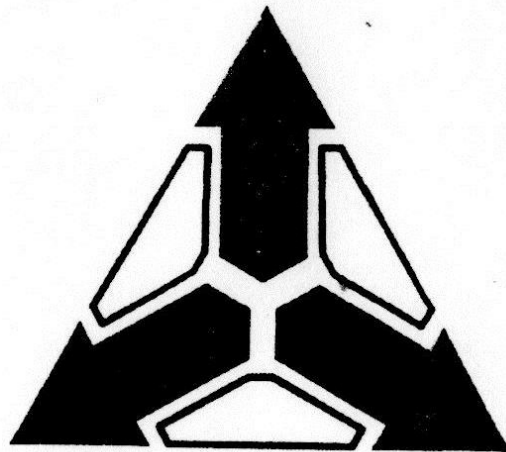


Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах



**Збірник наукових праць
випуск №3 (1999)**

**За результатами
VI науково - технічної конференції
“Вимірювальна та обчислювальна техніка
в технологічних процесах”**

(27-29 травня 1999 р., м. Хмельницький)

Хмельницький 1999

$N_{\text{mod}(p+1)}$, а потім, у залежності від його значення, формується відповідна форма р-коду, яка і записується в пам'ять. Структурна схема пристрою, що здійснює кодування даних у залежності від коду адреси, наведена на рис.2.

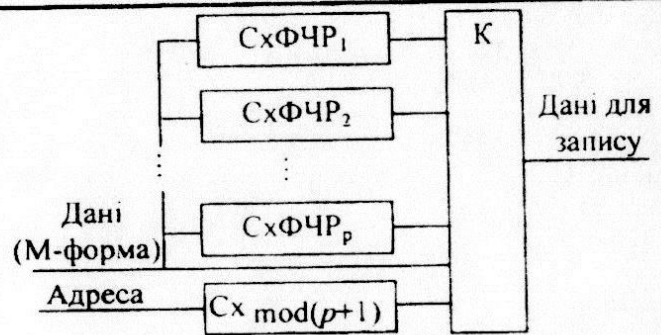


Рис.2. Структурна схема кодуючого пристрою

При зчитуванні даних з пам'яті реалізується така ж процедура, як при виправленні пакета помилок у коді з подвоєнням М-форми. У випадку $N_{\text{mod}(p+1)} \neq 0$ відрізняються тільки ознаки порушення відповідної форми коду.

УДК 621.317.12

ВИМІРЮВАННЯ КУТОВИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗКОНТАКТНИХ СЕЛЬСИНІВ

В.Я. Суп'ян, А.В. Рудик, І.В. Барановський

На сучасному етапі технічного розвитку безконтактні сельсини широко використовуються в різних вимірювальних та інформаційних технічних системах для вимірювання кутових переміщень [1].

Відомим методом вимірювання кутових переміщень є використання РС-кола, що перетворює кут у фазу, з подальшим перетворенням фаза – код [1]. Недоліком цього методу є високі вимоги до параметрів напруги живлення сельсинів. Якщо сельсини працюють в індикаторному режимі, то вони споживають більшу потужність, їх живлення відбувається від силового кола. Але прецизійне джерело високої потужності підвищує вартість системи.

В роботі [2] пропонується амплітудний метод вимірювання кутових переміщень (рис.1). Амплітуди фазних напруг $u_1(t)$, $u_2(t)$ та $u_3(t)$ залежать від кута повороту ротора сельсина α відносно статора, тобто:

$$\begin{cases} u_1(t) = k_{mp} U_m \cos \alpha \cdot \sin(\omega t + \varphi); \\ u_2(t) = k_{mp} U_m \cos(\alpha + 120^\circ) \cdot \sin(\omega t + \varphi); \\ u_3(t) = k_{mp} U_m \cos(\alpha + 240^\circ) \cdot \sin(\omega t + \varphi); \end{cases} \quad (1)$$

де $k_{mp} = M/L$ - коефіцієнт трансформації сельсина; M - амплітуда взаємної індуктивності між статорними та роторною обмотками; φ - початкова фаза напруги живлення роторної обмотки.

