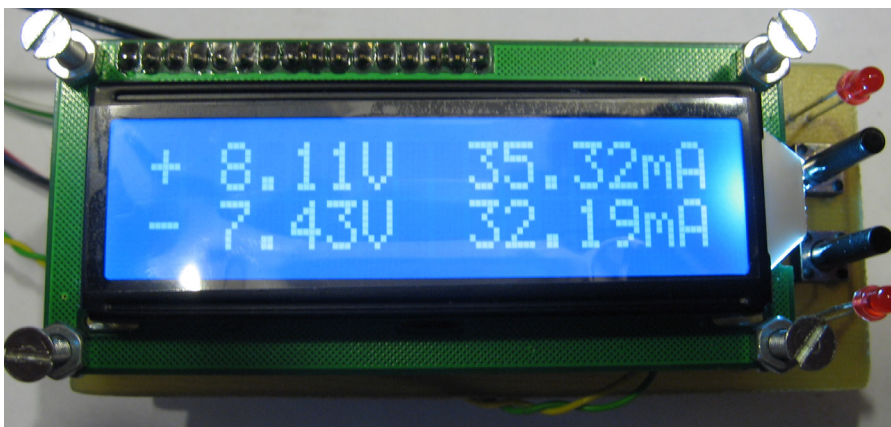


Miernik panelowy do zasilacza symetrycznego

**AVT
5415**

Prezentowany miernik panelowy jest znakomitym uzupełnieniem każdego budowanego zasilacza. Jest przeznaczony do zasilacza symetrycznego i umożliwia jednoczesny pomiar obu napięć wyjściowych oraz prądów pobieranych ze źródeł napięcia dodatniego i ujemnego.

Rekomendacje: miernik nadaje się do współpracy z zasilaczem 3,3...30 V.



We wstępie do artykułu należą się podziękowania Jakubowi Moronowi, Szymonowi Kulisiowi i Przemkowi Terleckiemu za udzielenie cennych wskazówek i zwrócenie uwagi na błędy w projekcie i budowie układu. Założeniem tego projektu było wykonanie taniego miernika, który jednocześnie pozwala na zmierzenie napięć i prądów z możliwie dobrą dokładnością. Dodatkowo, wyświetlanie poboru mocy czy też rezystancji dołączonego odbiornika może być przydatne w wielu zastosowaniach.

Miernik jest zbudowany z zastosowaniem popularnych wzmacniaczy operacyjnych TL081, których offsety kalibrowane są za pomocą potencjometrów wieloobrotowych oraz sieci rezystorów. Do pomiaru napięcia zastosowano przetwornik analogowo-cyfrowy w mikrokontrolerze ATmega8. Wyniki pomiarów są prezentowane na wyświetlaczu LCD 16x2. Przyciski na panelu przednim pozwalają na przełączanie się w wygodny sposób pomiędzy wskazaniem prądu, mocy i rezystancji obciążenia.

Zasada działania

Miernik składa się z dwóch części, połączonych ze sobą za pomocą złącz goldpin. Schemat części analogowej zamieszczono na **rysunku 1**. Schemat można podzielić na dwie prawie symetryczne części. Jedna odpowiada za pomiar prądu i napięcia w ujemnym kanale współpracującego zasilacza, a druga w dodatnim.

Spadek napięcia występujący na rezystorze $R+^*$ (0,2 Ω) jest proporcjonalny do płynącego przez niego prądu. Rezystor ten nie jest zamontowany na płytce miernika, gdyż jest częścią zasilacza współpracującego z miernikiem. Punkt „A” powinien być dołączony

do wyższego potencjału (przed rezystorem w zasilaczu), natomiast punkt „B” do potencjału niższego (za rezystorem pomiarowym). Wzmacniacz operacyjny U3 (TL081) porównuje napięcie w punkcie „B” z napięciem występującym na rezystorach $R1...R4$ (200 Ω) względem punktu „A”. Jego wyjście tak steruje tranzystorem T1 (BC857), aby spadek napięcia na równoległym połączeniu $R1...R4$ był równy spadkowi napięcia na rezystorze pomiarowym $R+^*$. Równoległe połączenie $R1...R4$, zamiast pojedynczego rezystora zostało zastosowane w celu polepszenia tolerancji rezystancji, a co za tym idzie, poprawia dokładność pomiaru.

Prąd płynący przez tranzystor T1 i rezystory $R1...R4$ płynie także przez rezystory $R5...R8$ (9,1 k Ω). Ich rezystancja jest 45,5 razy większa od równoległego połączenia $R1...R4$, więc napięcie na kondensatorze C8 (100 nF) jest 45,5 razy wyższe, niż na rezystorze pomiarowym $R+^*$. Jak łatwo zauważyć, pomiar prądu może odbywać się w maksymalnie 4 zakresach pomiarowych, realizowanych przez rezystory $R9...R12$ (2,4 k Ω), $R13...R16$ (750 Ω) i tranzystory MOSFET z komplementarnych par T3-T4 (IRF7106/IRF7105). Elementy T3 i T4 w istocie zawierają dwa tranzystory o przeciwnych polaryzacjach w jednej obudowie. Jeśli dla przykładu tranzystory MOSFET-N z T3 i T4 będą przewodzić (wysoki stan na bramkach G1), to prąd płynący przez T1 będzie trafiał na równoległe połączenie rezystorów $R5...R16$ realizując najmniejszy mnożnik napięcia i zarazem największy zakres pomiarowy.

Napięcie z dzielnika rezystancyjnego, filtrowane przez C8 trafia na wejście bufora nieodwracającego U4 (TL081) i dalej przez rezystor R21 (9,1 k Ω) na wejście przetwor-

W ofercie AVT*

AVT-5415 A AVT-5415 B

AVT-5415 UK

Podstawowe informacje:

- Pomiar napięcia i prądu zasilacza symetrycznego (w odniesieniu do masy).
- Wskazanie wyniku pomiaru na wyświetlaczu LCD 16x2.
- Wyświetlanie napięć, prądów, mocy w dwóch kanałach symetrycznych.
- Zakres pomiaru napięcia 3,3...30 V.
- Zakres pomiaru prądu: 0...2000 mA.
- Zasilanie ± 36 V DC (uzwojenie pomocnicze)

Dodatkowe materiały na CD lub FTP:

<ftp://ep.com.pl>, user: 41650, pass: 742qofb6

• 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-5399 Dwukanałowy multimetr panelowy EP 6/2013

