

Zasilacz laboratoryjny 0...30 V/5 A ze sterowaniem mikroprocesorowym (2)



Na ścieżce rozwoju każdego elektronika-konstruktora pojawia się wreszcie taka chwila, gdy w prowadzonych pracach rozwojowych przestają wystarczać takie źródła energii elektrycznej, jak jednorazowe ogniwa elektrochemiczne, akumulatory i akumulatorki czy tanie zasilacze wtyczkowe o przeciętnych parametrach. To chwila, w której jasna staje się potrzeba posiadania własnego zasilacza laboratoryjnego. W poprzednim artykule opisano budowę zasilacza – w tym zajmiemy się opisem jego oprogramowania oraz uruchomieniem.

Oprogramowanie sterujące zasilaczem napisano w języku Bascom-AVR. Zostało ono podzielone na pięć głównych modułów logicznych:

- Konfiguracji programu, portów, przetworników oraz deklaracji zmiennych.
- Deklaracji, prekonfiguracji i warunkowej prezentacji kluczowych parametrów roboczych, zapamiętywanych w pamięci EEPROM.
- Pętli głównej programu.
- Podprogramów podstawowych.
- Podprogramów obsługi menu.

Moduł konfiguracji programu, portów, przetworników i zmiennych, pokazany na **liście 1**, rozpoczyna się od podania parametrów dla kompilatora języka. Dalej następuje konfiguracja dwóch portów wyjściowych (D.4 i D.5), które są wyjściami 10-bitowych przetworników cyfrowo-analogowych DAC/

PWM, dostarczającymi nieprzetworzonych napięć sterujących (referencyjnych) U_s oraz I_m dla głównego stabilizatora napięcia wyjściowego oraz dla komparatora ograniczającego prąd wyjściowy. Uruchomienie przetworników DAC/PWM już na początku programu ma na celu umożliwienie bezproblemowej realizacji dalszej części konfiguracyjnego bloku programu (bez ryzyka negatywnych skutków niezerowego napięcia na wyjściu stabilizatora) poprzez ustalenie referencji dla napięcia wyjściowego na minimum ($PWM=0$, $U_o=0V$) oraz wartości limitu dla przeciążenia prądowego I_m na bezwzględne maksimum ($PWM=1023$). Teraz następuje konfiguracja wyjściowych portów B.0, B.1, B.3 i B.4, sterujących: przełącznikiem K1 przełączającym sekcje transformatora, bocznikiem diody Zenera D7 – odpowiedzialnej za zakres regulacji napięcia U_o , wentylatorem radiatora M1 oraz

DODATKOWE MATERIAŁY NA FTP:

<ftp://ep.com.pl>

USER: 95777, PASS: 53wtjyf6

W ofercie AVT*

AVT-5585

Podstawowe informacje:

- Napięcie wyjściowe regulowane w zakresie 0...30 V.
- Ogranicznik prądowy regulowany w zakresie 100 mA...5 A.
- Regulacja za pomocą dwóch par potencjometrów.
- Dzielone uzwojenie transformatora dla ograniczenia mocy strat.
- Sterowanie za pomocą mikrokontrolera AVR.
- Oprogramowanie w języku Bascom AVR.

Projekty pokrewne na FTP:

(wymienione artykuły są w całości dostępne na FTP)

---	Multizasilacz (EP 10/2017)
AVT-1976	Precyzyjny, regulowany zasilacz uniwersalny 1,5-32 V/3 A (EP 8/2017)
AVT-1946	Zasilacz napięcia symetrycznego z LM27762 (EP 2/2017)
AVT-1895	Uniwersalny moduł zasilający (EP 10/2016)
AVT-1913	Moduł miniaturowanego zasilacza (EP 8/2016)
AVT-1857	Zasilacz modułowy (EP 7/2015)
AVT-1667	Stabilizator impulsowy 3 A z układem LM2576 (EP 3/2012)
AVT-1731	Regulowany zasilacz uniwersalny 1,5... 32 V/3 A (EP 8/2011)
AVT-1572	Symetryczny zasilacz warsztatowy $\pm 1,25 V \dots \pm 25 V$ 1,5/5 A (EP 6/2010)
AVT-1461	Uniwersalny zasilacz laboratoryjny 5 i 12 VDC/1 A (EP 1/2008)
AVT-727	Uniwersalny moduł zasilający (EdW 8/2004)

* Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu.

Wymagana umiędność lutowania!

Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie K1Tem (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wylutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu. Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:
 ■ wersja [C] zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wylutowane w płytkę PCB)
 ■ wersja [A] płytką drukowaną bez elementów i dokumentacja
 ■ wersja [UK] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wylutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu. Posiadają następujące dodatkowe wersje:
 ■ wersja [A+] płytką drukowaną [A] + zaprogramowany układ [UK]
 ■ dokumentacja
 ■ wersja [UK] zaprogramowany układ
 Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! <http://sklep.avt.pl>

buzzerem SP1, ustawionych (kolejno) na: niższy zakres napięć wyjściowych U_o , wyłączone chłodzenie oraz nieaktywną sygnalizację dźwiękową. Następnie skonfigurowane są wyjściowe porty D.0..D.2 i D.6, odpowiedzialne za załączanie sygnalizacji optycznej diodami LED (stany: normalna praca, załączenie wentylatora, przeciążenie prądowe oraz przegrzanie zasilacza). Kolejno skonfigurowane są porty wejściowe: przycisków sterujących D.7, C.0, C.1 i B.2 oraz wejście przerwania INT1 (port D.3), wyzwalonego niskim poziomem przez komparator U5B na skutek wykrycia stanu przekroczenia limitu prądowego I_m . Za tymi deklaracjami następuje: konfiguracja wyświetlacza LCD 16×2 (U7), używającego portów: C.2...C.7, definicja znaku stopnia oraz wyświetlenie ekranu powitalnego urządzenia. W ostatnim bloku tego modułu są definiowane stałe i zmienne. Należą do nich: K_u (stała wzmocnienia wzmacniacza napięciowego), $Fromadc$ (słowo pomiarowe z przetwornika A/C), $Prhi$ i $Prlo$ (dane pośrednie pomiarów A/C z potencjometrów regulacyjnych POT1...POT4), $Upwm$ i $Todacpwm$ (zmienna pomocnicza do przeliczania napięcia sterującego oraz dana sterująca przetwornikiem DAC/PWM), U_z (główne napięcie zasilania bloku wykonawczego stabilizatora), U_s i U_{s_temp} (zadane napięcie wyjściowe zasilacza: aktualne i poprzednie), U_o , U_{o_old} , U_{o_tmp} i U_{o_lcd} (napięcia wyjściowe zasilacza: aktualne, poprzednie, zmienna pomocnicza oraz wartość przeznaczona do wyświetlenia na ekranie LCD w podstawowym trybie BASIC), I_m (nastawiany limit prądu wyjściowego), I_{m_lower} (górną próg dla podnoszenia napięcia U_s w trakcie obsługi stanu przeciążenia), I_o , I_{o_old} , I_{o_tmp} oraz I_{o_lcd} (prądy wyjściowe zasilacza: aktualny i w poprzedniej iteracji, wartość pomocnicza oraz wartość wyświetlana na ekranie LCD w trybie BASIC), $Fovl$ (flaga statusu wystąpienia przeciążenia prądowego), Tr , Tr_old , Tr_tmp oraz $Trint$ (temperatury radiatora: bieżąca i poprzednia na potrzeby filtracji zakłóceń, wartość pomocnicza do obliczeń oraz wersja całkowitoliczbowa do celów wyświetlenia i porównania), Pt i $Ptint$ (moc strat termicznych w głównym bloku wykonawczym zasilacza w wersji zmiennoprzecinkowej i całkowitej – do wyświetlenia na ekranie LCD), U_{s_chng} (krok zmiany napięcia U_s w trakcie obsługi stanu przeciążenia), A , B , C , D , E i F (współczynniki proporcjonalności kolejno do: ustawiania napięcia sterującego U_s , wyznaczania napięcia U_o , nastawiania limitu prądu I_m , pomiaru wyjściowego prądu I_o , wyznaczania temperatury radiatora Tr , wyznaczania głównego napięcia U_z bloku wykonawczego stabilizatora), $Selitem$ (wskaźnik pozycji menu, wybranej do wyświetlenia i ewentualnej modyfikacji), $Poschanged$ (flaga zmiany pozycji menu, wymuszająca odświeżenie ekranu)

i na koniec U_{s_hi} (zakres obszaru pracy dla głównego napięcia zasilania oraz sterowania stabilizatora).

