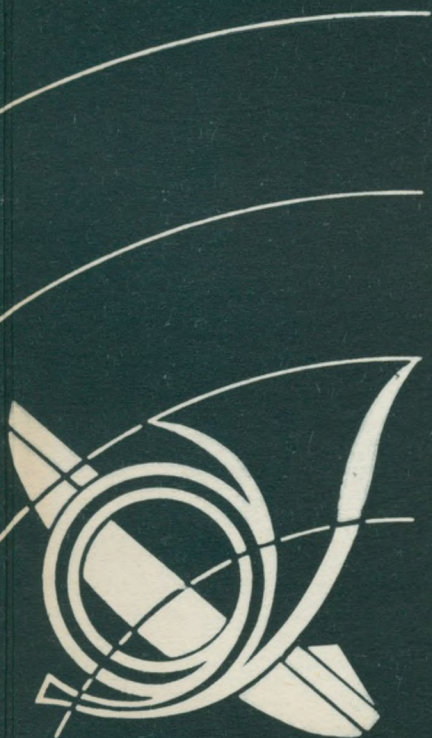


9 6 2
3 (4)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA — MIEDZESZYN

St. Kobus

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI



MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

ROK 2

WARSZAWA 1962

NR 3/4/

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Ośrodek Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Kolegium Redakcyjne:

Przewodniczący - mgr inż. Zenon Szpigler
Z-ca Przewodniczącego - mgr inż. Władysław Cetner

Członkowie:

inż. Edmund Janowski, doc. Stefan Jasiński,
mgr Kazimierz Kotowski, mgr inż. Adam Moniuszko,
mgr inż. Józef Możejko

Sekretarz Redakcji - Irena Kulko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Ośrodek

Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH REKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: J. Borkowska Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy OKW Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 470. Druk ukończono
w lutym 1963 r.

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Doc. Lesław Kędzierski - Wybór i normalizacja międzynarodowego systemu telewizji kolorowej	1
2. Mgr inż. Andrzej Kiełkiewicz, mgr inż. Alfons Podemski - Nowoczesne systemy telewizji kolorowej	10
3. Mgr inż. Kazimierz Górski, mgr inż. Janusz Podejko - Lampy obrazowe do telewizji kolorowej	65

Doc. LESŁAW KĘDZIERSKI

WYBÓR I NORMALIZACJA MIĘDZYNARODOWEGO SYSTEMU TELEWIZJI KOLOROWEJ

Naturalnym kierunkiem postępu technicznego w dziedzinie telewizji programowej jest uzupełnienie informacji dostarczanych przez obrazy czarno-białe dodatkowymi informacjami, przede wszystkim o kolorowości nadawanych scen.

Badania systematyczne nad telewizją kolorową, pomijając próby podejmowane na ten temat jeszcze w okresie telewizji mechanicznej, zostały podjęte w pierwszych latach po zakończeniu drugiej wojny światowej, a więc w okresie, kiedy podstawowe problemy wysokiej jakości telewizji czarno-białej zostały już właściwie rozwiązane.

W oparciu o właściwość wzroku ludzkiego, charakteryzującą się trójkolorową selekcją bodźców, powstaje wówczas szereg rozwiązań telewizji kolorowej, opartych na podziale obrazu kolorowego na trzy obrazy /jednokolorowe/ w trzech tzw. kolorach podstawowych /czerwonym, zielonym i niebieskim/ i odtwarzaniu tych obrazów metodami typowymi dla telewizji czarno-białej.

Wszystkie te rozwiązania charakteryzowały się tym, że wymagały w zasadzie bądź wykorzystywania trzech równoległych kanałów sygnałów wizyjnych dla trzech sygnałów pochodzących od obrazów w kolorach podstawowych, bądź też nadawania trzykrotnie większej liczby obrazów w kolorach

podstawowych w stosunku do liczby obrazów nadawanych w telewizji czarno-białej. Rozwiązania te w obu przypadkach wymagały więc do przesyłania obrazów kolorowych znacznie szerszego pasma częstotliwości niż to jest potrzebne dla obrazu czarno-białego o tej samej liczbie szczegółów.

Z uwagi na ograniczone zakresy wielkich częstotliwości, przydzielonych umowami międzynarodowymi służbie telewizyjnej, eksploatacja takich systemów byłaby poważnie utrudniona.

Oprócz tego, pojawiły się w tym okresie praktyczne możliwości przesyłania sygnałów telewizyjnych na duże odległości, a więc i możliwości wymiany programów telewizyjnych w skali międzynarodowej, bardzo korzystne zarówno ze względu na atrakcyjność tego typu transmisji dla abonentów telewizyjnych jak i zmniejszające koszty eksploatacyjne /przede wszystkim koszty przygotowywania programu/.

Wymiana programów staje się jednak bardzo ułatwiona przy przyjęciu przez kraje, co najmniej jednego kontynentu, wspólnego systemu telewizyjnego i jednolitych jego parametrów.

W tych warunkach Międzynarodowy Doradczy Komitet Radiokomunikacyjny /CCIR/, jako organizacja techniczna Międzynarodowej Unii Telekomunikacyjnej /UIT/, ustalił podstawowe kryteria, jakimi powinien się charakteryzować system telewizji kolorowej, nadający się do wprowadzenia do eksploatacji w skali międzynarodowej. Na zebraniu swojej XI Komisji Studiów /Telewizja/ w Brukseli

w 1955 r. zostało więc postanowione, aby podjąć międzynarodowe badania i poszukiwania systemu spełniającego ustalone kryteria /Zagadnienie Nr 118/XI i Program Studiów Nr 80/XI/.

Zgodnie z tymi postanowieniami przyszłościowy system telewizji kolorowej powinien:

- 1/ zapewniać zadowalającą jakość obrazu kolorowego, monochromatycznego i dźwięku, towarzyszącego przy wykorzystywaniu pasma częstotliwości o szerokości ściśle niezbędnej do tego celu,
- 2/ umożliwiać konstrukcję odbiornika stabilnego o łatwej regulacji i przystępnej cenie,
- 3/ umożliwiać łatwą eksploatację i konserwację urządzeń studyjnych, transmisyjnych oraz emisyjnych,
- 4/ charakteryzować się niewrażliwością na zakłócenia,
- 5/ spełniać warunki odpowiedniości^{1/},
- 6/ umożliwiać ustalenie planów rozdziału częstotliwości,
- 7/ umożliwiać łatwą wymianę programów w skali międzynarodowej,

^{1/}System spełniający warunki odpowiedniości jest to system, który umożliwia: a/ przy użyciu istniejących odbiorników telewizji czarno-białej odbieranie również programu telewizji kolorowej, odtwarzając obrazy jako czarno-białe, b/ odbiór programów telewizji czarno-białej na odbiornikach telewizji kolorowej, odtwarzając obrazy kolorowe jako czarno-białe.

- 8/ charakteryzować się łatwością wprowadzania ulepszeń wynikających z postępu techniki,
- 9/ uwzględniać wszystkie różnice, jakie zachodzą we własnościach zakresów fal metrowych i decymetrowych.

Warunek odpowiedności systemu telewizji kolorowej z eksploatowanym systemem telewizji biało-czarnej został przy tym ustalony jako warunek podstawowy, ze względu na poglądy, że telewizja kolorowa będzie wprowadzana stopniowo i przez dłuższy czas eksploatowana równoległe z szeroko wprowadzoną telewizją czarno-białą. Należy więc licznym abonentom telewizji czarno-białej umożliwić również odbiór programu kolorowego, chociażby jako czarno-białego^{1/}.

Postawienie takiego warunku eliminowało jednak wszystkie dotychczasowe, stosunkowo proste technicznie, rozwiązania oparte na opanowanej już technice oraz wymagało oparcia się na nowych zasadach transmisji informacji.

Warunek odpowiedności z samej zasady zmuszał do przyjęcia w telewizji kolorowej tych samych podstawowych parametrów systemu, którymi charakteryzuje się istniejący system telewizji czarno-białej, a więc przede wszystkim co najmniej tych samych: liczb linii systemu, liczb obra-

^{1/}Warunek odpowiedności systemu telewizji kolorowej wielu fachowcom nie wydaje się obecnie już tak oczywisty jak poprzednio, lecz z uwagi na zaawansowanie i osiągnięte wyniki w pracach nad systemem odpowiednim odstąpienie od zasady odpowiedności systemów jest mało prawdopodobne.

zów nadawanych w ciągu sekundy, sposobów wybierania, szerokości pasma częstotliwości sygnałów wizyjnych, jak również odstępu pomiędzy monymi częstotliwościami sygnałów wizyjnych i fonicznych.

Ustalenie podanych powyżej, zasadniczych kryteriów dla jednolitego w skali międzynarodowej przyszłościowego systemu telewizji kolorowej opierało się na wynikach prac przeprowadzonych w Stanach Zjednoczonych A.P., z wielkim rozmachem i nakładem środków. Powołany tam Narodowy Komitet do Opracowania Systemu Telewizyjnego /National Television System Committee/, wykorzystując badania kilku tysięcy specjalistów różnych dziedzin /telewizji, radiotechniki, optyki, psychofizjologii, fizyki i in./ opracował system spełniający przynajmniej większość z postawionych warunków, a w szczególności warunki: odpowiedniości, łatwej wymiany programów i niezależności systemu od zakresu używanych długości fal.

System ten, nazwany NTSC, wymagał jednak stosowania odbiornika, którego nie można było uznać za wystarczająco stabilny w pracy, łatwy w regulacji, a przede wszystkim tani. Skomplikowany technicznie sposób przesyłania informacji o kolorowości obrazu wymagał znacznej rozbudowy odbiornika oraz ustalenia wąskich tolerancji na dopuszczalne zniekształcenia sygnałów /przede wszystkim na zniekształcenia fazowe/, aby można było zapewnić zadowalającą jakość obrazu. Obniżyło to stabilność pracy odbiornika oraz zwiększyło liczbę regulacji, utrudniającą obsługę odbiornika przez osoby nie wprowadzone w technikę telewizyjną.

Na cenę sprzedażną odbiornika, w sposób zasadniczy wpłynął jednak koszt lampy obrazowej i obwodów bezpośrednio z nią związanych, które umożliwiają odtwarzanie obrazu kolorowego. Bardzo trudna technologia wykonywania kineskopu kolorowego, w rozwiązaniu najbardziej obecnie rozpowszechnionym /tzw. maskowego/, i wynikające stąd koszty produkcji utrudniają poważnie obniżenie ceny odbiornika telewizji kolorowej tak, że cena sprzedażna odbiorników telewizji kolorowej sięga obecnie trzykrotnej ceny dobrej klasy odbiorników telewizji czarno-białej.

Pomimo tych niedogodności system NTSC został już w Stanach Zjednoczonych A.P. /w 1956 r./ wprowadzony do eksploatacji. Jednak nadzieje pokładane w szybkim rozwoju tej nowej, atrakcyjniejszej formy telewizji zawiodły, szczególnie w okresie początkowym. Przez pierwsze lata, przy dużych nakładach inwestycyjnych i eksploatacyjnych, telewizja kolorowa praktycznie się tam nie rozwijała, a i obecnie tempo jej rozwoju jest znacznie mniejsze niż tempo pierwszych lat rozwoju telewizji czarno-białej. Przyczyn tego stanu rzeczy należy szukać głównie w wysokiej cenie odbiornika, trudnościach jego regulacji oraz znacznych kosztach jego konserwacji, wynikających z komplikacji samego systemu.

Trudności z rozwojem telewizji kolorowej na terenie Ameryki spowodowały bardzo ostrożne podejście do tego zagadnienia na terenie Europy, gdzie dochodzą dodatkowe trudności przyjęcia jednolitego systemu telewizji kolorowej, związane z wprowadzeniem w różnych krajach różnych norm telewizji biało-czarnej. W szeregu jednak kra-

jów europejskich, a w szczególności w ZSRR, W. Brytanii, Francji, NRF i Holandii, podjęto jednak poważne badania mające na celu adaptację zasad, na których opiera się system NTSC, do używanych norm telewizji biało-czarnej, jak również poszukiwania pewnych uproszczeń tego systemu. Wyniki tych prac nie dały jednak dotychczas podstaw do wyboru jednolitego systemu, który mógłby być przyjęty powszechnie.

Szereg międzynarodowych konferencji, odbytych w tej sprawie w ramach działalności CCIR /w Los Angeles w 1959 r., w Genewie w 1960 r., w Cannes w 1961 r. i w Bad Kreutznach w 1962 r./ jak również w ramach działalności OIRT, znacznie już jednak zbliżył stanowiska różnych krajów w tej sprawie, co pozwoliło na uzgodnienie niektórych podstawowych parametrów przyszłościowego systemu telewizji kolorowej takich, jak: liczba linii systemu /przyjęto 625/, położenie częstotliwości podnośnej, niosącej informacje o kolorowości obrazu /4,43 MHz/, w widmie częstotliwości sygnału wizyjnego, czy odstępów pomiędzy częstotliwościami nośnymi sygnałów obrazu sąsiednich kanałów /8 MHz/. Uzgodnienia te umożliwiły już dzisiaj międzynarodowe uzgodnienie planów sieci telewizyjnych oraz uściśliły w pewnym stopniu kierunki badań i poszukiwań systemu najbardziej odpowiedniego dla warunków europejskich.

Niezależnie od badań mających na celu adaptację, uproszczenie, czy poprawę własności systemu NTSC niektóre kraje prowadzą również poszukiwania innego systemu, któ-

ry umożliwiłaby uproszczenie odbiornika i poprawę jego własności, jak również poszukiwanie innego niż kineskop maskowy rozwiązania urządzenia syntezującego obraz kolorowy. Te ostatnie badania mają przede wszystkim na celu obniżenie kosztu odbiornika i chociaż w zasadzie nie są związane z samym systemem, to stanowią jeden z najpoważniejszych elementów wpływających na rozwój telewizji kolorowej.

W obu tych kierunkach badań osiągnięto w ostatnich latach szereg pozytywnych wyników. Specjaliści francuscy opracowali konkurencyjny w stosunku do NTSC system nazwany SECAM, który jest rozwinięciem i ulepszeniem kolejno-jednoczesnego systemu zaproponowanego przez Henri de France'a w 1956 r. Ostatnia wersja tego systemu budzi poważne nadzieje, gdyż wydaje się, że umożliwia uproszczenie odbiornika, poprawę jego stabilności, zmniejszenie liczby regulacji i dopuszczenie znacznie większych zniekształceń, bez widocznego wpływu na jakość obrazu.

System SECAM nie jest jednak jeszcze dostatecznie zbadany w skali międzynarodowej, nie może więc być tym samym uznany za nadający się do powszechnego stosowania. Dotychczasowe wyniki badań wykazały jednak celowość prowadzenia dalszych badań, bardziej szczegółowych, które miałyby na celu przede wszystkim porównanie własności tego systemu z własnościami różnych wariantów systemu NTSC.

Podobne badania porównawcze będą również przeprowadzone i w Polsce w Instytucie Łączności, aby móc czynnie współpracować przy wyborze systemu telewizji kolo-

rowej, który byłby najbardziej właściwy ze względów technicznych i ekonomicznych. Obecnie przewiduje się, że wyniki kompleksowych badań porównawczych powyższych systemów pozwolą w okresie najbliższych 2-3 lat doprowadzić do wyboru i normalizacji systemu telewizji kolorowej, nadającego się do powszechnego wprowadzenia.

Poszukiwania prostszego i tańszego urządzenia do syntezy obrazu kolorowego dały również pewne wyniki. Opracowano już kilka rozwiązań kineskopów kolorowych, opartych na nieco innych zasadach niż kineskop maskowy, a ostatnio opracowano tzw. lampę bananową wchodzącą w skład urządzenia syntezującego, całkowicie odróżniającego się od typowych kineskopów. Nie ma jednak jeszcze dostatecznych danych do prawidłowej oceny tych rozwiązań.

Ponieważ zagadnienie wyboru systemu telewizji kolorowej, który będzie w przyszłości wprowadzony w Polsce, może być interesujące dla grona techników telekomunikacji, w następnych więc artykułach niniejszego zeszytu omówiono w sposób możliwie przystępny zasady pracy kilku systemów, spośród których będzie prawdopodobnie wybrany system powszechnie eksploatowany, oraz omówiono również najnowsze rozwiązania lamp i urządzeń przeznaczonych do odtwarzania obrazu kolorowego. Artykuły te pozwolą zorientować się czytelnikom w trudnościach zagadnienia i kierunkach prowadzonych prac z dziedziny telewizji kolorowej.

Mgr inż. ANDRZEJ KIEŁKIEWICZ

Mgr inż. ALFONS PODEMSKI

NOWOCZESNE SYSTEMY TELEWIZJI KOLOROWEJ

1. WSTĘP

W telewizji kolorowej wykorzystuje się właściwość oka ludzkiego, która umożliwia uzyskanie wrażenia dowolnego koloru przy występowaniu bodźców jedynie w kolorach podstawowych. Kolorami podstawowymi przyjętymi w telewizji są: czerwony, zielony i niebieski. Dla przesłania więc obrazu kolorowego niezbędne jest rozłożenie go na składowe w kolorach podstawowych, przekazanie tych składowych w postaci trzech niezależnych informacji do miejsca odbioru oraz nałożenie na siebie obrazów odtwarzanych w kolorach podstawowych, co daje w wyniku wrażenie obrazu oryginalnego z prawidłowym odtworzeniem wszystkich kolorów.

Analiza obrazu kolorowego jest z reguły przeprowadzana metodami stosowanymi w technice telewizji monochromatycznej. Stosuje się do tego celu trzy przetworniki optyczno-elektryczne, z których każdy /np. dzięki użyciu odpowiednich filtrów optycznych/ reaguje na jeden z trzech kolorów podstawowych. Dzięki temu procesowi uzyskuje się trzy sygnały elektryczne zawierające informacje o treści obrazu kolorowego, z których każda odnosi się do danego koloru podstawowego.

Odtwarzanie obrazu kolorowego wymaga odtworzenia trzech obrazów w kolorach podstawowych i ścisłego nałożenia ich na siebie. Można do tego celu stosować bądź trzy kineskopy, których luminofery dają światło w kolorach podstawowych, bądź też jeden kineskop, którego poszczególne elementy ekranu dają światło o kolorach podstawowych.

Każdy kolor może być jednoznacznie określony za pomocą trzech wielkości: luminancji, barwy i nasycenia. Luminancja danego koloru jest miarą natężenia światła, barwa jest określana długością dominującej fali świetlnej, nasycenie zaś oznacza stopień czystości koloru, czyli stopień zmieszania z kolorem białym będącym mieszaniną wszystkich kolorów podstawowych.

W telewizji monochromatycznej wykorzystuje się jedynie sygnał dający informację o luminancji poszczególnych elementów obrazu. Natomiast w telewizji kolorowej należy przesyłać również i informację o barwie i nasyceniu. Oznacza to, że w telewizji kolorowej należy przesyłać trzy niezależne sygnały dające informację o luminancji, barwie i nasyceniu elementów nadawanego obrazu kolorowego.

Istnieje wiele metod umożliwiających techniczną realizację telewizji kolorowej, jednakże jedynie nieliczne z nich odpowiadają wymaganiom, jakie im się obecnie stawia. Omówienie właściwości nowoczesnych systemów telewizji kolorowej jest przedmiotem niniejszej pracy.

2. WŁAŚCIWOŚCI SYSTEMÓW TELEWIZJI KOLOROWEJ

Wszystkie systemy telewizji kolorowej można w zasadzie podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- a/ systemy kolejne,
- b/ systemy jednoczesne.

Systemy kolejne telewizji kolorowej charakteryzują się tym, że sygnały poszczególnych składowych obrazu kolorowego: czerwonej, zielonej i niebieskiej przesyła się kolejno, wykorzystując bezwładność oka ludzkiego do uzyskania wrażenia obrazu kolorowego. Istotną cechą tych systemów jest przesyłanie w danym odcinku czasu tylko jednej informacji.

Pod tym względem nie ma więc różnicy pomiędzy telewizją kolorową i czarno-białą /monochromatyczną/. Prędkość zmian w nadawaniu kolejnych składowych obrazu kolorowego jest uwarunkowana właściwościami oka ludzkiego. Nie może ona być jednak za mała ze względu na możliwość wystąpienia migotania kolorów.

Zależnie od prędkości zmian kolorów rozróżniamy:

- a/ system "kolejnych pól", gdzie zmiana koloru następuje po zanalizowaniu każdego półobrazu;
- b/ system "kolejnych linii", w którym stosuje się kolejne przesyłanie kolorów na kolejnych liniach obrazu;
- c/ system "kolejnych punktów", w którym zmiana kolorów następuje ze stosunkowo dużą częstotliwością na każdej linii obrazu.

W systemach jednoczesnych telewizji kolorowej wszystkie trzy informacje są przesyłane jednocześnie, sposób zaś przesyłania jest zależny od systemu.

