

# Lampy elektronowe, część 3

*W ostatnim odcinku cyklu artykułów przybliżających konstrukcje lamp elektronowych skupiliśmy się na omówieniu zasady działania i przybliżeniu obszarów zastosowań lamp obrazowych.*

Lampy tego rodzaju okazały się najszerzej stosowanym wynalazkiem do wyświetlania obrazów. Są one powszechnie używane od ponad 50 lat. Ich produkcja stale rośnie pomimo tego, że inne lampy termoelektronowe są stosowane coraz rzadziej.

Wiele przedsiębiorstw poświęca znaczne środki na opracowanie innych rodzajów wyświetlaczy, ale lampy obrazowe ciągle nie dają się pobić. Charakteryzują się one wysoką rozdzielczością, oddawaniem w pełni kolorów, znaczną jasnością, szerokim kątem widzenia oraz stosunkowo niskim kosztem produkcji.

Lampy obrazowe mają jednak szereg wad. Są duże i ciężkie, zużywają dużo energii i wymagają wysokich napięć sterujących i zasilających. Wady te uniemożliwiają stosowanie ich w urządzeniach przenośnych, jak komputery przenośne (laptop), w których niski pobór mocy, małe rozmiary i waga są podstawowymi wymaganiami. Jednak w domowych telewizorach i biurkowych komputerach są niezastąpione.

## Początki

Pierwsze prace, które prowadziły bezpośrednio do opracowania lamp obrazowych datują się na środek dziewiętnastego stulecia. Wówczas szereg naukowców dokonywało doświadczeń z promieniami, które dziś są znane jako elektrony.

Niemiecki eksperymentator Hittorf stwierdził, że cząsteczki emitowane przez katodę poruszają się po liniach prostych. Nazwane one zostały promieniami katodowymi. W latach 70. ubiegłego wieku William Crooke odkrył, że promienie te w opróżnionej lampie mogą wywoływać fluorescencję.

Pod koniec stulecia znane już były własności promieni katodowych oraz możliwość ich odchylenia przez pole magnetyczne. Ale dopiero w 1897 J.J. Thomson, wybitny naukowiec z Cavendish Labo-

ratory w Cambridge, wykazał, że mogą być również odchylane przez pole elektryczne.

Później Borys Rosing w Rosji zastosował lampę obrazową do wyświetlania na ekranie prostych obrazów. Elektronika była wówczas w powijakach i obrazy te były tworzone mechanicznie przy pomocy poruszania magnesami.

## Narodziny telewizji

Dalszy rozwój lamp obrazowych nastąpił wraz z wprowadzeniem telewizji. Badania nad telewizją podjęto po obu stronach Atlantyku, ale z zadziwiającym brakiem koordynacji. W USA swój system rozwijała firma RCA i zademonstrowała odbiornik z lampą obrazową w 1932.

Równocześnie w Anglii BBC wybrała system EMI-Marconi, ostro współzawodniczący z mechanicznym systemem Johna Logie Bairda. Pierwsze publiczne transmisje telewizyjne rozpoczęły się w Anglii w 1936.

Wojna wstrzymała rozwój telewizji, ale technologia lamp obrazowych dla wojskowych systemów radarowych została w tym czasie znacznie udoskonalona. Po wojnie wznowiono transmisje telewizyjne i dziedzina ta ponownie zaczęła się szybko rozwijać. W 1953 była transmitowana koronacja królowej angielskiej, co przyczyniło się ogromnie do wejścia telewizji do życia codziennego.

Następnym wielkim udoskonaleniem telewizji było wprowadzenie transmisji kolorowych. Rozwinięto się wiele systemów. Dzięki swemu zmysłowi wynalazczemu John Logie Baird doprowadził do optycznego zespolenia dwóch obrazów na jednym ekranie w jeden obraz dwukolorowy. Sposób ten jednak nie nadawał się do masowej produkcji.

Stosowany do dzisiaj system maski w kineskopach, został po raz pierwszy zademonstrowany w RCA przez zespół Goldsmitha i Schroedera. Wymagał on bardzo wielkiego wysiłku, trzeba było bowiem umieść-

cić ogromną liczbę plamek kolorowego luminoforu, dokładnie na linii otworów w masce.

