



# Automatyczny wyłącznik nadprądowy

**Układ automatycznie odłączający obciążenie po wykryciu nadmiernego poboru prądu.**

Układ monitoruje pobór prądu, gdy przekroczy on ustawiony próg, odłącza obciążenie za pomocą przekaźnika. Co istotne, pomiar prądu odbywa się po „dodatniej” stronie zasilania, natomiast masa wyjściowa jest bezpośrednio połączona z wejściem. Próg wyłączenia można regulować w zakresie 10mA – 1A, a napięcie wejściowe może wynosić od 5V nawet do 40V. Stan „bezpiecznika” jest sygnalizowany za pomocą dwóch diod LED i może być ręcznie zmieniany przy użyciu przycisków.

## Opis układu

Schemat pokazany na rysunku 1 podzielony jest na dwie oddzielnie zasilane sekcje. Miejsce pomiaru prądu nie jest zagadnieniem nad którym wcześniej bym się zastanawiał, ale podczas poszukiwań w Internecie trafił do mnie szczególnie jeden argument: łatwo jest przypadkowo zewrzeć element układu, nad którym pracujemy, do masy zasilacza, co w przypadku pomiaru w obwodzie masy zupełnie pominięłyby zabezpieczenie. Oczywiście możliwa jest

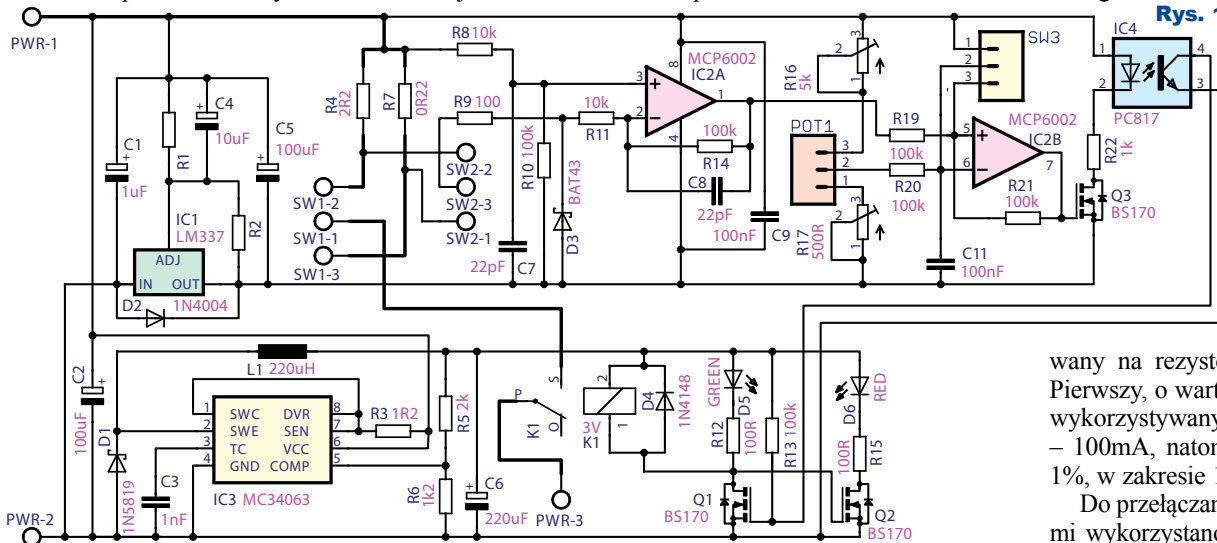


również sytuacja odwrotna, jednak jest ona dużo mniej prawdopodobna. Obciążenie jest podłączone za pośrednictwem normalnie otwartego styku przekaźnika (osobiście jestem wielkim fanem „klikania” przekaźników). Ma to na celu samoczynne odłączenie zasilania w przypadku uszkodzenia układu lub zaniku napięcia wejściowego. Napięcie zasilania przekaźnika musi być dość niskie, na pewno niższe niż minimalne napięcie wejściowe, np. 3V. Problem rodzi się, gdy na wejściu zostanie podłączone dużo wyższe napięcie, np. 24V, co przy poborze 100mA dałoby ponad 2W mocy strat na stabilizatorze liniowym.

