



ZSS Poznań



| Documents of Intellectual Outputs | |
|-----------------------------------|---|
| Name and address of the Company | Zespół Szkół Samochodowych im. inż. Tadeusza Tańskiego ul. Zamenhofa 142 61-139 Poznań Poland |
| Telephone / Fax | +48 61 8 791 21 +48 61 8 77 09 08 |
| E-Mail of institution | zss@samochodowka.edu.pl |
| E-Mail of coordinator | auryn11@wp.pl |
| Internet WEB | http://www.samochodowka.edu.pl |

F.2. Project Activities

F.2.1. Intellectual Outputs

| | |
|------------------------------|---|
| Output Identification | 04 |
| Output Title | Drei Lernmodelle zur Elektromobilität: Leistungsverzweigung in Hybridantrieben (Berlin), Umstellung von konventionellem auf Elektroantrieb (Posen), Schaltungen im Hybrid (als E- Karts) und technische Leistungsunterschiede (Vicenza) |
| Output Type | Learning/teaching/training material |
| Output Description | In jedem der drei Partnerländer bauen die regionalen Projektpartnerein Lernmodell als Teil des innovativen Lernenvvironments für die berufliche Bildung (zum Thema zu Elektromobilität). Ausgewählt wurden dafür drei Funktionen: (a) Leistungsverzweigung in Hybridantrieben (Berlin), (b) Umstellung von konventionellem auf Elektroantrieb (Posen) und (c) Schaltungen im Hybrid (als E-Karts) und technische Leistungsunterschiede (Vicenza). Die Modelle enthalten sämtlich funktionstüchtige mechanische und elektrische Komponenten, mit denen Elektromobilitätsfunktionen praktisch simuliert/visualisiert werden können (Elektromotoren, Getriebe, Batterien, Kühlanlagen, Bedienelemente etc.). |



Erasmus+

This project is co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union. This publication reflects only the author's view. The National Agency and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains.



CWS T-1 kareta (1927)

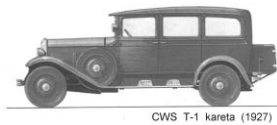
ZSS Poznań

Spis treści:

Stosowane skróty

| | | |
|------|--|----|
| 1. | Wprowadzenie..... | 4 |
| 2. | Sytuacja wyjściowa..... | 5 |
| 3. | Cel projektu..... | 11 |
| 4. | Wymagania odnośnie produktu końcowego..... | 11 |
| 5. | Ogólna struktura napędu samochodu elektrycznego..... | 11 |
| 6. | Koncepcja opomiarowania układu napędowego..... | 18 |
| 7. | Obszary wykorzystania..... | 21 |
| 7.1. | Obszar budowy i działania..... | 21 |
| 7.2. | Obszar diagnostyki..... | 22 |
| 7.3. | Obszar naprawy..... | 22 |
| 7.4. | Obszar badań układu napędowego..... | 23 |
| 8. | Lista wymagań | 23 |
| 9. | Kryteria akceptacji produktu końcowego..... | 24 |
| 10. | Planowanie oraz wykorzystanie efektów projektu | 25 |
| 11. | Literatura..... | 25 |
| 12. | Załączniki..... | 25 |
| 13. | Spis rysunków | 26 |





CWS T-1 kareta (1927)

ZSS Poznań

Stosowane oznaczenia:

BLDC - BrushLess Direct-Current motor – bezszczotkowy silnik elektryczny zasilany prądem stałym

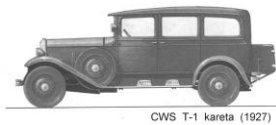
PMSM - Permanent-Magnet Synchronous Motor - bezszczotkowy silnik elektryczny zasilany prądem przemiennym

EV – Electric Vehicle – pojazd elektryczny

BMS – Battery Management System – system zarządzania zestawem akumulatorów

PWM - Pulse-Width Modulation - sygnał prądowy lub napięciowy, o stałej amplitudzie i częstotliwości, ze zmieniającym się wypełnieniem sygnału





CWS T-1 kareta (1927)

ZSS Poznań

1. Wprowadzenie

W dobie niestabilnych cen paliw i wzrastającej roli ekologii to właśnie pojazdy elektryczne miały podbić rynek motoryzacyjny w Polsce. Tak się nie stało. W roku 2013 polscy kierowcy kupili jedynie 32 sztuki modeli EV, co jest porównywalne z latami poprzednimi. Kiedy kupujemy samochód osobowy, zwykle analizujemy jego podstawowe parametry: cenę, zasięg, spalanie, koszty serwisu i przewidywaną wartość rezydualną (odsprzedaży). W większości tych punktów auto elektryczne ma gorsze własności i osiągi. Lider polskiego rynku Mitsubishi i-MiEV (łącznie sprzedaż 24 egzemplarze przez 3 lata), kosztuje aż 160 tysięcy złotych. Za tę cenę otrzymujemy zasięg do 150 kilometrów, prędkość maksymalną do 130 km/h i czas ładowania baterii – około 6 godzin. Trzeba jednak zauważyć, że nie spalamy drogiego paliwa, a za jednorazowe ładowanie np. we Francji zapłacimy tylko 2 euro. Niewiadoma pozostaje wartość rezydualna samochodu (właśnie powinny się kończyć pierwsze polskie umowy leasingowe na EV), ale w Wielkiej Brytanii firmy oferujące leasing wyceniają tę wartość na zero funtów.

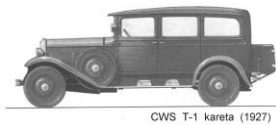
Rynkową niszą, w której dobrze odnajdują się pojazdy elektryczne, jest transport publiczny. We wrześniu 2011 roku podpoznański producent pojazdów dla komunikacji miejskiej Solaris zaprezentował prototypowy model autobusu z napędem elektrycznym Solaris Urbino electric. Japońska Toyota rozpoczyna nowatorski 3-letni program udostępniania na zasadach car-sharingu dwuosobowych pojazdów elektrycznych i-ROAD we francuskim mieście Grenoble.

Tak, więc na tworzącym się rynku pojazdów elektrycznych w niedalekiej przyszłości będzie brakowało wykwalifikowanych specjalistów z dziedziny obsługi, naprawy i diagnostyki takich pojazdów.

Reasumując mimo wszystkich przeciwności samochodów elektrycznych jest coraz więcej. Stacje obsługi potrzebują coraz więcej pracowników wyszkolonych do obsługi i naprawy samochodów napędzanych silnikiem elektrycznym i hybrydowym. Dlatego już w tej chwili wszystkie szkoły uczące w zawodach:

- Technik pojazdów samochodowych
- Mechanik pojazdów samochodowych





CWS T-1 kareta (1927)

ZSS Poznań

- Elektromechanik pojazdów samochodowych

są zmuszone modyfikować programy nauczania dopasowując je do bardzo dynamicznie rozwijających się samochodów napędzanych silnikami elektrycznymi i hybrydowymi.

Współcześnie zachodzi wiele zmian w otoczeniu gospodarczo-społecznym, na które wpływają: globalizacja procesów gospodarczych i społecznych, mobilność geograficzna i zawodowa, nowe techniki i technologie, a także wzrost oczekiwań pracodawców obejmujących wiedzę i umiejętności pracowników. Głównym celem kształcenia zawodowego jest przygotowanie uczących się do życia w warunkach współczesnego świata, wykonywania pracy zawodowej i aktywnego funkcjonowania na zmieniającym się rynku pracy, wymusza wprowadzenie nowych treści dydaktycznych i ciągłą ewaluację programów nauczania zawodowego. Zmieniające się warunki i oczekiwania od rynku motoryzacyjnego, wprowadzenie alternatywnych źródeł napędu pojazdów samochodowych, determinuje konieczność wprowadzenia do treści nauczania w szkołach kształcących w zawodach związanych z motoryzacją, zagadnień dotyczących napędów hybrydowych i napędów elektrycznych.

