

УДК 621.317.3

*Ю. С. НЕМЧЕНКО, І. П. ЛІСНИЙ, О. І. САРАЄВ, О. А. ГУЧЕНКО***ВИМІРЮВАЧ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ СТРУМІВ РАДІОЗАВАД**

Розглянуто норми і методика вимірювань низькочастотних струмів радіоперешкод в проводах електроживлення обладнання військової техніки відповідно до вимог розділу NCE01 стандарту НАТО АЕСТР-500. Для реалізації цих випробувань створено експериментальний зразок струмоз'ємника. Представлена методика розрахункової оцінки параметрів струмоз'ємника. Конструктивні параметри експериментального зразка струмоз'ємника такі: число витків 20 на феритових кільцях марки 2000НН з габаритами: зовнішній діаметр 120 мм, внутрішній діаметр 80 мм, товщина 25 мм; вимірювальної кабель марки РК50-2-21 довжиною 3 м. Описана методика і результати розробки RL-інтегратора. Представлені результати експериментального визначення метрологічних характеристик струмоз'ємника. Визначено залежність коефіцієнта перетворення від частоти в діапазоні від 30 Гц до 100 кГц. На частотах понад 200 Гц коефіцієнт перетворення стабільний і дорівнює 20,8 дБ мкА/мкВ. Представлені результати використання струмоз'ємника при проведенні випробувань приладу БПВР-400-1, а також перевірена можливість його використання для інших видів вимірювань, зокрема, вимірювання гармонік струму приладу «Артон-08П».

Ключові слова: вимірювання, низькочастотні струми радіозавод, експериментальний зразок струмознімача.

*Ю. С. НЕМЧЕНКО, И. П. ЛЕСНОЙ, А. И. САРАЕВ, А. А. ГУЧЕНКО***ИЗМЕРИТЕЛЬ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ТОКОВ РАДИОПОМЕХ**

Рассмотрены нормы и методика измерений низкочастотных токов радиопомех в проводах электропитания оборудования военной техники в соответствии с требованиями раздела NCE01 стандарта НАТО АЕСТР-500. Для реализации этих испытаний создан экспериментальный образец токосъемника. Представлена методика расчетной оценки параметров токосъемника. Конструктивные параметры экспериментального образца токосъемника такие: число витков 20 на ферритовом кольце марки 2000НН с габаритами: наружный диаметр 120 мм, внутренний диаметр 80 мм, толщина 25 мм; измерительной кабель марки РК50-2-21 длиной 3 м. Описана методика и результаты разработки RL-интегратора. Представлены результаты экспериментального определения метрологических характеристик токосъемника. Определена зависимость коэффициента преобразования от частоты в диапазоне от 30 Гц до 100 кГц. На частотах свыше 200 Гц коэффициент преобразования стабилен и равен 20,8 дБ мкА/мкВ. Представлены результаты использования токосъемника при проведении испытаний прибора БПВР-400-1, а также проверена возможность его использования для других видов измерений, в частности, измерения гармоник тока прибора «Артон-08П».

Ключевые слова: измерение, низкочастотные токи радиопомех, экспериментальный образец токосъемника.

*JU. S. NEMCHENKO, I. P. LISNIJ, A. I. SARAEV, A.A. GUCHENKO***MEASURING LOW FREQUENCY CURRENTS**

The norms and methods of measuring low-frequency currents of radio interference in the power supply wires of military equipment are considered in accordance with the requirements of the NCE01 section of the NATO AESTR-500 standard. To implement these tests created an experimental sample of the current collector. A method for calculating the current collector parameters is presented. The design parameters of the experimental sample of the current collector are as follows: the number of turns 20 on the ferrite ring of the brand 2000НН with dimensions: outer diameter 120 mm, inner diameter 80 mm, thickness 25 mm; measuring cable brand PK50-2-21 with a length of 3 m. The methodology and results of the development of the RL-integrator are described. The results of the experimental determination of the metrological characteristics of the current collector are presented. The dependence of the conversion coefficient on the frequency in the range from 30 Hz to 100 kHz is determined. At frequencies above 200 Hz, the conversion factor is stable at 20.8 dB $\mu\text{A}/\mu\text{V}$. The results of using the current collector during testing of the BPVR-400-1 device are presented, and the possibility of its use for other types of measurements, in particular, the measurement of current harmonics of the Arton-08P device, is also verified.

Key words: measurement, low frequency radio-current currents, experimental sample of current collector.

Вступ. В останні роки Україна постійно декларує бажання приєднатися до НАТО. І якщо це здійсниться, то Україні потрібно буде замінити своє озброєння на натівське. Маючи великий військово-промисловий потенціал, частину цього озброєння Україна буде сама розробляти та виготовляти. Для цього необхідно, щоб це озброєння відповідало усім стандартам НАТО, у тому числі і стандартам з електромагнітної сумісності (ЕМС).

Випробувальна лабораторія НДПКІ «Молнія» (ВЛ) акредитована на проведення випробувань з ЕМС приладів, які містять у собі електричні, електронні та радіовузли за багатьма міжнародними та регіональними стандартами з ЕМС, у тому числі і військовими стандартами СРСР. Маючи достатній досвід роботи за цими військовими стандартами та бажаючи розширити свою галузь акредитації на стандарти НАТО з ЕМС, ми провели аналіз цих стандартів з метою

з'ясування чим потрібно доукомплектувати ВЛ.

