

УДК 621.318

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ

О.Д. Приходько, студент, ХНАДУ

*Анотація.* Запропоновано новий інноваційний метод діагностики гібридного автомобіля за допомогою спектрального аналізу струму в колі живлення системи.

*Ключові слова:* силова установка гібридного автомобіля, електропривод, спектральний аналіз, імітаційна модель електроприводу, швидке перетворення Фур'є.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ

А.Д. Приходько, студент, ХНАДУ

*Аннотация.* Предложен новый инновационный метод диагностики гибридного автомобиля с помощью спектрального анализа тока в цепи питания системы.

*Ключевые слова:* силовая установка гибридного автомобиля, электропривод, спектральный анализ, имитационная модель электропривода, быстрое преобразование Фурье.

## IDENTIFICATION OF FAULTS OF THE HYBRID ELECTRIC VEHICLE

A. Prykhodko, student, KhNAHU

*Abstract.* A new innovative method of hybrid vehicle diagnostics by spectral analysis of the supply current.

*Keywords:* hybrid vehicle propulsion, electric drive, spectrum analysis, simulation model of the drive, Fast Fourier transform

### Вступ

Створення гібридних силових установок, на сьогодні, є одним з перспективніших напрямків розвитку автомобілебудування. Техніко-економічні характеристики автомобілів з ГСУ щорічно поліпшуються, технологія їхнього виробництва удосконалюється й дешевшає. Попит на автомобілі з ГСУ росте. Тому на даному етапі розвитку гібридних систем на перший план виходять проблеми покращення та оптимізації як її компонентів, так і самої установки в цілому, а також створення системи моніторингу, що могла би миттєво встановити відхилення роботи агрегатів від номінального режиму. В силових колах

електроприводу (колах живлення) маються реактивні елементи та відбуваються комутаційні процеси. В наслідок цього в колах живлення виникають перехідні процеси, за характером зміни яких можна ідентифікувати технічний стан силової установки.

Для ідентифікації технічного стану силової установки гібридного автомобіля, згідно з завданням, треба – побудувавши систему моніторингу роботи імітаційної моделі системи електроприводу з вентильним двигуном. Імітуючи пошкодження в моделі силової установки в усіх вибраних режимах роботи, за допомогою гармонічного аналізу, ідентифікувати ці пошкодження. Розробити

систему діагностики реальної силової установки гібридного автомобіля для подальшого проведення гармонічного аналізу струму в колі живлення.

### Швидке перетворення Фур'є

На основі попередніх досліджень для діагностики стану силової установки було вирішено використати струм з кола живлення системи. Через те, що дослідження саме струму, за допомогою гармонічного аналізу, виявилося найінформативнішим показником системи з усіх існуючих. Гармонічний аналіз буде проводитися за допомогою "Швидкого перетворення Фур'є". Набір алгоритмів, котрі називаються алгоритмами швидкого перетворення Фур'є, включають в себе різноманітні методи зменшення часу обчислення дискретного перетворення Фур'є. Оскільки обчислення дискретного перетворення Фур'є являє собою основу операцій в більшості задач спектрального аналізу, то використання швидкого перетворення Фур'є на практиці, в деяких випадках, дозволяє прискорити обчислення дискретного перетворення Фур'є в 100 і більше разів порівняно з прямим методом дискретного перетворення Фур'є, має надзвичайно важливу роль і є невід'ємною частиною використання методів

цифрової обробки сигналів для спектрального аналізу.

### Імітаційна модель силової частини електроприводу

Для проведення віртуальних досліджень побудована імітаційна модель системи електроприводу в пакеті прикладних програм Matlab / Simulink. Ця програма являє інтерактивний інструмент для моделювання, імітації та аналізу динамічних систем, включаючи дискретні, неперервні та гібридні, нелінійні, розімкнуті та замкнуті системи.

Силова частина системи електроприводу гібридного автомобіля складається з перетворювача підвищеної напруги, інвертора та синхронного електродвигуна з датчиками положення ротору.

Повна модель системи силової частини електроприводу, яка складається з трифазної синхронної машини Gate Engine, керовану трифазним інвертором IGBT Inverter, блоку керування інвертором PWM Generator, перетворювача координат Mux і блоку що задає швидкість обертання приводу Speed Ref приведена на рис. 1.1.