Moduł deklaracji, wstępnej konfiguracji oraz warunkowej prezentacji kluczowych parametrów roboczych, zapamiętywanych w pamięci EEPROM, pokazano na **listingu 2**. W pierwszej, największej części składa się on z dziesięciu podobnych do siebie algorytmicznych sekcji, z których każda jest odpowiedzialna za: deklarację, odczyt z pamięci EEPROM, warunkową rekonfigurację i zapis do pamięci EEPROM oraz warunkową prezentację jednej ze zmiennych konfiguracyjnych. W szczególności, po odczytaniu zadeklarowanego uprzednio parametru, sprawdzana jest jego przynależność do dozwolonego zakresu wartości i – w przypadku negatywnego wyniku testu – nadawana jest mu wartość *default*, następnie zapisywana do pamięci EEPROM. Jeśli flaga *Show_params*, odpowiedzialna za zgodę na wyświetlanie parametrów konfiguracyjnych zasilacza przed rozpoczęciem jego właściwej pracy jest ustawiona (równa 1), to w następnym kroku jest wyświetlana wartość danego parametru. Obecność opisanego bloku programowego jest konieczna po to, by uniknąć ryzyka uruchomienia zasilacza z niewłaściwymi wartościami parametrów konfiguracyjnych. Należą do nich: opisany wcześniej *Show_params* (wartości: 0 – TAK, 1 – NIE), *Lcd_mode* (tryb wyświetlania na ekranie LCD: 0 – podstawowy/BASIC, 1 – serwisowy/SERVICE), *Buzzer_on* (zgodą na używanie buzzer'a do sygnalizacji przeciążenia i przegrzania: 0 – NIE, 1 – TAK), V_{ref} (napięcie referencyjne z wyjścia stabilizatora: ok. 5 V – w zakresie od 4,7 do 5,3 V), $Tr0$ (próg temperatury zakończenia chłodzenia wentylatorem: od 40 do 60 stopni Celsjusza), $Tr1$ (próg temperatury rozpoczęcia chłodzenia wentylatorem: od powyżej $Tr0$ do 70 stopni Celsjusza), $Tr2$ (próg temperatury rozpoczęcia procedury przegrzania: od powyżej $Tr1$ do 80 stopni Celsjusza), $U_{s_hi_on}$ (próg napięciowy dla załączenia górnego zakresu zasilania i sterowania: od 10 do 20 V), $U_{s_hi_off}$ (próg napięciowy dla załączenia dolnego zakresu zasilania i sterowania: od 9 V do poniżej $U_{s_hi_on}$) oraz $Ovldwait$ (opóźnienie dodane w pojedynczym kroku obsługi przerwania od przeciążenia: od 1 μ s do 10000 μ s) Opisany moduł kończą instrukcje: konfiguracji i uruchomienia przetwornika A/C oraz zewnętrznego przerwania sprzętowego INT1, używanego do obsługi stanu przeciążenia prądowego.

Moduł pętli głównej pokazano na **listingu 3**. Wejście do tej pętli zostało poprzedzone wyłączeniem wyświetlania kursora i załączeniem zielonej diody LED (D11), sygnalizującej rozpoczęcie normalnej pracy urządzenia. Została ona zorganizowana w postaci pętli nieskończonej. Na początku

tej pętli znajduje się blok inicjowanego napięciem przycisku SW_1 (OPT) wejścia do menu konfiguracyjnego urządzenia. Właściwe uruchomienie podprogramu obsługi menu poprzedzone jest ustawieniem limitu prądowego na maksymalną wartość $I_m=5$ A, wysterowania napięcia wyjściowego U_s na 0 V oraz wyłączeniem diod LED sygnalizujących: pracę urządzenia (D11) i ewentualnie stan przeciążenia (D13). Wyłączany jest też profilaktycznie buzzer SP1 oraz gaszona jest flaga stanu przeciążenia *Fovl*. Po powrocie z podprogramu obsługi menu zapalana jest ponownie dioda LED D11, sygnalizująca normalną pracę urządzenia, a ewentualna aktywacja pozostałych indykatorów i flag następuje już w ramach normalnego cyklu roboczego. W kolejnym bloku głównej pętli programu, za pomocą skoków do odpowiednich podprogramów realizowane są poszczególne pomiary i odczyty nastaw. Najpierw odczytywane są wszelkie parametry napięciowe: głównego napięcia zasilającego U_z (warunkowo – tylko w serwisowym trybie wyświetlania na LCD), nastaw napięcia U_s sterującego stabilizatorem (z potencjometrów POT1 i POT2; warunkowo – tylko wówczas, gdy flaga przeciążenia prądowego jest zgaszona) oraz napięcia wyjściowego U_o . Dalej następuje bezwarunkowy odczyt parametrów prądowych: limitu prądowego I_m (z potencjometrów POT3 i POT4) oraz prądu wyjściowego I_o . Sekcją odczytów kończy pomiar temperatury radiatora Tr . Kolejny, bardzo ważny, blok głównej pętli programu to blok regulacji. Pierwsza jego część dotyczy regulacji napięcia wyjściowego U_o za pomocą napięcia sterującego U_s . Jeśli zasilacz nie znajduje się w stanie przeciążenia prądowego ($Fovl=0$), to wartość U_s jest przenoszona do bloku wykonawczego stabilizatora bezpośrednio na podstawie nastaw odczytanych z potencjometrów POT1...POT2. W przeciwnym wypadku sprawdzany jest aktualny stan wejścia przerwania INT1 (aktywowane niskim poziomem, jeśli występuje przeciążenie prądowe z warunkiem $I_o \geq I_m$) i jeśli nie jest ono aktywne oraz bieżąca wartość prądu wyjściowego I_o jest poniżej dopuszczalnego progu prądu I_{m_lower} dla podwyższania napięcia sterującego U_s , to realizowane jest działanie mające na celu wyjście ze stanu przeciążenia prądowego. W tym celu w zmiennej U_{s_temp} zapamiętywana jest aktualna wartość napięcia sterującego U_s , a następnie realizowany jest odczyt nowej wartości U_s (z potencjometrów POT1 i POT2). Jeśli poprzednia wartość U_s jest mniejsza od bieżącej, to jest realizowane podniesienie wartości U_s o pojedynczy krok równy U_{s_chng} , po którym następuje realna zmiana U_s na odpowiednim wyjściu sterującym zasilacza – jest to działanie mające na celu doprowadzenie do zgodności zredukowanego uprzednio (w stanie

