

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**ВІСНИК**  
**АГРАРНОЇ НАУКИ ПРИЧОРНОМОР'Я**  
Науковий журнал

*Виходить 4 рази на рік*  
*Видається з березня 1997 р.*

**Випуск 4 (92) 2016**

**Економічні науки**  
**Сільськогосподарські науки**  
**Технічні науки**

Миколаїв  
2016

**Засновник і видавець:** Миколаївський національний аграрний університет.

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ №19669-9469ПР від 11.01.2013 р.

Збірник включено до переліку наукових фахових видань України, затвердженого наказами Міністерства освіти і науки України від 13.07.2015 р. №747 та від 16.05.2016 р. №515.

**Головний редактор:** В.С. Шебанін, д.т.н., проф., чл.-кор. НААН

**Заступники головного редактора:**

І.І. Червен, д.е.н, проф.

І.П. Атаманюк, д.т.н., доц.

В.П. Клочан, к.е.н., доц.

М.І. Гиль, д.с.-г.н., проф.

В.В. Гамаюнова, д.с.-г.н., проф.

**Відповідальний секретар:** Н.В. Потриваєва, д.е.н., проф.

**Члени редакційної колегії:**

**Економічні науки:** О.В. Шебаніна, д.е.н., проф.; Н.М. Сіренко, д.е.н., проф.; О.І. Котикова, д.е.н., проф.; Джулія Олбрайт, PhD, проф. (США); І.В. Гончаренко, д.е.н., проф.; О.М. Вишневська, д.е.н., проф.; А.В. Ключник, д.е.н., проф.; О.Є. Новіков, д.е.н., доц.; О.Д. Гудзинський, д.е.н., проф.; О.Ю. Єрмаков, д.е.н., проф.; В.М. Яценко, д.е.н., проф.; М.П. Сахацький, д.е.н., проф.; Р. Шаундерер, Dr.sc.Agr. (Німеччина)

**Технічні науки:** Б.І. Бутаков, д.т.н., проф.; В.І. Гавриш, д.е.н., проф.; В.Д. Будаков, д.т.н., проф.; С.І. Пастушенко, д.т.н., проф.; А.А. Ставинський, д.т.н., проф.; А.С. Добишев, д.т.н., проф. (Республіка Білорусь).

**Сільськогосподарські науки:** В.С. Топіха, д.с.-г.н., проф.; Т.В. Підпала, д.с.-г.н., проф.; А.С. Патрєва, д.с.-г.н., проф.; В.П. Рибалко, д.с.-г.н., проф., академік НААН; І.Ю. Горбатенко, д.б.н., проф.; І.М. Рожков, д.б.н., проф.; І.П. Шейко, д.с.-г.н., професор, академік НАН Республіки Білорусь (Республіка Білорусь); С.Г. Чорний, д.с.-г.н., проф.; М.О. Самойленко, д.с.-г.н., проф.; Л.К. Антипова, д.с.-г.н., проф.; В.І. Січкарь, д.б.н., проф.; А.О. Лимар, д.с.-г.н., проф.; В.Я. Щербаков, д.с.-г.н., проф.; Г.П. Морару, д.с.-г.н. (Молдова)

Рекомендовано до друку вченою радою Миколаївського національного аграрного університету. Протокол № 11 від 29.11.2016 р.

Посилання на видання обов'язкові.

Точка зору редколегії не завжди збігається з позицією авторів.

**Адреса редакції, видавця та виготовлювача:**

**54020, Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9,**

**Миколаївський національний аграрний університет,**

**тел. 0 (512) 58-05-95, <http://visnyk.mnau.edu.ua>, e-mail: [visnyk@mnau.edu.ua](mailto:visnyk@mnau.edu.ua)**

© Миколаївський національний аграрний університет, 2016

## СИНТЕЗ СЛІДКУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ДВИГУНА

**Д. Ю. Шарейко<sup>1</sup>**, кандидат технічних наук, доцент

**І. С. Білюк<sup>1</sup>**, кандидат технічних наук, доцент

**А. М. Фоменко<sup>1</sup>**, доцент

**О. В. Савченко<sup>1</sup>**, інженер

**О. С. Кириченко<sup>2</sup>**, кандидат технічних наук, доцент

<sup>1</sup>Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

<sup>2</sup>Миколаївський національний аграрний університет

Розглянуто особливості функціонування слідкувальної системи на основі п'єзоелектричного двигуна. Проаналізовано структурну схему системи керування деформацією п'єзоперетворювача. Проведено дослідження абсолютної стійкості системи керування деформацією п'єзоперетворювача для нано- і мікропереміщень при детермінованих діях на основі критерію Якубовича. Отримано аналітичні вирази для синтезу слідкувальної системи керування на основі п'єзоелектричного двигуна з можливістю переходу від крокового режиму роботи до безперервного та навпаки.

