

Wpływ stacjonarnych mierników „TBA-IN” na niezawodność systemów zasilania (siłowni AC/DC) obiektów telekomunikacyjnych

Paweł Godlewski, Marian Kowalewski, Ryszard Kobus
Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań naukowych i prac konstrukcyjnych, mających na celu osiągnięcie wymaganego poziomu niezawodności systemów zasilania eksploatowanych obiektów telekomunikacyjnych. Przedstawiono wyniki badań i prac w zakresie unikalnych mierników dysponowanej pojemności baterii akumulatorów VLRA, stanowiących ważny element systemu teleinformatycznego w obiektach telekomunikacyjnych. Mierniki te, TBA-IN15, przeznaczone do wbudowania w siłownie AC/DC z akumulatorami 40-160 Ah, podnoszą żywotność i niezawodność ich oraz eksploatowanych systemów teleinformatycznych.

Słowa Kluczowe: Siłownie telekomunikacyjne, niezawodność systemów zasilania, pomiary dysponowanej pojemności baterii telekomunikacyjnych

Wprowadzenie

W procesie eksploatacji urządzeń i sieci teleinformatycznych ważnego znaczenia nabiera ich niezawodność, rozumiana jako właściwość polegająca na poprawnym wykonaniu zadań, które sprowadzają się głównie do świadczenia usług teleinformatycznych. Przyjmuje się, że niezawodność to zdolność urządzeń i sieci teleinformatycznych do świadczenia usług w określonych warunkach eksploatacyjnych [1,2,10,12, 13,16]. Z określeniem niezawodności ma związek trwałość. Odwołując się do prac standaryzacyjnych, trwałość definiuje się jako *zdolność jednostki funkcjonalnej do wykonywania wymaganej funkcji w danych warunkach użytkowania i obsługi, aż do osiągnięcia stanu granicznego* [12]. Odnosząc to stwierdzenie do jednostki funkcjonalnej, jakimi są urządzenia i sieci teleinformatyczne, stan graniczny należy rozumieć jako okres zakończenia czasu ich eksploatacji, spowodowany nieopłacalnością z punktu technicznego, ekonomicznego lub innego ważnego powodu.

Analiza materiałów źródłowych [8,12,13] oraz praktyka wskazuje, że trwałość mówi o tym, jak zapewnić niezawodność urządzeń i sieci teleinformatycznych w konkretnych warunkach ich eksploatacji. Mówiąc o eksploatacji mamy na uwadze głównie ich użytkowanie i obsługiwanie. Przy czym, przez użytkowanie rozumie się ich wykorzystywanie zgodnie z przeznaczeniem i obowiązującymi procedurami oraz zasadami. Natomiast przez obsługiwanie rozumie się ich monitorowanie, diagnozowanie, konserwację, utrzymanie, pielęgnację i przeglądy oraz inne działania z tym związane, w tym także i działania administracyjne. W praktyce, obsługiwanie określane jest także mianem obsługiwalności [12], które najczęściej sprowadza się do działań prowadzonych po wystąpieniu uszkodzenia urządzenia czy systemu.

Sieci teleinformatyczne są podstawą funkcjonowania współczesnej cywilizacji informacyjnej, a świadczone za ich pomocą usługi sprzyjają rozwojowi współczesnego społeczeństwa.

Prowadzone w ostatnich latach badania wskazują¹, że wśród składników sieci teleinformatycznych najbardziej dynamicznie rozwijają się te, które dotyczą dostępu radiowego (tzw. radiodostępu) i tworzą tzw. sieci komórkowe. Rozmieszczane są one w obiektach telekomunikacyjnych, zasilanych zgodnie z wymogami redundancyjnymi, a ich ilość w Polsce szacuje się na ok. kilkadziesiąt tysięcy. [7,14,15].

Obiekty telekomunikacyjne, w tym ich siłownie, projektowane są na znaczne okresy czasu eksploatacji – typowo 25 lat – natomiast w ich ramach co kilka lat, w miarę zmian technologicznych, wymieniane są urządzenia transmisyjne, nadawczo-odbiorcze oraz zdalnego nadzoru i zarządzania. Oznacza to, że od niezawodności siłowni prądu stałego AC/DC w znacznej mierze uzależniona jest niezawodność sieci teleinformatycznej i świadczonych przez nie usług.

Słownie AC/DC obiektów telekomunikacyjnych

Urządzenia telekomunikacyjne zasilane są [14] napięciem stałym DC (48 V). Z uwagi na ten fakt podstawowym elementem siłowni AC/DC są prostowniki siłowni – PS (patrz Rys. nr 1 a). Ogólnie ujmując, prostowniki te, zasilane z sieci elektroenergetycznej AC, zasilają urządzenia telekomunikacyjne „R” oraz ładują akumulatory „B”. Akumulatory „B” przejmują zasilanie urządzeń na czas awarii sieci energetycznej AC.

Współczesna (typowa) siłownia AC/DC realizuje następujące tryby pracy:

- **praca buforowa** – podstawowy trybem pracy siłowni AC/DC, w którym odbiorniki energii DC są zasilane z prostowników (napięciem ok. 54 V), a baterie w stanie pełnego naładowania są podłączone równolegle z prostownikami i odbiorami do zacisków wyjściowych siłowni i pobierają niewielki prąd, uzupełniający ładunek tracony wskutek samowyładowania baterii;
- **praca bateryjna** – następuje automatycznie po zaniku napięcia sieci AC, w tym trybie odbiorniki energii DC są zasilane z baterii akumulatorów do momentu powrotu napięcia AC lub rozładowania baterii (przy napięciu poniżej 43,2 V baterie powinny zostać odłączone od odbiorów przez rozłącznik głębokiego rozładowania RGR, o ile siłownia jest w taki rozłącznik wyposażona);
- **ładowanie powrotne baterii** – następuje automatycznie po powrocie napięcia sieci AC (i po załączeniu RGR, jeżeli został rozłączony); ładowanie odbywa się podwyższonym (zalecanym dla danego typu baterii) napięciem, o wartości nie wyższej niż 57,6 V, a po osiągnięciu tego napięcia i zadanego czasu system przechodzi automatycznie w tryb pracy buforowej;
- **test dyspozycyjności baterii** – polega na częściowym wyładowaniu wszystkich dołączonych do systemu baterii, w tym celu obniżane jest napięcie prostowników siłowni do takiej wartości, która wymusza zasilanie odbiorników „R” energii DC z baterii, umożliwiając ocenę ich stanu, a jednocześnie gwarantuje utrzymanie