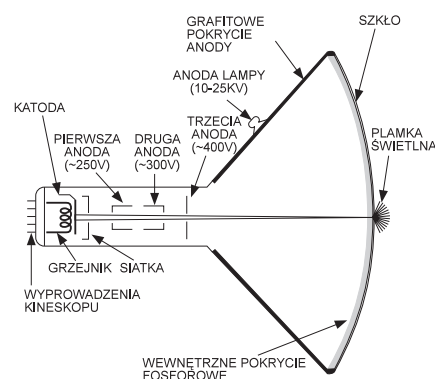
System ten przyjmował się bardzo wolno z powodu ogromnego kosztu kineskopów. Gdy jednak został już zaakceptowany, zaczął rozpowszechniać się i w innych krajach. BBC w Wielkiej Brytanii rozpoczęła nadawanie kolorowego obrazu w 1967.

Telewizja kolorowa tchnęła nowe życie w produkcję lamp obrazowych na świecie. Pomimo tego, był to jedynie wstęp przed impetem nadanym mu przez pojawienie się komputera osobistego. Obecnie sprzedaż monitorów komputerowych znacznie przekracza sprzedaż odbiorników telewizyjnych.

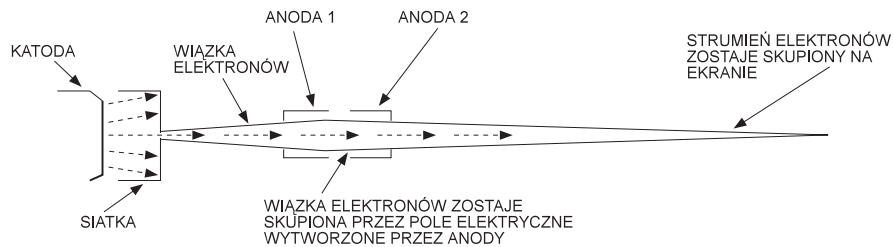
### Informacje podstawowe

Zasada działania lamp obrazowych opiera się na omówionej już wcześniej technologii lamp termoelektronowych. Składa się on z działła elektronowego, układu odchyłającego i ekranu. Działło elektronowe emituje wiązkę elektronów, która podąża do ekranu ulegając odchyleniu w górę i w dół oraz z boku na bok, za pomocą pól magnetycznych lub elektrycznych. Energia kinetyczna docierających do ekranu elektronów zamienia się w energię świetlną luminoforów, pokrywających ekran od środka lampy.

Działło elektronowe składa się z katody, siatki i jednej lub kilku anod. Katoda jest pośrednio żarzona w taki sam sposób jak w zwykłej lampie. Gdy katoda osiąga temperaturę pracy, zaczyna wyrzucać elektrony, które są przyciągane poprzez siatkę przez pozostałe pod dodatnim napięciem anody (rys.18).



Rys. 18. Uproszczony przekrój lampy elektronopromieniowej.



Rys. 19. Anody działła elektronowego.

Siatka jest utrzymywana względem katody pod napięciem ujemnym, przez regulację którego można zmieniać ilość elektronów docierających do ekranu. Ujemne napięcie siatki odpycha elektrony emitowane przez katodę, bowiem równoimienne ładunki odpychają się. Wskutek tego natężenie wiązki maleje.

Jeżeli napięcie siatki staje się mniej ujemne, natężenie wiązki wzrasta. Dzięki temu natężenie wiązki elektronów docierających do ekranu, a więc i natężenie jego świecenia, może być sterowane napięciem siatki.

Elektrony po przejściu przez siatkę są przyciągane przez anody o dodatnim napięciu, ich szybkość więc rośnie. W każdej anodzie jest mały otwór, przez który przelatuje większość elektronów w kierunku ekranu. Tylko niewielka część elektronów trafia w anody.

Siatka jest specjalnie tak uformowana, aby zapewnić skupienie większości elektronów na otworach anod. W przeciwieństwie do spiralnej konstrukcji siatek w zwykłych lampach elektronowych, siatka lampy obrazowej jest cylindrem z małym otworkiem na końcu. Dzięki temu w kierunku anod kieruje się stosunkowo wąski strumień elektronów, a całkowita emisja elektronów z katody jest lepiej wykorzystana.