Dobrze byłoby do tego celu wykorzystać dużo bardziej ekonomiczną przetwornicę DC-DC. Niestety prawie wszystkie układy przetwornic, które znam lub byłem w stanie znaleźć w internecie, mają wspólną masę między wejściem a wyjściem, więc wejścia wzmacniacza musiałyby wtedy pracować dużo powyżej napięcia zasilania. Istnieją wzmacniacze przeznaczone dokładnie do takich zastosowań, w których Common Mode Voltage sięga kilkudziesięciu woltów poza napięcie zasilania. W poszukiwaniach koniecz-

ne jest szczęście, ponieważ wyszukiwarki sklepów zwykle nie wyróżniają szczególnie takich układów, jak również nie prezentują szczegółowo parametrów. Udało mi się znaleźć np. MAX4172 (Maxim). Alternatywą mogłoby być użycie wzmacniacza, który mógłby pracować przy pełnym zakresie napięć zasilania. Znalezienie takiego również nie jest proste, ale mogłoby to być np. LTC6101 (Linear Technology). Tak czy owak byłoby to wydatek rzędu 20zł, a żaden z tego typu układów nie jest dostępny w obudowie do montażu przewlekane.

Ostatecznie zdecydowałem się na „swoisty podział w zasilaniu” – część pomiarowa, o znikomym poborze prądu, jest zasilana z liniowego stabilizatora napięcia ujemnego LM337 (IC1). Natomiast część wykonawcza z przekaźnikiem i diodami – z przetwornicy zbudowanej na bazie układu MC34063 (IC3). Sygnał włączenia/wyłączenia bezpiecznika jest przekazywany za pomocą tranzystora PC817 (IC4). Pozwala to na zastosowanie taniego wzmacniacza operacyjnego



**Rys. 1** MCP6002, którego kilka sztuk pozostało mi po prototypach *VU metera*. Może on pracować przy bardzo niskim napięciu zasilania, w tym przypadku 2,5V. Pomiar prądu jest wykonywany na rezystorach R4 lub R7. Pierwszy, o wartości 2,2Ω 1%, jest wykorzystywany w zakresie 10mA – 100mA, natomiast drugi, 0,22Ω 1%, w zakresie 100mA – 1A. Do przełączania między zakresami wykorzystano zwykły przełącz-

nik dwusekcyjny. Jedna sekcja przełącza rezystor, do którego jest podłączone obciążenie (ścieżka oznaczona pogrubioną linią na schemacie), natomiast druga – wejście wzmacniacza. Jest to konieczne, aby nie mierzyć napięcia na rezystancji styków przełącznika. Może ona wynosić kilkadziesiąt mΩ, co wprowadzałaby duży błąd.

Napięcie na rezystorze pomiarowym będzie wynosić 22mV – 220mV. Napięcie to jest wzmacniane ok. 10-krotnie przez wzmacniacz IC2A. Kondensatory C7 i C8 służą filtrowaniu składowych wysokich częstotliwości, które mogą pojawić się w napięciu z zasilacza. Dioda D3 zabezpiecza wejście odwracające układu w przypadku zwarcia obciążenia (napięcie wejściowe może wtedy znaleźć się poniżej dolnej szyny zasilania). Rezystor R9 ogranicza wtedy prąd płynący przez diodę (dioda nie może być podłączona bezpośrednio do wejścia WO, ponieważ jej prąd wsteczny znacząco wpływałby na wynik pomiaru).

