

Solarna ładowarka akumulatorów 12V – stabilizator równoległy

Stabilizator równoległy, kontroler ładowania akumulatora żelowego 12V z panelu fotowoltaicznego. Jego zaletą jest wysoka sprawność przekazywania energii z fotoogniwa do akumulatora przy relatywnie prostocie układu.

Do czego to służy?

Inspiracją do opracowania niniejszego układu była lektura artykułów z cyklu „Inteligentne ładowarki akumulatorów żelowych” publikowanego jakiś czas temu na łamach EdW. Krótki opis zalet stabilizatora równoległego zachęcił mnie do eksperymentów praktycznych z ładowarką w tej topologii. Układ jest zasilany z panelu fotowoltaicznego kontrolerem nadzorującym proces ładowania akumulatora żelowego 12V niedopuszczającym do jego przeładowania. Ładowarka nadzoruje jedynie napięcie końcowe ładowania (z korekcją temperaturową). Maksymalny prąd ładowania wyznacza wydajność prądowa fotoogniwa. Wydajność panelu fotowoltaicznego nie może być większa niż określony przez producenta akumulatora maksymalny prąd ładowania I_{MAX} (0,1C do 0,3C). Przykładowo by bezpiecznie ładować akumulator $C=10Ah$ i $I_{MAX}=0,2C$ maksymalny prąd z fotoogniwa nie może być większy niż 2A. Zastosowane w ładowarce mosfety z kanałem P, mimo że są droższe od mosfetów N, umożliwiły (bez zbędnej komplikacji) realizację układu, z „niedzielną” masą systemu ładowania, co często jest istotne. W podstawowej niskomocowej wersji (maksymalnie do 30W..40W) tranzystor mocy może być montowany bez pośrednictwa zwiększającej rezystancję cieplną podkładki izolacyjnej, ponieważ jego dren (wkładka radiatorowa) może być bezpośrednio połączony z masą. Dzięki temu struktura „rozpraszacza mocy” ma lepsze warunki chłodzenia, a spory radiator może być połączony z masą układu. Blok tranzystora

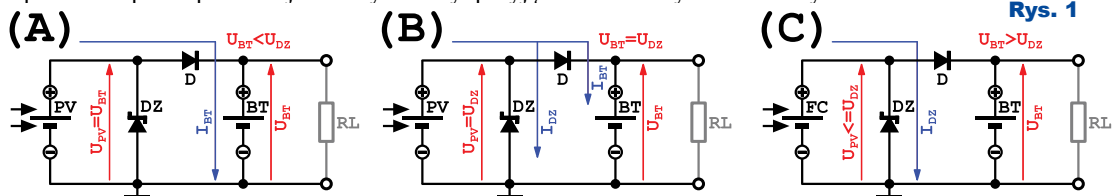
– radiator, gdy akumulator jest naładowany musi wytracić niemal całą moc fotoogniwa na ciepło. Wymóg stosowania dużych radiatorów w stabilizatorach równoległych jest niewątpliwie ich wadą, jednak biorąc pod uwagę korzyści związane z niewielkim spadkiem napięcia, jest to rozwiązanie warte zastosowania w niewielkich instalacjach słonecznych (do kilkudziesięciu W). Włączenie między dren a masę tranzystora zewnętrznego obciążenia tj. zestawu rezystorów dużej mocy (grzałek) umożliwia zwiększenie mocy układu ładowarki (do ok.70W). Polega to na podzieleniu mocy traconej między tranzystor a obciążenie w stosunku zależnym od oporu tegoż obciążenia. Prezentowany układ wyposażony jest w złącze do dołączenia zewnętrznego obciążenia (między dren a masę tranzystora mocy). W takim przypadku konieczne jest zastosowanie podkładki izolacyjno termoprzewodzącej między radiatorem a tranzystorem mocy. Prostota i brak występujących zakłóceń o częstotliwościach radiowych często występujących w niedopracowanych układach impulsowych jest istotną zaletą ładowarek równoległych.

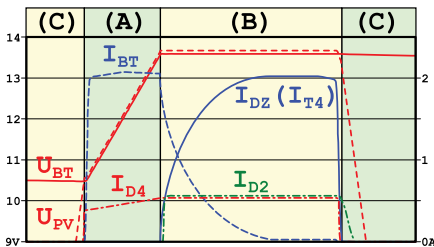
Jak to działa?

Działanie równoległego kontrolera ładowania można zobrazować jako połączenie dwóch diod, jak na rysunku 1. Dla poniższej analizy należy przyjąć że na

diodzie D (jej rola zostanie wyjaśniona poniżej) nie występuje spadek napięcia przy przewodzeniu i fotoogniwa są wystarczająco oświetlone. W sytuacji (A) gdy napięcie akumulatora jest mniejsze od napięcia Zenera DZ, z fotoogniwa płynie prąd ładujący akumulator. Ponieważ źródła prądowego maksymalny prąd ładowania wyznaczany jest przez ich wydajność, a napięcie na nich „przysiada” do wartości napięcia akumulatora (pomijając spadek na diodzie D). Podczas ładowania wartość napięcia akumulatora powoli wzrasta, by po osiągnięciu napięcia diody Zenera DZ się ustabilizować. Wtedy to prąd akumulatora samoczynnie spada, a nadmiar prądu z fotoogniwa jest przejmowany przez DZ. Po jakimś czasie większość prądu płynie przez DZ, a przez akumulator płynie jedynie niewielki prąd doładowujący (kompresujący samorozładowywanie) co ilustruje (B). Oczywiście DZ powinna mieć możliwość rozproszenia mocy maksymalnej (odpowiedni radiator) dostarczonej z fotoogniwa, co wynika zasady działania stabilizatora

