

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДВНЗ «УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра Електронних Систем

ДУБАНИЧА МИХАЙЛА МИХАЙЛОВИЧА

**Датчик струму на основі ефекту Холла для промислових систем**

Спеціальність 171 Електроніка  
Освітня програма Електронні системи

Кваліфікаційна робота  
На здобуття освітнього ступеня бакалавра

Науковий керівник  
Тарас ЗАЯЦЬ  
к.ф.-м.н., доцент  
завідувач кафедри «ЕС»

Реєстрація \_\_\_\_\_

(номер)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р. \_\_\_\_\_ Тетяна СЕМАК

(підпис)

Кваліфікаційна робота допущена до захисту

Завідуючий кафедрою

Тарас ЗАЯЦЬ

к.ф-м.н., доцент

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

Рецензент \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДВНЗ «Ужгородський національний університет»**  
**Інженерно-технічний факультет**  
**Кафедра електронних систем**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою,

доц. \_\_\_\_\_ (Заяць Т.М.)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

На кваліфікаційну роботу бакалавра

на тему:

**«Датчик струму на основі ефекту Холла**

**для промислових систем»**

Студента групи ЕС: Михайла ДУБАНИЧА

( )

Керівник: к. ф.-м.н., доц, кафедри ЕС

**Тарас ЗАЯЦЬ**

( )

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою,

доц. \_\_\_\_\_ (Заяць Т. М.)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 року

## З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну бакалаврську роботу  
студента Дубанича Михайла Михайловича

1. Тема роботи: “Датчик струму на основі ефекту Холла для промислових систем”.  
Затверджено Розпорядженням декана ІТФ від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 року № \_\_\_\_\_
2. Термін закінчення студентом роботи: 23.06.2026
3. Вихідні дані до бакалаврської роботи.  
Розробити просту електронну систему датчику струму на основі ефекту Холла.  
Частота вимірюваного струму 0-10 кГц  
Нерівномірність АЧХ у всьому діапазоні до 100 кГц не більше 10%  
Вимірювання мінімального вхідного струму 0,1 А  
Вимірювання максимального вхідного струму 10 А з можливістю підвищення параметру до 400 А
4. Зміст роботи (перелік питань, що підлягають розробці):  
ВСТУП
  1. Огляд та аналіз аналогів об'єкту проектування
    - 1.1. Аналіз аналогів об'єкта проектування.
    - 1.2. Технічна пропозиція та її обґрунтування
  2. Проектно-конструкторський розділ.
    - 2.1. Синтез структурної схеми;
    - 2.2. Розробка електричної принципової схеми;
    - 2.3. Розрахунок окремих блоків пристрою
    - 2.4. Розрахунок характеристик надійності пристрою
    - 2.5. Розрахунок вібровитривалості плати
  3. Висновки.
  4. Список використаних джерел.
  5. Перелік графічної частини
    - Додаток А. Структурна схема \_\_\_\_\_
    - Додаток Б. Принципова схема \_\_\_\_\_
    - Додаток В. Перелік елементів \_\_\_\_\_
    - Додаток Г. Специфікація \_\_\_\_\_

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
		доц. Заяць Т.М.	Дубанич М. М.
Нормоконтроль			

6. Дата видачі завдання

20.10.2025

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ п/п	Найменування етапів виконання КБР	Термін виконання етапів	Примітки
1.	Пошук та аналіз аналогів об'єкта досліджень.	березень, 2026	
2.	Огляд та аналіз аналогів.	березень, 2026	
3.	Вибір технічного рішення та обґрунтування технічної пропозиції.	квітень, 2026	
4.	Синтез структурної та принципальної схем, їх розрахунок.	квітень, 2026	
5.	Виготовлення конструкторської документації.	травень, 2026	
6.	Оформлення кваліфікаційної бакалаврської роботи.	травень, 2026	
7.	Захист на державній екзаменаційній комісії.	Згідно з графіком захисту	

Студент

\_\_\_\_\_ (Михайло ДУБАНИЧ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (Тарас ЗАЯЦЬ)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна бакалаврська робота на тему «Датчик струму на основі ефекту Холла для промислових систем» / УжНУ; Керівник Заяць Т.М.; Студент Дубанич М. М., група ЕС.

Пояснювальна записка: 46 сторінок, 15 рисунків, 6 таблиць, 35 джерел, 4 додатки.

Графічна частина: 2 листи формату А1.

**Об'єкт проектування** — безконтактний датчик струму, що функціонує на основі ефекту Холла, призначений для вимірювання сили постійного та змінного струмів у силових електричних ланцюгах.

**Мета роботи** — розробка, теоретичне обґрунтування та виготовлення прототипу датчика струму, а також підготовка комплексу конструкторської документації з використанням сучасних систем автоматизованого проектування (САПР), зокрема Autodesk AutoCAD.

### Опис проєкту:

- **Аналітична частина:** Проведено аналіз літературних джерел та існуючих аналогів. Розглянуто фізичні принципи роботи перетворювачів Холла, їхні переваги та обмеження у порівнянні з шунтами та трансформаторами струму.
- **Технічні рішення:** На основі технічного завдання розроблено структурну та принципову електричну схеми. Виконано обґрунтований вибір елементної бази (чутливого елемента, операційних підсилювачів та компонентів термокомпенсації).
- **Розрахункова частина:** Проведено розрахунки основних функціональних вузлів, аналіз точності вимірювань та розрахунок надійності (середнього часу напрацювання на відмову).
- **Конструкторсько-технологічний розділ:** Розділ присвячений розробці принципової електричної схеми пристрою. Виконано обґрунтований вибір елементної бази та розраховано взаємодію функціональних вузлів. Особливу

увагу приділено забезпеченню точності передачі сигналу та теоретичному аналізу захисту від електромагнітних завад.

Ключові слова:

ЕФЕКТ ХОЛЛА, ДАТЧИК СТРУМУ, БЕЗКОНТАКТНЕ ВИМІРЮВАННЯ,  
СТРУКТУРНА СХЕМА, ПРИНЦИПОВА ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА.

БІОСІТФУЖЕНУ

## ABSTRACT

Diploma project of the “Bachelor” degree: «Hall effect-based current sensor for industrial systems» / UzhNU; Supervisor: Zayats T. M.; Student: Dubanych M. M., ES group.

Explanatory note: 46 pages, 15 figures, 6 tables, 35 sources, 4 appendixes.

Graphic part: 2 A1 sheets.

**Project Objective:** The design, calculation, and prototyping of a non-contact current sensor based on the Hall effect, intended for measuring DC and AC currents in power circuits.

**Research Goals:** To develop and manufacture a functional unit while generating comprehensive engineering documentation using Computer-Aided Design (CAD) software Autodesk AutoCAD.

### Project Summary:

- **Literature Review & Analysis:** The project includes a comparative analysis of current sensing technologies. It explores the fundamental principles of Hall effect transducers, evaluating their performance against traditional shunts and current transformers.
- **System Design:** Based on the technical specifications, a system block diagram and a detailed schematic were developed. The design process involved selecting an optimal component base, focusing on the sensor element, signal conditioning stages, and thermal compensation circuits.
- **Calculations & Reliability:** Key functional blocks were mathematically modeled. This section includes error analysis, precision calculations, and a reliability assessment to determine the device's mean time between failures (MTBF).
- **Circuit Design & Analysis:** This section focuses on the development of the principal electrical schematic. It details the selection of the component base, the theoretical layout of the circuit, and the integration of signal conditioning elements. Special consideration was given to ensuring signal integrity and providing theoretical protection against electromagnetic interference (EMI)..

**Keywords:**

HALL EFFECT, CURRENT SENSOR, NON-CONTACT MEASUREMENT,  
BLOCK DIAGRAM, CIRCUIT SCHEMATIC, CAD SOFTWARE.

ЕОСІТФ ВЖЕН

## ЗМІСТ

ВСТУП	11
1. Огляд і аналіз існуючих аналогів об'єкту проектування.	13
1.1. Аналіз технічного завдання.	13
1.2. Огляд і аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень поставленого завдання.	14
1.2.1. Ефект Холла.	14
1.2.2. Датчик ЕРС Холла.	16
1.2.3. Прилад для безконтактного вимірювання струмів.	17
1.2.4. Датчики струму на основі ефекту Холла.	19
1.2.5. Безконтактний датчик струму.	21
1.2.6. Датчики струму компанії Honeywell.	23
1.2.7. Датчики стану на основі ефекту Холла.	32
2. Проектно - конструкторський розділ.	35
2.1. Технічна пропозиція та її обґрунтування.	35
2.2. Опис структурної та принципової схем.	36
2.3. Розрахунок окремих блоків пристрою.	37
2.3.1. Розрахунок вхідного каскаду.	37
2.3.2. Розрахунок елементів для блока підсилення.	38

					<i>КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Датчик струму на основі ефекту Холла для промислових систем</i>	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>		<i>Дубанич М. М.</i>				<i>У</i>	<i>9</i>	<i>53</i>
<i>Перевірів</i>		<i>Заяць Т. М.</i>				<i>УжНУ, ІТФ 4 курс, гр. ЕС</i>		
<i>Т.Контр.</i>								
<i>Н.Контр</i>		<i>Папн О.В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Заяць Т. М.</i>			<i>Пояснювальна записка</i>			

2.3.3. Розрахунок активного випрямляча.	41
ВИСНОВКИ	44
Список використаних джерел	45
ДОДАТКИ	
Додаток А. Структурна схема КРБ.ЕС.10314659.001.Е1	
Додаток Б. Принципова схема КРБ.ЕС.10314659.001.Е2	
Додаток В. Перелік елементів КРБ.ЕС.10314659.001.ПЕ	
Додаток Г. Специфікація КРБ.ЕС.10314659.001.СП	

ПРОФУЖЕНУ

## ВСТУП

Людина очима сприймає форму, розміри й кольори навколишніх предметів, вухами чує звуки, носом почуває заходи. Звичайно говорять про п'ять видів відчуттів, зв'язаних із зором, слухом, нюхом, смаком і дотиком. Для формування відчуттів людині необхідно зовнішнє подразнення певних органів - "датчиків почуттів". Для різних видів відчуттів роль датчиків грають певні органи почуттів:

Зір - Очі

Слух - Вуха

Смак - Язик

Нюх - Ніс

Дотик - Шкіра

Однак, для отримання відчуття одних тільки органів почуттів недостатньо. Наприклад, при зорі зовсім не виходить, що людина бачить тільки завдяки очам. Загалом відомо, що через очі подразнення від зовнішнього середовища у вигляді сигналів по нервових волокнах передаються в головний мозок і вже в ньому формується відчуття великого й малого, чорного й білого й т.д. Ця загальна схема виникнення відчуття ставиться також до слуху, нюху й іншим видам відчуття, тобто фактично зовнішні подразнення як щось солодке або гірке, тихе або голосне оцінюються головним мозком, якому необхідні датчики, що реагують на ці подразнення.

Аналогічна система формується й в автоматичній системі керування. Процес керування полягає в прийнятті інформації про стан об'єкта керування, її контролі й обробці центральним пристроєм і видачі їм керуючих сигналів на виконавчі пристрої. Для прийому інформації слугують датчики неелектричних величин. Таким чином, контролюється температура, механічні переміщення, наявність або відсутність предметів, тиск, витрати рідин і газів, швидкість обертання й т.п.