Jednak, aby dobrze dostosować programy nauczania oraz uczyć w tych kierunkach niezbędnym jest zbudowanie modelu pojazdu dydaktycznego zawierającego wszystkie niezbędne w szkoleniu elementy struktury pojazdu elektrycznego. Sam pojazd powinien być konstruowany przy współpracy kilku ośrodków: szkoły zawodowej, szkoły wyższej oraz ośrodków wytwórczych reprezentowanych przez Izbę Rzemieślniczą.

2. Sytuacja wyjściowa

Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom rozwijającego się rynku pojazdów elektrycznych konieczny stało się zbudowanie samochodu z napędem elektrycznym, na którym można było by uczyć przyszłych mechaników, techników i inżynierów. W tym celu ZSS zakupiło używany samochód Toyota Starlet z zamiarem zmiany napędu z silnika spalinowego na silnik elektryczny. Za wyborem tego modelu przemawiała przede wszystkim bardzo niska waga samochodu (760 kg) co przekłada się na lepsze osiągi po przeróbce. Poza tym samochód był





CWS T-1 kareta (1927)

ZSS Poznań

tani (2500 zł) i w bardzo dobrym stanie mechanicznym i blacharskim. W warsztatach szkolnych ZSS zostały przeprowadzone wszelkie prace mechaniczne związane z przystosowaniem pojazdu do napędu elektrycznego. Należało, zatem usunąć silnik spalinowy z całym osprzętem tj. chłodnicą, tłumikami, filtrem powietrza, alternatorem, sterownikiem silnika oraz układem paliwowym łącznie ze zbiornikiem paliwa. Następnie zostały wspawane w miejscu zbiornika paliwa (pod tylną kanapą) oraz w bagażniku pojemniki na akumulatory elektryczne.

Do napędu pojazdów samochodowych można wykorzystać silniki prądu stałego oraz silniki prądu przemiennego. Dokonując analizy możliwości zastosowania napędu elektrycznego do zakupionej Toyoty Starlet, brano pod uwagę różne warianty silników elektrycznych oraz możliwości techniczne wykonania adaptacji napędu w warunkach warsztatów szkolnych Zespołu Szkół Samochodowych. Nie bez znaczenia były również możliwości finansowe związane z zakupem silnika oraz odpowiednich akumulatorów. Poniżej przedstawiono analizę doboru silnika do zastosowania w zakupionej przez Zespół Szkół Samochodowych w Poznaniu Toyocie Starlet.

Analiza doboru silnika elektrycznego do napędu Toyoty Starlet:

Konstruktorzy pojazdów elektrycznych stają w pewnym momencie przed pytaniem:, jaki silnik wybrać do napędu pojazdu elektrycznego? Do budowy pojazdów elektrycznych stosuje się obecnie silniki:

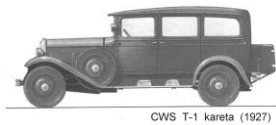
Prądu stałego:

- komutatorowe ze wzbudzeniem elektromagnetycznym,
- komutatorowe ze wzbudzeniem magnesami trwałymi,
- bezszczotkowe silniki BLDC.

Prądu przemiennego trójfazowe:

- asynchroniczne klatkowe,
- synchroniczne z sinusoidalnym kształtem siły elektromotorycznej - Permanet Magnet Synchronous Motor, PMSM,
- synchroniczne reluktancyjne przetączalne.





CWS T-1 kareta (1927)

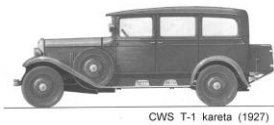
ZSS Poznań

Do napędu pojazdu elektrycznego nadaje się każdy z tych silników zarówno do napędu bezpośredniego jak i pośredniego, czyli z użyciem przekładni. Warunkiem jest odpowiedni dobór mocy, prędkości i momentu obrotowego silnika. Dobór silnika będzie decydował o osiągnięciach pojazdu.

Silniki prądu stałego nie wymagają przetwornicy energoelektronicznej, można zasilać je bezpośrednio z przełączalnych akumulatorów lub stosując rezystory rozruchowe. Jest to jednak rozwiązanie bardzo mało praktyczne i uniemożliwiające późniejsze kształtowanie parametrów napędu. Każdy z silników prądu przemiennego wymaga przetwornicy energoelektronicznej (falownika). W praktyce powinna być ta przetwornica sterowana mikroprocesorowo bo tylko wtedy jest możliwość dowolnego kształtowania parametrów napędu elektrycznego pojazdu elektrycznego.

Silniki z magnesami trwałymi mają większą sprawność od silników bez magnesów, ale tylko w zakresie prędkości od 0 do prędkości znamionowej. W takim zakresie prędkości nie muszą pobierać prądu z akumulatorów na wzbudzenie silnika. Niestety, jeśli chce się wymusić wyższą od znamionowej prędkość obrotową silnika to sprawność silnika z magnesami trwałymi maleje (rys.1). Przy prędkościach większych od znamionowej, czyli w II strefie regulacji musi być pobierany dodatkowy prąd z akumulatora, który będzie wytwarzał strumień magnetyczny osłabiający strumień pochodzący od magnesów trwałych. Prawidłowo dobrany silnik elektryczny do napędu pojazdu elektrycznego powinien mieć możliwość pracy w dwóch strefach regulacji: strefie I czyli poniżej prędkości znamionowej oraz w strefie II, czyli powyżej prędkości znamionowej. Zapewni to dopasowanie silnika do charakterystyki momentu oporowego odpowiadającej pojazdowi samochodowemu.

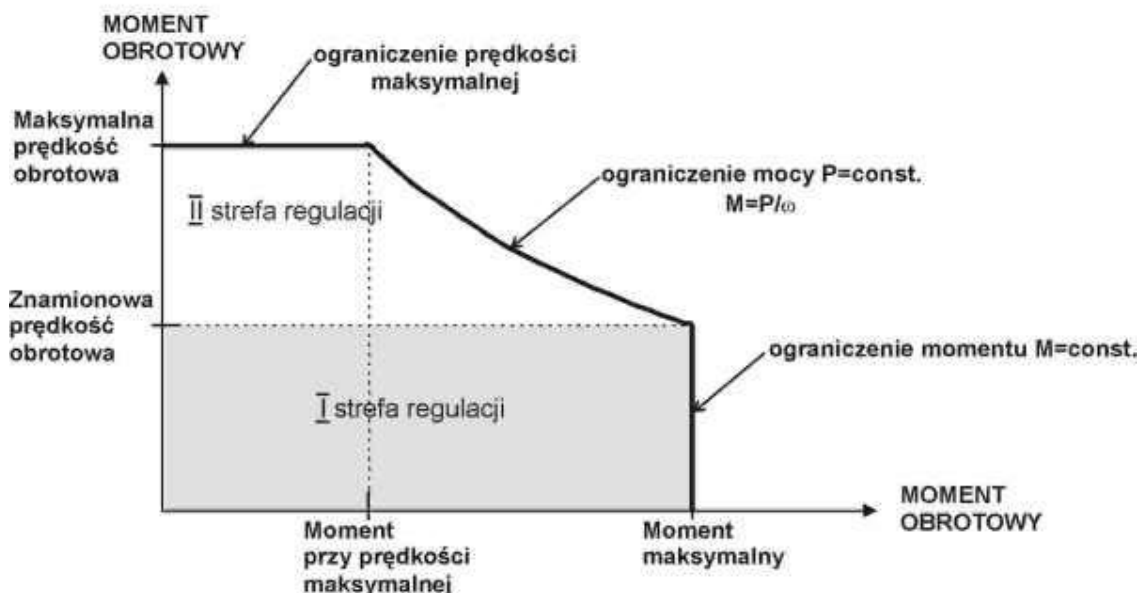




CWS T-1 kareta (1927)

