

Чернігівський національний технологічний університет

Автор: Димерець Андрій Віталійович

Керівник: Городній Олексій Миколайович, к.т.н., ст. викл. кафедри
«Промислової електроніки»

**Високочастотні імпульсні стабілізатори напруги в децентралізованій
системі електроживлення навчальних лабораторій**

Шифр: ***Comsol***

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 АНАЛІЗ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ТА ЇХ СКЛАДОВИХ ЧАСТИН.....	7
1.1 Класифікація систем вторинного електроживлення.....	7
1.2 Основні параметри та характеристики перетворювачів електроенергії постійного струму та стабілізаторів напруги.....	9
1.2.1 Статичний та диференціальний опір навантаження.....	9
1.2.2 Коефіцієнт корисної дії.....	9
1.2.3 Коефіцієнт пульсацій.....	10
1.2.4 Зовнішня характеристика.....	11
1.2.5 Коефіцієнт стабілізації.....	12
2 ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ КАБІНЕТІВ ФІЗИКИ.....	12
2.1 Функціональна схема вхідного перетворювача та проміжної мережі живлення.....	12
2.2 Вихідні перетворювачі, які зараз використовуються (ВП4/50).....	13
2.3 Енергетичні параметри електроживлення навчальних лабораторій. Вимоги до сучасних вихідних перетворювачів.....	15
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ТА ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ.....	16
3.1 Визначення вихідних опорів вхідного перетворювача, проміжної мережі живлення, коефіцієнтів трансформації вхідного перетворювача.....	16
3.2 Дослідження енергетичних показників вихідних перетворювачів ВП4/50	18
3.3 Дослідження параметрів стабілізованого джерела живлення з цифровим вимірювальним модулем (БЖШКФ – 0).....	20
3.4 Дослідження параметрів стабілізованого джерела живлення з цифровим вимірювальним модулем (БЖШКФ – 1).....	22

3.5 Дослідження параметрів стабілізованого джерела живлення з цифровим вимірвальним модулем (БЖШКФ – 2).....	23
3.6 Дослідження енергетичних втрат електронних ключів в імпульсному та квазірезонансному перетворювачах.....	25
ВИСНОВКИ.....	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	32
Додаток А – Акт впровадження.....	35
Додаток Б - Структурна схема системи децентралізованого електроживлення кабінету фізики.....	37
Додаток В - Результати дослідження лабораторних джерел ВП4/50.....	38
Додаток Г - Результати дослідження стабілізованого джерела БЖШКФ-0.....	42
Додаток Д - Результати дослідження стабілізованого джерела БЖШКФ-1....	45
Додаток Е - Результати дослідження стабілізованого джерела БЖШКФ-2....	48

ВСТУП

Наукова новизна – теоретичні та експериментальні дослідження вторинних джерел живлення навчальних та наукових лабораторій дозволили розробити високочастотні квазірезонансні імпульсні стабілізатори напруги з поліпшеними енергетичними та масогабаритними показниками, а використання цифрового вимірювального модуля дозволило спростити та пришвидшити проведення практичних та наукових досліджень в цих лабораторіях, зменшити похибки вимірювань.

Особистий внесок здобувача. Теоретичні та практичні результати, викладені в роботі, отримані автором особисто.

Практичне значення отриманих результатів:

1) показано, що якісні показники вихідної напруги системи електроживлення навчальних та наукових лабораторій, залежать від всіх її складових частин (вхідних перетворювачів, проміжної мережі живлення та вихідних перетворювачів), але основний вклад в погіршення цих показників вносять вихідні перетворювачі;

2) досліджені енергетичні показники і стійкість вихідних імпульсних перетворювачів;

3) використання квазірезонансних стабілізаторів дозволило підвищити енергоефективність джерел живлення, що зменшує споживання електроенергії;

4) наявність захисту від підвищеної напруги по входу та перенавантаження по виходу збільшує надійність та зменшує вірогідність виходу джерел живлення з ладу;

5) результати теоретичних та експериментальних досліджень можуть бути використані в навчальному процесі при підготовці фахівців енергетичних, комп'ютерних та електронних напрямків підготовки.

Апробація роботи.

1) Перша науково-практична конференція «Новітні технології сучасного суспільства» (НТСС-2017). 01 грудня 2017, м. Чернігів, *Comsol*

2) *Подані матеріали для участі у Міжнародній науково-технічній конференції ПСЕ-2018. «Оцінка параметрів і характеристик коректора коефіцієнта потужності на основі імпульсних та квазірезонансних перетворювачів електроенергії»* Ю.О.Денисов, **Comsol**, В.В.Гордієнко, Л.В.Вершняк, **Comsol**.

Публікації.

1) **Comsol** Розрахунок комутаційних процесів в імпульсних перетворювачах електроенергії / **Comsol** // Тези конференції НТСС-2017.- м.Чернігів, 2017 - С. 82-85.

2) *Прийнята до публікації.* Смикун А. І. Удосконалене лабораторне джерело живлення з регулюванням вихідної напруги та високочастотним квазірезонансним імпульсним стабілізатором / А.І. Смикун, **Comsol**, **Comsol** // Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі: тези доповіді. — Чернігів, 2018.

На сучасному етапі розвитку радіоелектронної апаратури (РЕА) централізовані системи електроживлення активно замінюють на децентралізовані [1-10]. По запиту середніх навчальних закладів м. Чернігова були проведені дослідження децентралізованої системи електроживлення кабінетів фізики. Електричне обладнання для шкіл розроблялось та впроваджувалось в 70х-80х роках минулого сторіччя і не відповідає сучасним вимогам при проведенні лабораторних робіт з фізики. Проведення лабораторних робіт на такому електрообладнанні призводить до великих похибок при вимірюваннях. Крім того за рахунок недоліків системи електроживлення спостерігається вплив зміни навантаження на одному робочому місці на інше робоче місце. Велика нестабільність напруги живлення лабораторних робіт також спостерігається за рахунок зміни напруги мережі живлення. Крім того джерела живлення кабінетів фізики не мають захисту від перенавантаження або коротких замикань, які можуть виникати при проведенні занять.

Запропоновані ряд стабілізованих імпульсних джерел живлення БЖШКФ-0,1,2, які вирішують всі описані вище проблеми систем електроживлення кабінетів фізики, збільшують коефіцієнт корисної дії (ККД) та забезпечують захист від перенавантаження. Особливу наукову цікавість має модель БЖШКФ-2, яка спроектована на основі новітнього напрямку імпульсних перетворювачів – квазірезонансні імпульсні перетворювачі, в яких ККД значно більше ніж у звичайних імпульсних за рахунок перемикання силових елементів при нульовому струмі через них [11-26]. Крім того всі моделі джерела живлення обладнані вихідним цифровим вимірювальним модулем напруги та струму.

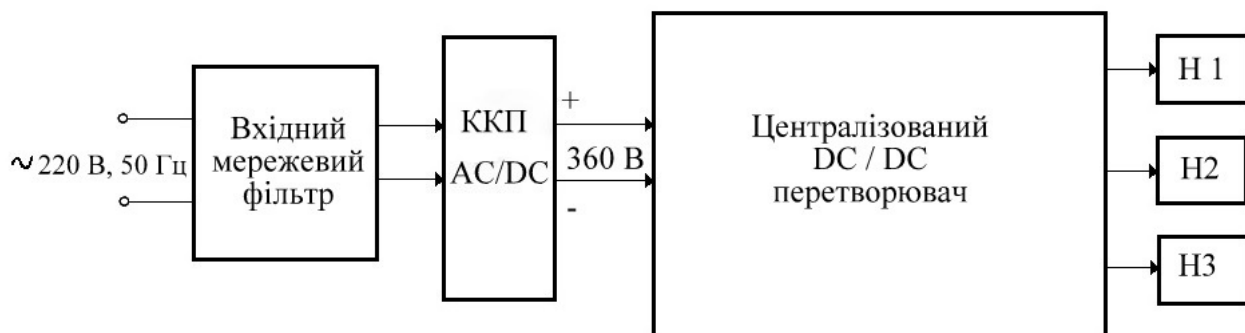
Результати цих досліджень полягли в основу науково-дослідної роботи кафедри «Промислова електроніка» **Comsol** «Розробка енергоефективних перетворювачів в автономних системах електроспоживання» WD0110U003005. Автор приймав активну участь в проведенні цієї науково-дослідної роботи, а саме сумісно з науковим керівником здійснював вимірювання характеристик та параметрів джерел живлення, робив необхідні розрахунки, монтаж та збірку експериментальних прототипів модернізованих джерел живлення, їх випробовувань в необхідних режимах роботи.

Запропоновані високочастотні імпульсні квазірезонансні джерела живлення вже використовуються в навчальному процесі ЗНЗ №7 м. Чернігова. Відповідність їх параметрів та характеристик підтверджена актом впровадження фахівцями цього навчального закладу, методичного центру Управління освіти Чернігівської міської ради та науковцями університету (Додаток А).

1 АНАЛІЗ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ТА ЇХ СКЛАДОВИХ ЧАСТИН

1.1 Класифікація систем вторинного електроживлення

Системи електроживлення за будовою можна поділити на: централізовані та децентралізовані (розподілені). Централізована система (рис. 1.1) містить один потужний, великогабаритний перетворювач постійної напруги, який формує на виходах всі необхідні рівні напруг та струмів.

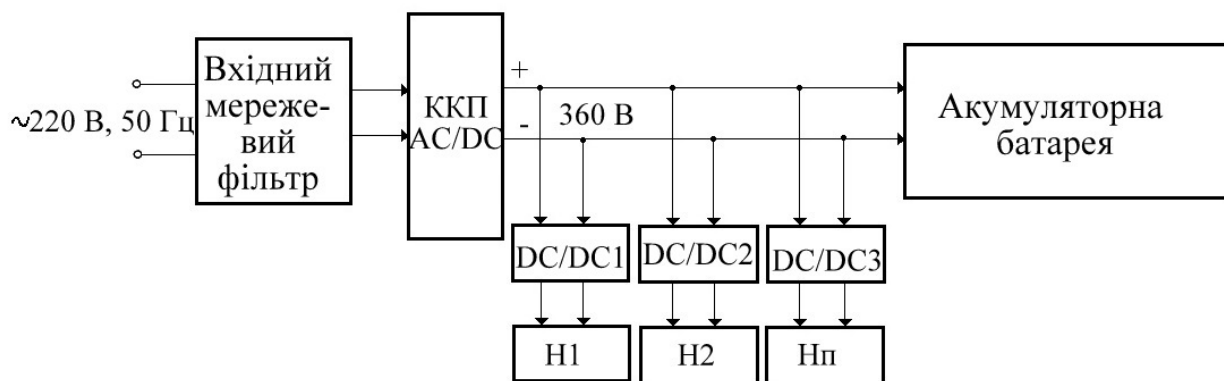


ККП – коректор коефіцієнта потужності; Н – навантаження

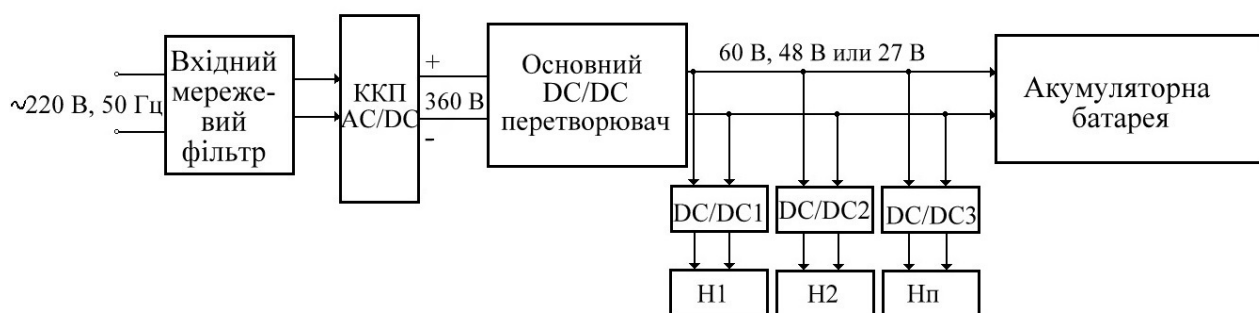
Рисунок 1.1 – Централізована система електроживлення РЕА

Децентралізована система (рис. 1.2) містить проміжну шину, на яку подається безпосередньо випрямлена та відфільтрована напруга мережі (рис. 1.2, а) або напруга стабілізована основним DC/DC перетворювачем до проміжного рівня. До цієї шини підключені декілька DC/DC перетворювачів, які формують напруги та струми, необхідні для кожного окремого навантаження.

Система децентралізованого електроживлення (СДЕ) може бути двох типів: без стабілізації проміжної напруги (ПН) і зі стабілізацією ПН. Кожна з них має свої особливості, переваги та недоліки, а доцільність використання однієї або іншої визначається складністю, габаритами, собівартістю та надійністю СДЕ РЕА.



а)



б)

а) децентралізована система електроживлення РЕА без стабілізації ПН;

б) децентралізована система електроживлення РЕА зі стабілізацією ПН

Рисунок 1.2 – Різновиди децентралізованих систем електроживлення

Переваги СДЕ без стабілізації ПН за умови рівної потужності споживання навантаженнями та умов експлуатації:

1) відсутній основний DC / DC перетворювач – менші габарити, менша собівартість;

2) менший діаметр провідників проміжної шини – потужність та ж сама, але завдяки більшій напрузі струм менший;

Недоліки:

1) необхідність кращої ізоляції провідників проміжної шини – велика ПН;

2) зниження надійності та збільшення собівартості вихідних DC/DC перетворювачів – на їх входи подається велика напруга;

3) необхідність компоновки акумуляторної батареї – немає окремих акумуляторів на таку високу напругу;

4) більша амплітуда пульсації ПН – зростає рівень завад та перешкод;

Перевагами СДЕ зі стабілізацією ПН є недоліки СДЕ без стабілізації ПН, недоліками СДЕ зі стабілізацією ПН є переваги СДЕ без стабілізації ПН.

В системах децентралізованого електроживлення кожен пристрій або модуль має власний DC/DC перетворювач, що розміщується безпосередньо поряд з навантаженням. Енергія передається напругами високих рівнів, отже при малих значеннях струмів, що зменшує втрати в мережі, вимоги до шин та провідників, контактів, а також підвищує надійність системи [1-16].

1.2 Основні параметри та характеристики перетворювачів електроенергії постійного струму та стабілізаторів напруги

1.2.1 Статичний та диференціальний опір навантаження

Будь-який пристрій можна представити еквівалентним активним опором навантаження для розрахунку джерела живлення.

$$R_H = \frac{U_0}{I_0}, \quad (1.1)$$

де U_0 - постійна складова напруги, I_0 - струм навантаження.

Реальні пристрої зазвичай нелінійні, тому застосовують диференціальний опір навантаження:

$$R_{HD} = \frac{\Delta U_0}{\Delta I_0}, \quad (1.2)$$

Зазвичай $R_H \neq R_{HD}$, тому розрахунки вторинних джерел електроживлення справедливі тільки для номінального режиму.

1.2.2 Коефіцієнт корисної дії

Коефіцієнт корисної дії є однією з основних характеристик будь-якого пристрою. Він дорівнює відношенню активної потужності на виході пристрою до активної потужності на вході.

$$\eta = \frac{P_{ВИХ}}{P_{ВХ}} = \frac{U_0 I_0}{P_{ВХ}}, \quad (1.3)$$

Якщо на вході ми маємо мережу постійного струму, то вхідна потужність визначається:

$$P_{BX} = U_{BX} \cdot I_{BX}, \quad (1.4)$$

Якщо на вході мережа змінного синусоїдального струму, то можна визначити значення трьох видів потужності:

$$S = U \cdot I, \quad (1.5)$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi, \quad (1.6)$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi, \quad (1.7)$$

де S — повна потужність; U — діюче значення напруги; I — діюче значення струму; P — активна потужність; Q — реактивна потужність.

Якщо пристрій споживає не синусоїдальний струм, то в повній потужності з'являється ще одна складова - потужність спотворень T :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + T^2}, \quad (1.8)$$

А активна потужність споживається тільки на першій гармоніці:

$$P = U \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1, \quad (1.9)$$

де I_1 - діюче значення першої гармоніки струму; φ_1 - кут зсуву цієї гармоніки.

1.2.3 Коефіцієнт пульсацій

Вихідну напругу в загальному випадку можна розкласти на дві складові: постійну (корисну) та змінну (пульсації) (рис. 1.3). Коефіцієнт пульсацій – це відношення амплітуди пульсацій (U_{mn}) до постійної складової U_0 .

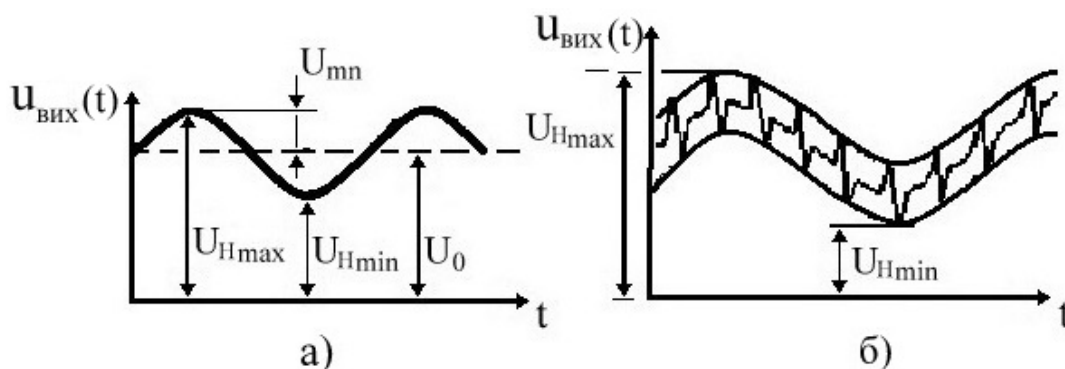


Рисунок 1.3 – Вихідна напруга випрямляча

$$k_{\pi} = \frac{U_{mn}}{U_0} \cdot 100\%, \quad (1.10)$$

де U_0 – постійна складова вихідної напруги;

U_{mn} – амплітудне значення змінної складової напруги.