Датчики інформують про стан зовнішнього середовища шляхом взаємодії з ним й перетворення реакції на цю взаємодію в електричні сигнали.

					<i>КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ</i>	11
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Існує багато явищ й ефектів, видів перетворення властивостей й енергії, які можна використати для створення датчиків.

При класифікації датчиків як основу часто використовується принцип їхньої дії, що, у свою чергу, може базуватися на фізичних або хімічних явищах і властивостях.

Головною особливістю магнітних датчиків, як й оптичних, є швидкодія й можливість виявлення і вимірювання безконтактним способом, але на відміну від оптичних цей вид датчиків не чутливий до забруднення. Однак у силу характеру магнітних явищ ефективна робота цих датчиків значною мірою залежить від такого параметра, як відстань, і звичайно для магнітних датчиків необхідна достатня близькість до магнітного поля.

Серед магнітних датчиків добре відомі датчики Холла. У цей час вони застосовуються як дискретні елементи, але швидко розширюється застосування елементів Холла у вигляді ІС, виконаних на кремнієвій підкладці. Подібні ІС щонайкраще відповідають сучасним вимогам до датчиків.

Магніторезистивні напівпровідникові елементи мають давню історію розвитку. Зараз знову оживилися дослідження й розробки магніторезистивних датчиків, у яких використовується феромагнетик. Недоліком цих датчиків є вузький динамічний діапазон змін напруженості магнітного поля. Однак висока чутливість, а також можливість створення багатоелементних датчиків у вигляді ІС шляхом напилювання, тобто технологічність їхнього виробництва, становлять безсумнівні переваги.

					<i>КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ</i>	12
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

# 1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ АНАЛОГІВ ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

## 1.1. Аналіз технічного завдання

Метою даної роботи є розробка конструкції та опис структурної та принципової схеми, електричний розрахунок та вибір елементів схеми датчика струму на основі ефекту Холла. Пристрій повинен характеризуватися такими параметрами:

- Частота вимірюваного струму 0 - 100 кГц
- Нерівномірність АЧХ у всьому діапазоні до 100 кГц не більше 10%
- Вимірювання мінімального вхідного струму 0,1 А
- Вимірювання максимального вхідного струму 10 А з можливістю підвищення параметру до 400 А

Задачею аналізу є ретифікація всіх даних, що містяться в технічному завданні.

Аналіз виконаний в наступній послідовності по пунктах:

1. Назва виробу – датчик струму на основі ефекту Холла.
2. Призначення – вимірювання струму на основі ефекту Холла.
3. Розроблений пристрій відноситься до наземної апаратури, що експлуатується в опалюваних приміщеннях (клас виконання 4.2 УХЛ).
4. Для класу виконання 4.2.УХЛ характерні наступні значення параметрів зовнішніх дій:

Діапазон температур: -5 - +40 °С

Відносна вологість: 45 - 90 %

Тиск: 100,3 кПа

Виробництво – масове, це означає, що більшість технологічних процесів виробництва приладу повинні піддаватись автоматизації. Деталі і вузли повинні бути уніфіковані.

					КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ	13
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.2. Огляд і аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень поставленого завдання

### 1.2.1. Ефект Холла

Ефектом Холла називається поява в провіднику зі струмом густиною  $j$ , розташованому в магнітному полі  $H$ , електричного поля  $E_x$ , перпендикулярного  $H$  та  $j$ . При цьому напруженість електричного поля, називаного ще полем Холла дорівнює:

$$E_x = RHj \sin \alpha, \quad (1.1)$$

де  $\alpha$  кут між векторами  $H$  і  $J$  ( $\alpha < 180^\circ$ ).

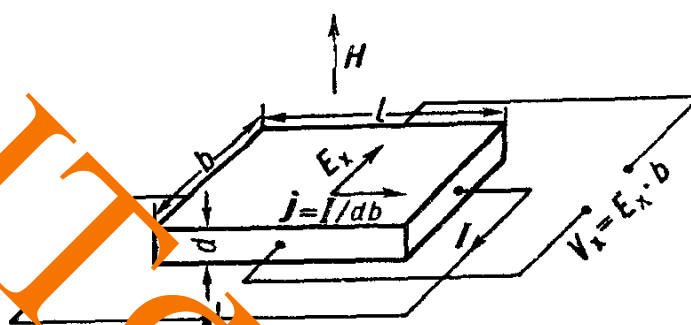


Рис 1.1. Ефект Холла в провіднику поміщеному в магнітне поле [2].

Коли  $H \perp j$ , то величина поля Холла  $E_x$  максимальна:  $E_x = RHj$ . Величина  $R$ , називана коефіцієнтом Холла, є основною характеристикою ефекту Холла. Цей ефект відкритий Едвіном Гербертом Холлом в 1879 році у тонких пластинках золота. Для спостереження ефекту Холла уздовж прямокутних пластин з досліджуваних речовин, довжина яких  $l$  значно більше ширини  $b$  і товщини  $d$ , пропускається струм:

$$I = jbd \text{ (див. Рис 1.1);}$$

тут магнітне поле перпендикулярно площини пластинки. На середині бічних граней, перпендикулярно струму, розташовані електроди, між якими вимірюється ЕРС Холла  $V_x$ :

$$V_x = E_x b = RHj/d. \quad (1.2)$$

Так як ЕРС Холла змінює знак при зміні напрямку магнітного поля на зворотне, то ефект Холла ставиться до непарних гальваномагнітних явищ.

					КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ	14
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найпростіша теорія ефекту Холла пояснює появу ЕРС Холла взаємодією носіїв струму (електронів провідності й дірок) з магнітним полем. Під дією електричного поля носії заряду здобувають спрямований рух (дрейф), середня швидкість якого (дрейфова швидкість)  $v_{dp} \neq 0$ . Густина струму в провіднику  $j = n^* e v_{dp}$ , де  $n$  — концентрація числа носіїв,  $e$  — їхній заряд. При накладенні магнітного поля на носії діє Лоренца сила:  $F = e[Hv_{dp}]$ , під дією якої частки відхиляються в напрямку, перпендикулярному  $v_{dp}$  і  $H$ . У результаті в обох границях провідника кінцевих розмірів відбувається нагромадження заряду і виникає електростатичне поле — поле Холла. У свою чергу поле Холла діє на заряди і зрівноважує силу Лоренца. В умовах рівноваги  $eE_x = eHv_{dp}$ ,  $E_x = 1/ne H j$ , звідси  $R = 1/ne$  (см<sup>3</sup>/кулон). Знак  $R$  збігається зі знаком носіїв струму. Для металів, у яких концентрація носіїв (електронів провідності) близька до густини атомів ( $n \approx 10^{22}$  см<sup>-3</sup>),  $R \sim 10^{-3}$  (см<sup>3</sup>/кулон), у напівпровідників концентрація носіїв значно менше й  $R \sim 10^5$  (см<sup>3</sup>/кулон). Коефіцієнт Холла  $R$  може бути виражений через рухливість носіїв заряду  $\mu = e\tau/m^*$  і питому електропровідність  $\sigma = j/E = env_{dp}/E$ :

$$R = (\mu / \sigma) \quad (1.3)$$

Тут  $m^*$  - ефективна маса носіїв,  $\tau$  - середній час між двома послідовними зіткненнями із центрами, що розсіюють.

Іноді при описі ефекту Холла вводять кут Холла  $\varphi$  між струмом  $j$  і направленням сумарного поля  $E$ :  $\operatorname{tg} \varphi = E_x/E = \Omega\tau$ , де  $\Omega$  — циклотронна частота носіїв заряду. У слабких полях ( $\Omega\tau \ll 1$ ) кут Холла  $\varphi \approx \Omega\tau$ , можна розглядати як кут, на який відхиляється заряд, що рухається, за час  $t$ . Наведена теорія справедлива для ізотропного провідника (зокрема, для полікристала), у якого  $m^*$  й  $\tau$  - їх постійні величини.

					<i>KPB.EC.10314659.001.ПЗ</i>	15
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт Холла (для ізотропних напівпровідників) виражається через парціальні провідності  $\sigma_n$  й  $\sigma_p$  і концентрації електронів  $n_n$  й дірок  $n_p$ :

$$R = \frac{1}{e} \frac{\left(\frac{\sigma_n^2}{n_n}\right) - \left(\frac{\sigma_p^2}{n_p}\right)}{(\sigma_n + \sigma_p)^2} \quad (\text{а}) \text{ для слабких полів} \quad (1.4)$$

$$R = \frac{1}{e} \frac{1}{(n_n + n_p)} \quad (\text{б}) \text{ для сильних полів.}$$

При  $n_n = n_p = n$  для всієї області магнітних полів :

$$R = \frac{1}{en} \cdot \frac{\sigma_n - \sigma_p}{\sigma_n + \sigma_p}$$

а знак  $R$  вказує на переважний тип провідності.

Для металів величина  $R$  залежить від зонної структури і форми Фермі поверхні. У випадку закритих поверхонь Фермі і у сильних магнітних полях ( $\Omega\tau \gg 1$ ) коефіцієнт Холла ізотропний, а вираз для  $R$  збігаються з формулою 1.4. Для відкритих поверхонь Фермі коефіцієнт  $R$  анізотропний. Однак, якщо напрямок  $H$  щодо кристалічних осей обрано так, що не виникає відкритих перетинів поверхні Фермі, то вираз для  $R$  аналогічно 1.4.

### 1.2.2. Датчик ЕРС Холла

Датчик ЕРС Холла – це елемент електроніки, радіоелектроніки і вимірювальної техніки, які використовуються як вимірювальний перетворювач, дія якого заснована на ефекті Холла. Являє собою тонку прямокутну пластину (площа – трохи мм<sup>2</sup>), або плівку, виготовлену з напівпровідника (Si, Ge, InSb, InAs), має чотири електроди для підведення струму й знімання ЕРС Холла. Щоб уникнути механічних ушкоджень, пластинки Холла ЕРС датчика монтують (а плівку напилюють у вакуумі) на міцній підкладці з діелектрика (слюди, кераміки). Для одержання найбільшого ефекту товщина пластини (плівки) робиться можливо меншою. Датчики ЕРС Холла застосовують для безконтактного вимірювання магнітних полів.

При вимірюванні слабких магнітних полів користуються Холла ЕРС датчиками, вмонтованими в зазорі феро- або феромагнітного стрижня (концентратора), що дозволяє значно підвищити чутливість датчика. Тому що в напівпровідниках концентрація носіїв зарядів (а отже, і коефіцієнт Холла) може залежати від температури, то у випадку точних вимірювань необхідно або термостатувати ЕРС Холла датчик, або застосовувати сильнолеговані напівпровідники (останнє знижує чутливість датчика).

За допомогою ЕРС датчика Холла можна вимірювати будь-яку фізичну величину, що однозначно пов'язана з магнітним полем; зокрема можна вимірювати силу струму, тому що навколо провідника зі струмом утвориться магнітне поле, яке можна виміряти. На основі ЕРС датчика Холла створені амперметри на струми до 100 кА. Крім того ЕРС датчики Холла застосовуються у вимірювальних лінійних і кутових переміщень, а також у вимірниках градієнта магнітного поля, магнітного потоку і потужності електричних машин, у безконтактних перетворювачах постійного струму в змінний, у відтворюючих головках систем звукозапису і т. п.