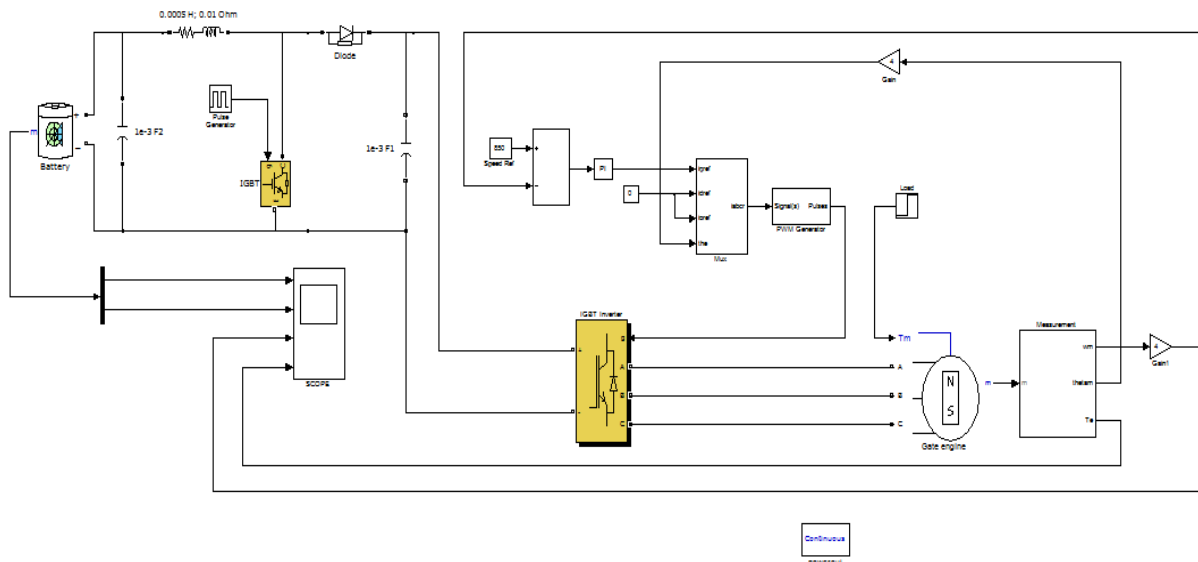


Рис. 1. Схема імітаційної моделі системи електроприводу з вентиляним двигуном

Згідно схемі (рис. 1), підвищена напруга перетворювача підводиться до інвертора в якому реалізується комутація фазних струмів вентиляного двигуна. Порядок процесу комутації в шести плечах мосту інвертора

для створення обертаючого магнітного поля обмотками статора електродвигуна визначається на підставі сигналу про кутове положення його ротору через коло зворотного зв'язку Gate Engine – Measurement

– підсилювач (блок 4) – Мух – PWM Generator – IGBT Inverter. Навантаження на валу електродвигуна задається в блоці Load. Підтримка заданої швидкості обертання електродвигуна (блок 850) під навантаженням здійснюється через схему порівняння Speed Ref поточної швидкості обертання валу двигуна (вхід «-») з заданим її значенням (вхід «+»). Далі, сигнал про розбіжність означених швидкостей через ПІД-регулятор (блок PI) подається на вхід перетворювача координат. Інформація про поточну швидкість обертання надходить з блоку Measurement (wm) через підсилювач (блок 4, Gain 1).

Дослідження спектрального складу в програмі Simulink реалізується за допомогою блоку Powergui. Відкривши вікно проведення спектрального аналізу і встановивши в полі Structure використовуваний нами осцилограф SCOPE, в полі Input обравши перший вхід осцилографу (input 1), а в полі Signal number – необхідний нам для дослідження сигнал 2 (струм на акумуляторній батареї). Ми отримуємо вікно Powergui FFT Analysis Tool котре показано на рис. 2.

