemzetközi Világítás-technikai Bizottság) által szabványosított rendszerben mért x , y , z színkoordinátákkal és a fényforrás fénysűrűségével lehet jellemezni. Az alapszíneket úgy választották meg, hogy minden valós szín színkoordinátája pozitív legyen. Az x , y és z színkoordináták összege 1. A színkoordináták a színösszetevőkből számíthatók az alábbi definíciók szerint:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}, \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}, \quad (1)$$

ahol a színösszetevőket az alábbi képletek definiálják:

$$X = \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} P_\lambda \bar{x}(\lambda) d\lambda, \quad Y = \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} P_\lambda \bar{y}(\lambda) d\lambda,$$

$$Z = \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} P_\lambda \bar{z}(\lambda) d\lambda,$$

ahol P_λ a vizsgálandó fényforrás relatív spektrális teljesítményeloszlása, $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ és $\bar{z}(\lambda)$ a szabványos spektrális színösszetevő függvények, amelyek közül az $\bar{x}(\lambda)$ görbe két maximummal rendelkezik, ezért felírható mint az $\bar{x}_1(\lambda)$ és $\bar{x}_2(\lambda)$ függvények összege. $\bar{y}(\lambda)$ a szem érzékenysége megfelelő alakú függvény, a láthatósági görbe. A fénysűrűségmérést egyedül az Y színösszetevő határozza meg. Az ismert megoldások közül legnagyobb jelentőségűek az objektív színmérő berendezések. Ezekben fényelektromos érzékelőket alkalmaznak, melynek spektrális érzékenységet szűrők segítségével úgy módosítják, hogy a szűrőkből és érzékelőkből álló rendszer együttes színképi érzékenysége megfeleljen az $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ és $\bar{z}(\lambda)$ spektrális színösszetevő függvényeknek. Szokták az érzékelő színképi érzékenységet úgy is módosítani, hogy a mérendő fényt prizmás monokromátorral felbontják, majd a spektrum síkjában a hullámhossz függvényében változó magasságú fényhatárolót (maszkot) helyeznek el, azután a spektrumot objektívvel fényelektromos érzékelő felületén egyesítik [1].

A fényelektromos érzékelők áramát eleinte galvanométerrel, később áramkompenzátorral mérték [2, 3].

Jelen berendezésben műveleti erősítő fénysűrűségmérést alkalmaztunk.

A berendezés elvi működése

Az Y színösszetevőt és az x , y , z színkoordináták közül legalább kettőt számszerűen meg kell határozni. X és Z számszerű kifejezésére x , y és z mérése esetén

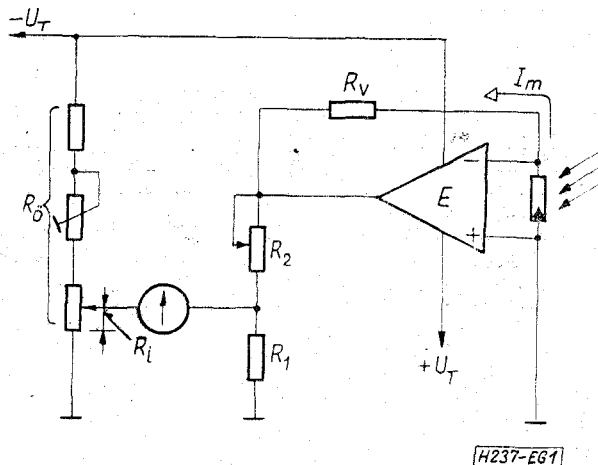
nincs szükség, csupán egy velük arányos mennyiséget kell meghatározni és biztosítani kell, hogy az arányossági tényező megegyezzen az Y mérésénél adódó arányossági tényezővel. Ezáltal elérhető, hogy a színkoordináták (1) szerinti számításakor az arányossági tényezők kiesnek és csak a mérhető mennyiségek számértékei maradnak az egyenletekben.

Berendezésünkben a vizsgálandó P_λ spektrális eloszlású fényforrás fényét egyetlen fényelem érzékeli. A fényelem előtt egy szűrő váltódobban elhelyezett négy színszűrő kombinációt úgy készítettük el, hogy az egyes színszűrő fényelemkombinációk spektrális érzékenységek eloszlása az $\bar{x}_1(\lambda)$; $\bar{x}_2(\lambda)$; $\bar{y}(\lambda)$ és $\bar{z}(\lambda)$ függvényekkel arányos legyen. Így az egyes színszűrő állásokban mérhető fényelemáramok:

$$i_{X1} = k_1 X_1; \quad i_{X2} = k_2 X_2; \quad i_Y = k_3 Y; \quad i_Z = k_4 Z;$$

ahol k_1, \dots, k_4 arányossági tényezők.

