

Ивах Р.М., Хома Ю.В. Усовершенствование математических моделей измерительного преобразователя на базе операционных усилителей

Установлено, что основным источником погрешностей измерительного преобразователя по методу автобалансировки выступает операционный усилитель, поэтому для повышения точности средств частотного анализа импеданса целесообразно применить алгоритмическую коррекцию.

На основе малосигнальной модели операционного усилителя построены математические модели активных измерительных преобразователей импеданс-напряжение и адмитанс-напряжение. Полученные математические выражения упрощены путем пренебрежения несущественных параметров, и соответствующим образом формализованы. Такой подход позволяет установить основные источники динамических погрешностей активных измерительных преобразователей.

Ключевые слова: сопротивление, измерения импеданса, частотные анализаторы импеданса, активные измерительные преобразователи, альязинг, передаточная характеристика, погрешности измерения импеданса.

Ivakh R.M., Khoma Yu.V. Improvement of Mathematical Models of the Transmitter on the Basis of Operational Amplifiers

The main error source of measurement converters based on auto-balancing circuit is the operational amplifier. Thus, it makes a lot of sense to apply algorithmic correction for accuracy improvement of impedance analyzers. Based on "low-level signal" model of operational amplifier mathematical models of active impedance- voltage and voltage-admittance measurement converters have been constructed. Final mathematical expressions have been simplified by neglecting non-essential options and appropriately formalized. This approach allows us to establish the main sources of dynamic errors of active measurement converters.

Keywords: impedance measurement, impedance analyzers, active measurement convertors, aliyazinh, transfer characteristic impedance measurement error.

УДК 004.[02+942]

МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ "ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО БУДИНКУ" НА БАЗІ НЕЙРОКОНТРОЛЕРІВ

В.В. Береговський¹, В.М. Теслюк², П.Ю. Денисюк³, Т.В. Теслюк⁴

Розглянуто особливості підходів до проектування "інтелектуальних будинків". Запропоновано ввести інтелектуальний аспект за використання блоково-ієрархічного підходу в процесі проектування систем "інтелектуального будинку" (ІБ). Розроблено структуру системи "інтелектуального будинку" на базі нейроконтролерів. Представлено структуру підсистеми клімат-контроль та наведено структуру типового нейроконтролера системи ІБ. Подано моделі на основі кольорових мереж Петрі для аналізу роботи системи, які дають змогу дослідити динаміку роботи. Побудовано моделі, що ґрунтуються на штучних нейронних мережах, які дають змогу опрацювати нечіткі та неструктуровані дані від підсистеми давачів ІБ.

Ключові слова: інтелектуальний будинок, кольорова мережа Петрі, штучні нейронні мережі, блоково-ієрархічний підхід, нейроконтролер.

Вступ. Сьогодні відбувається бурхливий розвиток інтелектуальних технологій, однією з яких є системи "інтелектуального будинку". Розвиток та впрова-

дження технологій "інтелектуального будинку" [1-5] дає змогу істотно економити енергоносії та забезпечити комфортні умови проживання. На цей час існує ряд фірм, що пропонують складові елементи для систем "інтелектуального будинку", які можна об'єднати в єдину систему.

Проведений аналіз існуючих систем дає змогу стверджувати про потребу підвищення рівня інтелектуалізації та автоматизації проектування таких систем [6-8].

1. Особливості застосування блоково-ієрархічного підходу до розроблення систем "інтелектуального будинку". Жорсткі вимоги до термінів і якості розроблення складних об'єктів і систем зумовлюють широкомасштабне використання засобів автоматизації на всіх рівнях автоматизованого проектування. На сьогодні у процесі проектування різних технічних пристроїв здебільшого використовують блоково-ієрархічний підхід. Існують розробки щодо використання онтологій на системному рівні проектування таких систем [7], але йдеться тільки про розроблення теоретичних положень.

Отже, загалом у процесі автоматизованого проектування, саме системи "інтелектуального будинку" з використанням блоково-ієрархічного підходу можна виокремити: системний рівень ІБ, рівень підсистем та елементи підсистем.