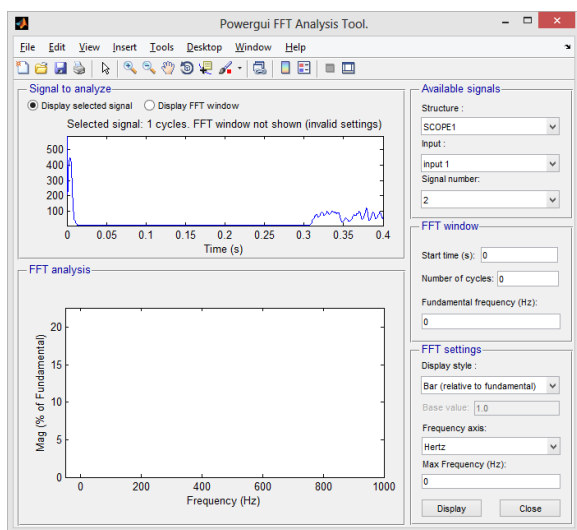


Рис. 2. Вікно блоку Powergui FFT Analysis Tool з сигналом струму

Для більш детального аналізу розділимо осцилограму струму на три зони:

- пуск, відрізок часу в період  $t < 0,05$ ;
- холостий хід, відрізок часу в період  $0,05 < t < 0,3$ ;
- робота під навантаженням  $t > 0,3$ .

Для аналізу кожного відрізка, для введення у вікні Powergui FFT Analysis Tool (рис. 2)

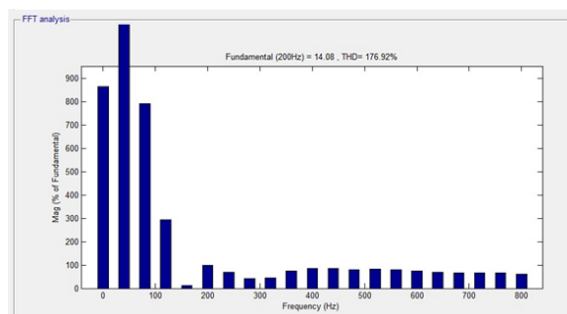
були вибрані настройки зображені в табл. 1.1, тривалість кожного відрізка підбиралася так, щоб вона не була меншою ніж період повторення функції.

Результати аналізу системи в справному стані спектральні характеристики показують наступне:

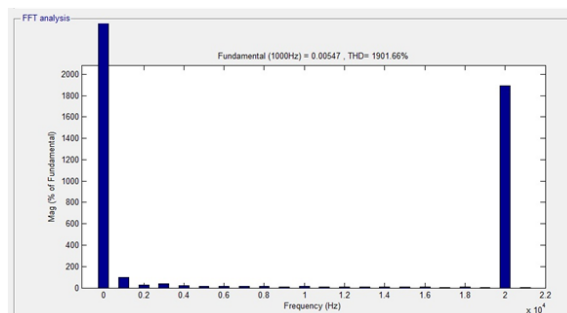
- в режимі пуск рис. 3, а;
- в режимі холостого ходу рис. 3, б;
- в режимі роботи під навантаженням рис. 3, в.

Таблиця 1. – Характеристики швидкого аналізу Фур'є

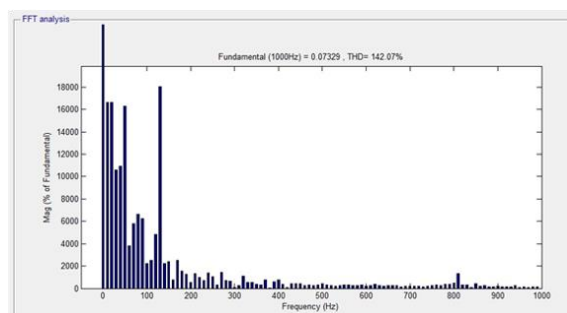
Режим роботи	Опції швидкого перетворення Фур'є			
	$t_0$	$\Delta t$	F	$F_{\max}$
Пуск	0	0,025	200	840
Холостий хід	0,2	0,001	1000	22000
Робота під навантаженням	0,6	0,1	1000	1000



