

УДК 621.3172

Ю.М. Туз, О.М. Кривченкова, Ю.О. Струїніна

Національний технічний університет України «КПІ», Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

В приведеній статті досліджено параметри характеристик термоперетворювачів типу ТВБ, ДТПТ та ДТПС. Досліджена нестабільність у часі, зокрема п'ятихвилинна нестабільність. Запропонована модель перехідних процесів диференціальних термоперетворювачів. Наведені результати експериментальних досліджень. Зроблено порівняння похибок нестабільності різних термоперетворювачів.

Ключові слова: термоперетворювач, нестабільність, коефіцієнт термопередачі.

1. Загальна постановка проблеми

Актуальність проведеного дослідження була обумовлена тим, що на даний час в Україні не існує високоточних, прецизійних вимірювачів напруги змінного струму в широкому діапазоні частот. Для створення такого приладу було досліджено можливі та існуючі у світі конструктивні і технологічні рішення, і в результаті в якості головного вузла вимірювання було обрано термоелектричний перетворювач, що є як задовільним по точності та широкоточності вимірювання, так і по ціні. Тому, від характеристик обраного термоперетворювача буде залежати точність вимірювання напруги змінного струму.

В електровимірній техніці термоелектричними перетворювачами прийнято називати пристрої, що містять дві основні частини – електричний нагрівач (іноді кілька нагрівачів) і термоелемент (найчастіше термопару або набір термопар). Зв'язок між напругою, до нагрівача і ЭРС, що розвиває термоелемент, приблизно визначається виразом:

$$E = kU^2, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт, що залежить від матеріалу нагрівача й термоелемента, конструкції термоперетворювача й умов його роботи.

Нагрівач є вхідним ланцюгом перетворювача, термоелемент – вихідним. З виразу (1) випливає основна особливість термоперетворювача – здатність вимірювати середньоквадратичне значення (СКЗ) напруги [1]. Через велике поширення, що набув в світі вказаний метод вимірювання електричних параметрів, на даний час існує широкий вибір конструктивних і технологічних рішень для створення термоелектричних перетворювачів. Одними із доступних на теперішній час пере-

творювачів є перетворювачі типу ТВБ, ДТПТ, ДТПС і ДТПС виробництва країн СНД.

Основною метою даного дослідження є аналіз характеристик термоперетворювачів типу ТВБ, ДТПТ та ДТПС, що можуть використовуватись для побудови пристрою прецизійного вимірювання напруги змінного струму, перш за все аналіз п'ятихвилинної нестабільності кожного з термоперетворювачів, яке нормовано ГОСТ 8.458-82 «Преобразователи и компараторы термоэлектрические образцовые».

2. Методика дослідження нестабільності характеристики термоперетворювачів

Для дослідження нестабільності після 30-хвилинного прогріву створюється масив даних вимірювання вхідної напруги та вихідної термоелектрорушійної сили (ТЕРС), за якими знаходиться точне значення коефіцієнту перетворення:

$$k_i = E_i / U_i^2. \quad (2)$$

Інтервал часу між парами вимірювань ($E_i; U_i$) становить 3 секунди. П'ятихвилинний інтервал досягається за 100 відліків. Для зменшення впливу випадкових похибок проводиться осереднення 10 відліків на початку і в кінці п'ятихвилинного інтервалу. Відносна похибка нестабільності визначається як різниця осереднених 10 відліків, отриманих через 5 хвилин (100 відліків), поділена на половину суми осереднених 10 відліків на початку і в кінці 5 хвилинного інтервалу за формулою:

$$\gamma_{\text{нест}} = 2 \cdot \left(\sum_{i=N+100}^{N+100+10} K_i - \sum_{i=N}^{N+10} K_i \right) / \left(\sum_{i=N+100}^{N+100+10} K_i + \sum_{i=N}^{N+10} K_i \right). \quad (3)$$

Графік на рис. 1 ілюструє процедуру реалізації формули (3).

Схему підключення для проведення експерименту зображено на рис. 2.

В якості джерела напруги застосовано калібратор Н4-7. Напряга від Н4-7 подається на термоперетворювач ТП і також фіксується на першому каналі мультиметру Agilent34420А. ТЕРС термоперетворювача фіксується на другому каналі мультиметру Agilent34420А.