A színkoordináták egyszerű számíthatósága érdekében a fényárammérést — ezáltal a színösszetevő mérést is — ellenállásmérésre vezettük vissza.



1. ábra. Feszültség kompenzátor

A négy fényáramot négy — műveleti erősítő — feszültségkompenzátor méri. A feszültségkompenzátorok elvi felépítése az 1. ábrán látható. A nullázás feltétele:

$$I_m R_v \frac{R_1}{R_1 + a R_2} = U_T \frac{R_i}{R_\delta},$$

ahol U_T a tápfeszültség, $a R_2$ az R_2 ellenállásnak a feszültségosztásban ténylegesen részt vevő hányada, ahol a értéke 0 és 1 között változhat.

Ebből:

$$I_m = \frac{U_T}{R_\delta} \left(1 + a \frac{R_2}{R_1} \right) \frac{R_i}{R_v}. \quad (2)$$

A négy áram mérésekor U_T , R_2/R_1 és R_v állandó.

R_0 összellenállás megfelelő megválasztása $k_1=k_2=$
 $=k=k_4$ -et eredményezi. Ezért R_i arányos a szín-
 összetevőkkel.

Y mérésnél R_i értéke mindig ugyanaz (állandó ér-
 tékű ellenállás). Ilyenkor a feszültségkompenzátor ki-
 egyenlítése R_v cseréjével (dekadikusan) és R_2 sza-
 bályozásával történik. Kiegyenlítés után az R_v
 fokozatkapcsolóról és az R_2 potenciométer értékállító-
 járóról leolvasott érték szorozat Y értékét adja.

Ezt követi az X_2, X_1 és Z -vel arányos R_i meg-
 határozása, a színszűrők váltásával együtt automa-
 tikusan iktatódnak a különböző R_i -k az áramkörbe.

A színkoordináták R_i -k ismeretében ellenállások
 hanyadosaként számíthatók:

$$x = \frac{R_i(X_1) + R_i(X_2)}{\sum R_i}, \quad y = \frac{R_i(Y)}{\sum R_i}, \quad z = \frac{R_i(Z)}{\sum R_i}$$

$$\sum R_i = R_i(X_1) + R_i(X_2) + R_i(Y) + R_i(Z).$$

A színkoordinátákat a készülékbe beépített szá-
 mító áramkörrel lehet meghatározni. A hídkapcsolású
 számító áramkört a 2. ábra mutatja. A nullázás
 feltétele:

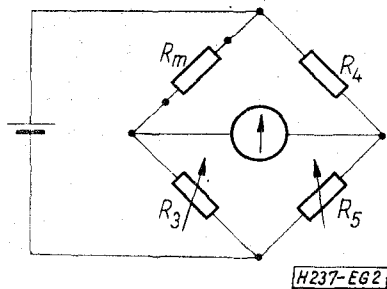
$$\frac{R_m}{R_4} = \frac{R_3}{R_5}$$

Első lépésben R_5 nullázó potenciométer segítsé-
 gével $\sum R_i$ tárolását valósítjuk meg. Ha $R_m = \sum R_i$ és
 R_3 végállásban van (teljes ellenállása bekapcsolt),
 akkor R_5 potenciométerrel nullázva:

$$\frac{\sum R_i}{R_4} = \frac{R_3 \text{ teljes}}{R_5}$$

Ebből:

$$R_5 = \frac{R_4 \cdot R_3 \text{ teljes}}{\sum R_i}$$



2. ábra. Számító híd-áramkör

Második lépés a színkoordináták tényleges kiszá-
 mítása. Most R_m helyébe R_i -t teszünk, R_3 az előbbi
 és R_3 -mal nullázunk:

$$\frac{R_i}{R_4} = \frac{R_3 \cdot \sum R_i}{R_4 \cdot R_3 \text{ teljes}}$$

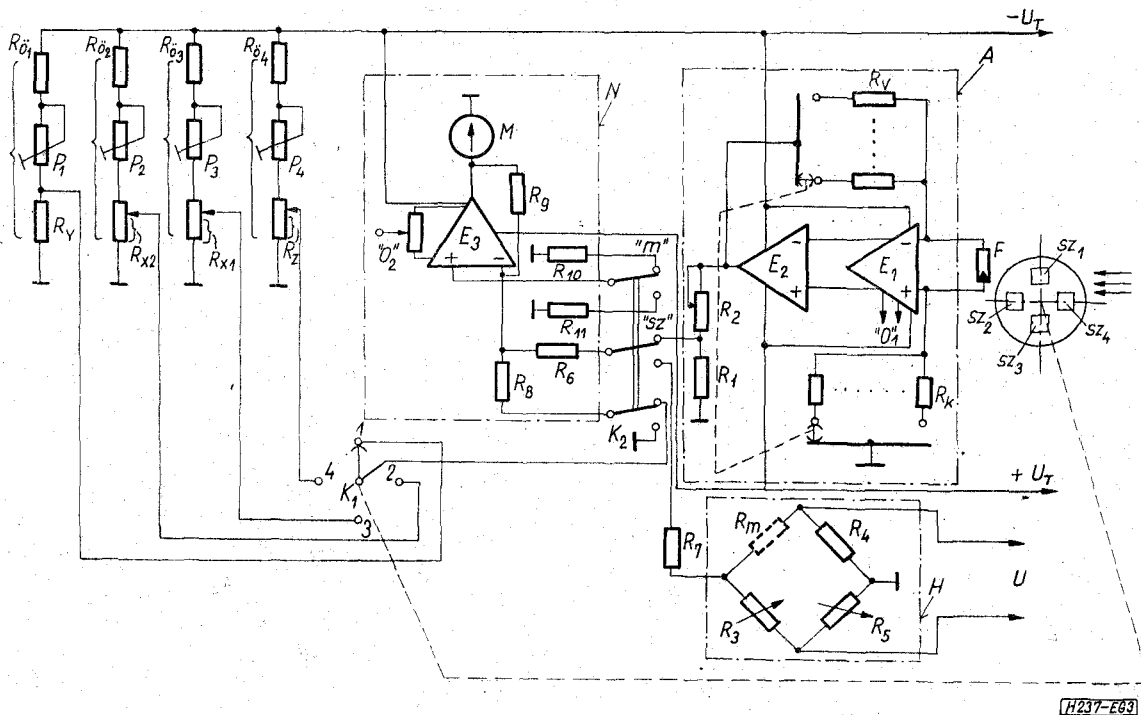
Egyszerűsítve és rendezve:

$$\frac{R_i}{\sum R_i} = \frac{R_3 \text{ működő}}{R_3 \text{ teljes}}$$

Az R_3 potenciométer 1000 osztású értékállítójáról
 a színkoordináták közvetlenül leolvashatók.

A berendezés kialakítása és működése

A berendezés kapcsolási vázlatát a 3. ábra mutatja.
 A vizsgálandó fényforrás fénye váltható SZ1, SZ2,
 SZ3 vagy SZ4 színszűrőn át F szelén fénylelemre jut.
 A négy fényárammal arányos feszültséget az A áram-
 feszültség átalakító állítja elő, mely lánchakapcsolt
 E_1 kis driftű differenciál erősítőt (μA 727B) és E_2 ki-
 sebb teljesítőképességű erősítőt (SN 72741N) tar-
 talmaz. A visszacsatoló ellenállás váltása miatt



3. ábra. A színkoordináta és fényssűrűség mérő kapcsolási vázlat

fellépő null-kimenőfeszültség hiba kiküszöbölését szolgálják a kompenzáló R_k ellenállások, melyeket egyszerre cserélünk az R_p visszacsatoló ellenállásokkal [4]. Mivel az E_1 erősítő bemenetén a feszültség az E_1 és E_2 erősítők alkotta műveleti erősítő nagy nyíltláncú erősítése miatt gyakorlatilag zérus, az F fényelem dinamikusan rövidzártban van. Méréskor az A átalakítót követő K_2 kapcsolót „m” állásba kapcsoljuk. A K_2 kapcsolja az N nulldetektorra az A átalakító kimenő jelét és K_1 kapcsoló csuszáján keresztül a kompenzáló feszültségeket. Az M kijelző nullműszert E_3 műveleti erősítő (SN 72741N) előzi meg. Az E_3 erősítést méréskor a fényjelre R_9 és R_6 viszonya, a kompenzáló feszültségre R_9 és R_8 viszonya szabja meg.

