

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

лінійноелектронних та електронних інформаційних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

магістр
(рівень вищої освіти)

на тему Активне навантаження з цифровими
керуваними структурами реалізації роботи

Виконав: студент 2 курсу, групи Р.1719

спеціальності 171 «Електроніка»
(код і назва спеціальності)

(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми _____
(назва освітньої програми)

(назва освітньої програми)

Васильчук В. А.
(ініціали та прізвище)

(ініціали та прізвище)

Керівник к. т. н. доц. Швайко С. І.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Шершов С. А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут _____
Кафедра мікроелектроніки та електронних інформаційних систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 171 "Електроніка"
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма електроніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« 07 » 09 2020 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Васильчак Яна Анатоліївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Активне навантаження з цифровим керуванням

керівник роботи к.т.н. доц. Шиндрий С.І.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 15 » 05 2020 року № 600 - С

2 Строк подання студентом роботи 30.11.20

3 Вихідні дані до роботи напруга 30 В, частота мережі 50 Гц, струм 5 А

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) перевірити використання активного навантаження, використання електронних навантажень, для тестування така СК. Вивчення з дос. побуд. акт нав.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) структура реєстрів роботи, структура навантаження, схема

включення електронного навантаження, елементна база, методи моделювання, результати моделювання, охорона праці, екологічні показ.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Шмайїт С.І.	Шмайїт	Васильчак
2	Шмайїт С.І.	Шмайїт	Васильчак
3	Шмайїт С.І.	Шмайїт	Васильчак
4	Шмайїт С.І.	Шмайїт	Васильчак
5	Шмайїт С.І.	Шмайїт	Васильчак

7 Дата видачі завдання 7.09.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Вступ	21.09	
	1 Розділ	9.10	
	2 Розділ	19.10	
	3 Розділ	2.11	
	4 Розділ	16.11	
	5 Розділ	20.11	
	графічна частина	27.11	

Студент Васильчак Я.А.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) Шмайїт С.І.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер Гуринев К.О.
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект: 90 стор., 48 рис., 7 табл., 26 джерел

Об'єкт дослідження: активне навантаження.

Предмет дослідження: перехідні процеси при управлінні за допомогою мікроконтролерів.

Мета роботи: дослідження роботи активного навантаження і алгоритмів його роботи для підвищення ефективності використання в системах тестування.

У даній роботі проведено дослідження побудови пристроїв активного навантаження з цифровим керуванням. Показано переваги використання активного навантаження по точності показників та алгоритмам управління.

Розглянуто алгоритми роботи системи контролю, типи первинних перетворювачів струму та напруги та проведено аналіз сучасних інтегральних мікросхем для блоку живлення.

Запропоновано методику обрання мікроконтролерів для використання в пристроях такого плану.

АКТИВНЕ НАВАНТАЖЕННЯ, ДАТЧИК, ПЕРВИННИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, АНАЛОГОВО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, МІКРОКОНТРОЛЕР, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, АЛГОРИТМ, ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕС

ЗМІСТ

Вступ	6
1 Переваги використання активного навантаження	8
1.1 Режими роботи навантажень	14
1.1.1. Режим постійного струму (CC)	14
1.1.2. Режим постійної напруги (CV)	21
1.1.3. Режим постійного опору (CR)	22
1.1.4. Динамічне навантаження	25
1.1.5. Навантаження зі змінним коефіцієнтом амплітуди	30
1.1.6. Коефіцієнт потужності	31
1.1.7. Режим короткого замикання	32
1.2 Використання електронних навантажень для тестування багатоканальних ДЖ	33
1.3 Способи підключення електронних навантажень	34
1.4 Аналіз характеристик навантаження постійного струму Chroma 6310A	37
2 Елементна база для побудови активного навантаження	43
2.1 Сучасні мікросхеми для датчиків електронного навантаження	45
2.2 Мікросхеми для обробки сигналів з датчиків	46
2.2.1 Вимірювання струму	46
2.2.2 Аналогові мікросхеми з одноразовим калібруванням ACS713	48
2.3 Мікроконтролери для обробки інформації з датчиків	48
3 Аналіз джерел живлення для активного навантаження та дослідження режимів роботи	52
3.1 Мікросхеми живлення	52
3.2 Дослідження режимів роботи активних елементів	57
4 Конструкторсько-технологічна частина	61
4.1 Конструкція блоку активного навантаження	61

4.2	Технологія виготовлення та збірки друкарської плати	62
4.3	Заходи з охорони праці	68
4.3.1	Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів	68
4.3.2	Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів	71
4.3.3.	Виробнича санітарія	73
4.3.4	Електробезпека	74
4.3.5	Пожежна та техногенна безпека	75
4.4	Розрахунок захисного заземлення	76
5	Техніко-економічне обґрунтування	81
5.1	Визначення стадій розробки	81
5.2	Розрахунок заробітної плати	83
5.3	Розрахунок кошторису витрат	84
	Висновки	86
	Список використаних джерел	87
	Додаток А	90

ВСТУП

При тестуванні вторинних джерел електроживлення (перетворювачів напруги, блоків живлення і ін.) і деяких типів первинних джерел електроживлення (акумуляторів, сонячних батарей та ін.) широко використовуються електронні навантаження. Дослідження допоможе отримати основні відомості про сучасні електронні навантаження, їх різновиди і які завдання вирішуються за їх допомогою. Крім того, потрібно провести аналіз сучасної елементної бази для побудови таких навантажень.

Електронне навантаження - це прилад, призначений для імітації різних режимів роботи реального електричного навантаження. При цьому електронне навантаження може працювати в декількох режимах споживання. До найбільш поширених належать: режим постійного опору, режим постійного струму споживання, режим постійної потужності і режим стабілізації напруги. Також більшість моделей електронних навантажень підтримують режим зміни свого стану за списком заданих користувачем значень, що дозволяє реалізувати складні алгоритми тестів, максимально відповідаючи роботі пристроїв в реальних умовах.

Основне завдання електронних навантажень - це тестування різних джерел електроживлення: акумуляторів, батарей, блоків живлення, перетворювачів напруги, регуляторів і стабілізаторів напруги, сонячних батарей, генераторів і інших подібних пристроїв. Для проведення тестування, електронне навантаження підключають до джерела електроживлення, яке перевіряється і запускають один або кілька тестів. При цьому, електронне навантаження поводить як реальне навантаження: наприклад змінює свій опір за заданим алгоритмом, імітує великі стартові струми запуску, коротке замикання та інші задані Вами умови. Під час проведення тесту, електронне навантаження безперервно вимірює напругу, струм і споживану потужність.

1 ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ АКТИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

В даний час джерела електроживлення застосовуються в найширшому спектрі обладнання. Джерела живлення (далі ДЖ) поділяються на первинні та вторинні. Первинні джерела живлення - це пристрої, що перетворюють теплову, механічну або хімічну енергію в електричну. До них відносяться генератори, блоки живлення і електростанції з двигунами внутрішнього згорання, акумулятори, паливні елементи, елементи сонячних батарей та ін. Джерела вторинного електроживлення - це пристрої, що перетворюють електричну енергію від первинних джерел в електричну енергію, безпосередньо призначену для живлення радіоелектронних пристроїв. До джерел вторинного електроживлення відносяться вбудовані блоки живлення, лабораторні джерела живлення, перетворювачі напруги, джерела безперебійного живлення тощо. Різноманітність різного роду джерел живлення як первинних, так і вторинних викликає широкий інтерес, як у розробників, що задовольняють потреби все більш зростаючого ринку джерел живлення, так і у безпосередньо користувачів, що використовують їх для розробки власних пристроїв, для ремонту і регулювання радіоапаратури, в технологічних процесах, як зарядних пристроїв і т.д. У будь-якого з вище перерахованих джерел електроживлення є нормовані технічні характеристики (зазначені в паспорті виробу, керівництві з експлуатації та технічному завданні), що вимагають або перевірки при виборі того чи іншого джерела живлення для вирішення конкретного завдання, або періодичної перевірки при експлуатації для виявлення несправностей. Особливо актуальною це питання стоїть і при метрологічне забезпечення гігантського парку найрізноманітніших по напрузі і потужності лабораторного джерела живлення включених до державного реєстру засобів вимірювання (ЗВ), а саме при проведенні випробувань з метою затвердження типу ЗВ або повірці ЗВ. Забезпечити вирішення цього кола завдань і покликані електронні навантаження.

Електронні навантаження - це особливий тип ЗВ, призначений для імітації навантаження як первинних, так і вторинних джерел електроживлення. Електронне навантаження здатне не тільки виступати в ролі навантажувального елемента, як цю роль раніше виконували і досі виконують реостати, але і в ролі засобу вимірювання, здатного забезпечити вимірювання основних параметрів джерел живлення. Електронні навантаження постійного струму можуть емулювати режими постійного струму (Constant Current або CC), постійного опору (Constant Resistance або CR), постійної напруги (Constant Voltage або CV), динамічного навантаження і короткого замикання (рис. 1.1). Електронні навантаження змінного струму можуть емулювати режими постійного струму (CC), постійного опору (CR), коефіцієнта амплітуди (Constant Factor або CF), коефіцієнта потужності (Power Factor або PF) і короткого замикання. Електронні навантаження також можуть імітувати статичні і динамічні режими навантаження, що існують в реальних умовах експлуатації джерел живлення. Для того, щоб більш повно представити порядок застосування електронного навантаження для тестування параметрів джерел живлення, необхідно звернутися до основних функцій самих джерел живлення [1].

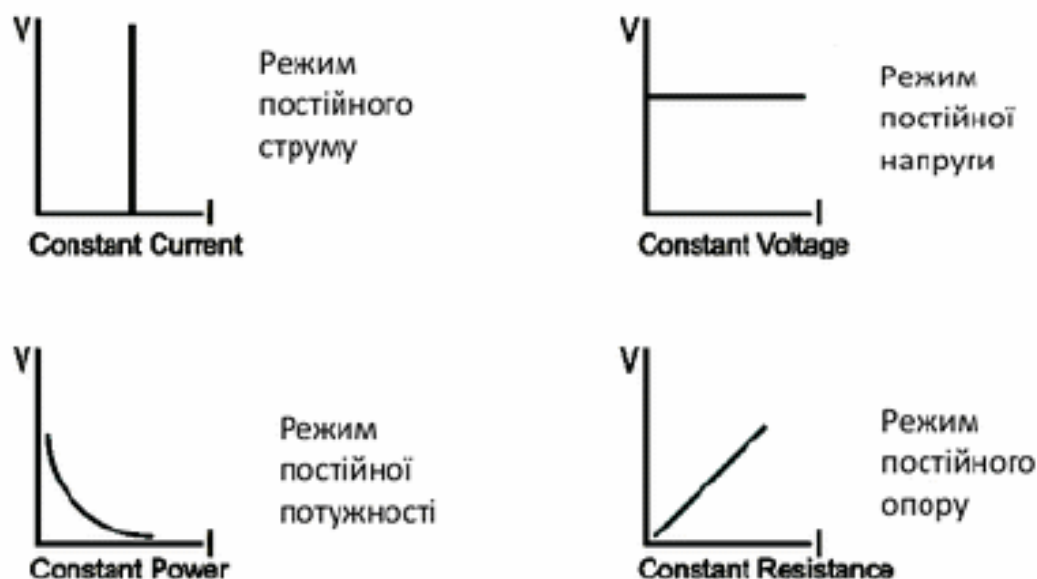


Рисунок 1.1 — Режимы работы электронного навантаження

Більшість електронних навантажень містять точний мультиметр, що вимірює напругу, струм і потужність, споживану навантаженням. Деякі моделі можуть виконувати нормований розряд акумуляторів і батарей, вимірюючи реальну ємність елемента живлення в Ампер-годинах. Багато моделей також можуть управлятися за допомогою комп'ютера, що дозволяє використовувати їх в складі автоматизованих контрольно-вимірювальних комплексів.

Більшість серій електронних навантажень призначені для тестування джерел живлення постійного струму (акумуляторів, блоків живлення, сонячних батарей та ін.), Типові приклади: серія ITEST IT8500 + і серія ITEST IT8800. Для тестування джерел живлення змінного струму (інверторів, джерел безперебійного живлення, трансформаторів і ін.) випускаються спеціалізовані AC/DC електронні навантаження змінного і постійного струму, типовий приклад: серія ITEST IT8615.

Конструктивно серійні електронні навантаження виготовляються в корпусах для приладів. Розмір і маса корпусу безпосередньо залежать від максимальної потужності, яку може розсіювати навантаження. Самі малопотужні моделі можуть розсіювати близько 100 Вт і поміщаються в невеликих компактних корпусах, як наприклад модель IT8211 розрахована на 150 Вт.

Більш серйозні моделі, як наприклад, п'ятикіловатне навантаження ITEST IT8818B (рис. 1.2), можуть монтуватися в промислову стійку і важать 40 і більше кілограм.

Також випускаються моделі, які можуть розсіювати десятки і навіть сотні кіловат. Щоб оцінити варіанти конструктивного виконання електронних навантажень різної потужності, можна ознайомитися з серією ITEST IT8800.

Іноді, для здешевлення, замість електронного навантаження використовують реостат (потужний змінний резистор). Використання реостата при тестуванні силових пристроїв пов'язане з такими обмеженнями:

- відсутність режиму постійного струму споживання;
- відсутність режиму постійної потужності;

- відсутність режиму стабілізації напруги;
- відсутність режиму зміни стану за списком заданих значень;
- відсутність автоматизації роботи;
- значна індуктивність реостата;
- необхідність використовувати додатковий вольтметр і амперметр.



Рисунок 1.2 — Зовнішній вигляд джерела IT8818B

Тому замість застарілих методів тестування, ефективніше і в кінцевому підсумку дешевше застосовувати сучасну контрольно-вимірвальну апаратуру, спеціально розроблену під конкретну задачу.

Використання хорошого електронного навантаження дозволяє істотно спростити і прискорити процес тестування будь-яких джерел електроживлення, а також зробити цей процес безпечним і ефективним.

Так, для тестування джерела живлення постійного струму з фіксованою вихідною напругою з номіналами 20 В, 5 А, 100 Вт потрібно з'єднати вихід джерела живлення з електронним навантаженням з номінальними характеристиками (рівними або такими, що перевищують номінали джерела живлення), яка може споживати постійний струм від цього джерела живлення. Оскільки джерело живлення регулює напругу (20 В), навантаження повинне

регулювати струм, споживаний від цього джерела (до 5 А). Якщо джерело живлення є джерелом постійного струму, навантаження повинне бути здатне споживати живлення з одночасним регулюванням напруги.