Rys. 1





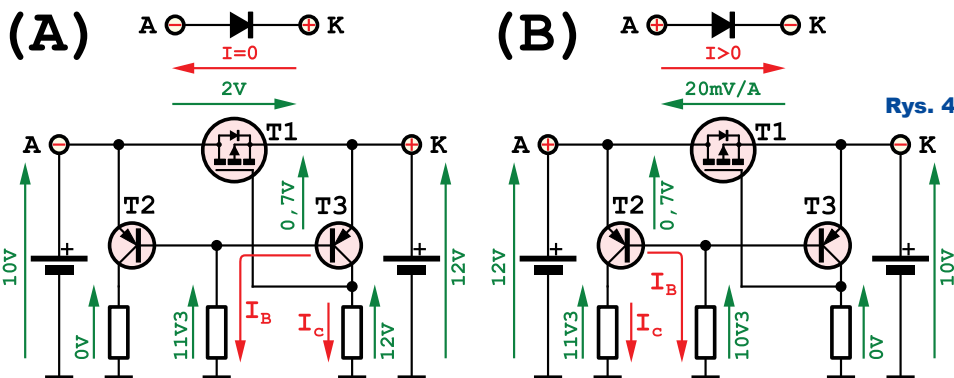
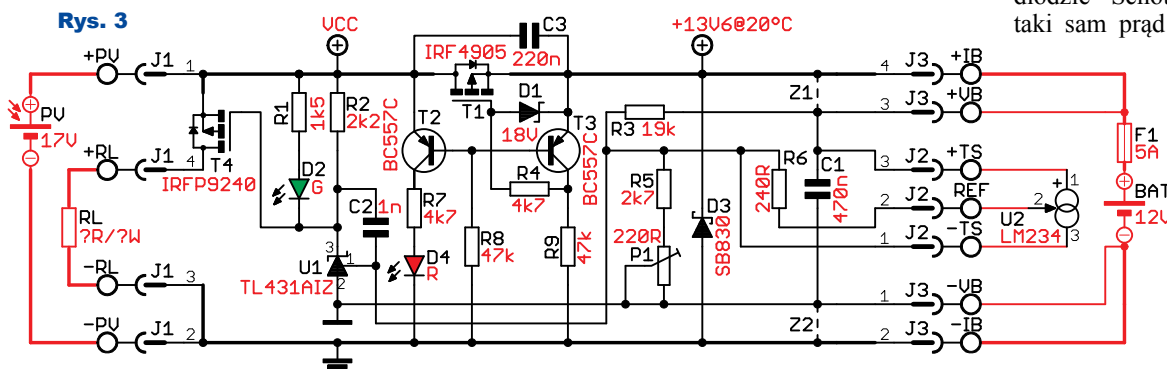
równoległego. Powyższy opis ilustrują przebiegi na **rysunku 2**, który dla potrzeb dalszego opisu uwzględnił dodatkowo prądy LED D2, D4, sygnalizujących bieżący tryb pracy urządzenia (w celu większej czytelności przebiegi te nie są w skali prądowej). Schemat ideowy stabilizatora widoczny jest na **rysunku 3**. Ładowarka posiada konfigurowane na etapie montażu wypro-

wadzenia do podłączenia akumulatora. Bez wlutowanych zwór Z1, Z2 wyjścia rozdzielone są na prądowe i napięciowe (pomiarowe). W takiej konfiguracji przez przewody pomiarowe płynie jedynie niewielki prąd dzielnika pętli sprzężenia i spadki napięcia na przewodach prądowych są kompensowane (co skraca proces ładowania). Wzmacniacz błędu „widzi” bezpośrednio napięcie na zaciskach akumulatora tj. bez spadków napięcia na przewodach dostarczających prąd ładowania. Kompromisowe umieszczenie bezpiecznika F1 (jak na schemacie) sprawia że jego rezystancja nie jest kompensowana. Połączenie czteroprzewodowe mimo zalet, przy większych odległościach zwiększa możliwość potencjalnej awarii (w przypadku przerywania któregoś z przewodów). Pod względem awaryjności korzystniejsze jest połączenie dwuprzewodowe, które wymaga połączenia obwodów „napięciowych” z „prądowymi” tj. wlutowania zwór Z1 i Z2. W obu wariantach masa napięciowa -VB i prądowa -IB są połączone, jak również obwody +VB i +IB są ze sobą połączone. Różnica polega tylko w fizycznym miejscu połączenia tych obwodów (przy wyprowadzeniach akumulatora, lub na PCB), i nie jest istotna w poniższej analizie działania układu. W praktycznym układzie rolę diody D zapobiegającej rozładowywaniu akumulatora przez strukturę nieoświetlonych fotoogniw



jak i sam regulator (np. gdy podłączono naładowany akumulator o wyższym od U_{DZ} napięciu), pełnią tranzystory T1, T2, T3 wraz z elementami towarzyszącymi. Przekłada się to korzystnie na sprawność ładowarki, gdzie prawie cała moc z fotoogniw jest dostarczana do akumulatora (nie występuje znaczący spadek napięcia jak w stabilizatorze szeregowym). Straty wyznaczone są przez spadek napięcia na $R_{DS(on)}$ T1 tj. rezystancji jego otwarcia (plus rezystancja przewodów). Stosunkowo niewielka wartość $R_{DS(on)}=20m\Omega$ oznacza niewielki spadek napięcia, małe straty cieplne przy relatywnie dużych prądach. Moc tracona w T1 która wynosi $P=I^2 \cdot R_{DS(on)}$ jest sporo niższa od strat na diodzie Schotky'ego przewodzącej taki sam prąd (rzędu 2..5A). Przy-

kładowo przy prądzie ładowania 3A z około 40W dostarczanych przez fotoogniwa, na ciepło w ładowarce zamieniane jest jedynie około 0,2..0,4W (0,5..1%). Bez uwzględnienia rezystancji przewodów łączących

