



Tester akumulatorów i ogniów z ładowarką

część 1

kit

3126
AVT

Tester pozwoli ocenić jakość nowych oraz stopień zużycia eksploatowanych już akumulatorów a także wybrać z rynku jednorazowe ogniwa o najatrakcyjniejszych parametrach. Testy akumulatorów ułatwi, przyspieszy i rozszerzy wbudowana ładowarka.

Prezentowany tester przeznaczony jest do oceny jakości nowych akumulatorów oraz stanu technicznego (stopnia wyeksploatowania) akumulatorów używanych. Może nas to uchronić przed przykrymi niespodziankami, gdy zasilane urządzenie odmawia posłuszeństwa w najmniej oczekiwanej chwili. Możliwe jest także skuteczne sprawdzenie własności ogniwa i baterii jednorazowego użytku (tych bez możliwości naładowania). Testy ogniwa i baterii jednorazowego użytku są z założenia niepowtarzalne, ponieważ rozładowane ogniwo nie nadaje się do ponownego naładowania. Oprócz wartości poznawczej, testy znakomicie pomogą wybrać z szerokiej oferty rynkowej te ogniwa, które w dłuższym stosowaniu okażą się najlepsze do naszych konkretnych zastosowań (doświadczenie cenne w przypadku wielokrotnych zakupów).

Ocena badanych źródeł energii odbywa się poprzez automatyczne pomiary: pojemności elektrycznej (a w zasadzie zgromadzonego ładunku elektrycznego) Q_a oraz rezystancji wewnętrznej R_{we} . Pomiary te przeprowadzane są przy ustalonym stałym prądzie rozładowania I_r , ustawianym w zakresie od 100 do 500mA z krokiem 10mA.

Urządzenie umożliwia pracę w cyklu: „ładowanie – rozładowywanie” ze źródłami energii elektrycznej o napięciach znamionowych U_{zn} w zakresie od ok. 1 do 8,5V przy maksymalnym prądzie roboczym $I_r = 0,5A$ (wpływ na maksymalną wartość prądu I_r mają także U_{zn} i R_{we} testowanych źródeł energii, co omówiono w dziale poświęconym testom praktycznym). Natomiast mierzone pojemności Q_a

badanych źródeł energii są ograniczone praktycznie tylko czasem, którym dysponujemy na eksperymenty.

Opis układu

Schemat elektryczny testera przedstawiono na rysunku 1. Urządzenie zostało podzielone na trzy główne bloki: pomiarowy, sterujący z mikrokontrolerem ATmega8 oraz wykonawczy z dwoma sterowanymi źródłami prądowymi (rozładowującym i ładującym). Urządzenie należy zasilić stałym napięciem stabilizowanym o wartości 12V, tolerancji nie gorszej od $\pm 0,5V$ i wydajności prądowej nie mniejszej od 0,6A. Tętnienia napięcia zasilającego nie powinny przekraczać 0,2V_{p-p} przy ładowaniu akumulatora maksymalnym prądem 0,5A – jest to istotne dla prawidłowego pomiaru i kontroli prądu ładowania. Współczesne zasilacze wtyczkowe powinny spełniać ten warunek ze sporym zapasem, jednak w przypadku problemów należy odpowiednio zwiększyć wartość kondensatora filtrującego C1 (na płytce drukowanej przewidziano na ten element sporo miejsca – z dużym zapasem na ewentualne zmiany).

Mikrokontroler ATmega8A (U2), taktowany zegarem wewnętrznym RC o częstotliwości 8MHz, zarządza pracą urządzenia. Do stabilizacji napięcia zasilania mikrokontrolera, wyświetlacza alfanumerycznego LCD 16x2 i buzzera SP1 wykorzystano układ LM7805 (U1) w obudowie TO-220 (radiator okazał się zbędny). Kondensatory C2...C4 pracują przy stabilizatorze, C5 i C8 odprzegają zasilanie ATmega i wyświetlacza LCD a elementy C6, C7 i L1 filtrują zasilanie przetwornika analogowo-cyfrowego ADC oraz wewnętrznego źródła napięcia odniesienia $U_{ref} = 2,56V$.

Sterowanie urządzeniem zapewniają kątowe przyciski SW1...SW5 typu „tact-

switch”, zamontowane wprost do płytki drukowanej urządzenia i wyprowadzone na panel sterujący. Ich funkcje to:

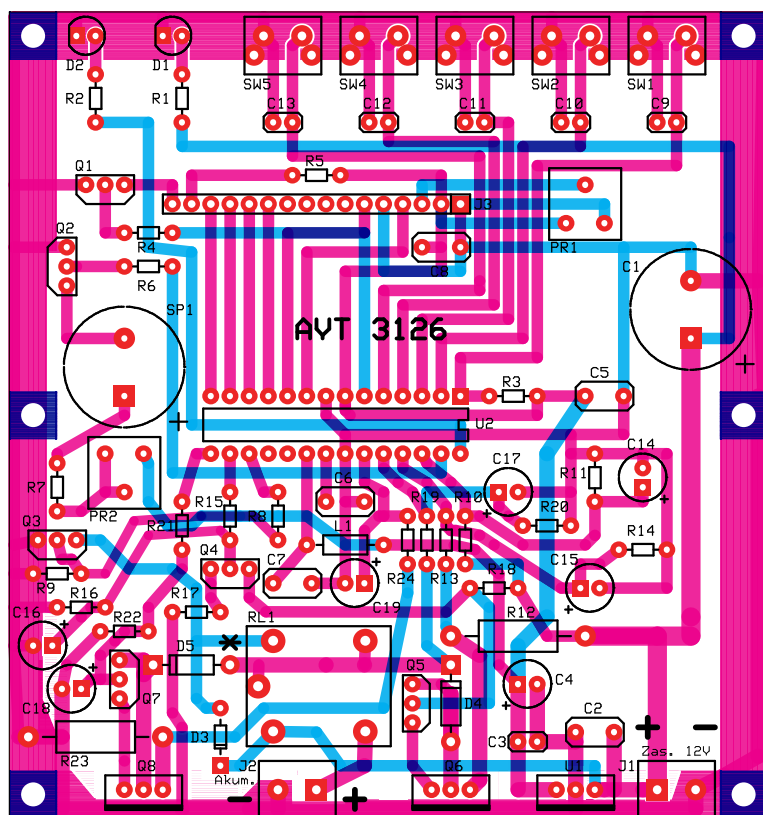
- „Reset” – przerwanie bieżącej pracy i restart urządzenia,
- „</>”, – przewinięcie opcji menu w lewo lub zmniejszenie wartości parametru,
- „OK” – potwierdzenie wyboru funkcji lub przejście do kolejnego etapu,
- „+/>”, – przewinięcie opcji menu w prawo lub zwiększenie wartości parametru,
- „LCD” – włączenie lub wyłączenie podświetlenia wyświetlacza LCD w trakcie lub po zakończeniu ładowania albo rozładowywania.

Styki przycisków dla niewielkich drgań przełączania zostały zablokowane do masy pojemnościami C9...C13, a przycisk resetu SW1 został dodatkowo „podwieszony” do szyny zasilania +5V rezystorem R3 o wartości 10k Ω , co poprawia stabilność pracy mikrokontrolera.

Ustawienia urządzenia oraz bieżący stan wykonywanego zadania są pokazywane na alfanumerycznym wyświetlaczu LCD 16x2, podpiętym do złącza J3. Uzupełniają je wskazania diod LED: D1 (załączenie zasilania) i D2 (stan aktywny bloku wykonawczego lub stan alarmowy). Do dodatkowej sygnalizacji zakończenia ładowania czy rozładowania oraz błędu procesu użyto buzzera SP1, załączanego programowo przez klucz z tranzystorem Q2 (elementy R7 i PR2 pozwalają skorygować głośność buzzera). Włączanie podświetlenia wyświetlacza LCD, wykonywane przez SW5, Q1, R4 i R5, pozwala zaoszczędzić energię zasilania i zwiększyć komfort pracy np. wtedy, gdy urządzenie włączymy do pracy na noc.

Blok wykonawczy testera ładowarki składa się z dwóch źródeł prądowych, sterowanych napięciem z mikrokontrolera, modułu zapewniającego bezpieczne

podziału równy ok. 0,281). W zasadzie można by zrezygnować z pojemności filtrującej C17 (mierzymy źródła napięcia stałego o spodziewanej dość małej rezystancji wewnętrznej – rzędu ułamka oma na pojedynczą celę), ale nie przeszkadza ona w pomiarze, a na pewno czyni go dokładniejszym i stabilniejszym. Diody Schottky’ego D4 i D5, włączone szeregowo z wyjściami źródeł prądowych, mają zapobiec skutkom odwrotnego podłączenia badanego źródła energii. W przypadku typowych jednorazowych ogniw 1,5V oraz akumulatorów Ni-MH 1,2V obecność diody D5 może znacząco ograniczać maksymalne osiągnięte prądy robocze rozładowywania Ir poniżej deklarowanych 500mA. Dlatego, jeśli jesteśmy spokojni o to, że ryzyko odwrotnego podłączenia źródła napięcia o wartości mogącej uszkodzić tranzystory w bloku wykonawczym rozładowania (ok. 7V) nie wystąpi w naszej praktyce, to diodę D5 można zastąpić zworą wykonaną ze srebrzanki o grubości ok. 0,5mm (można też użyć odciętej końcówki elementu elektronicznego o zbliżonej średnicy). Zagadnienie wpływu obecności D5 w układzie oraz napięć znamionowych Uzn i oporności wewnętrznych Rwe badanych źródeł na uzyskiwane wartości prądów rozładowywania Ir zostało omówione dokład-



