

Programowane źródło prądowo-napięciowe (2)

Poprzednio opisaliśmy konstrukcję programowanego źródła napięciowo – prądowego. W tym odcinku opiszemy sposób jego uruchomienia, obsługi i programowania z użyciem środowiska LabView. Pokażemy również przykład praktycznego użycia przyrządu do pomiaru charakterystyki tranzystora.

Rekomendacje:

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



AVT-5180



Montaż i uruchomienie

Montaż układu rozpoczynamy od płytki zasilacza, którego schemat montażowy przedstawiono na rys. 8. Jako pierwsze montujemy zworki i kondensatory blokujące. Następnie montujemy elementy diody, kondensatory elektrolityczne i inne, większe elementy. Jako ostatnie montujemy U1, U2, U3. Układy te należy wcześniej przykręcić do radiatora, przykręcić radiator do płytki, na końcu

przylutować ich końcówki. Po sprawdzeniu poprawności montażu, podłączyć transformator i sprawdzić napięcia wyjściowe.

Jako kolejną montujemy płytkę klawiatury oraz impulsatora. Płytki są łatwe w montażu i nie wymagają jakiegось specjalnego opisu. Ich schemat montażowy przedstawiono na rys. 9 i 10.

Na końcu montujemy elementy na głównej płytce drukowanej. Ponieważ niektóre z zastosowanych układów to miniaturowe elementy SMD, to mogą one sprawiać nieco trudności podczas montażu. Schemat montażowy płytki głównej przedstawiono na rys. 11. Jest to płytka dwustronna, którą jednak zaprojektowano tak, aby można ją było wykonać w warunkach domowych. Jeśli nie dysponujemy płytką z metalizacją otworów, to montaż rozpoczynamy od wykonania przelotek. Następnie montujemy wszystkie małe, bierne elementy SMD oraz układ zasilania U7 (SP6231EN). Po ich zamontowaniu podłączamy zasilacz i sprawdzamy poprawność napięć zasilających dla każdego układu (część cyfrowa mikroprocesora zasilana jest napięciem 3,3 V, a analogowa napięciem 5 V). Montujemy teraz U10 (ATF 1504). W punktach oznaczonych na płytce jako TDI, TDO, TMS, TCK umieszczono miejsca na przylutowanie końcówek interfejsu JTAG. Mogą to być np. pojedyncze piny złącza *gold-pin*. Należy również zamontować złącze J10 służące do zasilania programatora. Można teraz przystąpić do zaprogramowania ukła-

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 ±500 mA
- Wartość napięcia ±12 V
- Zakresy prądowe 500 nA, 5 μA, 50 μA, 500 μA, 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 eksponentialna
- Pomiary ręczne według zaprogramowanej charakterystyki i ilości punktów
- Pomiary automatyczne według zaprogramowanej charakterystyki i ilości punktów z możliwością programowania opóźnienia przed rozpoczęciem pomiaru
- Opóźnienie programowane w zakresie 10...65000 ms
- Liczba zaprogramowanych punktów pomiarowych 10...250



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	---



Rys. 12. Propozycja wykonania płyty czołowej

du. Do tego celu potrzebny będzie program ATMEL ISP, udostępniany bezpłatnie przez firmę Atmel. Program dla układu dostępny jest na płycie CD (ZRODLOIU.jed).

Jako pierwszy montujemy teraz U9 (MSC1211Y5) wraz z kwarcem Y1, kondensatorami C19, C20. Następnie U3 (MAX6862), U4 (MAX6863), U1 (MAX3243CAI) i elementy ich obwodów (S1, S2, S5, D3, złącze J1). Są to elementy niezbędne do zaprogramowania mikroprocesora w systemie.

Po ich zamontowaniu można przystąpić do zaprogramowania mikroprocesora. Potrzebny będzie dodatkowo kabel łączący szeregowy bez przeplotu. Na płycie CD zapisano program TI Downloader przeznaczony dla system Windows. Można go również pobrać ze strony producenta, tj. Texas Instruments. Po uruchomieniu programu, należy wybrać odpowiedni port COM, oraz wpisać częstotliwość rezonatora 22,1184 MHz. Plik, którym trzeba zaprogramować mikroprocesor, to ZRODLO_IU_OK.HEX.

Jeśli programowanie przebiegło prawidłowo to można zamontować U5 (74HC-T245), pamięć EEPROM U2 (AT24C256), podłączyć płytkę z klawiaturą, impulsatorem i wyświetlacz LCD.

Włączenie zasilania

Po włączeniu zasilania powinien pojawić się na kilka sekund napis, *Progr. Zrodlo I/U Wykonall: W.Szaj uP MSC1211Y5 Rok 2007*. Następnie wyświetlone będą domyślne wartości wymuszeń oraz stan pracy układu. Można teraz sprawdzić poprawność funkcjonowania wszystkich przycisków, impulsatora, oraz pamięci EEPROM. W celu sprawdzenia poprawnej pracy pamięci należy zmienić wartość wymuszenia dowolnego kanału i wyłączyć zasilanie. Po włączeniu na wyświetlaczu powinna pojawić się ostatnio nastawiona wartość. Jeśli wszystko pracuje prawidłowo, to można zamontować pozostałe elementy części analogowej, zaczynając od elementów SMD. Układy U11 i U18 przed przylutowaniem, należy wcześniej przymo-

cować do radiatorów, pozwoli to uniknąć naprężeń mechanicznych na płytce. Po zmontowaniu całości i starannym sprawdzeniu, usunięciu ewentualnych zwarców, podłączyć wszystkie napięcia zasilające i podłączając do wyjść na przykład diody LED, sprawdzić działanie układu. Tak zmontowany i uruchomiony układ wymaga kalibracji.

