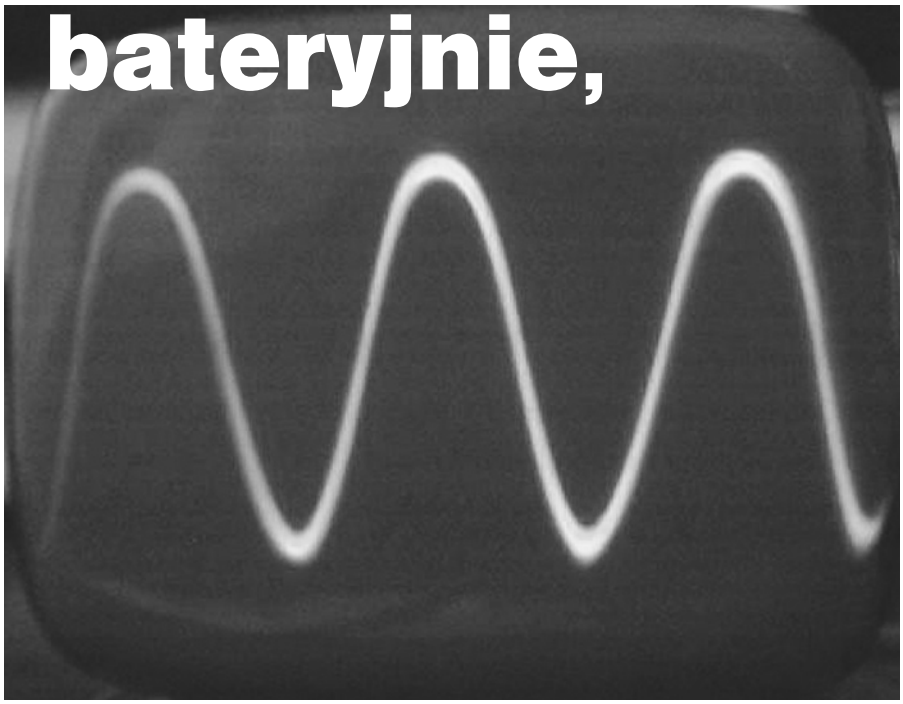
Analogowy oscyloskop zasilany bateryjnie, część 1



Zdarza się, że przydałby się oscyloskop przenośny, niezależny od zasilania sieciowego. Są co prawda kieszonkowe oscyloskopy cyfrowe i mimo swych niewątpliwych zalet (zapamiętywanie przebiegów, dodatkowe pomiary) mają jedną wadę: są dość drogie.

Rekomendacje:

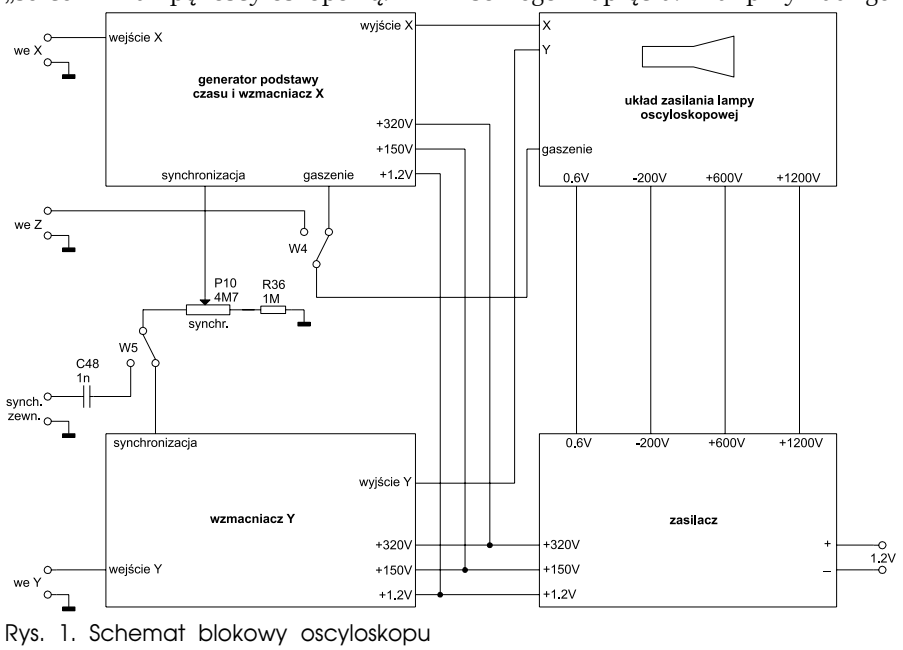
projekt o charakterze historyczno – hobbystyczno – użytkowym i to mimo tego, że budowa analogowego oscyloskopu na lampach może wydawać się współczesnym zaawansowanym szaleństwem…

