

Rys. 2. Układ zasilania lampy oscyloskopowej

satora C1. Kondensator C1 należy dobrać z zakresu 4,7...22 nF (typowo 10 nF) tak, aby uzyskać maksymalne napięcia przy zachowaniu dobrej sprawności układu. Napięcia po stronie wtórnej transformatora są prostowane za pomocą diod D1 i D2. Filtrację napięcia wyjściowego zapewniają kondensatory elektrolityczne C3 i C4. Przetwornica jest wyposażona w układ stabilizacji napięcia wyjściowego. Zadanie to jest realizowane poprzez gałąź sprzężenia z tranzystorem T2 i diodami Zenera DZ1 i DZ2. Układ stabilizacji utrzymuje stałe wartości napięć wyjściowych przy zmianach napięcia zasilania oscyloskopu oraz zmianach obciążenia (zmiany jasności oglądanych przebiegów), a także zabezpiecza elementy oscyloskopu po jego włączeniu, w czasie nagrzewania się lampy oscyloskopowej i lamp wzmacniaczy odchylenia.

Przetwornica dostarcza dodatkowo napięcia anodowego dla lamp wzmacniaczy i lampy oscyloskopowej oraz ujemnego napięcia do zasilania obwodów lampy oscyloskopowej. Opcjonalnie, po nawinięciu na transformatorze dodatkowego uzwojenia, może dostarczać napięcia żarzenia lampy oscyloskopowej.

Dobrą filtrację oraz „sztywność” napięcia wyjściowego zapewniają odpowiednio duże wartości pojemności

- N1 – 12 zwojów 0,8 DNE
- N2 – 36 zwojów 0,25 DNE
- N3 – 200...250 zwojów 0,15 DNE

Transformator wykonano ze szczeliną powietrzną dobraną doświadczeniowo (około 0,1 mm). Tranzystor umieszczono na niewielkim radiatorze przykręconym do metalowej obudowy oscyloskopu. Dławik w obwodzie zasilania przetwornicy wykonano w postaci kilku zwojów drutu 0,8 DNE na pręciku ferrytowym o średnicy 2 mm i długości 15 mm.

Układ zasilania lampy oscyloskopowej. Układ zasilania lampy oscyloskopowej jest pokazany na rys. 2. Dostarcza on niezbędnych napięć zapewniających prawidłową pracę lampy. Umożliwia regulację jasności, ostrości (potencjometry P5 i P6) oraz przesuwanie obrazu w pionie i poziomie (potencjometry P7 i P8). W związku z tym, że oscyloskop pracuje tylko dla napięć zmiennych, możliwe jest zrezygnowanie w prostszej wersji z przesuwu w pionie i w poziomie, zastępując potencjometry stałymi rezystorami. Sumaryczne napięcie zasilające lampę wynosi około 500 V (pobór prądu około 1 mA). Napięcie to jest sumą napięć dodatniego i ujemnego dostarczanego z przetwornicy. Rezystor R13 umożliwia zmianę napięcia

na wyjściu układów prostowniczych oraz zastosowanie układu stabilizacji. W przetwornicy wykorzystano własnoręcznie wykonany transformator na rdzeniu kubkowym AL6700 o średnicy 30 mm i wysokości 20 mm.

Dane uzwojeń są następujące:

zasilającego lampę oscyloskopową, co pozwala na zmianę jej czułości.

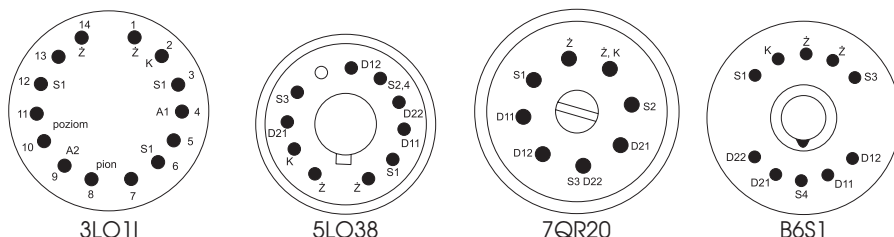
Do żarzenia lampy oscyloskopowej (6,3 V/0,6 A) zastosowano główne napięcie zasilające 12 V, po połączeniu szeregowo z równolegle połączonymi żarzeniami lamp E180 (lampy wzmacniaczy odchylenia), co jest pokazane na rys. 2. Układ taki można stosować tylko dla lamp oscyloskopowych, w których żarzenie jest odizolowane od katody – dla pozostałych lamp należy zastosować oddzielne uzwojenie nawinięte na transformatorze przetwornicy.