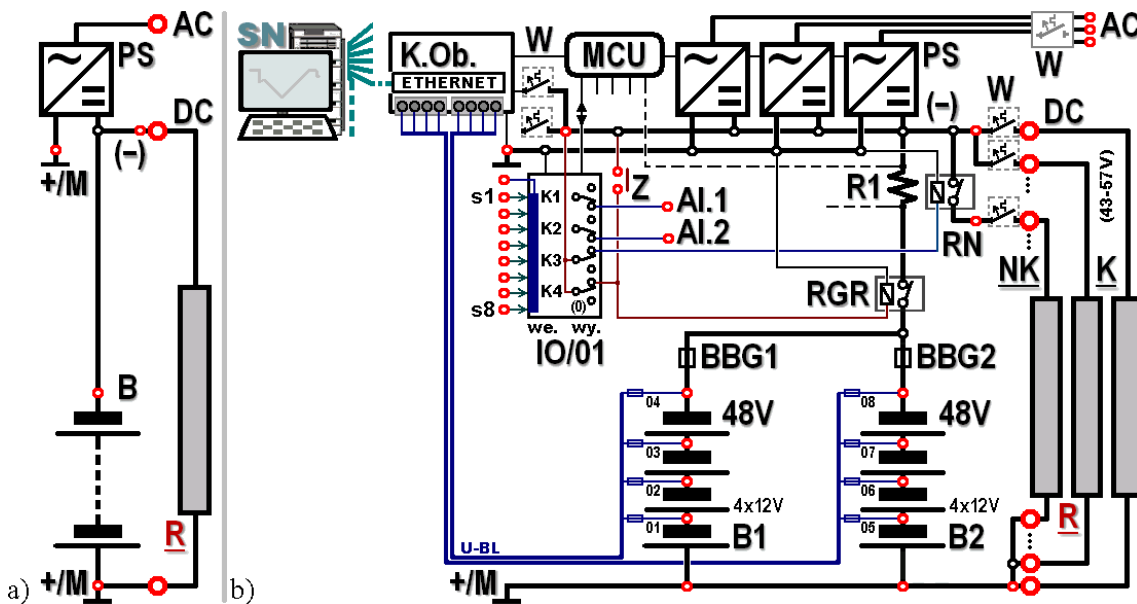
¹Badania urządzeń i systemów dostępu radiowego, głównie technologii 2G/3G/4G oraz LTE, prowadzone w ramach prac badawczych IŁ-PIB w latach 2012-2018.

rezerwy energetycznej (ok. 50%) na wypadek zaniku napięcia AC; test ten pozwala na wykrycie bloków baterii zdecydowanie odbiegających od wartości średniej, ale nie daje wiedzy o ich rzeczywistej dysponowanej pojemności.

Rzeczywiste siłownie AC/DC (patrz Rys. nr 1 b) zawierają [14] dodatkowe elementy, których zadaniem jest albo ułatwienie obsługi i zabiegów konserwacyjnych, albo poprawa niezawodności pracy systemu zasilania. W oferowanych siłowniach wszystkie elementy są łatwo wymienne w trakcie pracy oraz (za wyjątkiem baterii akumulatorów) są trwałe, niewielkie, lekkie i łatwe do długotrwałego magazynowania.

W takiej siłowni główne moduły, uczestniczące w zasilaniu odbiorników energii „R”, są redundantne (typu N + 1, gdzie N to minimalna wymagana liczba podzespołów dla prawidłowego funkcjonowania siłowni). Wprawdzie z analiz wynika, że im większa jest liczba komponentów, tym większe jest prawdopodobieństwo wystąpienia awarii, ale za to awaria pojedynczego komponentu (pojedynczej fazy „sieci AC”, prostownika „PS”, baterii „B”) nie spowoduje utraty podstawowej funkcji siłowni – zasilania urządzeń telekomunikacyjnych. Ponadto wystąpi co najwyżej ograniczenie (do momentu wymiany) jej dodatkowych funkcjonalności – po uszkodzeniu modułu sterowania MCU, bezpiecznika baterii BBG, bezpiecznika odbiorów W, rozłącznika RGR oraz bocznika R1.

Badania materiałów źródłowych [3,4,5,6,11,14,15] oraz własne prace konstrukcyjne pozwalają na poniższy opis funkcjonalności poszczególnych składników współczesnych siłowni AC/DC.



Opracowanie własne.

Rys. nr 1. Schemat blokowy siłowni AC/DC: a) ogólny; b) przykładowe rozwiązanie

Prostowniki „PS”, zasilane z różnych faz sieci AC (niekiedy z różnych podstacji transformatorowych) i ew. agregatu prądotwórczego – zamieniają napięcie zmienne na stałe o wymaganych parametrach prądowo-napięciowych. W siłowni współpracuje ze sobą kilka równolegle połączonych identycznych modułów o takiej wydajności prądowej, która zapewni pracę odbiorników energii „R” oraz ładowanie akumulatorów „B” także po wyłączeniu z eksploatacji dowolnego z nich (awaria, konserwacja).

Baterie akumulatorów „B” („B1”, „B2”) są podstawowym źródłem zasilania rezerwowego w systemie, a głównym parametrem jest tzw. rezerwa bateryjna, czyli czas, przez jaki baterie mają zapewnić zasilanie odbiorom w przypadku zaniku napięcia sieci AC. **Ze względu na** wymaganą **niezawodność** oraz związaną z tym okresową kontrolę lub wymianę „baterii odłączonej od systemu”, powszechnie stosuje się dwie identyczne, pracujące równolegle baterie (głównie kwasowo-ołowiowe VRLA) o znamionowym napięciu 48 V. Wymagane napięcie baterii, które w stanie tzw. buforowania wynosi ok. 54 V, uzyskuje się poprzez szeregowe łączenie bloków akumulatorów – najczęściej 4 bloków o napięciu znamionowym 12 V.

Odbiorniki „R” energii DC (urządzenia telekomunikacyjne) w siłowniach AC/DC to urządzenia bezpośrednio zasilane napięciem stałym (wymagany zakres 36 – 65 V) lub napięciem przemiennym 230 V/ 50 Hz, ale wytwarzanym z gwarantowanego napięcia DC siłowni. W siłowni często wyróżnia się dwie grupy odbiorników energii – krytyczne *K* oraz niekrytyczne *NK*. Do pierwszej należą te, które przy awarii zasilania AC muszą pracować maksymalnie długo. Do drugiej grupy zalicza się te, które mogą zostać wyłączone przy zaniku napięcia AC albo natychmiast, albo przy zanikach trwających powyżej zadanego czasu.

Zabezpieczenia prądowe. Bezpieczniki główne „**BBG1**” i „**BBG2**” baterii (z reguły topikowe o prądzie 125 A lub 160 A lub 200 A) umożliwiają bezpieczne i trwałe manualne odłączenie każdej z baterii dla jej konserwacji lub wymiany oraz odłączają baterie od systemu zasilania przy przeciążeniu lub długotrwałym zwarciu na szynie zasilania. Wyłączniki nadprądowe „**W**” przy przeciążeniu lub manualnie odłączają sieć elektroenergetyczną AC i odbiorniki energii „**R**”.

