

Silesian University of Technology
Faculty of Mechanical Engineering
Department of Fundamentals of Machinery Design

Doctoral dissertation

Electric car battery leakage detection system

MSc, Eng. Grzegorz Wójcik

Dissertation advisor:
PhD, DSc, Eng. Piotr Przystałka, Associate Professor

Industry supervisor:
PhD, Eng. Wojciech Sebzda

Gliwice, 2023

System wykrywania nieszczelności akumulatorów stosowanych w samochodach elektrycznych

Rozprawa doktorska - streszczenie

Autor: mgr inż. Grzegorz Wójcik
Promotor: dr hab. inż. Piotr Przystałka, prof. PŚ
Opiekun z przemysłu: dr inż. Wojciech Sebzda
Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny
Dräxlmaier Group

Gwałtowny wzrost rynku pojazdów elektrycznych spowodował, że ze względu na coraz wyższe wymagania dotyczące mocy i gęstości energii pakiety akumulatorów litowo-jonowych znalazły się w centrum uwagi. Rzutuje to jednak na szereg konsekwencji związanych z bezpieczeństwem ich eksploatacji. Akumulatory te powinny być eksploatowane w wąskim przedziale temperaturowym. Są one podatne na czynniki środowiskowe, warunki pracy i błędy produkcyjne. Z tego powodu nowoczesne pakiety akumulatorowe wykorzystują systemy zarządzania baterią (ang. Battery Management System, BMS) i termiczne systemy zarządzania (ang. Battery Thermal Management System, BTMS) w celu zapobieżenia uszkodzeniom lub zbyt szybkiemu starzeniu się ogniw akumulatorowych.

Uszkodzenia akumulatorów, zarówno na poziomie pakietu i modułów jak i pojedynczych ogniw, stanowią poważne ryzyko i mogą skutkować np. przegrzewaniem czy przyspieszoną degradacją ogniw. Mogą również prowadzić do katastrof w skutek zainicjowania reakcji łańcuchowej, prowadzącej do utraty stabilności termicznej pakietu akumulatorowego. Taka reakcja może zostać spowodowana nawet pozornie niewielkim uszkodzeniem, które może z biegiem czasu propagować i uszkadzać inne ogniwa. Takie niewielkie uszkodzenia mogą przyjmować różną formę, np. wtargnięcie wody, która gromadzi się w pakiecie akumulatorowym, np. w skutek uszkodzonego wymiennika ciepła, i może powodować korozję oraz zwarcia w obszarach o wysokim napięciu. Właściwe projektowanie układów BMS i BTMS jest więc kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa i trwałości systemu, zwłaszcza w kontekście pakietów akumulatorowych o wysokich wymogach dotyczących natężenia prądu ładowania i rozładowania. W celu wykrywania obecności wody, aktualnie stosowane są głównie elektryczne czujniki konduktometryczne i pojemnościowe (w zależności od zastosowanego BTMS), które wykazują pewne wady ze względu na stosowanie niskonapięciowych sygnałów elektrycznych w obszarach wysokonapięciowych.

Wychodząc na przeciw powyższym wyzwaniom niniejsza praca doktorska skupia się na opracowaniu systemu wykrywania nieszczelności dla samochodowych pakietów akumulatorowych z chłodzeniem zanurzeniowym. Ze względu na specyfikę chłodzenia zanurzeniowego, nieszczelność jest rozumiana w znaczeniu wycieku czynnika chłodzącego oraz wtargnięcia wody. W pracy wykorzystano tor optyczny w miejscach wysokonapięciowych, niwelując wady takie jak ekspozycja niskonapięciowych układów na wyładowania elektrostatyczne oraz zakłócenia elektromagnetyczne.

Zaprojektowanie i wykonanie prototypu takiego systemu wymagało obszernych, interdyscyplinarnych prac badawczo-rozwojowych, ze względu na konieczność opracowania dedykowanej warstwy mechanicznej, sprzętowej, programowej oraz czujników światłowodowych. Prace te doprowadziły do wytworzenia polimerowego światłowodowego czujnika absorpcji fali zanikającej oraz opracowania dedykowanej platformy sprzętowej służącej do rejestrowania danych w warunkach laboratoryjnych oraz drogowych dla systemu w stanie pełnej zdadności oraz przy celowo wprowadzonych uszkodzeniach (wyciek oleju, wtargnięcie wody). Na podstawie zgromadzonych danych przeprowadzono ich analizę, której wynikiem było sformułowanie zestawu metod detekcji uszkodzeń opartych na modelu (z sieciami LSTM, RAE-GRU), a następnie ich weryfikacja. Działanie metod było oceniane na podstawie zarejestrowanych zestawów danych w stanie pełnej zdadności i podczas zasymulowanych stanów z rozważanymi uszkodzeniami za pomocą konkretnych wskaźników jakości i złożoności modelu, jak również wskaźników sprawności detekcji.

Wyniki rozprawy doktorskiej stanowią istotny wkład w bezpieczeństwo i niezawodność litowo-jonowych pakietów akumulatorowych pojazdów elektrycznych. System optycznego wykrywania cieczy, w połączeniu z opracowanymi metodami detekcji uszkodzeń opartymi na modelach, zmniejsza ryzyka związane z wtargnięciem cieczy lub wyciekiem czynnika chłodzącego, przyczyniając się do poprawy bezpieczeństwa i spełnienia przyszłych regulacji dotyczących pojazdów elektrycznych, w szczególności regulacji dotyczących zjawiska utraty stabilności termicznej.