

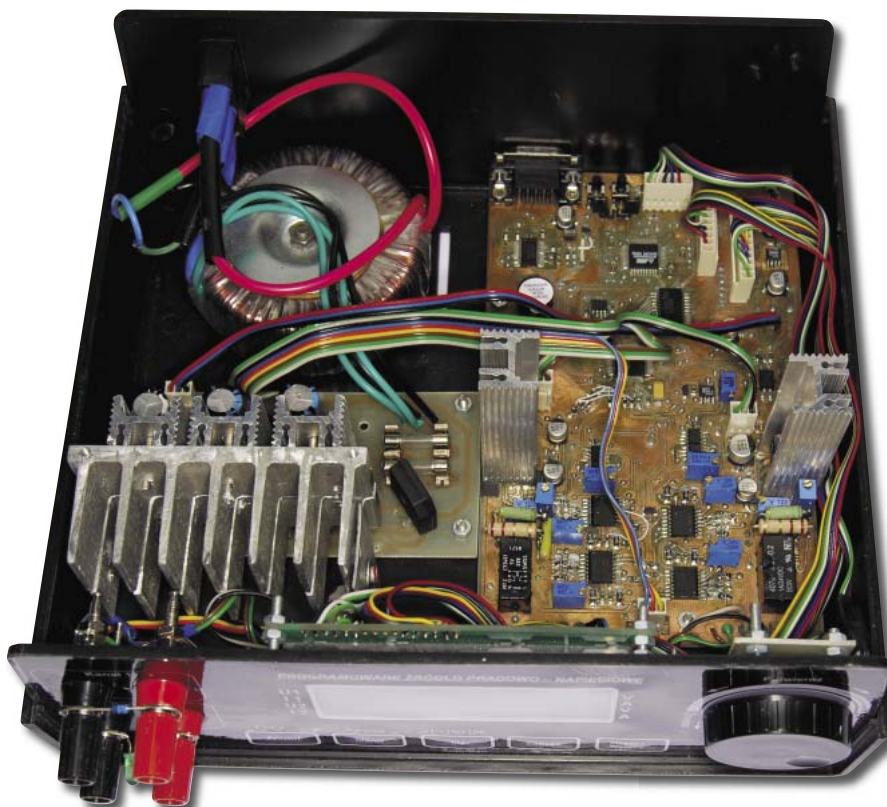


# Programowane źródło prądowo – napięciowe (1)

Przyrząd jest połączeniem kilku urządzeń: programowalnego źródła napięcia, programowalnego źródła prądu, woltomierza i amperomierza. Skonstruowano go tak, aby umożliwić badanie większości typowych elementów półprzewodnikowych, a w szczególności tranzystorów i diod. Zestaw komend kompatybilnych ze standardem SCPI pozwala na podłączenie do komputera PC i współpracę z popularnym oprogramowaniem LabView.

## Rekomendacje:

Urządzenie jest idealnym rozwiązaniem do automatycznego badania charakterystyk podstawowych elementów półprzewodnikowych i czwórników. Może również pracować jako sztuczne obciążenie. To bardzo dobra alternatywa dla laboratorium studenckiego, czy pracowni pomiarowej.



## Opis ogólny

Każdy z dwóch, niezależnych kanałów, można skonfigurować jako źródło napięciowe lub prądowe. Jeśli dany kanał pracuje jako źródło napięciowe, to jednocześnie można w nim mierzyć natężenie prądu i odwrotnie. Do ustawiania wartości wymuszeń wykorzystano 16-bitowe przetworniki C/A. Pomiaru wykonywane są z użyciem 24-bitowego przetwornika A/C typu  $\Sigma-\Delta$ .

Dużą zaletą przyrządu jest możliwość pracy 4-ćwiartkowej, co znacznie poszerza obszar jego zastosowań. Dzięki temu można go wykorzystywać np. jako symulator obciążenia.

Oprogramowanie pozwala na wykonywanie pomiarów ręcznie, półautomatycznie oraz automatycznie. Te ostatnie możliwe są dzięki zaprogramowanym charakterystykom, według których będzie przebiegać zmiana wymuszenia. Do wyboru są następujące charakterystyki: liniowa, logarytmiczna i eksponentalna. Poruszanie się po krzywej jest możliwe dzięki impulsatorowi. Dodatkowym parametrem, który można ustawić podczas wykonywania pomiarów automatycznych, jest czas opóźnienia pomiędzy ustawieniem wartości wymuszenia a rozpoczęciem pomiaru. Pozwala to na redukcję wpływu stanów nieustalonych na rezultat pomiaru oraz stabilizację jego warunków.

Przyrząd wyposażono w pamięć EEPROM pozwalającą zapamiętać dla każdego z kanałów 800 wartości zmierzonych prądu lub napięcia. Umożliwia to samodzielną pracę przyrządu, bez konieczności stałego połączenia z komputerem. Zawartość pamięci można przeglądać na wbudowanym wyświetlaczu LCD lub przesłać do komputera.

## AVT-5180

W ofercie AVT:  
AVT-5180A – płytka drukowana

### PODSTAWOWE PARAMETRY

- Dwa niezależne kanały źródeł prądowo – napięciowych
- Praca jako źródło prądowe z pomiarem napięcia
- Praca jako źródło napięciowe z pomiarem prądu
- Programowanie przez port szeregowy RS232, polecenia zgodne ze standardem SCPI
- Pamięć na 800 wyników pomiarów
- Rozdzielczość wymuszenia 16 bitów
- Przetwornik pomiarowy o rozdzielczości 24 bitów
- Ograniczenie prądowe do 500 mA
- Wartość prądu  $\pm 500$  mA
- Wartość napięcia  $\pm 12$  V
- Zakresy prądowe 500 nA, 5  $\mu$ A, 50  $\mu$ A, 500  $\mu$ A, 5 mA, 50 mA, 500 mA
- Zakresy napięciowe 1,2 mV, 12 mV, 120 mV, 1,2 V, 12 V
- Trzy charakterystyki wymuszenia: liniowa, logarytmiczna i eksponentalna
- Pomiaru ręczne według zaprogramowanej charakterystyki i ilości punktów
- Pomiaru automatyczne według zaprogramowanej charakterystyki i ilości punktów z możliwością programowania opóźnienia przed rozpoczęciem pomiaru
- Opóźnienia programowane w zakresie 10...65000 ms
- Liczba zaprogramowanych punktów pomiarowych 10...250

Źródłem można sterować przy pomocy komputera i komend przesyłanych poprzez interfejs szeregowy RS232. Zestaw poleceń jest zgodny ze standardem SCPI i umożliwia sterowanie wszystkimi funkcjami przyrządu. Dzięki temu możliwe jest kontrolowanie źródła z użyciem popularnego oprogramowania LabView. O zaletach możliwości takiego współdziałania chyba nie trzeba nikogo przekonywać.

### Źródło prądowo – napięciowe

Na rys. 1 przedstawiono uproszczony schemat jednego kanału źródła prądowo – napięciowego. Pominięto drugi czujnik natężenia prądu współpracujący z przekaźnikiem, dzięki któremu uzyskuje się dodatkowe zakresy prądowe. Pominięto również dzielnik napięcia z kluczem, umożliwiającą uzyskanie zakresu napięciowego 12 V.

