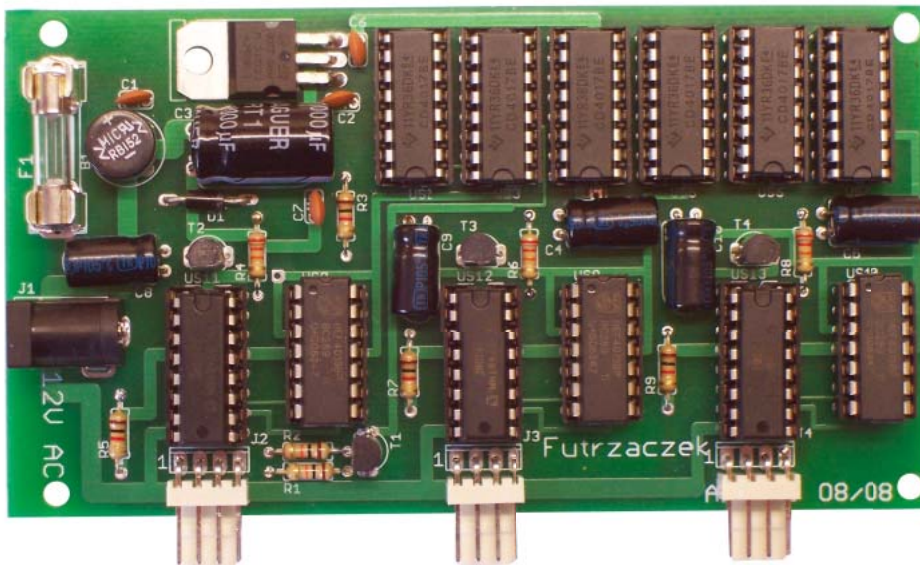


# Zegar trójtarczowy



*Współczesna elektronika nie może obyć się bez mikrokontrolerów i innych układów programowalnych. Wkroczyły one w niemalże każdą dziedzinę naszego życia i nie zanosi się na to, by ta tendencja uległa zmianie. Prezentowany układ pozwala oderwać się na chwilę od tej technologicznej gonitwy i powrócić do czasów, kiedy królował UCY7400.*

**Rekomendacje:** nietuzinkowy, ciekawy zegar, który uatrakcyjni niejedno wnętrze.



Zacząło się całkiem niewinnie: budowano pierwsze systemy komputerowe zawierające elektroniczną pamięć nieulotną. Gdzieś na „dalekim zachodzie” powstawały układy FPGA zawierające tysiące bramek logicznych, które można było niemal dowolnie łączyć ze sobą. Z biegiem czasu możliwości tych układów rosły, a gabaryty malały. W takiej sytuacji układy scalone zawierające w swej strukturze kilka bramek lub pojedynczy licznik musiały odejść w cień. W epoce tanich, wydajnych i niewielkich mikrokontrolerów ich stosowanie traci jakikolwiek sens. Artykuł ten ma na celu uświadomienie, że można bez ich pomocy zbudować pełnowartościowy układ cyfrowy, pełniący całkiem pożyteczną, a jednocześnie skomplikowaną funkcję oraz jednocześnie wyglądający tak elegancko, jak pierwsze płyty główne komputerów klasy PC.

## Opis działania

Układ, który zostanie tu omówiony, jest sterownikiem zegara prezentującym aktualny czas za pomocą trzech silników krokowych wskazujących oddzielnie godziny, minuty i sekundy. Nie zawiera generatora kwarcowego, lecz jest taktowany częstotliwością sieci energetycznej. W latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych, kiedy popularne były elektromechaniczne zegary kartkowe lub czysto elektroniczne, synchronizowane siecią, niedokładność ich chodu mogła być rzędu nawet kilkudziesięciu sekund na dobę. Teraz, po połączeniu polskiej sieci energetycznej z resztą Europy, sytuacja ta uległa diametralnej poprawie. W zegarze zrezygnowano również z elementów SMD na rzecz tradycyjnych układów scalonych w obudowach DIP, by płytka wyglądała retro.

Schemat zegara pokazano na **rysunku 1**. Można na nim wyodrębnić następujące bloki:

- generator impulsów prostokątnych,
- połączone kaskadowo liczniki Johnsona,
- podwójne mostki H z przerzutnikami,
- zasilacz ze stabilizatorem.

