

Solarna ładowarka akumulatorów żelowych z korekcją temperaturową

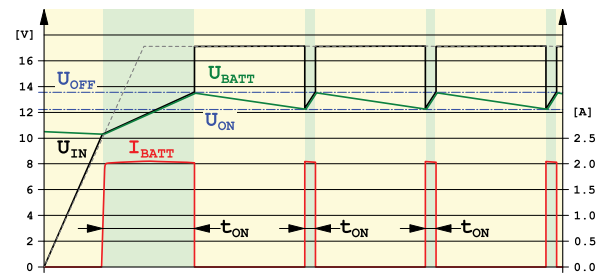


Mikroprocesorowa ładowarka akumulatora żelowego lub AGM 12V (6V) z panelu fotowoltaicznego. Dla uzyskania optymalnych warunków ładowania oprogramowanie umożliwia dostosowanie charakterystyki temperaturowej napięcia końcowego ładowania do konkretnego typu akumulatora

Wzrastający trend (nie wnikając, czy ma to uzasadnienie ekologiczne) na stosowanie odnawialnych źródeł energii powoduje ciągłe zapotrzebowanie na układy pozwalające gromadzić tak powstałą energię w akumulatorach. Jednym z takich układów jest opisywana ładowarka, w której zastosowano progową metodę ładowania akumulatora, przypominającą działanie komparatora z histerezą, której progami są odpowiednio napięcia: włączenia (U_{ON}) i wyłączenia (U_{OFF}) ładowania. Układ, nadzorując progi napięciowe, nie dopuszcza do przeładowania akumulatora. Wyposażony jest również w zabezpieczenie uniemożliwiające jego nadmierne rozładowanie. Czujnik temperatury zmieniający napięcia progowe U_{ON} i U_{OFF} , według zaprogramowanej, tj. dostosowanej do zaleceń producenta akumulatora charakterystyki, sprawia, że w zakresie roboczym temperatur otoczenia ładowarka zapewnia pełne naładowanie akumulatora. Dzięki temu układ może być używany w trudniejszych warunkach, niż panujące w ogrzewanych pomieszczeniach np. w nieogrzewanych garażach. Proces łado-

wania zobrazowany jest na rysunku 1. Okres otwarcia klucza (t_{ON}) zmniejsza się wraz ze stopniem naładowania akumulatora, co przypomina regulację PWM. Stosunkowo długie okresy, w których klucz jest zamknięty (zanim napięcie akumulatora spadnie poniżej progu U_{ON}), sprawiają, że zastosowana metoda ładowania jest stosunkowo powolna. Wyższą szybkością ładowania mogą się wykazać ładowarki impulsowe, zwłaszcza z funkcją MPPT, które jednak są nieporównanie „trudniejsze” w etapie projektowania, a niedopracowane układy tego rodzaju mogą być źródłem zakłóceń o częstotliwościach radiowych. Podczas ładowania napięcie (U_{IN}) na ogniwach fotowoltaicznych „przysiadają” do wartości napięcia akumulatora. Dzieje się tak dlatego, że mają one charakter źródła prądowego. Dlatego też maksymalny prąd ładowania wyznaczany jest przez wydajność ogniw, która nie może być większa niż określony przez producenta akumulatora mak-