У загальному випадку, у математичній формі, застосування блоково-ієрархічного рівня до розроблення ІБ можна представити таким виразом:

$$Sys_{ІБ}^1 = \bigcup_{i=1}^n P_{ІБ}^{2,i} \bigcup_{j=1}^m B_{ІБ}^{3,j} \bigcup_{k=1}^l E_{ІБ}^{4,k},$$

де $Sys_{ІБ}^1$ – система "інтелектуального будинку", а верхній індекс означає перший ієрархічний рівень блоково-ієрархічного підходу до проектування; $P_{ІБ}^{2,i}$ ($i=1,2,\dots,n$) – i -та підсистема "інтелектуального будинку", а верхній індекс – 2-й ієрархічний рівень БІП (для прикладу: підсистема клімат-контроль, підсистема освітлення та ін.); $B_{ІБ}^{3,j}$ ($j=1,2,\dots,m$) – j -й блок системи "інтелектуального будинку" (3-й ієрархічний рівень БІП); $E_{ІБ}^{4,k}$ ($k=1,2,\dots,l$) – k -й елемент системи інтелектуального будинку (різного роду давачі, виконуючі пристрої тощо).

Потрібно зауважити, що система ІБ містить об'єднання підсистем:

$Sys_{ІБ}^1 = \bigcup_{i=1}^n P_{ІБ}^{2,i}$, i -та підсистема базується на об'єднанні завершених блоків:

$$P_{ІБ}^{2,i} = \bigcup_{j=1}^m B_{ІБ}^{3,j}, \text{ а } j\text{-й блок об'єднує елементи: } B_{ІБ}^{3,j} = \bigcup_{k=1}^l E_{ІБ}^{4,k}.$$

До рівня підсистеми можна віднести підсистему клімат-контролю, освітлення, захисту та інші. Елементний рівень містить давачі, виконуючі пристрої, мікроконтролери тощо. У процесі автоматизованого проектування "інтелектуальних будинків" використовують як підхід проектування зверху-вниз, так і знизу доверху та ін.

Кожен з цих підходів до проектування "інтелектуальних будинків" має свої особливості, переваги та недоліки. Зокрема, у процесі проектування системи "інтелектуального будинку" 1-го та 2-го рівнів інтелектуалізації використовув-

¹ аспір. В.В. Береговський – НУ "Львівська політехніка";
² проф. В.М. Теслюк, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка";
³ доц. П.Ю. Денисюк, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";
⁴ аспір. Т.В. Теслюк – НУ "Львівська політехніка"

ють, в основному, розроблення знизу до верху, що зумовлено наявністю великої кількості реалізованих пристроїв автоматики. Проблема, в цьому випадку, виникає при їх інтеграції в єдину систему, забезпечення єдиного формату обміну та керування та ін. Особливо в тих випадках, коли використовують складові елементи від різних виробників.

Реалізація третього та вищих рівнів систем "інтелектуального будинку" потребує використання нових підходів, методів і технологій. Такі особливості зумовлюють використовувати проектування зверху-вниз. Понад це, процес розроблення системи "інтелектуального будинку" потребує звернути особливу увагу на особливості проектування. Процес інтелектуалізації функцій проектованої системи потребує введення інтелектуального аспекту, детального аналізу та забезпечення його на усіх ієрархічних рівнях та етапах. Основні задачі інтелектуального аспекту в процесі використання БПІ зображено у таблиці.

Найскладніші задачі, які потребують величезних обсягів обчислень, виникають на етапі системного проектування складних об'єктів і систем. На цьому рівні виникає потреба в розв'язанні задач синтезу структур об'єкта проектованої системи та визначення її основних параметрів. Наступний крок передбачає, що аналіз розробленої структури можна виконати, використовуючи моделі на основі теорії мереж Петрі [9], систем масового обслуговування та ін. Процес побудови таких моделей потребує великих затрат часу, досвіду та знань з предметної області і є надзвичайно громіздким.