Постійну складову U_0 можна визначити:

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u_{ВИХ}(t) dt. \quad (1.11)$$

При складній формі пульсацій (рис. 1.3, б), їх амплітуду можна визначити як половину розмаху вихідної напруги:

$$U_{mn} = \frac{U_{H \max} - U_{H \min}}{2}. \quad (1.12)$$

1.2.4 Зовнішня характеристика

Зовнішня характеристика вторинного джерела живлення - це залежність вихідної напруги від струму: $U_0 = f(I_0)$. Джерело живлення можна представити еквівалентним генератором напруги U_{0xx} (холостого ходу) з внутрішнім опором $R_{вих}$ (рис. 1.4).

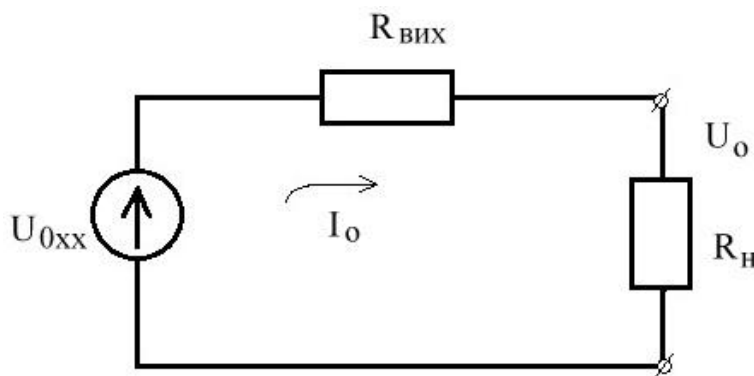


Рисунок 1.4 – Еквівалентна схема вторинного джерела живлення

Відповідно до цієї схеми можна визначити напругу на навантаженні:

$U_0 = U_{0xx} - I_0 R_{вих}$. На рис. 1.5 показана типова зовнішня характеристика джерела живлення.

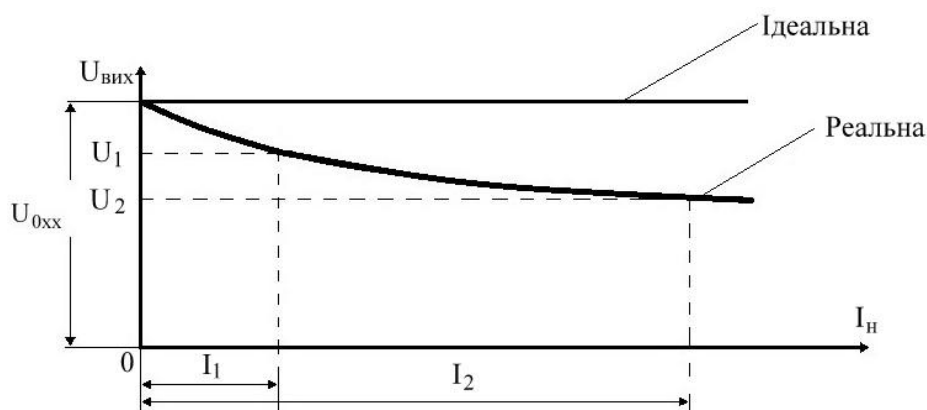


Рисунок 1.5 – Типова зовнішня характеристика джерела живлення

По зовнішній характеристиці можна визначити диференціальний вихідний опір джерела:

$$R_{\text{вих}} = -\frac{\Delta U_0}{\Delta I_0} = \left| \frac{U_1 - U_2}{I_1 - I_2} \right|, \quad (1.13)$$

1.2.5 Коефіцієнт стабілізації

Основним параметром, що характеризує якісні властивості стабілізаторів є коефіцієнт стабілізації. Для систем децентралізованого електроживлення навчальних лабораторій необхідно використати в якості вихідного перетворювача стабілізатор напруги. На стабільність вихідної напруги найбільше впливають зміна вхідної напруги (напруги мережі), і як наслідок зміна проміжної напруги, а також зміна навантаження.

Коефіцієнт стабілізації можна визначити як відношення відносної зміни вхідної напруги до відносної зміни вихідної напруги:

$$K_{CT} = \frac{\frac{\Delta U_{BX}}{U_{BX_НОМ}}}{\frac{\Delta U_{ВІХ}}{U_{ВІХ_НОМ}}}. \quad (1.14)$$

2 ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ КАБІНЕТІВ ФІЗИКИ

2.1 Функціональна схема вхідного перетворювача та проміжної мережі живлення

На рис. Б.1 показана структурна схема децентралізованого електроживлення кабінету фізики. На вході розміщені понижуючі

трансформатори напруги АС/АС1, АС/АС2, АС/АС3, які зменшують мережеву напругу з 220 В до значення 36 В або 42 В. Кожен з трансформаторів формує проміжну напругу для одного ряду (5 робочих місць). Захисні автомати SF 1 – SF 4 захищають мережу від перевантажень (струм не більше 10 А).

Вхідні трансформатори також забезпечують гальванічну розв'язку між проміжною мережею та мережею живлення. Це унеможлиблює ураження людини фазним струмом.

Робочі місця в кожному ряді підключені послідовно. Електрична проводка, що прокладена між трансформатором та робочими місцями, має свій активний опір.

На рис. 2.1 наведена функціональна схема підключення одного ряду.

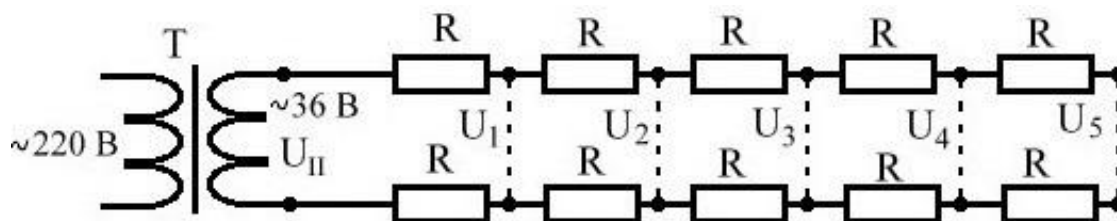


Рисунок 2.1 – Функціональна схема системи електроживлення одного ряду робочих місць навчальної лабораторії

Перевагою такої будови є те, що проміжна напруга не перевищує максимального значення (42 В). Недоліком є те, що на дротах виникає падіння напруги. Через це напруга зменшується від першого місця до останнього. До того ж зміна опору навантаження одного місця спричиняє зміну напруги на інших місцях.

2.2 Вихідні перетворювачі, які зараз використовуються (ВП4/50)

На робочі місця подається змінна напруга 36 В або 42 В частотою 50 Гц. Для живлення схем лабораторних робіт вона є зовеликою. Тому на робочих місцях застосовується джерело ВП4/50 (рис. 2.2).

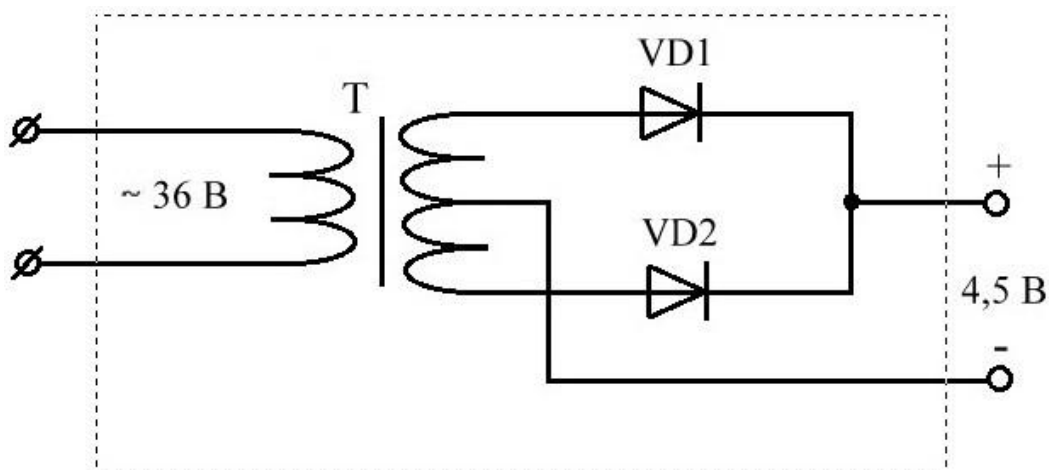


Рисунок 2.2 – Електрично-принципова схема лабораторного блоку живлення (ВП4/50)

Дане джерело є звичайним двополуперіодним випрямлячем (схема з середньою точкою) без згладжування вихідної напруги.

Перевагою даних джерел є їх простота. Але їх великим недоліком є великий рівень пульсацій вихідної напруги (рис. 2.3).

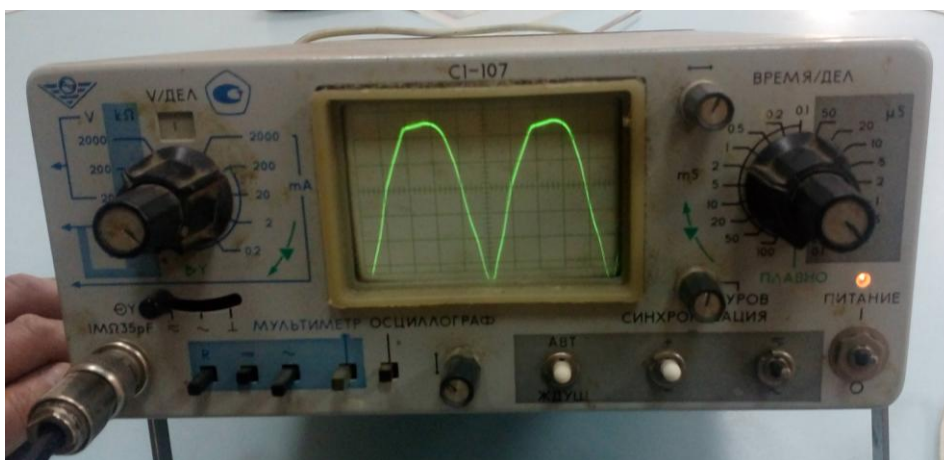


Рисунок 2.3 – Форма вихідної напруги лабораторного джерела живлення

Будь-яку періодичну функцію за допомогою перетворення Фур'є можна розкласти на гармоніки – суму постійної складової та синусоїдальних складових з частотами кратними частоті основної гармоніки. Тобто у вихідній напрузі отриманій за допомогою випрямляча з напруги мережі частотою 50 Гц є постійна складова U_0 та вищі гармоніки (100 Гц, 200 Гц, 300 Гц і т.д.). Для двополуперіодного випрямляча вираз вихідної напруги має вигляд:

$$U(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos k\omega_1 t + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin k\omega_1 t, \quad (2.1)$$

де a_0 – постійна складова; k – номер гармоніки; $\omega_1 = 2\pi f_1$ – частота основної гармоніки в рад/с; f – частота основної гармоніки в Гц.

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt; a_k = \frac{2}{T} \int_0^T U(t) \cos(k\omega_1 t) dt; b_k = \frac{2}{T} \int_0^T U(t) \sin(k\omega_1 t) dt; (k = 1, 2, 3, \dots). \quad (2.2)$$

При виконанні лабораторних робіт на уроках фізики в школах застосовуються магнітоелектричні прилади (вольтметри та амперметри). Вони вимірюють лише постійну складову напруги або струму. Тому виміряний струм буде значно меншим за реальне діюче значення.

2.3 Енергетичні параметри електроживлення навчальних лабораторій. Вимоги до сучасних вихідних перетворювачів

Енергетичні параметри системи електроживлення навчальних лабораторій можна виміряти приладами, розрахувати на основі виміряних параметрів, енергетичних характеристик вузлів схеми (спектральна характеристика, навантажувальна характеристика) або паспортних даних.

Параметри системи електроживлення навчальних лабораторій:

1. Вхідної напруги:

- мережа живлення – однофазна;
- номінальне значення напруги – 220 В;
- допустима зміна вхідної напруги від 200 В до 240 В;
- частота 50 Гц;
- максимальна потужність споживання – до 600 Вт.

2. Вхідних перетворювачів:

- кількість трансформаторів – 3;
- потужність кожного встановленого трансформатора – 400 Вт;
- номінальні значення вторинних напруг – 36 В або 42 В;
- струм спрацювання автоматів SF 1 – SF 4 – 10 А.

3. Вихідних перетворювачів, які використовуються (ВП/50):

- номінальна вихідна напруга 4,5 В;

- номінальний вихідний струм – 1 А;
- максимальний вихідний струм – 2 А;
- коефіцієнт пульсацій 67%.

4. Сучасні вимоги до параметрів вихідних перетворювачів:

- номінальна вихідна напруга – 5 В;
- номінальний вихідний струм – 1 А;
- максимальний вихідний струм – 2 А;
- коефіцієнт пульсацій до 1,5 %;
- нестабільність вихідної напруги при зміні вхідної напруги та струму навантаження – до 5 %;
- наявність захисту від перевищення напруги ;
- наявність захисту від коротких замикань та перевантажень по виходу.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ТА ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

3.1 Визначення вихідних опорів вхідного перетворювача, проміжної мережі живлення, коефіцієнтів трансформації вхідного перетворювача

Вихідний опір системи можна визначити як суму вихідного опору трансформатора та опору дротів.

$$r_{\text{сж}} = r_{\text{тр}} + r_{\text{др}} . \quad (3.1)$$

Для вимірювання вихідного опору трансформатора була зібрана схема амперметр-вольтметр (рис. 3.1), на рис. 3.2 показана фотографія експерименту.

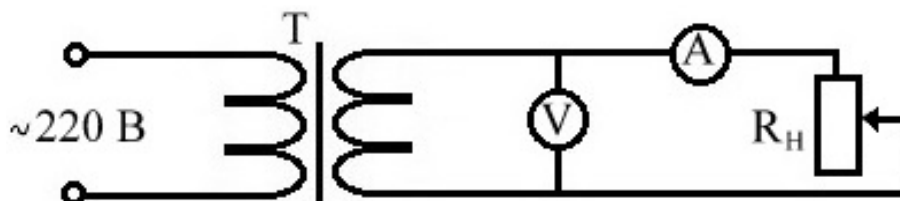


Рисунок 3.1 – Схема вимірювання вихідного опору вхідного трансформатору

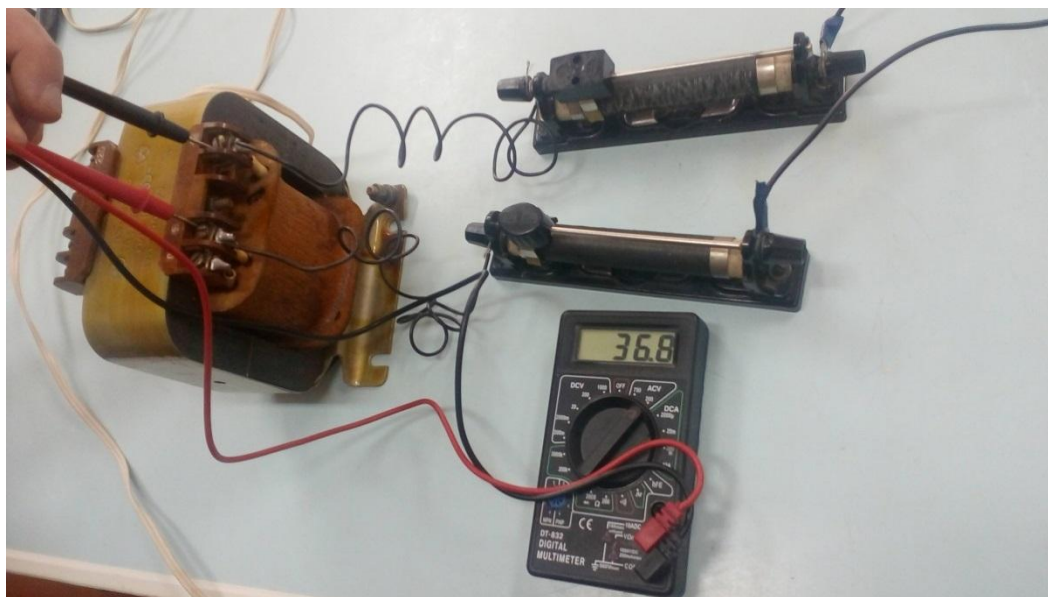


Рисунок 3.2 – Фотографія схеми вимірювань вихідного опору трансформатора системи живлення

Було проведено вимірювання для двох режимів: холостий хід $I_H = 0$ А та при струмі $I_H = 2$ А. Напруга первинної обмотки $U_I = 227,0$ В. В режимі холостого ходу напруги вторинних обмоток $U_{II} = 43,6$ В (37,7 В). При струмі $I_H = 2$ А $U_{II} = 37,7$ В. Вихідний опір трансформатора можемо розрахувати за формулою.

$$r_{i\text{ тр}} = \left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right| = \left| \frac{U_{xx} - U_{pn}}{I_{xx} - I_{pn}} \right|, \quad (3.2)$$

де ΔU – зміна напруги вторинної обмотки; ΔI – зміна струму вторинної обмотки.