Bocznik prądowy „R1”. Bocznik rezystorowy (zastępowany niekiedy układem typu LEM) służy do pomiaru prądu podczas ładowania lub rozładowywania baterii akumulatorów.

Rozłącznik głębokiego rozładowania baterii „**RGR**” jest opcjonalnym elementem siłowni. Aby chronić baterie przed niszczącym głębokim rozładowaniem, odłącza je od prostowników „**PS**” i odbiorników „**R**” przy napięciu baterii ok. 42,2 V.

Odłącznik odbiorów niekrytycznych „**RN**” może wydłużyć pracę systemu zasilania przy długotrwałych zanikach napięcia AC. Samoistnie (gdy zanika napięcie AC), na polecenie modułu sterowania „**MCU**” lub kontrolera obiektowego „**K.Ob**” może odłączyć na stałe lub okresowo te odbiorniki energii DC, które nie są krytyczne dla pracy obiektu (podgrzewanie, oświetlenie, itp.).

Moduł sterowania „MCU” (sterownik siłowni) zarządza trybami pracy siłowni i prądem wyjściowym prostowników oraz kontroluje parametry i funkcje systemu, prostowników oraz baterii – najczęściej poprzez specjalizowane karty (moduły) wejścia-wyjścia „**IO**”. Funkcje sterowania i nadzoru sterownik „**MCU**” realizuje zgodnie z poleceniami wydawanymi lokalnie przy użyciu przycisków i wyświetlacza lub zdalnie, przy współpracy ze scentralizowanym systemem nadzoru – poprzez modem, sieć Ethernet, Web lub SNMP. W razie potrzeby (awaria, konserwacja) można wyłączyć moduł sterowania – wtedy prostowniki i baterie z rozłącznikiem RGR będą zasilac odbiorniki energii autonomicznie.

Specjalizowane karty (moduły) wejścia-wyjścia „IO” łączą się ze sterownikiem i pomiędzy sobą magistralą CAN bus. Na Rys. 1b pokazano przykładowo cyfrową kartę „IO/01” z wejściami sygnalizacyjnymi „s1–8” i odpowiedzialną za odłączniki „RN”, „RGR” oraz alarm pilny „Al.1” i niepilny „Al.2”.

Kontroler obiektowy „K.Ob” to moduł z reguły dedykowany stosowanemu systemowi zdalnego nadzoru *SN*. Uczestniczy w jego komunikacji z modułem sterowania „MCU”, dostarcza informacji o stanie siłowni, baterii, urządzeń telekomunikacyjnych, otwarciu drzwi, obrazie wnętrza i otoczenia obiektu oraz może sterować klimatyzacją, zamkami w drzwiach, oświetleniem, itp.). Kontroler zapewnia (gdy nie realizuje tego np. sterownik „MCU”) pomiar napięć bloków baterii („U-BL” na Rys. 1).

Dysponowana pojemność baterii akumulatorów

W analizowanych siłowniach AC/DC stosuje się baterie, które w stanie buforowania mają napięcie ok. 54 V [3,5]. Baterie złożone są z czterech, połączonych szeregowo bloków o napięciu znamionowym 12 V i pojemności od 40 Ah do 170 Ah (o masie dochodzącej do 60 kg), a każdy blok, w nierozbieralnej obudowie (dostępny jest jego zacisk „+” oraz „-”), tworzy 6 połączonych szeregowo ogniw.

Pojemność znamionową akumulatorów i baterii akumulatorów (oznaczaną C lub $Q_{10zn.}$) producenci podają dla prądu tzw. dziesięciogodzinnego, zapisywanego jako I_{10C} lub $0,1CA$, tzn. umożliwiającego w ciągu 10 godzin, w temperaturze $20^{\circ}C$, pobranie 100% ich pojemności, bez przekraczania minimalnego napięcia 1,80 V/ogniwo. Przy niższym prądzie rozładowywania pojemność jest nieco wyższa, a przy wysokim prądzie znacznie maleje (przy prądzie 1CA wynosi ok. 60% pojemności znamionowej). Pojemność dostępna z tego samego akumulatora, przy takim samym prądzie ale w różnych temperaturach, jest różna (przy $-15^{\circ}C$, gdy reakcje elektrochemiczne są wolniejsze, jest 2 razy mniejsza niż w temperaturze $+35^{\circ}C$).

Żywotność akumulatorów jest przez producentów określana w latach oraz liczbach cykli rozładowania-ładowania, po których naładowany akumulator lub blok zachowa (przy utrzymywanym napięciu buforowania) 80% swojej znamionowej pojemności [14,17]. Żywotność zależy od typu akumulatora i warunków eksploatacji, przy czym:

- długotrwała praca w temperaturze podwyższonej o każde $10^{\circ}C$ względem temperatury $+20^{\circ}C$ zmniejsza żywotność dwukrotnie;
- duży rozrzut napięć na poszczególnych ogniwach w łańcuchu szeregowym bloku lub baterii powoduje, że część ogniw jest permanentnie niedoładowana, a część jest ładowana napięciem zbyt wysokim, co skutkuje ich przyspieszoną degradacją;
- długotrwałe stany niedoładowania akumulatorów prowadzą do ich zasiarczenia, dlatego powinny być utrzymywane w stanie pełnego naładowania, co zapewnia pracę buforowa i niezwłoczne ładowanie po nawet częściowym wyładowaniu;
- akumulatory mają zaprojektowaną określoną liczbę cykli wyładowania i ładowania, przy czym liczba cykli z pobraniem 30% pojemności jest ok. 10 razy wyższa niż dla pełnych (100%) rozładowań. Liczba cykli silnie maleje wraz ze wzrostem prądu rozładowującego (standardowo jest podawana dla prądu $0,1CA$ – dziesięciogodzinnego rozładowywania);

- ze względu na szeregowe połączenie, o parametrach całej baterii (napięcie, pojemność, rezystancja wewnętrzna, wydajność prądowa) decyduje jej najgorszy blok (akumulator);
- niezależnie od technologii, typu i producenta, dla kilku procent baterii akumulatorów VRLA występuje zjawisko PCL – gwałtownej przedwczesnej utraty pojemności.