Табл. Основні задачі інтелектуального аспекту в процесі розроблення ІБ за використання БПІ

Системний рівень	Вибір рівня інтелектуалізації системи ІБ. Обґрунтування можливості реалізації інтелектуальних функцій. Вибір стратегії реалізації інтелектуальних функцій ІБ. Вибір методів і засобів реалізації інтелектуальних функцій ІБ. Побудова структурних схем реалізації інтелектуалізації функцій ІБ.
Схемотехнічний рівень	Задачі інтелектуального опрацювання даних в підсистемах "розумного будинку". Вибір потрібних методів, засобів, моделей та методологій. Реалізація інтелектуальних функцій "розумного будинку" на рівні підсистем.
Компонентний рівень	Задачі інтелектуального опрацювання даних від давачів (відновлення втрачених даних тощо). Вибір методів опрацювання даних від давачів.

2. Розроблення структури системи "інтелектуального будинку" на базі нейроконтролерів. Побудована структура системи ІБ містить ряд підсистем, а саме: клімат-контролю, безпеки, освітлення та ін. У розробленій структурі запропоновано використати нейроконтролери, що дасть змогу опрацювати нечіткі та неструктуровані дані від підсистем давачів, які контролюють зміни в довкільному середовищі. Підсистема клімат-контроль "інтелектуального будинку" реалізована шляхом використання нейроконтролерів. Нейроконтроллер симулює попередньо навчену штучну нейронну мережу типу багатозарового перцептрона.

Загалом, приклад розробленої підсистеми клімат-контроль "інтелектуального будинку" зображено на рис. 1. Вона містить власний нейроконтролер для кожного приміщення, кожний з яких працює під управлінням підсистеми керу-

вання ІБ. Особливістю такої реалізації є те, що використовують відносно недорогі мікроконтролери, процес керування параметрами клімат-контролю кожної з кімнат є незалежним і висока надійність такої структури, порівняно з підсистемою, що використовує один потужний контролер, адже, у випадку виходу з ладу такого контролера – вся підсистема перестає працювати.

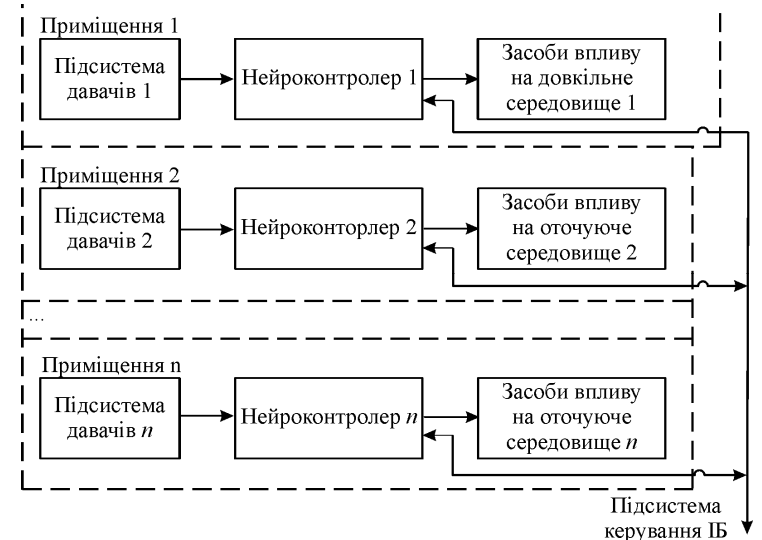


Рис. 1. Структура підсистеми клімат-контролю "інтелектуального будинку"

У загальному випадку, цю структуру можна описати з використанням такої моделі: $Mod_{кімн.контр} = (S_{давач}, N_{нейроконтролера}, Z_{викон. пристр.})$, де: $S_{давачів}$ – множина підсистем давачів для кожного приміщення "інтелектуального будинку"; $N_{нейроконтролера}$ – множина підсистем нейроконтролерів; $Z_{виконуючі пристрої}$ – множина підсистем виконуючих пристроїв.

