

Streszczenie

Badania i wdrożenie alternatywnego układu napędowego w sporcie samochodowym

Praca dotyczy badań i wdrożenia alternatywnego układu napędowego w sporcie samochodowym. Celem było stworzenie takiego układu, który wpłynęłoby pozytywnie na parametry energetyczne silnika spalinowego samochodu rajdowego i w rezultacie na parametry dynamiczne tego samochodu. Jednocześnie rozwiązanie miało wpłynąć pozytywnie na ograniczenie emisji substancji szkodliwych i zużycia paliwa oraz zapewniać wysoki poziom bezpieczeństwa. Duży nacisk został położony również na kwestię kosztów układu oraz jego kompatybilności z istniejącymi samochodami rajdowymi, aby mógł przyczynić się do popularyzacji tego typu rozwiązań w rajdach samochodowych. W ramach realizacji pracy przeanalizowany aktualny stan techniki w zakresie alternatywnych układów napędowych zarówno wśród samochodów produkowanych seryjnie jak i samochodów rajdowych. Następnie oceniono dostępne na rynku rozwiązania i na podstawie analizy wybrano preferowany, hybrydowy układ napędowy mHEV, składający się z: BISG, kompresora elektrycznego oraz baterii trakcyjnej 48 V.

Kolejnym krokiem było stworzenie modelu do jednowymiarowych symulacji numerycznych w programie AVL CruiseM, znając wymagane dane silnika spalinowego, BISG, kompresora elektrycznego i baterii trakcyjnej 48 V. Część danych została wyznaczona na podstawie badań na hamowni silnikowej, natomiast druga część na podstawie dostępnych charakterystyk urządzeń. Po stworzeniu modelu samochodu wyposażonego w hybrydowy układ napędowy, przystąpiono do przeprowadzenia symulacji numerycznych. Przede wszystkim skupiono się na wpływie opracowywanego układu na możliwość ograniczenia zjawiska niedoboru ciśnienia w kolektorze dolotowym względem zadanego, który negatywnie wpływa na dynamikę samochodu rajdowego. Zweryfikowano również możliwość wykorzystania do tego celu BISG. Przeprowadzone symulacje potwierdziły, że kompresor elektryczny zmniejsza zjawisko niedoboru ciśnienia w kolektorze dolotowym, przez co pozytywnie wpływa na przebieg krzywej momentu obrotowego silnika spalinowego. Potwierdziły to również kolejne symulacje, wykorzystujące cykl jazdy. Kolejnym zagadnieniem było przeprowadzenie symulacji cyklu jazdy na trasie określonej na podstawie danych z rzeczywistego odcinka specjalnego rajdu. Na ich podstawie potwierdzono, że hybrydowy układ napędowy wpływa na skrócenie czasu przejazdu samochodu rajdowego. Zweryfikowano również pojemność baterii trakcyjnej 48 V, która okazała się wystarczającą aby przejechać zadany w cyklu odcinek specjalny rajdu.

Po przeprowadzeniu symulacji przystąpiono do badań rzeczywistych na hamowni silnikowej, gdzie odwzorowany cykl pracy silnika spalinowego, analogiczny do tego stosowanego w symulacjach numerycznych. Celem było uruchomienie badanego układu w warunkach rzeczywistych, wraz z jego sterowaniem i potwierdzenie wniosków z symulacji numerycznych. W trakcie badań rzeczywistych możliwe było również porównanie parametrów energetycznych silnika spalinowego z włączonym układem podtrzymania obrotów turbosprężarki (ang. ALS – Anti-Lag System). Badania potwierdziły wnioski z symulacji, tj., że kompresor elektryczny ogranicza zjawisko niedoboru ciśnienia w kolektorze dolotowym. Ponadto, po dopracowaniu strategii sterowania kompresora elektrycznego, najprawdopodobniej będzie możliwe zastąpienie systemu ALS, kompresorem elektrycznym, co ograniczy emisję substancji szkodliwych i zużycie paliwa przez samochód rajdowy. Niemniej, wspólne działanie ALS i kompresora elektrycznego wpływa pozytywnie na parametry energetyczne silnika i jest pod tym kątem najlepsze ze wszystkich badanych konfiguracji.

W ramach pracy wybrano hybrydowy układ napędowy, który wpływa pozytywnie na dynamikę samochodu rajdowego i ma potencjał wdrożeniowy. Jest on przystępny kosztowo jak również możliwy do montażu w istniejących samochodach rajdowych. Kolejnym krokiem powinno być zgłoszenie zmian przepisów do Międzynarodowej Federacji Samochodowej (FIA), które umożliwią stosowanie opracowanego układu hybrydowego w rajdach samochodowych.

Abstract

Research and Implementation of an Alternative Powertrain in Motorsport

This study focuses on the research and implementation of an alternative powertrain in motorsport. The objective was to develop a system that would positively impact the energy performance of an internal combustion engine (ICE) in a rally car, and as a result, improve the vehicle's dynamic performance. Simultaneously, the solution aimed to reduce harmful emissions and fuel consumption while ensuring a high level of safety. Significant emphasis was also placed on cost efficiency and compatibility with existing rally cars, with the goal of promoting the widespread adoption of such systems in rally. The study began with an analysis of the current state of technology in alternative powertrains, considering both mass-produced vehicles and rally cars. Available market solutions were evaluated, and based on the analysis, a preferred hybrid powertrain, mHEV, was selected. This system comprises a Belt Integrated Starter Generator (BISG), an electric compressor, and a 48 V traction battery.

The next step involved creating a model for one-dimensional numerical simulations using AVL CruiseM, utilizing required data for the ICE, BISG, electric compressor, and 48V traction battery. Some of the data was derived from engine dynamometer tests, while other data was based on available device characteristics. After constructing the model of a vehicle equipped with the hybrid powertrain, numerical simulations were conducted. The primary focus was on the system's impact on reducing the phenomenon of intake manifold pressure deficit relative to the target value, which negatively affects the dynamics of the rally car. The feasibility of using the BISG to address this issue was also evaluated. The simulations confirmed that the electric compressor reduces the intake manifold pressure deficit, thereby improving the torque curve of the internal combustion engine. This was further validated through additional simulations utilizing a driving cycle. Another aspect of the study was the simulation of a driving cycle on a route defined using data from an actual rally special stage. Based on these simulations, it was confirmed that the hybrid powertrain reduces the time required to complete the rally stage. The capacity of the 48V traction battery was also assessed and found to be sufficient to complete the designated rally special stage within the driving cycle.

Following the simulations, real-world tests were conducted on an engine dynamometer, where the ICE's operating cycle, analogous to that used in the numerical simulations, was replicated. The goal was to activate the tested system in real-world conditions, including its control, and to confirm the findings of the numerical simulations. During the real-world tests, it was also possible to compare the energy performance of the ICE with the Anti-Lag System (ALS) enabled. The tests confirmed the simulation results, namely, that the electric compressor reduces the intake manifold pressure deficit. Additionally, with further optimization of the electric compressor's control strategy, it could potentially replace the ALS, which would reduce harmful emissions and fuel consumption in rally cars. However, the combined operation of both the ALS and the electric compressor resulted in the best energy performance for the engine among all the tested configurations.

This study identified a hybrid powertrain that positively impacts the dynamics of rally cars and shows potential for implementation. It is cost-effective and compatible with existing rally cars. The next step should be to propose regulation changes to the Fédération Internationale de l'Automobile (FIA), enabling the use of the developed hybrid powertrain in rally.