Kalibracja toru pomiarowego

Po zmontowaniu i uruchomieniu urządzenia, należy przeprowadzić kalibrację toru pomiarowego. Rozpoczynamy ją od precyzyjnego wyregulowania wartości napięcia referencyjnego 1,25 V. Następnie należy wyzerować napięcia niezrównoważenia programowalnych wzmacniaczy pomiarowych i wzmacniaczy pracujących jako stopnie końcowe. Skalibrować stopień podziału dzielników napięcia dla zakresu 12 V, dostroić wartość rezystorów pracujących jako czujniki prądu. Większość tych czynności wykonuje się przez regulację potencjometrem, ale napięcie niezrównoważenia wzmacniaczy wyjściowych wymaga zaprogramowania wyznaczonej wartości do pamięci EEPROM z poziomu komputera.

Kalibrację najlepiej przeprowadzić w temperaturze pokojowej, po ustaleniu się warunków pracy. W tym celu układ powinien pracować minimum 15 minut. Po tym czasie należy go wyłączyć i włączyć ponownie. Podczas uruchamiania mikroprocesor wykona kalibrację toru pomiarowego przetwornika A/C, przy ustalonych warunkach pracy.

Kalibracja napięcia referencyjnego

W układzie wykorzystano jednocześnie napięcia referencyjne o dwóch różnych wartościach 2,5 V i 1,25 V. Napięcie 2,5 V, nie jest kalibrowane. Jego wartość ustalono z dokładnością 0,2%. Drugie napięcie referencyjne należy z możliwie dużą dokładnością skalibrować do połowy napięcia zmierzonego na okładkach kondensatora tantalowego C21. Podczas kalibracji, jako masę odniesie-

nia, należy przyjąć ujemną okładkę kondensatora C21, a napięcie mierzyć na nóżce 7 wzmacniacza U13. Regulację wykonuje się potencjometrem R31.

Kalibracja napięcia niezrównoważenia wzmacniaczy pomiarowych

Po kalibracji napięć referencyjnych, należy wyregulować napięcia niezrównoważenia (offsetu) programowalnych wzmacniaczy pomiarowych (PGA), tj. układów U16, U17, U22, U23.

Kalibracja obu kanałów przebiega w taki sam sposób, toteż wszystkie opisane niżej czynności należy powtórzyć w drugim kanale (w nawiasach podano oznaczenia elementów regulacyjnych drugiego kanału).

W celu kalibracji napięcia niezrównoważenia wzmacniacza U17 (U23) wybieramy: tryb pracy kanału jako źródło prądu, zakres prądowy 500 nA, natężenie prądu równe 0, zakres pomiarowy 1,2 mV. Następnie zwieramy wyjście i włączamy kanał. Potencjometrem R38 (R60) regulujemy tak, aby wartość mierzonego napięcia była równa 0.

W celu kalibracji napięcia niezrównoważenia wzmacniacza U16 (U22): rozwieramy wyjście, wybieramy tryb pracy jako źródło napięciowe, ustawiamy wartość napięcia równą 0. Następnie włączamy kanał i za pomocą potencjometru R30 (R56) ustawiamy natężenie prądu równe 0.



Kalibracja napięcia niezrównoważenia wzmacniaczy wyjściowych

Napięcie niezrównoważenia wzmacniaczy wyjściowych U11 i U18 nie zależy od zakresu, wartości wymuszenia, ani trybu pracy. Jest ono stałe dla danego wzmacniacza i może zmieniać się wraz z zmianą temperatury. Typowe jego wartości dla zastosowanych wzmacniaczy mieszczą się w przedziale 1...5 mV. Napięcie to kalibrowane jest przez oprogramowania (± 10 mV, z rozdzielczością 38,146 μ V). W tym celu wykorzystany jest ten sam przetwornik C/A, który steruje wartością wymuszenia danego kanału.

Ograniczona pojemność pamięci programu nie pozwoliła na zaimplementowanie funkcji odczytu aktualnie zapisanej w pamięci wartości tego napięcia, dlatego kalibrację należy rozpocząć od zaprogramowania wartości zerowej.

Można to zrobić tylko z poziomu komputera, za pomocą funkcji przygotowanej w LabView I U Source Calibrate Offset.vi, lub jeśli nie dysponujemy pakietem LabView, za pomocą dowolnego programu umożliwiającego wysyłanie danych łączem szeregowym (np. Hyper Terminal). W celu wyzerowania napięcia należy przesłać polecenie:

OFFSET:CHx \pm yyy. x – oznacza numer kanału, natomiast \pm yyy jest wartością napięcia niezrównoważenia przeliczoną na kod przetwornika według wzoru. Ilość cyfr parametru musi być stała oraz poprzedzona znakiem.

Dokładny opis sposobu programowania umieszczono w części „Obsługa i Programowanie”.