Водночас, $S_{давачів}$ містить n -елементів, які є підсистемами давачів для кожного окремо взятого приміщення. У разі, якщо маємо n -приміщень для підсистеми клімат-контролю, то будемо мати n -елементів, кожний з яких позначається відповідним індексом: $S_{давачів} = (s_1, s_2, \dots, s_n)$. Аналогічно можна записати для множини підсистем нейроконтролерів і виконуючих пристроїв: $N_{нейроконтролера} = (n_1, n_2, \dots, n_n)$, $Z_{виконуючі пристрої} = (z_1, z_2, \dots, z_n)$, де: s_i – підсистема давачів для i -го приміщення ($i = \overline{1, n}$); n_i – нейроконтролер для i -го приміщення; z_i – підсистема виконуючих пристроїв для i -го приміщення.

Структуру типового нейроконтролера зображено на рис. 2. Побудована структура нейроконтролера складається із двох рівнів реалізації, які між собою пов'язані:

- апаратна реалізація (модель) містить у собі: підсистему роботи з виконуючими пристроями, які відповідають за виведення аналогових сигналів; підсистему роботи з давачами, яка відповідає за зчитування цифрових сигналів; підсистему роботи

з COM-портом, яка відповідає за надсилання повідомлень, проміжних і кінцевих результатів комп'ютеру.

- програмна реалізація (модель), яка містить у собі: підсистему опрацювання вхідних даних, отриманих від давачів; підсистему формування керуючих сигналів, яка на основі отриманих результатів від нейронної мережі формує команди для виконання мікроконтролером; підсистему використання нейронної мережі, яка вносить дані в мережу, запускає мережу і видає результати. Нейроконтролер виконує в циклі одну і ту ж програму.

3. Моделі для реалізації системи на базі теорії мереж Петрі та штучних нейронних мереж. У роботі розроблено моделі на основі кольорових мереж Петрі для аналізу роботи системи ІБ, яка має таку форму [9, 10]:

$$N_{colour} = \{P, T, F, M_0, Type, Type_P, Type_F, Condition\},$$

де: $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ – множина позицій (станів); $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ – множина переходів; F – множина дуг, яка містить дві підмножини вхідних та вихідних дуг стосовно переходу; M_0 – множина, яка задає початкове маркування мережі Петрі; $Type$ – множина типів; $Type_P$ – множина, яка відображає доступну множину типів у позиціях мережі; $Type_F$ – множина, типів маркерів, що збуджують перехід, або які типи маркерів будуть згенеровані переходом; $Condition$ – множина умов збудження переходів.

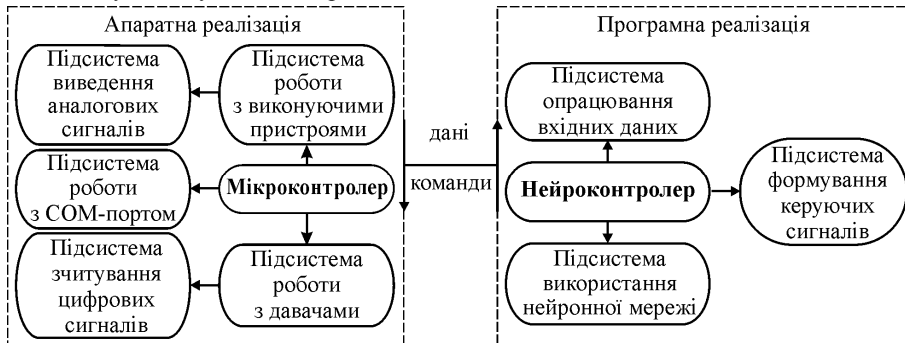


Рис. 2. Розроблена структура типового нейроконтролера системи ІБ

Побудована модель на основі кольорової мережі Петрі для підсистем ІБ та усієї системи дає змогу здійснити динамічний аналіз поведінки підсистем. Також граф досяжності станів для побудованих моделей на основі кольорової мережі Петрі, дає змогу оцінити досяжність усіх її запланованих станів, відсутність тупиків і можливість визначення інших параметрів у процесі аналізу роботи підсистем "інтелектуального будинку".