Jeśli przełącznik K1 jest w położeniu „1”, to układ pracuje jako źródło prądowe, a wzmacniacz U3 wykorzystywany jest do pomiaru na-

pięcia wyjściowego. Napięcie wejściowe  $U_{WE}$  steruje natężeniem prądu. Jest ono podawane na nieodwracające wejście wzmacniacza U1 (OPA547), który ze względu na swoją wydajność prądową równą 500 mA pracuje jako stopień końcowy. Na jego wyjściu znajduje się rezystor R służący do pomiaru natężenia prądu. Wzmacniacz U2 (PGA204) wzmacnia spadek napięcia na rezystorze R oraz sumuje go z napięciem referencyjnym  $U_{REF}$ , co w efekcie daje przesunięcie napięcia wyjściowego o stałą wartość równą  $U_{REF}$ . Napięcie to za pomocą klucza K1 doprowadzone jest do wejścia wzmacniacza odwracającego U1, który tak steruje natężeniem prądu, aby napięcia na wejściu odwracającym i nieodwracającym były sobie równe oraz równe  $U_{WE}$ . W ten sposób, poprzez zmianę napięcia  $U_{WE}$  możliwe jest bezpośrednie sterowanie natężeniem prądu.

Zmiana zakresów prądowych realizowana jest na dwa sposoby: pierwszy polega na zmia-

nie wzmocnienia U2, natomiast drugi na zmianie wartości rezystancji R.

Dzięki sumowaniu przez wzmacniacz U2 napięcia  $U_{REF}$  z sygnałem wyjściowym, za pomocą napięcia unipolarnego można sterować wyjściem bipolarnym. Umożliwia to bezpośrednie wykorzystanie przetwornika C/A o napięciu wyjściowym zmieniającym się w zakresie  $0...2 \times U_{REF}$  do uzyskania prądu o wartościach od  $-I_{Omax}$  do  $+I_{Omax}$ . W celu uzyskania symetrycznej charakterystyki wyjściowej napięcie  $U_{REF}$  powinno mieć wartość równą dokładnie połowie maksymalnego napięcia  $U_{WE}$ . W prezentowanym urządzeniu napięcie  $U_{WE}$  zmienia się w zakresie  $0...2,5$  V, natomiast  $U_{REF}$  jest równe 1,25 V. Natężenie prądu osiąga maksymalną wartość ujemną  $-500$  mA dla  $U_{WE}=0$  V, maksymalną wartość dodatnią  $+500$  mA dla  $U_{WE}=2,5$  V oraz wartość równą 0, gdy  $U_{WE}=U_{REF}=1,25$  V.

Układ charakteryzuje się bardzo dobrą liniowością. Ważną zaletą rozwiązania jest możliwość bezpośredniego pomiaru natężenia płynącego prądu. Na niedokładność ustawienia natężenia prądu wpływa tolerancja wykonania rezystancji R oraz prąd wejściowy wzmacniacza, który jest rzędu nanoamperów.

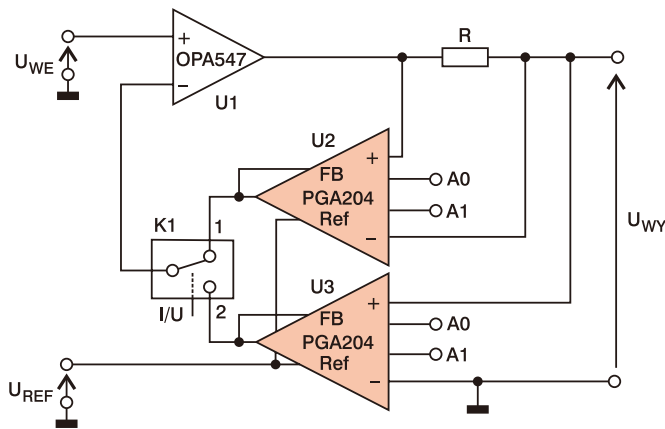
Przełączenie K1 w pozycję „2” zmienia tryb pracy na źródło napięciowe. Wzmacniacz U2 wykorzystywany jest do pomiaru natężenia prądu. Napięcie wejściowe  $U_{WE}$  podawane jest na nieodwracające wejście wzmacniacza U1 (OPA547), który pracuje jako stopień końcowy. U3 wzmacnia napięcie wyjściowe  $U_{WY}$  oraz sumuje je z napięciem referencyjnym  $U_{REF}$ , dzięki czemu unipolarne napięcie z przetwornika umożliwia uzyskanie napięcia bipolarnego. Aby napięcie wyjściowe zmieniało się w zakresie od  $-U_{WYmax}$  do  $+U_{WYmax}$ , napięcie referencyjne  $U_{REF}$  powinno mieć wartość równą połowie maksymalnej wartości napięcia wejściowego  $U_{WE}$ .

Dużą zaletą takiego rozwiązania jest liniowość charakterystyki, łatwe programowanie zakresów (zmiana zakresów realizowana jest przez zmianę wzmocnienia U3), łatwy pomiar napięcia wyjściowego (bezpośrednio na wyjściu wzmacniacza U3), możliwość uniezależnienia się od spadków napięć na przewodach pomiarowych dzięki czteroprzewodowemu połączeniu badanego elementu.

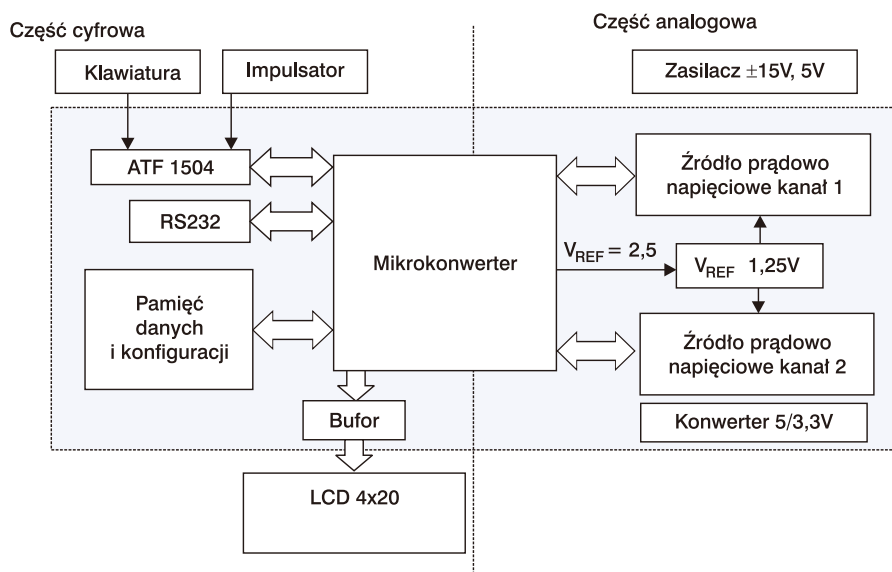
### Budowa

Schemat blokowy układu przedstawiono na rys. 2. Linia przerywaną zaznaczono elementy znajdujące się na płytce głównej. Na schemacie blokowym można wyróżnić część cyfrową odpowiedzialną za sterowanie pracą układu i część analogową. Na tę drugą składają się: dwa identyczne kanały źródeł prądowo – napięciowych, układ napięcia referencyjnego 1,25 V, część mikrokonwertera zawierająca przetworniki C/A i A/C wraz z źródłem napięcia referencyjnego o wartości 2,5 V oraz zasilacz.