Kalibrację napięcia niezrównoważenia rozpoczynamy od wyznaczenia jego wartości. W tym celu należy zaprogramować wartość napięcia niezrównoważenia równą zero według opisu powyżej (yyy=+000). Następnie skonfigurować układ jako źródło napięcia i ustawić zakres na 1,2 V. Ustawić wartość napięcia równą 0 i za pomocą woltomierza zmierzyć rzeczywistą wartość napięcia wyjściowego, która jest równa napięciu niezrównoważenia wzmacniacza. Po wyznaczeniu tego napięcia należy zaprogramować jego wartość według opisu powyżej.

Kalibracja wzmocnienia

Zakresy napięciowe 1,2 mV, 12 mV, 120 mV, 1,2 V nie wymagają kalibracji wzmocnienia. Należy jednak dostroić stopień podziału dzielników napięcia dla zakresu napięciowego 12 V. W tym celu potrzebny będzie woltomierz oraz rezystor o wartości kilku Ω .

Rezystor podłączyć do wyjścia kanału i ustalić tryb pracy jako źródło prądu. Następnie włączyć kanał i ustawić wartość natężenia prądu taką, aby napięcie na rezystorze wynosiło kilka V. Teraz podłączyć

woltomierz i za pomocą potencjometru R35 (R58) ustawić wartość napięcia zgodną ze wskazaniem woltomierza.

Kalibracja czujników prądu

Do kalibracji czujników prądu potrzebne będą dwa rezystory o znanej wartości rezystancji np. 20 Ω i 20 k Ω . Nie muszą to być rezystory precyzyjne, ale należy znać dokładną wartość ich rezystancji. W tym celu można ją zmierzyć omomierzem. Do wyjść przyrządu nie należy podłączać ani amperomierzy, ani woltomierzy, szczególnie podczas kalibracji zakresów 500 nA...500 μ A, ponieważ spowodują one dodatkowy rozptył prądów. Zakładając, że po wcześniejszej kalibracji napięcie wyjściowe ma prawidłową wartość, z prawa Ohma wyznaczamy natężenie prądu dla zadanej wartości napięcia. Dla zakresów 500 nA, 5 μ A, 50 μ A, 500 μ A używany jest ten sam czujnik prądu, dlatego kalibrację należy przeprowadzić dla jednego z nich, najlepiej dla 500 μ A i natężeniu prądu bliskim połowie zakresu. Drugi czujnik pracuje na zakresach 5 mA, 50 mA, 500 mA, więc kalibrację wystarczy przeprowadzić dla zakresu 500 mA, ustalając natężenie prądu na około 250 mA.

Aby wykonać kalibrację należy przełączyć układ w tryb pracy jako źródło napięciowe i do jego wyjścia podłączyć rezystor 20 k Ω . Ustawić wartość napięcia 5 V a zakres prądu na 500 μ A i obliczyć dokładną wartość prądu dla nastawionego napięcia i podłączonej rezystancji. Teraz włączyć wybrany kanał i za pomocą potencjometru R26 (R52) ustawić wartość mierzonego natężenia prądu tak, aby zgadzała się z wcześniej wyliczoną.

Teraz do wyjścia podłączyć rezystor 20 Ω i ustawić zakres prądu 500 mA. Obliczyć dokładną wartość prądu dla nastawionego napięcia i podłączonej rezystancji. Włączyć wybrany kanał i za pomocą potencjometru R29 (R50) ustawić wartość mierzonego natężenia prądu tak, aby zgadzała się z wcześniej wyliczoną.

Po tak przeprowadzonej kalibracji przyrząd jest gotowy do działania.

Obsługa i programowanie

Całość umieszczono w obudowie uniwersalnej o wymiarach 235×215×91 mm. Na rys. 12 przedstawiono proponowany wygląd przykładowej płyty czołowej przyrządu. Do obsługi służy pięć przycisków oraz impulsator z przyciskiem.

Impulsator umożliwia, szybką zmianę wartości wymuszenia oraz łatwe sterowanie dodatkowymi funkcjami przyrządu. Po jego naciśnięciu zmienia się aktywny kanał. Strzałka wyświetlana w pierwszym wierszu, wskazuje, którą wielkość można zmienić przy pomocy impulsatora. Gdy znajdujemy się w menu to strzałka wskazuje pozycję, na

której się znajdujemy, a naciśnięcie impulsatora umożliwi nastawy (przez obrót) wskazywanej pozycji.

F1/F2/Anuluj – za pomocą tego przycisku zmieniamy funkcje pozostałych przycisków. Na wyświetlaczu LCD, w pierwszej linii, umieszczono napis F1 oznaczający, że przyciski pełnią podstawową funkcję, lub F2, jeśli pełnią funkcję alternatywną. Przy obsłudze menu, ten przycisk pozwala na wyjście o jeden poziom wyżej.

Menu/Pamięć – podstawową funkcją tego przycisku jest wejście do menu, alternatywną, zapis do pamięci wyników aktualnego pomiaru, aktywny podczas funkcji pomiaru ręcznego i przy normalnej pracy.

I/U/x1/x10/x100/Auto/Manual – podstawową jego funkcją jest zmiana trybu pracy aktywnego kanału, ze źródła prądowego na napięciowe i odwrotnie. Funkcją alternatywną jest zmiana kroku, zmiana wymuszenia podczas obrotu impulsatora. Informacja o kroku wyświetlana jest w 3 linii LCD. Podczas aktywnego trybu zmiany zakresu za pomocą tego przycisku można włączyć/wyłączyć automatyczny wybór zakresów.