Окрім цього, модель на основі кольорових мереж Петрі дає змогу дослідити динаміку роботи системи з урахуванням типів сигналів і умов спрацювання елементів підсистеми. Для опрацювання нечітких та неструктурованих даних розроблено моделі, що базуються на штучних нейронних мережах (ШНМ). Зокрема, модель на базі ШНМ для підсистеми освітлення ІБ зображено на рис. 3. У цій моделі використано ШНМ типу багатошарового перцептрона [11, 12]. Побудовані моделі на основі штучних нейронних мереж дають змогу опрацювати не-

чіткі та неструктуровані дані у системах ІБ. Для кожної підсистеми ІБ побудовано модель на основі ШНМ, яка є базою для реалізації нейроконтролерів.

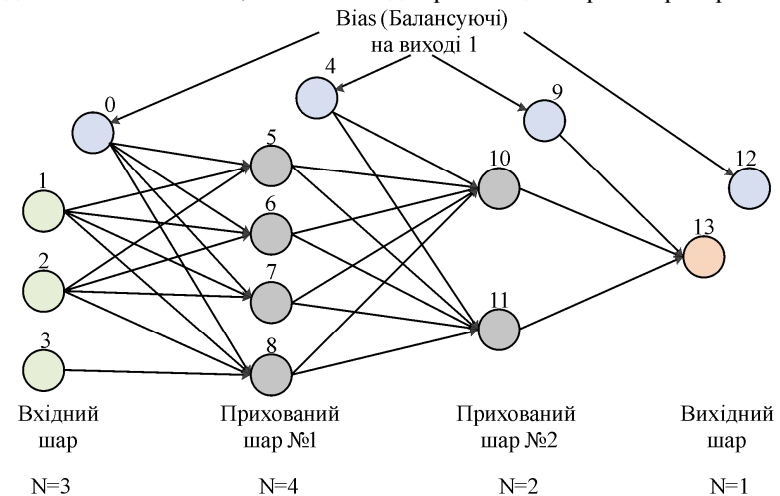


Рис. 3. Структура нейронної мережі моделі для підсистеми освітлення ІБ

Результати. У процесі реалізації системи ІБ на основі нейроконтролерів, використано мікроконтролери Arduino. Приклад схеми підключення нейроконтролера до давачів і виконуючого пристрою зображено на рис. 4, а фрагмент програми, яка керує мікроконтролером, – на рис. 5.