ZSS Poznań

Obszar ograniczający położenie punktu pracy silnika elektrycznego



Rys.1: Strefy regulacji dla silnika elektrycznego

Aktualny punkt pracy silnika wynika z zadanej prędkości pojazdu oraz z aktualnego momentu oporowego, czyli oporu jaki napotyka pojazd. Przy prędkości mniejszej od znamionowej punkt pracy silnika elektrycznego na charakterystyce mechanicznej ograniczony jest maksymalnym momentem silnika - tzw. obszar pracy ze stałym momentem. Przy prędkości wyższej od znamionowej punkt pracy silnika ograniczony jest maksymalną mocą silnika i na charakterystyce mechanicznej ograniczony jest krzywą opisaną wzorem:

$$M = \frac{P}{n}$$

Gdzie: n to prędkość silnika przy stałej mocy P=const.

Rozpatrując dopuszczalny obszar pracy silnika trzeba uwzględnić, że ten obszar pracy może się zmieniać z uwagi na to, że silnik elektryczny można na pewien czas przeciążyć. W kartach

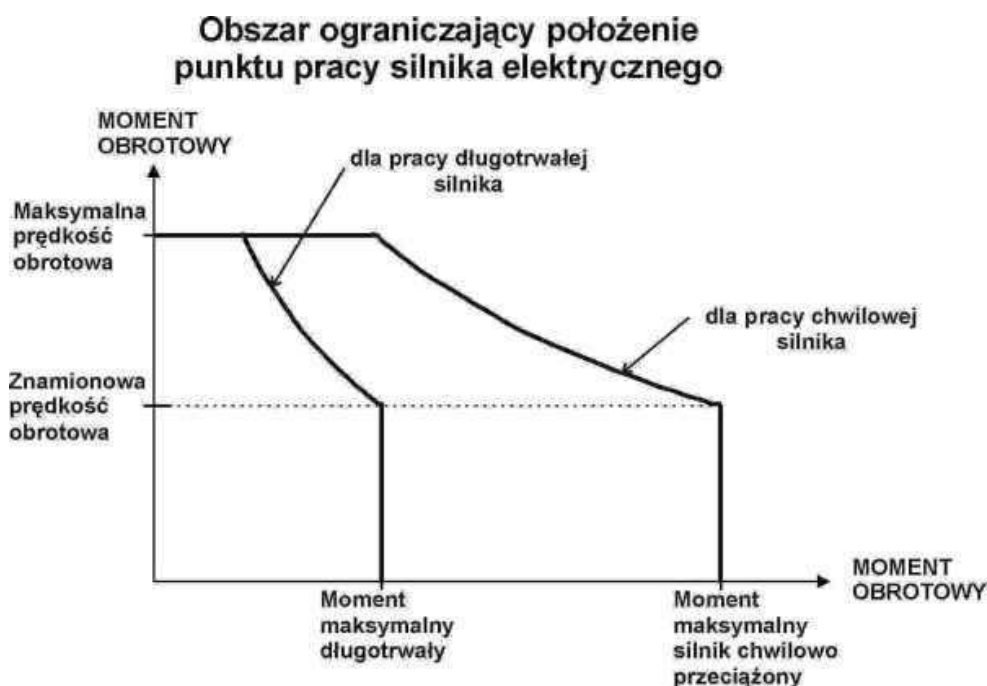




CWS T-1 kareta (1927)

ZSS Poznań

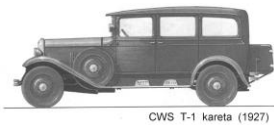
katalogowych silników podaje się wartość przeciążalności silnika i określa się czas na jak długo można silnik elektryczny przeciążyć. Np. dla silnika asynchronicznego klatkowego przeciążalność wynosi około 3-krotną wartość momentu znamionowego silnika. Wykresy zmian obszaru strefy regulacji przy przeciążeniu, dla silnika synchronicznego i asynchronicznego przedstawiono na rysunkach nr 2 i 3.



Rys.2: Wykres zmian obszaru strefy regulacji przy przeciążeniu, dla silnika synchronicznego

Przechodzenie w II strefę regulacji komplikuje układ sterowania, ale jeśli zrezygnujemy z zakresu dużych prędkości obrotowych, to silnik zastosowany w pojeździe będzie przewymiarowany tj. za duży i co za tym idzie za ciężki.

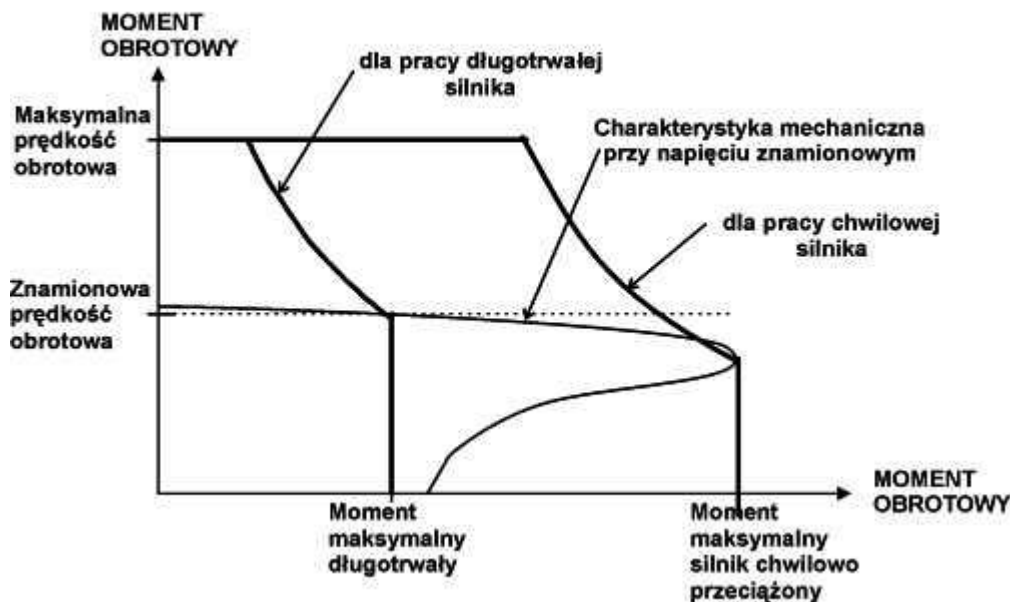




CWS T-1 kareta (1927)

ZSS Poznań

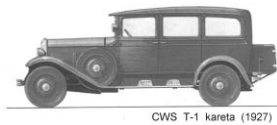
Obszar ograniczający położenie punktu pracy silnika elektrycznego



Rys.3: Wykres zmian obszaru strefy regulacji przy przeciążeniu, dla silnika asynchronicznego

W związku z powyższym interesującą alternatywą staje się klasyczny silnik asynchroniczny. Silnik taki ma sprawność około 80%, ale są również produkowane silniki asynchroniczne o sprawności około 90%. Rozważając sprawność widać, że silniki z magnesami trwałymi nie są wcale tak atrakcyjne jeśli dodatkowo uwzględnimy ich wysoką, w porównaniu np. z silnikami asynchronicznymi klatkowymi, cenę. Odnosnie napięcia zasilania silnika to każdy silnik można nawinąć tak, aby dopasować go do poziomu napięcia zasilania z akumulatorów. Jednak najtańszym rozwiązaniem jest użycie silnika na standardowe napięcie zasilania. Wydaje się, że najłatwiej jest zastosować napięcie akumulatorów 300V i standardowy silnik klatkowy 380/220 połączony w trójkąt. Jest wtedy możliwość wykorzystania standardowego falownika z tranzystorami IGBT do zasilania silnika asynchronicznego. Dochodzi jednak w tym momencie koszt zakupu falownika oraz przepisy związane z obsługą urządzeń wysokonapięciowych.





