

СЕКЦІЯ 3
ТЕХНІЧНІ НАУКИ

**КОНТРОЛЕР ДЛЯ ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ
ІНДУКЦІЙНИМ ДВИГУНОМ НА БАЗІ ПРОГРАМОВАНОЇ
ЛОГІЧНОЇ ІНТЕГРАЛЬНОЇ СХЕМИ**

Яценко С.І, студент, Войтенко В.П., к.т.н., доцент, Єршов Р.Д., асистент
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів

Найпоширенішим сучасним джерелом механічного руху в промисловості є електропривод на базі індукційного або асинхронного двигуна змінного струму з короткозамкненим ротором. Саме ця електрична машина десятки років, безперестанно обертаючись, забезпечує рухом сотні механічних вузлів у найрізноманітніших застосуваннях. Велика поширеність індукційного двигуна із короткозамкненим ротором (ІДКЗ) зумовлена рядом переваг [1]:

- 1) відносна простота і дешевизна виготовлення;
- 2) висока надійність через відсутність колекторного вузла, а отже, і механічного контакту з ним;
- 3) низькі експлуатаційні витрати;
- 4) високі показники ефективності при частотному регулюванні.

Із винайденням частотного векторного керування індукційним двигуном [2] все більшого поширення у автопромисловості набуває комплектний безредукторний електропривод з використанням ІДКЗ. Тут варто згадати найпопулярніші американські електромобілі сьогодення від компанії Tesla Inc. [3]. Модельний ряд автомобілів Tesla приводять до руху індукційні двигуни змінного струму із ротором унікальної будови. Всередину ротора закачано охолоджувальну рідину, що дозволило значно покращити масо-габаритні показники двигуна, зберігши при цьому велику потужність. Не відстає у даній галузі і вітчизняний виробник. У м. Львів знаходяться виробничі потужності українсько-німецького підприємства «Електронтранс» [4], що виготовляє сучасний міський електротранспорт: трамваї, тролейбуси, електробуси. У всі види електротранспорту цього виробника встановлено безредукторний електропривод з індукційними двигунами високої потужності.

Одним із ключових та актуальних питань у побудові систем безредукторного асинхронного електроприводу залишається питання реалізації високоефективної системи керування двигуном. Для системи керування електроприводом на базі ІДКЗ вкрай важливим параметром, який нетривіально регулюється, є електромагнітний момент. Даний параметр (в ідеалі) повинен бути сталим в широкому діапазоні регулювання обертів двигуна.

Надважливим параметром, від якого залежить ефективність системи керування індукційним двигуном, є її швидкодія. Сучасний високоефективний метод векторного керування ІДКЗ потребує суттєвих обчислювальних ресурсів від системи керування, оскільки в процесі регулювання відбувається велика кількість складних математичних обчислень над векторами, що стосуються їх перетворень у рухомій системі координат [5]. Сучасні системи векторного керування ІДКЗ зазвичай реалізують на основі сигнальних процесорів і мікросхем ПЛІС. Мікроконтролери і сигнальні процесори цілком вдало справляються із складними математичними обчисленнями, але це можливо за досить малої (за сучасними мірками) частоти векторної модуляції (до 10 кГц), оскільки збільшення даного параметру потребує значного зростання частоти вибірки за зворотним зв'язком на періоді модуляції. Зростання частоти вибірки призводить до скорочення інтервалу часу для виконання обчислень, що може привести до різкого погіршення якості системи векторного керування індукційним двигуном.

Мінімальними і необхідними задачами, які потребують вирішення на сьогоднішній день, є вихід за звуковий діапазон векторної широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), а також реалізація прецизійного контролю над ковзанням і потокозчепленням двигуна для ефективного

керування моментом на низьких обертах. При частоті векторної модуляції, меншій за 20 кГц, обмотки потужного ІДКЗ спричиняють сильний гул, який чути, а відсутність точного контролю над моментом на низьких обертах призведе до сильних пульсацій струму та ривків на валу двигуна.

Описані вище проблеми регулювання ІДКЗ потребують реалізації векторної системи керування на базі високопродуктивних цифрових систем із швидкісними модулями аналого-цифрових перетворювачів (АЦП), яка дозволить, завдяки ефективній апаратній підтримці, виконувати складні розрахунки під час процесу керування. Доречним рішенням у створенні подібної системи керування, що потребує значних обчислювальних ресурсів, буде використання програмованої логічної інтегральної схеми (ПЛІС). Сучасні мікросхеми ПЛІС мають у своєму складі десятки – сотні тисяч чарунк (логічних вентилів), які конфігурує користувач, різноманітні блоки цифрової обробки сигналів, високопродуктивні ядра АЦП. Всі чарунки і апаратні блоки в ПЛІС працюють паралельно на частотах у сотні мегагерц, що дозволяє здійснювати складні математичні операції за лічені мікросекунди.