Pomiar dysponowanej pojemności baterii akumulatorów

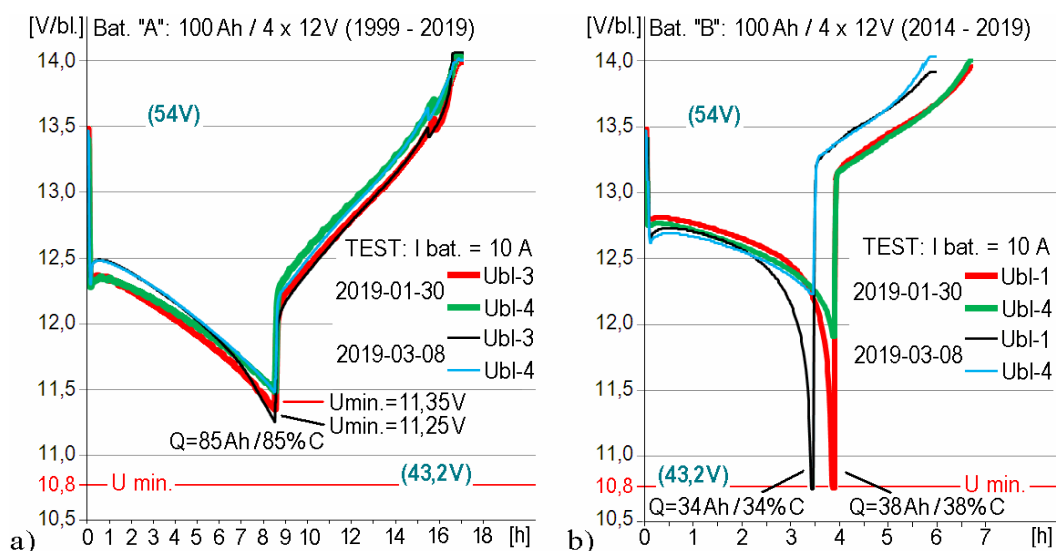
Praktyka oraz przytaczane badania wskazują, że pomiar dysponowanej pojemności baterii akumulatorów możliwy jest wyłącznie poprzez jej rozładowanie (pojemność jest iloczynem prądu i czasu). Z punktu widzenia użytkownika – interesująca jest pojemność dostępna przy prądzie oddawanym do odbiorników energii w danej lokalizacji. Jednak tak uzyskana wartość trudna jest do porównań (obiekty mają różne pobory prądu), dostawca baterii uwzględnia reklamacje udokumentowane badaniem przy znamionowym prądzie, a rozładowywanie baterii prądem innym niż znamionowy mocniej wpływa na jej żywotność. Wobec powyższego – dla określenia dysponowanej pojemności najlepiej rozładowywać baterię prądem 10-godzinnym, czyli 0,1CA. Po rozładowaniu, dla zachowania jak najlepszego stanu, bateria powinna zostać natychmiast w pełni naładowana – najlepiej prądem zbliżonym do 0,1CA (maksymalnie – 2 razy wyższym lub 2 razy niższym). Wynikiem badania jest pojemność dysponowana Q podawana w amperogodzinach (Ah) lub jako procent pojemności znamionowej ($Q = \%C$), ale może być przy okazji mierzona (także przydatna) liczba pobranych watogodzin (Wh). Sprawna bateria podczas ładowania powinna przyjąć ok. 5% więcej amperogodzin niż z niej pobrano.

W siłowni AC/DC obiektu telekomunikacyjnego dysponowaną pojemność baterii akumulatorów można zmierzyć, korzystając z regulowanej opornicy dużej mocy, woltomierza i amperomierza – należy pomnożyć wartość prądu w amperach (utrzymywanego poprzez regulację opornicy) przez czas (liczbę godzin), który upłynął do momentu spadku napięcia na baterii lub bloku „do zalecanej dopuszczalnej wartości”. Stosując z kolei automatyczną opornicę rozładowczą (z rejestracją amperogodzin) należy jedynie zadbać o niezwłoczne naładowanie rozładowanej baterii – najczęściej z dedykowanego prostownika. Automatyzację całego procesu kontrolnego rozładowania–naładowania baterii akumulatorów zapewniają mierniki przenośne typu TBA-IŁ oraz stacjonarne TBA-IN15 [14,15]. Przy czym zastosowanie miernika TBA-IŁ wymaga dołączenia/odłączenia baterii przez osobę dokonującą badania, natomiast przy zastosowaniu miernika TBA-IN15 – czynności te wykonują dedykowane elementy na stałe umieszczone w siłowni.

Opracowane w Instytucie Łączności – PIB mierniki TBA-IN15 poddano badaniu na obiekcie rzeczywistym². Uzyskane wyniki badań prezentuje Rys. nr 2, na którym pokazano charakterystykę napięciową dwu różnych (o pojemności 100 Ah) baterii akumulatorów, stosowanych w siłowniach AC/DC obiektów telekomunikacyjnych. W badaniu zaprogramowano prąd rozładowywania i ładowania 10 A, pobranie maksymalnie 85% pojemności znamionowej oraz dopuszczalne najniższe napięcie „najgorszego bloku” 10,8 V (1,80 V/ogniwo lub 43,2 V dla całej baterii). Dane uzyskane w toku badań z miernika TBA-

² Badania prowadzono w roku 2018 i 2019. Badaniem objęto m.in. siłownię firmy Telzas oraz modelową siłownię SBE2000SL firmy Benning, dostosowaną do współpracy z miernikami TBA.

IN15, zainstalowanego w już eksploatowanej siłowni AC/DC, prezentuje Rys. nr 2a, natomiast w siłowni dedykowanej odpowiednio Rys. nr 2b.



Opracowanie własne.

Rys. nr 2. Napięcia bloków zbadanej baterii akumulatorów: a) sprawnej; b) z efektem PCL

Prezentowane wyniki pomiarów uzyskano w konkretnych (rzeczywistych) warunkach eksploatacji baterii.

Bateria z Rys. nr 2a przez 20 lat pracowała w klimatyzowanej siłowni (brak jest wiedzy o liczbie i głębokości rozładowań baterii podczas jej eksploatacji). Na bardzo dobry jej stan wskazuje zmierzona dysponowana pojemność (powyżej 85% znamionowej) oraz niewielka różnica napięć bloków (na rysunku pokazano napięcie bloku najgorszego i najlepszego) podczas kolejnych, oddalonych od siebie o ponad miesiąc, badań. Badana bateria, podobnie jak druga pracująca z nią równolegle w siłowni, spełnia wymagania ($Q > 80\%C$) stawiane rezerwowemu źródłu energii.