W minionej epoce amatorskie konstruowanie oscyloskopów było dość częste. Widziałem na własne oczy wymyślne konstrukcje tego typu, przy czym ich wymyślność była tym większa im mniej części konstruktor miał do dyspozycji. Obecnie konstruowanie złożonego oscyloskopu z lampą obrazową po prostu nie opłaca się. Budowa prostego, ale dość funkcjonalnego oscyloskopu może się jednak kalkulować, o ile będziemy mieć jego „serce” – lampę oscyloskopową.

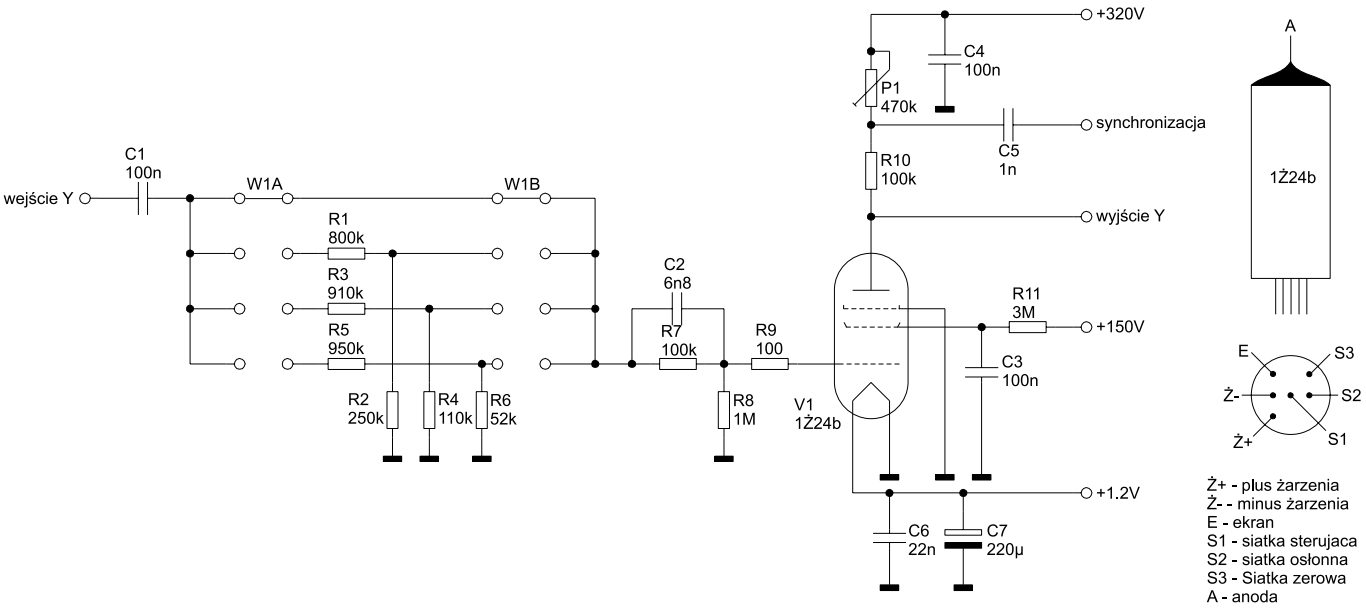
Parametry przyrządu są niezłe jak na urządzenie lampowe. Dokładnie rzecz biorąc, jest to oscyloskop lampowo – tranzystorowy. Paradoksalnie, użycie lamp okazało się ekonomiczne, gdyż przy dużej funkcjonalności przyrządu wystarczyło zastosować 2 miniaturowe lampy o małym prądzie żarzenia (około 11…15 mA/lampę). Lampy, jakkolwiek nieekonomiczne, biorąc pod uwagę żarzenie pobierają jednak niewiele prądu ze źródła wysokiego napięcia. Na przykład ge-