Dla uzyskania równomiernego napięcia przyśpieszającego oraz ekranowania lampy oscyloskopowej od silnych pól elektrycznych i magnetycznych zastosowano ekran w postaci cylindra wykonanego z blachy stalowej o grubości około 1 mm. Ekran jest podłączony do masy oscyloskopu, co powoduje, że znajduje się na potencjale dodatnim względem katody.

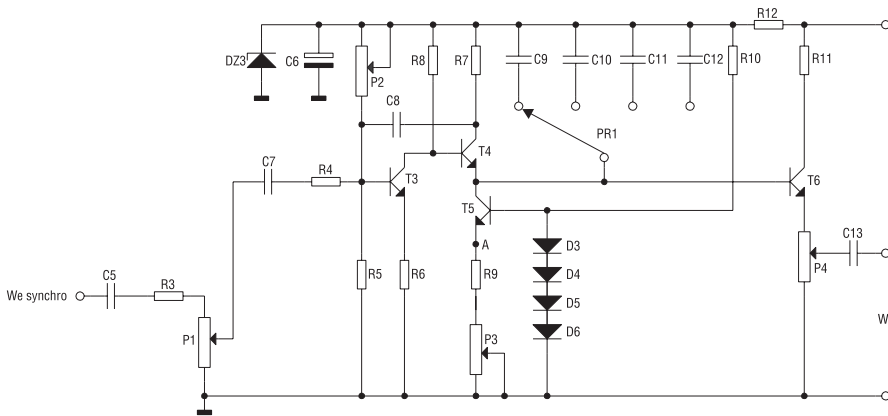
Do budowy oscyloskopu zastosowano jedną z najmniejszych lamp oscyloskopowych – lampę produkcji rosyjskiej 3ŁO1I, ale można również stosować inne dostępne lampy. Znakomitym źródłem zaopatrzenia mogą być giełdy elektroniczne lub sklepy typu „BOMIS”, gdzie za kilkanaście złotych można kupić nową lampę.

Podstawowe parametry najczęściej spotykanych lamp oscyloskopowych podano w tab. 1. Cokoły lamp są przedstawione na rys. 3.

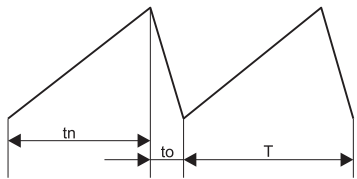
Generator podstawy czasu. Generator pracuje w układzie wolnobieżnym. Jego schemat jest przedstawiony na rys. 4. W układzie do tworzenia przebiegów piłokształtnych, niezbędnych do liniowego odchylenia wiązki elektronów w lampie oscyloskopowej, wykorzystano zjawisko ładowania i rozładowania kondensatora. Zasadniczą część generatora tworzy multiwibrator astabilny zbudowany na tranzystorach T3 i T4. W czasie roboczego cyklu (ładowania kondensatora) tranzystor T4 jest zatkany, a T3 przewodzi. Czas ładowania t_n zależy od pojemności kondensatora (C9...C12) oraz prądu ładowania wynikającego z ustawienia potencjometru P3. Po naładowaniu się kondensatora, tranzystor T4 przechodzi w stan przewodzenia, a T3 w stan zatkania, dzięki zmianie wartości napięcia na emiterze tranzystora T4 oraz sprzę-



Rys. 3. Cokoły lamp oscyloskopowych (oznaczenia producentów)



Rys. 4. Generator podstawy czasu



Rys. 5. Przykład przebiegu piłokształtnego

zeniu zwrotnemu zrealizowanemu poprzez kondensator C8. Następuje cykl opadania (rozładowanie kondensatora), którego czas t_o jest bardzo krótki w stosunku do cyklu roboczego.