Zakresy – aktywuje zmianę zakresu. Po naciśnięciu, na wyświetlaczu LCD pojawi się strzałka wskazująca na zakres w pierwszej linii, co oznacza, że przy obrocie impulsatora zmieniamy zakres napięciowy kanału 1. Kolejne naciśnięcie powoduje przejście do drugiej linii, co oznacza, że za pomocą impulsatora zmieniamy zakres prądowy kanału 1. Po kolejnych naciśnięciach można zmieniać odpowiednio, zakres napięciowy kanału 2, zakres prądowy kanału 2, oraz wyjść z zmian zakresu.

Włącz/Wyłącz – włącza/wyłącza aktywny kanał

Menu

Poruszanie się po MENU jest bardzo proste i odbywa się za pomocą obrotu impulsatora. Po jego naciśnięciu zostaje wybrana aktualnie wskazywana pozycja. Klawisz Anuluj umożliwia wyjście na poprzedni poziom lub całkowite opuszczenie menu.

Pomiar ręczny. Wybierając tę opcję można skonfigurować parametry pomiaru ręcznego. Po ich zatwierdzeniu impulsator umożliwia poruszanie się po zaprogramowanej charakterystyce wymuszenia. Jest to bardzo przydatna funkcja przy wykonaniu serii pomiarów, dla tych samych wartości wymuszenia. Do ustawienia jest pięć parametrów:

- rodzaj wymuszenia i numer kanału (K1 Tryb U, K1 Tryb I, K2 Tryb U, K2 Tryb I),
- charakter zmiany wymuszenia (LIN – stały krok wymuszenia, LOG – zmiana wartości wymuszenia ma charakter logarytmiczny, EXP – zmienny krok, zmiana wymuszenia ma charakter eksponentialny),

- parametr start (wartość wymuszenia od której będzie rozpoczynał się pomiar; ustawiamy ją za pomocą impulsatora, aby ułatwić programowanie wartości, przycisk $I/U/x1/x10/x100/Auto/Manual$ zachowuje funkcję zmiany kroku podczas obrotu impulsatora, ale informacja o tym nie jest wyświetlana),
- parametr stop (maksymalna wartość wymuszenia),
- punkt (ilość punktów na charakterystyce, może przyjmować wartości od 10 do 250).

Po zatwierdzeniu ostatniego parametru układ przechodzi do pracy w trybie pomiaru ręcznego. Na wyświetlaczu w pierwszej linii wyświetlany jest napis *Pr*. Wartość wymuszenia ustawiona jest zgodnie z parametrem start, odpowiedni kanał zostaje włączony i rozpoczyna się pomiar. Za pomocą przycisku *Menu/Pamięć*, można zapisać do pamięci wynik pomiaru znajdujący się aktualnie na wyświetlaczu. Po naciśnięciu na klawisz *Anuluj* przywracamy normalny tryb pracy układu.

Pomiar automatyczny. Wybierając tę opcję można skonfigurować parametry pomiaru automatycznego. Ich ustawienie odbywa się analogicznie, jak dla pomiaru ręcznego. Dodatkowym parametrem jaki należy zaprogramować jest czas opóźnienia w ms. Może on przyjmować wartości od 10 do 65000.

Po zatwierdzeniu ostatniego parametru na wyświetlaczu pojawia się napis *Pa* oznaczający pomiar automatyczny. Wymuszenie przyjmuje wartość *start*, zostaje włączony odpowiedni kanał i rozpoczyna się pomiar. Wyniki pomiarów zapisywane są w pamięci.

Po wybraniu opcji *Wyniki* użytkownik uzyskuje dostęp do pamięci. Do wyboru są trzy możliwości:

- *Czytaj* daje możliwość przeglądania wyników. Są one zapisywane dla kanału 1 i 2 kanału jednocześnie i jeśli kanał był wyłączony, to wyświetlane są kreski. Dodatkowo wyświetlana jest informacja o liczbie znajdujących się w pamięci wyników oraz numer aktualnie wyświetlanego wyniku.
- *Zajętość* wyświetla przez kilka sekund jest informację o liczbie przechowywanych wyników oraz dostępnym miejscu.
- *Kasuj* umożliwia skasowanie danych przechowywanych w pamięci. Po jej wybraniu pojawia się komunikat „Czy usunąć dane?”. Naciśnięcie na impulsator powoduje skasowanie danych, a przycisku *Anuluj* rezygnację.
- *Kontrast* umożliwia zmianę kontrastu wyświetlacza LCD. Obrót impulsatora w prawo zwiększa kontrast, w lewo zmniejsza.
- *Sygnal dźwiękowy* umożliwia włączenie i wyłączenie sygnału dźwiękowego towa-

rzającego naciśnięciu na przycisk, i obrotowi impulsatora. Obracając impulsatora w prawo włączamy sygnał dźwiękowy, natomiast w lewo wyłączamy.

- *Info* wyświetla informację o autorze. Podczas wyświetlania napisów układ nie reaguje na przerwania z klawiatury oraz nie odpowiada na polecenia z portu szeregowego. Odbiera znaki, jednak polecenie zostanie zrealizowane dopiero po wyjściu z menu.

Programowanie

Źródło prądowo – napięciowe wyposażono w możliwość zdalnej pracy przez łącze szeregowo. Interpretator poleceń jest kompatybilny z językiem SCPI.