Przyjęto powszechnie, że nowoczesny system telewizji kolorowej powinien spełniać tzw. warunek odpowiedniości, dzięki czemu umożliwia się odbiór sygnału telewizji kolorowej na normalnym odbiorniku telewizji monochromatycznej w postaci obrazu czarno-białego i odwrotnie odbiór sygnału telewizji monochromatycznej na odbiorniku telewizji kolorowej również w postaci obrazu czarno-białego.

Z warunku odpowiedniości wynika również, że szerokość pasma częstotliwości wizyjnych powinna być taka sama w telewizji kolorowej jak i w monochromatycznej, oraz że jakość obrazu kolorowego nie powinna być gorsza niż obrazu czarno-białego.

Wprowadzenie zasady odpowiedniości systemu telewizji kolorowej zostało podyktowane przede wszystkim względami natury ekonomicznej. Ta właściwość systemu umożliwia bowiem wykorzystywanie odbiorników telewizji monochromatycznej przy emisjach programu kolorowego. Jest to okoliczność bardzo ważna, gdyż w przeciwnym przypadku wprowadzenie telewizji kolorowej do eksploatacji spowodowałoby unieruchomienie wielomilionowego parku odbiorników, które są obecnie użytkowane. Dzięki zasadzie odpowiedniości odbiorniki te będą mogły być użytkowane, aż do wycofania ich z eksploatacji z powodu zużycia. Wydaje się, że w ten sposób będzie zapewniony prawidłowy rozwój telewizji kolorowej.

Jak już wspomniano we wstępie, do odtworzenia obrazu kolorowego są niezbędne trzy niezależne sygnały elektryczne. Aby warunek odpowiedniości mógł być spełniony, jeden z tych sygnałów musi reprezentować rzeczywistą luminancję obrazu, to znaczy obraz czarno-biały ze wszystkimi gradacjami szarości. Jest to tak zwany sygnał luminancji. Pozostałe dwa sygnały określają kolorowość obrazu, czyli chrominancję. Sygnały te uzyskuje się drogą prostych przekształceń z trzech sygnałów powstających przy analizie obrazu kolorowego i reprezentujących składowe kolorów podstawowych.

Sygnał luminancji zgodnie z zasadą odpowiedniości musi ściśle odpowiadać sygnałowi wizyjnemu w telewizji monochromatycznej, a więc musi być przesyłany z pełnym pasmem częstotliwości. Natomiast sygnały chrominancji mogą mieć pasmo częstotliwości stosunkowo znacznie ograniczone ponieważ, jak wykazały badania, oko ludzkie nie rozróżnia drobnych kolorowych szczegółów obrazu, o ile różnią się one między sobą jedynie barwą, lub nasyceniem.

Sposób przesyłania sygnałów luminancji i chrominancji zależy od systemu, jednakże każdy z tych systemów musi spełniać warunek, aby wszystkie trzy sygnały były przesyłane w kanale telewizyjnym o normalnej szerokości pasma częstotliwości wizyjnych.

Obecnie trwają w Europie intensywne badania właściwości różnych systemów telewizji kolorowej. Chodzi o zbadanie, który z nich umożliwi uzyskiwanie obrazu kolorowego najwyższej jakości oraz jego odbiór możliwie najprostszymi i najpewniejszymi sposobami.

3. SYSTEM TELEWIZJI KOLOROWEJ Z JEDNĄ PODNOŚNĄ CHROMINANCJI I MODULACJĄ KWADRATUROWĄ

3.1. Podstawowe cechy systemu

Pierwszym systemem telewizji kolorowej całkowicie spełniającym wszystkie warunki systemu jednoczesnego jest opracowany w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej tzw. system NTSC /nazwa pochodzi od skrótu organizacji patrolującej badania nad rozwiązaniem technicznym systemu: National Television System Committee/. W wielu europejskich ośrodkach badań nad telewizją kolorową przystosowano również ten system do standardów europejskich /625-liniowego, ewentualnie 405-liniowego w Anglii/.

Z uwagi na warunki odpowiedniości, podstawowym zagadnieniem, które należy rozwiązać w systemie telewizji kolorowej, jest przesyłanie trzech niezależnych informacji w normalnym kanale telewizyjnym. W systemie NTSC zagadnienie to rozwiązano w ten sposób, że sygnał lminancji, reprezentujący obraz biało-czarny przesyła się tak samo, jak w telewizji monochromatycznej z pełnym pasmem częstotliwości wizyjnych. Dla przesłania pozostałych dwóch sygnałów dających informację o barwie i nasyceniu, czyli sygnałów chrominancji, zastosowano tzw. podnośną chrominancji modulowaną w układzie kwadraturowym. Metoda ta polega na tym, że dwie składowe fali podnośnej przesunięte nawzajem w fazie o 90° są modulowane amplitudowo każda niezależnie jednym z sygnałów chrominancji. Następnie obie te zmodulowane składowe dodaje się, w wy-

niku czego powstaje fala o modulowanej amplitudzie i fazie, przy czym amplitudzie odpowiada w tym systemie nasycenie koloru, fazie zaś - jego barwa.

Tak zmodulowaną falę podnośną chrominancji dodaje się do sygnału luminancji. Częstotliwość fali podnośnej musi zgodnie z zasadą odpowiedniości zawierać się w granicach pasma częstotliwości wizyjnych sygnału luminancji, dla zmniejszenia więc dostrzegalności na obrazie dodatkowego sygnału, wartość tej częstotliwości dobrano tak, aby znajdowała się w górnej części pasma częstotliwości wizyjnych i stanowiła poza tym nieparzystą wielokrotność połowy częstotliwości odchylenia poziomego.

W urządzeniu odbiorczym należy ponownie odtworzyć oba sygnały chrominancji, którymi zmodulowano falę podnośną. Do tego celu stosuje się tzw. detektory synchroniczne, które reagują zarówno na amplitudę jak i fazę detektowanego sygnału. Sygnał luminancji oraz dwa sygnały chrominancji przekształca się następnie w układach matrycowych na sygnały kolorów podstawowych, wykorzystując je do odtworzenia obrazu kolorowego.

Szereg rozwiązań technicznych systemu NTSC /i jego odpowiedników europejskich/ jak np. zasada tworzenia sygnału luminancji i sygnałów chrominancji oraz zasada przeplatania widm częstotliwości znalazły również zastosowanie i w innych systemach telewizji kolorowej, wydaje się więc korzystne dokładniej omówić zagadnienia występujące w tym systemie.

3.2. Sygnał luminancji i sygnały chrominancji

Bezpośrednie przesyłanie sygnałów składowych kolorów podstawowych, uzyskiwanych w wyniku analizy obrazu kolorowego, jest możliwe jedynie przy stosowaniu bądź systemu 3-kanalowego, w którym każdy sygnał wizyjny odpowiadający jednemu z kolorów podstawowych jest przesyłany osobnym kanałem wizji, bądź też systemów kolejnych, w których sygnały wizyjne odpowiadające kolorom podstawowym są przesyłane kolejno.

Natomiast w systemach jednoczesnych telewizji kolorowej spełniających warunek odpowiedniości należy dokonać odpowiednich przekształceń trzech sygnałów wizyjnych uzyskiwanych z analizy obrazu kolorowego.

Zasadę tworzenia dowolnego koloru z trzech kolorów podstawowych można przedstawić graficznie za pomocą tzw. wykresu kolorowości /rys. 1/. Na wykresie tym punkty położone na krzywej /posiadającej przybliżony kształt podkowy/ odpowiadają kolorom nasyconym, natomiast punkty leżące wewnątrz figury odpowiadają kolorom o nasyceniu tym mniejszym, im bliżej środka są położone. Zaznaczony na rysunku punkt C oznacza przyjęty w telewizji wzorzec światła białego "C" /kolor nieba północnego/, podano również położenie przyjętych w telewizji wzorców kolorów podstawowych R, G i B.

Należy zaznaczyć, że wykres kolorowości ujmuje jedynie dwie cechy koloru określające jego kolorowość, a więc barwę i nasycenie, natomiast przedstawienie luminancji wymaga utworzenia bryły przestrzennej.

Badania właściwości oka ludzkiego w dostrzeganiu kolorów doprowadziły do stwierdzenia, że wrażenie luminancji, czyli jaskrawości jest zależne od koloru. Ponieważ dowolny kolor można przedstawić jako wypadkową trzech kolorów podstawowych, wypadkowa więc luminancja danego koloru będzie sumą względnych luminancji kolorów składowych. Dla przyjętych w telewizji kolorów podstawowych oraz wzorca C światła białego stwierdzono, że kolor czerwony daje 30%, zielony - 59%, niebieski zaś - 11% odtwarzanej luminancji koloru wypadkowego. Zmieszanie w takim stosunku sygnałów kolorów podstawowych umożliwia prawidłowe odtwarzanie luminancji wszystkich kolorów na obrazie biało-czarnym w takiej gradacji jak to dostrzega oko /podobnie reaguje na światło fotograficzna emulsja ortopanchromatyczna/.

Przyjęto w telewizji kolorowej, że dla bieli w obrazie, sygnały kolorów podstawowych oznaczone odpowiednio E_R , E_G i E_B są równe jedności, a więc:

$$E_R = E_G = E_B = 1$$

Zgodnie z tym, co było powiedziane powyżej, sygnał luminancji oznaczony E_Y wyraża się następującą zależnością:

$$E_Y = 0,3 E_R + 0,59 E_G + 0,11 E_B$$

Pozostałe dwa sygnały uzyskuje się przez odjęcie od sygnału koloru czerwonego E_R oraz koloru niebieskiego E_B

sygnału luminancji E_Y . W ten sposób uzyskuje się dwa sygnały różnicowe chrominancji oznaczone odpowiednio E_{R-Y} oraz E_{B-Y} ; można je wyrazić następująco:

$$\begin{aligned} E_{R-Y} &= E_R - E_Y = E_R - /0,3 E_R + 0,59 E_G + 0,11 E_B/ = \\ &= 0,7 E_R - 0,59 E_G - 0,11 E_B \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{B-Y} &= E_B - E_Y = E_B - /0,3 E_R + 0,59 E_G + 0,11 E_B/ = \\ &= -0,3 E_R - 0,59 E_G + 0,89 E_B \end{aligned}$$

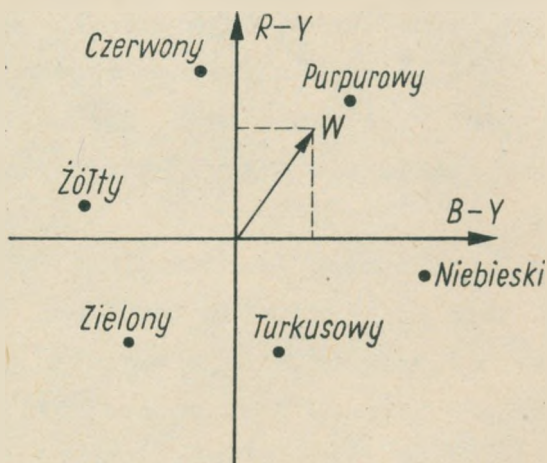
Należy zauważyć, że te dwa sygnały wystarczają w zupełności do przesłania pełnej informacji o wszystkich cechach koloru. Trzeci sygnał różnicowy E_{G-Y} można uzyskać z dwóch poprzednich z zależności:

$$E_{G-Y} = 0,51 E_{R-Y} - 0,19 E_{B-Y}$$

O ile sygnał luminancji należy przesyłać z pełnym pasmem częstotliwości dla zachowania warunku odpowiedności, o tyle sygnały chrominancji można przesyłać z pasmem znacznie ograniczonym /do ok. 1,5 MHz/. Jest to możliwe dzięki właściwości oka ludzkiego, które ma ograniczoną zdolność rozdzielczą w rozróżnieniu drobnych szczegółów kolorowych, o ile różnią się one jedynie barwą lub nasyceniem.

W praktyce korzystne jest przedstawienie obu sygnałów różnicowych chrominancji E_{R-Y} i E_{B-Y} w postaci wykresu

wektorowego w układzie współrzędnych prostokątnych /rys. 2/. Jest to zresztą zgodne z przedstawieniem w takim samym układzie fali podnośnej chrominancji modulowanej



Rys. 2. Osie kolorymetryczne sygnałów chrominancji

kwadraturowo /patrz rozdz. 3.4/. Na wykresie kolor biały /wzorec "C" światła białego/ znajduje się w początku układu współrzędnych, gdyż w tym przypadku obie składowe sygnału chrominancji, zarówno E_{R-Y} jak i E_{B-Y} , stają się równe zero. Wynika to z zależności określających oba te sygnały, a mianowicie:

$$\text{dla koloru białego: } E_R = 1, E_G = 1, E_B = 1$$

$$E_Y = 0,3 \cdot 1 + 0,59 \cdot 1 + 0,11 \cdot 1 = 1$$

$$E_{R-Y} = 1 - 1 = 0$$

$$E_{B-Y} = 1 - 1 = 0$$

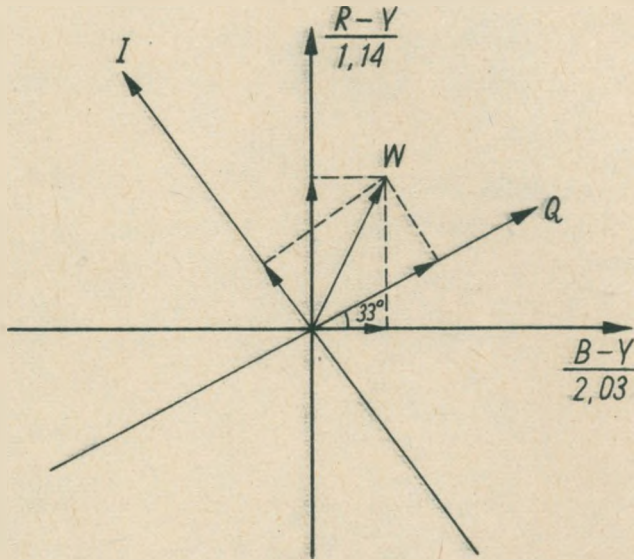
Położenie kolorów podstawowych: czerwonego, zielonego i niebieskiego oraz kolorów dopełniających: turkusowego, purpurowego i żółtego zaznaczono na wykresie.

Kolorem dopełniającym nazywamy w kolorymetrii taki kolor, który dodany do danego daje wypadkowe światło białe, tak więc dla koloru czerwonego dopełniającym jest kolor turkusowy /niebiesko-zielony/, dla zielonego - purpurowy i dla niebieskiego - żółty /patrz wykres kolorowości - rys. 1/.

Ze względów technicznych jest pożądane, aby pasmo częstotliwości jednego z sygnałów chrominancji było znacznie węższe niż pasmo drugiego sygnału. Warunek ten z jednej strony podyktowany jest koniecznością wybrania możliwie najwyższej częstotliwości podnośnej, dzięki czemu staje się ona mniej widoczna na obrazie, z drugiej zaś strony interferencje na obrazie stają się w tym przypadku mniejsze.

Zrozumiałe jest, że oś sygnału chrominancji o wąskim pasmie częstotliwości należałoby umieścić wśród takich kolorów, gdzie oko nie potrafi rozróżnić zmian koloru drobnych szczegółów. Dzięki temu transmitowanie większych częstotliwości reprezentujących drobne szczegóły obrazu wzdłuż tej właśnie osi staje się zbędne. Jak wykazały statystyczne badania dostrzegania kolorów, oko ma najmniejszą zdolność rozdzielczą na osi kolorów zielonego i purpurowego. Dokładne położenie tej osi nie jest zbyt krytyczne. Ustalono, że nowoobrana oś chrominancji, zwana osią Q, ma tworzyć kąt około 33° z dodatnim kierunkiem osi B-Y. Druga oś chrominancji, zwana osią I, jest prostopadła do osi Q.

W stosunku do układu osi R-Y i B-Y nowy układ osi I i Q jest przesunięty o kąt 33° , przy czym początek obu układów znajduje się w tym samym punkcie /rys.3/. Współrzędne dowolnego koloru W można określić znajdując jego



Rys. 3. Zależność między osiami R-Y i B-Y oraz I i Q

rzuty na osie R-Y i B-Y lub też na osie I i Q. W nowym układzie współrzędnych można obliczyć składowe wektora W, znając jego składowe różnicowe, z prostych zależności:

$$E_I = 0,736 E_{R-Y} - 0,268 E_{B-Y}$$

$$E_Q = 0,478 E_{R-Y} + 0,413 E_{B-Y}$$

Stwierdzono doświadczalnie, że w tym przypadku wystarczy przesyłanie sygnału chrominancji I z pasmem czę-

stotliwości ok. 1,5 MHz, sygnału zaś Q z pasmem ok. 0,5 MHz dla uzyskania rozdzielczości obrazu kolorowego porównywalnej z rozdzielczością obrazu monochromatycznego.

Oba sygnały E_{R-Y} i E_{B-Y} względnie E_I i E_Q modułują amplitudowo w układzie kwadraturowym podnośną chrominancji, dzięki czemu wypadkowy sygnał chrominancji zostaje przeniesiony w górną część pasma częstotliwości wizyjnych.

Całkowity sygnał telewizji kolorowej składający się z sygnału luminancji oraz fali podnośnej zmodulowanej kwadraturowo sygnałami chrominancji I i Q można przedstawić następującą zależnością:

$$E_M = E_Y + E_Q \sin / \omega t + 33^\circ / + E_I \cos / \omega t + 33^\circ /$$

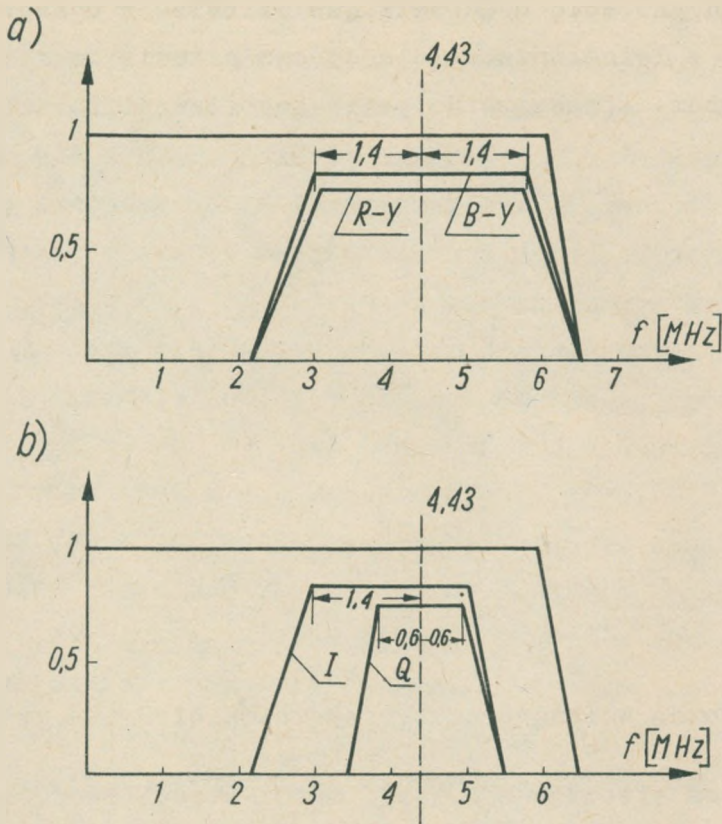
gdzie $\omega = 2 \pi f_p$ jest pulsacją fali podnośnej.

Podobnie można wyrazić wartość całkowitego sygnału E_M opierając się na sygnałach różnicowych:

$$E_M = E_Y + /E_B - E_Y/ \sin \omega t + /E_R - E_Y/ \cos \omega t$$

Charakterystykę częstotliwości całkowitego sygnału wizyjnego przedstawiono na rys. 4 w dwóch przypadkach: przy stosowaniu sygnałów różnicowych chrominancji E_{R-Y} i E_{B-Y} oraz E_I i E_Q .

Jak wynika z powyższych rozważań, nie ma zasadniczej różnicy między obu rodzajami sygnałów chrominancji E_{R-Y} i E_{B-Y} lub E_I i E_Q . Zawsze istnieje możliwość przejścia z jednego rodzaju na drugi i odwrotnie. Różnica powstaje



Rys. 4. Charakterystyka częstotliwości całkowitego sygnału telewizji kolorowej

dopiero podczas procesu modulacji. Przy użyciu sygnałów różnicowych stosuje się z reguły modulację dwuwstęgową, przy czym szerokość pasma częstotliwości każdego sygnału wynosi około 1,5 MHz. Przy częstotliwości fali podnośnej równej 4,43 MHz /rozdz. 3.3./ system modulacji dwuwstęgowej sygnałami różnicowymi można stosować jedynie w standardzie OIRT o szerszym pasmie sygnału wizyjnego równym 6 MHz. Natomiast, w standardzie zachodnio-euro-

pejskim, gdzie pasmo częstotliwości wizyjnych wynosi ok. 5 MHz, zachowując tę samą częstotliwość fali podnośnej można stosować wyłącznie sygnały chrominancji E_I i E_Q , przy czym sygnałem E_Q o wąskim pasmie moduluje się podnośną dwuwstęgowo, natomiast sygnał E_I ma zawężoną górną wstęgę boczną, a jedynie dolna wstęga boczna o szerokości 1,5 MHz jest przenoszona w całości.

