



Krzysztof JANKOWSKI

## **PROBLEMY BEZPIECZEŃSTWA PORAŻENIOWEGO WE WSPÓŁCZESNYCH SAMOCHODOWYCH INSTALACJACH ELEKTRYCZNYCH**

### *Streszczenie*

*W artykule omówiono zagadnienia bezpieczeństwa porażeniowego w samochodowych instalacjach elektrycznych, z punktu widzenia użytkownika i stacji serwisowych. Omówiono wymagania norm w tym zakresie.*

### **WSTĘP**

Do niedawna problem bezpieczeństwa porażeniowego w samochodach praktycznie nie występował. Instalacje elektryczne samochodów, motocykli i maszyn roboczych były wyposażane w instalacje prądu stałego o napięciu 7, 14 i 28V (napięcia znamionowe odpowiednio: 6, 12 i 24V).

Na przestrzeni lat podwyższanie napięcia znamionowego samochodowych instalacji elektrycznych następowało stopniowo. Początkowo powszechnie stosowane były instalacje o napięciu znamionowym 6V. W samochodach osobowych podwyższenie napięcia znamionowego instalacji z 6V na 12V nastąpiło w latach sześćdziesiątych XX wieku. W samochodach ciężarowych i autobusach wprowadzone zostało wówczas napięcie 24V. Spowodowane to było szybkim wzrostem ilości i mocy odbiorników energii elektrycznej w pojazdach. Gdy w 1970 roku średnie zapotrzebowanie na moc w samochodzie osobowym wynosiło ok. 650W, to w 2000 roku wzrosło ono już do 950 W. Z dostępnych analiz i prognoz wynika, że w obecnej dekadzie zapotrzebowanie to, w samochodzie osobowym, może przekroczyć 5kW [1], [2], [3].

Stosowanie wyższego napięcia znamionowego w instalacjach przynosi wiele korzyści. Zmniejsza się, przy zachowaniu stałej mocy odbiorników, natężenie prądu w obwodach, co pozwala na obniżanie w nich strat mocy, zwiększa ich niezawodność a także zmniejszają się masy samochodowych urządzeń elektrycznych, kabli i przewodów.

Z tych przesłanek wynikała decyzja powołania konsorcjum czołowych firm motoryzacyjnych podejmujących, w 1996 roku, współpracę nad instalacjami 42V.

Szybkie przechodzenie na wyższe napięcie zasilania w instalacjach elektrycznych pojazdów zawsze napotykało i będzie napotykać na szereg barier konstrukcyjnych, technologicznych i ekonomicznych.

Wzrost wartości napięć w instalacjach elektrycznych samochodów na nowo definiuje zagadnienia bezpiecznej eksploatacji, serwisowania, bezpieczeństwa podczas wypadków i wreszcie ich utylizacji.

Polskie normy dotyczące samochodowych instalacji elektrycznych [7], [8], [9] nie definiują precyzyjnie wymagań dotyczących bezpieczeństwa porażeniowego. Za zasadne zatem należy przyjąć rozumowanie, że należy posiłkować się ogólnymi przepisami dotyczącymi ochrony od porażen elektrycznych [4], [10].

W dalszej części pracy omówione zostały te zagadnienia w odniesieniu do klasycznych samochodowych instalacji elektrycznych, do instalacji 42V, do instalacji samochodów hybrydowych i elektrycznych.

Obecnie mamy nową jakościowo sytuację ze względu na pojawienie się samochodów z napędem hybrydowym i elektrycznym, w których poziomy stosowanych i uzyskiwanych napięć znacznie przekraczają dopuszczalne napięcia bezpieczne.

Wybrany zagadnienia z tego obszaru poświęcony jest niniejszy artykuł.