A kompenzáció az E_3 erősítő „összegző” pontján történik. A K_1 kapcsolónak mind a négy 1, 2, 3, 4 pontjára egy-egy $R_{\delta 1}, R_{\delta 2}, R_{\delta 3},$ illetve $R_{\delta 4}$ feszültségosztók leosztási pontja csatlakozik. A feszültségosztókat a $-U_T$ tápfeszültségre mint referenciafeszültségre kapcsoljuk. Valamennyi feszültségosztó $R_{\delta 1}, R_{\delta 2}, R_{\delta 3},$ illetve $R_{\delta 4}$ összellenállását $P_1, P_2, P_3,$ illetve P_4 potenciométerrel lehet hitelesítéskor beállítani. A K_1 kapcsoló szinkron működik a színűzőket váltó dobbal, így az $R_{\delta 1}, R_{\delta 2}, R_{\delta 3},$ illetve $R_{\delta 4}$ feszültségosztó rendre az $Y, X_2, X_1,$ illetve Z színösszetevő mérésére szolgál. Az $R_{\delta 1}$ feszültségosztó leosztási aránya mérés során állandó, mert R_Y ellenállás is állandó. Ez biztosítja, hogy a kompenzáló feszültségek nagysága kényszerűen nagyobb egy minimális értéknél, a megkövetelt pontossági igény teljesítése érdekében. Az $R_{\delta 2}, R_{\delta 3}$ és $R_{\delta 4}$ feszültségosztók leosztási arányát mérés során változtatjuk, azaz R_{X_2}, R_{X_1} és R_Z ellenállás a mért színösszetevő értéknek megfelelően változik.

Méréskor először SZ1 színűzővel X színösszetevőt, azaz a fényforrás fényűrűségét határozzuk meg. Az N nulldetektor nullázását az R_p ellenállás szakaszos és az R_2 ellenállás folyamatos változtatásával végezzük. Az R_p ellenállást dekadikus lépésekben (durván) lehet változtatni, az E_1 és E_2 erősítők alkotta műveleti erősítő kimenő feszültségét folytonosan (finoman) lehet szabályozni. Az R_p és R_2 ellenállást fényűrűség léptékben kalibráltuk. Az R_2 ellenállás leosztásainak skálázása a (2) egyenlet szerint lineáris. Ezután rendre SZ2, SZ3, illetve SZ4 színűzővel mérünk és a nullázást — R_p és R_2 ellenállások értékét nem változtatva — rendre az $R_{X_2}, R_{X_1},$ illetve R_Z ellenállások folyamatos változtatásával végezzük el. Az $R_{X_2}, R_{X_1},$ illetve R_Z leosztási ellenállásoknak megfelelő változtatható ellenállásokat $X_2, X_1,$ illetve Z színösszetevő értékekben is lehetne kalibrálni. Az Y színösszetevő mérésekor — az A áramfeszültség átalakító átviteli tényezőjének változtatásával — egyben méréshatárváltást is végzünk, vagyis a rendszer érzékenységének változtatásával nullázunk. Ez lehetővé teszi, hogy a berendezéssel széles fényűrűség-tartományban lehet fényforrás-színmerést végezni.

A hitelesítés etalon fényforrással úgy történhet, hogy a megfelelő színűző állásoknál R_p és $R_2, R_{X_2}, R_{X_1},$ illetve R_Z ellenállásokon rendre beállítjuk az etalon fényforrásnak megfelelő színösszetevő értékeket — ezt a számító áramkör segítségével tesszük

meg berendezésünkben —, majd $P_1, P_2, P_3,$ illetve P_4 potenciométerrel nullázunk.

Az ellenállásértékekben tárolt színösszetevőkből a színkoordinátákat a H analóg számító áramkörrel lehet meghatározni a K_2 kapcsoló „sz” állásában. A Wheatstone-hidas H hídkapcsolást földfüggetlen U tápfeszültségre kapcsoltuk, változtatható R_3 és R_5 ellenállásokból, valamint állandó R_4 ellenállásokból alakítottuk ki. A szaggatottan jelzett R_m ellenállás helyére — azaz az ellenállásmérő bemenetre — a számítás során a mérendő ellenállásokát a rajzon az áttekinthetőség kedvéért nem ábrázolt átkapcsolórendszeren keresztül lehet beiktatni. Ez a kapcsoló először az R_Y -nal azonos értékű ellenállással sorba köti az R_{X_1}, R_{X_2} és R_Z ellenállást, s ezen négy ellenállás soros eredőjét iktatja R_m helyére (ilyenkor nullázunk R_5 -tel, s R_3 helyén R_{3max} értékű ellenállás van), majd rendre $R_{X_1}+R_{X_2}$ -t, R_Y -t s R_Z -t iktatja R_m helyére. Ilyenkor R_3 -mal nullázunk, s ennek értékállítójáról olvassuk le a színkoordinátákat. A H hídkapcsoláshoz ugyancsak az N nulldetektort használjuk. Az E_3 műveleti erősítő erősítését most az R_9 és R_6+R_7 ellenállás viszonya szabja meg.