З отриманих даних обраховано коефіцієнт перетворення термопари за формулою (2) та похибка п'ятихвилинної нестабільності за формулою (3).

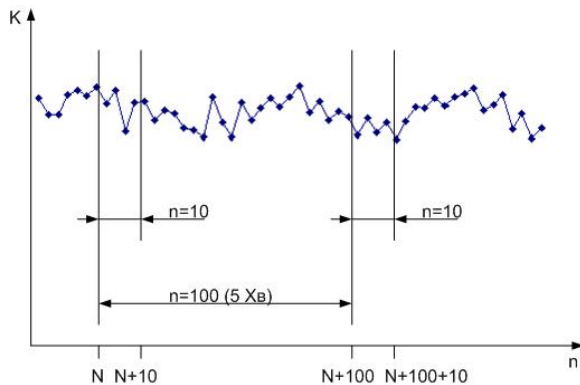


Рис. 1. Ілюстрація визначення похибки від нестабільності

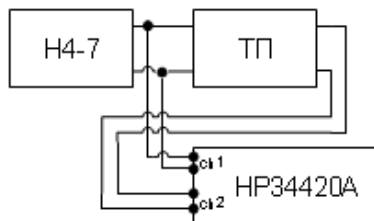


Рис. 2. Схема підключення для проведення експерименту

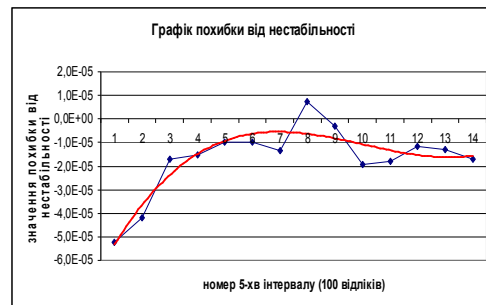
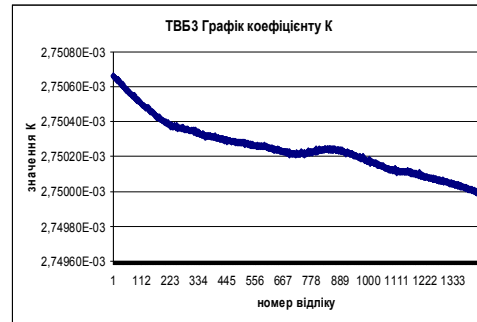
3. Дослідження нестабільності характеристики термоперетворювачів типу ТВБ-3 та ДТПТ-6

За описаною методикою були досліджені вакуумні безконтактні термоперетворювачі типу ТВБ-3 та термоперетворювач типу ДТПТ-6.

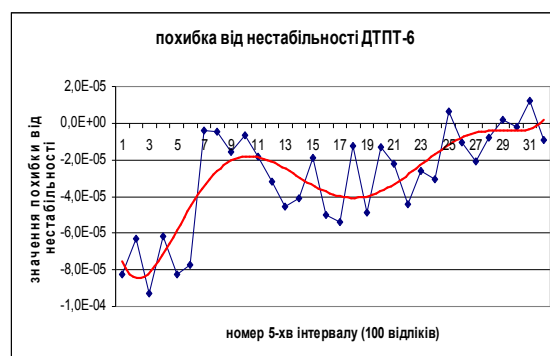
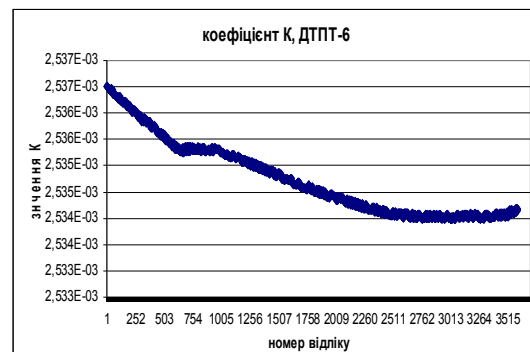
На рис. 3 представлені графіки залежності від часу (кількості відліків з інтервалом у 3 секунди) коефіцієнтів перетворення та похибки нестабільності за п'ятихвилинними інтервалами для термоперетворювачів ТВБ-3 (графіки а) рис. 3 та ДТПТ-6 (графіки б) рис. 3.