Якщо джерело живлення, яке тестується має вихідну напругу, що перевищує величину, яку приймає одна електронне навантаження, то підключити кілька входів навантажень послідовно для вирішення проблеми недопустимо.

Послідовне з'єднання електронних навантажень може привести до того, що на входи одного з навантажень буде подано напругу, що перевищує її можливості, а це може стати причиною пошкодження навантаження. Отже, є намір підключити навантаження послідовно, тому що одного навантаження не вистачає по номінальній напруги, щоб впоратися з напругою джерела постійного струму. Але, оскільки опір на входах одного з послідовно підключених навантажень під час тестування знижується до мінімального (практично до стану короткого замикання), напруга від джерела постійного струму може з'явитися на входах інших послідовно з'єднаних навантажень ланцюга. Далі можливо кілька сценаріїв розвитку подій, здатних привести до руйнівних наслідків. Щоб розібратися в цих сценаріях, спочатку потрібно зрозуміти, як діє електронне навантаження.

Навантаження працюють за принципом регулювання провідності польових транзисторів на вхідних клеммах. Даний процес здійснюється за допомогою контуру зворотного зв'язку для коректування вимірюваного рівня (наприклад, вхідного струму) таким чином, щоб він дорівнював контрольного рівня - в нашому випадку заданій силі струму [1].

Одна з проблем, пов'язаних з послідовним з'єднанням декількох електронних навантажень для відповідності більш високим напруженням, виникає, якщо обидва навантаження налаштовані на роботу в режимі CC. В цьому випадку задається одна і та ж сила струму на обох навантаженнях. Через обидва навантаження проходить один і той же струм (рис. 1.3, 1.4), однак через невеликі похибок в налаштуваннях реально встановлені значення ніколи не

будуть повністю ідентичними один одному. Отже, одна з навантажень буде намагатися спожити більший струм (навантаження на рис. 1.3, 1.4), ніж інша (навантаження 1 на рис. 1.3, 1.4). Оскільки навантаження 1 буде утримувати силу струму на більш низькому рівні (в даному прикладі 9,99 А), навантаження 2 ніколи не зможе досягти свого реально встановленого значення (в даному прикладі 10,01 А). В результаті внутрішній контур зворотного зв'язку продовжує віддавати команди польовим транзисторам проводити все більше і більше струму - до тих пір поки вони не стануть працювати на межі своїх можливостей, на грані короткого замикання. Це призводить до того, що майже вся напруга джерела живлення виявляється на вході навантаження 1, що може викликати пошкодження схеми [2].

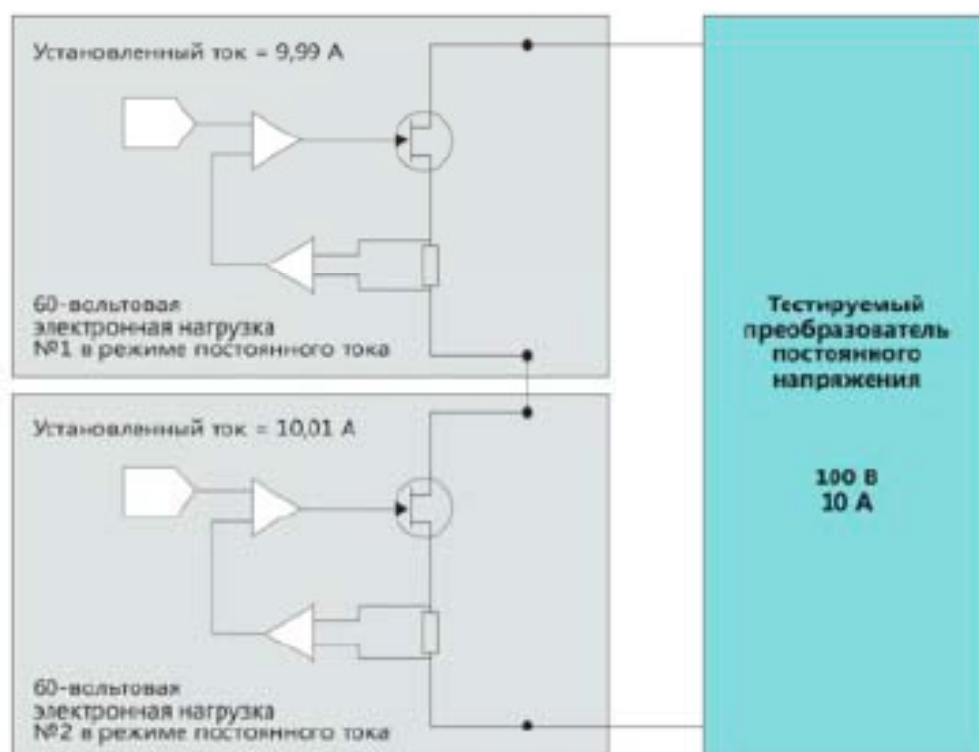


Рисунок 1.3 - Дві включені послідовно 60-В електронні навантаження, що працюють в режимі постійного струму

Послідовне підключення навантажень, налаштованих на роботу в режимі постійного струму (СС), призводить до перевищення допустимого напруги на одній з них (в даному випадку на навантаженні 1). Висока встановлене значення вихідної напруги переводить польові транзистори в «жорсткий» режим роботи.

На перший погляд може здатися, що якщо встановити одну навантаження в режим *CC*, а іншу - в режим *CV*, буде отримано цілком стабільний робочий режим. Однак при цьому доведеться як слід подумати про те, що буде потрібно для забезпечення такої стабільності. Якщо встановити режими навантажень до подачі напруги, навантаження *CC* не буде забезпечена (відсутній струм), тому вона перейде в стан короткого замикання; умови навантаження *CV* також не будуть задоволені (відсутня напруга), відповідно, вона перейде в режим обриву ланцюга. При подачі випробувальної напруги всю напругу спочатку з'явиться на розімкнутій навантаженні *CV*, що може викликати її пошкодження.

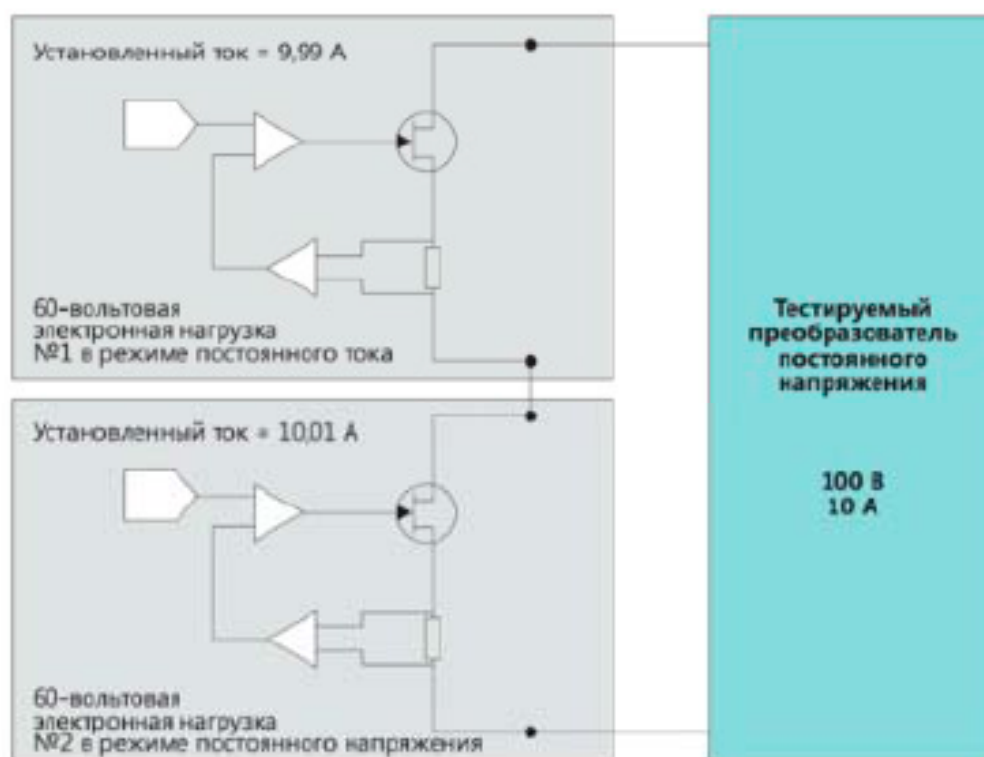


Рисунок 1.4 - Дві включені послідовно електронні навантаження (навантаження 1 в режимі постійного струму підтримує струм на рівні 10 А; навантаження 2 встановлена в режим постійної напруги)

Існують і інші процедури, виконання яких може на якийсь час забезпечити стабільний робочий режим (наприклад, поступове підвищення випробувальної напруги, якщо прилад має таку функцію). Але будь-яка несправність в одній з навантажень призведе до активації механізмів захисту, що спричинить за собою перекид польових транзисторів в «жорсткий» режим (коротке замикання) або

розмикання польових транзисторів. У будь-якому з цих випадків на одній з навантажень в послідовному з'єднанні з'явиться висока напруга, здатне привести до пошкодження ланцюга [2].

Незалежно від типу ДЖ одні виконують одну з двох функцій. Перша або служать джерелом напруги (змінного або постійного) здатного підтримувати вивідний напруга при зміні струмі навантаження. Це найбільш поширені ДЖ - генератори, акумуляторні батареї, хімічні джерела струму і т.д. Друга - служити джерелом струму (знову ж змінного або постійного) здатного підтримувати струм у навантаженні при зміні падіння напруги на навантаженні. Ці ДЖ застосовуються, наприклад, при зарядці акумуляторних батарей, коли необхідно забезпечити незмінну величину струму заряду. Такий парк приладів як лабораторні ДЖ включають в себе ці дві функції одночасно - вони здатні забезпечувати режим стабілізації напруги і струму.

Електронні навантаження, як уже зазначалося вище, мають кілька режимів роботи. Розглянемо їх докладніше.

1.1 Режими роботи навантажень

1.1.1. Режим постійного струму (CC)

У режимі постійного струму через електронну навантаження буде протікати струм відповідно до заданого значенням струму на електронній навантаженні і це значення струму буде підтримуватися постійним при зміні значення вхідної напруги ДЖ. Схема заміщення і графік залежності напруга-струм наведені на рис. 1.5 [3].



Рисунок 1.5 - Схема заміщення і графік залежності напруга-струм

Режим постійного струму CC може бути використаний для тестування джерел напруги і визначення їх основних параметрів - похибки установки вихідної напруги і нестабільності вихідної напруги. Похибка установки вихідної напруги - це різниця між номінальним значенням вихідної напруги (значенням вихідної напруги, яке має бути на виході нерегульованого ДЖ у відповідності з його параметрами або встановлене значення вихідної напруги на виході регульованого ДЖ) і його вимірним дійсним значенням. Нестабільність вихідної напруги при зміні струму навантаження - це різниця між вихідною напругою без навантаження (струму) і вихідною напругою при максимальному навантаженні (струмі). Електронні навантаження мають власні вбудовані електронні вимірювальні прилади - вольтметр і амперметр, що дозволяє безпосередньо проводити вимірювання основних параметрів ДЖ.

Зазвичай електронні навантаження, наприклад АКИП-13хх, мають похибка вимірювання напруги не гірше 0,1% і струму не гірше 0,2%. З огляду на те, що більшість лабораторних ДЖ має похибка установки вихідної напруги близько 0,5%, уніфіковані модулі живлення AC \ DC -3 ... 13%, акумулятори - близько 1%, а побутові генератори змінного струму близько 5%, то похибки вимірювання напруги електронними навантаженнями цілком відповідають рішенням цих задач.

При підключенні навантаження до будь-якого ДЖ відбувається неминуче зменшення вихідної напруги. На рис. 1.6 наведені графіки зміни струму в навантаженні і вихідної напруги. Видно, що при підключенні навантаження (точка часу $T1$) відбувається зменшення вихідної напруги на величину ΔV_{out} . Величина ΔV_{out} і є нестабільність вихідної напруги при зміні струму навантаження.

Залежно від коефіцієнта стабілізації, для компенсаційного лабораторного ДЖ, або внутрішнього опору будь-якого іншого джерела напруги, значення величина V_{out} може варіюватися в різних межах. Для частини додатків, наприклад, при вимірюванні малопотужних акумуляторів, похибки власних засобів вимірювання електронної навантаження цілком достатньо для

вирішення завдання визначення нестабільності вихідної напруги і виявлення виробів не відповідають встановленим вимогам [4].

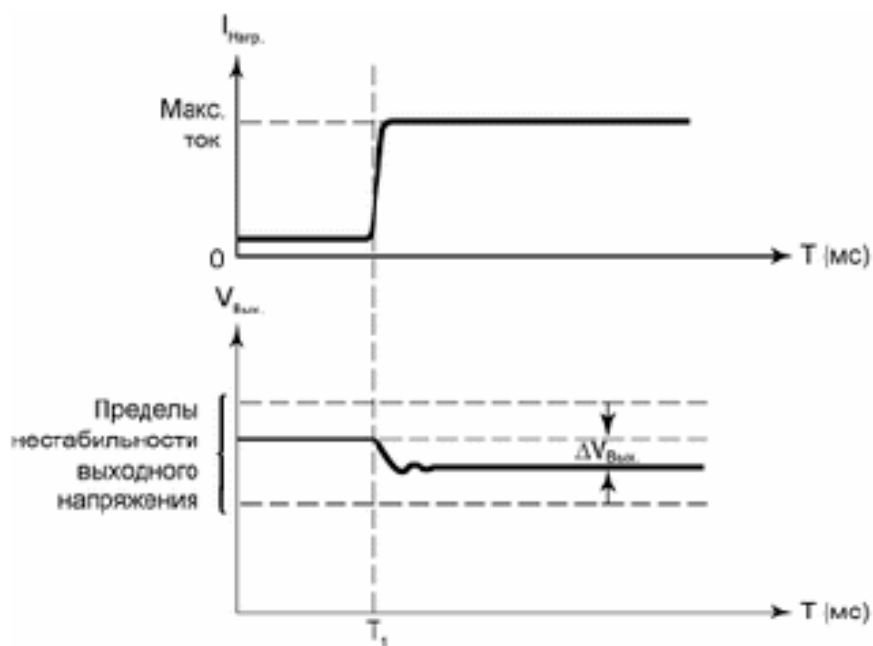


Рисунок 1.6 - Графіки зміни струму в навантаженні і вихідної напруги

Для підвищення достовірності вимірювання в цьому випадку, в частотності для компенсації падіння напруги на довжині проводів, що з'єднують електронну навантаження та ДЖ, застосовується чотирьох схема підключення. Приклад такого підключення наведено на рис. 1.7.