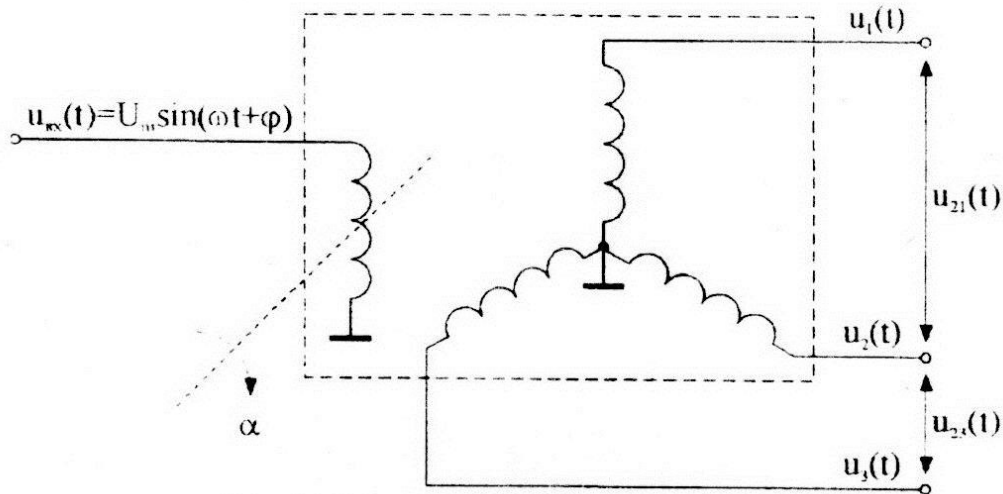


Рис. 1. Електрична схема сельсина

Кут повороту ротора сельсина α відносно статора можна визначити, вимірявши амплітуду (або миттєві значення) фазних напруг і розв'язавши систему рівнянь (1). Однак вимірювати амплітуди фазних напруг незручно, тому що нульова точка обмоток статора сельсина (рис.1) не виведена назовні.

Тому пропонується кут повороту ротора визначати не за допомогою фазних напруг $u_1(t)$, $u_2(t)$ та $u_3(t)$, а за допомогою напруг $u_{21}(t)$ та $u_{23}(t)$:

$$\begin{cases} u_{21}(t) = u_1(t) - u_2(t) = k_{mp} U_m (\cos \alpha - \cos(\alpha + 120^\circ)) \times \\ \times \sin(\omega t + \varphi) = \sqrt{3} k_{mp} U_m \sin(\alpha + 60^\circ) \cdot \sin(\omega t + \varphi), \\ u_{23}(t) = u_3(t) - u_2(t) = k_{mp} U_m (\cos(\alpha + 240^\circ) - \cos(\alpha + 120^\circ)) \times \\ \times \sin(\omega t + \varphi) = \sqrt{3} k_{mp} U_m \sin \alpha \cdot \sin(\omega t + \varphi). \end{cases} \quad (2)$$

В цьому випадку на 1/3 скорочується кількість каналів вимірювальної системи, тому що замість трьох ($u_1(t)$, $u_2(t)$ та $u_3(t)$) необхідно вимірювати тільки дві ($u_{21}(t)$ та $u_{23}(t)$) напруги. Від нестабільності амплітуди входної напруги U_m можна позбутися при діленні одного рівняння системи (2) на інше. Наприклад, поділивши перше рівняння на друге, отримаємо:

$$A = \frac{u_{21}(t)}{u_{23}(t)} = \frac{\cos \alpha - \cos(\alpha + 120^\circ)}{\cos(\alpha + 240^\circ) - \cos(\alpha + 120^\circ)} = \frac{1}{2} (1 + \sqrt{3} \operatorname{ctg} \alpha). \quad (3)$$