Lampa elektronopromieniowa z pojedynczą anodą nie wytwarza obrazu wysokiej jakości. Obraz taki można otrzymać przy zastosowaniu dalszych anod, które jeszcze przyspieszają i skupiają wiązkę. Dzięki takiej konstrukcji otrzymuje się dużą jasność świecenia oraz małe rozmiary plamki, a więc dobrą rozdzielczość obrazu. Ilustruje to rys. 19.

Na rys. 18 pokazano, że napięcia kolejnych anod są coraz wyższe. Zazwyczaj napięcie pierwszej anody wynosi około 250V, a kolejnych są o 50V do 100V wyższe.

### Ekran

Ekran zostaje rozświetlony przez elektrony dzięki pokrywającej go warstwie luminoforu, który przetwarza energię szybko poruszających się elektronów na światło. Luminofor jest mieszaniną fosforanów, krzemianów i siarczanów. Od składu luminoforu zależą jego własności, w tym i kolor świecenia.

Pomimo tego że działło elektronowe zawiera kilka anod, ostatnią anodę tworzy się, jak widać na rys. 18, na rozszerzającej się części lampy, która jest pokryta warstwą grafitu. Napięcie tej anody wynosi zwykle 15kV lub więcej. Wyrowadzenie tej anody jest zwykle dobrze widoczne, zagłębione w stożkowej części lampy. Napięcie doprowadza się do niej dobrze izolowanym kablem. Musi on być poprowadzony z dala od wszelkich innych podzespołów, aby nie dopuścić do iskrzenia wysokiego napięcia.

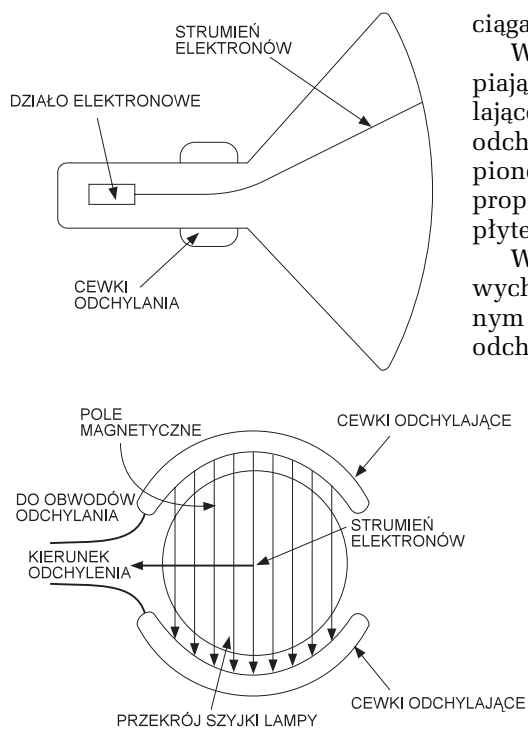
Dzięki temu, że luminofor jest przewodzący, wewnętrzna powierzchnia ekranu jest pod tym samym potencjałem co warstwa grafitu ostatniej anody, a elektrony są przyciągane przez ekran i odprowadzane do zasilacza anody.

### Odchylenie wiązki

Wiązka elektronów może być poruszana po powierzchni ekranu dwoma sposobami. Pierwszym z nich jest użycie pola magnetycznego.

Na umieszczony w polu magnetycznym przewodnik, w którym płynie prąd elektryczny, oddziałuje siła. Zjawisko to jest wykorzystywane w wielu urządzeniach, na przykład w silnikach elektrycznych. Podlega mu także wiązka elektronów w lampie elektronopromieniowej, chociaż nie ma w niej przewodnika.