przeciążenia prądowego) napięcia U_s z aktualną wartością nastawioną. Natomiast jeśli stwierdzono, że napięcie U_s przekroczyło już wartość z nastaw na potencjometrach POT1 i POT2 (warunek: $U_s_temp \geq U_s$), to następuje zakończenie procedury obsługi przeciążenia prądowego poprzez zgaszenie flagi $Fovl$, wyłączenie diody LED (D13) oraz ewentualne wyłączenie buzzera. Dalej, w bloku regulacji, następuje aktualizacja nastawy limitu prądowego Im , która może wpływać na sposób obsługi przeciążenia prądowego (w trakcie jej trwania) poprzez dalszą redukcję prądu wyjściowego Io (przy obniżeniu wartości Im) lub przyspieszenie wyjścia z tego stanu (przy zwiększeniu wartości Im). Ostatni fragment bloku regulacji odpowiada za reakcję na bieżącą wartość temperatury radiatora Tr . Jest w nim analizowana przynależność wartości bieżącej Tr do przedziałów wyznaczonych przez zapisane w pamięci EEPROM wartości progów temperaturowych: $Tr0 < Tr1 < Tr2$. Chłodzenie radiatora jest załączane (wraz z LED D12) po przekroczeniu progu $Tr1$, natomiast wyłączane, gdy temperatura Tr spadnie poniżej progu $Tr0$. Obsługa stanu przegrzania jest realizowana przez odpowiednią procedurę, gdy temperatura Tr przekroczy próg $Tr2$ i kończy się wówczas, gdy temperatura Tr spadnie poniżej $Tr1$. Ostatni blok głównej pętli programu to blok wyświetlania. Podzielono go na dwie części, uruchamiane alternatywnie zależnie od parametru Lcd_mode . Jeśli $Lcd_mode=0$, to następuje prezentacja parametrów w trybie podstawowym (BASIC). Są w nim prezentowane wyłącznie sformatowane wartości parametrów: napięcia wyjściowego Uo , prądu wyjściowego Io , limitu prądowego Im oraz temperatury Tr . Parametry: Uo , Io oraz Im , są prezentowane z dokładnością do dwóch miejsc po przecinku, natomiast parametr Tr jest pokazywany jako liczba całkowita z uwagi na niewielką dynamikę jego zmian, których wartości ułamkowe mają marginalne znaczenie dla prawidłowej pracy przyrządu. W tym miejscu należy podkreślić, że w trybie wyświetlania BASIC parametry: Uo , Io oraz Tr podlegają wstępnej cyfrowej filtracji dolnoprzepustowej prostymi filtry IIR (Infinite Impulse Response) po to, by poprawić percepcję ich prezentacji na wyświetlaczu LCD – w obecności szybkich fluktuacji ich wartości. Dodatkowo, temperatura Tr jest mierzona czujnikiem półprzewodnikowym narażonym na silne zakłócenia EMC, pochodzące od sąsiednich źródeł napięć i prądów zmiennych, więc jej filtracja jest realizowana w obu trybach wyświetlania. Jeśli parametr Lcd_mode jest równy 1, to następuje prezentacja parametrów w dodatkowym trybie serwisowym (SERVICE), który może okazać się przydatny przy regulacji, strojeniu parametrów oraz diagnostyce pracy zasilacza. W tym trybie, w górnej linii wyświetlacza

LCD prezentowane są wszystkie dostępne parametry napięciowe zasilacza: główne napięcie zasilania Uz , napięcie sterujące napięciem wyjściowym Uo oraz zmierzone napięcie wyjściowe Uo . Parametry te, zmienne w czasie, nie są filtrowane dolnoprzepustowo po to, by można było lepiej zaobserwować „surową” pracę zasilacza w różnych warunkach testowych. W dolnej linii prezentowane są parametry prądowe: limit prądowy Im i prąd wyjściowy Io , a także szacowane straty termiczne w tranzystorze wykonawczym Darlingtona: Q2–Q3 oraz temperatura radiatora Tr . Prezentacja podanych parametrów w trybie serwisowym ma charakter maksymalnie uproszczonej: z uwagi na oszczędność miejsca na ekranie LCD kolejno wymienione parametry nie są opisane, a jedynie rozdzielone znakiem „>”. Prezentacja na ekranie LCD w trybie serwisowym może okazać się pomocna nie tylko przy diagnostyce urządzenia, ale także przy doborze jego optymalnych parametrów, np. progów temperaturowych $Tr0$, $Tr2$ czy progów napięciowych: $U_s_hi_on$ oraz $U_s_hi_off$.

Na listingu 4 pokazano moduł podprogramów podstawowych, których przeznaczeniem jest przede wszystkim realizacja procedur wywoływanych w głównej pętli programu (list. 3). Pierwszą z procedur w tym module jest *Pars_recalc*, która musi zostać wywołana każdorazowo po zacytaniu lub modyfikacji napięcia referencyjnego $Vref$. Służy ona do wyznaczenia wartości stałych obliczeniowych: U_s_chng oraz A , B , C , D , E i F , używanych w innych procedurach obliczeniowych i zależnych właśnie od $Vref$. Kolejna procedura *Overload* jest przeznaczona do obsługi przerwania sprzętowego $INT1$, które jest wywoływane niskim poziomem na pinie PD.3 tak długo, aż mierzony prąd wyjściowy Io spadnie poniżej nastawionej wartości limitu prądowego Im . Procedura ta w pierwszej kolejności ustawia flagę przeciążenia prądowego $Fovl$, aktywuje sygnalizację świetlną (LED D13) i dźwiękową buzzerem SP1. Następnie redukuje napięcie U_s , sterujące napięciem wyjściowym Uo o ustalony niewielki krok U_s_chng (około 31 mV – w zależności od wartości $Vref$) lub do wartości 0V, jeśli $U_s < U_s_chng$ i odczytuje konfigurowany w menu zasilacza czas równy $Ovldwait$ mikrosekund po to, by blok kontrolno-sterujący urządzenia, obciążony pewną inercyjnością czasową, był w stanie skutecznie zrealizować i zweryfikować wykonanie tej operacji. Następną procedurą jest *Overheating*, która wywoływana jest z głównej pętli programu po przekroczeniu przez radiator progu temperatury $Tr2$. Po jej rozpoczęciu napięcie wyjściowe zasilacza jest sprowadzane (przez wartość U_s) do 0 V, wymuszane jest też załączenie wentylatora i sygnalizacji dźwiękowej oraz gaszona jest sygnalizacja optyczna normalnej pracy (LED



Fotografia 15. Zawartość LCD po załączeniu zasilacza

D11), a zapalane są sygnalizacje: załączenia chłodzenia i stanu przegrzania (LED: D12 i D14). Następnie rozpoczynana jest pętla nieskończona, w której z krokiem jednosekundowym wyświetlane są komunikaty o stanie urządzenia oraz o aktualnej temperaturze radiatora (fotografia 15). Wyjście z tej pętli może nastąpić tylko w wypadku schłodzenia radiatora do temperatury $Tr < Tr1$ – wówczas wyłączona zostanie sygnalizacja świetlna (LED D14) i dźwiękowa (SP1) przegrzania, załączana LED D11 i następuje powrót do normalnej pracy zasilacza.

Procedura *Odczyt_us* ma za zadanie wyznaczenie wartości napięcia sterującego U_s na podstawie nastaw potencjometrów POT1 (zgrubny) i POT2 (precyzyjny). Napięcie z potencjometrów jest mierzone za pomocą przetwornika A/C (kanały: 4 i 5), sumowane i odpowiednio skalowane. Funkcją procedury *Ustaw_us* jest zadanie na wyjściu bloku sterującego z przetwornikiem DAC/PWM #1A, wzmacniaczem operacyjnym U4A oraz filtrami: R23/C23 i R24/C24, takiego poziomu napięciowego, by na wyjściu zasilacza ustawiło się napięcie o wartości U_s . Jest to realizowane dwuetapowo.

