

УДК 621.314.1

М. Г. Винниченко, І. Г. Шинкаренко
Донецький Національний Технічний Університет, м.Донецьк
кафедра електронної техніки

ПРИЛАД ВИМІРУ НАПРУЖЕНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ ПОБЛИЗУ ПЕЧЕЙ ВИСОКОЧАСТОТНОГО НАГРІВУ

Анотація

Винниченко М.Г., Шинкаренко І.Г. Прилад виміру напруженості електричного поля печей високочастотного нагріву. Запропонована структурна схема виміру напруженості електричного поля поблизу печей високочастотного нагріву.

Ключові слова: напруженість, електричне поле, вимірювальний зонд, прилад виміру, високочастотний нагрів, санітарна норма.

Загальна постановка проблеми.

У теперішній час у зв'язку з технічним прогресом, що постійно розвивається, все частіше на підприємствах використовують високочастотний нагрів діелектриків. Цей спосіб нагріву дає можливість у багато разів скоротити час ряду технологічних процесів. Наприклад, для рівномірного нагріву каучуку з товщею 20 см час скорочується до декількох хвилин. У своїй структурі установки, які працюють на частотах від 2 до 200 МГц мають генератор, навантаження якого є коливальний контур з робочим конденсатором, у полі між пластинами якого відбувається нагрів діелектрику.

З початку 60-х років були проведені широкі дослідження по вивченню здоров'я людей, які мають контакт з електричним полем (ЕП) на підприємстві. Результати цих клінічних досліджень показали, що тривалий контакт з ЕП в діапазоні 1-300 МГц може привести до розвинення захворювань, клінічну картину яких визначають, поперше, змінювання функціонального стану нервової і серцево-судинної систем. Було запропоновано виділити самостійне захворювання радіохвильова хвороба. Найбільш раннім клінічним проявленням дії ЕП на людину є функціональне порушення зі сторони нервової системи, виявленні у вигляді вегетативних дизфункцій неврастенічного і астеничного синдрому.

До організаційних заходів по захисту від ЕП відносяться: вибір режимів роботи випромінюючого обладнання, забезпечуючого рівень випромінювання, не більший допустимого, забезпечення місця та часу знаходження в зоні дії ЕП (захист відстанню та часом), визначення і огороження зон з високим рівнем напруженості електричного поля.

Для кожної установки яка випромінює електричне поле, повинні бути санітарно-захищаючі зони, в яких рівень ЕП більше максимально допустимого. Межі зон визначаються аналітично для кожного конкретного випадку розміщення випромінюючого обладнання при дії його на максимальній потужності і контролюється за допомогою приладів виміру напруженості електричного поля. Тому, для отримання даних про стан напруженості електричного поля на робочих місцях персоналу необхідно проводити виміри напруженості ЕП кожний рік, при цьому, якщо були проведені ремонтні роботи обладнання, також необхідно провести ці виміри.

Прилади виміру напруженості ЕП мають багато різновидів, принцип дії яких заснований переважно на методах внесення пробного тіла.

Постановка завдання дослідження.

Розробити структурну схему приладу виміру напруженості електричного поля, датчик якого не потребує орієнтації у просторі відносно випромінюючих джерел.

Вирішення завдань і результати досліджень.

При вимірі напруженості електричного поля у даній роботі використовується метод внесення пробного тіла, який означає, що чутливі елементи, на виході яких різниця потенціалів прямо пропорційно залежить від напруженості електричного поля безпосередньо контактують з останнім. Цей метод розподіляється на класифікаційні ознаки:

1. Число координат датчика (одна, дві, три координати);
2. Форма чутливих елементів датчика (циліндрова, плоска, сферична);
3. Структурна побудова датчика (одинарне, подвійне);
4. Вид вихідної величини датчика (електрична напруга, сила електричного струму, електричний заряд);
5. Вид зв'язку датчика з вимірювальним ланцюгом приладу (ВЛП) (дротяна, бездротова).

Число координат датчика дорівнює трьом, тому що датчик при виміру не повинен орієнтуватися у просторі відповідним чином.