Таким чином, значення параметра A (кута повороту ротора α) не залежить від значення амплітуди вхідної напруги ротора U_m . Це означає, що форма і параметри напруги $u_{вх}(t)$ не впливають на точність перетворення. Однак використовувати рівняння (3) для визначення α незручно, тому що при наближенні напруги $u_{23}(t)$ до нуля ($\alpha \approx \pm n\pi, n = 0, 1, 2, \dots$) значення правої частини зростає до нескінченності, що призводить до переповнення розрядної сітки обчислювача. Крім того, амплітудні методи вимірювання, в порівнянні з фазовими, мають значно меншу чутливість.

Розглянемо використання фазового методу вимірювання кутових переміщень. Реалізувати такий метод можна при роботі сельсина в статичному режимі фазообертача (рис. 2). Якщо в цьому випадку на першу обмотку подати вихідну напругу генератора 1 $u_1(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$, а на другу та третю - напруги $u_2(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi + 120^\circ)$ та $u_3(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi + 240^\circ)$, то при повороті роторної обмотки сельсина на кут α в ній буде наводитись ЕРС $u_{вх}(t) = 1,5 \cdot U_m \sin(\omega t + \varphi - \alpha)$. Ця напруга, пройшовши через підсилювач з коефіцієнтом передачі $K_{\Pi} = 2k_{mp}/3$, надходить на перший вхід електронного фазометра, а на другий вхід подається напруга $u_1(t)$. Тоді показання електронного фазометра будуть дорівнювати $\psi = \alpha$, тобто визначатися кутом повороту роторної обмотки сельсина α .