Всього ми проаналізували 2 стандарти з EMC: стандарт АЕСТР-250 [1] та стандарт АЕСТР-500 [2], та вирішили спочатку сконцентруватися на стандарті АЕСТР-500, який є більш актуальний на сьогоднішній день і який простіше реалізувати.

Аналіз стандарту АЕСТР-500 показав, що:

– він розповсюджується на озброєння усіх родів військ;

– у цьому стандарті прописано 25 видів випробувань, із яких 20 повинні проводитися у спеціалізованих лабораторіях, типу нашої ВЛ;

– всі випробування складаються з трьох частин: одна частина співпадає з випробуваннями за іншими стандартами і для їх проведення у нас є необхідне випробувальне та вимірювальне обладнання. Для реалізації другої частини можливо переорієнтувати вже діюче обладнання. Але шість видів випробувань і частково ще один відсутні у інших стандартах, і тому для них потрібне нове випробувальне та вимірювальне обладнання.

Одним з таких нових для нас видів є вимірювання низькочастотних струмів радіозавад у дротах електроживлення апаратури військової техніки за видом NCE01 [2]. Окремо потрібно сказати, що більшість випробувань на EMC (18 з 25) узяті з військового стандарту США MIL-STD-461F [3]. У стандарті [3] цей вид вимірювання має абревіатуру CE101. І тому у подальшому обладнання, яке буде зроблено за вимогою обох стандартів, може мати і абревіатуру за двома стандартами, наприклад, NCE01(CE101).

Вимоги до вимірювача. Вимірювання низькочастотних струмів радіозавад у дротах електроживлення апаратури військової техніки за видом NCE01 проводяться за допомогою струмознімача (СЗ). Основою для його проектування є норми на рівні струмів радіозавад, які потрібно вимірювати (рис. 1)

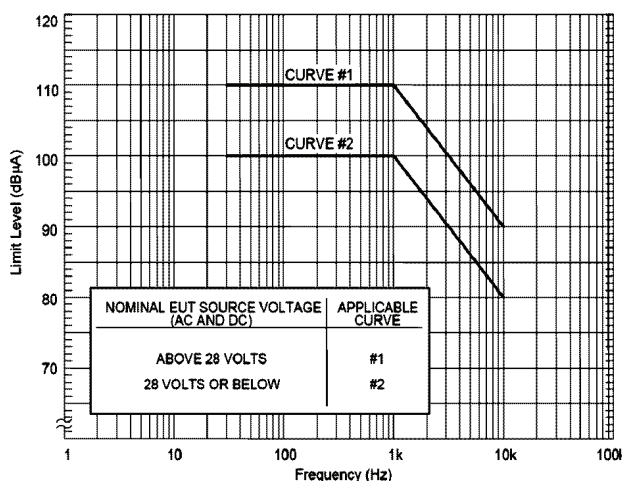


Рис. 1. Норми на рівні низькочастотних струмів радіозавад для бортового авіаційного обладнання за видом NCE01

З цього рисунка витікають метрологічні вимоги до СЗ.

– амплітудний діапазон, дБ мкА 60 – 130;

– частотний діапазон, кГц 0,03 – 100;
 – похибка вимірювання, дБ (без регістратора) ± 1;
 – реєстратор – селективний мікровольтметр.

Метод вимірювання низькочастотних струмів радіозавад наведено на рис. 2 [2, рис. NCE01-6].

Згідно з рис. 2 вимірювання цих струмів проводиться безконтактним методом за допомогою струмознімача індукційного типу.

Ідеологія побудови струмознімача індукційного типу

Струмознімач індукційного типу (далі – СЗ-А-НЧ (CP-A-LF)) працює наступним чином:

– струми радіозавад (I_{P3}), які потрібно вимірювати у дротах електроживлення, створюють навколо себе змінне магнітне поле кільцевого виду (рис. 3) з напруженістю H_{P3} , форма якого співпадає з формою I_{P3} , а амплітуда розраховується за формулою:

$$H_{P3} = \frac{I_{P3}}{2\pi r}, \quad (1)$$

де r – відстань від дроту зі струмом до силової лінії магнітного поля.

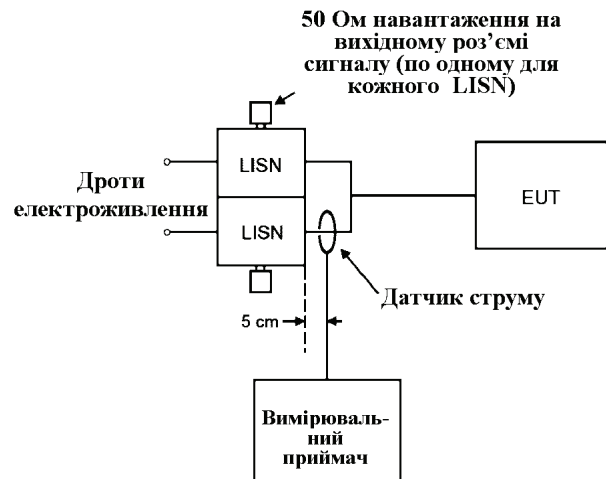


Рис. 2. Вимірювальна установка за методом NCE01:

EUT – прилад, який випробується;

LISN – еквівалент мережі

– якщо перпендикулярно до силової лінії магнітного поля розмістити котушку, то на кінцях цієї котушки виникає електрорушійна сила e_{P3} , яка розраховується за формулою (2):

$$e_{P3} = \mu_0 s w \frac{dH_{P3}}{dt} = \frac{\mu_0 s w}{2\pi r} \cdot \frac{dI_{P3}}{dt}, \quad (2)$$

де $\mu_0 - 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

s – площа котушки (м²);

w – кількість витків.