Засоби вимірювань з трикоординатними датчиками (ТЕД) вільні від недоліків, які пов'язані з необхідністю орієнтації в електричному полі, що робить їх зручними в обігу. Це досягається використанням складніших конструкцій датчиків і складніших вимірювальних ланцюгів (ВЛП). Складність побудови приладів з ТЕД зумовила їх мале розповсюдження. Проте з розвитком мікроелектронної і мікропроцесорної техніки складність побудови ВЛП поступово зменшується.

У загальному випадку прилади з ТЕД складаються з трикоординатного датчика, трьох каналів зв'язку(КЗ), вимірювального ланцюга (ВЛП) і показчика (П) (див. Рис.1):

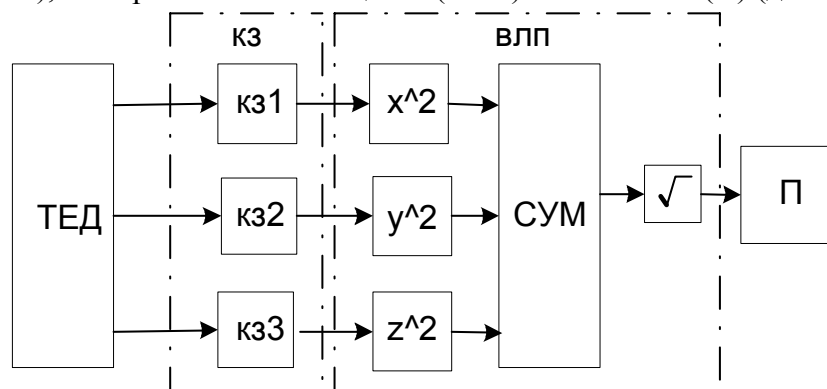


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема приладів з ТЕД

ВЛП як правило, будуються на базі аналогових або цифрових обчислювальних пристроїв, що проводять геометричне підсумовування сигналів, що поступають по каналах зв'язку з кожної координати ТЕД відповідно до алгоритму:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}, \tag{1}$$

де E_x, E_y, E_z – значення складових вектора напруженості електричного поля, середні або амплітудні.

Проте цей алгоритм обробки сигналів з ТЕД справедливий тільки при вимірюванні в пульсуючих полях однофазних джерел. При вимірюванні в електричних полях трифазних джерел, що обертаються, за рахунок детектування сигналів, пропорційних складовим вектора напруженості електричного поля, втрачатимуться фази сигналів з ТЕД. Тому геометричне підсумовування сигналів ТЕД проводитиметься без урахування їх миттєвих фаз, що приведе до методичної похибки, що може досягати 41 %. Форма чутливих елементів обрана плоскою з вихідною величиною у вигляді електричної напруги. Вид зв'язку датчика з блоком обробки вимірювальної інформації – дротяний. Структурна схема приладу приведена (див. рис.2):

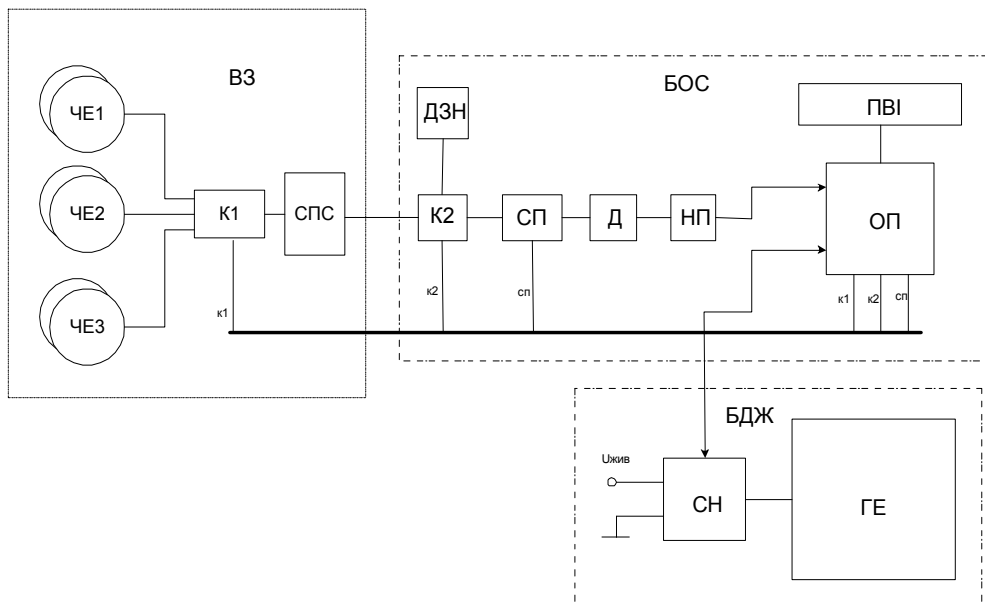


Рисунок 2 – Структурна схема приладу виміру напруженості електричного поля

Структурна схема приладу виміру напруженості електричного поля складається з вимірювального зонду (ВЗ), блоку обробки вимірювального сигналу, блоку джерела напруги.