AVT-5386 Podwójny woltomierz i amperomierz EP 3/2013

AVT-5339 Woltomierz cyfrowy EP 4/2012

AVT-5333 Multimetr panelowy EP 3/2012

AVT-5300 VMOD - Uniwersalny miernik napięcia EP 7/2011

AVT-5233 3-kanałowy woltomierz EP 5/2010

AVT-5182 Wielokanałowy rejestrator napięć EP 4/2009

AVT-2857 Moduł woltomierza/amperomierza EdW 3/2008

AVT-5086 Programowany 4-kanałowy komparator/woltomierz EP 11/2002

AVT-2270 Moduł miliwoltomierza EdW 3/1998

AVT-2126 Moduł woltomierza na LCD EdW 3/1997

* 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 wymienionych w załączniku pdf

AVT xxxx C to nic innego jak zmontowany zestaw B, czyli elementy wlutowane 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

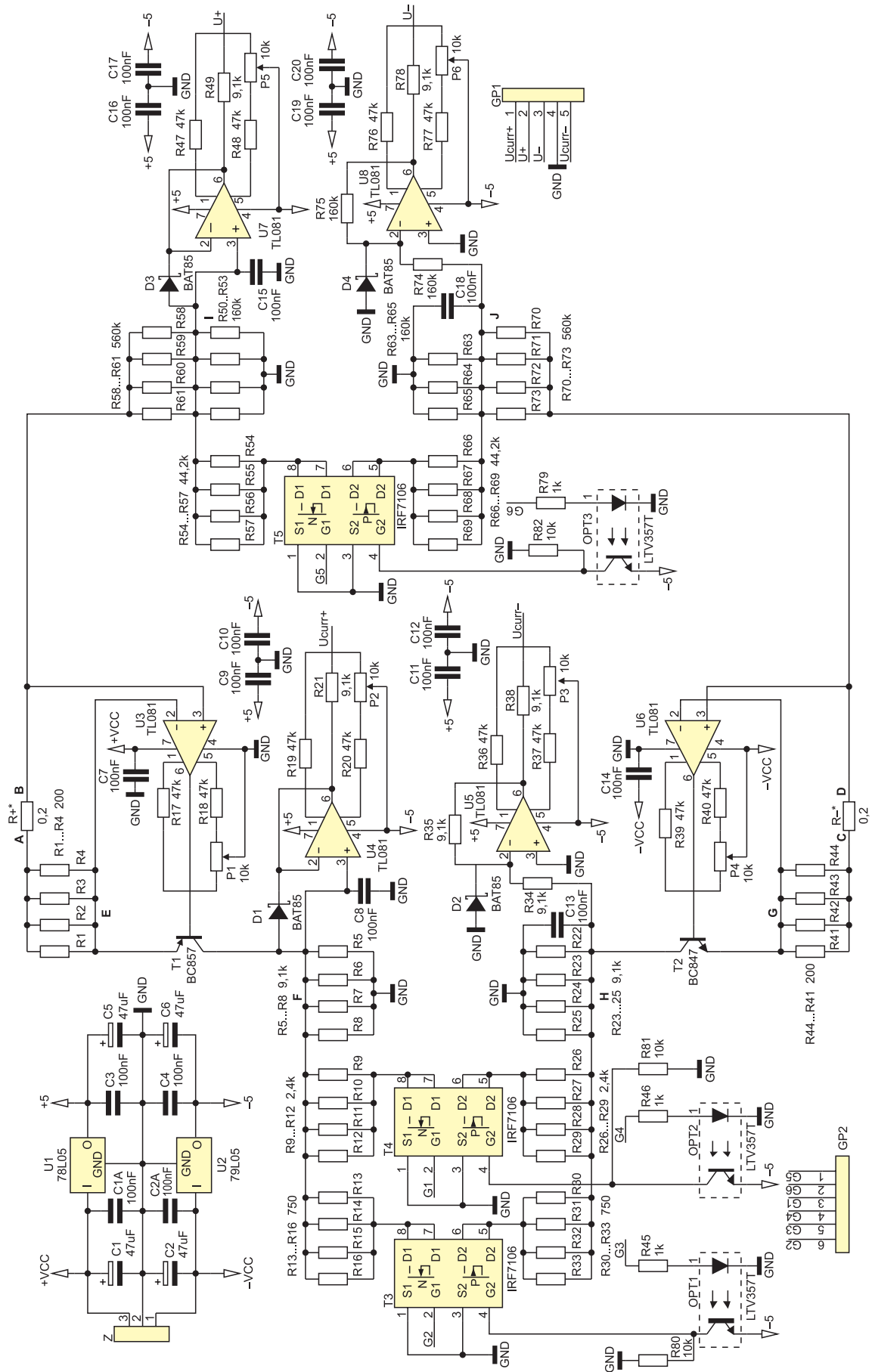
AVT xxxx CD oprogramowanie (nieczęsto spotykana wersja, lecz jeśli występuje, to niezbędne oprogramowanie można ściągnąć, klikając w link umieszczony w opisie kitu)

 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>

nika A/C za pośrednictwem złącza GP1. Tranzystory zmieniające zakres sterowane są za pomocą mikrokontrolera poprzez złącze

GP2. Napięcie na wyjściu bufora U4 nie powinno przekroczyć 2,56 V, gdyż przetwornik A/C pracuje z takim napięciem referencyj-

nym. Gdy napięcie zbliży się do tej wartości, zakres prądowy zostaje zmieniony automatycznie na większy.