CWS T-1 kareta (1927)

ZSS Poznań

3. Cel projektu

Celem projektu jest zbudowanie takiego pojazdu elektrycznego na bazie, którego będzie można wypracować materiał dydaktyczny, który umożliwi nauczanie zawodu bliskie realiom praktycznym jak i uwzględni nowe technologie oraz umożliwi zdobywanie kompetencji z różnych zakresów zawodowych.

4. Wymagania odnośnie produktu końcowego

Produktem końcowym ma być pojazd z napędem elektrycznym na bazie samochodu Toyota Starlet, którego będzie można będzie prowadzić dydaktykę w zakresie budowy, działania, napraw, diagnostyki oraz badań ruchowych.

Pojazd z założenia ma być tanim rozwiązaniem opartym na w miarę nowoczesnych technologiach, dzięki którym będzie możliwe spełnieni celu postawionego w punkcie 3.

Będzie on wykorzystany do stworzenia programu nauczania oraz programów szkoleń dla uczniów szkół zawodowych, średnich, studentów oraz pracowników firm branży motoryzacyjnej.

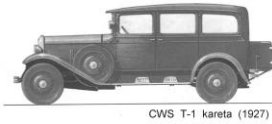
5. Ogólna struktura napędu samochodu elektrycznego

Pojęcie napęd obejmuje ogólnie całość zagadnień związanych z doprowadzeniem energii mechanicznej silników różnych typów do maszyn roboczych. W przypadku, gdy silniki są elektryczne, jest to elektryczny układ napędowy.

Napędem elektrycznym nazywa się urządzenie pracujące na zasadzie wykorzystania energii elektrycznej i służące do nadawania ruchu maszynie roboczej (np. pompie, sprężarce, obrabiarce, urządzeniu przemysłowemu itd.). Składa się ono na ogół z trzech części:

- Silnika elektrycznego, w którym doprowadzana energia elektryczna przetwarza się w energię mechaniczną wirującego wału lub części wykonującej ruch postępowy.

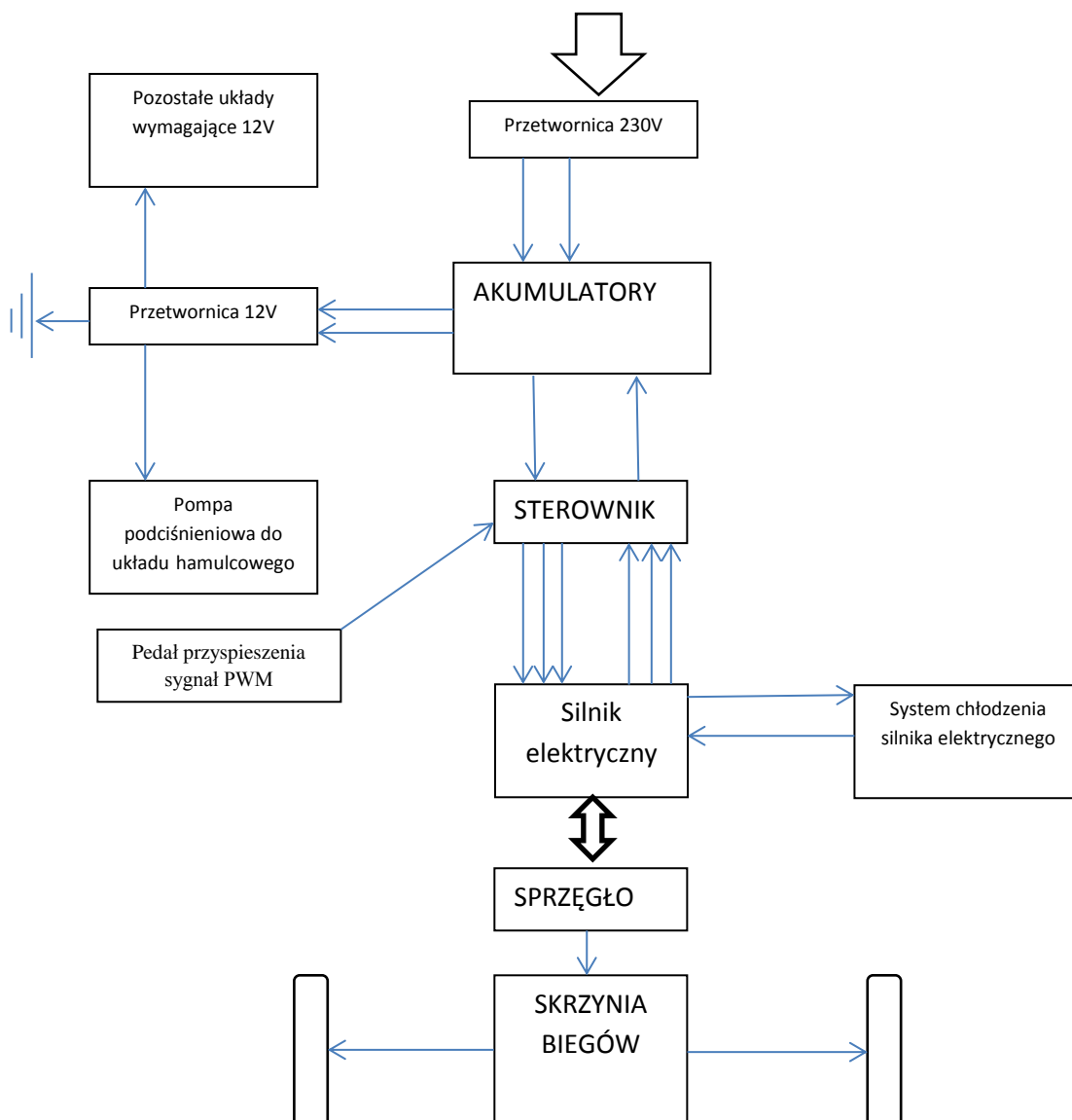




ZSS Poznań

- Części łączącej silnik z maszyną roboczą, jak na przykład sprzęgła (przy bezpośrednim łączeniu wału silnika z wałem maszyny roboczej), przekładni pasowej, przekładni zębatej itp.
- Aparatury elektrycznej, przeznaczonej do przyłączenia silnika do sieci, sterowania jego pracą i zabezpieczenia od skutków zakłóceń.

Wszystkie części urządzenia napędowego połączone ze sobą według określonego schematu tworząc układ napędowy (rys.4).