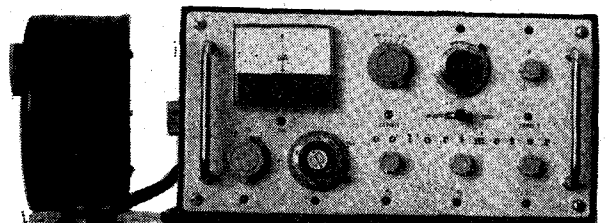
Az E_3 erősítő nem invertáló bemenetét méréskor lezáró R_{10} ellenállást számításakor megfelelő értékű R_{11} ellenállásra cserélve — hogy K_2 átkapcsolásával ne lépjen fel különbségi hibafeszültség az E_3 bemenetein — elérhető, hogy K_2 átkapcsolása után E_3 -at számító üzemmódban nem kell újra nullázni.

A készülék nullázása mérés előtt végzendő el, úgy, hogy az A egység legkisebb érzékenységu állásánál (R_p legkisebb) „O₂” nullázást hajtunk végre az E_3 erősítőn, majd az A egység legnagyobb érzékenységu állásában (R_p legnagyobb) „O₁” nullázást hajtunk végre az E_1 és E_2 erősítők alkotta műveleti erősítőn; ugyanis az első esetben az E_3 , a második esetben az E_1+E_2 műveleti erősítő offset feszültsége a domináns.

A színmérőkben az \bar{x}, \bar{y} és \bar{z} szabványos spektrális színösszetevő függvények sohasem valósíthatók meg abszolút pontossággal. A készülékről leolvasott x, y és z színkoordinátákból, melyek a legtöbb gyakorlati célra már önmagukban is elég pontosak, a valódi színösszetevők az

$$\begin{aligned} X &= A_x x + B_x y + C_x z \\ Y &= A_y x + B_y y + C_y z \\ Z &= A_z x + B_z y + C_z z \end{aligned}$$

transzformációval számolhatók.



H237-E84

4. ábra. Színkoordináta és fényűrűségmérő berendezés

Ezekből a korrigált színösszetevőkből számíthatók a pontos színkoordináták:

$$x_{CIE} = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y_{CIE} = \frac{Y}{X+Y+Z}.$$

Az A_i , B_i és C_i ($i=1, 2, 3$) konstansok optimális értékei Budinszky módszerével [5] hitelesítéskor határozhatók meg.

Lényegesen megkönnyíti a mérést, ha az A_i , B_i és C_i konstansok helyett a színmérő berendezésbe elektronikus mátrixot építünk be [6], és az igényelt korrekciót így hajtjuk végre. Ilyen módon gyors, pontos és egyszerű színmerést végezhetünk.

A létrehozott berendezés fényképe a 4. ábrán látható.

A jelen berendezéssel végzett színkoordináta mérések hibája nem haladta meg a 0,01 színkoordináta egységet. A reprodukciós hiba kisebb volt, mint $\pm 0,3\%$.

Összefoglalás

A berendezés egyetlen szelén fényelem érzékelője előtt elhelyezett váltható színszűrő kombinációk spektrális áteresztése olyan, hogy az egyes színszűrők és a fényelem együttes spektrális érzékenysége a színösszetevők méréséhez nemzetközileg

szabványosított CIE spektrális színösszetevő függvényeknek felelnek meg. Az egyes színszűrők bekapcsolásakor a fényáramokat műveleti erősítő áramfeszültség átalakítás után feszültségkompenzációs mérőkör méri. E mérések eredményeként a fényforrás fénysűrűségével arányos Y színösszetevőt az érzékelő helyén mért megvilágítás formájában, luxban leolvashatjuk. Az X és Z színösszetevők leolvashatóság nélkül, együtt az Y színösszetevővel, ellenállás formájában Wheatstone-hidas számító áramkörbe kerülnek. Számítás eredményeként az x , y és z színkoordináták rendre leolvashatók. A berendezés hitelesítése szabványos színetalonhoz történik. A berendezés 1–1100 lx megvilágítási tartományban képes mérni; 0,01 színkoordináta egységet nem meghaladó hibával.

I R O D A L O M

- [1] 146.062 sz. magyar szabadalom
- [2] *B. T. Barnes*: A direct-reading photoelectric colorimeter; *Rev. Sci. Instr.* 16. (1945) 337–9.
- [3] 151.813 sz. magyar szabadalom
- [4] *G. Eppeldauer*: Some problems of photocurrent measurement of photovoltaic cells. *Applied Optics* 12/2. (1973) 408–9.
- [5] *Budinszky J.*: Szintani számítások módszerei. *Híradástechnika* 21/4. (1971) 110–25.
- [6] *J. Schanda, G. Lux*: On the electronic correction of errors in a tristimulus colorimeter. *Proc. AIC Colour 73 Congress*, York. 1973. p. 466–9.