Fizyczny sens takiego systemu transmisji sygnału obrazu kolorowego polega na tym, że w zakresie mniejszych częstotliwości do 0,5 MHz nadawana jest całkowita informacja o obrazie kolorowym, umożliwiającą prawidłowe odtwarzanie wszystkich trzech kolorów podstawowych, w zakresie częstotliwości średnich od 0,5 do 1,5 MHz obraz może być odtworzony dwukolorowo, powyżej zaś tej granicy przekazuje się jedynie zmiany luminancji drobnych szczegółów obrazu. Metoda ta uwzględniająca właściwości słabego rozróżniania szczegółów kolorowych, a reagowania tylko na zmiany luminancji drobnych elementów obrazu pozwala na prawidłowe odtworzenie obrazu kolorowego tak, jak oko dostrzega oryginalny obraz.

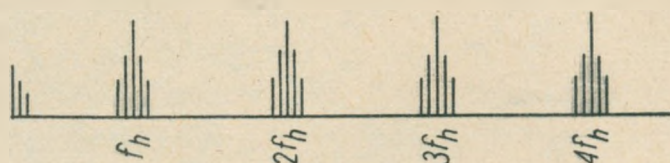
3.3. Przeplatanie widm częstotliwości.

Wybór częstotliwości podnośnej

Przeplatanie dwóch niezależnych sygnałów we wspólnym pasmie częstotliwości bez występowania znacznych interferencji jest możliwe dzięki zastosowaniu tzw. przeplatania widm częstotliwości. Możliwość ta wynika z natury sygnału telewizyjnego, który powstaje w wyniku analizy

obrazu. Ze względu na sposób wybierania obrazu w widmie sygnału telewizyjnego występują jedynie harmoniczne dwóch podstawowych częstotliwości analizy, a mianowicie częstotliwości odchylenia poziomego i częstotliwości odchylenia pionowego. Wokół poszczególnych harmonicznych częstotliwości linii f_h , podobnie jak częstotliwości wstęp bocznych wokół częstotliwości nośnej, są zgrupowane harmoniczne częstotliwości obrazu lub półobrazu, o stosunkowo szybko zmniejszającej się amplitudzie /rys.5/.

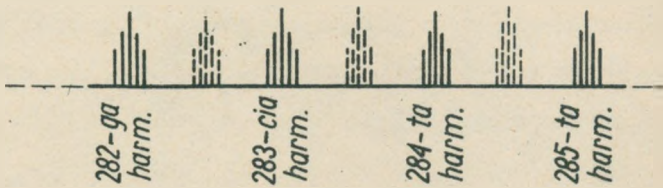
Jak z tego wynika, przy stałych częstotliwościach odchylenia poziomego i pionowego energia przesyłanego sy-



Rys. 5. Widmo sygnału obrazu monochromatycznego

gnału telewizyjnego grupuje się w pewnych stałych miejscach na osi częstotliwości. Miejsca nie zawierające energii odpowiadającej transmitowanemu obrazowi mają więc także określone położenie na osi częstotliwości. Nie zajęte miejsca widma można więc wykorzystać do umieszczenia dodatkowej informacji, bez istotnych zniekształceń sygnału podstawowego. Ta dodatkowa informacja, którą w omawianym przypadku jest sygnał chrominancji, nie będzie zakłócała sygnału podstawowego, którym jest sygnał luminancji, jeżeli częstotliwości widma sygnału dodatkowego będą rozmieszczone między częstotliwościami

widma sygnału podstawowego. Warunek ten będzie spełniony, jeżeli nośna sygnału chrominancji będzie nieparzystą wielokrotnością połowy częstotliwości linii /rys.6/.



Rys. 6. Widmo sygnału obrazu kolorowego

Obecność podnośnej kolorowości w pasmie sygnału luminancji będzie zauważalna na ekranie lampy w postaci drobno strukturalnego tła punktowego. Ponieważ wszystkie składowe widma są nieparzystymi harmonicznymi połowy częstotliwości odchylenia pionowego, to faza ich zmienia się co pół obrazu. Punkty obrazu powstające na skutek tych zakłóceń w jednym półobrazie są bardziej jasne, a w następnym bardziej ciemne. Uśredniające właściwości oka osłabiają wrażenie tych zakłóceń. Ponadto dzięki temu, że częstotliwość podnośnej jest nieparzystą wielokrotnością połowy częstotliwości linii, jej faza zmienia się co linię, co również dodatkowo zmniejsza wrażenie zakłócające.

Ustalenie najwłaściwszej wartości częstotliwości fali podnośnej ma zasadnicze znaczenie dla jakości odtwarzanego obrazu zarówno kolorowego jak i monochromatycznego.

Im częstotliwość fali podnośnej jest większa, tym jej widoczność na obrazie czarno-białym zmniejsza się, dając

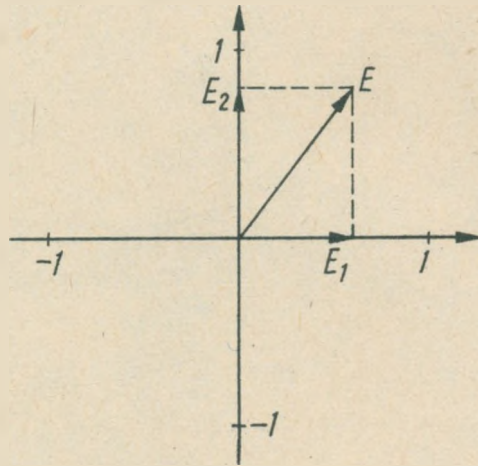
na obrazie efekt coraz drobniejszej struktury kropkowej. Z drugiej strony, częstotliwość ta nie może być zbyt wysoka, tzn. położona zbyt blisko górnej granicy częstotliwości wizyjnych, gdyż wówczas nie byłoby możliwości umieszczenia górnych wstęp boocznych modulacji sygnałów chrominancji wewnątrz pasma wizyjnego. Na podstawie licznych badań stwierdzono, że dla standardu 625-liniowego najkorzystniejsza jest częstotliwość fali podnośnej wynosząca 4,43 MHz /dokładnie 4,4296875 MHz, co stanowi 567 harmoniczną połowy częstotliwości linii/.

Sygnał o częstotliwości 4,4296875 MHz jest wytwarzany przez generator kwarcowy starannie stabilizowany. Następnie obniża się częstotliwość tego sygnału w układach dzielników częstotliwości tak, aby uzyskać sygnał o częstotliwości 31250 Hz, którym steruje się typowy generator synchronizujący o parametrach identycznych jak w telewizji biało-czarnej. W ten sposób uzyskuje się ścisłe związanie częstotliwości fali podnośnej i częstotliwości linii. Oczywiście, przy takim rozwiązaniu generator synchronizujący nie może być synchronizowany z częstotliwością sieci.

3.4. Modulacja kwadraturowa

Istota modulacji kwadraturowej polega na tym, że dwa niezależne sygnały moduluja tę samą falę nośną w układzie modulacji amplitudowej. Faza fali nośnej w jednym z modulatorów jest przesunięta o 90° względem fazy fali nośnej w drugim modulatorze. Sygnały wyjściowe obu modu-

latorów dodaje się, otrzymując w rezultacie sygnał fali nośnej zmodulowanej amplitudowo i fazowo. Przy modulacji kwadraturowej stosuje się tzw. układy modulacji bez fali nośnej, charakteryzujące się tym, że gdy sygnał modulujący jest równy zero, to sygnał wyjściowy także jest równy zero. Widmo częstotliwości tego sygnału nie zawiera składowej o częstotliwości fali nośnej, a jedynie wstęgi boczne modulacji.

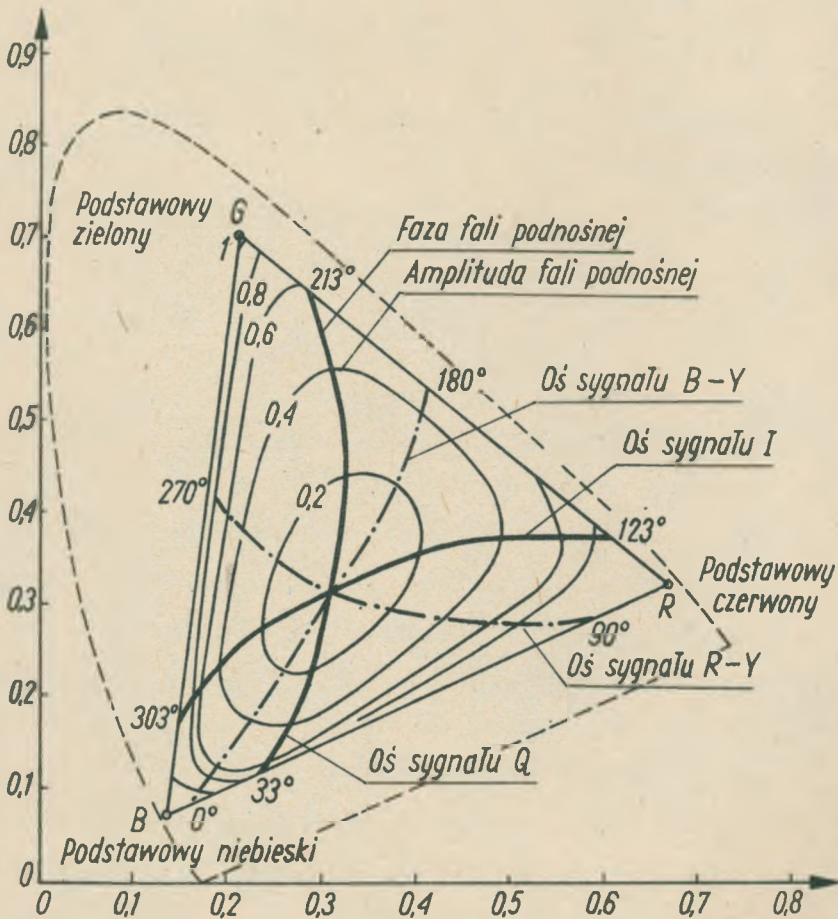


Rys. 7. Wykres wektorowy modulacji kwadraturowej

Zastosowanie układu modulacji bez fali nośnej jest w systemie NTSC bardzo korzystne, gdyż przyczynia się do zmniejszenia widoczności podnośnej chrominancji na kolorach słabo nasyconych /a także w większości występują w rzeczywistych obrazach kolorowych/ i do całkowitego jej zaniku na elementach białych.

Fizyczny sens modulacji amplitudy i fazy można łatwo wyjaśnić na podstawie wykresu wektorowego. Sygnały wyj-

ściowe z obu modulatorów można przedstawić w postaci dwóch wektorów nawzajem przesuniętych w fazie o 90° /rys.7/. Wielkości tych wektorów są proporcjonalne do sygnałów modulujących E_1 i E_2 . Z rysunku jasno wynika, że wektor wypadkowy posiada długość, która jest sumą geometryczną długości wektorów składowych, kąt zaś, jaki two-



Rys. 8. Położenie osi modulacji kwadraturowej na wykresie kolorowości

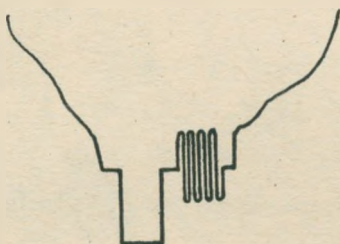
rzy z początkiem układu, zależny jest od stosunku wielkości obu wektorów składowych. Ponieważ chwilowe wartości napięć modulujących mogą się zmieniać w granicach od -1 do $+1$, wynika stąd, że wielkość wektora wypadkowego będzie się zmieniała od zera do $\sqrt{2}$, kąt zaś w granicach od 0° do 360° .

W odniesieniu do systemu NTSC telewizji kolorowej wektor zmodulowanej fali podnośnej przedstawia sygnał chrominancji, przy czym zmiany jego wielkości /modulacja amplitudy/ reprezentują zmiany nasycenia, zmiany zaś kąta położenia /modulacja fazy/ odpowiadają zmianom fazy, jak to uwidoczniło na rys. 8 podającym wykres kolorowości z naniesionymi osiami modulacji kwadraturowej I i Q oraz R-Y i B-Y.

3.5. Sygnał synchronizacji koloru

Prawidłowe odtwarzanie zarówno amplitudy jak i fazy wektora chrominancji po stronie odbiorczej jest warunkiem uzyskania nie zniekształconych barw i nasycenia. Dla spełnienia tego warunku należy rozporządzać po stronie odbiorczej sygnałem o częstotliwości fali podnośnej i określonej fazie zwanej fazą odniesienia. Ponieważ przy modulacji kwadraturowej fala nośna nie jest przesyłana, należy więc ją odtwarzać po stronie odbiorczej. W tym celu przesyła się tzw. impulsy synchronizacji koloru, które właściwie stanowią wiązki niemodulowanej fali podnośnej, składające się z 8 - 10 okresów fali; umieszcza się je na tylnym progu impulsu gaszącego linii /rys. 9/. Faza

tego sygnału wynosi 180° /za fazę 0° przyjęto dodatni kierunek osi B-Y - patrz rys. 2/, ponieważ wówczas daje on najmniejsze zakłócenia na obrazie.



Rys. 9. Sygnał synchronizacji koloru

Po stronie odbiorczej pracuje lokalny generator fali podnośnej /najczęściej kwarcowy/ synchronizowany i synfazowany impulsami synchronizacji koloru, wydzielanymi z odbieranego całkowitego sygnału.

3.6. Opis urządzenia kodującego

Urządzeniem kodującym w jednoczesnym systemie telewizji kolorowej nazywamy urządzenie służące do wytwarzania całkowitego sygnału obrazu kolorowego z sygnałów kolorów podstawowych.

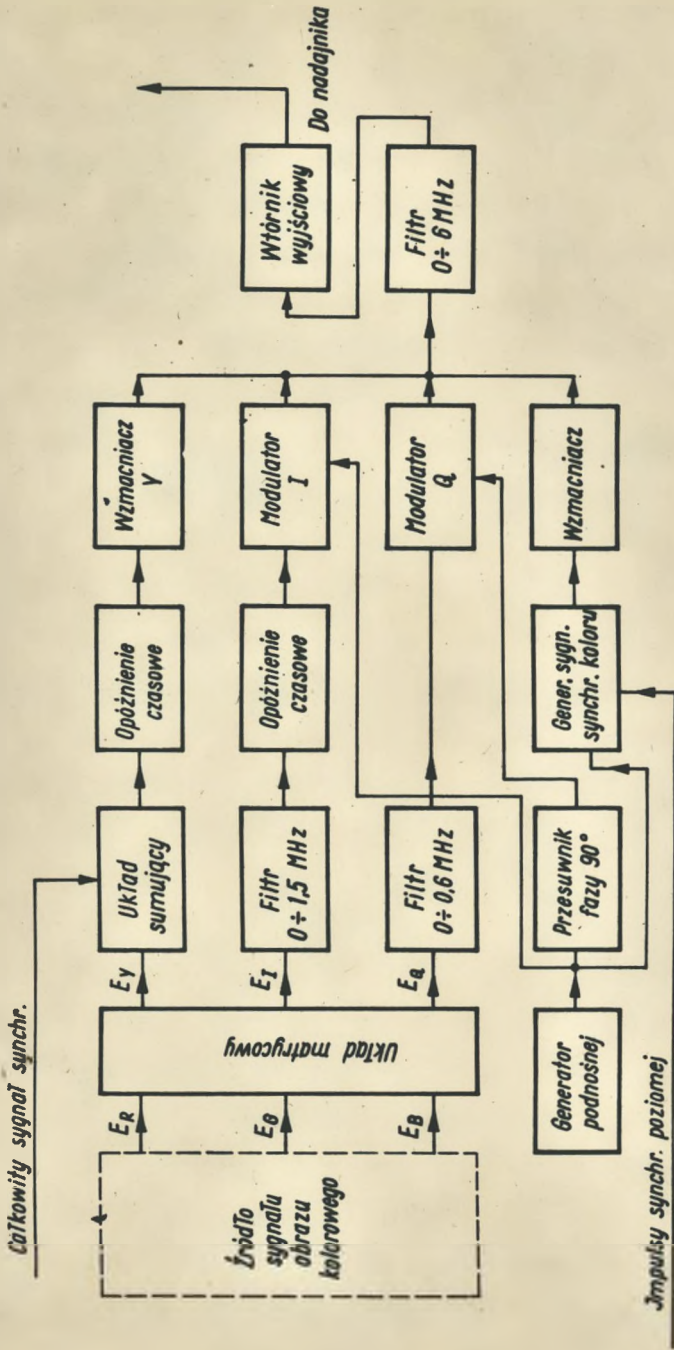
Ważniejsze funkcje spełniane przez urządzenie kodujące są następujące:

- 1/ przekształcić sygnały wizyjne E_R , E_G i E_B na sygnał luminancji E_Y oraz dwa sygnały chrominancji E_I i E_Q lub E_{R-Y} i E_{B-Y} ;

- 2/ ograniczyć szerokość pasma sygnałów chrominancji;
- 3/ wprowadzić opóźnienie czasowe do toru sygnałów szerokopasmowych w celu wyrównania opóźnienia względem sygnału o węższym pasmie;
- 4/ rozszczepić falę podnośną chrominancji na dwie składowe nawzajem przesunięte o 90° i zmodulować je sygnałami chrominancji E_I i E_Q lub E_{R-Y} i E_{B-Y} ;
- 5/ zsumować dwa sygnały zmodulowane amplitudowo w celu uzyskania wypadkowego sygnału zmodulowanej fali nośnej chrominancji;
- 6/ wytworzyć impulsy synchronizacji koloru;
- 7/ zsumować sygnał luminancji, całkowity sygnał synchronizacji, zmodulowany sygnał fali podnośnej chrominancji oraz impulsy synchronizacji koloru, w wyniku czego otrzymuje się całkowity sygnał wizyjny telewizji kolorowej.

Narysunku 10 podano typowy schemat blokowy kodera. Źródłem sygnałów wizyjnych obrazu kolorowego jest np. kamera wyposażona w trzy lampy analizujące, które dostarczają na wyjściu trzy sygnały wizyjne E_R , E_G , E_B odpowiadające kolorom podstawowym.

W układzie matrycowym następuje zmieszanie składowych sygnałów wizyjnych w odpowiednim stosunku, spełniającym równania kolorymetryczne. Na wyjściu układu matrycowego uzyskuje się sygnał luminancji E_Y , który zawiera informację o luminancji oraz składowe sygnały chrominancji E_I i E_Q lub E_{R-Y} i E_{B-Y} , zawierające informacje o barwie i nasyceniu.



Rys. 10. Schemat blokowy urządzenia kodującego w systemie NTSC

Sygnal luminancji z wyjścia układu matrycowego zostaje skierowany do układu sumującego, gdzie dodaje się do niego sygnał synchronizacji, a następnie - całkowity sygnał zostaje opóźniony dla skompensowania opóźnienia sygnału chrominancji w filtrze ograniczającym pasmo częstotliwości. Opóźniony sygnał luminancji doprowadza się na siatkę układu sumującego, na wyjściu którego otrzymuje się całkowity sygnał obrazu kolorowego.

Każda ze składowych sygnału chrominancji E_I i E_Q lub E_{R-Y} i E_{B-Y} , czerpana z układu matrycowego, przechodzi przez odpowiedni filtr, gdzie następuje ograniczenie szerokości pasma częstotliwości /np. sygnału E_Q do 0,6 MHz, a sygnału E_I do 1,5 MHz/.

Następnie składowe sygnały chrominancji doprowadza się do modulatorów, gdzie następuje modulacja podnośnej chrominancji. Proces modulacji realizuje się w układach zrównoważonych, które na wyjściu układu dostarczają tylko wstęgi boczne bez fali nośnej. Faza fali podnośnej doprowadzanej do obu modulatorów jest względem siebie przesunięta o 90° , dzięki czemu uzyskuje się modulację kwadraturową.

Podnośna chrominancji, zmodulowana sygnałami E_I i E_Q lub E_{R-Y} i E_{B-Y} , zostaje doprowadzona do układu sumującego, gdzie następuje dodanie sygnału luminancji i sygnału synchronizacji koloru uzyskiwanego w specjalnym układzie bramkującym.

Tak ukształtowany sygnał jest całkowitym sygnałem obrazu kolorowego, który po przejściu przez filtr dolnoprzepustowy, ograniczający pasmo częstotliwości zgod-

nie z normami systemu, doprowadza się do stopni wyjściowych urządzenia.

3.7. Zasada działania urządzenia odbiorczego

Z zasady odpowiedniości wynika pewna analogia między układami odbiorników telewizji monochromatycznej i kolorowej. Odbiornik telewizji kolorowej zawiera szereg układów, które spełniają taką samą rolę jak w odbiorniku monochromatycznym oraz dodatkowo układy charakterystyczne tylko dla odbiornika telewizji kolorowej, służące do wydzielenia sygnału luminancji i sygnałów chrominancji z całkowitego sygnału obrazu kolorowego.