Опір трансформатора склав 0.16 Ом.

Для визначення опору дротів спочатку знайдемо опір системи відносно останнього в ряду робочого місця (рис. 3.3). Виміри проводились для струму 2А, зменшення напруги склало 2 В. Вихідний опір системи 0.8 Ом. Тоді опір дротів розраховується:

$$r_{\text{др}} = r_{\text{сж}} - r_{\text{тр}}, \quad (3.3)$$

$$r_{\text{др}} = 0.64 \text{ Ом.}$$

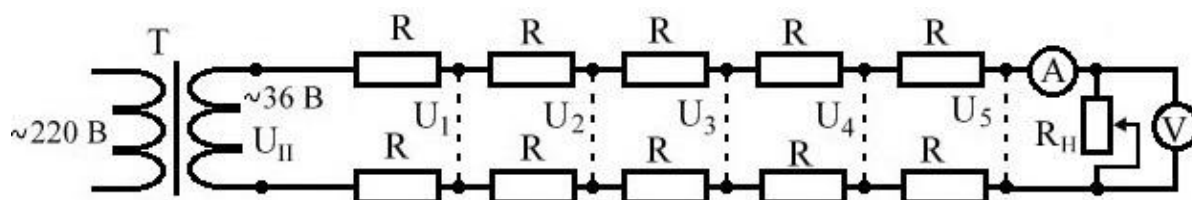


Рисунок 3.3 – Функціональна схема вимірювання вихідного опору системи розподіленого електроживлення

Головним параметром трансформатора є коефіцієнт трансформації, який визначається як відношення напруги первинної обмотки до напруги вторинної обмотки.

$$K_{\text{тр}} = \frac{U_I}{U_{II}}. \quad (3.4)$$

Для проміжної напруги 36 В - $K_{\text{тр}} = \frac{227}{37,7} = 6,0$.

Для проміжної напруги 42 В - $K_{\text{тр}} = \frac{227}{43,6} = 5,2$.

Відносна нестабільність проміжної напруги через наявність вихідного опору привела до її зменшення на 2 В.

$$\delta = \frac{U_{\text{пн хх}} - U_{\text{пн р}}}{U_{\text{пн хх}}} \cdot 100\%, \quad (3.5)$$

де $U_{\text{пн хх}}$ – напруга проміжної мережі, при $I_{\text{н}} = 0$; $U_{\text{пн р}}$ – напруга проміжної мережі, при $I_{\text{н}} = 2$ А.

$$\delta = \frac{37,7 - 35,7}{37,7} \cdot 100\% = 5,3\%$$

тобто $\delta > 5\%$.

3.2 Дослідження енергетичних показників вихідних перетворювачів ВП4/50

Вихідний опір визначався для 4 випадково вибраних з лабораторії джерел живлення. Схема вимірювань показана на рис. 3.4, фотографія внутрішньої будови джерела – на рис. 3.5.

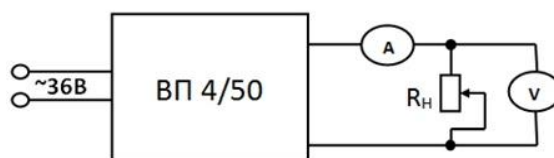


Рисунок 3.4 – Схема вимірювання вихідної характеристики лабораторного джерела живлення



Рисунок 3.5 – Фотографія внутрішньої побудови джерела живлення

В таблиці В.1 наведені результати вимірювань вихідної напруги та струму, розрахунків відносної нестабільності.

На рис. В.1 – В.4 побудовані вихідні (навантажувальні) характеристики чотирьох джерел живлення. По даним характеристикам були визначені вихідний опір, похибка вихідної напруги та коефіцієнт трансформації джерел живлення.

Результати розрахунків (формули 1.13, 3.5):

Для першого джерела живлення: $r_{i \text{ дж}} = 0,98 \text{ Ом}$; $\delta_{\text{дж max}} = 35\%$;

для другого джерела живлення: $r_{i \text{ дж}} = 1,52 \text{ Ом}$; $\delta_{\text{дж max}} = 52\%$;

для третього джерела живлення: $r_{i \text{ дж}} = 0,95 \text{ Ом}$; $\delta_{\text{дж max}} = 40\%$;

для четвертого джерела живлення: $r_{i \text{ дж}} = 1,15 \text{ Ом}$; $\delta_{\text{дж max}} = 32\%$.

Для вихідної напруги величиною 4.7 В було зроблено пряме перетворення Фур'є. На рис. В.5 наведено спектр даної напруги, в таблиці В.2 наведені чисельні значення амплітуди спектральних складових.

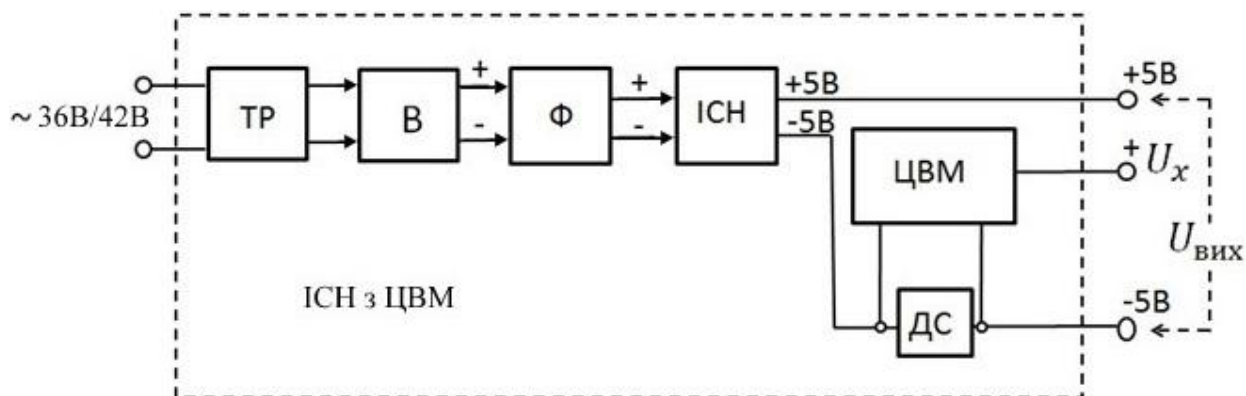
Амплітуди трьох перших гармонійних складових є досить великими. Струми на цих гармоніках не вимірюються магнітоелектричними приладами. Тому реальний струм буде більший за покази амперметра.

Як бачимо, найбільший вклад в погіршення енергетичних показників системи електроживлення вносять вихідні перетворювачі. Значно підвищити якість вихідних параметрів, можливо за рахунок використання високочастотних імпульсних стабілізаторів. Були розроблені три різновиди імпульсних стабілізаторів напруги БЖШКФ – 0, БЖШКФ – 1, БЖШКФ – 2. Крім того в ці імпульсні стабілізатори були додані цифрові вимірювальні модулі, які вимірюють вихідну напругу та струм.

3.3 Дослідження параметрів стабілізованого джерела живлення з цифровим вимірювальним модулем (БЖШКФ – 0)

Стабілізоване джерело живлення значно підвищить стабільність вихідної напруги, зменшить вплив первинної мережі живлення та інших робочих місць, що дозволить вирішити всі поставлені проблеми. Також джерело має цифровий вимірювальний модуль, який показує величину вихідного струму. В модулі використовується трьох розрядна індикація параметрів, що дозволяє отримати похибку не більше 0.1 %.

Структурна схема запропонованого пристрою показана на рис. 3.6.



В – випрямляч, ДС – давач струму, ІСН – імпульсний стабілізатор напруги, ТР – трансформатор, Ф – фільтр, ЦВМ – цифровий вимірювальний модуль.

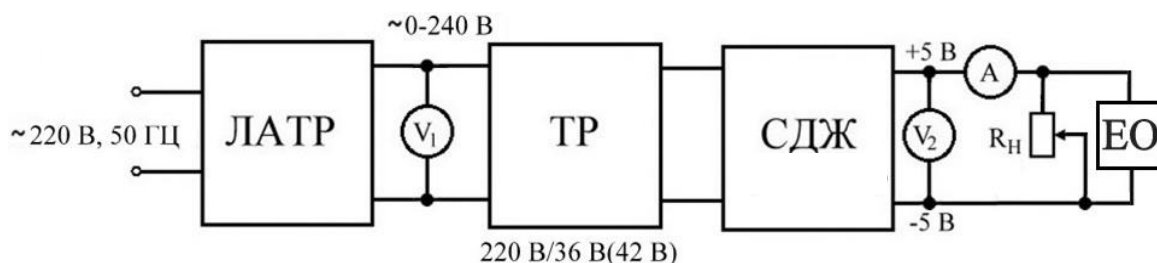
Рисунок 3.6 – Стабілізоване джерело живлення з цифровим вимірювальним модулем

Вхідна напруга 36 В або 42 В зменшується трансформатором до необхідної величини. Мостовий випрямляч формує зі змінної вхідної напруги однополярну пульсуючу напругу, фільтр її згладжує. Далі напруга

стабілізується імпульсним стабілізатором напруги. Послідовно з від'ємною клемою джерела живлення встановлений датчик струму – малий точний опір. Спад напруги на ньому пропорційний струму. Ця напруга подається на ЦВМ для відображення величини струму. На клему $+U_x$ можна подавати зовнішню напругу, яку необхідно виміряти. На екрані цифрового модуля ця напруга відображається в цифровому вигляді.

На рис. 3.7 наведена функціональна схема комплексного вимірювання параметрів та характеристик стабілізованого джерела живлення.

Лабораторний автотрансформатор дозволяє змінювати вхідну напругу, що імітує зміну напруги мережі живлення.



ЛАТР – лабораторний автотрансформатор; ТР – трансформатор;

СДЖ – стабілізоване джерело живлення; ЕО – електронний осцилограф.

Рисунок 3.7 – Функціональна схема вимірювання стійкості, коефіцієнту пульсацій та вихідної характеристики стабілізованого джерела живлення до зміни напруги мережі 220В, 50Гц

При номінальному струмі навантаження 1 А, проводимо дослідження стійкості СДЖ при зміні вхідної напруги (змінюючи вихідну напругу ЛАТРа) та вимірювання коефіцієнту пульсацій.

Для напруги мережі 220 В отримана вихідна характеристика СДЖ, а також залежність коефіцієнта пульсацій від струму навантаження.

Коефіцієнт пульсацій (K_n) розраховувався за формулою 1.11, нестабільність вихідної напруги – за формулою 3.5. Результати вимірювань та розрахунків наведені в таблицях Г.1, Г.2.

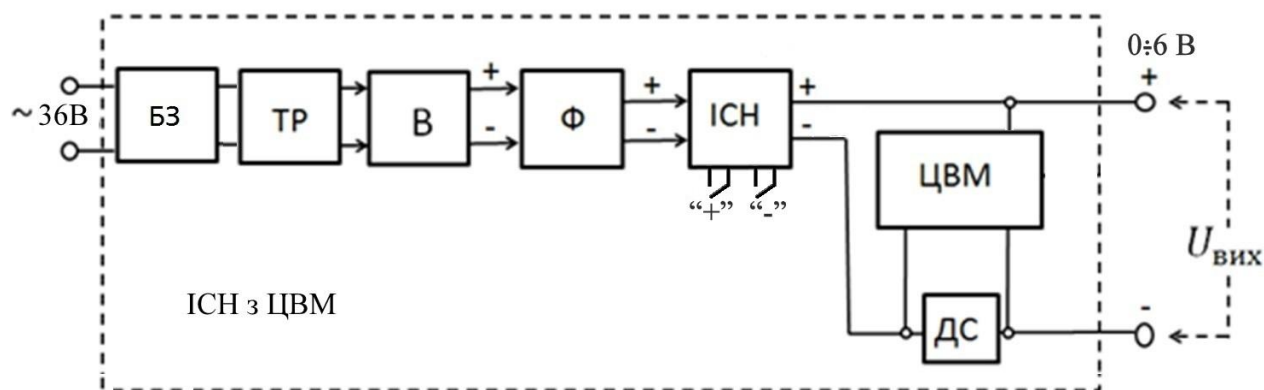
На рис. Г.1 наведені результати дослідження вихідних параметрів та характеристик. На рис. Г.2 – 3.5 наведені вихідні характеристики та залежності енергетичних показників.

Диференціальний вихідний опір БЖШКФ – 0 розраховувався з формули 3.5 та дорівнює 0,035 Ом. Коефіцієнт стабілізації розраховувався за формулою 1.14, та дорівнює 90.

Як бачимо для цього джерела живлення, при збільшенні струму навантаження (>1.6 А) різко збільшується коефіцієнт пульсацій та похибка встановлення вихідної напруги. Це пояснюється частковим виходом імпульсного стабілізатора з режиму стабілізації. Згідно рис. 3.6 напруга на виході випрямляча зменшується нижче мінімально допустимої вхідної напруги імпульсного стабілізатора. Цей недолік був усунутий шляхом збільшення кількості витків вторинної обмотки трансформатора.

3.4 Дослідження параметрів стабілізованого джерела живлення з цифровим вимірювальним модулем (БЖШКФ – 1)

На рис. 3.8 наведена структурна схема стабілізованого джерела живлення БЖШКФ – 1.



БЗ – блок захисту; ТР – трансформатор; В – випрямляч; Ф – фільтр; ІСН – імпульсний стабілізатор напруги; ЦВМ – цифровий вимірювальний модуль; ДС – давач струму.

Рисунок 3.8 – Структурна схема лабораторного джерела живлення з регулюванням вихідної напруги БЖШКФ-1

У джерела БЖШКФ – 0 є два основні недоліки: відсутність можливості зміни вихідної напруги та відсутність захисту при значному підвищенні вхідної напруги. Джерело БЖШКФ – 1 має блок БЗ, що здійснює захист від перенапруги. Він складається з запобіжника та варистора (варистор включений паралельно первинній обмотці трансформатора). ІСН дозволяє змінювати значення вихідної напруги за допомогою двох кнопок «-» і «+».

Схема вимірювання параметрів та характеристик аналогічна попередньому джерелу (див. рис. 3.7). Результати вимірювань та розрахунків наведені в таблицях Д.1, Д.2.

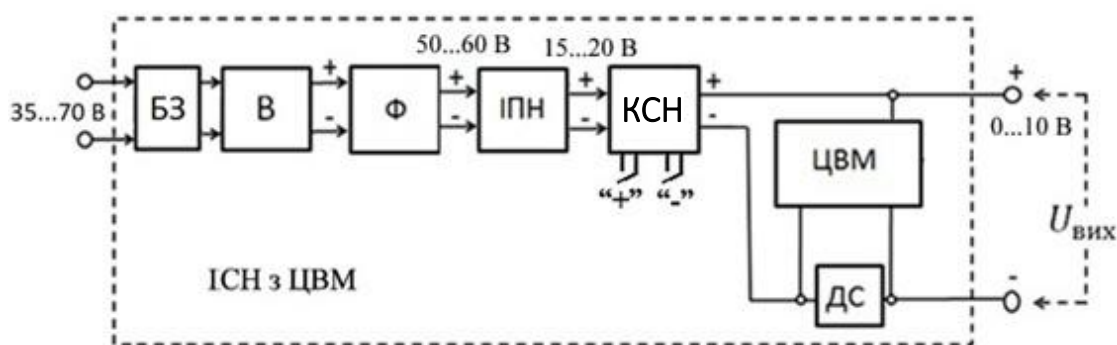
Згідно таблиці Д.2 диференціальний опір дорівнює 0.085 Ом. Коефіцієнт стабілізації визначити не вдалося, тому що при зміні вихідної напруги ЛАТРа від 150 до 240 В при значенні проміжної напруги 36 або 42 В, вихідна напруга стабілізатора не змінювалася, тобто згідно формули 1.14 коефіцієнт стабілізації наближається до нескінченності. Для виявлення реального коефіцієнту стабілізації необхідно мати більш чутливі прилади.

На рис. Д.1 наведені результати дослідження вихідних параметрів та характеристик БЖШКФ – 1.

На рис. Д.2 – 3.5 наведені вихідні характеристики та залежності енергетичних показників для БЖШКФ – 1.

3.5 Дослідження параметрів стабілізованого джерела живлення з цифровим вимірювальним модулем (БЖШКФ – 2)

На рис. 3.9 наведена структурна схема стабілізованого джерела живлення БЖШКФ – 2.

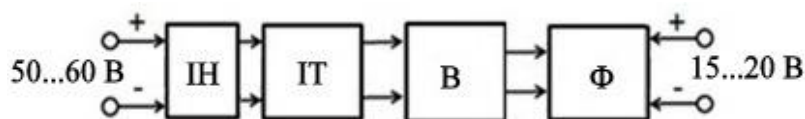


БЗ – блок захисту; В – випрямляч; Ф – фільтр; ІПН – імпульсний перетворювач напруги; КСН – квазірезонансний стабілізатор напруги; ДС – давач струму; ЦВМ – цифровий вимірювальний модуль.