Вимірювальний зонд (ВЗ) складається з чутливих елементів (ЧЕ1-ЧЕ3), комутатора (К1), схеми подавлення синфазної складової (СПС).

Блок обробки сигналів (БОС) складається з комутатора (К2), джерела зразкової напруги (ДЗН), смугового підсилювача (СП), детектору середньквдратичного значення (Д), нормуючого пристрою (НП), обчислювального приладу (ОП), пристрою відображення інформації (ПВІ). Блок джерела живлення складається з наступних структурних одиниць: гальванічного елемента (ГЕ), стабілізатора напруги (СН).

В структурній схемі використовується один канал зв'язку вимірювального зонду з блоком обробки, таким чином реалізується розділення вимірювальної інформації в часі. Тільки один чутливий елемент в конкретний момент часу має електричний зв'язок зі схемою обробки. Так як джерелом випромінювання ЕП є високочастотна піч, а при її роботі спостерігається встановлений процес випромінювання, тоді вимоги до періоду опитування кожного чутливого елемента не є жорсткими. Різниця потенціалів з виходу чутливого елемента надходить до входу схеми підсилення та подавлювання симетричної складової, яка підсилює змінний у часі сигнал та подавлює статичний потенціал, який присутній на пластинах чутливого елемента, що з'являється при вимірі напруженості електричного поля в ближній зоні поблизу електричних випромінюючих пристроїв, завдяки чому зменшується похибка результату виміру. Після схеми СПС сигнал по каналу зв'язку надходить через комутатор К2 до смугового підсилювача, який підсилює сигнали в заданому діапазоні частот. Після смугового підсилювача сигнал надходить до амплітудного детектора, де він перетворюється у сигнал постійного струму. Після детектування сигнал підсилюється нормуючим підсилювачем НП, завдяки чому його діапазон значень напруги відповідає діапазону вхідної напруги аналого-цифрового перетворювача, який входить до складу обчислювального пристрою. Після перетворення в цифровий код сигнал обробляється за відповідним алгоритмом обчислювальним пристроєм, звідки результат виміру виводиться на пристрій відображення інформації.

Прилад має джерело зразкової напруги (ДЗН), яке використовується для калібрування каналу обробки інформації перед проведенням вимірів. Також перед проведенням вимірів проводиться аналіз напруги гальванічного елемента, яка з батареї надходить до обчислювального пристрою, де виробляється рішення про можливість роботи приладу від цієї батареї. Стабіліза-

тор напруги використовується для забезпечення принципів схем живленням зі стабільними параметрами, які не будуть залежати від заряду батареї.

Керування комутаторами та пристроєм відображення інформації відбувається за допомогою сигналів, які надходять з обчислювального пристрою. Основним джерелом похибки будь-якого засобу виміру є датчик, тому що саме чутливий елемент датчику контактує з навколишнім середовищем і при цьому практично неможливо виконати всі умови перетворення без спотворень. При вимірі напруженості електричного поля значну роль мають розміри та форма чутливого елемента. Сенсор повинен мати геометричні розміри, значно менші ніж довжина хвилі електричного поля при максимальній частоті у спектрі з тим, щоб поле у точці виміру було однорідним. Смуга пропускання сенсору повинна бути більшою ніж діапазон частот поля, напруженість якого вимірюється, щоб не виникало частотних похибок, які виникають на межах смуги пропускання. В схемі приладу був використаний чутливий елемент у вигляді конденсатора, пластини якого виконані у формі кола (див. рис.3):