Po pierwsze, napięcie U_s jest porównywane z programi napięciowymi $U_s_hi_on$ oraz $U_s_hi_off$ i odnoszone do aktualnego stanu pracy bloku wykonawczego zasilacza (zakres napięć wysoki lub niski). Jeśli zachodzi taka potrzeba, to jest przełączane uzwojenie wtórne transformatora sieciowego oraz dioda Zenera D7, przy czym po załączeniu obu sekcji transformatora jest wprowadzone opóźnienie 150 ms, pozwalające na ustalenie się stabilnego wyższego napięcia Uz za prostownikiem D4 i na kondensatorach filtrujących C8...C10. Następnie, przed podaniem na wejście przetwornika DAC/PWM #1A, liczba sterująca jego wyjściem jest skalowana względem wzmocnienia Ku bloku pomiarowo-sterującego (ze wzmacniaczami operacyjnymi U4D i U5A), zakresu przetwarzania przetwornika DAC/PWM i napięcia odniesienia $Vref$ oraz zaokrąglana do najbliższej wartości całkowitej.

Kolejna procedura, *Pomiar_uo*, odpowiada za pomiar napięcia wyjściowego Uo ,

który jest realizowany przez kanał #0 przetwornika A/C. Zmierzona wartość, w zakresie od 0 do 1023, jest skalowana do tego zakresu, napięcia referencyjnego V_{ref} oraz wzmocnienia bloku pomiarowo-sterującego (około 1/6,3125 V/V). Procedura *Filtruj_uo_lcd* realizuje filtrowanie cyfrowe napięcia U_o za pomocą filtra IIR opisanego wzorem $U_o_lcd(t)=0,8*U_o_lcd(t-1)+0,2*U_o(t)$. Jego zadaniem jest poprawienie stabilności i czytelności odczytu wartości U_o na ekranie LCD. Odbywa się to kosztem pewnej inercji odczytywanej wartości U_o względem szybkich zmian nastaw potencjometrami POT1 i POT2, co jednak nie wpływa na komfort obsługi.

Procedura *Odczyt_im* wyznacza wartość górnego limitu prądowego I_m na podstawie nastaw potencjometrów POT3 (zgrubny) i POT4 (precyzyjny). Nastawy te są odczytywane za pomocą przetwornika A/C (kanały: 6 i 7) a następnie skalowane. Wartości nastaw, odczytane z obu potencjometrów, są finalnie sumowane, a jeśli rezultat sumowania jest mniejszy od 0,1 A, to wartość wynikowa I_m jest podnoszona do tej właśnie minimalnej wartości limitu. Takie podejście poprawia stabilność pracy urządzenia przy skończonych wartościach kroku limitu prądowego, równego około 5,4 mA (w zależności od wartości napięcia V_{ref}). W wypadku pracy w podstawowym trybie wyświetlania na wyświetlaczu LCD (BASIC) zadana wartość nastawy I_m jest też ograniczona do rastra równego 50 mA, co jest wartością rozsądną dla dozwolonego prądu I_m w zakresie od 0,1 do 5,0 A. Na koniec jest liczona wartość parametru I_m_lower , który stanowi górną granicę dopuszczalnego prądu wyjściowego I_o przy podnoszeniu napięcia sterującego U_s podczas wychodzenia ze stanu przeciążenia prądowego. Kolejną procedurą jest *Ustaw_im*, której zadaniem jest ustawienie elektrycznej wartości proggu prądowego I_m dla komparatora U5B na wyjściu bloku sterującego z przetwornikiem DAC/PWM #1B, wzmacniaczem operacyjnym U4B oraz filtrami: R25/C25 i R26/C26. Przed podaniem na wejście przetwornika DAC/PWM liczba sterująca jest skalowana względem: szeregowej rezystancji probierczej R9, wzmocnienia bloku pomiarowego (ze wzmacniaczem operacyjnym U4C), napięcia odniesienia V_{ref} oraz zakresu przetwarzania przetwornika DAC/PWM, a na koniec jest zaokrąglana do najbliższej wartości całkowitej. Procedura *Pomiar_io* odpowiedzialna jest za pomiar prądu wyjściowego I_o , realizowany przez kanał #1 przetwornika A/C. Podobnie jak w wypadku procedury *Ustaw_im*, zmierzona wartość, w zakresie od 0 do 1023, jest skalowana do tego zakresu i napięcia referencyjnego V_{ref} , a także do szeregowej rezystancji próbki R9 oraz do wzmocnienia bloku pomiarowego ze wzmacniaczem operacyjnym U4C (jakkolwiek w tych dwóch ostatnich przypadkach

Lockbits	FF
Lockbit 65	11:No restrictions for SPM or LPM accessing the boot loader section
Lockbit 43	11:No restrictions for SPM or LPM accessing the application section
Lockbit 21	11:No memory lock features enabled for parallel and serial programming
Fusebits	3E
Fusebit C	0:BODLEVEL 4.0V
Fusebit B	0:BODEN enabled
Fusebit KLA987	111110:Ext. Crystal/Resonator High Freq.
Fusebits High	D7
Fusebit High M	1:Disable OCD
Fusebit High J	1:Disable JTAG
Fusebit High I	0:SPI enabled
Fusebit High H	1:CKOPT 1
Fusebit High G	0:Preserve EEPROM when chip erase
Fusebit High FE	11:128 Words boot size , F80
Fusebit High D	1:Reset vector is \$0000

Rysunek 16. Zalecana konfiguracja fusebitów mikrokontrolera U6

skalowanie odbywa się przez odwrotności z uwagi na odwrotny kierunek przekazywania sygnału.

Procedura *Filtruj_io_lcd* (podobnie, jak procedura *Filtruj_uo_lcd*) realizuje filtr cyfrowy zmierzonego prądu I_o za pomocą filtra IIR opisanego wzorem $I_o_lcd(t)=0,8*I_o_lcd(t-1)+0,2*I_o(t)$. Także w tym wypadku chodziło o uzyskanie jak najlepszej stabilności i czytelności odczytu wartości I_o na ekranie LCD.

Przedostatnia z procedur w tym module przedstawiamy to *Pomiar_tr*. Temperatura radiatora T_r jest odczytywana przez ADC (kanał #2) z wyjścia czujnika półprzewodnikowego U8. W dalszej jej części są realizowane obliczenia mające na celu uwzględnienie parametrów liniowego przetwarzania $U=f(T)$ zastosowanego czujnika MCP9700AE: 0°C odpowiada napięciu 500 mV, a zmiana temperatury o 1°C powoduje zmianę napięcia na wyjściu czujnika o 10 mV. Na końcu tej procedury zastosowano filtr dolnoprzepustowy IIR o formule $Tr(t)=0,98*Tr(t-1)+0,02*Tr(t)$. Ogranicza on pasmo przenoszonego sygnału, co wprowadza dość wyraźną inercję czasową, ale za to znakomicie stabilizuje odczyt wartości T_r , zakłócany sąsiednimi silnymi źródłami napięcia i prądu. Ostatnia z procedur podstawowych to *Pomiar_uz*. W ramach jej działania przetwornik ADC (kanał #3) mierzy główne napięcie U_z , zasilające blok wykonawczy stabilizatora a następnie skaluje je względem zakresu przetwarzania przetwornika, jego napięcia referencyjnego V_{ref} oraz współczynnika podziału zastosowanego dzielnika napięciowego z elementami: R5, R6 i C11.