Рисунок 3.9 – Структурна схема імпульсного стабілізатора напруги з цифровим вимірювальним модулем

Вхідна напруга 36 В або 42 В випрямляється В та згладжується Ф. Ця напруга подається на високочастотний імпульсний перетворювач напруги ІПН. Цей перетворювач забезпечує гальванічну розв'язку вхідної та вихідної частини, та зменшує напругу до допустимого діапазону вхідних напруг імпульсного стабілізатора напруги. Це дозволило замінити низькочастотний габаритний трансформатор високочастотним імпульсним перетворювачем напруги з набагато меншими габаритами.

На рис. 3.10 наведена структурна схема імпульсного перетворювача



ІН – інвертор напруги; ІТ – імпульсний трансформатор; В – випрямляч; Ф – фільтр.

Рисунок 3.10 – Структурна схема імпульсного перетворювача

Імпульсний перетворювач має в своєму складі високочастотний інвертор напруги, який працює на частоті близькій до 70 кГц. Прямокутні імпульси сформовані ІН трансформуються імпульсним трансформатором та зменшуються при цьому до амплітудного значення 15 - 20 В. Випрямляч формує з них однополярні імпульси, які згладжуються фільтром.

Згідно таблиці Е.2 диференціальний опір дорівнює 0.075 Ом. Як і для БЖШКФ – 1 коефіцієнт стабілізації визначити не вдалося тому, що при зміні вихідної напруги ЛАТРа від 150 до 240 В при значення вихідної напруги 36 або 42 В, вихідна напруга стабілізатора не змінювалася, і дорівнювала 4.91 В, тобто згідно формули 1.14 коефіцієнт стабілізації наближається до нескінченності. Для виявлення реального коефіцієнту стабілізації необхідно мати більш чуттєві прилади.

На рис. Е.1 наведені результати дослідження вихідних параметрів та характеристик БЖШКФ – 2.

На рис. Е.2 – Е.5 наведені вихідні характеристики та залежності енергетичних показників для БЖШКФ – 2.

Джерела живлення БЖШКФ – 0, БЖШКФ – 1 та БЖШКФ – 2 при перенавантаженні обмежують вихідний струм на рівні 3А (режим стабілізації струму).

3.6 Дослідження енергетичних втрат електронних ключів в імпульсному та квазірезонансному перетворювачах

Розрахунки втрат в електронних ключах імпульсного та квазірезонансного перетворювачів були проведені за методом наведеним у [19,20,22-26]. На інтервалах комутації схеми перетворювачів замінювались на лінійні та розраховувались зміна струмів через електронні ключі та напруги на них. Після цього знаходилась потужність втрат на кожному інтервалі комутації. На рис. 3.11-3.12 наведені часові діаграми роботи електронних ключів імпульсного та квазірезонансного перетворювача. На них зазначені наступні інтервали комутації: $t_0..t_1$ – інтервал відкривання електронного ключа; $t_1..t_2$ – інтервал відкритого стану для імпульсного перетворювача, інтервал зростання струму та резонансу для квазірезонансного перетворювача; $t_2..t_3$ – інтервал закривання транзисторного ключа; $t_3..t_4$ – інтервал закритого стану. Втрати потужності на останньому інтервалі ми не враховували при розрахунках, тому що вони наближаються до нуля.

На рис. 3.13 наведені схеми послідовних імпульсного та квазірезонансного перетворювачів електроенергії.

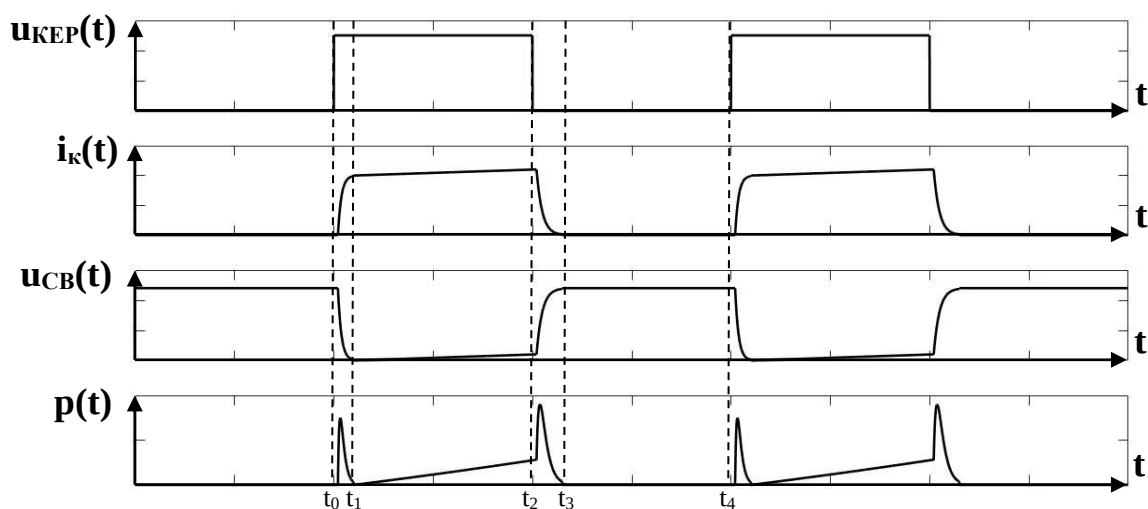


Рисунок 3.11 – Часові діаграми роботи імпульсного перетворювача з ШІМ

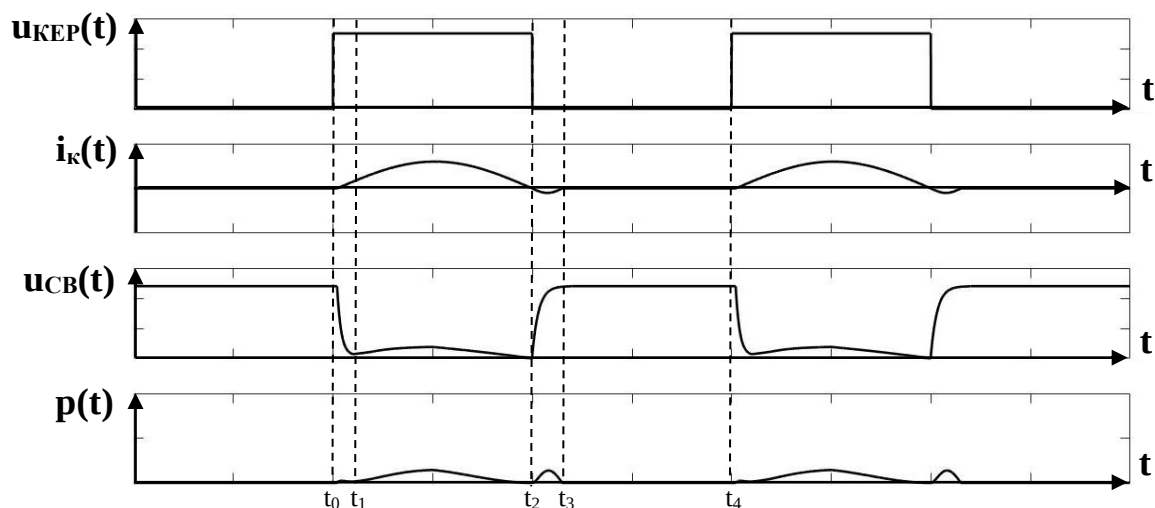


Рисунок 3.12 – Часові діаграми роботи квазірезонансного перетворювача з ЧІМ

На рис. 3.14 показані еквівалентні схеми заміщення імпульсного перетворювача на інтервалах комутації (відкривання, відкритого стану та закривання електронного ключа). На рис. 3.15 показані еквівалентні схеми заміщення квазірезонансного перетворювача на інтервалах комутації (відкривання, зростання струму, резонансу, закривання електронного ключа).

Використовуючи узагальнений метод вузлових напруг ми знаходили залежність струмів через електронний ключ та напруги на них на інтервалах

комутації. Наведемо приклад розрахунку на одному інтервалі комутації (інтервал відкриття електронного ключа імпульсного перетворювача).

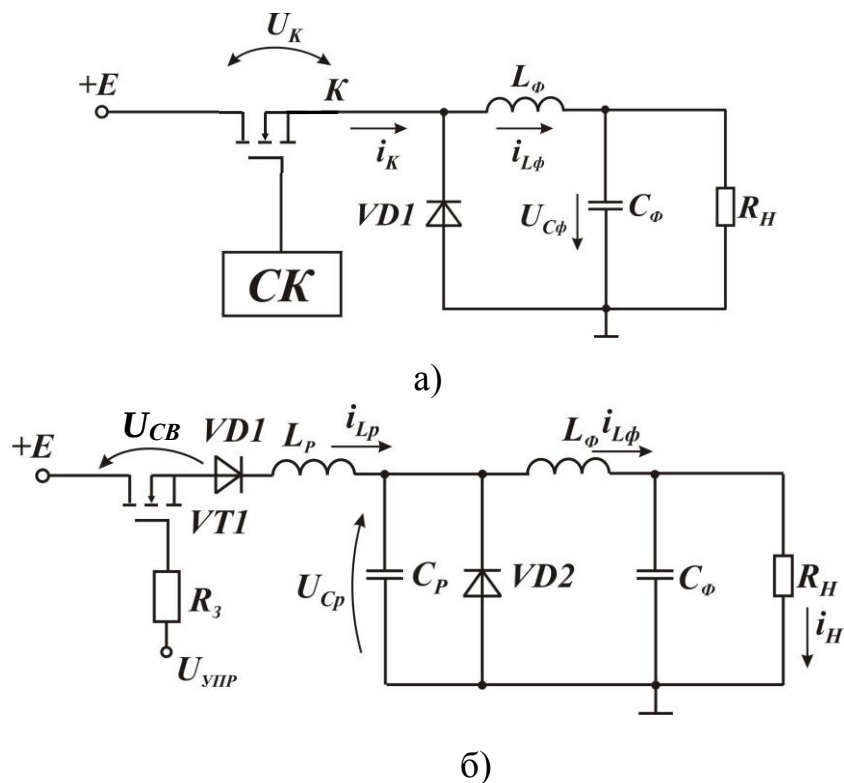


Рисунок 3.13 – Схеми імпульсного (а) та квазірезонансного (б) перетворювача

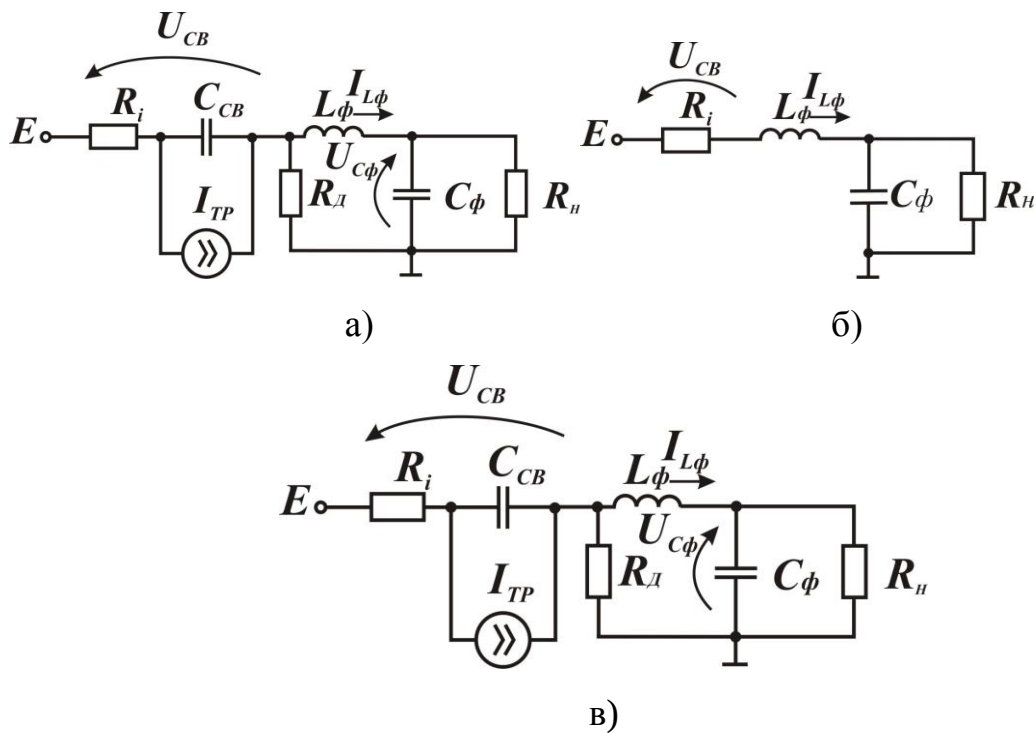


Рисунок 3.14 – Еквівалентні схеми замінювання на інтервалах комутації електронного ключа імпульсного перетворювача: інтервал відкриття (а); інтервал відкритого стану (б); інтервал закривання (в)

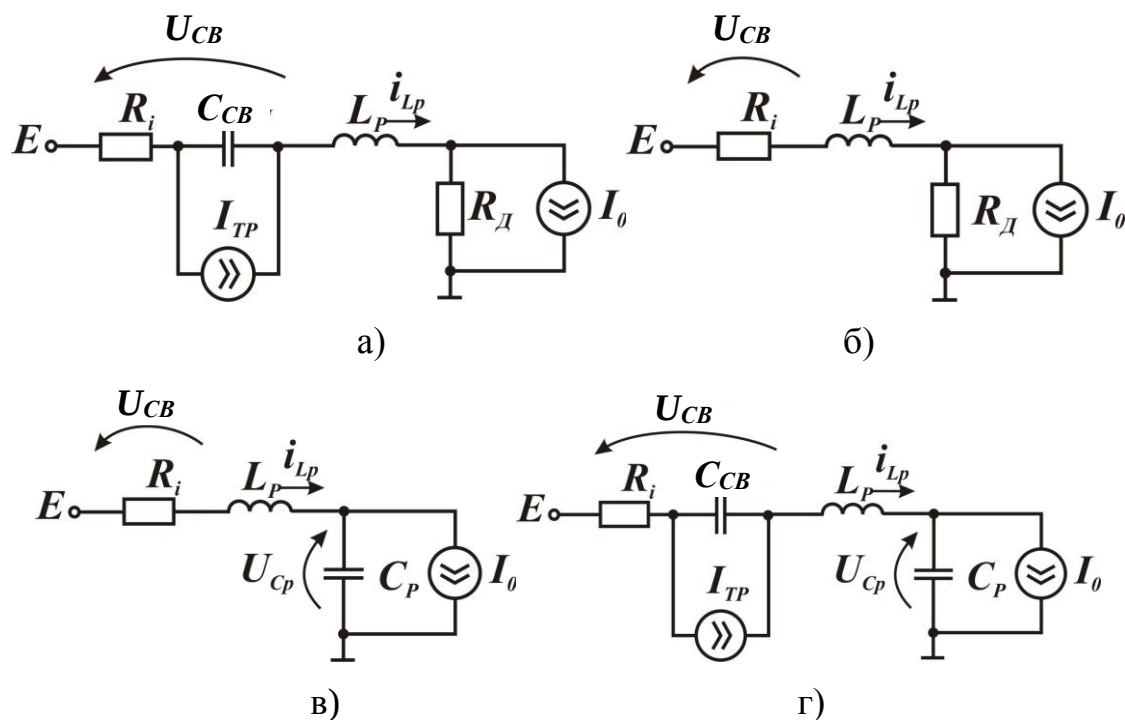


Рисунок 3.15 – Еквівалентні схеми заміщення на інтервалах комутації електронного ключа квазірезонансного перетворювача: інтервал відкривання (а); інтервал зростання струму (б); інтервал резонанс (в); інтервал закривання

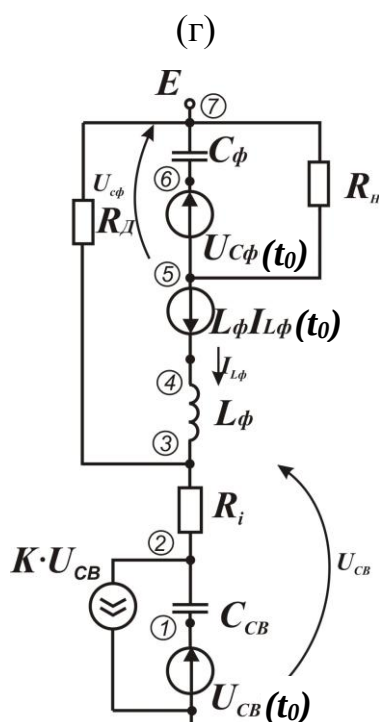


Рисунок 3.16 – Перетворена еквівалентна схема імпульсного перетворювача на інтервалі включення (пронумеровані вузли та вказані початкові умови)

Відповідно до даної схеми складемо матрицю провідностей схеми

$$[Y] = \begin{bmatrix} pC_{CB} + \frac{1}{R_i} & -\frac{1}{R_i} + K & 0 \\ -\frac{1}{R_i} & \frac{1}{R_i} + \frac{1}{pL_\phi} + \frac{1}{R_d} & -\frac{1}{pL_\phi} \\ 0 & -\frac{1}{pL_\phi} & \frac{1}{pL_\phi} + pC_\phi + \frac{1}{R_H} \end{bmatrix}, \quad (3.6)$$

вектор-стовпець шуканих напруг

$$[U] = \begin{bmatrix} U_2(p) \\ U_3(p) \\ U_5(p) \end{bmatrix}, \quad (3.7)$$

вектор-стовпець струмів, що задають

$$[I] = \begin{bmatrix} U_{CB}(t_0) \cdot C_{CB} \\ \frac{i_{L_\phi}(t_0)}{p} + \frac{E}{pR_d} \\ \frac{E}{pR_H} + E \cdot C_\phi - U_{C\phi}(t_0) \cdot C_\phi - \frac{i_{L_\phi}(t_0)}{p} \end{bmatrix}, \quad (3.8)$$

Після чого одержуємо вирази

$$[U] = [Y]^{-1} \cdot [I]. \quad (3.9)$$

Відповідно до схеми, показаної на рис. 3.16, знаходимо струм i_k і напруги U_{CB} , U_H через вузлові напруги

$$U_{CB}(p) = U_3(p), \quad (3.10)$$

$$i_e(p) = \frac{U_3(p) - U_2(p)}{R_i}, \quad (3.11)$$

$$U_H(p) = n \cdot \left(\frac{E}{p} - U_5(p) \right), \quad (3.12)$$

де n – шпаруватість імпульсу керування.