Płytkę sterownika jest zasilana napięciem przemiennym o częstotliwości 50 Hz. Po wyprostowaniu przez mostek Graetza, jego częstotliwość wzrasta dwukrotnie. Sygnał ten jest wykorzystywany do wysterowania tranzystora T1: na jego kolektorze pojawiają się impulsy prostokątne o dokładnie tej samej częstotliwości, co za mostkiem. Wprawdzie ich wypełnienie jest nieokreślone, ale nie ma to w tym układzie znaczenia, ponieważ układ reaguje na zbocze narastające. Chwilowe fluktuacje wypełnienia (i związane z nimi przesuwaniem się zbocza narastającego) spowodowane np. nagrzewaniem się rezystorów również nie mają większego znaczenia - zmiana ta spowoduje jedynie przesunięcie całego odliczenia w czasie o kilka milisekund, a nie utratę dokładności chodu. Poglądowo przebiegi czasowe w tym miejscu układu przedstawia **rysunek 2**. Należy nadmienić, że jest on nieco wyidealizowany: w rzeczywistości, tranzystor nie wchodzi od razu w stan nasycenia, jak też nie wychodzi z niego natychmiastowo. Niemniej jednak, pomiar oscyloskopem wykazał bardzo dużą stromość zboczy, dlatego przebieg ten można aproksymować sygnałem prostokątnym.

Kolejnym blokiem jest kaskada połączonych ze sobą liczników dziesiętnych. Układ przystosowano do silników, które można spotkać najczęściej, czyli 2-fazowych (bipolarnych), wykonujących 48 kroków na obrót. Wskazówka sekundowa wykonuje pełen ob-

### Podstawowe informacje:

- Zasilanie 12 V AC/120 mA.
- Wskazanie czasu za pomocą 3 wskazówek.
- Sterowanie silnikami krokowymi za pomocą L298.
- Podstawa czasu zegara - sygnał sieci energetycznej.
- Brak mikrokontrolera i układów programowalnych.

### Dodatkowe materiały na CD/FTP:

<ftp://ep.com.pl>, user: 75282, pass: 852sjb64

- wzory płytek PCB
- karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w Wykazie elementów kolorem czerwonym

### Projekty pokrewne na CD/FTP:

(wymienione artykuły są w całości dostępne na CD)

- AVT-5377 Mega stoper - wielofunkcyjny licznik, nie tylko czasu (EP 12/2012)
- AVT-513 Zegar ze stuletnim kalendarzem i termometrem (EP 10-11/2011)
- AVT-5281 „Inteligentny” zegar z wyświetlaczem LED (EP 3/2011)
- AVT-5273 Zegar cyfrowy z analogowym sekundnikiem (EP 1/2011)
- AVT-2849 Tiny clock (EdW 1/2008)
- AVT-2721 Mikroprocesorowy zegar (EdW 4/2004)
- AVT-2632 Gigantyczny zegar (EdW 5/2002)
- AVT-5022 Programowany zegar z DCF77 (EP 6-7/2001)
- AVT-5002 Zegar cyfrowy z wyświetlaczem analogowym (EP 3/2001)
- AVT-447 Stoper na szkolną olimpiadę (EP 8-9/1998)

\* Uwaga: Zestawy AVT mogą występować w następujących wersjach: AVT xxxx UK to zaprogramowany układ. Tylko i wyłącznie. Bez elementów dodatkowych. AVT xxxx A płytka drukowana PCB (lub płytki drukowane, jeśli w opisie wyraźnie zaznaczono), bez elementów dodatkowych. AVT xxxx A+ płytka drukowana i zaprogramowany układ (czyli połączenie wersji A i wersji UK) bez elementów dodatkowych. AVT xxxx B płytka drukowana (lub płytki) oraz komplet elementów wymieniony w załączniku pdf. AVT xxxx C to nic innego jak zmontowany zestaw B, czyli elementy wlotowane w PCB. Należy mieć na uwadze, że o ile nie zaznaczono wyraźnie w opisie, zestaw ten nie ma obudowy ani elementów dodatkowych, które nie zostały wymienione w załączniku pdf. AVT xxxx CD oprogramowanie (nieczęsto spotykana wersja, lecz jeśli występuje, to niezbędne oprogramowanie można ściągnąć, klikając w link umieszczony w opisie kitu)

! Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! (UK, A, A+, B lub C). <http://sklep.avt.pl>