Ostatni moduł programu sterującego zasilaczem obejmuje podprogramy obsługi menu (listing 5). Pierwsza z ujętych w tym module procedur nazywa się po prostu *Menu* i w procesie obsługi menu konfiguracyjnego zasilacza ma charakter nadrzędny względem wszystkich dalszych procedur pomocniczych. Po prezentacji informacji o wejściu do menu aktywowana jest flaga *Poschanged*, wymuszająca wyświetlenie w kolejnym kroku wybranej pozycji menu (zmienna *Selitem*) wraz z aktualną wartością powiązanego z nią parametru. Następujący po niej

ciąg instrukcji warunkowych *Select...Case* odpowiada właśnie za to zadanie. Dalej następuje obsługa przycisków sterujących SW1...SW4 (*OPT*, „^”, „v” oraz *SET*). Naciśnięcie przycisku *OPT* (SW1) w tym podprogramie spowoduje opuszczenie menu, poprzedzone stosownym komunikatem. Naciskanie przycisków SW2 (strzałka w górę) lub SW3 (strzałka w dół) sprawi, że zostanie wybrana poprzednia lub następna pozycja menu (zmiana *Selitem*) oraz aktywowana zostanie flaga *Poschanged*, wymuszająca odświeżenie zawartości ekranu LCD w kolejnej iteracji pętli obsługi menu. Natomiast po naciśnięciu przycisku *SET* (SW4) nastąpi aktywowanie kursora i przejście do realizacji podprogramu zmiany parametru konfiguracyjnego, wskazanego zmienną *Selitem*. Dalsza część omawianego tutaj modułu programowego obejmuje właśnie zestaw dziesięciu bliźniaczych podprogramów modyfikacji parametrów konfiguracyjnego: *Show_params*, *Lcd_mode*, *Buzzer_on*, V_{ref} , T_r0 , T_r1 , T_r2 , $U_s_hi_on$, $U_s_hi_off$ oraz *Ovldwait*. Każdy z tych podprogramów rozpoczyna się od wyświetlenia nazwy i bieżącej wartości właściwego mu parametru wraz z hasłem „[chnj]” informującym o tym, że aktualnie możliwa jest modyfikacja wartości danego parametru. Dalej następuje obsługa przycisków sterujących: naciśnięcie *OPT* (SW1) spowoduje opuszczenie podprogramu ze wskazaniem na konieczność odświeżenia treści ekranu LCD, naciskanie strzałek w górę lub w dół (SW2, SW3) wywoła zmianę (+/-) danego parametru natomiast wciśnięcie przycisku *SET* (SW4) wymusi zapisanie aktualnej wartości modyfikowanego parametru w pamięci EEPROM, po którym nastąpi wyświetlenie na LCD komunikatu statusowego „[saved]”.

Przed zaprogramowaniem mikrokontrolera U6 należy ustawić w nim właściwą konfigurację *fusebitów*, których zalecane wartości przedstawiono na rysunku 16.

Konfiguracja i regulacja zasilacza

W przypadku prawidłowego montażu zasilacza jego regulacja i konfiguracja nie powinny

następczą większych trudności. Na fotografii wnętrza i schemacie montażowym zasilacza pokazano komplet potencjometrów montażowych, których kolejność (patrząc od lewej strony) jest następująca: PR7, PR6, PR4, PR3, PR2, PR1 i PR5. W pierwszej kolejności dokonujemy regulacji kontrastu wyświetlacza LCD (U7) za pomocą potencjometru PR5. Następnie włączamy zasilacz i obserwujemy to, co jest wyświetlane na LCD.

Na fotografii 17 pokazano kolejne ekrany prezentujące: powitanie, ekrany robocze w trybie podstawowym *BASIC* oraz w trybie serwisowym *SERVICE*. Kolejne dziesięć ekranów ujmuje automatyczną prezentację wszystkich konfigurowalnych parametrów, która nastąpi przed przejściem do normalnej pracy zasilacza, jeśli wartość parametru *Show_params=1*. Natomiast tryb prezentacji parametrów roboczych na LCD zależy od ustawienia wartości parametru *Lcd_mode* (0 – *BASIC*, 1 – *SERVICE*).

Na fotografiach 18 i 19 zaprezentowano kompletny cykl konfiguracji wszystkich dziesięciu parametrów, który będzie dostępny po wejściu do menu urządzenia poprzez naciśnięcie przycisku *OPT*. W trybie przeglądu parametrów w menu w prawym górnym rogu ekranu LCD jest wyświetlany komunikat „[menu]”, który po naciśnięciu przycisku *SET* zmienia się na komunikat „[chn9]” informujący o tym, że możliwa jest modyfikacja danego parametru. Zmiany pozycji menu, podobnie, jak zmiany wartości poszczególnych parametrów, wykonujemy przyciskami „up/+” (oznaczony strzałką w górę) oraz „down/-” (oznaczony strzałką w dół). Zatwierdzenie i zapisanie w pamięci EEPROM wartości danego parametru następuje po naciśnięciu przycisku *SET* i jest sygnalizowane poprzez uaktywnienie czasowe (na około 1 s) w prawym donym rogu ekranu LCD napisu „[saved]”. Z kolei za pomocą przycisku *OPT* możemy opuścić zarówno podmenu modyfikacji danego parametru, jak i (ostatecznie) całego menu konfiguracyjnego. Parametr *Show_params* można ustawić na wartość 0 po skryzalizowaniu się ostatecznej konfiguracji zasilacza (unikniemy dzięki temu opóźnień w jego uruchamianiu, spowodowanego wyświetlaniem ustawień konfiguracyjnych). Parametr *Lcd_mode* normalnie powinien być ustawiony na wartość 0 (tryb wyświetlania podstawowy – *BASIC*), jednak w trakcie strojenia konfiguracji i diagnostyki zasilacza może być użyteczny tryb serwisowy *SERVICE* (*Lcd_mode=1*). Parametr *Buzzer_on* ustawiamy według własnych preferencji: wartość 0 sprawi, że stany: przekroczenia wyznaczonego limitu prądu *Im* (stan *OVERLOAD*) oraz przekroczenia dopuszczalnej temperatury *Tr2* (*OVERHEATING*) nie będą sygnalizowane dodatkowo sygnałem dźwiękowym.

```

DC Power Supply
0..30V / 0..5A
AUT5585 v.1.00
by SQ5RWQ 10'17
U=1.49V I=0.74A
Im=0.95A T=30°C
18.1>1.52>1.49
0.96>0.74>12>30
Show_Params
1
Lcd_mode
0
Buzzer_on
0
Uref
4.93 V
Tr0
40°C
Tr1
42°C
Tr2
44°C
Us_hi_on
15.2 V
Us_hi_off
14.8 V
Ovldwait
5000 usek.

```

Fotografia 17. Ekran: powitania, trybu podstawowego i serwisowego

Natomiast kluczowe na tym etapie konfiguracji zasilacza jest dokładne ustawienie wartości parametru *Vref* (napięcie referencyjne dla pomiarów napięć i prądu), którego rzeczywistą wartość należy uprzednio zmierzyć dobrej klasy woltomierzem (na jak najniższym zakresie pomiarowym) na wyjściu (wyprowadzenie 3) stabilizatora U2 (LM7805), który jest łatwo dostępny do pomiaru na górnej krawędzi płytki. Należy tu podkreślić, że o ile stabilność temperatury napięcia wyjściowego stabilizatorów scalonych z rodziny LM78xx można uznać za całkowicie wystarczającą do uzyskania napięcia odniesienia dla celów pomiarowych w zasilaczu warsztatowym, o tyle trzeba mieć świadomość znacznej tolerancji tego napięcia

```

*** Entering ***
**** Menu ****
Show_Param[menu]
1
Show_Param[chn9]
1
Show_Param[chn9]
1 [saved]
Lcd_mode [menu]
0
Lcd_mode [chn9]
0
Lcd_mode [chn9]
0 [saved]
Buzzer_on [menu]
0
Buzzer_on [chn9]
0
Buzzer_on [chn9]
0 [saved]
Uref [menu]
4.93 V
Uref [chn9]
4.93 V
Uref [chn9]
4.93 V [saved]
Tr0 [menu]
40°C
Tr0 [chn9]
40°C
Tr0 [chn9]
40°C [saved]

```

Fotografia 18. Konfigurowanie parametrów – część 1

w różnych egzemplarzach układu (katalogowo jest to aż 4% dla wersji CT i 2% dla wersji ACT kostki).