**Ключевые слова:** слідкувальна система; система автоматичного керування; п'єзоелектричний двигун; абсолютна стійкість; критерій стійкості Якубовича; пристрій, що коригує.

**Постановка проблеми.** У різних галузях сучасної промисловості поширюється використання автоматичних електромеханічних пристроїв призначених для мікропереміщень об'єктів [1]. Одним з видів приводів таких пристроїв є п'єзоелектричні приводи, які дозволяють через пружні кінематичні механізми передавати вихідним ланкам системи рух з необхідними траєкторіями.

Системи мікропереміщень повинні мати високу точність, оскільки мінімальний крок зазвичай не перевищує 1% максимального ходу. Тому актуальним є питання синтезу слідкувальної системи на основі використання п'єзоелектричного двигуна з погляду можливості зміни режиму роботи від безперервного обертання до крокового переміщення.

У цьому випадку зміна величини кроку проводиться за рахунок зміни тривалості  $t_1$  керованого імпульсу живлення залежно від величини амплітуди вхідного сигналу розузгодження.

Величина цього кроку може змінюватися в значних межах (від сотень кутових градусів до одиниць кутових секунд).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми розрахунку систем мікропереміщень з п'єзоелектричними приводами розглядалися в [1, 2]. Проте в цих роботах досліджувалися часткові випадки, які не дають остаточного аналітичного виразу, що враховував би розв'язок суперечливих стосунків точності та стійкості системи автоматичного керування на основі п'єзоелектричних двигунів.

**Мета роботи** – отримання аналітичних виразів для синтезу слідкувальної системи на основі п'єзоелектричного двигуна з можливістю переходу від крокового режиму роботи до безперервного та навпаки.

**Викладення основного матеріалу.** Реверсивний п'єзоелектричний двигун в слідкувальних системах розглядається як два незалежні двигуни на загальному валу, кожний з яких незалежно від іншого здійснює обертання в свою сторону [2, 3]. На рис. 1 представлено блок-схему такої системи.

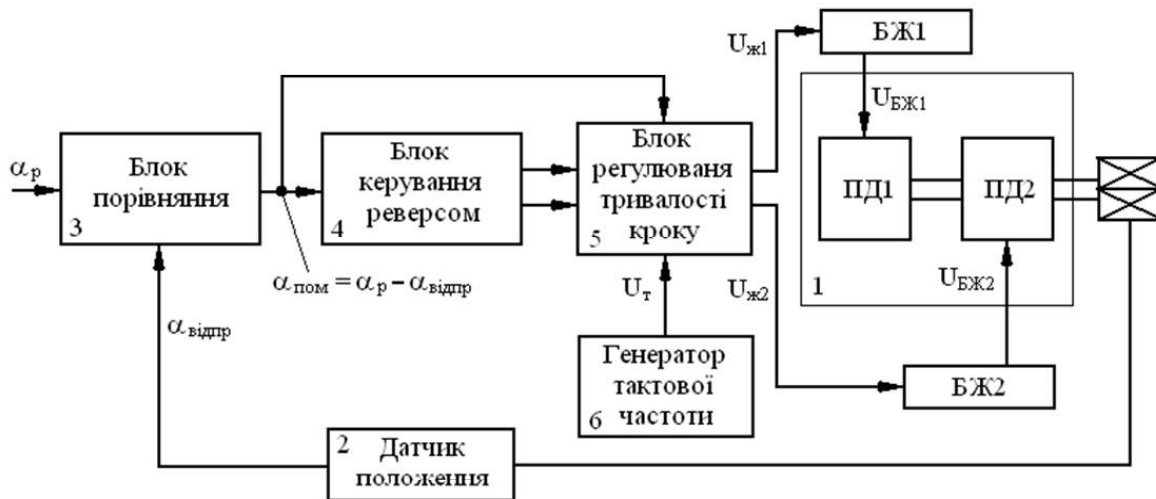


Рис. 1. Блок-схема слідкувальної системи на основі п'єзоелектричного двигуна

Система містить: п'єзоелектричний двигун 1 реверсивного обертання, представлений у вигляді двох незалежних п'єзоелектричних двигунів однонаправленого обертання ПД1 і ПД2 із загальним валом та їх блоками живлення БП1 і БП2 відповідно; датчик зворотного зв'язку 2 (наприклад оптичний датчик

кута); блок порівняння 3; блок управління реверсом 4; блок регулювання тривалості кроку 5; генератор тактової частоти 6.

