

УДК 629.4.014

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.153.2015.64135>

**СИСТЕМА МОНИТОРИНГУ СТАНУ АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО  
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ РУХОМОГО СКЛАДУ**

Канд. техн. наук С.І. Яцько, аспірант Я.В. Ващенко

**СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО  
ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Канд. техн. наук С.И. Яцько, аспирант Я.В. Ващенко

**MONITORING SYSTEM OF ASYNCHRONOUS TRACTION ELECTRIC RAIL  
VEHICLE**

PhD in Technical Science S.I. Yatsko, Y.V. Vashchenko

*Приведено результати досліджень з розроблення методу безперервного контролю технічного стану тягового асинхронного електропривода. Запропонована система безперервного контролю і діагностування технічного стану заснована на методі частотного аналізу складу вхідного струму автономного інвертора тягового*

електропривода. Визначення порушень справного стану засновано на принципі смугового фільтра.

**Ключові слова:** тяговий асинхронний електропривід, несправності, система моніторингу, спектральний аналіз, смуговий фільтр.

Приведены результаты исследований по разработке метода непрерывного контроля технического состояния тягового асинхронного электропривода. Предложена система непрерывного контроля и диагностики технического состояния основана на методе частотного анализа состава входного тока автономного инвертора тягового электропривода. Определение нарушений исправного состояния выполнено на принципе полосового фильтра.

**Ключевые слова:** тяговый асинхронный электропривод, неисправности, система мониторинга, спектральный анализ, полосовой фильтр.

At present, given the continuous improvement process of asynchronous traction electric drive becomes especially important task of developing common methods for the study of emergency operation, construction principles and practical recommendations for the creation of effective protection systems equipment rolling stock with induction motors.

This paper shows the results studies of the development for a continuous condition monitoring method asynchronous traction electric drive. The proposed system of continuous monitoring and diagnosing technical state based on the frequency analysis method for the input current autonomous electric traction inverter. Definition violations healthy state based on the principle of a bandpass filter.

Development of the protection system based on the proposed principles continuous monitoring and fault detection equipment for electric traction in the early stages of development will help minimize costs and prevent disruption of traffic.

**Keywords:** asynchronous electric traction, faults, monitoring system, spectral analysis, bandpass filter.

**Вступ.** Як правило, висока вартість тягового асинхронного електроприводу та не менш високі витрати на його утримання в працездатному стані обумовлюють необхідність проведення досліджень, результатами яких є розробки заходів по зниженню експлуатаційних витрат. Основною метою проведених досліджень є удосконалення системи моніторингу стану об'єкта для упередження (виявленню на початковому етапі) як самих відмов так і локалізацію місця їх зародження.

**Аналіз публікацій,** що з'являються в останні роки [1-3], свідчить про зростаючий інтерес дослідників та проектувальників до проблем діагностування обладнання рухомого складу.

На сьогоднішній день переважного поширення набули методи розпізнавання технічного стану шляхом статистичних, стендових та автоматизованих випробувань [4]. Однак очевидним є факт, що найбільш достовірну й оперативну інформацію про технічний стан можна отримати за допомогою безперервних бортових

технічних систем. Їх функціонування може бути побудоване на певних способах ідентифікації стану за діагностичними параметрами шляхом оцінки відхилень за контрольними рівнями, розкладенням функцій у ряд Фур'є, розпізнаванням за комплексом ознак та інших [5-6].

Завершальною стадією обробки вхідної інформації є методика прийняття рішення про справний технічний стан, існування несправності або її прогнозує ознаки. Як правило, проведення діагностики стану об'єкта потребує наявності діагностичних моделей, до яких висувається ряд вимог. Однією з таких вимог є вимога щодо їх технічної та практичної реалізації.

**Мета роботи.** Розроблення методу неперервного контролю та діагностування технічного стану тягового асинхронного електропривода.

**Результати досліджень.** При постановці задачі дослідження аварійних станів та захистів тягового електрообладнання виникає необхідність визначення базової структури тягового

приводу, умов виникнення та характерних особливостей розвитку відмов [7-9]. З точки зору аналізу можливих аварійних станів та реалізації захисту в складі системи тягового асинхронного електроприводу можна виділити наступні підсистеми (рис. 1): підсистема первинного енергозабезпечення

(тяговий трансформатор - чотириквADRантний перетворювач (вхідний перетворювач)), проміжна ланка (резонансний фільтр - головний фільтр), підсистема «автономний інвертор напруги – тяговий асинхронний двигун» (АІН-ТАД).

