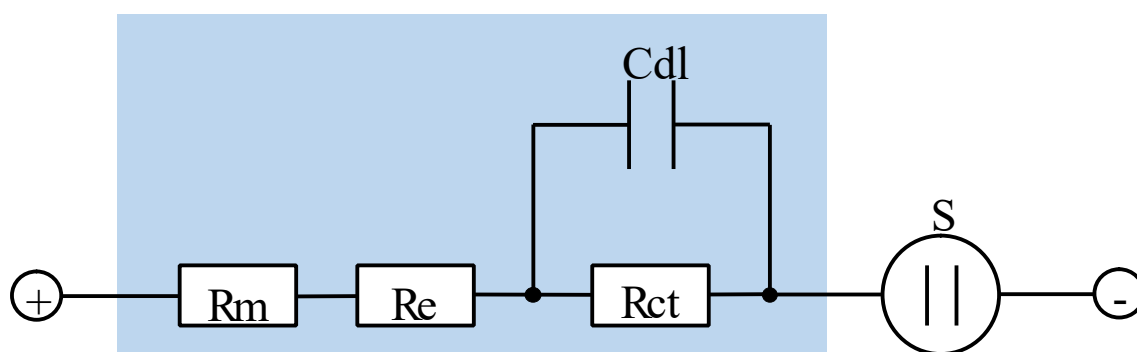


## Jaką rezystancję w rzeczywistości mierzy tester METRACELL BT PRO?

Artykuł stanowi krótką i prostą prezentację testowania akumulatora za pomocą testera METRACELL BT PRO.

Testowanie akumulatorów polega przede wszystkim na poszukiwaniu symptomów wskazujących na ich przyspieszone starzenie się w celu określenia stopnia ich zużycia (SOH), a tym samym sprawności. Jednak taka kontrola nie jest tak trywialna, jak często się sądzi. Doskonałą analogią będzie w tym przypadku nasze ciało. Badając wydolność organizmu, nie ma wielkiego sensu wyłącznie szukać zakrzepów w tętnicach (podobnie jak korozji w ogniwach akumulatora). Wskazane jest także sprawdzenie, czy zawartość tlenu we krwi jest odpowiednia oraz czy jest on sprawnie transportowany i dostarczany dokładnie tam, gdzie jest potrzebny. Analogia ta odpowiada tak zwanemu rezystorowi przejściowemu  $R_{ct}$ . Opisuje rezystancję przepływu prądu między elektrodą i elektrolitem. Wartość  $R_{ct}$  w dużej mierze zależy od własności fizycznych i struktury materiału aktywnego płyt akumulatora, wobec czego stanowi istotny wskaźnik jego sprawności. Powszechnie stosowanym schematem zastępczego obwodu elektrycznego dla akumulatora jest model Randlesa (fragment na niebieskim tle). Poniżej został przedstawiony w postaci uproszczonej w celu ukazania schematycznego rozmieszczenia elementów:



Źródło napięcia  $S$  symbolizuje rzeczywisty ładunek, a  $C_{dl}$  oznacza kondensator powstający w wyniku rozprowadzenia jonów na powierzchni płyt.  $R_m$  to rezystancja metalu (biegunów, mostków biegunowych, sieci itp.), natomiast  $R_e$  to rezystancja elektrolitu.

Współczesna aparatura testowa podaje do akumulatora prąd przemienny. Rezystancja obliczana jest na podstawie otrzymanej odpowiedzi napięciowej. Częstotliwość wykorzystanego prądu przemiennego jest zależna od danego urządzenia. Za pomocą przyrządu pomiarowego dokonuje się pomiaru rezystancji zależnej od częstotliwości, czyli impedancji. W przypadku bardziej rozbudowanych układów rezystory są określane z synchronizacją fazową w dziedzinie czasu lub częstotliwości, natomiast w prostszych układach za pośrednictwem analogowego pomiaru RMS. Niestety cena systemu testowego nie zawsze przekłada się na jakość stosowanych metod pomiaru.