Po ustawieniu i zapamiętaniu w pamięci EEPROM właściwej wartości napięcia *Vref* można już przystąpić do regulacji pozostałych potencjometrów montażowych PRn, jednak warto od razu dokończyć wstępną konfigurację pozostałych parametrów. Kolejnymi z nich są progi temperaturowe: *Tr0*,

```

Tr1 [menu]
42 °C
Tr1 [chng]
42 °C
Tr1 [chng]
42 °C [saved]
Tr2 [menu]
44 °C
Tr2 [chng]
44 °C
Tr2 [chng]
44 °C [saved]
Us_hi_on [menu]
15.2 V
Us_hi_on [chng]
15.2 V
Us_hi_on [chng]
15.2 V [saved]
Us_hi_off [menu]
14.8 V
Us_hi_off [chng]
14.8 V
Us_hi_off [chng]
14.8 V [saved]
Ovldwait [menu]
5000 usek.
Ovldwait [chng]
5000 usek.
Ovldwait [chng]
5000 usek [saved]
**** Exiting ***
**** Menu ****

```

Fotografia 19. Konfigurowanie parametrów – część 2

$Tr1$, $Tr2$, których przekroczenie wyzwała zdarzenia: zakończenia i załączenia chłodzenia wentylatorem ($Tr0$ i $Tr1$) oraz aktywację i dezaktywację stanu przegrzania ($Tr1$ i $Tr2$). Praktyczna wartość progu termicznego dla załączenia chłodzenia $Tr1$ powinna leżeć w zakresie od 55 do 65°C (zalecane 60°C), natomiast pozostałe dwa progi powinny być od niego odległe o 5 do 15°C, zapewniając odpowiedni odstęp pomiędzy momentami

aktywacji i dezaktywacji poszczególnych stanów pracy (zalecane $Tr0=50^{\circ}\text{C}$, $Tr2=70^{\circ}\text{C}$). Należy przy tym pamiętać, że zbyt duża temperatura $Tr2$ (*OVERHEATING*) może doprowadzić do uszkodzenia zasilacza, więc nie należy z nią przesadzać (w oprogramowaniu konfiguracyjnym ustalono limit 80°C).

Kolejne dwa parametry to progi napięciowe Us_{hi_on} oraz Us_{hi_off} , których wartości decydują o momentach przełączenia sekcji transformatora sieciowego oraz bloku sterującego stabilizatora D7. Różnica wartości między tymi progami zapewnia odpowiednią histerezę procesu dla dwukierunkowego przełączania, dzięki której dynamiczne zmiany napięcia sterującego Us w okolicach wartości progowych nie powodują częstych przełączeń zakresów zasilania Uz i sterowania napięciem wyjściowym Uo .

W tym miejscu należy podkreślić, że podane wartości progów napięciowych: $Us_{hi_on}=15,2\text{ V}$ oraz $Us_{hi_off}=14,8\text{ V}$ ($15,0\text{ V} \pm 0,2\text{ V}$), są odpowiednie dla zastosowanego transformatora sieciowego typu TST200/006 i diody Zenera D7 (15 V). Natomiast stosując inny transformator sieciowy, może być konieczna zmiana wartości tych progów oraz dobór diody D7 na inne napięcie Zenera (rekomendowana wartość powinna być jak najbardziej zbliżona do połowy maksymalnego osiągalnego napięcia wyjściowego Uo). W wypadku zastosowania innego transformatora sieciowego przydatny może okazać się tryb serwisowy wyświetlania parametrów ($Lcd_mode=1$), w którym jest możliwa także obserwacja wartości głównego napięcia stałego Uz , zasilającego blok wykonawczy stabilizatora. Napięcie to, pod pełnym możliwym obciążeniem prądowym zasilacza, powinno być wyższe o co najmniej 2 V od uzyskiwanego napięcia wyjściowego Uo i. Kierując się tą wskazówką, należy dobrać ewentualne nowe progi napięć Us_{hi_on} i Us_{hi_off} , konieczne z zachowaniem histerezy napięciowej. Jest to warunek konieczny dla prawidłowej pracy szeregowego elementu regulacyjnego z tranzystorem Darlingtona Q2...Q3 oraz dla minimalizacji przenoszenia się tętnień o częstotliwości 100 Hz z wyprostowanego napięcia zasilającego Uz na napięcie wyjściowe Uo przy dużym obciążeniu zasilacza.

Ostatnim konfigurowalnym programem parametrem jest opóźnienie czasowe $Ovldwait$ wyrażone w mikrosekundach. Definiuje ono czas trwania jednostkowej reakcji na stan przeciążenia prądowego (przekroczenie limitu Im) wywoływane przez przerwianie $INT1$ i realizującego elementarną redukcję napięcia sterującego Us o wartość kroku Us_chg . Możliwe wartości mieszczą się w zakresie od 1 do 10000 μs . Jeśli zależy nam na jak najszybszej reakcji na stan zwarcia na wyjściu zasilacza, to należy ustawić wartość minimalną 1 μs . Zapewni ona

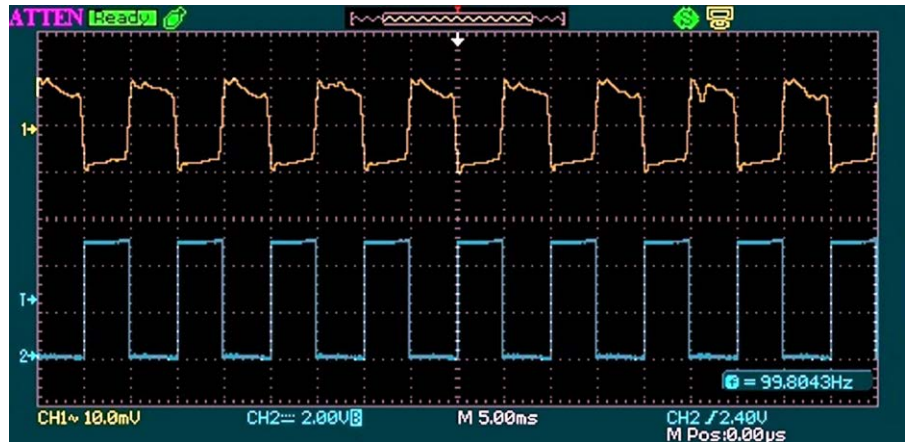
błyskawiczną redukcję napięcia wyjściowego Uo , a zatem i prądu wyjściowego Io , jednak kosztem dalszego powolnego powrotu do pożądanego napięcia wyjściowego Uo . Jeśli chcemy uzyskać efekt pracy zasilacza jako źródła prądowego o wydajności zbliżonej do wartości Im , nadążającego z napięciem wyjściowym Uo za zmianami obciążenia, to należy ustawić większe opóźnienie $Ovldwait$. Optymalnej wartości tego parametru należy wówczas szukać w zakresie od 3000 do 5000 μs . Można też przyjąć strategię modyfikacji wartości opóźnienia $Ovldwait$ w zależności od tego, z jakim rodzajem obciążenia i w jakich warunkach laboratoryjnych zamierzamy pracować. Po zakończeniu konfiguracji ostatniego z omawianych parametrów opuszczamy menu poprzez naciśnięcie przycisku *OPT*.