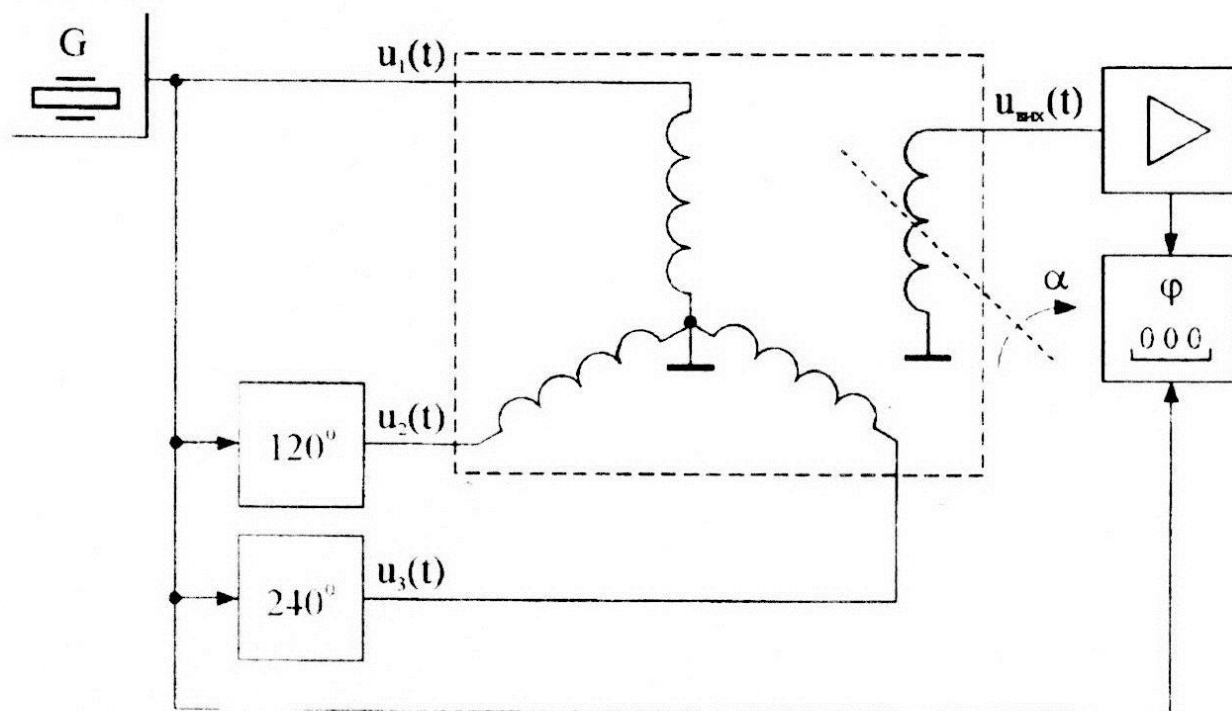


Рис. 2. Структурна схема вимірювача кутових переміщень

Як показано в [3], при роботі електронного фазометра на фіксованій частоті похибка за рахунок зміни рівня вхідних напруг електронного фазометра на 60 дБ не буде перевищувати $0,5^\circ$. В розглянутій системі зміна рівня напруги $u_{\text{вих}}(t)$ буде відбуватись при відхиленні коефіцієнтів передачі фазозсувних кіл від одиниці та при нерівності коефіцієнтів трансформації обмоток. Однак ця зміна буде менша 60 дБ, тому впливом зміни рівня вхідних напруг електронного фазометра на результат вимірювання можна знехтувати.

Для того, щоб визначити фазову похибку сельсина необхідно знайти магнітний потік в повітряному зазорі та ЕРС, які визначаються таким чином:

$$\dot{\Phi}_{\Sigma}(t) = \sum_{k=1}^3 I_k(t) \cdot \dot{M}_k = \sum_{k=1}^3 -\frac{U_m}{\omega L_{cm.k}} (1 + \delta_k) \cos[\omega t + \varphi + \frac{2\pi}{N}(k-1) + \Delta_k] \cdot M \exp\left(j\left(\alpha + \frac{2\pi}{N}(k-1) + \Delta\alpha_k\right)\right);$$

$$u_{\text{вих}}(t) = \text{Re}\left(\frac{d\dot{\Phi}_{\Sigma}(t)}{dt}\right) = \sum_{k=1}^3 k_{mp.k} U_m (1 + \delta_k)(1 + \varepsilon_k) \cos\left(\omega t + \varphi + \frac{2\pi}{3}(k-1) + \Delta_k\right) \times \cos\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}(k-1) + \Delta\alpha_k\right) = 1,5k_{mp} U_m \sum_{k=1}^3 D(1 + \delta_k)(1 + \varepsilon_k) \sin(\omega t + \varphi - \beta),$$

де $L_{cm.k}$ - індуктивність k -ї статорної обмотки; δ_k - відхилення від одиниці коефіцієнта передачі k -го фазозсувного кола ($\delta_1 = 0$); Δ_k - фазова асиметрія k -го фазозсувного кола ($\Delta_1 = 0$); $\Delta\alpha_k$ - асиметрія просторового розташування статорних обмоток; ε_k - відносне відхилення коефіцієнтів трансформації обмоток сельсина від номінального значення;

$$\beta = -\arctg \frac{\sum_{k=1}^3 (1 + \delta_k)(1 + \varepsilon_k) \sin\left(\frac{2\pi}{3}(k-1) + \Delta_k\right) \cos\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}(k-1) + \Delta\alpha_k\right)}{\sum_{k=1}^3 (1 + \delta_k)(1 + \varepsilon_k) \cos\left(\frac{2\pi}{3}(k-1) + \Delta_k\right) \cos\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}(k-1) + \Delta\alpha_k\right)};$$

$$D^2 = \left(\sum_{k=1}^3 (1 + \delta_k)(1 + \varepsilon_k) \sin\left(\frac{2\pi}{3}(k-1) + \Delta_k\right) \cos\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}(k-1) + \Delta\alpha_k\right) \right)^2 + \\ + \left(\sum_{k=1}^3 (1 + \delta_k)(1 + \varepsilon_k) \cos\left(\frac{2\pi}{3}(k-1) + \Delta_k\right) \cos\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}(k-1) + \Delta\alpha_k\right) \right)^2.$$

