

# Bateria trakcyjna z podwyższonym poziomem ochrony przeciwporażeniowej

Emil Król, Marcin Maciążek, Tadeusz Glinka

## 1. Wstęp

Pojazdy z napędem elektrycznym mają na swoim pokładzie zainstalowane różne magazyny energii, przykładowo:

- samochody osobowe o zasięgu 100–200 km dysponują bateriami o pojemności 15–25 kWh;
- autobusy do jazdy między ładowaniem w czasie ok. 4 godzin o pojemności 150–200 kWh.

Baterie akumulatorów zazwyczaj złożone są z kilku modułów rozmieszczonych na pokładzie pojazdu. Każdy moduł może się składać nawet z kilkuset ogniw połączonych szeregowo, równoległe lub szeregowo-równoległe tak, aby uzyskać odpowiednie napięcie oraz pojemność modułu. Obecnie do budowy akumulatorów najczęściej wykorzystuje się ogniwa litowo-jonowe, litowo-polimerowe lub litowo-tytanowe. Aby ograniczyć straty energii elektrycznej oraz uzyskać wymagane parametry napędu elektrycznego pojazdu, moduły baterii akumulatorów są łączone szeregowo. Sumaryczne napięcie pakietowej baterii akumulatorów w zależności od typu pojazdu wynosi od 200 do 600 V. Bateria nie ma galwanicznego połączenia z karoserią pojazdu, w związku z czym w normalnej eksploatacji pojazdu bateria nie stwarza zagrożenia dla ludzi. Zagrożenie takie może natomiast powstać w sytuacjach awaryjnych pojazdu, np. po kolizji drogowej. Napięcie baterii stwarza zagrożenie porażenia prądem elektrycznym pasażerów i osób udzielających pomocy poszkodowanym. Zagrożenie porażenia elektrycznego istnieje także dla nieświadomych użytkowników i nieprzeszkolonych pracowników warsztatów samochodowych wykonujących jakiegokolwiek czynności w obwodach elektrycznych układu napędowego. Ze względu na duże pojemności akumulatorów w pojazdach ich szybkie rozładowanie nie jest możliwe. Konstrukcja baterii powinna zapewniać bezpieczeństwo ludzi także w przypadku, gdy obudowa została uszkodzona lub nastąpiło zwarcie z karoserią jednego z biegunów baterii i powstało zagrożenie porażenia prądem elektrycznym.

Każdy magazyn energii ma zainstalowany system kontroli baterii akumulatorów BMS (*Battery Management System*), który kontroluje parametry eksploatacyjne baterii, w tym również zabezpieczenia: nadprądowe, podnapięciowe, nadnapięciowe i termiczne. Typowy system BMS nie zapewnia jednak ochrony przeciwporażeniowej wysokim napięciem baterii w sytuacjach awaryjnych, np. po uszkodzeniu obudowy akumulatora w czasie wypadku. W patencie [1] i artykule zaproponowano koncepcję rozłączania modułów bateryjnych.

## 2. Napięcie dotykowe bezpieczne

Jako graniczną wartość bezpiecznego (niepowodującego obrażeń) prądu przemiennego przepływającego przez ciało