Rys. 2

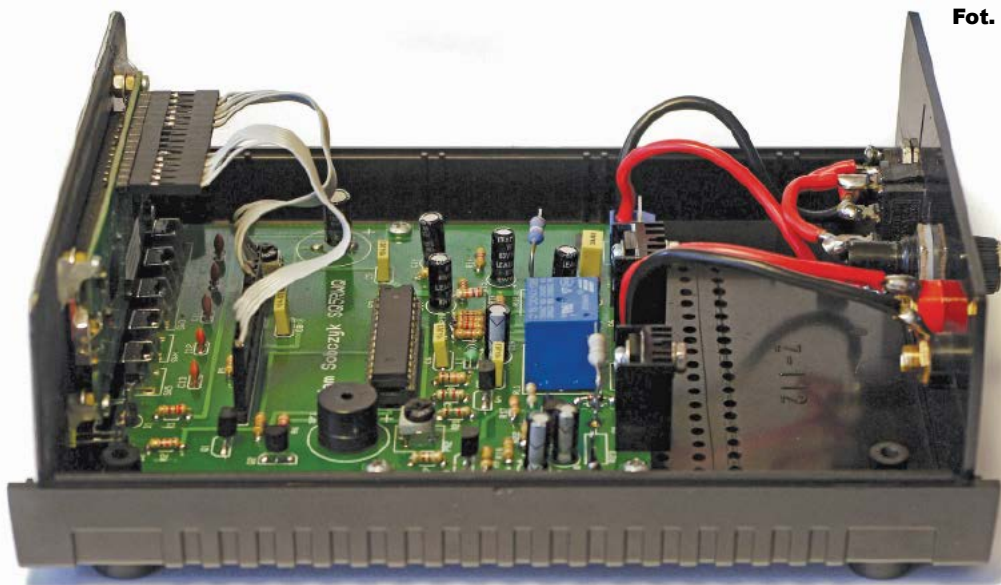
niej dalej, w części artykułu poświęconej testom praktycznym. Dodatkowo zabezpieczenie stanowi przełącznik RL1 (z diodą gaszącą przepięcia D3), sterowany programowo kluczem z elementami Q3, R8 i R9. Jest on załączany wyłącznie w trakcie cyklu roboczego lub pomiaru. Ostatnim elementem, zwiększającym bezpieczeństwo pracy z testerem, jest bezpiecznik F1 w obwodzie zasilania testera, wyłączający prąd po przekroczeniu wartości ok. 0,6A. Bezpiecznik nie został pokazany na schemacie (nie przewidziano też dla

nego miejsca na płytce drukowanej), ponieważ jego zastosowanie można potraktować opcjonalnie – zwłaszcza w przypadku, gdy stosowany zasilacz ma zabezpieczenie prądowe o zbliżonej wartości. W modelu autora bezpiecznik ten umieszczono w zakręcanym gnieździe, zamontowanym do tylnego panelu obudowy testera, pokazanym na fotografiach. Warto w tym miejscu zwrócić uwagę na fakt, że wszelkie bezpieczniki, zwłaszcza topikowe o małych nominalach (poniżej 1A), mogą mieć całkiem spore rezystancje szeregowe (od kilkudziesięciu mΩ do nawet kilkudziesięciu Ω przy najmniejszych nominalach), rosnące z wartością przepływających w nich prądów (z powodu nagrzewania się pod wpływem wydzielanego tzw. ciepła Joule’a). Taka znaczna i w dodatku zmienna rezystancja mogłaby skutecznie ograniczyć zakres uzyskiwanych w testerze prądów roboczych Ir oraz dramatycznie pogorszyć dokładność pomiaru Rwe. Dlatego właśnie autor tego projektu ostatecznie zrezygnował z dodatkowego zabezpieczenia testera w postaci bezpiecznika włączonego szeregowo z badanym źródłem energii.

Program sterujący testerem został napisany w języku BASCOM i jest dostępny w Elportalu w materiałach dodatkowych (kod źródłowy oraz plik HEX do zaprogramowania mikrokontrolera). Został on obszernie i szczegółowo skomentowany w samym kodzie i dlatego w artykule opisano dalej tylko jego obsługę, główną strukturę oraz najważniejsze cechy funkcjonalne.

Program sterujący testerem został napisany w języku BASCOM i jest dostępny w Elportalu w materiałach dodatkowych

Fot. 1



(kod źródłowy oraz plik HEX do zaprogramowania mikrokontrolera). Został on obszernie i szczegółowo skomentowany w samym kodzie i dlatego w artykule opisano dalej tylko jego obsługę, główną strukturę oraz najważniejsze cechy funkcjonalne.

Montaż i uruchomienie

Układ należy zmontować na dwustronnej płytce drukowanej, której projekt pokazano na rysunku 2. Jej wymiary są dostosowane do otworów mocujących w funkcjonalnej i estetycznej obudowie KRA-DEX Z112, dostępnej także w sklepie AVT.

Stopień trudności projektu to dwie gwiazdki. Jest on umiarkowanie złożony, ale występują w nim niemałe prądy robocze Ir, sporo wydzielanego ciepła oraz ryzyko związane z pracą z chemicznymi źródłami energii elektrycznej. Ponadto dochodzą do tego zasygnalizowane możliwości rozwoju w kierunku pracy ze źródłami energii o większych napięciach znamionowych i pojemnościach. Raczej nie jest to więc projekt dla całkiem początkujących. Niemniej i mniej doświadczeni mogą z powodzeniem zmontować ten układ, wykorzystując gotowy, zaprogramowany procesor lub prosząc kogoś bardziej doświadczonego o jego zaprogramowanie.

Wnętrze zmontowanego układu pokazano na **fotografii 1**. Układ montujemy standardowo, rozpoczynając od elementów najmniejszych, a kończąc na największych. Oczywiście elementy półprzewodnikowe, kondensatory elektrolityczne i buzzer należy montować z odpowiednią polaryzacją. Na szczególną uwagę zasługują elementy bloków wykonawczych (**fotografia 2**), czyli źródeł prądowych z elementami łączącymi z badanym źródłem energii. Tranzystory wykonawcze Q6 i Q8 należy przed zamontowaniem wypoasażyć w radiatory odpowiednie do obudowy TO-220. Jeśli jesteśmy pewni, że wybrane radiatory nie spowodują zwarcia do PCB czy jakiegokolwiek innego elementu przewodzącego prąd, to wyjątkowo można pominąć montaż podkładek izolacyjnych (zyskamy lepszą przewodność termiczną), ale posmarowanie pastą termoprzewodzącą styku z tranzystorami jest niezbędne. Z kolei rezystory emiterowe R12 i R23 należy zalutować jak najwyżej nad płytką drukowaną – w jak największym oddaleniu od sąsiadujących elementów (a w szczególności od kondensatorów elektrolitycznych). Najlepiej przed montażem wcale nie skracać wyprowadzeń tych oporników a jedynie dogiąć szczytkami na odpowiedni rozstaw (co prawda, czym bliżej płytki i im krótsze końcówki, tym lepiej odbierane jest z oporników ciepło, ale sąsiednie kondensatory elektrolityczne byłyby wtedy znacząco ogrzewane). Elementy: Q6, Q8, R12, R23, D4 i D5, przewodzące prądy ładowania i rozładowania, warto zalutować z obu stron płytki drukowanej – w celu redukcji oporów elektrycznych i termicznych tych połączeń. Przed ostatecznym umieszczeniem urządzenia w obudowie należy koniecznie wykonać w niej szereg otworów wentylacyjnych, które zapewnią swobodny pionowy przepływ powietrza (chłodzenie). Na fotografii 1 dobrze widać otwory wentylacyjne w dolnej części obudowy, a na

fotografii 3 pokazano zbliżenie na analogiczne otwory „na przestrzał” w części górnej (po trzy rzędy otworów o średnicy 3 mm, wykonanych z odstępami około 5mm). Taka wentylacja okazała się zupełnie wystarczająca w całym dozwolonym zakresie parametrów pracy testera.

Fotografia 4 pokazuje m.in. montaż mikroprzycisków SW1...SW5 do płytki drukowanej oraz mocowanie wyświetlacza LCD. Mikroprzyciski wygodnie jest zakończyć małymi kolorowymi nakładkami (ja dokleiliśmy takie nakładki popularnym klejem cyjanoakrylowym) i wyprowadzić wprost na panel czółowy przez wywiercone otwory. Z kolei wyświetlacz LCD został zamocowany do panelu czółowego klejem „na gorąco” za pośrednictwem przykręconych do niego czterech śrub dystansowych o średnicy 2,5 mm. Podłączenie ekranu LCD najlepiej wykonać taśmą z żeńskimi zakończeniami „goldpin” (16 pinów, z czego wykorzystano tylko 12 – po sześć skrajnych), ale można też wykonać bezpośrednie lutowania przewodów do łączki „goldpin” – pamiętając jednak koniecznie o tym, by zachować długość umożliwiającą swobodny montaż w obudowie. Osobom „bojącym się” tego etapu montażu polecam wykorzystanie 12 sztuk gotowych pojedynczych kabelków z żeńskimi zakończeniami „goldpin”, o długości około 10...15cm (zbyt długie kabelki będą kłopotliwe do zamieszczenia w obudowie). Są one powszechnie stosowane m.in. w zestawach edukacyjno-rozwojowych z mikrokontrolerami (np. Arduino i wszelkimi podobnymi) – można je także niedrogo nabyć w sklepie AVT. Jeśli zdecydujemy się na takie wygodne rozwiązanie, to docelowo grupy zakończeń żeńskich „goldpinów” (po 6 sztuk w grupie) dla wygody manipulacji można delikatnie połączyć klejem cyjanoakrylowym – uważając jednak bardzo na to, by nie zalać niechcący wnętrza styków. Klejenie uprzednio odtuszczonej wsuwki „goldpin” wykonujemy tylko u nasady złączy



Fot. 2



Fot. 3



Fot. 4



Fot. 5

– bardzo małą ilością kleju. Najwygodniej i najdokładniej będzie to zrobić po wcisnięciu grupy sześciu „goldpinów” żeńskich na niezalutowaną listewkę męskich „goldpinów” oraz częściowym zaciśnięciu takiego zestawu na czas klejenia w małym imadłku – tak, aby każde z sześciu połączeń stykowych było jak najstaranniej wycentrowane i równoległe do pozostałych. Po wyschnięciu kleju i ustabilizo-

Wykaz elementów

R1, R6	2,2kΩ
R2	820Ω
R3, R4, R8	10kΩ
R5	100Ω
R7	47Ω
R9	100kΩ
R10, R13	22kΩ
R11, R14, R20	4,7kΩ
R12	3,9Ω/1W (1% lub dobierany)
R23	0,47Ω/0,25W (1% lub dobierany)
R19	12kΩ
R15, R21, R22	1,5kΩ
R16	150kΩ
R17	3,9kΩ
R18, R24	3,3kΩ
PR1	10kΩ
PR2	100Ω
C1	100uF/16V
C2	330nF
C3, C9...C13	10nF
C4, C14, C15, C17, C19	10uF/16V
C5...C8	100nF
C16, C18	22uF/16V
D1	LED zielona 3 mm
D2	LED pomarańczowa lub czerwona 3mm
D3	1N4148
D4, D5	1N5819
Q1...Q4, Q7	BC547B

Q5	BC557B
Q6	BD140-16
Q8	BD139-16
U1	Stabilizator LM7805
U2	ATmega8A w obud. DIP-28 + podstawa
L1	Dławik osiowy 10uH
RL1	Przełącznik 12V JQC3FF/12-1ZS lub podobny
SP1	Buzzer piezo 12mm/5V z generatorem
SW1...SW5	Tact switch 6x6mm kątowy, H=13mm
F1	Bezpiecznik szybki 0,6A z obudową na panel
J1, J2	Złącza śrubowe ARK2 (rozstaw nóg r=5mm)
J3	Złącza goldpin 4x16pin (2 x męski + 2 x żeński)
	Wyświetlacz alfanumeryczny LCD 16x2, zgodny ze sterownikiem HD44780
	Radiator żeberkowy pionowy do obudowy TO-220 – 2 szt.
	Podkładki izolacyjne pod obud. TO-220 – 2 szt.
	Pasta termoprzewodząca
	Obudowa KRADEX Z112 lub zbliżona wymiarami (wg opisu w tekście)
	Włącznik zasilania (min. na 12V/1A)
	Gniazdo zasilania zewnętrznego, np. koncentryczne 5,5/2,1mm
	Gniazda przyłączeniowe do wtyków bananowych (2 szt.)
	Wtyki bananowe (2 szt.)
	Koszki do testowanych elementów – np. na 2 ogniwa typu AA (opis zastosowania w tekście)

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-3126.

waniu się połączenia tak powstałe złącze uwalniamy z zacisku a następnie delikatnie zsuwamy sklejoną szóstkę żeńskich „goldpinów” z tymczasowo wykorzystanej listwy męskiej. Podobnie należy postąpić z pozostałymi

Fot. 6



trzech grupami pojedynczych łączówek żeńskich. **Fotografia 5** pokazuje przedni panel zmontowanego i uruchomionego urządzenia. Widać też na nim diody LED, które dla wygody były dolutowywane na samym końcu montażu – do pomocni-

czych podwójnych „goldpinów”, wlutowanych na PCB w otworach dla tych diod.