Таким чином, абсолютна похибка $\Delta\alpha = \alpha - \beta$ перетворення кута повороту ротора сельсина в кут фазового зсуву визначається як

$$\Delta\alpha = \operatorname{arctg} \frac{\sum_{k=1}^3 (1 + \delta_k)(1 + \varepsilon_k) \left(\sin(\Delta_k - \Delta\alpha_k) + \sin\left(\frac{4\pi}{3}(k-1) + 2\alpha + \Delta_k + \Delta\alpha_k\right) \right)}{\sum_{k=1}^3 (1 + \delta_k)(1 + \varepsilon_k) \left(\cos(\Delta_k - \Delta\alpha_k) + \cos\left(\frac{4\pi}{3}(k-1) + 2\alpha + \Delta_k + \Delta\alpha_k\right) \right)}.$$

При малих значеннях асиметрій за умови, що

$$\sum_{k=1}^3 \sin\left(\frac{4\pi}{3}(k-1) + 2\alpha + \Delta_k + \Delta\alpha_k\right) \approx \sum_{k=1}^3 \cos\left(\frac{4\pi}{3}(k-1) + 2\alpha + \Delta_k + \Delta\alpha_k\right) \approx 0$$

як сума приблизно рівних по амплітуді трьох векторів, останнє співвідношення можна переписати таким чином:

$$\Delta\alpha \approx \operatorname{arctg} \frac{\sum_{k=1}^3 \sin(\Delta_k - \Delta\alpha_k)}{\sum_{k=1}^3 \cos(\Delta_k - \Delta\alpha_k)} \approx \operatorname{arctg} \frac{\sum_{k=1}^3 (\Delta_k - \Delta\alpha_k)}{N} \approx \frac{\sum_{k=1}^3 (\Delta_k - \Delta\alpha_k)}{N}. \quad (4)$$

Таким чином, в будь-якому випадку фазова похибка сельсина за рахунок фазової асиметрії k -го фазозсувного кола частково компенсується завдяки асиметрії просторового розташування статорних обмоток.

Безконтактні сельсини також можна використовувати для вимірювання кутової швидкості обертання (КШО), тому що системи автоматичного контролю промислового обладнання та якості виконання операцій технологічних процесів виробництва містять різні пристрої контролю КШО.

З відомих пристроїв контролю КШО найбільш поширеними є прилади, виконані на тахогенераторах постійного та змінного струму, а також на індукційних та модуляційних первинних перетворювачах параметрів руху [4].

Засоби вимірювання та контролю КШО, що виготовляються приладобудуванням, в комплексі вирішують все коло задач, які виникають в процесі виробництва. Однак наявність недоліків у пристроях, що використовуються, обмежує ефективність контролю КШО. В зв'язку з цим створення більш сучасних приладів та пристроїв контролю КШО є актуальною задачею.

Для вирішення цієї задачі в [5] запропоновано вимірювач КШО вала робочого механізму, в якому сельсин використовується як перетворювач частоти. Структурна схема такого вимірювача наведена на рис. 3.