## 1. INSTALACJE O NAPIĘCIU 14 I 28V

Instalacje o napięciu roboczym 14 i 28V są obecnie stosowane w zdecydowanej większości samochodów. W instalacjach 14V jedynym źródłem niebezpiecznych napięć są obwody zapłonowe silników o zapłonie iskrowym. Wartości tych napięć - w stanie normalnej pracy - osiągają przeważnie 200-400V (po stronie pierwotnej cewki zapłonowej) i 5-10kV po stronie wtórnej. Wartości napięć po stronie wtórnej osiągają do 40kV w przypadkach wystąpienia uszkodzeń (przerw) w obwodach świec zapłonowych.

Napięcia te były niebezpieczne dla zdrowia i życia ludzkiego lecz względnie duże wartości rezystancji wewnętrznych takich źródeł nie powodowały zagrożeń życia ludzkiego choć wywoływały nieprzyjemne odczucia przy niewłaściwym obchodzeniu się z obwodami zapłonowymi.

Problem stał się bardziej poważny gdy w nowoczesnych silnikach pojawiły się obwody zapłonowe o znacznie wyższych napięciach (większe przerwy iskrowe na świecach) oraz gdy jednocześnie wzrosły energie pojedynczych impulsów zapłonowych co doprowadziło do obniżenia rezystancji wewnętrznych obwodów wtórnych cewek zapłonowych.

Poprzez stosowanie rozwiązań konstrukcyjnych problem bezpieczeństwa porażeniowego na dzień dzisiejszy jest w tych obwodach opanowany.

W pracach [4], [10] określono graniczne dopuszczalne wartości napięć dotykowych (stałych i przemiennych) - tab. 1. Są to napięcia bardzo niskie (ELV).

**Tab. 1.** Graniczne dopuszczalne wartości napięć dotykowych

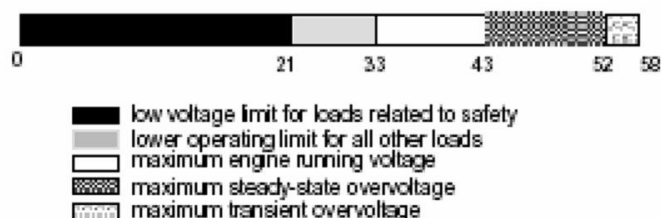
Lp	Warunki środowiskowe	Prąd przemienny	Prąd stały
		[V]	[V]
1	Normalne	50	120
2	Zwiększone zagrożenie porażeniowe	25	60

## 2. INSTALACJE O NAPIĘCIU 42V

Stosowanie wyższego napięcia znamionowego w instalacjach przynosi wiele korzyści. Szybkie przechodzenie na wyższe napięcie zasilania w instalacjach elektrycznych pojazdów zawsze będzie jednak napotykać szereg barier konstrukcyjnych i technologicznych, głównie zaś ekonomicznych. Wybrane zagadnienia z tego obszaru omówiono w pracach [1], [2] i [3].

Największe światowe koncerny motoryzacyjne prowadzą od szeregu lat (od 1996 roku) szeroko zakrojone prace badawczo-projektowe w zakresie wprowadzenia do samochodów instalacji o napięciu roboczym 42V (znamionowym 36V).

Wybór napięcia 42V dla nowych instalacji poprzedzony był analizą do jakiej wartości może wzrosnąć napięcie w instalacji w przypadku uszkodzenia regulatora napięcia alternatora, gdy jedynym elementem ograniczającym wartość napięcia w instalacji będzie akumulator. Z przeprowadzonych wówczas analiz wynikało, że napięcie to może osiągać maksymalnie ok. 59V- rys.1. W takim przypadku spełnione będą wymagania zawarte w tabelicy 1. Założono przy tym, że pozostałe problemy z zakresu bezpieczeństwa porażeniowego będą takie jak w instalacjach 14/28V.