Język SCPI (*Standard Commands for Programmable Instruments*) opracowano w 1990 r. do sterowania urządzeniami pomiarowymi pracującymi w standardzie IEEE488.2. Celem było ujednoczenie programowania różnych przyrządów pomiarowych, pochodzących od różnych producentów. Rozkazy w języku SCPI posiadają strukturę hierarchiczną. Oznacza to, że rozkazy niższego poziomu muszą być poprzedzone rozkazami wyższego poziomu.

Zaimplementowany interpreter SCPI nie akceptuje skrótowych form poleceń, akceptuje wyłącznie duże litery a parametry numeryczne muszą mieć ściśle określony format. Opis poleceń przedstawiono w **tab. 1** zamieszczonej na CD-EP5/2009B. Dla jego uproszczenia przyjęto pewne oznaczenia:

- przez *n* oznaczono nr kanału; może pn przyjmować tylko dwie wartości: 1 lub 2,
- *X* przyjmuje dowolną wartość z przedziału 0...9; ilość znaków *X* oznacza wymaganą ilość cyfr parametru,

- *Y* to wykładnik potęgi; może przyjmować wartości +1...-9.

Parametry transmisji i zestaw poleceń

Parametry transmisji portu szeregowego są następujące: 9600 bps, 8 bitów danych, bez bitu parzystości, 1 bit stop. Polecenie musi być zakończone znakami CR-LF (dziesiętne kody 10 i 13). Przesyłane odpowiedzi również zakończone są znakami CR-LF.

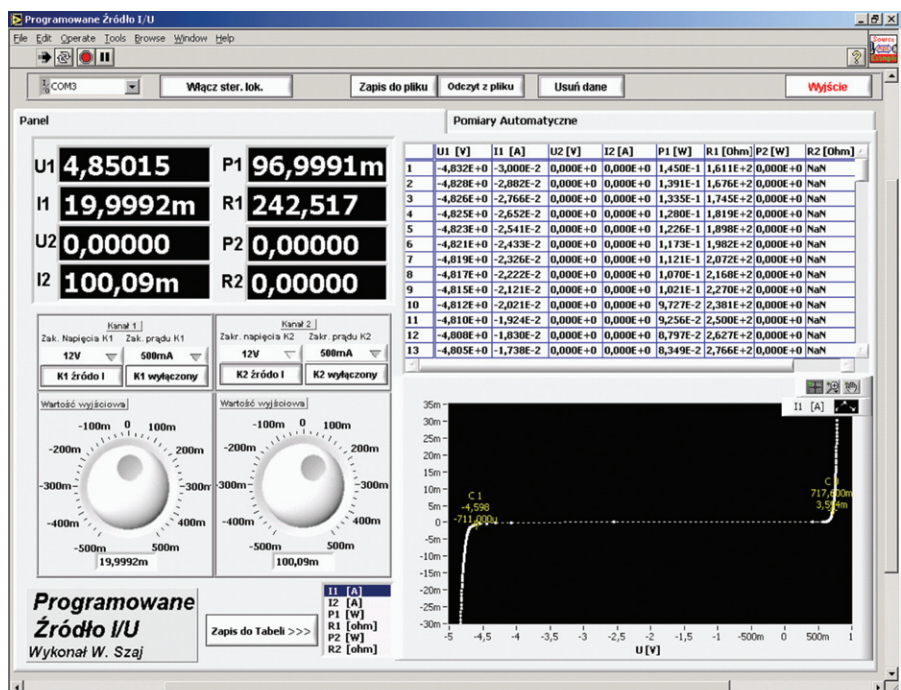
Jak wspomniano wcześniej, polecenia mogą być przesyłane za pomocą programu Hyper Terminal lub dowolnego, innego programu terminala albo napisać własną aplikację korzystając z kompilatora języka programowania, lub programu LabView.

Przykładowa aplikacja i biblioteka „I U Source.llb”

Do uruchomienia przykładowej aplikacji niezbędne jest środowisko LabView w wersji ewaluacyjnej. Można je ściągnąć z strony www.ni.com, lub znaleźć na płytach dołączanych do EP.

Przykładowa aplikacja o nazwie „Example Application.vi”, oraz funkcje umożliwiające szybkie przygotowanie własnej, zgromadzono w bibliotece „I U Source.llb”. Aplikacja umożliwia sterowanie wszystkimi funkcjami układu, trybem pracy, wartością wymuszenia, pozwala na wykonanie pomiaru, konfigurację i wyzwolenie pomiarów automatycznych, przedstawienie wyników na wykresie, oraz zapis i odczyt danych pomiarowych w pliku tekstowym.

Wygląd okna aplikacji pokazano na **rys. 13**, na wykresie przedstawiono wyniki testowego pomiaru dla diody Zenera. **rys. 14** przedstawia okno aplikacji, w którym moż-



Rys. 13. Ekran aplikacji do sterowania źródłem I/U

na skonfigurować i wyzwolić pomiary automatyczne, na wykresie znajdują się wyniki pomiarów dla tranzystora BU508, przeprowadzone dla czterech wartości napięć bazy UB, UB=0,6 V, UB=0,65 V, UB=0,675 V, UB=0,7 V.

Podczas pomiarów kanał 1, pracował jako źródło napięcia, natomiast kanał 2, w trybie pomiarów automatycznych, zaprogramowane parametry pomiarów miały następujące wartości:

- K2 Tryb U – kanał 2 pracuje jako źródło prądu,
- Char EXP – charakterystyka zmian wymuszenia EXP,
- START: = 0 – wartość początkowa wymuszenia,
- -STOP: = 100 mA – wartość końcowa wymuszenia,
- Punkt: 50 – ilość punktów pomiarowych 50,
- Czas: 100 ms – opóźnienie pomiędzy nastawieniem wartości wymuszenia, a rozpoczęciem pomiaru.