PODSTAWOWE PARAMETRY

- Pobór prądu 1,2...1,5 V/260 mA (około 400 mW)
- Napięcie przyspieszające lampy oscyloskopowej około 1200 V
- Ekran z długą poświatą o wymiarach 3x4 cm
- Podstawa czasu – 10 zakresów: 20 ms/cm, 10 ms/cm, 5 ms/cm, 2 ms/cm, 1 ms/cm, 500 μs/cm, 200 μs/cm, 100 μs/cm, 50 μs/cm, 20 μs/cm; w każdym zakresie płynne przestrajanie w stosunku 1:2
- Synchronizacja bezpośrednia (wewnętrzna lub zewnętrzna)
- Wejście Y o czułości 0,2 V/cm z 4 dzielnikami wejściowymi: 1:1, 1:5, 1:10, 1:20
- Impedancja wejściowa 1 MΩ
- Pasmo przenoszenia 200 kHz
- Tryb pracy X–Y (czułość wejścia X około 0,5 V/cm)
- Wejście modulacji jaskrawości (oś Z)



Rys. 1. Schemat blokowy oscyloskopu



Rys. 2. Schemat elektryczny wzmacniacza toru Y

nerator odchylania poziomego pobiera około 300 µA. W oscyloskopie pracują 2 tranzystory w układach przetwornic.

Schemat blokowy oscyloskopu znajduje się na **rys. 1**. Pokrótce zostaną opisane funkcje poszczególnych bloków.

Wzmacniacz Y (wzmacniacz odchylania pionowego) wzmacnia badany przebieg do takiego poziomu, by był on dobrze widoczny na ekranie oscyloskopu. Dostarcza on także sygnał synchronizacji, potrzebny do pracy generatora podstawy czasu. Wzmocnienie wzmacniacza Y jest regulowane dzielnikiem wejściowym (4 położenia).

Generator podstawy czasu dostarcza piłokształtnego napięcia przesuwającego plamkę świecącą na ekranie lampy w poziomie. Dzięki piłokształtnemu napięciu odchylania plamka przesuwa się z jednostajną prędkością w poziomie. Prędkość plamki może być zmieniana przez zmianę częstotliwości przebiegu piłokształtnego. Częstotliwość ta jest regulowana skokowo (10 podstaw czasu) oraz płynnie. Generator może być przekształcony na wzmacniacz toru X (11 położenie przełącznika zakresu podstaw czasu). Do oscyloskopu może być wówczas podany przebieg odchylania poziomego z zewnętrznego źródła. Generator podstawy czasu dostarcza także impulsy gaszenia powrotów (podawane na siatkę pierwszą lampy oscyloskopowej). Gdy plamka osiągnie brzeg ekranu (gdy wystąpi maksymalna lub minimalna wartość napięcia piłokształtnego) musi szybko powrócić na początek ekranu. Podczas tego

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory (wszystkie mogą być 0,25 W. Autor stosował 0,6 W/1%)

R1: 800 kΩ
R2: 250 kΩ
R3: 910 kΩ
R4: 110 kΩ
R5: 950 kΩ
R6: 52 kΩ
R7, R10, R17, R18, R21: 100 kΩ
R8, R15, R22, R31, R36: 1 MΩ
R9: 100 Ω
R11: 3 MΩ
R14, R19: 470 kΩ
R12, R13, R16: 200 kΩ
R24: 9,1 MΩ
R25: 15 MΩ
R26: 56 kΩ
R32, R33: 2,2 MΩ
R20, R23, R30: 4,7 MΩ
R28, R29: 2 MΩ
R34, R35: 1 kΩ

Kondensatory

C1, C3, C4, C31, C38: 100 nF/400 V
C2: 6,8 nF/250 V
C5, C8, C30: 1 nF/400 V
C6, C37, C46: 22 nF/50 V
C7, C32, C45: 220 µF/6 V
C9: 180 pF/200 V
C10: 220 pF/200 V
C11: 470 pF/200 V
C12: 1 nF/200 V
C13: 2,2 nF/200 V
C14: 4,7 nF/200 V
C15: 10 nF/200 V
C16: 22 nF/200 V
C17: 33 nF/200 V
C18: 68 nF/200 V
C19: 6,8 pF/400 V
C20: 27 pF/400 V
C21: 51 pF/400 V
C22: 100 pF/400 V
C23: 150 pF/400 V
C24: 200 pF/400 V
C25: 750 pF/400 V
C26: 1,5 nF/400 V
C27: 3,3 nF/400 V
C28: 6,8 nF/400 V
C29: 100 nF/250 V
C33: 22 nF/400 V
C34, C39, C47: 4,7 µF/400 V
C35, C36: 66 nF/1500 V (wg opisu lub lepiej 100 nF/1500 V)
C40...C43: 100 nF/1000 V
C44: 100 nF/50 V