З графіків для п'ятихвилинної нестабільності термоелектричного перетворювача вакуумного типу ТВБ-3 та ДТПТ-6 наочно видно найбільший розкид точок за перші чотири п'ятихвилинні інтервали (тобто 20 хвилин), та входження в інтервал похибки від нестабільності $[-5 \cdot 10^{-5}; 2 \cdot 10^{-5}]$ після проходження 20 хвилин, тобто після повного прогріву та

встановлення параметрів термоперетворювачів. Для подальшого використання було рекомендовано термоперетворювачі, в яких похибка п'ятихвилинної нестабільності не перевищила $5 \cdot 10^{-5}$.



а



б

Рис. 3. Графіки залежності від часу (кількості відліків з інтервалом у 3 секунди) коефіцієнтів перетворення та похибки нестабільності за п'ятихвилинний інтервал для термоперетворювачів ТВБ-3 (графік а) та термоперетворювачів ДТПТ-6 (графік б)

Дослідження похибки нестабільності були проведені для 13 зразків термоперетворювачів ТВБ-3 та 18 зразків термоперетворювачів ДТПТ-6, отримани

данні занесені в табл. 1 в порядку зростання отриманого середнього значення модулю похибки від нестабільності на інтервалі часу починаючи від 20 хвилин.

З отриманих результатів можна зробити висновок, що найкращі характеристики мають перетво-

рювачі ПНТЕ-6 № 132 на другому нагрівачі, а також у вакуумному безконтактному термоперетворювачі ТВБ-3 № 5. Інші термоперетворювачі (табл. 1) за параметром похибки нестабільності майже ніколи не виходили за межі $5 \cdot 10^{-5}$.

Таблиця 1

Порівняльна таблиця середнього значення похибки нестабільності для термоперетворювачів типу ДТПТ-6 та ТВБ-3

ПНТЕ-6			ТВБ-3	
Номер термоперетворювача	Номер нагрівача, Подана напруга В	Модуль значення похибки нестабільності	Номер термоперетворювача	Модуль значення похибки нестабільності
132	n2, 5	5,62111E-06	5	4,25E-06
130	n2, 5	9,87634E-06	21	5,40E-06
119	n1, 5	1,59627E-05	16	1,04E-05
135	n1, 8	1,70475E-05	24	1,62E-05
109	n1, 5	1,79103E-05	162	2,01E-05
112	n1, 5	2,60046E-05	39	2,17E-05
119	n2, 5	2,72155E-05	50	2,39E-05
109	n2, 5	2,87337E-05	27	2,49E-05
166	n1, 5	3,73643E-05	48	2,52E-05
120	n2, 5	3,87506E-05	40	3,08E-05
130	n1, 5	3,93185E-05	46	3,19E-05
108	n1, 5	3,99238E-05	67	4,21E-05
135	n2, 5	4,36731E-05	12	5,92E-05
120	n1, 5	4,54692E-05		
166	n2, 5	4,71255E-05		
108	n2, 5	4,95084E-05		
132	n1, 5	5,18644E-05		
112	n2, 5	5,73486E-05		

