

КОНЦЕПЦІЯ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ

Ю.М. Бороденко, доцент, к.ф.-м.н., А.В. Черевач, магістрант, ХНАДУ

Анотація. Розглянуто концептуальний підхід до створення системи діагностики силових елементів електроприводу гібридного автомобіля. Проведено апробацію імітаційної моделі електроприводу з вентильним двигуном, як об'єкту діагностики.

Ключові слова: гібридний автомобіль, електропривод, діагностичний параметр, імітаційна модель, структурна та параметрична ідентифікація несправності.

КОНЦЕПЦИЯ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ

Ю.Н. Бороденко, к.ф.-м.н., доцент, А.В. Черевач, магистрант, ХНАДУ

Аннотация. Рассмотрен концептуальный подход к созданию системы диагностики силовых элементов электропривода гибридного автомобиля. Проведено апробацию имитационной модели электропривода с вентильным двигателем, как объекта диагностики.

Ключевые слова: гибридный автомобиль, электропривод, диагностический параметр, имитационная модель, структурная и параметрическая идентификация неисправности.

DIAGNOSTICS CONCEPTION ELECTRICAL DRIVE OF HYBRID VEHICLE

Y. Borodenko, associate professor, cand. phy.-mat. sc.,
A. Cherevach postgraduate, KhNAHU

Abstract. Conception approach creation diagnostic system electrical drive of hybrid vehicle is considered. Virtual model of electrical drive with valve motor is conduct approbation diagnostic object.

Keywords: hybrid vehicle, electrical drive, diagnostic parameter, virtual model, structural and parametric trouble identification.

Вступ

Створення гібридних енергоустановок (ГСУ) є однією з актуальних проблем сучасного автомобілебудування [1]. Створенням ГСУ займаються провідні автомобілебудівні компанії світу. Застосування ГСУ дозволяє кардинально знизити витрати палива і кількість шкідливих викидів автомобілями. На початок XXI-го сторіччя створення автомобілів з ГСУ вийшло за рамки досліджень і випробувань дослідних зразків, розпочато їх серійне

виробництво. При створенні ГСУ надзвичайно важливого значення набувають питання вибору силових та енергетичних елементів, принципу накопичення енергії, принципової схеми, типу теплового двигуна, його потужності і режимів роботи.

Другий аспект удосконалення гібридів полягає у зниженні експлуатаційних витрат в частині їх технічного обслуговування та ремонту де діагностика технічного стану ГСУ відіграє домінуючу роль.

Аналіз публікацій

На даний час, серійно випускаються легкові і вантажні автомобілі й автобуси з ГСУ багатьма великими автомобілебудівними фірмами світу (Honda, General Motors, Toyota, Lexus, Ford, Volkswagen), крупними енергетичними компаніями і національними лабораторіями (EPRI, General Electric, NREL, INEEL, ISE Research).

Елементи ГСУ автомобілів різних виробників мають різну схемну композицію [2]. В легкових автомобілях Хонда (Insight, Civic Hybrid, Accord Hybrid) використовується система другого типу (последовна схема). Тойота (Camry Hybrid, Highlander Hybrid, Prius, Lexus RX - 400h, Lexus GS - 450h) та Форд (Escape Hybrid, Mercury Mariner Hybrid) використовують систему третього типу (змішану схему). У системі використовується, принаймні, два електромотори. Один служить як генератор електричного струму, другий – як двигун і стартер. Обоє можуть використовуватися одночасно, економлячи заряд акумуляторної батареї [3].

Гібридні установки для вантажівок розробляють компанії: Azure Dynamics, Odyne Corporation (США), Nissan спільно з ZF Friedrichshafen AG (Німеччина), Peterbilt (США) спільно з Eaton Oshkosh Truck Corp, Volvo Cars, МАС. Гібридні вантажівки міського призначення Kenworth T270, Volvo FE Hybrid агрегатуються дизельним двигуном, мотор-генератором і блоком високовольтних акумуляторних батарей (ВАБ).