Mając skonfigurowany wstępnie komplet parametrów programowalnych, przystępujemy do regulacji pozostałych potencjometrów montażowych: PR1...PR4 oraz PR6 i PR7. Jako punktu odniesienia (masy) dla wszelkich pomiarów napięciowych wygodnie będzie użyć wyprowadzenia „stopki” (radiatora) łatwo dostępnego na górnej krawędzi PCB stabilizatora U2 (LM7805), do której ujemny zacisk woltomierza można dogodnie dopiąć na czas pomiarów za pomocą zacisku typu krokodylek. W pierwszej kolejności należy zweryfikować i ewentualnie skorygować wartość napięcia +20 V, zasilającego wzmacniacz operacyjny U5 i dostępnego na wyjściu (wyprowadzenie 2) stabilizatora scalonego U3 (LM317L). Z uwagi na nieco utrudniony dostęp do potencjalnych punktów pomiarowych (wyjście U3 lub zasilanie U5) pomiar regulacyjny wygodnie jest przeprowadzić metodą pośrednią – poprzez zmierzenie napięcia na suwaku (środkowym wyprowadzeniu) potencjometru PR1, którym regulujemy aż do uzyskania napięcia około +18,75 V we wskazanym punkcie, połączonym jednocześnie z pinem 1 (*ADJUST*) układu U3 (jego potencjał jest niższy od wyjściowego napięcia stabilizowanego kości LM317L o wartość napięcia odniesienia 1,25V). Kolejna regulacja powinna dotyczyć pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego dla kontroli napięcia wyjściowego Uo , opartej o wzmacniacz różnicowy, w którego układzie pracują m.in. wzmacniacz operacyjny U4D oraz potencjometry PR2 i PR3. Poprawna regulacja PR2 i PR3 wymagałaby jednoczesnej manipulacji nastawieniami obu tych elementów – i to z uwzględnieniem niezerowej wartości prądu wyjściowego Io , co w praktyce mogłoby okazać się niezwykle trudne do prawidłowej realizacji także przez bardziej doświadczonych czytelników. Dlatego autor tego projektu proponuje nieco inne, nie mniej skuteczne a znacznie dogodniejsze rozwiązanie. Mianowicie, w założeniach projektu przyjęto, że przy idealnie dokładnych wartościach elementów w gałęziach

dzielników: R12–PR2–R13 i R15–PR3–R14, oraz przy ustawieniach suwaków PR2 i PR3 dokładnie w połowach zakresów ich regulacji, ich wzmocnienia napięciowe powinny wynosić odpowiednio: $Ku'=(1,5\text{ k}\Omega+100\ \Omega)/(1,5\text{ k}\Omega+200\ \Omega+10\text{ k}\Omega)=0,136752\text{ V/V}$ i $Ku''=(10\text{ k}\Omega+100\ \Omega)/(1,5\text{ k}\Omega+200\ \Omega+10\text{ k}\Omega)=0,863248\text{ V/V}$ (podane wartości podziałów dzielników rezystancyjnych zostały oczywiście uwzględnione także w oprogramowaniu sterującym zasilaczem). Zadaniem osoby regulującej jest po prostu ustawienie suwaków potencjometrów PR2 i PR3 tak, by jak najbardziej zbliżyć się do podanych wartości. Przykładowo, proces ten mógłby wyglądać następująco:

- Na wyjściu **nieobciążonego zasilacza** ustawiamy napięcie równe około 19,5 V, a następnie multimetrem mierzymy i zapisujemy dokładną jego wartość U_o .
- Dla $U_o=19,50\text{ V}$ wyliczamy napięcie $U'=Ku'*U_o=0,136752*19,50\text{ V}=2,667\text{ V}$ (dla potencjału suwaka PR2) i regulujemy PR2 tak długo, aż osiągniemy zgodność obu napięć, tzn. przykładowo $U'=2,667\text{ V}$ przy $U_o=19,50\text{ V}$.
- Mierzmy multimetrem i zapisujemy dokładną wartość napięcia na wyjściu wzmacniacza operacyjnego U4D (pin 14), które w przybliżeniu powinno być równe $U(U4D/p.14)=U'/Ku''=2,667/0,863248\text{ V}=3,089\text{ V}$. Mierzenie napięcia $U(U4D/p.14)$ w zmontowanym zasilaczu najwygodniej jest wykonać na pinie 40 mikrokontrolera U6, gdzie jest ono doprowadzane w celu pomiaru przez wewnętrzny przetwornik A/C.
- Mając do dyspozycji zmierzoną rzeczywistą wartość napięcia $U(U4D/p.14)$, wyznaczamy wartość napięcia $U''=U(U4D/p.14)*Ku''$ (dla potencjału suwaka PR3), które przykładowo dla $U(U4D/p.14)=3,089\text{ V}$ powinno wynosić $U''=3,089\text{ V}*0,863248\text{ V}=2,667\text{ V}$ (takie samo, jak przyjęte wcześniej U' – z uwagi na pracę ujemnej pętli sprzężenia zwrotnego).
- Regulujemy PR3 tak długo, aż osiągniemy odpowiednią proporcjonalność obu napięć, tzn. np.: $U''=2,667\text{ V}$ przy $U(U4D/p.14)=3,089\text{ V}$.
- Weryfikujemy rezultaty przeprowadzonych regulacji zgodnie z przedstawionym powyżej cyklem i ewentualnie dokonujemy naprzemiennych regulacji potencjometrami PR2 i PR3, aż do spełnienia obu podanych warunków proporcjonalności napięć.

UWAGA: NIEPRECYZYJNE WYKONANIE OPISANYCH CZYNNOŚCI REGULACYJNYCH MOŻE



Fotografia 20. Oscylogram z testów z obciążeniem impulsowym (@ $U_o=10\text{ V}$, $R_l=10/20\ \Omega$, $F=100\text{ Hz}$)

SKUTKOWAĆ NIE TYLKO NIEDOKŁADNĄ PRACĄ ZASILACZA, ALE TAKŻE NIESTABILNOŚCIĄ JEGO DZIAŁANIA (OSCYLACJE NA WYJŚCIU), DLATEGO DO TEGO ZADANIA NALEŻY PODEJŚĆ NIEZWYKLE STARANNIE!

Regulacja wzmacniacza pomiarowego prądu wyjściowego I_o (ze wzmacniaczem operacyjnym U4C i dzielnikiem napięciowym R19/R20/PR4/R21) sprowadza się do ustawienia potencjometru PR4 tak, aby wskazywana na ekranie LCD wartość prądu I_o była zgodna z odczytem na odpowiednio dokładnym amperomierzu prądu stałego. Można do tego celu wykorzystać sztuczne obciążenie stałoprądowe o prądzie 5 A lub większym (np. AVT-5586, <https://goo.gl/uhQVNU>) lub rezystor dużej mocy. Przy regulacji egzemplarza prototypowego autor użył zestawu połączonych równolegle pięciu 10-watowych oporników o rezystancji 10 Ω . W egzemplarzu prototypowym kalibrację pomiaru I_o wykonano przy prądzie obciążenia około 4,9 A i nastawionym maksymalnym limicie prądowym $I_m=5,0\text{ A}$.