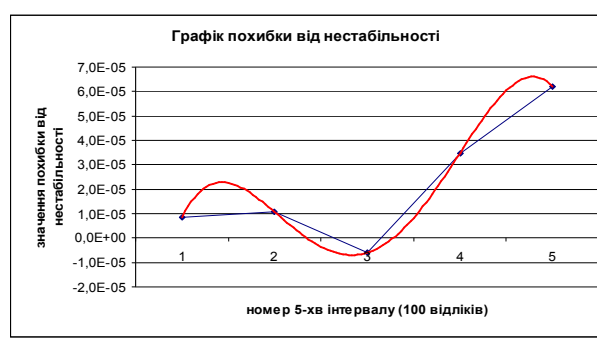
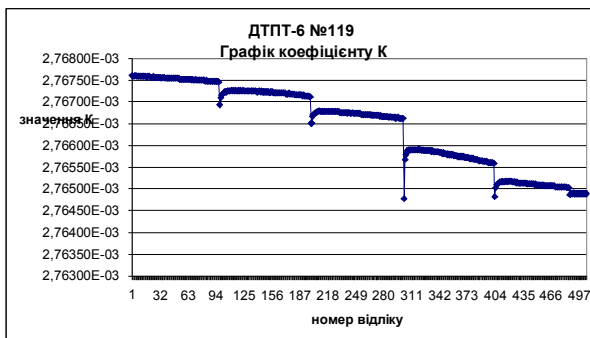
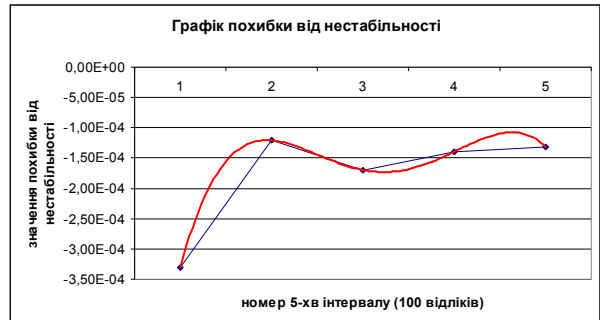
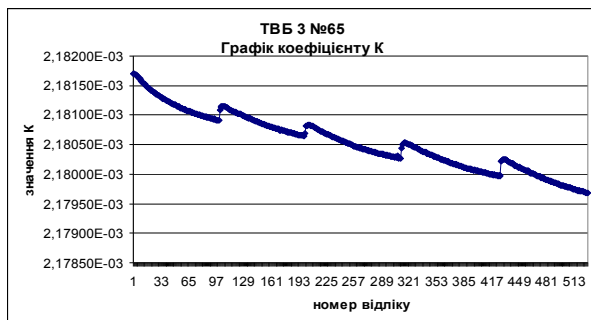


Рис. 4. Дослідження характеристики похибки від нестабільності:
а – для перетворювача типу ТВБ-3; б – для перетворювача типу ДТПТ-6

Виявилось, що навіть після 20 хвилин, що відведені на проходження перехідних процесів, характеристика термопари не є повністю сталою. Відбувається її подальше спадання. Для більш детального дослідження цього процесу були проведені подаль-

ші експерименти. Проведене дослідження характеристики п'ятихвилинної нестабільності при почерговому вмиканні та вимиканні сигналу кожні 5 хвилин з інтервалом вимикання також у 5 хвилин. Результати приведені на рис. 4.

При кожному перемиканні на початку кожного п'ятихвилинного інтервалу спостерігається проходження через перехідний процес від перемикавання, але з часом характеристика (рис. 4) залишається спадаючою, як і при дослідженнях. Для більш детальних досліджень необхідно створити термодинамічну модель за експериментальними даними попередніх термоперетворювачів. Дана модель обумовлена конструктивно-технологічною побудовою вказаних термоперетворювачів. ДТПП-6 є диференційними термоперетворювачами, тобто мають в конструкції дві пари нагрівачів і підключених до них термопар. На нагрівачі подаються сигнали напруги, і з виходу термопар в результаті нагріву знімають сигнал різниці створених ЕРС. Якщо на обидва нагрівачі подані ідентичні значення напруги, то на виході термоперетворювача в ідеальному випадку отримаємо нульовий сигнал. Якщо на один нагрівач подане певне значення напруги, а на інший сигнал напруга не подавалася, то в ідеальному випадку на виході термопар отримаємо відповідне до поданої напруги значення ЕРС E_1 . Але, тому що в обох перетворювачах термопар безконтактно знаходяться в одному корпусі і під час нагріву однієї з них можлива передача невеликої кількості тепла на іншу, то відповідно друга термопара, на яку не подавався сигнал також створюватиме певне значення ЕРС рівне E_2 . В такому випадку створена електрорушійна на виході диференційноз'єднаних термоперетворювачів буде:

$$E(t) = E_1 - E_2, \quad (4)$$

Такі зміни не будуть суттєвими та не впливатимуть на точність звичайних поточних вимірювань. Але, якщо, як в нашому випадку, вирішується задача створення пристрою прецизійного вимірювання значення напруги[2], то бажано досягти найвищої можливої точності.