Schemat blokowy typowego urządzenia odbiorczego podano na rys. 11.

Wzmacniacz wielkiej częstotliwości, heterodyna, wzmacniacz pośredniej częstotliwości oraz detektor sygnału wizyjnego są typowymi układami stosowanymi w odbiornikach telewizji monochromatycznej.

Całkowity sygnał telewizji kolorowej, po przejściu przez wzmacniacz szerokopasmowy doprowadza się do wzmacniacza sygnału luminancji E_Y i następnie poprzez linię opóźniającą do układu matrycowego.

Sygnał wizyjny z wyjścia szerokopasmowego wzmacniacza doprowadza się do stopnia bramkującego, wydzielającego sygnał synchronizacji koloru. Do stopnia tego doprowadza się również impulsy bramkujące, pobierane z układu odchylenia poziomego. Wydzielony sygnał synchronizacji koloru wykorzystuje się do utrzymywania właściwej

częstotliwości i fazy sygnału lokalnego generatora fali podnośnej, co jest niezbędne do prawidłowego działania detektorów synchronicznych.

Sygnał z lokalnego generatora fali podnośnej doprowadza się z odpowiednią fazą do detektorów synchronicznych, do których doprowadza się także sygnał chrominancji wydzielony z całkowitego sygnału obrazu kolorowego, za pomocą wzmacniacza pasmowego. Uzyskane na wyjściu detektorów synchronicznych składowe sygnały chrominancji doprowadza się do układu matrycowego, który wykonuje działania algebraiczne niezbędne do uzyskania trzech sygnałów, odpowiadających kolorom podstawowym E_R, E_G, E_B .

Generator odchylenia poziomego, zasilacz wysokiego napięcia, generator odchylenia pionowego oraz tor fogli są zasadniczo analogiczne do układów stosowanych w odbiornikach telewizji monochromatycznej.

W celu zapewnienia właściwych warunków odchylenia wszystkich trzech strumieni elektronowych w kineskopie kolorowym stosuje się układy dynamicznej korekcji położenia sterowane za pomocą odpowiednio ukształtowanych napięć odchylenia poziomego i pionowego; jest to tzw. układ konwergencji.

W porównaniu z odbiornikami telewizji monochromatycznej, odbiornikom telewizji kolorowej stawia się bardziej ostre wymagania w stosunku do charakterystyk stopni wielkiej i pośredniej częstotliwości oraz wzmacniacza pasmowego. Szczególnie ostre wymagania stawia się wzmacniaczowi pasmowemu, którego charakterystyka fazowa w znacznym stopniu wpływa na "prześwity" wywołane prze-

nikaniem sygnałów chrominancji z jednego toru do drugiego, co wpływa na czystość kolorów.

4. SYSTEM TELEWIZJI KOLOROWEJ SECAM

4.1. Podstawowe cechy systemu

Występujące w systemie NTSC trudności związane z przesyłaniem sygnałów chrominancji za pomocą modulacji kwadraturowej fali podnośnej i wypływająca stąd wrażliwość systemu na zniekształcenia fazowe i nieliniowość wzmocnienia oraz krytyczne warunki pracy odbiornika, szczególnie przy detekcji synchronicznej, skłoniły fachowców francuskich do poszukiwania prostszej metody kodowania sygnałów obrazu kolorowego.

Zasada tworzenia całkowitego sygnału obrazu kolorowego jest w systemie SECAM następująca:

Sygnał luminancji E_Y utworzony w taki sam sposób, jak w systemie NTSC przesyła się z pełnym pasmem częstotliwości. Do sygnału tego dodaje się falę podnośną modulowaną częstotliwościowo w okresie jednej linii sygnałem różnicowym E_{R-Y} , w okresie zaś następnej linii sygnałem E_{B-Y} .

W odbiorniku należy sygnał luminancji wzmocnić w sposób analogiczny, jak to się czyni w odbiornikach systemu NTSC. Natomiast sygnał fali podnośnej po wydzieleniu go z całkowitego sygnału, wzmocnieniu i ograniczeniu amplitudy, podlega detekcji w konwencjonalnych układach detektorów sygnału modulowanego częstotliwościowo. Na wyjściu detektora uzyskuje się więc sygnały chrominancji

E_{R-Y} lub E_{B-Y} , przy czym zamiana ich zachodzi z częstotliwością linii. Aby umożliwić jednoczesny odbiór obu tych sygnałów, należy zastosować specjalną linię opóźniającą, której czas opóźnienia jest równy okresowi trwania jednej linii /ok. 64 μ sek/. Dzięki temu sygnał nadawany w okresie poprzedniej linii, który przechodzi przez linię opóźniającą, będzie występował jednocześnie z sygnałem, który jest pobierany bezpośrednio z detektora. Aby utrzymać ciągłość występowania obu sygnałów chrominancji, należy po zakończeniu każdej linii zamieniać za pomocą specjalnego przełącznika elektronowego nawzajem tory, przez które te sygnały przechodzą, przy czym jeden z nich jest bezpośredni, drugi zaś z opóźnieniem 64 μ sek.

Aby wytłumaczyć to jaśniej, załóżmy, że w okresie danej linii przesyłany jest sygnał E_{R-Y} , który uzyskuje się na wyjściu detektora. Jednocześnie na wyjściu linii opóźniającej występuje sygnał E_{B-Y} , który był przesyłany w okresie poprzedniej linii. W ciągu następnej linii przesyłany jest sygnał E_{B-Y} i pobierany bezpośrednio z detektora, z linii zaś opóźniającej pobiera się sygnał E_{R-Y} przesłany w okresie poprzedniej linii. Jednakże należy zauważyć, że każdy z sygnałów chrominancji jest wykorzystywany dwukrotnie w okresie dwóch kolejnych linii: raz drogą bezpośrednią w okresie jego przesyłania w całkowitym sygnale wizyjnym, a w okresie następnej linii drogą opóźnioną. Powoduje to dwukrotne zmniejszenie rozdzielczości w kierunku pionowym, co jednakże nie jest cechą ujemną, gdyż przecież w kierunku

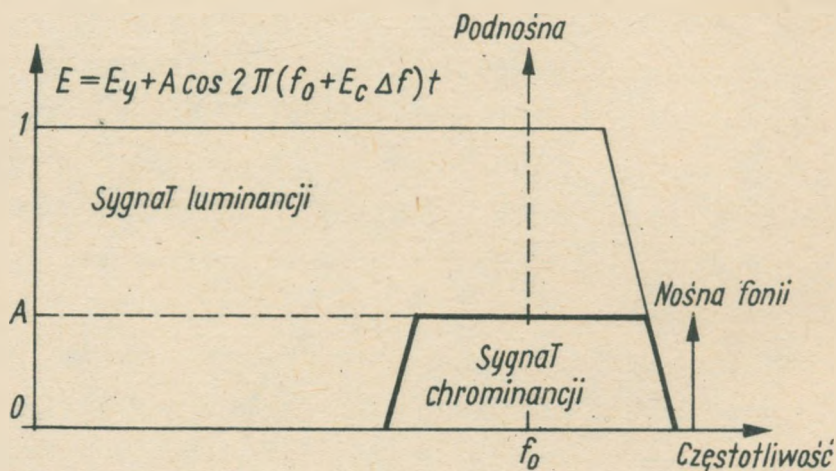
poziomym rozdzielczość jest również zmniejszana przez ograniczenie pasma częstotliwości sygnałów chrominancji.

Jak wynika z opisu, zasady systemu SECAM, jest to system kolejny, jeżeli chodzi o nadawanie sygnałów chrominancji, natomiast jest przekształcany na system jednoczesny za pomocą linii opóźniającej i przełącznika elektronowego w odbiorniku.

4.2. Opis metody kodowania

Rysunek 12 przedstawia pasmo częstotliwości sygnału nadawanego. Amplituda sygnału reprezentuje luminancję w każdym punkcie obrazu, natomiast chwilowa częstotliwość fali podnośnej reprezentuje kolor zgodnie z zależnością:

$$E = E_y + A \cos 2\pi (f_0 + E_c \Delta f) t$$



Rys. 12. Pasmo częstotliwości sygnału nadawanego w systemie SECAM

gdzie napięcia E , E_Y i E_C przedstawiają wartości względne w stosunku do napięcia, które odpowiada maksymalnej bieli.

E - napięcie chwilowe sygnału całkowitego,

E_Y - napięcie sygnału luminancji,

E_C - napięcie sygnału chrominancji.

E_Y i E_C otrzymuje się z trzech sygnałów podstawowych E_R , E_G i E_B uzyskiwanych drogą analizy obrazu przy użyciu filtrów odpowiednio czerwonego, zielonego i niebieskiego.

E_Y jest liniową kombinacją tych sygnałów zgodnie ze względną czułością oka na kolory podstawowe:

$$E_Y = 0,30 E_R + 0,59 E_G + 0,11 E_B$$

E_C przybiera na zmianę wartość:

$$E_{R-Y} = 1,43 / E_{R-Y} /$$

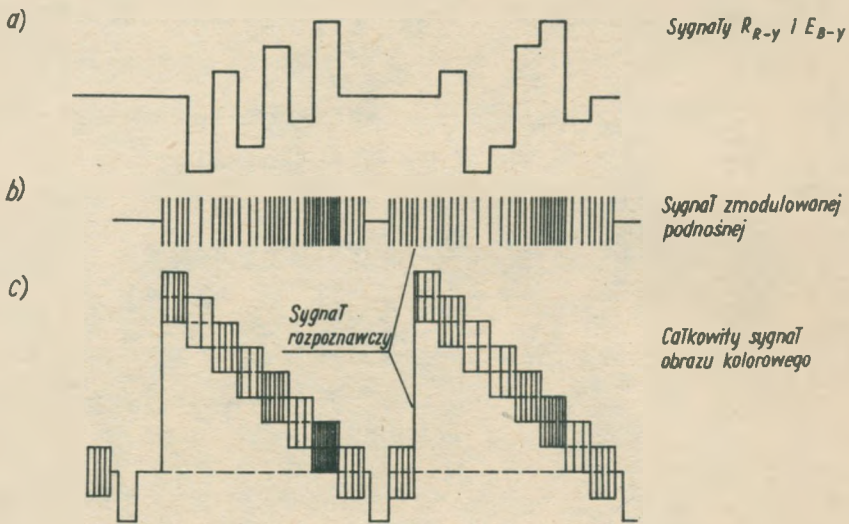
lub

$$E_{B-Y} = 1,12 / E_{B-Y} /$$

Sygnały te moduluja częstotliwość fali podnośnej o wartości środkowej f_0 i stałej amplitudzie A z dewiacją Δf . Najodpowiedniejsze warunki z punktu widzenia odporności na zakłócenia uzyskano przy $A = 0,16$ i $\Delta f = 700$ kHz dla kolorów nasyconych.

Rysunek 13 przedstawia: a/- sygnał chrominancji E_C w okresie dwóch kolejnych linii oraz b/ - modulację $e_c = A \cos 2 \pi / f_0 + E_C \Delta f / t$ podnośnej tym sygnałem w przy-

padku transmisji obrazu pasów kolorowych dających kolejność kolorów czystych: biały, żółty, turkusowy, zielony, purpurowy, czerwony, niebieski. /Biel jest kompozycją



Rys. 13. Kształty sygnałów luminancji i chrominancji

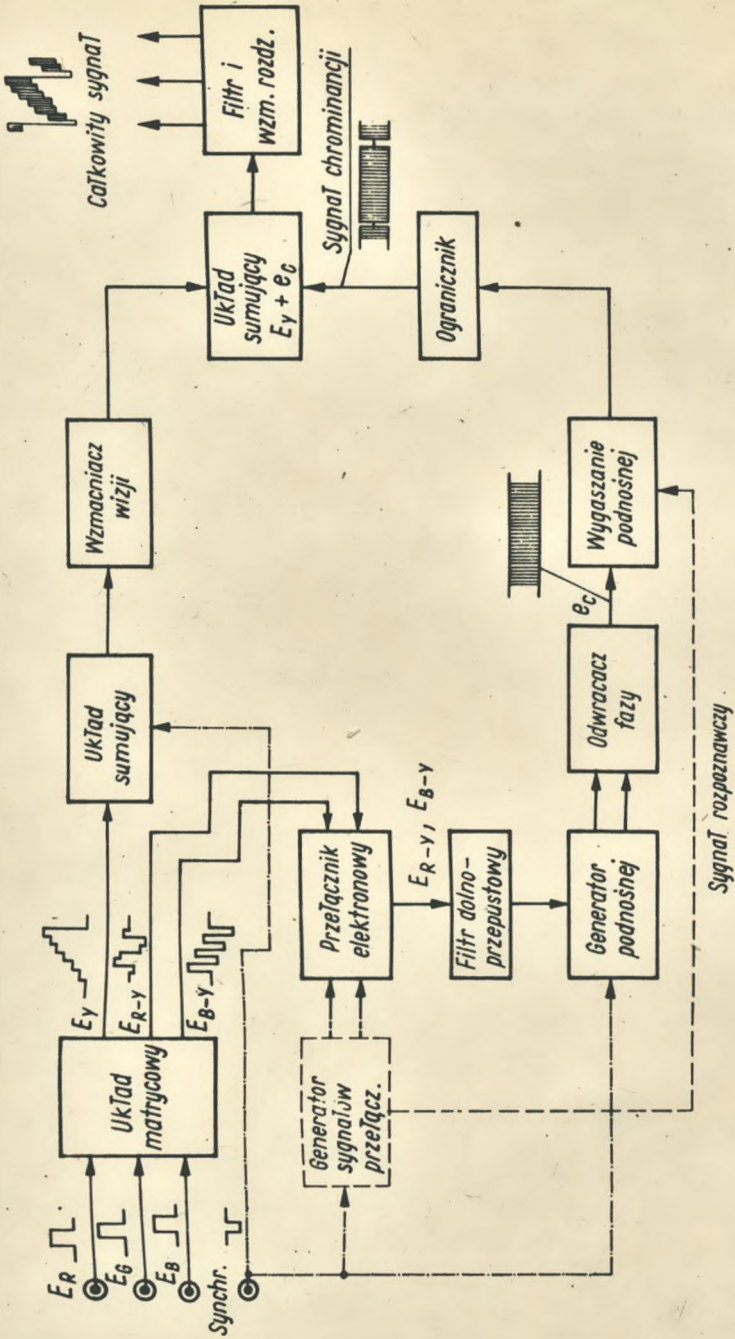
trzech kolorów podstawowych: czerwonego, zielonego i niebieskiego; żółty, turkusowy i purpurowy powstają odpowiednio z kombinacji: czerwony + zielony, niebieski + + zielony oraz czerwony + niebieski/. Należy zauważyć na rys. 13b, że podnośna jest wytkumiona w okresie impulsu gaszącego linii, lecz przed linią modulowaną sy-

gnącem E_{R-Y} występuje ciąg fali o częstotliwości środkowej f_0 , służący do identyfikowania kolejności w odbiorniku.

Rysunek 13c pokazuje sygnał całkowity uzyskany przez złożenie sygnału chrominancji e_c i sygnału luminancji E_Y /kolejność pasów kolorowych wybrana została w taki sposób, aby uzyskać luminancję zmniejszającą się od lewej ku prawej/. Pokazany jest również sygnał rozpoznawczy dla identyfikacji linii E_{R-Y} i E_{B-Y} występujący na tylnym progu jednego z impulsów gaszących za impulsem synchronizacji linii.

4.3. Opis urządzenia kodującego

Urządzenie to pokazane w schemacie blokowym na rys.14 umożliwia uzyskanie sygnału całkowitego E z sygnałów E_R , E_G i E_B otrzymywanych z analizatora obrazu kolorowego. Sygnały te są przyłożone do układu matrycowego, który je przekształca na trzy sygnały E_Y , E_{R-Y} i E_{B-Y} . Te dwa ostatnie sygnały przykładają się do komutatora elektronicznego sterowanego impulsami o częstotliwości linii, a następnie ogranicza się ich pasmo za pomocą filtra dolno-przepustowego. Otrzymany w ten sposób kolejny sygnał wąskopasmowy e_c moduluje częstotliwościowo generator fali podnośnej. Generator ten jest synchronizowany impulsami o częstotliwości linii, a faza fali podnośnej jest okresowo odwracana o 180° w celu uzyskania mało dostrzegalnej struktury ziarnistej obrazu. Następnie sygnał modulowany częstotliwościowo e_c jest wycinany w okresach impulsów gaszących linii, przy czym różnica szerokości



Rys. 14. Schemat blokowy urządzenia kodującego w systemie SECAM

między okresami wycinania daje sygnał rozpoznawczy kolejności /odpowiadający sygnałowi synchronizacji koloru w systemie NTSC/.

Sygnał e_c po przejściu przez ogranicznik amplitudy jest nałożony na sygnał E_Y normalnie wzmacniany i całkowity sygnał po ograniczeniu pasma częstotliwości jest rozprowadzany do urządzeń nadawczych i kontrolnych.

4.4. Opis dekodera

Zadaniem urządzenia dekodującego jest odbiór całkowitego sygnału wizyjnego i dostarczenie na wyjściu sygnałów niezbędnych do odtworzenia trzech składowych podstawowych: czerwonej, zielonej i niebieskiej. Odtwarzanie to wymaga następujących czynności:

1/ separacja modulowanej podnośnej e_c za pomocą wąskostęgowych obwodów selektywnych ± 1 MHz/;

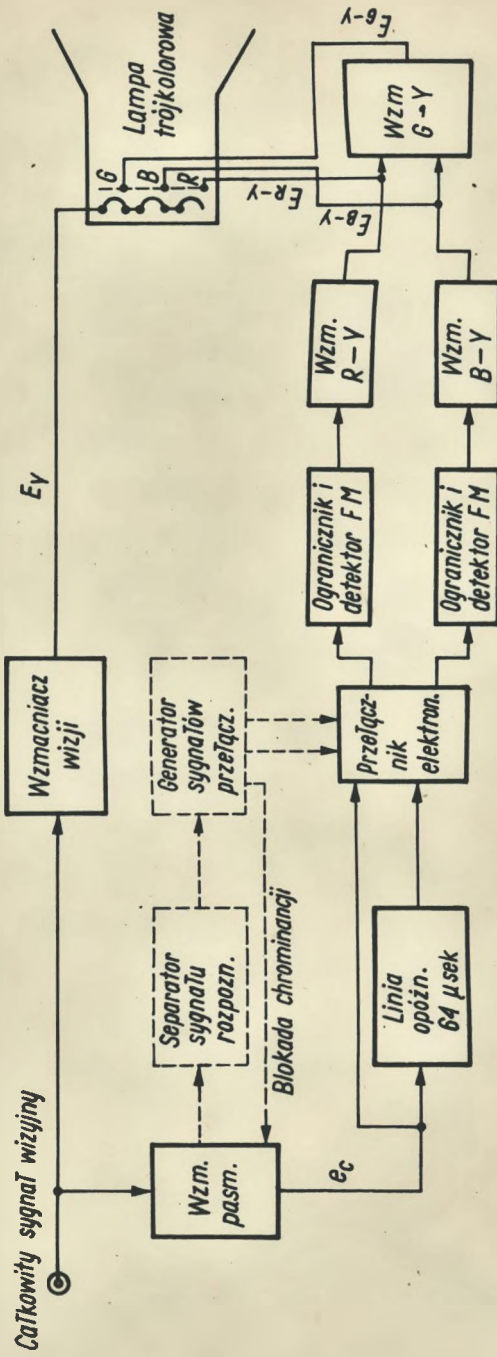
2/ opóźnienie sygnału chrominancji o okres trwania jednej analizy i kierowanie jej do demodulatorów dostarczających jednoczesnych sygnałów E_{R-Y} i E_{B-Y} ;

3/ wzmocnienie szerokopasmowe sygnału całkowitego i kombinacja liniowa tego sygnału z napięciami zdemodulowanymi E_{R-Y} i E_{B-Y} dla wytworzenia trzech informacji podstawowych E_R , E_G i E_B .

Ponieważ pasma E_{R-Y} i E_{B-Y} zawierają jedynie częstotliwości poniżej 1 MHz, drobne szczegóły obrazu w kierunku poziomym odtwarzanych sygnałów E_R , E_G i E_B są dostarczane przez sygnał szerokopasmowy E_Y . Przybliżenie

to /zasada "zmieszanych wysokich" stosowana zresztą również w systemie NTSC/ jest zgodne z właściwościami psychofizjologicznymi oka, które traci zdolność rozróżniania barw drobnych szczegółów. Ta sama właściwość jest wykorzystywana również w kierunku pionowym, gdzie zabarwienie jest częściowo rozciągnięte na odpowiednie punkty dwóch kolejnych linii /przez działanie układu opóźniającego/ przy czym definicja pionowa sygnału luminancji pozostaje niezmienną.