Рисунок 1.7 - Чотирьох схема підключення

Не всі електронні навантаження мають можливість чотирьох підключення до ДЖ. Багато виробників з метою зменшення вартості електронної навантаження цю можливість виключають.

Для ДЖ, що володіють хорошою стабілізацією, наприклад лабораторних ДЖ, що мають нестабільність напруги близько 0,01%, навіть чотирьох схеми підключення вже не досить. В цьому випадку для випробувань ДЖ, крім електронної навантаження, потрібне зовнішнє вольтметр, що володіє роздільною здатністю і похибкою вимірювання, достатньої для вимірювань нестабільності напруги. Схема таких вимірювань наведена на рис. 1.8.

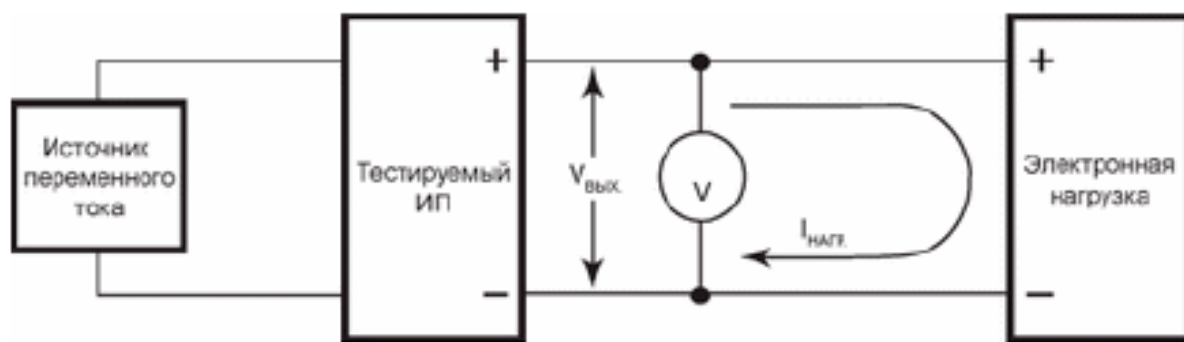


Рисунок 1.8 - Схема вимірювань нестабільності напруги

Схема вимірювання на рис. 1.7, також дозволяє визначити такий параметр вторинного ДЖ, як нестабільність вихідної напруги при зміні напруги мережі - це різниця між вихідною напругою ДЖ при підключеній навантаженні при номінальній напрузі мережі живлення і вихідною напругою при підключеній навантаженні і мінімальному напрузі мережі живлення. При цьому в якості регульованого джерела мережі живлення можливе використання джерела живлення змінного струму APS-9301, APS-9501, APS-9102 виробництва компанії GW Instek.

Особливістю застосування електронних навантажень для тестування ДЖ є те, що режими тестованого ДЖ та електронної навантаження зворотні. Тобто, якщо ДЖ працює в режимі стабілізації напруги (CV), то підключене до нього електронне навантаження працює в режимі постійного струму (CC). І навпаки,

якщо ДЖ працює в режимі стабілізації струму (CC), то підключена до нього електронне навантаження працює в режимі постійної напруги (CV).

Важливим параметром електронної навантаження в режимі постійного струму є мінімальна напруга на навантаженні, що забезпечує задану силу струму. Оскільки останнім часом дуже популярними стають низьковольтні джерела живлення, наприклад 3,3 В і 2,2 В, що дозволяє конструювати НВІС з низьким виділенням тепла (наприклад зниження напруга живлення ІМС з 5 В до 3,3 В дозволяє на 34% знизити температуру корпусу ІМС, що дуже важливо при конструюванні таких пристроїв як портативні комп'ютери). Сучасні ж хімічні або сонячні батареї так само мають напругу 1,5 В. Тому, тестування низьковольтних ДЖ останнім часом приділяється велика увага. Технічно явище мінімальної напруги на навантаженні викликано тим, що для формування вхідного струму електронної навантаження на її вході неминуче має бути присутнім деяке значення падіння напруги для роботи активних елементів електронної навантаження. Сила струму що протікає через навантаження взаємопов'язана з внутрішнім опором електронної навантаження. Відповідно до закону Ома напруга в цьому випадку дорівнює:

$$U=I \times R, [1.1]$$

де I - це максимальний струм, який забезпечувався б електронної навантаженням,

R - внутрішній опір електронної навантаження.

З формули [1.1] випливає висновок - оскільки тестовий струм є величина постійна, для конкретного тесту ДЖ, то мінімальна напруга на навантаженні залежить від внутрішнього опору навантаження, і величина цієї напруги буде тим менше, ніж буде менше значення внутрішній опір електронної навантаження. У свою чергу внутрішній опір електронної навантаження прямо пропорційно максимальному струму, який може імітувати електронне навантаження. Тому для вибору електронної навантаження має мінімальне значення напруги на навантаженні слід вибирати і числа тих, що здатні імітувати якомога більший струм, навіть при невеликій потужності.

Електронні навантаження серії АКИП-13хх забезпечують мінімальне напруження на навантаженні в межах від 0,1 до 1 В, в залежності від значення струму. Так наприклад електронне навантаження АКИП-1301 здатна забезпечити мінімальну напругу на навантаженні 0,25 В при струмі 15 А; а навантаження АКИП-1310 забезпечує мінімальну напругу на навантаженні 0,1 В при струмі 360 А.

Оскільки будь-яка електронне навантаження має обмежену потужністю, то її вольт-амперна характеристика визначається формулою:

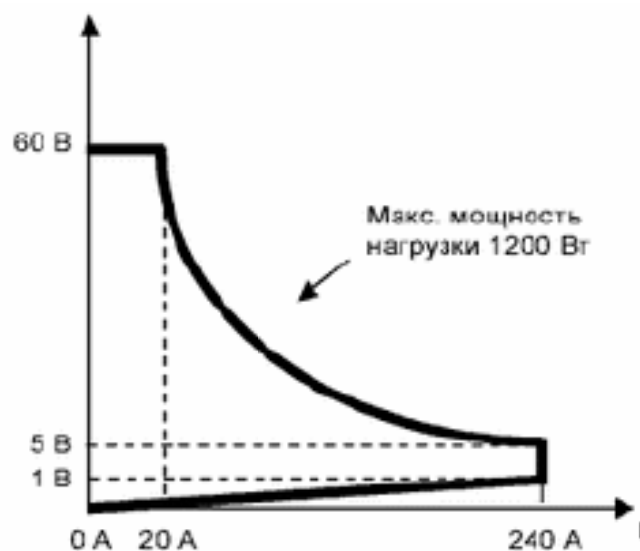
$$I=P/U, [1.2]$$

де I - вхідний струм,

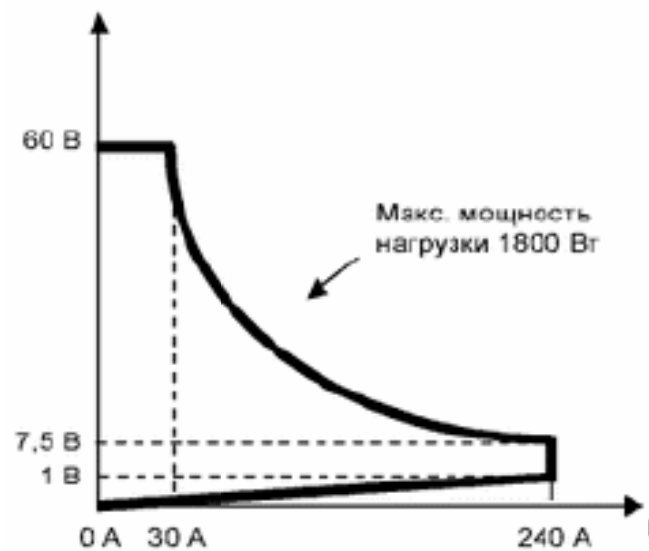
P - максимальна потужність електронної навантаження,

U - вхідна напруга.

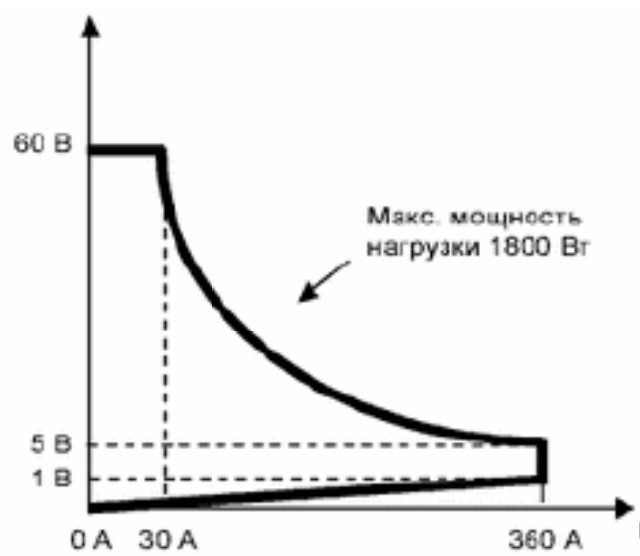
На рис. 1.9(а-в) представлено кілька типових вольт-амперних характеристик електронних навантажень з різною потужністю і різними струмами в навантаженні [4].



а



б



в

Рисунок 1.9 - Типові вольт-амперні характеристики електронних навантажень

Як видно з рис. 1.9, більш мала напруга на навантаженні забезпечує навантаження, має найбільшу потужність (при рівних значеннях максимальної вхідної напруги). Навантаження з максимальною потужністю при максимальній вхідної напрузі здатне забезпечити максимальний струм, що цілком очевидно. Характерний «зворотний хід» вольт-амперної характеристики пов'язаний тим, що при значенні вхідної напруги на навантаженні нижче певного (для кожного типу навантаження це напруга має власне значення), навантаження не в змозі

забезпечити необхідну силу струму, що призводить до падіння відібраної потужності до нуля.

1.1.2. Режим постійної напруги (CV)

У режимі постійної напруги через електронну навантаження буде протікати струм відповідно до заданого значенням струму на джерелі живлення, який знаходиться в режимі стабілізації струму, і це значення напруги буде підтримуватися постійним при зміні значення вхідного струму джерела живлення. Схема заміщення і графік залежності напруга-струм наведені на рисунку 1.10.

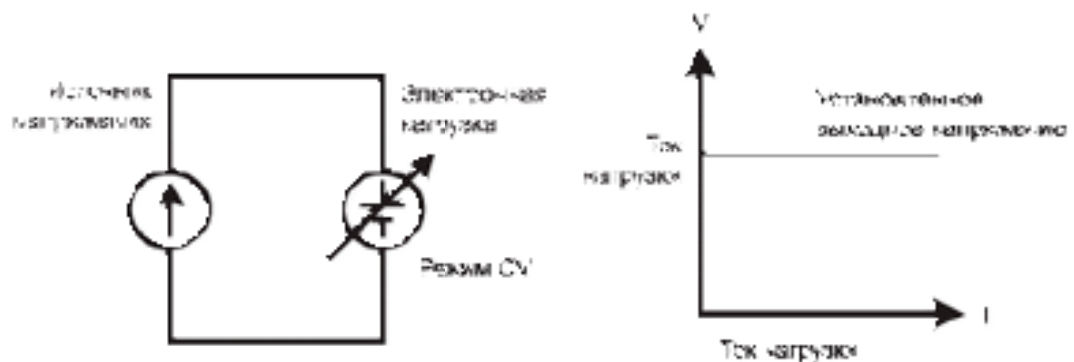


Рисунок 1.10 - Схема заміщення і графік залежності напруга-струм

Режим CV використовується для тестування джерел струму. Він часто використовується при визначенні характеристик обмеження по струму джерел живлення, так само його можна застосовувати для тестування зарядних пристроїв, де режим CV емулює найкраще для зарядки вихідна напруга.

Якщо даний режим використовується для тестування лабораторних ДЖ у режимі стабілізації струму, то методи випробування схожі з тими, що викладені для тестуванні ДЖ у режимі стабілізації напруги. Різниця відстоїть в тому, що паралельне підключення вольтметра замінюється по послідовне підключення амперметра, при необхідності досягнення більш високої точності вимірювання

похибки установки вихідного струму або вимірювання величини нестабільності струму, пов'язане зі зміною напруги на навантаженні.

Відмінною особливістю електронних навантажень серії АКИП-13xx, є те, що вони має додатковий вихід на передній панелі, що дозволяє підключати осцилограф для спостереження форми струму, пульсацій струму і шумів струму, а також для вимірювання їх значень, що значно розширює їх експлуатаційні можливості, по порівняно з іншими навантаженнями. На рисунку 1.11 зовнішній вигляд електронної навантаження АКИП-1310, до речі, на ній чітко видно і гнізда, що дозволяють реалізувати чотирьох схему підключення.



Рисунок 1.11 - Зовнішній вигляд електронного навантаження АКИП-1310

1.1.3. Режим постійного опору (CR)

У режимі постійного опору на електронній навантаженні встановлюється значення опору, це означає, що через навантаження буде протікати струм, лінійно пропорційний вхідній напрузі відповідно до заданого опором. Схема заміщення і графік залежності напруга-струм наведені на рисунку 1.12 [3].

