

Henryk WACHTA¹
Wiesława MALSKA²
Łukasz ŁUSZCZ³

POMIARY KOLORYMETRYCZNE WYBRANYCH MONITORÓW KOMPUTEROWYCH

Pewne cechy fotometryczne monitorów, w tym zdolność odwzorowania barw są istotną przesłanką, kwalifikującą dany monitor komputerowy do określonych zadań. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów kolorymetrycznych monitorów, stosowanych jako wyświetlacze w zestawach komputerowych. Badaniami objęto stosowany jeszcze monitor typu CRT, monitory LCD z podświetleniem matrycy typu świetłówkowego oraz nowoczesne monitory LCD z podświetleniem matrycy za pomocą diod LED. Aktualnie producenci monitorów komputerowych stosują 32-bitową paletę kolorów. Oznacza to, że monitor komputera jest w stanie wyświetlić 16,8 miliona różnych odcieni kolorów, łącznie z ich przezroczystością. Wytypowane do badań monitory (technologia CRT, LCD oraz LED) zostały sprawdzone pod względem zgodności wyświetlanych barw z odpowiednikami występującymi w naturze. Użyty w badaniach analizator barw (wykorzystujący metodę kolorymetryczną, której celem jest pomiar składowych trójchromatycznych, pozwalających na wyznaczenie współrzędnych chromatyczności x , y badanej barwy) wykorzystano do pomiarów parametrów: pola barw (gamutu), równomierności podświetlenia, krzywej gamma oraz równomierności temperatury barwowej.

Pole barw (gamut) danego monitora jest obszarem (trójkątem) znajdującym się w przestrzeni kolorów, którego wierzchołki określone są skrajnymi barwami podstawowymi. Kształt gamutu, wyznaczony za podstawie współrzędnych standardu obowiązującego w Europie *PAL/SECAM*. Właściwości kolorymetryczne badanych monitorów oceniano na podstawie pomiarów pól gamutowych, pomiarów równomierności podświetlenia matrycy, temperatury barwowej bieli oraz wyznaczonych krzywych gamma.

Słowa kluczowe: monitory komputerowe, kolorymetria, temperatura barwowa, krzywa gamma.

¹ Autor do korespondencji: Henryk Wachta, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, 17 865 1977, hwachta@prz.edu.pl

² Wiesława Malska, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, 17 865 1974, wmalaska@prz.edu.pl

³ Łukasz Łuszcz, Politechnika Rzeszowska, absolwent Wydziału Elektrotechniki i Informatyki

1. Wstęp

Wyniki pomiarów kolorymetrycznych monitorów komputerowych są ważnymi, szczególnie współcześnie, gdy większa część społeczeństwa spędza przed komputerami wiele godzin, ucząc się, pracując, czy też odpoczywając. Tak więc właściwy dobór monitora do zadań, jakie przy jego udziale się realizuje, niejednokrotnie jest kluczowy. Nie bez znaczenia jest również czynnik szkodliwego oddziaływania promieniowania emitowanego przez monitor na aparat wzrokowy użytkownika.

Aktualnie producenci monitorów komputerowych stosują 32-bitową paletę kolorów. Oznacza to, że monitor komputera jest w stanie wyświetlić 16,8 miliona różnych odcieni kolorów, łącznie z ich przezroczystością. Wytypowane do badań monitory (technologia CRT, LCD oraz LED) zostały sprawdzone pod względem zgodności wyświetlanych barw z odpowiednikami występującymi w naturze. Użyty w badaniach analizator barw (wykorzystujący metodę kolorymetryczną, której celem jest pomiar składowych trójkromatycznych, pozwalających na wyznaczenie współrzędnych chromatyczności x , y badanej barwy) wykorzystano do pomiarów parametrów: pola barw (gamutu), równomierności podświetlania, krzywej gamma oraz równomierności temperatury barwowej [9,10].