W bibliotece zgromadzono funkcje umożliwiające szybkie przygotowanie własnej aplikacji, zostały one umieszczone na diagramie w pliku „U Source Tree.vi”, i pogrupowane według funkcji, można je stąd pobierać przez kopiowanie, ich opis znajduje się w tab. 6. Ponieważ pliki LabView nie są ze sobą kompatybilne, LabView otwiera pliki aktualnej wersji i poprzedniej. Biblioteka została zapisana w kilku wersjach LabView, każda z wersji znajduje się w oddzielnym katalogu, z nazwą zawierającą numer wersji LabView które ją otwiera.

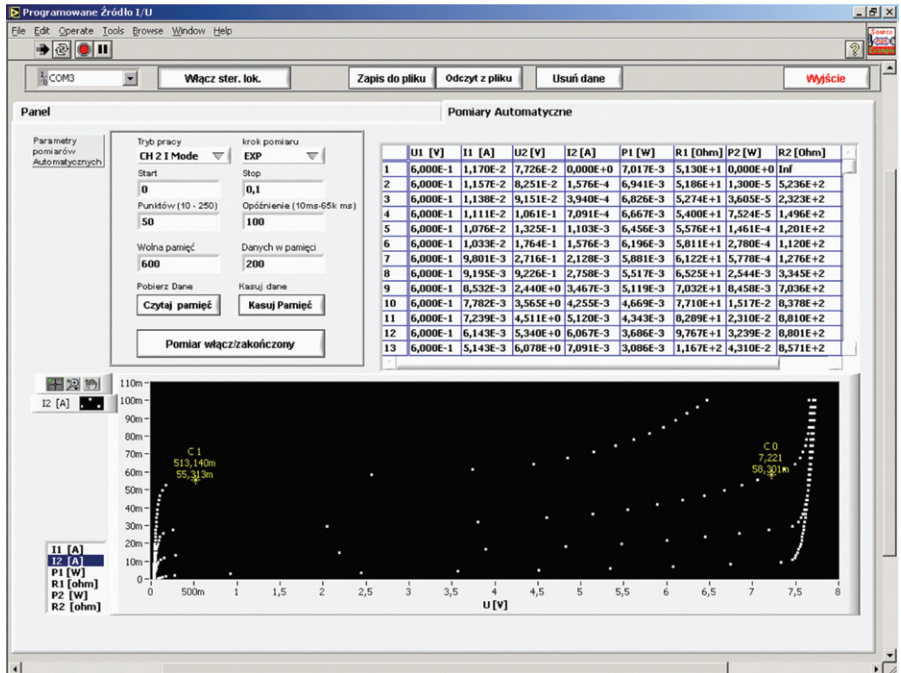
Pliki można otwierać w LabView 7.0, LabView 7.1, LabView 8.0, LabView 8.20, lub LabView 8.5.

Programowanie w LabView

Program w LabView nazywa się instrumentem wirtualnym, ponieważ składa się z dwóch warstw, panelu czołowego i diagramu. Na panelu czołowym znajdują się elementy interfejsu użytkownika, niezbędne do sterowania programem i wizualizacji wyników.

Kodu programu zapisujemy na diagramie w sposób graficzny, za pomocą ikon symbolizujących odpowiednie funkcje. Połączenia między funkcjami symbolizują przepływ danych pomiędzy nimi, decydujący o kolejności wykonywania programu. Program zaczyna się wykonywać od lewej do prawej strony diagramu, na kolejność wykonywanych funkcji mają również wpływ instrukcje strukturalne (case, event, sequence, pętla for, while, itp.).

Opisany poniżej kod źródłowy wybranych funkcji ma na celu zilustrować sposób programowania przyrządów, może być przydatny osobom nie mającym doświadczenia w tego typu programowaniu, oraz programi-



Rys. 14. Wyniki pomiaru diody Zenera

stom piszącym programy w innych językach programowania.

Programowanie rozpoczynamy od próby wymiany komunikatów pomiędzy urządzeniem i komputerem. W tym celu należy:

- skonfigurować parametry transmisji według opisu powyżej,
- wysłać polecenie, pamiętając aby było ono zakończone znakami \r\n,
- odczekać około 50 ms, aby układ mógł zanalizować polecenie i wysłać odpowiedź,
- pobrać odpowiedź z bufora portu szeregowego.