Ostatnie dwie regulacje dotyczą potencjometrów PR6 i PR7, odpowiedzialnych za precyzyjne zerowanie napięć referencyjnych, przeznaczonych do ustalenia napięcia U_s , sterującego napięciem wyjściowym U_o , oraz progu (limitu) prądowego I_m . Za zerowanie napięcia U_s jest odpowiedzialny potencjometr PR6. Jego regulację wykonujemy przy napięciu wyjściowym U_o zasilacza ustawionym dokładnie na 0,00 V. Pomiar tego napięcia wykonujemy na zakresie woltomierza

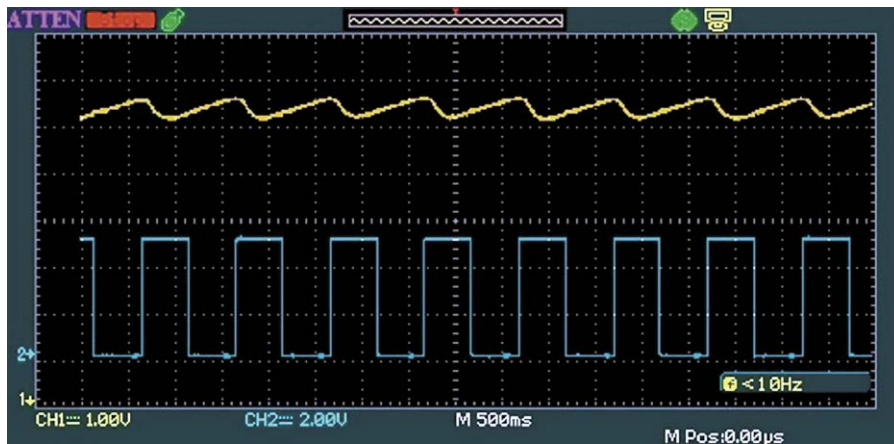
0...199,9 mV lub niższym. Potencjometr PR6 należy obracać powoli w kierunku, dla którego U_o będzie malało – aż do momentu, w którym przestanie ono spadać (w egzemplarzu prototypowym udało się uzyskać $U_o=0,4\text{ mV}$). Precyzyjne zerowanie U_o potencjometrem PR6 jest o tyle istotne, że pozwala zapobiec konsekwencjom przepływu znacznego prądu zwarciovowego I_o , jeśli nastawione teoretycznie U_o wynosi 0,00 V i – wobec tego – nie spodziewamy się przepływu prądu w obwodzie wyjściowym. Natomiast precyzyjna regulacja potencjometru PR7 (zerowanie limitu prądowego I_m) nie jest już tak krytyczna z uwagi na wprowadzenie do projektu dolnego limitu prądu $I_m=100\text{ mA}$. Dlatego w praktyce wystarczy, że potencjometr PR7 ustawimy w pozycji maksymalnie zbliżonej do tej, w której wcześniej ustawiliśmy potencjometr PR6 (obie omówione gałęzie kompensacyjne działają w bardzo zbliżonych konfiguracjach układowych i w oparciu o te same lub niemal identyczne podzespoły).

Użytkowanie i obsługa zasilacza

Połączeniu zasilania i przejściu do normalnego trybu pracy można przystąpić do ustawienia napięcia wyjściowego U_o i limitu prądu I_m . Następnie można przyłączyć obciążenie. Prawidłowość wykonania montażu i wszelkich regulacji można sprawdzić z zastosowaniem obciążenia stałoprądowego i impulsowego. **Fotografia 20**



Fotografia 21. Panel sterujący zasilacza w trakcie pracy z ograniczeniem prądowym w trybie ciągłym (@ $Ovldwait=5000\ \mu\text{s}$)



Fotografia 22. Oscylogram z dynamicznych testów ograniczenia prądowego w trybie ciągłym (@ F=1 Hz)

zawiera oscylogram z testów impulsowych, w których ustawiono $U_o=10\text{ V}$, natomiast obciążeniem były dwa połączone szeregowo oporniki o mocy 10 W i rezystancji $10\ \Omega$. Jeden z tych rezystorów był zwierany z częstotliwością 100 Hz . Na dole oscylogramu widać przebieg kluczący, natomiast przebieg górny to składowa zmienna napięcia wyjściowego U_o . Jak widać, pulsacje spowodowane zmiennym obciążeniem nie przekroczyły poziomu 20 mVp-p . Na **fotografii 21** pokazano fragment przedniego panelu zasilacza w trakcie pracy z ograniczeniem prądowym z parametrem opóźnienia $Ovldwait=5000\ \mu\text{s}$. Stan ograniczenia prądowego sygnalizuje zaświecony LED *OVERLOAD*, natomiast rzeczywista wartość prądu I_o wynosi 390 mA i (z założenia) jest nieco mniejsza od ustawionego limitu prądowego $I_m=400\text{ mA}$.

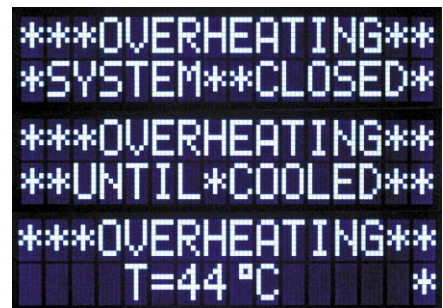
Na **fotografii 22** pokazano oscylogram napięcia wyjściowego U_o (przebieg górny) przy przełączanym tranzystorem N-MOSFET obciążeniu $10/20\ \Omega$ przebiegiem pokazanym

na dole oscylogramu. W tym wypadku częstotliwość przełączania wynosiła tylko 1 Hz , a poziom ograniczenia prądowego I_m był ustawiony na połowę prądu występującego przy obciążeniu $10\ \Omega$ lub $20\ \Omega$. Ograniczenie prądowe skonfigurowanego do powolnej pracy wolno podwyższało napięcie wyjściowe U_o po rozwarciu bocznika jednego z rezystorów $10\ \Omega$ i gwałtownie obniżało je, gdy rezystancja obciążenia spadała z $20\ \Omega$ do $10\ \Omega$ (nieustalony stan pracy tego mechanizmu).

Na **fotografii 23** pokazano komunikat wyświetlany po przekroczeniu przez radiator progu temperatury $Tr2$ i wejściu urządzenia w stan tzw. przegrzania. Cyklicznie jest powtarzana treść trzech kolejnych komunikatów, przy czym ostatni prezentuje wartość temperatury bieżącej radiatora Tr .

Podsumowanie projektu

W artykule kompleksowo opisano projekt zasilacza laboratoryjno-warsztatowego o parametrach konstrukcyjnych i użytkowych,



Fotografia 23. Zawartości wyświetlacza LCD w stanie przegrzania zasilacza (OVERHEATING)

które pozwalają mu skutecznie konkurować (także cenowo) z gotowymi urządzeniami, dostępnymi „ze sklepowej półki”. Znaczącą wartością dodaną są spore możliwości konfiguracji urządzenia wg osobistych preferencji, a także modyfikacji konstrukcji pod kątem własnych potrzeb. Projekt jest przeznaczony dla osób, które chcą mieć zasilacz warsztatowy o niezłych parametrach, kompaktowej, zwartej konstrukcji i niewygórowanym koszcie realizacji oraz dla osób, które pragną poszerzyć swoją wiedzę konstruktorówką w zakresie urządzeń zasilających lub zmodernizować posiadane już przyrządy. Więcej informacji o dalszych losach tego projektu można będzie znaleźć na stronie WWW autora pod adresem <https://goo.gl/BKmwz4T>. Na koniec chciałbym serdecznie podziękować koledze Jerzemu Mroszczakowi SQ7JHM (<https://goo.gl/NvfYPC>) za podzielenie się dużym praktycznym doświadczeniem w zakresie konstruowania zasilaczy liniowych o znacznej mocy znamionowej.

Adam Sobczyk SQ5RWQ
sq5rwq@gmail.com
<http://sq5rwq.pl>

REKLAMA

**ELEKTRONIKA
PRAKTYCZNA
NA KAŻDYM
EKRANIE**



www.ulubionykiosk.pl