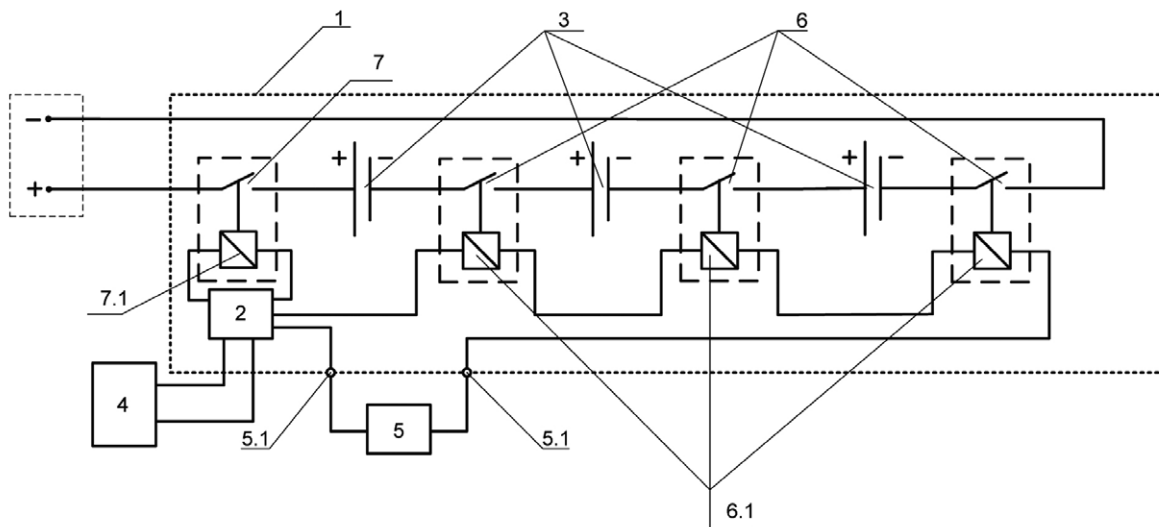
**Streszczenie:** Magazyny energii w pojazdach elektrycznych mają zainstalowany system BMS, który kontroluje parametry eksploatacyjne baterii akumulatorów oraz ma wbudowane zabezpieczenia: nadprądowe, podnapięciowe, nadnapięciowe i termiczne. W sytuacjach awaryjnych pojazdu i uszkodzeniu obudowy akumulatora system BMS nie zabezpiecza jednak ludzi przed porażeniem napięciem baterii trakcyjnej. W artykule przedstawiono koncepcję podziału baterii trakcyjnej na moduły, z których każdy ma napięcie nie wyższe niż traktowane jako bezpieczne dla ludzi. Moduły baterii połączono stycznikami, a na obudowie baterii umieszczono czujnik uderzeniowy. Uzwojenia sterujące styczników połączono z akumulatorem niskonapięciowym, systemem BMS i z czujnikiem uderzeniowym. W przypadku kolizji drogowej pojazdu i zadziałania czujnika uderzeniowego prąd w obwodzie uzwojeń sterujących zostaje wyłączony i styczniki rozłączają moduły baterii. Także w czasie postoju pojazdu lub zdjęcia obudowy system BMS przerywa prąd w uzwojeniach sterujących styczników i moduły baterii są rozłączone.

Słowa kluczowe: pojazd elektryczny, bateria trakcyjna, zabezpieczenie przed porażeniem elektrycznym

## TRACTION BATTERY WITH INCREASED LEVEL OF PROTECTION AGAINST ELECTRIC SHOCK

**Abstract:** Energy stores in electric vehicles have a BMS installed that controls the operating parameters of the battery pack, and has built-in overcurrent, undervoltage, overvoltage, and thermal protection. However, during vehicle emergencies and battery case damage, the BMS does not protect people from being shocked by the traction battery voltage. This paper presents the concept of dividing the traction battery into modules, each of which has a voltage no higher than that treated as safe for humans. The battery modules are connected by contactors and a shock sensor is placed on the battery housing. The control windings of the contactors are connected to the low voltage battery, the BMS system and the impact sensor. In the event of a road collision with the vehicle and activation of the impact sensor, the current in the control windings circuit is switched off and the contactors disconnect the battery modules. Also, when the vehicle is stationary or the chassis is removed, the BMS interrupts the current in the control windings of the contactors and the battery modules are disconnected.

Keywords: electric vehicle, traction battery, protection against electric shock



Rys. 1. Uproszczony schemat elektryczny połączenia modułów (3) baterii ze stycznikami (6), których uzwojenia sterujące (6.1) są połączone szeregowo i są połączone z akumulatorem niskonapięciowym (4), BMS (2) i czujnikiem uderzeniowym (5)

człowieka przyjmuje się wartość 50 mA. Natomiast rezystancję ciała człowieka determinuje naskórek. W warunkach normalnych, przy suchym naskórku, minimalna rezystancji ciała ludzkiego ma wartość około 1 k $\Omega$ . Zatem wykorzystując prawo Ohma, można wyznaczyć napięcie zmienne dotykowe, które w takim przypadku przyjmuje wartość 50 V i jest nazywane granicznym napięciem bezpiecznym. Jest to największa wartość napięcia, które nie stanowi zagrożenia dla zdrowia i życia człowieka w danych warunkach otoczenia. Ze względów bezpieczeństwa w instalacjach elektrycznych napięcia zmiennego wyłączniki różnicowoprądowe są nastawiane na wyłączenie obwodu przy przekroczeniu prądu różnicowego o wartości znacznie mniejszej od 50 mA, najczęściej są nastawiane na

wartość prądu 30 mA. Zabezpieczenie takie skutecznie zatem chroni człowieka przed porażeniem prądem elektrycznym. Prąd stały jest mniej szkodliwy niż prąd przemienny, dlatego też dopuszczalne napięcie traktowane jako bezpieczne jest wyższe niż dla napięcia przemiennego i ma wartość 120 V. W warunkach zawilgocenia naskórka, np. podczas deszczu, rezystancja obwodu źródła napięcia – człowiek zmniejsza się i przy tym samym napięciu zwiększa się wartość prądu przepływającego przez ciało człowieka. Dlatego też wartości napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale (zarówno dla napięcia stałego, jak i przemiennego) zależą od warunków wilgotności. Napięcia dotykowe bezpieczne zestawiono w tabeli 1.