Схема працює таким чином. Під час входу сигналу розузгодження  $\alpha_p$  в блок порівняння 3 на виході останнього формується сигнал помилки  $\alpha_{\text{пом}} = \alpha_p - \alpha_{\text{відпр}}$  (де  $\alpha_{\text{відпр}}$  – сигнал відпрацювання). Полярність сигналу, що поступає на блок 4, запускає відповідне плече двигуна. Поточна абсолютна величина сигналу  $\alpha_{\text{пом}}$  (визначена у момент тактових імпульсів  $U_T$ ), поступає на блок 5 та формує тривалість імпульсів живлення  $U_i$ , відповідного плеча п'єзоелектричного двигуна, тобто тривалість імпульсу живлення  $\tau_i$  є функція амплітуди сигналу  $\alpha_{\text{пом}}$ ,  $\tau_i = f(\alpha_{\text{пом}})$ .

Таким чином, на виході блоку 5 формується імпульс живлення, який на виході БЖ формує сигнал збудження  $U_{\text{БЖ}}$ , а двигун формує сигнал відпрацювання  $\alpha_{\text{відпр}}$ . При відпрацюванні сигналу розузгодження тривалість  $U_{\text{Ж}}$  зменшується до нуля, тобто  $\tau_{i1} > \tau_{i2} > \dots > \tau_{in}$ . П'єзоелектричний двигун в такій системі дозволяє здійснювати плавний перехід від режиму безперервного обертання до крокового. При цьому точність відпрацювання визначається мінімальним кутовим кроком для даної конструкції п'єзоелектричного двигуна і, в кращому випадку, складає одиниці кутових секунд, а в деяких конструкціях – і десяті долі.

Для системи керування п'єзоелектричним приводом знайдено безліч положень рівноваги при подовжньому або поперечному п'єзо ефекті. Визначено умови стійкості системи керування п'єзоелектричним приводом при подовжньому і поперечному п'єзо ефектах для детермінованих і випадкових дій [2].

На відміну від системи керування з однозначною нелінійністю, для якої стійкість положення рівноваги досліджується за допомогою критерію Попова [4], стійкість системи керування п'єзоелектричним приводом з гістерезисною нелінійністю і безліччю положень рівноваги оцінюється із застосуванням критерію стійкості Якубовича [2].

У системах автоматичного керування п'єзоелектричним приводом використовуються пристрій, що узгоджує, послідовний і паралельний пристрої, що коригують, посилювач потужності, який забезпечує необхідні напругу і струм для

живлення п'єзоперетворювача, датчики деформації, швидкості, прискорення, напруги, заряду, струму, механічної напруги п'єзоперетворювача. Для аналізу стійкості систем керування п'єзоелектричним приводом з гістерезисною нелінійністю використовується узагальнення, за якою в системі керування ланки системи трансформуються до двогістерезисної ланки нелінійної частини і ланки лінійної частини системи керування (рис. 2).

Дослідження абсолютної стійкості системи керування деформацією п'єзоперетворювача для нано- і мікропереміщень при детермінованих діях проведемо на основі критерію Якубовича, який є розвитком критерію абсолютної стійкості Попова. При описі системи використовуємо передавальну функцію лінійної частини системи  $W(p)$  і гістерезисну функцію  $S_3$  або  $S_1$  п'єзоперетворювача при подовжньому і поперечному п'єзоэффектах.

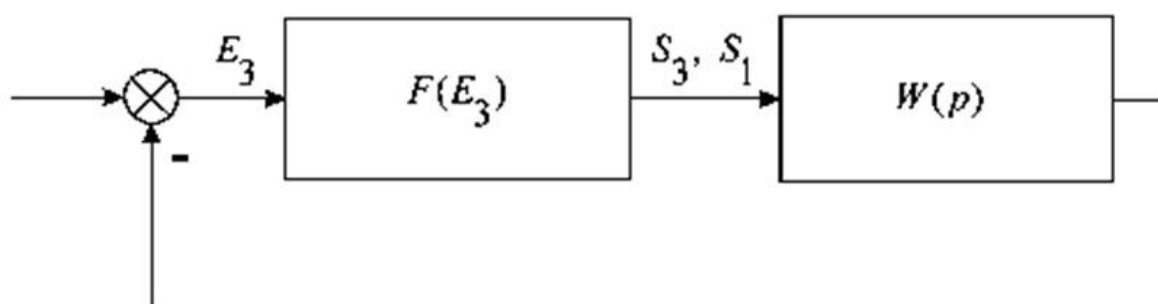


Рис. 2. Узагальнена структурна схема системи керування деформацією п'єзоперетворювача