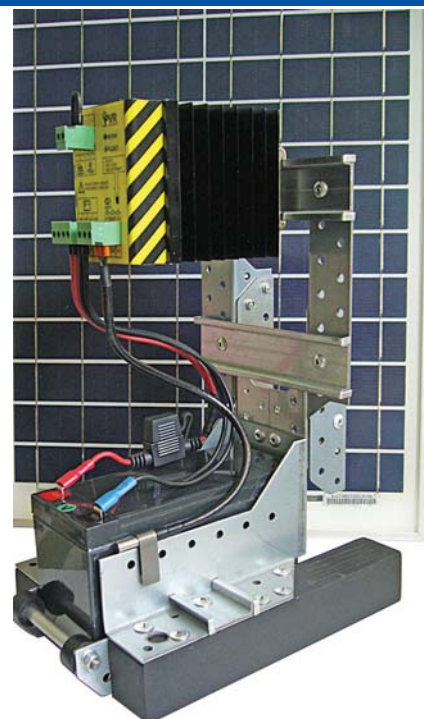


Panel, ładowarkę i akumulator, sprawność ładowarki wynosi 99%! Tranzystor mosfet można potraktować w uproszczeniu, jako sterowany napięciowo rezystor. Jeżeli polaryzacja bramki względem źródła (U_{GS}) jest wystarczająca do jego otwarcia to kierunek przepływu prądu zależy tylko od potencjałów na źródle i drenie. Odwrotne włączenie T1 wynika z istnienia parazytowej struktury diodowej, która uniemożliwia uzyskanie przepływu prądu tylko w jednym kierunku przy „standardowym” jego

włączeniu. Zasadę działania takiej „mosfetowej” diody ilustruje **Rysunek 4**. Na rysunku nie uwzględniono spadku napięć na rezystancjach wewnętrznych rzeczywistych źródeł napięciowych. Potencjał na bazach T2, T3 jest zawsze mniejszy o 0,7V od napięcia o wyższej wartości (na drenie lub źródle T1). Napięcie na źródle jest wyższe od potencjału drenu gdy taka „dioda” spolaryzowana jest zaporowo (**A**). Bazy T2, T3 znajdują się na potencjale niższym o 0,7V od napięcia na źródle T1. Napięcie U_{BE} T2 jest niewystarczające do jego otwarcia. Napięcie U_{BE} T3 (0,7V) powoduje przepływ prądu przez jego bazę. Przewodzący T3 zatyka T1 łącząc źródło z jego bramką. Odwrotna sytuacja jest przy polaryzacji w kierunku przewodzenia (**B**). Bazy T2, T3 są na potencjale mniejszym o 0,7V od napięcia na drenie T1. Zatkany jest T3 (niewystarczające do otwarcia napięcie U_{BE}), a T2 przewodzi zaświecając czerwoną LED D4 sygnalizującą polaryzację przepustową T1. Otwarty jest T1 którego bramka jest połączona z masą przez rezystor R8. Zaświecenie D4 jest informacją że fotoogniwa są wystarczająco oświetlone by mógł z nich popłynąć prąd ładowania. Dioda Zenera D1 uniemożliwia przekroczenie napięcia U_{GSMAX} T1 poza katalogową wartość dopuszczalną. Ograniczenie prądu ładowania pojemności bramki T1 do bezpiecznej wartości zapewnia rezystor R4. Zastąpienie DZ (z rysunku 1) precyzyjnym wzmacniaczem błędów U1 (TL431) sterującym mosfetem mocy T2 pozwala uzyskać wymaganą stabilność i precyzję napięcia końcowego. Programowana dioda Zenera U1 przypomina swym działaniem tranzystor NPN, tyle że o skompresowanym temperaturowo napięciem U_{BE} na końcówce referencyjnej równym $U_{REF}=2,495V$. Działanie stabilizatora polega na takim otwieraniu T4 by napięcie na dzielniku R3, R5, P1 było równe napięciu odniesienia U1 U_{REF} . Gdy napięcie VCC rośnie, zwiększa się prąd dzielnika. Większe jest napięcie na końcówce referencyjnej i do katody U1 wpływa więcej prądu powodując większy spadek na R2 co bardziej odtyka T4, który zwniera do masy więcej prądu zmniejszając odpowiednio napięcie VCC. Analogicznie zmniejszanie napięcia VCC zmniejsza prąd dzielnika. Mniejsze od U_{REF} napięcie z dzielnika powoduje że U1 zmniejsza prąd katody. Mniejszy spadek napięcia na R2 zmniejsza prąd drenu T4 zwiększając odpowiednio napięcie VCC. Praktycznie ustali się stan równowagi tak by napięcie z dzielnika było równe U_{REF} .

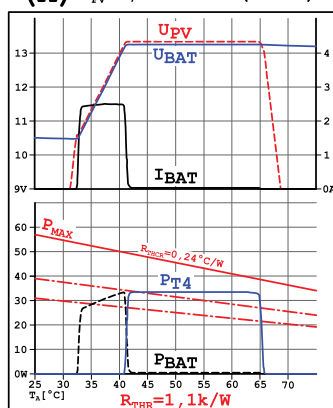
Dołączenie pętli sprzężenia zwrotnego za „diodą” T1 umożliwia kompensację jej spadku napięcia. Układ jest więc odpowiednikiem diody Zenera dużej mocy o precyzyjnym, mało zależnym od temperatury napięciu Zenera. Gdy akumulator nie jest ładowany, mosfet T4 dzięki „potężnej” obudowie TO247AC (nieduża wartość R_{THCR} tj. rezystancji termicznej połączenia obudowa radiator z użyciem pasty termoprzewodzącej) jest w stanie rozproszyć zakładaną moc fotoogniw. Rozproszenie mocy $P=30W$ przy zastosowanym typie T4 ($T_J=150^{\circ}C$, $R_{THJC}=0,83^{\circ}C/W$, $R_{THCR}=0,24^{\circ}C/W$) wymaga doboru radiatora. Różnicę temperatur między złączem i radiatorem dla mocy traconej równej $P_{MAX}=30W$ określa wzór: $\Delta T_{CR}=P_{MAX} \cdot (R_{THJC}+R_{THCR})$ i wynosi $30 \cdot 1,07=32,1^{\circ}C$. Dla pesymistycznego przypadku temperatury otoczenia $T_A=75^{\circ}C$ (upalny dzień, regulator zamontowany w mało przewiewnej skrzynce, oczywiście akumulator znajduje się w temperaturze dużo niższej umożliwiając bezpieczne ładowanie np. jest w studziencie) różnica temperatur między złączem i otoczeniem $\Delta T_{JA}=T_J-T_A$ wynosi $150-75=75^{\circ}C$. Zapas różnicy temperatur między radiatorem i otoczeniem ($\Delta T_R=\Delta T_{JA}-\Delta T_{CR}$) wyniesie $\Delta T_R=75-32=43^{\circ}C$. Do odprowadzenia ciepła wymagany jest zatem radiator o rezystancji termicznej ($R_{THR}=\Delta T_R/P_{MAX}$) mniejszej niż $43/30=1,4^{\circ}C/W$. Ograniczeniem „wąskim gardłem” IRFP9240 w odprowadzaniu mocy jest jego rezystancja R_{THJC} , oraz temperatura maksymalna złącza T_J .