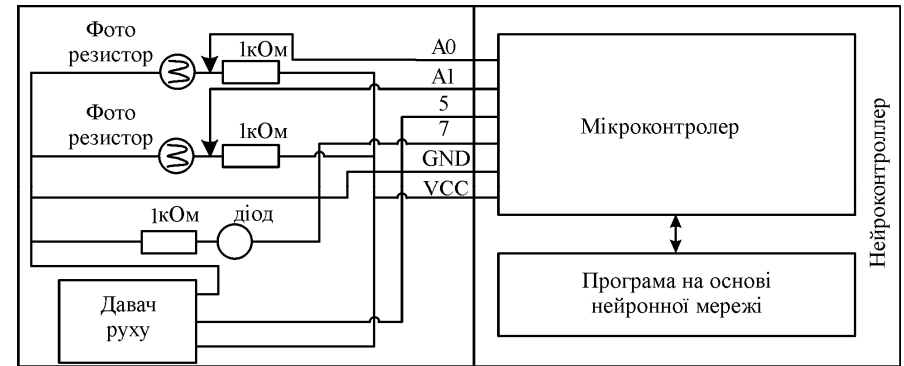


Рис. 4. Приклад схеми підключення нейроконтролера до давачів і виконуючого пристрою

```
//початок блоку вибору портів нейроконтролера та введення даних нейроконтролера
#define MotionSensor1 2 // визначення порта, з якого зчитується сигнал від давача
#define FotoResistor1 A0 // визначення порта, з якого зчитується сигнал від давача
#define FotoResistor2 A1 // визначення порта, з якого зчитується сигнал від давача
#define FR1 0 // визначення порта, з якого зчитується сигнал від давача
#define FR2 1 // визначення порта, з якого зчитується сигнал від давача
#define lightConst 980 // константа граничного сигналу від фото резисторів, при якому освітленість прирівнюється до 0
```

```
int countMotion1Active = 10; // кількість циклів активності сигналу від давачу руху
int motion1Status = 0; // значення давача руху
int FR1Status = 0; // значення фото резистора ззовні
int FR2Status = 0; // значення фото резистора всередині
// кінець блоку вибору портів нейроконтролера та введення даних нейроконтролера
// початок блоку ініціалізації даних нейронної мережі
const int netSize = 14; // кількість нейронів в мережі
const int cntIn = 3; // кількість вхідних нейронів
const int cntOut = 1; // кількість вихідних нейронів
...
```

Рис. 5. Фрагмент програми керування мікроконтролером підсистеми освітлення

Висновки. Розроблено структуру системи інтелектуального будинку на базі нейроконтролерів, яка дає змогу опрацювати нечіткі та неструктуровані дані від підсистеми давачів.

Запропоновано ввести інтелектуальний аспект на усіх рівнях автоматизованого проектування ієрархічного підходу та сформульовано основні задачі на кожному з ієрархічних рівнів, що дасть змогу підвищити ефективність автоматизованого проектування систем "інтелектуального будинку".

Наведено моделі на основі кольорових мереж Петрі, що дає змогу дослідити динаміку системи ІБ.

Література

1. Harper R. (2003). Inside the Smart Home. – London. Springer; Augus. – 275 p.
2. Mahmoud A. (2010). AI-Qutayri Smart Home Systems. – Publisher : InTech. – 194 p.
3. Mann William C. (2005, 7 July) The state of the science // Smart technology for aging, disability and independence. – John Wiley and Sons.
4. Гололобов В.Н. "Умный дом" своими руками / В.Н. Гололобов. – М. : Изд-во "НТ Пресс", 2007. – 416 с.
5. Noury N., Virone G., Barralon P., J. Ye, Rialle V., Demongeot J. (2003, June). New trends in health smart homes // Proceedings of the 5th International Workshop on Enterprise Networking and Computing in Healthcare Industry (Healthcom '03). – Pp. 118-127.
6. Xu M., Max L., Xia F., Yuan T., Qian J., Shao M. (2010, October). Design and Implementation of a Wireless Sensor Network for Smart Homes // Ubiquitous Intelligence & Computing and 7th International Conference on Autonomic & Trusted Computing (UIC/ATC). – Pp. 239-243.
7. Ni Qin, Pau de la Cruz, Iván García Hernando, Ana Belén (2016). A foundational ontology-based model for human activity representation in smart homes // Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments. – Vol. 8, No. 1. – Pp. 47-61.
8. Chan M., Estève D., Escriba C., Campo E. (2008). A review of smart homes-present state and future challenges // Computer Methods and Programs in Biomedicine. – Vol. 91, No. 1. – Pp. 55-81.
9. Teslyuk V.M., Beregovskiy V.V., Pukach A.I. Development of smart house system model based on colored petri nets // Proc. of the XVIIIth International Seminar / Workshop On Direct And Inverse Problems Of Electromagnetic And Acoustic Wave Theory (DIPED – 2013). – Lviv, Ukraine, 2013. – Pp. 205-208.
10. Jensen K., Kristensen L.M. (2009). Coloured Petri Nets: modelling and validation of concurrent systems, 1st edition, Springer, 395 p.
11. Floreano D., Mondada F. (1998). Evolutionary Neurocontrollers for Autonomous Mobile Robots // Neural Networks. – Vol. 11, Num. 7-8. – Pp. 1461-1478.
12. Pukach A., Teslyuk V., Tkachenko R., Ivantsiv R.-A. Implementation of neural networks for fuzzy and semistructured data // Proc. of the XI Intern. Conf. on The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, Lviv – Polyana, Ukraine, 2011. – Pp. 350-352.
13. Kornuta J.A., Nipper M.E., Brandon J. (2013). Dixon Low-cost microcontroller platform for studying lymphatic biomechanics in vitro // Journal of Biomechanics, 46. – Pp. 183-186.