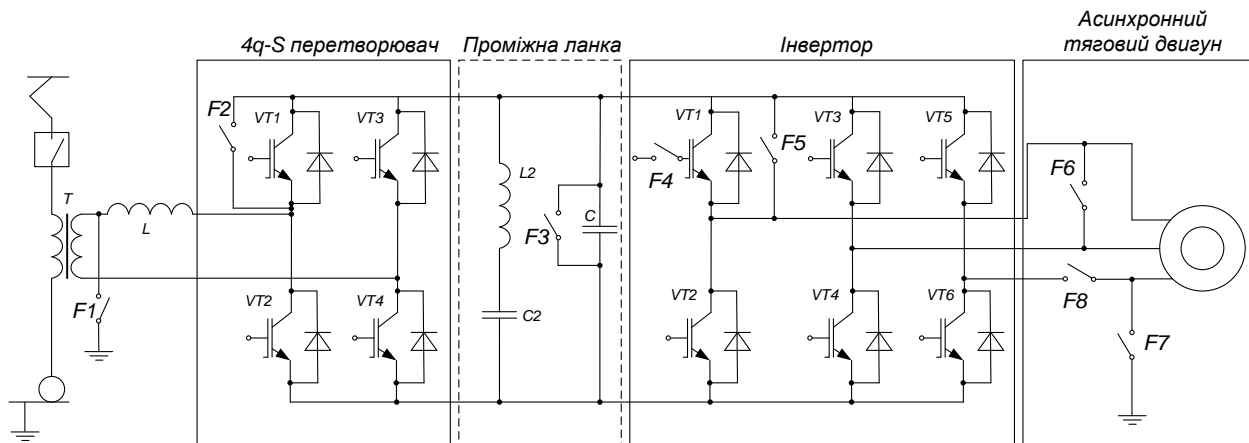


Рис.1. Спрощена схема системи тягового електроприводу для дослідження аварійних режимів

Розподіл аварійних станів по ступені розвитку дозволяє сформува ти підхід по дослідженню аварійних станів та реалізації засобів захисту на кожній стадії розвитку аварійного процесу (в тому числі і запобіжних заходів, що спрацьовують на ранніх стадіях розвитку відмови). Таким чином, в системі асинхронного тягового електроприводу можуть мати місце наступні випадки несправностей:

- Замикання на землю вхідної живлячої лінії F1;
- Коротке замикання елемента випрямляча F2;
- Коротке замикання ланки конденсатора постійного струму F3;
- Обрив управляючої бази транзистора F4;
- Коротке замикання транзистора F5;
- Коротке замикання лінія-на-лінію на виводах двигуна F6;
- Замикання однієї лінії на землю на виводах двигуна F7;

- Обрив однієї фази на виводах двигуна F8 та ін.

В основі класифікації аварійних станів в підсистемі АІН-ТАД можна покласти наступні класифікаційні ознаки, що дозволяють на етапі розробки засобів захисту асинхронного електроприводу сформува ти принципи побудови та видати практичні рекомендації по їх реалізації.

По характеру відмов: на аварійні стани, що характеризуються незворотними відмовами (через вихід з ладу елементів інвертора) та умовно-зворотними відмовами (виникають при порушенні операцій, передбачених програмою роботи установки, або при помилкових вклученнях транзисторів силової схеми). При умовно зворотних відмовах обладнання, як правило, не виходить з ладу, і після спрацювання захисту установка може нормально працювати. Досвід експлуатації тягових перетворювачів показує що переважна більшість первинних відмов є умовно-зворотними, які, проте, при певних умовах призводять до незворотних відмов.

