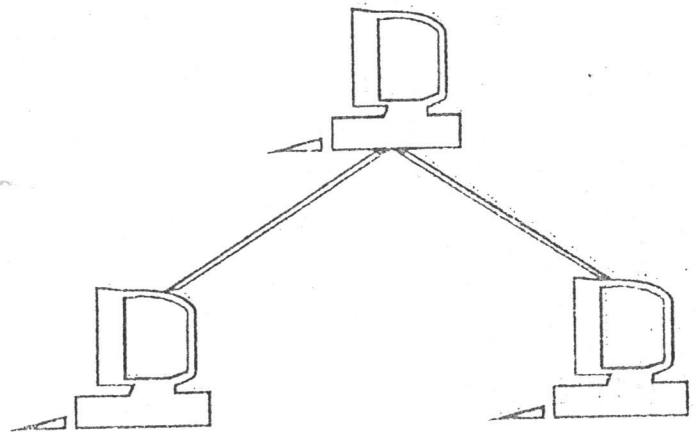


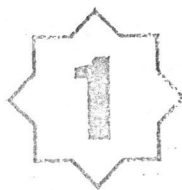
ISBN 5-7763-4405-0

# ВТОМАТИЗАЦІЯ

ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ  
ТА ПРОМИСЛОВА ЕКОЛОГІЯ



НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК



КИЇВ 1997

Необхідно відмітити, що в сталому режимі роботи вихідний сигнал має періодичну складову, яка обумовлена роботою пульсуючого подільника. Вона може бути зменшена шляхом підключення до входу перетворювача дроселя або інерційного елемента, наприклад, пневматичного вторинного приладу чи пневмоперетворювача.

Підконтрольна експлуатація системи вимірювання об'ємних витрат газових викидів, до складу якого входить розглянутий перетворювач, показала високу надійність та працездатність. На протязі року експлуатації метрологічні характеристики практично не змінилися. Перетворювач володіє відтворюваністю вимірювальної інформації та стабільністю роботи.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кулаков Н.В. Технологические измерения и приборы для химических производств. - М.: Машиностроение, 1983. - 174 с.
2. Урядников А.Б., Тищук В.В. Метод измерения малых разрежений в трубах газовых выбросов /Контроль и управление в технологических системах: Тез. Докл. НТК стран СНГ. Винница, 1992. - С.177.
3. Измерения в промышленности. Справочник. Изд. в 3-х кн. Кн.2. Способы измерения и аппаратура. Пер. с нем./Под ред. Профоса П. -М.: Металлургия, 1990. - 270 с.
4. Нагорный В.С., Денисов А.А. Устройства автоматики и гидropневмосистем. -М.: Высш.шк., 1991.

УДК 621.317.39:531.7

#### НОВИЙ СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

В.О.Поджаренко (д.т.н.), В.Ю.Кучерук, А.С.Гоменюк

Вінницький учбово-науковий центр "Паллада"

Момент інерції ротора електричних машин (ЕМ) є одним з важливих параметрів, який визначає її динамічні властивості [1]. Але в довідниках по ЕМ він не завжди вказується. Окрім того, у відповідності з ГОСТ 16264.0-85 момент інерції ротора може мати великі технологічні відхилення від номінального значення (до  $\pm 10\%$ ).

При проектуванні різноманітних електроприводів і систем автоматики розробників ЕМ цікавлять і наочні значення моментів інерції ЕМ (а іноді й у зборі з виконавчими механізмами), оскільки вони визначають швидкодію та тепловий режим роботи ЕМ. Визначити момент інерції ротора чи рухомої частини можна розрахунками та експериментальним шляхом.

Розрахунки моменту інерції ЕМ є кропітливим і трудомістким через неоднорідності матеріалів та складної геометричної форми ротора ЕМ. Вони не відрізняються високою точністю й використовуються рідко.

Експериментально момент інерції визначається багатьма методами [2]. ГОСТ 11828-86 передбачає три методи визначення моменту інерції: метод допоміжного маятника, метод самогальмування, а також метод крутильних коливань.

Недоліком методу допоміжного маятника є недостатня точність, котра за-

лежить від точності визначення центру ваги маятника від осі обертання, оскільки при цьому повинна бути врахована маса важеля.

Недоліком методу допоміжного маятника є недостатня точність, котра залежить від точності визначення центру ваги маятника від осі обертання, оскільки при цьому повинна бути врахована маса важеля.

Ротор повинен бути добре відбалансованим, так як його невірноваженість спотворює результати вимірів. При використанні метода крутильних коливань ротор підвішують на пружній дротині й приводять у крутильний коливний рух. При цьому визначається період малих коливань, який далі порівнюється з періодом коливань еталонного тіла з відомим моментом інерції. Стандарт вимагає, щоби перед дослідом ротор був відбалансованим, а точка підвісу знаходилася точно на осі обертання.