Rys. 1

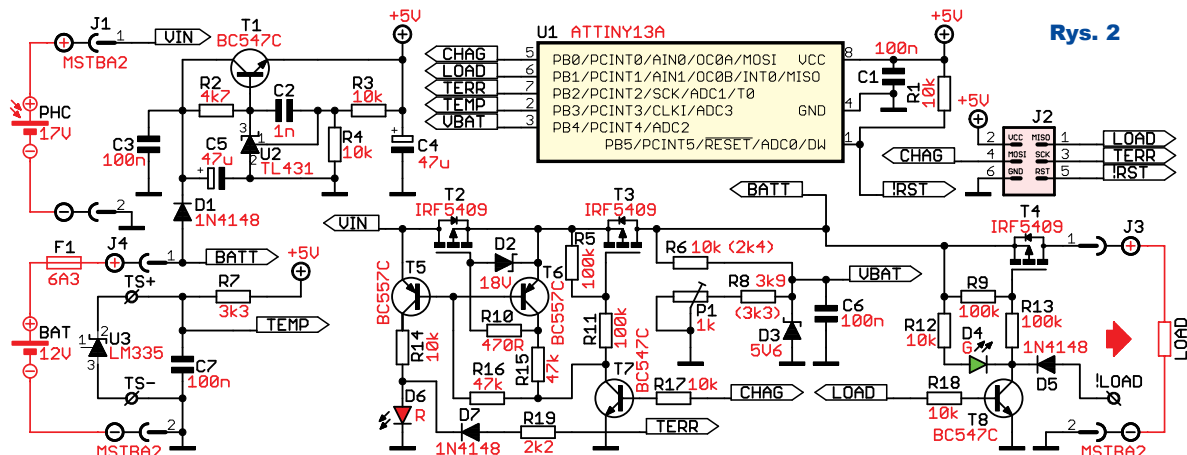


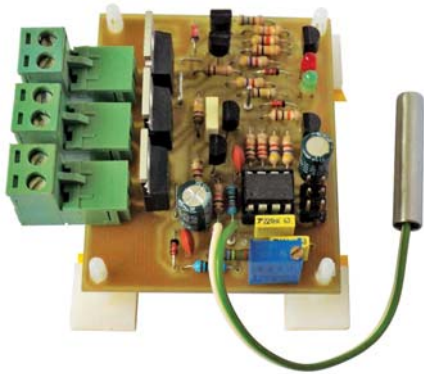
symalny prąd ładowania I_{MAX} (0,1C do 0,3C). Aby bezpiecznie ładować akumulator C=20Ah i $I_{MAX}=0,2C$, maksymalny prąd z fotoogniw nie może być większy niż 4A. Całkowity spadek napięcia na ładowarce wyznaczany jest przez sumę rezystancji R_{DS} zastosowanych tranzystorów, kluczy. Przy typach tranzystorów jak na schemacie (IRF5409) wartość R_{DS} wynosi 40m Ω , co przy prądzie 5A daje moc traconą równą $5[A]^2 \cdot 0,04[\Omega] = 1W$. Straty ciepłne są dużo mniejsze niż w klasycznych ładowarkach szeregowych.

Opis układu

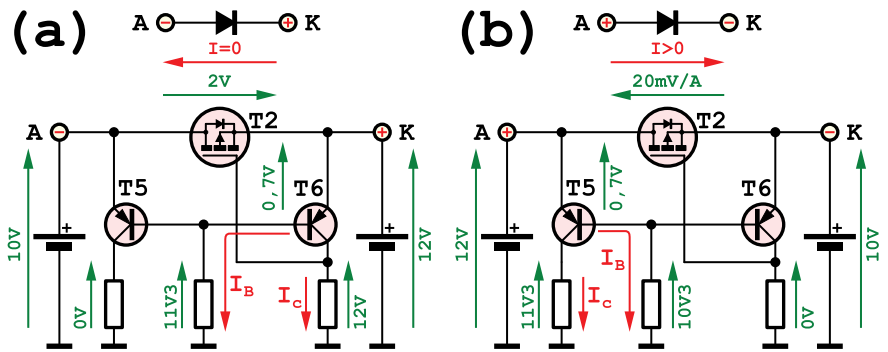
Schemat ideowy przedstawia rysunek 2. Napięcie zasilania dla U1 (ATTiny13A) zapewnia stabilizator oparty

Rys. 2





na półprzewodnikach U2, T1 wraz z elementami towarzyszącymi. Zastosowanie takiego stabilizatora wynika z potrzeby uzyskania napięcia zasilającego możliwie najmniej zależnego od temperatury, gdyż jest ono zarazem napięciem odniesienia dla przetwornika ADC. Wewnętrzne napięcie odniesienia dla ADC w sterownikach AVR nie zapewnia wymaganej stabilności temperaturowej. Z kolei podawany w katalogach współczynnik temperaturowy dla stabilizatora liniowego LM7805 wynosi od $-0,3$ do $-0,4\text{mV}/^\circ\text{C}$ jest wartością w tym zastosowaniu niedopuszczalną. Wewnętrzna kompensacja temperaturowa wejścia referencyjnego programowanej diody Zenera U2 zapewnia wymaganą stabilność przy niewielkich kosztach. Podzielone dzielnikiem R6, R8, P1 napięcie akumulatora VBAT dołączone jest do kanału 2 przetwornika ADC U1. Do kanału 3 dołączony jest czujnik temperatury otoczenia akumulatora U3 (LM335), który pracuje jak dioda Zenera o V_Z zależnym od temperatury z nachyleniem $10\text{mV}/^\circ\text{K}$. Funkcję diody o niskim V_F zapobiegającej rozładowaniu akumulatora przez wejście ładowarki (gdy napięcie na fotoogniwie jest niższe od napięcia akumulatora), pełnią



Rys. 3

tranzystory T2, T5, T6 wraz z rezystorami towarzyszącymi. Przyczyną niejako odwrotnego dołączenia T2 jest parazytowa struktura diodowa, która przewodzący przy jego „normalnym” dołączeniu, uniemożliwiałaby uzyskanie przepływu prądu tylko w jednym kierunku. W uproszczeniu tranzystor MOSFET można potraktować jako sterowany napięciowo rezystor. Jeżeli tylko napięcie V_{GS} jest wystarczające do jego otwarcia, to kierunek przepływu prądu zależy jedynie od potencjałów (umownie znaków) na źródle i drenie. **Rysunek 3** ilustruje zasadę działania takiej „mosfetowej” diody. Napięcie na bazach T5, T6 jest zawsze mniejsze o $0,7\text{V}$ od potencjału o wyższej wartości (na drenie lub źródle T2). Gdy taka „dioda” spolaryzowana jest zaporowo (3a), napięcie na źródle jest wyższe. Napięcie na bazach T5, T6 zatem jest mniejsze o $0,7\text{V}$ od potencjału źródła T2. Napięcie V_{BE} T5 jest niewystarczające do jego otwarcia. Natomiast wartość V_{BE} T6 ($0,7\text{V}$) powoduje przepływ prądu przez jego bazę. Otwarty T6 łączy źródło T2 z bramką powoduje jego zatkanie. Przy polaryzacji w kierunku przewodzenia (3b) sytuacja jest odwrotna. Potencjał baz T5, T6 jest mniejszy o $0,7\text{V}$ od potencjału drenu T2. Teraz T5 przewodzi, zatkany jest T6 (niewystarczające do otwarcia napięcie V_{BE}). Bramka T2 jest połączona z masą przez rezystor, co powoduje jego otwarcie. Stosunkowo niewielka wartość rezystancji R_{DS} T2 przekłada się na niewielki spadek napięcia, tj. małe straty ciepłe przy relatywnie dużych prądach. Na rysunku nie uwzględniono spadku napięć na rezystancjach wewnętrznych rzeczywistych źródeł napięciowych. Rezystor R10 ogranicza prąd ładowania pojemności bramki T2 do bezpiecznej wartości. Dioda Zenera D2 zapobiega przekroczeniu napięcia V_{GS} poza katalogową wartość dopuszczalną.