### **1.2.3. Прилад для безконтактного вимірювання струмів**

В роботі [1] описано прилад для безконтактного вимірювання струмів амплітудою 10 - 100 кА, частотою 0 - 2 МГц. Основним елементом приладу є електронний магніточутливий діод, що має кілька модів, струми яких змінюються під впливом магнітного полюсу.

Широко використовувані в даний час для вимірювання постійних і змінних струмів з амплітудою до 1 - 100 кА різні типи вимірювальних кліщів, трансформаторів струму, хоча і дозволяють проводити вимірювання без розриву кола, однак не забезпечують необхідної ширини смуги при одночасній реєстрації постійної складової. Вимірювачі струму на твердотільних перетворювачах Холла також не вирішують цієї задачі.

Більш перспективним є використання широкосмугових електронних і плазмових перетворювачів. Ці прилади дають можливість реєструвати як постійний, так і змінний струм у широкій смузі частот, але не дозволяють проводити вимірювання без розриву силового кола.

Вимірювання великих струмів довільної форми без розриву кола може бути виконане за допомогою описуваного приладу. Основним елементом приладу є вимірювальний перетворювач на основі магніточутливих вакуумних діодів, принцип дії яких заснований на взаємодії електронного потоку з магнітним нулем вимірюваного струму. Такі діоди містять катод і дві пари, розташовані по обидві сторони від його анодів, з'єднаних хрест-навхрест. При виготовленні діодів використовувалися елементи конструкції тріода 6С19П. Висота вакуумної оболонки діодів 60,  $\phi$  20 мм.

Вимірювальний перетворювач являє собою рознімну кільцеву конструкцію з рівномірно розміщеними по окружності магніточутливими діодами. Таке розміщення діодів істотно зменшує похибку приладу, що при використанні 8 діодів не перевищує  $\pm 3\%$ . Внутрішній отвір кільця  $\phi$  400 мм. Діоди орієнтовані так, що їхня вісь симетрії дотикається до окружності кільця. Усі магніточутливі діоди об'єднані загальною вимірювальною схемою з вихідним опором 75 Ом.

Вихідною характеристикою приладу є залежність  $U_{\text{вих}} = f(I_{\text{зм}})$ . Типовий вид цієї характеристики представлений на рис. 1.2. Діапазон вимірюваних приладом струмів обмежується довжиною лінійної ділянки вихідної характеристики. Як видно з рисунку, характеристика лінійна аж до струмів з амплітудою 50 - 55 кА. Розрахунки показують, що такі струми не є граничними і у залежності від конструкції перетворювача можуть досягати величин 100 - 200 кА.

Дослідження вимірювального пристрою [1] показали, що на його чутливість істотно впливає геометрія його анодів, з'єднаних хрест-навхрест. При виготовленні діодів використовувалися елементи конструкції тріода 6С19П. Висота вакуумної оболонки діодів 60,  $\phi$  20 мм.

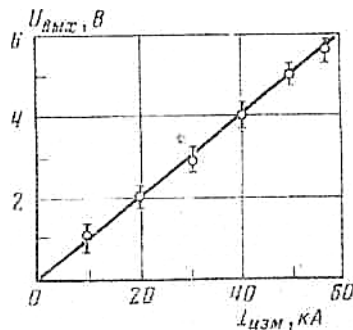


Рис. 1.2. Вихідна характеристика приладу [1].

Для макетного зразка при роботі на навантаження 75 Ом чутливість досягла величин — 0,1 - 0,2 В/кА.

Така чутливість істотно перевищує значення, характерні для потужних струмових безконтактних вимірників на ефекті Холла, і оскільки вихідний опір описаного приладу низький, робить його перешкодозахищеним, дозволяючи видаляти вимірювальний перетворювач на 100 - 300 м від апаратури, що регулює.

Експериментальні дослідження, здійснені методом перехідних характеристик [1], показали, що прилад може вимірювати як постійний струм, так і струми з частотою до 2 МГц включно.

#### 1.2.4. Датчики струму на основі ефекту Холла

При розробці силових перетворювачів частоти й стабілізаторів (далі ПЧ і С), а також систем керування електроприводів (СУ ЕП) виникає необхідність виміру поточного значення напруги і струму для подачі відповідного сигналу в пристрій керування. Пристрій керування найчастіше повинен вирішувати систему рівнянь, у якій присутні як амплітудні значення струмів і напруг декількох фаз, так і кути зсуву фаз струмів і напруг.

Можна сформулювати вимоги до датчика напруги (струму) для силових ПЧ і С:

- Вихідний сигнал датчика не повинен відрізнятися по фазі від вимірюваного сигналу;
- Датчик повинен передавати синусоїдальний сигнал у необхідній смузі частот;
- Датчик повинен мати лінійну АЧХ;

Вихід датчика не повинен мати гальванічного контакту із входом. Розширено три види датчиків:

- трансформатори струму й напруги (не задовольняють першим трьом вимогам);
- шунти напруги (не задовольняють останній вимозі).

За принципом дії датчики діляться на два типи: датчики прямого посилення й датчики компенсаційного типу.

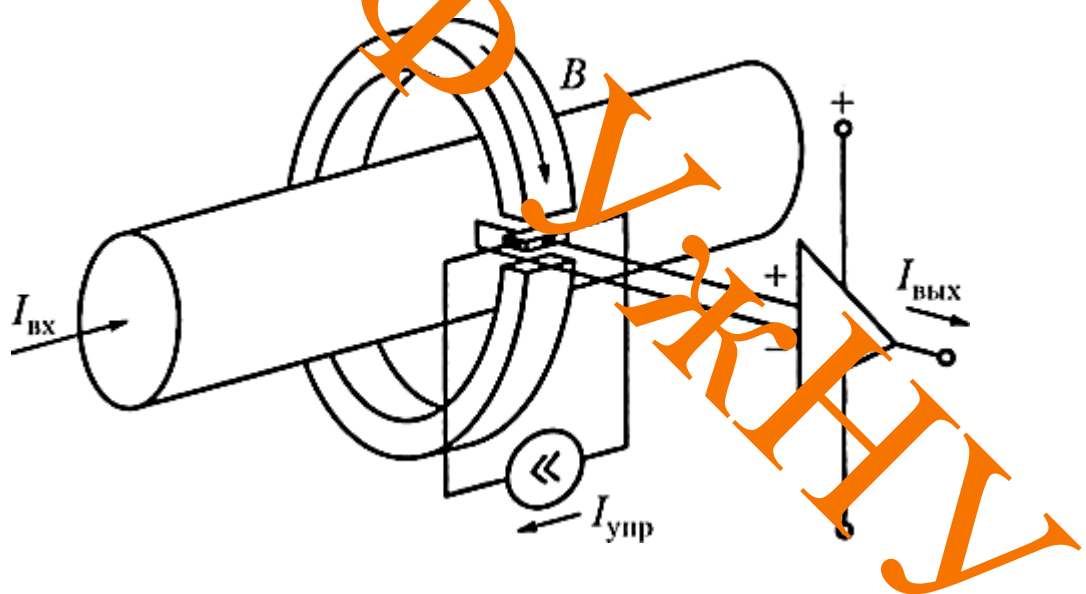


Рис.1.3 Датчик прямого посилення

Перші працюють у такий спосіб. Через кільцевий магнітопровід проходить провідник, по якому тече вимірюваний струм. Навколо провідника зі струмом утвориться магнітне поле, пропорційне струмові. У кільці виконують пропил, у який вставляють датчик Холла.

					КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ	20
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідна напруга датчика Холла пропорційна вимірюваному струму. Рис. 1.3 пояснює принцип роботи датчика прямого посилення. Такий датчик має наступні недоліки:

- Нелінійність кривої намагнічування магнітопроводу залежність вихідного сигналу датчика від вхідного нелінійна;
- Неоднозначність кривій намагнічування магнітопроводу залежність вихідного сигналу датчика від вхідного також неоднозначна;

Максимальне вимірюване значення струму обмежене індукцією при сичення магнітопроводу кільця.

Другий варіант датчика відрізняється тим, що на кільці намотана компенсаційна обмотка. Напруга з датчика Холла підсилюється й подається на компенсаційну обмотку, магнітний потік від якої компенсує вимірюваний потік у кільці до нуля. Вихідним сигналом є струм компенсаційної обмотки. Вихідний струм прямо пропорційний вимірюваному струму, помноженому на відношення числа витків компенсаційної ділянки і вимірюваної обмотки  $I_K = I_n \times W_K / W_n$ . Дана конструкція позбавлена недоліків попередньої, тому що працює при магнітному потоці, близькому до нуля.

### 1.2.5. Безконтактний датчик струму

Датчик описаний в [2] дозволяє вимірювати постійний, змінний та імпульсний струми величиною до 1 кА. Вихідним індикатором датчика можуть бути як стрілочний прилад, так і осцилограф.

При вимірюваннях струмів у лініях електропередач постійного струму, коли провід знаходиться під високим потенціалом, при вимірюванні імпульсних струмів магнетронів, а також при вимірюваннях в електрометалургії, електрозварювальному виробництві і т.д., де небажаний або неможливий контактний зв'язок між вимірювальником і струмопроводом.

Для таких вимірювань розроблений безконтактний датчик струму, що дозволяє реєструвати постійний, змінний і імпульсний струми.

					<i>КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ</i>	21
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

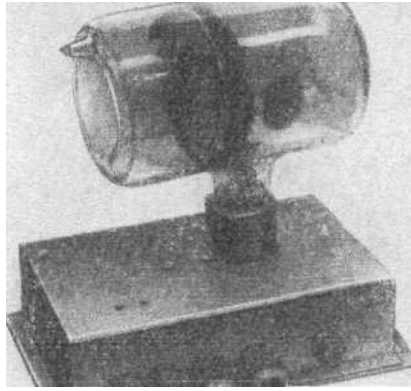


Рис. 1.4. Безконтактний датчик струму [2].

Принцип дії датчика заснований на взаємодії електронного потоку з магнітним полем вимірюваного струму. Датчик (рис. 1.4) являє собою електровакуумний прилад, що має кільцевий скляний балон. Усередині балона розташований кільцевий плоский катод 60 мм і дві пари анодів (для одержання симетричної характеристики з'єднаних попарно), що знаходяться по обидві сторони від катода. Площини анодів рівні площині катода. При вимірюваннях шина, по якій протікає струм, пропускається крізь центральний отвір датчика. Якщо шина має високий питомий струм, датчик балансується таким чином, щоб різниця потенціалів між анодами дорівнювала нулю. При наявності струму електронний потік відхиляється, завдяки чому між анодами з'являється різниця потенціалів, величина якої пропорційна вимірюваному струму. Оскільки датчик і анодні опори складають міст, то полярність вихідної напруги залежить від напрямку вимірюваного струму. Кільцева конструкція датчика підвищує захищеність датчика від впливів зовнішніх магнітних полів і зводить до мінімуму вплив на вихідні характеристики взаємного розташування датчика і проводу. Порівняно мала величина внутрішнього опору датчика дозволяє підключити до нього низькоомне навантаження.

Досліджено лінійність вихідної характеристики датчика і його частотні властивості. Лінійність характеристики визначалася осцилографічно при вимірюваннях на змінному струмі. Для цього із шунта на пластини горизонтального відхилення подавалася напруга, пропорційне вимірювального струму, а на пластини вертикального відхилення подавалася вихідна напруга з

					КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ	22
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

датчика. Вимірювання, виконані на постійному струмі, показали, що нелінійність характеристики не перевищує 5 %.