Aby zapewnić dużą liniowość napięcia piłokształtnego, ładowanie kondensatora odbywa się ze źródła prądowego zbudowanego na tranzystorze T5. Wydajność źródła zależy od wartości napięcia na emiterze tranzystora (ustawianego na jego bazie – diody D3...D6) oraz wartości rezystancji w obwodzie emitera. Właściwy kształt napięcia piłokształtnego w całym zakresie przesłajania jest korygowany potencjometrem P2.

Na bazę tranzystora T3 są podawane impulsy synchronizujące uzyskane z badanych przebiegów poprzez ich zróżniczkowanie (elementy C5, R3, P1). Potencjometrem P1 regulujemy moment „zaskoku” synchronizacji.

Cały generator, z wyjątkiem wyjściowego wtórnika emiterowego, jest zasilany stabilizowanym napięciem

+10 V. Zastosowanie na wyjściu wtórnika emiterowego zmniejsza obciążanie generatora i pozwala na łatwą regulację napięcia wyjściowego (potencjometr P4). Napięcie wyjściowe można regulować w zakresie 0...5 Vpp. Bardzo krótki czas opadania impulsu piłokształtnego powoduje, że powrót strumienia elektronów w lampie nie jest praktycznie widoczny, dlatego układ wygaszania powrotu staje się zbędny. Na rys. 5 przedstawiono przykładowy przebieg piłokształtnego napięcia odchylenia z oznaczeniami czasów trwania poszczególnych odcinków przebiegu.

Okres powtarzania impulsów napięcia piłokształtnego T i czas jego narastania t_n zależą od wartości parametrów obwodu ładowania pojemności C (C9...C12) przez rezystancję R_a (R9+P3). W rozpatrywanym przypadku, gdy $t_n \gg t_o$ można z wystarczającą dokładnością przyjąć, że $T = t_n$. Przy ładowaniu kondensatora o pojemności C obowiązują następujące zależności:

$$C = Q/U \text{ i } Q = I \cdot t$$

$$\text{stad } t = C \cdot U / I$$

W rozpatrywanym układzie $I_a = U_d / R_a$, zatem $t_n = R_a \cdot C \cdot U / U_a$, a przy założeniu, że $U / U_a = 3$ otrzymujemy zależność na okres powtarzania impulsów napięcia piłokształtnego:

$$T = 3 \cdot R_a \cdot C$$

gdzie:

T – okres przebiegu piłokształtnego, $T = 1/f$ (f – częstotliwość przebiegu piłokształtnego),

C – pojemność w obwodzie ładowania,

U – napięcie do jakiego naładuje się kondensator (w naszym przypadku około 5 V)

U_a – napięcie w punkcie A (w naszym przypadku około 1,65 V)

R_a – rezystancja pomiędzy punktem A i masą (750 Ω...23 kΩ)

I_a – prąd ładowania – $I_a = U_a / R_a$

Q – ładunek elektryczny

t_n – czas narastania,

t_o – czas opadania,

Dla przypadku $C9 = 1 \mu F$ i $R_a = R9 + P3 = 22 \text{ k}\Omega$ (przełącznik Pr1 na pozycji 1 i potencjometr P3 w prawym skrajnym położeniu) okres napięcia piłokształtnego T wynosi ok. 65 ms, czyli częstotliwość f wynosi ok. 15 Hz, co zgadza się ze zmierzoną wartością częstotliwości generatora podstawy – zgodnie z parametrami podanymi na wstępie. Przy najwyższej częstotliwości generatora występuje różnica wartości obliczonej w stosunku do częstotliwości zmierzonej, wynikająca między innymi z pojemności montażowych.

Wzmacniacze napięć odchyłających. Do wzmacniania oglądanych sygnałów służy jednostopniowy wzmacniacz wykonany na lampie E180F. Schemat wzmacniacza jest przedstawiony na rys. 6a.