Pole barw (gamut) danego monitora jest obszarem (trójkątem) znajdującym się w przestrzeni kolorów, którego wierzchołki określone są skrajnymi barwami podstawowymi. Gamut określa, czy dany ekran jest w stanie wyświetlić wszystkie barwy wraz z ich odcieniami. Kształt gamutu, wyznaczony za podstawie współrzędnych standardu obowiązującego w Europie *PAL/SECAM*, został pokazany na rysunku 1. Standard ten określa między innymi współrzędne chromatyczności x , y barw podstawowych, które wynoszą odpowiednio: barwa czerwona ($x=0,64$ $y=0,33$), barwa zielona ($x=0,29$ $y=0,60$), barwa niebieska ($x=0,15$ $y=0,06$) [2]. Oczekuje się, że dla jak najdokładniejszego odwzorowania obrazu rzeczywistego przez monitor, pole barw będzie możliwie największe.

Równomierność podświetlania monitora komputerowego określa jego jakość. Idealny monitor charakteryzuje się jednakową luminancją na całej powierzchni ekranu. W rzeczywistości, parametr ten jest bardzo trudny do osiągnięcia, szczególnie w przypadku monitorów o dużej przekątnej ekranu. Gdy powierzchnia ekranu monitora jest podświetlona nierównomiernie, wyświetlana barwa może nie być jednakowa w każdym punkcie ekranu. Badania równomierności podświetlenia monitorów wykonano poprzez pomiar luminancji w kilku punktach ekranu, obejmujących całą jego powierzchnię. Punktami tymi były wierzchołki, środek oraz punkty znajdujące się w połowie drogi między wierzchołkami ekranu [1,3,8].

Temperatura barwowa bieli odnosi się do temperatury rozgrzanego ciała idealnie czarnego, przy której jego kolor jest biały. Przyjętą temperaturą barwy białej (wyrażoną w kelwinach) jest 6500 K. Taką temperaturę barwową bieli

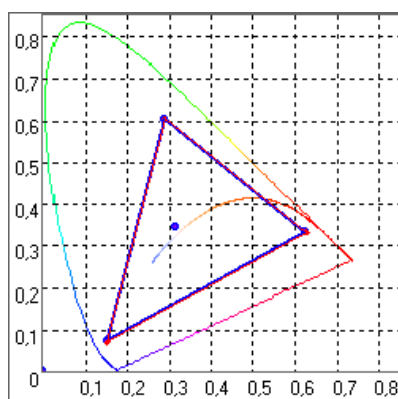
posiada iluminat D_{65} , który reprezentuje fazę światła dziennego [10]. Współcześnie obrazy są kalibrowane właśnie do tej temperatury. Niektórzy producenci monitorów oferują jednak swoje produkty do pracy z temperaturą barwową w zakresie mieszczącym się pomiędzy 8000 a 10000 K. Obraz taki wydaje się być atrakcyjniejszy, jednak nie jest on naturalny z powodu wyraźnego niebieskiego odcienia.

Krzywa gamma jest zależnością między odcieniem danej barwy, a jej jasnością. Jej kształt powinien przyjmować charakter logarytmiczny, gdyż taka jest specyfika działania oka ludzkiego. Aby zmiana odcienia barwy została zauważona jej jasność musi się zmienić [2].

2. Bazowe pomiary kolorymetryczne monitorów typu CRT

Monitory typu CRT zostały już praktycznie wycofane z produkcji, jednak z uwagi na ich dostępność na rynku informatycznym, zostały zakwalifikowane do pomiarów. Monitor tego typu pełnił rolę odniesieniową względem współczesnych monitorów, produkowanych na bazie nowoczesnych technologii. Badaniu poddano monitor CRT o przekątnej ekranu 17 cali. Jego maksymalna rozdzielczość wynosi 1280 x 1024 pikseli przy częstotliwości odświeżania 60 Hz [5].

Przeprowadzony pomiar gamutu barw pokazał, że barwy podstawowe wyświetlane przez monitor są niemal identyczne z barwami określanymi przez standard *PAL/SECAM*. Oznacza to, że monitor nie tylko został odpowiednio skalibrowany względem tego standardu, ale co ważniejsze - również jego parametry nie uległy zmianie przez cały okres jego pracy (rys.1).