Rysunek 15 przedstawia przykład urządzenia dekodującego przeznaczonego do zasilania kineskopu kolorowego. Sygnał całkowity steruje z jednej strony wzmacniacz szerokopasmowy dostarczający sygnał luminancji do wszystkich trzech katod kineskopu, a z drugiej strony - wzmacniacz wąskopasmowy / ± 1 MHz/. Sygnał modulowany częstotliwościowo e_c wydzielony przez ten wzmacniacz jest kierowany jednocześnie drogą bezpośrednią oraz drogą z opóźnieniem do dwóch wejść komutatora elektronowego. Opóźnienie 64 μ sek /okres trwania jednej linii analizy/ jest obecnie uzyskiwane za pomocą linii ponaddzwiękowej /kwarcowej lub szklanej/. Można jednak stosować inne systemy opóźniające. Komutator elektronowy może być w najprostszej formie utworzony z czterech diod w układzie mostkowym. Na wyjściu komutatora pojawia się w jednym torze modulacji sygnał E_{R-Y} powtarzający się przez dwie linie, w drugim zaś torze sygnał E_{B-Y} podobnie powtarzany. Po ograniczeniu i demodulacji odtworzone sygnały chrominancji E_{R-Y} i E_{B-Y} są mieszane dla wytworzenia sygnału $E_{G-Y} = E_G - E_Y$ i te trzy sygnały E_{R-Y} , E_{B-Y} i E_{G-Y} są przykładane do sia-



Rys. 15. Schemat blokowy dekodera w systemie SECAM

tek sterujących kineskopu trójkolorowego, którego katody są sterowane sygnałem E_V . Prądy strumieni elektronów trzech wyrzutni są w rezultacie modulowane przez E_R , E_G i E_B i rozświetlają odpowiednio luminofony czerwony, zielony i niebieski z luminancją odpowiadającą tym trzem informacjom.

Dekoder zawiera również tor pomocniczy /oznaczony na rysunku linią kreskowaną/ przeznaczony do uruchamiania komutatora elektronowego chrominancji synchronicznie z kolejnością ustaloną po stronie nadawczej. Proces ten przypomina synchronizację koloru w systemie NTSC. Jednakże stosuje się tu znacznie prostsze i łatwiejsze do regulacji obwody, ponieważ tor separacji sygnału rozpoznawczego w systemie SECAM ma jedynie za zadanie wykryć obecność lub brak tego sygnału, nie musi jednak rozróżniać jego fazy. Wynika stąd, że zakłócenia, które wpływają na sygnał rozpoznawczy nie mogą wywołać żadnych zmian koloru, dopóki ich amplituda nie osiągnie takiej wartości, że sygnał ten stanie się nie do wykrycia. Sygnał rozpoznawczy występujący na tylnym progu impulsu gaszącego przed liniami R-Y /patrz rys. 13/ jest separowany z sygnału chrominancji e_c , za pomocą układu bramkowego sterowanego impulsami synchronizacji linii /które mogą być np. czerpane z transformatora odchylenia poziomego/. Wyseparowany w ten sposób sygnał rozpoznawczy wyzwala generator relaksacyjny, którego sygnał uruchamia komutator, otwierając na przemian każdą z dróg demodulacji z wyjściami toru bezpośredniego i opóźnionego. Ciągły brak sygnału rozpoznawczego charakteryzuje

emisję biało-czarną i powoduje zatrzymanie relaksatora. Średnią wartość napięcia można pobierać z jednej z elektrod tego generatora dla zablokowania toru chrominancji i wykluczenia zabarwienia przy transmisji obrazu monochromatycznego lub przy braku fali podnośnej. W ten prosty sposób zapewniono "odpowiedniość odwrotną", tzn. odbiór obrazu monochromatycznego na odbiorniku telewizji kolorowej.

4.5. Ogólna koncepcja odbiornika

Odbiornik telewizji kolorowej według systemu SECAM mógłby być skonstruowany podobnie jak odbiornik biało-czarny aż do detektora i zawierałby w miejscu zwykłego wzmacniacza wizyjnego obwody detektora rodzaju takiego jak na rys. 15.

Obwody te nie zawierają większej liczby lamp niż cały tor chrominancji odbiornika systemu NTSC.

Jest również możliwe dekodować sygnały chrominancji bezpośrednio na częstotliwości pośredniej bez przechodzenia przez detektor. Układ taki, który byłby bardzo trudny do realizacji przy systemach z modulacją amplitudy i fazy, ma jeszcze tę zaletę, że redukuje całkowicie niebezpieczeństwo modulacji skróśnej między informacjami luminancji i chrominancji i czyni jeszcze mniej krytyczną charakterystykę częstotliwości wzmacniacza p.cz. /można używać panele p.cz. standardowe dla telewizji biało-czarnej/.

Jak już wspomniano, informacja o luminancji może być dostarczana do lampy w formie całkowitego sygnału bez

ograniczania pasma. Sygnał ten zawiera, oprócz napięć luminancji E_Y , podnośną chrominancji. Ponieważ jednak ma ona stałą amplitudę, detekcja jej na krzywiznie lampy powoduje jedynie stałą zmianę ogólnej jaskrawości bez zmiany luminancji zależnie od koloru.

Poziomy zdemodulowanych sygnałów chrominancji są określone całkowicie przez charakterystyki dwóch zespołów ograniczników - dyskryminatorów w torach E_{R-Y} i E_{B-Y} i są zrównoważone w sposób bardzo stabilny, jeżeli oba układy są wykonane identycznie. Wahania poziomu w.cz. lub wahania wzmacnienia w kanałach wzmacniaczy i dekodowania podnośnej chrominancji, które nie przekraczają progę działania ograniczników, nie mają praktycznie wpływu na kolory odtwarzanego obrazu. Nie ma więc potrzeby przewidywać innych regulacji jak te, które normalnie się znajdują w odbiorniku biało-czarnym.

5. SYSTEM TELEWIZJI KOLOROWEJ Z JEDNOCZESNĄ MODULACJĄ AMPLITUDY I CZĘSTOTLIWOŚCI /system FAM/

5.1. Właściwości systemu

W niemieckim systemie telewizji kolorowej /FAM/ stosuje się jednocześnie modulację amplitudy i częstotliwości podnośnej koloru. Do modulacji wykorzystuje się sygnały różnicowe chrominancji o szerokości pasma 0,6 MHz. Sygnałem różnicowym E_{R-Y} moduluje się amplitudę fali nośnej koloru, sygnałami zaś E_{B-Y} jej częstotliwość.

Jednoczesna modulacja amplitudy i częstotliwości pozwala na stosowanie bardziej uproszczonych układów odbierczych. Odbiornik kolorowy nie musi zawierać dodatkowych układów niezbędnych w innych systemach telewizji kolorowej, jak generator fali podnośnej, linie opóźniająca lub przełącznik elektronowy, a poza tym demodulacja sygnałów chrominancji może się odbywać przy użyciu klasycznych układów detektorów amplitudy i częstotliwości.

Zasadniczą zaletą systemu z jednoczesną modulacją amplitudy i częstotliwości jest bardzo mała wrażliwość na zniekształcenia różnicowej fazy i różnicowego wzmocnienia, dzięki temu do transmisji sygnału kolorowego można wykorzystywać istniejące linie radiowe służące do transmisji sygnału monochromatycznego,

5.2. Urządzenie kodujące

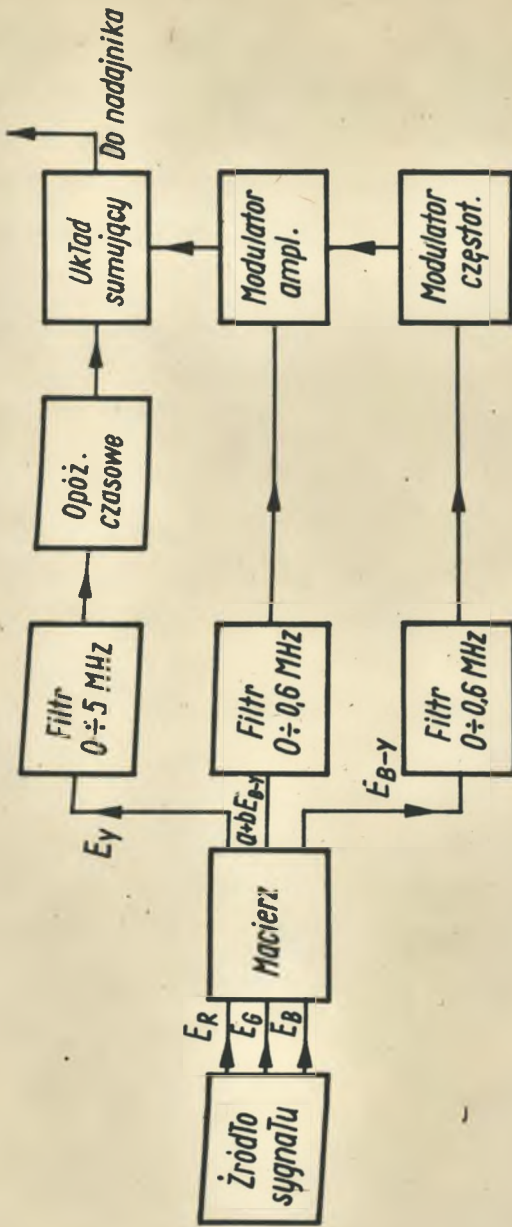
Na rysunku 16 pokazano schemat blokowy urządzenia kodującego systemu telewizji kolorowej z jednoczesną modulacją amplitudy i częstotliwości.

Źródło sygnału dostarcza trzy sygnały odpowiadające kolorom podstawowym E_R , E_G , E_B . Sygnał luminancji wytwarza się w układzie matrycowym według zależności

$$E_Y = 0,3 E_R + 0,59 E_G + 0,11 E_B$$

Z sygnału E_Y i sygnałów kolorów podstawowych wytwarza się sygnały różnicowe E_{R-Y} i E_{B-Y} .

Sygnałem E_{B-Y} moduluje się częstotliwość fali podnośnej koloru, przy czym częstotliwość spoczynkowa wynosi



Rys. 16. Schemat blokowy kodera w systemie FAN

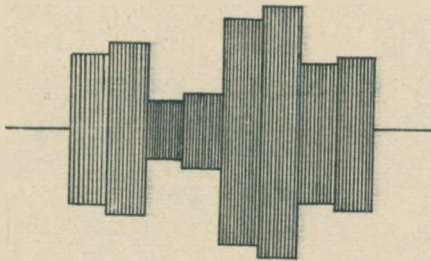
4,43 MHz. Nośną koloru zmodulowaną częstotliwościowo doprowadza się następnie do modulatora amplitudy dla zrealizowania modulacji amplitudy sygnałem E_{R-Y} .

Ponieważ sygnał E_{R-Y} może przybierać zarówno wartości dodatnie jak i ujemne, dla uzyskania więc prawidłowej modulacji amplitudy należy do niego dodać pewną wartość stałą tak dobraną, że gdy sygnał modulujący jest równy zeru, wówczas sygnał modulowany również staje się równy zeru. Sygnał modulujący można przedstawić w następującej postaci:

$$F = a + b E_{R-Y}$$

Sygnał podnośnej koloru o zmodulowanej jednocześnie amplitudzie i częstotliwości /rys. 17/ można wyrazić za pomocą następującej zależności matematycznej:

$$U = U_0 / 1 + m_a \sin 2\pi F_a t / \cdot \sin / \omega t + m_f \sin 2\pi F_f t /$$

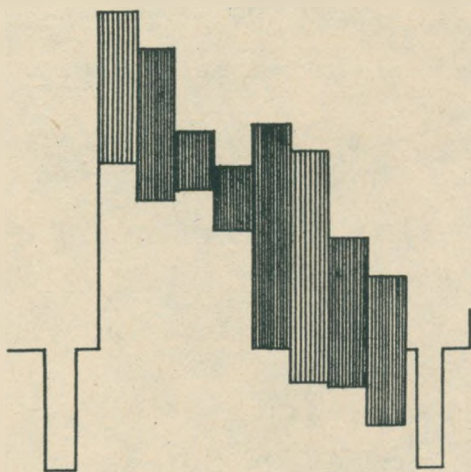


Rys. 17. Sygnał nośnej koloru w systemie FAM zmodulowanej sygnałami z generatora pasów kolorowych

gdzie:

- U_0 - amplituda podnośnej koloru,
- m_a - współczynnik głębokości modulacji amplitudy,
- m_f - współczynnik modulacji częstotliwości,
- ω - pulsacja nośnej koloru,
- F_a - częstotliwość sygnału modulującego amplitudę,
- F_f - częstotliwość sygnału modulującego częstotliwość.

Całkowity sygnał wizyjny koloru uzyskuje się przez dodanie do odpowiednio opóźnionego sygnału luminancji fali podnośnej o zmodulowanej amplitudzie i częstotliwości sygnałami różnicowymi koloru /rys. 18/.

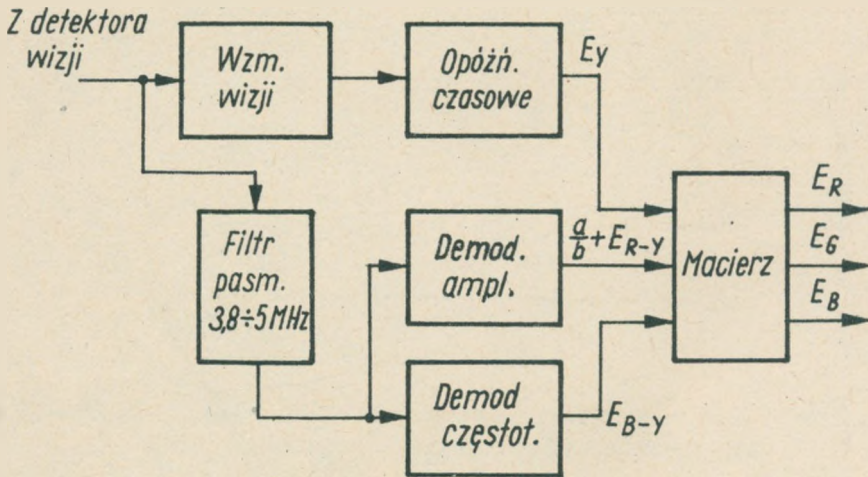


Rys. 18. Całkowity sygnał kolorowy w systemie FAM

W systemie FAM nie ma potrzeby stosowania sygnału synchronizacji koloru, ponieważ detekcja odbywa się za pomocą klasycznych układów detekcyjnych.

5.3. Opis urządzenia dekodującego w systemie FAM

Obwody wielkiej i pośredniej częstotliwości oraz detektor odbiornika telewizji kolorowej systemu FAM /rys. 19/ niczym się nie różnią od odpowiednich układów zwykłego odbiornika monochromatycznego. Na wyjściu detekto-



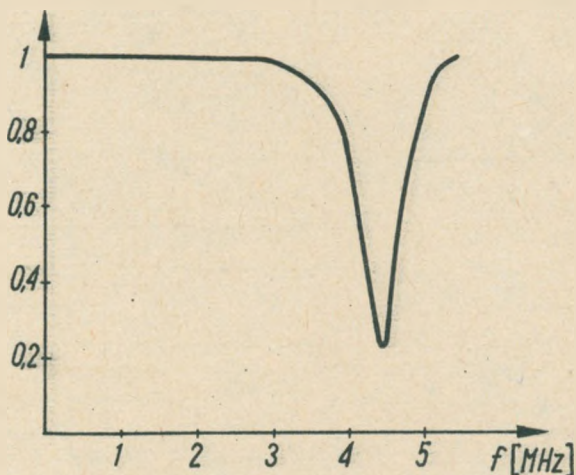
Rys. 19. Schemat blokowy dekodera w systemie FAM

ra uzyskuje się sygnał chrominancji zmieszany z sygnałem luminancji. W torze luminancji usuwa się sygnał chrominancji przez wytłumienie odpowiedniego pasma częstotliwości /patrz rys. 20/, a sygnał po przejściu przez linię opóźniającą doprowadza się do układu matrycowego.

Sygnał chrominancji wydziela się z całkowitego sygnału za pomocą filtru pasmowego $3,8 \div 5$ MHz i doprowadza się do demodulatorów amplitudy i częstotliwości, na wyj-

ściu których uzyskuje się sygnały różnicowe chrominancji.

Z sygnału luminancji i sygnałów różnicowych uzyskuje się w układzie matrycowym sygnały kolorów podstawowych E_R , E_G , E_B .



Rys. 20. Charakterystyka częstotliwości toru luminancji odbiornika w systemie FAM

6. PORÓWNANIE WŁAŚCIWOŚCI SYSTEMÓW TELEWIZJI KOLOROWEJ

Przeprowadzenie porównania między systemami telewizji kolorowej w celu ustalenia, który z nich odznacza się najkorzystniejszymi właściwościami, nie jest sprawą prostą. Porównanie takie powinno być przeprowadzone przez dokonywanie pomiarów określonych parametrów elektrycznych w jednakowych warunkach dla wszystkich systemów. Niestety, w wielu przypadkach jest to niemożliwe ze

względu na specyficzne różnice między systemami.

Przy badaniu właściwości systemu telewizji kolorowej oraz ich porównywaniu z właściwościami innych systemów należy przyjąć przede wszystkim kryteria psychofizjologiczne oceny odtwarzanego obrazu kolorowego, dokonywanej metodą statystyczną przez stosunkowo dużą ilość obserwatorów.

Spośród najważniejszych czynników, wpływających na ocenę systemu, należy wyliczyć:

1. Jakość odtwarzanego obrazu kolorowego
 - a/ gradacja jaskrawości,
 - b/ rozdzielczość,
 - c/ przenoszenie stanów przejściowych,
 - d/ odtwarzanie drobnych szczegółów kolorowych,
 - e/ wierność kolorymetryczna.
2. Spełnienie warunku odpowiedniości.
3. Wrażliwość na sygnały pasożytnicze.
4. Zniekształcenie poszczególnych informacji wywoływane przez odbiegające od idealnych charakterystyki urządzeń nadawczych i przesyłowych.
5. Stabilność warunków pracy.

Poza tym istotny wpływ na ocenę przydatności danego systemu na możliwość realizacji możliwie prostych i stabilnych urządzeń odbiorczych, co jest niewątpliwie ważnym elementem przyszłego rozwoju telewizji kolorowej.

Porównawcze omówienie podstawowych cech wszystkich trzech wyżej omówionych systemów telewizji kolorowej, a

mianowicie NTSC, SECAM i FAM, pozwoli na ogólne zorientowanie się w przydatności praktycznego zastosowania tych systemów, jednak dokładna ich ocena jest możliwa po drobiazgowym zbadaniu każdego z tych systemów, z których dotychczas najlepiej poznanym i zbadanym jest system NTSC.

6.1. Odtwarzanie sygnału luminancji

We wszystkich trzech systemach struktura sygnału luminancji jest jednakowa, w odtwarzaniu więc obrazu monochromatycznego nie ma istotnych różnic.

Nałożenie na sygnał luminancji fali podnośnej chrominancji wywołuje, jak wiadomo, powstanie kropkowej struktury obrazu. Wskutek sztywnego związania w systemie NTSC częstotliwości fali podnośnej z częstotliwością odchylenia poziomego widoczność tej struktury jest w omawianych systemach najmniejsza, szczególnie, że przy kolorach neutralnych sygnał chrominancji w ogóle zanika. W systemach SECAM i FAM pomimo stosowania periodycznego odwracania fazy fali podnośnej widoczność struktury kropkowej jest większa z powodu stosowania modulacji częstotliwości, co uniemożliwia sztywne powiązanie z częstotliwością odchylenia poziomego.

Przy odtwarzaniu obrazu kolorowego wystąpią zniekształcenia powodowane krzywizną charakterystyk kineskopu. W systemie NTSC, a również i częściowo w systemie FAM obecność fali podnośnej modulowanej amplitudowo wywoła zmiany luminancji. System SECAM jest pod tym wzglę-

dem niewrażliwy, gdyż stała wartość amplitudy sygnału chrominancji może wywołać jedynie powstanie łatwej do kompensacji składowej stałej.

6.2. Odtwarzanie sygnału chrominancji

Ograniczenie pasma częstotliwości sygnałów chrominancji występuje we wszystkich trzech systemach, przy czym w systemie SECAM ogranicza się także rozdzielczość w kierunku pionowym. Ponieważ jednakże i zdolność rozdzielcza oka jest pod tym względem ograniczona, można więc uważać, że wszystkie trzy systemy w jednakowym stopniu umożliwiają odtwarzanie drobnych szczegółów kolorowych obrazu. Jak wykazały pomiary statystyczne, dopuszczalne jest ograniczenie pasma sygnałów chrominancji nawet do 0,6 MHz.

Jeżeli chodzi o wpływ rzeczywistych charakterystyk urządzeń nadawczych, transmisyjnych i odbiorczych na odtwarzanie sygnału chrominancji, a co za tym idzie i kolorów, to jest on różny w omawianych systemach.

