

Conclusion. The digital model of admittance protection with two different methods of calculation of the value of admittance and its subcomponents was positively verified. Results shown in graphs illustrates the difference between admittance signals calculated in two ways. The digital model of admittance protection can be used for assessment of operating of existing power protection systems during a various types of faults.

Presented digital model of admittance criterion can be easily adapted to use in any digital modeling environment (Matlab, Octave) or into transient simulation toolkit (EMTP-ATP, PSCAD). Developed model can be helpful for future investigation of ground-fault protection operation failure or lack of operation. This is an excellent tool for improvement and modification of admittance protection algorithm itself.

1. *Andruszkiewicz J., Kordus A., Lorenc J., Marszałkiewicz K.. Admittance Criteria of Integrated Protection System Used in MV Lines // VII International Conference on Actual Problems in Electrical Power Engineering*. – Gdansk 1995. – Vol. I. – S.19–25. 2. *Lorenc J. Admitancyjne zabezpieczenia ziemnozwarciowe. – Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2007.* 3. *Lorenc J. Admitancyjne zabezpieczenia ziemnozwarciowe kompensowanych sieci średnich napięć. – Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Rozprawy, 1992. – Nr 272.* 4. *Patent PL NR 173980. Sposób i układ selektywnego zabezpieczania od zwarć z ziemią dla linii średnich napięć / Lorenc J. – Data opublikowania 29 maja 1998.* 5. *Marciniak L. Modeling of digital earth fault protection using PSCAD // Przegląd Elektrotechniczny. – Wydawnictwo SIGMA-NOT, 2009. – Nr 3.* 6. *Mason C.R. The Art & Science of Protective Relaying, General Electric. – P. 3.*

УДК 621.313:621.391

Ю.І. Гижко, М.В. Мислович
Інститут електродинаміки НАН України

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ НАВЧАЮЧИХ СУКУПНОСТЕЙ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ВІБРОДІАГНОСТИКИ ВУЗЛІВ РУХОМИХ ЧАСТИН ЕНЕРГЕТИЧНИХ МАШИН

© Гижко Ю.І., Мислович М.В., 2009

Розглянуто питання формування навчаючих сукупностей для інформаційно-вимірювальних систем вібродіагностики окремих вузлів рухомих частин електроенергетичних машин. Для вимірювання і передачі діагностичних вібросигналів з рухомих частин енергетичних машин використано спеціальні сенсорні пристрої, що будуються на застосуванні стандарту Bluetooth.

Questions of formation of training sets for information-measuring systems of vibration diagnostics of some units of mobile parts of power electrical machines are considered. For measuring and transmission of diagnostic vibration signals from mobile parts of power machines, special sensors are used which are based on use of Bluetooth standard.

Вступ. Важливими елементами в розв'язанні задач діагностики рухомих вузлів енергетичного обладнання виступають питання організації каналу передачі інформації, отриманої з сенсорів, розташованих на рухомих вузлах цього обладнання. Ісутотним моментом при створенні такого каналу є забезпечення достатньо високої точності і вірогідності отриманих результатів діагностики. Своєю чергою бажану точність і вірогідність можна отримати шляхом застосування відповідних статистичних методів оброблення вимірних вібросигналів, а також завдяки попередньо

проведеному навчанню, що реалізується в ІВС у вигляді так званих навчаючих сукупностей, які відповідають певному технічному стану досліджуваного вузла.

В роботі [1] розглянуто особливості побудови ІВС діагностики рухомих частин енергетичних машин з використанням бездротового каналу передачі інформації стандарту Bluetooth з вузлів, що діагностуються. Згідно з [3], процес проектування та побудови інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) діагностики окремих вузлів енергетичного обладнання складається з декількох етапів, а саме: математичного моделювання сигналів, що досліджуються, визначення основних діагностичних ознак, що обчислюються по отриманих сигналах, розробки технічної частини ІВС діагностики та проведення навчання створеної системи для забезпечення можливості побудови вирішуючих правил при розв'язанні задач діагностики.