Tranzystor T3 pracuje jako klucz włączający ładowanie i U1 steruje nim z wyjścia CHAG za pomocą T7. Ten

sam T7 steruje również blokiem „diody” T2, co pozwala na uzyskanie sygnalizacji trzech trybów pracy jedną diodą LED D6. Jej ciągle świecenie oznacza włączenie ładowania, co jest spełnione jedynie, gdy T7 przewodzi i gdy blok „diody” spolaryzowany jest w kierunku przewodzenia (napięcie na drenie T2 jest większe niż na źródle). LED sygnalizuje zatem faktyczne ładowanie, a nie jedynie włączenie klucza T2. Jak łatwo się domyślić, wygaszona D6 oznacza brak ładowania. W trybie awaryjnym ładowanie jest wyłączane (T7), a sygnalizacja jest realizowana przez pulsowanie z częstotliwością $0,75\text{Hz}$ LED D6, sterowanej z wyjścia TERR U1, co oznacza temperaturę spoza zaprogramowanego zakresu, odłączenie czujnika temperatury lub jego uszkodzenie. D7 zapobiega przepływowi prądu do U1 podczas normalnej pracy, kiedy na wyjściu TERR jest stan niski. Sterowane z wyjścia LOAD U1 T8, T4 wraz z otaczającymi elementami stanowią klucz odłączający obciążenie, realizując zabezpieczenie przed nadmiernym rozładowaniem akumulatora. Zaświecenie D4 informuje, że z akumulatora można pobierać prąd. Do zaprogramowania U1 przewidziano złącze J2 w standardzie Atmel ISP.

A teraz informacje dla bardziej dociekliwych i zaawansowanych.

Tylko dla dociekliwych

Program do zaprogramowania U1 napisano w języku C dla kompilatora AVR-GCC korzystając ze środowiska AVR Studio w wersji 4.17. Mimo swej prostoty pozwala na uwidocznienie mocnych stron języka C w sposobach dostępu do zmiennych strukturalnych, typów złożonych, tj. struktur i unii. Zdefiniowany typ złożony `batteryRec_t` – unia przechowująca główne zmienne programu jako tablica umożliwia czytelny zapis cyklicznie odczytywanych wartości napięcia i temperatury z przetwornika ADC (do dwóch pierwszych komórek). Natomiast dalsze operacje porównywa-

nia napięć zmierzonych z obliczonymi napięciami progowymi wygodniej jest zapisać, odwołując się do nazw odpowiednich pól struktury anonimowej zdefiniowanej wewnątrz unii. Dostęp na poziomie bitowym do rejestru wyjściowego PORTB umożliwia wskaźnik na strukturę pól bitowych `volatile io_t *const pIO=(io_t*)&PORTB;`. Przykładowo włączenie klucza ładowania (ustawienie bitu 0 PORTB) sprowadza się do zapisu `pIO->charge=1;` Takie podejście pozwala uniknąć potencjalnie trudnych do wykrycia błędów wynikających z pomyłek przy zastosowaniu masek bitowych lub makra `_BV()`. Co istotne, taki zapis kompilator tłumaczy na jedną instrukcję assemblerową `SBI PINB 0x00`. Podobnie zerowanie bitu 0 PORTB jest tłumaczone jako `CBI PINB 0x00`. Wszystkie funkcje „wywoływane” są w programie głównym jednokrotnie, co umożliwiło ich zdefiniowanie tylko w pliku nagłówkowym z modyfikatorami: `static inline`. Kompilator w miejscu wywołania takiej funkcji (w programie głównym) zamiast skoku do adresu wywoływanej funkcji wstawia jej kod. Pozwala to zaoszczędzić stos (nie istnieje potrzeba odkładania na stos adresu powrotnego, tj. śladu) oraz wyeliminować czas potrzebny na wykonanie skoku do ciała funkcji i powrót po jej zakończeniu. Algorytmicznie program realizuje tzw. maszynę stanów.