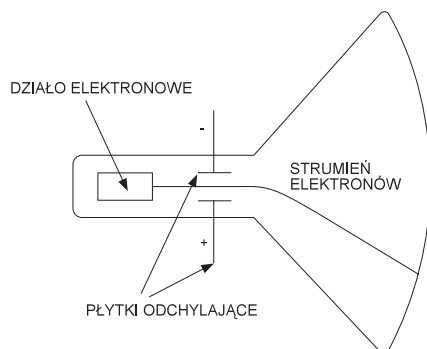
Wokół szyjki lampy umieszcza się pokazane na rys. 20 odpowiednie ukształtowane cewki, przez



Rys. 20. Odchylenie magnetyczne.

które przepływa prąd sterujący odchyleniem wiązki za pośrednictwem zmiennego pola magnetycznego. Są to dwa komplety cewek, wytwarzające pola skierowane wzajemnie do siebie pod kątem prostym. Sterują one odchyleniem poziomym i pionowym wiązki elektronów, dzięki czemu świecąca plamka może się znaleźć w dowolnym punkcie ekranu. Zaletą sterowania magnetycznego jest duży kąt odchylenia, idealny dla wymagającego dużego obrazu odbiornika telewizyjnego. Jego wadą jest trudność uzyskania bardzo dobrej linowości.

W przypadku oscyloskopów, stosowanych do pomiarów o dużej dokładności, używa się lamp o odchyleniu elektrostatycznym, pokazanym na rys. 21. Opiera się ono na fakcie, że ładunki jednoimienne odpychają się, a różnoimienne przy-



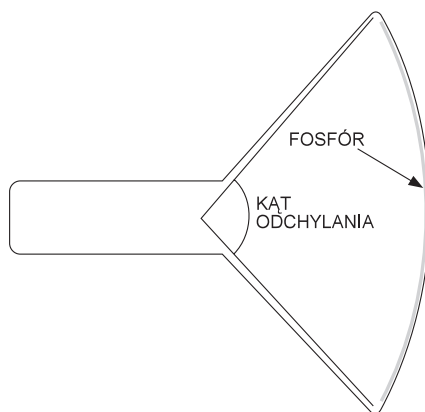
Rys. 21. Odchylenie elektrostatyczne.

ciągają.

Wewnątrz lampy za anodą skupiającą znajdują się płytki odchyłające. Jedna ich para służy do odchylenia poziomego, a druga do odchylenia pionowego. Odchylenie wiązki jest proporcjonalne do przyłożonego do płytek napięcia.

Wadą lamp elektronopromiennowych z odchyleniem elektrostatycznym są znacznie mniejsze kąty odchylenia, wskutek czego lampy te muszą być dużo dłuższe.

Wiązka elektronów musi zostać odchylna o duży kąt, aby mogła objąć niemal cały ekran, jak to widać na rys. 22. Dla danego ekranu tym lampa może być krótsza, im jest większy maksymalny kąt odchylenia. Jednak przy dużym kącie odchylenia trudno utrzymać dokładność i rozdzielczość.

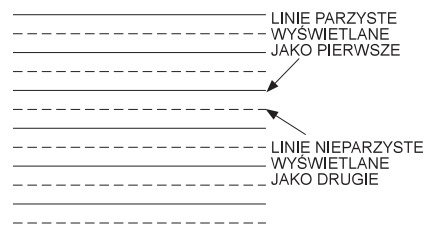


Rys. 22. Kąt odchylenia.

Maksymalny kąt odchylenia większości współczesnych kineskopów wynosi 110°.

### Rozmiary lamp

Rozmiary prostokątnych kineskopów podaje się w centymetrach przekątnej aktywnej części ekranu, jak przedstawiono na rys. 23. Oczywiście rozmiar ten jest znaczący, gdy jest znany współczynnik kształtu ekranu. Dla współczesnych 625-liniowych naziemnych transmisji telewizyjnych współczynnik ten wynosi 4:3. Oznacza to, że 51-centymetrowy (20") kineskop ma szerokość 40,5cm (16") i wysokość 30,5cm (12"). Obecnie uważa się, że obraz jest bardziej realistyczny, gdy jest szerszy, na przykład o współczynniku 2:1. Oddziaływanie dźwięku stereofonicznego jest lepsze w przypadku tak szerokiego



Rys. 23. Odchylenie międzyliniowe.

obrazu niż w przypadku obecnego 4:3. Wydaje się, że w nadchodzących latach telewizja szerokoekranowa będzie się rozpowszechniać.