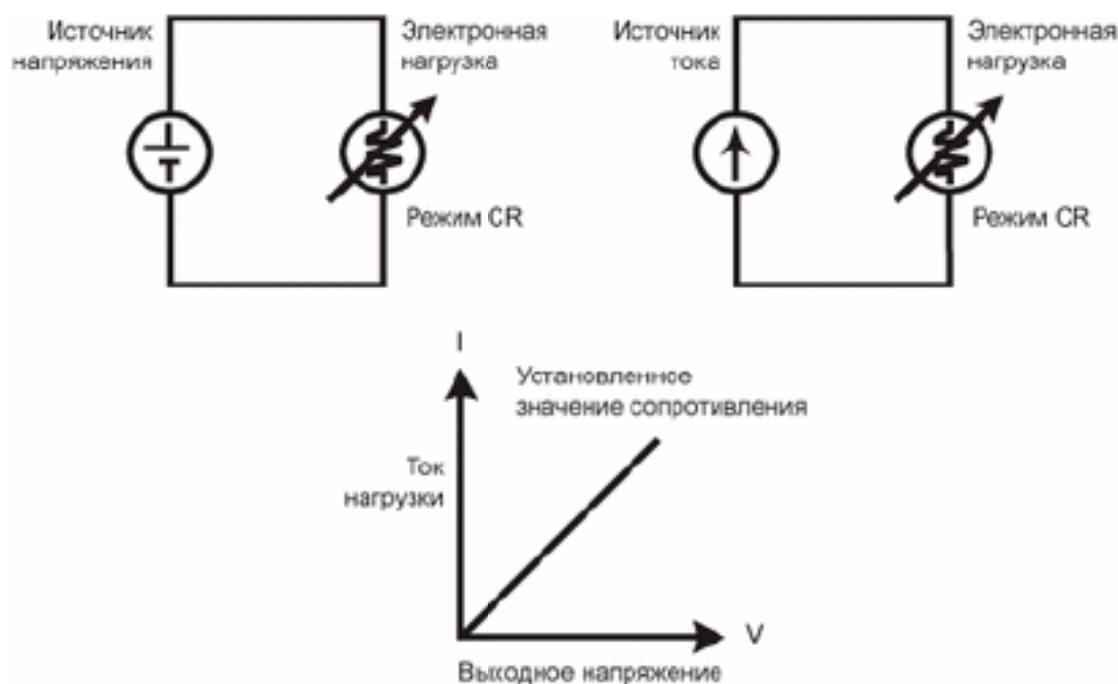


Рисунок 1.12 - Схема заміщення і графік залежності напруга-струм

Режим CR може використовуватися для тестування джерел напруги (струму) при визначенні гранично можливих (мінімальних і максимальних) значень видається струму. На перший погляд, при наявності режимів CV і CC, режим CR великого сенсу не має, але це не так. Насправді при використанні режиму CC, при визначенні навантажувальної спроможності ДЖ на до бути гранично обережним, особливо якщо тестування піддаються імпульсні ДЖ. Наприклад, імпульсний ДЖ з вихідними параметрами 5В і 50А не в змозі забезпечити струм в навантаженні при напрузі 0 ... +5. Схема захисту від короткого замикання визначить режим електронної навантаження CC як режим короткого замикання і відключить джерело живлення від навантаження, оскільки електронне навантаження навіть при напрузі 2В відбиратиме від джерела живлення струм 50А. Для цього випадку оптимальним рішенням є режим CR, при якому струм в навантаженні наростає пропорційно вивідного напрузі. Схема захисту від короткого замикання ДЖ у цьому випадку не буде відключати джерело від навантаження. Після встановлення номінального вихідної напруги джерела живлення, електрону навантаження можна перевести

в режим СС для подальших тестів ДЖ. Графіки цих процесів наведені на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 - Графіки процесів

Очевидно, що не завжди зручно, під час тестування ДЖ виробляти перемикання з режиму CR і СС. Для цього в професійних електронних навантаженнях, з розширеними можливостями, в режимі СС існує додаткова можливість регулювання швидкості (крутизни) зміни струму. Швидкість зміни струму - це величина зміни струму в навантаженні за одиницю часу. Швидкість зміни виражається в Амперах в секунду. Швидкість зміни струму може бути позитивною, якщо струм збільшується чи негативною, якщо струм в навантаженні зменшується. На рисунку 1.14 представлений графік позитивної крутизни зміни струму, що пояснює основні явища і параметри крутизни.

Величина крутизни зміни струму вимірюється на рівні 10% -90% при наростанні струму і 90% -10% при зменшенні струму. Опорні рівні 10% і 90% визначаються з умов початкового і кінцевого встановлених значень струмів, а не з принципу максимально можливого значення струму. З рис. 1.14 видно, що чим менше швидкість наростання струму, тим більше пологий фронт наростання вона має. Очевидно, що регульоване значення швидкості наростання струму,

для раніше наведеного випадку тестування ДЖ 5 В 50 А, цілком може повністю вирішити проблему спрацьовування захисту короткого замикання джерела живлення.

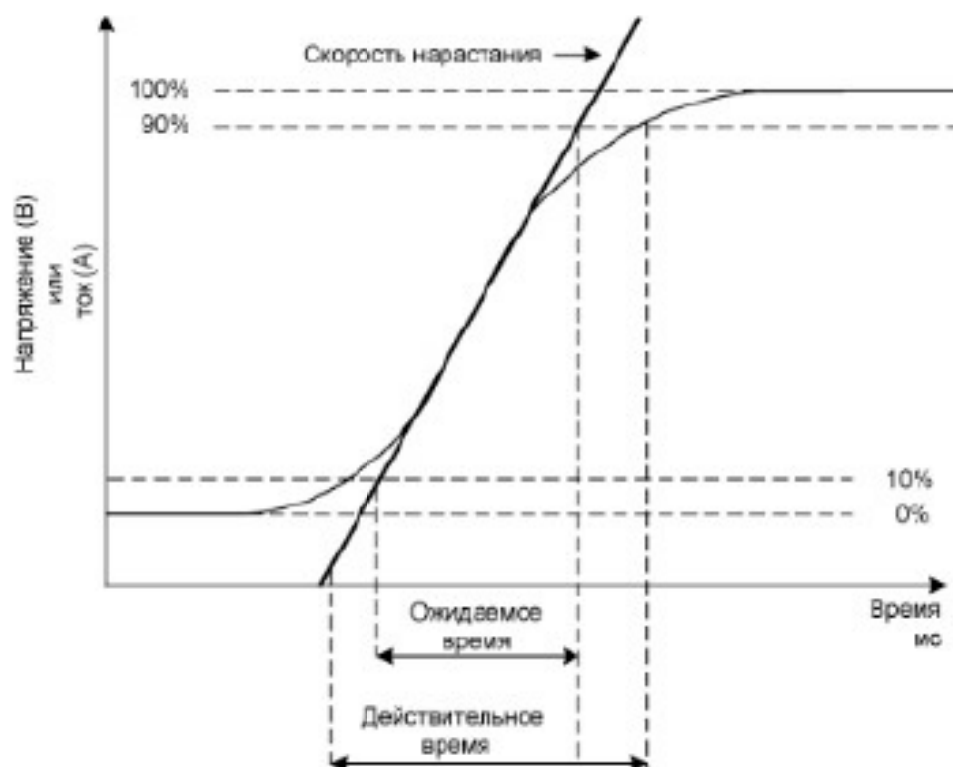


Рисунок 1.14 — Швидкість зміни струму або напруги

Електронні навантаження АКІП серії 13xx мають можливість установки різних значень крутизни зміни струму. Наприклад, для навантаження АКІП-1302 (напруга 60 В, струм 60 А, потужність 300 Вт) крутизна має межі 40 мА / мкс 2.5 А / мкс. Для навантаження АКІП-1310 (напруга 60 В, струм 360 А, потужність 1800 Вт) крутизна має межі 24 мА / мкс 15 А/мкс [4].

1.1.4. Динамічне навантаження

Найчастіше ДЖ експлуатуються і піддаються перевірці в статичному режимі - коли скидання і накинув навантаження станься епізодично або навантаження змінюється плавно. В цьому випадку компенсаційна схема стабілізації вихідної ДЖ напруги здатна підтримувати задане значення вихідної напруги. Але останнім часом широке застосування отримали навантаження, мають рід роботи, коли скидання і накинув навантаження відбувається

практично миттєво від холостого ходу до максимального значення. Наприклад робота комп'ютерного жорсткого диска, при роботі якого через нього протікає різний струм. При цьому частота зміни навантаження знаходиться в межах від одиниць герц до одиниць кілогерц. Такий режим роботи ДЖ називається динамічним. Динамічний режим застосовується для тестування перехідних процесів в джерелах живлення. При роботі в динамічному режимі електронні навантаження періодично переключуються між двома навантажувальними значеннями. На рисунку 1.15 наведена схема заміщення і форма струму електронної навантаження в динамічному режимі.

У динамічному режимі нестабільність напруги (струму) і перехідні процеси в джерелах живлення можуть бути оцінені шляхом вимірювання їх вихідної напруги для різних комбінацій значень сили струму (великий / малий), тривалості протікання великих / малих струмів і швидкості їх зміни в часі.

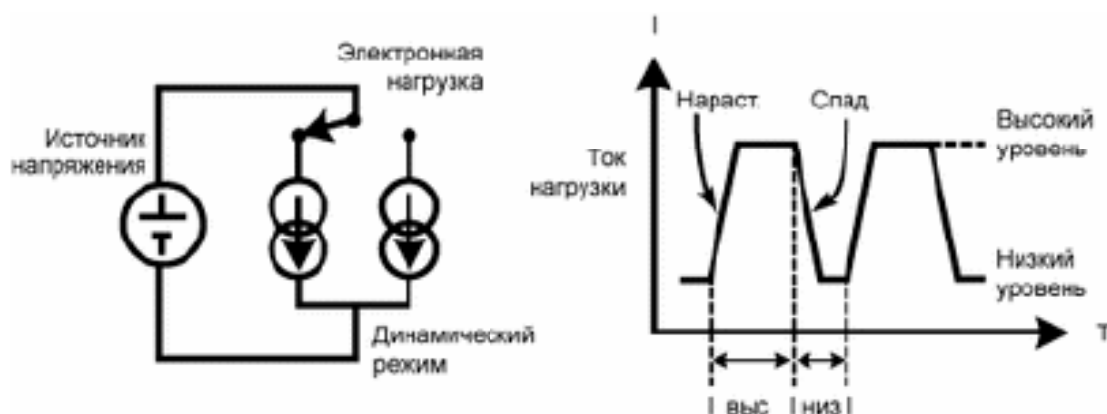


Рисунок 1.15 - Схема заміщення і форма струму електронної навантаження в динамічному режимі

Так на рисунку 1.16 представлені два графіка. Верхній - це динамічна зміна струму в навантаженні із заданими параметрами крутизни зміни струму. Нижній - це реакція компенсаційного джерела живлення, на вплив динамічного навантаження.

Як видно з рис. 1.16, при різкому збільшенні струму в навантаженні, вихідна напруга ДЖ різко зменшується. Компенсаційна схема джерела живлення прагне стабілізувати вихідну напругу до встановленого номінального

значення. Протягом часу $t_{уст}$ вихідна напруга приймає значення в межах нестабільності вихідної напруги. При різкому зменшенні струму в навантаженні, вихідна напруга ДЖ різко збільшується. Компенсаційна схема джерела живлення знову прагнучи стабілізувати вихідну напругу, зменшує його до встановленого номінального значення. Ці процеси і є перехідні процеси в джерелах живлення. Очевидно, що чим менше амплітуди сплесків і менше час встановлення $t_{уст}$ - тим якіснішим є джерело живлення.

Електронні навантаження АКИП в динамічному режимі дозволяють встановлювати не тільки діапазон зміни струму і частоту зміни, а й регулювати крутизну зміни струму і шпаруватість, що дозволяє імітувати дуже короткі («ударні») впливи на джерела живлення.

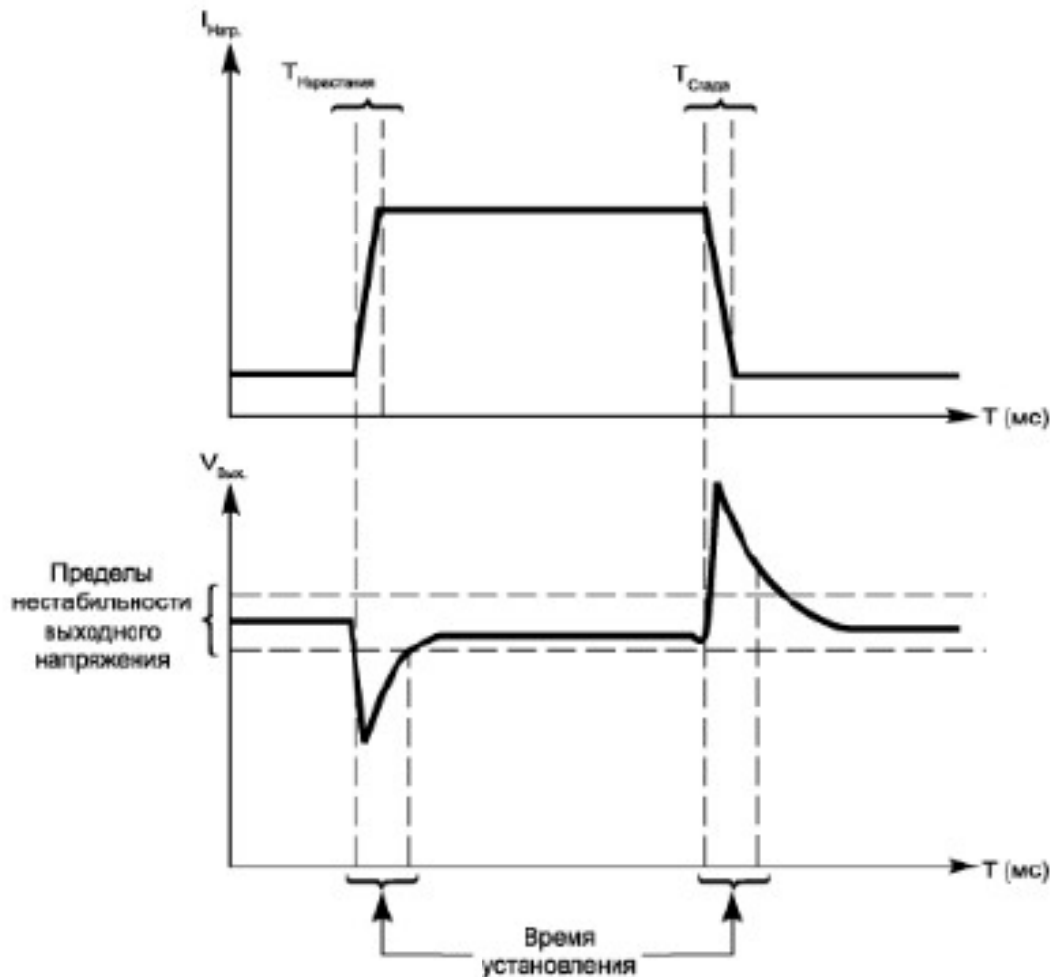


Рисунок 1.16 - Верхній - це динамічна зміна струму в навантаженні із заданими параметрами крутизни зміни струму. Нижній - це реакція компенсаційного джерела живлення, на вплив динамічного навантаження

Нескладний практичний експеримент тестування лабораторного джерела живлення при роботі на динамічне навантаження дає наочні результати, що не всі джерела живлення однакові. Так для тестування виберемо імпульсні джерела живлення GW Instek SPS-3610 і Б5-71/1. Джерела мають практичні однакові параметри SPS-3610 - 36 В і 10 А; Б5-71/1 - 30 В і 10 А. Тестування проводилися електронною навантаженням АКИП-1302, при вихідному напрузі джерел живлення 10 В, вихідному струмі 5 А, частоті проходження імпульсів струму 20 Гц, шпаруватість 50%. Контроль форми вихідної напруги ДЖ проводився осцилографом LeCroy з дільником 1:10. Форми перехідних процесів для ДЖ SPS-3610 наведені на рисунку 1.17. Осцилограма включає в себе - верхня осцилограма вихідне вихідна напруга; нижня осцилограма розтяжка перехідних процесів при збільшенні струму навантаження і при зменшенні струму навантаження.