Впровадженням ГСУ на міських автобусах займаються закордонні компанії: New Flyer (Канада), Daimler Chrysler, General Motors, Optima Bus Corporation, Enova (США), First Automotive Works (Китай), Solaris Bus & Coach Company (Польща), APTS (Данія), Optare Group (Великобританія), Nova Bus (Канада), Design Line International Holdings (Нова Зеландія). ГСУ для цих автобусів поставляють розробники: BAE Systems, Daimler Chrysler і BMW, ISE-Siemens, Toyota і Hino (Японія), Van Hool (Бельгія), ISE Corp, UTC Power (США). В містах дальнього та ближнього зарубіжжя вже експлуатуються гібридні автобуси Volvo 7700 Hybrid, Mercedes-Benz Citaro, MAN Lion's City Hybrid, ЛіАЗ-5292Х [4]. Використання подібних автобусів дозволяє добитися унікального рівня еконо-

мічності та екологічної чистоти. Техніко-економічні характеристики автотранспортних засобів з ГСУ щорічно поліпшуються, технологія їхнього виробництва удосконалюється й дешевшає. Попит на автомобілі з ГСУ росте, актуальність проблем, що пов'язані з обслуговуванням гібридних концептів підвищується.

Передумови досліджень та постановка задачі

Силові кола електроприводу гібридного автомобіля містять реактивні елементи та в них відбуваються комутаційні процеси. В наслідок цього, в колах живлення виникають перехідні процеси за характером зміни яких можна визначити технічний стан силової установки. Періодичність перехідних процесів в колах живлення електроприводу створює передумови для гармонійного аналізу функцій зміни напруги і струмів з метою локалізації пошкодженого елемента або монтажу електронної схеми, а також електромеханічної частини електроприводу. До електронних пристроїв, що входять до складу силової частини приводу слід віднести перетворювачі постійної напруги, інвертори, випрямлячі. В механічній частині трансмісії, використовуються перетворювачі обертаючого моменту (коробки передач, редуктори, карданні передачі).

Наявність реактивних компонентів (конденсаторів, обмоток електричних машин та індуктивних реакторів, АКБ) в схемі електроприводу з одного боку спричиняють уповільнення перехідних процесів (інерційні ланки), з іншого – підвищують динаміку зміни електричних сигналів (диференційні ланки), залежно від режимів електричного кола, характеру навантаження та схемного підключення реактивних компонентів.

В системах електроприводу ГСУ, на даний час, передбачені датчики інтегральних параметрів (температури, середніх або діючих значень електричних сигналів), які характеризують загальний стан її силових елементів. Сигнали таких датчиків інформують систему керування про режимний стан елементів електроприводу з метою оптимального перерозподілу потужності між приводними агрегатами ГСУ. При цьому, отримана інформація не дозволяє ідентифікувати технічний стан елементів електроприводу, а саме визначити

причину відхилення параметрів (зміна експлуатаційного режиму чи пошкодження елементів та монтажу). Для ідентифікації технічного стану електроприводу необхідно мати систему моніторингу діагностичних параметрів за результатами аналізу яких вирішуються задачі системи діагностики (локалізація несправності, забезпечення аварійного режиму) з метою мінімізації негативних наслідків пошкодження елементів та упередження аварійного стану ГСУ, прогнозування її залишковий ресурсу.

Таким чином, для створення діагностичної системи електроприводу слід встановити перелік необхідних діагностичних параметрів

(обрати точки контролю, визначити необхідну точність та роздільну здатність вимірювань), які мають максимальну чутливість, інформативність, стабільність та технологічність вимірювання.

Аналіз структури об'єкту діагностики

Розглянемо функціональну структуру електроприводу гібридного автомобіля Lexus GS450h [3] з використанням вентиляційної машини GM, яка працює в режимах двигуна «М» і генератора «G» та за керуючі впливи сприймає положення педалі акселератора α і обертання валу машини n (рис. 1).