Частотні властивості датчика досліджувалися імпульсним методом шляхом порівняння перехідної характеристики датчика з формою еталонної осцилограми імпульсу вимірюваного струму. Напряга, пропорційна вимірюваного струму, подавалося на осцилограф зі спеціального безіндуктивністю шунта. Амплітуда вимірюваного імпульсного струму дорівнює 200 а при тривалості імпульсу 8 мксек, і тривалості фронту 0,5 мксек. Датчик струму відтворює форму імпульсу практично без перекручувань. Датчик практично реєструє струмові процеси в діапазоні довжини від одиниць мксек до постійного струму.

### **1.2.6 Датчики струму компанії Honeywell**

Датчики струму на основі ефекту Холла Honeywell дозволяють вирішити багато завдань в області силовій електроніки, які пов'язані зі створенням систем зворотного зв'язку в електроприводному обладнанні для керування й захисту, а також вимірюванні й контролі постійного, змінного й імпульсного струмів у широких межах з високою точністю.

Незважаючи на те, що у світі існує багато методів вимірювання струму, тільки три з них поєднує низька вартість і відповідно масове виробництво. Серед них відомі нам технології: резистивна на основі струмового трансформатора й на основі ефекту Холла. У таблиці 1.1 наведений порівняльний аналіз основних характеристик датчиків струму, виконаних з використанням цих трьох технологій. Інші методи знаходять застосування лише в дорогому лабораторному устаткуванні.

Резистивний метод з використанням струмового шунта є дуже розповсюдженим і недорогим. Однак йому властиві два недоліки: поглинання потужності й, відповідно, нагрів і відсутність електричної ізоляції. Разом із цим індуктивність більшості потужних резисторів обмежує частотний діапазон. Низкоіндуктивні потужні шунти для Вч-пристроїв більш дорогі, але й дозволяють працювати в діапазоні вище 500 кГц.

					<i>КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ</i>	23
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Струмові трансформатори застосовуються тільки у випадку вимірювання змінних струмів. Більшість недорогих струмових трансформаторів працюють у дуже вузькому діапазоні частот і не здатні вимірювати постійний струм. Широкосмугові ж трансформатори перевершують за вартістю датчики струму на ефекті Холла й резистивні. Однак струмові трансформатори не вносять втрат, не вимагають живлення й не мають напруги зміщення.

Датчики струму на ефекті Холла (відкритого типу й компенсаційні), представляють найцікавішу групу розповсюджених на сьогоднішній день пристроїв вимірювання струму. До їхніх головних переваг варто віднести відсутність внесених із систему втрат потужності (і як наслідок, виділення теплоти), гарну електричну ізоляцію, широкий діапазон частот і можливість виміру постійних струмів. Недоліком, у порівнянні з вищерозглянутими методами, є необхідність зовнішнього джерела живлення.

Компанія Honeywell випускає широку лінійку датчиків струму на ефекті Холла трьох типів. Це датчики струму відкритого типу, датчики струму компенсаційного типу й датчики струму відкритого типу з логічним виходом.

#### **Датчики струму відкритого типу**

Ці датчики призначені для безконтактного вимірювання постійного, змінного й імпульсного струмів у діапазонах  $\pm 57 - \pm 950$  А.



Рис. 1.5. Зовнішній вигляд датчиків струму відкритого типу [3].

Датчики струму відкритого типу фірми Honeywell (рис. 1.5) побудовані на базі інтегрованих лінійних датчиків Холла 91SS12-2 й SS94A1, що мають

					<i>КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ</i>	24
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищену температурну стабільність і лінійну характеристику. Датчики мають аналоговий вихід, напруга на якому прямо пропорційна величині струму, що протікає через контрольований провідник. При нульовому струмі на виході діє напруга зміщення, яка дорівнює половині напруги джерела живлення. Розмах вихідної напруги і, відповідно, чутливість лінійно залежать від напруги джерела живлення. Додаткове регулювання чутливості здійснюється шляхом збільшення числа витків провідника зі струмом навколо кільця магнітопроводу датчика. Датчики на базі сенсора SS94A1 мають двотактний вихідний каскад, побудований на комплементарній парі з біполярних р-п-р- і n-р-п-транзисторів, а на базі 91SS12-2 - каскад на р-п-р-транзисторі з відкритим колектором. У таблиці 1.2 наведені основні технічні характеристики датчиків струму відкритого типу.

#### Датчики струму компенсаційного типу

Компенсаційні датчики струму дозволяють безконтактним способом вимірювати постійні, змінні та імпульсний струми в діапазонах  $\pm 5 - \pm 1200$  А. Структура приладів наведена на рис. 1.6.

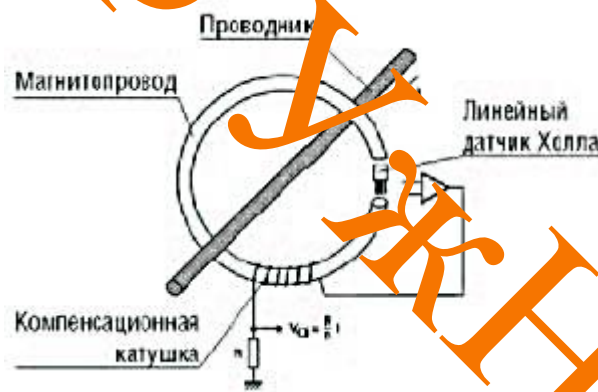


Рис. 1.6. Структура датчика струму на ефекті Холла компенсаційного типу [3].

**Таблиця 1.1.** Характеристики датчиків струму, виконаних на основі різних технологій

Датчики	Поглинання потужності	Електрична ізоляція	Зовнішнє живлення	Частотний діапазон	Напруга зсуву	Відносна вартість
Резистивні DC	так	немає	немає	< 100 кгц	немає	найнижча
Резистивні AC	так	немає	немає	> 500 кгц	немає	низька
На ефекті Холла відкриті	немає	так	так	< 100 кгц	так	середня
На ефекті Холла компенсаційні	немає	так	так	> 1 МГц	немає	висока
Струмкові трансформатори	так	немає	немає	фіксований	немає	висока

**Таблиця 1.2.** Основні технічні характеристики датчиків струму відкритого типу компанії Honeywell

Модель	Діапазон, А (ампл. знач.)	Чутливість, мВ		Напруга смещ., В	Темп. дрейф., %/°C	Час відкл., мкс	$I_n$ , ма	$U_n$ , В
		НОМИН. значення	ВІДКЛ.					
Лінійні датчики струму на базі сенсора 91SS12-2, вихідний каскад - р-n-р відкр. колектор, вертикальний монтаж								
CSLA1CD	±57	49,6	5,8	$U_n/2$	±0,05	3	10	6-16
CSLA1CE	±75	39,4	4,4					
CSLA1DE	±75	39,1	4,8					
CSLA1CF	±100	29,7	2,7					
CSLA1DG	±120	24,6	2,1					
CSLA1CH	±150	19,6	1,8					
CSLA1DJ	±225	13,2	1,2					
CSLA1EJ	±225	13,2	1,5					
CSLA1DK	±325	9,1	1,7					
CSLA1EK	±325	9,4	1,3					
CSLA1EL	±625	5,6	1,3					
Лінійні датчики струму на базі сенсора SS94A, вихідний каскад - двотактний р-n-р+n-p-n, вертикальний монтаж								
CSLA2CD	±72	32,7	3	$U_n/2$		3	20	6-12

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

CSLA2CE	±92	26,1	2,1					
CSLA2DE	±92	25,6	2,2					
CSLA2CF	±125	19,6	1,3					
CSLA2DG	±150	16,2	1,1					
CSLA2DJ	±225	8,7	0,6					
CSLA2DH	±235	9,8	1,1					
CSLA2EJ	±310	7,6	0,7					
CSLA2DK	±400	5,8	0,5					
CSLA2EL	±550	4,3	0,4		±0,0125			
CSLA2EM	±76	3,1	0,36		±0,007			
CSLA2EN	±950	2,3	0,2					
Лінійні датчики струму на базі сенсора 91SS12-2, вихідний каскад - р-п-р в дкр. колектор. горизонтальний монтаж								
CSLA1GD	±57	49,6	5,8	U <sub>n</sub> /2	±0,05	3	19	8 -16
CSLA1GE	±75	39,4	4,4					
CSLA1GF	±100	29,7	2,7					
Лінійні датчики струму на базі сенсора SS94A, вихідний каскад - двотактний п-р+n-р-n. горизонтальний монтаж								
CSLA2GD	±72	32,7	3,5	U <sub>n</sub> /2	±0,02	8	20	6 -12
CSLA2GE	±92	26,1	2,1					
CSLA2GF	±125	19,6	1,3					
CSLA2GG	±150	12,7	0,6					



Рис. 1.7. Зовнішній вигляд датчиків струму компенсаційного типу [3].

Приміром, датчик з котушкою в 1000 витків формує вихідний струм в 1 мА на 1 А вимірюваного струму. Струмівий вихід конвертується у вольтовий за допомогою зовнішнього резистора, рекомендовані значення якого завжди приводяться в технічній документації на датчик. Додаткове регулювання чутливості виробляється шляхом збільшення числа витків провідника навколо

кільця магнітопроводу датчика або установкою перемичок, що задають число витків внутрішньої компенсаційної котушки датчика (наприклад, у моделях CSNE151, CSNE381). У таблиці 1.3 наведені основні технічні характеристики датчиків струму компенсаційного типу.

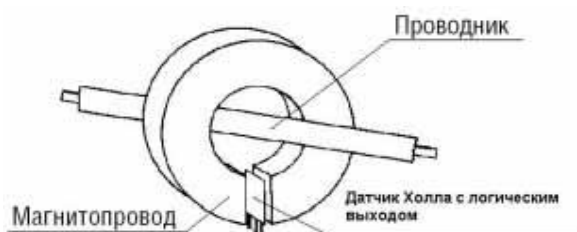


Рис. 1.8. Структура датчика струму з логічним виходом [3].