Rys.4: Schemat proponowanego rozwiązania napędu elektrycznego



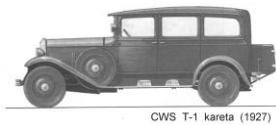
CWS T-1 kareta (1927)

ZSS Poznań

Jak już wcześniej wspomniano do napędu pojazdu zastosowano silnik elektryczny BLDC. Znajduje on coraz szersze zastosowania głównie z powodu wysokiej sprawności i dużej trwałości [1]. Ponadto nie wymaga on częstych przeglądów i konserwacji i nie wywołuje dużego hałasu. Największą ich wadą jest znaczna cena związana z ceną magnesów trwałych oraz konieczność współpracy z elektronicznym komutatorem. Malejące ceny elementów elektronicznych, duża skala integracji elektronicznych układów zasilania i sterowania oraz wysoki koszt energii elektrycznej sprawiają, że napęd z silnikiem BLDC jest konkurencyjny w stosunku do napędu z asynchronicznym silnikiem klatkowym o regulowanej prędkości obrotowej. W przeważającej liczbie zastosowań silnik BLDC może być wyposażony w niezawodny, prosty i tani komutator elektroniczny realizujący regulację prędkości obrotowej, zmianę kierunku wirowania i ochronę przeciążeniową. Wyeliminowanie czujników położenia i związanych z nimi połączeń w obecnie rozwijanych, bezczujnikowych układach sterowania podnosi niezawodność i zmniejsza cenę napędu z silnikiem BLDC.

Bezczotkowe silniki prądu stałego przewyższają wszystkie inne silniki pod względem sprawności oraz mocy osiągniętej z jednostki ciężaru czy objętości. Dodatkowo w wirnikach tych silników prawie nie ma strat, gdyż wykonane są one na ogół z wysokorezystancyjnych magnesów spiekanych. Większość strat występuje w stojanie, który łatwo schłodzić[3]. Zatem uzwojenia stojana mogą być obciążone większą gęstością prądu, co wpływa na minimalizację wymiarów maszyny. Silniki te nie mają kłopotliwego i wymagającego konserwacji komutatora, pracują cicho, a ich trwałość zależy praktycznie od trwałości zastosowanych łożysk.





CWS T-1 kareta (1927)

ZSS Poznań

Do zalet silnika BLDC zaliczamy:

- prostą budowę silnika,
- duży stosunek momentu do masy silnika,
- duża sprawność,
- prosty układ sterowania,
- sterowanie w szerokim zakresie prędkości,
- bardzo dokładną regulację prędkości bez dodatkowych kosztów finansowych,
- wysoki moment rozruchowy,
- niskie koszty obsługi,
- brak szczotek (silnik staje się cichy, niezawodny, brak zużywania mechanicznego oraz przewodzącego pyłu)

Silnik ten posiada również wady. Do najczęściej wymienianych wad tego silnika należą:

- tętnienia momentu elektromagnetycznego,
- wysoki koszt magnesów trwałych
- konieczność stosowania czujników położenia wału, co w znacznym stopniu wpływa na cenę układu napędowego.

Budowa silnika BLDC znacząco różni się od rozwiązań konstrukcyjnych stosowanych w innych maszynach elektrycznych. Wśród jego podstawowych elementów składowych można wyróżnić wirnik oraz stojan. Moment napędowy powstaje w wyniku współdziałania pola magnetycznego wirnika i stojana. W odróżnieniu od tradycyjnych silników wirnik wytwarza stałe w czasie pole magnetyczne pochodzące z magnesów stałych. Pole magnetyczne stojana indukowane jest w uzwojeniach skojarzonych w odpowiednie grupy. Największą zaletą silnika BLDC jest brak konieczności stosowania komutatora, dzięki czemu nie występuje zjawisko komutacji oraz straty energii w wyniku przepływu prądu przez szczotki o stosunkowo dużej rezystancji. Wirnik oraz uzwojenia stojana i sposób ich połączenia rysunek rys.5

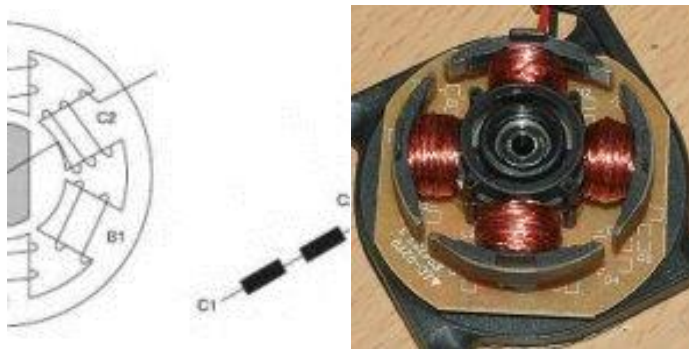




CWS T-1 kareta (1927)

ZSS Poznań

Ruch wirnika możliwy jest dzięki wirującemu polu magnetycznemu stojana. Obroty wirnika są ściśle zależne od częstotliwości zmian pola stojana. W praktyce do sterowania wykorzystuje się układ elektronicznego komutatora a obrót wirnika podzielony jest na sześć faz, w których zasilanie kolejnych uzwojeń przełączane jest w taki sposób aby pole w obwodzie magnetycznym stojana zmieniało swoje położenie o pewien stały kąt wynikający z ilości biegunów.

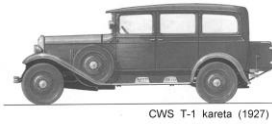


Rys.5: Połączenie wirnika wraz z uzwojeniem stojana dla silnika BLDC

Układ sterowania realizowany jest zazwyczaj w postaci końcówki mocy opartej na tranzystorach przełączających, których ilość jest uzależniona od liczby uzwojeń stojana. Realizuje on podstawowe funkcje takie jak zmiana prędkości obrotowej, regulacja przyspieszenia, oraz analizowanie informacji o położeniu wirnika pochodzące ze sprzężenia zwrotnego.

Problem przy sterowaniu silnikiem BLDC sprowadza się zazwyczaj do określenia stanu łączników, jako funkcji informującej nas o położeniu kątownego wału, czyli mówiąc pokrótce do wyznaczenia chwili przełączenia. Wyznaczenie położenia może się odbywać na podstawie sygnałów pochodzących z czujników magnetycznych tzw. Hallotronów, które znajdują się w szczelinach, rozmieszczone względem siebie o 120 stopni (rys.6). Zaletą takiego rozwiązania jest fakt, że sygnały te przychodzące z czujników są wykorzystywane, za pomocą prostego układu logicznego do sterowania pracą przełączników.