Układ trzech potencjometrów, R16, R17 oraz POT1, dostarcza napięcia odniesienia. R16 i R17 to potencjometry montażowe, które służą do kalibracji zakresu dla potencjometru POT1, którym z kolei dokonuje się właściwej regulacji prądu zadziałania.

Wzmacniacz IC2B pracuje w układzie przerzutnika Schmitta (z dodatnim sprzężeniem zwrotnym). Przerzutnik ten zmienia stan wyjścia na wysoki, gdy napięcie na wejściu nieodwracającym przekroczy dwukrotność napięcia odniesienia, podanego na wejście odwracające. To jest – pod warunkiem że napięcie na wyjściu jest równe ujemnemu napięciu zasilania, czyli napięciu masy. Tak oczywiście nie jest, nawet w przypadku wzmacniacza z wyjściem rail-to-rail, jakim jest MCP6002. Napięcie to może być natomiast bardzo bliskie tego limitu pod warunkiem, że wyjście jest bardzo słabo obciążone. Tak właśnie jest w tym przypadku: jedyne obciążenie stanowi bramka tranzystora Q3 oraz rezystory R21 i R19, o wartości 100kΩ.

Po przekroczeniu nastawionej wartości prądu przerzutnik przełącza się ze stanu niskiego na wysoki. Do ponownego przełączenia w stan niski konieczne byłoby podanie na wejście napięcia ujemnego, nie jest więc możliwe samoczynne zresetowanie układu. Służy do tego przycisk, który na krótki czas zwiiera wejście odwracające do napięcia zasilania. Analogicznie drugi przycisk, podłączony do wejścia nieodwracającego, pozwala na ręczne odłączenie obciążenia.

Przycisk resetu na pierwotnym schemacie według rysunku 2 zawierał

dotadowy układ składający się z kondensatora i rezystora (C10, R18). Miał on zapobiegać uszkodzeniu obciążenia przez wciśnięcie przycisku na stałe. Pojedyncze wciśnięcie podłącza obciążenie na pewien krótki czas, lecz jeśli po jego upływie prąd nadal przekracza nastawioną wartość, jest ono odłączane. W czasie testów ta część układu była wielokrotnie przeze mnie modyfikowana, po pierwsze przez podłączenie elementów C10 i R18 bezpośrednio do wejścia wzmacniacza (podobnie jak C11), a ostatecznie po prostu usunięta, gdyż nie sprawdzała się w praktyce. Ostateczną wersję prezentuje schemat z rysunku 1.

Pozostała część układu jest już trywialna: tranzystor MOSFET Q1 steruje transoptorem odpowiadającym za translację napięć, natomiast Q2 i Q3 – diodami i przekąźnikiem.

Ciekawym dla mnie aspektem konstrukcji układów tego typu są źródła błędów pomiaru i sposoby radzenia sobie z nimi. Część z nich można zlikwidować przez kalibrację:

- Błąd wzmocnienia wzmacniacza różnicowego, wynikający z tolerancji rezystorów R8, R9 + R11, R10 oraz R14.
- Wejściowe napięcie niezrównoważenia wzmacniaczy.
- Odchylenie napięcia zasilania, wynikające z tolerancji rezystorów R1 i R2.

Inne czynniki, których nie da się łatwo wyeliminować w tak prostym układzie:

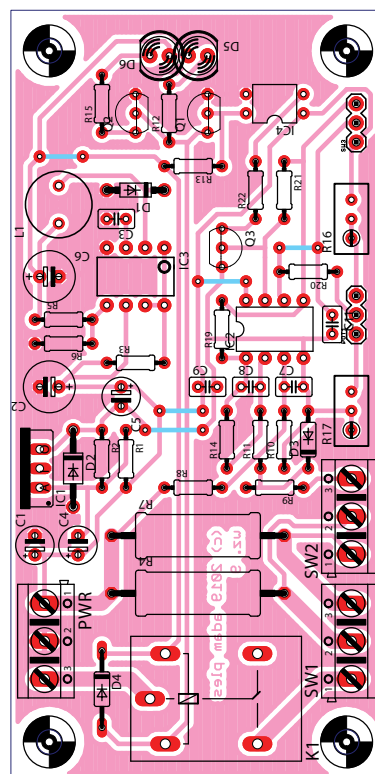
- Tolerancja boczników pomiarowych, w tym przypadku 1% – możliwa jest kalibracja dla jednego z rezystorów, ale nie obydwu. Aby nie pogarszać jeszcze sytuacji, ważne jest, aby pomiar odbywał się jak najbliższej wyprowadzeń rezystorów, w tym sensie, aby nie mierzyć dodatkowo napięcia odkładającego się na ścieżkach do nich prowadzących.
- Współczynniki temperaturowe rezysto-

rów. Będą one miały wpływ przede wszystkim na napięcie odniesienia (R1/R2, wszystkie potencjometry), a w drugiej kolejności na napięcie na rezystorach pomiarowych.

- Współczynnik stabilizacji napięciowej układu LM337 – napięcie odniesienia będzie się zmieniać w zależności od napięcia wejściowego.
- Nieliniowość potencjometru POT1.
- Nierówne wzmocnienie napięcia dodatniego i ujemnego przez wzmacniacz różnicowy, wynikające z tolerancji wykonania rezystorów.
- Współczynnik temperaturowy wejściowego napięcia niezrównoważenia wzmacniaczy.
- Dryf parametrów związany ze starzeniem się elementów, obejmujący m.in. wejściowe napięcie niezrównoważenia.

Patrząc na tę litanię, trudno się dziwić, że precyzyjna elektronika musi dużo kosztować :) Wiele parametrów zależy tutaj od temperatury, dlatego dobrze, aby urządzenie samo dla siebie nie było grzejnikiem – na szczęście w tym przypadku tak nie jest i przy używaniu go w temperaturze pokojowej nie powinien być to duży problem. Dodatkowo w praktyce trudno za pomocą jednego potencjometru ustawić jakikolwiek parametr z dokładnością większą niż kilka procent – ze względu na ograniczenia mechaniczno-geometryczne (1% z 270° stopni to 2,7°, co na mojej podzielnicy 2,5cm manifestuje się jako odstęp około pół milimetra).

Rys. 3



W testach, które przeprowadziłem, układ sprawował się zaskakująco dobrze. Próbowalem m.in. uszkodzić tranzystor małej mocy BC547, podłączając emiter bezpośrednio do masy, a bazę i kolektor do napięcia 5V – mimo wielokrotnych prób nie byłem w stanie doprowadzić do jego trwałego uszkodzenia. Oczywiście, trudno jest mi stwierdzić, w jakim stopniu zmieniły się właściwości tranzystora po takim potraktowaniu, natomiast nadal był on w stanie wzmacniać prąd stały. Niewielka dioda LED natomiast takiego testu nie wytrzymała i po ok. 10 cyklach dokonała żywota.

## Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na jednostronnej płytce drukowanej, z wykorzystaniem montażu przewlekane. Układ płytki przedstawiają **rysunek 3** oraz **fotografia 4**. Przy kompletowaniu elementów należy zwrócić uwagę na napięcie znamionowe kondensatorów C1 i C2 – powinno ono wynosić co najmniej 50V, ponieważ są one podłączone bezpośrednio do napięcia wejściowego. Przelicznik i przekaźnik powinny cechować się obciążalnością zestyków „z zapasem”, ponieważ muszą one wielokrotnie wytrzymać przepływ dużego prądu podczas zwarcia (nawet jeśli tylko przez krótką chwilę).