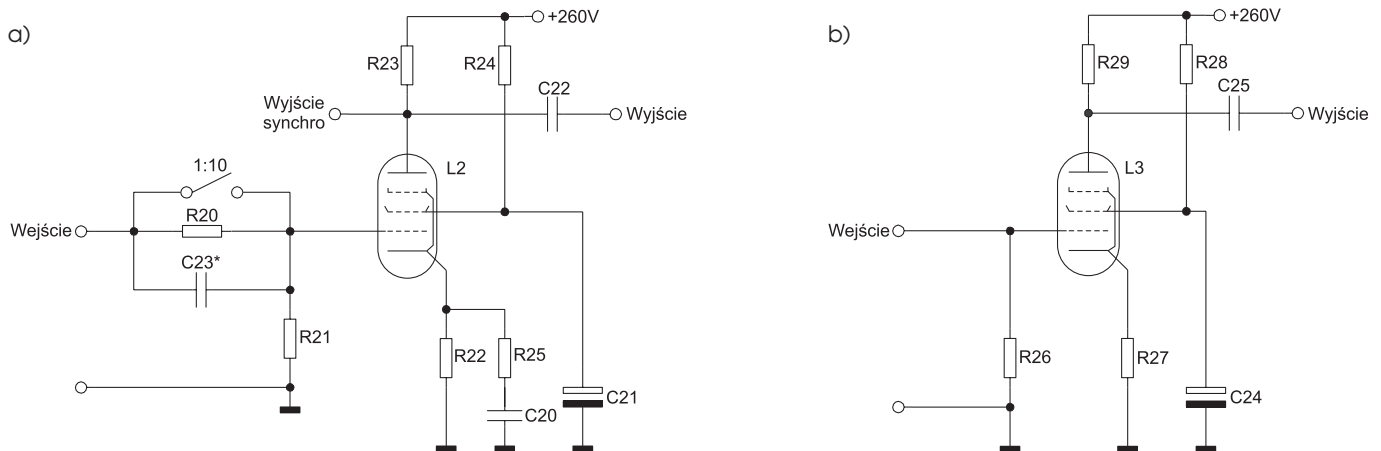
Wzmacniacz posiada ujemne sprzężenie zwrotne w obwodzie katody, co powoduje niewielki spadek wzmocnienia, jednocześnie poszerzając pasmo przenoszenia wzmacniacza. Wzmocnienie wzmacniacza możemy zmieniać poprzez zmianę wartości rezystancji w obwodzie katody i anody. W obwodzie katody zastosowano korekcję wzmocnienia dla wyższych częstotliwości w postaci dwójnika R25 i C20 (można nie stosować). Z anody lampy L2 sygnał jest podawany na płytki odchyłające (odchylenia pionowego) oraz do układu synchronizacji.

Wzmocnienie napięcia piłokształtnego realizuje wzmacniacz odchylenia poziomego przedstawiony jest na rys. 6b. Układowo jest on podobny do wzmacniacza odchylenia pionowego. Różnica polega na braku korekcji w obwodzie katody oraz dzielnika na wejściu. Pasma przenoszenia tego wzmacniacza jest mniejsze, ale wystarczające dla właściwego przenoszenia przebiegów piłokształtnych.

Wzmacniacze wykonane zostały w technice lampowej. Podyktowane to było łatwym rozwiązaniem sposobu żarzenia lampy oscyloskopowej, a także prostotą układową wzmacniacza lampowego, przy zachowaniu dobrych parametrów technicznych. Dobre parametry opisanych układów wynikają z zastosowania lamp E180F tzw. „złotej serii”, skonstruowanych specjalnie dla wzmacniaczy szerokopasmowych.