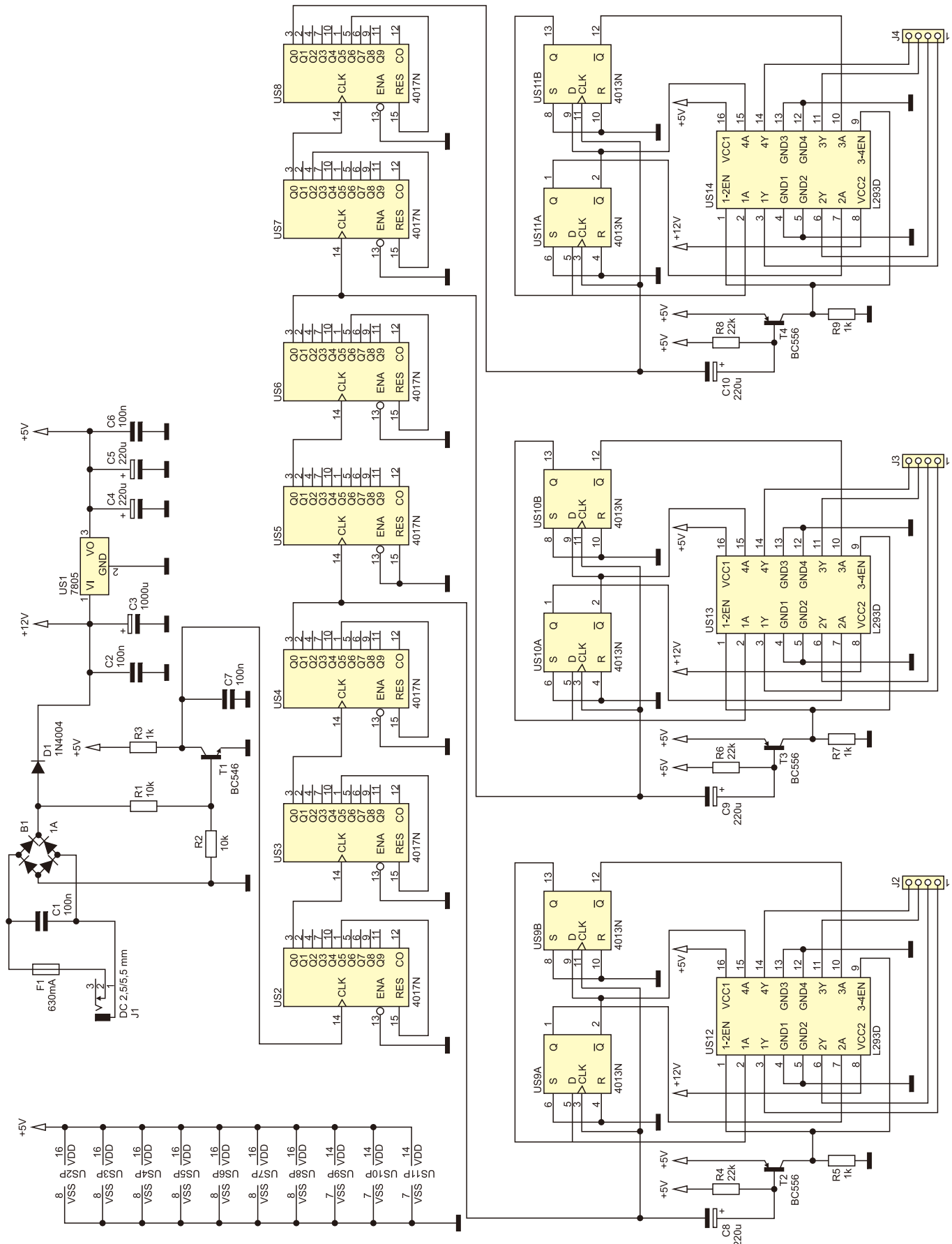
rót co minutę, minutowa co godzinę, a godzinowa co 12 godzin. Mając te dane, można przystąpić do kilku obliczeń, które umieszczono w **tabeli 1**.

Na pierwszy rzut oka widać, że rozdzielczość wskazań będzie inna, niż w tradycyjnych zegarach wskazówkowych. Na jeden obrót wskazówki przypada 48 skoków, nie 60, co jest efektem użycia znacznie łatwiej dostępnych silników. Na dokładności odczytu traci się jednak niewiele: każdą z tarcz

nadal można podzielić na 12 segmentów, jak w typowych zegarach, tyle, że pomiędzy tymi segmentami mieszczą się 4 działki, a nie 5.

Ponieważ użyte w kaskadowym dzielniku liczniki są modulo 10, a wymagane stopnie podziału są większe niż 10, konieczne było połączenie szeregowo kilku o zawę-

żonym zakresie liczenia. Owe zawężenie zostało uzyskane przez połączenia wyjścia Q<sub>n</sub> z wejściem zerującym, gdzie n to stopień podziału realizowany na danym układzie.



Rysunek 1. Schemat ideowy zegara 3-wskazówkowego

Wówczas, po odliczeniu odpowiedniej liczby impulsów i wystąpieniu poziomu wysokiego na tym wyjściu, układ natychmiast przechodzi do stanu początkowego. Jedynie w wypadku US5 wyprowadzenie zerowania zostało trwale zwarte z masą, gdyż dzieli on częstotliwość przez 10.

Sygnaly z dzielnika taktują przerzutniki typu D. Są one konieczne, by odpowiednio zasilać cewki silników krokowych. Jest to pewien minus silników bipolarnych (z dwiema cewkami) w stosunku do unipolarnych (z czterema cewkami). Zadaniem tych dwóch przerzutników jest generowanie sygnałów sterujących dwa mostki H zawarte w strukturze układu L293. Przykładowe przebiegi czasowe na wejściu zegarowym oraz zależne od niego stany wyjść widoczne są na **rysunku 3**. Pokazano na nim, że w rezultacie otrzymuje się dwie pary sygnałów prostokątnych o częstotliwości dwukrotnie mniejszej od zegarowej i przesunięte względem siebie o 90°. Ponadto, w parze jeden sygnał jest prosty, a drugi zanegowany. To wystarczy, aby móc sprawnie sterować silnikiem krokowym. Zmiana stanu następuje na narastającym zboczu sygnału zegarowego.