Таким чином одержуємо зображення струму $i_k(p)$, напруги $U_{CB}(p)$, а також напруги $U_H(p)$.

Тривалість інтервалу включення $t_0..t_1$ знаходимо, скориставшись умовою:

$$\frac{dU_{CB}(t)}{dt} = 0. \quad (3.13)$$

На діаграмі (рис. 3.17) та в таблиці 3.1 наведені втрати потужності в електронних ключах для імпульсного та квазірезонансного перетворювачів для частот 100 кГц та 1 МГц.

Таблиця 3.1

Втрати потужності в електронному ключі для кожного інтервалу роботи на різних частотах для ІП та КРІП-ПНС

	Параметри навантаження та імпульсу керування	$P_{BM},$ Bm	$P_{H.C.},$ Bm	$P_P,$ Bm	$P_{ВИМКН},$ Bm	$P_{\Sigma},$ Bm
1. КРІП	$R_H = 5 \text{ Ом}, t_l = 250 \text{ нс}, f = 100 \text{ кГц}$	0.00014	0.00053	0.210	0.0497	0.2592
ІП	$R_H = 5 \text{ Ом}, t_l = 250 \text{ нс}, f = 100 \text{ кГц}$	0.00094	0.8906		0.1791	1.0710
2. КРІП	$R_H = 5 \text{ Ом}, t_l = 250 \text{ нс}, f = 1 \text{ МГц}$	0.00140	0.0873	1.351	0.5991	2.0391
ІП	$R_H = 5 \text{ Ом}, t_l = 250 \text{ нс}, f = 1 \text{ МГц}$	0.00938	8.9055		1.7910	10.7059

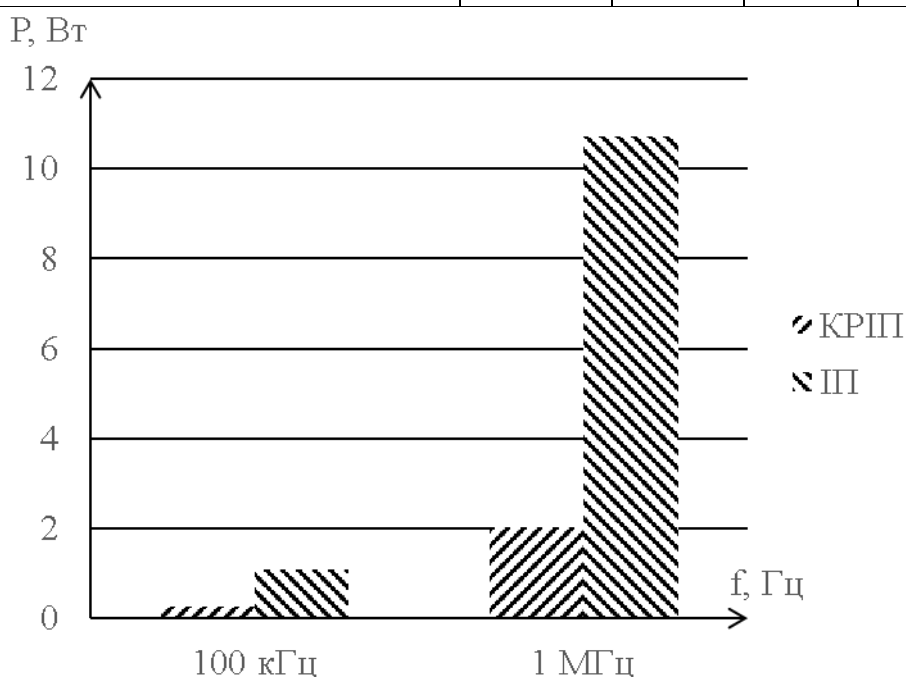


Рисунок 3.17 – Діаграма залежності втрат потужності в ключі від частоти для ІП та КРІП-ПНС

ВИСНОВКИ

За результатами досліджень зроблені наступні висновки:

- 1) на нестабільність вихідної напруги лабораторних джерел живлення впливають вхідний трансформатор та дроти мережі живлення (до 5%) та вихідний опір лабораторних джерел живлення ВП4/50 (від 32% до 52%);
- 2) використання стабілізованих джерел живлення БЖШКФ-0..2 з цифровим вимірювальним модулем дозволило не тільки виправити всі недоліки енергетичних показників, а й забезпечити індикацію вихідного струму джерел живлення, вимірювання зовнішніх напруг та захист джерел живлення від перенавантаження;
- 3) використання в якості проміжної напруги стандартних 36 В або 42 В забезпечує сумісність цих стабілізованих джерел живлення БЖШКФ – 0..2 з системою живлення будь-якого кабінету фізики;
- 4) коефіцієнт пульсацій (до 0.5%) та максимальна нестабільність (до 3.6%) вихідної напруги БЖШКФ – 0..2 відповідають технічному завданню та повністю задовольняють потреби лабораторних та практичних занять з фізики;
- 5) БЖШКФ-1..2 впроваджено в навчальний процес ЗНЗ №7 м. Чернігова згідно складеного акту за результатами роботи експертної комісії в складі фахівців управління освіти Чернігівської міської ради та науковцями вищого навчального закладу;
- 6) аналітичні розрахунки втрат в електронних ключах імпульсного та квазірезонансного перетворювачів показали, що втрати потужності в квазірезонансних перетворювачах менші ніж в імпульсних від 4.2 до 7.5 разів. Це дозволило зменшити енергетичні втрати, розміри, вагу БЖШКФ-2 у порівнянні з БЖШКФ-1;

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1) Лукин А. В. Распределенные системы электропитания / А. В. Лукин // Электронные компоненты . – 1997. – №7. – С. 10–16.
- 2) Лукин А. В. Распределенные системы электропитания / А. В. Лукин // Электронные компоненты . – 1998. – №2, 3. – С. 8–13.
- 3) Белотуров В. Распределенные системы электропитания на базе модулей компании Vicor / В. Белотуров, Д. Иванов, И. Кривченко // Компоненты и технологии . – 2012. – №8. – С. 25–30.
- 4) Гончаров А. Построение отказоустойчивых систем электропитания с использованием современных AC/DC преобразователей. / А. Гончаров, К. Степнев // Современная Электроника. – 2010. – №4. – С. 11–18.
- 5) Белотуров В. Модули VI Chip корпорации Vicor — новый взгляд на конструирование систем вторичного электропитания / В. Белотуров, И. Кривченко // Компоненты и технологии— 2009. – Ч.1. – №3. – С. 16 – 20.
- 6) Белотуров В. DC/DC – конвертеры Vicor второго поколения / В. Белотуров, Д. Иванов, И. Кривченко // Компоненты и технологии.— 2012. – №1. – С. 13–17.
- 7) Белотуров В. AC/ DC– модули компании Vicor/ В. Белотуров, Д. Иванов, И. Кривченко // Компоненты и технологии.— 2012. – №4. – С. 8–19.
- 8) Белотуров В. Модули Vicor семейства FIAM / В. Белотуров, Д. Иванов, И. Кривченко // Компоненты и технологии.— 2012. – №7. – С. 15–21.
- 9) Белотуров В. Построение источников питания на базе модулей компании Vicor./ В. Белотуров, Д. Иванов, И. Кривченко // Компоненты и технологии.— 2011. – №12. – С.14 – 18.
- 10) Савенков В. Инновационное развитие модульных источников вторичного электропитания — от простого к лучшему / В. Савенков // CHIP NEWS Украина. – 2013. – №4. – С. 12 – 22.
- 11) Денисов Ю. А. Стабилизаторы постоянного напряжения с широтно–импульсными и частото–импульсными квазирезонансными преобразовате-

лями. / Ю. А. Денисов – Киев: Изд. Института электродинамики НАН Украины, 2001. – 146 с.

12) Новский В.А., Жарский Б.К., Козлов А.В. и др. Гармонический синтез рядов Фурье для анализа электромагнитных процессов в цепях с полупроводниковыми ключевыми элементами. // Технічна електродинаміка, тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність» – 2012.–Част. 4. – С.193-197.

13) Денисов Ю. О. Системи перетворювальної техніки: [навчальний посібник]/ Денисов Ю.О. – Чернігов : Чернігівський національний технологічний університет, 2014. – 171 с.

14) Семенов В. Сертификация радиоэлектронной аппаратуры на соответствие требованиям электромагнитной совместимости / В. Семенов // CHIP NEWS Украина. – 2004. – №3. – С. 58–61.

15) Семенов В. Сертификация радиоэлектронной аппаратуры на соответствие требованиям электромагнитной совместимости. Часть 2 / В. Семенов // CHIP NEWS Украина.– 2004. – №5. – С. 9–15.

16) Семенов В. Сертификация радиоэлектронной аппаратуры на соответствие требованиям электромагнитной совместимости. Часть 3 / В. Семенов // CHIP NEWS Украина.– 2004. – №6. – С. 18–21.

17) Воронин П.А. Силовые полупроводниковые ключи / Воронин П.А. – М.: Издательский дом «Додека – XXI», 2001. – 384с.

18) Терещенко Т. А., Ямненко Ю. С., Пичкалёв Е. С., Ушаков Д. Р. Исследование преобразователя понижающего типа, инвариантного ко входным возмущениям // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. – №2. – С. 155-158.

19) Денисов Ю. О. Моделирование процессов коммутации в КРИП ПНТ с учетом паразитных параметров / Ю. О. Денисов, О. М. Городній, О. В. Савченко // Технічна електродинаміка. — 2008. — Ч. 1. — С. 87-90. Темат. вип.

20) Денисов Ю. О. Розрахунок інтегральної потужності розсіювання в силових ключах ШПП / Ю. О. Денисов, О. М. Городній, О. М. Зозуля // Вісник

Чернігівського державного технологічного університету. — 2009. — №40. — С. 213-222.

21) Городній О. М. Порівняльна оцінка енергетичної ефективності імпульсних перетворювачів з квазірезонансними та звичайними ключами за результатами моделювання / О. М. Городній, В. В. Гордієнко, Б. І. Чуб // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. — 2012. — №4(61). — С. 222-231.

22) Denisov Y. Switch operation power losses of quasi-resonant pulse converter with parallel resonant circuit / Denisov Y., Gorodny A., Gordienko V., Yershov R., Stepenko S., Kostyrieva O., Prokhorova A. // International Scientific Conference on Electronics and Nanotechnology(ELNANO): Thirty-Fourth Annual IEEE, 2016. – P. 327-332.

23) Denisov Y., Power losses in MOSFET switch of quasi-resonant pulse converter with series resonant circuit / Denisov Y., Gordienko V., Gorodny A., Stepenko S., Yershov R., Prokhorova A., Kostyrieva O. // 2nd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), 2016. - P. 1-6.

24) Денисов Ю. А. Сравнение потерь мощности в ключах повышающих КРИП с параллельным и последовательным резонансными контурами / Ю. А. Денисов, А. Н. Городний, В. В. Гордиенко, С. А. Степенко, Р. Д. Ершов, Т. М. Теплая // Технічна електродинаміка. - 2016. - № 4. - С. 44-46.

25) Денисов Ю. А. Энергетические показатели параллельного импульсного квазирезонансного преобразователя с расширенным диапазоном регулирования для источников питания радиоэлектронной аппаратуры / Ю. А. Денисов, А. Н. Городний, В. В. Гордиенко, С. Н. Бойко, С. А. Степенко // Электроника и связь. — 2016. — Том 21, №5(94). — С. 169-175.

26) Gorodniy O. Impact of Supply Voltage Change on the Energy Performance of Boost Quasi-Resonant Converter for Radioelectronic Equipment Power Supplies / Gorodniy O., Gordienko V., Stepenko S., Boyko S., Sereda O. // Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2017. – P. 232-235.

Додаток А

ЗАТВЕРДЖУЮ:

В.О. начальника управління освіти
Чернігівської міської ради
Казимир В. А.

« 2017 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор навчально-наукового
інституту технологій Чернігівського
національного технологічного
університету

Д. Н. доц. Гисуля С. Д.
 2017 р.

АКТ

про впровадження результатів науково-дослідницьких робіт під час виконання умов договору про закупівлю (робіт або послуг) за державні кошти від 01.12.2016 р. № 380 між управлінням освіти Чернігівської міської ради, в особі Білогури Василя Олексійовича (далі – Замовник), з однієї сторони, і **Comsol**, в особі ректора Шкарлета Сергія Миколайовича (далі – Учасник), з іншої сторони про розробку та виготовлення блоків живлення шкільного кабінету фізики.

Комісія в складі фахівців

Comsol

завідуючого кафедри «Промислова електроніка» д.т.н., проф. Денисова Юрія Олександровича, к.т.н., старшого викладача кафедри «Промислова електроніка» **Comsol**, к.т.н. доцента кафедри «Промислова електроніка» Ревка Анатолія Сергійовича з однієї сторони та фахівців Управління освіти Чернігівської міської ради (УОЧМР) директора методичного центру Тимошенко Яніни Геннадіївни та виконуючої обов'язки директора Чернігівської загальноосвітньої школи І–ІІІ ступенів № 7 Бригінець Тетяни Анатоліївни, з іншої сторони, склала цей акт про виконання умов договору та встановила наступне:

- Замовник вчасно оплатив послуги Учасника згідно умов договору;
- Учасник вчасно розробив, виготовив та поставив блоки живлення кабінету фізики згідно договору за адресою – м. Чернігів, проспект Перемоги 197, ЗНЗ №7;

Додаток А - Продовження

- розроблені, виготовленні та поставлені блоки живлення шкільного кабінету фізики БЖШКФ-1 та БЖШКФ-2 повністю відповідають умовам технічного завдання Замовника та вимогам техніки безпеки у навчальних закладах;
- Учасник забезпечив кожен блок живлення паспортом та інструкцією з експлуатації де вказані умови гарантійного та після гарантійного обслуговування;
- ці джерела живлення дозволяють вимірювати вихідну напругу та вихідний струм за рахунок вбудованого цифрового модуля. Це дозволяє спростити та пришвидшити проведення практичних, лабораторних занять з фізики, або здійснювати науково-дослідні роботи учнями з технічних наук;
- під час виконання договору були впровадженні наукові розробки науково-дослідної роботи кафедри «Промислова електроніка» [REDACTED] «Розробка енергоефективних перетворювачів в автономних системах електроживлення» WD0110U003005.

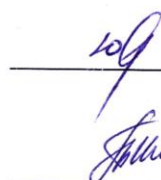
Члени комісії:

Завідувач кафедри «Промислова

Електроніка» [REDACTED], д.т.н., проф.

Директор методичного центру УО

ЧМР



Ю.О. Денисов



Я.Г. Тимошенко

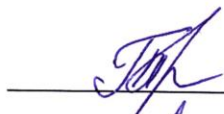
В.О. директора ЗНЗ № 7 УО ЧМР

Ст. викладач кафедри «Промислова

Електроніка» [REDACTED], к.т.н.

Доцент кафедри «Промислова

Електроніка» [REDACTED], к.т.н.