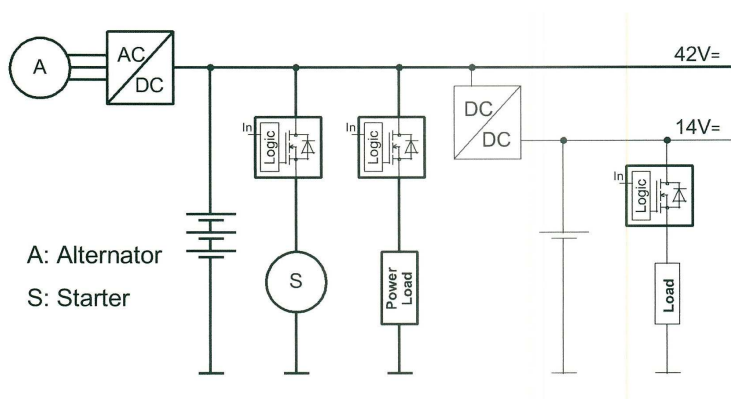


**Rys. 1.** Możliwe wartości napięć w instalacji 42V w różnych stanach jej pracy.

Dodatkowym argumentem, jak to miało miejsce przy przechodzeniu w instalacjach z napięcia 6V na 12V i 24V była praktyczna możliwość wykorzystania istniejących akumulatorów. Przyjęte napięcie jest trzykrotnie większe od dotychczas stosowanego co pozwoli wykorzystać (przynajmniej w okresie przejściowym) akumulatory 12V.

Główne bariery na jakie napotyka szybkie wprowadzenie takich instalacji są głównie natury ekonomicznej. Z tego powodu, w początkowym okresie wprowadzania takich instalacji, jest planowane stosowanie dwu napięciowych systemów zasilania. Podstawowym napięciem będzie 42V (36V) natomiast wybrane podzespoły będą zasilane napięciem 14V (12V) poprzez przetwornice DC/DC - rys.2.

W poprzedniej dekadzie powstało kilka eksperymentalnych samochodów osobowych z tego typu instalacjami (np. Citroen Xantia).



**Rys.2.** Architektura wersji przejściowej instalacji 42V.

### 3. INSTALACJE SAMOCHODÓW Z NAPĘDAMI HYBRYDOWYMI

Filozofia samochodów z napędem hybrydowym polega na połączeniu, w jednym układzie, zalet silnika spalinowego i elektrycznego. Samochód z takim napędem jest wyposażony w klasyczny silnik spalinowy - o zapłonie samoczynnym lub iskrowym oraz w silnik elektryczny. W swoim podstawowym pomysłcie idea sprowadza się do odzyskiwania energii kinetycznej ruchu pojazdu podczas wytracania prędkości (hamowanie, zjazdy ze wzniesień) i magazynowania jej w postaci energii elektrycznej w akumulatorach. Energia ta w późniejszym okresie jest wykorzystywana do napędu samochodu, z wykorzystaniem

silników elektrycznych. Sposób wykorzystania tej energii zależy od przyjętych algorytmów sterowania lecz one zależą głównie od wielkości (pojemności i napięcia) akumulatorów.

W samochodach hybrydowych przyjęto - inaczej niż dotychczas - określać zgromadzoną energię (w kWh) mianem pojemności akumulatorów. To niefortunne określenie (dotychczas zarezerwowane dla pojemności klasycznych akumulatorów wyrażanych w amperogodzinach) winno ulec zmianie.

Autor niniejszego artykułu proponuję używanie określenia pojemność energetyczna akumulatora, a właściwie to baterii akumulatorów, gdyż są to często złożone i rozbudowane konstrukcje.

#### 4. INSTALACJE SAMOCHODÓW Z NAPĘDAMI ELEKTRYCZNYMI

Koncepcja samochodów z napędem elektrycznym, sprowadza się do zastąpienia klasycznego silnika spalinowego silnikiem elektrycznym. Układ napędowy takiego samochodu jest znacznie prostszy niż pojazdu z napędem hybrydowym. Głównym problemem w rozwoju samochodów z napędem elektrycznym jest brak na rynku tanich, lekkich i wydajnych akumulatorów do ich zasilania. Pozostałe problemy i zagrożenia są już znacznie łatwiejsze do rozwiązania.