Jednym z najważniejszych elementów jest mikrokonwerter typu MCS1211Y5 sterujący pracą układu. Do jego zadań należą:



Rys. 1. Uproszczony schemat pojedynczego kanału źródła napięciowo – prądowego



Rys. 2. Schemat blokowy urządzenia



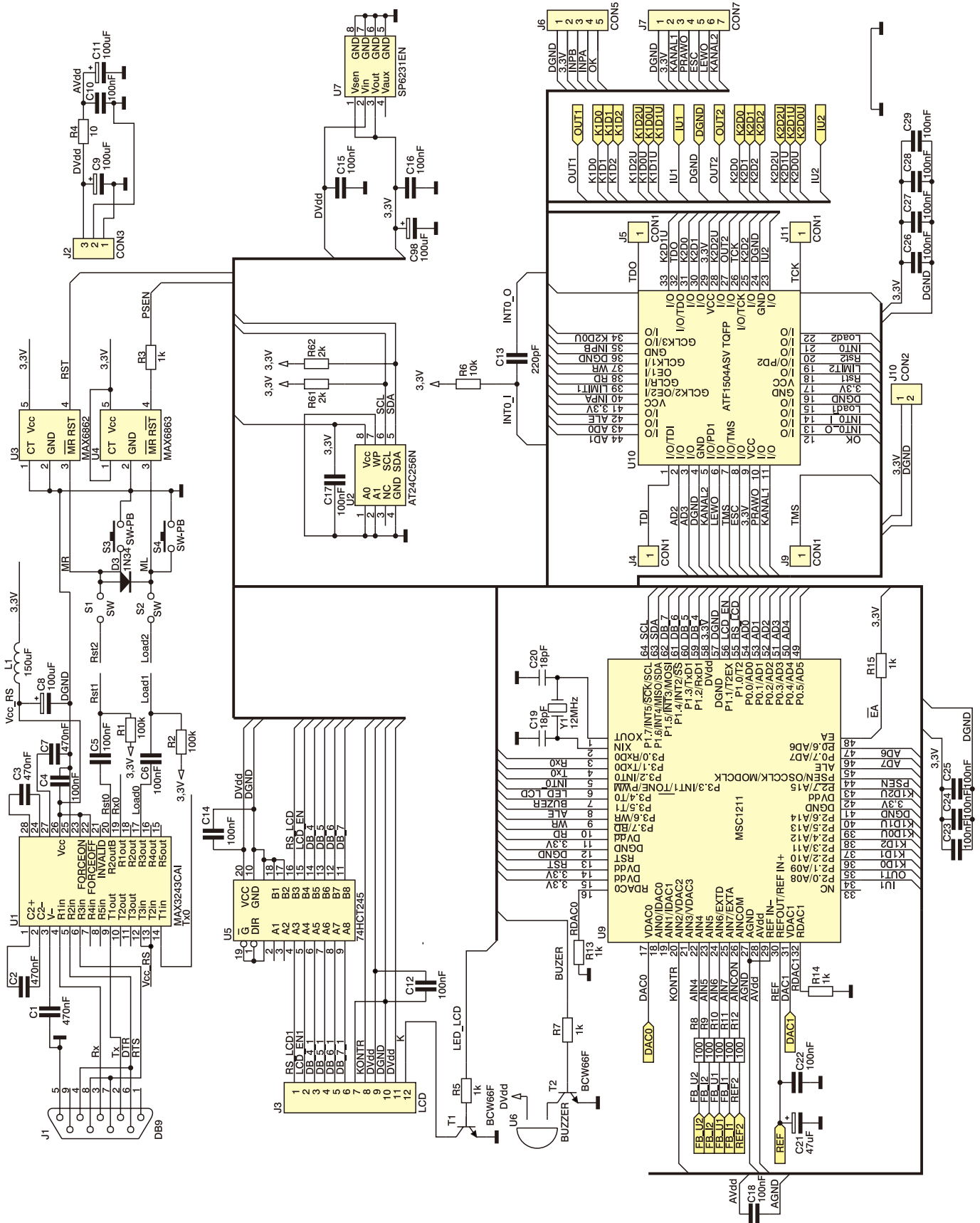
PROJEKTY POKREWNE		
wymienione artykuły są w całości dostępne na CD		
Tytuł artykułu	Nr EP/EdW	Kit
Zasilacz sterowany cyfrowo	EP 12/2008	AVT-5161
Programowany zasilacz laboratoryjny	EP 12/1997	AVT-366
Zasilacz laboratoryjny z potencjometrem cyfrowym	EP 8/1997	AVT-349
Zasilacz sterowany cyfrowo	EP 3/1999	---

- wyświetlanie komunikatów na wyświetlaczu LCD,
- obsługa klawiatury,
- analiza i wykonywanie poleceń przesyłanych łączem szeregowym,
- sterowanie wartością wymuszenia,

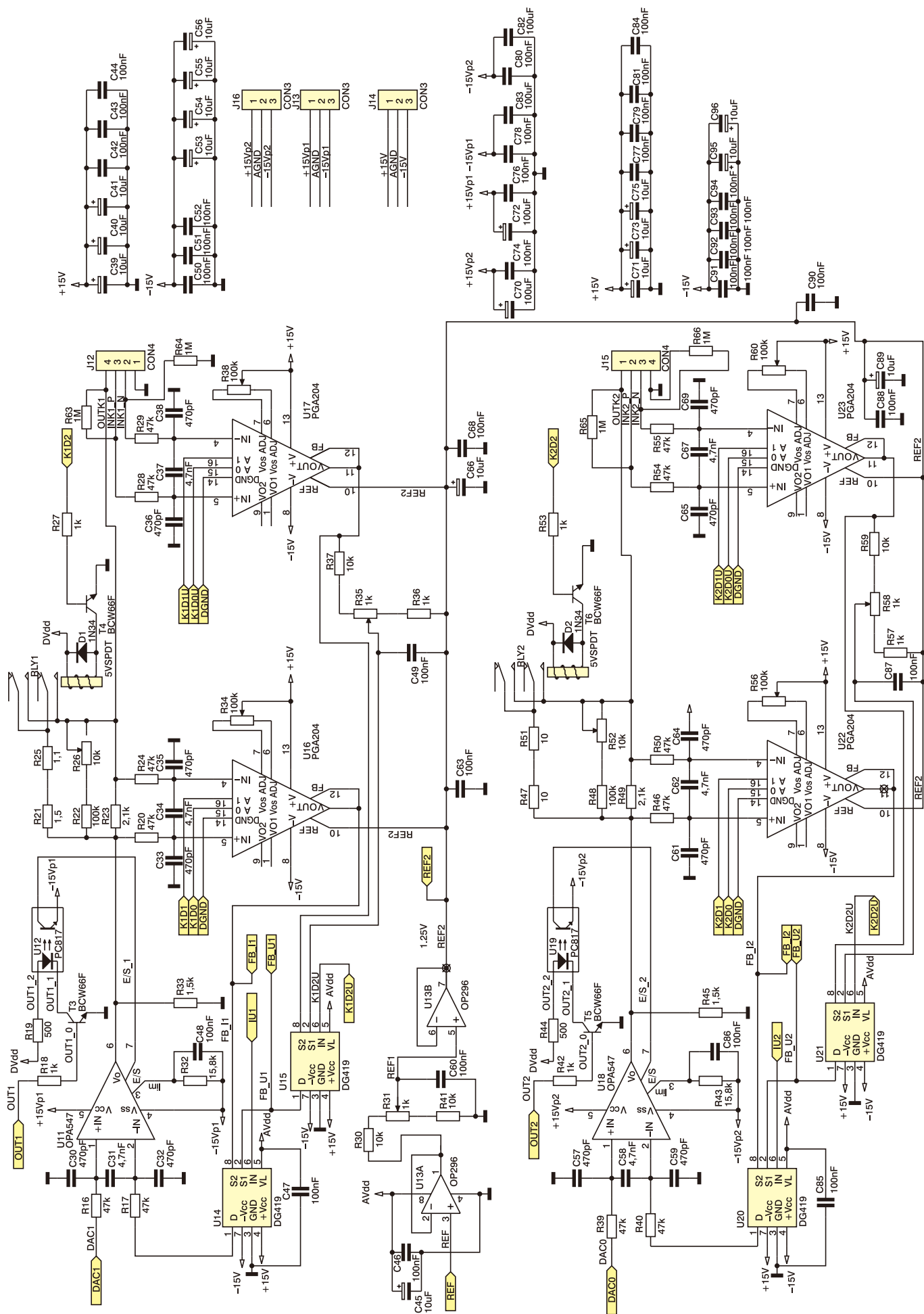
- sterowanie pomiarem,
- automatyczny dobór zakresów,
- zapisywanie rezultatów pomiarów do pamięci.