Jak wiadomo, prawidłowość odtwarzania barw w systemie NTSC zależy od prawidłowości odtwarzania fazy fali podnośnej chrominancji. Granice dopuszczalnych tolerancji są w tym przypadku bardzo wąskie i wynoszą ok. 5° .

Z tego więc względu zmiany fazy w zależności od amplitudy sygnału luminancji, czyli tzw. faza różnicowa mają decydujący wpływ na wierność odtwarzania kolorów. Pociąga to za sobą stawianie wysokich wymagań nadawczym urządzeniom telewizyjnym, co zwiększa znacznie trudno-

ści techniczne ich wykonania i eksploataowania, a jednocześnie zmniejsza pewność działania.

Zależność wiernego odtwarzania kolorów od fazy sygnału chrominancji stanowi podstawową wadę systemu NTSC i jest przyczyną, która skłoniła do poszukiwania innego systemu, nie wrażliwego na fazę. Warunkowi temu odpowiada zarówno system SECAM jak i FAM. Istotnie w obu tych systemach faza sygnału chrominancji jest nieistotna. W systemie SECAM barwa danego elementu obrazu jest określona jednoznacznie wartością częstotliwości fali podnośnej, w systemie zaś FAM barwa zależy jedynie od częstotliwości lub amplitudy fali podnośnej. Dzięki tej właściwości oba systemy umożliwiają stosowanie tych samych urządzeń transmisyjnych, jakie są stosowane w telewizji monochromatycznej. Ma to szczególne znaczenie dla łącz radiowych, których duże ilości są obecnie w eksploatacji. Z dokonanych badań wynika, że jedynie najnowocześniejsze urządzenia łącz radiowych mogą zapewnić dostatecznie małe zniekształcenia fazy sygnału chrominancji wymagane w systemie NTSC. Niestety urządzeń takich jest jeszcze stosunkowo mało.

Również i zniekształcenia amplitudy mają wpływ na jakość odtwarzania obrazu kolorowego. W systemach NTSC i FAM zniekształcenia amplitudy sygnału chrominancji /wskatek kształtu charakterystyki częstotliwościowej oraz zniekształceń wzmocnienia w zależności od amplitudy sygnału luminancji, czyli tzw. wzmocnienia różnicowego/ wywołują na obrazie zmiany nasycenia koloru. Jednakże wpływ tych zniekształceń jest w systemie NTSC mniej kry-

tyczny niż wpływ zniekształceń fazy. Stwierdzono eksperymentalnie, że dopuszczalne są zmiany prawidłowej wartości amplitudy sygnału chrominancji dochodzące do 15% bez widocznej zmiany nasycenia koloru. System FAM jest nieco bardziej wrażliwy na te zniekształcenia, tolerancje wynoszą tu ok. 10%. W systemie SECAM zagadnienie zniekształceń nie ma praktycznie znaczenia, gdyż przy odbiorze stosuje się tu, jak zwykle w układach modulacji częstotliwości, ograniczniki amplitudy uniezależniające amplitudę odbieranego sygnału od ewentualnych wahań. W szerokich więc granicach, w jakich jeszcze działa stabilizacja amplitudy, odbierany sygnał chrominancji nie ulega wahanom.

6.3. Wrażliwość na interferencje

Ze względu na obecność fali podnośnej chrominancji w pasmie częstotliwości wizyjnych systemy telewizji kolorowej są bardzo wrażliwe na zakłócenia sygnałami sinusoidalnymi, których częstotliwość jest zbliżona do częstotliwości fali podnośnej, gdyż powstają przy tym interferencje o częstotliwościach stosunkowo niskich, dobrze widoczne na obrazie. Należy tu rozróżnić dwie grupy częstotliwości wypadkowego sygnału zakłócającego: takie, które stanowią wielokrotność częstotliwości odchylenia poziomego lub zbliżone do niej, dające prążkowy obraz zakłóceń, łatwo dostrzegalny, oraz takie, które są nieparzystą wielokrotnością połowy częstotliwości odchylenia poziomego lub o wartości zbliżonej, dające kropkową strukturę obrazu, zakłócenia stosunkowo słabo dostrzegalne.

Pomiary tego typu zakłóceń wykazały, że przy systemach NTSC i FAM współczynnik protekcji, tzn. stosunek amplitud sygnału pożądanego do sygnału zakłócającego, wynosi dla progu dostrzegania ok. 40 dB, natomiast w systemie SECAM ok. 30 dB, co jest jego ważną zaletą.

7. UWAGI KOŃCOWE

Zapoznanie się z zasadami działania i podstawowymi właściwościami nowoczesnych systemów telewizji kolorowej NTSC, SECAM i FAM pozwala ocenić rodzaj zagadnień oraz skalę trudności występujących w telewizji kolorowej. Nie można jednakże określić jednoznacznie, który z tych systemów jest rozwiązaniem najkorzystniejszym i daje najlepsze perspektywy udoskonaleń oraz możliwości rozwoju telewizji kolorowej. Obecnie prowadzi się intensywne badania właściwości tych systemów, a zwłaszcza NTSC oraz SECAM, nie rezygnując z poszukiwań rozwiązań być może jeszcze korzystniejszych.

System kodowania i dekodowania sygnałów w telewizji kolorowej jest oczywiście ściśle związany z typem lampy obrazowej służącej do odtwarzania obrazu kolorowego. Wszystkie więc systemy jednoczesne, a między nimi również i omawiane, zakładają zastosowanie 3-kolorowego kineskopu maskowego, który pomimo pewnych wad, stanowi obecnie najbardziej praktyczne rozwiązanie zagadnienia. Być może, skonstruowanie nowego typu przetwornika optyczno-elektrycznego do odtwarzania obrazu kolorowego umożliwi opracowanie zupełnie innego, bardziej idealnego systemu telewizji kolorowej.

Mgr inż. KAZIMIERZ GORSKI

Mgr inż. JANUSZ PODEJKO

LAMPY OBRAZOWE DO TELEWIZJI KOLOROWEJ

1. WSTĘP

Lampa obrazowa, zwana kineskopem, jest podstawowym elementem odbiornika telewizyjnego zarówno w telewizji czarno-białej, jak i kolorowej i służy do syntezy /odtworzenia/ obrazu. Kineskop stosowany w telewizji kolorowej różni się jednak zasadniczo od kineskopu stosowanego w telewizji monochromatycznej, którego działanie jest znane ogółowi czytelników. Kineskop kolorowy musi być bowiem tak skonstruowany, aby mógł oddać trójbodźcowy charakter odtwarzania barw, podczas gdy kineskop telewizji monochromatycznej odtwarza tylko jeden bodziec. Kineskop telewizji kolorowej musi odtworzyć trzy wielkości dla każdego elementu obrazu. Mogą to być oczywiście intensywności trzech kolorów przyjętych za podstawowe, a więc intensywności kolorów czerwonego, zielonego i niebieskiego lub też luminancję koloru i dwa składniki jego kolorowości^{1/}. W kineskopie monochromatycznym natomiast występuje odtworzenie tylko jednej wielkości - luminancji.

^{1/} Patrz artykuł poprzedni - Systemy TV kolorowej.

Od początków pracy nad telewizją kolorową starano się uzyskać w sposób możliwie prosty kolorowy obraz telewizyjny. Uzyskiwano go stosując na przykład trzy kineskopy o ekranach świecących w trzech podstawowych barwach i sumując optycznie otrzymane obrazy na jednym ekranie. Stosowano także wirujące synchronicznie filtry kolorowe umieszczone przed ekranem kineskopu jednobarwnego. Obecnie uzyskuje się efekty kolorowości stosując trójkolorowe luminofony odpowiednio nałożone na ekran kineskopu. Sposób nałożenia luminoferów jest różny dla różnych typów lamp obrazowych. Również liczba wyrzutni elektronowych, a co za tym idzie, i wybierających strumieni elektronowych jest różna dla różnych typów lamp obrazowych.

Najpopularniejszym obecnie typem lampy obrazowej, stosowanej w telewizji kolorowej, jest kineskop z perforowaną maską, czyli tzw. kineskop typu maskowego /shadow-mask/. Kineskop ten powstał około roku 1953 i został wyprodukowany w dwóch wersjach: z jedną i trzema wyrzutniami elektronów.

W późniejszym nieco okresie /1956 r./ powstały inne typy lamp obrazowych: "chromatron", którego zasada działania została podana przez prof. Lawrence'a, oraz kineskop o angielskiej nazwie "apple tube".

W ostatnim wreszcie okresie czasu /1961 r./ powstała nowa lampa obrazowa, o działaniu odmiennym od pozostałych, zwana lampą "bananową".

W niniejszym artykule zostaną omówione pokrótce podstawowe własności wymienionych lamp obrazowych oraz przeprowadzimy ich porównanie.

2. KINESKOP TYPU MASKOWEGO

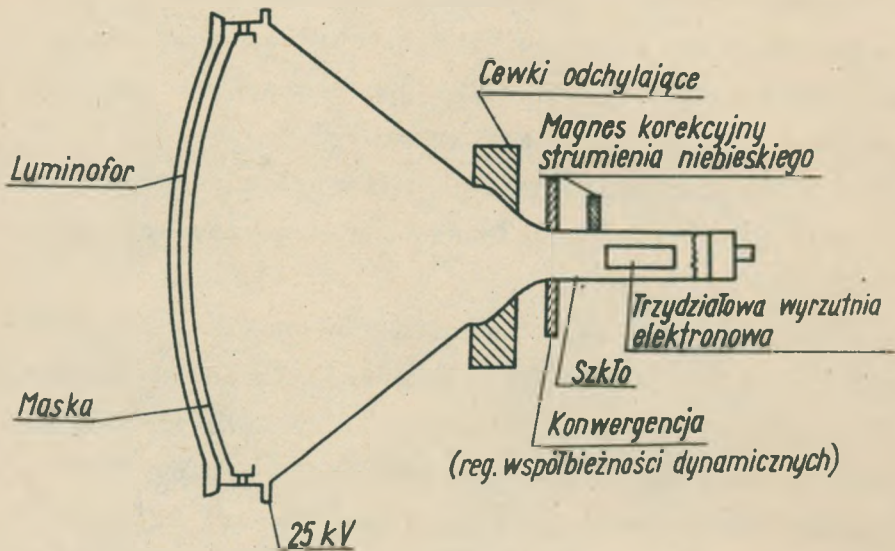
Jak już wspomniano powyżej, kineskop typu maskowego został opracowany w dwóch wersjach - jako jedno i trójwyrzutniowy. W obecnej chwili kineskop ten w wykonaniu trójwyrzutniowym jest właściwie jedynym szeroko stosowanym w odbiornikach telewizji kolorowej.

Przykładem takiego kineskopu może być kineskop firmy RCA typu 21AXP22 lub jego nowsza odmiana kineskop typu 21CYP22.

Kineskop ten ma bądź balon metalowo-szkłany /21AXP22/, bądź też całkowicie szklany /21CYP22/. Średnica ekranu w obu wykonaniach wynosi 21 cali; odchylenie przewidziano magnetyczne. Kąt odchylenia wynosi 70° , przy napięciu przyspieszającym ca. 25 kV. Ogniskowanie wiązki elektronów jest elektrostatyczne, przy czym napięcie ogniskujące jest rzędu 5 kV i jest przykładane do trzeciej siatki wyrzutni. Kineskop posiada trzy niezależne wyrzutnie elektronowe, po jednej dla każdego koloru.

Elektrony emitowane przez trzy przestrzennie rozłożone wyrzutnie elektronowe przechodzą przez specjalną płytę perforowaną, zwaną maską i pobudzają do świecenia trzy grupy luminoforów ułożone w specjalny sposób. Budowę kineskopu ilustrują rys. 1 i 2.

O ile w lampie obrazowej stosowanej do odbioru telewizji monochromatycznej ekran jest pokryty jednym luminoforem dającym pod wpływem bombardowania strumieniem elektronów światło białe, to w kineskopie typu maskowego zastosowano trzy rodzaje luminoforów. Pod wpływem



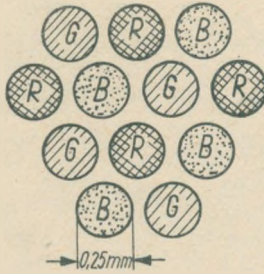
Rys. 1. Schemat budowy kineskopu maskowego

bombardowania strumieniami elektronów, każdy z tych luminoforów świeci odpowiednio w kolorze czerwonym, bądź zielonym czy niebieskim.

Poszczególne luminofony są nałożone na ekran kineskopu w postaci punktów tak ułożonych, że tworzą trójkąt równoboczny /rys. 3/. Cały ekran jest więc pokryty wielką ilością takich "trójek". Dla kineskopu o średnicy 21" odległości pomiędzy środkami poszczególnych "trójek" wynoszą 0,74 mm, średnica zaś jednego punktu świecącego wynosi ca. 0,25 mm. Na całej powierzchni ekranu znajduje się około 357.000 takich "trójek", czyli około 1.070.000 świecących punktów.



Rys. 2. Kineskop maskowy



Rys. 3. Rozmieszczenie luminoforów na powierzchni ekranu

Na wewnętrzną powierzchnię ekranu kineskopu luminofory są nakładane metodą fotochemiczną. W tym celu pokrywa się wewnętrzną powierzchnię ekranu najpierw luminoforem niebieskim wraz z dodatkiem substancji, powo-

dującej pod wpływem światła przytwierdzenie luminoforu do szkła. Następnie w punkcie odpowiadającym umieszczeniu w przestrzeni strumienia elektronów z "wyrzutni niebieskiej" umieszcza się punktowe źródło światła.

Światło z tego źródła padając poprzez otwory w masce na wewnętrzną powierzchnię ekranu powoduje, że substancja fotoczuła przytwierdza luminofor do szkła.

Po wypłukaniu nienaświetlonego luminoforu, na powierzchni szkła znajdują się tylko te punkty luminoforu niebieskiego, które zostały naświetlone.

Jako drugi, w sposób analogiczny, nakłada się luminofor zielony. Źródło światła umieszcza się w tym przypadku w punkcie odpowiadającym umieszczeniu w przestrzeni strumienia elektronów z wyrzutni zielonej.

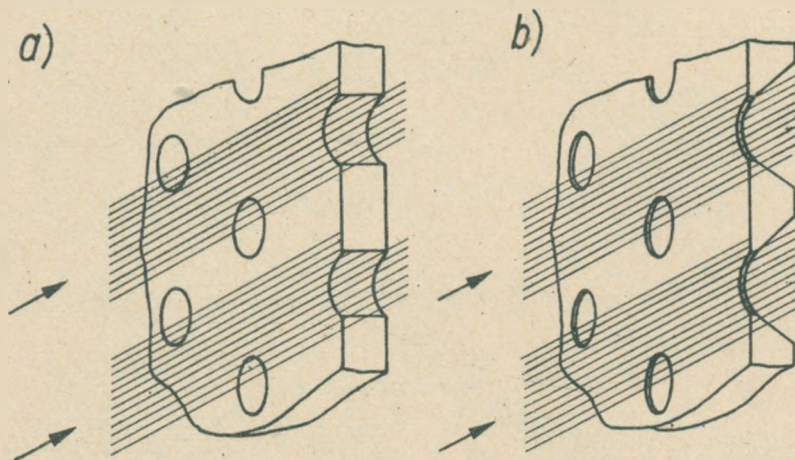
W ten sam sposób nanosi się również jako trzeci luminofor czerwony, przenosząc równocześnie miejsce umieszczenia punktowego źródła światła.

Jako luminofor niebieski bywa stosowany siarczek cynku aktywowany srebrem; jako luminofor zielony - ortokrzemian cynku aktywowany magnezem; jako zaś luminofor czerwony - fosforan cynku aktywowany magnezem.

Ponieważ w kineskopie typu maskowego stosuje się napięcie przyspieszające rzędu 25 - 30 kV; ekran kineskopu musi być aluminiowany, aby uniknąć emisji wtórnej luminoforów. Jednocześnie aluminiowanie ekranu poprawia jak wiadomo, kontrast odtwarzanego obrazu i zabezpiecza ekran od powstawania plamy jonowej. Aby poprawić kontrast ulegający zmniejszeniu przez oświetlenie otoczenia odbiornika, wykonuje się powierzchnię czołową kineskopu z

szarego szkła. W szkłe tym tracimy około 25% światła emitowanego z ekranu.

W celu skierowania każdej wiązki elektronów tylko na odpowiedniego koloru ziarna luminoforów umieszcza się przed ekranem metalową płytę perforowaną, zwaną maską. Maską jest wykonana ze stopu miedziowo-niklowego w kineskopach starszych typów /21AXP22/ lub ze stali w kineskopach nowszych typów /21CYP22/. Grubość blachy maski wynosi ok. 0,2 mm w przypadku maski miedziowo-niklowej i ok. 0,15 mm w przypadku maski stalowej.

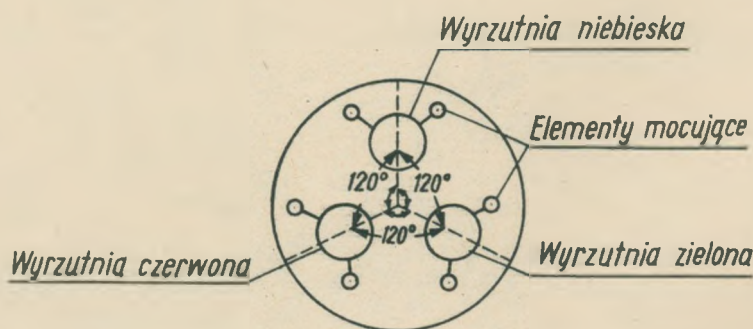


Rys. 4. Maska cieniująca w kineskopach
a/ starego i b/ nowego typu

Otwory w masce były początkowo wykonywane jako cylindryczne. Jednak ze względu na straty elektronów na brzegach maski, otwory w nowszych typach kineskopów wykonuje się jako stożkowe. Schematyczny przekrój przez maski obu typów jest przedstawiony na rys. 4.

Maska kineskopu zatrzymuje około 80% prądu anodowego, co powoduje, że w normalnych warunkach pracy kineskopu wydziela się na masce moc około 15 W. Powoduje to nagrzewanie się maski. Aby maska nie przemieszczała się pod wpływem ciepła w stosunku do trójek luminoforu, jest ona przymocowana do krawędzi kineskopu za pomocą sprężyn kompensacyjnych.

Trzy wyrzutnie elektronowe są umieszczone przestizenie tak, że tworzą pomiędzy sobą w płaszczyźnie poprzecznej do osi lampy kąt 120° /rys. 5/. Osie wyrzutni są poza tym nieco nachylone w stosunku do osi symetrii lampy.

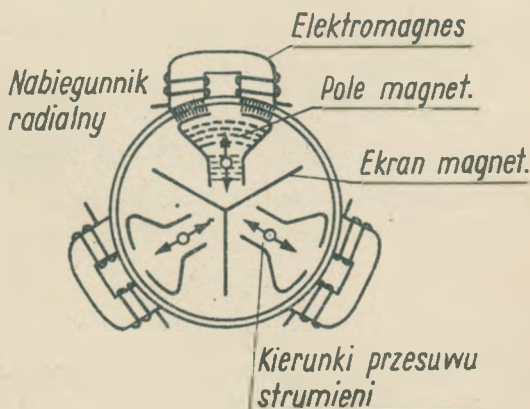


Rys. 5. Rozmieszczenie wyrzutni w kineskopie maskowym

Aby elektrony wiązek emitowanych z wyrzutni trafiały dokładnie na odpowiadające im luminofory, zastosowano dodatkowe nabiegunki magnetyczne pozwalające na kontrolę położenia promieni elektronowych. Kontrola ich położenia odbywa się za pomocą pól magnetycznych wytwarzanych przez elektromagnesy umieszczone na zewnątrz

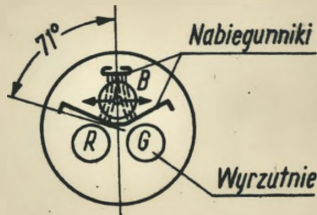
szyjki kineskopu. Dzięki nim mamy możliwość uzyskania prawidłowej konwergencji.

W celu zmniejszenia wzajemnego oddziaływania wytwarzanych pól magnetycznych pomiędzy nabiegownikami umieszczono ekran z materiału magnetycznego. Kształt nabiegowników oraz kierunki pól magnetycznych powodujących przesuwanie promieni elektronów podaje rys. 6.