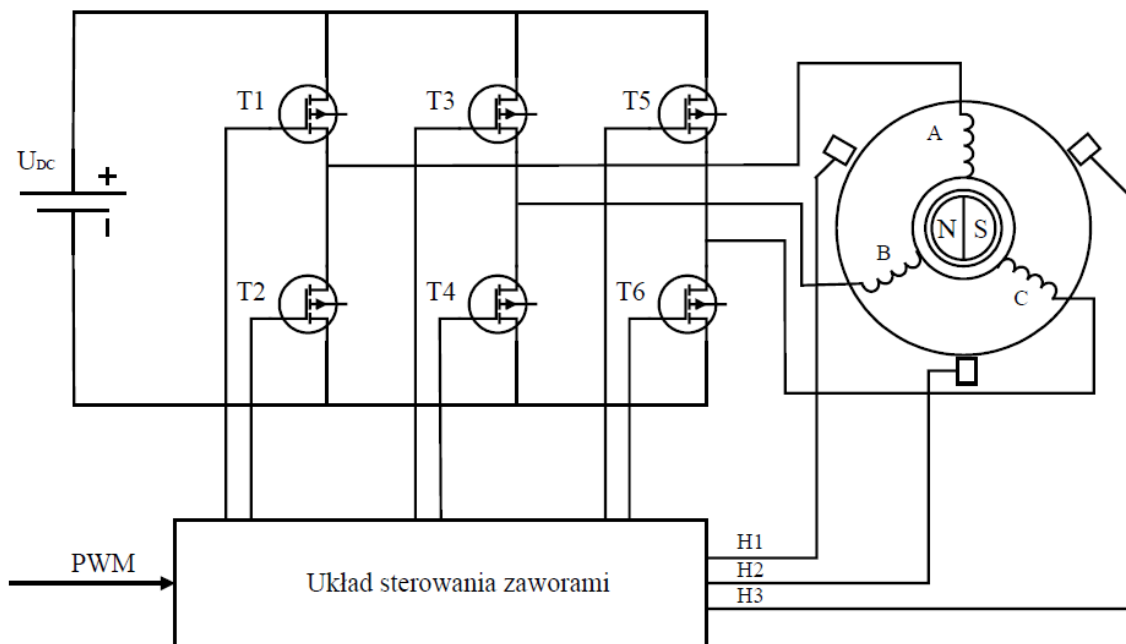




ZSS Poznań

Jednakże sterowanie to ma także swoje wady, a należy do nich sama obecność zastosowanych sensorów, ponieważ są to delikatne czujniki. Nie oznacza to, że silnikami BLDC jest ciężko sterować. Oprócz sterowania za pomocą czujników, istnieje również inne. Polega ono na tym, że obliczane są chwile przełączenia łączników na podstawie prądów i napięć pochodzących z uzwojeń silnika. Stosuje się kilka metod sterowania.

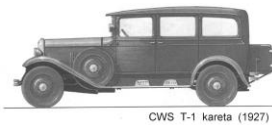
W pierwszej metodzie wykorzystujemy siłę elektromotoryczną indukowaną w fazie silnika, bardzo łatwo można ją zmierzyć, kiedy silnik jest wyłączony. Można wyznaczyć również czas przejścia tej siły przez zero i po odpowiednim przesunięciu tych sygnałów, a dokładniej o $\frac{1}{4}$ okresu wykorzystać je do sterowania pracą łączników, niestety metoda ta ma jednak bardzo istotne ograniczenie, ponieważ na postoju indukowana siła elektromotoryczna jest równa zero, co dyskwalifikuje tę metodę.



Rys. 6:Klasyczny układ sterowania silnika BLDC bazujący na pomiarze położenia wirnika z wykorzystaniem czujników Hala (H1,H2,H3) [2]

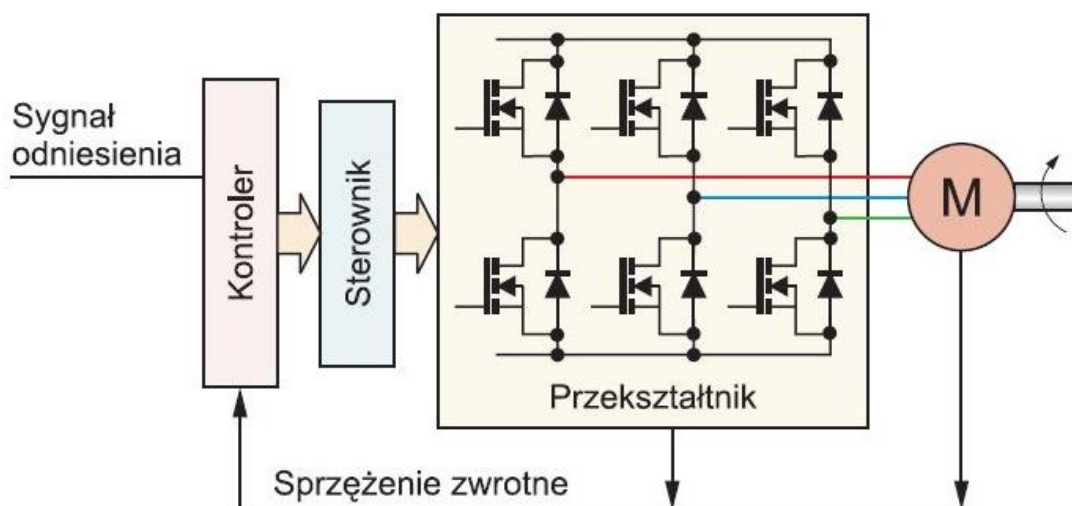
Druga metoda bezczujnikowego sterowania silnikiem BLDC, polega na obserwowaniu stanu silnika (rys.7). W tym przypadku tworzony jest matematyczny model układu bieżąco korygowanego na podstawie sygnałów rzeczywistych prądów i napięć pochodzących z maszyny. Z tego też modelu otrzymujemy sygnały pozwalające na sterowanie pracą





ZSS Poznań

łączników. Zastosowanie modelu matematycznego niesie za sobą dodatkowe korzyści, mianowicie uzyskanie dodatkowych wielkości fizycznych, wykorzystanych później w sterowaniu pracą silnika. Jednakże obróbka tych sygnałów wymaga dużej mocy obliczeniowej.

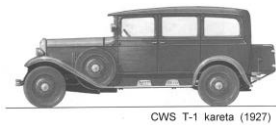


Rys.7: Schemat bezczujnikowego sterowania silnikiem BLCD

Jeżeli chodzi o źródło zasilania to zostanie wykorzystany układ bateryjny 23 ogniwo o napięciu 3,2V i pojemności 90Ah wykonanych w technologii LiFePo4

Charakteryzują się on :

- wysoką wydajnością energetyczną;
- doskonałą żywotnością baterii;
- krótkim czasem ładowania;
- bezpieczeństwem.



CWS T-1 kareta (1927)

ZSS Poznań

6. Koncepcja opomiarowania układu napędowego

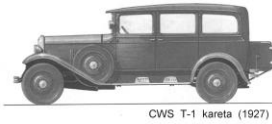
Budowany pojazd z napędem elektrycznym powinien w wyposażeniu standardowym posiadać przynajmniej jeden układ do pomiaru zużycia energii przez akumulatory, który zastępuje miernik poziomu paliwa w rozwiązaniu konwencjonalnym. Jednakże konieczność wykorzystania pojazdu w dydaktyce wymaga podłączenia większej ilości układów pomiarowych. Schemat takiej koncepcji opomiarowania elektrycznego układu napędowego pokazano na rys. nr 8. Zawiera on graficzną prezentację połączeń poszczególnych elementów składowych układu napędowego wraz z schematycznym oznaczeniem miejsc podłączenia mierników. Zastosowanie poszczególnych mierników jest ograniczone możliwościami ich podłączenia do układu elektrycznego pojazdu.

Na schemacie zaznaczono symbolami z oznaczeniem V, A multimetry do pomiaru napięcia i natężenia prądu płynącego w obwodach oraz literą W oznaczono watomierze do pomiaru zużycia energii elektrycznej. Sposób podłączenia woltomierzy jest ograniczony do przewodu dodatniego i ujemnego natomiast amperomierzy w zależności od dostępu do miejsca pomiaru: wpięcie w obwód, pomiary z wykorzystaniem bocznika lub cęg prądowych. Jeżeli chodzi o podłączenie watomierzy to wystarczy zamontować je na przewód zasilający. Wszystkie urządzenia pomiarowe zostały podłączone do jednej szyny ze względu na zapewnienie możliwości zbierania informacji z jednego przyłącza. Co zdecydowanie ułatwia podłączenie się z urządzeniem do wizualizacji i rejestracji danych pomiarowych. Urządzeniem takim może być komputer PC z kartą przetwornika A/C. Samo przyłącze może mieć postać wtyczki uniwersalnej lub szyny przyłączeniowej. Każdy z zastosowanych mierników został oznaczony osobną cyfrą w celu identyfikacji jego wykorzystania.

Zastosowanie poszczególnych mierników:

- 1- Pomiary napięcia zasilania oraz poboru prądu przez system ładowania akumulatorów podczas ich ładowania (oczekiwane wartości 230V 16A).
- 2- Pomiar napięcia, natężenia prądu i mocy pobieranej przez układ podczas ładowania akumulatorów.