Результати виконаної роботи [2] дозволяють перейти до проведення навчання створеної ІВС.

Постановка задачі та мета роботи. Головною метою цієї роботи є розгляд питань, пов'язаних з формуванням навчальних сукупностей при проведенні вібродіагностики вузлів рухомих частин енергетичних машин з застосуванням лабораторного зразка ІВС діагностики, що використовує бездротовий канал передачі вимірної інформації [2].

Основні принципи формування навчальних сукупностей. На основі дослідження математичної моделі вібрацій рухомих вузлів електричних машин за результатами проведених експериментів [2], були визначені діагностичні ознаки технічного стану вузлів енергетичних машин, які можна використовувати при кореляційному аналізі: число точок екстремумів S_j , $j = 1, 2, \dots$ на певному інтервалі корелограми $B(s)$; оцінки величин коефіцієнтів загасання β_j , $j = \overline{1, n}$; оцінка величини коефіцієнта взаємної кореляції R вібрацій вузлів енергетичних машин; при спектральному аналізі: амплітуди і частоти основних максимумів спектрограми; число основних максимумів спектрограми у фіксованій смузі частот.

Для проведення діагностування з використанням таких параметрів, насамперед, необхідно вибрати діагностичні простори та сформувати в обраних просторах навчаючі сукупності, що відповідають певним технічним станам рухомих вузлів досліджуваних енергетичних машин.

Згідно з [3], навчальні сукупності – це множина тих значень параметрів, що відповідають умовно справному стану об'єкта діагностування або його стану, пов'язаному з наявністю одного з дефектів, що діагностуються.

Джерело діагностичної інформації створює деякий процес, який залежить від діагностичних параметрів, кожний з яких являє собою вектор чи скаляр. У найпростішому випадку розглядається тільки один параметр, що може приймати два різних значення. Кожному з цих значень відповідає одна з гіпотез: основна H_0 і альтернативна або конкуруюча H_1 .

Попередня статистична обробка будується так, начебто вже відомо, яка гіпотеза є правильною. Базуючись на такому знанні, отримується цілком визначена точка в просторі спостережень. Припускається, що на цьому етапі додається деяка адитивна випадкова компонента, що не залежить від гіпотез і яка може виникати як на виході джерела діагностичної інформації, так і в процесі її статистичної обробки. Вона спотворює значення діагностичного параметра, тому з кожним гіпотетичним значенням параметра пов'язується імовірнісний закон розподілу.

Простір спостережень містить всі можливі значення вимірювальних параметрів, що вони можуть приймати в процесі експерименту. В результаті дії завад, у просторі спостережень множини точок, що відповідають різним гіпотезам, перетинаються, а іноді і зовсім збігаються. У зв'язку з цим робиться розбивка простору спостережень на неперехресні підмножини спостережень – образи, які відповідають кожній із гіпотез.

Використання лабораторного зразку ІВС діагностики для формування навчальних сукупностей.

Для отримання діагностичних даних, потрібних при формуванні навчальних сукупностей на етапі навчання ІВС діагностики був використаний лабораторний зразок ІВС діагностики рухомих частин енергетичних машин, що використовує радіоканал стандарту Bluetooth для забезпечення передачі вимірних сенсорами даних з вузлів, що діагностуються.

Технічна частина використаної ІВС складається з двох основних частин [2]:

- блока сенсорів, що розташовується безпосередньо на об'єкті діагностики (рис. 1);
- блока приймання та обробки інформації, в якості якого може виступати будь-яка ПЕОМ, до якої підключений Bluetooth приймач-передавач [4] за допомогою шини USB (universal serial bus – універсальна послідовна шина – зовнішня шина, що підтримує установку пристроїв, що самі настроюються в операційній системі). Основною частиною цього блока є програмне забезпечення, що виконує всі необхідні функції з обробки отриманого сигналу.

