

УДК 621.313.13-133.32

А.П. МІРОШНИЧЕНКО, А.Є. ШОРОХОВ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ОСОБЛИВОСТІ КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ**П'ЄЗОКЕРАМІЧНИХ ДВИГУНІВ**

Розглянуто особливості керування параметрами п'єзокерамічних двигунів, запропонований спосіб керування, який дозволяє змінювати частоту обертання валу п'єзодвигуна із збереженням пускового моменту

Ключові слова: керування, п'єзокерамічних, п'єзодвигуна

П'єзоелектричні двигуни являють собою пристрої, робота яких заснована на перетворенні електричної енергії в механічну за рахунок зворотного п'єзоефекту, що виникає в п'єзокерамічних елементах певної конструкції [1]. Приводи такого типу здатні практично миттєво виходити на робочу швидкість або зупинятися, причому при відключенні живлення вал двигуна знаходиться у фіксованому стані. За необхідності електромеханічні приводи на основі п'єзокерамічних двигунів можуть бути реалізовані без використання будь-яких магнітних деталей, що є вагомою перевагою, наприклад, у медичній апаратурі, де використовуються високочастотні магнітні поля.

Інтерес до п'єзокерамічних двигунів останнім часом постійно зростає, завдяки їх специфічним особливостям і можливості використання в різних сферах науково-технічної і виробничої діяльності.

Об'єкти та методи дослідження

Основними параметрами п'єзоелектричних двигунів є частота обертання вала та механічний момент. Однак для більш широкого застосування п'єзодвигунів необхідно мати можливість керувати цими параметрами для приведення їх у відповідність з конкретними поставленими завданнями.

На характеристики п'єзодвигунів впливають такі «механічні» чинники, як кут прикладання сили до ротора, її величина, конструктивне розміщення ротора і статора відносно один одного, багатоеlementність конструкцій статора і ротора [2, 3]. Всі ці фактори закладені в конкретній конструкції п'єзодвигуна і вплив на них після реалізації конструкції практично неможливий. У зв'язку з цим для забезпечення можливості керування параметрами п'єзодвигуна, з метою їх спрямованої зміни або стабілізації, основним методом є керування сигналом збудження п'єзокерамічного резонатора [1, 4].

До найпростіших способів реалізації цього методу відносять так звані «одномірні», а саме частотні, амплітудні, фазові (згідно змінюваного параметру сигналу збудження) [1, 4].

При частотному способі керування (рис. 1) не завжди допустима зміна частоти в досить широких межах. Так як при цьому має місце деяке погіршення характеристик п'єзодвигуна: недовикористання по потужності, швидкості, поява акустичних шумів і т.д. Робоча частота зазвичай вибирається поблизу резонансної частоти п'єзокерамічного елемента, а інтервал зміни частоти сигналу збудження обмежений до 1,0-1,5%. Тому частотне керування швидкістю п'єзодвигуна можливе лише при істотних обмеженнях діапазонів відпрацювання навантажувальних, температурних та інших збурень і за умови допустимого погіршення характеристик двигуна.

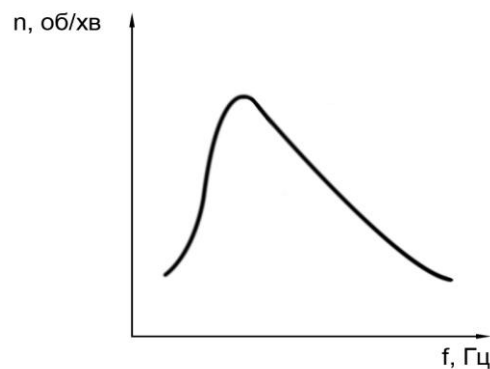


Рис. 1. Залежність кутової швидкості обертання ротора від частоти робочої напруги