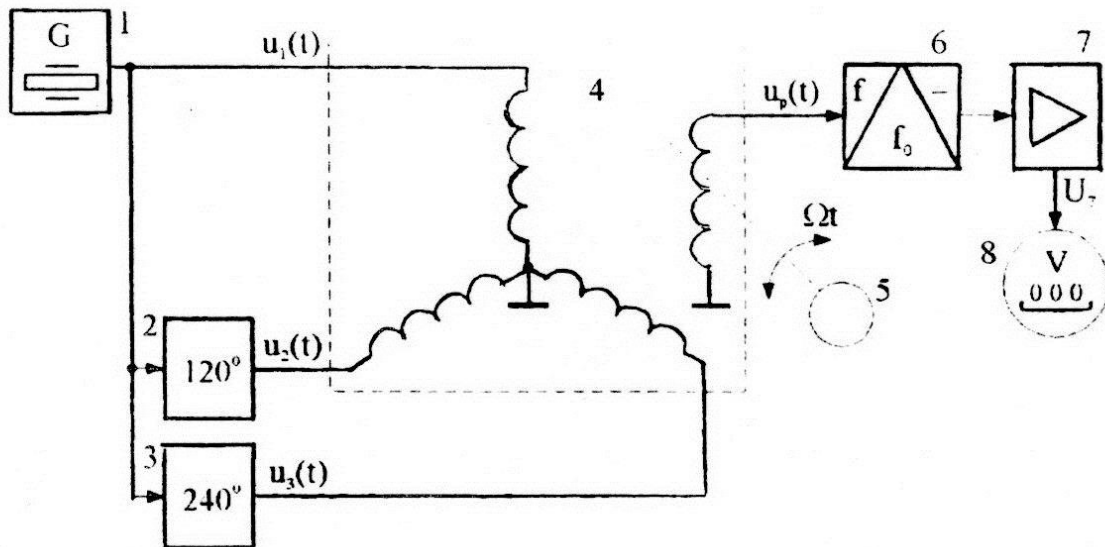


Рис. 3. Структурна схема вимірювача КШО вала робочого механізму

Працює вимірювач таким чином. Вихідна напруга кварцового генератора 1 $u_1(t) = U_m \sin \omega t$ надходить на першу обмотку статора сельсина 4 безпосередньо, на другу – через коло 120° -ного фазового зсуву 3, а на третю – через коло 240° -ного фазового зсуву. Вал робочого механізму 5, КШО якого необхідно виміряти, механічно зв'язаний з роторною обмоткою сельсина. При обертанні вала робочого механізму 5 за годинниковою стрілкою з КШО ω взаємні індуктивності між статорними та роторною обмотками змінюються в часі. У цьому випадку магнітний потік статора та ЕРС, наведена цим потоком в роторній обмотці, визначається таким чином:

$$\Phi'_\Sigma(t) = \sum_{k=1}^3 -\frac{U_m}{\omega L} \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}(k-1)\right) M e^{j\left(\Omega t + \frac{2\pi}{3}(k-1)\right)} = -\frac{3U_m M}{2\omega L} e^{-j(\omega-\Omega)t}; \quad (5)$$

$$u'_p(t) = \operatorname{Re}\left(\frac{d\Phi'_\Sigma(t)}{dt}\right) = \frac{3}{2} k_{mp} U_m \left(1 - \frac{\Omega}{\omega}\right) \sin(\omega - \Omega)t = A_1 \sin(\omega - \Omega)t. \quad (6)$$

При обертанні вала робочого механізму 5 проти годинникової стрілки з КШО Ω магнітний потік статора та ЕРС визначаються

співвідношеннями:

$$\Phi_{\Sigma}''(t) = \sum_{k=1}^3 -\frac{U_m}{\omega L} \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}(k-1)\right) M e^{j\left(\Omega t - \frac{2\pi}{3}(k-1)\right)} = -\frac{3U_m M}{2\omega L} e^{j(\omega+\Omega)t}; \quad (7)$$

$$u_p''(t) = \operatorname{Re}\left(\frac{d\Phi_{\Sigma}''(t)}{dt}\right) = \frac{3}{2} k_{mp} U_m \left(1 + \frac{\Omega}{\omega}\right) \sin(\omega + \Omega)t = A_2 \sin(\omega + \Omega)t. \quad (8)$$

Таким чином, ЕРС, неведені в роторній обмотці сельсина 4 при обертанні механічно зв'язаного з нею вала робочого механізму 5 з КШО Ω , змінюють свою частоту доверху або донизу на величину Ω відносно частоти ω напруги кварцового генератора 1 при зміні напрямку обертання.