Włącznik zasilania 12V oraz bezpiecznik F1 wygodnie jest umieścić na tylnym panelu obudowy – razem z wyprowadzeniami gniazda zasilania oraz gniazdo podłączenia badanego

Rys. 3

Fusebits	24
Fusebit C	0:BODLEVEL 4.0V
Fusebit B	0:BODEN enabled
Fusebit KLA987	100100:Int. RC Osc. 8 MHz
Fusebits High	D7
Fusebit High M	1:PIN PC6 is RESET
Fusebit High J	1:WDT enabled by WDTCLR
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



źródła energii (**fotografia 6**). Na przednim panelu brak miejsca na te podzespoły i byłoby dość daleko do odpowiednich złączy elektrycznych na PCB. Połączenia kablowe należy wykonać bardzo starannie – tak, by zminimalizować wszelkie opory przewodów, połączeń lutowanych oraz zaciskanych – zwłaszcza w torze pomiarowym badanych źródeł energii. Ja do tego celu użyłem dobrej jakości przewodu miedzianego o przekroju 1,5mm². Końcówki montażowe zostały „grubo” i bardzo starannie ocynowane i zalutowane – także sporą ilością lutowia. Tak wykonane zakończenia przewodów pomagają także uzyskać dobre i trwałe połączenia zaciskane w gniazdach ARK2. Wykonujemy je, zaciskając przednio oczyszczoną z topnika (np. szmatką i denaturatem) końcówkę kabla śrubą dociskową w złączu i dociągając śruby na kilka razy – ostatni raz po sprawdzeniu poprawności działania urządzenia a przed finalnym zamknięciem obudowy. Takie podejście zapewnia, że stosunkowo miękkie końcówki kabli, z czasem ustępujące nieco pod naciskiem śrub dociskowych w złączach, będą zamocowane trwale – z efektywnym połączeniem elektrycznym na jak największej powierzchni, która dzięki temu będzie też lepiej chroniona przed utlenianiem. W Elportalu, w materiałach dodatkowych, można znaleźć projekty graficzne, które wykorzystano do opisanego obu paneli obudowy. Łatwo będzie dostosować je do swoich konkretnych potrzeb konstruktorskich w dowolnym edytorze grafiki rastrowej (zdecydowanie polecam darmowego Gimp'a, ale standardowy windowsowy Paint też powinien wystarczyć), a po wydrukowaniu w rozdzielczości 300 dpi moje „gotowce” będą doskonale pasowały na panele obudowy Z112.

Mikrokontroler należy zaprogramować w zewnętrznym gnieździe DIP-28 programatora np. za pomocą popularnego programatora USBASP. W pierwszym kroku należy ustawić bity konfiguracyjne zgodnie z **rysunkiem 3** (low fusebit: 24, high fusebit: D7) a następnie wgrać kod z pliku HEX do mikrokontrolera.

Po włączeniu zasilania trzeba potencjometrem PR1 wyregulować kontrast wyświetlacza LCD, a w trakcie pierwszych testów praktycznych warto także skorygować głośność buzzera SP1 za pomocą potencjometru PR2. Układ do prawidłowego działania wymaga jednorazowej wstępnej parametryzacji, która będzie opisana w drugiej części artykułu.

Adam Sobczyk SQ5RWQ
sq5rwq@gmail.com



Tester akumulatorów i ogniów z ładowarką



W pierwszej części artykułu został opisany układ elektroniczny oraz montaż.

Wprowadzenie do obsługi testera

Na **rysunku 4** zobrazowano przykładowy przebieg pierwszych kroków w pracy z testerem (z dwoma połączonymi szeregowo akumulatorami NiMH AA). Obsługa testera jest prosta i intuicyjna – nie będzie potrzebna żadna „ściągawka” ©. Po włączeniu testera i ekranie powitalnym migający kursor zachęca nas do wykonania podstawowych ustawień roboczych programu. Do ustawień używamy przycisków oznaczonych na modelu: „</-” , „OK”, „+/>” oraz „Reset” – gdyby coś poszło nie całkiem tak, jak chcieliśmy (z racji szczupłości pamięci mikroprocesora nie przewidziano możliwości powrotu do wcześniejszych ustawień na tym poziomie menu programu). Ja w tym przykładzie wybierałem kolejno: typ źródła energii („NiMH” – akumulatory Ni-MH), liczbę połączonych w szeregu celek źródła („*4”), oraz prąd roboczy Ir – równy 300mA (wyjątkowo w tym przykładzie, poświęconym wstępnej parametryzacji testera, przyjmowane wartości parametrów roboczych są dowolne). Po nastawieniu prądu Ir pozostaje nam ostatni krok, czyli wybór funkcji testera, z której chcemy skorzystać. Tu do dyspozycji mamy pięć możliwości:

- „ROZ” – rozładowywanie testujące pojemność źródła Qa [Ah],
- „LAD” – ładowanie ze zgrubnym pomiarem załadowanego ładunku Qa [Ah],
- „OPO” – pomiar rezystancji wewnętrznej badanego źródła Rwe [Ω],
- „KAL” – kalibracja rezystancji szeregowego obwodu pomiarowego źródła energii Rser [Ω],
- „PAR” – wstępna parametryzacja testera.

Za podanymi powyżej mnemonicznymi skrótami pojawia się zawsze jeden znak – ikonka, która ma za zadanie intuicyjnie wyróżnić typ wybranej operacji – dla ułatwienia obsługi i szybszego zapamiętania funkcji. W przypadku czterech pierwszych funkcji jest to trójkącik (umowny grot strzałki), skierowany w górę lub w dół, symbolizując tym samym to, które źródło prądowe będzie pracowało w danym teście

(„górne” – ładujące lub „dolne” – rozładowujące). Dla piątej funkcji (parametryzacji) jest to symbol podobny do szachownicy.

Przy pierwszym uruchomieniu testera **obowiązkowo należy wykonać procedurę parametryzacji – inaczej urządzenie nie będzie dalej działało prawidłowo!!!** Parametryzacja ma na celu dokładny pomiar i zapisanie w pamięci ATmegi współczynników podziału rezystancyjnych dzielników napięcia (R10–R11, R13–R14 oraz R19–R20) a od staranności jej wykonania zależy dokładność wszelkich dalszych pomiarów, które wykonamy testerem. Do przeprowadzenia parametryzacji będziemy potrzebowali trzech rzeczy:

- dostępu do złącza: zasilania oraz badanego źródła energii,
- sprawnego woltomierza (multimetru) o dokładności odczytu napięcia nie gorszej od 0,01V dla napięć do ok. 13V – w moim niemiłym już mierniku MASTECH MY-64 z wyświetlaczem 3½ cyfry był to (dość typowo) zakres do 20V z wyświetlaniem napięcia do 19,99V (jest to funkcjonalność osiągalna dziś już nawet w najtańszych multimetrach z hipermarketu za kilkanaście złotych, które jednak mogą okazać się niezbyt dokładne),
- źródła stabilnego napięcia referencyjnego do kalibracji obwodu akumulatorowego – o **jak największym napięciu nieprzekraczającym jednak 8,5V** – mogą to być np.: naładowany akumulator kwasowy 6,3V, podwójny akumulator Li-Ion 8,4V, cztery ogniwa alkaliczne 1,5V, cztery naładowane akumulatory Ni-MH 1,2V (jak w tym przykładzie) albo zasilacz stabilizowany, ustawiony na ok. 8V na wyjściu (im wyższe zastosowane napięcie, tym zasadniczo lepszej dokładności parametryzacji należy się spodziewać).

W celu rozpoczęcia parametryzacji z menu testera wybieramy funkcję opisaną jako „PAR”

z szachowniczką (ostatnia dostępna – przewijamy do końca w prawo i zatwierdzamy „OK”). Wówczas na wyświetlaczu LCD pojawi się okno zachęcające do wprowadzenia danych pomiarowych – z napisem „Parametryzacja” w górnym wierszu. Należy teraz zmierzyć napięcie zasilania Uz (u mnie zasilacz wtyczkowy 12V/0,8A dawał stabilne napięcie 12,17V), skorygować zgodnie z pomiarem wartość wyświetlaną na LCD (przyciski „</-” oraz „+/>”) a następnie zatwierdzić przyciskiem „OK”. Analogicznie należy przeprowadzić drugi krok kalibracji, czyli pomiar i wprowadzenie napięcia na zaciskach badanego źródła energii (na czas pomiaru przełącznik RL1 zostanie załączony) – w tym przykładzie cztery nieco rozładowane akumulatory „AA” dawały napięcie 5,05V. Po wprowadzeniu zmierzonych wartości Uz i A przyrząd jest gotowy do pracy. Należy pamiętać, że parametryzację testera trzeba powtórzyć każdorazowo po skasowaniu pamięci EPROM mikrokontrolera, po jego wymianie lub wymianie któregoś z elementów: R10, R11, R13, R14, R19, R20. Po pomyślnym wykonaniu parametryzacji można przejść do normalnej eksploatacji testera, ale warto przedtem zrestartować urządzenie, by nastąpiła prawidłowa aktualizacja stanu wyświetlacza LCD.