Якщо струми, що вимірюються, мають синусоїдальну форму виду:

$$I_{P3} = I_m \sin \omega t, \quad (3)$$

– то формула (2) перетворюється у формулу (4):

$$e_{p3} = \frac{2 \cdot 10^{-7} s w}{r} \cdot \omega \cdot I_m \cdot \cos \omega t. \quad (4)$$

– таким чином, напруга на виході котушки, яка є вимірювальним перетворювачем (ВП), за формою збігається з формою вимірюваних струмів, а за амплітудою – пропорційна похідній від вимірюваних струмів.

– напруга на виході ВП лінійно залежить від частоти вимірюваних струмів, що незручно. Тому на практиці на виході ВП встановлюють пасивні інтегратори – RC (рис. 4) або RL (рис. 5) типів, на виході яких напруга буде пропорційна амплітуді вимірюваних струмів у діапазоні частот, при яких

$$T_i \geq \frac{10}{f},$$

де T_i – постійна інтегрування. Для RC-інтеграторів $T_i(c) = R(O_M) \cdot C(\Phi)$, а для RL-інтеграторів

$$T_i(c) = \frac{L(\Gamma_H)}{R(O_M)}.$$

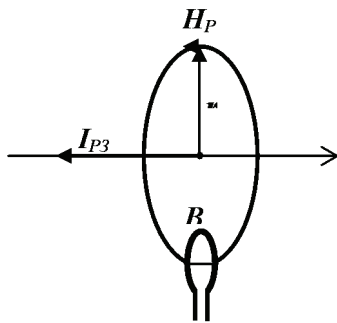


Рис. 3. Ілюстрація до методу вимірювання магнітного поля радіозавад

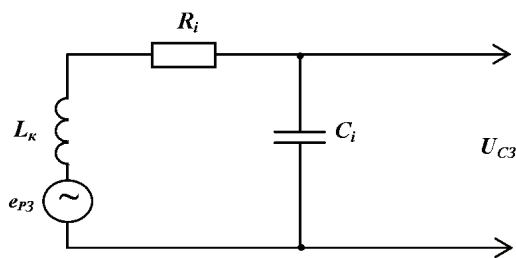


Рис. 4. Електрична схема струмознімача з RC-інтегратором:

e_{p3} – електрорушійна сила;
 L_K – індуктивність ВП
 R_i – інтегруючий резистор;
 C_i – інтегруюча ємність;
 U_{C3} – напруга на виході СЗ

– конструкція, яка складається з ВП та інтегратора, і буде струмознімачем (СЗ). Напруга (U_{C3}) на виході СЗ розраховується за формулою (5):

$$U_{C3} = \frac{2 \cdot 10^{-7} s w}{r \cdot T_s} \cdot I_m \cdot \cos \omega t. \quad (5)$$

– одним з основних метрологічних показників СЗ є коефіцієнт перетворення ($K_{П}$), який розраховується

за формулою:

$$K_{П} = \frac{I_m(A)}{U_{C3}^m(B)} = \frac{r \cdot T_s}{2 \cdot 10^{-7} \mu_r s w}. \quad (6)$$

– проведені розрахунки $K_{П}$ показали, що для частотного діапазону за рис. 1 він буде дуже малий, і тому або на виході інтегратора потрібен підсилювач, або ВП потрібно конструювати з феритовим осердям. При конструюванні СЗ-А-НЧ (СР-А-ЛФ) був прийнятий варіант з феритовим осердям;

– у якості феритового осердя прийнято феритове кільце марки 2000НН з габаритами: зовнішній діаметр 120 мм, внутрішній діаметр 80 мм, товщина 25 мм. Вибір такого кільця обумовлений тим, що у порожнечу кільця потрібно пропускати провід з вимірюваним струмом, причому цей провід може бути з роз'ємом. На практиці габарити роз'єму можуть досягати 50 – 60 мм.

– у цьому випадку максимальна напруга на виході СЗ розраховується за формулою.

$$U_{C3}^m = \frac{2 \cdot 10^{-7} \mu_r s w}{r \cdot T_s} \cdot I_m. \quad (7)$$

де μ_r – магнітна проникність феритового кільця, яка може досягати декількох тисяч.

У такому разі коефіцієнт перетворення СЗ буде розраховуватись за формулою (6).

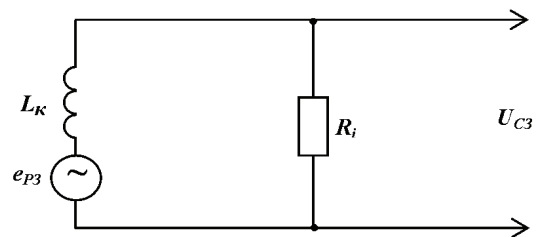


Рис. 5. Електрична схема струмознімача з RL-інтегратором:

e_{p3} – електрорушійна сила;
 L_K – індуктивність ВП
 R_i – інтегруючий резистор;
 U_{C3} – напруга на виході СЗ

Вибір конструктивних параметрів експериментального зразка СЗ. Вибір конструктивних параметрів СЗ складається з двох основних розділів:

- вибір кількості витків та довжини вимірювального кабелю;
- вибір типу інтегратора.