W chwili obecnej w samochodach elektrycznych i hybrydowych mogą być stosowane następujące rodzaje akumulatorów - tab. 2

**Tab.2.** Rodzaje akumulatorów możliwe do stosowania w pojazdach hybrydowych i elektrycznych

Lp	Rodzaj baterii	Gęstość energii w Wh/kg	Uwagi o konstrukcji
1	niklowo-wodorkowa	65	przestarzała technika, nadal stosowana w niektórych samochodach hybrydowych
2	litowo-jonowa	170	najpopularniejsze obecnie akumulatory stosowane w produkowanych samochodach elektrycznych
3	litowo-powietrzna	do 1000	technologia jutra, dostępna od ok. 2025 roku
4	litowo-tytanowa	do 4000	bardzo wydajne, także w ekstremalnych temperaturach. Niestety drogie

\*Ceny: 2012 rok - 1kWh - od 400 do 550 euro; do 2020 roku cena ta ma spaść do 160 euro - (prognoza)

#### 5. POZIOMY NAPIĘĆ W INSTALACJACH SAMOCHODÓW Z NAPĘDAMI HYBRYDOWYMI I ELEKTRYCZNYMI

Napięcia w instalacjach 14/28/44V są traktowane jako bardzo niskie (ELV) [4]. Za napięcie niskie przyjmuje się napięcia znamionowe nie przekraczające 1000V dla prądu przemiennego i 1500V dla prądu stałego. Instalacje obwodów elektrycznych napędów hybrydowych i elektrycznych należy zatem uznać za napięcie niskie. Przykładowe poziomy napięć w wybranych modelach pojazdów przedstawiono w tab. 3.

**Tab. 3.** Poziomy napięć w układach napędowych wybranych pojazdów hybrydowych

Lp	Marka/model	Napięcie znam. Baterii w V	Rodzaj baterii/akumulatora	Uwagi o konstrukcji silnika
1	Lexus GS450h	650V	b.d.	65kM (200kM)
2	Toyota Yaris Hybrid	144V	akum. niklowo-wodorkowy, poj. 6,5Ah, liczba ogniw-120	synchroniczny, z magnesami stałymi, napięcie max. 520V, moc 45kW/61kM
3	Renault Kangoo Maxi Z.E.	b.d.	baterie litowo-jonowe, poj. 22kWh, masa 260kg.	synchroniczny, z uzwojonym wirnikiem, moc 44kW/60kM
4	Porsche Cayenne S Hybrid	288 V	akumulator niklowo-metalowo-hybrydowy (NiMH) z układem sterującym	IMG - Integrated Motor Generator firmy Bosch, chłodzony wodą, 34 kW (46 KM),

## **6. ŁADOWANIE AKUMULATORÓW**

Baterie akumulatorów w samochodach z napędem elektrycznym wymagają ładowania z sieci – PLUG-IN. Typowe zasilanie odbywa się z sieci jednofazowej 230V lub trójfazowej 400V. Akumulatory w samochodach z napędem hybrydowym są ładowane w pojeździe lecz mogą być doładowywane również z sieci jak w samochodach z napędem elektrycznym.

## **7. OCHRONA PRZECIWPORAŻENIOWA**

Przedstawione w rozdziale 5 poziomy napięcie znamionowych baterii akumulatorów, silników elektrycznych i sieci zasilających pozwalają stwierdzić, że w nowych konstrukcjach układów napędowych hybrydowych i elektrycznych występują poziomy napięcie znacznie przekraczające graniczne dopuszczalne wartości napięć dotykowych - tab. 1.

O ile zabiegi konstrukcyjne producentów samochodów idą w kierunku aby użytkownik/kierowca nie miał dostępu do tych instalacji to nowego podejścia wymaga proces obsługi takich instalacji. Pracownicy serwisów winni posiadać przeszkolenie i uprawnienia jak w przypadku obsługi sieci niskiego napięcia.

Większość baterii wysokonapięciowych stosowanych obecnie w samochodach z napędem elektrycznymi i hybrydowymi generuje napięcie 400V lub wyższe. W USA wprowadzono przepis, który nakłada na producentów pojazdów elektrycznych wymóg aby napięcie w instalacji zasilania pojazdu nie przekraczało 60V, po pięciu sekundach od momentu wystąpienia wypadku. W Europie takich prawnych regulacji jeszcze nie wprowadzono [11].