Об'єктом діагностики була використана електрична машина постійного струму П-51. (рис. 2).

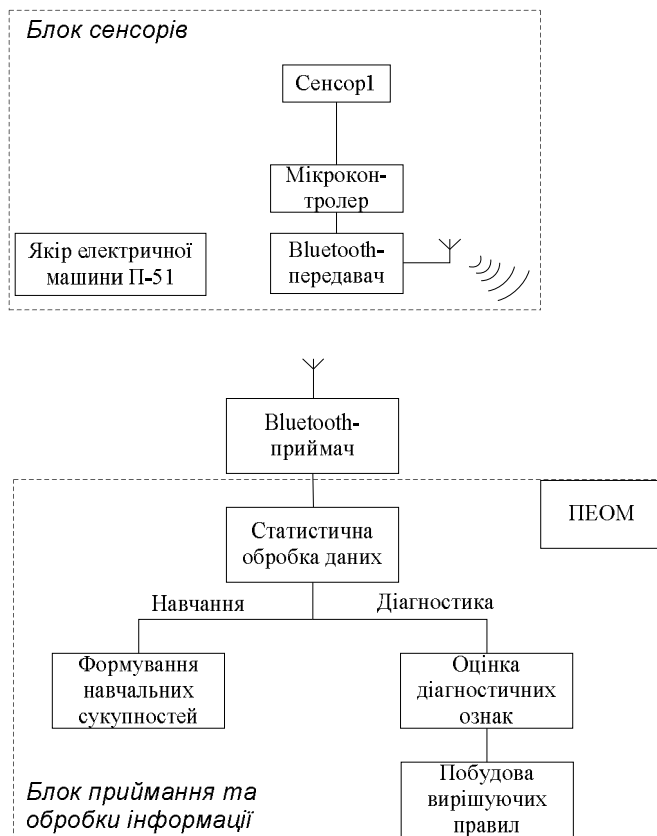


Рис. 1. Структурна схема ІВС діагностики з використанням стандарту Bluetooth

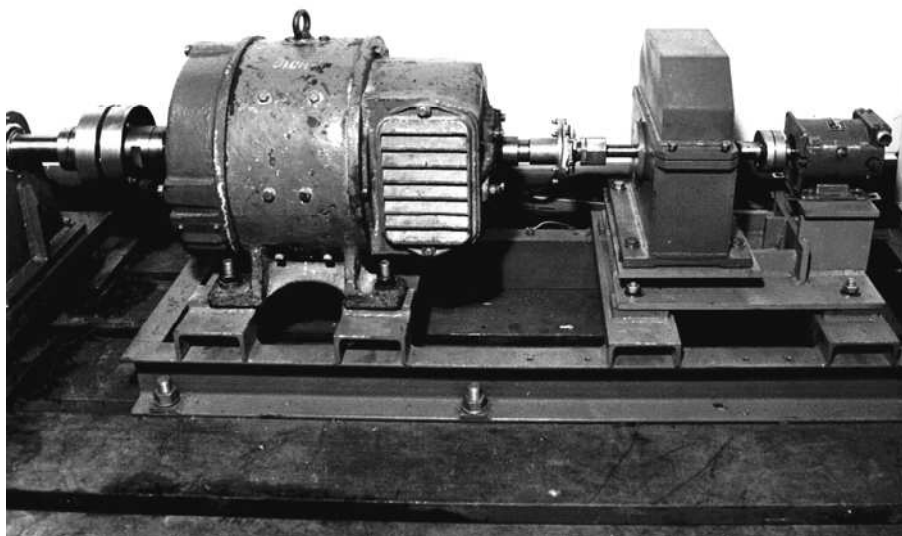


Рис. 2. Електрична машина П-51 з здавачем кута повороту

Блок сенсорів [2], розташований на якорі електричної машини постійного струму типу П-51, надав можливість отримувати діагностичну інформацію про вібраційні процеси, виміряні з рухомого вузла електричної машини, з частотним діапазоном вібраційного сигналу від 0,01 Гц до 6 КГц. Крім того, для контролю якості спряження вала машини П-51 з здавачем куту повороту (на рис. 2 цей давач показано праворуч від досліджуваної електричної машини), вібраційні сенсори розміщались також на з'єднувальній муфті і на ній безпосередньо вимірювались вібросигнали. Обмежимося тільки розглядом вібросигналів, що вимірювались на якорі електричної машини.