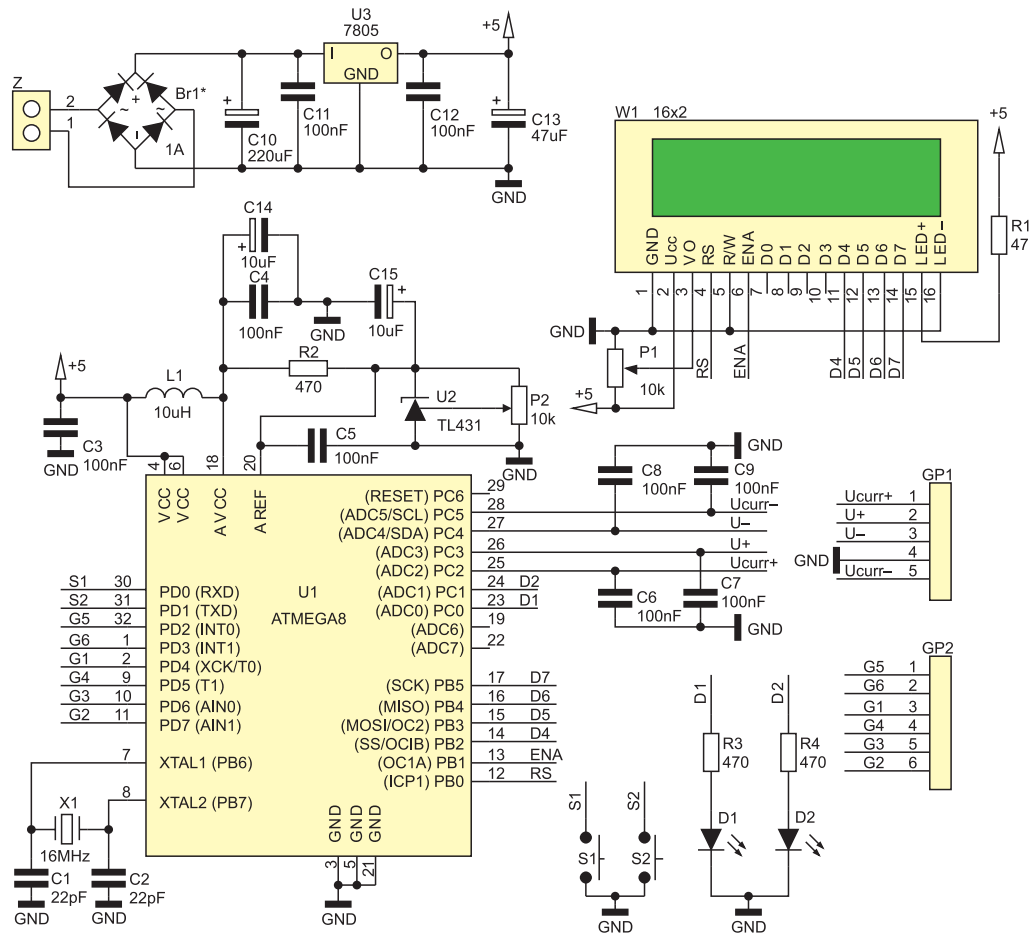


Rysunek 1. Schemat części analogowej multimetru

Rezystory R17...R20 (47 kΩ) oraz potencjometry wieloobrotowe P1...P2 (10 kΩ) pozwalają na zniwelowanie offsetu wzmacniaczy U3 i U4, jednak w pierwszej fazie uruchomienia multimetru nie należy ich montować. Kondensatory C7 (100 nF), C9, C10 (100 nF) filtrują napięcia zasilające wzmacniacze U3 i U4. Wzmacniacz U3 pracuje przy zasilaniu dodatnim o wartości maksymalnej 36 V, natomiast U4 przy zasilaniu symetrycznym ±5 V, aby dobrze przenosić sygnały o potencjale zbliżonym do masy.

Pomiar prądu płynącego w ujemnym biegunie zasilacza jest bardzo podobny. Rezystorem pomiarowym jest tutaj R* (0,2 Ω), punkt „C” należy dołączyć do niższego potencjału, a punkt „D” do wyższego. Dzięki wzmacniaczowi operacyjnemu U6 (TL081) i tranzystorowi T2 (BC847) spadek napięcia na równoległym połączeniu R41...R44 (200 Ω) jest taki sam, jak na rezystorze pomiarowym R*. Prąd płynący przez rezystory R41...R44 i tranzystor T2 płynie także przez równoległe połączenie R23-R25 (9,1 k) i R34 (9,1 k). Podczas działania układu na wejściu odwracającym wzmacniacza U5 (TL081) ustali się potencjał masy, a zatem rezystor R34 jest włączony równoległe do R23...R25. Napięcie na kondensatorze filtrującym C13 (100 nF) jest w efekcie 45,5 razy większe od napięcia na rezystorze pomiarowym R*. Wzmacniacz U1 pracuje w konfiguracji odwracającej o wzmocnieniu -1, co jest konieczne w celu umożliwienia pracy przetwornika A/C w mikrokontrolerze, pracującym tylko przy wejściowych napięciach dodatnich. Podobnie jak w kanale dodatnim, dzięki tranzystorom MOSFET-P w par T3 i T4 oraz rezystorom R26...R29 (2,4 kΩ) i R30...R33 (750 Ω), jest możliwa zmiana zakresów pomiarowych miernika prądu. Bramki tranzystorów MOSFET-P wymagają sterowania ujemnego względem masy, więc zostały podłączone do mikrokontrolera poprzez transoptory OPT1-OPT2 (LTV357T), pozwalające sterować bramki tranzystorów napięciem dodatnim względem masy. Rezystory R80, R81 (10 kΩ) podciągają bramki do potencjału masy, gdy OPT1 i OPT2 są wyłączone, natomiast R45, R46 (1 kΩ) ograniczają prąd diod transoptorów. Wyjście bufora odwracającego U5 trafia na rezystor R38 (9,1 kΩ) i dalej, na złącze GP1.

Rezystory R36, R37, R39, R40 (47 kΩ) oraz potencjometry P3 (10 kΩ) i P4 (10 kΩ)

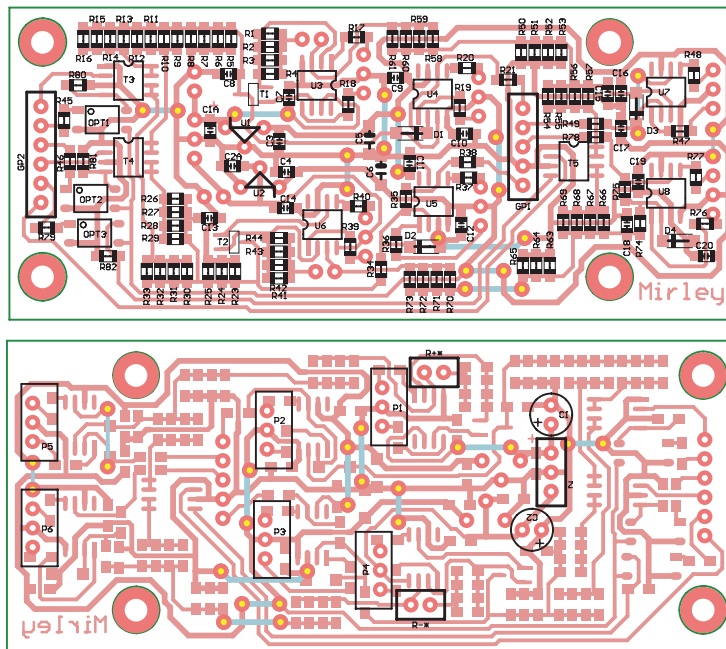


Rysunek 2. Schemat części cyfrowej multimetru

pozwalają na zniwelowanie offsetu wzmacniaczy U5 i U6. Kondensatory C11, C12 oraz C14 (100 nF) filtrują napięcie zasilania wzmacniaczy operacyjnych.