**Таблиця 1.3.** Основні технічні характеристики датчиків струму компенсаційного типу компанії Honeywell

Модель	Діапазон А (ампл. знач)	$U_{нв}, V$	Котушка		Номин $I_{вих}$ при $I_{зм}$	$R_{нагр}$ при $I_{ном}, OM$	$t_{зад}, MKC$	Ізол., кв	Точн., % від $I_{ном}$
			N	R, Ом					
CSNN191	±15	±15	200	20	50 ма при 30 А	100...200	< 1,0	-	±2,5
CSNE151	±5 - ±36*	±15	1000	110	25 ма при 20 А	100...20	< 1,0	5	±0,5
CSNE151-005	±5 - ±36*	±15	1000	110	25 ма при 25 А	100...320	< 1,0	5	±0,5
CSNE381	±5 - ±36*	±5	1000	110	25 ма при 25 А	0...84	< 1,0	5	±0,5
CSNH151	±4 - ±43*	±15	1000	110	25 ма при 30 А	100...320	< 1,0	5	±0,5
CSNX25	±56	4,75...5,25	2000	50	12,5 ма при 25 А	0...80	< 0,2	-	±0,24

CSNA111	±70	±15	1000	90	50 ма при 50 А	40-130	< 1,0	2,5	±0,5
CSNE151-100	±90	±12 - ±15	1000	66	25 ма при 25 А	54-360	< 0,2	-	±0,5
CSNP661	±90	±12 - ±15	1000	30	50 ма при 50 А	70-195	< 0,5	3	±0,5
CSNP661-002	±90	±12 - ±15	1000	30	50 ма при 50 А	70-195	< 0,5	3	±0,5
CSNB111	±100	±15	2000	160	25 ма при 50 А	40-270	< 1,0	2,5	±0,5
CSNB131	±100	±15	2000	130	25 ма при 50 А	40-300	< 1,0	2,5	±0,5
CSNF161	±150	±12 - ±15	1000	30	100 ма при 100 А	10-40	< 0,5	3	±0,5
CSNF161-002	±150	±12 - ±15	1000	30	100 ма при 100 А	10-40	< 0,5	3	±0,5
CSNT651	±150	±12 - ±15	1000	100	25 ма при 50 А	40-75	< 0,5	3	±0,5
CSNT651-001	±150	±12 - ±15	1000	100	25 ма при 50 А	40-75	< 0,5	3	±0,5
CSNF151	±180	±12 - ±15	2000	100	50 ма при 100 А	10-75	< 0,5	3	±0,5
CSNF151-002	±180	±12 - ±15	2000	100	50 ма при 100 А	10-75	< 0,5	3	±0,5
CSNG251	±180	±15	2000	100	50 ма при 100 А	0-125	< 0,5		±0,5
CSNG251-	±180	±15	2000	100	50 ма при 100 А	0-125	< 0,5	-	±0,5

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ

CSNR151	±200	±12 - ±15	2000	100	62,5 ма при 100 А	10-40	< 0,5	3	±0,5
CSNR151-002	±200	±12 - ±15	2000	100	62,5 ма при 100 А	10-40	< 0,5	3	±0,5
CSNR161	±200	±12 - ±15	1000	30	125 ма при 125 А	30-40	< 0,5	3	±0,5
CSNR161-002	±200	±12 - ±15	1000	30	125 ма при 125 А	30-40	< 0,5	3	±0,5
CSNJ481	±600	±12 - ±18	2000	25	150 ма при 300 А	0-70	< 1,0	7,5	±0,5
CSNJ481-001	±600	±12 - ±18	2000	25	150 ма при 300 А	0-70	< 1,0	7,5	±0,5
CSNJ591	±1200	±12 - ±24	5000	50	100 ма при 500 А	0 -130	< 1,0	6	±0,5
CSNK591-001	±1200	±12 - ±24	5000	50	100 ма при 500 А	0 -130	< 1,0	6	±0,5

**Таблиця 1.4.** Основні технічні характеристики датчиків струму з логічним виходом компанії Honeywell

Найменування	$I_{\text{вкл.ном.}}, \text{A}$ (при 25°C)	$I_{\text{вимк.ном.}}, \text{A}$ (при 25°C)	$U_n, \text{B}$	$I_{\text{вих макс}}$	$U_{\text{вих(ном.)}}$	$t_{\text{зад}}, \text{мкс}$
CSDA1AA	0,5	0,08	6 - 16	20	0,4/ $U_n$	100
CSDA1AC	3,5	0,6	6 - 16	20	0,4/ $U_n$	100
CSDC1AA	0,5	0,08	5 - ±0,2	20	0,4/ $U_n$	100
CSDC1AC	3,5	0,6	5 - ±0,2	20	0,4/ $U_n$	100
CSDA1 BA	0,5	0,08	6 - 16	20	0,4/ $U_n$	100
CSDA1BC	3,5	0,6	6 - 16	20	0,4/ $U_n$	100
CSDC1 BA	0,5	0,08	5 - ±0,2	20	0,4/ $U_n$	100

CSDC1 BC	3,5	0,6	5 - ±0,2	20	0,4/Un	100
CSDC1DA	0,5	0,08	5 - ±0,2	20	0,4/Un	100
CSDA1DA	0,5	0,08	6 - 16	20	0,4/Un	100
CSDC1DC	3,5	0,6	5- ±0,2	20	0,4/Un	100
CSDA1DC	3,5	0,6	6 -16	20	0,4/Un	100
CSDD1EC	5	3,8	4,5-24	40	0,4/Un	60
CSDD1GK2	7	4	4,5-24	40	0,4/Un	60
CSDD1EG	10	7,6	4,5-24	40	0,4/Un	60
CSDD1FR	54,12	35,36	4,5-24	40	0,4/Un	60

### Датчики струму з логічним виходом

Датчики струму з логічним виходом (рис. 1.9)[3] дозволяють виявити перевищення струму в контрольованому провіднику вище певного значення й сформувати логічний сигнал тревоги.

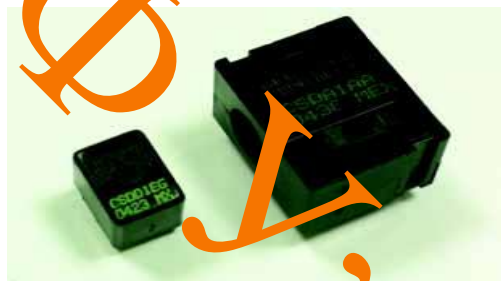


Рис. 1.9. Зовнішній вигляд датчиків струму з логічним виходом [3].

Основою цих приладів є інтегрований датчик Кольца з логічним виходом. Структура датчиків наведена на малюнку праворуч. Значення порога спрацьовування визначається моделлю датчика й може мати наступні значення: 0,5, 3,5, 5,0, 7,0, 10,0 й 54,00 А. Поріг спрацьовування може бути встановлений менше номінального значення шляхом збільшення числа витків провідника навколо кільця датчика. У таблиці 1.4 [3] наведені основні технічні характеристики датчиків струму з логічним виходом.

### 1.2.7. Датчики стану на основі ефекту Холла

Датчики Холла знаходять широке застосування в техніці. Основні переваги цих датчиків полягають у високій швидкодії (до 100 кГц), відсутності механічних частин, що рухаються, і фізичного контакту з вимірюваним середовищем. Завдяки цьому датчики Холла відрізняються високою надійністю й довговічністю.

По реакції на магнітне поле датчики діляться на три групи: біполярні, однополярні й уніполярні. Для включення біполярного датчика потрібен вплив поля додатньої полярності, а для вимикання – від'ємної. Однополярні датчики вимірюють поле будь-якої полярності, а уніполярні - тільки однієї (звичайно додатньої).

Магнітне поле може бути сформовано постійними магнітами або електромагнітами. Зміна напруженості поля досягається переміщенням магніту, зміною струму електромагніта або внесенням магнітного матеріалу в щілину між датчиком і магнітом. Випускаються прилади, у яких використовуються зовнішні або вбудовані в корпус магніти.

Для досягнення повторюваності параметрів від датчика до датчика в процесі виробництва використовується лазерне калібрування елементів схем. Це дозволяє замінити прилади, що вийшли з ладу, без по-наступних підстроювань.

Для ілюстрації варіантів виконання датчиків Холла нижче приводиться опис серійних датчиків фірми Honeywell.

#### **Цифрові датчики Холла**

Фірма Honeywell випускає декілька базових серій цифрових датчиків.

Це спеціальна високочутлива серія 2SSP, використання якої дозволяє розташовувати магніт на відстані двох сантиметрів і більше від датчика. Прилади цієї серії випускаються в пластиковому корпусі з розмірами 4,5x4,5x1,5 мм. Існує модифікація для поверхневого монтажу з короткими формованими виводами - серія 2SSP-S.

Дві серії біполярних цифрових датчиків SS41 й SS11 виготовляються в мініатюрних корпусах, що має розміри 4x3x1,5 мм. Серія SS11 випускається в

					<i>КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ</i>	32
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

корпусах типу SOT89 для поверхневого монтажу. Всі датчики мають захист від неправильного підключення й діапазон швидкодії від 0 до 100 кГц.

Прилади серій SS400 й SS100 складаються з датчика поля й вихідного підсилювача. Тип виходу - «відкритий колектор». Вони випускаються в мініатюрних пластикових корпусах із трьома виводами. Спеціальна конструкція корпуса (Quad-Hall-design) дозволяє виключити внутрішні механічні напруги. Для компенсації температурного дрейфу параметрів передбачена спеціальна схема корекції. Датчики передбачають різні варіанти спрацювання:

- Тільки від одного полюса магніту (SS411A, SS413A, SS111A, SS113A);
- Від кожного з полюсів (SS441A, SS443A, SS449A, SS141A, SS143A, SS149A);
- Тригер, коли стан включення залишається після зняття поля до наступного впливу (SS461A, SS466A, SS161A, SS166A).

Серія SS400 (з індексом S) випускається в корпусах з формованими для поверхневого монтажу виводами, а SS100 - у мініатюрних безвивідних корпусах.

Прилади серій 103SR й SR3 являють собою повністю закриті датчики в алюмінієвому або пластиковому корпусі (діаметр 12 мм, довжина 25 мм із різьбленням), що мають захист від неправильного включення. Датчики серії відрізняються один від іншого величиною вимірюваного поля й типом виходу.

#### **Аналогові датчики Холла**

Аналогові датчики фірми Honeywell представлені серіями SS49, SS19, SS495, SS94 й 103SR.

Прилади серій SS49 й SS19 мають параметричний лінійний вихід. Вони виготовляються в мініатюрних корпусах з виводами (серія SS49). Для поверхневого монтажу (SMD) випускається серія SS19.

					<i>КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ</i>	33
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Датчики серії SS495 мають розміри корпусу 3x4 мм. Вони відрізняються низьким струмом споживання (7 мА при напрузі живлення 5 В) і лінеаризованим виходом.

Температурна помилка для різних зразків цієї серії становить:

- SS495A -  $\pm 0,06$  %;
- SS495A1 -  $\pm 0,04$  %;
- SS495A2 -  $\pm 0,07$  %.

Прилади серії SS94 мають вбудовані схеми для збільшення температурної стабільності.

Аналогова серія 103SR випускається в алюмінієвому корпусі.

БІОТЕХ

					<i>КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ</i>	34
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 2 ПРОЄКТНО – КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1. Технічна пропозиція та її обґрунтування

В результаті аналізу технічного завдання та аналогів об'єкту проєктування в даній роботі пропонується датчик струму на основі ефекту Холла.