Na **rysunku 5** widzimy kolejny przykład pracy testera – tym razem z ładowaniem („LAD”) dwóch akumulatorów Ni-MH („NiMH*2”) z prądem roboczym Ir=0,5A.

Na kolejnych ekranikach widzimy wyświetlane stany:

- tuż przed rozpoczęciem właściwej pracy – z rezultatem wstępnego testu napięcia podłączonego źródła energii Ua, które powinno znajdować się w dozwolonym przedziale wartości (jeśli tak jest, to przed rozpoczęciem ładowania na kilka sekund wyświetlony zostanie napis „OK”, a w przeciwnym wypadku będzie to tekst „NOK” i ładowanie się nie rozpocznie),

Rys. 4



• w trakcie pracy w dolnej linijce widzimy wyświetlane kolejno: napięcie U_a [V] mierzone po fazie przerwy w ładowaniu, szacunkowej oporności wewnętrznej R_{we} [Ω] podłączonego zestawu oraz załadowanego do danej chwili ładunku Q_a [Ah].

Po zakończeniu ładowania zmierzone parametry zostaną wyświetlone wg formatu identycznego jak podczas ładowania.

W czasie, gdy „górne” źródło prądowe ładuje akumulatory, świeci pomarańczowa (w moim modelu) dioda LED, symbolizując tym samym aktywny stan pracy. Cykl roboczy, to w tym przypadku: 18 sekund ładowania, 2 sekundy nieaktywności oraz pomiar napięcia U_a . Zmierzone napięcie U_a jest następnie porównywane w testerze z górnym progem napięcia U_g , dozwolonym dla danego typu i liczby ładowanych akumulatorów. W programie uwzględniono progi napięć: dolne U_{min} , górne U_{max} oraz dopuszczalne ilości celek w szeregu N_{cmax} dla trzech typów akumulatorów oraz dwóch typów ogniwi nieładownalnych:

- akumulator Ni-MH („NiMH”) z $U_{min}=1,0V$, $U_{max}=1,4V$ i $N_{cmax}=4$ szt.,
- akumulator Li-Ion – („LiIn”) z $U_{min}=3,0V$, $U_{max}=4,2V$ i $N_{cmax}=2$ szt.,
- akumulator kwasowo-ołowiowy – („LdAc”) z $U_{min}=1,8V$, $U_{max}=2,4V$ i $N_{cmax}=3$ szt.,
- ogniwo cynkowo-węglowe Leclanchego („Zn-C”) z $U_{min}=1,0V$, $U_{max}=1,7V$ i $N_{cmax}=4$ szt.,
- ogniwo alkaliczne („ZnMn”) z $U_{min}=1,0V$, $U_{max}=1,7V$ i $N_{cmax}=4$ szt.

Progi napięć w kodzie programu są wykorzystywane nie tylko do weryfikacji, czy dane źródło energii ma napięcie zgodne z oczekiwaniami (test poprawności konfiguracji i sprawności źródła), ale przede wszystkim jako kryterium zatrzymania procesu ładowania lub rozładowywania. Np. dla dwóch ($N_c=2$) akumulatorów Ni-MH w tym przykładzie dopuszczalne napięcia znajdują się w przedziale od $U_d=2*1,0=2,0V$ do $U_g=2*1,4=2,8V$. Tak więc ładowanie takiego zestawu zakończy się po osiągnięciu przez niego napięcia 2,8V – po przerwie w ładowaniu (bez prądu), z kolei rozładowywanie zostanie przerwane po osiągnięciu przezeń napięcia 2,0V – po przerwie w rozładowywaniu (bez obciążenia).

Podane parametry można łatwo odnaleźć i zmienić w kodzie programu lub uwzględnić inne rodzaje źródeł energii. Progi napięć w programie ustalono na podstawie przeglądu literatury, Internetu oraz własnych doświadczeń. Warto tu nadmienić, że nowe ogniwa alkaliczne „1,5V” niejednokrotnie mają początkowe napięcie U_a 1,65V i więcej – stąd górna granica została przyjęta na poziomie aż 1,7V. Z kolei górne progi napięć ładowania akumulatorów wynikają

przede wszystkim z aspektów bezpieczeństwa i na pewno nie należy podnosić ich wyżej. W przypadku akumulatora kwasowo-ołowiowego powyżej 2,4V na celkę może wystąpić szkodliwe dla akumulatora i niebezpieczne dla otoczenia gazowanie. W przypadku akumulatorów Li-Ion i Li-Po 4,2V to absolutny próg bezpieczeństwa, którego nie wolno przekraczać pod żadnym pozorem – zwłaszcza w przypadku starszych typów akumulatorów, które nie mają wbudowanych wewnętrznych zabezpieczeń przed przeładowaniem (występuje ryzyko przegrzania i samozapłonu a nawet eksplozji). Z kolei w przypadku akumulatorów Ni-MH względnie niski próg 1,4V wynika z tego, że niektóre wersje tych źródeł energii praktycznie nie dawały się naładować powyżej tego poziomu, co skutkowało niepotrzebnym przedłużaniem procesu i szkodliwym przegrzewaniem ładowanych źródeł energii.

Co do przyjętych dolnych progów napięć (dla rozładowywania), to mogą wydawać się nieco zawyżone, bowiem w literaturze i Internecie spotyka się także niższe wartości (np. 1,75V na celę dla akumulatora kwasowo-ołowiowego czy nawet 0,8V dla ogniwi cynkowo-węglowych i alkalicznych). Jakkolwiek, z punktu widzenia praktyki autora tego artykułu takie „pogłębione” rozładowywanie nie tylko może prowadzić do ograniczenia żywotności (lub nawet uszkodzeń akumulatorów), ale także ma ograniczony sens praktyczny (bardzo mocno rozładowane źródła energii miewają znaczne rezystancje wewnętrzne, uniemożliwiające uzyskanie pierwotnie zadanych, praktycznie użytecznych wartości prądów roboczych Ir).

Rysunki 6, 7 i 8 pokazują widoki ekranu LCD przy pracy kolejno z: rozładowywaniem („ROZ”), pomiarem oporności wewnętrznej R_{we} („OPO”) – wykonanym tutaj jednak przed kalibracją testera – oraz z kalibracją rezystancji szeregowej R_{ser} obwodu pomiarowego („KAL”). Schemat działania jest w każdym (poza kalibracją) przypadku taki sam i bardzo podobny, jak w szczegółowo opisanej powyżej procedu-

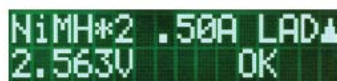
rze ładowania akumulatora: po pomyślnym wykonaniu testu napięciowego rozpoczyna się praca właściwa, po zakończeniu której na ekranie LCD widoczne są efekty działania urządzenia (wartości: napięcia U_a , oporu wewnętrznego R_{we} oraz załadowanego lub wyładowanego ładunku Q_a). Uważny czytelnik na rysunku 8 (kalibracja R_{ser}) zauważy na samym dole dodany ekranik z powtórzonym pomiarem R_{we} tych samych akumulatorów – ale już po przeprowadzeniu kalibracji. Jak widać z odczytywanych kolejno wartości, znaczenie kalibracji dla prawidłowego pomiaru R_{we} (0,489 Ω) jest ogromne – w pierwotnie przeprowadzonym pomiarze R_{we} aż ok. 70% wartości stanowiła pasywna oporność R_{ser} (0,342 Ω)!!!

Po wciśnięciu przycisku „OK” realizowany jest wybrany test, który można następnie powtórzyć lub wybrać z menu inny. Typowa kolejność działania to:

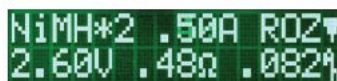
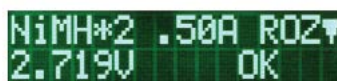
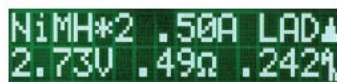
- skalibrowanie obwodu pomiarowego („KAL”),
- naładowanie akumulatora do pełna („LAD”),
- dokładny pomiar R_{we} naładowanego źródła („OPO”),
- test rozładowania, konieczny do pomiaru pojemności czy raczej ładunku Q_a („ROZ”),
- dokładny pomiar R_{we} rozładowanego źródła („OPO”),

- ponowne naładowanie akumulatora do pełna („LAD”) – potrzebne z uwagi na szkodliwość przechowywania większości akumulatorów w stanie całkowitego rozładowania.

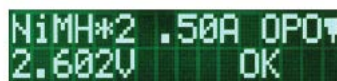
W przypadku pracy z ogniwami jednorazowego użytku oczywiście należy pominąć drugą i ostatnią operację (ładowanie) podane w schemacie powyżej. Dodatkowo, w trakcie długotrwałego ładowania lub rozładowania, podświetlenie wyświetlacza warto wygasić przyciskiem „LCD” (można je tym samym przyciskiem przywrócić na czas potrzebny do podejrzenia stanu pracy testera). Podświetlenie LCD złączy się ponownie automatycznie po zakończeniu ładowania lub rozładowywania – zaraz po wyemitowaniu krótkiego sygnału dźwiękowego.



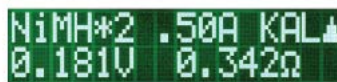
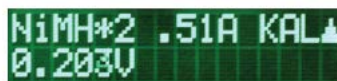
Rys. 5



Rys. 6



Rys. 7



Rys. 8

Uwaga: w oprogramowaniu testera celowo zablokowano funkcje: ładowania ogniów jednorazowych (alkalicznych i cynkowo-węglowych) oraz ładowania dwóch lub więcej akumulatorów Li-Ion czy Li-Po, połączonych szeregowo. Są to działania absolutnie niezalecane – zarówno przez producentów akumulatorów, jak i przez autora tego projektu. Takie działania mogą spowodować liczne zagrożenia dla otoczenia oraz dla zdrowia i życia ludzkiego (np. rozlanie aktywnej chemicznie czy nawet żrącej substancji, eksplozję, pożar, etc.) – i jako takie w zasadzie nie powinny być nigdy wykonywane!!!

