

# Prosty minutnik fotograficzny

*Przedstawiony w artykule układ pozwala precyzyjnie odmierzać czas naświetlania płytek drukowanych i odbitek fotograficznych w ciemni.*

Częstym zadaniem warsztatowym autora jest wykonywanie małych płytek drukowanych. Na tę procedurę składa się sporządzenie rysunku ścieżek, skopionowanie go na przezroczystą folię i naświetlenie przez nią fotoczułej płytki z folią miedzianą ultrafioletem w naświetlarce. Po wywołaniu i wytrawieniu otrzymuje się płytkę gotową do wiercenia i montażu. Naświetlarka nie jest wyposażona w minutnik, zdecydowano więc wykonać go, aby wyniki stały się bardziej powtarzalne, a nad procesem nie trzeba było ślęczeć ze stoperem w rękę.

Konstrukcji tej można by zarzucić, że jest niebezpieczna z powodu obecności w niej pełnego napięcia sieci. Dlatego układ ten może być montowany tylko przez osoby z dostatecznym doświadczeniem, pozwalającym rozpoznać i uniknąć niebezpieczeństwa. Przed ostatecznym uruchomieniem minutnika wszystkie próby można przeprowadzić przy użyciu bezpiecznego zasilacza niskiego napięcia.

## Dobór skali

Rozciągnięcie początku skali okazało się interesującym wyzwaniem dla konstruktora. Liniowy potencjometr zapewnia liniową skalę czasu, ale zastąpienie go logarytmicznym wywołuje zbyt silne jej rozciągnięcie.

Interesujące wyniki przyniosły pomiary i wykreślanie zależności oporności od kąta obrotu potencjometrów logarytmicznych. Okazało się, że zależność ta najczęściej nie jest gładką krzywą, tylko kombinacją dwóch prostych, połączonych dość ostrym „kolanem”, które dowodzi, że większość wytwórców produkuje je po prostu z dwóch różnych mas rezystywnych! Istnieją potencjometry o innej krzywej oporności, ale są rzadko dostępne dla konstruktorów-amatorów.

Można utworzyć oscylator, którego okres jest odwrotnie proporcjonalny do oporności liniowego potencjometru, ale i w tym przypadku rozciągnięcie skali będzie zbyt silne.