Tab. 1. Parametry techniczne lamp oscyloskopowych

Typ lampy oscyloskopowej	Średnica ekranu	Typowe napięcie anodowe	Napięcie żarzenia	Prąd żarzenia
3Ł011	30 mm	450 V	6,3 V	0,6 A
5Ł038I	50 mm	550 V	6,3 V	0,6 A
B6S1	58 mm	400 V	4 V	0,7 A
7QR20	70 mm	550 V	6,3 V	0,6 A



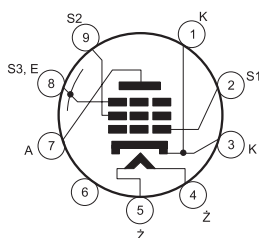
Rys. 6. Wzmacniacz a) odchylenia pionowego, b) odchylenia poziomego

Zamiast wzmacniaczy lampowych możliwe jest wykonanie równoważnych wzmacniaczy tranzystorowych. Jest to szczególnie uzasadnione wtedy, gdy zależy nam na oszczędności energii (żarzenia lamp E180F pobierają razem ok. 4 W). Schemat wzmacniacza w wersji tranzystorowej przedstawiony jest na rys. 8.

Opisany układ został wykonany i sprawdzony praktycznie. Zamiast tranzystora BUX87 można zastosować popularne tranzystory serii BF458-9 lub inne występujące we wzmacniaczach wizji odbiorników telewizyjnych. Dzięki zastosowaniu na wejściu tranzystora polowego typu MOSFET, układ charakteryzuje się dużą impedancją wejściową i dużym wzmocnieniem. Dwójnik RC 39 Ω i 10 nF zapewnia korekcję wzmocnienia dla wyższych częstotliwości. Wzmocnienia można regulować zmieniając napięcie na drugiej bramce tranzystora polowego za pomocą rezystora nastawnego 470 kΩ.

Opis budowy mechanicznej

Obudowę przyrządu wykonano z blachy stalowej o grubości 0,5 mm. Dwa elementy w kształcie litery „U” tworzą jej podstawę i pokrywę. Taka obudowa jest łatwa do wykonania i zapewnia jednocześnie odpowiednią sztywność. Można oczywi-



Rys. 7. Cokół lampy E180F

ście wykorzystać gotową obudowę, np. jedną z oferowanych przez EP. Wielkość obudowy jest zależna od posiadanej lampy oscyloskopowej oraz pozostałych elementów. Do podstawy obudowy przymocowano transformator przetwornicy, radiator tranzystora, wzmacniacze odchylenia, łączówki i płytkę generatora podstawy czasu, a do płyty czołowej lampę oscyloskopową, elementy

komutacyjne i regulacyjne. Generator podstawy czasu zmontowano na płytce uniwersalnej, a resztę montażu elektrycznego wykonano jako przestrzenny, zachowując zasadę możliwie jak najkrótszych połączeń. Szczególną uwagę poświęcono prowadzeniu masy, która powinna być wykonana grubym przewodem i powinna być podłączona do obudowy tylko w jednym miejscu, najlepiej

Wykaz elementów

Rezystory (moc 0,25 W jeśli nie podano inaczej)

- R1: 820 Ω/2 W
- R2: 10 kΩ
- R3: 240 kΩ
- R4: 3,3 kΩ
- R5: 27 kΩ
- R6: 430 Ω
- R7: 110 Ω
- R8: 4,7 kΩ
- R9: 750 Ω
- R10: 33 kΩ
- R11: 22 Ω
- R12*: 100 Ω
- R13*: 51 kΩ
- R14, R15: 390 kΩ
- R16, R17: 1 MΩ
- R18, R19: 110 kΩ
- R20: 5 MΩ
- R21, R26: 0,5 MΩ
- R22, R27: 110 Ω/0,5 W
- R23, R29: 12 kΩ/2 W
- R24, R28: 51 kΩ/1 W
- R25: 47 Ω

Potencjometry

- P1: 47 kΩ/0,5 W potencjometr liniowy
- P2: 220 kΩ rezystor nastawny
- P3: 22 kΩ rezystor nastawny
- P4: 3,3 kΩ rezystor nastawny
- P5: 150 kΩ/0,5 W potencjometr liniowy
- P6: 390 kΩ/0,5 W potencjometr liniowy
- P7, P8: 220 kΩ/0,5 W potencjometr liniowy