Zmieniając typ tranzystora na taki o mniejszej wartości R_{THJC} , oraz większej T_J (np. $T_J=175^{\circ}C$) możliwe jest zwiększenie mocy strat tj. podłączenie fotoogniwa o nieco większej mocy. Dla wersji z zewnętrznymi rezystorami dużej mocy tj. dołączonym obciążeniem RL w powyższych rachunkach, należy uwzględnić rezystancję termiczną wymaganej w takim przypadku podkładki termizacyjnej pod T4. Ponieważ podkładka znacznie zwiększa rezystancję termiczną, pesymistycznie można oszacować że możliwa do rozproszenia moc przez T4 z użyciem podkładki ($R_{THCR}=2^{\circ}C/W$) będzie 45% mniejsza niż bez niej (przy tym samym radiatorze). Nie jest to prob-

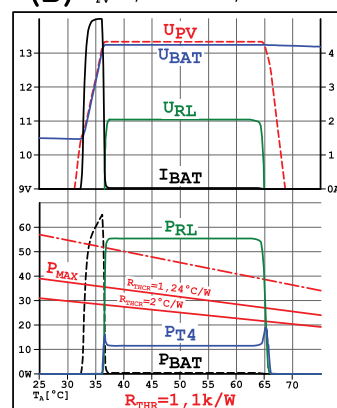


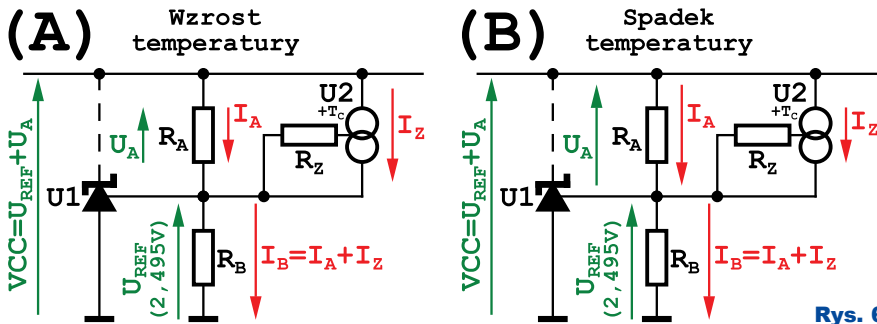
lemem, ponieważ w takiej konfiguracji (przy właściwie dobranej rezystancji RL, zależnie od maksymalnego prądu fotoogniwa) na T4 (w szczytach) wydzieląć będzie jedynie $\approx 1/3$ dostarczanej mocy, reszta mocy (tj. $\approx 2/3$) tracona jest na RL. W procesie ładowania stosunek mocy traconej w T4 oraz RL nie jest stały. Jak przedstawia **rysunek 5**, wariant gdzie moc tracona jest w T4 i w RL (**B**) pozwala na podwojenie mocy ładowania w stosunku do wersji z T4 bez „wspomagania” (**A**). Proste na dolnych wykresach reprezentują wartości maksymalnych strat jakie może rozproszyć zastosowany w prototypie radiator ($R_{THR}=1,1k/W$), zależnie od temperatury otoczenia T_A i rezystancji termicznej R_{THCR} (ze smarem i podkładkami izolacyjnymi). Wartość rezystancji obciążenia można obliczyć ze wzoru: $RL[\Omega]=U_{RL}[V]/I_{PV}[A]$, gdzie: U_{RL} – wymagany spadek napięcia na obciążeniu, I_{PV} – maksymal-

(A) $I_{PV}=2,5A$ $RL=0\Omega$ (zwora)