В базовому варіанті даний пристрій дозволяє виконувати такі функції:

- Вимірювати струму в діапазоні частот від 0 до 100 кГц
- Нерівномірність АЧХ у всьому діапазоні до 100 кГц не більше 10%
- Вимірювати мінімального вхідного струму від 0,1 А
- Вимірювати максимального вхідного струму до 10 А з можливістю підвищення параметру до 400 А

ЕЛЕКТРОУЖИТТЯ

					КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ	35
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.2. Опис структурної та принципової схеми

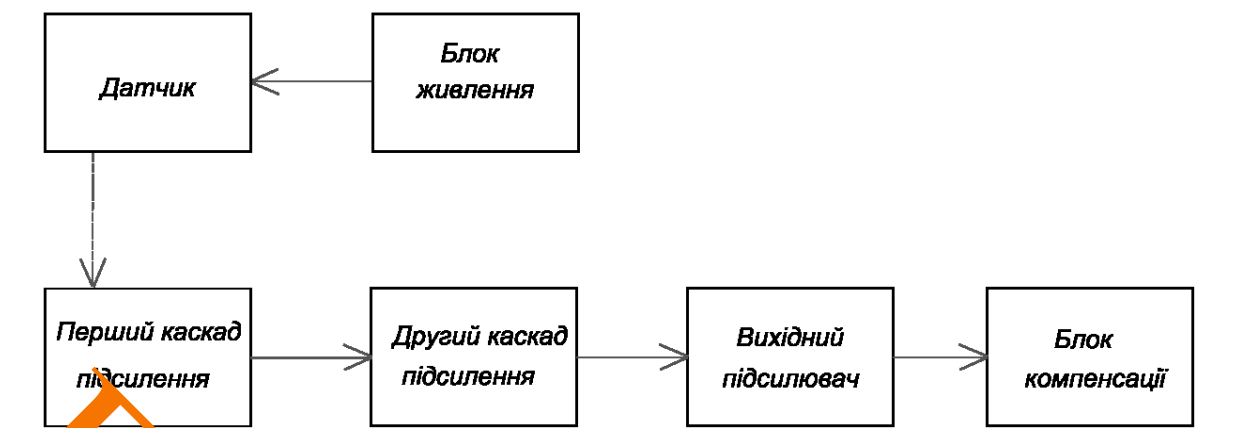


Рис. 2.1. Структурна схема датчика струму на основі ефекту Холла

Пристрій складається із блоку живлення, датчика струму, попереднього підсилювача, підсилювача сигналу, вихідного підсилювача, блока компенсації самоіндукції.

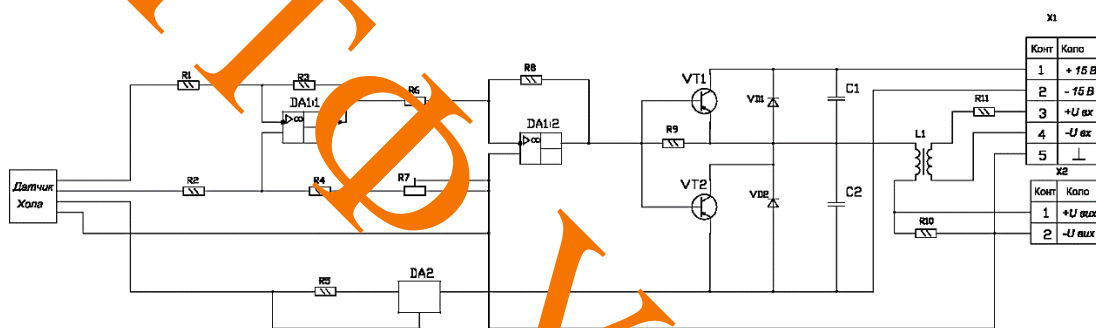


Рис. 2.2. Принципова схема датчика струму на основі ефекту Холла.

Датчик Холла живиться від джерела струму на елементах R5 й DA2. Сигнал з датчика подається на перший каскад підсилювача (DA1.1, R1— R6). З виходу першого каскаду сигнал надходить на другий каскад (DA1.2, R7, R8).

Далі сигнал надходить на вихідний підсилювач потужності на транзисторах VT1, VT2. Діоди VD1, VD2 служать для створення рідкого струму самоіндукції компенсаційної обмотки при різкому закриванні транзисторів.

До вихідного підсилювача підключається компенсаційна обмотка L1.

Конденсатори C1, C2 (керамічні або інші високочастотні) служать для усунення високочастотних перешкод по живленню й самозбудження операційного підсилювача.

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## 2.3. Розрахунок окремих блоків пристрою

### 2.3.1. Розрахунок вхідного каскаду.

Як можна побачити, незалежно від типу схеми в них однаковий перший каскад – каскад повторення сигналу. Функцією даного каскаду є забезпечення великого вхідного опору схеми (забезпечити протікання мінімального струму у інформаційній обмотці).

Сигнал з датчика подається на перший каскад підсилювача з коефіцієнтом підсилення  $R3/R1 = 1000$  (при дотриманні умови  $R1 = R2$  й  $R3 = R4+R5$  забезпечується найвищий коефіцієнт придушення синфазної складової).

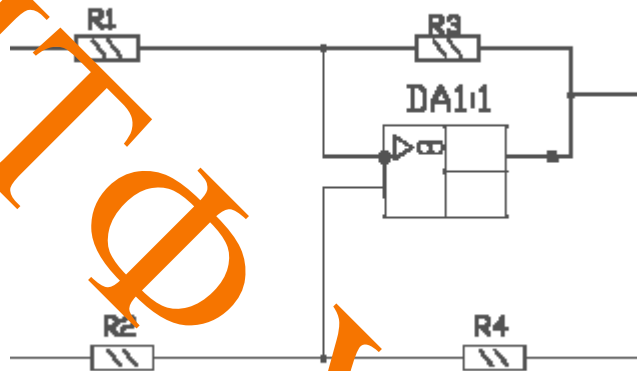


Рис. 2.3. Вхідний каскад

Опори  $R1$  та  $R2$  слугують для компенсації напруги зміщення, вони обираються з паспорту на операційний підсилювач і їх опір становить по 100 кОм кожний.

Резистор  $R4, R7$  служить для установки нуля на виході першого каскаду.

### 2.3.2. Розрахунок елементів для блока підсилення

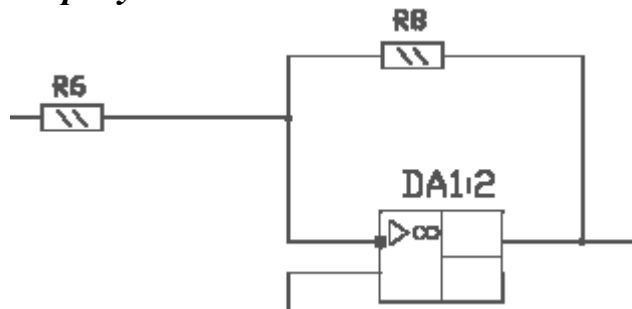


Рис. 2.4. Другий каскад

З виходу першого каскаду сигнал надходить на другий каскад (DA1.2, R6, R7). Коефіцієнт підсилення першого каскаду повинен бути якнайвище, але не менш чим в 10 - 20 разів менше максимального  $K_y$  мікросхеми, тому що при  $K_y$ , близьких до граничного, спостерігається зміна сигналу. Необхідний  $K_y$  системи залежить від напруги живлення й номіналу R10.

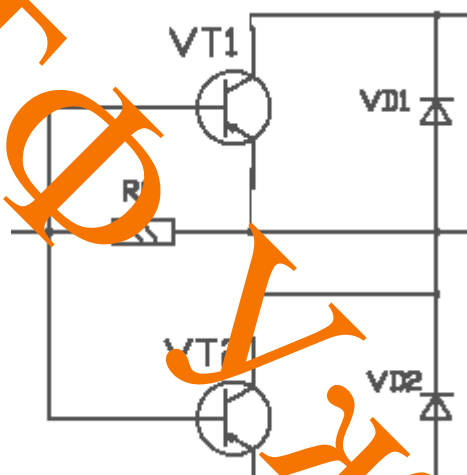


Рис. 2.5. Вихідний підсилювач потужності

Далі сигнал надходить на вихідний підсилювач потужності на транзисторах VT1, VT2. Діоди VD1, VD2 служать для створення шляхоу струму самоіндукції компенсаційної обмотки при різкому закриванні транзисторів.

Вибір типу транзистора:

- 1) Вихідна потужність сигналу в колекторному колі:

$$P = \frac{R_{\text{вих}}}{2\eta_T} = \frac{2}{2 \cdot 0.8} = 1,25 \text{ [Вт]} \quad (2.1)$$

де  $\eta_T = 0,8$  – ККД вихідного трансформатора.

					<i>КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ</i>	38
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) Потужність, яка розсіюється на колекторі транзистора:

$$P_K = \frac{P}{\eta_a} = \frac{1.25}{0.45} = 2,78 \text{ [Вт]} \quad (2.2)$$

Де  $\eta_a = 0,45$  – ККД колекторного кола транзистора в режимі роботи А (лежить в межах 0,4,0,45).

3) Максимальна потужність яка розсіюється на колекторі транзистора з врахуванням температури навколишнього середовища:

$$P_{K \max p} = P_K \frac{T_{p \max} - T_{p \text{ ном}}}{T_{p \max} - T_{\text{дс}}} = 2.78 \frac{85 - 20}{85 - 33} = 3.475 \text{ [Вт]} \quad (2.3)$$

де  $P_{K \max p}$  – максимально допустима розрахункова потужність транзистора, який вибирається.

$T_{p \max} = +150^\circ\text{C}$  – максимальна температура колекторного переходу для германієвих транзисторів.

$T_{p \text{ ном}} = +200^\circ\text{C}$  – номінальна температура, при якій значення потужності, яка розсіюється в колекторі транзистора максимальна.

$T_{\text{дс}} = +330^\circ\text{C}$  – температура довколишнього середовища

4) Розрахункове значення граничної частоти транзистора для схеми з спільним емітером:

$$f_{h21ep} = \frac{f_B}{\sqrt{M_B^2 - 1}} = \frac{16}{\sqrt{(1.26)^2 - 1}} = 20.87 \text{ [кГц]} \quad (2.4)$$

де  $M_B$  – визначається у відносних одиницях:  $M_B = M_H(\text{дБ}) / 20 \lg M_B$

$$M_B = M_H = 10^{\frac{M_H(\text{дБ})}{20}} = 1.26 \quad (2.5)$$

5) Вибираємо тип транзистора виходячи з умов:

$$f_{h21ep} < f_{h21e}$$

$$P_{K \max p} < P_{K \max}$$

Їм відповідають КТ814А та КТ815А

					<i>КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ</i>	39
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок режиму роботи транзистора по постійному струму:

1) Напруга на колекторі транзистора в режимі спокою:

$$U_{ke0} = (0.3 \cdot 0.5) U_{ke \max} = 0,3 \cdot 20 = 6 \text{ [В]} \quad (1.6)$$

2) Напруга джерела живлення:

$$E_k = 2.25 U_{ke0} = 2.25 \cdot 6 = 13.5 \text{ [В]} \quad (2.7)$$

3) Величина колекторного струму в режимі спокою:

$$I_{k0} = \frac{P}{n_a U_{ke0}} = \frac{1.25}{0.45 \cdot 6} = 0.46 \text{ [А]} \quad (2.8)$$

4) Побудова ЛН на вихідних статичних характеристиках транзистора і визначення координати робочої точки:  $\{I_{k0}; U_{ke0}; I_{\beta 0}\}$

(див. графічну частину Рис.1):

$$U_{ke0} = 6 \text{ В};$$

$$I_{k0} = 0.46 \text{ А};$$

$$I_{\beta 0} \approx 23 \text{ мА.}$$

5) Величина емітерного струму в режимі спокою:

$$I_{e0} = I_{k0} + I_{\beta 0} = 0.46 + 23 \cdot 10^{-3} + 0.46 = 0.483 \text{ [А]} \approx 0.5 \text{ [А]} \quad (2.9)$$

					<i>КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ</i>	40
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 2.3.3. Розрахунок активного випрямляча.

До даного блоку входять два діоди VD1, VD2; опори R8 – R11.