Опис гістерезисної нелінійності п'єзоперетворювача при подовжньому п'єзоэффекті в загальному виді виглядає як

$$S_3 = F \left[ E_3 \Big|_0^t, t, S_3(0), \text{sign} \dot{E}_3 \right]. \quad (1)$$

Це означає, що значення функції  $S_3$  в кожен момент часу  $t$  залежить від поведінки напруженості електричного поля  $E_3$  на проміжку  $[0, t]$ , від  $t$ , початкового значення  $S_3(0)$  і знаку швидкості  $E_3$  зміни напруженості поля. При цьому  $S_3(0)$  повинно належати деякій додатково заданій безлічі  $L[E_3(0)]$ , яка залежить у загальному випадку від  $E_3(0)$ .

Розглянемо гістерезисну характеристику п'єзоперетворювача. Безліч  $L[E_3(0)]$  являє собою вертикальний відрізок  $[S_3^0, -S_3^0]$  – перетин осі ординат з петлею гістерезису, знятої при максимально допустимій напруженості поля в п'єзоперетворювачі (див. рис. 3).

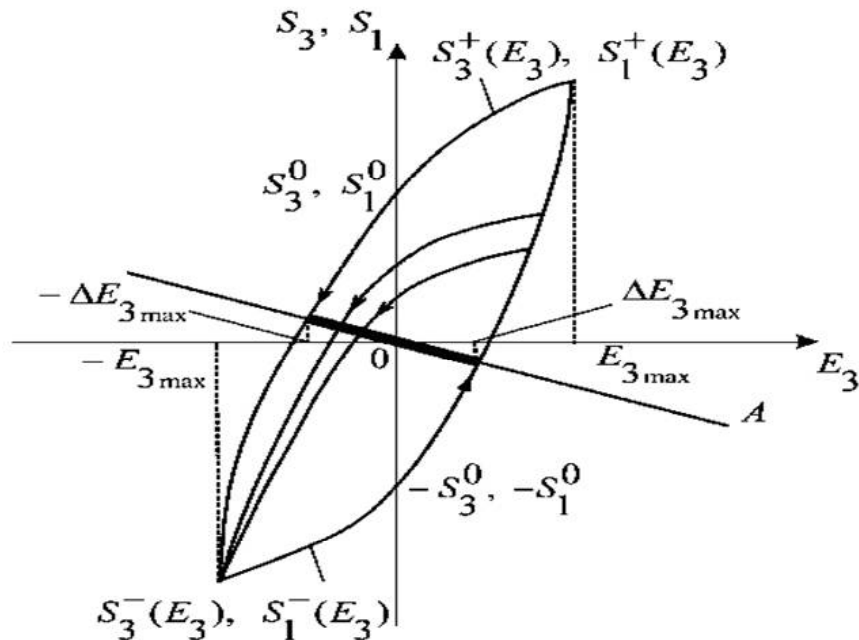


Рис. 3. Гістерезисна характеристика п'єзоперетворювача при подовжньому та поперечному п'єзоефекті

Знайдемо стаціонарну безліч системи керування деформацією п'єзоперетворювача при стійкій лінійній частині системи керування. На площині  $(E_3, S_3)$  проведемо пряму  $A$  з рівнянням  $E_3 + W(0)S_3 = 0$ , де  $W(0)$  – значення передавальної функції лінійної частини системи керування при  $p \rightarrow 0$ . Безліч точок  $M$  перетину цієї прямої з гістерезисною характеристикою являє собою відрізок прямої, який виділений на рис. 3.