Далі ЕРС, що визначається співвідношенням (6) або (8), надходить на вхід частотного детектора 6, налаштованого на частоту ω , вихідна напруга якого через підсилювач постійного струму 7 надходить на вольтметр 8. Напругу на вході вольтметра 8 можна записати у такому вигляді:

$$\begin{cases} U_7' = -K_7 S_{\text{ЧД}}(A_1)\Omega, & \text{при обертанні за годинниковою стрілкою;} \\ U_7'' = +K_7 S_{\text{ЧД}}(A_2)\Omega, & \text{при обертанні проти годинникової стрілки,} \end{cases}$$

де $S_{\text{ЧД}}(A_1, A_2)$ – крутизна характеристики частотного детектора 6;

K_7 – коефіцієнт передачі підсилювача постійного струму 7.

Для забезпечення можливості індикації результатів вимірювання за однією шкалою вольтметра 8 необхідно виконати умову $m = \omega/\Omega \gg 1$, при цьому частота кварцового генератора 1 вибирається із співвідношення $\omega \geq 2\pi Fm$, де $F \leq 1667$ Гц – найбільша (за класифікацією) частота обертання рухомих частин робочих механізмів надвисокошвидкісного обладнання (100000 об/хв). Тоді $S_{\text{ЧД}}(A_1) = S_{\text{ЧД}}(A_2)$ та $U_7 = \pm K_7 S_{\text{ЧД}}(A)\Omega$.

Таким чином, пристрій, структурна схема якого наведена на рис. 3, дозволяє досить просто проводити вимірювання КШО та напрямку обертання, при цьому вольтметр 8 може бути проградуєований в одиницях КШО, а знак напруги U_7 буде вказувати напрямок обертання.

Висновки

1. Показано можливість використання безконтактних сельсинів для вимірювання кутових переміщень.

2. Показано, що більш точними та зручними, в порівнянні з амплітудними, є фазові методи вимірювання кутових переміщень.

3. Запропоновано структурні схеми пристрою для вимірювання кутових переміщень та кутових швидкостей обертання на основі безконтактних сельсинів, а також отримано співвідношення для визначення абсолютної фазової похибки перетворення кута повороту в кут фазового зсуву.

Література

1. Высокоточные угловые измерения / Под. ред. Ю. Г. Якушенкова - М.: Машиностроение, 1987. - 480 с.
2. Цилюрик О. Л. Вимір кутових переміщень з використанням безконтактних сельсинів. - С. 239-245.
3. Сутьян В. Я. О точности измерения угла фазового сдвига цифровыми фазометрами. Т.7.-Томск: Изд-во. Томского ун-та, 1973. - С.86-93.
4. Тун А. Я. Тахогенераторы для систем управления электроприводами. - Л.: Энергия, 1966. - 111 с.
5. Рудик А. В. Измеритель угловой скорости вращения // Приборостроение-96: Тез. докл. НТК, Ч.1 Винница-Судак, 1996. - С.21.

УДК 551.501.7:658.012.011.56.005

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ ВЕТРА

В.И. Алехин А. И. Рыженко В.В. Доровский

Проведение метрологической аттестации дистанционного измерителя скорости и направления ветра "ИВА", представляющего собой бистатический акустический локатор (соляр), имеет свои специфические особенности.

Как правило, при проведении метрологической аттестации средств измерения (МА) используется либо образцовое средство измерения, либо образцовая мера. Создание образцовой меры профиля скорости ветра в пограничном слое атмосферы является технически сложной задачей, нереализованной к настоящему времени. Также неизвестны образцовые средства измерения непрерывного профиля ветра в заданном диапазоне высот. При размещении локальных образцовых датчиков ветра на мачтах и вышках достаточно сложно

Україна. 310726, Харків-176. пр.Леніна, 14,ХТУРЕ. Тел. (0572) 409587. факс (0572) 409113 E-mail: srd@khture.kharkov.ua