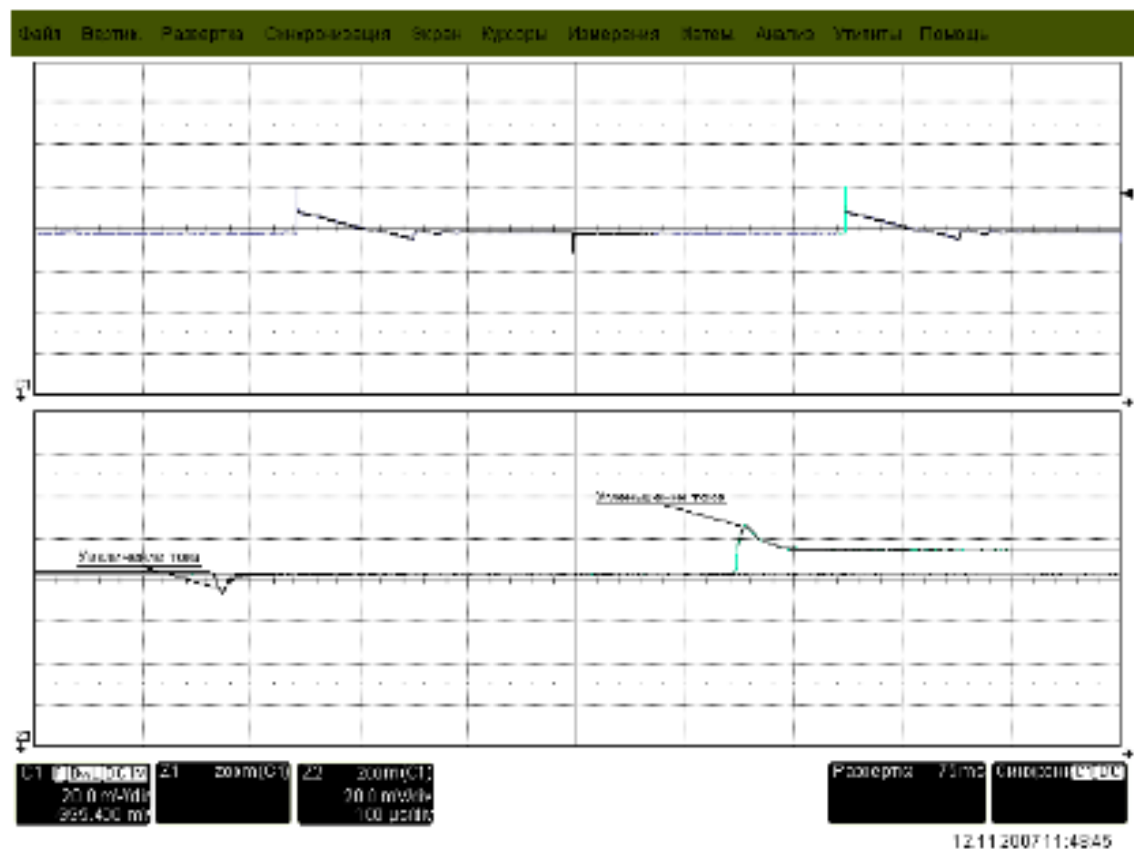


Рисунок 1.17 - Форми перехідних процесів

Форми перехідних процесів для ДЖ Б5-71 / 1 наведені на рисунку 1.18. Коефіцієнт розгортки, масштаби осцилограм розтяжки і рівні зсуву мають ті ж коефіцієнти, що і на рисунку 1.17.

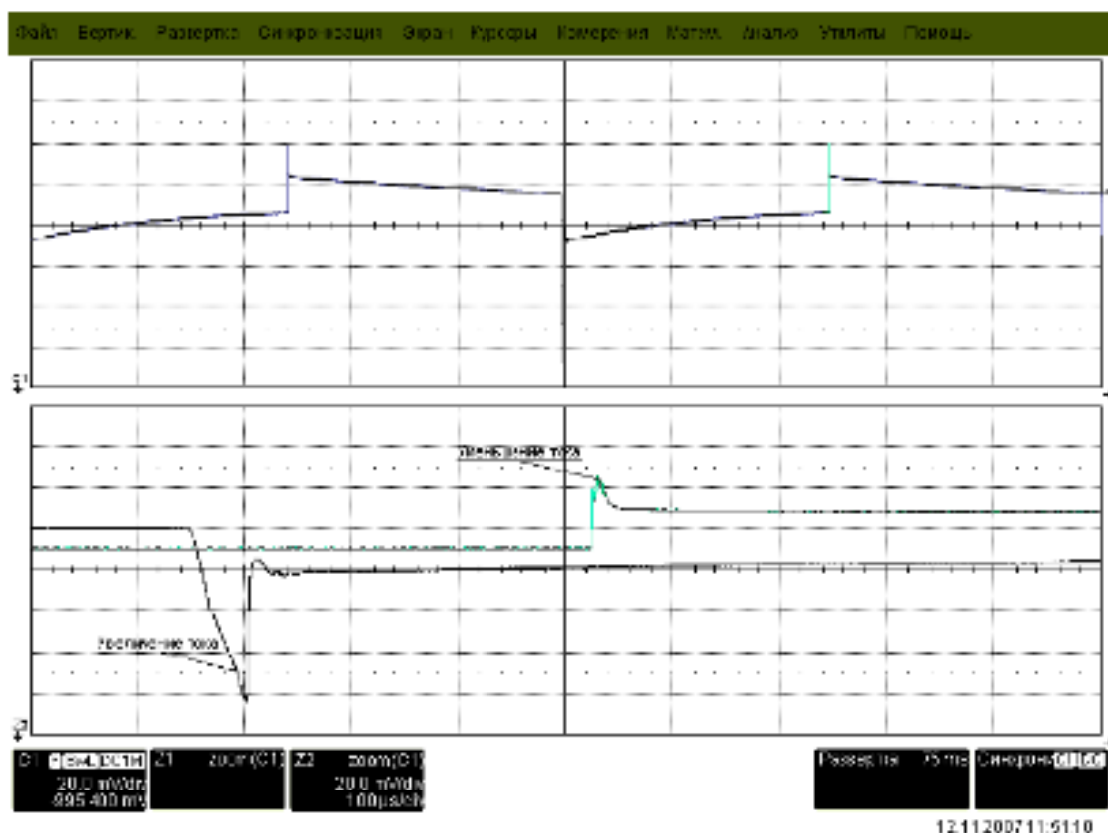


Рисунок 1.18 - Форми перехідних процесів для ДЖ Б5-71 / 1

Аналіз форм перехідних процесів на рис. 1.17 і 1.18, навіть без вимірювання параметрів перехідних процесів, показує, що ДЖ SPS-3610 має набагато менші амплітуди викидів напруги при зміні струму навантаження і час встановлення номінальної напруги так само значно менше, ніж у ДЖ Б5-71 / 1. Зокрема з осцилограм видно, що при часу перемикавання навантаження 25 мс перехідні процеси встановлення номінального значення вихідної напруги в ДЖ Б5-71 / 1 ще не закінчуються.

Особливістю електронних навантажень серії АКІП-13хх, є те, що в динамічному режимі форма струму навантаження може мати не тільки імпульсну форму, з регульованою шпаруватістю. При підключенні зовнішнього джерела з рівнем 0 ... 10 В, наприклад, генератора сигналів довільної форми,

електронне навантаження буде формувати струм, повністю співпадає за формою з формою сигналу на виході генератора сигналів довільної форми. Цей режим дозволяє імітувати реальні динамічні навантаження джерел такі як, робота імпульсних схем, перетворювачі, акустичні системи й т.д.

1.1.5. Навантаження зі змінним коефіцієнтом амплітуди

Як вже раніше зазначалося, електронні навантаження АКІП призначені для тестування ДЖ не тільки постійного струму, але і змінного струму. Це параметр, відноситься тільки для навантажень змінного струму.

Коефіцієнт амплітуди - це відношення пікового значення сигналу напруги (струму) до його середньоквадратичного значенням. Дане визначення часто використовується для специфікації максимальної пікової амплітуди, яку джерело живлення змінного струму може видати (щодо його максимального середньоквадратичного значення) без спотворень (рис. 1.19).

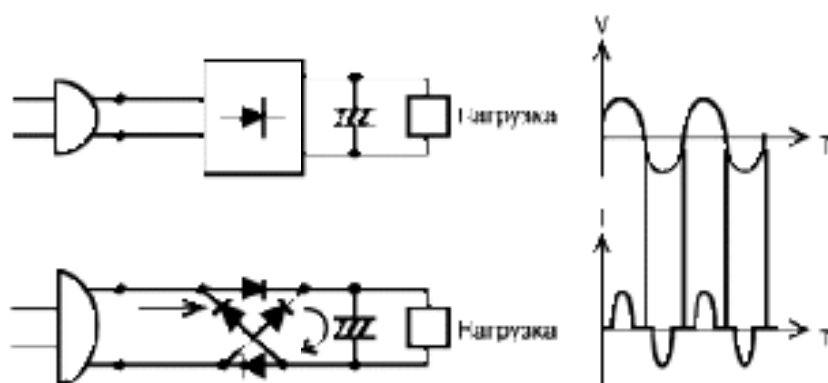


Рисунок 1.19 - Тестування в режимі змінного струму

Більшість вхідних ланцюгів живлення (без пристроїв корекції коефіцієнта амплітуди) містять діодні випрямлячі та ємнісні фільтри, які в сукупності відтворюють пульсуючий змінний струм. Основне завдання електронних навантажень змінного струму АКІП, наприклад АКІП-1317 - це імітація такої форми струму. Наприклад, типовий коефіцієнт амплітуди струму на вході

комп'ютерних систем варіюється від 2.0 до 3.0. Навантаження АКИП мають перебудовуються коефіцієнт амплітуди від 1.414 до 3.5 в 8 кроків, тобто одним і тим же середньоквадратичним значенням струму відповідають різні пікові значення, що допомагає тестувати великі пікові значення струмів [3].

1.1.6. Коефіцієнт потужності

Коефіцієнт потужності - це відношення середньої потужності до повної потужності (рис. 1.20) (тільки для навантажень змінного струму).

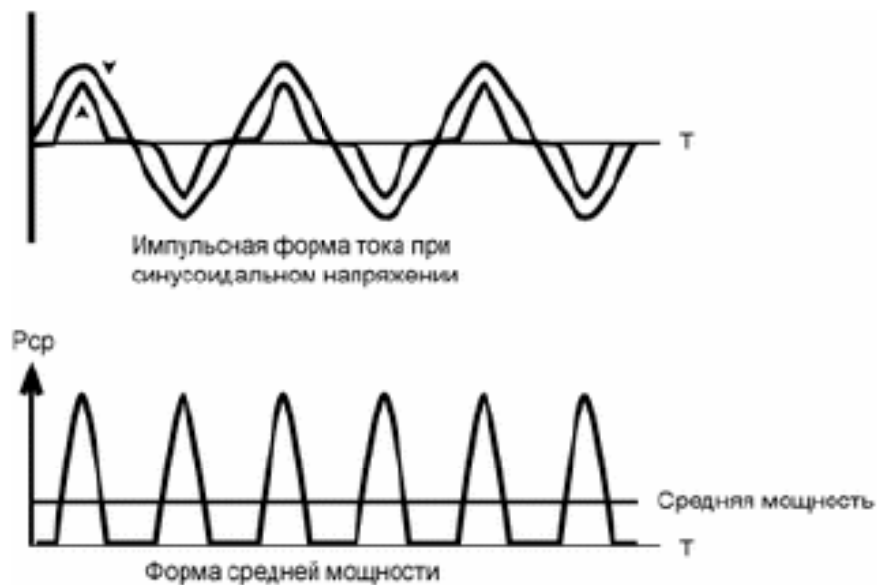


Рисунок 1.20 - Коефіцієнт потужності

У разі, якщо напруга і струм змінюються за синусоїдальним законом, то справедливо наступне рівняння:

$$P_{cp} = P = V \times A \times \cos\phi$$

Для чисто резистивної навантаження напруга і струм не мають зсуву по фазі відносно один одного, тому $\Phi = 0$, тоді $\cos\phi = \cos(0) = 1 =$ коефіцієнту амплітуди

Коли характер навантаження змінюється від чисто індуктивного до резистивної і потім до ємнісного, зрушення фаз між струмом змінюється в межах $-90 \dots 0 \dots 90$ градусів, а коефіцієнт потужності змінюється від 0 до 1.

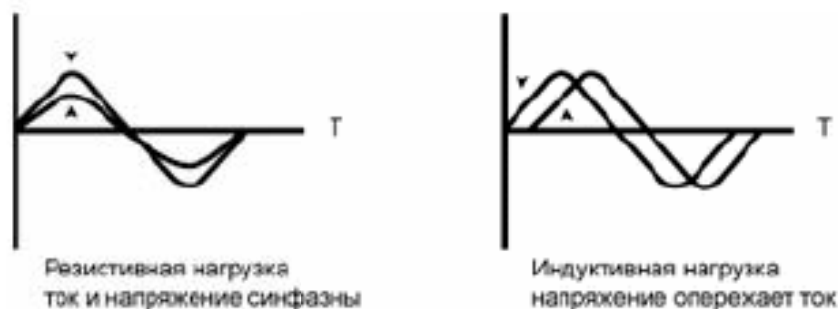


Рисунок 1.21 - Зрушення фаз між струмом

Навантаження АКИП можуть імітувати індуктивне або ємнісне навантаження шляхом програмування необхідного коефіцієнта потужності від 0 до 1, і є одними з небагатьох активних навантажень, які мають таку можливість.