Використання амплітудного способу керування параметрами п'єзодвигуна також має певні особливості й обмеження. Так, під час роботи п'єзодвигуна контактна лінія через збудження паразитних мод механічних коливань є викривленою і по суті являє собою сукупність дискретних контактних плям. Під час фрикційного контакту параметри резонансного контуру істотно змінюються: жорсткість п'єзодвигуна і частота резонансу збільшуються, збільшується і приведена маса механічної системи. Отже, параметри п'єзоелектричного двигуна є змінними і суттєво нелінійними. Певний вплив створює також і форма напруги збудження. Так, несинусоїдальна форма напруги може призвести до збудження вищих гармонік (паразитних коливань), що також впливає на параметри і показники роботи двигуна. Зазначені недоліки певною мірою можна усунути лише частково шляхом ускладнення автогенераторних схем.

Фазовий спосіб керування параметрами самостійного значення до теперішнього часу не набув і зазвичай використовується в сукупності з іншими способами, тобто при реалізації дуальних і багатовимірних способів керування [1]. Найбільш перспективними серед них є такі комбінації одновимірних способів:

- частотно-амплітудний; амплітудно-фазовий; фазочастотний.

У частотно-амплітудному способі керування при малих навантажувальних моментах залежність швидкості обертання вала від частоти напруги живлення має різко виражений резонансний характер. При цьому робоча точка вибирається на «робочому» схилі характеристики «швидкість-частота» і не повинна переходити на протилежний, щоб уникнути зміни знака зворотного зв'язку в автогенераторному контурі. Спосіб частотно-амплітудного керування забезпечує взаємопов'язаний вплив одночасно на частоту і амплітуду напруги збудження п'єзодвигуна так, що вплив на частоту випереджає вплив на амплітуду. Виникаюча при цьому небезпека порушення роботи системи при переході робочої точки на протилежний (неробочий) схил резонансної характеристики «швидкість-частота» попереджується тим, що виконується виявлення таких переходів та примусове повернення робочої точки на «робочий» схил характеристики. Даний спосіб забезпечує підвищену стабільність середньої і миттєвої швидкостей та розширення діапазону навантажувальних моментів при збереженні заданої стабільності швидкості обертання.

Амплітудно-фазовий спосіб може бути використаний для керування параметрами п'єзодвигуна, що має будь-яке розташування фазових характеристик. До його недоліків, як і у частотно-амплітудного

способу, відноситься відносна складність системи керування, пов'язана з необхідністю керувати одночасно амплітудою і частотою напруги збудження.

В фазочастотному способі вибір правого або лівого схилу характеристики «швидкість-частота» не має принципового значення [1]. Сигнал помилки тут формується, наприклад, по швидкості. З його допомогою керують фазовим кутом струму (напруги) пьезорезонатора, вимірюють кут зсуву фаз напруги (струму) живлення пьезорезонатора і сигналу, сформованого в процесі керування фазовим кутом струму (напруги) пьезорезонатора, формують фазовий сигнал помилки, і переміщують робочу точку в бік компенсації фазового сигналу помилки, змінюючи тільки робочу частоту.

Постановка завдання

Дуальні та багатовимірні способи керування параметрами п'єзодвигунів забезпечують досить високі якісні показники системи керування в сталих і перехідних режимах. Висока точність стабілізації параметрів п'єзодвигуна досягається в них взаємопов'язаною зміною тієї або іншої сукупності параметрів напруги збудження п'єзорезонатора. Ці способи особливо ефективні в умовах впливу на п'єзоелектричний двигун сильних навантажувальних і температурних збуджень [1].

Не зважаючи на ефективність багатовимірних способів, при їх реалізації виникає цілий ряд проблем, серед яких, перш за все, необхідно відзначити зміну пускового моменту на валу п'єзодвигуна, залежність діапазону регулювання частоти обертання від величини пускового моменту (обернено пропорційна) та складність схемотехнічних рішень.