Згідно з [2], аналоговий вібраційний сигнал, зареєстрований на вузлі електричної машини, що діагностується, на виході з сенсора має вигляд DCM сигналу (duty cycle modulated – модуляція з коефіцієнтом заповнення). Отриманий сигнал передається за допомогою радіоканалу до блока приймання та обробки інформації.

Зручність використання сенсорів, з виходів яких знімаються DCM сигнали, пов'язана з тим, що такі сенсори можуть бути напряму під'єднані до входу лічильника мікропроцесора без використання аналогово-цифрового перетворення або зв'язуючих логічних мікросхем, що спрощує процес обробки виміряного сигналу та збільшує час автономної роботи пристроїв. На виході мікроконтролера отримується цифровий сигнал, що містить виміряну інформацію. Цей сигнал за командою з блока приймання та обробки інформації або ж у визначені проміжки часу передається в ПЕОМ, де здійснюється статистична обробка прийнятих з блока сенсорів інформаційних сигналів. За результатами цієї обробки і по отриманих статистичних оцінках діагностичних ознак проводиться навчання ІВС діагностики, кінцевим етапом якого є формування навчаючих сукупностей, що відповідають певним технічним станам досліджуваних вузлів.

У режимі “Діагностика” за сформованими навчаючими сукупностями, а також за одержаними в реальному часі оцінками діагностичних ознак і побудованими вирішуючими правилами здійснюється діагностика технічного стану певного вузла електричної машини.

Експериментальна перевірка ступеню пресування шихтованого магнітопроводу якоря електричної машини П-51. За допомогою створеного лабораторного зразка був проведений експеримент з діагностування стану пресування пластин магнітопроводу, найтипівшого дефекту, що виникає на рухомих частинах електричних машин. Експеримент проводився так. Блок сенсорів надійно закріпили на якорі електричної машини. За допомогою затиснених гайок стягувався пакет пластин магнітопроводу з зусиллям 30 Нм. Після цього вмикався та налагоджувався лабораторний зразок ІВС діагностики та вмикалася електрична машина П-51. Після встановлення частоти обертання 1000 об/хв, розпочинався процес реєстрації вібраційного сигналу. Під час роботи електричної машини, що діагностується, вібраційний сигнал, що знімався з якоря об'єкта, надходив до блока приймання та обробки інформації (рис. 1). Блок приймання та обробки інформації, як основний логічний елемент ІВС, працює в двох режимах: у режимі навчання і режимі діагностики. Для розв'язання задачі формування навчальних сукупностей, блок приймання та обробки інформації працював у режимі навчання.

Результати обробки вібраційного сигналу за допомогою програм статистичного спектрального аналізу, що входять до програмних засобів ІВС [2], наведені у вигляді спектрограми $S(f)$ на рис.3. Найбільш інформативними діагностичними ознаками при проведенні вібродіагностики шихтованих магнітопроводів виступають амплітуди, частоти, а також число основних максимумів спектрограми в фіксованій смузі частот [5].

Як очевидно з наведеної спектрограми $S(f)$, у виміряному сигналі можна виділити на рівні 0,5 $S(f)$ два основних частотних максимуми. Рівень 0,5, по якому фіксується кількість максимумів спектрограм, вибраний довільно для простоти підрахунку цих максимумів. Як очевидно з рис. 3, для стягнутого магнітопроводу основна частота вібрацій спостерігається в області 270 Гц. Відзначені також менш інтенсивні складові в області 1090 та 2290 Гц.