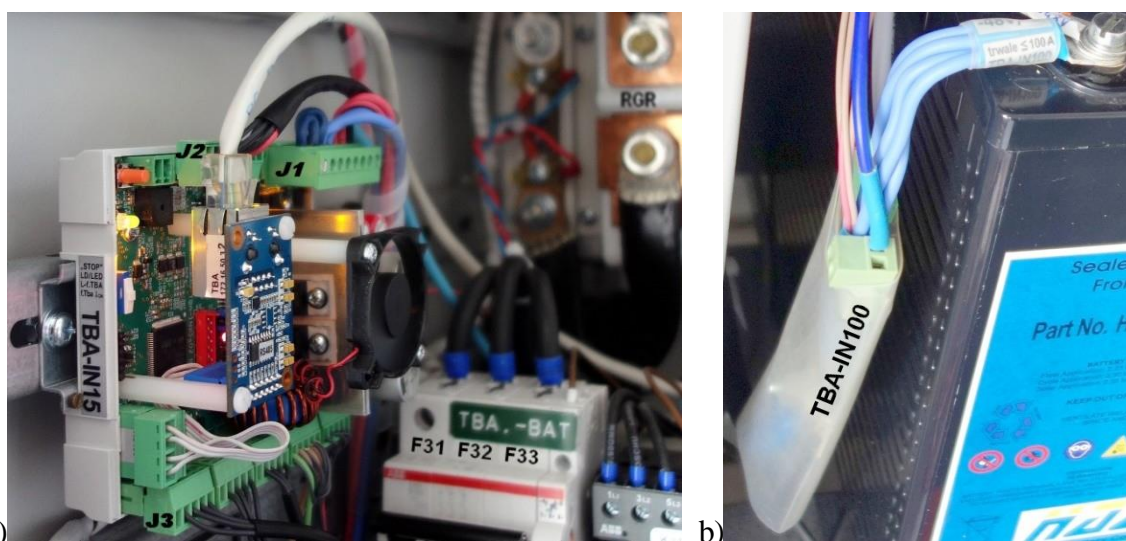
Bateria z Rys. 2b pracowała w nieklimatyzowanej modelowej siłowni, w laboratorium IŁ-PIB. W ciągu 5 lat była około 20-krotnie rozładowywana do dopuszczalnego napięcia „najgorszego monobloku”, głównie prądem 10-godzinnym, ale kilka razy prądem 2-krotnie wyższym i dwukrotnie niższym. Po 2 latach od zakupu zauważono spadek pojemności, po czym pozostawała głównie w stanie buforowania. Na podstawie dwu kolejnych badań przeprowadzonych w 2019 roku (pojemność dysponowana poniżej 40% znamionowej) można zauważyć postępującą szybko degradację pierwszego bloku tej baterii i poprawne zachowanie pozostałych bloków (na rysunku pokazano napięcie bloku najgorszego i najlepszego).

Stacjonarny miernik TBA-IN15 „dysponowanej pojemności baterii” w siłowni AC/DC obiektów telekomunikacyjnych

Stacjonarny miernik TBA-IN15 „dysponowanej pojemności baterii akumulatorów” jest instalowany w siłowni AC/DC na stałe. Z systemem nadzoru (SN) komunikuje się za pomocą protokołu „Modbus RTU”, poprzez interfejs RS485 lub Ethernet, z reguły za pośrednictwem kontrolera obiektowego tego systemu. Umożliwia, na polecenie systemu nadzoru, rozładowanie kontrolne i naładowanie wskazanej baterii akumulatorów zadany prądem, do

zadanego napięcia końcowego (ew. z pobraniem zadanej liczby amperogodzin). Podczas rozładowywania – pobraną z baterii energię oddaje (ze sprawnością powyżej 95%) do odbiorników DC energii, odciążając w tym czasie prostowniki „PS”. Mierzy i udostępnia napięcia bloków wszystkich baterii w siłowni, a podczas badania wskazanej baterii – także rzeczywisty prąd oraz pobrane i dostarczane amperogodziny (i watogodziny). Może pracować z maksymalnym prądem 16 A (jest to prąd dziesięciogodzinnego rozładowania baterii 160 Ah) i współpracować z maksymalnie pięcioma bateriami akumulatorów. Badanie każdej baterii, realizowane z reguły 1 raz w roku, zajmuje około 24 godzin. Powinno być inicjowane wtedy, gdy nie są przewidywane wyłączenia sieci AC. W okresie pomiędzy badaniami wyłączenie i wymiana miernika nie mają wpływu na funkcjonowanie siłowni [15].

Prezentowany na Rys. nr. 3a miernik TBA-IN15, o wymiarach 72 x 105 x 95 mm, może współpracować z dedykowanymi odłącznikami baterii – Rys. nr 3b o wymiarach 40 x 90 mm.



Opracowanie własne

Rys. nr 3. W siłowni AC/DC: a) miernik TBA-IN15, b) odłącznik baterii TBA-IN100

Podstawowe parametry techniczne miernika i odłączników prezentuje Tabl. nr 1.

Tab. nr 1. Podstawowe parametry mierników z odłącznikiem

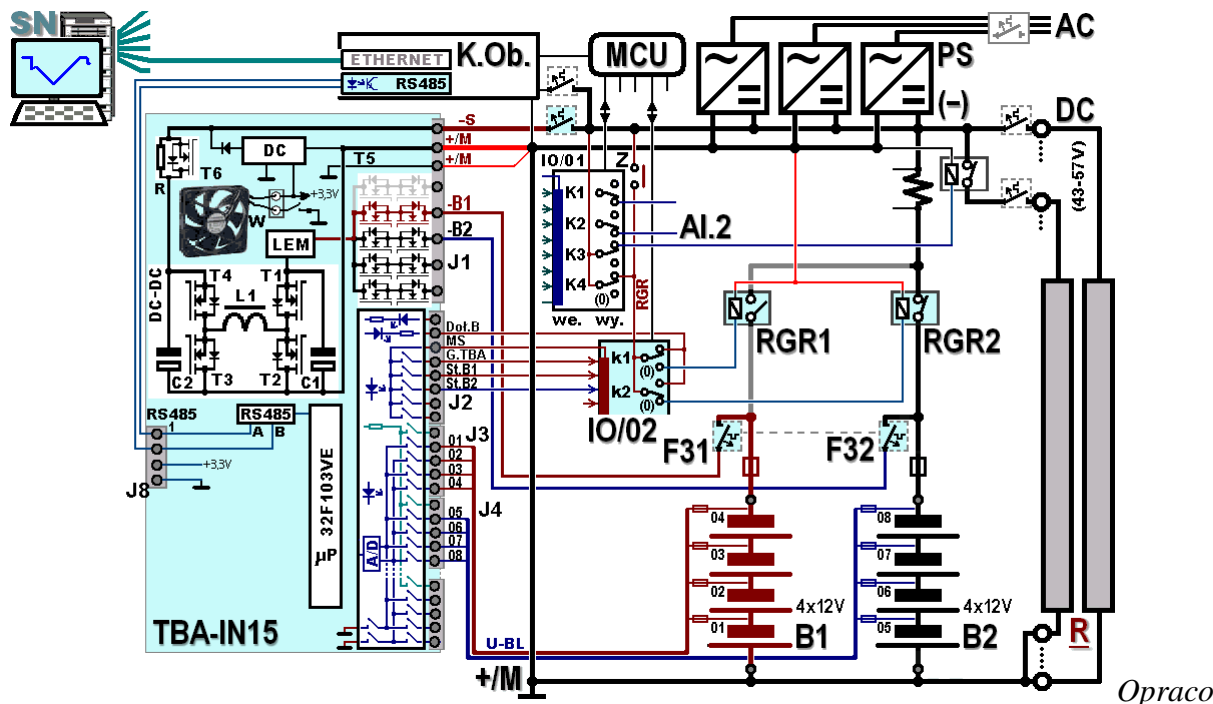
	TBA-IN15	<i>TBA-ST (inne modele)</i>
Liczba obsługiwanych baterii akumulatorów	2 – 5	2 – 3
Maks. prąd rozładowywania-ładowania baterii	16 A	50 A
Pojemność kontrolowanych baterii	40 – 165 Ah	40 – 500 Ah
Dokładność pomiaru napięć, prądu, pojemności	±1%	±1%
Odłącznik baterii elementem siłowni (RGR)*	tak	tak
Odłącznik baterii TBA-IN100 (maks. prąd trwały)	tak (180 A)	nie
Komunikacja (wg protokołu <i>Modbus RTU</i>)	RS485, Ethernet	
Konstrukcja, mocowanie miernika w siłowni	szyna DIN	½ kasety 1U