Kondensatory

- C1, C7, C11: 10 nF foliowy
- C2, C6: 100 μF/16 V
- C3, C4, C21, C24: 10 μF/450 V
- C5: 2,7 nF foliowy
- C8: 47 nF foliowy
- C9, C13: 1 μF MKSE
- C10: 100 nF MKSE
- C12: 1 nF foliowy
- C14...C19, C22, C25: 0,33 μF/400 V (najlepiej foliowy polipropylenowy)
- C20, C21: 1 nF ceramiczny
- C23*: 1 pF ceramiczny

Półprzewodniki

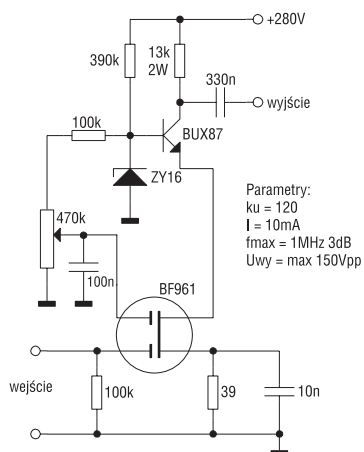
- D1, D2: BA159
- D3...D6: 1N4007
- DZ1: ZY120V
- DZ2: ZY150V
- DZ3: ZY10V
- T1: 2N3055 –na radiatorze według opisu
- T2, T6: BSX59
- T3...T5: 2N2369 (w przypadku trudności w uzyskaniu można zastąpić BC107)

Lampy elektronowe

- L1: 3ŁO11 lub inna podobna lampka oscyloskopowa zgodnie z opisem
- L2, L3: E180F (można zastąpić 6Ż9P lub „słabszą” popularną EF80)

Inne

- TR1: transformator przetwornicy wg opisu
- Dł1: dławik według opisu
- Pr1: przełącznik czteropozycyjny gniazdka wejściowe i zasilania oraz gałki



Rys. 8. Tranzystorowy wzmacniacz odchylenia pionowego/poziomego

w pobliżu zasilacza. Bardzo ważne jest połączenie jak najkrótszym odcinkiem przewodu generatora podstawy czasu i wzmacniacza odchylenia poziomego. Niespełnienie tego warunku powoduje zniekształcenie przebiegu piłozębnego. Należy unikać zamykania pętli masy, dlatego należy zwrócić szczególną uwagę na dobre odizolowanie od obudowy takich elementów jak gniazdko, kondensatory elektrolityczne i tranzystor przetwornicy, który jest montowany na podkładce izolacyjnej. Podczas montażu należy uwzględnić nagrzewanie się niektórych elementów, a także zasady ergonomicznego montażu elementów regulacyjnych.

Montaż i uruchomienie

Montaż i uruchomienie przyrządu należy wykonywać etapami. Pracę rozpoczynamy od przetwornicy. Po wykonaniu montażu i sprawdzeniu poprawności połączeń możemy podłączyć do niej zasilanie. Uruchomienie przetwornicy przeprowadzamy przy obniżonym napięciu zasilania do ok. 6 V i odłączonej pętli stabilizacji napięcia (diody Zenera DZ1 i DZ2). Jeżeli przetwornica „startuje” prawidłowo, na wyjściu powinny pojawić się napięcia. Jeżeli nie startuje, należy zamienić między sobą końcówki uzwojeń obwodu kolektora lub bazy. Po starcie prze-

twornicy należy zmierzyć napięcia wyjściowe i jeżeli moduł napięcia ujemnego jest większy od napięcia dodatniego, należy zamienić między sobą końcówki uzwojenia wyjściowego tak, aby napięcie dodatnie było większe. Następnie regulujemy wielkość szczeliny transformatora oraz dobieramy pojemność kondensatora C1 tak, aby uzyskać maksymalne napięcia wyjściowe przy minimalnym poborze prądu. Po wstępnym zestrojeniu podłączamy pętlę stabilizacji napięcia i zwiększamy napięcie zasilania do 12 V. Napięcia na wyjściu przetwornicy powinny być zbliżone do napięć podanych w **tab. 2**. Tak zestrojona przetwornica jest gotowa do pracy.