(B) $I_{PV}=5,0A$ $RL=2,2\Omega$

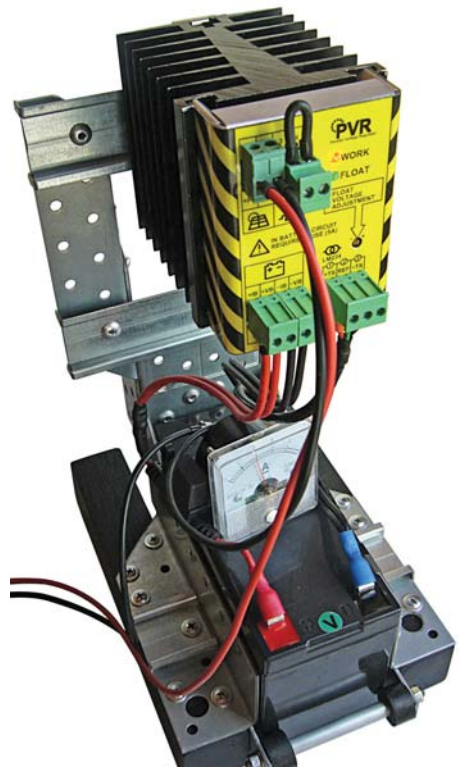




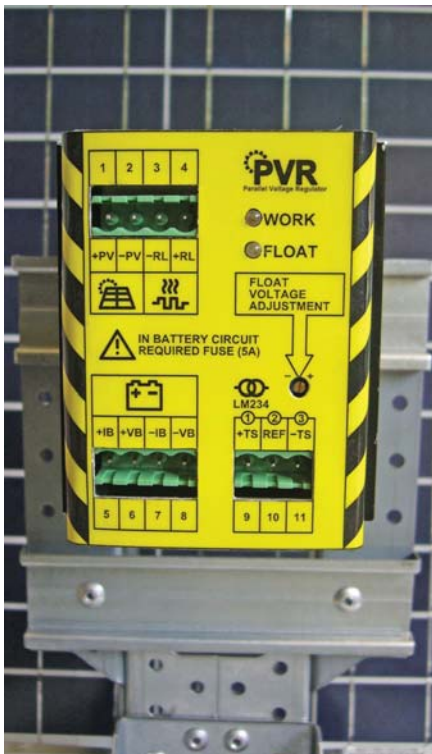
Rys. 6

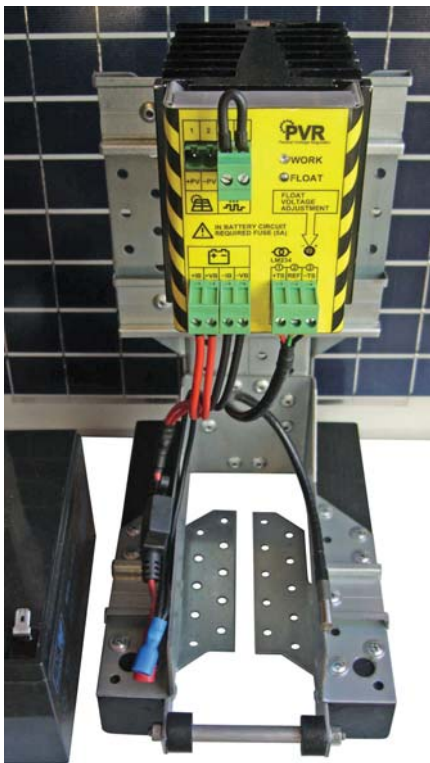
ny prąd fotoogniwa. Wartość U_{RL} jaką należy przyjąć powinna być mniejsza od minimalnego napięcia końcowego akumulatora dla najwyższej przewidywanej temperatury akumulatora (z uwzględnieniem współczynnika korekcyjnego). Bezpieczny spadek napięcia na RL (U_{RL}) jaki należy przyjąć do obliczeń to około 11..12V. Wartość zamienianej na ciepło mocy w RL jest relatywnie duża. Dlatego jako RL powinien pracować zestaw zewnętrznych rezystorów (połączonych szeregowo lub/i równolegle zależnie od nominalów) zapewniający nie tylko wymaganą rezystancję, ale i obciążalność. Przy obliczaniu wypadkowej rezystancji zestawu zewnętrznych rezystorów należy koniecznie uwzględnić rezystancje przewodów łączących z ładowarką. Chociaż jako T4 mógłby pracować Darlington mocy PNP, to zastosowanie tranzystora mosfet w tej roli „zwalnia” U1 ze sterowania prądowego (nie ma prądu bazy). Wartość rezystora R2 zapewnia prąd zasilania większy niż minimalny 1mA do

poprawnej pracy U1 w szerokim zakresie wartości napięcia VCC. Gdy T4 nie przewodzi (napięcie akumulatora nie osiągnęło progu końcowego) napięcie na R2 jest mniejsze od napięcia przewodzenia U_F LED D2, która nie świeci. Napięcie U_{DS} (2..4V) przewodzącego T4 jest wystarczające aby popłynął prąd przez R1 i LED D2. Zaświecona D2 informuje że układ przeszedł do trybu stabilizacji napięcia tj. napięcie na akumulatorze osiągnęło próg końcowy ładowania. Ponieważ po osiągnięciu napięcia końcowego ładowania przez akumulator płynie jeszcze (zmniejszający się) prąd ładowania, świecenie D2 nie informuje o jego faktycznym naładowaniu. Włączenie do dzielnika pętli sprzężenia zwrotnego źródła prądowego U2 z rezystorem R6 umożliwiło realizację zalecaną przez producentów akumulatorów korekcji temperaturowej napięcia końcowego. Źródło prądowe U2 (LM234) pracuje jako czujnik temperatury, jako że posiada dodatni współczynnik temperaturowy i jego prąd zmienia się liniowo przy zmianach temperatury. Połączony przewodami z ładowarką czujnik temperatury powinien być umieszczony jak najbliżej ładowanego akumulatora oraz w stosownej odległości od radiatora ładowarki (by zapobiec podgrzewaniu czujnika). Działanie korekcji przedstawia **rysunek 6**. Proporcjonalnie do wzrostu temperatury **(A)** zwiększa się wartość prądu I_Z ze źródła U2 i odkłada się większy spadek napięcia na R_B tj. R5, P1 na schemacie ideowym. Dla układu z zamkniętą pętlą sprzężenia jest to sygnał by tak zmniejszyć napięcie VCC by prąd I_A rezystora R_A (R3 na schemacie ideowym) zmniejszyć o wartość przyrostu prądu I_Z źródła U2 (prąd I_Z źródła U2 się nie zmienia przy zmianie napięcia VCC) i utrzymać napięcie na R_B równe referencyjnemu U_{REF} . Odwrotnie **(B)**, spadek temperatury powoduje proporcjonalne zmniejszenie prądu I_Z i U1 zwiększa napięcie U_{DZ} by zwiększyć prąd I_A o ubytek prądu I_Z źródła tj. utrzymać sumę prądów płynących przez R_B tak by spadek na nim był równy napięciu refe-