1.1.7. Режим короткого замикання

Цей режим присутній як в електронних навантаженнях АКИП змінного, так і постійного струму.

Джерела живлення постійного або змінного струму мають дуже мале внутрішній опір. Тому схеми їх захисту повинні включатися при досягненні межі по вихідному струму, наприклад в умовах короткого замикання, що захищає джерело живлення від пошкодження. Навантаження АКИП можуть емулювати режим короткого замикання одним натисканням кнопки, таким чином, немає необхідності використовувати зовнішні короткозамикачі при тестуванні джерел живлення. При цьому значення струмів і напруг короткого замикання будуть відтворюватись на вимірювальних приладах електронного навантаження [3].



Рисунок 1.22 — Режим короткого замикання

1.2 Використання електронних навантажень для тестування багатоканальних ДЖ

В даний час все більше і більше число як лабораторних, так і вбудованих ДЖ, включаючи модульні ДЖ, мають число вихідних напруг більше одного, тобто є багатоканальними. Характерним прикладом багатоканальних джерел живлення є комп'ютерний блок живлення, що має 6 різних вихідних напруг. При тестуванні такого роду ДЖ, найчастіше тестування піддаються канали по черзі, що не є коректним. Перетворювальні трансформатори, що входять до складу будь-якого ДЖ, як безперервним регулюванням, так і з імпульсним регулюванням розраховані на певну потужність. Не секрет, що більшість виробників джерел живлення, особливо дешевих ДЖ з країн південно-східної Азії, прагнуть знизити вартість джерела живлення, в першу чергу намагаються заощадити, саме, на трансформаторах, що є найдорожчою частиною ДЖ і використовують трансформатори якомога нижчої потужності, містять менш чисту мідь або трансформаторне залізо і, відповідно, більш дешеві. Споживач, тестуючи такі ДЖ, найчастіше тестує один канал за іншим, не піддаючи повному навантаженні всі канали джерела живлення. При цьому створюється враження, що ДЖ цілком забезпечує заявлені технічні характеристики. Але при повному навантаженні всіх каналів, дешевий трансформатор вже не в змозі забезпечити необхідну потужність для стабілізації напруги і струму. Це як мінімум, як максимум, відбувається нагрів трансформатора і його оплавлення, і навіть можливі загоряння ДЖ.

Електронні навантаження АКИП, мають модульне виконання, дозволяють встановити в один крейт до 4 модулів електронних навантажень, що дозволяє створити 4-х канальне електронне навантаження. Застосування ж 2-х канальних модулів дозволяє створити 8-й канальне електронне навантаження. Приклад підключення 4-канальний електронної навантаженні до ДЖ наведено на рисунку 1.23

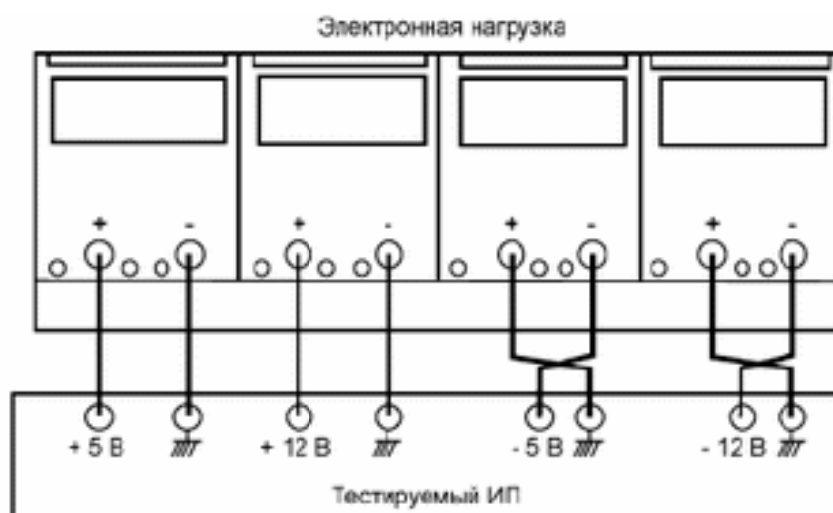


Рисунок 1.23 - Тестування багатоканальних ДЖ

1.3 Способи підключення електронних навантажень

Потужність, що використовуються в даний час ДЖ, коливається в найширших межах від одиниць Ват до сотень кіло Ват. Потужність більшості серійно випускаються електронних навантажень знаходиться в межах від 300 Вт до одиниць кВт. Збільшення потужності електронної навантаження досягається шляхом їх паралельного підключення, аналогічно паралельному з'єднанню декількох ДЖ, для збільшення вихідного струму. Приклад такого з'єднання наведено на рисунку 1.24 [5].

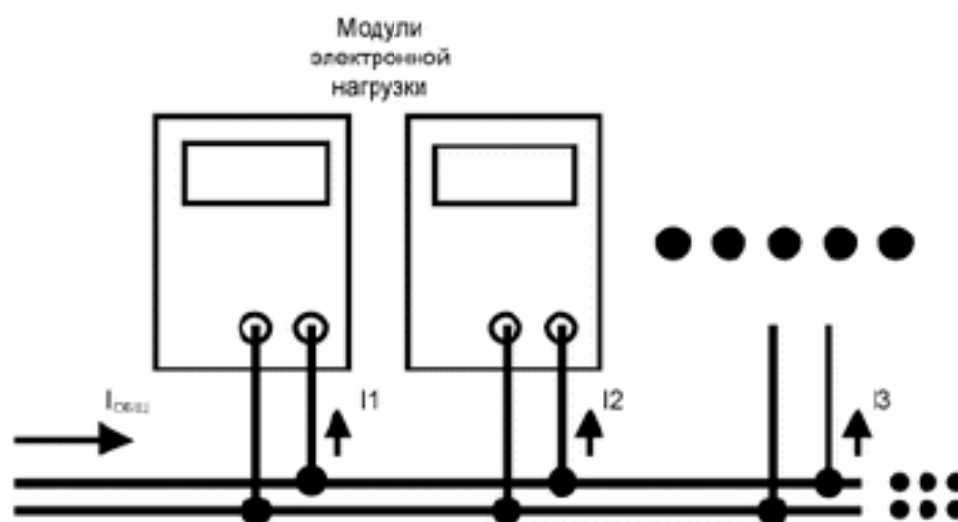


Рисунок 1.24 — Паралельне з'єднання навантажень

При реалізації паралельного з'єднання, всі електронні навантаження повинні мати одну і ту вихідну напругу. При цьому вхідний струм $I_{заг}$, буде визначатися формулою:

$$I_{заг} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n, [3]$$

де $I_1 ; I_2 ; I_3 ; I_n$ - струми створювані кожної електронної навантаженням окремо.

Загальна потужність такої системи електронних навантажень буде визначатися формулою:

$$W_{заг} = W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n, [4]$$

де $W_1 ; W_2 ; W_3 ; W_n$ - потужності кожної електронної навантаження окремо.

Особливістю застосування електронних навантажень є те, що на відміну від джерел живлення їх забороняється з'єднувати послідовно для збільшення вхідної напруги

Сучасні електронні навантаження, включаючи електронні навантаження серії АКІП-13хх, дозволяють тестувати як первинні, так і вторинні джерела живлення постійного і змінного струму не тільки в «класичним» статичному режимі, але і в динамічно режимі, повністю відображаючи поведінку реального навантаження. З все зростаючими вимогами до джерел живлення і збільшенням числа нормованих параметрів, електронні навантаження заміняють класичні пасивні реостати, не здатні в повній мірі забезпечити тестування та перевірку джерел живлення. Використання вбудованих вимірювальних приладів в електронних навантаженнях дозволяє мінімізувати число інших засобів вимірювання, які використовуються при тестуванні і перевірці джерел живлення.

Використання електронних навантажень серії ELR 9000 дозволяє істотно заощадити на вартості електроенергії. До 95% електроенергії, необхідної для тестів, перетворюється навантаженням в синусоїду і перенаправляється назад в

мережу живлення або в замкнутий контур тестового обладнання (до лічильника), компенсуючи втрати енергії в тестованому обладнанні (рис.1.25).

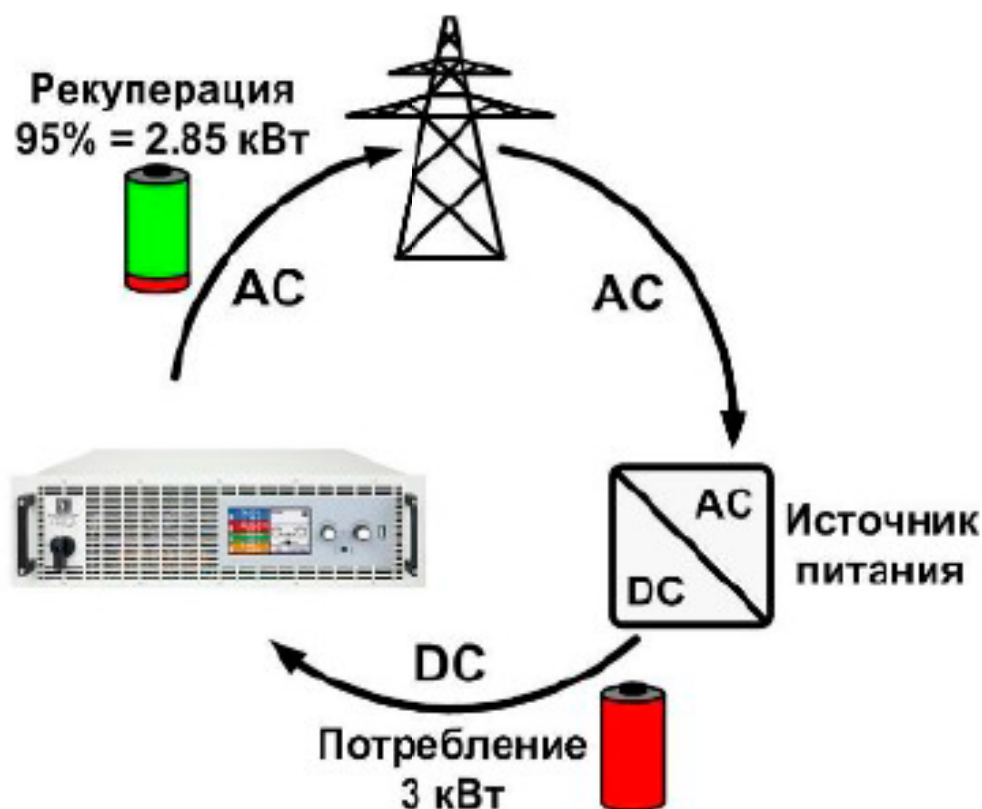


Рисунок 1.25 - Принцип рекуперації енергії

При цьому електронні навантаження також проводять моніторинг мережі, в яку повертають енергію з тієї ж фазою і частотою.

Дешевше обходяться і системи охолодження - адже потрібно розсіювати набагато менше енергії, а значить, не потрібні великі і дорогі установки повітряного або рідинного охолодження.

Електронне навантаження для рекуперації енергії можна використовувати для гальмування силових двигунів, енергія яких перетворюється в тепло або "псує" мережу підприємства. Електронне навантаження може не тільки її поглинути, але і видати назад у внутрішню мережу з ККД 90-95% чистий синус, що співпадає по частоті і фазі з основною мережею. Ця енергія може бути використана іншими споживачами підприємства і не врахована лічильниками як втрати [3].

Приклад розрахунку:

Нехай напруцювання на відмову повинен пройти джерело живлення телекомунікаційного обладнання. Блок живлення 3кВт з $U_{\text{вих}} = 48\text{В}$ тестується при струмі 62.5А. Протягом 8 годинної зміни денне споживання електроенергії становить: 24кВт/год (3кВт x 8ч, вартість кВт/год нехай буде 2грн. Для спрощення розрахунку) і цикли триватимуть 220 робочих днів на рік. Якщо використовувати електронне навантаження з функцією повернення енергії, то щонайменше 90% витраченої енергії буде повернуто.

1.4 Аналіз характеристик навантаження постійного струму Chroma 6310A

Програмовані електронні навантаження постійного струму Chroma 6310A серії ідеально підходять для випробування і аналізу функціонування багатоканальних джерел електроживлення, конвертерів DC/DC, зарядних пристроїв і силових електронних компонентів. Вони призначені для використання в області досліджень і розробки, у виробництві і вхідному контролі. Конфігурація системи задається шляхом установки обраних користувачем модулів навантаження в базовий блок (шасі). Інтерфейс користувача включає ергономічну, зручну в роботі клавіатуру на передній панелі, а також інтерфейси USB або GPIB для дистанційного керування або автоматизації процесу.

Серія 6310A включає в себе 9 різних модулів з номінальною потужністю від 100 Вт до 1200 Вт, номінальним струмом від 0,5 мА до 240 А і номінальною напругою від 0,5 мВ до 500 В. Навантаження можуть працювати в режимі стабільного струму, напруги, потужності і опору, і можуть підключатися паралельно для збільшення струму і потужності. Серія 6310A може моделювати широкий ряд динамічних навантажень. Програмуються такі параметри: швидкість зміни, рівень навантаження, тривалість і падіння напруги на навантаженні [6].

Додатково, у внутрішню пам'ять можна зберігати до 100 робочих станів

системи і, при необхідності, викликати їх для автоматизованих випробувань. У кожен модуль навантаження інтегрована схема вимірювання напруги і струму в реальному часі з 16-розрядної точністю. За допомогою зручної клавіатури на передній панелі користувач може проводити вимірювання і регулювання напруги та струму або моделювати струм короткого замикання. Додатково, серія 6310A надає можливість установки контролера дистанційного керування для автоматизованих виробничих ліній.

Електронні навантаження 6310A мають програми автоматичного контролю для підтримки характеристик приладу в належному стані. Крім того, вони забезпечують захист від перевантаження по потужності (OP), струмовий захист (OC), захист від перегріву (OT) і перенапруги (OV), а також сигналізацію при недотриманні полярності при підключенні.

Програмовані електронні навантаження Chroma 6310A серії мають вбудовані в кожен модуль і шасі мікропроцесорні засоби для забезпечення простої і точної паралельної роботи і оптимізації швидкості і управління декількома модулями навантаження. Всі модулі навантаження можна налаштувати на синхронну роботу для одночасної перевірки декількох виходів, моделюючи тим самим реальні умови роботи устаткування.