Lampy

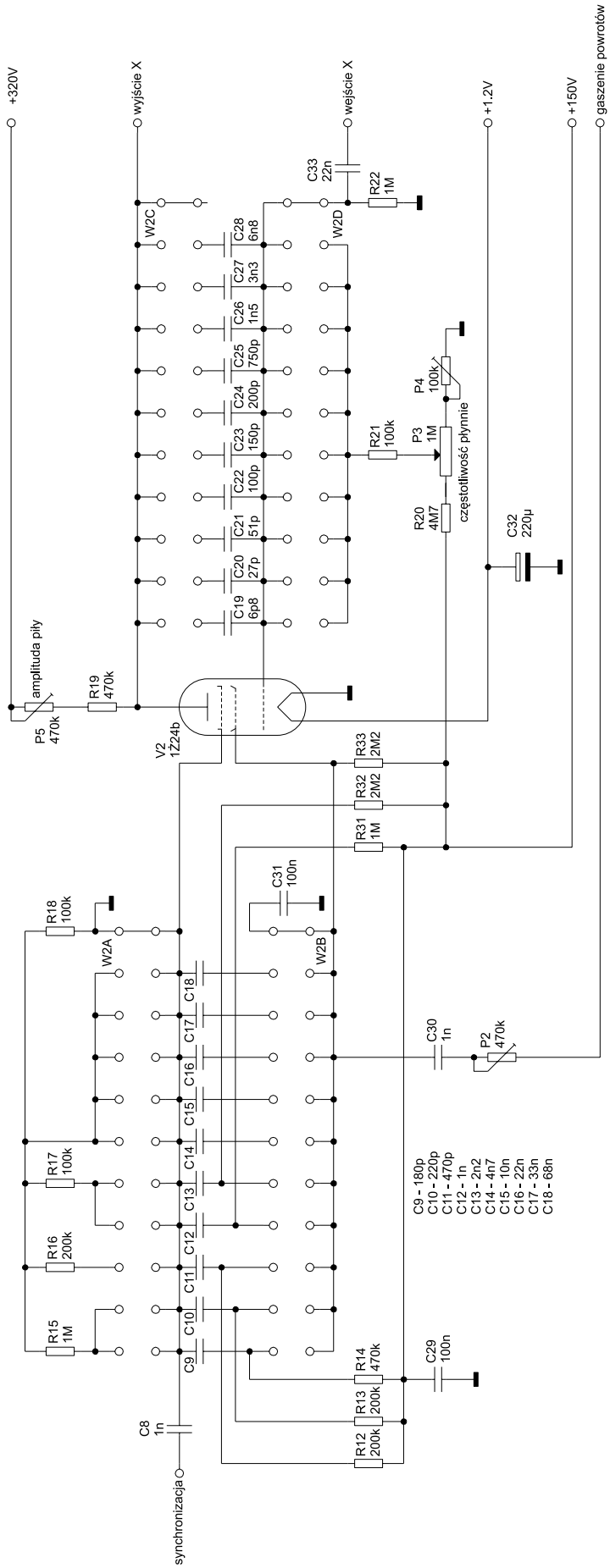
V1, V2: 1Ż24b (1Ж24б)
V3: D5–100GM

Półprzewodniki

D1...D7: 1N4007
T1, T2: D1960

Inne

W1: Przełącznik obrotowy 4–położeniowy, 2–sekcyjny
W2: Przełącznik obrotowy 11–położeniowy, 4–sekcyjny
W3...W5: Przełącznik 2–położeniowy
Gniazda BNC (3 szt.)
Transformatory wg opisu



Rys. 3. Schemat elektryczny wzmacniacza toru X

powrotu plamka powinna być niewidoczna, dlatego w tym czasie lampa oscyloskopowa jest zatkana przez impuls gaszenia powrotów. Wymagane jest podanie sygnału synchronizacji generatora z badanym przebiegiem (dzięki temu obraz na lampie oscyloskopowej zatrzymuje się). Impulsy synchronizacji mogą pochodzić ze wzmacniacza odchylania pionowego lub z zewnętrznego źródła.