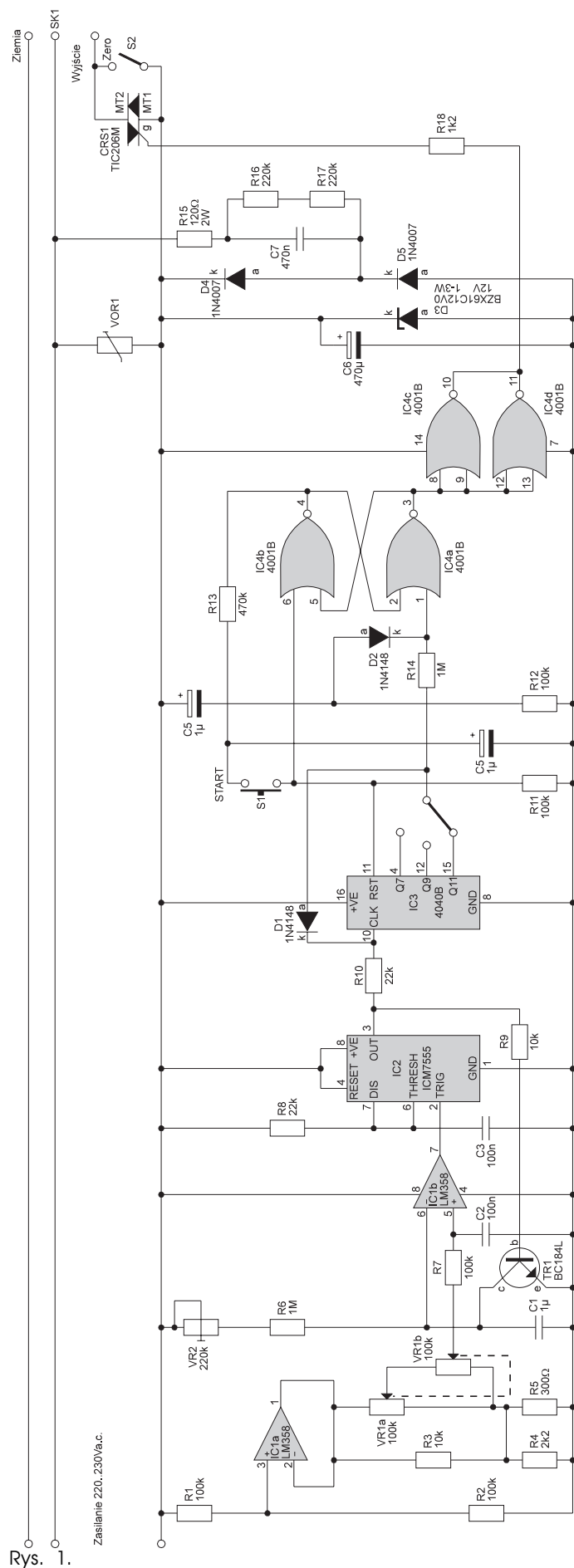
Użycie podwójnego potencjometru liniowego, w którym drugi jest połączony z suwakiem pierwszego, umożliwia otrzymanie w przybliżeniu kwadratowej zależności napięcia od kąta obrotu. W ten sposób można uzyskać potrzebny stopień rozciągnięcia skali. Trzeba tylko skonstruować oscylator o okresie proporcjonalnym do napięcia suwaka potencjometru.

## Opis układu

Kompletny schemat prostego minutnika fotograficznego jest przedstawiony na **rys. 1**. W układzie tym wzmacniacz operacyjny IC1b i układ czasowy IC2 tworzą oscylator o częstotliwości sterowanej napięciem przy pomocy podwójnego potencjometru VR1.

Potencjometr regulacyjny VR1a i VR1b otrzymuje z dzielnika R1, R2 napięcie równe połowie napięcia zasilającego (12V), buforowane przez wzmacniacz operacyjny IC1a. Rezystory R3 oraz R4 i R5 wyznaczają stosunek najwyższego napięcia do najniższego, równy 32,5:1, eliminując równocześnie możliwy wpływ, jaki na niego mogłoby mieć odchylenie oporności potencjometru VR1 od nominalnej. Stosunek ten ustala granice zakresu regulacji czasu od 0,4 do 13 minut, co z marginesem zapewnia pokrycie wymaganego zakresu 0,5 do 12 minut. Zależność napięcia od kąta obrotu potencjometru nie jest dokładnie kwadratowa z powodu obciążania potencjometru VR1a przez VR1b, w tym jednak przypadku nie ma to znaczenia. Obwód R7, C2 służy do odfiltrowania ewentualnych zakłóceń napięcia sterującego.

Wzmacniacz operacyjny IC1b działa jako komparator. Konden-



Rys. 1.