## **PODSUMOWANIE**

Z przedstawionej powyżej analizy wynika, że pojawienie się na rynku pojazdów z napędami hybrydowymi i elektrycznymi wywołało szereg nowych problemów w obszarze samochodowych instalacji elektrycznych.

Wyposażanie ich w baterie wysokonapięciowe oraz odpowiednie do współpracy z nimi silniki/generatory elektryczne wywołało konieczność nowego jakościowo podejścia do zagadnień eksploatacji i obsługi takich pojazdów.

Kwestia bezpieczeństwa pojazdów elektrycznych i hybrydowych będzie się stawała coraz istotniejsza wraz ze wzrostem ilości pojazdów o takich napędach i zwiększaniu się ich zasięgu. Konieczne będzie stosowanie dodatkowych zabezpieczeń z zakresu bezpieczeństwa, w tym również od porażen elektrycznych.

Nie należy zapominać o tym, że wysokie napięcie w instalacji elektrycznej może zagrażać zdrowiu lub życiu ludzkiemu na każdym etapie użytkowania samochodu (eksploatacja bieżąca, obsługa codzienna i okresowa, stany awaryjne czy wypadki).

Dobrym przykładem podejmowania działań w tym zakresie jest system opracowany przez jedną z firm zawierający czujnik przeznaczony do montażu w samochodach elektrycznych i hybrydowych, który w przypadku kolizji (gdy pojazd jest w trybie ładowania) natychmiast odłączy akumulator wysokonapięciowy [11]. Oznacza to, że personel służb ratunkowych będzie mógł wykonywać swoje zadania bez obawy o porażenie prądem elektrycznym.

Z czasem takie rozwiązania będą musieli stosować wszyscy producenci aut elektrycznych.

# PROBLEMS OF ELECTRIC SHOCK SECURITY IN MODERN AUTOMOTIVE ELECTRIC SYSTEMS

## *Abstract*

*The article discusses electric shock security issues in automotive electric systems, taking into account the point of view of the users and service stations. Requirements standards in this field were considered.*

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Jankowski K.: *Napięcie znamionowe samochodowych instalacji elektrycznych a ochrona środowiska*. III konf. n-t: „Pojazd a środowisko”, Jedlnia Letnisko 2001.
2. Jankowski K.: *Wpływ napięcia znamionowego na straty mocy w samochodowych instalacjach elektrycznych*. IV konf. n-t: „Pojazd a środowisko”, Jedlnia Letnisko 2003.
3. Jankowski K.: *Współczesne instalacje 42V a ochrona środowiska*. IV konf. n-t: „Pojazd a środowisko”, Jedlnia Letnisko 2003.
4. Markiewicz H.: *Zagrożenia i ochrona od porażenia w instalacjach elektrycznych*. Wyd.1. WN-T, Warszawa 2000.
5. Miller J. M i in.: *Making the case for a next generation automotive electrical system*. Convergence '98.
6. Morrison D.: *A Power Shortage Is Driving Automotive Applications To 42V*. Special Report: Power, Packaging & Components. 2000r.
7. PN-85/S-76001 - *Pojazdy silnikowe. Wyposażenie elektryczne. Ogólne wymagania i badania*.
8. PN-S-76020: *Pojazdy drogowe. Urządzenia elektroniczne pojazdów samochodowych. Ogólne wymagania i metody badań*.
9. PN-S-76021+Az1: *Instalacja elektryczna pojazdów samochodowych. Wymagania i metody badań*.
10. PN-IEC 60364-7-708: *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Instalacje elektryczne w kempingach i pojazdach wypoczynkowych*.
11. Węglarz A., Pleśniak M.: *Samochód elektryczny*. KAPE, Warszawa 2011.

**Autor:**

**Krzysztof JANKOWSKI**