Вибір кількості витків та довжини вимірювального кабелю. Для аналізу та вибору кількості витків було обрано конструкцію з феритовим кільцем, яке має $\mu_r = 2000$. З іншої сторони кожен виток у цьому разі має мінімальні габарити 40 мм х 25 мм, таким чином мінімальна площа – 10^{-3} м^2 . При мінімальному струмі (60 дБ·мкА) та мінімальному сигналі (1 мкВ), який може зафіксувати селективний мікровольтметр, $K_{П}$ повинен бути не менш ніж 1 дБ

(мкВ/мкА). Звідси при $w = 1$ $U_{C3} = 0,08$ мкВ, що значно нижче чутливості мікрвольтметра. Тому у експериментальному зразку вибрано $w = 20$.

Другим фактором для вибору конструктивних параметрів СЗ є електричний резонанс у контурі СЗ (індуктивність L_K та ємність вимірювального кабелю), частота якого повинна бути вище 10 кГц, (а краще 100 кГц), що витікає з вимог до частотного діапазону СЗ. Експериментальні дослідження показали, що довжина вимірювального кабелю марки РК50 повинна бути не більш 5 м. У реальному зразку ця довжина 3 м.

Таким чином, остаточні конструктивні параметри експериментального зразку СЗ такі: $w = 20$ на феритовому кільці марки 2000НН з габаритами: зовнішній діаметр 120 мм, внутрішній діаметр 80 мм, товщина 25 мм, та вимірювальний кабель марки РК50-2-21 довжиною 3 м.

Вибір типу інтегратора. Постійна інтегрування обох видів інтеграторів повинна бути не менш 0,1 с. Для RC-інтегратора його елементи повинні бути $R_i = 100$ кОм, а $C_i = 1$ мкФ. Створення інтегратора з такими параметрами доволі складна задача, тому що треба компенсувати паразитні параметри елементів інтегратора. З іншого боку, RL-інтегратор не має таких вад. При цьому R_i може бути 50 Ом, що важливо для узгодження з вимірювальним трактом. Паразитні параметри цього резистора можна не враховувати.

Експериментальний зразок СЗ, створений за вищенаведеними розрахунками, наведено на рис. 6.

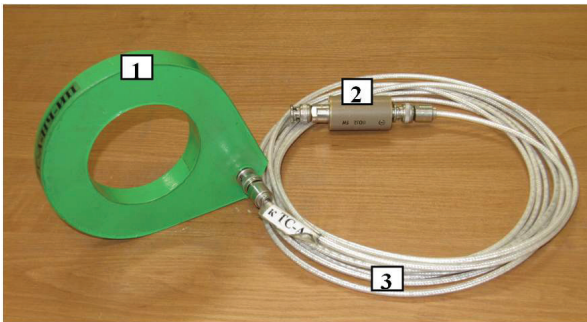


Рис. 6. Зовнішній вигляд експериментального зразка СЗ:

- 1 – вимірювальний перетворювач ВП в електростатичному екрані;
- 2 – інтегруючий резистор R_i ;
- 3 – вимірювальний кабель, довжиною 3 м

Експериментальне визначення метрологічних характеристик СЗ. Ціллю цих робіт є експериментальне визначення коефіцієнта перетворення та його залежності від частоти та амплітуди випробувальних струмів.

Частотний діапазон – від 30 Гц до 10 кГц (з можливістю перевірки до 100 кГц).

Амплітудний діапазон – від 60 дБ мкА (1 мА) до 130 дБ мкА (3 А).

Для цього була створена випробувальна установка за рис. 7.

На рис. 8 наведена фотографія робочого місця, зібраного за рис. 7.

При встановленні метрологічних характеристик був визначений амплітудно-частотний діапазон, у якому амплітудна характеристика лінійна. Для виявлення цього діапазону були проведені вимірювання напруги на виході СЗ при випробувальних струмах 1 мА (60 дБ мкА), 10 мА (80 дБ мкА), 100 мА (100 дБ мкА), 1 А (120 дБ мкА), 2 А (126 дБ мкА), 3 А (130 дБ мкА), 4 А (132 дБ мкА), 5 мА (134 дБ мкА), 6 А (135,5 дБ мкА), 7 А (137 дБ мкА).

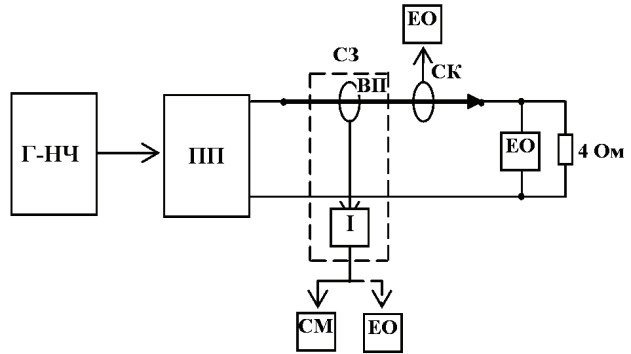


Рис. 7. Структурна схема випробувальної установки:

- Г-НЧ – генератор низьких частот;
- ПП – підсилювач потужності;
- СЗ – струмознімач;
- ВП – вимірювальний перетворювач;
- І – інтегратор;
- ЕО – осцилограф;
- СК – струмовимірювальні кліщі Fluke i3000s;
- СМ – селективний мікрвольтметр