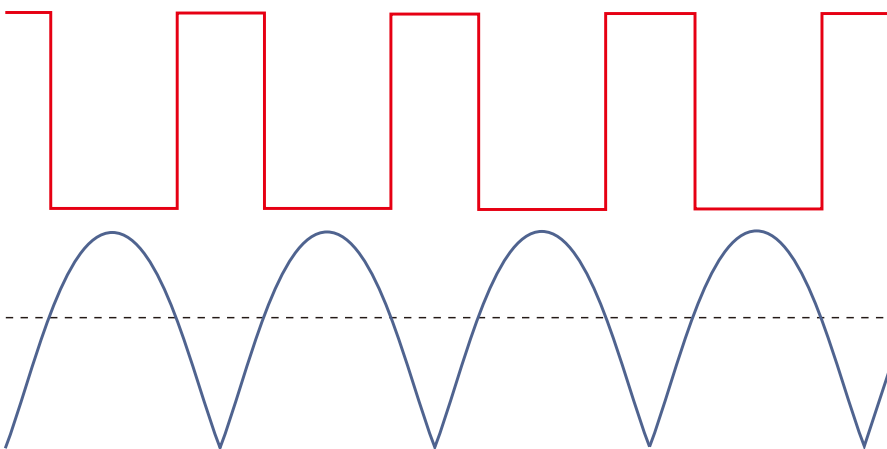
Jedynym obciążeniem, jakie znajduje się na osiach silników, są lekkie wskazówki, więc nie ma konieczności, aby ich cewki były przez cały czas pod napięciem. W urządzeniu zasilanym przez całą dobę byłoby to zwykłym marnotrawstwem energii elektrycznej. Dlatego też zastosowano pewną sztuczkę: uzwojenia załączane są na krótki okres czasu po wystąpieniu opadającego zbocza sygnału taktującego przerzutniki. Służy temu prosty obwód, złożony z kondensatora C8, rezystorów R4 i R5, tranzystora T2. W czasie trwania poziomu wysokiego kondensator jest rozładowany, gdyż obie jego okładki są na tych samych potencjałach. Wystąpienie poziomu niskiego powoduje natychmiastowe spolaryzowanie bazy tranzystora potencjałem bliskim masy, gdyż rozładowany kondensator zachowuje się jak zwarcie. Następuje potem eksplotencjalne jego ładowanie i taki też przebieg ma napięcie na kolektorze tranzystora. Nie ma to jednak większego znaczenia, gdyż układ L293 zawiera w swojej strukturze odpowiednie klucze aktywujące wyjścia mostków H po podaniu na wejścia Enable poziomu wysokiego.

Ma to dodatkową zaletę: na zboczu narastającym odbywa się zmiana sygnałów sterujących, w czasie trwania stanu wysokiego następuje ustabilizowanie się sygnałów, a na zboczu opadającym krótkotrwałe załączenie cewek silnika celem zmiany położenia wskazówki. **Rysunek 4** ilustruje przebiegi napięć w tej części układu.

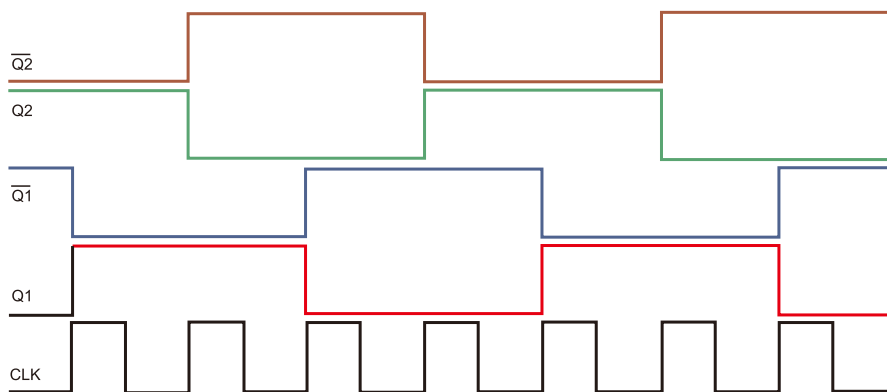
Wszystkie układy logiczne znajdujące się na płycie zasilane są stabilizowanym napięciem 5 V, podczas gdy układy CMOS akceptują zasilanie aż do 15 V. Powód jest prosty:

Tabela 1. Obliczenia do projektu układu zegara

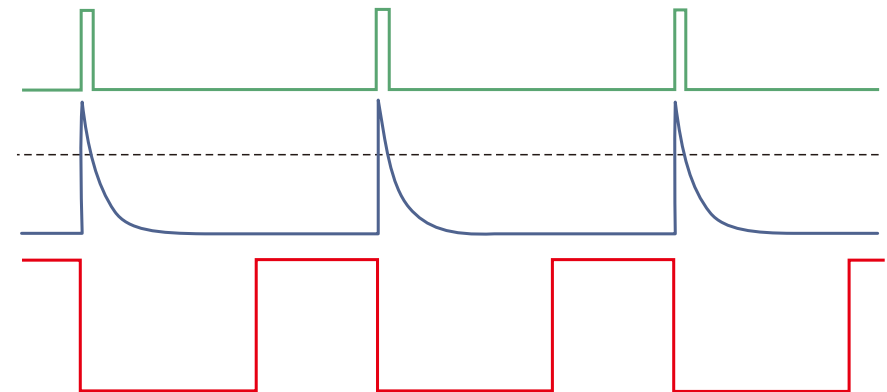
Liczba kroków na pełen obrót wału silnika	48
Prędkość wskazówki sekundowej	$60 \text{ s} / 48 = \text{krok co } 1,25 \text{ s}$
Prędkość wskazówki minutowej	$60 \text{ min.} / 48 = \text{krok co } 1,25 \text{ min (75 s)}$
Prędkość wskazówki godzinowej	$12 \text{ godz.} / 48 = \text{krok co } 15 \text{ min. (900 s)}$
Częstotliwość impulsów z T1	100 Hz
Okres impulsów z T1	$1 / 100 \text{ Hz} = 10 \text{ ms}$
Stopień podziału dla wskazówki sekundowej	$1,25 \text{ s} / 10 \text{ ms} = 125$
Stopień podziału dla wskazówki minutowej	$75 \text{ s} / 1,25 \text{ s} = 60$
Stopień podziału dla wskazówki godzinowej	$900 \text{ s} / 15 \text{ s} = 12$



Rysunek 2. Przykładowe przebiegi czasowe napięcia: za mostkiem (niebieski) oraz na kolektorze T1 (czerwony). Czarną linią zaznaczono umowny poziom napięcia, przy którym przewodzi



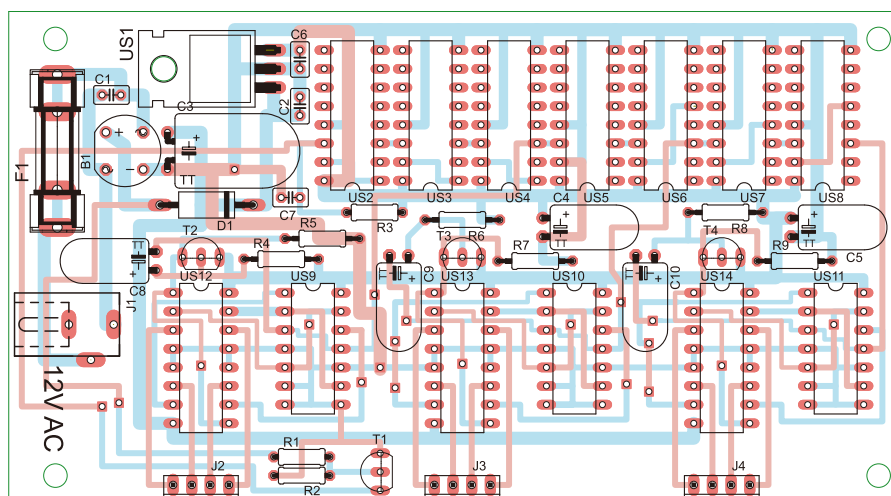
Rysunek 3. Stany wyjść przerzutników w kolejnych taktach sygnału zegarowego



Rysunek 4. Od dołu: przebieg sygnału taktującego przerzutniki, napięcie na kolektorze tranzystora oraz przebieg napięcia aktywującego mostki H. Linia przerywana zaznaczono umowny poziom napięcia interpretowanego jako logiczna „1”

poziom wysoki na wejściu sterującym układu L293 nie może przekraczać napięcia 7 V,

a stosowanie odpowiednich dzielników napięcia na ich wejściach sterujących miałyby



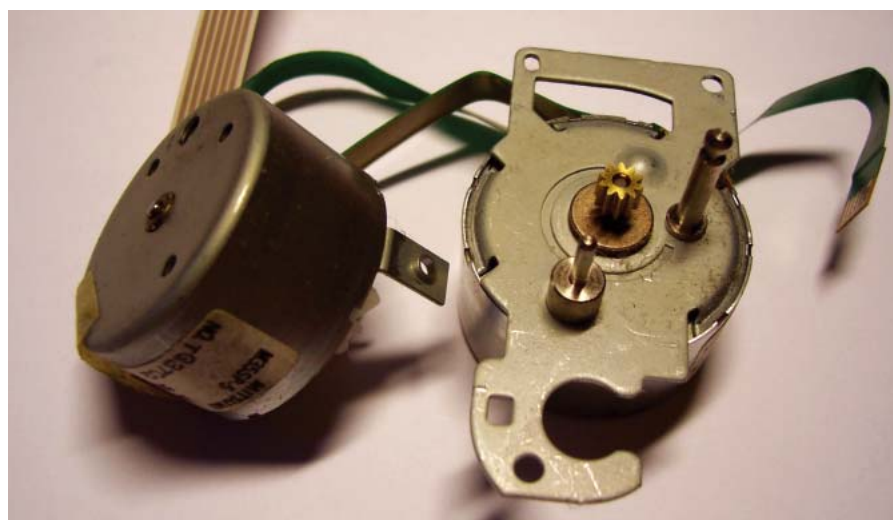
Rysunek 5. Schemat montażowy zegara 3-wskazówkowego