Do przechowywania wyników pomiarów oraz ostatniej konfiguracji układu, zastosowano pamięć

EEPROM o pojemności 32 kb (AT24C256N) z interfejsem I<sup>2</sup>C. Jej pojemność pozwala na zapamiętanie do 800 rezultatów pomiarów. Przechowywane są w niej informacje o wartościach wymuszeń, trybie pracy, konfiguracji pomiarów automatycznych, kontraście wyświetlacza, włączeniu lub wyłącze-



Rys. 3. Schemat części cyfrowej



Rys. 4. Schemat części analogowej



## WYKAZ ELEMENTÓW

*Płytki Impulsatora***Rezystory (SMD, 0805)**

R1, R2: 4,7 kΩ

R3: 100 kΩ

**Kondensatory (SMD, 0805)**

C1...C3: 100 nF

**Inne**

J1: WF05S złącze do druku + złącze na przewód HU05

S1: Impulsator z przyciskiem

*Płytki klawiatury***Rezystory (SMD, 0805)**

R1...R5: 100 kΩ

**Kondensatory (SMD, 0805)**

C1...C5: 100 nF

**Inne**

S1...S5: mikroprzełączniki

J1: WF07S złącze do druku 7 pin + złącze na przewód HU07

*Zasilacz***Kondensatory (SMD, 0805)**

C1, C4...C6, C11, C12: 100nF

C2, C7, C8: 470 μF/50 V

C3, C9, C10: 1000 μF/16 V

**Półprzewodniki**

D2: 1KAB5 mostek prostowniczy min 2 A, 80 V

D1, D3, D4: 1N5819

U1: 78L05 (1,5 A)

U2: 78L15 (1,5 A)

U3: 79L15 (1,5 A)

**Inne**

F1, F2: 1500 mA bezpieczniki + podstawki

J1, J2, J3: WF03S złącze do druku 3 pin + złącze na przewód HU03

J4: złącze ARK3

Transformator TST50/008 (230 VAC →

2×17 VAC/1,47 A)

*Płytki główna***Rezystory**

R25, R51: 1,1 Ω/2 W

R21, R47: 1,5 Ω/2 W

R33, R45: 1,5 kΩ (0805)

R63...R66: 1 MΩ (0805)

R3, R5, R7, R13...R15, R18, R27, R36, R42,

R53, R57: 1 kΩ (0805)

R23, R49: 2,7 kΩ (0805)

R61, R62: 2 kΩ (0805)

R4: 10 Ω (1206)

R6, R30, R37, R41, R59: 10 kΩ (0805)

R8...R12: 100 Ω (0805)

R1, R2, R22, R48: 100 kΩ (0805)

R19, R44: 500 Ω (0805)

R32, R43: 15,8 kΩ (0805)

R28, R46: 20 Ω (0805)

R16, R17, R39, R40: 47 kΩ (0805)

R31, R35, R58: 1 kΩ (wielobrotowy)

R26, R52: 10 kΩ (wielobrotowy)

R34, R38, R56, R60: 100 kΩ (wielobrot.)

R29, R50: 50 Ω (wielobrotowy)

**Kondensatory**

C39, C40, C41, C45, C53...C56, C66, C71,

C73, C75, C89, C95, C96: 10 μF (3528,

tantalowe)

C19, C20: 18 pF (0805)

C21: 47 μF (6032, tantalowy)

C4...C6, C10, C12, C14...C18, C22...C29,

C31, C42...C52, C58, C60, C63, C68, C74,

C76...C81, C84...C88, C90...C94: 100 nF

(0805)

C8...C11, C70, C72, C82, C83, C98:

100 μF/25 V

C13: 220 pF (0805)

C1...C3, C7: 470 nF (0805)

C30, C57: 470 pF (0805)

**Półprzewodniki**

D1...D3: 1N34 (3528)

T1...T6: BCW66F (SOT23-3)

U1: MAX3243CAI (SSOP28)

U2: AT24C256N (SOIC8)

U3: MAX6862 (SOT23-5)

U4: MAX6863 (SOT23-5)

U5: 74HCT245 (SOIC20)

U7: SP6231EN (SOIC8)

U9: MSC1211Y5 (TQFP64)

U10: ATF1504ASV (TQFP44)

U13: OP296 (SOIC8)

U11, U18: OPA547 (TO220-7RAD)

U12, U19: PC817 (SMD)

U16, U17, U22, U23: PGA204AU (SOIC16)

U14, U15, U20, U21: DG419 (SOIC8)

**Inne**

Y1: 22,1184 MHz

L1: 150 μH (3528)

RLY1, RLY2: przekaźnik do druku z cewką 5 VDC

U6: buzzer 5 V

J4, J5, J9, J11: piny pojedyncze złącza

goldpin

J10: WF02S złącze do druku 2 pin + złącze na przewód HU02

J2, J13, J14, J16: WF03S złącze do druku 3 pin + złącze na przewód HU03

J12, J15: WF04S złącze do druku 4 pin + złącze na przewód HU04

J6: WF05S złącze do druku 5 pin + złącze na przewód HU05

J7: WF07S złącze do druku 7 pin + złącze na przewód HU07

J1: złącze męskie DSUB-9 do druku

J3: WF12S złącze do druku 12 pin + złącze na przewód HU12

S3, S4: mikroprzełączniki chwilowe

S1, S2, S5: goldpin 2×1 + zworki

Wyświetlacz LCD 4×20 znaków

niu sygnału dźwiękowego. Podczas uruchamiania mikroprocesor sprawdza stan pamięci i jeśli ta przechowuje dane ostatniej konfiguracji układu, to układ uruchamia się z zapamiętanymi nastawami. W przeciwnym wypadku do pamięci zostaną zapisane ustawienia domyślne.

W celu uproszczenia urządzenia zastosowano programowalny układ CPLD firmy Atmel typu ATF1504 zawierający 64 programowalne makromórkki. Jest on wykorzystywany do zwiększenia liczby linii I/O, umożliwia sterowanie pracą drugiego kanału, wykrywa obrót impulsatora i jego kierunek, generuje przerwanie na skutek obrotu impulsatora lub naciśnięcia dowolnego przycisku, jak również pozwala na odczyt stanu klawiatury. Upraszcza to program zwalniając mikroprocesor z konieczności ciągłego sprawdzania stanu klawiszy i impulsatora.