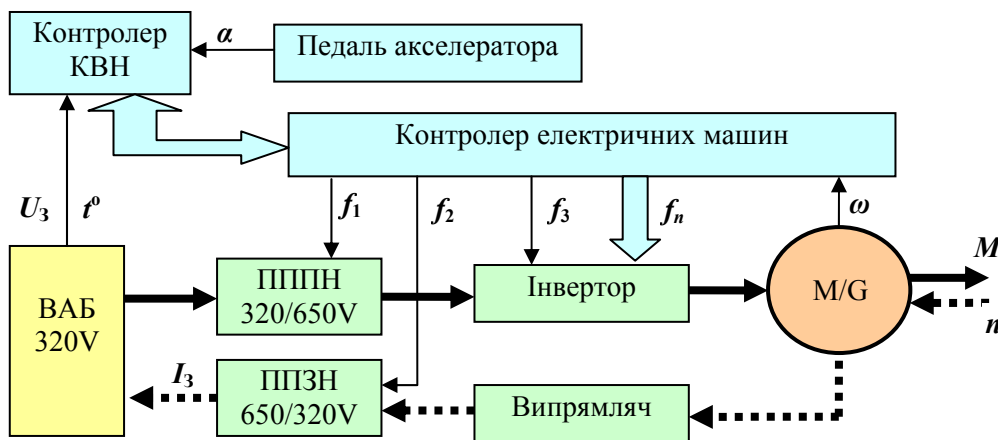


Рис. 1 Схема функціональна електричного приводу

На схемі товстими суцільними стрілками позначено напрямок передачі потужності в режимі «М», товстими пунктирними – в режимі «G». Тонкі стрілки символізують керуючі сигнали, об'ємні – інформаційні. Контролер електричних машин (КЕМ) керує роботою інвертора і перетворювачів постійної напруги (що підвищує ПППН та що знижує ППЗН). КЕМ передає на контролер кола високої напруги (КВН) данні про силу струму на виході інвертора та його температуру. З контролера КВН, КЕМ приймає данні для керування машиною MG. Вихідні напруги перетворювачів регулюються відповідними ШІМ сигналами f_1 і f_2 . Потужність на виході інвертора та відповідно і електродвигуна керується ШІМ сигналом f_3 та сигналами комутації f_n , які формуються на підставі сигналу кутового положення ротора машини ω . Контролер КВН спостерігає за рівнем зарядки ВАБ U_3 , її температурою t° . Крім того в КВН надходить інформація про температуру охолоджуючої рідини системи охолодження електричних силових пристроїв і величину

електричного навантаження. Якщо ці параметри не відповідають встановленим вимогам, контролер КВН видає команду на запуск ДВЗ для переведення машини MG в режим генератора, з метою заряду ВАБ.

Рівень напруги та величина пульсацій U на виході ПППН залежать від величини навантаження (стану електродвигуна та інвертора) і величини інтегруючої ємності (номінальної ємності та стану конденсатора). Крім того вразі порушень (структурних або параметричних) в електричному колі живлення окремої фази буде спостерігатися зміна форми напруги. Порушення в механічній трансмісії приводу (навантаженні двигуна) будуть викликати викривлення періодичної форми струму в колах його живлення. Зворотна картина буде спостерігатися при роботі електричної машини в режимі генератора. В цьому режимі викривленню підлягає форма напруги яка виробляється.

Результати апробації імітаційної моделі електроприводу

Для моделювання процесів в колах системи вентильного двигуна побудовано імітаційну модель її схеми в пакеті прикладних програм

«Matlab/Simulink» (рис. 2). Модель містить трифазну магнітоелектричну синхронну машину (Ventil Dvigatel), керовану від трифазного інвертора (IGBT Inverter), блок керування інвертором (PWM Generator) і перетворювач координат dq2abc.

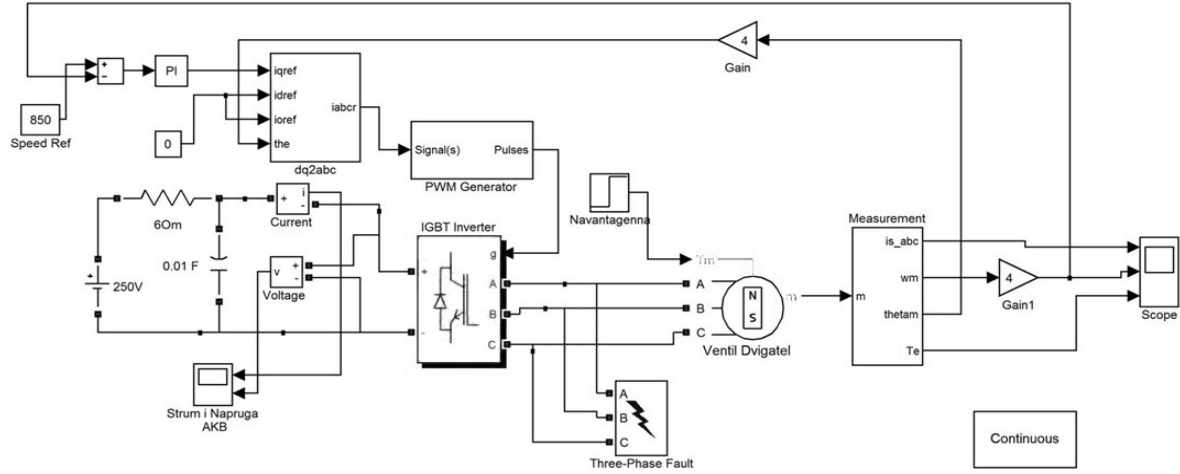


Рис. 2. Імітаційна модель системи вентильного двигуна

Швидкість обертання приводу задається блоком Speed Ref, вимірювання змінних стану машини здійснюється універсальним блоком Measurement, аналіз миттєвих значень електричних параметрів кола живлення – осцилоскопом «Strum i Napruga АКВ». В моделі не враховується вплив розподілених параметрів