się z celem. Stąd zdecydowano, by całość zasilac za pośrednictwem taniego i popularnego stabilizatora 7805 rozwiązując tym samym problem dopasowania poziomów napięć. Na silniki krokowe trafia wyprostowane napięcie 12 V, co jest całkowicie wystarczające, by poruszyć ich osie – nawet, jeżeli będą to egzemplarze przystosowane do napięcia 30 V, wszak ich obciążenie jest niemal żadne.

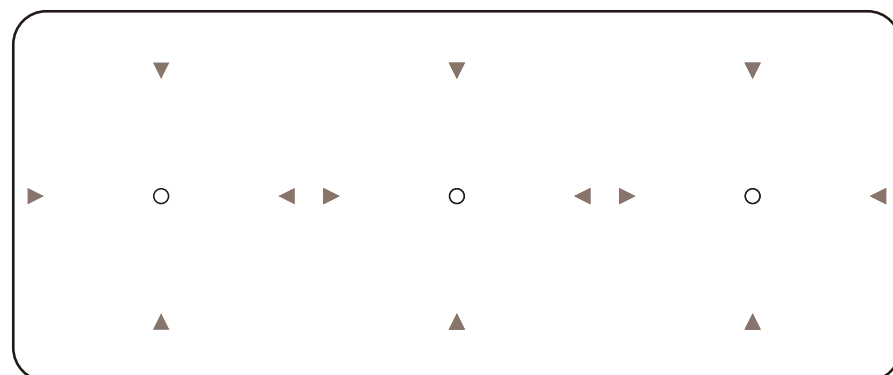
Zadaniem diody D1 jest odseparowanie kondensatora filtru od mostka tak, by móc sterować bazą tranzystora T1 przebiegiem o możliwie największej amplitudzie tętnień.

### Montaż i uruchomienie

Układ sterujący został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 122 mm×67 mm, której schemat montażowy pokazano na **rysunku 5**. Wszystkie kondensatory elektrolityczne oraz układ US1 powinny zostać przylutowane, tak aby możliwe było ich położenie na płytce. Zredukujcie to wysokość płytki z elektroniką. To samo dotyczy złączy J2...J4, które powinny być przystosowane do montażu poziomego. Pod układy scalone warto zastosować podstawki. Prawidłowo zmontowany układ nie wymaga



Fotografia 6. Silniki krokowe wymontowane z drukarek



Rysunek 6. Wzór płyty czołowej. Trójkątne znaczniki zostały wygrawerowane

### Wykaz elementów

**Rezystory:** wszystkie o mocy 0,25 W

R1, R2 10 kΩ

R3, R5, R7, R9: 1 kΩ

R4, R6, R8: 22 kΩ

**Kondensatory:**

C1, C2, C6, C7: 100 nF

C3: 1000 μF/25 V

C4, C5, C8...C10: 220 μF/16 V

**Półprzewodniki:**

B1 mostek Graetza 1,5A okrągły

D1 np. 1N4004

T1 dowolny NPN małej mocy, np. BC546

T2 - T4 dowolny PNP małej mocy np. BC556

US1: 7805

US2...US8: CD4017 DIP16

US9...US11: CD4013 DIP14

US12...US14: L293D DIP16

**Inne:**

F1: bezpiecznik 630 mA 5×20 mm, zwłoczny z gniazdem do druku

J1: gniazdo DC2,1/5,5 mm do druku

J2...J4: złącze męskie kątowe 4pin 2,54 mm np. 403-04 + żeńskie na przewody 3× podstawa DIP14

10× podstawa DIP16

Silniki krokowe (opis w tekście)

Zasilacz 12 V AC (opis w tekście)

żadnych czynności uruchomieniowych i jest natychmiast gotowy do pracy.