Нехай  $E_{30}, S_{30}$  – стаціонарне рішення системи. Тоді отримуємо

$$E_{30} + W(0)S_{30} = 0 ; \quad (2)$$

$$S_3 = d_{33}E_3 - \gamma_{33}E_{3max} \left( 1 - \frac{E_3^2}{E_{3max}^2} \right)^{n_{33}} \text{sign} \dot{E}_3 , \quad (3)$$

де  $E_{3\max}$  – амплітуда напруженості електричного поля в п'єзоперетворювачі;  $\gamma_{33} = S_3^0 / E_{3\max}$  – залишковий гістерезис при подовжньому п'єзоєфекті за віссю 3;  $S_0$  – залишкова відносна величина статичної гістерезисної характеристики за віссю 3 при  $E_3 = 0$ ;  $n_{33}$  – ступеневий коефіцієнт, який визначається за формою гістерезисної кривої при подовжньому п'єзоєфекті.

Знайдемо ширину зони спокою  $2\Delta$ . Для визначення ширини зони спокою, підставляючи значення  $E_{30} = \Delta E_{3\max}$  отримаємо

$$\Delta E_{3\max} + W(0)S_3^-(\Delta E_{3\max}) = 0, \quad (4)$$

де  $\Delta$  – відносне значення напруженості електричного поля, що нормується за амплітудою напруженості в крайній точці рівноваги системи керування деформацією п'єзоперетворювача;  $S_3^-(\Delta E_{3\max})$  – значення відносної деформації  $S_3$  на висхідній гілці гістерезисної характеристики при  $E_3 > 0$  і  $E_{30} = \Delta E_{3\max}$ ;  $S_3^+(-\Delta E_{3\max})$  – значення відносної деформації  $S_3$  на низхідній гілці гістерезисної характеристики при  $E_3 < 0$  і  $E_{30} = -\Delta E_{3\max}$ .

Відповідно маємо

$$S_3^-(\Delta E_{3\max}) = d_{33}\Delta E_{3\max} - \gamma_{33}E_{3\max} \left( 1 - \frac{(\Delta E_{3\max})^2}{E_{3\max}^2} \right). \quad (5)$$

Після спрощення отримаємо вираз

$$S_3^-(\Delta E_{3\max}) = d_{33}\Delta E_{3\max} - \gamma_{33}E_{3\max} (1 - \Delta^2). \quad (6)$$

Підставляємо (6) в (4), отримуємо вираз

$$\Delta E_{3\max} + W(0)E_{3\max} [d_{33}\Delta - \gamma_{33}(1 - \Delta^2)] = 0 \quad (7)$$

Звідси маємо

$$\Delta + W(0)[d_{33}\Delta - \gamma_{33}(1 - \Delta^2)] = 0. \quad (8)$$



З виразу (8) отримаємо квадратне рівняння для визначення ширини зони спокою  $2\Delta$  п'єзоперетворювача при подовжньому п'єзоєфекті

$$\Delta^2 + \frac{(1 + W(0)d_{33})}{W(0)\gamma_{33}}\Delta - 1 = 0. \quad (9)$$

$$2\Delta = -\frac{(1 + W(0)d_{33})}{W(0)\gamma_{33}} + \sqrt{\frac{(1 + W(0)d_{33})^2}{W^2(0)\gamma_{33}^2} + 4}. \quad (10)$$

Отже, ширина зони спокою при подовжньому п'єзоєфекті Аналогічно отримуємо опис гістерезисної характеристики п'єзоперетворювача при поперечному п'єзоєфекті

$$S_1 = d_{31}E_3 - \gamma E_{3\max} \left(1 - \frac{E_3^2}{E_{3\max}^2}\right)^{n_{31}} \text{sign} \dot{E}_3, \quad (11)$$

де  $\gamma_{31} = S_1^0 / E_{3\max}$  – це залишковий гістерезис при поперечному п'єзоєфекті за віссю 1;  $S_1^0$  – залишкова відносна величина статичної гістерезисної характеристики за віссю при  $E_3 = 0$ ;  $n_{31}$  – ступеневий коефіцієнт, який визначається формою гістерезисної кривої при поперечному п'єзоєфекті.

Аналогічно ширина зони спокою при поперечному п'єзоєфекті при  $n_{31} = 1$  має вигляд

$$2\Delta = -\frac{(1 + W(0)d_{31})}{W(0)\gamma_{31}} + \sqrt{\frac{(1 + W(0)d_{31})^2}{W^2(0)\gamma_{31}^2} + 4}. \quad (12)$$

Функція  $S_3$  гістерезисної нелінійності п'єзоперетворювача при подовжньому п'єзоєфекті непереривна, причому

$$v_{133}, v_{233} \in [0, v_{33}], \quad v_{33} = \max[dS_3/dE_3]. \quad (13)$$

Величини  $v_1$  і  $v_2$  визначаємо за гістерезисною статичною характеристикою при подовжньому п'єзоєфекті, яка виміряна при максимально допустимій напруженості електричного поля в п'єзоперетворювачі, де  $v_{133} = 0$  і  $v_{233} = v_{33}$  – відповідно міні-

мальне і максимальне значення тангенса кута нахилу дотичної до гістерезисної нелінійності.