rencyjnemu. Korekcja temperaturowa polega zatem na utrzymywaniu stałego prądu płynącego przez R_B tj. utrzymywaniu na nim stałego spadku napięcia $U_{REF} = 2,495V$. Obliczenie wartości elementów takiego dzielnika należy rozpocząć od przyjęcia pewnych założeń. W prototypie przyjęto napięcie końcowe $U_{BAT} = 13,6V$ w temperaturze $T_{BAT} = 20^\circ C$ oraz często zalecany przez producentów akumulatorów współczynnik zmian napięcia końcowego równy $T_C = -18mV/^\circ C$ (parametry dla pracy buforowej). Poniższy opis pozwala na łatwe przeliczenie wartości elementów w celu dostosowania układu do innych zakładanych parametrów ładowania. Jako T_{BAT} do dalszych obliczeń należy przyjąć temperaturę dla jakiej producent akumulatora podaje wartość napięcia końcowego (dla pracy cyklicznej lub buforowej) ładowania U_{BAT} (VCC na rysunku) podaną w stopniach Kelvina $T_{BAT}[^\circ K] = T_{BAT}[^\circ C] + 273,15$. Wartość stabilizowanego przez U2 prądu wyznacza rezystor R_Z (R6) według zależności: $I_Z = 227uV/R_Z * T_{BAT}$. Wzór jest słuszny dla zakresu prądów 2uA do 1mA. Prąd źródła prądowego nie powinien też być zbyt duży, by nie podgrzewać U2. Wartość R_Z (w prototypie $R_6 = 240\Omega$) wyznacza pośrednio prąd całego dzielnika, który ze względu na możliwość przenikania zakłóceń nie powinien być zbyt mały. Przyjęta kompromisowa wartość prądu dzielnika w prototypie to około 1mA. Wartość R_A wynika z wyrażenia $R_A = |R_Z * T_C / 227uV|$, natomiast płynący





przez niego prąd wynosi $I_A = (U_{BAT} - U_{REF}) / R_A$. Założenie że prąd rezystora R_B wynosi $I_B = I_Z + I_A$ pozwala obliczyć jego wartość z równania $R_B = U_{REF} / I_B$. Jako R_3 , R_6 należy zastosować metalizowane, jedno-procentowe, precyzyjne rezystory o wartościach jak najbardziej zbliżonych do obliczonych. Suma wartości $R_5 + P_1$ powinna być większa od obliczonej o 10% do 20% a stosunek R_5 / P_1 nie większy jak 5/1. Powyższe obliczenia obarczone są błędem wynikającym z nieuwzględnienia prądu końcówki referencyjnej U_1 . Wynikającą z tego, jak i z tolerancji użytych rezystorów odchyłkę napięcia końcowego można skompensować P_1 , bez istotnego wpływu na współczynnik korekcji T_C . Potencjometr rozwiązuje problemem stabilności długoterminowej rezystorów pozwalając na okresową regulację układu. Warunkiem jest jednak użycie potencjometru dobrej jakości by jego rezystancja nie „pływała” znacząco w temperaturze. Można również zrezygnować z P_1 (włutować zworę) i dobrać R_5 , uwzględniając zmiany napięcia końcowego wynikające ze starzenia się elementów. Oczywiście możliwa jest rezygnacja z korekcji temperaturowej. Nie należy wówczas podłączać czujnika U_2 i nie montować R_6 , a rezystory pętli tj. R_3 , R_5 , P_1 odpowiednio przeliczyć. Mimo że większość paneli fotowoltaicznych posiada diodę zabezpieczającą połączoną równolegle do wyprowadzeń, to w układzie zastosowano dodatkowo ośmioamperową diodę

D3, która wraz z bezpiecznikiem F1 stanowi (praktycznie przetestowane) zabezpieczenie przed odwrotnym dołączeniem akumulatora. Kondensator C3 został dodany po testach prototypu. Stromy impuls napięciowy powstały przy podłączeniu klemy akumulatora do ładowarki zasilanej z silnie oświetlonych ogniw powodował zbyt szybkie otwieranie T4. W konsekwencji napięcie na T4 było niższe od napięcia akumulatora i pracujący jako dioda T1 nie był otwierany, co oznaczało brak przepływu prądu ładowania. Identyczna sytuacja występowała przy dołączeniu silnie oświetlonego panelu do złącza J1. Wyjście z tego stanu „zatrzasknięcia” możliwe było przez odłączenie i ponowne złączenie J3, lub zasłonięcie i ponowne odsłonięcie fotoogniw. Dodanie C3 skutecznie likwiduje dyskwalifikującą regulator wadę.

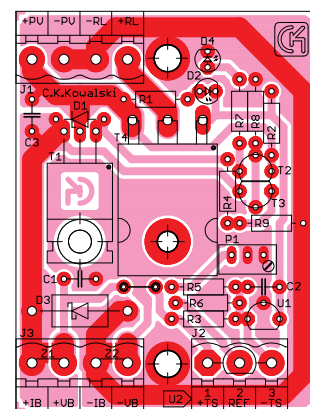
Montaż i uruchomienie

Mozaika jednowarstwowego obwodu drukowanego widoczna jest na **rysunku 7**. W prototypie zastosowany został radiator Stonecold SSRTH-22U przeznaczony pierwotnie do montażu przekazników półprzewodnikowych, wyposażony w uchwyt do mocowania na szynie DIN 35mm. Jego rezystancja termiczna jest mniejsza od pesymistycznej ($T_A = 75^\circ\text{C}$), obliczonej w poprzednim śródtytuł wartości maksymalnej ($R_{THR} < 1,4^\circ\text{C/W}$) i wynosi $\approx 1,1^\circ\text{C/W}$, zapewniając tym spory zapas. W pierwszej kolejności należy wywiercić i nagwintować otwór w radiatorze według **rysunku 8**. Radiator fabrycznie ma wywiercone i nagwintowane otwory 1, 3. Do przykręcenia T4 należy wywiercić i nagwintować (M3) jedynie otwór 2, w czym może być pomocna płytka drukowana wstępnie przykręcona do radiatora. Montaż elementów w uprzednio sprawdzony druk warto rozpocząć od wlutowania jednej zwory. W celu minimalizacji naprężeń mechanicznych, T4 należy poświęcić więcej uwagi. Jest on montowany na PCB od strony lutowania (wkładką radiatorową na