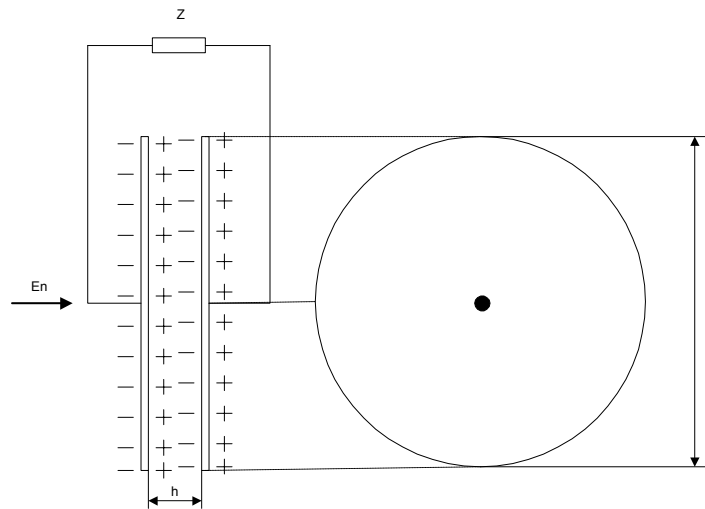


Рисунок 3 – Чутливий елемент

де Z – імпеданс навантаження сенсору, E_n – напруженість електричного поля, що спроектована по нормалі до пластин, D – діаметр пластини, h – відстань між пластинами.

Чутливий елемент можна представити еквівалентною електричною схемою (див.рис.4):

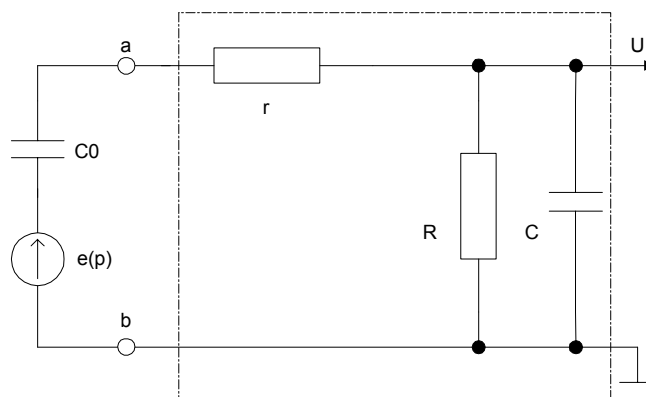


Рисунок 4 – Еквівалентна електрична схема чутливого елемента

де C_0 – ємність між пластинами сенсору, r – опір з'єднувальних дротів, R – активна складова навантаження, C – ємнісна складова навантаження.

Ємність між пластинами сенсору визначається за формулою:

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r \pi D^2}{4h}, \tag{2}$$

де $\varepsilon_0, \varepsilon_r$ – діелектрична проникність вакууму та матеріалу між пластинами.

Передаточну функцію можна представити у вигляді:

$$W(p) = \frac{U(p)}{E_n(p)} = \frac{Kp}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}, \quad (3)$$

де $U(p)$ – вихідна напруга сенсору в операторній формі, $E_n(p)$ – напруженість електричного поля в операторній формі, K – коефіцієнт підсилення, T – постійна часу пари сенсор-навантаження, ξ – параметр загасання.

Коефіцієнт підсилення визначається за формулою:

$$K = \varepsilon_0 R S, \quad (4)$$

де S – площа однієї сторони диска.

Постійна часу T визначається за формулою:

$$T = \sqrt{C C_0 R r}. \quad (5)$$

Параметр загасання визначається за формулою:

$$\xi = \frac{C_0 R + C_0 r + C R}{2 \sqrt{C C_0 R r}}. \quad (6)$$

Якщо параметр загасання буде значно більше одиниці, то вторинні параметри визначають за формулами, що приведені нижче.