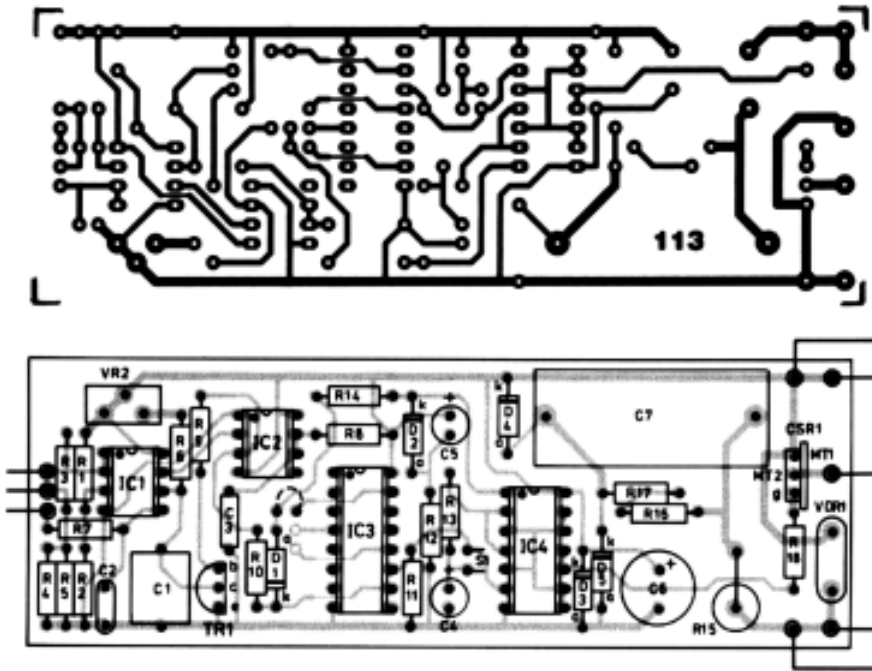
sator C1 ładuje się wykładniczo przez VR2 i R6, aż napięcie na nim osiągnie wielkość nastawioną przy pomocy VR1. Wyjście IC1b przerzuca się wtedy w stan niski i wyzwala przerzutnik IC2, który generuje impuls o długości 2,5ms. Impuls ten z wyjścia 3 IC2, za pośrednictwem tranzystora TR1, rozładuje C1. Wyjście IC2 dostarcza zatem ciągu impulsów o częstotliwości sterowanej napięciem z VR1b. Częstotliwość ta jest dosyć niska, mieści się w granicach od 1,5Hz do 35Hz, a więc impuls kasujący 2,5ms jest tylko małą częścią każdego cyklu. Jest jednak wystarczająco długi, aby kondensator C1 zdążył się rozładować całkowicie. Potencjometr montażowy VR2 służy do kalibracji czasu.

Impuls wyjściowy IC2 jest doprowadzony przez R10 do wejścia zegarowego licznika dwójkowego IC3. Zlicza on impulsy do momentu, gdy wybrane wyjście przejdzie w stan wysoki i przez diodę D1 zablokuje wejście zegarowe.

Wyprowadzenie 15 IC3 jest jedenastym wyjściem licznika, więc przechodzi w stan wysoki po zliczeniu 1024 impulsów. Zworką na płycie drukowanej można wybrać jeszcze dwa inne wyjścia. Jedno, z wyprowadzenia 12, dla zakresu 2 minut i drugie z wyprowadzenia 4, pomocne przy kalibracji.

Wyjściem minutnika steruje układ czterech bramek NOR, IC4. Dwie z tych bramek, IC4a i IC4b, tworzą przerzutnik. Podczas włączenia zasilania przez C5 i D5 do wejścia 1 IC4a zostaje skierowany impuls dodatni, tak przerzucający przerzutnik, że wyjście 3 IC4a pozostaje w stanie niskim, a wyjście 4 IC4b w wysokim. Dzięki temu od momentu włączenia zasilania minutnik pozostaje w stanie wyłączenia.

Wysokie napięcie wyjścia 4 IC4 ładuje kondensator C4 przez R13. Naciśnięcie przycisku S1 START rozładuje ten kondensator wywołując dodatni impuls, który przez wejście 6 IC4b przerzuca przerzutnik do stanu włączenia, kasując równocześnie licznik IC3 przez wejście 11. Kondensator C4 może zostać ponownie naładowany dopiero po przejściu układu do stanu wyłączenia. Dzięki temu



Rys. 2.

dłuższe przytrzymanie przycisku S1 lub jego ponowne przypadkowe naciśnięcie przed upływem nastawionego czasu nie wpłynie na nastawiony czas. Czas ten kończy się z chwilą, gdy wybrane zworką wyjście IC3 przejdzie w stan wysoki, przerzucając przez R14 przerzutnik IC4a-IC4b. Równoległe połączone bramki IC4c i IC4d służą jako odwracający bufor do sterowania przez R18 triaka CSR1. Użyto w tym celu ujemnego prądu bramek, na który triak jest czulszy niż na dodatni.