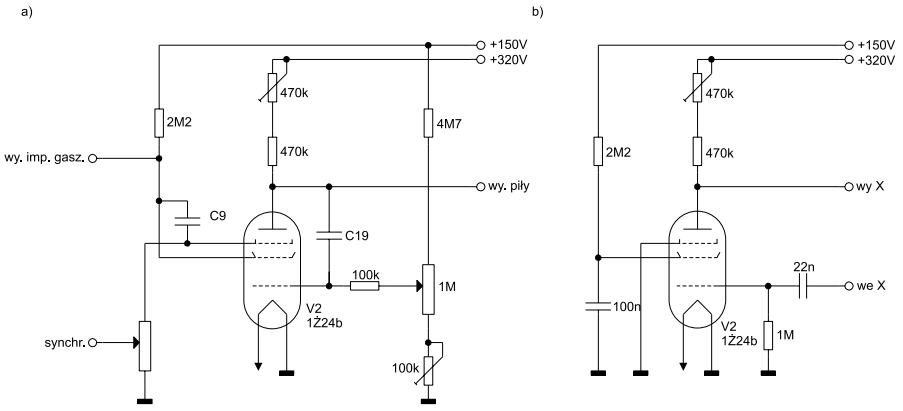
Układ zasilania lampy oscyloskopowej umożliwia ustawienie żądanej jaskrawości i ostrości obrazu. Układ ten steruje także wygaszaniem plamki podczas powrotów przebiegu piłokształtnego lub impulsami z zewnętrznego źródła.

Zasilacz dostarcza wszystkich potrzebnych napięć poprzednio wymienionym blokom.

Zdecydowałem się na podzielenie schematu elektrycznego oscyloskopu wg schematu blokowego. Mimo dość dużej prostoty układu wydaje się to dobrym rozwiązaniem, które umożliwi jasne i przejrzyste wyjaśnienie działania zastosowanych układów.

Układ elektryczny wzmacniacza Y pokazano na **rys. 2**. Jest to typowy oporowy wzmacniacz pentodowy ze wspólną katodą. Sygnał wejściowy jest doprowadzony przez kondensator C1 do dzielnika przełączanego z rezystorami R1...R6. Dzielnik umożliwia podział w stosunku 1:1, 1:5, 1:10 i 1:20. Z sondą pomiarową o stosunku podziału 1:10 można uzyskać także stopnie podziału 1:50, 1:100 i 1:200. Dzielnik nie jest skompensowany. Można taką kompensację wprowadzić dolutowując w dzielniku trymery.

Sygnał z dzielnika dociera za pośrednictwem elementów C2, R7, R9 do siatki lampy V1. R8 jest rezystorem upływowym siatki. Siatka druga lampy jest zablokowana kondensatorem C3 do masy, dzięki czemu likwidacji ulega ujemne sprzężenie zwrotne w obwodzie tej siatki i wzmocnienie stopnia wzrasta. Rezystor R10 i potencjometr P1 stanowi sobą obciążenie wzmacniacza. Za pomocą potencjometru montażowego P1 można regulować wzmocnienie stopnia (na maksimum wzmocnienia przy jak najmniejszych zniekształceniach). Z anody lampy odbiera się wzmocniony sygnał, który zostaje doprowadzony do płytek odchylających



Rys. 4. Uproszczone schematy: generatora podstawy czasu (a) i wzmacniacza X (b)

Y lampy oscyloskopowej. Część sygnału jest podawana za pomocą pojemności C5 do obwodów synchronizacji. Kondensatory C6, C7 i C4 filtrują napięcia zasilające wzmacniacz od ewentualnych sygnałów zakłócających.

Schemat elektryczny generatora podstawy czasu znajduje się na **rys. 3**. Umożliwia on uzyskanie 10 zakresów podstawy czasu: 20 ms/cm, 10 ms/cm, 5 ms/cm, 2 ms/cm, 1 ms/cm, 500 μs/cm, 200 μs/cm, 100 μs/cm, 50 μs/cm, 20 μs/cm. Wartości elementów są tak dobrane, że w każdym zakresie jest możliwe płynne przestrajanie w stosunku 1:2.