**Tabela 1.** Napięcia dotykowe bezpieczne

Warunki	Napięcie przemiennie [V]	Napięcie stałe [V]
Normalne (suche)	50	120
Zwiększone zagrożenie (wilgotny naskórek)	25	60
Ekstremalne zagrożenie (mokry naskórek)	12	30

**3. Układ rozłączania modułów bateryjnych**

Każdy pojazd elektryczny ma na swoim pokładzie, oprócz wysokonapięciowych akumulatorów trakcyjnych, także akumulator niskonapięciowy 12 V lub 24 V, bądź 48 V. Zadaniem tego akumulatora jest zasilanie: oświetlenia, różnego rodzaju czujników i wszelkiego rodzaju napędów i urządzeń zwiększających komfort jazdy. Akumulator ten można wykorzystać do układu zabezpieczenia wysokonapięciowego akumulatora trakcyjnego. W takim przypadku bateria akumulatorów trakcyjnych może zostać podzielona na *n* modułów. Napięcie każdego modułu powinno spełniać wymagania zestawione w tabeli 1. Proponuje się napięcie 60 V odpowiadające warunkom o zwiększonym zagrożeniu.

Założenia dotyczące zabezpieczenia baterii o podwyższonym poziomie ochrony przeciwporażeniowej:

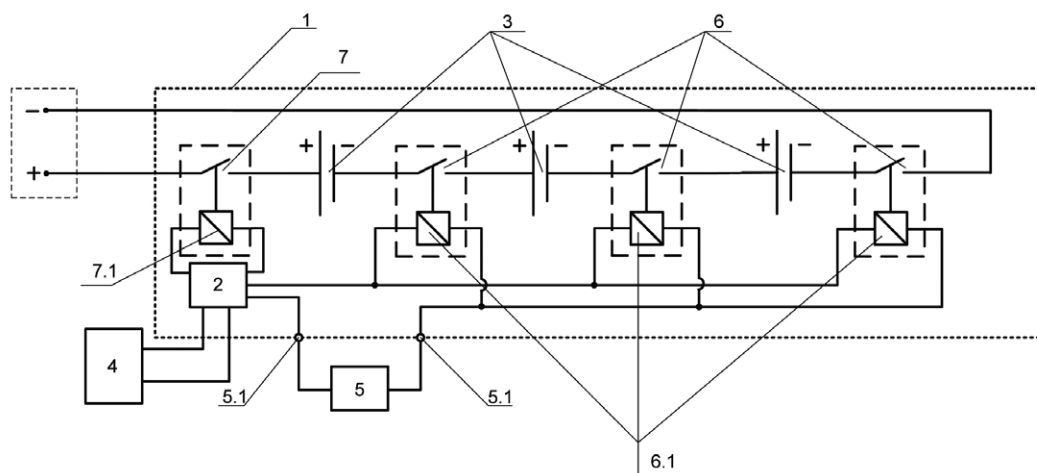
- bateria jest podzielona na *n* modułów o napięciu każdego z nich nie większym niż 60 V, które są ze sobą połączone szeregowo stycznikami normalnie otwartymi;
- moduły baterii są łączone ze sobą tylko w czasie jazdy pojazdu i normalnej pracy;
- przy postoju pojazdu moduły baterii są rozłączane;
- bateria jest wyposażona w system kontroli BMS i czujnik uderzeniowy;
- uzwojenia sterujące styczników są połączone z sobą szeregowo bądź równolegle i są połączone szeregowo z czujnikiem uderzeniowym oraz są zasilane, poprzez BMS, z akumulatora niskonapięciowego 12 V lub 24 V, bądź 48 V;

- czujnik uderzeniowy jest przymocowany do obudowy zabezpieczanej baterii.

Przykładowe schematy połączeń modułów baterii ze stycznikami, z szeregowo i równolegle połączonymi uzwojeniami sterującymi oraz akumulatorem niskonapięciowym, układem BMS i czujnikiem uderzeniowym przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

Bateria akumulatorów (1) standardowo ma obudowę wykonaną z materiału dielektrycznego i jest wyposażona w stycznik główny (7) oraz system kontroli BMS (2). Bateria akumulatorów jest podzielona na *n* modułów (3), każdy o napięciu bezpiecznym nieprzekraczającym 60 V. Wszystkie moduły są ze sobą połączone szeregowo stycznikami (6) normalnie otwartymi. W rozwiązaniu przedstawionym na rysunku 1 bateria jest podzielona na *n* = 3 moduły, a uzwojenia sterujące (6.1) styczników są połączone szeregowo z czujnikiem uderzeniowym (5) i są zasilane, poprzez układ kontroli baterii BMS (2), z akumulatora niskonapięciowego (4). Na rysunku 2 bateria jest podzielona także na *n* = 3 moduły, a uzwojenia sterujące styczników są połączone z sobą równolegle. Czujnik uderzeniowy lub tylko końcówki (5.1) czujnika uderzeniowego są przymocowane do obudowy zabezpieczanej baterii.