Pomiar napięcia wykonany jest w mniej skomplikowany sposób i działa z zastosowaniem dzielnika napięcia. W dodatnim kanale pracuje dzielnik składający się z równole-

głego połączenia R58...R61 (560 kΩ) oraz R50...R53 (160 kΩ). Stopień podziału jest wyznaczony tutaj na 10/45. Napięcie z dzielnika jest filtrowane za pomocą pojemności C15 (100 nF), a następnie trafia na bufor U7 (TL081) i poprzez rezystor R49 (9,1 kΩ) na złącze wyjściowe GP1. Pomiar napięcia jest dokonywany w dwóch zakresach pomia-



Rysunek 3. Schemat montażowy części analogowej multimetru

rowych zmienianych dzięki tranzystorowi MOSFET-N z komplementarnej pary T5 (IRF7105/IRF7106). Gdy tranzystor przewodzi do rezystorów R50...R53 dołączają się równolegle R54...R57 (44,2 kΩ) zmieniając stopień podziału dzielnika.

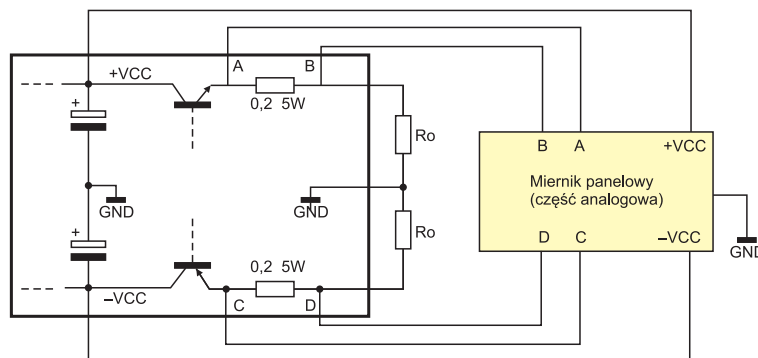
Pomiar napięcia ujemnego jest wykonywany w bardzo podobny sposób. Dzielnik składa się tym razem z rezystorów R70...R73 (560 kΩ) oraz R63...R65 (160 kΩ). Podobnie jak na ujemnym zakresie pomiarowym dla prądu, rezystor R74 (160 kΩ) dołącza się równolegle do rezystorów R63...R65. Kondensator C18 (100 nF) filtruje napięcie z dzielnika, które jest odwracane za pomocą wzmacniacza U8 (TL081). Stosunek rezystancji rezystorów R75 i R74 (160 kΩ) ustala wzmocnienie U8. Zmiana zakresu pomiaru napięcia po stronie ujemnej odbywa się dzięki tranzystorowi MOSFET-P z pary T5 i rezystorom R66...R69 (44,2 kΩ), identycznie jak po stronie dodatniej. Do sterowania tranzystora MOSFET-P jest używany transpopter OPT3 (LTV357) oraz rezystory R82 (10 kΩ) i R79 (1 kΩ).

Rezystory R47, R48, R76, R77 (47 kΩ) oraz potencjometry P5-P6 (10 k) pozwalają wyzerować offset wzmacniaczy U7 i U8, a kondensatory C16, C17, C19, C20 (100 nF) filtrują napięcie zasilania tych wzmacniaczy. Diody D1...D4 (BAT85) zabezpieczają wejścia wzmacniaczy operacyjnych U4, U5, U7 i U8 przed nadmiernym wzrostem napięcia. W ich miejsce można też dać dowolnych diod krzemowych w obudowie SOD80, gdyby okazało się, że wzmacniacze operacyjne nie pracują stabilnie (testy wykazały, że zależy to w dużej mierze od producenta wzmacniaczy).

Schemat części cyfrowej pokazano na **rysunku 2**. Jej sercem jest mikrokontroler ATmega8 (U1). Pomiar jest wykonywany za pomocą przetworników A/C wbudowanych w mikrokontroler. Sam przetwornik A/C może pracować z wewnętrznym lub zewnętrznym napięciem referencyjnym 2,56 V. W roli zewnętrznego układu referencyjnego jest używana regulowana dioda Zenera U2 (TL431) wraz z elementami współpracującymi: potencjometrem P2 (10 kΩ), rezystorem R2 (470 Ω) i C5 (100 nF). Kondensatory C5 (100 nF) i C15 (10 μF) filtrują napięcie referencyjne, a potencjometr P2 pozwala na ustawienie jego wartości.

Napięcie wejściowe przetwornika jest filtrowane przez kondensatory C6...C9 (100 nF), które tworzą filtr RC razem z szeregowym rezystorem wyjściowym, znajdującym się w części analogowej układu. Złącza GP1 oraz GP2 zapewniają połączenie pomiędzy płytkami.

Kondensatory C4 (100 nF) i C14 (10 μF) oraz dławik L1 (10 μH) filtrują napięcie zasilające część analogową mikrokontrolera. Kondensator C3 (100 nF), zamontowany bli-



Rysunek 4. Dołączenie miernika do zasilacza

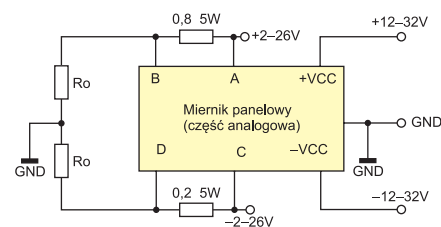
sko mikrokontrolera, zapewnia filtrowanie napięcia zasilającego część cyfrową mikrokontrolera. Ponieważ miernik będzie wykorzystywany w zasilaczu i zwykle zasilany z pomocniczego uzwojenia transformatora, na płytce przewidziano zasilacz stabilizowany wraz z mostkiem prostowniczym Br1 (1 A) i stabilizatorem U3 (7805).

Prezentacja wyniku pomiaru odbywa się za pomocą wyświetlacza W1 (16×2). Jego kontrast można dostosować za pomocą potencjometru P1 (10 kΩ). Prąd podświetlania wyświetlacza jest ograniczony przez rezystor R1 (47 Ω). Przyciski S1, S2 umożliwiają zmianę trybu pracy miernika, a diody świecące D1 i D2 sygnalizują przekroczenie zakresu pomiarowego prądu.

Budowa

Schemat montażowy części analogowej multimetru pokazano na **rysunku 3**. Montaż należy rozpocząć od komponentów umieszczonych od strony druku. Jakże pierwsze należy przylutować rezystory i kondensatory w obudowach 0805. Jeśli nie planujemy regulowania offsetów wzmacniaczy operacyjnych za pomocą potencjometrów wieloobrotowych (potencjometry nie będą montowane), to nie należy montować także rezystorów R17...R20, R39, R40, R36, R37, R47, R48, R76, R77. Z pozoru „dziwne” wartości rezystancji w układzie dzielników wynikają z faktu, że są to elementy o tolerancji 1% i nie zawsze są one dostępne o wartościach takich jak w szeregu 5%. W dalszej kolejności można wlutować tranzystory i wzmacniacze operacyjne, złącza GP1, GP2 i stabilizatory napięcia U1, U2. Montaż złącz goldpin i stabilizatorów jest utrudniony, gdyż należy go wykonać od strony druku.

