

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТЯГОВИХ ПРИВОДІВ: ЧАСТИНА ПЕРША - СИЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА

Пересада С.М., д.т.н., професор, Рімович А.О., магістрант

НТУУ «КПІ», кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Сучасні електроприводи з електричними двигунами змінного струму являються основою силових тягових установок значної кількості електричних та гібридних транспортних засобів. До них відносяться пасажирські електро- та гібридні автомобілі, засоби міського транспорту – трамваї, тролейбуси, автобуси, потяги метро, а також залізничний електротранспорт. Об'єм перетворюваної енергії силовими електромеханічними системами електротранспорту щорічно збільшується приблизно на 7-10%, кількість транспортних засобів зростає ще в більшому масштабі, розширюється також сфери їх застосування, а об'єм виробництва вимірюється десятками мільярдів доларів США. При цьому в тягових електроприводах використовуються найбільш сучасні технології в сферах напівпровідників, матеріалознавства, комп'ютерної техніки та систем керування. За останнє десятиліття сформувався окремий напрям наукових та технологічних досліджень в галузі електричних тягових систем, що підтверджується значною кількістю періодичних спеціалізованих видань, конференцій (зокрема IEEE), монографічних досліджень.

Мета роботи. Визначення основних напрямів розвитку електромеханічних тягових систем в частині силової електроніки.

Матеріали дослідження. Базові напрямки розвитку тягових електроприводів визначаються сферами їх застосування. Для пасажирських електро- та гібридних автомобілів найбільш принциповими є питомі показники: вага (kW/kg), потужність (kW/l), вартість (\$/kW), а також корисна дія (ККД), термін безвідмовної роботи. Потужність автомобільних тягових систем в середньому не перевищує показник у 100 kW [1].

В системах міського транспорту питомі показники також є важливими, але не домінуючими, враховуючи вагу та розміри транспортного засобу. Більш принциповими являються показники надійності, вартості та енергетичної ефективності. Потужність тягових систем міського електротранспорту вимірюється від 100–200 kW для трамваїв та тролейбусів до рівня мегават у потягах метро.

Типова силова частина складається з: інвертору, двонаправленого dc-dc конвертора, електронних регуляторів та силових фільтрів. Зазвичай ці елементи мають власні системи охолодження. На 2013 рік для гібридних транспортних засобів верхом технології є питомі показники: вартість – 16 \$/kW (8 \$/kW), вага – 1.15 kW/kg (1.4 kW/kg), потужність – 3.1 kW/l (4 kW/l), ККД > 91% (> 94%), в

дужках наведений прогноз на 2020 рік. В силовій частині ці показники наступні: вартість – 6.5 \$/kW (3.3 \$/kW), вага – 11.5 kW/kg (14.1 kW/kg), об'єм – 10.2 kW/l (13.4 kW/l)

Передбачається, що для типової електричної машини потужністю 30 kW (55 kW – пікова), яка на сьогодні має показники (30 \$/kW, 1.1 kW/kg, 2.6 kW/l, ККД – 94%) буде досягнуто суттєвий прогрес (8 \$/kW, 1.4 kW/kg, 4.0 kW/l, ККД>94%).

Тобто мова іде про зменшення собівартості тягової системи до 4-х разів, зниження ваги на 40%, розмірів до 30%, втрат на 40%. Планується, що ці показники буде досягнуто за рахунок використання повністю інтегрованої конструкції системи, нових напівпровідникових структур (замість типових кремнієвих) та зниження долі рідкоземельних постійних магнітів.

Приблизна вартість 80 kW інвертора складає 1092\$. За вартістю складових частин ця сума розподіляється наступним чином: силовий модуль – 35%, сигнальні кола – 30%, конденсатори – 14%, шини – 10%, інше – 11% [1].

В галузі силових напівпровідників для силових перетворювачів передбачається перехід від типових кремнієвих структур (IGBT модулів) до використання структур з широкою забороненою зоною (Wide Band Gap - WBG), які працюють з підвищеною напругою і частотою при високих температурах та мають нижчі власні втрати [2]. Досвід використання таких матеріалів як карбід кремнію та нітрид галію в серії приладів невеликої потужності підтверджує перспективність реалізації на їх основі силових перетворювачів для транспорту. Завдяки повній інтеграції силових та керуючих напівпровідників, використанню полімерних конденсаторів передбачається досягнення запланованих питомих показників по розмірам та вазі.

Висновки: Силова електроніка така як інвертори, двонаправлені конвертори, електроні регулятори та силові фільтри, є принциповою складовою, що визначає ефективність тягової системи приводів та досконалість транспортного засобу. Головними напрями розвитку є: застосовування в силовому модулі WBG напівпровідників для підвищення його ККД через можливість працювати при високих температурах та для виключення власних систем охолодження, зменшення втрат тепла і поліпшення теплопередачі за допомогою кращих пакувальних матеріалів та теплообмінників; реалізація сучасних схемотехнічних рішень для зниження вимог до конденсаторів, покращення характеристик конденсаторів; зменшення розмірів та маси шини постійного струму з новітньою стратегією блокування тепла.

Список літератури:

1. Susan Rogers Hybrid & Electric Vehicles R&D Vehicle Technologies / Susan Rogers // Office U.S. Department of Energy «Advanced Power Electronics and Electric Motors R&D» – 2013
2. National Transportation Research Center, U.S. Department of Energy «Wide Band Gap Devices Powering the next generation of electric traction drive systems» - 2012