Якщо точка підвісу буде зміщена з осі обертання, то підвищується похибка визначення моменту інерції. До основних недоліків цього методу слід віднести: необхідність розбирання ЕМ і значна трудоемкість проведення дослідів. Метод самогальмування, котрий рекомендований ГОСТ 11828-86, вимагає попереднього визначення механічних втрат (наприклад, з дослідів холостого ходу). Недоліком цього методу є те, що механічні втрати визначаються як константа, коли в дійсності вони є функцією від кутової швидкості. Це обумовлює низьку точність визначення моменту інерції ЕМ методом самогальмування.

Авторами запропонований спосіб визначення моменту інерції та моменту механічних втрат у функції кутової швидкості. Необхідною передумовою способу є наявність зразкового моменту інерції, виконаного у вигляді тіла обертання, наприклад, диску чи циліндра. Зразковий момент інерції, який реалізується за допомогою міри моменту інерції, визначають за його геометричними та ваговими параметрами.

На вихідний кінець валу ЕМ установлюють міру моменту інерції і вмикають ЕМ в електричну мережу. Після закінчення перехідного процесу ЕМ вмикають і в процесі її самогальмування реєструють кутову швидкість  $\omega_r$ . Реєстрацію кутової швидкості в режимі самогальмування проводять також при відімкненій мірі моменту інерції.

Рівняння руху ЕМ відповідно без міри та з мірою в режимі самогальмування мають вигляд:

$$0 = M_0(\omega_r) + M_{BC}(\omega_r) + [J(\omega_r) + J_{BC}(\omega_r)]\varepsilon_{r1}(\omega_r);$$

$$0 = M_0(\omega_r) + M_{BC}(\omega_r) + [J(\omega_r) + J_{BC}(\omega_r) + J_3(\omega_r)]\varepsilon_{r2}(\omega_r).$$

(1)

де  $M_0$  - момент механічних втрат ЕМ;  $M_{BC}$  - момент механічних втрат вхідного валу вимірювальної системи (ВС);  $J$  - момент інерції ротора ЕМ;  $J_{BC}$  - момент інерції вхідного валу ВС;  $J_3$  - величина моменту інерції, що відтворюється мірою;  $\varepsilon_{r1}$ ,  $\varepsilon_{r2}$  - кутове прискорення самогальмування ЕМ без міри та з мірою відповідно.

Виконання двох експериментів самогальмування з мірою  $J_3$  і без неї, враховуючи запропоновану методику, дозволяє розв'язати систему рівнянь (1), в якій невідомими параметрами є  $M_0$  та  $J$ .

Систему рівнянь запишемо у вигляді:

$$\begin{aligned}
 -M_0 - J\varepsilon_{r1} &= J_{BC}\varepsilon_{r1} + M_{BC}; \\
 -M_0 - J\varepsilon_{r2} &= (J_{BC} + J_3)\varepsilon_{r2} + M_{BC}.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Оскільки  $J_{BC} \ll J$  і  $M_{BC} \ll M_0$ , то значеннями  $J_{BC}$  і  $M_{BC}$  можна знехтувати. Тоді система рівнянь (2) прийме вигляд:

$$\begin{aligned}
 -M_0 - J\varepsilon_{r1} &= J_{31}\varepsilon_{r1}; \\
 -M_0 - J\varepsilon_{r2} &= J_{32}\varepsilon_{r2}.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

З рівнянь (3) знаходимо:

$$M_0 = \frac{\varepsilon_{r1}\varepsilon_{r2}J_3}{\varepsilon_{r1} - \varepsilon_{r2}}; \quad J = \frac{J_3\varepsilon_{r1}}{\varepsilon_{r2} - \varepsilon_{r1}}.
 \tag{4}$$

Для реалізації процесу розроблений випробувальний стенд. Міра моменту інерції з'єднується з валом ЕМ через обгонну муфту. При обертанні ЕМ в одну сторону обгонна муфта входить у зацімлення з мірою і ЕМ навантажується. При обертанні ЕМ в іншу сторону обгонна муфта не зацімлюється з мірою і ЕМ обертається без зразка.

Основними елементами каналу вимірювання кутової швидкості (рис.1) для вимірювальної системи, реалізованої на базі персонального комп'ютера IBM PC AT, є: об'єкт вимірювання (ОВ), муфта сполучення (МС), міра моменту інерції (ММІ), сенсор кутової швидкості (СКШ) і вимірювальна схема кутової швидкості.