Після цього повністю відпускалися затискні гайки та знову стягувався пакет пластин магнітопроводу з зусиллям 5 Нм, що є недостатнім для нормальної роботи якоря електричної

машини П-51. Результати вимірів вібраційного сигналу, знятого з якоря електричної машини П-51, при недостатньому стягуванні пакета пластин магнітопроводу, наведені на рис. 4.

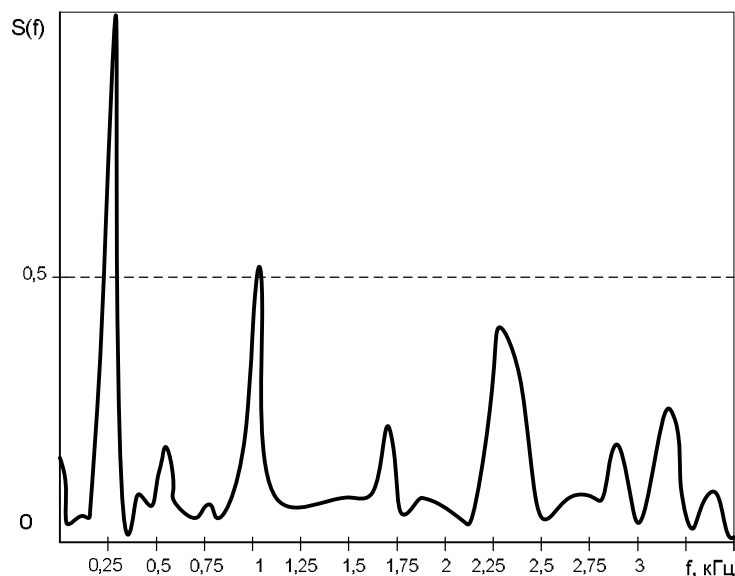


Рис. 3. Спектрограми , виміряні на магнітопроводі, стягнутому з зусиллям 30 Нм

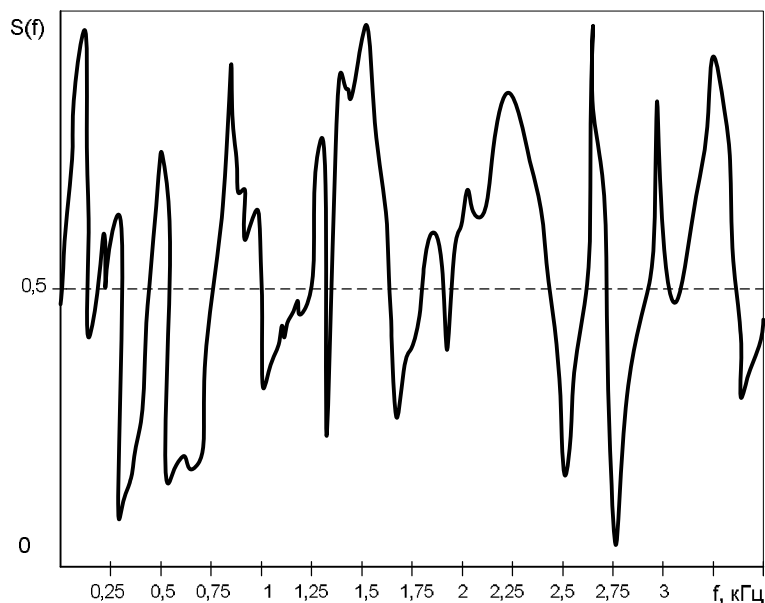


Рис. 4. Спектрограми , виміряні на магнітопроводі, стягнутому з зусиллям 5 Нм

При зменшенні стягуючого зусилля в спектрограмі вібрацій шихтованого магнітопроводу, крім основної частоти в області 270 Гц відзначаються інтенсивні частотні складові майже на всій смузі частот, що аналізується. Така багаторезонансна структура вібрацій у шихтованого магнітопроводу з ослабленим пресуванням пояснюється вібраціями окремих пластин, що утворюють магнітопровід.