* dla wybranych typów nowo zamawianych siłowni AC/DC

Opracowanie własne

Odłączniki baterii TBA-IN100, zależnie od wersji, można instalować w obwodach baterii zabezpieczonych bezpiecznikami 125 A lub 160 A lub 200 A. Moc tracona w odłączniku podczas typowej pracy to poniżej 0,3 W, a przy maksymalnym trwałym prądzie ok. 8 W (wtrącana w obwód rezystancja jest znacznie poniżej 1 mΩ).

Z prowadzonych badań wynika, że miernik TBA-IN15 najkorzystniej jest instalować w nowych, dedykowanych (dostosowanych przez producenta) siłowniach AC/DC (patrz Rys. nr 4)³.



wanie własne

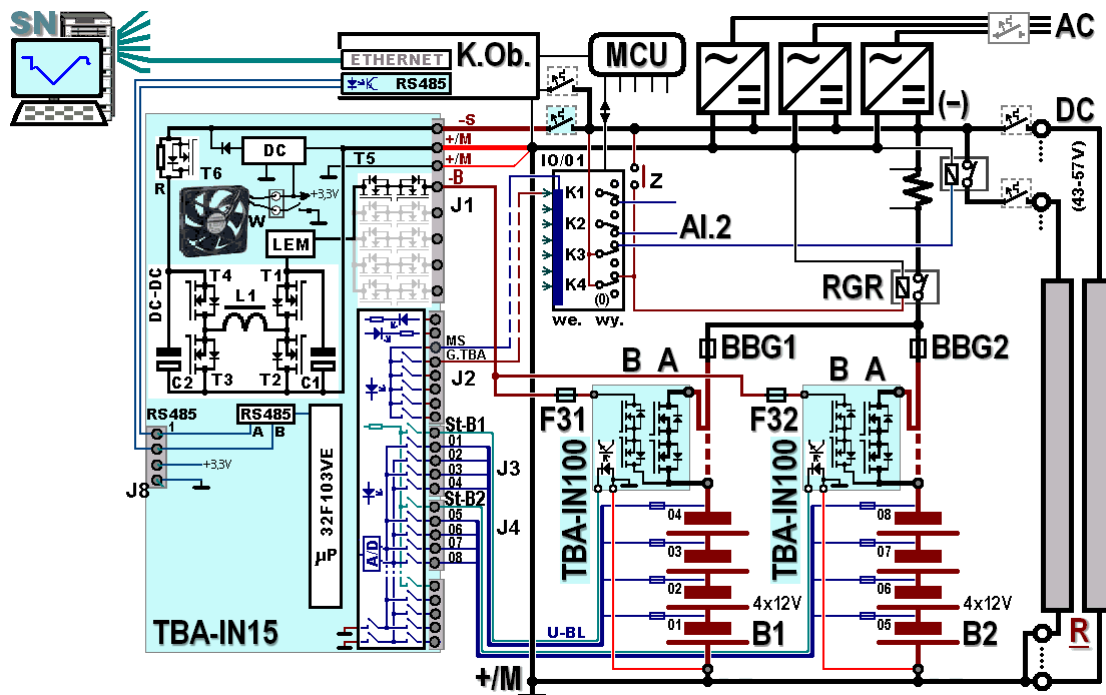
Rys. nr 4. Miernik TBA-IN15 w dedykowanej siłowni AC/DC (stan przy badaniu baterii B1)

Dostosowanie polega na dodaniu indywidualnych rozłączników („RGR1” i „RGR2”) dla każdej baterii, zamiast wspólnego „RGR” – sterowanych z wyjść dodatkowej karty cyfrowej „IO/02”, na której wejścia jest podawany sygnał operatywności miernika „G.TBA” oraz sygnał żądania odłączenia od systemu baterii „B1” (sygnał „St.B1”) lub baterii „B2” (sygnał „St.B2”). Ponadto bieguny ujemne baterii łączy się poprzez zabezpieczenia prądowe „F31” i „F32”, z indywidualnymi wejściami prądowymi „-B1” i „-B2” miernika. Analogiczne rozwiązanie może być stosowane dla 3 lub 4 baterii.

Miernik TBA-IN15 można także instalować, ale wraz z dedykowanymi odłącznikami baterii TBA-IN100 (patrz Rys. nr 5), w dowolnej siłowni AC/DC. W przewodzie prądowym każdej z baterii należy zamontować moduł odłącznika TBA-IN100 w ten sposób, że do jego wejścia należy przykręcić przewód odłączony od ujemnego zacisku baterii, a do tego zacisku przykręcić przewód wyjściowy odłącznika. Tranzystory „A” odłącznika zostaną wysterowane (łącząc baterię z siłownią) po dołączeniu przewodu „masy” odłącznika do dodatniego bieguna baterii (masy siłowni). Sygnał sterujący z miernika (na przewodzie „St-B1” lub „St-B2”) spowoduje odłączenie wybranej baterii od szyny „-” siłowni (wyłączenie tranzystorów „A”) i dołączenie jej (załączenie tranzystorów „B”) do prądowego wejścia miernika. Rozwiązanie może być stosowane dla 2 – 5 baterii.⁴

³ Badania prowadzono dla siłowni f-my Benning, dostosowanej przez producenta w oparciu o umowę zawartą pomiędzy Instytutem Łączności a firmą Benning i Telzas.

⁴ Badania prowadzono dla eksploatowanych przez operatorów sieci ruchomych – siłowni f-my Benning i Telzas.