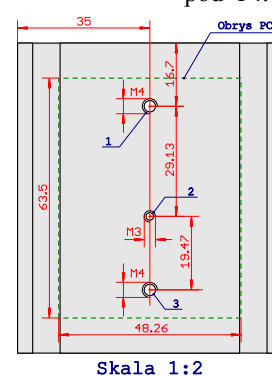


zewnątrz). Po ukształtowaniu wyprowadzeń T4 tak by pasowały w otwory PCB, należy go przykręcić (wstępnie) do PCB, by następnie przylutować jego wyprowadzenia. Ze względu na niewielką moc traconą przez T1 ($\approx 0,5 \dots 1\text{W}$ przy 5A) należy go przylutować „na leżąco” od strony elementów (wkładką radiatorową do PCB). T2 i T3 należy wlutować tak by ich obudowy się stykały, zapewniając tym sprężenie termiczne. Można je „sprzęgnąć” termicznie „termokurczką”, lub odpowiednio ukształtowanym paskiem blachy miedzianej (tak by nie zewrzeć wyprowadzeń). Montaż pozostałych elementów nie wymaga komentarza. Ścieżki którymi płyną znacznej wartości prądu zostały pozbawione warstwy przeciwlutowniczej i koniecznie wymagają zwiększenia przekroju przez

Rys. 7



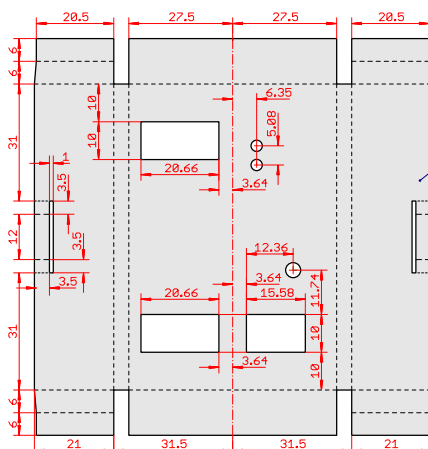
Rys. 8



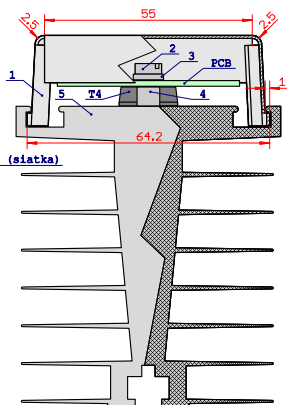
nałożenie stopu lutowniczego. Rezygnacja z czteroprzewodowego połączenia z akumulatorem na korzyść dwuprzewodowego wymaga połączenia zwór Z1, Z2 (pod złączem J3) kroplami spoiwa. Zmontowaną płytkę należy przykręcić do radiatora, co należy rozpocząć od „solidnego” przykręcenia (śrubą M3) T4 koniecznie z zastosowaniem pasty termoprzewodzącej. Jeżeli układ będzie pracował z dodatkowym zewnętrznym obciążeniem (rezystorami) wymagane jest zastosowanie podkładki izolacyjno termoprzewodzącej pod T4. W przeciwnym wypadku można zrezygnować z podkładki, co zmniejszy rezystancję termiczną złącze otoczenie. Dwie pozostałe śruby mocujące PCB (M4) należy przykręcić podkładając między radiator a PCB metalowe tuleje dystansowe ($h=5\text{mm}$). Szczegóły montażu oraz wymiary siatki osłony (obudowy) wykonanej z blachy duralowej obrazuje **rysunek 9**. Korzyść wynikająca z pozornej kom-

plikacji gięć i tłoczeń polega na tym że, tak wykonana obudowa mocowana jest zatrzaskowo tj. bez użycia śrub. Przy odrobinie chęci taką obudowę można wykonać przy użyciu niewyszukanych narzędzi. Szczegóły widoczne są na fotografiach. Ładowany akumulator powinien znajdować się w takiej odległości od ładowarki by nie był podgrzewany ciepłem radiatora. Przekroje przewodów połączeniowych powinny być stosowne do wartości płynących przez nie prądów. Na ich końcach

od strony złącz J1..J3 warto zaciśnąć końcówki (tulejki) zaciskowe, a od strony akumulatora stosowne konektory. ***Ze względu na bardzo duże prądy zwarcia-
we akumulatora (możliwość powstania
pożaru), uwzględnienie bezpiecznika
F1 jest bezwzględną koniecznością.*** F1 Powinien być montowany jak najbliższej dodatniego zacisku akumulatora, a jego wartość zależna jest od maksymalnej wartości panelu fotowoltaicznego. Dla wariantu z zewnętrznym obciążeniem RL, obliczenie (dobór) wypadkowej rezystancji zestawu rezystorów dużej mocy powinno uwzględniać rezystancję przewodów łączących RL z ładowarką, co zostało opisane w poprzednim śródtytu-
le. Jako że rezystorów RL mogą się silnie rozgrzewać, ich zamocowanie powinno wykluczyć możliwość parzeń przez osoby postronne. Zagadnieniem wykracza-

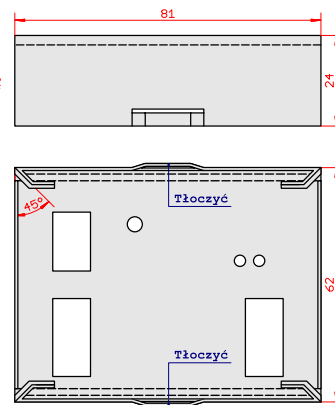


UWAGA! Otwory w cz. 1 wykonać po jej gięciu, dopasowując ich położenie do elementów płytki drukowanej wstępnie zamocowanej do radiatora



Spis materiałów:

- (1) - Blacha duralowa 0.8mm/105x105mm
(2,3,4) - Wkręt M4 z podkładką i tule
(5) - Radiator SSRTH-82U (Stonecold)