а



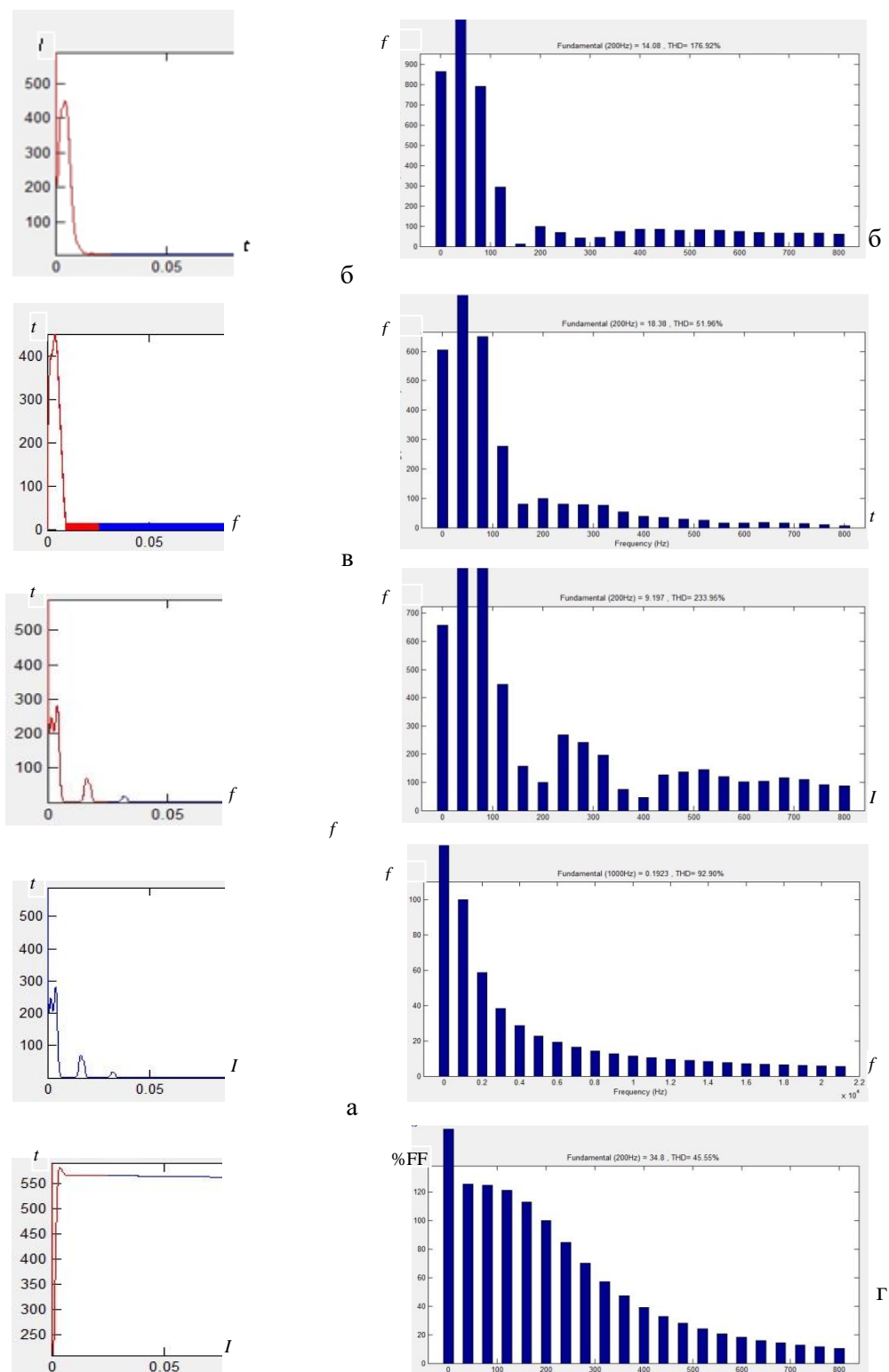
б



в

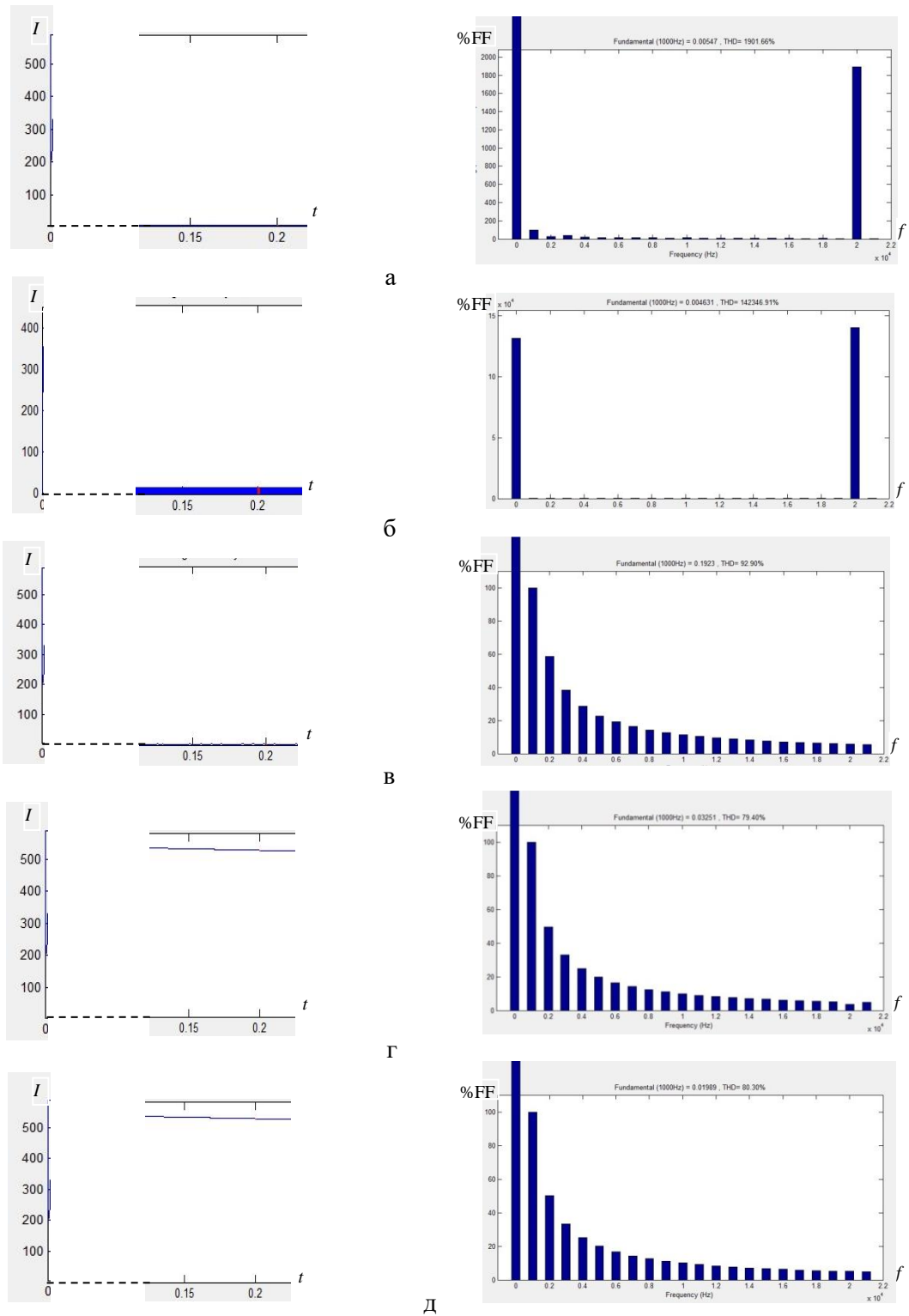
а – під час пуску; б – на холостому ході;  
в – під навантаженням