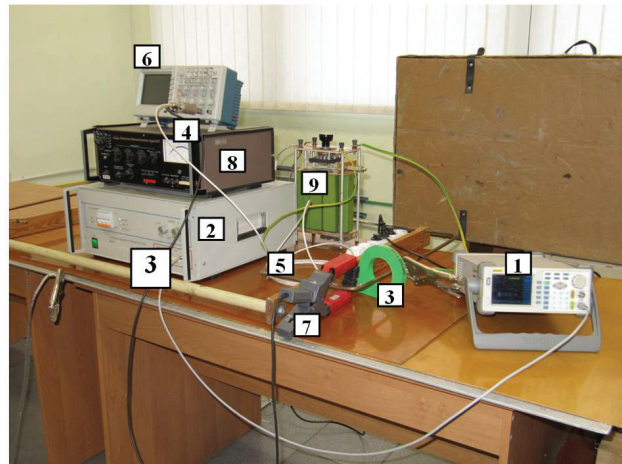


Рис. 8. Фотографія робочого місця для перевірки метрологічних характеристик експериментального зразка струмознімача:

- 1 – генератор низьких частот Rigol DG3121A;
- 2 – підсилювач потужності УМ-400;
- 3 – вимірювальний перетворювач;
- 4 – інтегратор;
- 5 – вимірювальний кабель;
- 6 – осцилограф Tektronix TDS 2024B;
- 7 – струмовимірювальні кліщі Fluke i3000s;
- 8 – селективний мікрвольтметр Unipan 237;
- 9 – навантаження 4 Ом

Вимірювання проводились на частотах від 30 Гц до 100 Гц з кроком 10 Гц, від 100 Гц до 1000 Гц з кро-

ком 100 Гц, від 1 кГц до 10 кГц з кроком 1 кГц, а також з метою визначення частоти обмеження були проведені вимірювання у діапазоні до 100 кГц.

Струми 1; 10; 100 мА вимірювались як падіння напруги на штатній навантазі 4 Ом за допомогою осцилографа Tektronix TDS 2024B, а напруга з виходу СЗ – селективним мікровольтметром Upiran 237.

Струми від 1 А до 7 А вимірювались за допомогою струмовимірювальних кліщів Fluke i3000s та осцилографа Tektronix TDS 2024B (перший канал), а напруга з виходу СЗ – осцилографа Tektronix TDS 2024B (другий канал)

Детальні результати вимірювання при струмі 1 А наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Результати вимірювання напруги на виході СЗ при струмі 1 А

| | | | | | |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| f, кГц | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 |
| U_{C3} , мВ | 73,2 | 80,4 | 83,5 | 85,4 | 88 |
| f, кГц | 0,08 | 0,09 | 0,1 | 0,2 | 0,3 |
| U_{C3} , мВ | 89,5 | 88,2 | 89,3 | 91 | 91,5 |
| f, кГц | 0,4 | 0,5 | 1 | 2 | 3 |
| U_{C3} , мВ | 92,1 | 91,5 | 91,5 | 91,6 | 91,5 |
| f, кГц | 4 | 5 | 6 | 7 | 10 |
| U_{C3} , мВ | 91,5 | 91,5 | 91,5 | 91,5 | 91,5 |

Результати вимірювання показали, що:

– АЧХ експериментального зразка СЗ практично лінійна у діапазоні вимірювальних струмів від 1 мА до 5 А;

– при вимірювальних струмах вище 5 А починається насичення феритового кільця і напруга на виході СЗ падає;

– на частотах від 30 до 100 Гц напруга з виходу СЗ трохи зростає, а далі, аж до частоти 100 кГц, – вона практично незмінна

– розрахунки та експериментальні дослідження СЗ визначили, що можливо створити такий СЗ, який повністю відповідає вимогам виду вимірювань NCE01. Загальний вид такого СЗ, який отримав назву СЗ-А-НЧ (СР-А-LF), наведено на рис. 6. Для захисту СЗ від сторонніх заводо несучих електричних полів ВП розміщується у середині електростатичного екрану з прорізу по утворюючій лінії.

Конструктивні та метрологічні характеристики експериментального зразка СЗ-А-НЧ (СР-А-LF) наведено в табл. 2 [4].

Таблиця 2 – Основні характеристики СЗ-А-НЧ (СР-А-LF)

| Найменування характеристики | Розмірність | Величина |
|-------------------------------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 Смуга робочих частот | кГц | 0,03 - 100 |
| 2 Діапазон вимірюваних струмів радіозавод | дБ (відн. 1мкА) | 10 - 134 |
| 3 Коефіцієнт калібрування | дБ | див. табл. 2 и рис. 2 |
| 4 Внутрішній діаметр СЗ | мм | 80 |
| 5 Габаритні розміри ВП | мм | 162x135x30 |
| 6 Маса | кг | 0,5 |

Головною метрологічною характеристикою є коефіцієнт перетворення, який визначається за форму-

лою (6).

Згідно зі світовою практикою у галузі EMC, усі розрахунки ведуть в децибелах (дБ), які визначаються, наприклад, як

$$I_m (\text{дБ} \cdot \text{мкА}) = 20 \log I_m (\text{мкА}). \quad (8)$$

Тому

$$K_{II} (\text{дБ} \cdot \text{мкА/мкВ}) = I_m (\text{дБ} \cdot \text{мкА}) - U_{C3} (\text{дБ} \cdot \text{мкВ}). \quad (9)$$

У табл. 3 наведено залежність K_{II} (дБ·мкА/мкВ) від частоти згідно з результатами експериментальних досліджень.

На рис. 9 наведено графік коефіцієнта перетворення СЗ-А-НЧ (СР-А-LF) за табл. 3.