монтажу пристрою, розглядаються тільки режими електричного приводу, розглядається схема без імпульсного перетворювача підвищеної постійної напруги (ПППН). На рис.3 наведено часові діаграми фазного струму i_{ϕ} , обертового моменту на валу M та швидкості обертання ротору n вентильного двигуна.

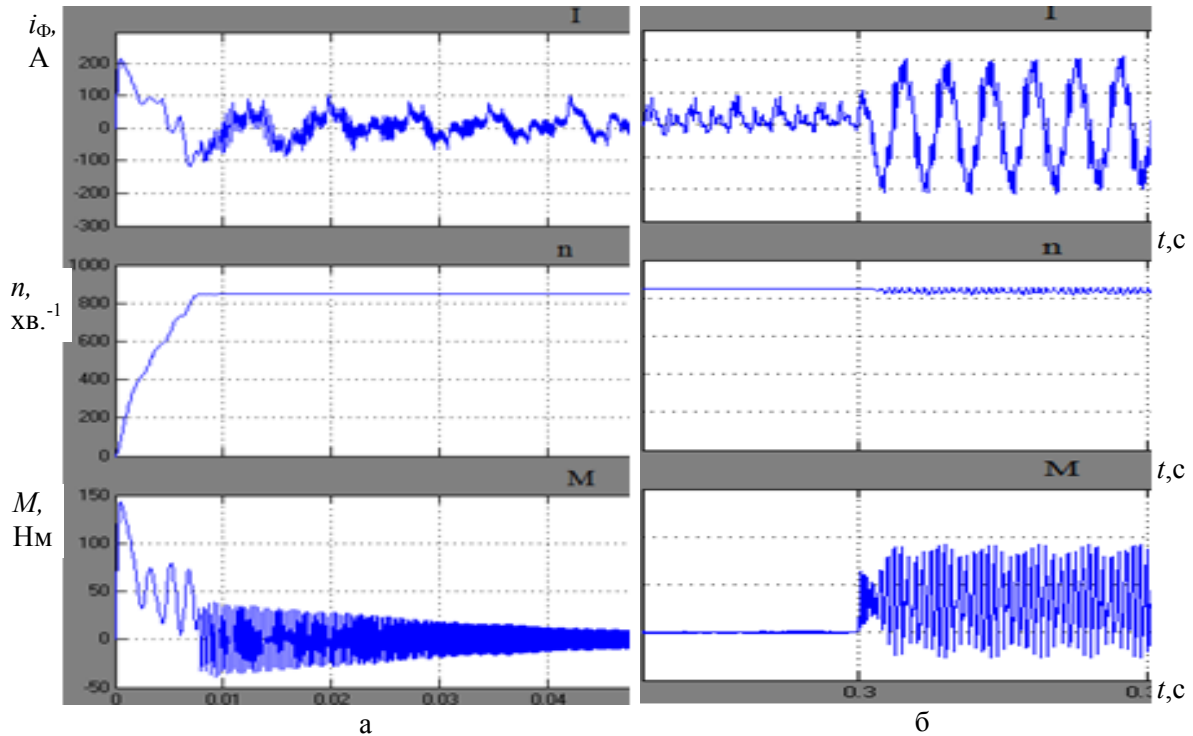


Рис. 3. Часові діаграми електромеханічних процесів приводу: а – під час розгону без навантаження; б – при підключенні навантаження

На рис. 4 наведено часові діаграми струму i_B і напруги u_B в колі живлення інвертора.