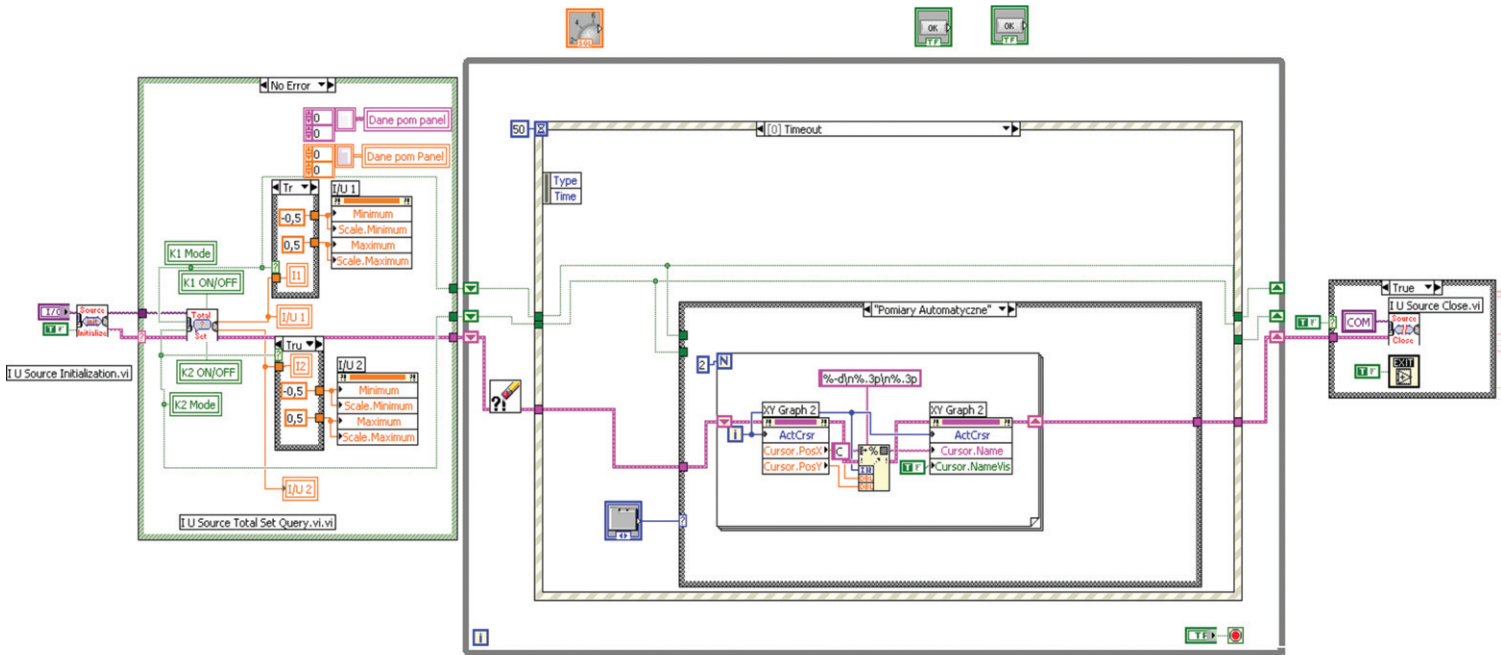
Do wymiany komunikatów przygotowano funkcję I U Source Message Exchange.vi używaną w większości funkcji. Wykorzystano tutaj sposób obsługi łącza szeregowego z wykorzystaniem funkcji VISA, gdzie zapis do portu szeregowego jest bezpośredni, natomiast odczyt jest buforowany. Program po odczekaniu 50 ms sprawdza zajętość bufora, jeśli znajdują się w nim dane to są pobierane. Odczytywane komunikaty mogą mieć różną długość, od pojedynczych bajtów do kilku kilobajtów. Zrezygnowano tutaj z sprawdzania końca komunikatu, ponieważ w przypadku użycia funkcji do wysłania komunikatu, na który nie jest wysyłana odpowiedź, program mógłby utkwić w pętli oczekującej na znaki \r\n i spowodować zawieszenie się aplikacji. W takim wypadku odczekuje on około 50 ms i kończy swoje działanie. Dzięki temu funkcja może być wykorzystana do wysłania zarówno komunikatów programujących jak i zapytań, jest łatwa w użyciu. Rozwiązanie to pozwala na pewny odczyt odpowiedzi układu o różnych długościach. Jedyny warunek jaki musi być spełniony, to czas odesłania odpowiedzi, został on wyznaczony doświadczalnie, większości przypadków

po upływie tego czasu układ odsyła odpowiedź. Wyjątek stanowią polecenia wykonania pomiaru :MEASURE:VOLTAGE:CHn ? i :MEASURE:CURRENT:CHn ?. Ponieważ na czas odpowiedzi składa się nie tylko czas potrzebny na analizę polecenia, ale również na wykonanie pomiaru, czasem nawet kilkakrotnie, gdy zajdzie konieczność zmiany zakresu pomiarowego i ponownego pomiaru. Dla takiego przypadku zostało wybrane inne rozwiązanie, które będzie omówione przy opisie funkcji I U Source Measure.vi.

Identification Query.vi korzysta z funkcji I U Source Message Exchange.vi i wysyła zapytanie (*IDN ?) o identyfikację urządzenia, po otrzymaniu odpowiedzi zwraca ją w Identification Info.

I U Source Initialization.vi inicjalizuje połączenie z urządzeniem. Program konfiguruje parametry pracy portu szeregowego, opcjonalnie wysyła zapytanie o identyfikację urządzenia, a w przypadku jej braku zwalnia łącze i zwraca komunikat o błędzie. Ikona VISA resource name zawiera informację o wybranym porcie szeregowym, która powinna być przekazywana do wszystkich funkcji komunikujących się z urządzeniem. Odpowiedni port można wybrać na panelu czołowym.