Аналіз відомих рішень [6, 7] показує, що найскладнішим у процесі розробки системи векторного керування ІДКЗ на базі ПЛІС є етап розробки та імплементації апаратних модулів (елементів) системи керування в ПЛІС з використанням мови опису апаратури. Найпоширенішим прикладом створення подібної системи в ПЛІС є софт-процесор у сукупності з апаратним модулем широтно-імпульсної модуляції. Таке рішення дозволяє ефективно і швидко вести розробку програмних засобів для вбудованого софт-процесора на мові високого рівня, але сильно обмежує обчислювальні можливості ПЛІС. В такому випадку час, що буде витрачений на складні математичні перетворення, буде навіть більший, аніж в готовому і дешевшому за ПЛІС мікроконтролері. Тому метою даного дослідження є розробка принципів побудови апаратних модулів контролера системи векторного керування індукційним двигуном на базі ПЛІС. В ході дослідження було запропоновано структуру контролера системи векторного керування ІДКЗ для синтезу в ПЛІС, яку показано на рис. 1.

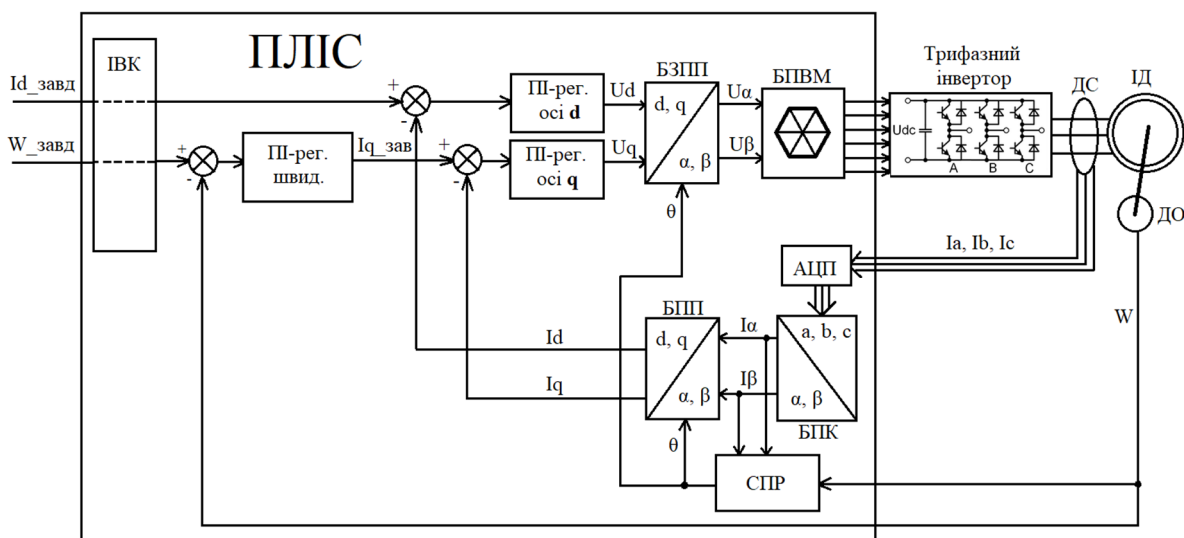


Рис. 1 Структурна схема контролера для векторного керування індукційним двигуном на базі ПЛІС

Контролер на базі ПЛІС складається з наступних функціональних блоків: ІВК – інтерфейс взаємодії із користувачем; ПІ-регулятори швидкості, струму намагнічування і потокозчеплення; БП і БЗП – блоки прямого та зворотного (інверсного) перетворень Парка; БПК – блок перетворення Кларк; БПВМ – блок просторово-векторної модуляції; СПР – спостерігач потокозчеплення ротора. ПЛІС керує трифазним мостовим інвертором, до якого підключено індукційний двигун (ІД), а зворотній зв'язок забезпечується за допомогою датчика струму (ДС) і датчика обертів (ДО). Подібне рішення дозволить суттєво вдосконалити алгоритм керування за рахунок високих показників швидкодії та врахування впливу моменту навантаження, що досягається апаратними рішеннями, які підтримуються і реалізуються в ПЛІС.