Т.А. Бригинець



Comsol



А.С. Ревко

Додаток Б

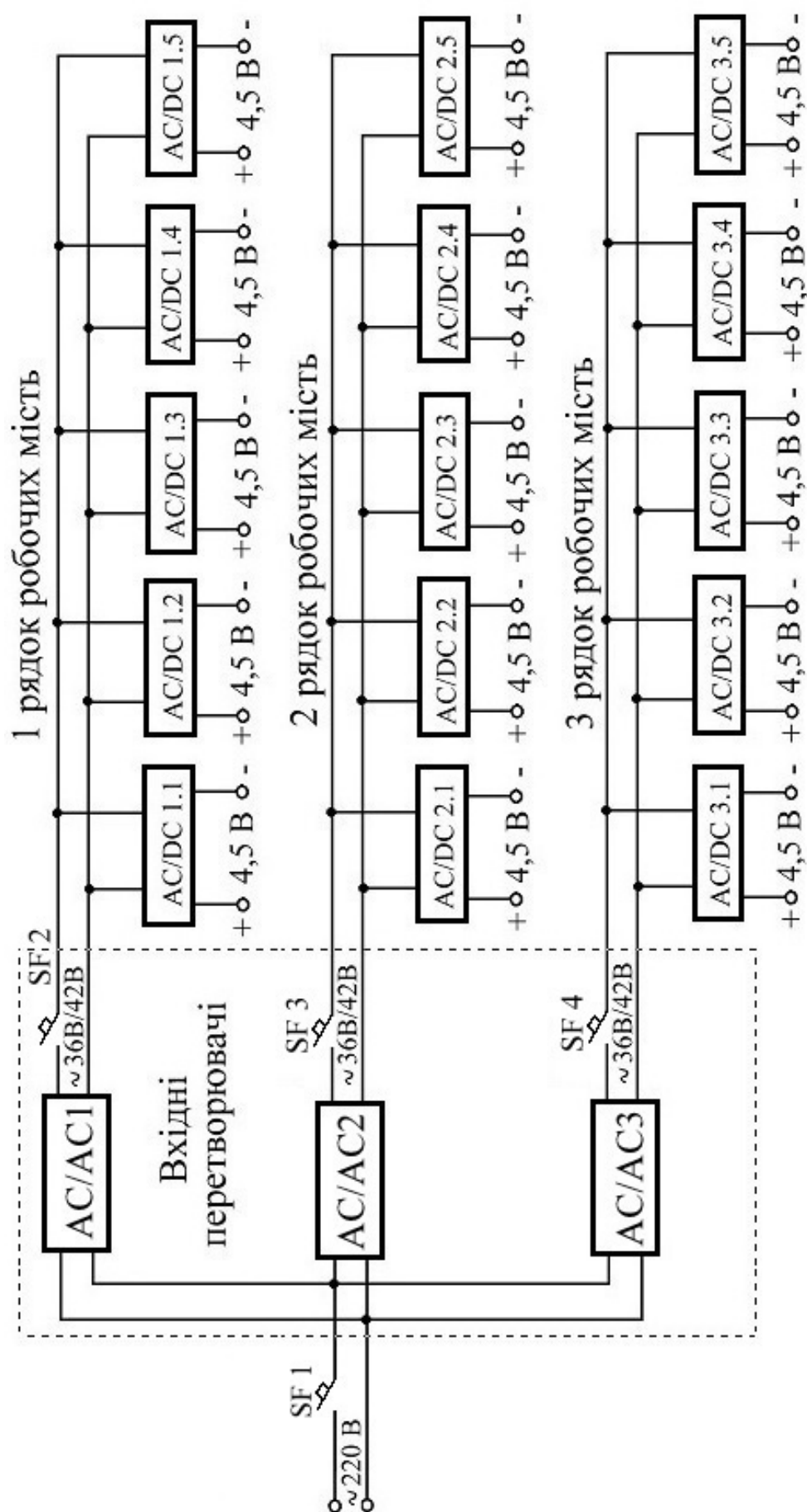


Рисунок Б.1 – Структурна схема системи децентралізованого електроживлення кабінету фізики

Додаток В – Результати дослідження лабораторних джерел ВП4/50

Таблиця В.1

Результати вимірювань вихідних напруг та струмів лабораторних джерел

живлення

$U_{\text{вих1}}, \text{В}$	$\delta_1, \%$	$U_{\text{вих2}}, \text{В}$	$\delta_2, \%$	$U_{\text{вих3}}, \text{В}$	$\delta_3, \%$	$U_{\text{вих4}}, \text{В}$	$\delta_4, \%$	$I_n, \text{мА}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
4,76	0	4,80	0	4,71	0	5,32	0	0
4,20	11,8	3,90	18,7	4,13	12,3	4,63	13	200
4,11	13,6	3,72	22,5	4,06	13,8	4,59	13,7	300
4,04	15,1	3,54	26,3	3,96	15,9	4,46	16,2	400
3,95	17	3,47	27,7	3,90	17,2	4,40	17,3	500
3,90	18,1	3,35	30,2	3,86	18	4,32	18,8	600
3,82	19,7	3,27	31,9	3,73	20,8	4,25	20,1	700
3,74	21,4	3,20	33,3	3,65	22,5	4,14	22,2	800
3,66	23,1	3,09	35,6	3,56	24,4	4,07	12,2	900
3,60	24,4	2,96	38,3	3,51	25,5	3,99	25	1000
3,47	27,1	2,90	39,6	3,43	27,2	3,92	26,3	1100
3,44	27,7	2,85	40,6	3,38	28,2	3,83	28	1200
3,37	29,2	2,77	42,3	3,32	29,5	3,76	29,3	1300
3,21	32,6	2,67	44,4	3,25	31	3,70	30,5	1400
3,18	33,2	2,55	46,9	3,19	32,3	3,61	32,1	1500
3,07	35,5	2,46	48,7	3,10	34,2	3,53	33,6	1600
3,04	36,1	2,58	46,3	3,01	36,1	3,44	35,3	1700
2,97	37,6	2,53	47,3	2,93	37,8	3,35	37	1800
2,89	39,3	2,51	47,7	2,86	39,3	3,27	38,5	1900
2,80	4,12	2,38	40,4	2,82	40,1	3,19	40	2000

Додаток В – Продовження

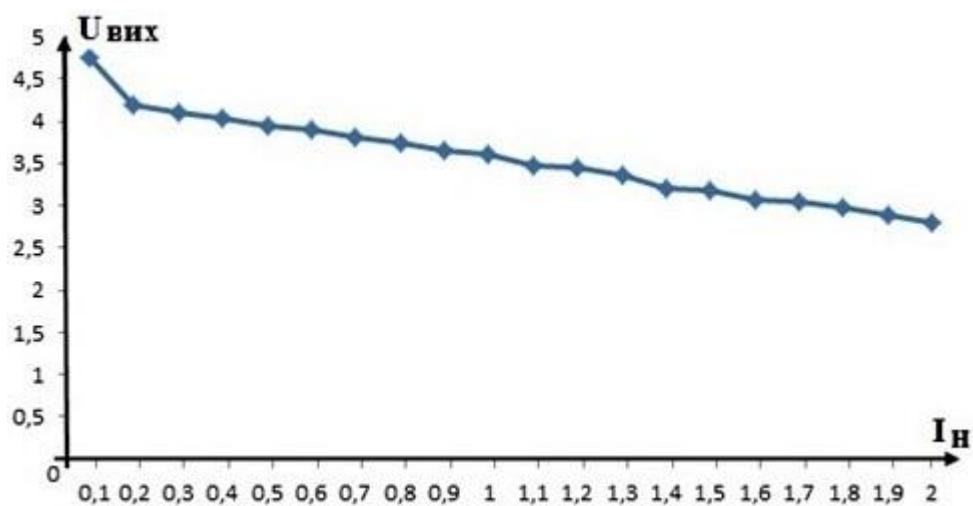


Рисунок В.1 – Вихідна характеристика лабораторного джерела живлення 1

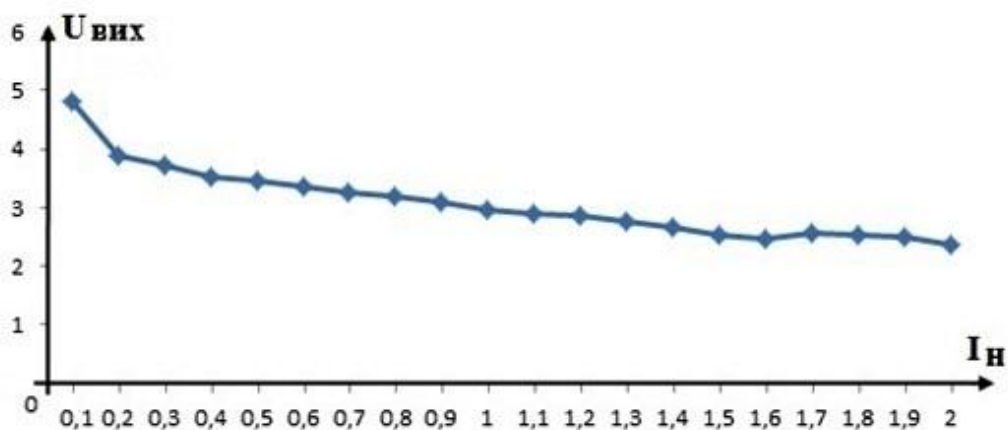


Рисунок В.2 – Вихідна характеристика лабораторного джерела живлення 2

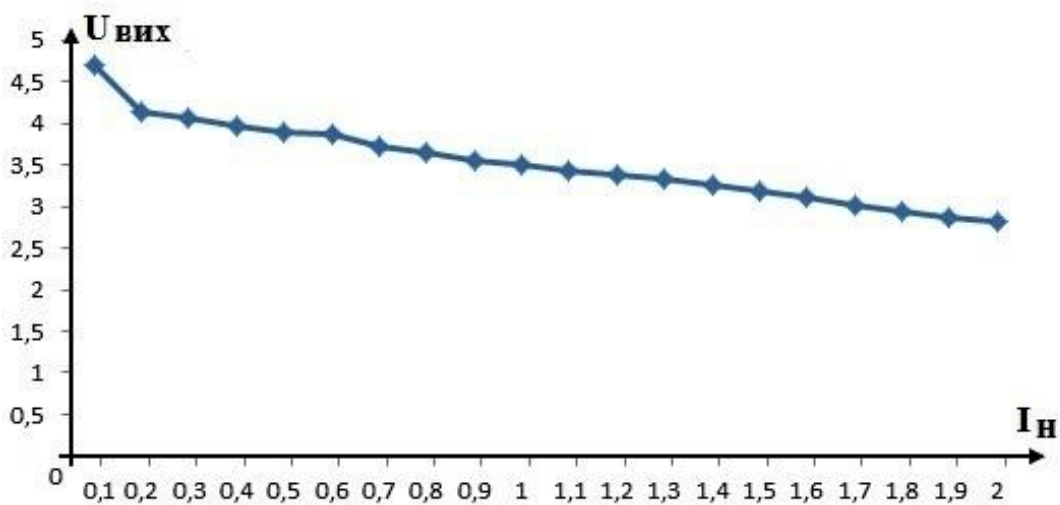


Рисунок В.3 – Вихідна характеристика лабораторного джерела живлення 3

Додаток В – Продовження

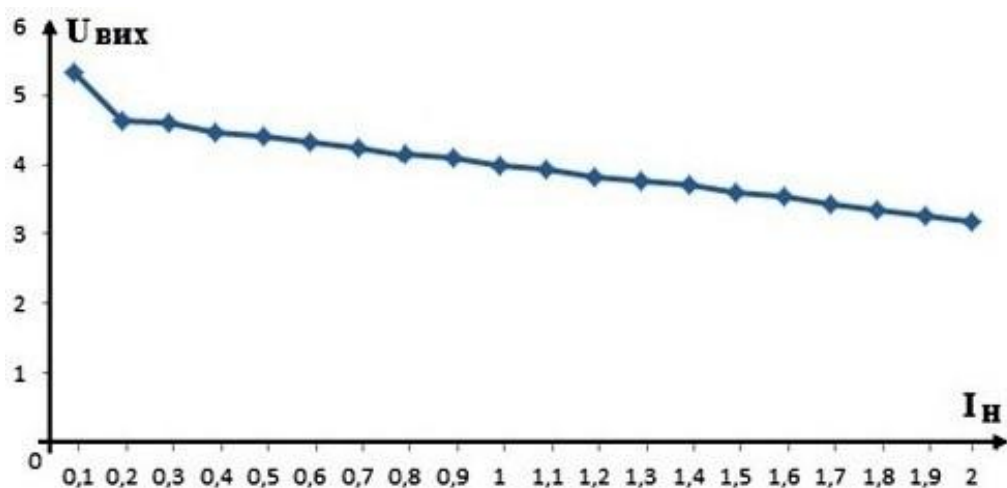


Рисунок В.4 – Вихідна характеристика лабораторного джерела живлення 4

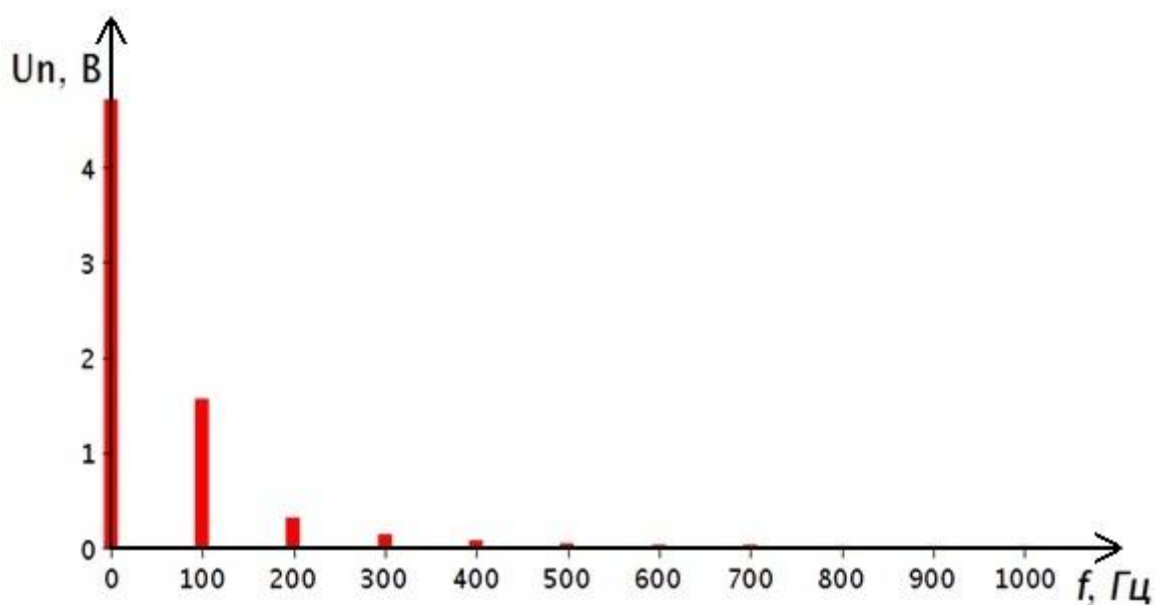


Рисунок В.5 – Спектральна характеристика вихідної напруги джерела живлення

Додаток В – Продовження

Таблиця В.2

Амплітуди спектральних складових вихідної напруги лабораторного джерела
живлення

№	Частота f , Гц	Амплітуда U_n , В
0	0	4,711
1	100	1,570
2	200	0,314
3	300	0,135
4	400	0,075
5	500	0,048
6	600	0,033
7	700	0,024
8	800	0,018
9	900	0,015
10	1000	0,012

Додаток Г – Результати дослідження стабілізованого джерела БЖШКФ -0

Таблиця Г.1

Результати вимірювань стійкості стабілізованого джерела живлення

БЖШКФ – 0, при зміні напруги мережі 150 В ÷ 240 В, 50 Гц

$$U_{\text{хх ст.}} = 5,00 \text{ В}, I_{\text{н}} = 1 \text{ А}$$

U _{вих} , В ЛАТР	36 В				42 В			
	U _{ст} , В	δ, %	U _~ , В	K _п , %	U _{ст} , В	δ, %	U _~ , В	K _п , %
150	4,350	13,000	1,700	39,080	4,910	1,800	1,100	22,403
160	4,650	7,000	1,500	32,258	4,950	1,000	0,350	7,071
170	4,920	1,600	1,000	20,325	4,960	0,800	0,026	0,524
180	4,950	1,000	0,027	0,545	4,960	0,800	0,031	0,625
190	4,950	1,000	0,027	0,545	4,970	0,600	0,031	0,624
200	4,960	0,800	0,027	0,544	4,970	0,600	0,032	0,644
210	4,950	1,000	0,030	0,606	4,970	0,600	0,034	0,684
220	4,970	0,600	0,030	0,604	4,980	0,400	0,035	0,703
230	4,970	0,600	0,032	0,644	4,980	0,400	0,037	0,743
240	4,970	0,600	0,035	0,704	4,990	0,200	0,040	0,802

Таблиця Г.2

Результати вимірювань навантажувальної характеристики БЖШКФ – 0, при

напрузі мережі 220 В, 50 Гц

I _н , А	~ 36 В				~ 42 В			
	U _{ст} , В	δ, %	U _~ , В	K _п , %	U _{ст} , В	δ, %	U _~ , В	K _п , %
0,00	5,000	0,000	0,006	0,120	5,000	0,000	0,008	0,160
0,20	5,000	0,000	0,015	0,300	5,000	0,000	0,019	0,380
0,40	5,000	0,000	0,017	0,340	5,000	0,000	0,020	0,400
0,60	5,000	0,000	0,017	0,340	4,990	0,200	0,027	0,541
0,80	4,990	0,200	0,032	0,641	4,990	0,200	0,034	0,681
1,00	4,990	0,200	0,030	0,601	4,990	0,200	0,035	0,701
1,20	4,990	0,200	0,035	0,701	4,990	0,200	0,039	0,782
1,40	4,980	0,400	0,040	0,803	4,980	0,400	0,039	0,783
1,60	4,980	0,400	0,035	0,703	4,980	0,400	0,042	0,843
1,80	4,820	3,600	1,100	22,822	4,950	1,000	0,042	0,848
2,00	4,550	9,000	1,100	24,176	4,930	1,400	0,045	0,913