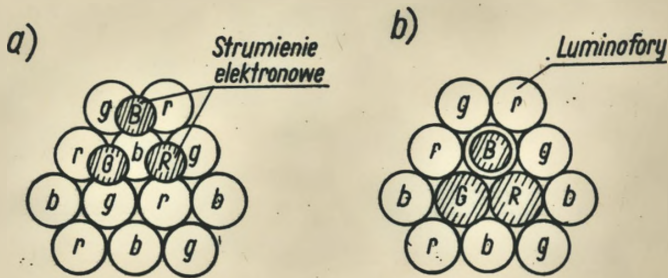
Rys. 6. Kształt i wzajemne rozmieszczenie nabiegowników do regulacji konwergencji

W kineskopie znajduje się jeszcze jeden układ nabiegowników, umiejscowiony pomiędzy drugą a trzecią siatką, który ma za zadanie umożliwienie promieniom wyrzutni "niebieskiej" ruchu poprzecznego, pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego. Nabiegowniki obwodu magnetycznego są tu tak ukształtowane, że tworzą jednocześnie ekran magnetyczny pomiędzy wyrzutniami. Kształt nabiegownika i kierunki linii pola magnetycznego są pokazane na rysunku 7.



Rys. 7. Kształt nabiegunnika wyrzutni niebieskiej

Rysunek 8 pokazuje schematowo wycinek ekranu w przypadkach złej /a/ i dobrej konwergencji /b/.

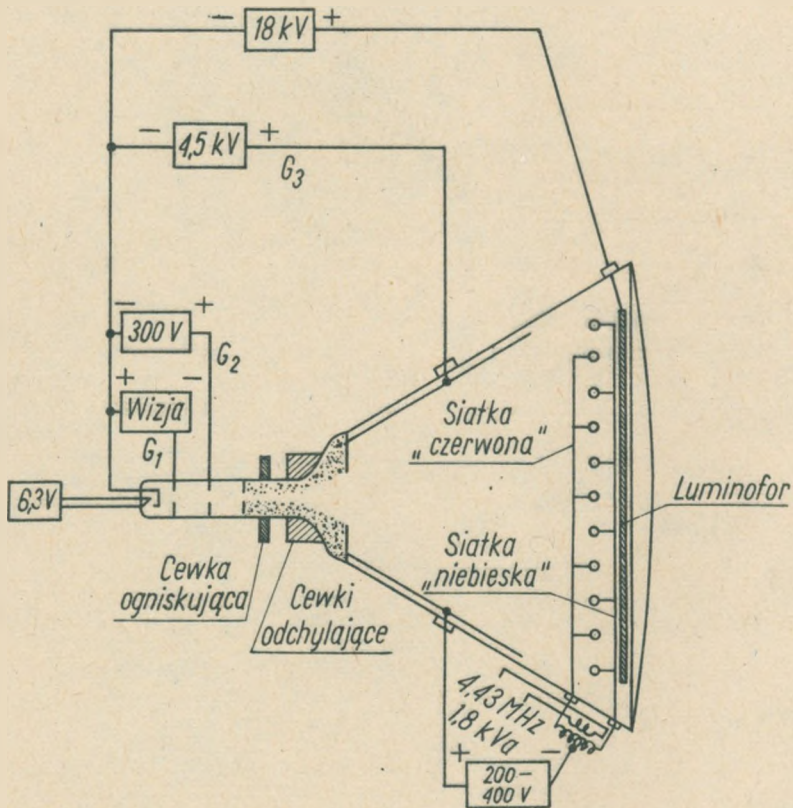


Rys. 8. Ślady strumieni na powierzchni ekranu w przypadku a/ złej i b/ dobrej konwergencji

3. KINESKOP TYPU "CHROMATRON"

Lampa obrazowa typu "chromatron" została opracowana przez Lawrence'a w 1956 r. i miała być konkurencją dla

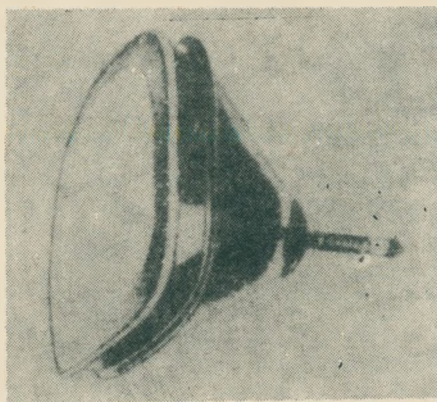
kineskopu typu maskowego. Chromatron został wykonany jako lampa o szklanym lub metalowo-szklanym balonie i o przekątnej ekranu 21". Chromatron jest kineskopem o magnetycznym odchyleniu strumienia elektronów i kącie odchylenia około 70° . Budowę ilustruje rys. 9 i 10.



Rys. 9. Schemat budowy kineskopu typu "chromatron"

Najwyższe napięcia przyspieszające stosowane w chromatronie są rzędu 18 kV. Do balonu lampy przykładamy poza tym napięcie rzędu +4,5 kV. Stały potencjał siatek

jest niższy od potencjału balonu o $200 + 400$ V, co ma na celu przyciąganie do balonu elektronów wtórnych wytraconych z prętów siatki.



Rys. 10. Chromatron

Ekran chromatronu posiada strukturę inną niż struktura ekranu kineskopu maskowego. Składa się on mianowicie z luminoforów ułożonych w postaci pasków poziomych. Paski luminoforów są ułożone w kolejności BGRGBGR itd.^{1/}. Luminofory są umieszczone za pomocą druku. Szerokość każdego z pasków wynosi ok. 0,35 mm, przy czym znajduje się 400 pasków zielonych i po 200 pasków czerwonych i niebieskich.

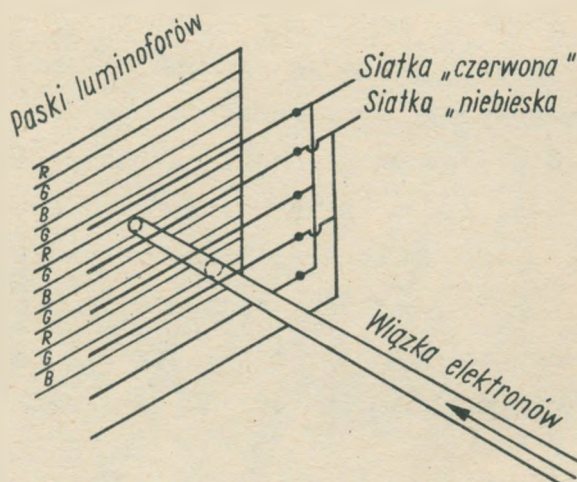
Ze względu na wysokie napięcia przyspieszające ekran jest aluminiowany w celu wyrównania potencjału powierzchni ekranu i w celu uzyskania maksymalnego kontrastu obrazu. W odległości około 10 mm za warstwą luminoforu

^{1/} B - niebieski; G - zielony; R - czerwony.

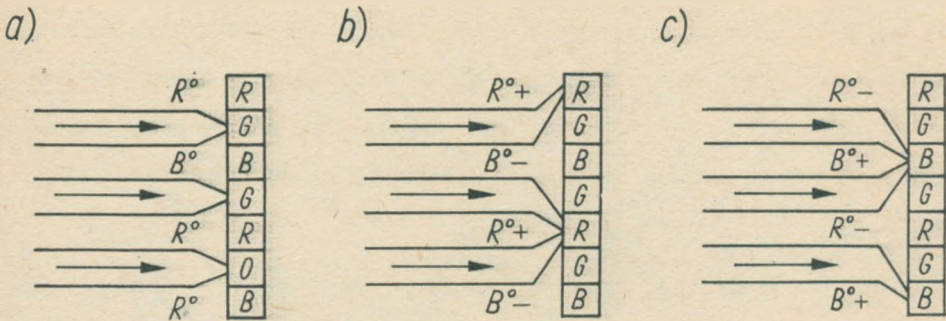
znajduje się siatka utworzona z 400 metalowych prętów o średnicy 0,2 mm, ułożonych równoległe do pasków luminoforu. Pręty te są połączone w dwie grupy, z których jedna pokrywa się z luminoforem czerwonym, a druga z luminoforem niebieskim. Pręty te spełniają następujące zadania:

- 1/ odchylają strumień elektronów, gdy ten przechodzi pomiędzy nimi, powodując zależnie od przyłożonego potencjału świecenie luminoforu zielonego, czerwonego lub niebieskiego;
- 2/ spełniają rolę elektrody systemu ogniskowania wiązki elektronów już po ich odchyleniu.

Działanie odchylające prętów schematycznie pokazano na rys. 11 i 12, przedstawiających wycinek ekranu wraz



Rys. 11. Schemat rozmieszczenia siatek odchylających w chromatronie



Rys. 12. Schemat działania siatek odchylających

z prętami odchylającymi. Jeżeli do grup prętów odchylających /jak pokazano na rys. 12/ nie przyłożymy napięcia zmiennego, czyli pręty mają ten sam potencjał względem siebie, to strumień elektronów przejdzie przez siatkę z prętów nie odchylony i trafi na paski luminoforu zielonego. Ekran kineskopu będzie w tym przypadku świecił na zielono.

Jeżeli zaś do prętów leżących naprzeciwko pasków luminoforu czerwonego przyłożymy napięcie o znaku dodatnim, a jednocześnie do prętów leżących za paskami luminoforu niebieskiego napięcie o znaku ujemnym, to wystąpi sytuacja jak na rys. 12b. Wiązki elektronów przyciągane przez pręty "czerwone" naładowane dodatnio, a odpychane przez pręty naładowane ujemnie, ogniskują się na pasku luminoforu czerwonego, dając na ekranie świecenie czerwone.

Analogicznie powstaje na ekranie świecenie niebieskie. W tym przypadku zgodnie z rys. 12c pręty za luminoforem

niebieskim są naładowane dodatnio, umieszczone zaś za czerwonym - ujemnie.

Pojemność pomiędzy prętami odchylającymi jest znaczna i wynosi ok. 1000 pF. Ponieważ przy odchyłaniu promienia trzeba do prętów przyłożyć napięcie rzędu 800 - 1000 V, moc więc odchyłania musi być bardzo duża, co ogranicza częstotliwość komutującą. Na przykład dla amerykańskiego standardu systemu NTSC do odchyłania stosujemy podnośną koloru o częstotliwości 3,58 MHz. Moc dostarczana w tym przypadku do odchyłania musi być rzędu 2500 VA. Stwarza to konieczność stosowania dużych prądów, a więc bardzo grubych wyprowadzeń na balonie lampy. Trzeba także przedsięwziąć środki ostrożności przeciwko promieniowaniu częstotliwości komutującej. Siatka z prętów ułożonych równolegle do pasków luminoforów ma obok zadania odchyłania strumienia elektronów również i zadanie ogniskowania wiązki po odchyłaniu. Pomiedzy siatką a metalizacją kineskopu jest przykładane napięcie ogniskujące. Tworzy ono wokół prętów szereg cylindrycznych soczewek skupiających.

Elektrody biegnące od wyrzutni do ekranu, po dostaniu się w pole działania soczewek elektrostatycznych, są ostro ogniskowane na warstwach luminoforów. Po przejściu przez soczewki kształt plamki staje się eliptyczny. Krótsza oś elipsy jest kilkakrotnie mniejsza od szerokości pasków luminoforu. Stwarza to dodatkową zaletę chromatronu, gdyż druty nie muszą być ustawione bardzo dokładnie względem luminoforów.

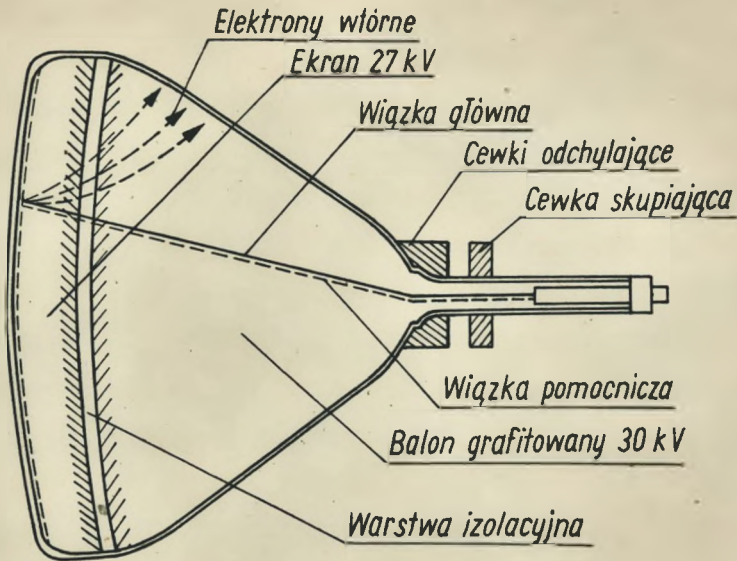
Napięcia stosowane w lampie typu "chromatron" nie róż-

nią się zbytnio od napięć stosowanych w kineskopach biało-czarnych. Rysunek 9 podaje schemat chromatronu wraz z napięciami potrzebnymi do prawidłowej jego pracy. Z rysunku tego widzimy, że pomiędzy środkiem uzwojenia sterującego grupami drutów a metalizację kineskopu przykładają się napięcia w granicach od 200 ÷ 400 V. Napięcie to ma za zadanie zbieranie elektronów wtórnych i zapobiega powstaniu ładunku przestrzennego z tyłu prętów odchylających.

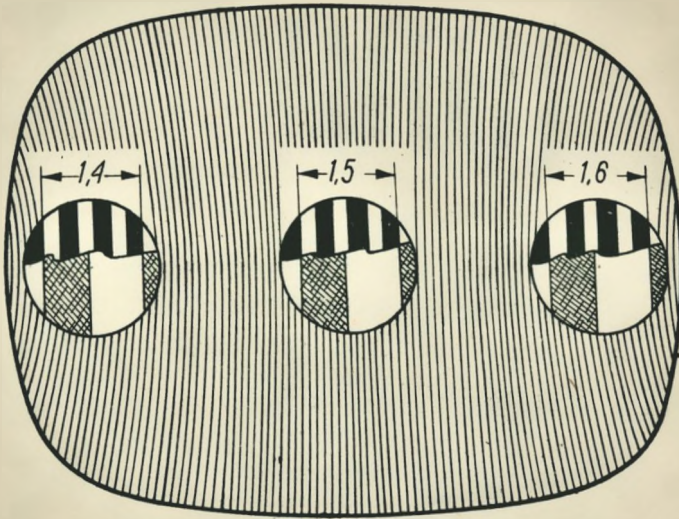
4. KINESKOP TYPU "APPLE"

W roku 1956 laboratorium amerykańskiej firmy Philco Corp. opracowało nowy typ kineskopu, zwany kineskopem typu "apple" /nazwa ta nie ma nic wspólnego z jabłkiem, a jest to po prostu tajny kod producenta/. Jest to lampa, która umożliwia fazową korekcję odtwarzania kolorów. Lampa ma balon całoszklany o przekątnej ekranu 21". Odchylenie i skupianie jest magnetyczne, przy czym kąt odchylenia promienia elektronów wynosi ca. 70°. Budowę przedstawia rys. 13.

Ekran lampy typu "apple" jest zbudowany w postaci pionowych pasków luminoforów o szerokości ca. 0,25 mm nakładanych sposobem fotochemicznym. Paski luminoforów są ułożone kolejno: czerwony, zielony i niebieski. Pomiedzy paskami luminoforów znajdują się paski z materiału nieluminescencyjnego też o szerokości 0,25 mm. Ekran składa się więc z pionowych pasków luminoforów przepłakanych paskami nieświecącymi pod wpływem uderzenia w nie elektronów wiązki wybierającej /rys. 14/.



Rys. 13. Schemat budowy kineskopu typu "apple"



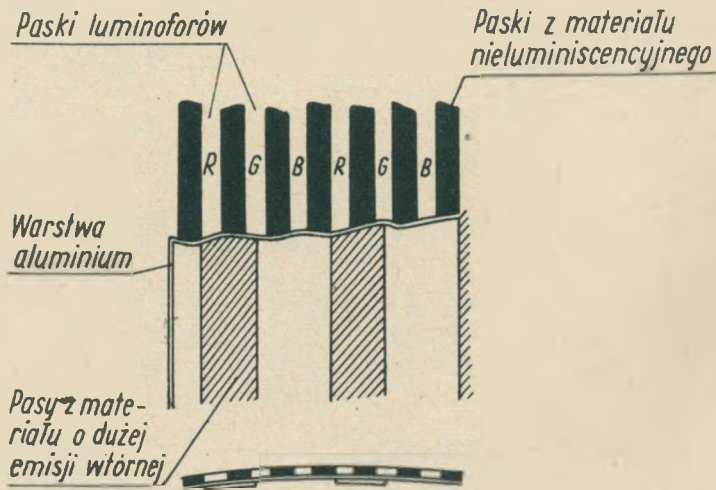
Rys. 14. Ekran kineskopu typu "apple"

Dzięki takiej budowie ekranu wiązka elektronów, której średnica nie przekracza 0,5 mm nie spowoduje pobudzenia dwóch luminoforów jednocześnie. Wpływa to znacznie na czystość otrzymywanych kolorów.

Ekran kineskopu jest od wewnątrz pokryty warstwą aluminium, co polepsza kontrastowość obrazu i zabezpiecza przed emisją wtórną z luminoforów.

Na warstwę aluminium nałożone są pionowe paski o szerokości 0,6 mm z materiału o dużym współczynniku emisji wtórnej, służące do fazowej korekcji odtwarzanych kolorów.

Paski te są tak nałożone, że lewa krawędź paska kontrolnego pokrywa się z lewą krawędzią paska luminoforu czerwonego. Rysunek 15 podaje schemat nałożenia pasków.



Rys. 15. Budowa ekranu kineskopu typu "apple"

Wyrzutnia elektronów wytwarza dwa strumienie elektronów - główny i pomocniczy. Strumień główny daje prąd

rzędu 1500 μA , strumień zaś pomocniczy prąd rzędu 50 μA . Dwa te strumienie są utworzone w ten sposób, że w wyrzutni elektronowej umieszczono dwie oddzielne siatki sterujące /cylinydry Wehnelta/.

Elektrony emitowane ze wspólnej katody są rozdzielane na dwie wiązki przez siatki sterujące. Ekran kineskopu ma potencjał +27 kV w stosunku do katody. Strumienie elektronów biegnące pod działaniem tego potencjału uderzają w ekran. Ponieważ strumień główny ma wielokrotnie większy prąd od prądu strumienia pilotującego, głównie więc on pobudza do świecenia luminofor.

Elektrony strumienia pomocniczego, który jest odchylany jednocześnie ze strumieniem głównym, padają także na ekran. Gdy trafiają jednak na pasek utworzony z materiału o dużym współczynniku emisji wtórnej, wytrącają z niego dużą liczbę elektronów wtórnych.

W celu zebrania elektronów wtórnych balon kineskopu jest od wewnątrz grafitowany i ma potencjał o 3 kV wyższy od potencjału ekranu, czyli 30 kV.

Elektrony zbierane na balonie lampy tworzą sygnał, który służy do sterowania układu komutacji kolorów. Ponieważ lewa krawędź paska luminoforu czerwonego i lewa krawędź paska do kontroli fazy kolorów pokrywają się, sygnał korekcyjny otrzymany z bańki kineskopu powoduje taką korekcję komutatora kolorów, że przy pojawieniu się tego sygnału na wyjściu komutatora otrzymujemy sygnał odpowiadający czerwieni.

Wiązka główna nie powinna wytrącać elektronów wtórnych, wiązka zaś pomocnicza nie powinna powodować roz-

światlenia ekranu. Praktycznie warunki te nie są spełniane. Aby zapobiec powstawaniu fałszywych sygnałów sterujących komutator kolorów, sygnał otrzymywany z bańki kineskopu musimy starannie odfiltrowywać.

W celu zmniejszenia do minimum rozświetlenia ekranu wywołanego strumieniem pomocniczym staramy się, aby ślady obu strumieni wypadały na ekranie blisko siebie. Ślady te muszą wypadać także na jednym pasku korekcji fazowej. Ponieważ lampa ma ogniskowanie i odchylenie magnetyczne, więc aby zachować powyższą własność, paski nie mogą być ułożone pionowo, a muszą mieć kształt łukowaty. Także szerokość pasków musi ulegać zmianie. Ponieważ paski mają kształt łukowaty, prędkość odchylenia poziomego musi być niejednakowa. W celu uzyskania zmiany prędkości odchylenia sygnał odchylający poziomo moduluje się napięciem parabolicznym o częstotliwości odchylenia pionowego. W nowszych rozwiązaniach kineskopów typu "apple" przez zastosowanie niejednakowej szerokości pasków luminoforów oraz dzięki zmianie ułożenia trójek pasków uzyskano pionowe i prostoliniowe ich ułożenie.

Dla porównania zamieszczono schematyczne rysunki obrazujące sposoby rozmieszczenia pasków luminoforu w przypadku starego i nowego typu kineskopu /rys. 16 i 17/.

5. KINESKOP "BANANOWY"

Nowa telewizyjna lampa obrazowa, tzw. lampa "bananowa", opracowana wspólnie przez firmy Mullard i Philips pracuje z mechanicznym odchyleniem pionowym i przedsta-

wia sobą ciekawe rozwiązanie z punktu widzenia elektroniki. Nie jest wykluczone, że ten typ kineskopu znajdzie w przyszłości szersze zastosowanie do odtwarzania obrazów telewizji kolorowej.