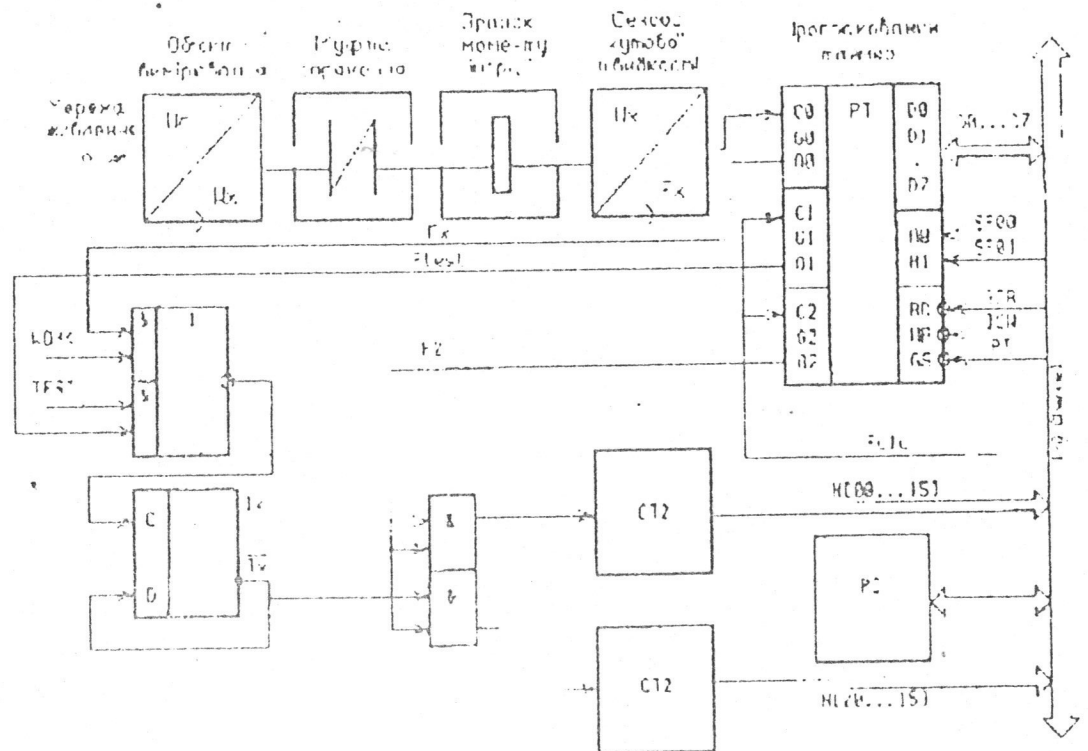


Рис. 1. Структурна схема установки для вимірювання моменту інерції.

Функціональне програмне забезпечення інформаційно-вимірювальної системи вміщує в собі такі основні елементи: драйвер зв'язку з вимірювальним каналом  $\omega_r$ , процедура фільтрації результатів вимірювань, диференціювання  $\omega_r$  і графічного відображення результатів вимірювань.

При реалізації запропонованого способу визначення моменту  $J$  виникає задача диференціювання сигналу  $\omega_r(t)$ . Складність цієї задачі полягає в тому, що сигнал  $\omega_r(t)$  вимірюється з певними випадковими похибками, які можуть привести до розбігу значень диференційованого  $\dot{\omega}_r(t)$ . Тому перед диференціюванням необхідно проводити згладжування  $\omega_r(t)$ .

Найбільш простими та ефективними алгоритмами для згладжування  $\omega_r(t)$  є алгоритми на основі апроксимуючих сплайнів і поліномів [4].

Для вибору одного з них проведено їх детальне дослідження за допомогою програмного пакету NUMERI. Аналіз показав, що апроксимуючі сплайни можуть повторювати похибки квантування, а при використанні згладжуючих поліномів отримується більш загальна (усереднена) характеристика для  $\omega_r$ . Це є важливим, так як для визначення моменту  $J$  потрібне подальше диференціювання функції  $\omega_r(t)$ , котре супроводжується розкидом кривої  $\dot{\omega}_r(t)$ . Показано, що для згладжування достатньо використати поліном третього порядку.