Конденсатори C1, C2 (керамічні або інші високочастотні) служать для усунення високочастотних перешкод по живленню й самозбудження операційного підсилювача.

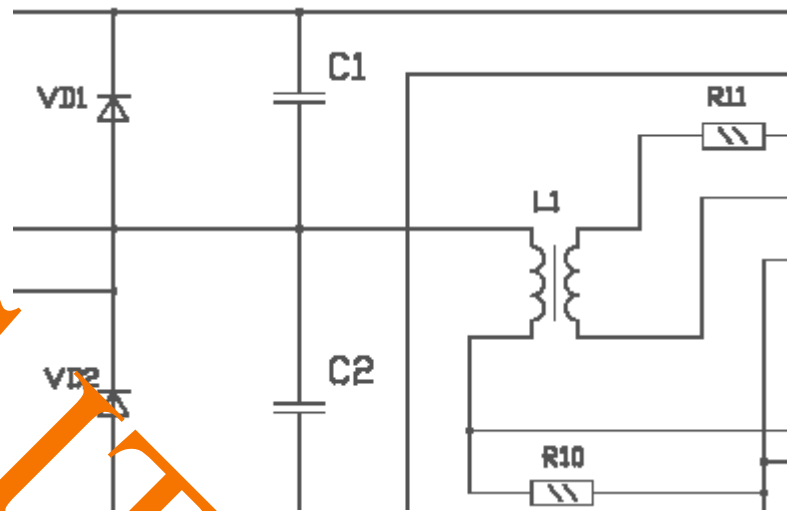


Рис. 2.6. Активний випрямляч

Високочастотна індуктивна корекція вводиться для корекції перекручувань АЧХ, внесених транзистором. Коригувальний ефект у схемі досягається за рахунок зростання опору колекторного ланцюга з збільшенням частоти посилюваного сигналу й компенсації, завдяки цьому, шунтуємо дії вихідної ємності транзистора.

Коефіцієнт підсилення каскаду в області верхніх частот, при оптимальному значенні  $L_K$  рівна:

$$L_K = R_K \tau_B \quad (2.10)$$

описується вираз:

$$K_u = \frac{u_{\text{вих}}}{u_{\text{вх}}} = \frac{K_0}{1 + p\tau_k}$$

Де

$$K_0 = S_0 R_{\text{екв}} \quad (2.11)$$

$$R_{\text{екв}} = R_K R_H / (R_K + R_H) \quad (2.12)$$

$$\tau_k = L_k / (R_k + R_H) \quad (2.13)$$

$$\tau_B = \tau + C_k R_{екв} (1 + S_0 r_6) \quad (2.14)$$

При заданому значенні  $Y_B$ ,  $f_B$  каскаду дорівнює:

$$f_B = \frac{\sqrt{1 - Y_B^2}}{2\pi Y_B \tau_k} \quad (2.15)$$

### Приклад 1.10.

Розрахувати  $f_B$ ,  $R_k$ ,  $L_k$ ,  $R_{ВХ}$ ,  $C_{ВХ}$  каскаду з ВЧ індуктивною корекцією, при використанні транзистора КТ815А і умов  $R_H = 50$  Ом;  $Y_B = 0,9$ ;

$$K_0 = 10$$

По відомим  $K_0$  і  $S_0$  із (1.11) отримаємо  $R_{екв} = 10,5$  Ом. Розраховуючи  $\tau_B$  по (1.14) і підставляючи в (1.13) одержимо  $L_k = 13,7 \times 10^{-9}$  Гн. Визначимо  $t_k$  по (1.13) і підставляючи в (1.15) визначимо  $f_B = 350$  МГц.

### Визначення параметрів котушки

Котушка індуктивності в електричному колі добре проводить постійний струм і в той же час створює опір змінному струму, оскільки при зміні струму в котушці виникає ЕРС самоіндукції, що перешкоджає цій зміні.

Котушка індуктивності володіє реактивним опором величина якого рівна:  $R_L = \omega L$ , де  $L$  — індуктивність котушки,  $\omega$  — кругова частота струму. Відповідно, чим більша частота струму, що протікає через котушку, тим більше її опір.

При протіканні струму котушка набирає енергію, рівну роботі, яку необхідно зробити для встановлення струму  $I$ , що протікає. Величина цієї енергії рівна

$$E_{\text{соxp}} = \frac{1}{2} LI^2 \quad (2.16)$$

При зміні струму в котушці виникає ЕРС самоіндукції, значення якої

$$\varepsilon = -L \frac{dI}{dt} \quad (2.17)$$

Основним параметром котушки індуктивності є її індуктивність, яка визначає, який потік магнітного поля створить котушка при протіканні через неї струму силою 1 А. Типові значення індуктивностей котушок від десятих долі мкГн до десятків Гн.

Індуктивність котушки пропорційна лінійним розмірам котушки, квадрату числа витків намотки і магнітної проникності сердечника.

$$L = w^2 \frac{\mu}{2500} hD = 150.5 \quad (2.18)$$

де  $L$  – індуктивність котушки (мкГн),  $\mu$  – магнітна проникність сердечника,  $w$  – число витків,  $h, D$  – розміри сердечника (мм)

Відповідно  $\mu = 2000$ ,  $w = 1320$ ,  $h, D = 32 \times 20 \times 9$

Враховуючи вищесказане прийmemo  $R_5 = R_3 = 100$  кОм, тоді  $R_6 = (R_7 + R_3) = 30$  кОм

При вибраних параметрах схеми  $U_{\text{вих}} = |U_{\text{вх}}|$ .

					<i>КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ</i>	43
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У ході виконання роботи було спроектовано та досліджено датчик струму на основі ефекту Холла, призначений для використання у сучасних промислових системах автоматизації та електроприводах. За результатами роботи можна зробити наступні висновки:

1. Аналітичний етап: Проведено комплексний літературний огляд та порівняльний аналіз існуючих методів вимірювання струму. Встановлено, що використання датчиків Холла є найбільш раціональним рішенням для промислових систем завдяки забезпеченню гальванічної розв'язки між вимірювальним та силовим колами, здатності працювати як з постійним, так і з змінним струмом, а також високій надійності.
2. Проектні рішення: На основі аналізу аналогів розроблено принципову електричну схему пристрою. Використання сучасної елементної бази (зокрема високочастотних сенсорів Холла та прецизійних операційних підсилювачів) дозволило мінімізувати вплив температурного дрейфу та зовнішніх магнітних полів. Це забезпечило оптимальний баланс між складністю схеми та її метрологічними характеристиками.
3. Технічні характеристики: Розроблений пристрій відповідає заданим вимогам та має наступні параметри:
  - Діапазон вимірювальних струмів: від 0,1 А до 10 А, з можливістю підвищення верхнього параметру до 400 А, що дозволяє використовувати датчик у широкому спектрі малопотужних та середньопотужних промислових установок.
  - Смуга пропускання: від 0 до 100 кГц, що забезпечує коректне відстеження швидкоплинних процесів та високочастотних гармонік у мережі.
  - Точність та стабільність: нерівномірність амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) у всьому робочому діапазоні не перевищує 10 %, що є прийнятним показником для систем зворотного зв'язку в промисловій електроніці.

					<i>КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ</i>	44
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

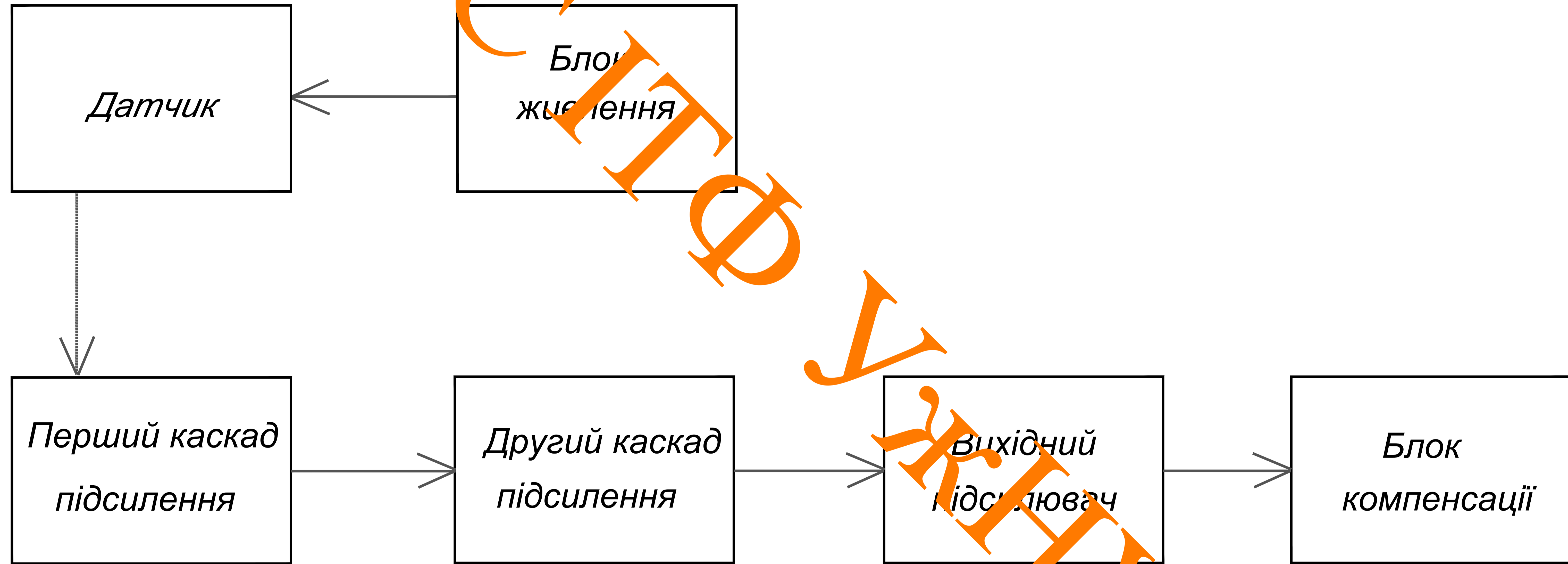
## Список використаних джерел

1. У. Титце, К. Шенк. Напівпровідникова схемотехніка. М: Мир, 1982р.
2. Како Н., Ямане Я. Датчики та мікро-эом. Л: Энергоатомвид, 1986р.
3. Семенов І. Л. Струмове реле //Радіоаматор-Електрик. - 2001. - №5. - С.21
4. Б. Р. Левин. Теоретичні основи статистичної радіотехніки. — М.: Радянське радіо, 1968.
5. П. В. Морозова, Принцип побудови безконтактних вимірювачів струму з використанням датчиків Холла. 1972, виш. 39, стор. 79, Вид. МАДІ.
6. Р. М. Терещук, С.А. Седов, Напівпровідникові приймально-відправні пристрої: довідник радіоаматора. – Київ: Наукова думка, 1986. 372с.
7. А. В. Дьяков. Радіоаматорська телемеханіка. М.: Радіо та зв'язок. 1986р 88 с.
8. Довідкова книга радіоаматора-конструктора. М: Радіо та зв'язок, 1990р.
9. Методичні рекомендації виконання розрахунків по оцінці показників надійності радіоелектронної апаратури. Методична розробка для студентів інженерних спеціальностей УжНУ, 2001, -56 с.
10. П. Л. Калантаров, Л. А. Цейтлін, Розрахунок індуктивностей. Довідкова книга. Л. Энергоатомвидав, 1986, - 481 с.
11. М. В. Немцов, Довідник з розрахунку параметрів котушок індуктивності. М. Энергоатомвидат, 1989, - 192 с.
12. Ramsden E., Hall-Effect Sensors: Theory and Applications, Elsevier/Newnes, 2011, 272 p.
13. Popovic R. S., Hall Effect Devices, CRC Press, 2003, 420 p.
14. Popovic R. S., Hall Effect Devices: Magnetic Sensors and Characterization of Semiconductors, Institute of Physics Publishing, 2004, 419 p.
15. Fraden J., Handbook of Modern Sensors, Springer, 2016, 758 p.
16. Ripka P., Tipek A., Modern Sensors Handbook, ISTE, 2007, 512 p.
17. Tumanski S., Thin Film Magnetoresistive Sensors, CRC Press, 2001, 452 p.
18. Lenz J., Edelstein S., Magnetic Sensors and Their Applications, IEEE Press, 2006, 360 p.