Kolejnym etapem będzie montaż elementów po przeciwnej stronie płytki. W pierwszej kolejności należy wlutować wszystkie zworki, a następnie kondensatory C1 i C2. Wyprowadzenia kondensatorów można zgłąć pod kątem 90 stopni, aby można było je położyć na płytce. W roli elementów/złączy R+* i R-* trzeba wlutować przewody, gdyż w tym miejscu powinny zostać dołączone rezystory pomiarowe zasilacza symetrycznego. Do złącza „Z” będzie trzeba doprowadzić



Rysunek 5. Układ testowy

symetryczne napięcie zasilające, więc najprościej także wlutować w tym miejscu kawałek 3-żyłowej tasiemki. Potencjometry P1...P6 nie powinny być montowane na tym etapie nawet, gdy będziemy korzystali z możliwości regulowania offsetów wzmacniaczy. Potencjometry można zamontować dopiero po wstępnym uruchomieniu części analogowej.

Gdy część analogowa miernika jest już gotowa, można przystąpić do jej wstępnego uruchomienia. W tym celu należy dołączyć układ do zasilacza symetrycznego zgodnie z **rysunkiem 4**. Można też dołączyć układ miernika na czas testów do symetrycznego zasilacza regulowanego i zbudować nieskomplikowany układ testowy zgodnie z **rysunkiem 5**.

Widoczne na schemacie rezystory 0,2 Ω służą do pomiaru prądu. Napięcie zasilania układu musi być wyższe od napięcia w punkcie „A” (i po ujemnej stronie w punkcie „C”) o co najmniej kilka woltów i nie wyższe niż 32 V (dla bezpieczeństwa wzmacniaczy operacyjnych i stabilizatorów). Dlatego do testów najlepiej wykorzystać dwa zasilacze

REKLAMA

cze laboratoryjne. Na jednym ustawiamy wysokie napięcie symetryczne rzędu 12...32 V, jakie normalnie występuje na kondensatorach filtrujących, natomiast drugi zasilacz laboratoryjny symuluje działanie stabilizatora. W roli obciążenia R_o można zastosować rezystory 330 Ω /5 W lub podobne, tak aby prąd płynący przez rezystory pomiarowe był rzędu kilkudziesięciu mA (moc rezystorów obciążenia powinna być dobrana z odpowiednim zapasem).

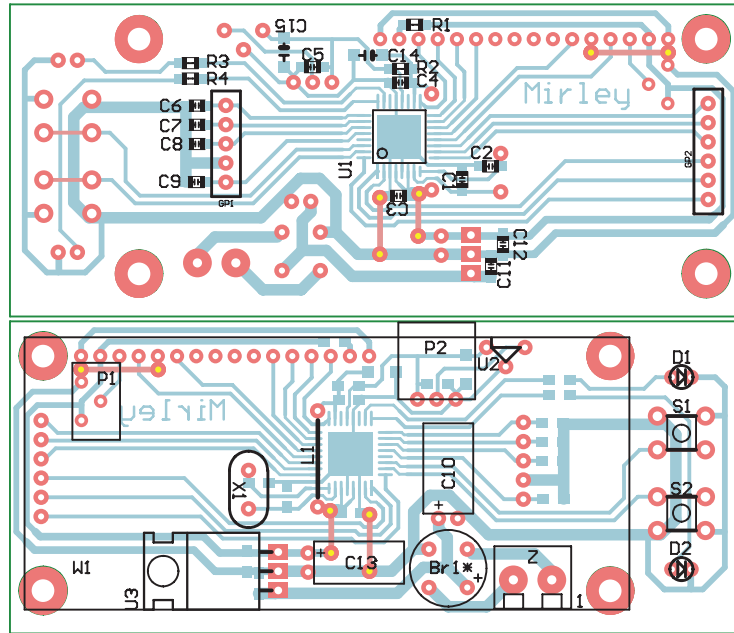
Gdy już część analogowa miernika jest dołączona do zasilacza lub układu testowego, można przystąpić do pierwszego uruchomienia układu. Wszystkie wejścia sterujące G1...G6 powinny być zwarte do masy. Po włączeniu zasilania należy sprawdzić czy stabilizatory U1 i U2 dają odpowiednie napięcia (± 5 V). Jeśli wynik kontroli jest prawidłowy, to można wykonać pomiar napięć w kilku kluczowych punktach układu. Napięcie między punktami „A” i „B” jest proporcjonalne do płynącego prądu i powinno być równe napięciu pomiędzy punktami „A” i „E”. Świadczy to o poprawnym działaniu układu pomiarowego ze wzmacniaczem U3. Dopuszczalne są tutaj niewielkie różnice napięcia w granicach 1 mV (offsety wzmacniaczy nie zostały jeszcze wyregulowane). Z kolei napięcie w punkcie „F” względem masy powinno być około 45,5 razy wyższe, niż pomiędzy punktami „A” i „E” (sygnały sterujące są zwarte do masy, więc układ pracuje z najwyższym wzmocnieniem). Podobnego pomiaru możemy dokonać po stronie ujemnej szyny zasilania. Napięcie między „C” i „D” powinno być równe napięciu między punktami „C” i „G”, a w punkcie „H” względem masy napięcie powinno być 45,5 razy większe (wartość bezwzględna) niż między „C” i „G”.

W dalszej kolejności sprawdzamy działanie buforów napięciowych U4 i U5. Napięcie w punkcie „Ucurr+” na złączu wyjściowym powinno być równe napięciu w punkcie „F” (względem masy), natomiast napięcie w punkcie „Ucurr-” powinno być równe napięciu w punkcie „H” (ze znakiem minus).

Można jeszcze sprawdzić, jak zachowują się napięcia w punktach „F” i „H” dla innych stopni podziału dzielnika. Wyboru podziału dokonujemy poprzez zmianę poziomów logicznych sygnałów sterujących G1...G4.

Ostatnią częścią, jaką warto sprawdzić, są dzielniki do pomiaru napięcia. Napięcie w punkcie „I” względem masy powinno być 4,5 razy mniejsze, niż napięcie w punkcie „B”, natomiast na wyjściu „U+” napięcie powinno być równe temu w punkcie „I”. Po stronie ujemnej szyny zasilania sytuacja jest podobna. Napięcie w punkcie „J” jest 4,5 razy mniejsze niż w punkcie „D” (wartości bezwzględne), a w punkcie „U-”

Rysunek 6. Schemat montażowy części cyfrowej multimetru



napięcie jest takie samo jak w punkcie „J”, tylko ze znakiem przeciwnym. Można jeszcze sprawdzić drugi stopień podziału podając poziom wysoki (+5 V) na wejścia sterujące G5 i G6.