Wydawać by się mogło, że skutecznym zabiegiem zmniejszającym „apetyt” mikrokontrolera na prąd jest zmniejszenie częstotliwości jego taktowania. Jednak nie zawsze jest to takie oczywiste. Dwukrotne zmniejszenie częstotliwości taktowania powoduje mniej niż dwukrotne zmniejszenie poboru prądu, ale czas wykonania instrukcji przy takim podziale zegara jest dwukrotnie dłuższy. Szczególnie gdy sekwencja instrukcji wykonywana jest co jakiś interwał, możliwa do uzyskania oszczędność prądu jest iluzoryczna. Na czas oczekiwania (między wykonywaniem cyklicznych instrukcji) warto jest wprowadzić mikrosterownik w tryb obniżonego poboru energii, a instrukcje wykonywać przy taktowaniu bez preskalera, co przełoży się na ich szybsze wykonanie, zwiększając tym stosunek czasu uśpienia (gdzie oszczędność jest znacząca) do czasu pracy, co bezpośrednio przełoży się na mniejszy pobierany prąd średni niż przy zastosowaniu tylko taktowania podzielonym przebiegiem zegarowym. Dobrze jest także wyłączać zasilanie nieużywanych w danej chwili układów

peryferyjnych (w rejestrze PRR). W prezentowanym układzie zastosowano właśnie takie metody redukcji poboru prądu. Instrukcje pomiaru ADC i ich interpretacja wykonywane są z „pełną prędkością” co określony interwał, po czym mikrokontroler wprowadzany jest w tryb zmniejszonego poboru prądu. Znacząca wartość prądu jest pobierana przez U1 impulsowo (czas pracy ADC), dlatego T1 jest w stanie rozproszyć wydzielane na nim ciepło. Średni pobór prądu przez U1 wynosi $\approx 0,5\text{mA}$ i wzrasta do $\approx 1,2\text{mA}$ w trybie awaryjnym (prąd LED D6 zaświecanej cyklicznie). Natomiast średni prąd pobierany przez ładowarkę z akumulatora wynosi $\approx 3,5\text{--}4,5\text{mA}$ zależnie od napięcia akumulatora (plus prąd LED D4 gdy jest zaświecona).

Program przed wejściem w pętlę główną wykonuje instrukcje konfiguracyjne zawarte w funkcji `Init_Device()`, gdzie inicjowany jest układ watchdog, którego licznik musi być zerowany w pętli głównej częściej niż co 2s. Wyłączone są nieużywane peryferia (komparator analogowy, cyfrowe bufor wyprowadzeń używanych przez ADC).

Czas oczekiwania, opóźnienie między pomiarami ADC w rytmie 1,5Hz jest zrealizowane sprzętowo licznikiem TC0 w trybie CTC (ang. Clear Timer Compare). Odpowiada za to kod zawarty w funkcji `Wait_Before_Means()`. Ponieważ przy taktowaniu rdzenia procesora zegarem 9,6MHz okres przepelnienia bajtowego timera nawet przy maksymalnym podziale jego preskalera jest mniejszy od wymaganego okresu 1s/1,5Hz, na czas opóźnienia włączany jest preskaler zegara systemowego makrem `clock_prescale_set(clock_div_32)`. Po włączeniu TC0 mikrosterownik wprowadzany jest w tryb zmniejszonego poboru prądu `SLEEP_MODE_IDLE`. Po odmierzeniu wymaganego opóźnienia mikrokontroler jest „budzony” (pustym) przerwaniem od porównania `TIM0_COMPA_vect`. Wyłączany jest preskaler zegara systemowego, by następnie wykonać zasadnicze dla działania urządzenia instrukcje, tj. pomiar wartości analogowych z kanałów 2, 3 ADC (odpowiednio napięcie akumulatora, napięcie z czujnika temperatury) i ich interpretacja. Mierzone w funkcji `Get_ADC_Value(&batteryRec)` wartości analogowe są obliczane jako średnia z 64 pomiarów (próbek) na kanał. Taki uśredniany pomiar obu wartości dalej nazy-



wany jest cyklem pomiarowym. Przed pomiarem każdej próbki mikrokontroler wprowadzany jest w stan uśpienia `SLEEP_MODE_ADC`, z którego wybudzany jest przez (puste) przerwanie od zakończenia konwersji `ADC_vect`. Taki sposób dodatkowo zapewnia stabilność pomiarów i choć w prezentowanym układzie nie występują szybkozmienne cyfrowe sygnały zakłócające, to mogą występować w zasilanym z akumulatora układzie (komutacja prądów, multiplexowanie wyświetlaczy, magistrale cyfrowe itp.) i przenikać do ładowarki przez wszechobecne pojemności.

Nadmienię, że wszystkie obliczenia w programie są stałoprzecinkowe, co przy obliczaniu średnich wymaga jawnego rzutowania typu `uint32_t`. O ile wartość zmierzonego napięcia jest podawana i przechowywana w mV (z rozdzielczością $\approx 17\text{mV}$), o tyle ze względu na to, że U3 (LM335) jest czujnikiem temperatury bezwzględnej, na etapie obliczania średniej temperatury, przeliczane są jednostki temperatury z K na $^{\circ}\text{C}$, przez odjęcie od



wyliczonej średniej wartości przesunięcia 273, stała **ZERO_K**. Modyfikacja tej stałej umożliwia kompensację rozrzutu produkcyjnego napięcia termometru U3 bez użycia potencjometru dołączonego zwykle między nóżkę ADJ i masę. Przeliczenie jednostek w zasadzie nie jest konieczne, ale w założeniu plik nagłówkowy może być użyty w innym urządzeniu, gdzie przechowywanie napięć w mV i temperatury w °C może być wymagane.