					<i>КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ</i>	45
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

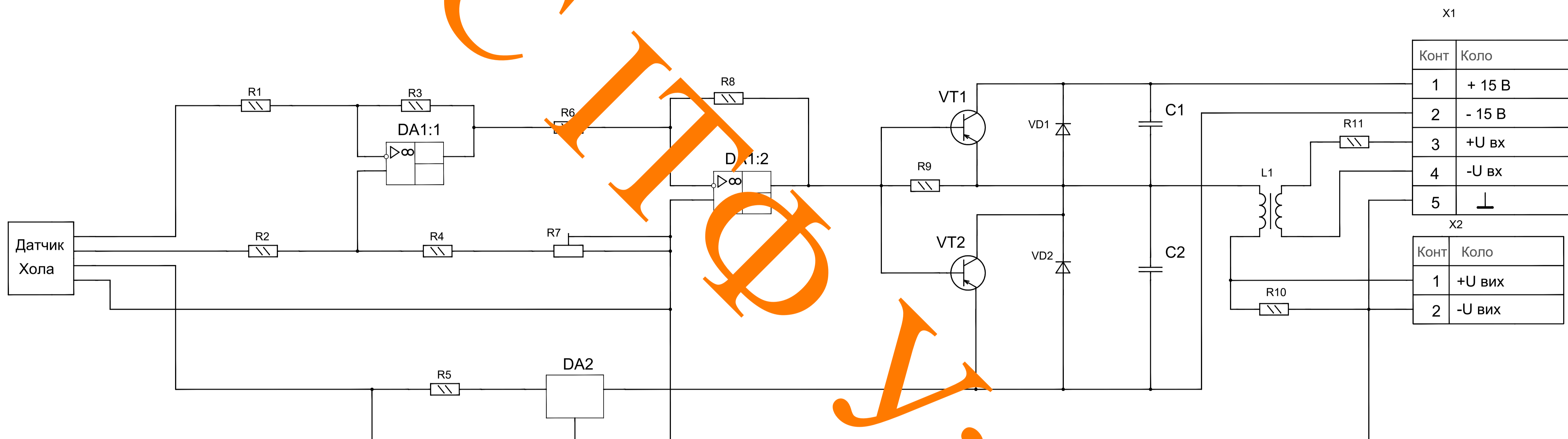
19. Pallás-Areny R., Webster J., Sensors and Signal Conditioning, Wiley, 2012, 720 p.
20. Horowitz P., Hill W., The Art of Electronics, Cambridge University Press, 2015, 1220 p.
21. Sedra A., Smith K., Microelectronic Circuits, Oxford University Press, 2019, 1420 p.
22. Malvino A., Bates D., Electronic Principles, McGraw-Hill, 2016, 960 p.
23. Erickson R., Maksimovic D., Fundamentals of Power Electronics, Springer, 2020, 1100 p.
24. Bolton W., Mechatronics, Pearson, 2015, 680 p.
25. Johnson C., Process Control Instrumentation Technology, Pearson, 2014, 720 p.
26. Bentley J., Principles of Measurement Systems, Pearson, 2014, 640 p.
27. Wilson J., Sensor Technology Handbook, Newnes, 2005, 704 p.
28. Gardner J., Varadan V., Awan, Karim O., Microsensors MEMS and Smart Devices, Wiley, 2001, 400 p.
29. Balcells J., Power Electronics Device Applications, Academic Press, 2013, 600 p.
30. Mohan N., Power Electronics: Converters, Applications, and Design, Wiley, 2003, 824 p.
31. Немикіна О. В., Електронні прилади та пристрої, ЕНП, 2018, 320 с.
32. Сінчук О. М., Основи електроніки та мікропроцесорної техніки, Новий Світ, 2019, 400 с.
33. Віссаріонов В. І., Сонячна енергетика, Вища школа, 2010, 360 с.
34. Бойко В. М., Датчики та перетворювачі фізичних величин, Либідь, 2015, 280 с.
35. Зайченко Ю. П., Електроніка та мікросхемотехніка, Каравела, 2017, 400 с.
36. Участь в міжнародній науково - практичній конференції «Scientific development in a changing world», 6 – 8 July 2026, Lviv

					<i>КРБ.ЕС.10314659.001.ПЗ</i>	46
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



БЕЗПЛАТНО

КРБ.ЕС.10314.659.001Е1									
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Датчик струму на основі ефекту Холла для промислових систем	Літера	Маса	Масштаб	
Розробив		Лідман М.М.				У		1:1	
Перевірив		Заяць Т.М.				Аркуш 1		Аркушів 1	
Т. контр.									
Н. контр.		Плат О.В.			Структурна схема	УжНУ, ІТФ, гр. ЕС, 4 курс			
Затвердив		Заяць Т.М.							



X1	
Конт	Коло
1	+ 15 В
2	- 15 В
3	+U вх
4	-U вх
5	⊥

X2	
Конт	Коло
1	+U вих
2	-U вих

					КРБЕС.10314.659.001Е2			
Эк.	Арх.	№ документа	Подпис	Дата	Датчик струму на основі ефекту Холу для промислових систем	Літера	Маса	Масштаб
Розробив	Львівський М.М.					у		1:1
Перевірив	Заяць Т.М.					Аркш 1		Аркшів 1
Т. контр.								
Н. контр.	Літв О.В.				Схема електрична принципова	УжНУ, ІТФ, гр. ЕС, 4 курс		
Затвердив	Заяць Т.М.							

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
	<b><u>Конденсатори ОЖО.460.172ТУ</u></b>		
C,1 C2	КМ-5А-М47-0,068 мкФ ± 10%	2	
	<b><u>Мікросхеми</u></b>		
DA1	КР574УД2А бКО.348.006-01 ТУ	1	
DA2	79L05 бКО.348.006-01 ТУ	1	
	<b><u>Котушка</u></b>		
L1	Д032х20х9 М2000НМ	1	
	<b><u>Резистори МЛТ-0,125 ОЖО.467.180 ТУ</u></b>		
R1	МЛТ-0,125 10 кОм ± 10%	5	R2 – R5
R6	МЛТ-0,125 30 кОм ± 10%	1	
R7	МЛТ-0,125 2 кОм ± 10%	1	
R8	МЛТ-0,125 1 кОм ± 10%	4	R9 – R11
	<b><u>Діоди</u></b>		
VD1	КД522Б ДРЗ.362.035 ТУ	2	VD2
	<b><u>Транзистори ААО.336.302ТУ</u></b>		
VT1	КТ815Б	1	
VT2	КТ814А	1	
	<b><u>Роз'єми НЦО.364.003ТУ</u></b>		
X1	Роз'єм РГ1Н-3-4К 4 pin	1	
X2	Роз'єм РГ1Н-2-2К 2 pin	1	

КРБ.ЕС.10314659.001.ПЕ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Дубанич М. М.		
Перевірів		Заяць Т. М.		
Т/Контр.				
Н/Контр.		Папп О.В.		
Затвердив		Заяць Т. М.		

Датчик струму на основі ефекту Холла для промислових систем  
Перелік елементів

Літера	Аркуш	Аркушів
У	1	1
УжНУ, ІТФ 4 курс, гр. ЕС		









Додаток 1

Завідувачу кафедри ЕС ІТФ ДНІВЗ УжНУ

К. ф. м. н., Заяць Тарас Михайлович

Студента (-ки) \_\_\_\_\_ курсу  
спеціальності ІТ Системознавство  
Дубашин М. М.  
(прізвище, ініціали)

## ЗАЯВА

щодо самостійного виконання  
навчальної/кваліфікаційної роботи здобувачем освіти

Я, Дубашин Михайло Михайлович  
(прізвище, ім'я, по батькові),

Студент(-ка) денна, Інженерно-технічний, 4 курс  
(форма навчання, факультет, курс)

заявляю: моя письмова робота на тему: датчик температури на основі ефекту  
Гальванівського ефекту

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату.

Всі запозичення з друкованих та електронних джерел, а також із захищених раніше робіт мають відповідні посилання. Я ознайомлений(а) з діючим Положенням, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску навчальної/кваліфікаційної роботи до захисту та притягнення до академічної відповідальності.

18.06.26  
Дата

М. М.  
Підпис

## ДОВІДКА

про результати перевірки на унікальність  
кваліфікаційної, навчальної (курсної) роботи

Автор роботи	Дубашин Михайло Михайлович
Назва роботи	Датчик струму на основі ерату Тема для промислових систем
Спеціальність	171 Електроенергетика
Курс	4
Факультет	Інженерно-технічний
Кафедра	Електроенергетика
Керівник роботи	Талуб Марс Михайлович
Роботу перевірено в програмі	Strikeplagiarism.com
Додано до бази даних	
Ідентифікаційний номер роботи	
Результати перевірки	
Показник унікальності тексту через перевірку роботи у внутрішній базі кафедри ЕС ІТФ ДНУЗ УжНУ	83%
Показник унікальності тексту в мережі Інтернет	

Відповідальна особа/  
Науковий керівник роботи

*Зелен Т.М.*  
(прізвище ініціали)

18.06.26

Дата

*Зелен Т.М.*  
Підпис



## Метадані

### ДОКУМЕНТ

Заголовок

**2026 КБР Дубанич М.М.**

Автор

**Михайло Дубанич**

Науковий керівник / Експерт

**Ігор Михайлович Юркін**

ІД документу

**334358164**

### ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

**Uzhhorod National University**

підрозділ

**Department**

### ЗВІТ

Дата звіту

**2026-06-18**

Дата редагування

---

## Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.

**25**

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

**389**

Кількість слів

**47873**

Кількість символів

## Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть вказувати на **МОЖЛИВІ** маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при копіюванні документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, будь ласка звертайтесь до нашої служби підтримки.

Заміна букв		9
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		179

## Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

### 10 найдовших фраз

Колір тексту

#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	<a href="https://xn--90adflmiialse2m.xn--p1ai/raznoe/datchik-holla-datchik-toka-rabota-s-datchikami-toka-na-effekte-holla-ac5758-habr.html">https://xn--90adflmiialse2m.xn--p1ai/raznoe/datchik-holla-datchik-toka-rabota-s-datchikami-toka-na-effekte-holla-ac5758-habr.html</a>	206 0 (2.91 %)