Гістерезисна петля п'єзоперетворювача для п'єзопривода нано- і мікропереміщень обходиться проти годинникової стрілки. Відношення тангенсів кута нахилу дотичної до гістерезисної нелінійності п'єзоперетворювача при подовжньому і поперечному п'єзоэффектах пропорційне відношенню відповідних п'єзомодулей

$$\frac{v_{33}}{v_{31}} = \frac{d_{33}}{d_{31}}. \quad (14)$$

Позначимо величину  $v$ , яка відповідає максимальному значенню тангенса кута нахилу дотичної до нелінійної характеристики п'єзоперетворювача,  $v_{33}$  або  $v_{31}$  при подовжньому і поперечному п'єзоэффектах.

Тоді достатні умови абсолютної стійкості системи керування деформацією п'єзоперетворювача мають вигляд

$$\operatorname{Re} vW(j\omega) \geq -1, \quad (15)$$

де  $j$  – уявна одиниця,  $\omega$  – частота.

На рис. 4 на комплексній площині наведено амплітудно-фазові частотні характеристики для частотної передавальної функції  $vW(j\omega)$ , для двох видів кривих, для яких виконуються умови стійкості і не виконуються умови стійкості абсолютної стійкості системи керування деформацією п'єзоперетворювача. Частотний критерій абсолютної стійкості простий і зручний для синтезу пристроїв, що корегують, систем керування деформацією п'єзоперетворювача для нано- і мікропереміщень. Необхідно відзначити, що частотний критерій абсолютної стійкості безлічі положень рівноваги в нелінійній системі з однією гістерезисною нелінійністю п'єзоперетворювача справедливий для систем як з детермінованими, так і з випадковими діями, як із зосередженими, так і з розподіленими параметрами.

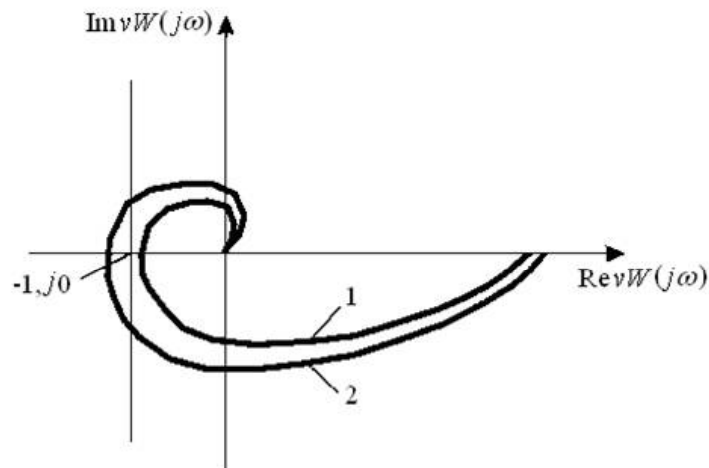


Рис.4. Критерій абсолютної стійкості системи керування на площині:  
 1 – виконуються умови та 2 – не виконуються умови абсолютної стійкості

Розглянемо геометричну інтерпретацію критерію стійкості при поперечному п'єзоєфекті. На рис. 5 представлено криву вибору пристрою, що коригує, за критерієм абсолютної стійкості системи керування деформацією п'єзоперетворювача.