Rys. 1. Gamut barw monitora CRT (niebieski) oraz gamut barw standardu *PAL/SECAM* (czerwony)

Fig.1. Gamut color CRT monitor (blue) and color gamut PAL / SECAM (red)

W kolejnym kroku zbadany został poziom równomierności podświetlenia ekranu monitora i temperatury barwowej bieli. Na podstawie wyników pomiarów tych wielkości możliwe było obliczenie współczynników nierównomierności podświetlenia (1) oraz temperatury barwowej (2) na całej powierzchni ekranu za pomocą zależności: (1) i (2).

$$WU = \frac{Lv_{\max} - Lv_{\min}}{Lv_{\max}} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

Lv_{\max} - wartość maksymalna luminancji na powierzchni ekranu,
 Lv_{\min} - wartość minimalna luminancji na powierzchni ekranu.

$$TU = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\max}} \cdot 100\% \quad (2)$$

gdzie:

T_{\max} - wartość maksymalna temperatury barwowej na powierzchni ekranu,
 T_{\min} - wartość minimalna temperatury barwowej na powierzchni ekranu.

Zarówno współczynnik nierównomierności podświetlenia ekranu jak również współczynnik nierównomierności temperatury barwowej dają obiektywne spojrzenie na różnice tych wielkości na powierzchni analizowanego ekranu.

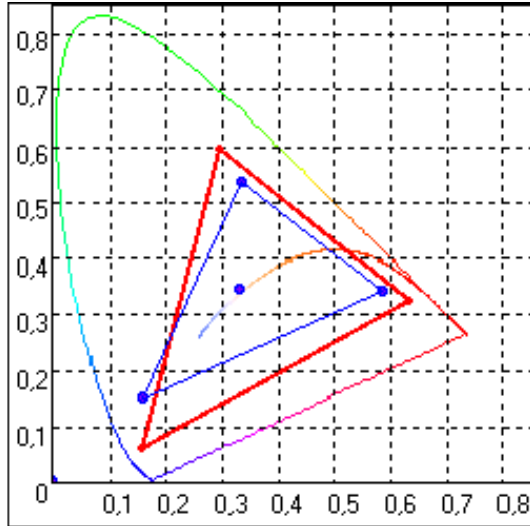
Centralna część monitora CRT świeci najmocniej, najslabiej zaś podświetlona jest lewa część ekranu. Różnice w luminancji wynoszą poniżej 15 cd/m². Posługując się współczynnikiem nierównomierności podświetlenia można stwierdzić, że w dwóch różnych punktach ekranu wartość luminancji nie będzie się różniła o więcej niż 14,6%. Temperatura barwowa jest wyższa po lewej stronie ekranu. Jednak jej wartości są bardzo zbliżone do standardu 6500 K, natomiast nierównomierność temperatury barwowej sięga maksymalnie 7,1%.

3. Badania kolorymetryczne monitorów LCD z podświetleniem matrycy typu świetlówkowego

Badaniu zostały poddane dwa różne monitory ze świetlówkowym podświetleniem matrycy (różna konfiguracja lokalizacji świetlówek). Pierwszy z nich to monitor, który jest częścią komputera przenośnego. Posiada on 14,1 calową matrycę o rozdzielczości 1024 x 768 pikseli. Częstotliwość odświeżania wynosi 60Hz.

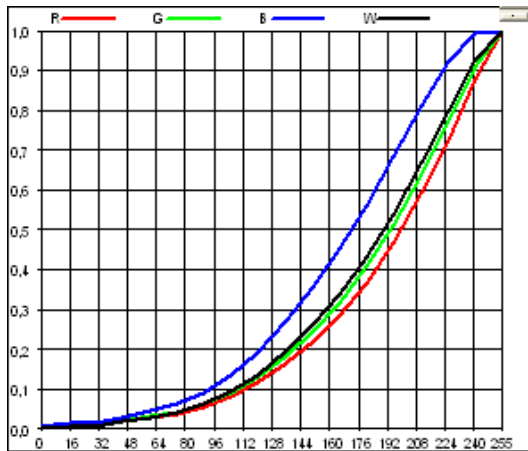
Pomiar gamutu barw wykazał, że ekran LCD zastosowany w komputerze przenośnym posiada bardzo małą przestrzeń kolorów (rys.2). Jest to istotna wada tego monitora, gdyż nie może on wyświetlić wszystkich barw prawidłowo.