Do konwersji napięć na odpowiednie dla interfejsu RS232 zastosowano układ MAX3242CAI. Wybór podyktowany był możliwością zasilania układu napięciem o wartości 3,3 V oraz liczbą dostępnych driverów (same linie RXD i CXD nie są wystarczające, ponieważ RTS i DTR wykorzystano do wprowadzenia mikroprocesora w stan programowania, i wyzwolenia sygnału reset po zaprogramowaniu pamięci).

Do wyświetlania komunikatów zastosowano wyświetlacz LCD 4×20 znaków ze sterowni-

kiem zgodnym z HD44780, zasilany napięciem 5 V. Pociągnęło to za sobą konieczność zastosowania konwertera poziomów napięć pomiędzy LCD a mikrokonwerterem.

Do sterowania przewidziano klawiaturę składającą się z 5 przycisków oraz impulsator z przyciskiem. Klawiaturę i impulsator zmontowano na oddzielnych płytkach drukowanych.

W części analogowej znajdują się dwa identyczne kanały źródeł prądowo – napięciowych. Każdy z nich może być niezależnie skonfigurowany jako źródło prądu lub napięcia. W stopniach wyjściowych pracują wzmacniacze operacyjne mocy typu OPA547, natomiast w pętach sprzężenia zwrotnego PGA204.

Napięcie referencyjne 2,5 V wykorzystywane przez przetworniki C/A i A/C, dostarczane jest przez wbudowane w mikrokonwerter źródło napięcia referencyjnego.

Napięcie referencyjne 1,25 V wytwarzane jest z napięcia 2,5 V za pomocą dzielnika rezystancyjnego i dwóch wzmacniaczy operacyjnych OP296 z wyjściem Rail-to-Rail. Ich zastosowanie było konieczne do zapewnienia niskiej impedancji na wejściach  $U_{REF}$  wzmacniaczy PGA204. Jest to warunek niezbędny do uzyskania dużego CMR tych wzmacniaczy.

Do zasilania układu służy zasilacz dostarczający napięcie: ±15 V (1 A) i +5 V (0,5 A). Na

płytkę głównej dodatkowo umieszczono stabilizator napięcia +3,3 V zasilającego większość układów cyfrowych.

**Część cyfrowa**

Układ prawie w całości zbudowano na jednej, dwustronnej płytce drukowanej. Poza nią umieszczono zasilacz oraz płytki z klawiaturą i impulsatorem. Schemat płytki głównej składa się z dwóch części: cyfrowej i analogowej. Schemat części cyfrowej przedstawiono na rys. 3.

Do zasilania bloku cyfrowego niezbędne są dwa napięcia: +5 V dla wyświetlacza LCD i bufora 74HCT245, oraz +3,3 V dla pozostałych układów cyfrowych. Napięcie 3,3 V wytwarzane jest z napięcia 5 V za pomocą stabilizatora U7 (SP6231EN). W układ zasilania wbudowano prosty filtr (R4, C10, C11) filtrujący napięcie 5 V wykorzystywane do zasilania obwodów analogowych mikrokonwertera, jak również niektórych elementów pracujących w torze analogowym.

Sygnały RXD i TXD doprowadzono bezpośrednio do portów P3.0 i P3.1 mikrokonwertera. Są to odpowiednio linie RxD i TxD wbudowanego do programowania pamięci mikroprocesora i do komunikacji z komputerem.

Sygnał DTR poprzez układ różniczkujący (C5, R1) doprowadzono do bufora z wyjściem

typu OC, wbudowanego w strukturę układu programowalnego U10 (ATF1504ASV) i dalej do zwory S1, i układu U3 (MAX6862) generującego sygnał zerowania o czasie trwania 15 ms. Sygnał ten generowany jest po włączeniu zasilania, ręcznym wyzwoleniu przyciskiem S3 lub sygnałem DTR.

Sygnał RTS kierowany jest na układ różniczkujący (C6, R2) i bufor z wyjściem OC wbudowany w strukturę układu U10, do zworki S2 i układu U4 (MAX6863) zwiernącego podczas aktywnego sygnału zerowania przez (rezystor R3) sygnał PSEN do masy na czas około 225 ms. Wprowadza to mikrokonwerter w tryb programowania.

Układy MAX26862 i MAX6863 generują sygnał zerowania, którego czas trwania można ustawić za pomocą napięcia na wejściu CT. Jest on równy 15 ms dla CT dołączonego do masy lub 225 ms dla CT dołączonego do napięcia zasilania. Wejście MR (Manual Reset), umożliwia wyzwolenie ręczne. MAX26862 generuje sygnał o aktywnym stanie wysokim, natomiast MAX6863 generuje sygnał o aktywnym stanie niskim.

Jak wspomniano wcześniej, głównym elementem jest mikrokonwerter U9 (MSC1211Y5) z wbudowaną pamięcią programu, programowaną w systemie przez port szeregowy UART0. Jest on taktowany częstotliwością 22,1184 MHz.

Wprowadzenie CPU w tryb programowania wymaga wymuszenia odpowiedniej kombinacji sygnałów na liniach PSEN i ALE. Jeśli podczas uruchamiania CPU wykryje, że PSEN=0 i ALE=1, to przechodzi do trybu programowania. Inaczej rozpoczyna normalną pracę. Wymuszenie wejścia w tryb programowania zrealizowano za pomocą układów U3 i U4, oraz kilku niezbędnych elementów. CPU można wprowadzić w tryb programowania zdalnie – linią RTS, lub lokalnie – przyciskiem S4. Również sygnał zerowania (RST) można wyzwolić zdalnie – linią DTR, lub lokalnie – naciskając S3. Przed zaprogramowaniem układu należy zewrzeć zworki S1, S2, S5. Po programowaniu najlepiej je wszystkie usunąć.

Do sterowania wyświetlaczem pracującym z interfejsem 4-bitowym wykorzystano sześć linii portu P.1. Końcówka P1.0 podłączono do R/S, P1.1 do EN, P1.2...P1.5 są odpowiednio liniami danych D4...D7. Do regulacji kontrastu wyświetlacza wykorzystano jeden z przetworników C/A. Reguluje go napięcie podawane bezpośrednio z VDACC2 (nóżka 20, mikrokonwertera).

Do poprawnej współpracy z wyświetlaczem konieczne jest zastosowanie bufora U5 (74HCT245). Jest to połączenie jednokierunkowe, zapewniające prawidłową współpracę wyświetlacza z procesorem, ale dane mogą być przesyłane tylko do wyświetlacza i przez to nie ma możliwości monitorowania flagi zajętości ani odczytu jego rejestrów. Zamiast testowania zajętości ustalono czas opóźnienia pomiędzy kolejnymi przesyłanymi do LCD znakami czy instrukcjami. Jest to wystarczające do poprawnej

pracy, aczkolwiek należy jasno powiedzieć, że mikrokontroler w żaden sposób nie sprawdza, czy LCD rzeczywiście funkcjonuje.