W oparciu o ten model i wykorzystany prąd przemienny przyrządy pomiarowe można podzielić na trzy grupy:

- 1) „Badanie ultrasonograficzne tętnic”. Przy bardzo wysokich częstotliwościach (np. 1000 Hz) mierzona jest część rzeczywista rezystancji. Wszystkie reakcje elektrochemiczne są zwierane przez kondensator  $C_{dl}$ . A zatem rezystancja wewnętrzna stanowi sumę wartości  $R_m$  oraz  $R_e$ . Rezystancja wewnętrzna przede wszystkim odzwierciedla stan elementów metalowych, połączeń elektrycznych i

przewodności właściwej elektrolitu. **Własności fizyczne materiału aktywnego i przenoszenie ładunku nie mają tu znaczenia.** Taki pomiar sprawdza się w przypadku akumulatorów przystosowanych do prądu pulsującego o bardzo wysokim natężeniu. Metoda ta jest nieodpowiednia do testowania akumulatorów, od których wymaga się długotrwałego podawania prądu stałego (zwykle eksploatowanych jako akumulatory rezerwowe).

- 2) „**Sprawdzanie pulsu**”. Rezystancja kondensatora Cdl maleje wraz ze wzrostem częstotliwości przyłożonego prądu przemiennego. Rozkład prądu na rezystorze Rct i kondensatorze Cdl jest zależny od częstotliwości (np. 10-60 Hz). W tej sytuacji zmierzona zostaje impedancja obwodu złożonego utworzonego przez Rm, Re, Rct oraz Cdl. Wszystkie podzespoły mają przełożenie na zmierzoną wartość. **Jednak istotne zmiany wykrywane są dopiero na późnym etapie (patrz tabela poniżej), ponieważ zauważalne są wyłącznie bardzo wyraźne zmiany w porównaniu do zmierzonych wartości.**
  
- 3) „**Badanie EKG**”. W przypadku prądu stałego (0 Hz) bloki kondensatora Cdl i prąd pokonują rezystancję szeregową  $R_m + R_e + R_{ct}$ , tworzącą rezystancję prądu stałego. Rezystancja prądu stałego ma ogromne znaczenie dla akumulatorów, które muszą podawać prąd stały przez długi czas. **Spadki napięcia są powiązane nie tylko z elementami metalowymi.**

Wielu producentów przyrządów pomiarowych decyduje się na jeden z dwóch wariantów częstotliwościowych: 1000 Hz lub 20-60 Hz. Tester METRACELL BT PRO pracuje na dwóch częstotliwościach. Przy częstotliwości około 1000 Hz określa rezystancję wewnętrzną, natomiast po przyłożeniu prądu o niemal stałym natężeniu wykrywa rezystancję Rct, a tym samym rezystancję prądu stałego.

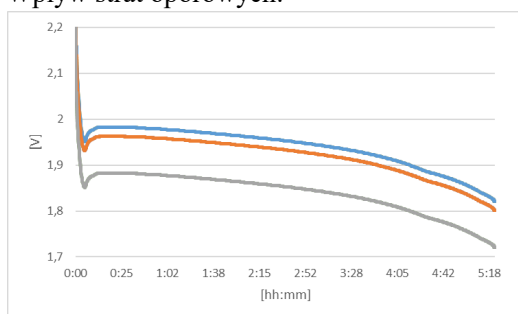
Poniższa tabela przedstawia istotne różnice w wynikach pomiaru (na typowym ogniwie 100 Ah):

Obiekt testowy (100 Ah, Cdl = 1,5 F)		Tester innego producenta		METRACELL BT PRO	
Ri	Rct	25 Hz	1000 Hz	Ri	Rct
1 mΩ	1 mΩ	1,96 mΩ [0%]	1,02 mΩ [0%]	1,02 mΩ [0%]	0,98 mΩ [0%]
1,5 mΩ	1 mΩ	2,46 mΩ [25,4%]	1,51 mΩ [49%]	1,51 mΩ [49%]	0,98 mΩ [0,2%]
1 mΩ	1,5 mΩ	2,38 mΩ [21,4%]	1,01 mΩ [0%]	1,01 mΩ [0%]	1,48 mΩ [50,9%]

W pierwszym wierszu tabeli wskazano wartości dla całkowicie sprawnego akumulatora o pojemności 100 Ah. W kolejnych wierszach zaobserwować można wzrost wartości Ri, a następnie Rct o 50%. **Tester METRACELL BT PRO identyfikuje wartość oddaloną Ri na poziomie 49% i Rct na poziomie 50,9%. Tak znaczące zmiany są trudne do wykrycia za pomocą urządzeń pracujących z częstotliwością 25 Hz. Systemy działające z częstotliwością 1000 Hz całkowicie pomijają wartość Rct.**