Можна запропонувати таку термодинамічну модель з урахуванням передачі додаткового тепла на другий термоперетворювач:

$$P(t) = P_0(1 - e^{-t/\tau_1}) - k_T P_0(1 - e^{-t/\tau_2}) \quad (5)$$

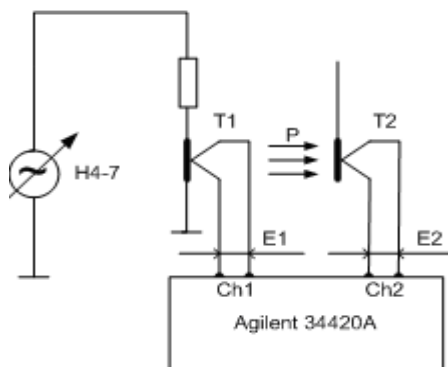


Рис. 5. Схема дослідження термоперетворювача типу ДТПП

де τ_1 – стала часу для T_1 ; τ_2 – стала часу для T_2 ; k_t – коефіцієнт теплопередачі.

У випадку коли $\tau_2 \gg \tau_1$ можна роздільно визначити ці параметри.

Якщо $t \gg \tau_1, \tau_2$, то експериментальним шляхом можна визначити k_t як відношення:

$$k_t = \frac{E_2}{E_1}. \quad (6)$$

4. Дослідження нестабільності характеристики термоперетворювачів типу ДТПП та коефіцієнту теплопередачі

Ізоляція термопар одна від одної дає можливість дослідити вплив заструмленого нагрівача на термопару зі знеструмленим нагрівачем.

На рис. 5 зображена схема підключення приладів та термоперетворювачів для виявлення коефіцієнту передачі теплоти від T_1 до T_2 . Значення напруги на T_1 створюється за допомогою калібратора Н4-7. ТЕРС перетворювачів T_1 та T_2 вимірюються за допомогою двоканального нановольметра Agilent 34420A.

Окрім експериментів з вимірювання впливу заструмленого нагрівача на знеструмлену термопару, були визначені адитивні похибки кожної з термопар при знеструмлених нагрівачах. ЕРС обох знеструмлених перетворювачів приблизно у 10 разів менша ніж ЕРС знеструмленого нагрівача при заструмленому іншому нагрівачі, що свідчить про наявність теплопередачі від нагрітого до холодного нагрівача. Такі результати свідчать про вплив нагрівача перетворювача, що знаходиться під напругою на термопару іншого перетворювача, що є знеструмленою.

Виходячи з отриманих даних коефіцієнт теплопередачі в даному дорівнює:

$$k_t = \frac{\sum_{i=1}^N E_2}{\sum_{i=1}^N E_1} = \frac{8,417 \cdot 10^{-6}}{1,077 \cdot 10^{-2}} = 7,8 \cdot 10^{-4}.$$