Нижня частота смуги пропускання визначається за формулою:

$$f_H = \frac{1}{4\pi\xi T}. \quad (7)$$

Верхня частота смуги пропускання визначається за формулою:

$$f_B = \frac{\xi}{\pi T}. \quad (8)$$

Коефіцієнт передачі у розрахованому за формулами (7) та (8) діапазоні частот визначається за формулою:

$$W_0 = \frac{K}{2\xi T}. \quad (9)$$

Таким чином, якщо представити сенсор коливальною ланкою, то можна за приведеними вище формулами вирахувати необхідні параметри сенсору. Наприклад, якщо параметри сенсору, пластини якого виготовлені із міді, мають наступні значення:

$$\begin{aligned} \varepsilon_r &= 5 \text{ Ф/М}, \\ h &= 2 \cdot 10^{-3} \text{ М}, \\ D &= 4 \cdot 10^{-2} \text{ М}, \end{aligned}$$

то нижня, верхня частоти смуги пропускання та коефіцієнт передачі у цьому діапазоні приймають значення:

$$\begin{aligned} f_H &= 57 \text{ Гц}, \\ f_B &= 4 \cdot 10^{13} \text{ Гц}, \\ W_0 &= 4 \cdot 10^{-4} \text{ В*М/В}. \end{aligned}$$

З отриманих вище значень вторинних параметрів можна зробити висновок, що сенсор при невеликих геометричних розмірах має широку смугу робочих частот, при цьому чутливість достатня, для легкої реєстрації вихідного сигналу за допомогою електронних засобів. Запропонований прилад значно відрізняється від існуючих в першу чергу тим, що має один вимірювальний канал при використанні трикоординатного датчика, завдяки чому відсутня систематична похибка від розкиду параметрів цих каналів по відношенню один до одного. Завдяки використанню сенсорів у формі дисків з невеликими розмірами по відношенню до найкоротшої довжини хвилі при частоті 300 мГц поле у точці виміру є однорідним і немає істотних спотворень із-за внесення пробного тіла. Також прилад має джерело опорної напруги, завдяки якому можна проводити калібрування безпосередньо перед проведенням вимірів.

Висновки.

1. Відображено вплив високочастотного електричного поля на стан здоров'я людини.
2. Обґрунтовано метод виміру напруженості електричного поля, класифікаційні ознаки методу.
3. Установлено, що при використанні методу пробного тіла з три координатним датчиком, результат виміру не залежить від розташування його відносно силових ліній.
4. Розроблена структурна схема приладу виміру напруженості електричного поля, яка має функції вимірювання та калібрування каналу обробки сигналу, а також перевірки рівня розрядки батареї живлення.
5. Запропонована математична модель чутливого елемента, отримані числові значення вторинних параметрів сенсору при заданих геометричних розмірах.
6. Виявлено, що при невеликих геометричних розмірах сенсору смуга пропускання є значно ширшою ніж діапазон частот електричного поля, у якому проводяться виміри. , електричне поле в точці вимірювання є однорідним і не має істотних спотворень.

Література

1. Бирюков С.В. Средства и методы измерения параметров электрических полей. – О.: Изд-во ОмГТУ, 2009. – 112 с.
2. Князев А.Д. Измерение электромагнитных помех и измерительная аппаратура. – М.: Сов.радио, 1979. – 464 с.
3. Кузнецов В.А., Измерения в электронике. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 512 с.
4. Миклашевский С. П., Промышленная электроника. – М.: Высшая школа, 1964. – 373с.
5. Прянишников В.А., Электроника. – СПб.: Учитель и ученик: КОРОНА принт, 2003. – 416 с.
6. Кузнецов В.А., Долгов В.А., Коневских В.М. Измерения в электронике. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 512 с.
7. Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин И.Г. Электрорадиоизмерения. – М.: Высшая школа, 1986. – 351с.
8. Котомина Л.А., Тазенкова В.Ф. Логарифмирующие диоды. – М.-Л.: Энергия, 1966. – 88с.
9. Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений: Пер.с англ. – М.: Мир,1990. – 535с.

Аннотация

Винниченко Н.Г., Шинкаренко И.Г. Прибор измерения напряженности электрического поля печей высокочастотного нагрева. Предложена структурная схема измерения напряженности электрического поля вблизи печей высокочастотного нагрева.

Ключевые слова: напряженность, электрическое поле, измерительный зонд, измерительный прибор, высокочастотный нагрев, санитарная норма.

Annotation

Vinnichenko N.G., Shinkarenko I.G. Device of measuring of tension the electric field of stoves of the high-frequency heating. The flow diagram of measuring of napryazhen-nosti of the electric field is offered near-by the stoves of the high-frequency heating.

Keywords: tension, electric field, high-frequency heating, measuring device, sanitary norm, communication channel.

Здано в редакцію:
29.03.2010р.

Рекомендовано до друку:
д.т.н., проф. Чичикало Н.І.