Należy tu wyjaśnić, że baterie litowo-jonowe (i im podobne), połączone w szereg, wymagają stosowania precyzyjnego mechanizmu balansingu (wyrównania napięć), per pojedyncze ogniwo. Same ogniwa tego typu, po przekroczeniu pewnego poziomu napięcia (typowo około 4,2V), mogą stać się niestabilne chemicznie. Naładowane ogniwo zawiera czysty metaliczny lit (lub jego związki), które mogą doznać samozapłonu w kontakcie z powietrzem atmosferycznym. Jednym słowem, gdy akumulator tego typu ma układ PCM i układ balancera oraz jest ładowany dedykowaną ładowarką fabryczną, to wtedy można go uznać za bezpieczny. Gdy używamy fabrycznych kompletnych akumulatorów litowych, kupionych w całości (jako baterie – np. do laptopa, aparatu, telefonu komórkowego), to każda taka bateria, zakupiona jako część zamienna, w całości ma zintegrowany z nią układ zabezpieczający PCM. A jeśli jest to kilka ogniów szeregowych, to zamontowane jest jeszcze złącze do balancera lub wewnętrzny balancer. Konkretnie rozwiązanie zależy tu od typu akumulatora i producenta. **Akumulator litowy, przeznaczony do urządzenia powszechnego użytku, musi mieć wbudowany układ PCM (jest to wymóg prawny). Wtedy wymagane jest też ładowanie w urządzeniu zintegrowaną, przeznaczoną do danego akumulatora ładowarką. Nasz tester nie zapewnia funkcji balancera czy PCM i dlatego ładowanie akumulatorów Li-Po czy Li-Ion z większą (niż jedno) liczbą ogniów w szeregu zostało zablokowane jako działanie wysoce ryzykowne. Nie zaleca się też pozostawiania załączonego testera (np. w domu pod naszą nieobecność) bez nadzoru doświadczonego i świadomego użytkownika!!!**

Ostatnim aspektem, wymagającym szczegółowego i rzetelnego wyjaśnienia, są funkcje: pomiaru oporności wewnętrznej Rwe źródła energii oraz kalibracji oporności szeregowej Rser obwodu źródła energii. Ale po kolei. Spozostawca użytkownik testera na pewno zauważy, że podawana na

bieżąco w trakcie ładowania czy rozładowywania wartość Rwe odbiega od tej, którą zmierzmy dedykowaną funkcją „**OPO**”. Nie jest to jednak błąd, lecz efekt własności elektrochemicznych źródeł energii. Temat metodyki pomiarów oporności wewnętrznej Rwe został szczegółowo omówiony przez Pana Redaktora Piotra Góreckiego w jednych z ostatnich numerów „EdW”. Ja na praktyczne potrzeby tego projektu napiszę więc o tym tylko tyle, że rezultat takiego pomiaru bardzo zależy od wielu czynników – przede wszystkim od czasu trwania fazy z włączonym obciążeniem Ir (stan aktywny) i bez niego (stan relaksacji źródła energii). Warto pamiętać, że im krótsze są te czasy, tym zmierzona Rwe będzie mniejsza. Zestandaryzowana przemysłowo metodyka pomiaru zakłada pracę impulsową z częstotliwością przełączania obciążenia równą 1kHz. Trudno mi jednoznacznie uzasadnić takie właśnie podejście – ośobiście uważam, że bardziej realistyczny jest scenariusz z pomiarem wykonywanym po czasach załączenia i odłączenia obciążenia rzędu co najmniej kilku sekund. Wówczas można łatwo zaobserwować efekt powolnych zmian elektrochemicznych w strukturze źródła energii, które sprawiają, że zmiany napięcia Ua (a przez to, zgodnie z prawem Ohma, także wartości zmierzonej Rwe) są większe w przypadku powolnego impulsowania.

W omawianym projekcie uzupełniający pomiar Rwe, wykonywany w trakcie ładowania czy rozładowywania, bazuje na pomiarze zmian napięcia Ua na koniec 18-sekundowej fazy roboczej (z niezerowym prądem Ir) oraz po następującej po niej dwusekundowej przerwie w pracy. Z kolei dedykowany pomiar Rwe (z wyświetlaniem wyników z dokładnością do pojedynczych miliomów) jest wykonywany z częstotliwością około 2Hz (cykl roboczy i przerwa w obciążeniu trwają po około 250 milisekund). Chociaż daleko tu do pomiaru z zalecaną częstotliwością 1kHz, to uzyskiwane w tym testerze wyniki są bardzo zbliżone do uzyskiwanych przy tak szybkich pomiarach (należy znać je za w pełni wiarygodne i użyteczne w naszych testach porównawczych). Natomiast na pytanie docieklivego Czytelnika o powód przyjęcia takiego właśnie rozwiązania (2Hz zamiast 1kHz) „z góry” odpowiadam, że szybsze przełączanie źródeł prądowych nie było w tym układzie możliwe z uwagi na znaczne stałe czasowe członów RC, filtrujących napięcia sterujące i mierzone, pochodzące od impulsujących przetworników cyfrowo-analogowych (DAC), pracujących metodą PWM.

Pomiar Rwe (funkcja „**OPO**”) jest realizowany z zadany prądem roboczym Ir – im większym, tym lepiej dla jego

dokładności – z uwagi na bardzo małe zwykle oporności wewnętrzne większości współczesnych chemicznych źródeł energii elektrycznej. W tym miejscu należy obowiązkowo podkreślić, że mierzenie Rwe, gdy są to wartości rzędu np. tylko 50 miliomów (albo i mniej – np. dla naładowanych i sprawnych akumulatorów Ni-MH), może być obciążone znacznym błędem, wynikającym z obecności dość znacznych, pasożytniczych, szeregowych rezystancji Rser w obwodzie pomiarowym źródła energii.

Przy opracowywaniu tego projektu napotkałem ważny problem, który pierwotnie umknął mi trochę a ostatecznie kosztował mnie sporo dodatkowej pracy i finalnie... powtórzenia wszystkich prezentowanych testów pomiarowych... ☹. Otóż nie doceniłem od początku obecności i wpływu oporności Rser na wyniki pomiarów i wprowadziłem w obwód źródła energii szeregowy bezpiecznik o dość niewielkim prądzie znamionowym 0,6A i o oporności na poziomie ... pojedynczych omów!!! O ile przy pracy z napięciem 230V kilka woltów spadku napięcia na bezpieczniku nie musi być krytycznym problemem, o tyle już w układzie tego testera było to absolutnie nie do przyjęcia – z bezpiecznika w obwodzie pomiarowym musiałem zatem ostatecznie zrezygnować.

Inne znaczące źródła pasożytniczych oporności szeregowych to wszelkie kable połączeniowe (zwłaszcza długie i o małym przekroju), niestarannie wykonane połączenia zaciskane, wyeksploatowany przekaźnik (jednak w tym projekcie nowy i sprawny przekaźnik RL1 miał rezystancję tylko 10 miliomów) i szczególnie kiepskie styki w niskiej jakości koszykach na akumulatory i ogniwa. Osobnym problemem pozostaje niestabilność połączeń mechanicznych, sprawiających, że wartość Rser może zmieniać się znacznie między pomiarami. Tak więc staranność wykonania wszelkich połączeń mechaniczno-elektrycznych jest sprawą absolutnie kluczową w prezentowanych zastosowaniach pomiarowych.

Wyniki pomiarów, także kalibracyjnych, omówiono nieco szerzej w rozdziale poświęconym testom. Na koniec opisu metodyki pomiaru Rwe chciałbym tylko wspomnieć, że dobrą metodą eliminacji problemu pasożytniczych oporności Rser jest zastosowanie tzw. metody Kelvina (poruszanej w jednym z ostatnich numerów „EdW”), polegającej na zastosowaniu dodatkowego obwodu niskoprądowego, dedykowanego wyłączenie do pomiaru zmian napięcia Ua. Jest to metoda prosta i skuteczna, jednak nieco kłopotliwa z praktycznego punktu widzenia: dodatkowe styki sond pomiarowych należy na czas pomiaru pewnie przytrzymać przy biegunach mierzonego źródła energii.

Zaimplementowana w testerze procedura kalibracji obwodu pomiarowego (funkcja „KAL”) polega tak naprawdę na pomiarze wartości R_{ser} – bardzo podobnie, jak mierzymy R_{we} – z tą jednak zasadniczą różnicą, że z obwodu roboczego na czas pomiaru należy wyeliminować źródło energii. O ile w przypadku połączeń lutowanych i zaciskanych jest to dość prosta sprawa, o tyle w przypadku stosowania koszyków na ogniwa jest z tym pewien kłopot, którego rozwiązanie omówiłem w części poświęconej testom praktycznym. Sam pomiar kalibracyjny, aby był dokładny, należy wykonać z jak największym prądem roboczym I_r (najlepiej maksymalnym dostępnym 0,5A). Pomiar warto powtórzyć kilka razy po to, by uzyskać pewność, że mierzony obwód jest stabilny mechanicznie a uzyskiwane wartości R_{ser} są bardzo zbliżone do siebie w kolejnych próbach. Po włączeniu lub restarcie urządzenia R_{ser} jest ustawiana w programie na 0Ω – zmiana R_{ser} następuje dopiero po wykonaniu kalibracji. Zmierzona wartość R_{ser} jest zapisywana w pamięci testera i wykorzystywana przy pomiarze R_{we} – do momentu powtórzenia kalibracji lub restartu testera (nie jest zapamiętywana w trwałej pamięci EEPROM mikrokontrolera). Działa to tak, że po wykonaniu kalibracji i wyznaczeniu R_{ser} , pokazywane dalej na ekranie LCD wartości pomiarów R_{we} , wykonywanych funkcjami „LAD”, „ROZ” oraz „OPO”, są już zmniejszone o pamiętaną wartość R_{ser} .

Uwagi do kodu programu

Kod programu ma strukturę hierarchiczną, odpowiadającą opisanemu algorytmowi pracy z testerem. Po zdefiniowaniu wszystkich zmiennych i skonfigurowaniu wyświetlacza LCD oraz przetworników wejściowych (ADC) i wyjściowych (DAC/PWM) obsługiwany jest wybór podstawowych parametrów pracy testera. Następnie program wchodzi w nieskończoną pętlę, w której wybrana może zostać jedna z pięciu dostępnych funkcji testera. Opuszczenie tej pętli może nastąpić czasowo – tylko poprzez skok do wybranego podprogramu lub na skutek restartu urządzenia.

W programie zastosowano wiele skoków do podprogramów, zdefiniowanych w końcowej części kodu. Pomogło to zachować jego dość czytelną, uporządkowaną strukturę oraz skorzystać z możliwości wielokrotnego użycia tych samych procedur. W niektórych wypadkach złamano złotą zasadę programistów, czyli „D.R.Y.” (ang. *Don't Repeat Yourself* – nie powtarzaj tego samego lub bardzo podobnego kodu w kilku miejscach programu). Tam, gdzie powtórzono bardzo podobne lub identyczne ciągi instrukcji w kilku miejscach, zrobiono to

celowo po to, by ułatwić zmiany w programie – na etapie różnych eksperymentów i optymalizacji kodu. Tak więc niektóre bloki programu można by jeszcze „sprytnie upchnąć” we wspólną procedurę czy funkcję, jednak odbyłoby się to kosztem utraty czytelności kodu oraz możliwości dogodnego eksperymentowania.