При вимірюванні емісії струмів радіозавод буде вимірюватися напруга з виходу СЗ. І тому не одразу видно перевищують чи ні ці напруги норми на струми радіозавод згідно з рис. 1. Щоб оператор зміг одразу це визначити, у табл. 4 наведено норми на напруги U_{C3}^m , які відповідають нормам на струми I_m , і розраховані за формулою (10):

$$U_{C3}^m (\text{дБ} \cdot \text{мкВ}) = I_m (\text{дБ} \cdot \text{мкА}) - K_{II} (\text{дБ} \cdot \text{мкА/мкВ}). \quad (10)$$

Таблиця 3 – Залежність коефіцієнта перетворення СЗ-А-НЧ (СР-А-LF) від частоти

| Частота, Гц | Коефіцієнт перетворення $K_{II}(f)$, дБ | Частота, Гц | Коефіцієнт перетворення, $K_{II}(f)$, дБ |
|-------------|------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------|
| 30 | 22,7 | 700 | 20,8 |
| 40 | 21,9 | 800 | 20,8 |
| 50 | 21,6 | 900 | 20,8 |
| 60 | 21,4 | 1000 | 20,8 |
| 70 | 21,1 | 2000 | 20,8 |
| 80 | 21,1 | 3000 | 20,8 |
| 90 | 21,1 | 4000 | 20,8 |
| 100 | 21,0 | 5000 | 20,8 |
| 200 | 20,8 | 11000 | 20,8 |
| 300 | 20,8 | 13000 | 20,8 |
| 400 | 20,8 | 14000 | 20,8 |
| 500 | 20,8 | 15000 | 20,8 |
| 600 | 20,8 | 100000 | 20,8 |

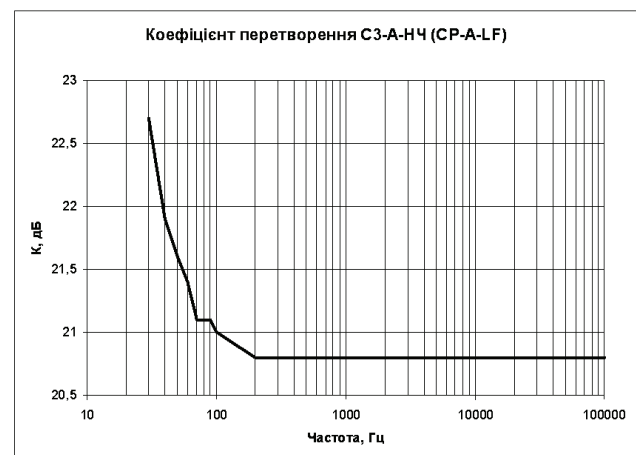


Рис. 9. Графік коефіцієнта перетворення СЗ-А-НЧ (СР-А-LF)

Таблиця 4 – Норми на струми та напруги U_{C3}^m за видом NCE01

| Частота, кГц | Норми на струми, дБ·мкА | | Норми на напруги, дБ·мкВ | |
|--------------|-------------------------|---------|--------------------------|---------|
| | крива 1 | крива 2 | крива 1 | крива 2 |
| 0,03 | 110 | 100 | 87,3 | 77,3 |
| 0,04 | 110 | 100 | 88,1 | 78,1 |
| 0,05 | 110 | 100 | 88,4 | 78,4 |
| 0,06 | 110 | 100 | 88,6 | 78,6 |
| 0,07 | 110 | 100 | 88,9 | 78,9 |
| 0,08 | 110 | 100 | 88,9 | 78,9 |
| 0,09 | 110 | 100 | 88,9 | 78,9 |
| 0,1 | 110 | 100 | 89,0 | 79,0 |
| 0,2 | 110 | 100 | 89,2 | 79,2 |
| 0,3 | 110 | 100 | 89,2 | 79,2 |
| 0,4 | 110 | 100 | 89,2 | 79,2 |
| 0,5 | 110 | 100 | 89,2 | 79,2 |
| 0,6 | 110 | 100 | 89,2 | 79,2 |
| 0,7 | 110 | 100 | 89,2 | 79,2 |
| 0,8 | 110 | 100 | 89,2 | 79,2 |
| 0,9 | 110 | 100 | 89,2 | 79,2 |
| 1 | 110 | 100 | 89,2 | 79,2 |
| 2 | 104 | 94 | 83,2 | 73,2 |
| 3 | 100,5 | 90,5 | 79,7 | 69,7 |
| 4 | 98 | 88 | 77,2 | 67,2 |
| 5 | 96 | 86 | 75,2 | 65,2 |
| 6 | 94,5 | 84,5 | 73,7 | 63,7 |
| 7 | 93 | 83 | 72,2 | 62,2 |
| 8 | 92 | 82 | 71,2 | 61,2 |
| 9 | 91 | 81 | 70,2 | 60,2 |
| 10 | 90 | 80 | 69,2 | 59,2 |

Якщо на деяких частотах виміряні струми радіозавод перевищують норми, то для цього створюють табл. 5 (наведено зразок таблиці) згідно з формулою (11):

$$I(\text{дБ} \cdot \text{мкА}) = U(\text{дБ} \cdot \text{мкВ}) + K_{II}(\text{дБ} \cdot \text{мкА/мкВ}). \quad (11)$$

Таблиця 5 – Перевищення струмів радіозавод

| Частота, кГц | Вимірний струм радіозавод, дБ мкА | Норма за табл. 4, дБ мкА | Перевищення, дБ мкА |
|--------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |



Рис. 10. Робоче місце для вимірювання струмів радіозавод у дротах живлення виробу БПВР-400-1

Для перевірки роботоспроможності струмознімача СЗ-А-НЧ (СР-А-LF) він був використаний при вимірюванні низькочастотних струмів радіозавод у

дротах живлення виробу БПВР-400-1Н [5]. На рис. 10 наведено робоче місце для вимірювання струмів радіозавод у дротах живлення виробу БПВР-400-1.