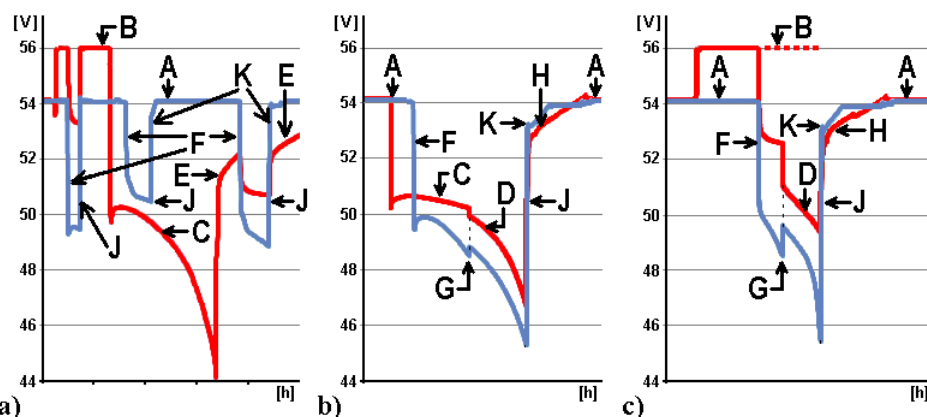
Opracowanie własne

Rys. nr 5. Miernik TBA-IN15, z odłącznikami TBA-IN100, w siłowni AC/DC

Wpływ miernika TBA-IN15 na system zasilania obiektu telekomunikacyjnego

Z przeprowadzonych badań wynika, że po zainstalowaniu miernika TBA-IN15 w siłowni AC/DC i włączeniu go do systemu nadzoru „SN” (np. systemu N!BoX f-my NetWorkS!) uzyskuje się wiarygodny obraz stanu baterii akumulatorów – bez konieczności wizyt w obiektach telekomunikacyjnych. Zebrane i przetworzone w systemie nadzoru wyniki umożliwiają wskazanie baterii wymagających pilnej wymiany, wskazanie baterii o pogarszającym się stanie i wymagających wymiany w najbliższej przyszłości oraz tych, które rokują długotrwałą jeszcze pracę. Na podstawie długookresowych wyników można oceniać jakość poszczególnych typów baterii akumulatorów – z myślą o ich przyszłych zakupach.

Jak już powiedziano, dla wykonania pomiaru pojemności bateria jest odłączana od systemu zasilania. Jeżeli w trakcie badania nastąpi zanik napięcia AC, to taka bateria, ze względu na różnice napięć, nie może (nie powinna) być łączona bezpośrednio z drugą baterią i z odbiorcami energii „R” dla skorzystania z zawartej w niej energii. Wobec tego w mierniku TBA-IN15 zaimplementowano taką funkcję, która przy zaniku napięcia sieci AC zapewni bezpieczne dla siłowni przekazywanie energii zawartej w badanej baterii do systemu, a więc i do odbiorników energii DC siłowni. Wyniki badań w tym zakresie prezentuje Rys. nr 6.



Opracowanie własne.

Rys. 6. Zanik napięcia AC podczas badania „odłączonej od siłowni” baterii akumulatorów:
 a) krótkotrwałe zaniki podczas ładowania wyrównawczego „B”, rozładowywania „C” oraz ładowania powrotnego „E”; b) długotrwały zanik AC podczas rozładowywania baterii, c) długotrwały zanik AC podczas ładowania powrotnego baterii.

Legenda:

- A = napięcie buforowania baterii „B1” i „B2” (prąd odbiorów wynosi 25 A);
- B = zaplanowane „ładowanie wyrównawcze” baterii „B1”;
- C = zaplanowane „rozładowanie kontrolne” baterii „B1” (prąd 10 A);
- D = proces „wspomagania siłowni” energią z baterii „B1” (prąd 16 A);
- E = „ładowanie powrotne” po zbadaniu pojemności baterii „B1”;
- F = napięcie na szynie „-” siłowni (oraz napięcie baterii „B2”);
- G = napięcie na szynie „-” inicjujące „wspomaganie siłowni” energią z badanej baterii;
- H = ładowanie baterii „B1” po powrocie zasilania AC, przed dołączeniem do systemu;
- J = napięcie na szynie „-” sygnalizujące powrót zasilania AC;
- K = ładowanie baterii „B2” po powrocie zasilania AC.

Jak wynika z Rys. 6a, przy krótkotrwałych zanikach napięcia sieci AC (objawiających się niewielkim spadkiem napięcia na szynie „-” siłowni), zaprogramowane badanie baterii jest kontynuowane (z krótkimi przerwami podczas ładowania). Jeżeli podczas rozładowywania baterii (Rys. 6b) napięcie na szynie „-” siłowni spadnie poniżej 48,5 V, to miernik przechodzi w tryb pracy „wspomagania siłowni” – pracując swoim maksymalnym prądem przekazuje energię z odłączonej baterii na szynę „-” siłowni. Jeżeli podczas ładowania baterii (Rys. 6c) napięcie na szynie „-” siłowni spadnie poniżej 51 V, to wstrzymywane jest ładowanie (tu – wyrównawcze), a gdy spadnie poniżej 48,5 V, to miernik także przechodzi w tryb pracy „wspomagania siłowni” (przekazuje energię z baterii na szynę „-” siłowni).

Ponieważ każda bateria jest przez miernik TBA-IN15 ładowana indywidualnie (po odłączeniu od systemu) do zadanego napięcia – możliwa jest bezpieczna dla baterii i odbiorników energii „R” praca siłowni z dołączonymi różnymi typami baterii, np. baterią VRLA + baterią Litową. W takim układzie przy krótkich przerwach w zasilaniu pracuje (ze względu na niski spadek napięcia odłączonej baterii) głównie bateria litowa, o dużej cyklicznej żywotności, a przy długich przerwach także bateria VRLA (o mniejszej liczbie dopuszczalnych rozładowań, ale bardziej przewidywalna) – po czym obie mogą być w sposób optymalny indywidualnie naładowane i doładowane.

Jeżeli wraz z miernikiem TBA-IN15 są instalowane odłączniki baterii TBA-IN100, to mogą one dodatkowo powiększyć funkcjonalność siłowni. W siłowni bez rozłącznika głębokiego rozładowania „RGR” mogą pełnić jego funkcję – albo samodzielnie, albo (dzięki dodatkowemu wejściu, nie pokazanemu na Rys. nr 5) sterowane z kontrolera obiektowego „K.Ob.”. W tym drugim przypadku – umożliwią zdalne dowolne odłączanie baterii (w pełni naładowanej) od systemu i dołączanie jej (lub wszystkich) do systemu. Może to być

przydatne, gdy przewiduje się długą przerwę w zasilaniu AC – albo dla ochrony baterii przed długotrwałym stanem rozładowania, albo dla uruchamiania obiektów telekomunikacyjnych „na zakładkę”, gdy pokrywają się ich zasięgi nadajników sieci ruchomych.

Niezawodność siłowni AC/DC z miernikiem TBA-IN15

Miernik TBA-IN15, instalowany w dedykowanej siłowni AC/DC (patrz Rys. nr 4), nie pogarsza niezawodności siłowni AC/DC. Wprawdzie powiększa się liczba rozłączników „RGR”, ale za to uszkodzenie jednego z nich nie wpłynie na funkcjonalność całej siłowni (co ma miejsce w rozwiązaniu klasycznym, z Rys. 1b). Za odłączenie baterii od systemu do badań, na polecenie z miernika TBA-IN15, odpowiada (odpowiednio niezawodny) sterownik siłowni „MCU”. Przeprowadzone badania⁵ wskazują, że dedykowana siłownia z wbudowanym miernikiem spełnia wszystkie wymagania stawiane siłowniom AC/DC obiektów telekomunikacyjnych.