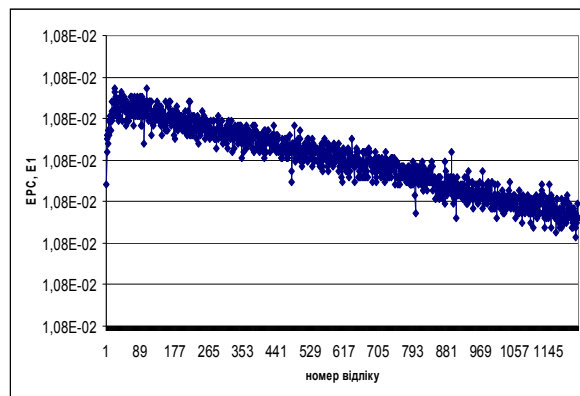


Рис. 6. Графіки, отримані під час дослідження перетворювача типу ДТПП

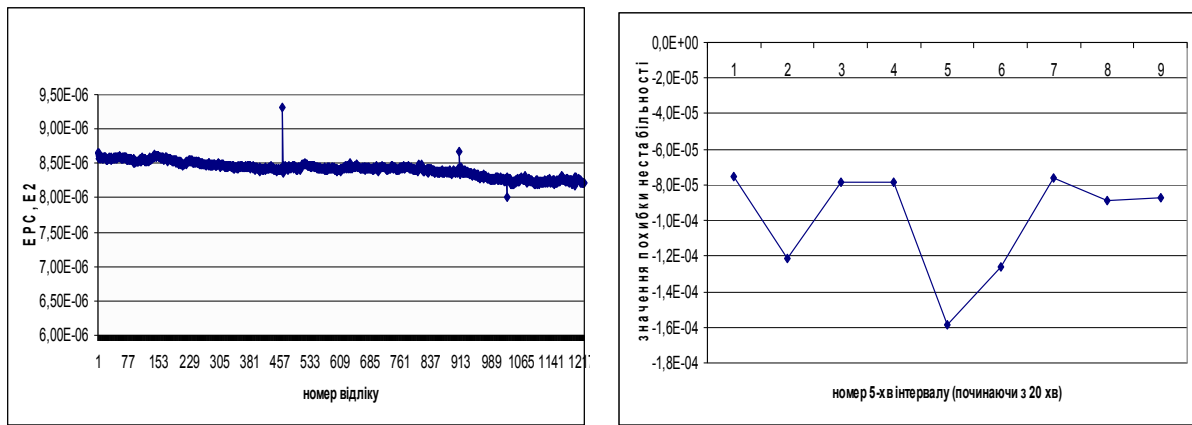


Рис. 6. Графіки, отримані під час дослідження перетворювача типу ДТПП (продовження)

Проблема потребує більш детальної перевірки та створення адекватної моделі процесу. Результати представлено на рис. 7.

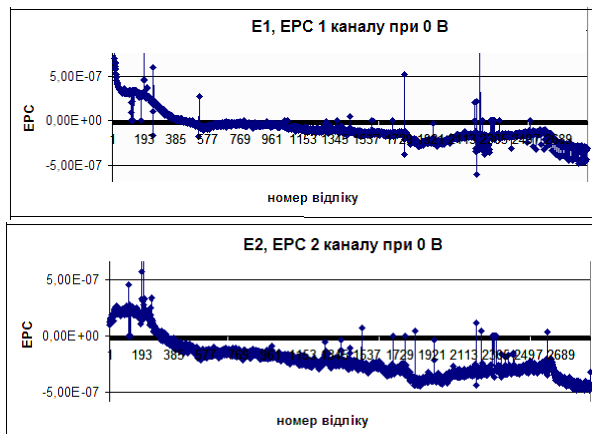


Рис. 7. Вимірювання характеристик знеструмлених термоперетворювачів

ВИСНОВОК

Спостерігається довгострокове зменшення коефіцієнту перетворення. Щодо походження цього процесу існує дві гіпотези. Перша полягає в тому, що частина тепла від нагрівача Т1 передається на

термопару перетворювача Т2. При диференційному підключенні відбуватиметься зменшення вихідного значення ЕРС за рахунок другого знеструмленого нагрівача. Про це свідчить поява ЕРС на другому перетворювачі, що складає порядку 5-8 мкВ, в той час як при знеструмленні обох нагрівачів це значення складає 0.3-0.5 мкВ, на порядок менше, ніж при наявності струму в одному з нагрівачів. Характеристика процесу може описуватись експоненціальною формою.

Іншою причиною може бути залежність опору нагрівача від прикладеної напруги.

Обидві гіпотези потребують більш детальної перевірки та створення адекватних моделей.

Список літератури

1. Анатъчук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: справочник / Л.И. Анатъчук. – К.: Наукова думка, 1979. – 768 с.
2. The frequency error of thermoelectric voltage converters / U. Tuz, O. Synooka, O. Kryvchenkova, A. Ulianova // Механіка гіроскопічних систем. – 2010. – № 21.

Надійшла до редколегії 22.12.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.П. Захаров, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Ю.М. Туз, О.М. Кривченкова, Ю.О. Струнина

В приведенной статье исследованы параметры характеристик термопреобразователей типа ТВБ, ДТПП и ДТПС. Исследована нестабильность во времени, в частности пятиминутная нестабильность. Предложена модель переходных процессов дифференциальных термопреобразователей. Приведены результаты экспериментальных исследований. Сделано сравнение погрешностей нестабильности разных термопреобразователей.

Ключевые слова: термопреобразователь, нестабильность, коэффициент термопередачи.

THE ANALYSIS OF CHARACTERISTICS AND PARAMETERS OF THERMAL CONVERTOR

U. Tuz, O. Kryvchenkova, U. Strynina

In the article parameters and characteristics for thermal convertors type ТВБ, ДТПП and ДТПС were described. Investigation of the time instability took place, in particular the 5 minutes instability. The model of transient process for differential thermal convertors was proposed. Experimental research data is given. The comparison of instability errors for different convertors was made.

Keywords: thermal convertor, instability, thermal transfer coefficient.