CWS T-1 kareta (1927)

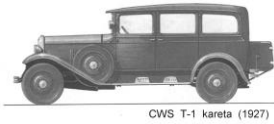
ZSS Poznań

- 3- Pomiary napięcia, natężenia prądu oraz mocy pobieranej przez silnik.
- 4- Przebiegi napięcia i natężenia prądu w funkcji czasu dla sterowania silnikiem elektrycznym.
- 5- Pomiary zmian napięcia w funkcji czasu – pomiary oscyloskopowe.
- 6- Pomiary napięcia, natężenia i pobieranej mocy przez pozostałe wyposażenie pojazdu.

Na schemacie znajdują się również oznaczenia czujnika temperatury, który powinien pokazywać wartość temperatury samego silnika jak i temperaturę w układzie chłodzenia.

Zaproponowane rozwiązanie nie wyczerpuje możliwych do zrealizowania pomiarów jedynym ograniczeniem są możliwości ingerencji w układ elektryczny dostarczonego zespołu silnika wraz z układem sterującym.

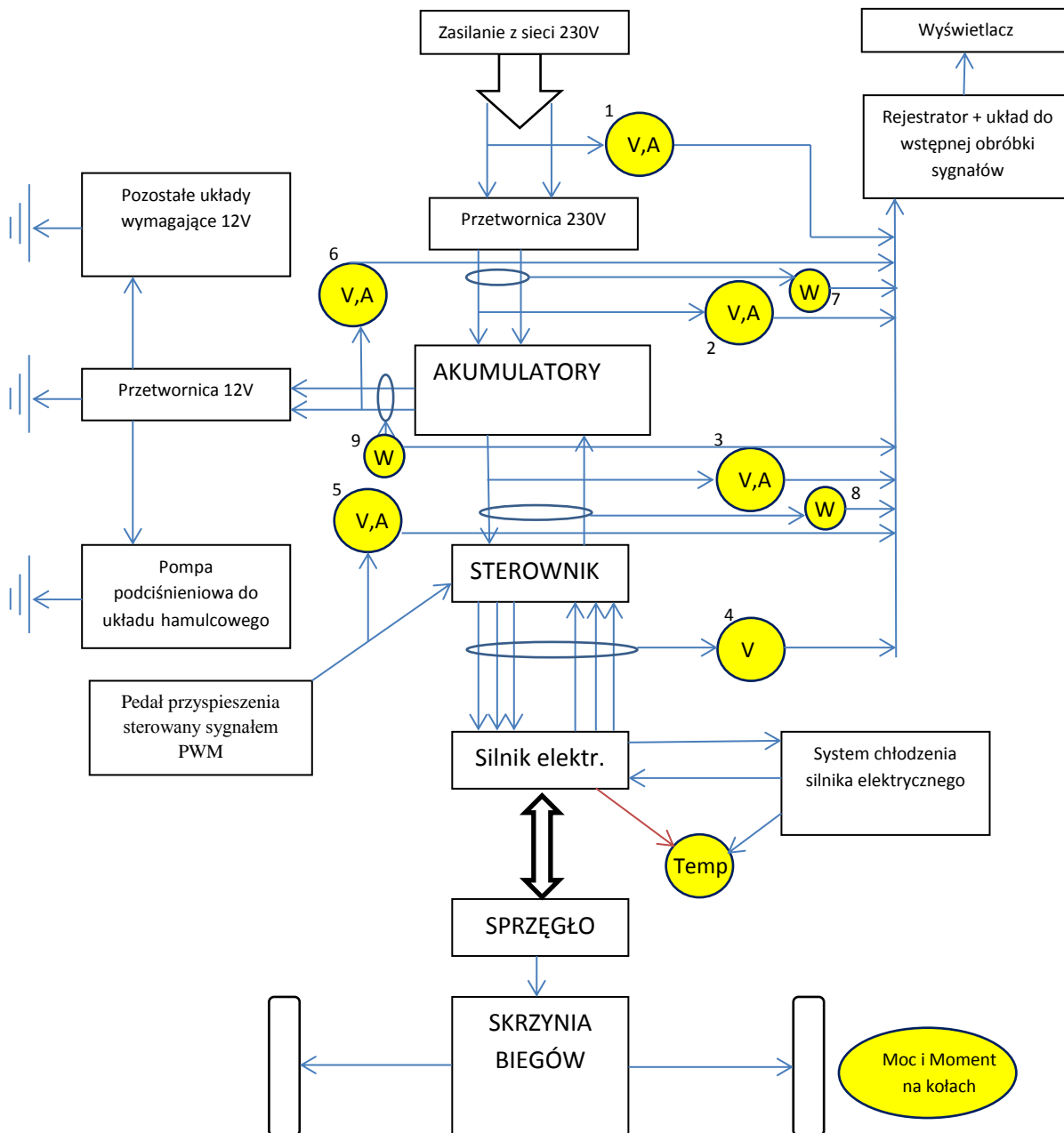




CWS T-1 kareta (1927)

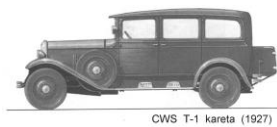
ZSS Poznań

Alternatywą dla tego rozwiązania może być wyprowadzenie złączy z poszczególnych sekcji napędu na jedną centralną tablicę z wtykami bananowymi umożliwiającymi bezpośrednie pomiary z wykorzystaniem mierników uniwersalnych.



Rys.8. Schemat podłączeń układów pomiarowych do instalacji elektrycznej pojazdu z napędem elektrycznym.





CWS T-1 kareta (1927)

ZSS Poznań

Praktyczne wykorzystanie zaproponowanego rozwiązania może obejmować zagadnienia zarówno diagnostyki poszczególnych układów, pokazów działania oraz badań stanowiskowych i ruchowych. Konceptcje badań możliwych do przeprowadzenia przedstawiono w rozdziale 11

7. Obszary wykorzystania

Pojazd samochodowy z napędem elektrycznym ma być przystosowany do wykorzystania w dydaktyce oraz badaniach stąd ważnym zagadnieniem jest określenie obszarów jego wykorzystania. Analizując wymagania stawiane procesowi nauczania można wskazać kilka podstawowych obszarów obejmujących następujące zagadnienia praktyczne:

- demonstrowanie budowy i zasad działania poszczególnych układów związanych z zastosowanym napędem;
- diagnostyka podzespołów charakterystycznych dla pojazdu elektrycznego w zakresie diagnostyki ogólnej jak i szczegółowej obejmującej podzespoły elektroniczne;
- naprawa napędu dzięki zapewnieniu łatwego dostępu do poszczególnych podzespołów;
- badania ruchowe z wykorzystaniem hamowni podwoziowej oraz aparatury rejestrującej.

7.1. Obszar budowy i działania

Dzięki odpowiedniemu rozmieszczeniu podzespołów układu napędowego budowany pojazd będzie mógł zapewnić możliwie łatwy dostęp do układów elektrycznych jak i mechanicznych. Jest to niezbędne do omawiania i demonstrowania położenia, sposobu montażu oraz podstaw działania takich podzespołów jak: silnik wraz z systemem chłodzenia, system sterowania prędkością obrotową silnika, zespół akumulatorów, system ładowania akumulatorów itp.