### Wykaz elementów

R1	.....	120Ω	C5	.....	100uF
R2	.....	120Ω	C6	.....	220uF
R3	.....	1,2Ω	C7	.....	22pF
R4	.....	2,2Ω	C8	.....	22pF
R5	.....	2kΩ	C9	.....	100nF
R6	.....	1,2kΩ	C11	.....	100nF
R7	.....	0,22Ω	D1	.....	1N5819
R8	.....	10kΩ	D2	.....	1N4007
R9	.....	100Ω	D3	.....	BAT43
R10	.....	100kΩ	D4	.....	1N4148
R11	.....	10kΩ	D5	.....	LED zielona
R12	.....	100Ω	D6	.....	LED czerwona
R13	.....	100kΩ	D7	.....	1N4007
R14	.....	100kΩ	D8	.....	1N5819
R15	.....	100Ω	IC1	.....	LM337
R16	.....	5kΩ	IC2	.....	MCP6002
R17	.....	500Ω	IC3	.....	MC34063
R19	.....	100kΩ	IC4	.....	PC817
R20	.....	100kΩ	Q1	.....	BS170
R21	.....	100kΩ	2	.....	BS170
R22	.....	1kΩ	Q3	.....	BS170
C1	.....	1uF	K1	.....	przełącznik 3V
C2	.....	100uF	L1	.....	220uH
C3	.....	1nF	POT1	.....	2kΩ
C4	.....	10uF			

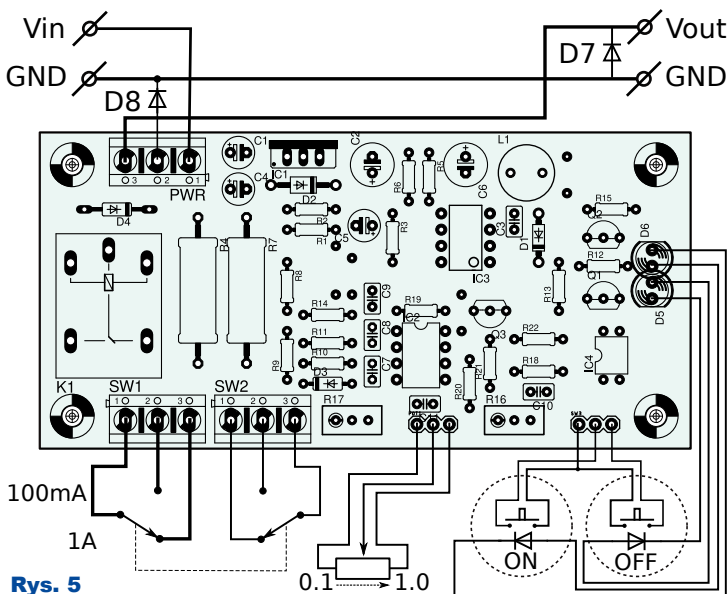
**Płytką drukowaną jest dostępna w Sklepie AVT jako AVT3268**

Jako rezystory R4 i R7 najlepiej byłoby wykorzystać dedykowane boczki do pomiaru prądu. Ja takowych nie miałem, zamiast tego zastosowałem rezystory o mocy 5W i tolerancji 1% przeznaczone, jak mi się wydaje, do budowy zwrotnic głośnikowych. Ich wadą jest niska stabilność temperaturowa.

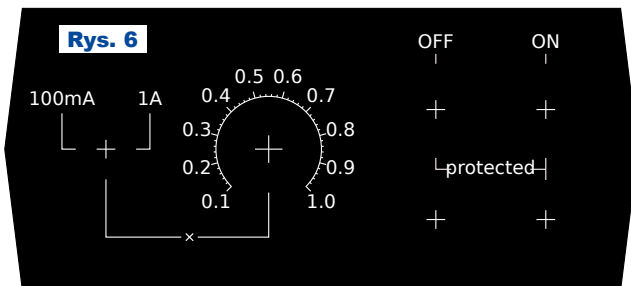
Dwa elementy zostały zamontowane poza płytką – są widoczne na schemacie montażowym na **rysunku 5**. Pomiędzy zaciskami wyjściowymi znajduje się dioda D7, mająca rozładowywać obciążenia indukcyjne po ich odłączeniu – nie mogła ona znaleźć się na płytce, ponieważ omija ją przewód masy prowadzący od zasilania do obciążenia. Druga dioda (D8), w obwodzie masy zasilania płytki, sprawia, że w przypadku zwarcia wyjścia kondensatory C1 i C2 nie rozładują się natychmiastowo, a zamiast tego pozwalają na pracę układu do czasu odłączenia obciążenia. O konieczności jej zastosowania pomyślałem niestety dopiero po zamontowaniu PCB.