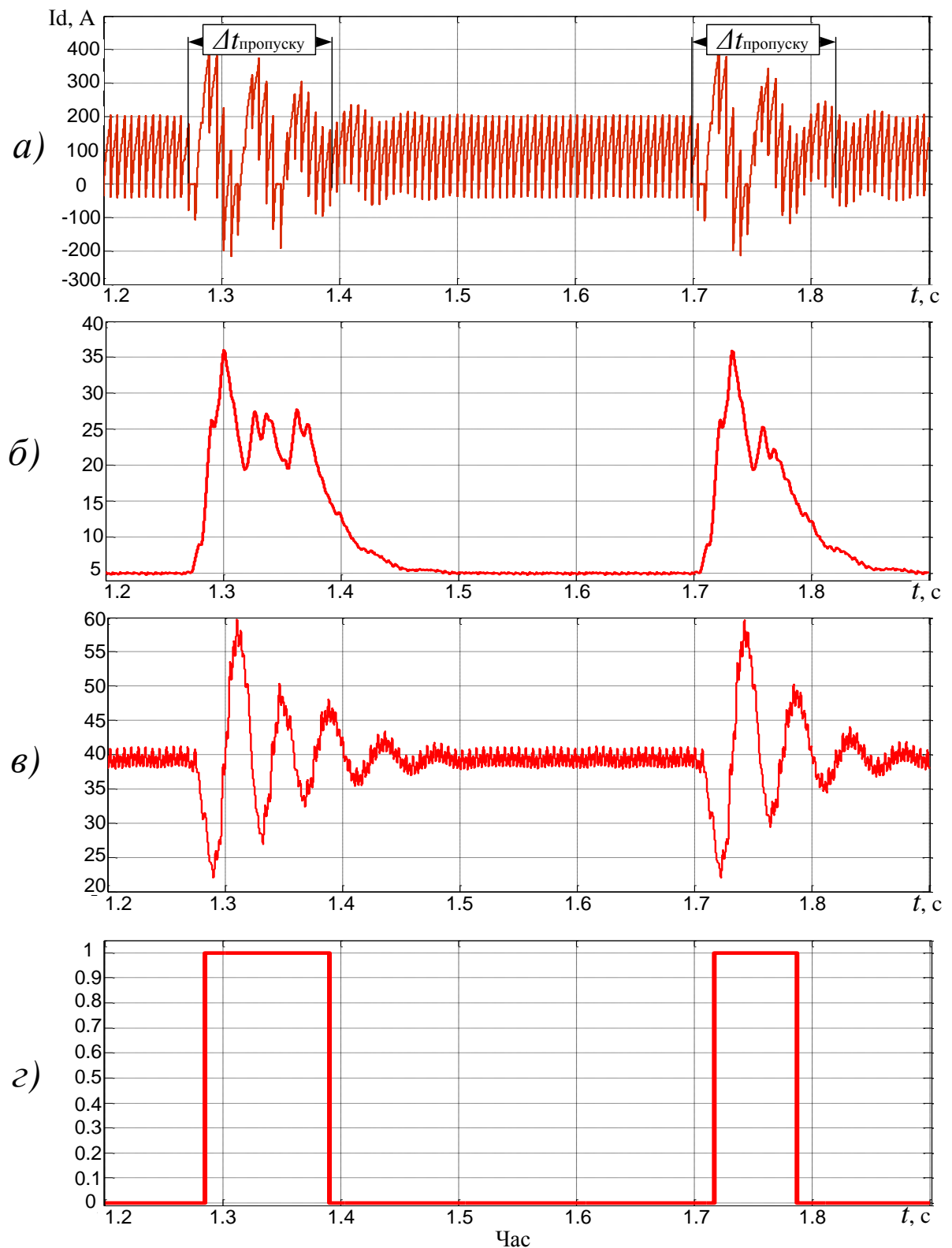


Рис.2. Виявлення несправності пропуску імпульсу управління ключа: а) вхідний струм інвертора; б) сигнал на виході 1го смугового фільтра; в) сигнал на виході 2го смугового фільтра; г) імпульси системи розпізнавання несправності.

Запропонована система неперервного контролю та діагностування технічного стану тягового асинхронного електропривода побудована на базі діагностичних моделей. При цьому слід зазначити, що при розробленні діагностичних моделей, як правило, математичний опис процесів у тяговому електроприводі не може бути безпосередньо використаний як діагностична модель, так як зазвичай він адекватний штатним режимам і не працює в нештатних ситуаціях. Тому розв'язання цієї задачі було знайдено шляхом використання як діагностичної моделі для випадку нормального функціонування об'єкта, так і моделей, які описують конкретну нештатну ситуацію.

Один з варіантів структурної схеми такого модуля моніторингу та діагностики приведено [10]. Згідно зі структурною схемою, відхилення процесів від діагностичної моделі виявляє факт виникнення нештатної ситуації. Тобто, якщо невідповідності виходів об'єкта у та моделі  $y$ , яка відповідає нормальній роботі об'єкта, перевищують деякий поріг, то порушення в роботі об'єкта вважаються виявленими. Це викликає активізацію моделей, що описують порушення в об'єкті. При цьому ті порушення, що описуються найбільшою невідповідністю вважаються найбільш імовірними.

Ураховуючи специфіку побудови та роботи системи асинхронного електропривода, було запропоновано проводити оцінку технічного стану системи шляхом аналізу спектрального складу струму на вході інвертора. На основі зазначеного шляхом моделювання були розроблені діагностичні моделі як для випадку нормального функціонування об'єкта, так і моделі, які описують конкретну нештатну ситуацію.

Алгоритм виявлення несправностей у роботі системи тягового електропривода на основі аналізу спектра вхідного струму інвертора може бути таким. При відомій частоті живлення асинхронного двигуна та його навантаженні в квазістаціонарному режимі спектр частот реальної системи

електропривода порівнюється зі спектрами частот відповідних діагностичних моделей несправностей, вибраних з бази моделей для заданих вхідних параметрів. Метод, заснований на фільтрації, дозволяє виділяти інформацію про необхідну частоту, заснований на принципі смугового фільтра. Вибір ширини смуги залежить від інших частот, присутніх в спектрі, і невизначеності в знанні частот дефекту. Пропускна здатність фільтра повинна змінюватися з основною частотою, щоб не включати характерні лінії справного функціонування, що теж змінюються з додаванням швидкості. При збігу спектрів формується інформаційний сигнал щодо наявності виявленої несправності (рис. 2). У разі відсутності в базі моделі відповідного спектра, але наявності невідповідності спектра реального об'єкта та моделі справного стану фіксується факт наявності неідентифікованої несправності.