Współczynnik nierównomierności podświetlenia matrycy wynosi 16,5%, co razem z wartością luminancji daje wynik mocno zbliżony do monitora CRT. Podobnie jest z nierównomiernością temperatury barwowej. Różnicą natomiast jest wartość temperatury barwowej, która oscyluje w granicach 5500 K.



Rys. 2. Gamut barw ekranu LCD komputera przenośnego (niebieski) oraz gamut barw standardu PAL/SECAM (czerwony)

Fig. 2. Color Gamut LCD laptop (blue) and color gamut PAL / SECAM (red)

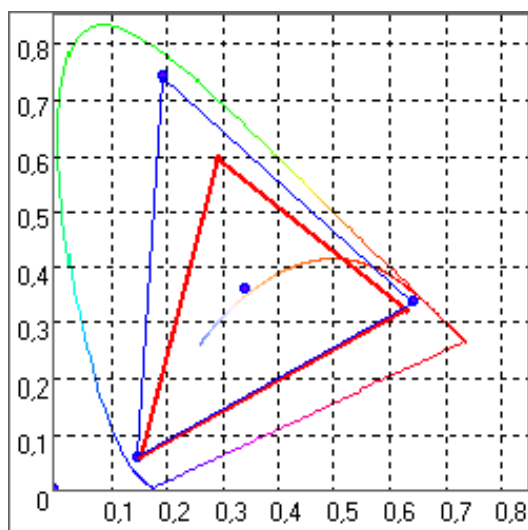


Rys. 3. Charakterystyka gamma ekranu LCD komputera przenośnego

Fig. 3. Characteristics of gamma LCD screen laptop

Pomiar charakterystyki gamma wskazuje, że zależności pomiędzy odcieniem danej barwy, a jej jasnością są różne dla każdej z barw. Oznacza to, że niektóre z odcieni kolorów wyświetlanych na ekranie monitora będą jaśniejsze od pozostałych (rys.3).

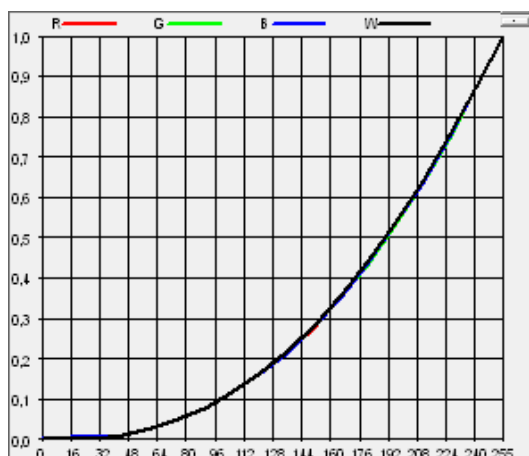
Drugim monitorem w tej kategorii jest profesjonalny monitor dedykowany do pracy w dziedzinie obróbki grafiki. Posiada on 30 calowy ekran, którego rozdzielczość wynosi 2560 x 1600 pikseli [6]. Jego wysoka cena zakupu sugeruje, że parametry tego ekranu powinny być co najmniej dobre. Producent monitora twierdzi, że ekran ten jest w stanie przetworzyć 1 miliard kolorów. Pomiary przestrzeni barw monitora potwierdzają tę informację. Gamut barw jest zdecydowanie większy niż w innych ekranach tej klasy.



Rys. 4. Gamut barw ekranu monitora do zastosowań graficznych (niebieski) oraz gamut barw standardu PAL/SECAM (czerwony)

Fig. 4. Color gamut of the monitor screen graphics applications (blue) and color gamut PAL / SECAM (red)

Przestrzeń barw tego monitora jest rzeczywiście bardzo duża, co oznacza, że będzie on w stanie wyświetlić prawidłowo nie tylko wszystkie barwy podstawowe, ale też więcej barw powstałych poprzez addytywne zmieszanie kolorów podstawowych (rys.4). Pomiary nierównomierności podświetlenia ekranu pokazują, że jego lewa krawędź charakteryzuje się mniejszą luminancją podświetlenia. Różnica w luminancji podświetlenia matrycy sięga maksymalnie 16,3%, natomiast różnica w temperaturze barwowej sięga co najwyżej 2,3%. Wartość temperatury barwowej jest niższa od przyjętej przez standard 6500 K, co powoduje wyświetlanie obrazów w nieco cieplejszych kolorach.