14. Tariq AL-Kadia, Ziyad AL-Tuwaijrib, Abdullah AL-Omran (2013). Arduino Wi-Fi network analyzer // Procedia Computer Science, 21. – Pp. 522-529.

Надійшла до редакції 25.10.2016 р.

Береговский В.В., Теслюк В.М., Денисюк П.Ю., Теслюк Т.В. Методы и модели автоматизированного проектирования системы "интеллектуального дома" на базе нейроконтроллеров

Рассмотрены особенности подходов к проектированию "интеллектуальных зданий". Предложено ввести интеллектуальный аспект при использовании блочно-иерархического подхода для проектирования систем "интеллектуального дома" (ИД). Разработана структура системы "интеллектуального дома" на базе нейроконтроллеров. Представлена структура подсистемы климат-контроль и приведена структура типового нейроконтроллера системы ИД. Представлены модели на основании цветных сетей Петри для анализа работы системы, позволяющие исследовать динамику работы. Построены модели, основанные на искусственных нейронных сетях, позволяющие обработать нечеткие и неструктурированные данные от подсистемы датчиков ИБ.

Ключевые слова: интеллектуальный дом, цветная сеть Петри, искусственные нейронные сети, блочно-иерархический подход, нейроконтроллер.

Beregovskyy V.V., Teslyuk V.M., Denysyuk V.M., Teslyuk T.V. Methods and Models of Automated Design of Smart House System Based on Neurocontrollers

We described some features of the design approaches of smart house systems. During the design of smart house (SH) system, it is proposed to use the intellectual aspects with the block-hierarchical approach. The structure of smart house system based on the neuro controller was designed. Climate control subsystem structure as a typical neurocontroller for SH system was described. Models based on colored Petri Nets were used for analysis of the system. They allow exploring the dynamics of the system. Models based on artificial neural networks that allow working out fuzzy and unstructured data from a sensor SH subsystem were designed.

Keywords: smart house, colored Petri Nets, artificial neural networks, block-hierarchical approach, neurocontroller.

УДК 621.[825+3.04]

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МУФТИ З ДІЛЯНКОЮ КВАЗІНУЛЬОВОЇ ЖОРСТКОСТІ З УРАХУВАННЯМ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОДВИГУНА

С.М. Комаров¹, В.Р. Пасіка², І.О. Романчук³, Н.О. Гембара⁴

Досліджено динамічні процеси в електромеханічній двомасовій системі приводу технологічних машин та впливу податливості пружної нелінійної муфти з ділянкою квазінульової жорсткості на його динаміку. Розглянуто уточнену двомасову модель з урахуванням електричних параметрів асинхронного електродвигуна. Розроблено спеціалізовану комп'ютерну програму, яка дає змогу вводити і модифікувати параметри механічної частини, муфти і електродвигуна та інтегрує отримані диференціальні рівняння методом Ейлера. Доведено, що досліджувана нелінійна муфта з ділянкою квазілінійної жорсткості ефективніша від втулково-пальцевої.

Ключові слова: електромеханічна система, двомасова динамічна модель, пружна нелінійна муфта, коефіцієнт динамічності.

¹ доц. С.М. Комаров, канд. техн. наук – Українська академія друкарства;

² проф. В.Р. Пасіка, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

³ асист. І.О. Романчук – Українська академія друкарства;

⁴ доц. Н.О. Гембара, канд. техн. наук – Українська академія друкарства