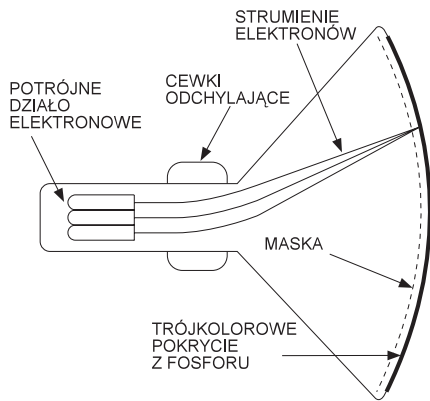
### Odchylenie

Możliwość oglądania obrazu telewizyjnego opiera się na wykozystaniu bezwładności ludzkiego oka. Właściwość ta polega na tym, że obraz rzucony na siatkówkę oka pozostaje na niej (jest widziany) jeszcze przez krótką chwilę po jego zaniknięciu. Wykozystanie tej własności do tworzenia obrazu jest następujące: świecący punkt może przebiegać po ekranie w prawo i w lewo. Gdy przebiega powoli, ruch punktu będzie wyraźnie widzialny. W miarę zwiększania częstotliwości jego oscylacji zacznie się on zamazywać, aż w końcu będzie widzialny w postaci nieruchomej linii. Jeżeli natężenie świecenia punktu będzie w trakcie przebiegu w prawo w sposób powtarzalny zmieniane, to odpowiednie fragmenty linii staną się widzialne jako ciemne lub jasne. Gdy po szybkim powrocie w lewo kolejne linie będą odrobinę przesuwane w dół, to wkrótce cały ekran pokryje się liniami, o modulowanej jasności, przedstawiając na ekranie cały obraz.

Następnie cały proces zacznie się od początku. Jeżeli kolejne obrazy są kolejno wyświetlane dostatecznie szybko, migotanie przestaje być dla oka dostrzegalne.

Uważa się, że przy częstotliwości 30Hz (połowa częstotliwości sieci energetycznej w USA) migotanie obrazu telewizyjnego jest niedostrzegalne. W Europie częstotliwość ta wynosi 25Hz, ale migotanie nie jest dla oka męczące.

Efekt migotania obrazu jest dodatkowo zmniejszany za pomocą jego wyświetlania z podwójną częstotliwością (w Europie 50Hz) przy pomocy tzw. techniki przeplotu. Polega ona na tym, że zamiast kolejnego wyświetlania dwóch jed-



Rys. 24. Konstrukcja kineskopu kolorowego.

nakowych obrazów, wyświetla się najpierw półobraz złożony z linii nieparzystych, a potem drugi, złożony z linii parzystych. Technika ta, zwana też odchyleniem międzyliniowym, jest przedstawiona na rys. 23.

Z odległości, z której obraz telewizyjny jest zwykle obserwowany, migotanie obrazu złożonego z dwóch części, z których jedna mieści się między liniami drugiej, nie jest już zauważalne. W przypadku filmów, fotografowanych z częstotliwością 25 klatek na sekundę, migotanie jest jednak nużące.

Wynalazek wyświetlania obrazu monochromatycznego (czarno-białego) był dużym osiągnięciem, ale wkrótce powstało zapotrzebowanie na wyświetlanie obrazów kolorowych. Użyto do tego celu tych samych podstawowych zasad, jednak potrzebne były znaczne modyfikacje.

Do wyświetlania kolorów w lampie obrazowej oparto się na możliwości syntezy różnych kolorów z trzech kolorów podstawowych. Rezultatem zmieszania w odpowiednich proporcjach światła koloru czerwonego, zielonego i niebieskiego otrzymuje się światło białe. Przez zmianę proporcji tych składników można otrzymać dowolny kolor z widma widzialnego. Niebieski z czerwonym tworzą fioletowy, zielony z czerwonym tworzą żółty itd. Ten sposób tworzenia kolorów przez mieszanie światła nazywa się addytywnym, w odróżnieniu od mieszania pigmentów, jak farb czy atramentów, nazywanego subtraktywnym.