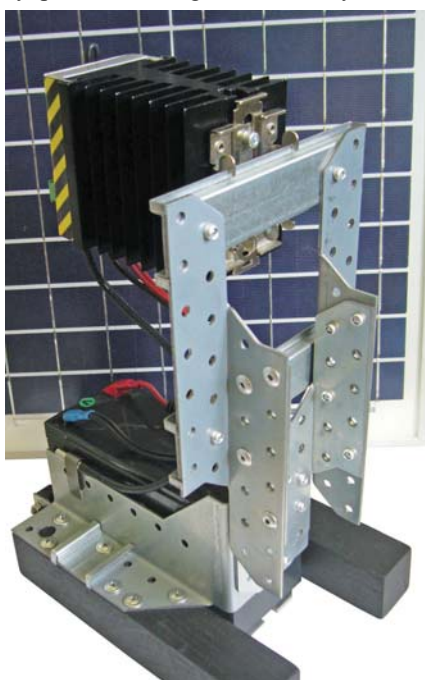


Skala 1:2

Rys. 9

jącym poza ramy artykułu jest zastosowanie w roli RL grzałki podgrzewającej wodę z zbiorniku (bojlerze). Czujnik temperatury powinien znajdować się możliwie blisko akumulatora i być zabezpieczony przed wpływem wilgoci. Podczas prób prototyp został zamocowany do stelaża testowego (zbudowanego z łatwo dostępnych łączników (okuc) używanych w stolarce dachowej) umożliwiającego stabilny montaż akumulatora oraz pomocniczych urządzeń (np. układ ochronny przed nadmiernym rozładowaniem, amperomierz, woltomierz etc.) wyposażonych w uchwyty do mocowania na szynie DIN 35mm. Uruchomienie sprawdza się do podłączenia do wejścia przez rezystor $100\Omega/0,25W$ napięcia 17V z zasilacza regulowanego oraz woltomierza do konektorów przeznaczonych do podłączenia akumulatora. Przy regulacji potrzebny będzie termometr do pomiaru temperatury przy czujniku U2. Potencjometrem P1 należy ustawić wartość napięcia na włączce akumulatora, co odpowiada ustawieniu napięcia końcowego ładowania. Wartość ustawianego napięcia należy obliczyć uwzględniając współczynnik temperaturowy T_C (przy elementach jak na schemacie $-18mV/^{\circ}C$) oraz temperaturę czujnika U2 (w czasie regulacji) według wzoru $U_X = U_{BAT} + (T_C * (T_{BAT} - T_{AMB}))$, gdzie U_{BAT} napięcie końcowe zalecane przez producenta akumulatora w temperaturze T_{BAT} (zwykle 13,65V dla pracy buforowej), T_{AMB} temperatura mierzona podczas regulacji przy czujniku U2. Właściwą korektę napięcia końcowego należy przeprowadzić w docelowych warunkach pracy tj. podczas ładowania akumulatora. Zmieniając wartość dołączonego napięcia sprawdzić reakcję LED sygnalizacyjnych D2, D3 która powinna być zgodna z opisem w poprzednim śródtytułe. Jeżeli tak jest układ

można uznać za uruchomiony. W czasie braku ładowania układ ładowarki pobiera z akumulatora jedynie $\approx 1,5\text{mA}$ prądu, co jest znikomą wartością w stosunku do prądu samorozładowania. Dla układu pracującego w „trudnych” warunkach plenerowych gdy temperatury mogą spadać poniżej zera ważne jest zastosowanie wersji U1, U2 dla których producent gwarantuje poprawną pracę w temperaturach ujemnych odpowiednio TL431AIZ i LM234 zamiast „zwykłego” LM334. Prawidłowy dobór wersji układów scalonych w zależności od przewidywanych temperaturowych warunków pracy daje gwarancję prawidłowego funkcjonowania zbudowanego w ich oparciu układu. Zaniedbanie to nierzadko widać na schematach układów przeznaczonych do pracy w szerszym niż pokojowa zakresie temperatur (np. zastosowaniach motoryzacyjnych) gdzie często można



np. zauważyć popularny LM358 (gwarantowana poprawna praca od 0°C!) zamiast LM258. Wynikające z tego błędne działanie układu jest potencjalnie trudne do wykrycia przez hobbystę w procesie uruchamiania, który zwykle przeprowadzany jest w temperaturze pokojowej. Inną sprawą jest możliwość ładowania akumulatora żelowego lub AGM poniżej 0°C. Dane na ten temat wydają się być niespójne, bo jak rozumieć podawane jednocześnie parametry (w tej samej nocy katalogowej akumulatora) dolny próg temperatury ładowania równy 0°C i współczynniki korekcyjne napięcia końcowego ładowania dla temperatur dużo poniżej 0°C? Zastrzeżenia również budzi podawana wartość do jakiej spada prąd po naładowaniu, która w niektórych notach jest identyczna dla obu napięć końcowych tj. dla pracy buforowej i cyklicznej (o mniejszej wartości, takiej jak

Wykaz elementów

R6	240Ω metalizowany 1%
R4	470Ω
R1	1,5kΩ
R2	2,2kΩ
R5	2,7kΩ metalizowany 1%
R7	4,7kΩ
R3	19kΩ metalizowany 1%
R8,R9	47kΩ
P1	220Ω pot. mont RJ9W
C2	1nF foliowy
C2	220nF foliowy
C1	470nF foliowy

D1	18V Zener
D2	LED niskoprądowa zielona ø3mm
D3	SB830 Schotky 30V/8A
D4	LED niskoprądowa czerwona ø3mm
T1	IRF4905
T2,T3	BC557C
T4	IRFP9240
U1	TL431AIZ
U2	LM234
J1	MSTB4V raster 5,0mm
J2	MSTB3V raster 5,0mm
J3	MSTB4V raster 5,0mm
Radiator	Stonecold SSRTH-22U RTHR<1,4°C/W [k/W]
RL	Zestaw rezystorów dużej mocy - patrz tekst

dla pracy buforowej sic!). Sugerowało by to że można pozostawić akumulator w ładowarce na dowolnie długi czas z ustawionym „cyklicznym” napięciem końcowym bez możliwości jego przeładowania. Czy to błąd, czy też zabieg marketingowy zmniejszający trwałość akumulatora pozostawionego w ładowarce

z ustawionym napięciem „cyklicznym” przez nieświadomego użytkownika, zwyfikować mogą jedynie praktyczne pomiary konkretnego akumulatora.

Cyprian Kamil Kowalski
c4v2@o2.pl