Результати вимірювання були позитивні, так як усі струми радіозавод не перевищували норм.

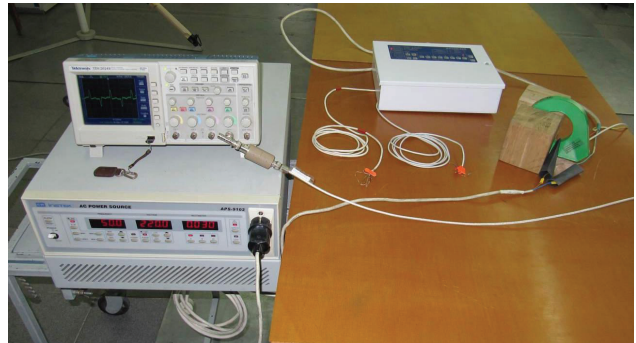


Рис. 11. Фотографія робочого місця при вимірюванні емісії гармонік струму у мережі живлення «Артон-08II»

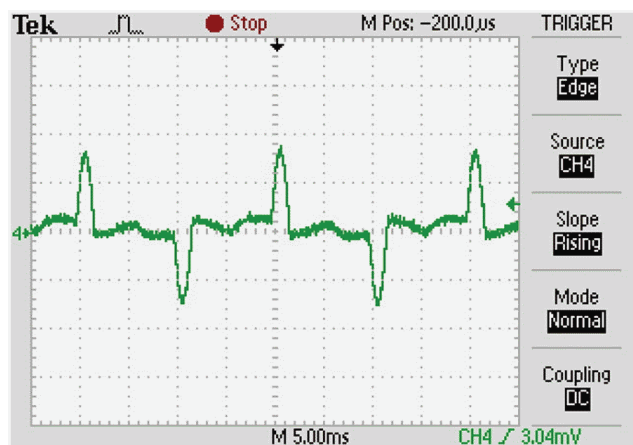


Рис. 12. Осцилограма струму у мережі живлення «Артон-08II»

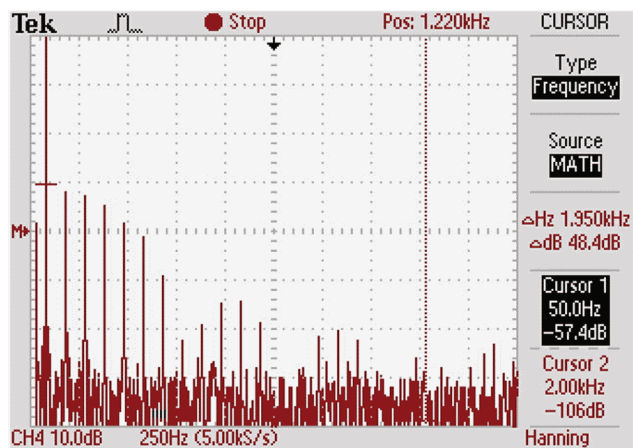


Рис. 13. Осцилограма гармонік струму у мережі живлення «Артон-08II» у режимі швидкого перетворення Фур'є

Крім того, СЗ-А-НЧ (СР-А-LF) можливо використовувати і для інших цілей. Наприклад, для вимірювання емісії гармонік струму у мережі живлення приладів, що живляться від електромережі 220 В 50 Гц з робочим струмом до 5 А і які не повинні перевищува-

ти норми за п. 7.1 ДСТУ EN 61000-3-2:2004 [6].

Далі наведено, як цей метод застосовувався при вимірюванні гармонік струму від приладу «Артон-08П». Фотографія робочого місця наведена на рис. 11. Результати вимірювання робочого струму «Артон-08П» та його гармонік наведено на рис. 12, 13 та у табл. 6 [7].

Таблиця 6 – Результати вимірювання робочого струму «Артон-08П» та його гармонік

| Порядок гармоніки, n (Гц) | Максимально допустима сила струму, мА | Виміряна від «Артон-08П» сила струму, мА | Результат випробувань |
|---------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------|
| 1 (50) | не встановлено | 18 | відповідає |
| 2 (100) | 1080 | 0,057 | відповідає |
| 3 (150) | 2300 | 14,2 | відповідає |
| 4 (200) | 430 | 0,112 | відповідає |
| 5 (250) | 1140 | 12,6 | відповідає |
| 6 (300) | 300 | 0,21 | відповідає |
| 7 (350) | 770 | 10,2 | відповідає |
| 8 (400) | 230 | 0,1 | відповідає |
| 9 (450) | 400 | 6,7 | відповідає |
| 10 (500) | 184 | 0,17 | відповідає |
| 12 (600) | 153,3 | 0,14 | відповідає |
| 14 (700) | 131,4 | 0,1 | відповідає |
| 16 (800) | 115 | 0,089 | відповідає |
| 18 (900) | 102,2 | 0,205 | відповідає |
| 20 (1000) | 92 | 0,056 | відповідає |
| 22 (1100) | 83,6 | 0,089 | відповідає |
| 24 (1200) | 76,7 | 0,178 | відповідає |
| 26 (1300) | 70,8 | 0,145 | відповідає |
| 28 (1400) | 65,7 | 0,089 | відповідає |
| 30 (1500) | 61,3 | 0,112 | відповідає |
| 32 (1600) | 57,5 | 0,089 | відповідає |
| 34 (1700) | 54,1 | 0,056 | відповідає |
| 36 (1800) | 51,1 | 0,112 | відповідає |
| 38 (1900) | 48,4 | 0,063 | відповідає |
| 40 (2000) | 46 | 0,063 | відповідає |