Sam program jest dość obszernie i wyczerpująco skomentowany w swojej treści. Chciałbym jednak zwrócić uwagę na kilka aspektów:

- W testerze zaimplementowano bardzo prostą metodę monitorowania stanu naładowania, opartą na kontroli przekroczenia progów napięcia U_a w stanie, gdy $I_r=0$ (przerwa po fazie roboczej). Kontrola ta byłaby pewnie doskonalsza, gdyby czas przeznaczony na relaksację (przy $I_r=0$) był dłuższy, niż 2 sekundy. Chociaż mogłoby to znacznie wydłużyć czas pracy testera przy ładowaniu i rozładowywaniu lub, w przypadku gdy wydłużylibyśmy znacznie zarówno czas cyklu roboczego (aktualnie 18 sekund), jak i czas relaksacji, nietrudno byłoby niebezpiecznie przekroczyć któryś z progów napięcia U_a .
- Ustalanie wartości prądu roboczego I_r odbywa się przez wstępne wyznaczenie napięć sterujących źródłami prądowymi oraz ich cykliczną korektę na podstawie wyników pomiarów (proces ustalania docelowej wartości I_r w testerze widać na bieżąco na ekranie LCD). W kodzie programu podano krótkie (wynikowe) formuły obliczeniowe a nad nimi „zakomentowane” ciągi instrukcji cząstkowych, które posłużyły do wyznaczenia formuł wynikowych. Jeśli potrzebujemy je zmienić (np. po to, by urealnić je o zmierzone wartości wzorcowych oporności emiterowych R12 lub R23 i tym samym podnieść dokładność pomiarów), to wygodnie będzie skorzystać z ciągów cząstkowych instrukcji, gdzie widać jasno to, co i jak wpływa na wynik końcowy.
- Pomiar napięć i prądów za pomocą przetworników ADC w ATmedze są wielokrotnie powtarzane w pętlach i – ostatecznie – uśredniane, celem poprawy dokładności wyników końcowych (niwelacja statystycznego rozrzutu wartości pomiarów oraz wpływu zakłóceń o charakterze zmiennym w czasie). Warto pamiętać o tym, że każdy dodatkowy pomiar to czas, w którym coś się dzieje (np. płynie prąd roboczy I_r). Dlatego dalsze znaczne zwiększanie ilości pomiarów U_a czy I_r w serii nie poprawi już ich

dokładności, ale za to na pewno spowoduje pogorszenie dokładności pomiarów Q_a , opartych m.in. na odliczaniu stałych jednostek czasu.

- W przypadku, gdyby tester z jakiegoś powodu nie był w stanie pracować z zadaną wartością prądu I_r (np. z powodu zbyt niskiego napięcia U_a czy zbyt wysokiej rezystancji R_{we} , przy których źródło rozładowujące będzie się nasycalo), algorytm sterujący ustali i wyświetli najwyższą osiągalną wartość I_r i z takim „kompromisowym” prądem będzie pracowało urządzenie. Warto zwrócić uwagę na fakt, że taka sytuacja to zmiana warunków i przebiegu pomiaru względem pierwotnych założeń. W szczególności, rozładowujący test pojemności Q_a ulegnie wydłużeniu a zmierzona wartość tego parametru będzie prawdopodobnie zawyżona z uwagi na mniejszy prąd I_r (zjawisko typowe dla elektrochemicznych źródeł energii). Natomiast w przypadku pomiaru R_{we} może nastąpić znaczne pogorszenie jego dokładności.
- Pomiar R_{we} , wykonywane na źródle energii naładowanym lub zaraz po jego rozładowaniu, będą charakteryzowały się pewnym rozrzutem. Nie jest to jednak wada elektroniki urządzenia czy wynik błędów w programie, lecz skutek zjawisk elektrochemicznych, zachodzących w badanych źródłach energii. Takie pomiary warto powtórzyć co najmniej kilka razy w kilku- lub kilkunastosekundowych odstępach czasu. Za wiarygodną należy uznać taką wartość pomiaru R_{we} , która będzie w przybliżeniu niezmienna w kilku kolejnych pomiarach (stan stabilny w strukturze elektrochemicznej).
- Dźwięk buzzera SP1, pomimo regulacji, może okazać się i tak zbyt głośny i irytujący dla wielu użytkowników lub ich współdomowników. Jeśli już jednak SP1 został wlutowany na PCB i nie chcemy tego zmieniać, to wystarczy w kodzie programu zakomentować (wyeliminować z wykonywania) wszystkie wywołania procedury „Alert”, która odpowiada za wygenerowanie dźwięku przez buzzer, lub odłączyć (wylutować) co najmniej jedną nóżkę rezystora R7.

Uzbrojony w takie wskazówki nawet średnio doświadczony konstruktor programista może śmiało przystąpić do analizy i modyfikacji programu testera pod kątem własnych zmian ☺.

W trzeciej części artykułu omówimy wyniki praktycznych testów.

Adam Sobczyk SQ5RWQ
sq5rww@gmail.com





Tester akumulatorów i ogniów z ładowarką

część 3

kit

3126

AVT



W trzeciej części artykułu omówione zostały praktyczne pomiary z użyciem testera. Podano także możliwości rozbudowy wykorzystanego urządzenia.

Testy praktyczne – co i jak mierzymy?

W tabeli 1 podano rezultaty testów pomiarowych Q_a i R_{we} , przeprowadzonych ze wszystkimi rodzajami źródeł energii, które obsługuje tester (mierzone źródła energii pokazano na fotografii 7).

Z uwagi na znaczny łączny czas trwania przeprowadzonych testów 20 źródeł energii wszędzie tam, gdzie było to możliwe, przyjmowano szacunkowo pięciogodzinnny prąd roboczy $I_r = Q_{zn}/5$. Wartości pojemności Q_{zn} wzięto z opisów na akumulatorach lub z materiałów handlowych, dostępnych w Internecie. Dla ogniów alkalicznych i cynkowo-węglowych do wyliczenia I_r przyjęto szacunkowe wartości Q_{zn} , ponieważ producenci zazwyczaj nie podają tych informacji na produktach. Natomiast pomiary R_{we} wykonywano dwukrotnie: na źródle energii naładowanym (Rnał) oraz rozładowanym (Rroz).

W przypadku wszystkich źródeł energii

przed rozpoczęciem właściwych pomiarów wykonywano wstępną kalibrację pasożytniczych oporności R_{ser} , co znacząco poprawiło dokładność pomiaru R_{we} .

Pierwszy w tabeli 1 znalazł się nowy akumulator kwasowo-ołowiowy, powszechnie stosowany m.in. w dziecięcych pojazdach elektromechanicznych. Pokazany na fotografii 8 wymienny fragment obwodu pomiarowego skalibrowano z użyciem zwory, wykonanej z dwóch wsuwek zlutowanych ze sobą. Producent akumulatora podał pojemność Q_{zn} dla prądu 20-godzinnego, jednak z uwagi na znaczny czas pomiaru testy wykonano z 10-godzinnym prądem roboczym I_r , co zapewne nieco obniżyło zmierzoną Q_a . Rezystancja R_{we} akumulatora po rozładowaniu wzrosła około dwukrotnie.

Kolejne przykłady, to akumulatory Li-Ion i Li-Po (pozycje 2–5) ze starych telefonów komórkowych. Kalibracja oporności R_{ser} została wykonana na zlu-

towanych ze sobą końcówkach przewodów pomiarowych, które w docelowych testach delikatnie przylutowano wprost do połączonych wyprowadzeń akumulatorów. Autorowi nie było żal takiego „okaleczenia” leciwych już akumulatorów, ale w innych przypadkach lepiej byłoby użyć np. dobrej jakości zacisków „krokodylkowych”. Zaskakujące, że większość testowanych akumulatorów (ale nie wszystkie) zachowała znaczny procent pierwotnej pojemności – dla akumulatora z pozycji (5) była ona nawet większa od deklarowanej pojemności znamionowej! Tu jednak należy wziąć poprawkę na stosunkowo niski prąd pomiarowy I_r , prawdopodobnie znacznie niższy od tego, którego producent użył przy wyznaczaniu Q_{zn} . Natomiast w przypadku akumulatora (2) zarówno zmierzona pojemność poniżej 10% wartości Q_{zn} , jak i bardzo duża R_{we} (prawie 1Ω po rozładowaniu) jednoznacznie świadczą o jego permanentnym wyeksploatowaniu.

Tabela 1

Lp.	Rodzaj	Marka/typ	Uzn [V]	Qzn [mAh]	Ir [mA]	Qa [mAh]	Qa/Qzn [%]	Rnał. [Ω]	Rroz. [Ω]	Wiek
1	Akum. kwasowo-ołowiowy	VIPOW LP4.5-6HQ	6	4500	450	3710	82,4%	0,101	0,211	nowy
2	Akumulator Li-Ion	Motorola SNN5517A	3,7	850	170	76	8,9%	0,646	0,992	ok. 15 lat
3	Akumulator Li-Ion	Nokia BL-5C	3,7	1020	200	838	82,2%	0,246	0,259	8..10 lat
4	Akumulator Li-Po	Nokia BP-6M	3,7	950	190	667	70,2%	0,237	0,261	8..10 lat
5	Akumulator Li-Po	Nokia BPS-2	3,6	1100	220	1140	103,6%	0,183	0,197	ok. 15 lat
6	Akumulator Ni-MH	PANASONIC "INFINIUM"	1,2	2000	400	1740	87,0%	0,095	0,080	ok. 5 lat
7	Akumulator Ni-MH	SANYO "ENELOOP"	1,2	2000	400	1750	87,5%	0,055	0,089	ok. 5 lat
8	Akumulator Ni-MH	SONY "CycleEnergy"	1,2	2500	500	1410	56,4%	0,135	1,087	ok. 5 lat
9	Akumulator Ni-MH	TRONIC "ENERGY 2500"	1,2	2500	500	1750	70,0%	0,180	0,156	ok. 1 rok
10	Akumulator Ni-MH	VARTA "LONGLIFE ACCU"	1,2	2100	420	1340	63,8%	0,086	0,750	ok. 5 lat
11	Akumulator Ni-MH	IKEA "LADDA"	1,2	2000	400	1890	94,5%	0,050	0,062	nowy
12	Akumulator Ni-MH	GP "2700 Series"	1,2	2600	500	1000	38,5%	0,325	0,525	ok.. 10 lat
13	Ogniwo alkaliczne "AA"	Aerocell "Alkaline"	1,5	2000	500	1 670	83,5%	0,133	0,199	nowe
14	Ogniwo alkaliczne "AA"	Auchan "High Performance"	1,5	2000	500	1 910	95,5%	0,144	0,263	nowe
15	Ogniwo alkaliczne "AA"	Carrefour "Alkaline"	1,5	2000	500	1 130	56,5%	0,122	0,236	nowe
16	Ogniwo alkaliczne "AA"	Megacell "Alkaline Super"	1,5	2000	500	1 400	70,0%	0,190	0,306	nowe
17	Ogniwo alkaliczne "AA"	Rocket "Alkaline"	1,5	2000	500	1 730	86,5%	0,192	0,470	nowe
18	Ogniwo alkaliczne "AA"	IKEA "ALKALISK"	1,5	2000	500	1 610	80,5%	0,156	0,094	nowe
19	Ogniwo cynk.-węgl. "AA"	Megacell "UltraGreen"	1,5	700	140	560	80,0%	0,480	0,835	nowe
20	Ogniwo cynk.-węgl. "AA"	Auchan "Saline"	1,5	700	140	643	91,9%	0,527	1,024	nowe