Pozostałe doprowadzenia P1, P1.6 i P1.7, pełnią swoje alternatywne funkcje. Są odpowiednio liniami SDA i SCL sprzętowego interfejsu I<sup>2</sup>C. Rezystory R61 i R62 podciągają je do napięcia zasilania. Ten interfejs wykorzystano do komunikacji z pamięcią EEPROM. Port P2 w całości wykorzystano do sterowania pracą pierwszego kanału. Linia P2.0 steruje kluczem analogowym zawartym w układzie U14 (DG419) i przełącza tryby pracy. Linia P2.1 (R18, T3) steruje transoptorem U12, włączającym stopień końcowy (U11). P2.2 i P2.3 bezpośrednio kontrolują wzmocnienie układu U16 (PGA204), umożliwiając wybór jednego z czterech zakresów prądowych. P2.4 steruje tranzystorem (R27, T4) włączającym przełącznik RLY1. Przełącza on rezystory wykorzystywane do pomiaru natężenia prądu. Linie P2.5 i P2.6 sterują wzmocnieniem wzmacniacza U17 (PGA204) umożliwiając wybór jednego z czterech zakresów napięciowych. Linia P2.7 steruje kluczem analogowym U15 (DG419) pozwalającym na uzyskanie dodatkowego zakresu napięciowego 12 V.

Linia P3.3 (R5, T1) steruje załączaniem podświetlenia tła wyświetlacza LCD, natomiast P3.4 (R7, T2) załącza sygnał dźwiękowy sygnalizujący naciśnięcie przycisku lub obrót impulsatora. Pozostałe linie portu P3 oraz linie P0.0...P0.3 wykorzystano do komunikacji z układem U10.

Dwa rejestry wyjściowe zaimplementowane w U10 wykorzystano do sterowania pracą drugiego kanału. Sygnał IU2, przez przełączanie klucza analogowego U20 (DG419), steruje wyborem trybu pracy drugiego kanału. Sygnały K2D0 i K2D1 sterują wzmocnieniem wzmacniacza U22 (PGA204). Sygnał K2D2 (R53, T6) załącza przełącznik RLY2 przełączający rezystancje. Sygnał OUT2 (R42, T5) steruje transoptorem U19 (PC817), który wymuszając odpowiednie napięcie na doprowadzeniu 7 (E/S) wzmacniacza operacyjnego wprowadza go w stan uśpienia. W przypadku rozwarcia zacisków wyjściowych prąd płynie przez R45. W ten sposób zapewniono niskie napięcie wyjściowe. Sygnały K2D0U, K2D1U sterują wzmocnieniem wzmacniacza U23 (PGA204) przełączając w ten

sposób zakresy napięcia. Sygnał K2D2U steruje kluczem analogowym U21 (DG419) poszerzając zakresy napięciowe o zakres 12 V.

## Część analogowa

Schemat części analogowej przedstawiono na rys. 4. Zasadę działania opisano wcześniej. Część analogową zbudowano na tej samej płycie, co część cyfrową. Większość układów zasilana jest napięciem symetrycznym  $\pm 15$  V. Są jednak wyjątki. Układ U13 (OP296) zasilany jest napięciem +5 V natomiast U14, U15, U20, U21 (DG419), oprócz napięć  $\pm 15$  V, wymagają również podania +5 V, pobieranego poprzez filtr RC ze złącza J2. Dlatego po ich zamontowaniu nie można podłączyć napięcia zasilającego tylko do złącza J2 (+5 V). Należy pamiętać również o podłączeniu napięcia do złącza J14 ( $\pm 15$  V). Brak napięcia na złączu J14 nie powinien spowodować uszkodzenia układu, ale może zakłócić pracę mikrokonwertera.

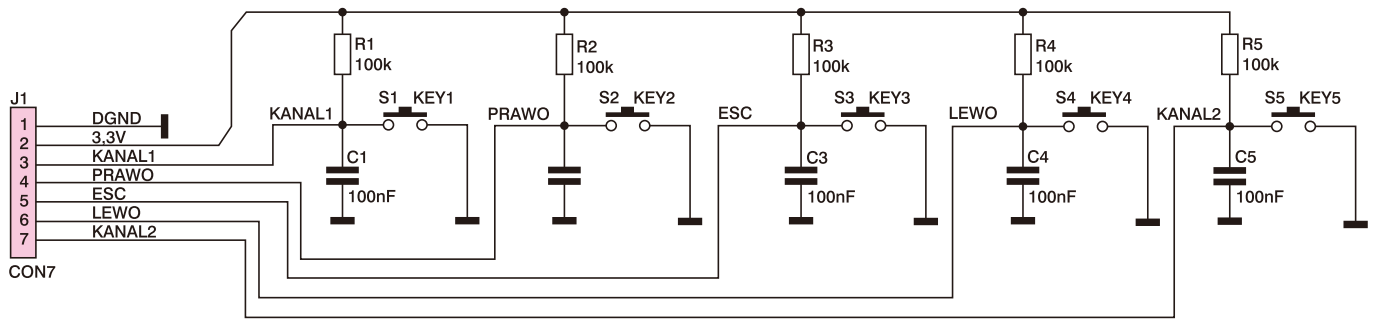
Napięcia zasilające dostarczane są przez zasilacz zbudowany na oddzielnej płycie. Aby uniezależnić napięcia zasilające analogowe układy sygnałowe od wzmacniaczy operacyjnych mocy U11 i U18, mimo iż zasilane są z tego samego zasilacza, to podłączono je oddzielnymi przewodami. Dzięki temu, niezależnie od wartości pobieranego prądu, spadki napięć na przewodach zasilających nie wpływają na napięcia zasilające pozostałe elementy części analogowej.

Wszystkie masy w części analogowej jak i cyfrowej zwarto pod mikrokonwerterem, a sygnały mas poprowadzono w sposób ograniczający zakłócenia. Pozwoliło to uzyskać małe szumy w sygnale wyjściowym oraz dobrą rozdzielczość gwarantowaną przez przetworniki.

Jako źródło napięcia referencyjnego o wartości 2,5 V wykorzystano źródło napięcia referencyjnego wbudowane w strukturę mikrokonwertera. Napięcie to pobierane jest z wyprowadzenia REF OUT/ REF IN+ (nóżka 30), następnie filtrowane przez C21 i C22. Jest ono wykorzystywane przez przetworniki A/C i C/A oraz do wytworzenia napięcia referencyjnego 1,25 V.

Napięcie referencyjne  $U_{REF}$  o wartości 2,5 V, podane jest na wtórnik napięcia zbudowany z U13A (OP296) a następnie na dzielnik zbudowany z R30, R41 i potencjometru R31. Sygnał





Rys. 5. Schemat klawiatury

z dzielnika podawany jest na kolejny wtórnik napięciowy, zbudowany na U13B. Napięcie wyjściowe tego wzmacniacza powinno być ustawione na wartość równą dokładnie połowie napięcia  $U_{REF}$ . Następnie jest ono filtrowane i zasila wyprowadzenia REF (piny 10), układów U16, U17, U22, U23 (PGA204).

Ponieważ budowa obu kanałów źródeł prądowo – napięciowych jest identyczna, poniżej zostanie opisana budowa kanału pierwszego, a w nawiasach podano odpowiednie elementy dla kanału drugiego.

Do sterowania wartością wymuszenia wykorzystano 16-bitowy przetwornik C/A DAC1 (DAC0), wbudowany w strukturę mikrokonwertera. Jego wyjście, pin 31 (17), poprzez filtr dolnoprzestupowy utworzony przez R16, C30 (R39, C57), steruje nieodwracającym wejściem wzmacniacza mocy U11 (U18), (OPA547) pracu-

jącego jako stopień końcowy. Rezystor R32 (R43) ustala ograniczenie prądowe wzmacniacza na około 500 mA. Transoptor U12 zwiera pin E/S, do ujemnego napięcia zasilającego wyłączając stopień końcowy. Wyłączenie polega na ograniczeniu natężenia prądu do 4 mA.