Miernik TBA-IN15 instalowany wraz z odłącznikami TBA-IN100 w eksploatowanej już siłowni AC/DC (patrz Rys. nr 5) nieznacznie pogarsza jej niezawodność – co ma miejsce głównie przy częstej długotrwałej „pracy bateryjnej”, gdy przez odłącznik płynie znaczny prąd (wydzielane ciepło zawsze przyśpiesza proces degradacji elementów elektronicznych). W trybie „pracy buforowej” oraz „ładowania powrotnego”, które stanowią ponad 99% czasu pracy odłączników TBA-IN100, prąd i wydzielana moc są znikome. W praktyce – zbudowane z analogicznych jak TBA-IN100 tranzystorów MOSFET, powszechnie stosowane „odłączniki” w BMS (Battery Management Systems), zapewniają bezpieczną eksploatację największych nawet baterii litowych, także w najbardziej krytycznych zastosowaniach (lotnictwo).

Sam miernik TBA-IN15 wykonany jest w technologii podobnej jak sterownik siłowni „MCU” i głównie pracuje „bezprądowo”. Znaczące prądy zasilacza, końcówek procesora i tranzystorów przetwornicy DC-DC występują przez mniej niż 1% jego czasu pracy, ponadto uszkodzenie miernika w znikomym stopniu wpłynie na funkcjonowanie siłowni AC/DC (miernik może zażądać odłączenia od siłowni co najwyżej 1 baterii w danym czasie, a fakt takiego odłączenia jest zawsze widoczny i nadzorowany z poziomu systemu nadzoru „SN”). Przy pracy prądowej, podczas kontrolnego rozładowywania baterii, miernik TBA-IN15 wytwarza minimalne ilości ciepła⁶ (zamienia na ciepło poniżej 5% przetwarzanej energii, odciążając w tym czasie prostowniki o sprawności energetycznej 92 – 97%), a więc nie zaburza gospodarki cieplnej danej siłowni.

Podsumowanie

Zastosowanie mierników „dysponowanej pojemności baterii akumulatorów” typu TBA-IN15, w dedykowanych siłowniach oraz w siłowniach uzupełnionych o odłączniki baterii TBA-IN100 – znacząco podnosi niezawodność, dostępność i trwałość całego systemu zasilania „niewielkich”, nieobsługiwanych obiektów telekomunikacyjnych⁷.

⁵ Potwierdzają to wyniki badań rzeczywistych (eksperymentu) przeprowadzone na siłowni SBE200SL firmy Benning z wbudowanym miernikiem TBA-IN15 [15].

⁶ wszystkie znane rozwiązania „przenośne” lub „do wbudowania” energię z rozładowywanej baterii zamieniają albo w całości, albo w około 20% na ciepło.

⁷ Rozwiązanie zostało sprawdzone przez firmę NetWorkS w kilku obiektach różnych operatorów telekomunikacyjnych. W toku badań potwierdzono zasadność wdrażania tego typu rozwiązań na rzecz osiągnięcia

Bibliografia

1. Będkowski L., Dąbrowski T., Podstawy eksploatacji, Część 1, Podstawy diagnostyki technicznej, WAT, Warszawa 2000 r.
2. Będkowski L., Dąbrowski T., Podstawy eksploatacji, Część 2, Podstawy niezawodności eksploatacyjnej, WAT, Warszawa 2006 r.
3. Chojnacki B., Godlewski P., Kobus R. Ocena sprawności baterii akumulatorów, Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne, SIGMA NOT, nr 8-9, 2010.
4. Czerwiński A: „Akumulatory, baterie, ogniwa”, WKŁ, Warszawa 2005.
5. Godlewski P., Kobus R., Kliś P. „Battery available capacity meter built into an AC/DC telecom power supply system”, Journal of Telecommunications and Information Technology, no. 2, Warszawa 2017
6. Godlewski P., Niechoda K., Olechowski K., Regulska B. Stacjonarne urządzenia TBA-ST – do pomiaru dysponowanej pojemności akumulatorów siłowni telekomunikacyjnych – projekt SKOT, TiTI nr 3-4, IŁ-PIB, Warszawa 2014
7. Godlewski P., Kowalczyk B., Kobus R., Wojciechowska K., Obrazowanie stanu akumulatorów w smartfonie na podstawie SMS-ów z urządzeń TBA-IŁ, TiTI nr 1-2, IŁ-PIB, Warszawa 2014
8. Kazimierczak J. Eksploatacja systemów technicznych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2000.
9. Kobus R., Kliś P., Godlewski P. Maintenance of lead-acid batteries used in telecommunications systems, Journal of Telecommunications and Information Technology, no. 4, Warszawa 2015.
10. Kowalewski M., Sierakowski K., Rodzaje i właściwości badań diagnostycznych obiektów technicznych, proces diagnozowania, Zeszyty Naukowe, Nr 1/2006, WSTE, Warszawa 2006.
11. Paschke P., Płonczak M., Kliś P., Grunt M.: Perspectives of development of integrated monitoring system of power supply and air conditioning equipment towards technical environment equipment monitoring system of the operator. W: Materiały z konferencji IEEE 30h Annual International Telecommunications Energy Conference INTELEC 2008, San Diego, USA, 2008.
12. PN-ISO/IEC 2382-14 Technika Informatyczna – Terminologia – Część 14: Niezawodność, obsługiwalność i dostępność.
13. Prażewska M., Właściwości niezawodnościowe urządzeń i sieci telekomunikacyjnych, WAT, Warszawa 1999.
14. Praca zbiorowa pod kier. P. Godlewskiego, Rozszerzenie funkcjonalności systemów zasilania i systemów kontrolno-pomiarowych autorstwa IŁ, IŁ-PIB, Warszawa, grudzień 2018 r.
15. Praca zbiorowa pod kier. P. Godlewskiego, Rozszerzenie funkcjonalności eksploatowanych systemów kontrolno-pomiarowych autorstwa IŁ, IŁ-PIB, Warszawa, grudzień 2017 r.
16. Siergiejczyk M., Rosiński A., Analiza niezawodnościowa układów zasilania stosowanych w systemach teleinformatycznych baz logistycznych, Logistyka, 2014, www.czasopismoloistyka.pl
17. Świątek J.: Przedwczesna utrata żywotności akumulatorów VRLA, metody diagnostyki ich uszkodzeń. Wiadomości Elektrotechniczne 2004 nr 7-8.

wyższego – wymaganego poziomu niezawodności baterii VRLA i siłowni AC/DC obiektów teleinformatycznych.