Ciekawe rezultaty przyniosły testy akumulatorów NiMH (poz. 6–12) – w różnym wieku i pochodzące od różnych producentów. Zmierzone prądem 5-godzinnym pojemności względne leżały w zakresie od około 40% (poz. 12) do ok. 95% (poz. 11) deklaracji producentów – w zależności od wieku, jakości wykonania i stanu technicznego akumulatorów. Jeszcze ciekawiej prezentuje się zakres uzyskanych wartości Rwe, który rozciągał się od około 50 mΩ dla dobrej jakości naładowanych akumulatorów nowych i używanych (pozycje 7 i 11) aż do wartości w zakresie od 0,5 do około 1Ω dla rozładowanych akumulatorów – znacząco lub całkowicie wyeksploatowanych (pozycje 8, 10 i 12). Przy tak dużych wartościach Rwe nie będziemy w stanie wykorzystać zgromadzonej pojemności Q_a z uwagi na znaczne spadki napięcia U_a pod obciążeniem roboczym. Niekwestionowanym zwycięzcą tego konkursu są akumulatorki SANYO „ENELOOP”, słusznie cieszące się od lat doskonałą renomą – pomimo ok. 5 lat dość intensywnej eksploatacji zachowały zadziwiająco dobre parametry użytkowe.

Należy tu wyjaśnić, że zbyt niskie napięcie znamionowe badanego źródła energii U_{zn} oraz jego zbyt wysoka oporność wewnętrzna R_{we} mogą znacznie ograniczać maksymalny osiągalny prąd rozładowywania I_{rmax} – szczególnie w przypadku testów przeprowadzanych na pojedynczych sztukach. Dlatego w przypadku rutynowych okresowych testów zestawów akumulatorów (zazwyczaj tego samego typu), które normalnie pracują razem w połączeniu szeregowym (np. dwie czy cztery sztuki), dla przyspieszenia i wygody działania autor zaleca następujące proste podejście:

- dokonać pomiaru wypadkowych wartości Q_a i R_{we} na całym zestawie akumulatorów, pamiętając o tym, że pomierzona pojemność Q_a będzie równa pojemności tego akumulatora, dla którego jest ona najmniejsza, natomiast uzyskana R_{we} będzie sumą oporności wewnętrznych wszystkich akumulatorów,
- jeżeli wyniki te nie są satysfakcjonujące lub znacząco odbiegają od rezultatów poprzednich testów danego zestawu (warto mieć je gdzieś zanotowane dla późniejszego porównania), to trzeba sprawdzić parametry każdego z akumulatorów z osobna po to, by wyeliminować z działania uszkodzone, zużyte produkty.

Opisaną metodę polecam z własnego doświadczenia, które mówi, że akumulatorki tego samego typu, od nowości



Fot. 7

pracujące razem szeregowo, w większości przypadków ulegają wyeksploatowaniu w podobnym stopniu i tempie. Nie jest to jednak reguła 100% i dlatego, w razie potrzeby, warto mieć możliwość zbadania pojedynczych sztuk – każdej z osobna.

W tym miejscu należy wrócić do kwestii ograniczenia wartości prądu rozładowania I_r – w zależności od napięcia źródła U_a i jego oporu R_{we} (temat sygnalizowany na początku artykułu). Ograniczenie to może wystąpić praktycznie tylko w przypadku badania pojedynczych, jednorazowych ogniw 1,5V oraz akumulatorów Ni-MH 1,2V, a wynika ono z nasywania się tranzystorów wykonawczych Q7 i Q8. Dla lepszego zobrazowania samego zjawiska w programie LTSpice przeprowadzono symulacje charakterystyk prądowo-napięciowych w pełni wysterowanego źródła rozładowującego. Rezultaty symu-

Z diodą D5 w układzie		
$U_p =$	0,60	[V]
$R_d =$	1,48	[Ω]

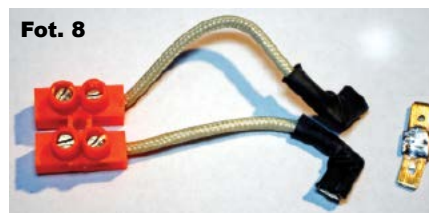
Tabela 2a

U_a [V]	Rser+Rwe [Ohm]					
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
	I _{rmax} [mA]					
1,6	676	595	532	481	439	403
1,4	541	476	426	385	351	323
1,2	405	357	319	288	263	242
1	270	238	213	192	175	161
0,8	135	119	106	96	88	81

Bez diody D5 w układzie		
$U_p =$	0,33	[V]
$R_d =$	1,33	[Ω]

Tabela 2b

U_a [V]	Rser+Rwe [Ohm]					
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
	I _{rmax} [mA]					
1,6	955	830	734	658	596	545
1,4	805	699	618	554	502	459
1,2	654	569	503	451	408	373
1	504	438	387	347	315	288
0,8	353	307	272	244	221	202



Fot. 8

lacji posłużyły z kolei do opracowania tzw. odcinkowo-liniowych modeli takiego źródła, dzięki którym prosto wyznaczono wartości I_{rmax} – w zależności od U_a i R_{we} (pliki do symulacji, wykresy z opisanymi modelami oraz tabelki z wynikami zamieszczono w materiałach dodatkowych na Elportalu). W tabeli 2a podano wartości I_{rmax} dla oryginalnego rozwiązania z zalutowaną diodą D5 (U_p i R_d to wykorzystane parametry modelu odcinkowo-liniowego źródła prądowego) – dobrze pokrywają się one z rezultatami testów praktycznych.

Jak wynika z tabeli, po rozładowaniu akumulatora czy ogniwa do około 1V może nastąpić dość silne ograniczenie prądu I_r – tym większe, im większy będzie łączny opór $R_{ser}+R_{we}$ mierzonego zestawu. Ominięcie tego ograniczenia możliwe jest przez zastąpienie zworą (lub zbocznikowanie grubą srebrzanką) diody D5 – jednak ze świadomością, że wyeliminujemy w ten sposób z układu jedno z zabezpieczeń. Jeśli nie obawiamy się takiej operacji (temat poruszony szerzej we

wcześniej części artykułu), to po jej wykonaniu zwiększone wartości I_{rmax} powinny wyglądać tak, jak w tabeli 2b, z której wnioski pozostawiam Czytelnikom ☺.

Na podstawie własnych doświadczeń proponował-

bym nie eliminować z układu D5, godząc się jednak z tym, że przy niektórych testach pojedynczych akumulatorów czy ogniwi końcowa faza pomiaru pojemności Qa lub pomiar Rwe rozładowanego źródła energii odbędzie się z odpowiednio mniejszym prądem Ir (zadba o to automatyka testera ☺).

W tym miejscu widać już bardzo wyraźnie, że wartość Rser w obwodzie pomiarowym nie tylko może zafałszować pomiar Rwe (zwłaszcza jeśli nie przeprowadzimy wcześniej kalibracji), ale ograniczy też zakres wartości roboczych prądów Ir (i tu kalibracja nic nie pomoże). W tabeli 3, w materiałach dodatkowych na Elportalu podano wyniki roboczych testów różnych koszyków „AA”, które autor wykonał w trakcie opracowywania projektu. Nie wdając się nadmiernie w ich specyfikę (używano źródła prądowego z zasilacza laboratoryjnego), warto zwrócić uwagę, że pomierzona Rser zmieniała się od 0,014 aż do 0,170Ω (sic!) przy przeliczeniu na jedno ogniwo w koszyku (w zależności od wybranego koszyczka oraz długości i jakości połączenia kablowego). Duży rozrzut wartości o znacznym maksimum sugeruje, że bez kalibracji Rser nie ma szans na dobry pomiar Rwe. Dla pomiarów wykonywanych z $N_c=1$ (mierzono pojedyncze ogniwo) najlepiej sprawowały się koszyczki na jedno ogniwo, pochodzące ze sklepu AVT (fotografia 9). Już na oko sądząc, były one wykonane starannie i z dobrych materiałów (połyskujące styki, silna sprężynka, solidnie zaciśnięte wyprowadzenia przewodów), co w połączeniu z krótkimi kablami doprowadzającymi o przekroju 1,5 mm² dało niskie wartości Rser. Jakkolwiek dobrej jakości koszyczek nie wyeliminował całkowicie potrzeby pomiaru oporu Rser (kalibracji pomiaru rezystancji) – choćby po to, by wiedzieć, czy Rser jest duży (znaczący dla pomiaru Rwe), czy nie. Jako docelowe rozwiązanie powstały zmodyfikowane koszyczki (fotografia 10), w których wyprowadzenia wykonano z grubej srebrzanki, zaciśniętej do styków wykonanych śrubkami M2 ze stali nierdzewnej. Tak wykonane połączenia

okazały się pewne, o dużej stabilności mechanicznej i elektrycznej. Z kolei problem solidnego zamknięcia obwodu do kalibracji pomiarowej został rozwiązany za pomocą konstrukcji tzw. „fantomów” ogniwi „AA”. Wykonałem je z wyeksploatowanych akumulatorów tego formatu przez staranne zvarcie srebrzanką wyprowadzeń „+” i „-” (fotografia 11). Przed wykonaniem tej operacji zużyte akumulatorki zostały całkowicie rozładowane do niemal 0V przez zewnętrzne oporniki o wartości 10Ω, co miało zapobiec intensywnym zmianom elektrochemicznym w trakcie i zaraz po lutowaniu zwory ze srebrzanki. Tu warto zauważyć, że „fantomy pomiarowe”, które próbowałem wykonać wcześniej ze zużytych ogniwi alkalicznych, były bardziej kłopotliwe w realizacji z uwagi na zworę, którą należałoby wykonać przy ujemnym biegunie zasilania (między „dekielkiem” a powierzchnią boczną walca) – z niekorzystnym wpływem na kształt i wymiary „fantomu”. Tak wykonane ze zużytych akumulatorów Ni-MH „AA” fantomy świetnie sprawdziły się u mnie w roli „wypełniaczy koszyczków” na czas kalibracji.