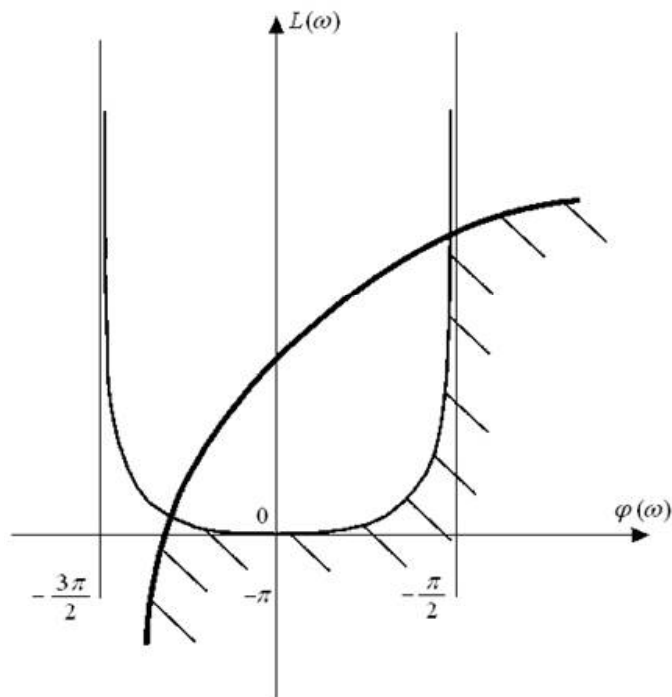


Рис. 5. Крива вибору пристрою, що корегує, за критерієм абсолютної стійкості системи керування деформацією п'єзоперетворювача

Амплітудно-фазова характеристика розімкненої системи  $v_{31}W(j\omega)$  повинна бути для всіх  $\omega \geq 0$  розміщена праворуч

прямої  $\operatorname{Re} v_{31} W(j\omega) = -1$ . Критерій абсолютної стійкості системи на площині логарифмічної амплітудної частотної характеристики і фазової частотної характеристики розімкненої системи  $v_{31} W(j\omega)$  в декартовій системі координат  $L(\omega) = Q[\varphi(\omega)]$ , де  $L(\omega) = 20 \lg |v_{31} W(j\omega)|$  – логарифмічна амплітудна частотна характеристика,  $\varphi(\omega)$  – фазова частотна характеристика, формулюється наступним чином: для абсолютної стійкості системи досить, щоб логарифмічна амплітудна частотна характеристика  $L(\omega) = Q[\varphi(\omega)]$  розімкненої системи керування п'єзоперетворювачем (заштрихована характеристика) для всіх  $\omega \geq 0$  розміщувалась нижче за граничну криву  $L(\omega) = 20 \lg |1/\cos\varphi|$  (рис. 5). Заштрихована область для скорегованої характеристики  $L(\omega)$  при  $v = v_{31}$  відповідає скоректованій амплітудно-фазовій частотній характеристиці для частотної передавальної функції  $vW(j\omega)$  на рис. 4, яка не перетинає на комплексній площині вертикальну лінію  $\operatorname{Re} vW(j\omega) = -1$ . При введенні в систему пристрою, що коригує, який певним чином деформує амплітудну частотну характеристику лінійної частини системи керування деформацією п'єзоперетворювача для п'єзопривода нано- і мікропереміщень, частотний критерій абсолютної стійкості буде виконуватися.

Безліч положень рівноваги системи керування деформацією п'єзоперетворювача при подовжньому або і поперечному п'єзоефекті стійкі, якщо виконуються отримані умови на похідну гістерезисної характеристики при максимальній напруженості електричного поля в п'єзоперетворювачі.

**Висновки.** У роботі розглянуто питання стійкості слідкувальної системи на основі п'єзоелектричного двигуна. Отримано умови абсолютної стійкості системи керування деформацією п'єзоперетворювача, які дозволяють проводити синтез слідкувальних систем з п'єзоелектричним приводом та враховувати особливості переходу двигуна від крокового режиму до безперервного та навпаки.

Список використаних джерел:

1. Смирнов А. Б. Мехатроника и робототехника. Системы микроперемещений с пьезоэлектрическими приводами [Текст] / А.Б. Смирнов – С.-П. : СПбГПУ, 2003. – 160 с.
2. Афонин С. М. Исследование абсолютной устойчивости системы управления деформацией пьезопреобразователя для нано- и микропреобразователей [Текст] / С. М. Афонин // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – N 1. – С. 10-16.
3. Слідкувальна система на основі п'єзоелектричного двигуна [Текст] / Д.Ю.Шарейко, І.С. Білюк, А.М. Фоменко, О.В. Савченко // Сучасні проблеми автоматики та електротехніки : матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції. м. Миколаїв, 21-22 квітня 2016 року – С. 15 – 17.
4. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування / М.Г. Попович, О.В. Ковальчук – К. : Либідь, 2007. — 656 с.