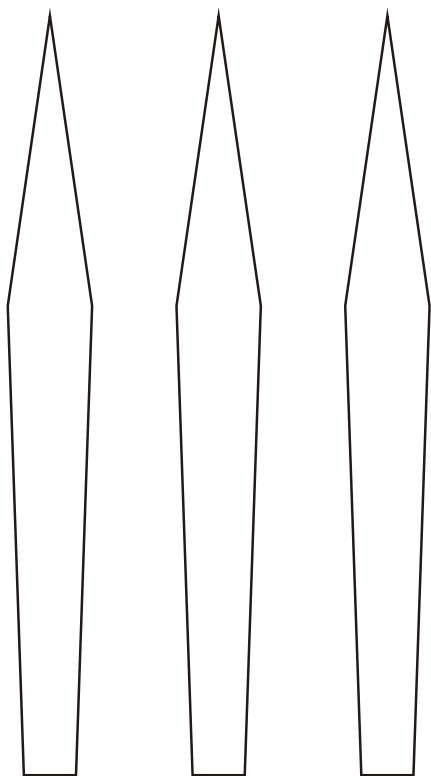
W układzie modelowym użyto trzech niewielkich silników krokowych MITSUMI M35SP-5. Zostały one wymontowane ze starych drukarek atramentowych (**fotografia 6**), a następnie usunięto z nich zbędne fragmenty (**fotografia 7**). Umożliwiają one pracę w trybie unipolarnym lub bipolarnym, gdyż mają 6 wyprowadzeń. Dlatego wybrano wariant najkorzystniejszy z punktu widzenia redukcji poboru prądu, czyli pracę w trybie bipolarnym, z cewkami połączonymi szeregowo. Daje to wypadkową ich rezystancję na poziomie 100 Ω, a zatem prąd płynący przez taką cewkę wynosi ok. 120...140 mA, natomiast przez cały silnik dwukrotnie więcej.

Jest to jednocześnie rada dla przyszłych konstruktorów: należy dobrać możliwie jednakowe silniki o jak największej oporności uzwojeń. Jeżeli zachodzi obawa przekroczenia prądu 600 mA, czyli maksymalnego dopuszczalnego dla jednego kanału układu L293, warto w szereg z cewką wstawić odpowiedni rezystor. Zmniejszy to wprawdzie moment obrotowy, ale i tak nie jest on do niczego w tym zastosowaniu potrzebny. Konieczne jest też dobranie odpowiedniego bezpiecznika. Prawidłowy układ połączeń między płytką a cewkami najprościej jest dobrać eksperymentalnie.

Układ modelowy nie ma obudowy, a dokładniej – obudowa składa się z jednej ścianki, którą stanowi płyta sklejkowa o wymiarach 250 mm×600 mm i grubości 3 mm z zaokrąglonymi rogami (**rysunek 6**). Została wycięta i wygrawerowana laserowo, co daje bardzo dużą dokładność obróbki. Cena takiej usługi, nawet w wykonaniu jednostkowym, rów-

Na CD: karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w wykazie elementów kolorem czerwonym



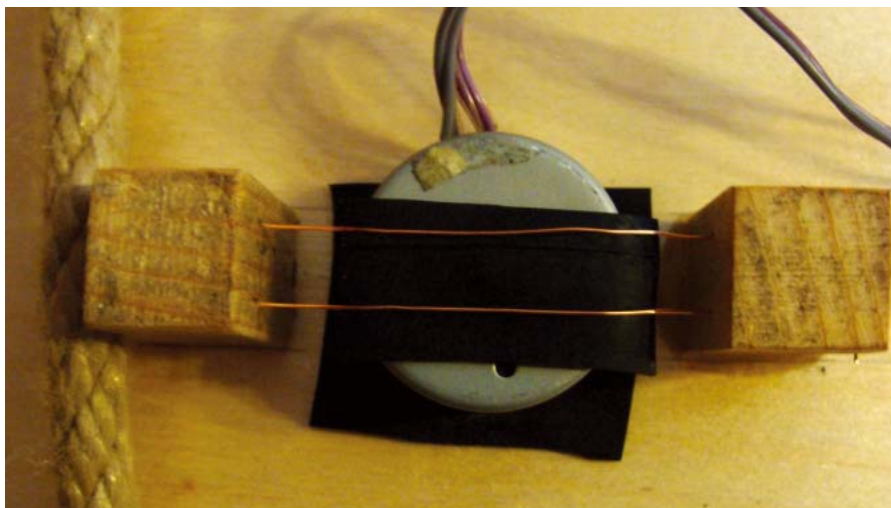


Rysunek 7. Wzór wykonania wskazówek zegara

nież jest dziś znacznie bardziej przystępna, niż jeszcze kilka lat temu. W ten sam sposób zostały wycięte wskazówki: 90 mm długości i 10 mm szerokości (rysunek 7).

Aby nie szpeciły płyty czołowej łbami śrub mocujących silniki i płytkę, zastosowano następujący trick: od spodu zostały przyklejone drewniane słupki o wymiarach 20 mm×20 mm×40 mm, które następnie zostały dwukrotnie przewiercone w poprzek wiertłem o średnicy 1 mm o kilka milimetrów niżej, niż wskazywałyby na to grubość silniczków. Służą one do przewleczenia przez nie cienkiego drucika, który przytrzyma silnik. Pomiędzy płytą i silnik oraz silnik i dociskający go drut zostały włożone kawałki miękkiej gumy, która tłumi przenoszenie drgań na płytę czołową oraz zapobiega samoczynnemu obracaniu się silników pod wpływem ruchów skokowych. Szczegóły widoczne są na fotografii 8. Identyczne słupki przyklejono w rogach płyty, by nie miała ona tendencji do nieestetycznego odchylenia się od ściany. Płytkę z elektroniką przymocowano za pośrednictwem czterech drewnianych, przewierconych na wylot klocków o wymiarach 20 mm×20 mm×10 mm, z wklejoną na przestrzał śrubą M3. Ostatecznie przyklejono je do płyty, aby utworzyły gwintowane „szpilki”, na które została nasadzona i przykręcona płytka. Bardzo dobrym klejem do łączenia drewna z metalem oraz drewna ze sklejką jest żywica epoksydowa.