Układ kontroli baterii BMS zarządza załączaniem i wyłączaniem stycznika głównego (7) poprzez uzwojenie sterujące stycznika głównego (7.1) oraz załącza i wyłącza styczniki (6) modułowe. Załączanie odbywa się sekwencyjnie, najpierw są załączane styczniki (6), a następnie stycznik główny (7). Wyłączenie stycznika głównego i styczników modułowych następuje równocześnie. Odłączenie akumulatora niskonapięciowego (4) powoduje natychmiastowe wyłączenie stycznika głównego i styczników modułowych, a tym samym napięcie na poszczególnych modułach baterii nie przekroczy napięcia bezpiecznego (odłączenie akumulatora niskonapięciowego w pojeździe jest jedną z pierwszych czynności wykonywanych w sytuacjach awaryjnych). W przypadku kolizji drogowej pojazdu i zadziałania czujnika uderzeniowego prąd w obwodzie uzwojeń sterujących zostaje wyłączony i styczniki automatycznie rozłączają baterię akumulatorów na pojedyncze moduły o napięciu bezpiecznym dla człowieka. W czasie postoju i nieużywania



**Rys. 2.** Uproszczony schemat elektryczny połączenia modułów (3) baterii ze stycznikami (6), których uzwojenia sterujące (6.1) są połączone równolegle i są połączone z akumulatorem niskonapięciowym (4), BMS (2) i czujnikiem uderzeniowym (5)

pojazdu system BMS przerywa prąd w uzwojeniach sterujących styczników i moduły baterii zostają rozłączone, bateria trakcyjna jest bezpieczna dla ludzi.


#### 4. Podsumowanie


Stale rosnąca liczba pojazdów elektrycznych poruszających się po drogach publicznych powoduje, że coraz częściej w stłuczkach i wypadkach drogowych uczestniczą samochody i inne pojazdy elektryczne wyposażone w wysokonapięciowe magazyny energii. Służby ratownicze nigdy nie mają pewności, czy podczas zdarzeń drogowych akumulator trakcyjny nie uległ uszkodzeniu i czy bez narażania własnego bezpieczeństwa i życia mogą udzielić pomocy poszkodowanemu. Magazyny energii w pojazdach elektrycznych mają zainstalowane systemy kontroli baterii akumulatorów BMS, które kontrolują parametry eksploatacyjne baterii, w tym również zabezpieczenia: nadprądowe, podnapięciowe, nadnapięciowe i termiczne. W sytuacjach awaryjnych pojazdu i przy uszkodzeniu obudowy akumulatora system BMS nie zapewnia jednak ochrony przeciwporażeniowej napięciem baterii trakcyjnej. Przedstawiona koncepcja podziału baterii akumulatorów trakcyjnych na moduły o napięciu do 60 V zapewnia wysoki poziom bezpieczeństwa zarówno dla kierowcy, jak również służb ratowniczych. Zaproponowany akumulator trakcyjny podzielono, a następnie

połączono stycznikami, a na obudowie baterii umieszczono czujnik uderzeniowy. Uzwojenia sterujące styczników połączono z akumulatorem niskonapięciowym, systemem BMS i z czujnikiem uderzeniowym. W przypadku kolizji drogowej pojazdu i zadziałania czujnika uderzeniowego prąd w obwodzie uzwojeń sterujących zostaje wyłączony i styczniki rozłączają moduły baterii akumulatorów trakcyjnych. Także w czasie postoju pojazdu system BMS przerywa prąd w uzwojeniach sterujących styczników i moduły baterii zostają rozłączone.

#### Literatura

- [1] KRÓL E., MACIĄŻEK M., GLINKA T.: *Modułowa bateria akumulatorów*. Patent PL 229845 z dnia 17.12.2017 r.
- [2] [https://pl.wikipedia.org/wiki/Napi%C4%99cie\\_bezpieczne](https://pl.wikipedia.org/wiki/Napi%C4%99cie_bezpieczne)

 mgr inż. Emil Król, prof. dr hab. inż. Tadeusz Glinka  
Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Napędów i Maszyn  
Elektrycznych KOMEL;

 dr hab. inż. Marcin Maciążek, prof. PŚ.  
Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny, Katedra Energoelektroniki,  
Napędu Elektrycznego i Robotyki