Rys. 5. Charakterystyka gamma monitora do zastosowań graficznych

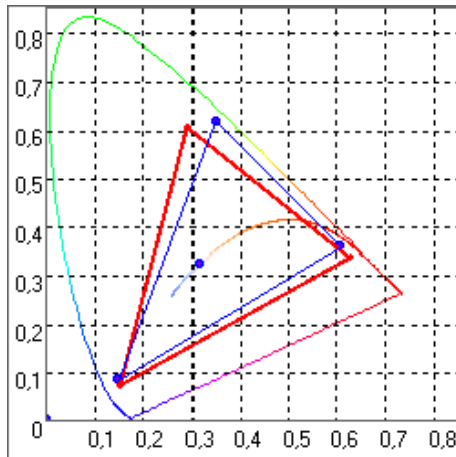
Fig. 5. Characteristics of gamma monitor for graphics applications

Pomiar charakterystyki gamma powyższego monitora pokazuje jej idealny przebieg (rys.5). Zależność pomiędzy jasnością, a odcieniem każdej z barw jest jednakowa, tworząc wysoką jakość wyświetlanego obrazu, zgodną z jego naturalnym odpowiednikiem.

4. Badania kolorymetryczne monitorów LCD z podświetleniem matrycy za pomocą diod LED

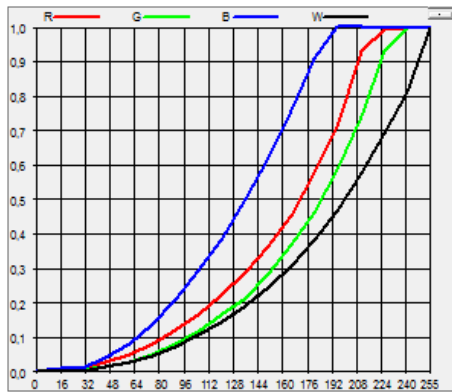
W tej kategorii monitorów pomiarom zostały poddane dwa różne ekrany komputerowe. Pierwszym z nich jest ekran komputera przenośnego. Jest to ekran LCD z podświetleniem za pomocą diod LED o przekątnej 15,6 cala. Jego rozdzielczość wynosi 1366 x 768 pikseli, a odświeżanie ekranu odbywa się z częstotliwością 60 Hz [7].

Diagram przestrzeni barw został przedstawiony na rysunku 6. Gamut kolorów ekranu LCD komputera przenośnego posiada nieco inny kształt niż gamut kolorów standardu *PAL/SECAM*. Barwy zielone i czerwone tych przestrzeni nie pokrywają się, co oznacza, że ekran nie ma możliwości wyświetlenia prawidłowo wszystkich barw określonych przez standard. Pomiar nierównomierności podświetlenia ekranu ewidentnie wskazuje, że środkowa część monitora jest lepiej podświetlona niż krawędzie. Najmniejszą jasnością charakteryzują się prawy i lewy dolny róg ekranu, gdzie luminancja wynosi poniżej 200 cd/m². Dlatego też współczynnik nierównomierności podświetlenia wynosi aż 24,2%. Temperatura barwowa ekranu osiąga średnią wartość bliską 6400 K, a jej nierównomierność wynosi 4,9%.



Rys. 6. Gamut barw ekranu LCD komputera przenośnego (niebieski) oraz gamut barw standardu PAL/SECAM (czerwony)

Fig. 6. Color Gamut LCD laptop (blue) and color gamut PAL / SECAM (red)



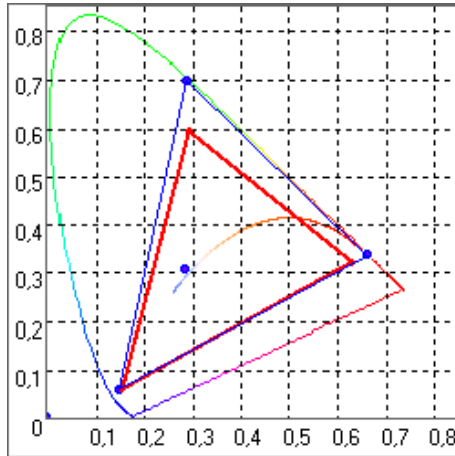
Rys. 7. Charakterystyka gamma ekranu LCD komputera przenośnego