Для ілюстрації сказаного наведено моделювання пропуску імпульсів включення одного транзистора, яке виникає в результаті порушення роботи системи управління. Ця несправність тільки зменшить функціональні умови приводу без залучення короткого замикання системи захисту. Система приводу може працювати протягом деякого періоду часу, але зі зниженням продуктивності і низькою ефективністю. Проте безперервна робота в такому несправному стані може призвести до катастрофічних руйнувань системи приводу.

**Висновки.** Організація неперервного моніторингу та виявлення несправностей обладнання тягового електропривода на ранніх стадіях розвитку дефектів сприяє мінімізації витрат та порушень процесу перевезень. Запропонована система неперервного контролю та діагностування технічного стану тягового асинхронного електропривода, що базується на порівнянні спектрального складу вхідного струму автономного інвертора тягового електропривода з базою даних його спектрів при несправностях, проста в реалізації, але, слід зазначити, її ефективність знижується при виникненні несправностей, інформації про які немає в базі.

### Список використаних джерел

1. Bannasch, M. Smart and flexible train inspection for high speed passenger traffic [Текст] / M. Bannasch, H. Maly, M. Säglitz // Deutsche Bahn AG Forschungs und Technologiezentrum (FTZ). - 2012. - 13 p.
2. Guzinski, J. Application of speed and load torque observers in high speed train [Текст] / J. Guzinski, M. Diguët, Z. Krzeminski, A. Lewicki, H. Abu-Rub // 13 International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE-PEMC 2008). - Gdansk, Poland. – 2008. - pp. 1405-1412.

3. Bertrand Raison. Détection et localisation de défaillances sur un entraînement électrique [Текст] / These pour obtenir le grade de docteur de l'institut national polytechnique de Grenoble. – 2000. – 214 p.
4. Калінов, А.П., Дослідження режимів роботи асинхронних двигунів з пошкодженнями обмоток статора і ротора та з неякісним кріпленням до основи [Текст] / А.П. Калінов, Д.Г. Мамчур, О.В. Браташ, Ж.І. Ухань // Вісник Кременчуцького держав. політехн. універ. – Кременчук: КДПУ. – 2009. – Вип. 3 (56), Ч.2. – С. 91-94.
5. Thomson, W. T. Industrial application of current signature analysis to diagnose faults in 3-phase squirrel cage induction motors [Текст] / W. T. Thomson, M. Fenger // Pulp and Paper Industry Technical Conference. – 2000. – pp. 205 –211.
6. Черный, А.П. Вейвлет-анализ предаварийных режимов синхронных двигателей для настройки их защит / А.П. Черный, Ю.В. Лашко, И.И. Киба, Е.В. Остапенко // Вісник Кременчуцького держав. політехн. універ. – Кременчук: КДПУ. – 2009. – Вип. 4 (57). – С. 91-94.
7. Ротанов, Н.А. Электроподвижной состав с асинхронными тяговыми двигателями [Текст] / Н.А. Ротанов, А.С. Курбасов, Ю.Г. Быков, В.В. Литовченко; Под редакцией Ротанова Н.А. - М.: Транспорт, 1991. - 336 с.
8. Покровский, С.В. Система управления и диагностики электровоза ЭП10 / Под ред. С.В. Покровского. – М.: Интекст, 2009. – 356 с.
9. Malhotra, S. Fault diagnosis of induction motor [Текст] / S. Malhotra, M.K.Soni. // Manav Rachna International University, Faridabad, India. 1<sup>st</sup> Annual International Interdisciplinary Conference АПС. - 2013. – pp. 24-26.
10. Яцько, С.І. Діагностика порушень у роботі тягового електропривода [Текст] / С.І. Яцько, Я.В. Ващенко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. - 2014, вип. 143. – С.195-198.

---

Яцько Сергій Іванович, Канд. техн. наук, доцент, Кафедра автоматизованих систем електричного транспорту, Український державний університет залізничного транспорту, Контактний тел.: (057) 730-10-75, E-mail: si\_yatsko@mail.ru.

Ващенко Ярослав Васильович, Аспірант, Кафедра автоматизованих систем електричного транспорту, Український державний університет залізничного транспорту, Контактний тел.: (050) 728-21-92, E-mail: yaroslav\_vashchenko@mail.ru.

**Стаття постуила 21.05.2015**