Рис. 3. Спектральні характеристики функцій  
струму



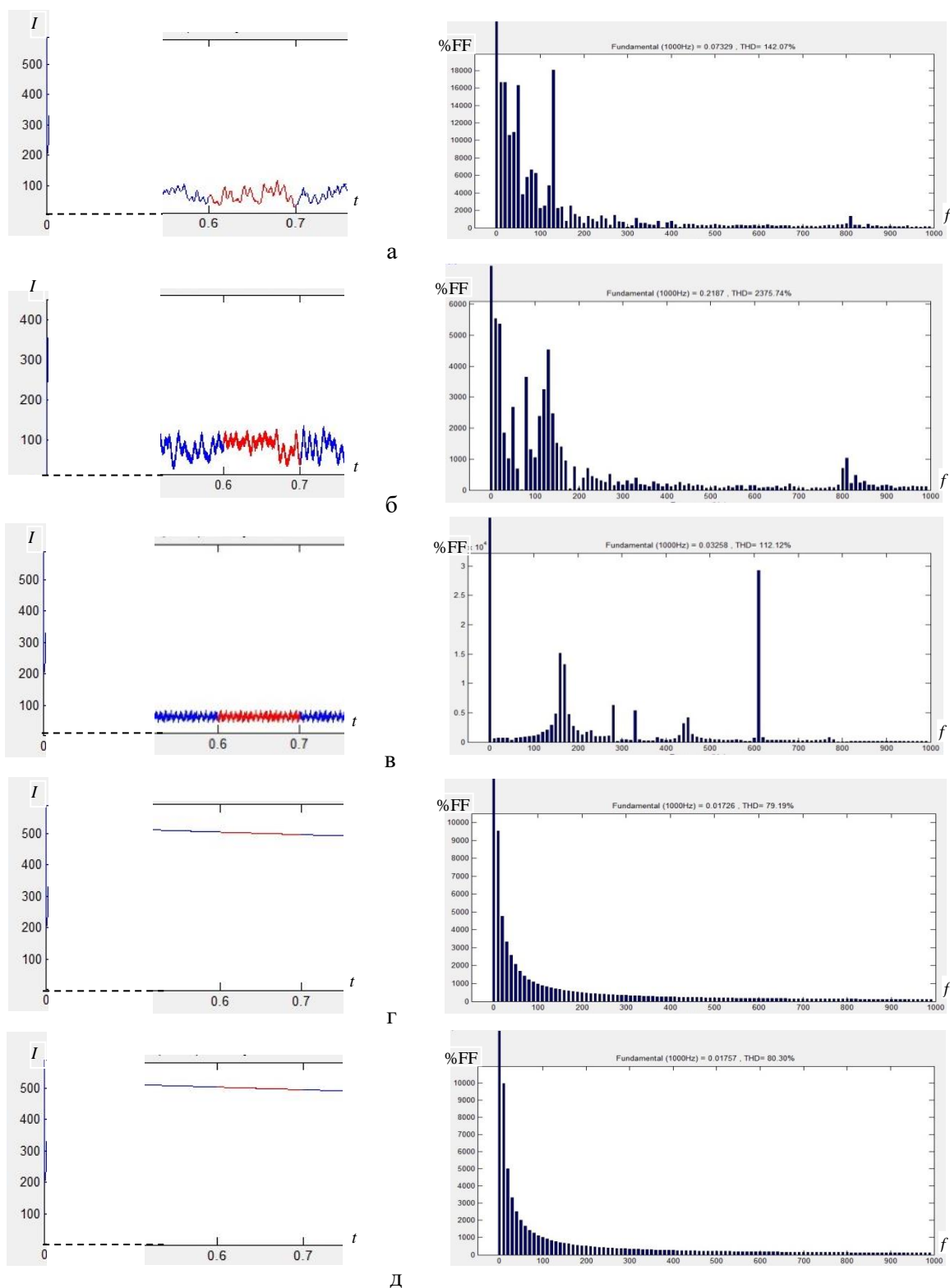
а – справної; б – з обірваним конденсатором; в – при непрацюючому перетворювачі напруги; г – при пробію діода зворотної відсічки; д – при пробію транзистора перетворювача напруги

Рис. 4. Спектральний склад часових функцій струму у колі живлення під час пуску електроприводу в технічних станах системи



а - справної; б – з обірваним конденсатором; в - при непрацюючому перетворювачі напруги; г - при пробію діода зворотної відсічки; д - при пробію транзистора перетворювача напруги

Рис. 5. Спектральний склад часових функцій струму у колі живлення в період холостого ходу електроприводу в технічних станах системи



а – справної; б – з обірваним конденсатором; в – при пробую транзистора перетворювача напруги; г – при пробую діода зворотної відсічки; д – при непрацюючому перетворювачі напруги

Рис. 6. Спектральний склад часових функцій струму у колі живлення при функціонуванні електроприводу під навантаженням в технічних станах системи

### Ідентифікація несправних станів системи

Ідентифікацію структурних пошкоджень

системи проводимо на підставі аналізу характеру періодичних процесів та шляхом аналізу спектрального складу часових

функцій цих процесів. При цьому, в першому випадку передбачається суб'єктивна оцінка незадовільної роботи системи та постановка діагнозу на підставі симптом (органолептичний підхід).