Fig. 7. Characteristics of gamma LCD screen laptop

Pomiar charakterystyki gamma wskazuje na słabe cechy badanego ekranu. Poprawną zależność pomiędzy odcieniem a jasnością posiada jedynie barwa biała (rys.7). Diagram wskazuje, że dominującym kolorem jest barwa niebieska, a jej charakterystyka znacznie odbiega od wymaganej wzorcowej logarytmicznej. Poza tym, nie jest możliwe odróżnienie od siebie ostatnich około sześćdziesięciu odcieni tej barwy, ze względu na przedwczesne osiągnięcie maksymalnej wartości luminancji.

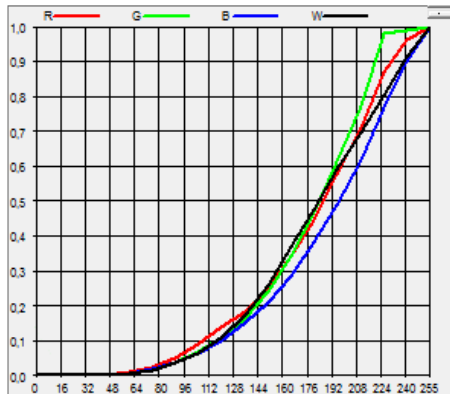
Kolejnym ekranem z podświetleniem matrycy za pomocą diod LED jest telewizor przystosowany do współpracy z jednostką centralną komputera. Jest to

46 calowy monitor o rozdzielczości 1920 x 1080 pikseli i częstotliwości odświeżania obrazu wynoszącej 60 Hz.



Rys. 8. Gamut barw telewizora LCD (niebieski) oraz gamut barw standardu *PAL/SECAM* (czerwony)

Fig. 8. Color Gamut LCD TV (blue) and color gamut *PAL / SECAM* (red)



Rys. 9. Charakterystyka gamma ekranu LCD *Philips 46PFL9705H*

Fig. 9. Characteristics of gamma LCD *Philips 46PFL9705H*

Pomiary przestrzeni barw telewizora LCD wykazały, że gamut kolorów standardu *PAL/SECAM* zawiera się w przestrzeni barw badanego ekranu (rys.8). Duża przestrzeń kolorów umożliwia dokładniejsze odwzorowanie barw istniejących w naturze. Nierównomierność podświetlenia ekranu jest najniższa spośród wszystkich badanych monitorów (13,4%). Wyniki pomiarów wskazują, że najmocniej podświetlony jest środek, natomiast naj słabiej wszystkie cztery strefy narożne ekranu. Telewizor ten charakteryzuje się wysoką temperaturą barwową,

wynoszącą średnio około 8600 K, natomiast jej nierównomierność wynosi 9,8%. Pomiar krzywej gamma wskazuje, że każda z wyświetlanych barw podstawowych charakteryzuje nieco inny przebieg (rys.9).

5. Podsumowanie

Wykonane pomiary wykazały, że obecnie produkowane monitory komputerowe są bardzo zróżnicowane ze względu na jakość wyświetlanego obrazu. Analizując badane monitory można stwierdzić, że monitor CRT posiada prawidłową przestrzeń barw oraz bardzo niską nierównomierność podświetlenia ekranu, jak również wartość temperatury barwowej zgodną ze standardem *PAL/SECAM*. Można stwierdzić również, że obecnie producenci monitorów komputerowych nie skupiają się głównie na poprawieniu jakości wyświetlanych barw, a na minimalizacji zarówno poboru energii, jak również rozmiarów urządzeń, czego wynikiem jest zmniejszenie przestrzeni barw i duża nierównomierność podświetlenia ekranów w niektórych monitorach. Producenci ekranów do urządzeń mobilnych świadomie godzą się na gorsze właściwości monitorów. Porównując wyniki przeprowadzonych pomiarów ekranów, stosowanych w komputerach przenośnych można zauważyć, że w pierwszym z badanych komputerów przenośnych ekran charakteryzuje się mniejszą nierównomiernością podświetlenia oraz lepszym przebiegiem charakterystyki gamma. Nowszy ekran, zastosowany w drugim z kolei komputerze przenośnym charakteryzuje natomiast zmniejszony pobór energii, gdyż zastosowano w nim podświetlenie za pomocą diod LED zamiast systemu świetlówkowego.