Instrukcje zawarte w funkcji **Charge_Control(&batteryRec)** sterują procesem ładowania akumulatora. Jeżeli wartość temperatury przekracza liczbę elementów tablicy **DATA_NO** lub jest mniejsza od zera, oznacza to temperaturę spoza zakresu pracy lub uszkodzenie czujnika temperatury. Wymusza to przejście urządzenia w tryb awaryjny, w którym ładowanie (T7, T2, T3) jest wyłączane. Stan ten jest sygnalizowany przez pulsowanie D6 z częstotliwością 0,75Hz, sterowanej z nóżki PB.2 przez R19, D7. Cykliczna zmiana stanu nóżki PB.2 realizowana jest w sposób sprzętowy, instrukcją **PINB|=0x04**, która w przeciwieństwie do instrukcji zapisanych w sposób: **PORTB=PORTB^0x04** lub pole bitowe **pIO->error^=1**, jest wykonywana w sposób atomowy, tj. kompilator tłumaczy ją jako jedną instrukcję asemblerową **SBI PINB 0x02**. Tak! Każdorazowy zapis logicznej jedynki do bitu portu wejściowego PINB w mikrokontrolerze AVR powoduje (sprzętowo) zmianę wartości odpowiadającego mu bitu w przeciwną w rejestrze wyjścia PORTB. Pozwala to zaoszczędzić nieco kodu programu w niewielkiej ilości FLASH mikrosterownika ATTiny13A.

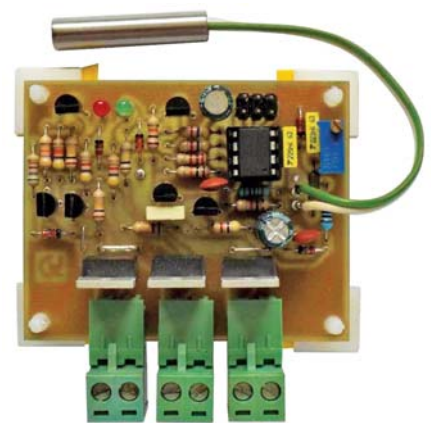
Gdy wartość temperatury jest w zakresie temperatur użytkowych, wyznaczone są oba progi napięciowe, tj. włączenia i wyłączenia ładowania, wyliczając je dla obowiązującej, zmierzonej w bieżącym cyklu temperatury otoczenia akumulatora. Obliczanie progu polega na wyliczeniu indeksu temperatury zmierzonej dla tablicy współczynników temperaturowych (odpowiednio: **DV_ON_DATA[]**, **DV_OFF_DATA[]**). Tablice wartości współczynników temperaturowych dla napięć włączenia i wyłączenia ładowania umieszczone są w pamięci FLASH. Domyślne definicje zakładają liniowe zmniejszanie napięć odpowiednio ze współczynnikiem $-18\text{mV}/^\circ\text{C}$ dla włączenia i $-18\text{mV}/^\circ\text{C}$ dla wyłączenia ładowania. Takie definicje wydają się nadmiarowe, niepotrzebnie zwiększające zapotrzebowanie na pamięć FLASH. Jest to spostrzeżenie trafne tylko przy założe-



niu liniowej zmiany napięć progowych w funkcji temperatury. Często zalecane przez producentów akumulatorów charakterystyki są nieliniowe i w takich przypadkach tablicowa implementacja współczynników temperaturowych wydaje się dobrodziejstwem zmniejszającym zapotrzebowanie na kosztowne obliczenia, co zostanie opisane szerzej pod koniec niniejszego śródtytułu.

Ponieważ temperatura może przyjmować wartości ujemne (a indeksowanie tablic zaczyna się od zera), do wyliczonego indeksu dodawane jest przesunięcie **ZERO_OFFSET** będące wartością absolutną minimalnej temperatury pracy. Następnie w pętli od stałej bazowej napięcia (dla najniższej możliwej, przewidzianej temperatury pracy **VBASE_ON**, **VBASE_OFF**) dodawane są kolejne wartości współczynników z tablicy je definiującej, aż osiągnięty zostanie indeks temperatury zmierzonej w cyklu. Wyniki powyższych operacji przechowywane są w dwubajtowych polach **chargeVoltageOff** i **chargeVoltageOn** struktury.

By ładowarka mogła włączyć T7, tj. ładowanie (klucz T2, T3) (oczywiście gdy wartość temperatury otoczenia akumulatora jest w zakresie temperatur użytkowych) wartość napięcia akumulatora musi być mniejsza od wyliczonego progu napięciowego **chargeVoltageOn** przez piętnaście cykli pomiarowych (10s). Jeżeli napięcie akumulatora jest mniejsze od progu, to inkrementowane (w warunku) jest pole **chargeCounter** struktury, a gdy jego wartość osiągnie wartość stałej **PERIOD_ON**, włączany



jest T7, i jeżeli tylko napięcie na drenie T2 jest większe niż na jego źródle, zaświecona zostaje czerwona LED D6, sygnalizując ładowanie. Wyłączenie ładowania następuje natychmiastowo po jednym cyklu, gdy zmierzone napięcie jest większe od wyliczonego progu napięciowego **chargeVoltageOff**, pole **chargeCounter** jest wtedy zerowane, a LED D6 wyłączana.