Шасі 6314A (Потужність 1400 Вт) і 6312A (700 Вт) допускають установку декількох обраних користувачем модулів електронних навантажень Chroma 6310A серії для отримання потрібної конфігурації і можуть монтуватися в 19" приладової стійці. Шасі 6314A може вмістити до чотирьох модулів 63102A, що в результаті дає 8 - каналне навантаження по 100 Вт на канал зі стандартним введенням даних з передньої панелі. Це робить її ідеальною для випробувань багатоканальних імпульсних джерел електроживлення і DC/DC-конвертерів. Також є модулі підвищеної потужності, які можуть комбінуватися для створення більш гнучкої системи. Додатково, вихідний порт GO/NG знадобиться для відбраковування випробовуваних пристроїв за критерієм «придатний/не придатний» в автоматизованих виробничих лініях. Всі модулі в шасі використовують загальний адрес GPIB для синхронізації і прискорення

управління модулями навантаження, а також зчитування даних.

Електронні навантаження Chroma 6310A серії працюють в режимах стабільного струму, стабільної напруги, стабільної потужності і стабільного опору, задовольняючи широкому ряду вимог. Наприклад, можна легко змодельовати випробування зарядних пристроїв, встановивши навантаження на роботу в режимі стабільного напруги.

Кожен модуль навантаження розроблений за найсучаснішою технологією з паралельним включенням силових MOSFET- транзисторів для забезпечення високоточного управління навантаженням з мінімальним дрейфом, не більше $0,1\% \pm 0,1\%$ від повної шкали струму. Використовуючи техніку на польових транзисторах, навантаження виробництва Chroma надають мінімальний вхідний опір і дозволяють пропускати великі струми на дуже низькій напрузі. Наприклад, модель 63123A може пропускати струм 70 А при напрузі 0.6 В і відмінно підходить для випробувань низьковольтних джерел живлення на 3,3 В. Робота на низькій напрузі, близько 0 В, можлива при зниженні рівня струму.

Навантаження Chroma 6310A серії використовують оптичну розв'язку для поділу вихідних і керуючих секцій, таким чином, кожне навантаження є окремою, ізолюваною від корпусу. Користувач може використовувати кілька модулів незалежно один від одного для випробувань багатоканальних джерел живлення або включати їх паралельно для випробувань з високою потужністю.

Сучасні електронні пристрої працюють на дуже високих швидкостях і вимагають швидкого динамічного управління своїми силовими компонентами. Щоб відповідати вимогам до випробувань, навантаження 6310A серії забезпечують високошвидкісні програмовані можливості моделювання навантаження і її управління. На рисунку 1.26 показані програмовані параметри навантажувальних модулів серії 6310A.

Програмована швидкість зміни уможливорює моделювання короткочасних змін навантаження, що залежать від реальних умов експлуатації. Вбудований в 6310A серію генератор сигналів здатний відтворити максимальну швидкість зміни 10А / мкс і динамічним повторенням з частотою 20 кГц. Спеціальна схема

дистанційного вимірювання і регулювання забезпечує мінімальне спотворення форми коливання під час змін навантаження.

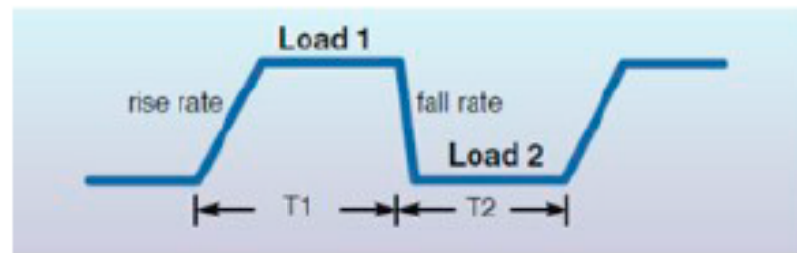


Рисунок 1.26 — Параметри програмування джерела

Програмовані електронні навантаження Chroma серії 6310A забезпечує паралельне управління, яке дозволяє проводити випробування з великою потужністю, коли окремий модуль не може відповідати вимогам обладнання високої потужності. Для досягнення бажаної потужності навантаження два або кілька модулів можна включати паралельно. Chroma 6310A в стандартному комплекті поставки поставляється з інтерфейсом RS-232 для дистанційного керування і використання в системах автоматизованих випробувань. Опціонально є інтерфейси USB і GPIB. Контролюючи кілька навантажень за допомогою синхронного управління, 6310A додатково надає ефективне рішення для випробувань одноканальних перетворювачів AC/DC або DC/DC. Chroma 6310A дозволяє одночасно відчувати до 8 пристроїв.

Кожен модуль навантаження Chroma 6310A має вбудований 16-розрядний АЦП для вимірювання з похибкою $0,025\% \pm 0,025\%$ від повної шкали. Вбудована схема вимірювання струму резистивного навантаження здатна вимірювати струм з похибкою $0,04\% + 0,04\%$ від повної шкали. Крім напруги і струму, передбачена можливість вимірювання потужності. Ця функція робить роботу з навантаженнями більш зручною для користувачів, економлячи час на розрахунок потужності. Крім того, можна моделювати струм короткого замикання. Всі вимірювання виконуються за допомогою дистанційного, щоб виключити будь-яку похибку через падіння напруги в проводах [6].

Сучасні імпульсні джерела електроживлення розробляються зі схемою захисту від перевантаження по струму. Тому дуже важливо перевіряти схему

захисту, щоб переконатися в її належному функціонуванні в межах розрахункових технічних параметрів. Chroma 6310A надає просте і швидке рішення для таких перевірок. Просто вибравши канал і задавши параметри струмового захисту (початковий струм, кінцевий струм, ступінь по струму і час витримки) з передньої панелі, можна швидко і без труднощів перевірити струмовий захист. Навантаження автоматично визначить точку спрацьовування струмового захисту, що ідеально підходить для перевірки правильності проектного рішення, а також для випробувань на виробничих лініях.

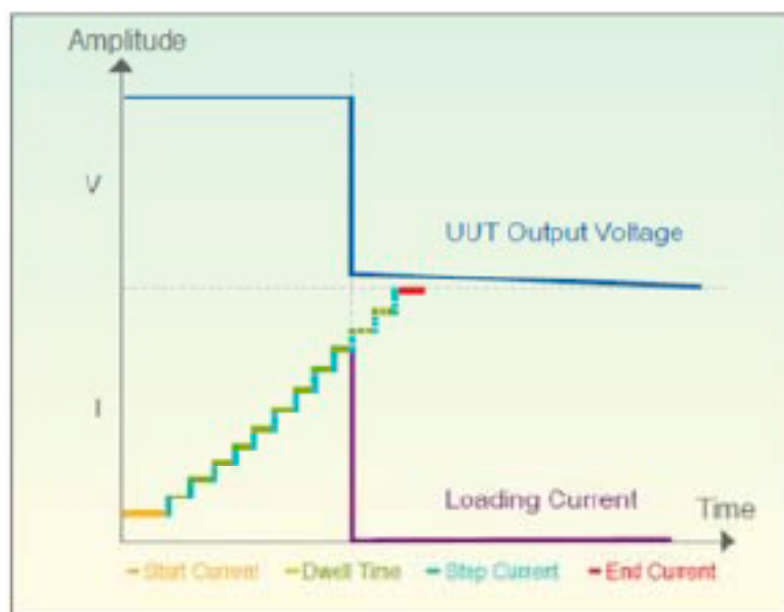


Рисунок 1.27 - Задання параметрів струмового захисту

У навантаженнях Chroma 6310A серії також передбачена функція вимірювання і управління по часу, яка дозволяє виконувати прецизійний відлік часу в діапазоні від 1 мс до 86400 с. Ця функція дає користувачеві можливість задавати значення кінцевої напруги і часу завершення для перевірки часу розряду акумуляторів та інших подібних завдань. Наприклад, на рисунку 1.28 показаний запуск вбудованого в Chroma 6310A таймера при подачі навантаження і його відключення після досягнення кінцевої напруги акумуляторної батареї. Функцію управління по часу можна використовувати для випробування акумуляторних батарей, а також для інших подібних завдань.

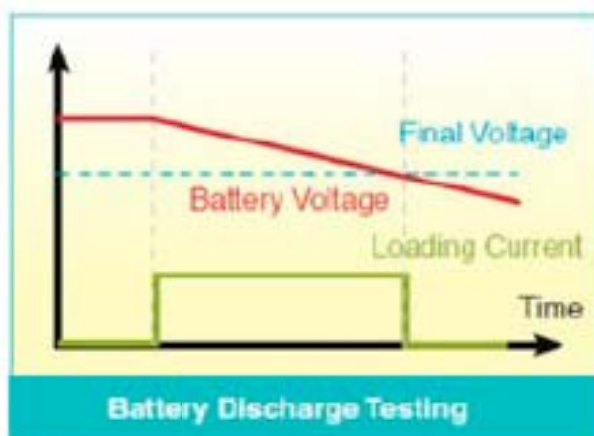


Рисунок 1.28 - Функція вимірювання і управління по часу

Інтерфейс дискретного введення/виведення робить навантаження DC Chroma 6310A серії задовільним вибором, що відповідає вимогам до автоматизованих випробувань. За допомогою цифрового введення/виводу, Chroma 6310A може приймати дискретні сигнали для запуску своїх функцій (включення / відключення навантаження, перевірка струмових захистів і т.д.), а також сигнали поточного стану виходу.



Рисунок 1.29 - Зовнішній вигляд серії Chroma

Таким чином, можна сформулювати основні функціональні можливості, які необхідні для проектування електронного навантаження на цей час. Далі розглянемо елементну базу для побудови електронного навантаження.

2 ЕЛЕМЕНТНА БАЗА ДЛЯ ПОБУДОВИ АКТИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

В інформаційно-керуючих системах складних рухомих об'єктів, таких як літаки, вертольоти, доладна наземная важка техніка, автокранів, трубоукладчики и т. інш., зараз використовують конструктивно і функціонально закінчені джерела живлення з різними цифровими інтерфейсами. Для проектування електронного навантаження для таких джерел розглянемо основні схемотехнічні рішення, які можна використовувати на цей час.

При випробуванні різних блоків живлення виникає необхідність змінювати струм в навантаженні в широких межах. Безумовно найпростішим варіантом вирішення цієї проблеми є використання реостата. Але він занадто громіздкий і не завжди зручно з ним працювати, тим більше що доводиться використовувати велику кількість проводів для підключення вимірювальної техніки.

Останнім часом збільшилася кількість пристроїв і інструментів з автономним живленням, де використовуються акумулятори, а вони, як відомо не люблять ні перезаряда ні перерозряда. Однак справжню ємність АКБ можна дізнатися тільки в разі вимірювання енергії, що віддається, тобто при розряді, і бажано постійним за величиною струмом. Для цього в вимірювальному приладі з попередньої статті, який є універсальним і для електронної навантаження і для блоку живлення і була передбачена функція підрахунку А·ч. А для автоматизації розрядного процесу передбачено відключення навантаження при досягненні порогового значення мінімальної напруги на АКБ при розряді. Саме тому даний прилад дуже зручний при роботі з АКБ.

Випускаються на даний момент пристрої для електронних навантажень спільно з блоком індикації і управління дозволяють:

- імітувати опір навантаження різної величини в ланцюгах постійного струму з робочою напругою 1 ... 30В;
- вимірювати напругу на навантаженні і струм в ній;

- виставляти необхідний струм в навантаженні в двох діапазонах (0 ... 0,99А і 0 ... 9,99А) за допомогою енкодера двічі натиснувши на його кнопку;
- визначати місткість АКБ (до 99,9А-ч) при розрядці постійним струмом;
- відстежувати температуру теплоотводів транзисторів;
- відстежувати залишкову напругу на АКБ, а в разі досягнення граничного значення відключати навантаження.

Існує багато перевірених варіантів схем силової частини, найпопулярніші з них представлено на рис. 2.1 - рис. 2.3.

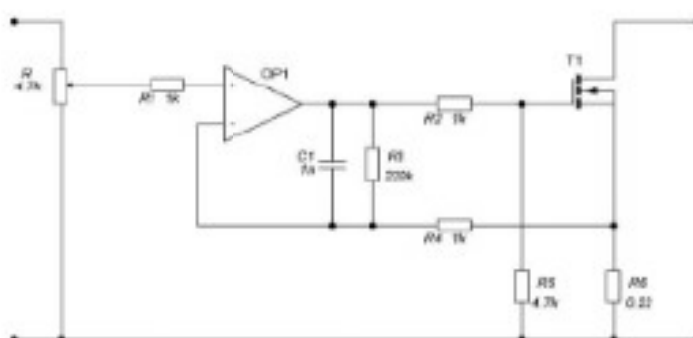


Рисунок 2.1 — Варіант силової частини на польовому транзисторі

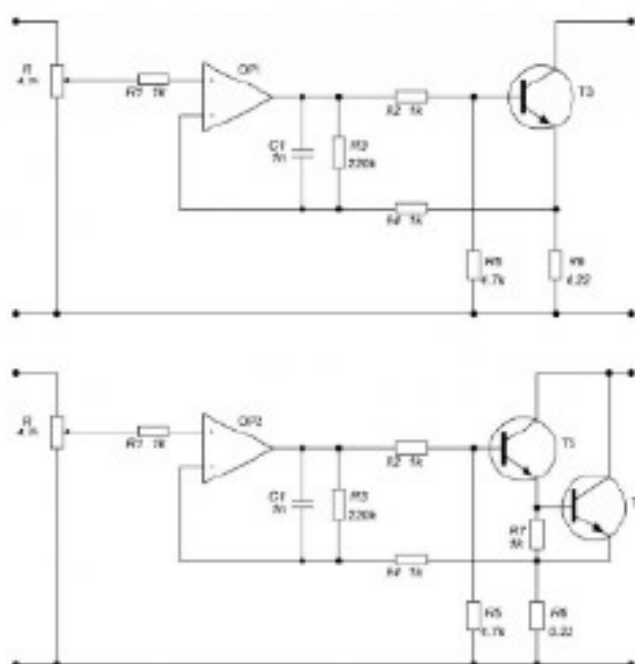


Рисунок 2.2 — Варіант силової частини на біполярних транзисторах

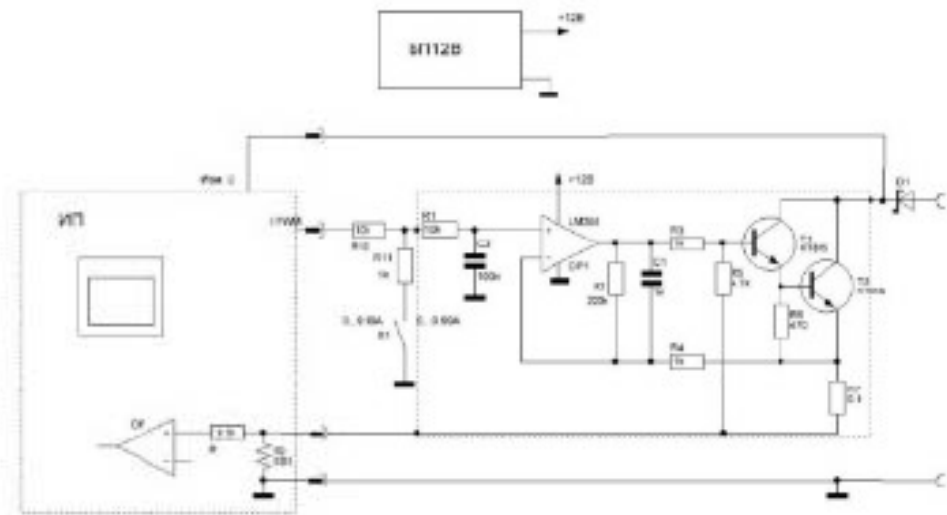


Рисунок 2.3 — Варіант силової частини з джерелом живлення

Частина схеми обведена пунктиром може бути клонована необхідну кількість разів (в залежності від необхідної потужності). Вихід струмового каналу PWM підключений до неінвертуючий вхід ОП. Шунт вимірювальний прилад включений в розрив силового ланцюга. Для запобігання виходу з ладу при зміні полярності варто ставити діод Шотткі. Це самий бюджетний і швидкий варіант хоча існує звичайно ж безліч таких варіантів. Загалом, це недорогий, дуже зручний, багатофункціональний і затребуваний прилад [7].