Dwa słowa należy poświęcić również zamocowaniu wskazówek do osi silników. W urządzeniu modelowym zostało to zrobione w następujący sposób:

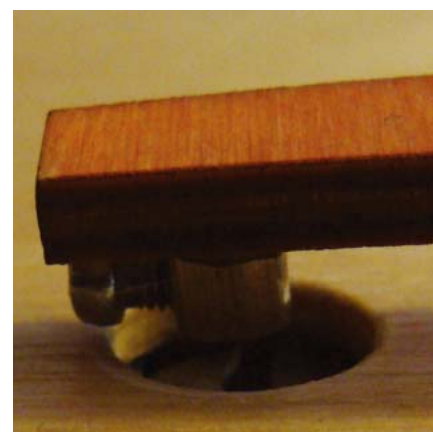


Fotografia 8. Szczegóły mocowania obudowy silnika do płyty

- odcięto jedną sekcję zaciskowej złączki elektrycznej,
- zdjęto z niej osłonę z tworzywa sztucznego, odsłaniając mosiężną rurkę,
- przecięto ją brzeszczotem na pół dla zmniejszenia długości,
- przyklejono jedną połówkę żywicą epoksydową do wskazówki, wystawiając ciętą płaszczyznę (jako potencjalnie nierówną) na zewnątrz.

Samą oś najlepiej jest zeszlifować do uzyskania przekroju półokrągłego. Dzięki temu, śróbka będzie mogła dobrze docisnąć uzyskane „spłaszczenie”, co uchroni wskazówkę od spadania. Widok takiego mocowania prezentuje fotografia 9.

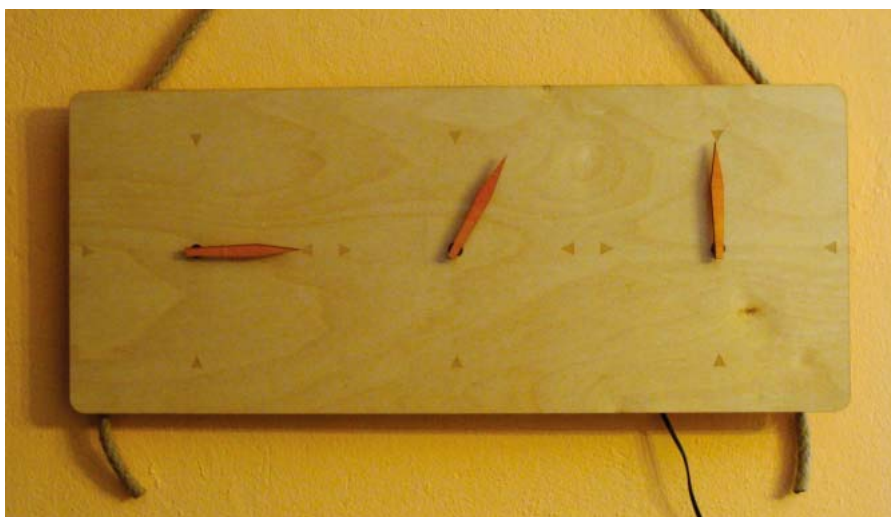
Wszystkie elementy drewniane dobrze jest pokryć kilkoma warstwami lakieru. Po położeniu i wyschnięciu pierwszej warstwy, należy delikatnie przetrzeć je papierem ściernym o gramaturze ok. 180...200, aby usunąć podniesione włókna. Do powieszenia zegara na ścianie użyto grubego sznura konopnego, który dobrze komponuje się z drewnianymi elementami. Zasilanie zasilaczem 12 V prądu przemiennego o odpowiedniej wydajności prądowej; układ modelowy pobiera śred-



Fotografia 9. Mocowanie wskazówki na osi silnika

nio 120 mA. Nastawienie aktualnej godziny odbywa się poprzez przekręcanie palcem wskazówek. Zachęcam do własnych eksperymentów z obudową. Nic nie stoi na przeszkodzie, by tarczę wykonać z poliwęglanu, stali lub aluminium, zastosować bardziej niecodzienne wskazówki, czy też całkowicie inaczej ulokować silniki na płycie czołowej. Modelowy zegar pokazano na fotografii 10.

Michał Kurzela, EP



Fotografia 10. Zmontowany zegar zawieszony na ścianie