Ostatnim etapem uruchomienia części analogowej miernika jest wyzerowanie offsetów wzmacniaczy operacyjnych. Do tego celu jest potrzebny miliwoltomierz o jak najlepszej dokładności. Nie jest to obowiązkowy etap i jeśli godzimy się na spadek dokładności przyrządu, możemy go pominąć. Na początek jest konieczne wlotowanie potencjometrów P1...P6, a następnie za ich pomocą porównujemy napięcia między odpowiednimi punktami obwodu. Punkty obwodu i odpowiadające im potencjometry wymieniono w tabeli 1. Napięcia są mierzone względem masy. Dla potencjometrów P1, P2, P4 i P5 jest wygodnie zmierzyć bezpośrednio napięcie między dwoma punktami (pomijając masę) i ustawić wartość napięcia równą 0.

Na rysunku 6 pokazano schemat montażowy części cyfrowej multimetru. W pierwszej kolejności należy zamontować elementy od strony ścieżek. Najpierw wlotujemy mikrokontroler U1 sprawdzając dokładnie jego wyprowadzenia. Następnie, montujemy wszystkie rezystory i kondensatory SMD w obudowach 0805 oraz złącza. Największą trudność sprawią tutaj złącza szufladkowe GP1 i GP2, gdyż należy je wlotować od strony ścieżek. Muszą one odstawać od płytki, aby piny były widoczne spod plastikowej obudowy, gdyż w przeciwnym wypadku nie będzie można ich przylutować. Teraz montujemy podzespoły od strony komponentów. Montaż rozpoczynamy od wlotowania trzech zworek. Należy wlotować potencjometr P1, kondensatory C10 i C13, rezonator kwarcowy X1 oraz

Tabela 1. Punkty obwodu z potencjometrami

Potencjometr	Punkty obwodu
P1	E, B
P2	F, Ucurr+
P3	H, Ucurr-
P4	D, G
P5	I, U+
P6	J, U-

stabilizator U3. Mostek prostowniczy jest konieczny tylko wtedy, gdy układ będzie zasilany bezpośrednio z uzwojenia transformatora poprzez złącze Z. Dławik L1 nie jest konieczny i przy braku można go zastąpić zworką. Jeśli nie używamy przełączanych trybów pracy, to przyciski S1 i S2 nie będą potrzebne, podobnie jak potencjometr P2 i układ U2, jeśli nie będziemy używali zewnętrznego napięcia referencyjnego. Pod wyświetlacz W1 dobrze jest zastosować 16-pinowe złącze szufladkowe, a w płytkę samego wyświetlacza wlotować goldpin. Do wyprowadzeń procesora można na czas testów przylutować przewody, za pomocą których będzie można go zaprogramować. Obie płytki (analogowa i cyfrowa) po złoże-

RSTDISBL	<input type="checkbox"/>	Select if PC6 is I/O pin or RESET pin
WDTON	<input type="checkbox"/>	Watchdog timer always on
SPIEN	<input checked="" type="checkbox"/>	Enable Serial Program and Data Downloading
CKOPT	<input checked="" type="checkbox"/>	Oscillator options
EESAVE	<input checked="" type="checkbox"/>	EEPROM memory is preserved through the Chip Erase
BOOTSZ1	<input checked="" type="checkbox"/>	Select Boot Size (see Table 82 for details)
BOOTSZ0	<input checked="" type="checkbox"/>	Select Boot Size (see Table 82 for details)
BOOTRST	<input type="checkbox"/>	Select Reset Vector
BODLEVEL	<input type="checkbox"/>	Brown out detector trigger level
BODEN	<input type="checkbox"/>	Brown out detector enable
SUT1	<input type="checkbox"/>	Select start-up time
SUT0	<input type="checkbox"/>	Select start-up time
CKSEL3	<input type="checkbox"/>	Select Clock source
CKSEL2	<input type="checkbox"/>	Select Clock source
CKSEL1	<input type="checkbox"/>	Select Clock source
CKSEL0	<input type="checkbox"/>	Select Clock source

Zewnętrzny Rezonator Kwarcowy 3-16MHz
lfuse=C9, lfuse=FF

Rysunek 7. Ustawienia fusebitów mikrokontrolera ATmega8

niu ścieżkami do siebie powinny do siebie pasować. Wyświetlacz i dwie płytki miernika można ze sobą skrócić za pomocą śrub 3 mm.

Oprogramowanie

Program został napisany w Bascom AVR i po kompilacji zajmuje około 5 kB. Skompilowany program oraz pełny kod źródłowy są dostępne w materiałach dodatkowych do artykułu na płycie CD i serwerze FTP.

Pomiary są wykonywane w procedurze obsługi przerwania 8-bitowego Timera 0, skonfigurowanego do pracy ze preskalerem wprowadzającym podział częstotliwości taktującej timer przez 1024. Na samym początku procedury obsługi przerwania do licznika timera jest wpisywana liczba 6. Powoduje to zliczanie 250 impulsów, o częstotliwości zegara podzielonej przez 1024. Ponieważ procesor pracuje z rezonatorem kwarcowym 16 MHz, to przerwanie będzie występowało co 16 ms. Ustawienie flagi *F_16ms* pozwala później w pętli głównej odczytywać stany dwóch przycisków. Po każdorazowym wystąpieniu przerwania następuje zwiększenie wartości zmiennej *N* (numerującej pomiary), po czym program wykonuje pętlę *for* odczytując wyniki pomiarów w poszczególnych kanałach A/C (ADC2...ADC5). Wartość z przetwornika jest tymczasowo zapisywana do zmien-

nej *Xx*, a następnie dodawana do odpowiedniej komórki tablicy *X(1...4)*. Tablica ta przechowuje sumę wartości z wielu pomiarów, a jej indeks 1...4 oznacza kolejne wejścia pomiarowe.

Przy każdym wywołaniu procedury jest sprawdzana wartość zmiennej *N* i jeśli jest równa *N_max* (definiowana na początku programu ilość pomiarów do uśrednienia), to następuje podzielenie wartości *X(1...4)* przez *N_max*, zapisanie wyniku do nowej tablicy *Y(1...4)* i wyzerowanie wartości *X(1...4)*. Jednocześnie zostaje ustawiona flaga *Zmierzone*, która świadczy o gotowości wyniku do dalszej obróbki.