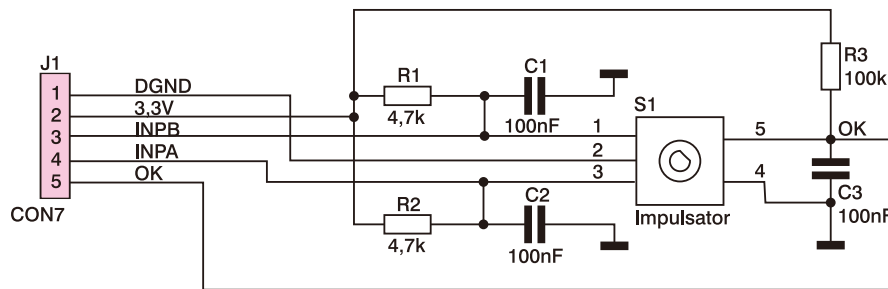
Dla ograniczenia wzrostu napięcia wyjściowego, w przypadku rozwarcia zacisków zastosowano wstępne obciążenie w postaci rezystora R33 (R43).

O trybie pracy decydują elementy sprzężenia zwrotnego. Aby włączyć tryb pracy jako źródło napięcia, klucz analogowy U14 (U20) włącza w obwód sprzężenia zwrotnego wzmacniacz U17 (U23). Podczas pracy jako źródło prądu, włączany jest wzmacniacz U16 (U22). Rezystor R17 (R40) i kondensator C31 (C58) ograniczają szybkość narastania sygnału wyjściowego i zapewniają stabilną pracę układu. Wzmacniacz U17 (U23) wzmacnia napięcie

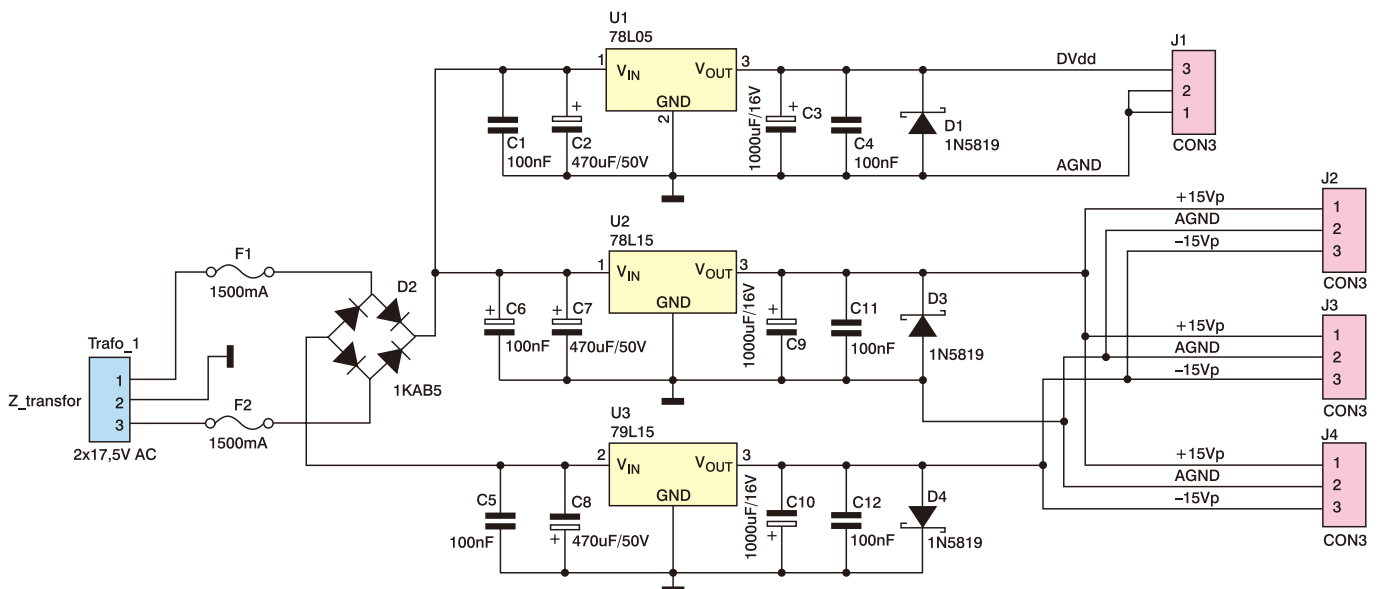
wyjściowe i sumuje je z napięciem referencyjnym REF2 (1,25 V). Sygnał wyjściowy podawany jest na wejście S2 klucza analogowego U15 (U21) oraz dzielnik napięcia z rezystorów R36, R37 (R57, R59) i potencjometru R35 (R58). Elementy dzielnika napięciowego dobrano tak, aby potencjometr R35 (R58) umożliwiał dokładną regulację w niewielkim zakresie. Wyjście dzielnika podawane jest na drugie wejście (S1) klucza analogowego U15 (U21) pozwalającego na rozszerzenie zakresów napięciowych do 12 V. Dla zakresów 1,2 mV, 12 mV, 120 mV, 1,2 V, klucz analogowy U15 (U21) jest w pozycji S2, a na jego wyjście przekazywany jest sygnał z wyjścia U17 (U23). Zmianę zakresów napięciowych uzyskuje się poprzez zmianę wzmocnienia U17 (U23). Odpowiednio, dla wyżej podanych zakresów, wzmocnienie wynosi: 1000, 100, 10, 1. Dla zakresu 12 V wzmocnienie U17 (U23) jest równe 1, a klucz analogowy jest w pozycji S1. Na jego wyjście podawany jest sygnał z dzielnika napięcia.

Sygnał wyjściowy z U15 (U21) podawany jest na wejście S1 układu U14 (U20), a następnie przez R17 (R40) na odwracające wejście U11 (U18) i jednocześnie przez R10 (R8) na wejście AIN6 (AIN4) przetwornika A/C wykorzystanego do pomiaru napięcia wyjściowego.