Zastosowano jednolampowy, wolnobieżny generator przebiegu piłokształtnego. Celem lepszego zrozumienia działania tego układu na **rys. 4a** przedstawiono generator bez uwzględnienia przełącznika zakresów. Generatory tego rodzaju, zwane tranzytronami, były szeroko stosowane w lampowych oscyloskopach i instrumentach muzycznych. Nieco zmodyfikowane układy tego typu służyły w odbiornikach telewizyjnych jako wyzwalane układy synchronizacji pionowej.

Działanie generatora tranzytronowego opiera się o wykorzystanie ujemnej oporności, która powstaje w obwodzie siatki osłonnej (drugiej) lampy V2. Aby taka oporność ujemna mogła powstać siatka pierwsza musi mieć dodatni potencjał względem masy. Potencjał dodatni musi mieć także siatka osłonna (kilkadziesiąt V) i anoda. Warunki te są, jak widać spełnione w układzie z rys. 4a. Wskutek działania oporności ujemnej powstają w układzie drgania relaksacyjne. Między siatką ekranującą a hamującą znajduje się kondensator C9. Kondensator ten ładuje się poprzez opornik 2,2 MΩ ze źródła napięcia 150 V. Krótkie impulsy prostokątne w obwodzie siatki drugiej rozładowują kondensator C9, wskutek czego siatka trzecia rozdziela periodycznie prąd między anodę a siatkę drugą (anoda chwilami ma niższy potencjał niż siatka druga). Celem zmniejszenia potrzebnej w obwodzie pojemności C9 stosuje się kondensator C19, włączony między siatkę pierwszą a anodę (sprzężenie zwrotne – wyzyskanie zjawiska Millera). Kondensator ten ma także znaczny wpływ na liniowość przebiegu piłokształtnego, uzyskiwanego z anody lampy generatora. Doświadczenie uczy, że dobrą liniowość uzyskuje się, gdy pojemność C9 jest 5...15–krotnie większa od pojemności C19.

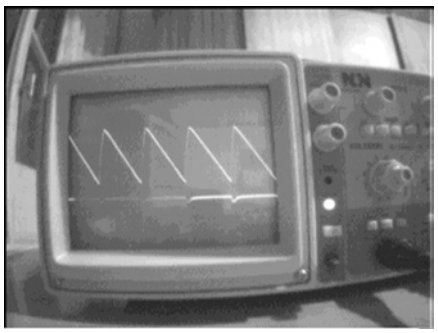
Korzystne jest stosowanie jako C9 i C19 (C9...C28 – rys. 3) kondensatorów foliowych („zabytkowych" styrofleksowych). Na wyższych zakresach, gdy pojemności wypadają bardzo małe należy użyć kondensatorów ceramicznych lub mikowych.

Częstotliwość można regulować albo poprzez zmianę napięcia siatki sterującej (regulacja płynna potencjometrem 1 MΩ) albo poprzez zmianę pojemności C9 i C19 (regulacja skokowa). Synchronizację z przebiegiem badanym można uzyskać poprzez doprowadzenie tego przebiegu do siatki trzeciej lampy generatora. Ten dość prosty układ może być w szerokich granicach przestrajany napięciem (kilku...kilkunastokrotnie), zapewnia dobrą liniowość przebiegu piłokształtnego (**fot. 5**) przy dużej jego amplitudzie (dochodzącej do 80...90% napięcia zasilania). Dzięki temu stosowanie dodatkowego wzmacniacza podstawy czasu jest zbędne. Dodatkową korzyścią jest to, że w momencie powrotu napięcia piłokształtnego układ generuje w obwodzie siatki osłonnej impuls zbliżony do prostokątnego. Impuls ten może być uformowany w prostym układzie (kondensator C30 i potencjometr P2 z rys. 3) i służyć do wygaszania powrotów (**fot. 6**).