Додаток Г – Продовження

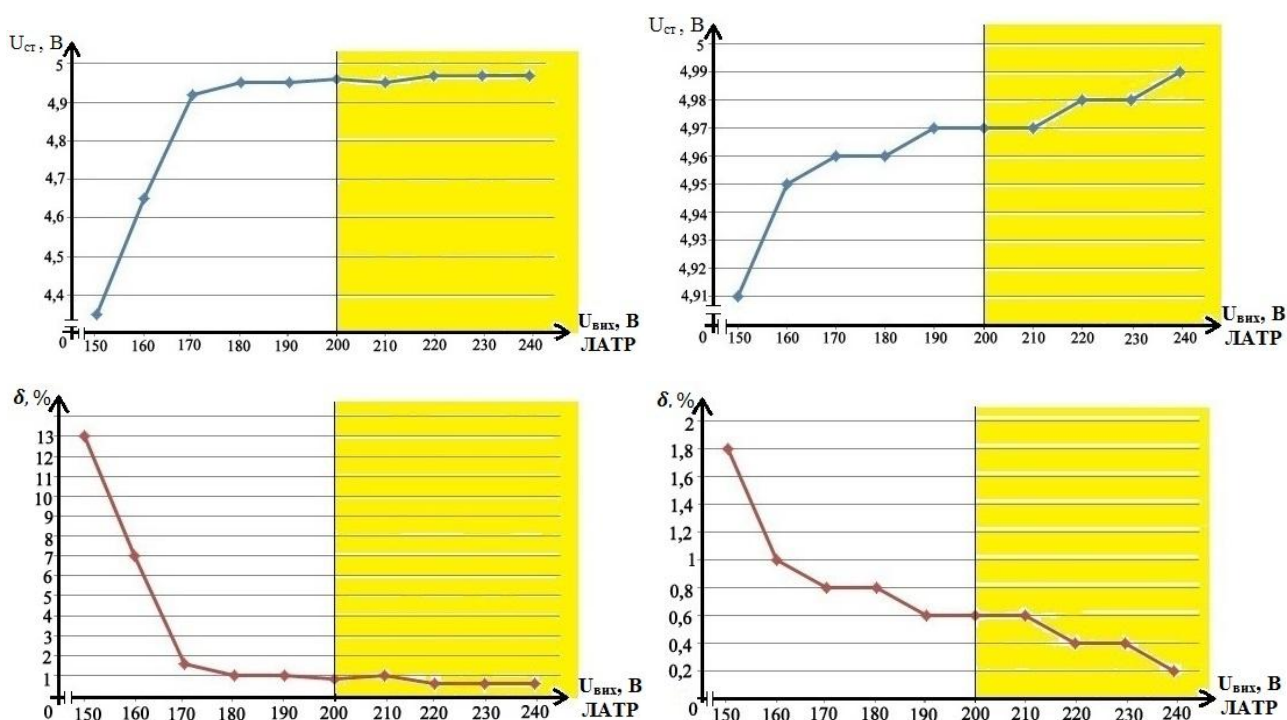


Рисунок Г.1 – Результати вимірювання стійкості джерела живлення, зліва при вхідній напрузі ~ 36 В, праворуч при вхідній напрузі ~ 42 В

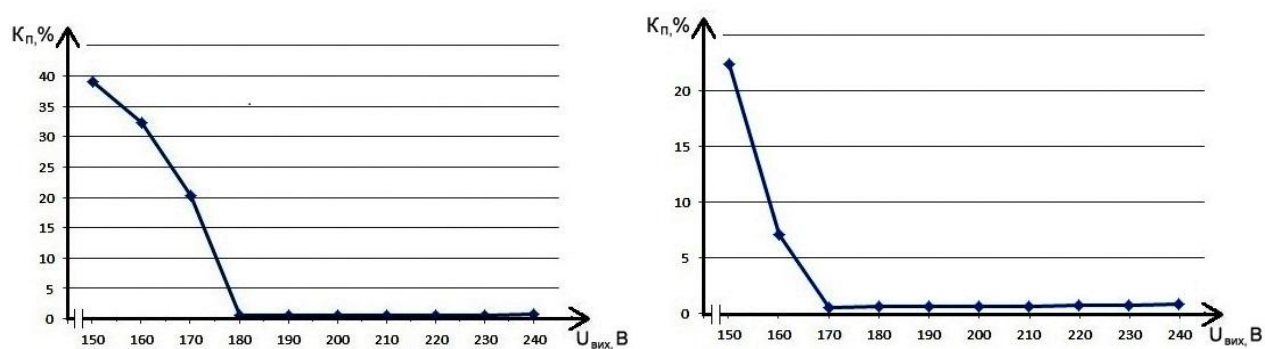


Рисунок Г.2 – Залежність $K_{п}$ від $U_{вх}$, зліва при вхідній напрузі ~ 36 В, праворуч при вхідній напрузі ~ 42 В

Додаток Г – Продовження

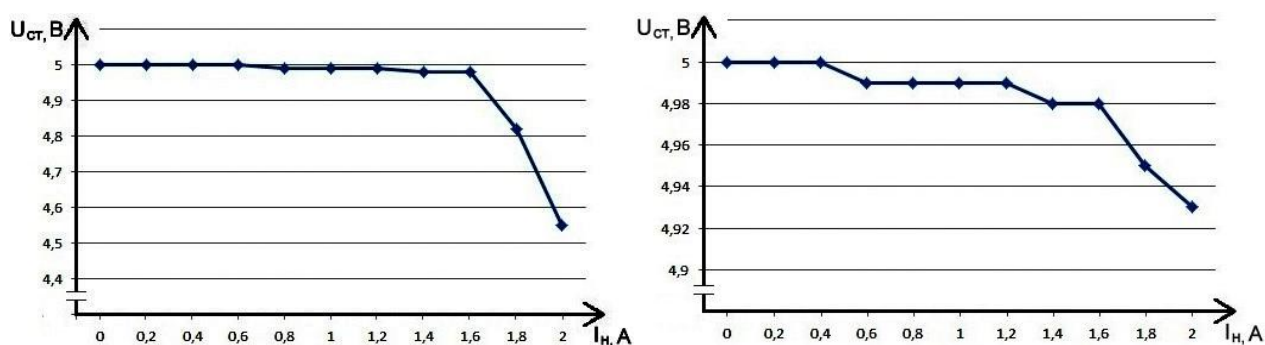


Рисунок Г.3– Залежність $U_{ст}$ від $I_{н}$, зліва при вхідній напрузі ~ 36 В, праворуч при вхідній напрузі ~ 42 В

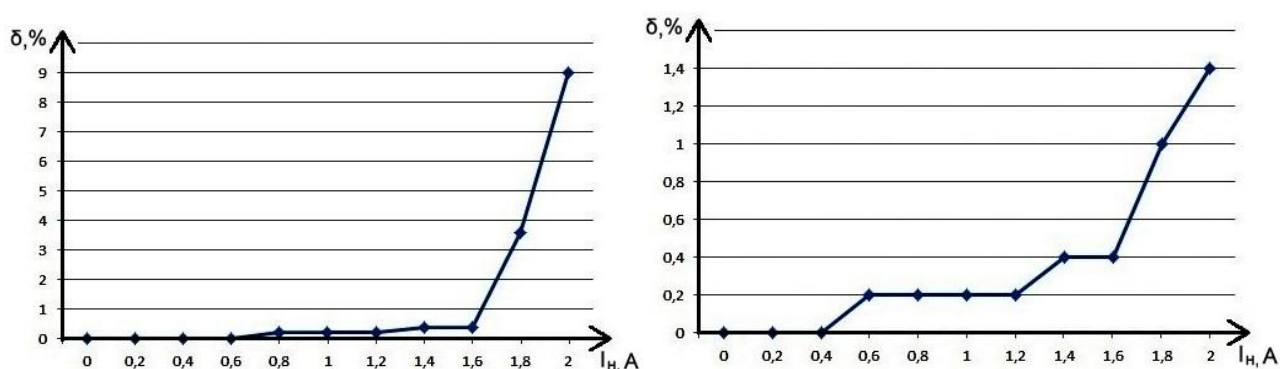


Рисунок Г.4 – Залежність δ від $I_{н}$, зліва при вхідній напрузі ~ 36 В, праворуч при вхідній напрузі ~ 42 В

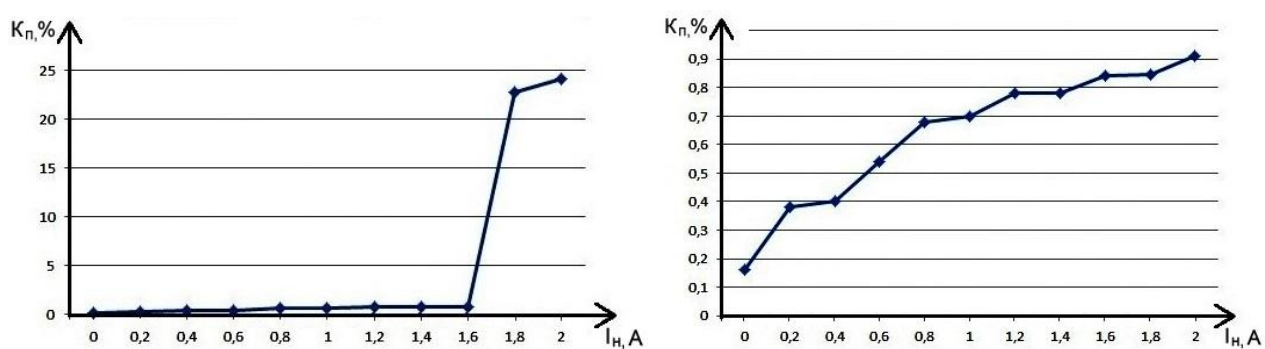


Рисунок Г.5 – Залежність $K_{п}$ від $I_{н}$, зліва при вхідній напрузі ~ 36 В, праворуч при вхідній напрузі ~ 42 В

Додаток Д – Результати дослідження стабілізованого джерела БЖШКФ – 1

Таблиця Д.1

Результати вимірювань стійкості стабілізованого джерела живлення

БЖШКФ-1, при зміні напруги мережі 150 В ÷ 240 В, 50 Гц

$$U_{\text{хх ст.}} = 5,00 \text{ В}, I_{\text{н}} = 1 \text{ А}$$

U _{вих.} , В ЛАТР	~36 В				~42 В			
	U _{ст.} , В	δ, %	U _~ , В	K _{п.} , %	U _{ст.} , В	δ, %	U _~ , В	K _{п.} , %
150	4,930	1,400	0,009	0,183	4,930	1,400	0,013	0,264
160	4,930	1,400	0,010	0,203	4,930	1,400	0,013	0,264
170	4,930	1,400	0,012	0,243	4,930	1,400	0,013	0,264
180	4,930	1,400	0,013	0,264	4,930	1,400	0,014	0,284
190	4,930	1,400	0,013	0,264	4,930	1,400	0,015	0,304
200	4,930	1,400	0,013	0,264	4,930	1,400	0,016	0,325
210	4,930	1,400	0,014	0,284	4,930	1,400	0,018	0,365
220	4,930	1,400	0,015	0,304	4,930	1,400	0,018	0,365
230	4,930	1,400	0,016	0,325	4,930	1,400	0,019	0,385
240	4,930	1,400	0,016	0,325	4,930	1,400	0,020	0,406

Таблиця Д.2

Результати вимірювань навантажувальної характеристики БЖШКФ – 1, при напруги мережі 220 В, 50 Гц.

I _{вих. н ст.} , А	~36 В				~42 В			
	U _{ст.} , В	δ, %	U _~ , В	K _{п.} , %	U _{ст.} , В	δ, %	U _~ , В	K _{п.} , %
0,00	5,000	0,000	0,015	0,300	5,000	0,000	0,015	0,300
0,20	4,950	1,000	0,015	0,303	4,960	0,800	0,015	0,302
0,40	4,950	1,000	0,015	0,307	4,940	1,200	0,015	0,308
0,60	4,920	1,600	0,015	0,309	4,920	1,600	0,015	0,309
0,80	4,890	2,200	0,016	0,317	4,890	2,200	0,016	0,317
1,00	4,870	2,600	0,015	0,308	4,870	2,600	0,015	0,308
1,20	4,870	2,600	0,005	0,111	4,870	2,600	0,005	0,111
1,40	4,840	3,200	0,005	0,112	4,840	3,200	0,005	0,112
1,60	4,820	3,600	0,006	0,120	4,820	3,600	0,006	0,120
1,80	4,810	3,800	0,010	0,208	4,810	3,800	0,010	0,208
2,00	4,830	3,400	0,012	0,248	4,830	3,400	0,012	0,248

Додаток Д – Продовження

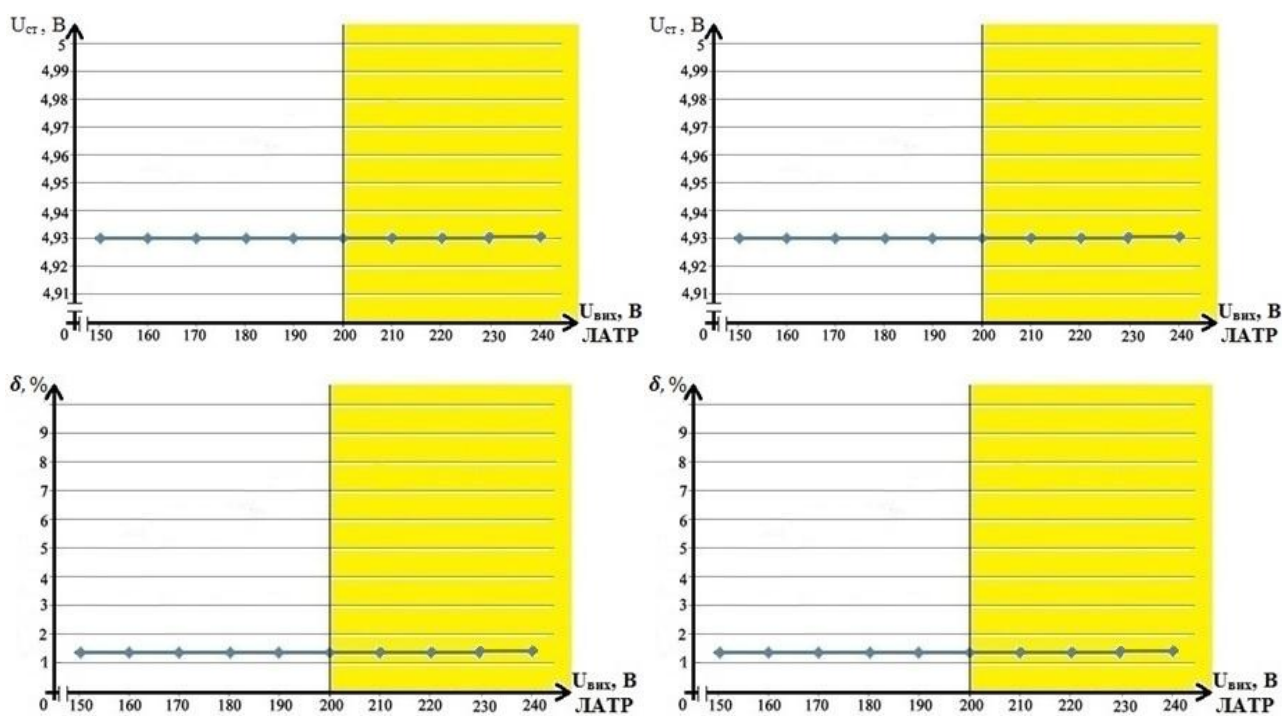


Рисунок Д.1 – Результати вимірювання стійкості джерела живлення, зліва при вхідній напрузі ~ 36 В, праворуч при вхідній напрузі ~ 42 В

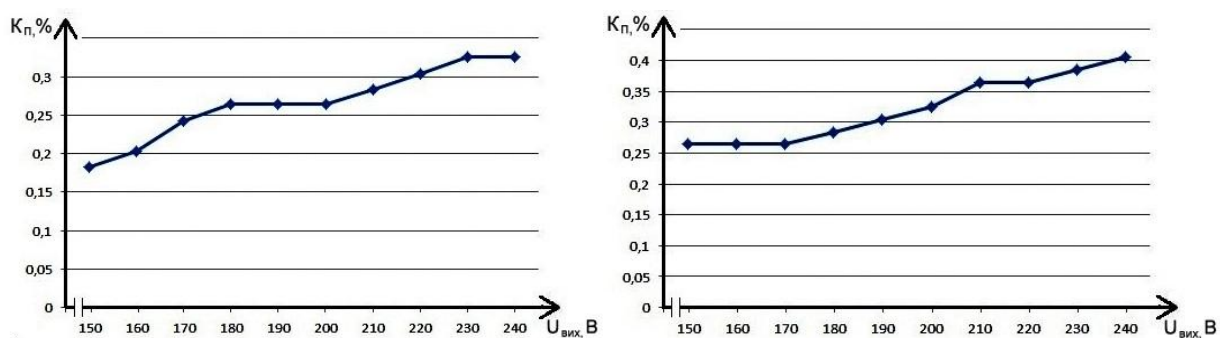


Рисунок Д.2 – Залежність K_p від $U_{вих}$, зліва при вхідній напрузі ~ 36 В, праворуч при вхідній напрузі ~ 42 В