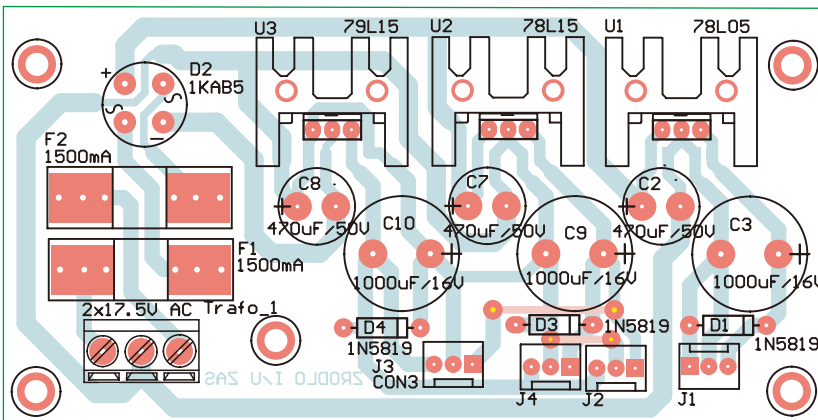
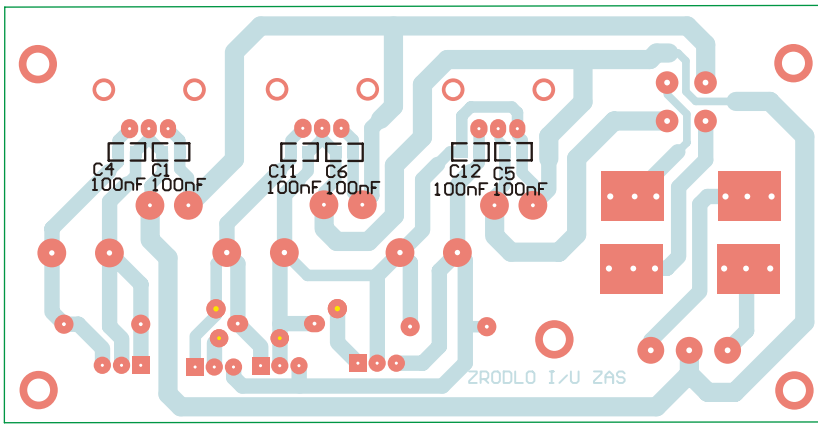
U16 (U22) wzmacnia spadek napięcia na R23 (R49) i sumuje go z sygnałem referencyjnym REF2 (1,25 V). Jego wyjście dołączone jest



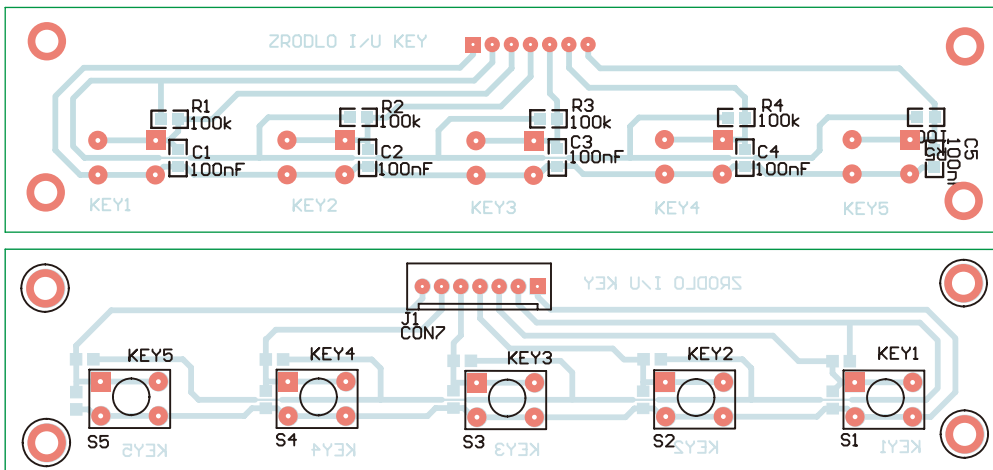
Rys. 6. Schemat płytki impulsatora



Rys. 7. Schemat zasilacza



Rys. 8. Schemat montażowy zasilacza

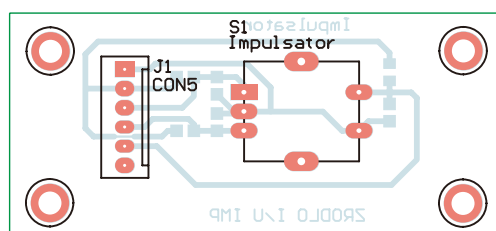
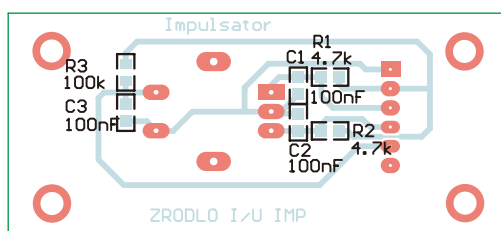


Rys. 9. Schemat montażowy klawiatury

do wejścia S2 klucza analogowego U14 (U20), a przez R11 (R9), do wejścia AIN7 (AIN5) przetwornika A/C wykorzystanego do pomiaru natężenia prądu. Dla zakresów: 500 mA, 50 mA, 5 mA, rezystancja czujnika wynosi 2,5  $\Omega$ , a wzmocnienia U16 (U22) odpowiednio: 1, 10, 100, 1000.

10, 100. Dla zakresów 500  $\mu$ A, 50  $\mu$ A, 5  $\mu$ A, 500 nA, rezystancja czujnika prądu wynosi 2,5 k $\Omega$ , a wzmocnienia U16 (U22) odpowiednio: 1, 10, 100, 1000.

Do konstrukcji czujników prądu zastosowano rezystory precyzyjne o małym współczynniku



Rys. 10. Schemat montażowy impulsatora

temperaturowym. Godząc się na pogorszenie parametrów przyrządu można użyć zwykłe rezystory, ponieważ na płytce przewidziano możliwość dokładnej regulacji ich wartości za pomocą wieloobrotowych potencjometrów boczniujących.

Rezystory R21 i R25 (R47, R51) powinny mieć moc przynajmniej 2 W. Wzrost temperatury rezystorów pracujących jako czujniki prądu powoduje zmianę ich rezystancji i pogarsza właściwości pomiarowe układu. Dlatego dobierając te elementy należy zwrócić uwagę, aby miały możliwie małą wartość współczynnika temperaturowego rezystancji (TWR). Typowe wartości tego współczynnika dla rezystorów precyzyjnych wynoszą  $\pm 5 \dots \pm 20$  ppm/K, a dla pozostałych  $\pm 50 \dots \pm 200$  ppm/K.

#### Klawiatura

Schemat klawiatury przedstawiono na rys. 5. Składa się ona z pięciu przycisków typu microswitch, współpracujących z obwodami RC ograniczającymi skutki drgań kontaktów. Klawiaturę zbudowano na jednostronnej płytce drukowanej. Kondensatory i rezystory zamontowano po stronie druku, natomiast przyciski po stronie elementów.

#### Impulsator

Schemat płytki impulsatora przedstawiono na rys. 6. Wybrany impulsator posiada dodatkowy przycisk ułatwiający obsługę urządzenia. Podobnie jak przy konstrukcji klawiatury, zastosowano elementy RC. Impulsator zamontowano od strony elementów, natomiast elementy RC od strony druku.

#### Zasilacz

Schemat zasilacza przedstawiono na rys. 7. Napięcie z transformatora jest prostowane przez mostek D2 i stabilizowane przez U1, U2, U3. Kondensatory elektrolityczne filtrują napięcie, a ceramiczne 100 nF blokują zakłócenia wysokiej częstotliwości. Układy U1, U2 i U3 zamontowano na radiatorze. U1 mocno grzeje się w czasie pracy, ponieważ jest na nim tracona dosyć duża moc. Do konstrukcji zasilacza można również zastosować stabilizator impulsowy step down (np. LM2575-T5.0), wówczas prawdopodobnie radiator nie będzie potrzebny. Oczywiście taka modyfikacja układu zmusza do wykonania nowej płytki drukowanej zasilacza. U3 wymaga zastosowania przekładki izolacyjnej, bo jego obudowa nie jest podłączona do masy. Zasilacz zmontowano na jednostronnej płytce drukowanej. Kondensatory blokujące umieszczono po stronie druku, natomiast pozostałe elementy po stronie elementów.

Wiesław Szaj  
wszaj@prz.edu.pl