W beztransformatorowym układzie zasilającym do redukcji napięcia wykorzystano impedancję kondensatora szeregowego. Natężenie prądu zmiennego, płynącego przez kondensator C7, zależy od napięcia sieci i reaktancji kondensatora. Jest ono stałe i wynosi około 35mA. W czasie jednego półokresu prąd ten płynie przez diodę D4, a czasie drugiego przez diodę D5 ładuje kondensator C6 do napięcia ograniczanego przez diodę Zenera D3 do około 12V. Poza niewielkim poborem prądu przez układ minutnika, pozostała, większa część prądu pobieranego z sieci jest reaktywna, nie wytwarza ciepła i nie przyczynia się do zwiększenia zużycia rejestrowanego przez licznik energii elektrycznej. Warystor (rezystor o oporności zależnej od napięcia) VDR1

chroni triak CSR1 i kondensator C7 przed zdarzającymi się czasem w sieci energetycznej impulsowymi przepięciami.

### Montaż i uruchomienie

Przed omówieniem montażu płytki drukowanej i jej testowania, trzeba kilka słów poświęcić obudowie układu. Jej wybór pozostawia się wykonawcy. Prototyp został wmontowany do naświetlarki do ultrafioletu, chociaż autor zalecałby umieścić docelowo minutnik w osobnym plastikowym pudełku. Sieciowe gniazdko wyjściowe zostało wmontowane w obudowę układu, ale niektórzy czytelnicy mogą woleć gniazdko połączone kablem z obudową. Konstrukcja powiększalników jest przeważnie metalowa i używa się ich w pomieszczeniach z dostępem do wody i chemikaliów, dlatego minutnik musi zapewniać pewne połączenie z uziemieniem, a obudowa powinna być przynajmniej bryzgoszczelna, jeśli nie całkowicie wodoszczelna.

Rozkład ścieżek płytki drukowanej i rozmieszczenie na niej elementów pokazuje rys. 2. Przed rozpoczęciem montażu trzeba wybrać wersję układu. W przypadku wersji 12-minutowej załączony wykaz elementów pozostaje aktualny. Dla wersji 2-minutowej oporność VR2 musi zostać zmieniona na 100kΩ, a R6 na 680kΩ. Dla

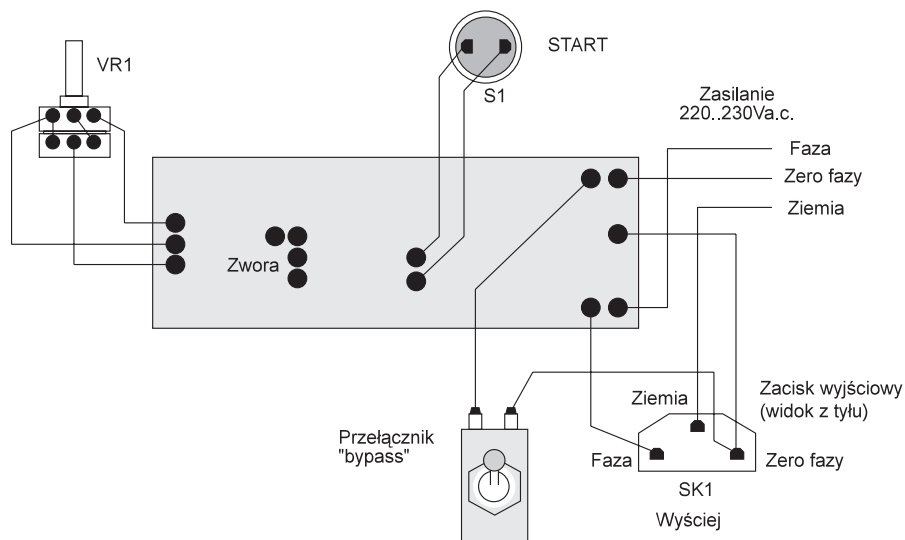
zaoszczędzenia czytelnikom wielu godzin przy wyznaczaniu podziałek opracowano metodę kalibracji przyrządu w czasie jego montażu przy pomocy woltomierza cyfrowego. W tym celu w pierwszej fazie montaż powinien się ograniczyć do wlutowania rezystorów R1 do R5, R7, kondensatora C2 i wzmacniacza operacyjnego IC1 (najlepiej w podstawce).