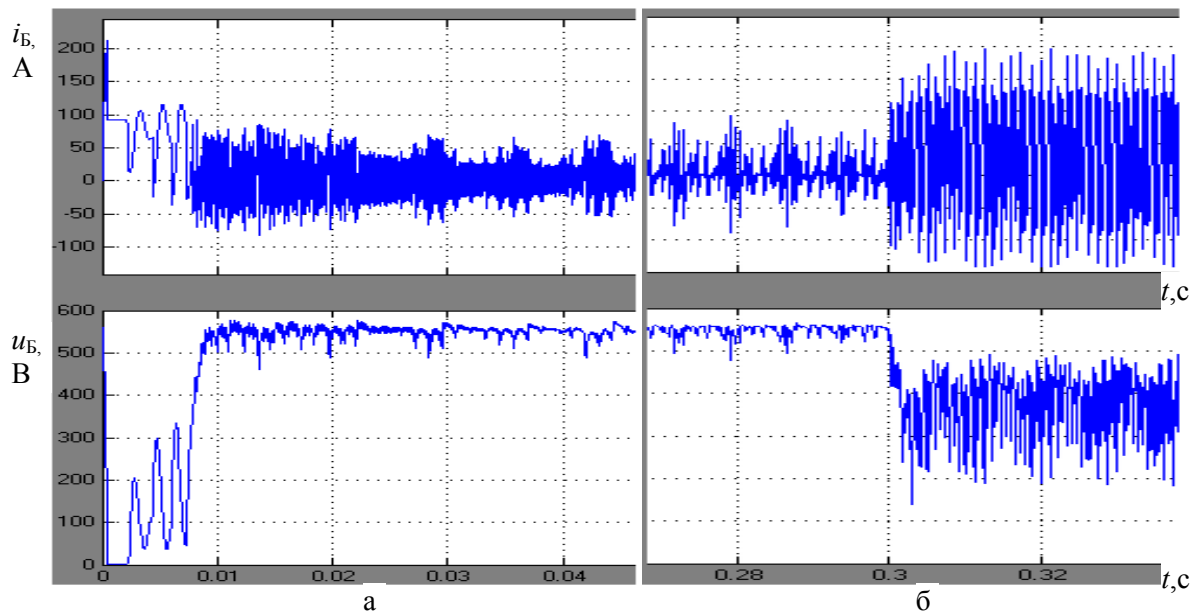


Рис. 4. Часові діаграми електричних процесів в колі живлення вентиляного двигуна:
а – під час розгону без навантаження; б – при підключенні навантаження

Фрагментально суміщені діаграми дають уявлення про складність перехідних процесів в колах системи вентиляного двигуна при різних режимах функціонування справної системи електроприводу. Очевидно, що при виникненні несправностей в системі, характер перехідних процесів буде змінюватись. До несправних станів системи які не приводять до зупинки електроприводу але погіршують його характеристики можна віднести: втрату ємності ВАБ і конденсатору фільтру; вихід ключів інвертора з режиму насичення; пробій окремих ключів; зростання перехідних опорів на монтажних з'єднаннях; міжвиткові замикання в обмотках електродвигуна; пробой силових кіл живлення на корпус та інші.

Висновки

Аналіз осцилограм показує, що при проведенні тестування електроприводу слід розглядати як сталі так і перехідні режими функціонування електричних машин. Під час вимірювання діагностичних параметрів необхідно мати інформацію про поточний режим ГСУ. Для вимірювання напруги живлення та струму споживання слід обирати датчики з малим часом відгуку та лінійною функцією перетворення. Збоку чутливості до структурних змін у схемі (пошкоджень елементів) та параметричних відхилень (зміна номінальних значень), слід обирати за переважний

діагностичний параметр напругу або струм, залежно від режиму функціонування електроприводу. Пошкодження в схемі електроприводу викликають зміну діючих значень сигналів та спектрального складу їх часових функцій. Тому для структурної та параметричної ідентифікації технічного стану електропривода ГСУ доцільно застосовувати методи гармонійного аналізу.

Література

1. Говорущенко Н.Я. Основные направления развития автомобильного транспорта в XXI веке // Автомобильный транспорт / Сб. научн. тр. Харьков: РИО ХНАДУ. – 2003. Вып. №13. – С 7-11.
2. Скворцов В.А., Александр Берестов. Тенденции в развитии транспортных средств с использованием электропривода / Силовая электроника.- №1. – 2004. – С. 85 – 87.
3. Бажинов О.В., Смирнов О.П., Серіков С.А., Гнатов А.В., Колесніков А.В. Гібридні автомобілі. - Харків, ХНАДУ, 2008. – 327 с.
4. http://www.park5.ru/articles/by_theme/autom_echanics/1/475/

Рецензент: В.П. Волков, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла в редакцію 03.10.2011