Analogicznie działa zabezpieczenie akumulatora przed zbyt dużym rozładowaniem, realizowane funkcją **Load_Control(&batteryRec)** z tą różnicą, że funkcja ta działa także w trybie awaryjnym (nieuwzględniany jest stan czujnika temperatury). By (kluczem T4) odłączyć obciążenie, wystarczy, by mierzona wartość napięcia akumulatora w jednym cyklu pomiarowym była mniejsza od stałej progu odłączenia obciążenia **BATTERY_EMPTY**. T8 nie przewodzi i LED D4 jest wyłączana, sygnalizując tym zbyt niskie napięcie akumulatora. Natomiast dołączenie obciążenia do akumulatora nastąpi, gdy w szesnastu kolejnych cyklach (10,6s) pomiarowych mierzona wartość napięcia będzie większa od progu włączenia obciążenia **BATTERY_FULL**. Wtedy T8 przewodzi, LED D4 jest zaświecana, na wyjściu !LOAD (otwarty kolektor) panuje stan zbliżony do masy. Tu jako licznik cykli używane jest pole **loadCounter** struktury i porównywane jest ze stałą **PERIOD_ON+1**.

Użytkownicy mający dostęp do dokumentacji technicznej posiadanego akumulatora mogą samodzielnie zdefiniować współczynniki temperaturowe (uzyskując zalecane przez niektórych producentów nieliniowe charakterystyki napięciowe), dołączając w programie głównym plik nagłówkowy **tcGen/ usertcdata.h**.

Zdefiniowana w nim stała preprocesorowa **_USERTCDATA_H_** jest brana pod uwagę w instrukcji warunkowej kompilacji i blok domyślnych

definicji liniowych zastępowany jest definicjami z ww. pliku. Aby zaoszczędzić Czytelnikom żmudnych obliczeń, udostępniam w materiałach dodatkowych program *tcGen.exe* (Delphi 7 PE), umożliwiający automatyczne generowanie tegoż pliku na podstawie wartości progowych napięć z dokumentacji posiadanego akumulatora. Zrzut formularza aplikacji widoczny jest na **rysunku 4**. Program akceptuje wartości napięć podawanych zarówno dla akumulatorów 6V i 12V oraz dla pojedynczej celi, automatycznie rozpoznając przedziały napięciowe (przy założeniu ich poprawności), obliczając wymagane współczynniki temperaturowe w odniesieniu do akumulatora 12V, co jest wymagane przez program ładowarki. Kreśli wykres tak uzyskiwanych charakterystyk temperaturowo-napięciowych, pozwalając na wizualną kontrolę ich poprawności. Współczynniki wyliczane są za pomocą aproksymacji odcinkowej, która polega na łączeniu odcinkami kolejnych zdefiniowanych przez użytkownika punktów tempera-

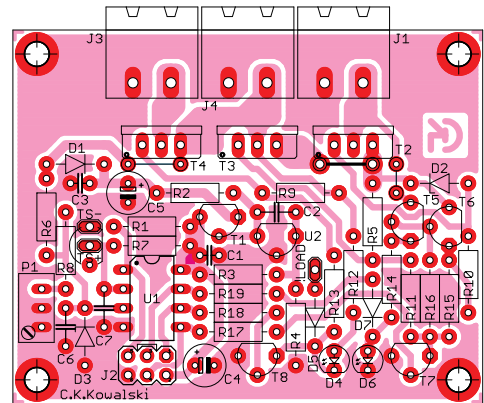
-20;2.4;2.5
0;2.4;2.5
10;2.4
15;2.3
30;2.4
35;2.3
50;2.2;2.265

Rys. 5

tutowo-napięciowych. Do wyliczania wartości napięć w punktach temperaturowych (niezdefiniowanych przez użytkownika, tych pomiędzy zdefiniowanymi) użyłem odcinkowego algorytmu Bresenhama z wymuszeniem wiodącej osi rzędnych tj. osi temperatury, co dało znakomite efekty w postaci równomiernego rozkładu punktów napięciowych (współczynników) podobnie jak „układają się” punkty odcinków „rysowanych” na monitorze komputera. Przy preparowaniu pliku nagłówkowego przez edycję w edytorze punktów temperaturowych lub pliku wejściowego należy przestrzegać poniższych zasad: Średnik jest separatorem pól. Wymagane są co najmniej dwa punkty temperaturowe o różnych wartościach. Wartości temperatury muszą być uporządkowane rosnąco. W pierwszym punkcie temperaturowym wartości obu napięć są wymagane, natomiast w kolejnych są opcjonalne. Maksymalna liczba punktów temperaturowych (ich zakres) musi być mniejsza bądź równa 81. Kolejne punkty temperaturowe (linie) powinny być zakończone znakami: $\backslash r \backslash n$. Przykład danych wejściowych widoczny jest na **rysunku 5**, a kilka przykładowych, wejściowych plików tekstowych oraz *tcGen.exe* umieściłem na Elportalu w materiałach dodatkowych, tj. w podkatalogu *LASC_program\tcGen*.