### Kalibrowanie układu

Końcówki 6 i 7 IC1 należy przewizorycznie połączyć ze sobą przewodem tak, aby pomiędzy tę zworkę a masę można było włączyć woltomierz cyfrowy. W ten sposób IC1 staje się tymczasowym buforem, pozwalającym mierzyć napięcie sterujące bez jakiegokolwiek obciążenia potencjometru. Potencjometr wmontowany w obudowę i wyposażony w skalę gotową do kalibracji należy przyłączyć do płytki w sposób pokazany na rys. 3. Płytkę należy zasilic z zasilacza o napięciu 12V, możliwie jak najbliższym napięciu diody Zenera D3. Można do tego użyć baterii, ale najlepszy byłby zasilacz warsztatowy. Po sprawdzeniu, że na wyjściu 1 IC1 jest napięcie 6V, należy włączyć woltomierz cyfrowy pomiędzy wyjście IC1b a masę. Teraz na skali potencjometru można oznaczać kolejne pozycje czasu posługując się woltomierzem i odpowiednią, dla 12 lub 2 minut, kolumną tabeli

Tabela 1. Tabela kalibracji czasu.

wersja 12-min.		wersja 2-min.	
[min]	[V]	[sek]	[V]
0,4	0,227	4	0,214
0,5	0,290	5	0,277
0,75	0,446	7,5	0,433
1	0,599	10	0,587
1,25	0,751	12,5	0,739
1,5	0,900	15	0,889
2	1,193	20	1,182
2,5	1,478	25	1,468
3	1,756	30	1,747
3,5	2,026	35	2,018
4	2,289	40	2,282
4,5	2,546	45	2,539
5	2,795	50	2,789
6	3,275	60	3,269
7	3,729	70	3,725
8	4,160	80	4,157
9	4,568	90	4,566
10	4,956	100	4,954
11	5,322	110	5,321
12	5,670	120	5,670
13	6,000	130	6,000



Rys. 3.

kalibracyjnej (tab. 1). Przy obliczaniu tabeli uwzględniono zarówno wykładniczy charakter krzywej ładowania się kondensatora, jak i czas trwania impulsów kasujących 2,5ms. Sprawdzono, że ten sposób kalibracji jest łatwy i dokładny.

Jedną z krańcowych pozycji potencjometru powinna zostać tak zaznaczona, aby po zdjęciu pokrętki można było ponownie przykręcić w tym samym położeniu. Po zakończeniu kalibracji zworka pomiędzy końcówkami 6 i 7 IC1 powinna zostać usunięta.

Teraz należy wmontować pozostałe elementy układu za wyjątkiem diody Zenera D3 i triaka CSR1. Rezystor R15 jest 2-watowy. Jego rolą jest ograniczanie impulsu prądowego, który może być znaczny, gdy włączenie nastąpi w momencie szczytowej wartości napięcia sieci.

Współczynnik podziału wybiera się zworką. Dla układu 2-minutowego będzie to wyjście 12 IC3, kończące zliczenie 256 impulsów. Dla układu 12-minutowego trzeba najpierw wybrać tymczasowo wyjście 4 IC3, kończące zliczenie 64 impulsów. Po przyłączeniu przycisku S1, układ należy zasilic z zasilacza 12V i przyłączyć woltomierz do punktu między R18 i wyjścia bramek IC4c i IC4d, a masę. Stan tego wyjścia powinien być wysoki w stanie spoczynkowym i przesuwać się do niskiego po naciśnięciu S1.