Całość zamontowałem w niewielkiej plastikowej obudowie. Na przednim panelu znajdują się przelicznik zakresów, potencjometr nastawy prądu ze skalą, zaciski laboratoryjne do podłączenia obciążenia oraz przyciski włącz/wyłącz, podświetlane za pomocą diod sygnalizacyjnych D5 i D6. Wygląd panelu i wnętrza obudowy przedstawia fotografia tytułowa. **Rysunek 6** pokazuje przykład projektu płyty czołowej.

Po zamontowaniu układu i podłączeniu do zasilania można po pierwsze skontrolować napięcia na wyjściu stabilizatora IC1 (2,5V) oraz przetwornicy (ok. 3,3V). Następnie należy przystąpić do kalibracji. Nie jest to proces zbyt prosty ze względu na fakt, że trzeba się posługiwać dwoma potencjometrami (R16 i R17), które na dodatek nie działają niezależnie. Do kalibracji konieczne jest wybranie dwóch punktów w pobliżu przeciw-



**Rys. 5**



**Rys. 6**

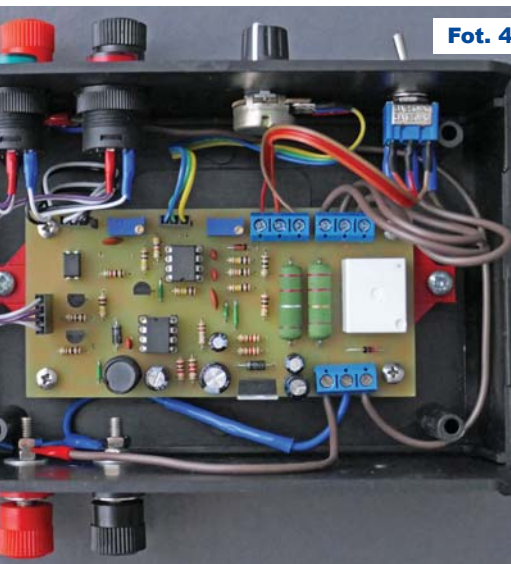
głych końców skali, np. przy zasilaniu 12V możemy posłużyć się rezystorami 1,5kΩ oraz 120Ω (o odpowiednich mocach znamionowych). Rzeczywistą wartość prądu płynącego przez obciążenie najlepiej zweryfikować precyzyjnym amperomierzem.

Procedura kalibracji jest następująca: na skali ustawiamy maksymalny prąd, następnie podłączamy obciążenie 1,5kΩ za pomocą przycisku ON. Powoli obracamy potencjometr w lewo, aż do zadziałania bezpiecznika. Jeśli zadziałał za wcześnie, należy zmniejszyć rezystancję R16, jeśli za późno – zwiększyć ją, a następnie powtarzać test, aż do uzyskania poprawnego progu zadziałania. Następnie podłączamy obciążenie 120Ω i wykonujemy te same czynności, ale posługując się potencjometrem R17 i zwiększając rezystancję przy zbyt wczesnym zadziałaniu oraz zmniejszając przy zbyt późnym. Niestety całą procedurę trzeba przeprowadzić kilkakrotnie, zanim oba punkty będą dostatecznie dokładnie skalibrowane.



**Adam Ples**

ples.adam@gmail.com



**Fot. 4**