Montaż i uruchomienie

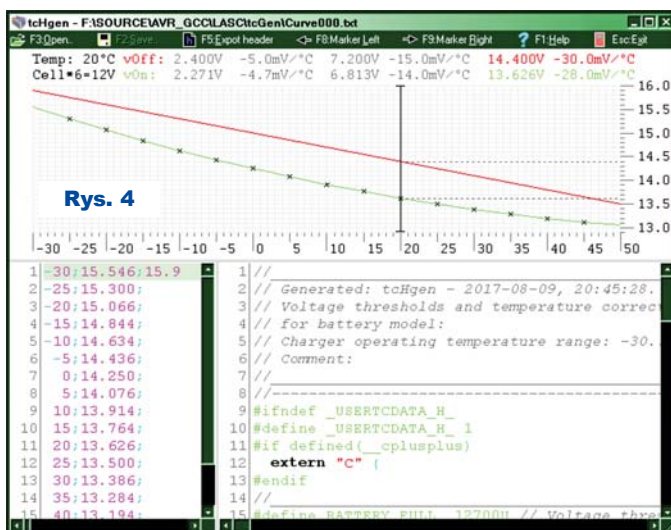
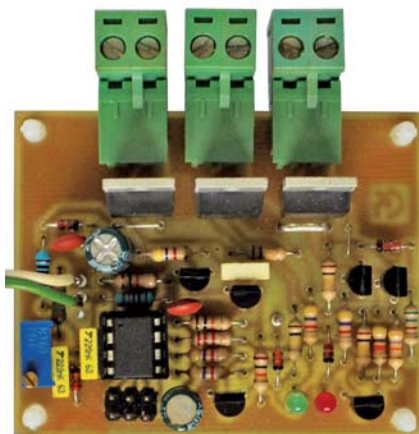
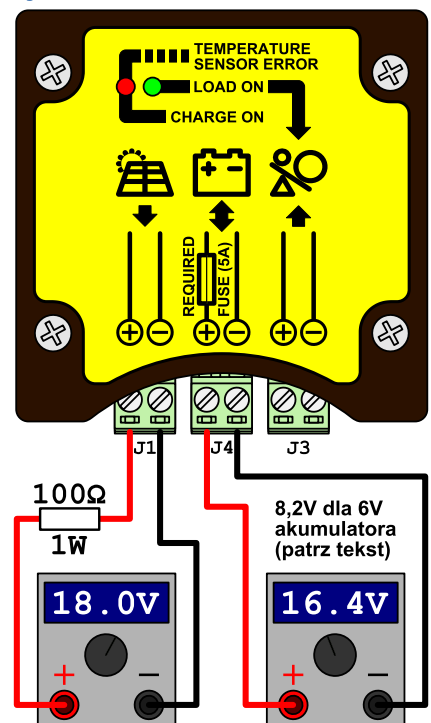
Na **rysunku 6** pokazano jednowarstwowy obwód drukowany. Montaż na uprzednio sprawdzonym druku warto rozpocząć od wlotowania trzech zwoń, z których jedna (obok T2) powinna być wykonana srebrzanką $\varnothing 1,5\text{mm}$. Montaż kolejnych elementów jest klasyczny i nie wymaga komentarza. Ścieżki przewodzące duże prądy (bez soldermaski) należy wzmocnić stopem lutowniczym. W zasadzie zamiast klucza T4 można zamontować zworę, informacja o tym, czy można pobierać znaczący prąd



Rys. 6

z akumulatora, i tak jest dostępna na wyjściu !LOAD. Monitorując je, zasilany układ może niezależnie podejmować decyzję o tym, czy włączyć się z „pełną mocą”, czy np. krótko wyświecić komunikat o niewystarczającym zasilaniu, by następnie przejść w stan obniżonego poboru energii lub się wyłączyć. W zastosowaniach innych niż oświetlenie LED takie rozwiązanie wydaje się bardziej logiczne niż prymitywne odcinanie zasilania. **Rysunek 7** należy potraktować jako pomoc w uruchomieniu ładowarki. W pierwszej kolejności należy dokonać kalibracji dzielnika pomiaru napięcia akumulatora oraz zaprogramowania U1. W tym celu do złącza akumulatora J4 (przy niepodłączonych J1, J3) należy dołączyć zasilacz regulowany o ustawionym napięciu 16,4V. P1 trzeba ustawić tak by mierzona różnica napięć między BATT