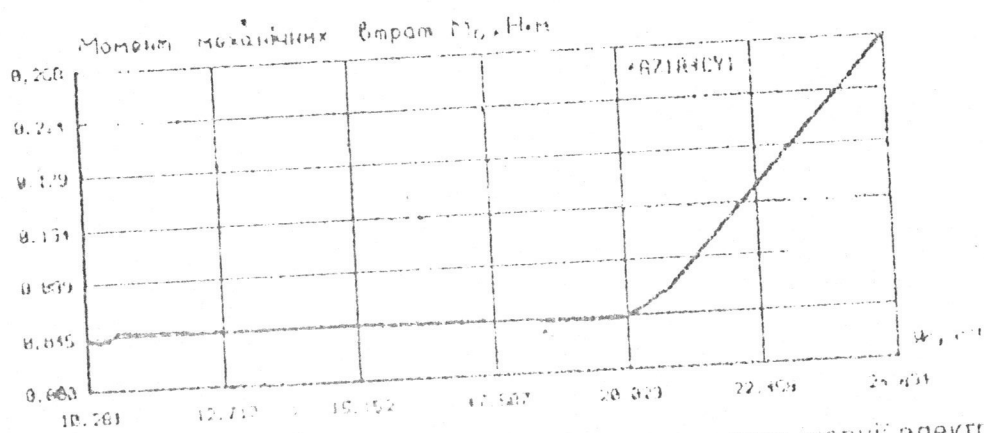
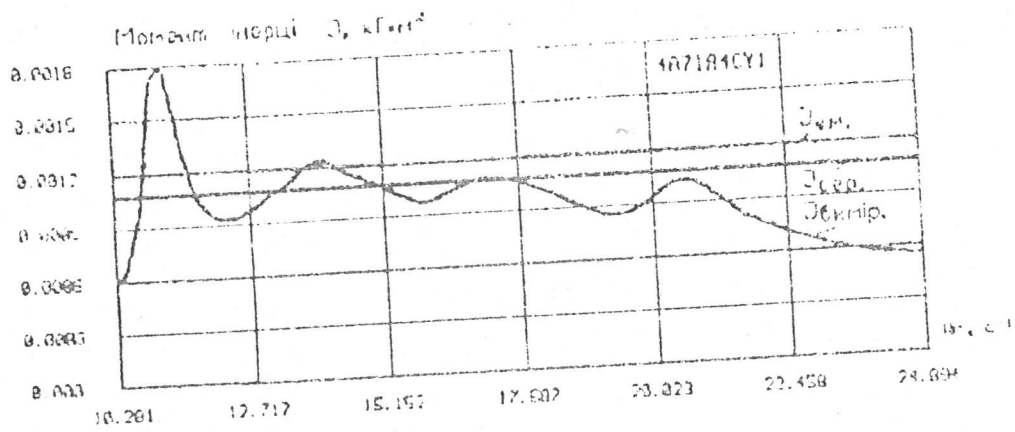


Рис 2. Результати експериментальних досліджень моменту інерції електричних машин.

Реалізована інформаційно-вимірювальна система дозволила в автоматич-

зованому режимі провести експериментальні дослідження (рис.2), в результаті яких встановлено: тривалість вимірювань з урахуванням часу обробки результатів вимірювань не перевищує 5 хв. (до 4 хв. загального часу припадає на згладжування та диференціювання функції  $\omega_r$ ); реалізація тестового режиму у вимірювальному каналі ВС дозволила постійно контролювати похибки вимірювання кутової швидкості.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Потапов Л.А., Зотин В.Ф. Испытания микроэлектродвигателей в переходных режимах. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 104 с.
2. Гернет М.М., Ратобильский В.Ф. Определение моментов инерции. - М.: Машиностроение, 1985 - 248 с.
3. Поджаренко В.О., Гоменюк А.С., Кучерук В.Ю. Спосіб визначення приведеного моменту інерції механізмів і пристрій для його реалізації. /Позитивне рішення на видачу патенту України за заявкою І 93040377 від 23.01.95р.
4. Шлюфер Е. Обработка сигналов: цифровая обработка дискретизованных сигналов. /За ред. В.П.Бабака. - К.: Либідь, 1992. - 296 с.

УДК 669.018.621

### СТАБІЛІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ТОНКОПЛІВКОВИХ РЕЗИСТОРІВ

О.М.Іванов, О.П.Арушанов

Севєродонецький технологічний інститут

Тонкоплівкові резистори широко використовуються у плівкових і гібридних мікросхемах. Удосконалення технології їх виробництва, підвищення точності та стабільності основних характеристик - необхідна умова створення високоякісної електронної апаратури [1].

У типовій технології тонкоплівкових резисторів широко застосовуються матеріали складного складу, наприклад, кермети. Необхідність використання вибухового випарювання при напорошенні плівок призводить до недостатньо високого відтворення та стабільності електричних параметрів резисторів.

Вплив високотемпературного відпалу й технологічного старіння на параметри тонкоплівкових резисторів розглядається в даній роботі.

Резистори виготовлялися методом вибухового випарювання порошка кермета К-20С на установці вакуумного напорошення УВН 71 ПЗ з наступною фотолітографією та травленням. Контактні площинки формувалися термічним напорошенням алюмінію. Електричний опір вимірювався приладом Щ-31 з точністю 0,01%.

Спочатку досліджувалась зміна коефіцієнта відпалу  $K_B$  та температурного коефіцієнта опору (ТКО) у процесі відпалу на повітрі при температурі 350° С. Коефіцієнт відпалу визначався за формулою:

$$K_s = \frac{R - R_B}{R_B}$$

де  $R$  - початковий опір;  $R_B$  - опір після відпалу.

Результати експерименту показані на рис.1.