В другому випадку, апаратна діагностика передбачає кількісну оцінку діагностичного параметру, коли симптоми несправності відсутні, а пошкодження системи мають місце.

Імітація структурних несправностей системи (вихід з ладу елементів системи) здійснюється шляхом перемикавання (режим короткого замикання КЗ) або обривів (режим холостого ходу) на схемі моделі кіл її елементів. Розглянемо чотири структурні несправності (несправні стани системи):

- стан «Б» - обірваний конденсатор сгладжуючого фільтру (пошкодження конденсатору або монтажу підключення);
- стан «В» - відсутність ШІМ – сигналу на ключі перетворювача напруги (несправний контролер електричної машини, обірвано сигнальне коло, пошкоджено транзистор ключа);
- стан «Г» - пробій діода зворотної відсічки (пошкодження діода, замикання монтажу);
- стан «Д» - пробій транзистора перетворювача напруги (пошкодження транзистору замикання монтажу).

Згідно позначенням у табл.1:  $t_0$  – момент початку відліку;  $\Delta t$  – період відліку;  $F$  – фундаментальна частота, що визначає ступінь дискретизації спектральної характеристики;  $F_{\max}$  – частота верхньої гармоніки спектральної характеристики. На рис. 4-6 показані результати досліджень.

На означених рисунках показані фрагменти осцилограм струму живлення та спектральні характеристики за відповідні періоди відліку для обраних режимів спостереження. За результатами аналізу представлених спектральних характеристик можна сказати наступне. На режимі пуску, спектральні склади функцій струму для всіх технічних станів, що розглядаються, мають характерні відзнаки за амплітудними показниками окремих гармонік. На режимі холостого ходу відокремлюється стан «Б» за рівнями постійної складової та гармоніки  $f = 20$  кГц, що спричиняється комутацією транзисторного ключа перетворювача

підвищеної напруги. Стани «В», «Г» і «Д» розрізняються зі станами «А» і «Б», однак не розрізняються між собою. Для усунення цієї нерозрізняльності слід звернутися до інших режимів функціонування електроприводу.

Під час функціонування електроприводу під навантаженням всі несправні стани відрізняються від справного, однак спостерігається нерозрізняльність станів «Г» і «Д», які цілком розрізняються за симптомами їх прояву.

### Висновок

За результатами проведених досліджень можна відзначити наступне. Для локалізації несправності у силових колах електроприводу слід проводити спектральний аналіз часових функцій струму живлення. Це дозволить виявити несправності в системі вразі відсутності симптом і в подальшому не тільки запобігти аварій, а і зменшити вартість ремонту системи.

Окрім цього використання даного методу діагностики дозволить не тільки збільшити точність роботи діагностичних систем, а і зменшити їх вартість.

### Перелік посилань

1. Сериков С.А. Силовая установка гибридного автомобиля как объект управления / С. А. Сериков, Ю. Н. Бороденко // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. – №3, 2009. – С. 45-50.
2. Гібридні автомобілі / [Бажинов О.В. , Смирнов О.П., Серіков С.А., Гнатов А.В., Колесніков А.В.] – Харків, ХНАДУ, 2008. – 327 с.
3. Черных. И.В. SimPowerSystems: Моделирование электротехнических устройств и систем в Simulink. Раздел 2. Powergui - графический интерфейс пользователя пакета моделирования энергетических систем / И.В. Черных. // [электронный ресурс]. – режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/simpower/book/1/2.php>
4. Моисеев В.Б. Представление знаний в интеллектуальных системах. Информатика и образование / В.Б.

Моисеев. – №2, 2003 г. – С. 84-91.

Рецензент **О.В. Бажинов**, профессор, д.т.н.,  
ХНАДУ.

Стаття поступила в редакцію 10.04.2015