Результати та їх обговорення

Вирішення цих проблем може бути частково досягнуто за рахунок використання так званої «амплітудно-імпульсної» модуляції сигналу збудження п'єзодвигуна. Виходячи з дискретно-безперервного принципу роботи п'єзокерамічного двигуна, був запропонований спосіб лінійного керування частотою обертання при збереженні пускового моменту [5]. Основною особливістю способу є те, що керування швидкістю обертання вала досягається шляхом перетворення випрямленої напруги живлення промислової мережі, наприклад, 220 В, 50 Гц, що надходить на генератор робочої напруги п'єзоелектричного двигуна (рис. 2).

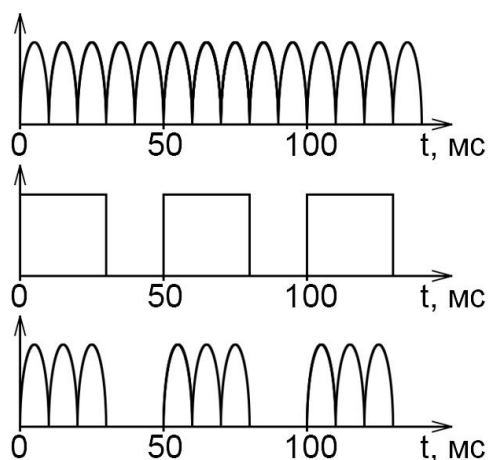


Рис. 2. Перетворення напруги живлення на основі керуючого імпульсу, період якого 50 мс, скважність 1, (б)

Контролювати швидкість обертання вала можливо завдяки подачі керуючих імпульсів регульованої скважності, причому функція залежності швидкості обертання вала п'єзодвигуна від коефіцієнта заповнення (величина, зворотна скважності) керуючих імпульсів є лінійною.

Запропонований спосіб був реалізований за рахунок амплітудної модуляції робочої напруги п'єзодвигуна, де модулюючим сигналом виступає напруга живлення системи частотою 50 Гц. Завдяки цьому на вхід п'єзокерамічного резонатора робоча напруга подається пакетами імпульсів, амплітуда яких змінюється згідно амплітуді синусоїдальної напруги живлення, а період пакета дорівнює півперіоду напруги живлення. Отже, двигун при надходженні кожного з пакетів плавно стартує і зупиняється, що дозволяє уникнути вібрацій звукової частоти (акустичних шумів), а також збільшує надійність роботи системи в цілому.

Система керування, параметрами п'єзодвигуна була побудована на мікроконтролері ATmega88. При тестуванні використовувалися керуючі імпульси з періодом 100 мс і коефіцієнтом заповнення від 20 до 100% з кроком 10%. При цьому було зафіксовано лінійну зміну частоти обертання від 20 до 100 об/хв відповідно (рис. 3а) при збереженні пускового моменту на рівні 4 н·м (рис. 3б). Максимальне відносне відхилення експериментальних результатів від очікуваних не перевищило 3% для частоти обертання і 2,5% для механічного моменту.

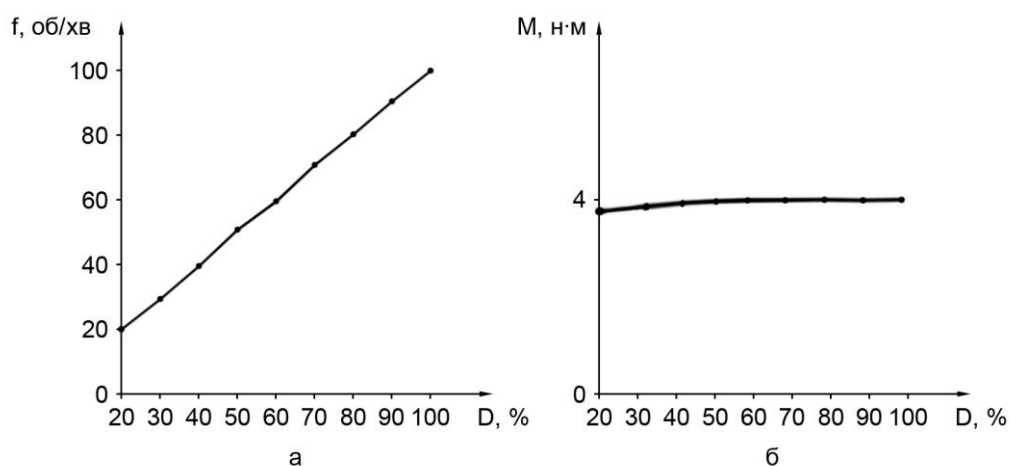


Рис. 3. Графіки залежності частоти обертання вала п'єзодвигуна і пускового моменту від коефіцієнта заповнення