Reasumując można stwierdzić, że obecnie produkowane monitory są bardzo różnorodne. Profesjonalny sprzęt służący głównie do obróbki grafiki posiada bardzo dobre właściwości wyświetlanych obrazów, jednak zarówno jego cena jak i pobór energii są znaczne. Monitory dedykowane do pracy w domach posiadają bardziej „wyrównane” parametry jakości wyświetlanego obrazu, ceny i energooszczędności. Ekran komputerów przenośnych cechuje przede wszystkim niski pobór energii, gdyż przeciętny użytkownik bardziej ceni dłuższy czas pracy baterii zasilającej urządzenie, niż wysoką jakość wyświetlanego obrazu.

Literatura

- [1] Wojciech Żagan,: Podstawy techniki świetlnej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
- [2] Erich Helbig,: Podstawy fotometrii, Wydawnictwo Naukowo - Techniczne, Warszawa 1975.
- [3] <http://www.konicaminolta.eu/pl/measuring-instruments/products/for-display-measurements/color-analyzers/ca-210/features.html> - grudzień 2012.
- [4] <http://linuxtv.org/downloads/v4l-dvb-apis/colorspaces.html> - grudzień 2012.

- [5] http://reviews.cnet.com/crt-monitors/hyundai-imagequest-v770-crt/4505-3175_7-30617085.html - grudzień 2012.
- [6] <http://www.eizo.com/global/support/db/products/manual/CG303W> - grudzień 2012.
- [7] <http://ce.computers.toshiba-europe.com> - grudzień 2012.
- [8] Instrukcja obsługi analizatora barw ekranów Konica Minolta CA-210.
- [9] Polska norma PN/E-04042/01 - Pomiary kolorymetryczne. Postanowienia ogólne.
- [10] Polska norma PN/E-04042/02 - Pomiary kolorymetryczne. Iluminaty i źródła normalne.

Praca została zrealizowana z wykorzystaniem aparatury zakupionej w wyniku realizacji Projektu nr POPW.01.03.00-18-012/09 „Rozbudowa infrastruktury naukowo-badawczej Politechniki Rzeszowskiej” współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Programu Operacyjnego Rozwój Polski Wschodniej 2007-2013, Priorytet I. Nowoczesna Gospodarka, Działanie 1.3 Wspieranie innowacji.

COLORIMETRIC MEASUREMENTS OF THE SOME COMPUTER MONITORS

Summary

Some features of photometric monitors, including the ability to color reproduction, are an important consideration qualifying the display for specific tasks. The paper contains the results of the survey colorimetric measurements of several monitors, used today as displays on computers. Domain of study included yet used a CRT monitor, LCD display with fluorescent backlight matrix and modern LCD display with LEDs.

Currently, manufacturers of computer monitors use 32-bit color. This means that the computer monitor is able to display up to 16.8 million different shades of colors, including their transparency. Selected for study monitors (CRT technology, LCD and LED) have been tested for color display of naturally occurring counterparts. Used in studies of color analyzer (using a colorimetric method, the aim of which is to measure the chromaticity components, allowing for the appointment of the chromaticity coordinates x, y color test) was used to measure parameters: color box (gamut), uniformity of illumination, the gamma curve and color temperature uniformity. Field of colors (gamut) of the monitor is the area (triangle) located in the color space whose vertices are defined extreme primaries. The shape of the gamut, designated for coordinates of the current European standard PAL / SECAM.

The colorimetric test monitors were evaluated on the basis of measurements on gamut's field, measuring uniformity of backlight matrix, the color temperature of the screen and determined of gamma curves.

Keywords: computer screens, colorimetry, color temperature, gamma curve.

DOI: 10.7862/re.2013.22

Tekst złożono w redakcji: lipiec 2013

Przyjęto do druku: grudzień 2013