Додаток Д – Продовження

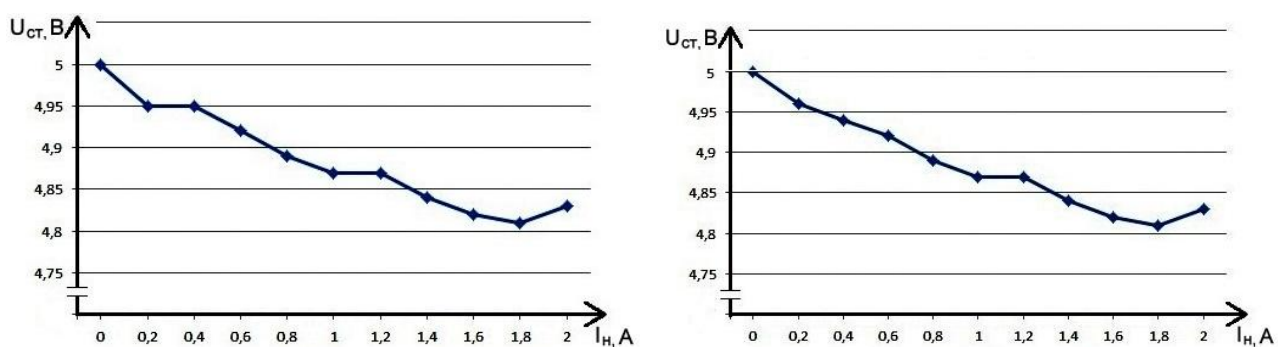


Рисунок Д.3 – Залежність $U_{ст}$ від $I_{н}$, зліва при вхідній напрузі ~ 36 В, праворуч при вхідній напрузі ~ 42 В

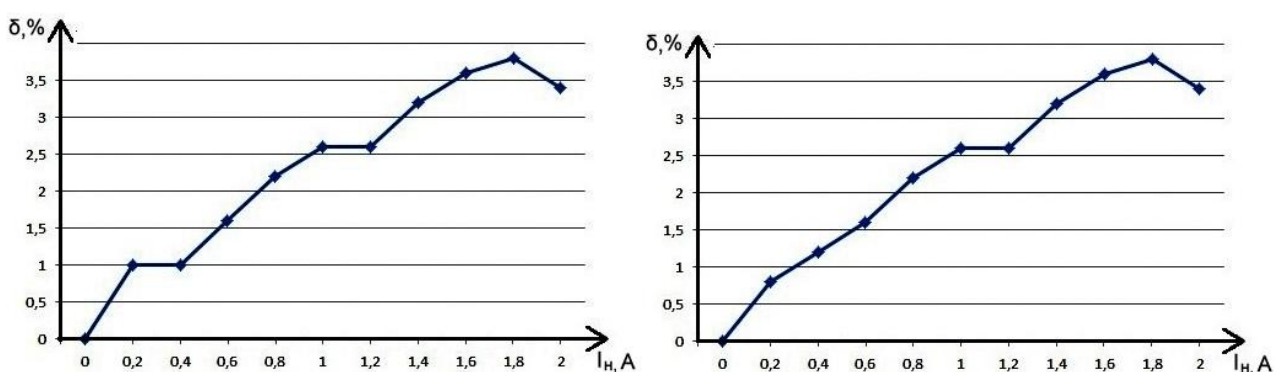


Рисунок Д.4 – Залежність δ від $I_{н}$, зліва при вхідній напрузі ~ 36 В, праворуч при вхідній напрузі ~ 42 В

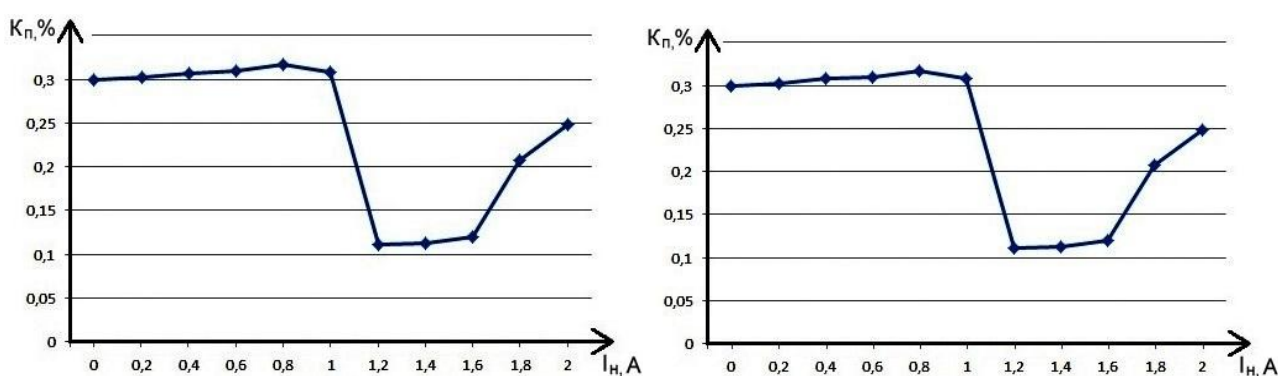


Рисунок Д.5 – Залежність $K_{п}$ від $I_{н}$, зліва при вхідній напрузі ~ 36 В, праворуч при вхідній напрузі ~ 42 В

Додаток Е – Результати дослідження стабілізованого джерела БЖШКФ – 2

Таблиця Е.1

Результати вимірювань стійкості стабілізованого джерела живлення

БЖШКФ-2, при зміні напруги мережі 150 В ÷ 240 В, 50 Гц

$$U_{\text{хх ст.}} = 5,00 \text{ В}, I_{\text{н}} = 1 \text{ А}$$

U вих. ЛАТР, В	~ 36 В				~ 42 В			
	U _{ст} , В	δ, %	U _~ , В	K _п , %	U _{ст} , В	δ, %	U _~ , В	K _п , %
150	4,910	1,800	0,013	0,265	4,910	1,800	0,015	0,305
160	4,910	1,800	0,014	0,285	4,910	1,800	0,016	0,326
170	4,910	1,800	0,015	0,304	4,910	1,800	0,016	0,325
180	4,910	1,800	0,016	0,326	4,910	1,800	0,017	0,346
190	4,910	1,800	0,016	0,326	4,910	1,800	0,018	0,367
200	4,910	1,800	0,016	0,326	4,910	1,800	0,018	0,367
210	4,910	1,800	0,018	0,356	4,910	1,800	0,019	0,387
220	4,910	1,800	0,015	0,305	4,910	1,800	0,018	0,356
230	4,910	1,800	0,018	0,356	4,910	1,800	0,020	0,407
240	4,910	1,800	0,016	0,326	4,910	1,800	0,018	0,356

Таблиця Е.2

Результати вимірювань навантажувальної характеристики БЖШКФ – 2, при

напрузі мережі 220 В, 50 Гц

I _н , А	~ 36 В				~ 42 В			
	U _{ст} , В	δ, %	U _~ , В	K _п , %	U _{ст} , В	δ, %	U _~ , В	K _п , %
0,00	5,030	0,000	0,018	0,358	5,030	0,000	0,020	0,398
0,20	5,030	0,000	0,018	0,358	5,030	0,000	0,020	0,398
0,40	5,010	0,398	0,018	0,359	5,010	0,398	0,019	0,379
0,60	4,950	1,590	0,019	0,384	4,950	1,590	0,020	0,404
0,80	4,930	1,988	0,017	0,345	4,930	1,988	0,020	0,406
1,00	4,930	1,988	0,018	0,365	4,930	1,988	0,020	0,406
1,20	4,890	2,783	0,016	0,327	4,890	2,783	0,020	0,409
1,40	4,890	2,783	0,018	0,368	4,850	3,579	0,020	0,412
1,60	4,810	4,374	0,020	0,416	4,830	3,976	0,020	0,414
1,80	4,810	4,374	0,019	0,395	4,830	3,976	0,020	0,414
2,00	4,850	3,579	0,020	0,412	4,850	3,579	0,021	0,433

Додаток Е – Продовження

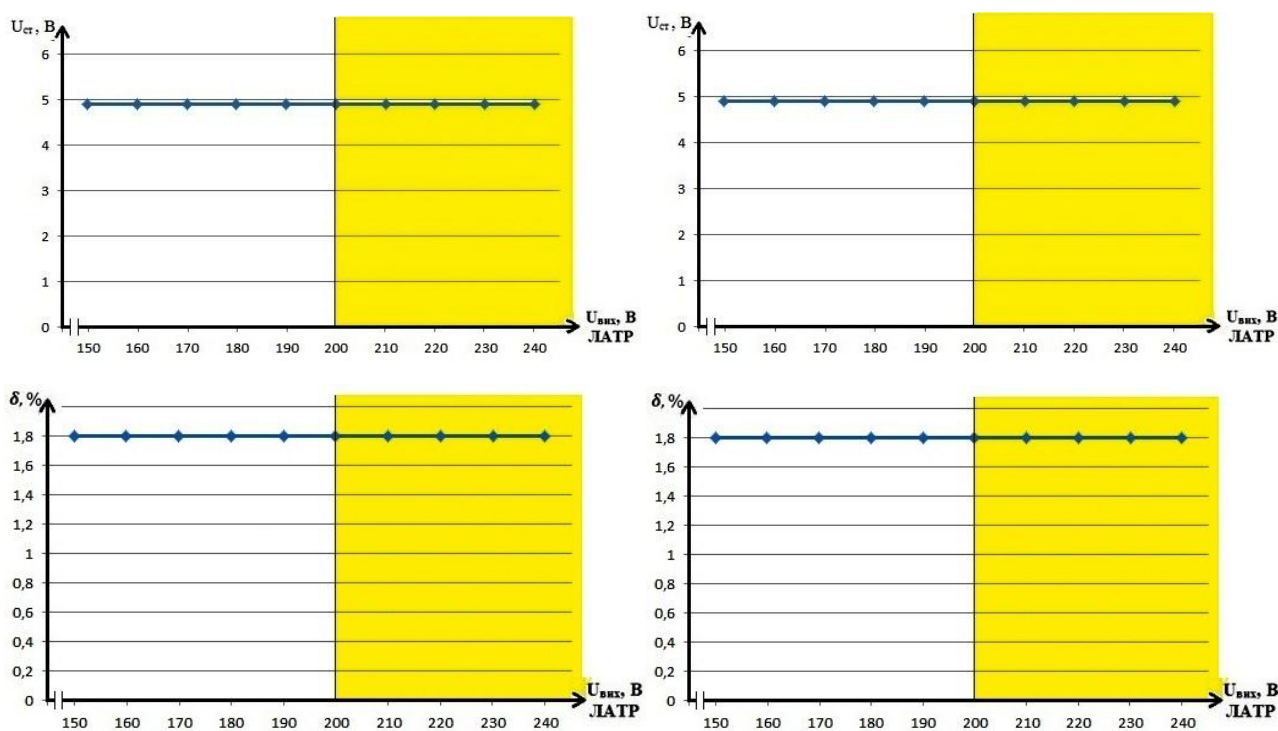


Рисунок Е.1 – Результати вимірювання стійкості джерела живлення, зліва при вхідній напрузі ~ 36 В, праворуч при вхідній напрузі ~ 42 В

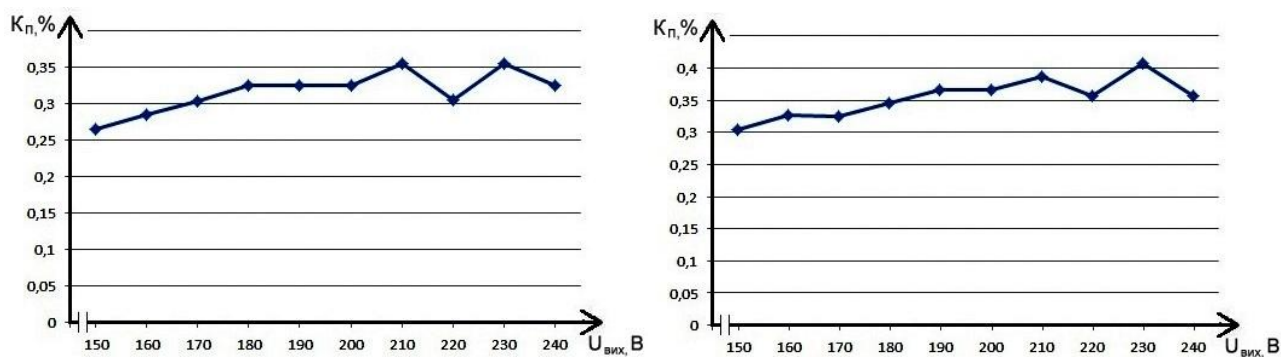


Рисунок Е.2 – Залежність K_p від $U_{вих}$, зліва при вхідній напрузі ~ 36 В, праворуч при вхідній напрузі ~ 42 В

Додаток Е – Продовження

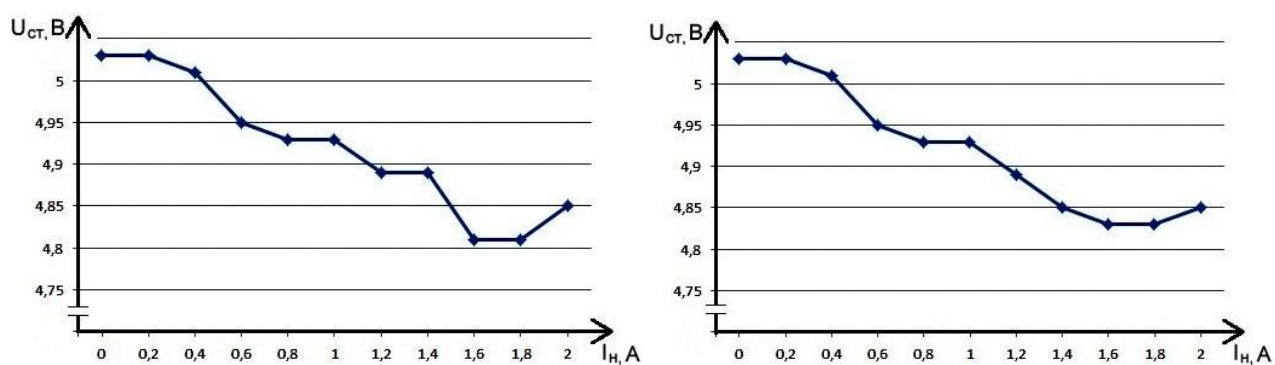


Рисунок Е.3 – Залежність $U_{ст}$ від $I_{н}$, зліва при вхідній напрузі ~ 36 В, праворуч при вхідній напрузі ~ 42 В

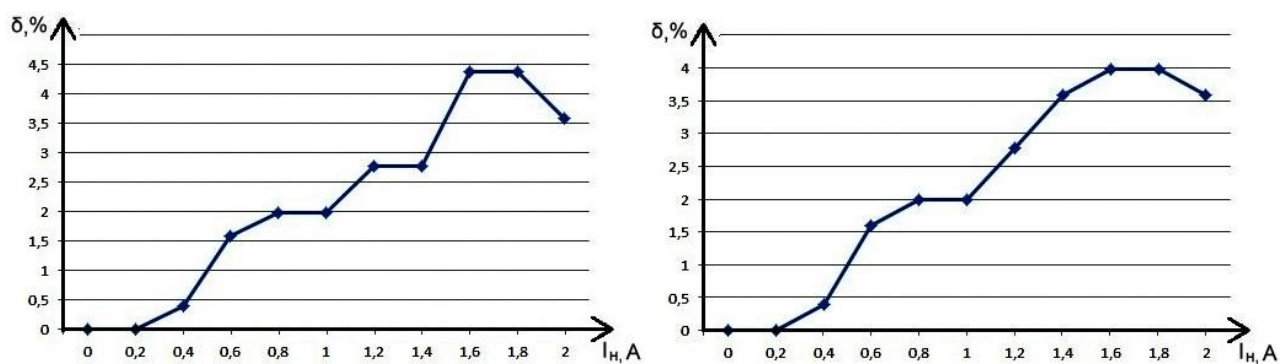


Рисунок Е.4 – Залежність δ від $I_{н}$, зліва при вхідній напрузі ~ 36 В, праворуч при вхідній напрузі ~ 42 В

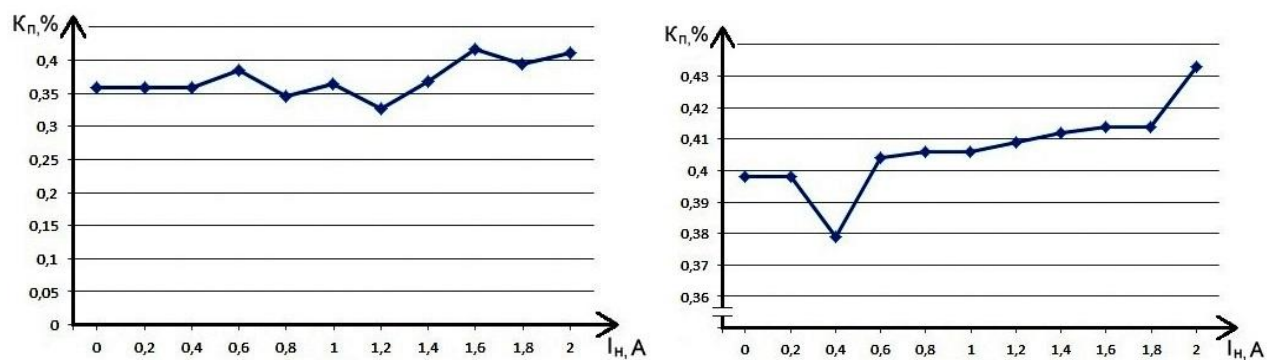


Рисунок Е.5 – Залежність $K_{п}$ від $I_{н}$, зліва при вхідній напрузі ~ 36 В, праворуч при вхідній напрузі ~ 42 В