*Д. Ю. Шарейко, І. С. Білюк, А. Н. Фоменко, О. В. Савченко, А. С. Кириченко. **Синтез слідящої системи на основі пьезоелектричного двигателя.***

*Рассмотрены особенности функционирования следящей системы на основе пьезоэлектрического двигателя. Проанализирована структурная схема системы управления деформацией пьезопреобразователя. Проведено исследование абсолютной устойчивости системы управления деформацией пьезопреобразователя для нано- и микроперемещений при детерминированных воздействиях на основе критерия Якубовича. Получены аналитические выражения для синтеза следящей системы управления на основе пьезоэлектрического двигателя с возможностью перехода от шагового режима работы к непрерывному и наоборот.*

**Ключевые слова:** *следящая система; система автоматического управления; пьезоэлектрический двигатель; абсолютная устойчивость; критерий устойчивости Якубовича; корректирующее устройство.*

*D. Shareiko, I. Bilyuk, A. Fomenko, O. Savchenko, A. Kirichenko. **Synthesis of the follow-up system based on the piezoelectric engine.***

*The peculiarities of the way the follow-up system based on the piezoelectric engine functions are considered. The functional chart of the control unit of the deformation of the piezoelectric transducer is analyzed. The research has been done on the absolute stability of the control unit of the deformation of the piezoelectric transducer for nano- and micro displacements under deterministic impacts based on criterion of Yakubovitch. Analytic formulae have been obtained for the synthesis of the follow-up control system based on the piezoelectric engine with the ability to change from step running to continuous operation and back.*

**Key words:** *follow-up system; automatic control unit; piezoelectric engine; absolute stability; stability criterion of Yakubovitch; compensating device.*

## ЗМІСТ

### ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ

- Н. В. Потриваєва, І. В. Агеєнко.** Забезпечення матеріально-технічними ресурсами в системі управління підприємством. 3
- О. М. Вишневська, О. О. Христенко.** Індикатори формування економічної безпеки держави ..... 12
- І. В. Гончаренко, А. Ю. Козаченко.** Експорт аграрної продукції регіону в контексті глобальних тенденцій..... 23
- О. Д. Витецька, А. В. Виборна.** М'які батарейки із відходів деревини як інноваційне джерело енергії..... 33
- Ю. А. Кормишкін.** Систематизація та класифікація елементів бізнес-інфраструктури аграрного підприємництва ..... 41
- С. О. Горбач.** Особливості інституціонального забезпечення регіонального ринку праці ..... 51
- О. А. Боднар.** Інституційне забезпечення сільського розвитку. .... 61
- О. С. Альбеценко.** Нормативно-правове забезпечення екологічної політики держави. .... 70

### СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ НАУКИ

- В. В. Базалій, Є. О. Домарацький, А. В. Добровольський.** Агротехнічний спосіб пролонгації фотосинтетичної діяльності рослин соняшнику ..... 77
- М. М. Корхова, О. А. Коваленко, А. В. Шепель.** Оцінка енергетичної ефективності вирощування пшениці м'якої озимої залежно від строків сівби та норм висіву насіння. .... 85
- Т. В. Сахно, В. П. Петренкова.** Вміст фенольних сполук та морфометричні показники у зразків-диференціаторів соняшнику за умов ураження вовчком..... 92
- В. Г. Кушнеренко, М. В. Шугаєва.** Ріст молодняку свиней як один з основних показників продуктивності..... 101
- Є. М. Алхімов, В. Ю. Шевченко, С. І. Пентилюк.** Гематологічні особливості ремонтних цьоголіток осетроподібних риб (*ACIPENSERIFORMES*) ..... 106

**Є. М. Зайцев.** Співвідносна мінливість селекційних ознак  
молочної худоби голштинської породи ..... 114

## **ТЕХНІЧНІ НАУКИ**

**V. Havrysh, M. Shatohin.** Alternative fuels and effect on  
agricultural machines' efficiency ..... 121

**V. Hruban'.** Development of compositional scheme of  
technological module for corn-harvesting ..... 128

**Д. В. Бабенко, О. А. Горбенко, Н. А. Доценко, Н. І. Кім.**  
Дослідження засобів механізації отримання насіння овоче-  
баштанних культур..... 137

**О. С. Садовой.** Сравнительный анализ массостоймых  
показателей однофазных трансформаторов и реакторов с  
прямоугольными и шестигранными сечениями стержней  
стержневого витого магнитопровода..... 143

**Д. Ю. Шарейко, І. С. Білюк, А. М. Фоменко,  
О. В. Савченко, О. С. Кириченко.** Синтез слідкувальної  
системи на основі п'єзоелектричного двигуна ..... 154