Dla układu 2-minutowego skalę VR1 należy nastawić na jedną

lub dwie minuty, a za pomocą VR2 doprowadzić czas do nastawionej długości. W przypadku układu 12-minutowego, przewizoryczne połączenie zworki z wyjściem 4 IC3 wymaga podzielenia skali czasowej przez 16, zatem pozycja 12 minut w rzeczywistości oznacza 45 sekund. Przyspiesza to znacznie dobranie pozycji VR2. Po wykalibrowaniu skali zworkę trzeba przełączyć do wyjścia 15 IC3.

Po zakończeniu kalibracji można wmontować diodę Zenera D3 oraz triak CSR1 i sprawdzić minutnik z obciążeniem na przykład 100W żarówką. Od tej chwili układ staje się niebezpieczny i trzeba zachować odpowiednie środki ostrożności.

Minutnik powinien zostać zabezpieczony bezpiecznikiem 3A lub mniejszym (w Wielkiej Brytanii bezpieczniki umieszcza się we wtyczkach sieciowych, dlatego nie został on umieszczony na płycie). Przełączaną moc należy ograniczyć do paru setek watów, ponieważ triak nie został wyposażony w radiator. W razie potrzeby można jednak go wmontować. Jednakże dla większości naświetlań ultravioletem i powiększalników nie jest to potrzebne.

Jeżeli minutnik zostanie przeznaczony do sterowania powiększalnikiem, konieczny będzie przełącznik zawierający triak, ułatwiający regulację ustawienia i ostrości obrazu. Sposób jego połączenia (przełącznik "bypass") pokazuje rys. 3.

Andy Flind, EwPE

## WYKAZ ELEMENTÓW

### Rezystory

metalizowane 0,5W, 1%

R1, R2, R7, R11, R12: 100kΩ

R3, R9: 10kΩ

R4: 2,2kΩ

R5: 330Ω

R6: 1MΩ (680kΩ dla zakresu 2-minutowego)

R8, R10: 22kΩ

R13: 470kΩ

R14: 1MΩ

R15: 120Ω, 2W, metalizowany

R16, R17: 220kΩ

R18: 1,2kΩ

VR1: 220kΩ, podwójny liniowy potencjometr węglowy

VR2: 220kΩ, subminiaturowy pionowy potencjometr montażowy (1MΩ dla zakresu 2-minutowego)

VDR1: warystor 250V

### Kondensatory

C1: 1μF, poliestrowy

C2: 100nF, ceramiczny w żywicy

C3: 100nF, poliestrowy

C4: 1μF/100V, stojący

C5: 1μF/50V, stojący

C6: 470μF/35V, stojący

C7: 470nF/250V

### Półprzewodniki

D1, D2: 1N4148, dioda detekcyjna

D3: BZX61C12V0, dioda Zenera

D4, D5: 1N4007, dioda prostownicza 1000V/1A

TR1: BC184L, npn

CSR1: C206M, triak 600V/4A

IC1: LM358, podwójny wzmacniacz operacyjny

IC2: ICM7555, timer CMOS

IC3: 4040B, dwójkowy licznik 12-stopniowy

IC4: 4001B, cztery 2-wejściowe bramki NOR

### Różne

S1: 1-obwodowy zwierny przycisk miniaturowy

plytka drukowana kod 113

2 8-stykowe podstawki 2-rzędowe

14-stykowa podstawka 2-rzędowa

16-stykowa podstawka 2-rzędowa

obudowa 130mm x 68mm x 45mm

pokrętko wskaźnikowe

wtyczka sieciowa

gniazdko sieciowe

wyłącznik sieciowy 1-obwodowy

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