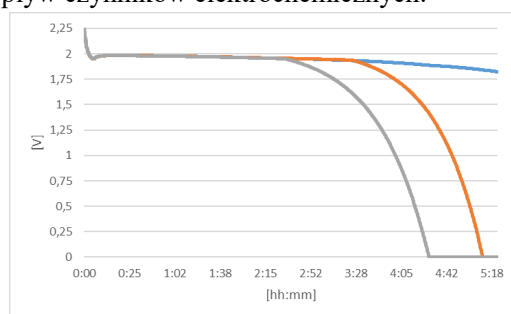
Na zamieszczonych poniżej wykresach typowa krzywa wyładowania o stałym natężeniu prądu (5-godzinny test pojemności) ilustruje wpływ strat oporowych i czynników elektrochemicznych na sprawność akumulatora:

Wpływ strat oporowych:



Straty na elementach metalowych podlegają prawu Ohma. Spadek napięcia jest proporcjonalny do prądu wyładowczego i dostrzegalny już na początku wyładowania. Krzywa oznaczona kolorem niebieskim odpowiada wartości średniej dla wszystkich ogniw, natomiast pomarańczowa i szara krzywa ukazują zwiększoną rezystancję wewnętrzną (wzrost wartości  $R_m$ ), wobec czego ulegają przesunięciu równoległemu na skali napięcia.

Wpływ czynników elektrochemicznych:



Czynniki elektrochemiczne są trudne do przewidzenia. W trakcie wyładowania wadliwe ogniwa mogą zawieść wcześniej. Na początku wyładowania ogniwa te są niewidoczne. **Jak wynika z krzywej, krótkotrwałe próby obciążenia (5-30 minut) nie są w tym przypadku zbyt użyteczne.**

Przedstawione krzywe wyładowania ponownie ukazują, dlaczego elementy elektrochemiczne stanowią integralną część testu. Tester METRACELL BT PRO określa rezystancję wewnętrzną oraz rezystancję prądu stałego. Wartość  $R_{ct}$  ma charakter dynamiczny. Spada podczas wyładowania i rośnie w trakcie ładowania, co wskazuje na gotowość do pochłaniania lub oddawania ładunku. Nierównomierne rozłożenie rezystancji  $R_{ct}$  w stanie naładowania pozwala zidentyfikować potencjalnie niedoładowane ogniwa. W takiej sytuacji wartość  $R_{ct}$  znacząco wzrasta, co oznacza, że ładowanie akumulatora odbywa się przy nadmiernych stratach albo jest po prostu ograniczone.

Często przywołuje się argument, że rezystancja wewnętrzna jest uzależniona od pojemności elektrycznej. Niestety ta sama rezystancja wewnętrzna w znacznym stopniu wzrasta, gdy głębokość rozładowania akumulatora osiągnie poziom zaledwie 50%. Wzrost wynika ze zużycia kwasu siarkowego w elektrolicie podczas wyładowania i współwystępującego spadku przewodności. Wobec tego, o ile jest to możliwe, należy zawsze przeprowadzać pomiar gęstości elektrolitu (w przypadku akumulatorów z otworem odpowietrzającym). Wskaźnik ten charakteryzuje pełniejszą współzależność od stanu naładowania/rozładowania. Właśnie dlatego tester METRACELL BT PRO jest standardowo wyposażony w interfejs IrDA służący do podłączania areometru.

Akumulatory VRLA wykazują lepszą relację między rezystancją wewnętrzną i starzeniem się baterii w wyniku stopniowego wysychania (brak możliwości uzupełniania elektrolitu). Dyskutując na temat rezystancji,

nie można zapominać, że wszystkie te metody stanowią dodatkowe narzędzie wspomagające identyfikację wadliwych ogniw akumulatora. Tylko kompletny test pojemności, włącznie z napięciem rozładowania, odnosi się także do akumulacji ładunku S i umożliwia dokładne określenie stopnia zużycia akumulatora (SOH).

W praktyce wykazano, że zmiany rezystancji mogą sięgać 30% średniej wartości w przypadku wadliwych ogniw. Przewidywanie starzenia się akumulatora z zastosowaniem bezwzględnych wielkości wzorcowych nie przynosi żadnego pożytku (zawsze opiera się na wartościach sprzed degradacji baterii). Jeżeli macie Państwo dodatkowe pytania, chętnie udzielimy na nie odpowiedzi.

---