На даний момент проведено аналіз задач, які необхідно вирішити в ході розробки, і виконано моделювання векторної системи керування індукційним двигуном у спеціалізованому пакеті САПР PSIM. Подальші дослідження будуть стосуватися безпосередньої розробки апаратних складових контролера індукційного двигуна, а також проведення реального експерименту. Планується розробка алгоритму опису (на мові опису апаратури) та імплементації ПІ-регулятора в ПЛІС; спостерігачів ковзання, потокозчеплення ротора і моменту; реалізація апаратних блоків прямого та інверсного перетворень Парка та Кларк; розробка детермінованого цифрового автомату для керування блоком просторово-векторної модуляції із можливістю завдання “мертвого часу”.

Список використаних джерел

1. Induction motor [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Induction_motor.
2. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006, – 94 с.
3. Tesla Inc. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tesla.com>.
4. Спільне українсько-німецьке підприємство «Електронтранс» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eltrans.electron.ua>.
5. Park, Inverse Park and Clarke, Inverse Clarke Transformations MSS Software Implementation. User guide. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.microsemi.com/document-portal/doc_view/132799-park-inverse-park-and-clarke-inverse-clarke-transformations-mss-software-implementation-user-guide.
6. Jean-Gabriel Mailloux, Stephane Simard, Rachid Beguenane, “FPGA implementation of Induction Motor Vector Control using Xilinx System Generator”, 6th WSEAS International Conference on CIRCUITS, SYSTEMS, ELECTRONICS, CONTROL & SIGNAL PROCESSING, Cairo, Egypt, Dec 29-31, 2007, pp. 252 – 257.
7. C. Kowalski, J. Lis, and T.O Kowalska, “FPGA implementation of DTC control method for the induction motor drive,” Int. Conference on Computer as a Tool (EUROCON), 2007.

PECULIARITIES OF USING THE SURF-METHOD OF DETECTING OBJECTS IN ROBOTICS

Filimonov I.Y., student, Voytenko V.P., PhD, associate professor
Chernihiv National University of Technology, Ukraine

To date, advances in the field of electronic technology allow you to robotize many industries and areas of people's activities. Reasonable introduction of robots in the field of medicine, space, industry, security systems, and entertainment allows people to feel more comfortable and harmonious. The variety of human interests generates, respectively, a variety of robot models that cover one particular direction or aggregate of several directions in the design. One of the design directions, which will be discussed further, is the machine vision, which is used mainly in the industry, in particular - it's autonomous robots and visual inspection and measurement systems.

Machine vision uses a system for collecting and analyzing visual information, and then performs the actions based on the received data. Machine vision is used to detect objects with which you need to interact or obstacles that the robot must bypass; checking the quality of parts; observation of the terrain and many other tasks. In the robotic assembly, the visual pattern recognition system is designed to simulate human vision. It must be able to perceive and detect the individual parts of the object as possible closer to human vision. To achieve this ability by choosing the optimal method of object recognition based on machine vision. The review of existing methods allows determining their main advantages and disadvantages. One method that has the most acceptable characteristics for object recognition is the SURF method.

The purpose of this work is to determine the feasibility of using this method to implement autonomous object detection systems. The solution to this problem could have broad applications.

SURF (Speeded-Up Robust Features) is a method that allows recognizing the object using the selected singular points of the original object and its descriptors. The main feature of this method is that the scale of the image and its rotation to an arbitrary angle does not affect the ability to detect the object.

A singular point is a location in the image where there is a change of the brightness gradient and descriptors represent the area around a singular point and showing the fluctuation of the gradient. Search for singular points is performed by using the Hessian matrix, and the determinant of this matrix (the Hessian) reaches an extremum at the points of maximum change of the gradient of brightness. Representation of the Hessian matrix [1]:

$$H(f(x,y)) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \end{bmatrix}$$

$$\det(H) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right)^2$$

where $f(x,y)$ – brightness change function.

In the calculation method SURF used another representation of the computation of the determinant:

$$\det(H) = D_{xx}D_{yy} - (0.9D_{xy})^2$$

where D_{xx}, D_{yy}, D_{xy} – convolution of the filters shown in fig. 1. The factor of 0.9 has theoretical justification, and adjusts the approximate character of the calculations.