Technologia produkcji i dopuszczalne tolerancje na poszczególne elementy nie są w tej lampie krytyczne i nie stwarzają specjalnie trudnych problemów produkcyjnych, w przeciwieństwie do trudności występujących przy produkowanych dla telewizji kolorowej kineskopach z maską.

Kineskop "bananowy" otrzymał swą nazwę w związku z kształtem balonu szklanego, który nie przedstawia typowego dla znanych kineskopów kształtu lejka, lecz konstrukcją przypomina wydłużoną butelkę lub banan. Lampa ma postać szklanego cylindra o średnicy 50 mm i o długości około 50 cm. Jeden koniec cylindra jest zamknięty szklanym denkiem, drugi przechodzi w cieńszą szyjkę i mieści w sobie wyrzutnię elektronową, podobną do wyrzutni współczesnych kineskopów. Na szyjce kineskopu jest umieszczona cewka skupiania magnetycznego i cewki odchylenia poziomego /linii/.

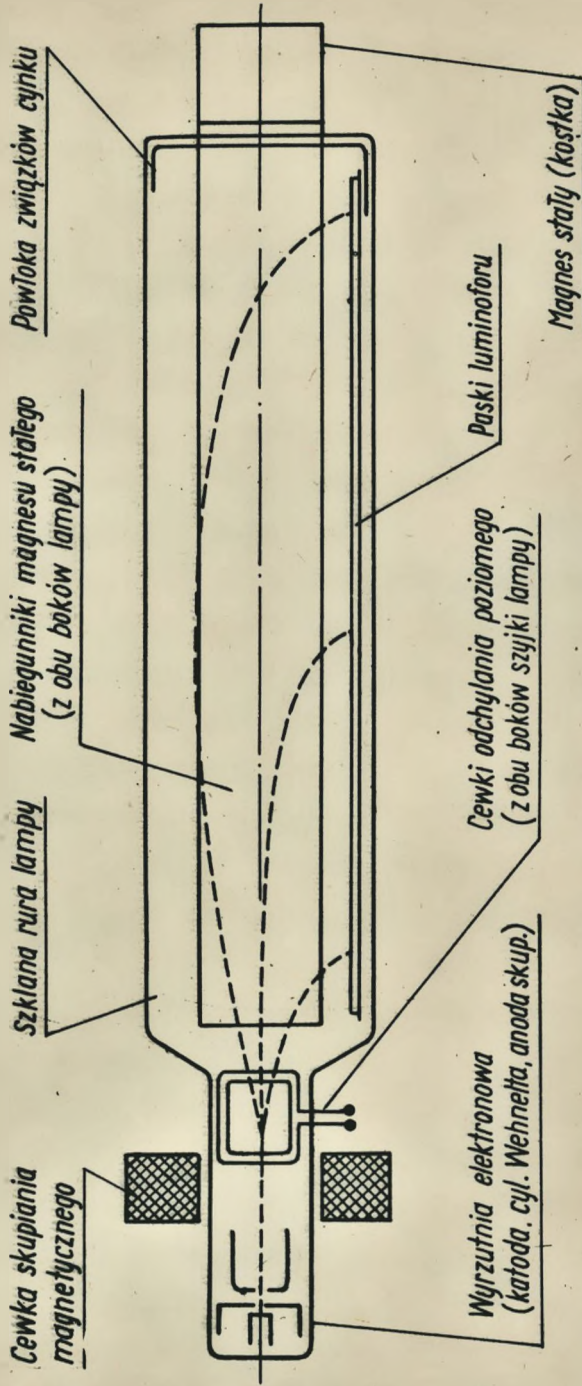
Wewnątrz cewki cylindrycznej jest umieszczony luminofor, rozłożony w formie czterech równoległych pasków, każdy o szerokości 2 mm i o długości 400 mm. Paski te są umieszczone obok siebie. Luminofor ma paski świecące czerwono, zielono i niebiesko dla odtwarzania obrazów telewizji kolorowej oraz skrajny pasek o białej poświacie, dla dobrego odtworzenia obrazu biało-czarnego. Wnętrze cylindrycznej części lampy, w okolicy jej denka,

jest powleczone przewodzącą warstwą tlenków cynku i stanowi anodę kineskopu zbierającą elektrony wytracone z luminoforu.

Cylindryczna część lampy zawierająca paski luminoforu jest umieszczona pomiędzy zewnętrznymi, długimi nabiegunnikami magnesu stałego, znajdującego się za denkiem lampy. Magnes ten wytwarza stałe pole magnetyczne przenikające poprzecznie przez cylindryczną część lampy. Dzięki istnieniu wspomnianego pola magnetycznego skupiony promień elektronowy zbacza i trafia na pasek luminoforu. Zależnie od chwilowej wartości natężenia pola cewek odchylenia linii promień wchodzi pod różnym kątem w stałe pole magnetyczne i skręcając trafia na pasek luminoforu coraz dalej, kreśląc na nim jedną linię obrazu. Zmiany intensywności świecenia luminoforu uzyskuje się powszechnie przyjętym sposobem, tzn. modulując prąd promienia elektronowego. Prąd wiązki elektronowej jest rzędu 3 mA, przy czym elektrony są przyspieszane napięciem 25 kV.

Budowę lampy i przebieg promienia elektronowego ilustruje rys. 18.

W przypadku odtwarzania obrazu telewizji kolorowej promień jest dodatkowo sterowany poprzecznie przez sinusoidalne pole magnetyczne pomocniczej cewki i przecina wszystkie trzy barwne paski luminoforu. Jednocześnie za pomocą elektronowego układu komutującego moduluje się natężenie prądu promienia i wywołuje świecenie paska luminoforu o odpowiednim kolorze poświaty, dla danego elementu obrazu. Istnieje też możliwość realizacji lampy mającej trzy równoległe wyrzutnie elektronowe.



----- Linia kropkowaną zaznaczono torę elektronów promienia

Rys. 18. Lampa "bananowa" - przekrój podłużny

W celu uzyskania obrazu telewizyjnego lampa jest umieszczona /wraz z magnesem i nabiegunnikami/ wewnątrz cylindra układu odchylenia pionowego. Cylinder ten wykonany z nieprzezroczystego, czarnego materiału ma trzy wzdlużne przecięcia /co 120° na obwodzie/, w które wmontowane są trzy cylindryczne soczewki szklane. Są to właściwie trzy pręciki szklane o długości takiej, jak paski luminoforu - to jest o długości 400 mm.

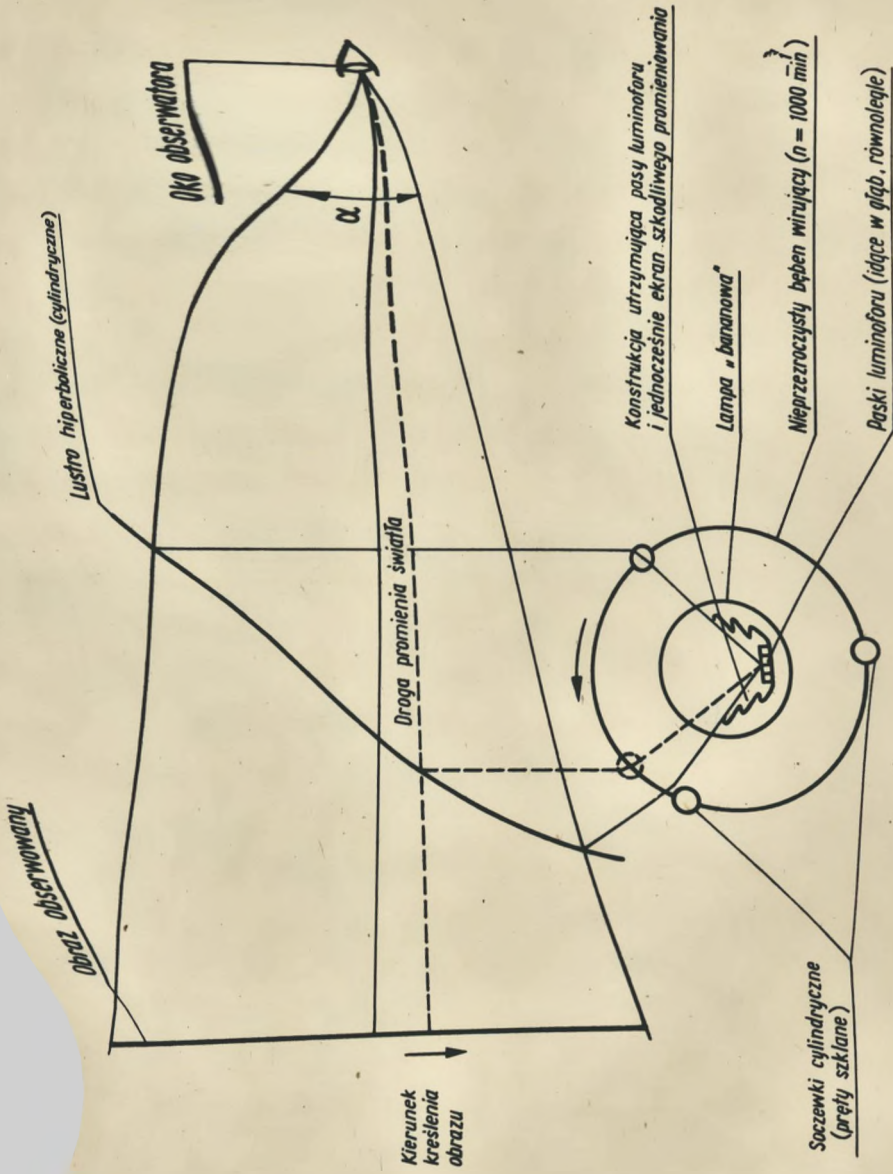
Cylinder wraz z prętami szklanymi wiruje z prędkością $n = 1000 \text{ min}^{-1}$, co daje 50 półobrazów /pól/ na sekundę^{1/}.

Obraz jest obserwowany za pośrednictwem specjalnego lustro hiperbolicznego, umieszczonego ponad wirującym bębnem, równoległe do osi lampy. Obserwator patrzący w lustro każdorazowo widzi odbicie tylko jednego pręta szklanego. Dzięki wirowaniu bębna z pręcikami odbicie świecącego paska luminoforu jest obserwowane w lustrze na zmiennej wysokości, jako kolejne linie obrazu telewizyjnego. Obroty bębna są zsynchronizowane z wybieraniem pola obrazu telewizyjnego.

Zasadę uzyskiwania obrazu wyjaśnia rys. 19.

Synchronizację obrotów bębna z impulsem synchronizacji pionowej uzyskuje się za pomocą fototranzystorów i wzmacniacza sterującego silnik obracający bęben. Właściwą fazę obrotów, warunkującą utrzymanie obrazu w ramce /bez przesunięcia w kierunku pionowym/ uzależnia się od impulsu wygaszania pionowego.

^{1/} Wynika to stąd, że 50 pól na sekundę daje 3000 na minutę, jeden zaś obrót cylindra mającego 3 soczewki cylindryczne rysuje 3 kolejne pola, a więc na 3000 wypada 1000 obrotów.



Rys. 19. Lampa "bananowa" - przekrój poprzeczny

Cechą charakterystyczną mechanicznego układu odchylenia pionowego jest niemożliwość gwałtownych przeskoków obrazu w pionie z windy urządzenia odbiorczego /przy typowych kineskopach spotykamy zrywanie synchronizacji pionowej/. Mamy tu do czynienia z układem wirującym o znacznym momencie bezwładności i może wystąpić jedynie równomierne - spokojne "płynięcie" obrazu w górę lub w dół, przy braku synchronizacji pionowej. Jednocześnie liniowość obrazu w kierunku pionowym jest stała, uzależniona od krzywizny lustra hiperbolicznego i wzajemnego ustawienia lustra oraz lampy z bębmem.

Mechaniczny układ odchylenia pionowego /właściwie układ do optycznego załamania i odbijania obrazu paska luminoforu/ jest dość skomplikowany i kosztowny. Jego trwałość ocenia się na około 10.000 godzin pracy, ze względu na zużycie łożysk i silnika. Trwałość lampy nie jest bliżej określona, jednak ze względu na bardzo intensywne bombardowanie luminoforu na obszarze wąskiego paska nie wydaje się zbyt wysoka.

Koszty produkcji lampy są oceniane jako 2,5 raza wyższe w porównaniu do kosztów typowego kineskopu biało-czarnego o przekątnej 53 cm i kącie odchylenia 110° . Jednocześnie, koszty produkcji kineskopu kolorowego z maską o równorzędnej wielkości ekranu są obecnie 3,2 razy wyższe.

Kineskop "bananowy" daje obraz o dużej kontrastowości i jaskrawości. Duży kontrast obrazu jest uzyskany dzięki temu, że obserwujemy przez lustro hiperboliczne ciemne /czernione/ wnętrza komory z bębmem, na tle któ-

rej rysuje się obraz. Zewnętrzne oświetlenie nie jest w stanie tak silnie zdekontrastować obraz, jak w typowych kineskopach. Firma Mullard przytacza następujące dane porównawcze:

Uzyskiwana kontrastowość obrazu	Kineskop "bananowy"	Kineskop z maską
a/ w ciemności	40 : 1	25 : 1
b/ przy oświetleniu 100 W żarówką 1,80 m od ekranu	32 : 1	7 : 1
c/ przy oświetleniu 100 W żarówką 0,9 m od ekranu	19 : 1	4 : 1

Dużą jaskrawość obrazu zawdzięcza się między innymi temu, że obserwuje się luminofor od strony bombardowania przez promień elektronowy, a nie jak w typowych kineskopach z przeciwnej strony. Podłoże odbijające pod luminoforem i reflektorki boczne poprawiają jaskrawość.

Wąska i długa konstrukcja kineskopu "bananowego" umieszczona równolegle pod ekranem, którego rolę pełni lustro hiperboliczne, pozwala na znaczne zmniejszenie wymiarów odbiornika telewizji kolorowej w porównaniu do wymiarów obecnie budowanych odbiorników z kineskopami maskowymi. Wymiary te wypadają tego rzędu, co wymiary współczesnego telewizora biało-czarnego z lampą o przekątnej 53 cm i kącie odchylenia 110° .

Opisana lampa bananowa daje obraz o wymiarach 400 x 300 mm, idealnie prostokątny, tj. bez zaokrągleń rogów i obcięć części obrazu charakterystycznych dla dotychczasowych kineskopów z kątem odchylenia 110° .

Konstrukcję lampy bananowej należy ocenić jako poważny krok naprzód w kierunku uproszczenia kineskopu do odtwarzania obrazów telewizji kolorowej.

6. PORÓWNANIE POSZCZEGÓLNYCH TYPÓW LAMP

Pomimo opracowania szeregu rozwiązań kineskopów do odtwarzania obrazu telewizji barwnej, praktyczne zastosowanie znajduje obecnie tylko jeden typ, mianowicie kineskop z maską.

Wynika to przede wszystkim stąd, że ten typ kineskopu został najlepiej rozpracowany technologicznie, co umożliwiło produkcję masową.

Drugim ważnym argumentem jest brak nazbyt krytycznych tolerancji utrudniających produkcję; bowiem ekran punktowy jest nanoszony metodą fotograficzną przez już ustawioną maskę w danym egzemplarzu lampy, błąd zaś ustawienia wyrzutni łatwo się koryguje systemem korekcji.

Wreszcie duża czystość odtwarzanych kolorów, możliwa do uzyskania przy właściwej regulacji, jak również możliwość odtworzenia obrazu kolorowego z trzech podstawowych sygnałów R G B bez przełączników elektronowych przemawiają na korzyść tego typu lampy.

Do wad kineskopu maskowego należy zaliczyć:

1/ skomplikowany układ do statycznej i dynamicznej regulacji współbieżności trzech promieni elektronowych;

2/ małą jaskrawość obrazu ze względu na duże straty prądu wiązki w masce;

3/ wysoki koszt kineskopu.

Lampa typu chromatron jest wolna od układu współbieżności, gdyż posiada tylko jeden promień elektronowy rysujący obraz.

Niestety wykazuje ona szereg wad, a mianowicie:

1/ obraz kolorowy ma niezbyt czyste kolory, z przewagą zieleni, gdyż pasków luminoforu zielonego jest dwukrotnie więcej niż każdego z pozostałych kolorów;

2/ system napiętych strun /prętów/ sterujących posiada skłonność do wibracji mechanicznych, np. mikrofonowania od dźwięku z głośnika, co prowadzi do niewłaściwego odtwarzania kolorów;

3/ wymagany jest komutator elektronowy do modulowania prądu wiązki z sygnałów R G B;

4/ wymagana jest duża moc sterująca w układzie prętów odchylających promień elektronowy na właściwy pasek luminoforu.

Pomimo tych wad obecnie wznowiono w USA prace nad udoskonaleniem lampy typu chromatron.

Kineskop typu "apple" mimo ciekawego rozwiązania również wykazuje szereg wad, z których najpoważniejszymi są:

1/ wiązka pomocnicza pobudza do świecenia luminofor, co prowadzi do pewnych zniekształceń kolorów, szczególnie na ciemniejszych partiach obrazu;

2/ wiązka główna wytrąca znaczne ilości elektronów wtórnych z pasków pomocniczych o dużej emisji wtórnej, stąd konieczność stosowania specjalnych ograniczników w obwodzie sygnału pilotującego;

3/ wymagany jest komutator elektronowy, podobnie jak przy chromatronie, dla właściwego modulowania prądu wiązki roboczej.

Konieczność zastosowania dodatkowych rozbudowanych układów lampowych oraz niedostateczne rozpracowanie technologiczne dla potrzeb produkcji uniemożliwiły szerokie zastosowanie kineskopu typu "apple".

Kineskop "bananowy" bardzo znacznie różni się od porównanych powyżej typów. Jego zasadniczą zaletą jest duża jasność i kontrastowość obrazu oraz brak układów do korekcji współbieżności. Posiada on jednak wadę podobną do chromatronu, mianowicie przy odtwarzaniu kolorów środkowy zielony pasek luminoforu jest przecinany przez wiązkę elektronową promienia dwukrotnie częściej niż skrajne, co wiąże się ze zniekształceniami odtwarzanych barw. Również wymagany jest skomplikowany komutator elektronowy do sterowania prądu promienia właściwym w danej chwili sygnałem R, G lub B.

Układ do mechanicznego odchylenia pionowego jest kosztowny i nie zawsze znajduje sympatyków w obecnym okresie rozwoju telewizji z wybieraniem elektronowym.

Tendencje rozwojowe lamp dla odtwarzania obrazów telewizji kolorowej wskazują wyraźnie jeden wspólny kierunek - usunięcie skomplikowanego systemu współbieżności wymaganego przez kineskop z maską. Jednak osiągnięte korzyści pociągają za sobą szereg innych wad. Obecnie najlepsze efekty, biorąc pod uwagę jakość obrazu kolorowego, daje metoda projekcji na wspólny ekran z trzech kineskopów odtwarzających obraz w trzech podstawowych kolorach

/R, G, B/. Metoda ta wydaje się być słuszna również w przypadku niedużych ekranów, gdyż kineskopy projekcyjne małej mocy są tanie i łatwe w produkcji, zastąpienie zaś elektrycznych układów współbieżności systemami mechanicznymi zapewnia dużą stałość w czasie i nie wymaga nadmiernej częstych regulacji.

WYKAZ LITERATURY

1. FINK D.G. - Television Engineering Handbook Knox Mc Ilwain; Charles E. Dean - Principles of Color Television.
2. KANIA J. - Kineskop kolorowy typu maskowego. Postępy Telekomunikacji nr 5/1960.
3. RÖDER H. - Chemigrafische Probleme in der Farbbildröhrentechnik als Beispiele moderner komplexer Technologie; Nachrichtentechnik nr 7/1960.
4. ANGAFOROW A.P. - Sowremieniennye prijomnyje trubki dla cwiernogo telewidiensa - Technika Kino i Telewidienja nr 2/62.
5. DRESSLER R. - The PDF Chromatron - A Single or Multi Gun Tri - Color Cathode Ray Tube - Proc. IRE Vol. 41, nr 7/53.
6. BARNETT G.F. i inni - A Beam Indexing Color Picture Tube - The Apple Tube - Proc. IRE Vol. 44, nr 9/56.
7. PAYNE D. i inni - Recent Improvements in the Apple Beam- Indexing Color Tube - IRE National Conv. Rec. part. 3/57.

8. Dr SCHAGEN P., EASTWELL B.A., FREEMAN K.G., HOWDEN H., JACKOS R.N. und OVERTON B.R. - Banana Tube - Proc. Inst. Electr. Eng.; Vol. 108, part. B, 1961.
9. Dr ing. NEIDHARDT P. - Nach der "Appel" Röhre zum die "Bananen" Röhre für Farbfernseh-Bildwiedergabe - Radio und Fernsehen nr 1/62.
10. Anonim - Banana Tube Colour Television Display - Wireless World, July 61 pp. 351-352.
- A new Technique for Color Television Engineering 9/61 pp. 814-815.