W kolorowych lampach obrazowych do uzyskania wszystkich wymaganych kolorów używa się

zasady sumowania kolorów. Ekran zawiera trzy rodzaje luminoforu i może emitować światło w trzech podstawowych kolorach. Sterując proporcjami i intensywnościami tych trzech składników otrzymuje się wymagany kolor o wymaganej jaskrawości (choć przyglądając się ekranowi z bliska można spostrzec oddzielne punkty o składowych kolorach).

Na pierwszy rzut oka kolorowy kineskop wygląda bardzo podobnie do czarno-białego. Zawiera on jednak wewnątrz trzy działa elektrony, po jednym na każdy kolor podstawowy, jak to pokazuje rys. 24. Mieszczą się one w szyjce lampy. Na ekranie są rozmieszczone barwne luminofory w postaci punktów lub kresek. Konstrukcja lampy musi zapewnić dostęp elektronów z każdego działa tylko do właściwego luminoforu. Osiąga się to mechanicznie przez umieszczenie przed ekranem maski z otworami.

Każde z trzech dział elektrony znajduje się w nieco innej pozycji, zatem trzy wiązki elektronowe docierają do ekranu pod nieco innymi kątami. Maska umożliwia doprowadzenie każdej wiązki do odpowiedniego luminoforu i zapobiega dotarciu jej do innych, co przedstawia rys. 25.

Wykonanie takiej maski, która do każdego luminoforu dopuszcza tylko właściwą wiązkę, może wydawać się łatwe, ale w rzeczywistości jest trudne ze względu na wymagane bardzo ściśle tolerancje.

Pierwsze kineskopy kolorowe były wykonywane z trójkątnie rozmieszczonymi działami elektrony i punktami luminoforów w postaci triad. Były one bardzo trudne do wyregulowania i często kolor w części obrazu nie był właściwy z powodu wpływu zewnętrznego pola magnetycznego na wiązkę elektronów. Innym problemem było przejmowanie przez maskę sporej części wiązek elektronów, co znacznie zmniejszało jaskrawość ekranu.

Obecnie kineskopy kolorowe są produkowane wraz z cewkami odchylającymi, co pozwala na bardzo dokładną regulację całego podzespołu w czasie procesu produkcyjnego. Także maska została zmodyfikowana przez wydłużenie

otworków do kształtu szparek, dzięki czemu wzrosła jaskrawość obrazu.

W słynnych kineskopach Sony Trinitron idea ta została poprowadzona jeszcze dalej. Zamiast stosowania małych pasków luminoforu użyto ciągłych pasków od góry do dołu, podobnie jak otworów w masce. Technika ta zapewnia maksymalną możliwą jaskrawość ekranu.

Jednak pomimo tych poważnych usprawnień technologii produkcji, duże natężenia pola magnetycznego nadal mogą wprowadzić zakłócenia. Dlatego duże głośniki, które zawierają spore magnesy, powinny być trzymane z dala od telewizora czy monitora.

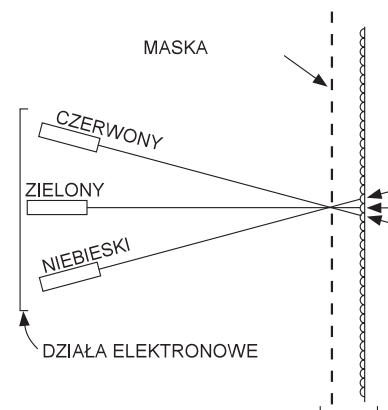
### Zakończenie

Lampa elektronopromieniowa jest wynalazkiem, który odniósł wielki sukces. W każdym domu jest co najmniej jedna, a często więcej. Biura są nimi wypełnione, ponieważ znajdują się w monitorach komputerowych. Znajdują się także w radarach wszelkich statków, podobnie jak samolotów, w oscyloskopach w laboratoriach i w maszynach kasowych w bankach.

Wyświetlacze wykonane w innych technologiach współzawodniczą z lampami elektronopromieniowymi, ale żadna jeszcze nie odniosła sukcesu. Lampa nadal dominuje na tym polu i pod tym względem lampy elektrony są ciągle w rozkwicie.

Ian Poole, EwPE

Artykuł publikujemy na podstawie umowy z redakcją miesięcznika „Everyday with Practical Electronics”.



Rys. 25. Działanie maski.