Розглянутий підхід дозволяє в принципі реалізувати на його основі ще цілий ряд варіантів технічних рішень, наприклад, за рахунок «амплітудно-імпульсного» керування безпосередньо сигналом резонансної частоти, що надходять від генератора збудження на п'єзодвигун, використовуючи при необхідності більш високу частоту модулюючого сигналу, а можливо і іншу його форму. Привабливою є і та обставина, що при такому способі керування, як безпосередньо сам процес контролю частоти обертання вала п'єзодвигуна при сталості моменту на валу, так і стабілізація частоти обертання (за рахунок зворотного зв'язку на основі обробки інформації від датчиків), а також робота п'єзодвигуна за заданою частотною програмою, можуть бути досягнуті досить простими програмно-апаратними засобами. Однак, опрацювання цих варіантів вимагає проведення подальших досліджень у цьому напрямку.

Висновки

Проведений аналіз способів керування параметрами п'єзоелектричних двигунів показує, що, в даний час є достатньо широкий набір способів керування параметрами п'єзодвигунів, що володіють як суттєвими перевагами, так і певними недоліками. Очевидно, що вибір конкретного способу керування буде визначатися як конструктивно-технологічними параметрами самого п'єзодвигуна, так і вимогами до системи керування (діапазон регулювання, швидкість, простота реалізації, надійність). Видається, що підходи, запропоновані в даній роботі, судячи з отриманих результатів, знайдуть свій подальший розвиток і викличуть інтерес у широкого кола розробників та дослідників.

Список використаної літератури:

1. Лавриненко В. В. И др. Пьезоэлектрические двигатели. Лавриненко В. В., Карташев И. А., Вишневыский В. С. – М.: Энергия, 1980. 112 с. с ил.
2. Пат. 66632 Україна, МПК7 H02N 2/00, H01L 41/09. П'єзоелектричний двигун [Текст] / Коваль В.С., Лавріненко В.В., Тишко А., Хорунжий В.М.; власник патенту Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – №2003087665; заявл. 13.08.2003; опубл. 17.05.2004, бюл. №5.
3. Пат. 20182 Україна, МПК9 B81B 5/00, B81B 3/00. П'єзоелектричний двигун [Текст] / Коваль В.С., Лавріненко В.В., Левицький О.В.; власник патенту «Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – №4875084/SU; заявл. 15.10.1990; опубл. 25.12.1997, бюл. №6.
4. Ерофеев А.А. Пьезоэлектронные устройства автоматики. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 212 с., ил.
5. Заявка U201115690 Україна, МПК9 H02P. Спосіб керування частотою обертання п'єзокерамічного двигуна / Лавріненко В.В., Шорохов А.Є., Мірошніченко А.П.; заявник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».

Стаття надійшла до редакції 04.04.2012

Особенности управления параметрами пьезокерамических двигателей

Мирошніченко А.П., Шорохова А.Є.

Національний технічний університет України «КПІ»

Рассмотрены особенности схмотехнических способов управления параметрами пьезокерамических двигателей, предложен вариант управления, который позволяет изменять частоту вращения вала пьезодвигателя с сохранением пускового момента.

Ключевые слова: управления, пьезокерамических, пьезодвигателя.

Features of management parameters pzt ceramics of engines

Miroshnichenko A.P., Shorokhova A.E.

National Technical University of Ukraine «KPI»

The features of schematic ways to control piezoelectric motor parameters are considered, control option, which allows changing the rotation frequency of the piezomotor's shaft while maintaining starting torque, is proposed.

Keywords: control, piezoelectric, piezomotor's.