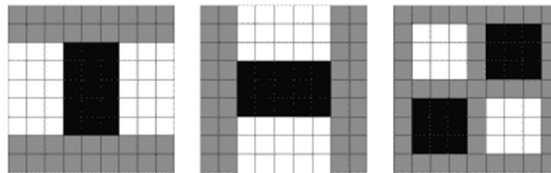


Fig. 1. Convolution filters used to find the Hessian matrix [1]

The white regions have brightness values +1, gray 0, and black for the first two filters -2 (and for the third filter black regions have brightness values -1).

As already mentioned, the change of scale has no effect on the detection of the SURF-method however, calculation of the determinant of the Hessian matrix depends on the image scale. Therefore, in order to neutralize this factor, when calculating the determinant of the matrix on a certain scale, the filters that are divided into octaves, 4 in each filter (Fig. 2).

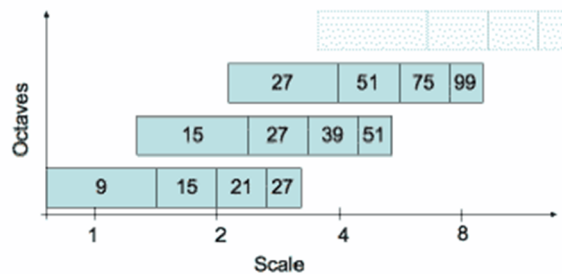


Fig. 2 - Illustration of filter sizes for the first three octaves [2]

The calculation of the determinant is applied on a scale of 1 to 10. A further increase in scale will not give any results, because in this case dramatically reduces the number of detected singular points in the image (fig. 3).

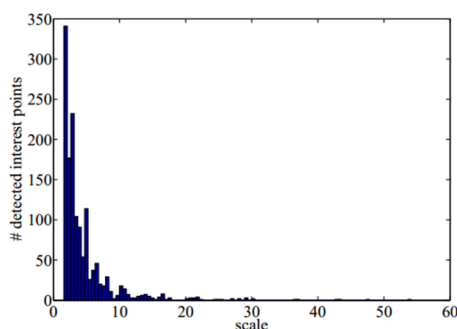


Fig. 3 – The dependence of the number of detected singular points of scale [2]

To compute the image descriptors using Haar filters, presented in fig. 4.

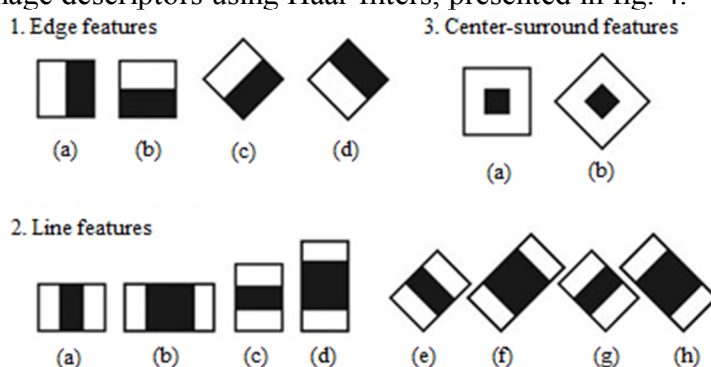


Fig. 4 - Haar filters. Black regions have the values -1, white +1 [3]

Further studies are planned to be performed in two stages:

1) simulation of the process of solving the recognition problem considered method using the MatLab package, in which there is the possibility of working with object detection systems, in particular, - there is an example of a solution for the SURF method;

2) physical modeling using the hardware of a personal computer and a video camera to test the method with the subsequent transition to embedded microcontrollers for the realization of a given goal.

Experimental researches are designed to solve the following problems:

- assess the correctness of the system operation by finding the probability and the accuracy of determining the given object;
- determine the high-speed performance of the system;
- determine the range of possible improvement of the above characteristics.

References

1. A. В. Головки. Поиск объектов интереса по устойчивым признакам на изображении / A. В. Головки, В. Р. Ягъяев // Збірник наукових праць НУК – 2011. – №6. – с. 34-40.
2. H. Bay, et al., Speeded-Up Robust Features (SURF), Computer Vision and Image Understanding, 2008, pp. 346-359
3. D. Volz, J. DeVito, Algorithms, OpenStax, 2012, pp. 1-5
4. N. Herakovic, Robot Vision in Industrial Assembly and Quality Control Processes, Robot Vision, 2010, 624 p.
5. R. Verschae, Ruiz-del-Solar J. Object Detection: Current and Future Directions, Front. Robot, AI, 19 November, 2015.
6. A. Xu, G. Namit, SURF: Speeded-Up Robust Features, Ph.D. thesis, McGill University, 2008, pp. 1-30