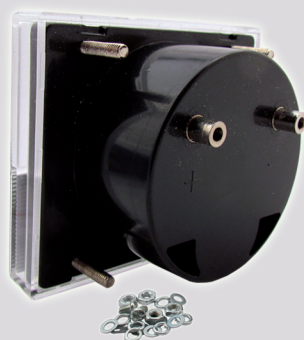
Co każde 16 ms, jeśli przycisk został wciśnięty, to pin nazwany *Sw1* jest wyzerowany. Zwiększana jest wartość licznika *Sw_licz(1)* aż do momentu, gdy osiągnie ona wartość 6. Łatwo domyślić się, że procedura obsługi przycisku jest wywoływana, jeśli jest on przytrzymany przez co najmniej 6×16 ms (ok. 0,1 s). Po upływie tego czasu następuje zwiększenie wartości zmiennej *Mod_1* określającej, który parametr ma być pokazany na wyświetlaczu (prąd, moc, rezystancja). *Mod_1* zmienia się w zakresie 0...2, więc gdy wartość tej zmiennej osiąga 3, musi zostać zerowana. Zapewnia to cykliczną zmianę trybów wyświetlania. Drugi przycisk działa analogicznie, więc opis procedury jego odczytu pominięto.

Procedura przeliczająca wynik pomiaru jest wykonywana w pętli głównej, gdy zostanie wykonany pomiar i jest ustawiona flaga *Zmierzone*. Na początku, w pętli *for*, wyliczane są maksymalne wartości prądu, które może bezpiecznie mierzyć układ na i-tym zakresie. Wykorzystywane w tym celu są współczynniki przeliczeniowe *Curr_pos(1...4)*. Wynik jest zapisywany do tablicy *Mx(1...4)*, w której kolejne indeksy oznaczają kolejne zakresy. Dalej, aktualnie zmierzona wartość z przetwornika *Y(1)* – po przeliczeniu za pomocą jednego ze współczynników (odpowiadającemu zakresowi *curr_pos_z*, na którym aktualnie znajduje się zakres prądowy) – jest porównywana z wartościami maksymalnymi *Mx(1...4)* dla kolejnych zakresów. Na tej podstawie jest ustawiana odpowiednia wartość zmiennej *curr_poz_z* (odpowiedni zakres pomiarowy). Gdy wartość zmierzona po przeliczeniu przekracza maksimum najwyższego zakresu pomiarowego to zostaje ustawiona wartość *Over_pos = 1*, co powoduje zapalenie czerwonej diody ostrzegawczej. W następnym kroku jest wykorzystywana (już niepotrzebna), pierwsza z komórek tablicy *Mx(1...4)* do obliczenia maksymalnej wartości dla mniejszego zakresu napięciowego. Tym razem jest używany współczynnik *Volt_pos(1)*. Dalej, jest porównywana aktualnie zmierzona wartość napięcia *Y(2)*, przeliczona zgodnie z aktualnym zakresem

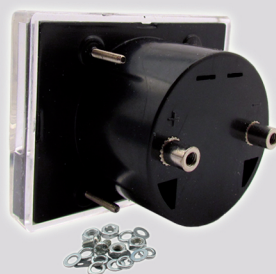
ⓐ Amperomierze i woltomierze analogowe Ⓥ



wymiary: 70x60mm



wymiary: 60x47mm



ⓐ Amperomierze

kod	zakres	prąd	wymiary	cena
AIM60005	50uA	DC	60x47mm	24,00 zł
AIM70100U	100uA	DC	70x60mm	30,50 zł
AIM6050	50mA	DC	60x47mm	22,50 zł
AIM7050	50mA	DC	70x60mm	23,20 zł
AIM60100	100mA	DC	60x47mm	22,20 zł
AIM70100	100mA	DC	70x60mm	25,20 zł
AIM60500	500mA	DC	60x47mm	22,50 zł
AIM70500	500mA	DC	70x60mm	21,80 zł
AIM701000	1A	DC	70x60mm	30,50 zł
AIM603000	3A	DC	60x47mm	25,00 zł
AIM703000	3A	DC	70x60mm	22,00 zł
AIM605000	5A	DC	60x47mm	21,00 zł
AIM705000	5A	DC	70x60mm	25,30 zł
AIM6010A	10A	DC	60x47mm	24,00 zł
AIM7015A	15A	DC	70x60mm	26,00 zł
AIM6030A	30A	DC	60x47mm	29,00 zł

Ⓥ Woltomierze

kod	zakres	prąd	wymiary	cena
AVM6015	15V	DC	60x47mm	24,80 zł
AVM7015	15V	DC	70x60mm	22,50 zł
AVM6030	30V	DC	60x47mm	25,00 zł
AVM7030	30V	DC	70x60mm	24,00 zł
AVM7050	50V	DC	70x60mm	29,50 zł
AVM60150	50V	AC	60x47mm	23,20 zł
AVM60300	300V	AC	60x47mm	23,00 zł
AVM70300	300V	AC	70x60mm	23,00 zł

**Wykaz elementów
Płytki analogowa**

Rezystory: (SMD 0805)
 P1...P6: 10 kΩ (potencjometr)
 R+*, R-: 0,2 Ω/5 W
 R1...R4, R41...R44: 200 Ω
 R5...R8, R21, R23...R25, R34, R35, R38,
 R49, R78: 9,1 kΩ
 R9...R12, R26...R29: 2,4 kΩ
 R13...R16, R30...R33: 750 Ω
 R17...R20, R36, R37, R39, R40, R47, R48,
 R76, R77: 47 kΩ
 R45, R46, R79: 1 kΩ
 R50...R53, R63...R65, R74, R75: 160 kΩ
 R54...R57, R66...R69: 44,2 kΩ
 R58...R61, R70...R73: 560 kΩ
 R80...R82: 10 kΩ

Kondensatory:
 C1, C2: 47 μF (elektrolit. lub tantalowy)
 C1A, C2A, C3, C4, C7...C20: 100 nF (SMD 0805)
 C5, C6: 47 μF (elektrolit. lub tantalowy)

Półprzewodniki:
 D1...D4: BAT85 (SOD80)
 OPT1...OPT3: LTV357T
 T1: BC857 (SOT23)
 T2: BC847 (SOT23)
 T3...T5: IRF7106 (SO8)
 U1: 78L05 (TO-92)
 U2: 79L05 (TO-92)
 U3...U8: TL081 (SO8)

Inne:
 GP1, GP2, Z: listwy goldpin

Płytki cyfrowa

Rezystory:
 PR6: 10 kΩ (potencjometr)
 P2: 10 kΩ (potencjometr)
 R1: 47 Ω (SMD 0805)
 R2...R4: 470 Ω (SMD 0805)

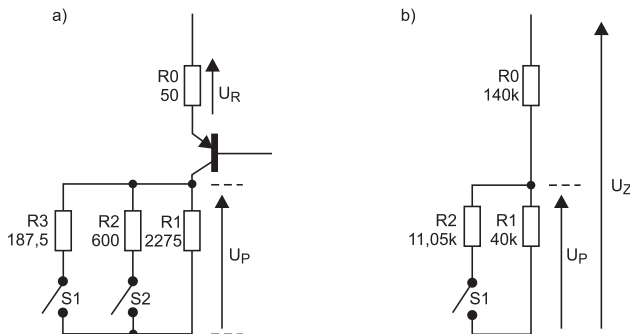
Kondensatory:
 C1, C2: 22 pF (SMD 0805)
 C3...C12: 100 nF (SMD 0805)
 C10: 220 μF (elektrolit.)
 C13: 47 μF (elektrolit.)
 C14, C15: 10 μF (elektrolit.)