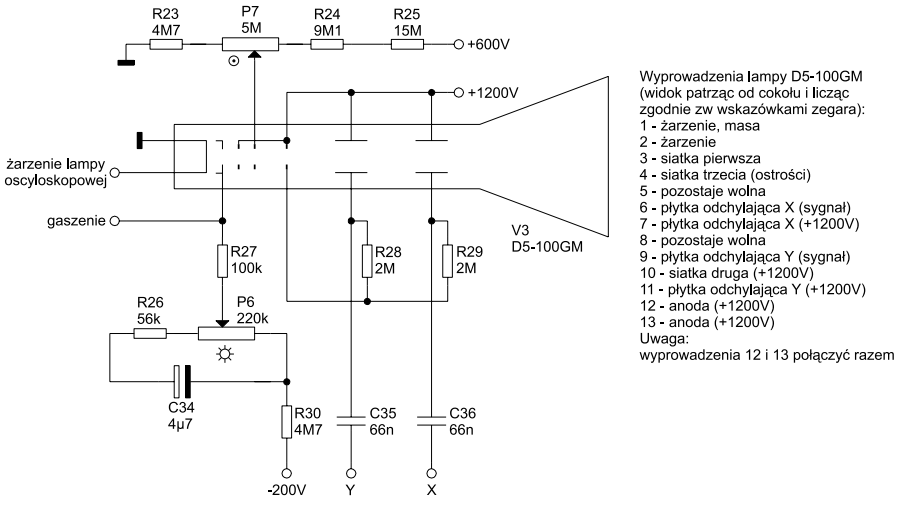
Układ z rys. 3 zawiera przełączniki zakresów, przez co wydaje się bardziej skomplikowany od układu z rys. 4a. W rzeczywistości zasadniczy schemat generatora jest taki sam, co wnikliwy Czytelnik dostrzeże bez trudu. Z racji tego, że na wyższych zakresach podstawy czasu malała amplituda napięcia piłowego i niekorzystnie zmieniał się jego kształt należało te niepożądane zjawiska skompensować poprzez przełączanie oporności w obwodzie siatki drugiej i trzeciej (R12...R17, R31...R33). Mimo tych zabiegów na najwyższym zakresie przebieg podstawy czasu jest nieco zniekształcony na początku wybierania.

Projektując generator z rys. 3 uznałem, że powinna istnieć możliwość przekształcenia go na wzmacniacz odchylania poziomego. Dzięki temu oscyloskop może pracować w trybie X–Y przy minimalnej ilości lamp. Jest to możliwe, o ile użyje się 4–sekcyjnego przełączni-

Fot. 5. Liniowość uzyskiwanego przebiegu podstawy czasu jest nienajgorsza



Fot. 6. Położenie impulsów gaszących na tle przebiegu piłokształtnego



Rys. 7. Układ zasilania lampy oscyloskopowej

ka zakresów (przełącznik W2 na rys. 3 znajduje się w tym trybie pracy). W trybie pracy X–Y układ wygląda jak na rys. 4b. Jest to tradycyjny pentodowy wzmacniacz ze wspólną katodą.

Jego działanie nie wymaga szerszego omówienia, gdyż jest bardzo podobny do układu wzmacniacza Y.

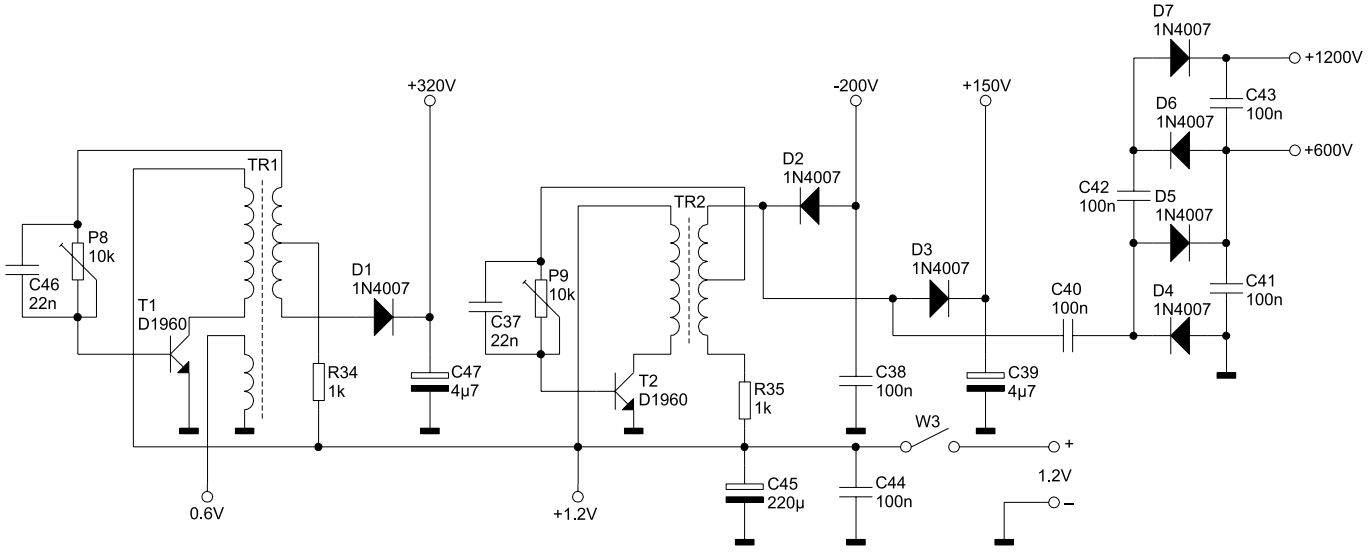
Układ zasilania lampy oscyloskopowej pokazano na schemacie z **rys. 7**. W oscyloskopie pracuje lampa typu D5–100GM. Charakteryzuje się ona małymi wymiarami – ekran 3x4 cm przy długości lampy około 12 cm i małym poborem prądu żarzenia 50 mA przy 0,6 V. Lampa ma ekran z długą poświatą.