Rys. 7



Rys. 4

a VBAT była jak najbardziej zbliżona do zera. W przypadku użycia ładowarki do ładowania akumulatora 6V należy odpowiednio zmienić wartości rezystorów R6, R8 na te podane w nawiasach na schemacie. Przebieg kalibracji jest identyczny z tym, że napięcie zasilacza powinno wynosić 8,2V. Podczas programowania U1 (wsadem .hex dostępnym wraz ze źródłami na Elportalu w materiałach dodatkowych do artykułu) należy dodatkowo wyłączyć fabrycznie ustawiony bit dzielnika częstotliwości zegara systemowego CKDIV8. Warto włączyć moduł nadzorujący napięcie zasilania BOD (ang. Brown-Out Detektor), bity konfiguracyjne BODLEVEL=4,3V, zwiększając tym niezawodność układu kosztem nieco większego poboru prądu. Po zaprogramowaniu należy do złącza J1 dołączyć drugi zasilacz przez rezystor 100Ω 0,5W. Nie musi to być zasilacz regulowany, wystarczy, by zapewniał napięcie około 17V...18V. Zmieniając napięcie zasilacza dołączonego do J4 (symulującego akumulator), należy sprawdzić obwód dołączania obciążenia. LED D4 powinna zaświecić się po ok. 11s od ustawienia napięcia powyżej progu 12V i przestawać się świecić natychmiast po jego zmniejszeniu poniżej 11V (odpowiednio 6V i 5,5V w wersji dla akumulatora 6V). Gdy D4 jest zaświecona, na złączu J3 (wyjściu) powinno pojawić się napięcie. Analogicznie należy sprawdzić obwody progi napięciowe włączające/wyłączające ładowanie. Zachowanie układu (LED D6) powinno być zgodne z opisem działania układu. Należy pamiętać, że



zaświecenie D6 (włączenie ładowania) następuje z 10s opóźnieniem, a jej wygaszenie natychmiast po osiągnięciu progu wyłączenia ładowania. Progi napięciowe będą zależne od temperatury otoczenia w stopniu takim, w jakim zostały zdefiniowane w programie współczynniki korekcyjne. Zmieniając temperaturę czujnika U3 (w etapie uruchamiania zamiast U3 można podłączyć potencjometr 10kΩ), sprawdzić działanie korekcji temperaturowej napięć oraz reakcję na temperatury spoza zakresu roboczych. Reakcja LED D6 powinna być zgodna z opisem zawartym w poprzednim śródtytuł. Jeżeli tak jest, to układ można uznać za uruchomiony. Posiadacze dokładnych termometrów mogą dodatkowo dokonać programowej kalibracji przesunięcia (offsetu) czujnika temperatury. Znając temperaturę odczytaną z termometru umieszczonego w pobliżu czujnika U3 i porównując ją z napięciem na nóżce 2 czujnika, można wyliczyć czy i o ile napięcie to jest zawyżane bądź zaniżane. Korektę przesunięcia U2 należy przeprowadzić, modyfikując stałą **ZERO_K (273U)** w pliku *global.h*, dodając lub odejmując wyliczoną wartość T_{DIF} (zależnie od jej znaku) ze wzoru: $T_{DIF} = (T_A [^{\circ}C] + 273^{\circ}K) - V_{U2}[V] * 100$ Gdzie: T_A – temperatura zmierzona; V_{U2} – napięcie czujnika U2. Zerowa wartość T_{DIF} oznacza brak błędu przesunięcia czujnika. **W docelowym zastosowaniu, ze względu na duże prądy zwarcia akumulatora, zastosowanie bezpiecznika włączonego w obwód akumulatora (jak na schemacie ideowym) jest bezwzględnie wymagane.** Jego nominal będzie oczywiście zależeć od przewidywanego prądu maksymalnego, jaki będzie płynął z/do akumulatora. Widoczna

Wykaz elementów

R10	470Ω
R19	2,2kΩ
R7	3,3kΩ metalizowany 1%
R8	3,9kΩ metalizowany 1%
R2	4,7kΩ
R3,R4,R6	10kΩ metalizowany 1%
R1,R12,R14,R17,R18	10kΩ
R15,R16	47kΩ
R5,R9,R11,R13	100kΩ
P1	1kΩ pot. mont RJ9W
C2	1nF foliowy
C1,C3	100nF ceramiczny
C6,C7	100nF foliowy
C4,C5	47uF/25V
D1,D5,D7	1N4148
D2 Zener	18V
D3 Zener	5V6
D4	LED niskoprądowa zielona ø3mm
D6	LED niskoprądowa czerwona ø3mm
T1,T7,T8	BC547C
T5,T6	BC557C
T2,T3,T4	IRF5409
U1	ATTINY13A
U2	TL431
U3	LM335
J1,J3,J4	Złącze śrubowe rozłączne MSTBA2
J2	Złącze grzebieniowe 2,54mm M2×3

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w Sklepie AVT jako zestaw AVT3270

na fotografiach obudowa prototypu może stanowić źródło inspiracji. Jednak nie spełnia kryterium hermetyczności, co może być wymagane, gdyby układ miał pracować w trudniejszych warunkach „plenerowych”. W takim przypadku układ dobrze jest zamknąć w hermetycznej obudowie. Ponieważ rozmieszczenie otworów montażowych w PCB nie zostało dostosowane do konkretnego typu obudowy dostępnej w handlu, mocowanie układu do obudowy najłatwiej wykonać za pomocą samoprzylepnych kołków montażowych (np. takich jak na fotografiach). Wiązki przewodów należy poprowadzić przez dławicę w taki sposób, by do wnętrza obudowy nie dostawała się woda. Czujnik U3 można zamontować na PCB lub z zastosowaniem przewodów w pobliżu akumulatora.

Cyprian Kamil Kowalski
c4v2@o2.pl