Висновки. За використання сталої практики фахівців НДПКІ «Молнія» НТУ «ХПИ», розроблено та створено макет вимірювального пристрою для реалізації випробувань за видом NCE01 стандарту НАТО АЕСТР-500. Дослідження метрологічних характеристик СЗ-А-НЧ підтвердило повну відповідність вимогам стандарту щодо діапазону частот від 30 Гц до 10 кГц, та сили струму від 60 до 130 дБ мкА.

Макет СЗ-А-НЧ пройшов апробацію при вимірюваннях струмів радіозавод за випробувань приладів БВПР-400-1Н та Артон-08П.

Створення макету СЗ-А-НЧ здійснено у рамках виконання науково-дослідної роботи «Розробка системи

випробувань типових видів озброєння та військової техніки України за стандартами НАТО з електромагнітної сумісності» (Реєстраційний номер 019U002571), яка фінансується Міністерством освіти і науки України.

Список літератури

1. АЕСТР 250 Electrical and electromagnetic environmental conditions.
2. АЕСТР 500 Electromagnetic environmental effects tests and verification. Edition E Version 1 December 2016.
3. MIL-STD-461 F Department of defence interface standard. Requirements for the control of electromagnetic interference. Characteristics of subsystems and equipment.
4. Токосъёмник типа ТС-А для диапазона рабочих частот от 1,5 кГц до 100 МГц. Паспорт. ТС-000.000.000 ПС.
5. Протокол испытаний блока выпрямления и распределения питания БВПР-МС-400-1Н на электромагнитную совместимость по ОСТ В1 02763-95, на эмиссию радиопомех по ОСТ В1 02696-90, на молниестойкость по ОСТ 1 01160-88, на устойчивость к электростатическому разряду по ДСТУ ІЕС 61000-4-2.
6. ДСТУ ІЕС 61000-3-2:2008 Електромагнітна сумісність. Частина 3-2: норми. на емісію гармонік струму (Для сили вхідного струму обладнання не більше 16 А на фазу).
7. Підсумковий протокол №1-2016 міжлабораторних порівняльних випробувань приймально-контрольного пожежного приладу «АРТОН-08П» на несприйнятливості до впливу електростатичних розрядів, швидких перехідних процесів/пакетів імпульсів та сплесків напруги і струму, провалів та переривань напруги мережі, емісії гармонік струму та флуктуації напруги живлення. Пр МПВ EMC-CS-2-1:2016.

Bibliography (transliterated)

1. АЕСТР 250 Electrical and electromagnetic environmental conditions.
2. АЕСТР 500 Electromagnetic environmental effects tests and verification. Edition E Version 1 December 2016.
3. MIL-STD-461 F Department of defense interface standard. Requirements for the control of electromagnetic interference. Characteristics of subsystems and equipment.
4. Tokos#emnik tipa TS-A dlja diapazona rabochih chastot ot 1,5 kGc do 100 MGc. Paspport. TS-000.000.000 PS.
5. Protokol ispytaniy bloka vyprjamlenija i raspredelenija pitaniya BVPR-MS-400-1N na jelektromagnitnuju sovmestimost' po OST V1 02763-95, na jemissiju radiopomeh po OST V1 02696-90, na molniestojkost' po OST 1 01160-88, na ustojchivost' k jelektrostatičeskomu razrjadu po DSTU ІЕС 61000-4-2.
6. DSTU ІЕС 61000-3-2:2008 Elektromagnitna sumisnist'. Chastina 3-2: normi. normi na emisiju harmonik strumu (Dlja sili vhidnogo strumu obladnannja ne bil'she 16 a na fazu).
7. Pidsumkovij protokol №1-2016 mizhlaboratornih porivnjal'nih viprobuvan' prijmjal'no-kontrol'nogo pozhezhnogo priladu «ARTON-08P» na nesprijnjatlivist' do vplivu elektrostatičnih rozrjadiv, shvidkih perehidnih procesiv/paketiv impul'siv ta splskiv naprugi i strumu, provaliv ta pererivan' naprugi merezhi, emisii garmonik strumu ta fluktuacii naprugi zhivlennja. Pr MPV EMS-CS-2-1:2016.

Посынула (received) 05.05.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Немченко Юрій Семенович (Немченко Юрий Семенович, Nemchenko Yuriy Semenovych) – Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник, головний метролог; м. Харків, Україна; тел.: (057) 707-68-68.

Лісної Іван Петрович (Лесной Иван Петрович, Lisnoy Ivan Petrovych) – Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник; м. Харків, Україна; тел.: (057) 707-68-68.

Сараєв Олександр Іванович (Сараев Александр Иванович, Sarayev Oleksandr Ivanovych) – Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», науковий співробітник; м. Харків, Україна; тел.: (057) 707-68-68.

Гученко Олександр Анатолійович (Гученко Александр Анатольевич, Guchenko Oleksandr Anatolijovych) – Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», науковий співробітник; м. Харків, Україна; тел.: (057) 707-68-68.