CWS T-1 kareta (1927)

ZSS Poznań

7.2. Obszar diagnostyki

Obszar ten jest bardzo szeroki, ponieważ obejmuje on swoim zakresem zarówno części mechaniczne związane bezpośrednio z układem przeniesienia napędu jak i podzespoły elektryczne. Mogą być one realizowane w następujących pracowniach:

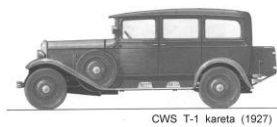
- a) Pracownia diagnostyki pojazdów samochodowych
 - diagnostyka układu napędowego (silnik, układ chłodzenia silnika),
 - diagnostyka układu przeniesienia napędu (sprzęgło, skrzynia biegów),
- b) Pracownia elektryki i elektroniki pojazdów samochodowych
 - diagnostyka układu baterii (30 ogniw),
 - diagnostyka silnika elektrycznego,
 - diagnostyka zadajnika prędkości,
 - diagnostyka elementów elektrycznych występujących w układzie chłodzenia, ogrzewania pojazdu, układu hamulcowego.

7.3. Obszar naprawy

Naprawa podzespołów układu napędowego budowanego pojazdu będzie obejmowała zagadnienia związane z całym pojazdem a nie tylko z układem napędowym ze względu na ingerencję przy przebudowie w układ hamulcowy, ogrzewanie oraz zasilanie osprzętu. Stąd zakres tematyczny zajęć z obszaru naprawy będzie obejmował:

- Naprawa silnika elektrycznego (demontaż, montaż, pomiary)
- Naprawa układu przeniesienia napędu (naprawa sprzęgła, skrzyni biegów)
- Naprawa układu chłodzenia silnika elektrycznego (wymiana płynu chłodzącego, pompy cyrkulacyjnej, przewodów)
- Naprawa układu hamulcowego (wymiana pompki podciśnieniowej)
- Naprawa układu ogrzewania samochodu (wymiana elementów grzejnych, nagrzewnicy)
- Naprawa układu ładowania baterii.





ZSS Poznań

7.4. Obszar badań układu napędowego

Ten obszar ukierunkowany jest na wykorzystanie budowanego pojazdu w zakresie badań stanowiskowych i ruchowych. Koncepcje prowadzonych badań przedstawiono

- Charakterystyka ładowania i rozładowywania akumulatora prowadzące do wyznaczenie jego sprawności (prąd/ pojemność).
- Charakterystyka pracy silnika elektrycznego.
- Zapotrzebowanie na moc silnika w różnych warunkach pracy (stała prędkość, przyspieszanie, hamowanie, cykle jezdne).
- Wyznaczanie charakterystyki trakcyjnej układu napędowego.
- Wyznaczanie charakterystyki prędkościowej dla pojazdu,
- Pokaz zasady działania sterownika BLCD.
- Rejestracja przebiegu momentu napędowego i mocy podczas przyspieszania na hamowni podwoziowej (charakterystyka mocy na kołach).
- Pomiar zużycia energii przez poszczególne podukłady podczas przyspieszania oraz jazdy z ustaloną prędkością.
- Pomiary odzyskiwania energii podczas hamowania – badania drogowe.
- Zużycie energii podczas testów ECE

8. Lista wymagań

Wymagania dla produktu końcowego, jakim ma być samochód z napędem elektrycznym zbudowany na bazie Toyoty Starlet będą miały istotne znaczenie dla późniejszego wykorzystania pojazdu w procesie dydaktycznym. Stworzona lista zawiera wszystkie wymagania niezbędne do prawidłowego funkcjonowania produktu końcowego. Na dalszym etapie projektowania funkcje, cechy i wartości podane w specyfikacji mogą się zmieniać a lista wymagań może być ciągle aktualizowana. Gotowy produkt będzie oceniany później pod względem spełnienia zawartych w niej wymagań. Załącznik nr 1 zawiera listę





CWS T-1 kareta (1927)

ZSS Poznań

wymagań, która została podzielona na mniejsze części: wymagania ogólne, związane z obsługą, budową i działaniem, termiczne, napięciowe, układy pomiarowe oraz związane z bezpieczeństwem. Wymagania zostały sklasyfikowane ze względu na poziom istotności na: konieczne, zalecane i wskazane.

9. Kryteria akceptacji produktu końcowego

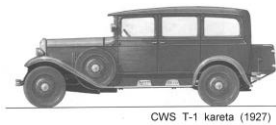
Ogólne wymagania akceptacji stawiane pojazdowi samochodowemu są określone w przepisach prawa takich jak „Prawo o ruchu drogowym” i „Warunki techniczne pojazdów” a sama przebudowa nie powinna ich naruszać.

Pojazd, jako całość powinien być zmodyfikowany w zakresie niezbędnym do jego funkcjonowania zgodnie ze stanem współczesnej wiedzy i techniki oraz mając na uwadze jego docelowe zastosowanie w dydaktyce powinien stwarzać jak najmniejsze zagrożenie dla użytkownika.

Mając na uwadze powyższe informacje można wskazać następujące kryteria akceptacji, które przed ostatecznym odbiorem pojazdu powinny zostać spełnione:

- pojazd nie może powodować bezpośredniego zagrożenia dla życia i zdrowia,
- ruchome części muszą zostać zasłonięte podczas pracy,
- wszystkie elementy pod napięciem muszą być odpowiednio oznakowane i zabezpieczone przed dostępem osób niepowołanych,
- układ napędowy musi posiadać wszystkie niezbędne wyłączniki awaryjne,
- wszystkie komponenty muszą być tak wykonane, aby nie stanowiły bezpośredniego niebezpieczeństwa zranienia o krawędzie elementów,
- do pojazdu należy dołączyć dokumentację techniczno ruchową oraz instrukcję BHP
- przed oddaniem do użytkowania należy sporządzić dokument potwierdzający sprawność ruchową wszystkich zmodyfikowanych podzespołów,
- należy sporządzić zestaw instrukcji do podstawowej grupy zajęć dydaktycznych.





CWS T-1 kareta (1927)

ZSS Poznań

10. Planowanie oraz wykorzystanie efektów projektu

Fazy realizacji projektu:

1. Specyfikacja funkcjonalna
2. Specyfikacja wykonania
3. Budowa pojazdu z napędem elektrycznym
4. Modyfikacje ulepszające pojazd pod kątem wykorzystania
5. Stworzenie zestawu ćwiczeń do rozpoznawania budowy działania, diagnostyki i naprawy.

11. Literatura

[1] Glinka T.: Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002r.

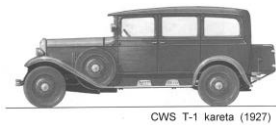
[2] Gorczyca Z.: Metody sterowania silników BLDC, Prace naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej nr 66, Wrocław 2012r.

[3] Krykowski K.: Silniki PM BLDC w napędzie elektrycznym, analiza, właściwości, modelowanie, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011r.

12. Załączniki

1. Lista wymagań dla produktu końcowego





CWS T-1 kareta (1927)

ZSS Poznań

13. Spis rysunków

Rys.1: Strefy regulacji dla silnika elektrycznego

Rys.2: Wykres zmian obszaru strefy regulacji przy przeciążeniu, dla silnika synchronicznego

Rys.3: Wykres zmian obszaru strefy regulacji przy przeciążeniu, dla silnika asynchronicznego

Rys.4: Schemat proponowanego rozwiązania napędu elektrycznego

Rys.5: Połączenie wirnika wraz z uzwojeniem stojana dla silnika BLDC

Rys.6: Klasyczny układ sterowania silnika BLDC bazujący na pomiarze położenia wirnika z wykorzystaniem czujników Hala (H1,H2,H3) [2]

Rys.7: Schemat bezczujnikowego sterowania silnikiem BLCD

Rys.8. Schemat podłączeń układów pomiarowych do instalacji elektrycznej pojazdu z napędem elektrycznym.