I U Source Set Output Value.vi ustawia wartość wymuszenia w wybranym kanale. Wysyła ona odpowiednie polecenie z odpowiednio sformatowaną wartością wymuszenia. Wartość musi być poprzedzona znakiem + lub -, mieć stałą długość 5 cyfr, plus znak dziesiętny, wykładnik potęgi może przyjmować wartości tylko z przedziału +1 do -9, część dziesiętna oddzielona kropką. Przykład polecenia programującego wartość napięcia dla kanału pierwszego równą 5,2E-2 V :SOURCE:VOLTAGE:CH1 +5.2000E-2



Rys. 15.

Wysyłając polecenie wykonania pomiaru, nie znamy czasu odpowiedzi urządzenia, zależy ona od czasu przetwarzania, który może się zmieniać w przypadku konieczności zmiany zakresu pomiarowego, czy stanu pracy drugiego kanału. Dlatego do odczytu komunikatu nie można wykorzystać opisanej wcześniej funkcji *IU Source Message Exchange.vi*. W tym wydatku możliwe są dwa rozwiązania. Można odbierać dane aż do momentu odebrania znaków `\r\n` kończących komunikat lub wiedząc, że odpowiedź będzie miała stałą długość 13 bajtów czekać aż zostaną one odebrane, co wykorzystano w funkcji *IU Source Measure.vi*. Dla każdego kanału przewidziano dwa polecenia, zależnie od trybu pracy. Należy dbać, aby, podczas pracy jako źródło napięcia nie wysłać polecenia wywołującego pomiar napięcia, i odwrotnie. Zostanie wówczas ustawiona odpowiednia flaga w rejestrze statusu, a urządzenie nie prześle żadnej odpowiedzi. W tym celu funkcja posiada dodatkowy parametr wejściowy umożliwiający wybór mierzonej wielkości, parametrem tym jest tryb pracy kanału w którym chcemy wykonać pomiar.

Na rys. 15 przedstawiono część diagramu przykładowej aplikacji. Panel przedni aplikacji przedstawiono na rys. 13 i rys. 14. Mimo iż jest ona stosunkowo prosta, to umożliwia sterowanie wszystkimi funkcjami układu, oraz zapis i odczyt danych pomiarowych do plików tekstowych, które można później otworzyć np. za pomocą Excela. Poniżej zostanie przedstawiony tylko ogólny opis programu, przedstawienie dokładnego opisu całego algorytmu byłby zbyt obszerne.

Po uruchomieniu programu jako pierwsza wykonuje się funkcja *IU Source Ini-*

tialization.vi, konfigurująca wybrany port szeregowy. Następnie jeśli inicjalizacja przebiegła prawidłowo, funkcja *IU Source Total Set Query.vi*, odczytująca tryb pracy każdego z kanałów jak również aktualne wartości wymuszenia oraz stan pracy. Przy pomocy zmiennych lokalnych, odczytane wartości przekazywane są do odpowiednich elementów panelu czołowego. Dzięki temu po uruchomieniu aplikacji na monitorze obserwujemy rzeczywisty stan pracy układu. W przypadku błędu podczas inicjalizacji wyświetlane jest okienko dialogowe, informujące o możliwych przyczynach błędu. Po zainicjowaniu wszystkich elementów, rozpoczyna się główna pętla programu (`while`), wewnątrz której cyklicznie wywoływania jest struktura zdarzeń (`event`).

Podstawowym zdarzeniem jest *Timeout*, zawartość ramki zdefiniowanej dla niego będzie wykonywana, gdy, w czasie oczekiwania na inne zdefiniowane zdarzenia, żadne z nich nie wystąpi nie wystąpi, w ciągu 50 ms. Zostały tutaj umieszczone funkcje odczytujące z urządzenia wartość mierzoną, pracujących kanałów, oraz odświeżenie wartości kursorów na wykresach. Pozostałe zakładki struktury zdarzeń powiązane są z odpowiednim elementem na panelu czołowym, zmiana wartości danego elementu powoduje, wykonanie kodu zawartego w ramce powiązanej z nim. W ten sposób wywołuje się wszystkie pozostałe funkcje programu. Należy zauważyć, że struktura reaguje tylko na zmianę wartości wywołaną przez użytkownika, nie reaguje na taką samą zmianę wywołaną w sposób programowy. Po wyjściu z pętli głównej wywołwana jest funkcja *IU Source Close*, zamykająca port szeregowy, umożliwiając dostęp do niego innym aplikacjom.

Dla zapewnienia stabilnej i pewnej pracy, po wysłaniu polecenia programującego wartość wymuszenia lub innego parametru pracy urządzenia, wysyłane jest zapytanie o ten sam parametr, a odczytana wartość za pomocą zmiennych lokalnych, przekazywana jest do odpowiedniego elementu sterującego na panelu czołowym. W ten sposób w przypadku zaprogramowania błędnej wartości lub nieprawidłowej interpretacji polecenia w urządzeniu, natychmiast widzimy że operacja się nie powiodła, lub przebiegła nieprawidłowo. Jest to dobry sposób, dający pewność że sterowane urządzenie pracuje prawidłowo.

Ponieważ zmiana wartości wymuszenia danego kanału, w obu trybach pracy, odbywa się za pomocą tego samego elementu na panelu czołowym. A napięcie może zmieniać się w przedziale ± 12 V, podczas gdy prąd $\pm 0,5$ A, to korzystając z funkcji *Property Nodes* (umożliwiającej dostęp do właściwości elementów) można odpowiednio dopasować zarówno skalę jak i zakres zmian wymuszenia elementu sterującego na panelu czołowym.

Wiesław Szaj
wszaj@prz.edu.pl