Отже, проведені експерименти підтвердили теоретичне припущення , що як діагностичні ознаки стану пресування шихтованого магнітопроводу можуть бути використані амплітуди та частоти основних максимумів, а також число основних частотних максимумів у фіксованій смузі частот [5].

Формування навчальних сукупностей. Для формування навчальних сукупностей в діагностичному просторі Θ було проведено двісті експериментів з дослідження вібрацій шихтованого магнітопроводу, що виникають під час роботи електричної машини П-51. На рис. 5 наведені навчаючі сукупності, побудовані за результатами аналізу ста спектрограм вібрацій шихтованого магнітопроводу, що досліджувався. Навчаючі сукупності являють собою гістограми числа максимумів Θ досліджуваних спектрограм на рівні 0,5. Однак, навчаючі сукупності зручніше будувати не по гістограмах, а по згладжуючих їх кривим, що входять в систему Пірсона. Побудова згладжуючих кривих передбачена програмними засобами лабораторного зразка ІВС, які докладно описані у [2].

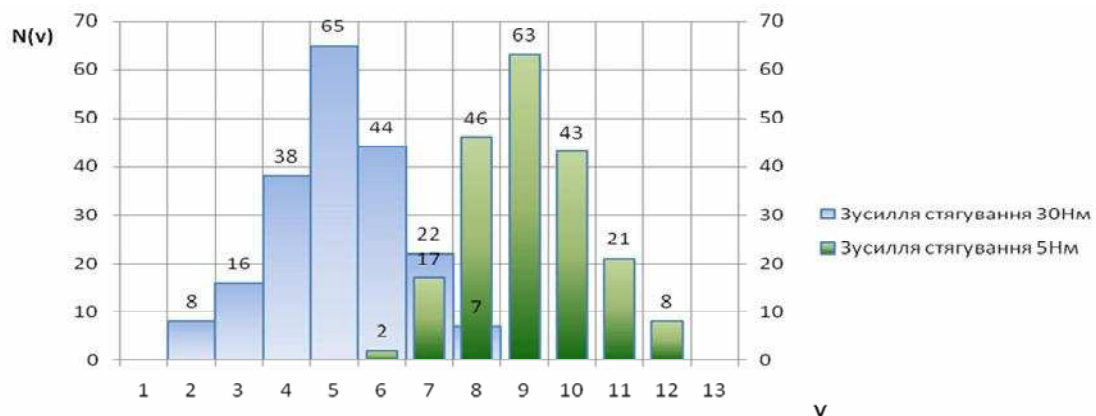


Рис. 5. Навчаючі сукупності, наведені у вигляді гістограм

На рис. 6 наведені криві, що згладжують гістограми усередненого числа Θ максимумів спектрограм вібрацій шихтованого магнітопроводу. Ці криві є навчальними сукупностями в одновимірному діагностичному просторі Θ . Розподілення числа Θ , що відповідає різним станам пресування магнітопроводу, зміщені одне відносно іншого та мають різні математичні сподівання:

$$\Theta_1 = 4,53 \text{ та } \Theta_2 = 8,67 .$$

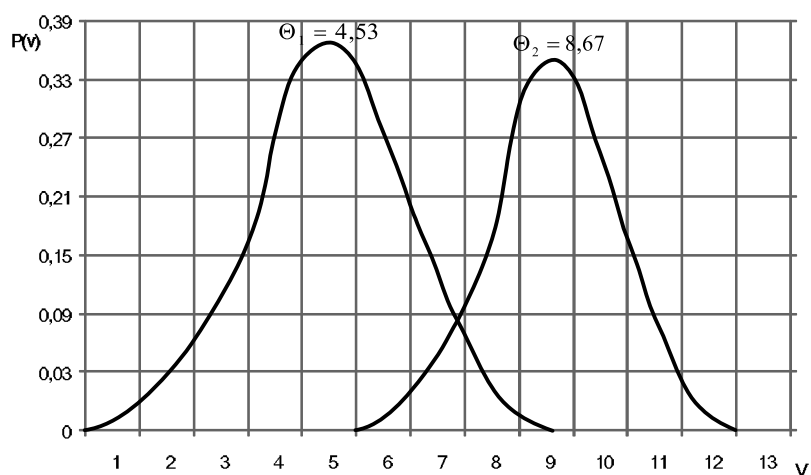


Рис. 6. Навчаючі сукупності, наведені у вигляді кривих Пірсона

Для визначення стану пресування шихтованого магнітопроводу за сформованими на рис.6 навчальними сукупностями достатньо побудувати вирішуючі правила з використанням певних статистичних критеріїв. Так, для наведених на рис.6 навчальних сукупностей, які описуються близькими до гауссового закону кривими щільності розподілу, можна використати відому в статистиці процедуру Неймана-Пірсона [5].

Висновки. 1. При використанні розробленої ІВС діагностики рухомих вузлів енергетичних вузлів були проведені експериментальні дослідження вібраційного сигналу, виміряні безпосередньо на якорі електричної машини постійного струму П-51. Після побудови гістограм та згладжуючих її кривих, що входять в систему Пірсона, були отримані навчаючі сукупності, що дозволять в подальшому формувати вирішуючі правила, завдяки яким при виконанні діагностики буде визначатися технічний стан шихтованого магнітопроводу якоря електричної машини П-51.

2. Проведений експеримент з лабораторним зразком ІВС діагностики довів доцільність використання радіоканалу в якості каналу передачі сигналу, виміряного на рухомих вузлах електричних машин.

3. Результати проведеного експерименту виявили, що найбільш інформативними діагностичними ознаками, що дозволяють діагностувати ступінь пресування шихтованого магнітопроводу, виступають амплітуди основних максимумів спектрограми, частоти основних максимумів спектрограми, число основних максимумів спектрограми в фіксованій смузі частот.

1. Гижко Ю.І., Мислович М.В. *Особливості побудови інформаційно-вимірювальних систем діагностики рухомих частин електротехнічного обладнання // Праці інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2007. – № 2/17. – С. 107–115.* 2. Гижко Ю.І., Мислович М.В. *Деякі питання практичної реалізації та застосування інформаційно-вимірювальних систем діагностики обертових частин роторних енергетичних машин. Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Ч. 4. – К., 2008. – С. 53–58.* 3. Марченко Б.Г., Мислович М.В. *Вибродіагностика подшипниковых узлов электрических машин. – К.: Наук. думка, 1992. – 195 с.* 4. *Specification of the Bluetooth System, Bluetooth SIG, Інтернет-сторінка <http://www.bluetooth.com>.* 5. Марченко Б.Г., Мислович М.В., Целина В.Н. *Ударная диагностика шихтованных магнитопроводов. Институт электродинамики. Академия наук Украины. – К., 1993.*

УДК 621.313.33-82

В.М. Гладкий, Й.Р. Селепина

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕМА, ТЗЕ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В АСИНХРОННОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ З НЕСИМЕТРИЧНИМ МОСТОВИМ ВИПРОСТУВАЧЕМ

© Гладкий В.М., Селепина Й.Р., 2009

Опрацьовано математичну модель для розрахунків електромеханічних перехідних процесів в асинхронному електроприводі, що складається з асинхронного двигуна з клітковим ротором та несиметричного мостового випростувача.

A mathematical model for calculating electromechanical transients in asynchronous drive, consisting squirrel-cage asynchronous motor and asymmetrical bridge rectifier has been developed.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Асинхронні двигуни з клітковим ротором є одними з найпоширеніших електромеханічних перетворювачів, які мають деякі позитивні властивості, однак мають погані регульовальні властивості. Для плавного та економічного регулювання частоти обертання асинхронних двигунів запропоновано багато систем