Następnie przystępujemy do montażu układu zasilania lampy oscyloskopowej. Po wykonaniu montażu układu podłączamy go do przetwornicy, a żarzenie lampy oscyloskopowej do odpowiedniego (w zależności od typu lampy) źródła zasilania. Potencjometry regulacyjne ustawiamy w środkowym położeniu. Jeżeli wszystko jest poprawnie zmontowane, powinniśmy na ekranie lampy oscyloskopowej zobaczyć „rozmytą” świecącą plamkę. Jej położenie, ostrość i jaskrawość ustawiamy potencjometrami.

Powyższe czynności wykonujemy bardzo ostrożnie starając się nie ogniskować plamki, gdyż ostra, silnie świecąca plamka, przy braku napięć odchyłających, może spowodować wypalenie luminoforu lampy oscyloskopowej.

W kolejnym etapie wykonujemy montaż generatora podstawy czasu. Od staranności montażu i stosowania elementów dobrej jakości zależy praca całego oscyloskopu. Zaleca się stosowanie kondensatorów (C9...C12) wykonanych z folii polipropylenowej. Poprawnie zmontowany i wyregulowany generator powinien spełniać wymagania dotyczące częstotliwości, amplitudy i kształtu przebiegu na wyjściu. Do wysterowania wzmacniacza odchylenia poziomego wystarczy sygnał o amplitudzie około 3 Vpp, należy więc potencjometr P4 ustawić w 3/4 obrotu.

Po zmontowaniu wzmacniaczy odchylenia poziomego i pionowego należy wszystkie układy połączyć ze sobą, zgodnie z oznaczeniami na schematach. Jako gniazdo wejściowe zastosowano gniazdo typu „cinch” połączone bezpośrednio z wejściem wzmacniacza odchylenia pionowego.

Po wykonaniu końcowego montażu włączamy zasilanie i jeszcze raz sprawdzamy napięcia oraz poprawność działania elementów pomiarowych, regulacyjnych i komutacyjnych. Na ekran lampy oscyloskopowej naklejamy wykonaną z przezroczystej folii siatkę o odstępach linii równych 5 mm. Następnie przystępujemy do końcowego zestrojenia oscyloskopu. W tym etapie należy ustawić:

- czułość oscyloskopu poprzez zmianę w niewielkich granicach wartości rezystorów R22 i R23 wzmacniacza odchylenia pionowego oraz dobór rezystora R13 w układzie zasilania lampy oscyloskopowej (należy ustawić czułość 0,5 V, albo 1 V na działkę).
- amplitudę sygnału odchylenia poziomego regulując potencjometrem tak, aby świecąca linia wypełniała z lekkim nadmiarem całą szerokość ekranu, dbając jednocześnie, aby nie dopuścić do przesterowania wzmacniacza odchylenia poziomego. Korzystając z generatora funkcyjnego sprawdzamy i ustawiamy zakres regulacji generatora napięcia piłozębego (poprzez obserwację przebiegu na ekranie lampy oscyloskopowej) oraz dokonujemy wstępnego skalowania przełącznika Pr1 i potencjometru P3. Tak wykonany i wyregulowany oscyloskop jest gotowy do pracy.

Możliwości rozbudowy oscyloskopu

W zależności od posiadanych elementów i oczekiwanych rezultatów istnieje możliwość rozbudowy oscyloskopu. Możliwe jest wprowadzenie następujących nowych rozwiązań:

- zamiana lampy oscyloskopowej na większą, co zapewni większy komfort i dokładność odczytu parametrów przebiegów na ekranie,
- zastosowanie symetrycznych wzmacniaczy odchylenia pionowego i poziomego, co poprawi parametry elektryczne oscyloskopu i zmniejszy zniekształcenia oglądanych przebiegów,
- wykonanie bardziej rozbudowanego układu dzielników wejściowych,
- wykonanie dodatkowych wejść dla wzmacniacza odchylenia poziomego, synchronizacji zewnętrznej oraz modulacji jasności plamki.

Stanisław Maleczek

Tab. 2. Parametry techniczne przetwornicy (napięcia podane pod obciążeniem)

Obwody	Napięcie	Wydajność prądowa
Napięcia dodatniego	+260 V	20 mA
Napięcia ujemnego	-260 V	1 mA