Należy podkreślić, że na wyniki samej kalibracji (a więc i pomiarów Rwe) wpływ miały zarówno wszelkie zanieczyszczenia styków, jak i niestabilne ułożenie „fantomu” lub badanego źródła energii. Dlatego styki przed pomiarami bardzo małych rezystancji muszą zostać starannie oczyszczone (najlepiej denaturatem i twardym ręcznikiem papierowym, który ich nie pokaleczy) a ułożenie w koszyczku powinno być pewne i równe. Najlepiej jest wykonać kilka kalibracji pod rząd po to, by upewnić się, że „fantom” w koszyczku ułożył się już prawidłowo, co zapewnia powtarzalność kolejnych pomiarów – na poziomie pojedynczych miliomów. Analogiczna uwaga dotyczy pomiaru Rwe źródeł energii w koszyczkach – warto powtórzyć ją kilkukrotnie,

by upewnić się co do stabilności mechaniczno-elektrycznej połączenia.

Ostatnia uwaga dotyczy samych „fantomów” generalnie. Chociaż w moich testach sprawowały się one doskonale, nie wykazały korozji na zewnątrz ani żadnych nieprzyjemnych konsekwencji lutowania wyeksploatowanych akumulatorów, to ewidentnie takie ich wykorzystanie nie jest zgodne z intencją producentów i dlatego należy podejść do niego z wielką ostrożnością. W szczególności, lutując rozładowany do 0V akumulator należy zachować ogromną ostrożność (obowiązkowo używając okularów ochronnych i rękawic roboczych) a tak wykonane fantomy po zakończeniu pomiarów najlepiej zutylizować razem z innymi zużytymi ogniwami. Jeśli jednak nie czujemy się na siłach produkować takie „fantomy” w domu (robienie tego to działanie całkowicie na własną odpowiedzialność – autor artykułu nie gwarantuje, że przerabiany akumulator np. nie pęknie w trakcie lutowania), to po prostu użyjmy w celu przeprowadzenia kalibracji gotowego „fantomu” ogniwa „AA” (spotyka się takie w sprzedaży) albo starannie zalepionej do wyprowadzeń koszyczka cienkiej srebrzanki – będzie trochę mniej dokładnie, ale na pewno bezpieczniej ☺.

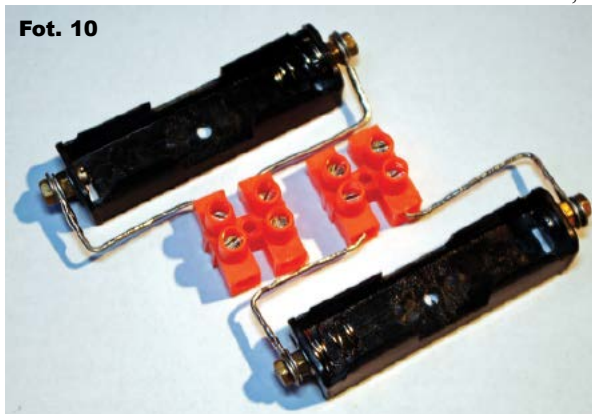
Po zdobyciu tak obszernej praktycznej wiedzy o kalibracji i pomiarach przyrządem możemy śmiało przejść do omówienia testów nowych ogniwi alkalicznych (poz. 13–18) oraz cynkowo-węglowych (poz. 19–20). Przyjęte do porównań pojemności znamionowe Qzn (odpowiednio: 2000 i 700mAh) są wartościami przeciętnymi, typowymi dla tej klasy źródeł energii.

Trudno podjąć mi się jednoznacznego komentarza co do uzyskanych rezultatów (w tym celu należałoby przeprowadzić badania na odpowiednio dużej statystycznie próbie ogniwi), ale już na pierwszy rzut oka widać, że dla ogniwi alkalicznych roz-

rzut uzyskiwanych pojemności Qa był spory (od prawie 60 do ponad 95% szacowanej Qzn).



Fot. 9



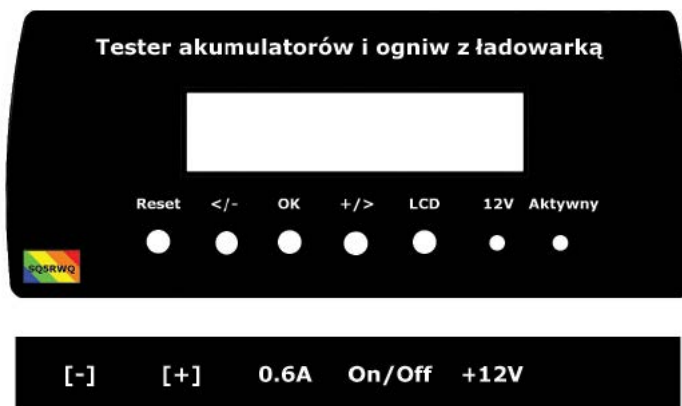
Fot. 10



Fot. 11

Podobnie zaskakujący był rozrzut wartości Rwe po rozładowaniu (aż ok. 0,1...0,5Ω), choć dla ogniw naładowanych we wszystkich przypadkach utrzymany został przedział ok. 0,1...0,2Ω. Warto też podkreślić fakt, że choć ogniwa alkaliczne przyzwoitej jakości mają co prawda Rwe 2...4 razy większą, niż sprawne akumulatory Ni-MH podobnej klasy, to już w kategorii pojemności Qa są z nimi porównywalne przy 25% wyższym Uzn, znacznie atrakcyjniejszych cenach i braku tendencji do szybkiego samorozładowywania się. Wniosek jest tu oczywisty – w zastosowaniach, w których kluczowe nie są: ani znaczny szczytowy pobór prądu (więc i bardzo mała Rwe), ani znaczna jego wartość średnia (nie występuje potrzeba częstego doładowywania czy wymiany), dobrej jakości ogniwa alkaliczne mogą być doskonałą alternatywą dla akumulatorów Ni-MH.

Ostatnią, skromną grupę testową stanowiły dwa typy ogniw cynkowo-węglowych (Leclanchego) o $U_{zn}=1,5V$, które znacznie ustępowały parametrami ogniwom alkalicznym (kilkukrotnie większe Rwe i kilkukrotnie mniejsze Qa). Choć są to obecnie najtańsze na rynku źródła energii w obudowach formatu „AA”, to ich relatywnie niskie ceny moim zdaniem nie są wciąż proporcjonalne do bardzo przeciętnych parametrów, co przy jednoczesnej zdolności do korozji i rozlania się zużytych lub starych ogniw czyni ich zakup mocno dyskusyjnym. Jedyнным argumentem za zakupem tych ogniw, zresztą podkreślanym czasem w nazwach produktów hasłami: „supergreen” czy „ultragreen”, może być ich szkodliwość dla środowiska – mniejsza niż w przypadku ogniw alkalicznych czy akumulatorów Ni-MH. Trudno mi to jednak jednoznacznie skomentować, ponieważ w każdym z przypadków obowiązuje nas odpowiednia utylizacja zużytych źródeł energii a zużycie relatywnie większej ilości ogniw (o gorszych parametrach) na pierwszy rzut oka nie jest proekologiczne. Tak więc jedyne nasuwające się



Rys. 9

logiczne zastosowanie w XXI w. ogniwo cynkowo-węglowych, to takie, w którym ich „docelowy biorca energii” prawdopodobnie zakończy swój technologiczny żywot jeszcze przed zużyciem ogniw. No bo wariantu, w którym chodzi wyłącznie o to, by zasilane urządzenie działało na nowych ogniwach tylko krótko, zaraz po jego zakupie (priorytet dla najniższej ceny), w ogóle nie wypada mi brać pod uwagę... ☺.

Na koniec rozdziału poświęconego testom chciałbym jeszcze podkreślić, że ich rezultaty mają wyłącznie orientacyjny charakter i dotyczą wybranych losowo egzemplarzy źródeł energii – w różnym wieku i stanie technicznym. Np. w przypadku nieużywanych ogniw 1,5V w ogóle nie brano pod uwagę tego, ile czasu spędziły na sklepowych półkach przed ich zakupem i rozpoczęciem pomiarów. Dlatego przedstawionych wyników nie można wykorzystywać wprost jako źródła rzetelnej informacji handlowej o konkretnych produktach. Jakkolwiek dają one pewne pojęcie o zachowaniu różnych źródeł energii i w pełni potwierdzają praktyczną przydatność opisanego testera. Tym bardziej zachęcam do samodzielnych pomiarów oraz analiz porównawczych pojemności Qa i oporów wewnętrznych Rwe różnych źródeł energii – niekoniecznie wyłącznie na własne potrzeby.



Możliwe zmiany w projekcie

Na rysunku 9 pokazany został przykładowy projekt płyty czołowej (dostępny też w Elportalu – w rozdzielczości 300dpi). Oczywiście można zrealizować inny.

Podstawową zmianą, jaką można zaproponować doświadczonemu konstruktorowi, jest zwiększenie zakresu dopuszczalnych napięć badanych akumulatorów U_a oraz prądów roboczych I_r . Zadanie z pozoru bardzo proste, wymagałoby jednak licznych modyfikacji, w tym m.in.: zastosowania w bloku wykonawczym elementów o większych dopuszczalnych mocach strat (R12, Q6, R23, Q8), wyprowadzenia tranzystorów Q6 i Q8 na większe radiatory (zamontowane poza obrębem płytki drukowanej i dobrze wentylowane), zastosowania wyższego napięcia zasilania układu (np. +18V do pracy z akumulatorami kwasowymi 12V), wymiany R12 i R23 na wartości odpowiednie dla nowych zakresów U_a i I_r , wymiany RL1 i F1, korekt elementów RC w blokach sterujących i pomiarowych a wreszcie korekt w programie sterującym (podprogramy sterowania prądami roboczymi i wszelkimi pomiarami). W zmianach tych pomocne powinny być zawarte w artykule dość obszernie wyjaśnienia – dotyczące zarówno samego układu, jak i specyfiki programu sterującego. W przypadku zainteresowania Czytelników takim urządzeniem o (jeszcze) szerszym zakresie zastosowań proszę o kontakt na podany dalej adres e-mail lub o kontakt z Redakcją.

Na koniec chciałbym serdecznie podziękować za cenne uwagi i wskazówki merytoryczne Kolegom konstruktorom: Jerzemu Mroszczakowi SQ7JHM i Lucjanowi Bryndzy SQ5FGB oraz Panu Redaktorowi Piotrowi Góreckiemu, który był też świadkiem i współuczestnikiem moich licznych „upadków i wzlotów” przy tym na pozór niezwykle prostym projekcie ☺.

Adam Sobczyk SQ5RWQ
sq5rwq@gmail.com