Półprzewodniki:
 Br1: mostek prostowniczy 1 A/50 V
 D1, D2; dioda LED
 U1: ATmega8 (TQFP32)
 U2: TL431 (TO-92)
 U3: 7805 (TO-220)

Inne:
 GP1, GP2: listwa goldpin
 L1: „10 μH dławik
 S1, S2: przyciski
 W1: wyświetlacz LCD 16×2
 X1: rezonator kwarcowy 16 MHz
 Z: złącze śrubowe ARK2

napięciowym $volt_pos_z$, z wartością maksymalną $Mx(1)$ i na podstawie tego program określa aktualny zakres pomiarowy. Analogicznie ustalane są zakresy dla prądu i napięcia po stronie ujemnej połówki zasilania. Po czym wywoływana jest procedura *Zakresy*, która ustawia odpowiednie poziomy linii sterujących zakresami miernika.

Dalej program zajmuje się formatowaniem wyniku pomiaru przed wyświetleniem oraz wykonywaniem niezbędnych obliczeń mocy i rezystancji obciążenia. Procedura wygląda na skomplikowaną,



Rysunek 8. Obwody pomiaru prądu i napięcia

Listing 1. Współczynniki przeliczeniowe

```

Curr_pos(4) = 4.6497252747
Curr_pos(3) = 3.6080586081
Curr_pos(2) = 1.3163919414
Curr_pos(1) = 0.2747252747
Curr_neg(4) = 4.6497252747
Curr_neg(3) = 3.6080586081
Curr_neg(2) = 1.3163919414
Curr_neg(1) = 0.2747252747
Volt_pos(1) = 0.0112500000
Volt_pos(2) = 0.0429242081
Volt_neg(1) = 0.0112500000
Volt_neg(2) = 0.0429242081
    
```

jednak pozwala na automatyczne wyrażenie wyniku w jednostkach podstawowych lub podwielokrotnościach, w zależności od wartości mierzonej.

Po zaprogramowaniu mikrokontrolera ważne jest jeszcze ustawienie jego bitów konfiguracyjnych, zgodnie z **rysunkiem 7**.

Kalibracja i pomiary

Program w mikrokontrolerze nie będzie działał prawidłowo bez współczynników służących do obliczeń. Wszystkie współczynniki używane w programie obsługi multimetru zamieszczono na **listingu 1**. *Curr_pos* i *Curr_neg* pozwalają na przeliczenie wartości liczbowej z przetwornika A/C na prąd wyrażony w miliamperach, natomiast współczynniki napięciowe *Volt_pos* i *Volt_neg* odpowiadają za zamianę liczby z A/C na napięcie wyrażone w voltach. W przypadku pomiaru prądu występują 4 współczynniki (dla pomiaru po „dodatniej” stronie) odpowiadające zakresom pomiarowym. W przypadku pomiaru napięcia występują dwa zakresy pomiarowe i dwa współczynniki. W rezultacie otrzymuje się układy, które w uproszczeniu są pokazane na **rysunku 8** (a – pomiar prądu, b – pomiar napięcia). Pomiar prądu jest wykonywany przez pomiar spadku napięcia na rezystorze pomiarowym. Układ miernika zapewnia, że napięcie U_R jest takie samo, jak na rezystorze pomiarowym. Napięcie U_P jest mierzone przez przetwornik i odpowiednio wyższe, zależnie od ustawień kluczy tranzystorowych S1 i S2: $U_P = K \times U_R$, gdzie K jest wzmocnieniem układu i zależy od zakresu pomiarowego. W najmniejszym zakresie, gdy S1 i S2 są rozwarte, $K=R1/R0$. Gdy S2 jest zwarte to pracujemy w drugim zakresie i wtedy $K=(R1||R2)/R0$ (R1 zastępuje się połączeniem równo-

ległym odpowiednich rezystorów). Napięcia U_R i U_P wyrażamy wzorami: $U_R=I_P \times R$, $U_P=V_{ref}/1024 \times X$, gdzie I_P jest prądem mierzonym, R jest rezystancją opornika pomiarowego, V_{ref} jest napięciem referencyjnym przetwornika A/C, a X jest wartością uzyskaną w trakcie pomiaru. W rezultacie: $I_P=1/K \times 1/R \times V_{ref}/1024 \times X$, natomiast $Curr_pos(i)=1/K \times 1/R \times V_{ref}/1024$. Wstawiając wartość K dla pierwszego zakresu uzyskujemy $Curr_pos(1)=0,2747252747$. Układ pomiarowy po ujemnej połowce liczy się analogicznie i w najprostszym przypadku $Curr_neg(i) = Curr_neg(i)$.

Dla dzielnika napięcia sytuacja jest jeszcze mniej skomplikowana. Występuje tu zależność: $U_z=A \times U_P$, gdzie $A=(R0+R1)/R1$ dla mniejszego zakresu (S1 rozwarty). Dla większego zakresu R1 zastępuje się równoległym połączeniem R1 i R2. U_P wyraża się analogicznie jak dla zakresu prądowego: $U_z=A \times V_{ref}/1024 \times X$. A zatem: $Volt_pos(i)=A \times V_{ref}/1024$. Dla ujemnego zakresu napięciowego wartość $Volt_neg(i)$ jest obliczana analogicznie. W większości wypadków $Volt_pos(i)=Volt_neg(i)$.

Jeśli dysponujemy dokładnym miernikiem, możemy doświadczalnie wyznaczyć wartość oporu R (pozostałych rezystancji w dzielniku też) oraz dokładnie zmierzyć napięcie referencyjne przetwornika A/C. Współczynniki można wyliczyć wykorzystując arkusz kalkulacyjny dostępny w materiałach dodatkowych.

Można również zająć się kalibracją przetwornika A/C znajdując, jaką zależnością wyraża się wartość liczbową uzyskana z przetwornika w stosunku od napięcia na jego wejściu. W tym celu jest konieczne wykonanie serii pomiarów i dopasowanie krzywej teoretycznej da funkcję $f(X)$, która w powyższych rozważaniach zastąpi czynnik $V_{ref}/1024 \times X$. Współczynniki kalibracyjne będą wtedy zawierały jedynie informację o dzielnikach i rezystancji rezystora pomiarowego (w przypadku pomiaru prądu). Kalibracja przetworników jest tematem na osobny artykuł i wykracza poza ramy tego artykułu.

Mirosław Firlej
 elektronika@firlej.org
<http://mirley.firlej.org>