Potencjometr P6 służy do regulacji jaskrawości obrazu. P6 stanowi jeden z elementów dzielnika (R30, P6, R26) napięcia –200 V. Elementy są tak dobrane, że napięcie siatki pierwszej (cylindra Wehnelta) może być regulowane od około –1...–20 V. Przy –20 V następuje całkowite zatkanie lampy i wygaszenie obrazu. Do siatki pierwszej mogą być doprowadzone także impulsy gaszące. Siatka druga, trzecia i czwarta lampy stanowią tzw. soczewkę elektronową. Potencjometr P7, znajdujący się w obwodzie dzielnika R23, P7, R24, R25 umożliwia zmianę napięcia siatki trzeciej a tym samym ogniskowej soczewki elektronowej (regulacja ostrości obrazu).

Zastosowano asymetryczne włączenie płytek odchylających (jedna z płytek jest połączona bezpośrednio z anodą), dzięki czemu nie zachodzi konieczność stosowania wzmacniaczy symetryzujących ani w torze X ani Y. Celem uproszczenia zrezygnowano z regulacji położenia plamki. Wadą włączenia asymetrycznego płytek są zniekształcenia trapezowe obrazu, które nie dają się jednak silnie we znaki. Kondensatory C35 i C36 nie dopuszczają składowej stałej (napięcia anodowego lampy oscyloskopowej wynoszącego 1200 V) do wcześniej omówionych układów odchylania poziomego i pionowego. Kondensatory te muszą posiadać dostatecznie duże napięcie przebicia (1500 V). Ponieważ trudno nabyć kondensatory o dostatecznie dużej pojemności na tak duże napięcia można je złożyć z połączonych równolegle kondensatorów 33 nF/1500 V.

Zasilacz oscyloskopu (**rys. 8**) składa się z dwóch tranzystorowych przetwornic pracujących jako generatory samodławne. Pierwsza z nich dostarcza napięcie anodowe dla bloków +320 V odchylania poziomego i pionowego oraz napięcia impulsowego 0,6 V dla żarzenia lampy oscyloskopowej. Pracuje ona z tranzystorem T1. Dioda D1 z kondensatorem C47 stanowi prostownik napięcia anodowego +320 V. Potencjometrem montażowym P8 można regulować wartość napięcia wyjściowego, jednak w miarę wzrostu napięcia wzrasta pobór prądu z przetwornicy. Druga przetwornica z tranzystorem T2 dostarcza pomocniczego napięcia +150 V, napięcia minus 200 V dla regulacji jaskrawości obrazu, +600 V dla regulacji ostrości obrazu i napięcia anodowego lampy oscyloskopowej wynoszącego +1200 V (zastosowano powielacz z elementami D4..D7, C40...C43. Układ pracy tej przetwornicy jest zbliżony do poprzednio omówionego.

Aleksander Zawada, EP
aleksander.zawada@ep.com.pl



Rys. 8. Schemat zasilacza oscyloskopu