2.1 Сучасні мікросхеми для датчиків електронного навантаження

У сучасних системах електронного навантаження число різних автономних датчиків, які поставляють телеметричну інформацію про поточний стан, неухильного підвищується. Безперервно збільшується їх точність та швидкодія. Інтенсивними стають потоки інформації, що надходять від датчиків до системи управління. У міру зростання продуктивності мікроконтролерів та зниження їх вартості з'являються замкнуті локальні системи управління окремими модулями технологічних систем. Виникають роботизовані пристрої, які можуть діяти автономно або під управлінням глобальних команд з зовнішньої системи управління.

Розвиток подібних систем неможливо без вдосконалення інтелектуальних датчиків, здатних легко включатися в системи збирання даних. Іншими словами, сучасні датчики повинні володіти розвинутими інтерфейсами і нормованими (стандартизованими) форматами передачі даних.

Крім того, з проникненням мікропроцесорних систем управління в усі менш габаритні об'єкти управління вимоги по масогабаритні характеристики і надійності до цих приладам постійно зростають.

У той же час існує і безперервно зростає потреба в датчиках фізичних величин, що володіють підвищеною точністю вимірювання в порівнянні з аналоговими, або що відрізняються підвищеною стійкістю до зовнішніх магнітних полів.

Розвиток мікросхем пройшло три стадії:

1. Прості аналогові мікросхеми з одноразовою калібруванням параметрів. Більшість мікросхем масового виробництва випускаються по такій архітектурі. До них можна віднести всілякі вимірювачі на основі елементів Холу (датчики струму і положень).

2. Мікросхеми з вбудованими кінцевими автоматами, які реалізують коригувальні поліноми. До них відносяться мікросхеми, призначені для обробки сигналів датчиків на основі мостових резистивних чутливих елементів. Як правило, такі мікросхеми використовуються для корекції мікросхем з відхиленням від лінійності не більше $\pm 5\%$, або вони мають великий масив ПЗП для організації кусочно-лінійної апроксимації з кількістю ділянок апроксимації 100 і більше.

3. Мікросхеми з вбудованими мікроконтролерами. Найчастіше на основі цих мікросхем можна побудувати конструктивно і функціонально закінчений датчик з вбудованими інтерфейсами [8].

2.2 Мікросхеми для обробки сигналів з датчиків

2.2.1 Вимірювання струму

Вимірювання струму виробляються найрізноманітнішими способами, але до сих пір найбільш популярним способом залишається вимір струму за допомогою резистору. Базовий принцип цього методу - посилити падіння напруга на струмовимірювальні резистори, використовуючи диференційний підсилювальний каскад на ОП, а потім виміряти отримане напруга. Хоча для побудови підсилювача можна використовувати дискретні компоненти, інтегральні струмові підсилювачі мають значні переваги перед своїми дискретними опонентами. У них менше температурний дрейф, для їх розміщення потрібно менше місця на друкованій платі, вони здатні працювати в широкому діапазоні синфазних сигналів.

У більшості випадків вимір струму робиться або з боку позитивної шини живлення (у верхньому плечі), або з боку земляний шини (в нижньому плечі). У разі вимірювань в нижньому плечі вимірювальний резистор включається послідовно з шиною землі. При такому включенні синфазна складова вхідного напруги буде невисокою, а вихідна напруга буде прив'язане до землі. Однак вимірювальний резистор при цьому вносить небажану додатковий опір на шляху протікання струму на землю. При вимірах в верхньому плечі вимірювальний резистор включають послідовно з шиною позитивного живлення. В цьому випадку навантаження виявляється заземленої, але резистор повинен справлятися з відносно великим синфазним напругою.

У струмовимірювальних підсилювачах верхнього плеча компанії Maxim використовується струмовимірювальні резистори, розташовані між позитивним виводом джерела живлення і входом, на який подається напруга живлення для цієї схеми, моніторинг якої проводиться. Таке розміщення виключає внесення додаткового опору на шляху протікання струму навантаження на землю, що істотно спрощує розведення плати і покращує технічні характеристики схеми в цілому. Серед великої різноманітності односпрямованих і двонапрямлених струмовимірювальних інтегральних схем компанії Maxim є прилади як з вбудованими струмовимірювальні резистори, так і без них [9, 10].

2.2.2 Аналогові мікросхеми з одноразовим калібруванням ACS713

Мікросхема є датчик струму з вбудованим вимірювальним провідником. Величина вимірюваного струму від 5А до 30А. Структурна схема мікросхеми показана на рис. 2.4 [11].

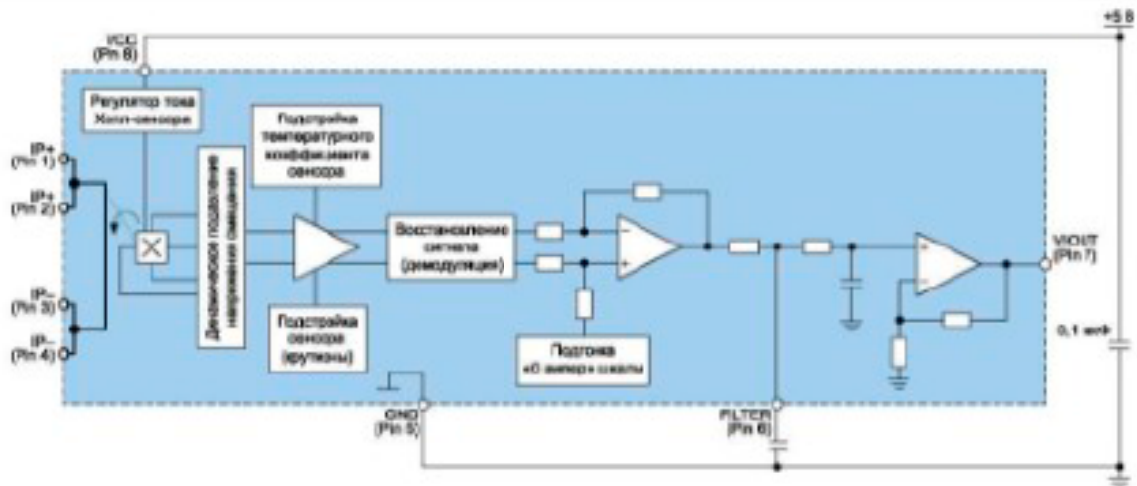


Рисунок 2.2 — Структура ACS713

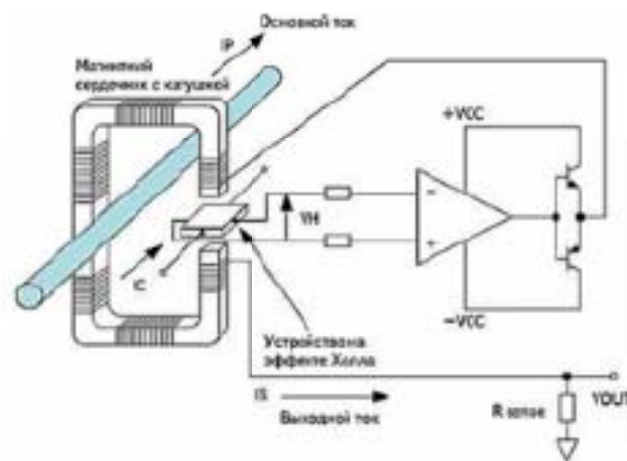


Рисунок 2.4 - Принцип обработки сигнала магнитного датчика в мікросхемі ACS713

2.3 Мікроконтролери для обробки інформації з датчиків

В якості керуючого ядра найбільш часто використовуються наступні типи ядер: 8051, 8052, AVR, MSP430, ARM-CortexM0, ARM-CortexM3 і інші.

З перерахованого списку видно, що в ходу 8-, 16- і 32-розрядні ядра. Але в міру зменшення проектних норм і, як наслідок, скорочення площі цифрових вузлів намітилася стійка тенденція в бік 32-розрядних ядер, в першу чергу

ARM-Cortex Mxx. Завдяки ефективній системі команд Thumb2 дане сімейство дозволяє використовувати невеликий обсяг пам'яті команд, тому воно набуло широкого поширення і використовується в якості вбудованого обчислювального ядра більш ніж сотнею фірм, зайнятих розробкою універсальної та спеціалізованої елементної бази. Також ефективність мікросхем підвищується завдяки застосуванню функціонально закінчених реконфігурованих цифрових кінцевих автоматів, зокрема контролерів послідовних інтерфейсів [12, 13].

Наведемо як приклад архітектури мікросхему ADuC7060 (рис. 2.25) з двома вбудованими каналами DS-ADC і одним каналом DAC виконана на основі ядра ARM7TDMI (займає площу менше $0,5 \text{ мм}^2$) і оснащена декількома послідовними портами. В активному режимі на частоті 10 МГц споживає не більше 10 мА. Така архітектура дозволяє одночасно вимірювати струм та навантаження, отже розраховувати потужність та різні коефіцієнти.

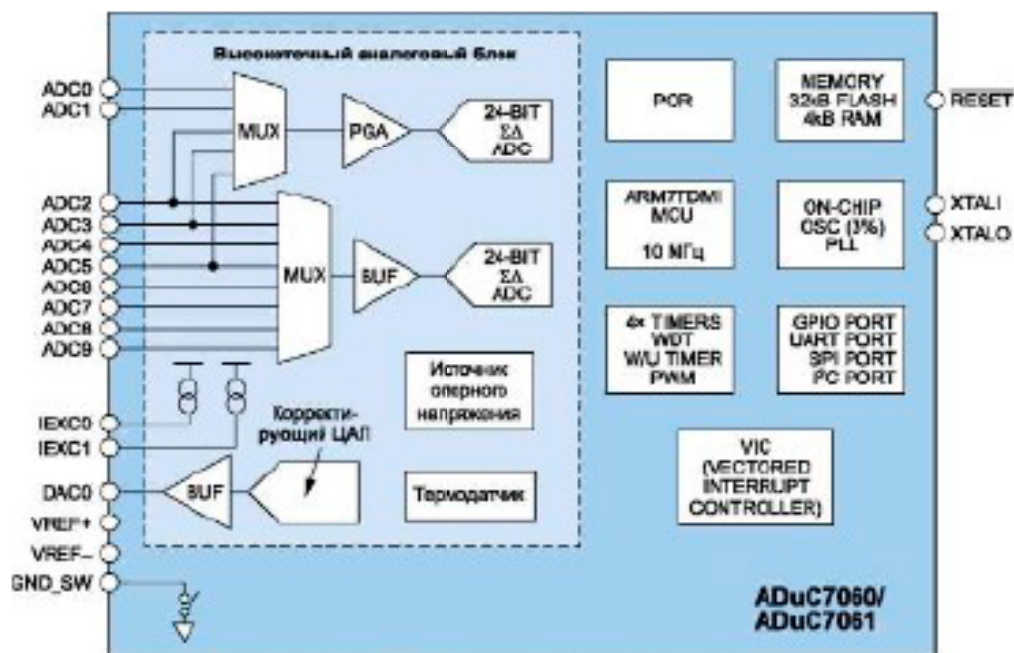


Рисунок 2.25 - Структурна схема мікроконтролера ADuC7060

Крім DS-ADC, архітектура будь-яких особливостей не має. Розмір корпусу у виконанні LFCSP не більше $5 \times 5 \text{ мм}$, що дозволяє легко інтегрувати дану мікросхему в конструкцію різних датчиків. Мікросхеми даного сімейства містять в своєму складі навіть USB2-контролери і радіоканали. Тому наводимо одну з найбільш малогабаритних мікросхем даного сімейства - MSP430F1222.

Розмір корпусу не перевищує 5x5 мм.

З урахуванням великого обсягу номенклатури мікросхем і теми роботи, аналіз мікросхем для датчиків проведено в частині мікроконтролерів, оптимізованих для пристроїв первинної обробки інформації.

На ринку периферійних мікроконтролерів провідними фірмами більш ніж з 80% часткою присутні компанії Microchip, Analog Devices, Texas Instruments, Acom, Silicon Labs.

Для розробки апаратури роботи з датчиками Microchip випускає сімейство dsPIC30F (4 типомінала) в розвиток серій dsPIC33 (54 типомінала), PIC24H, PIC24F (66 типоміналів).

Microchip також пропонує широку номенклатуру 8- і 32-розрядних мікроконтролерів сімейств tinyAVR, megaAVR, XMEGA AVR, AVR-UC3 (32 біт), а також на основі ARM- ядер. Мікросхеми виробляються в корпусах на 8-100 виводів. Номенклатура перевищує 100 типоміналов.

Інтерес представляє серія AT90CAN128 на основі ядра CortexM0+, націлена саме на роботу з датчиками і випускається в корпусах невеликого розміру. До недоліків можна віднести АЦП малої розрядності [14].

На відміну від Microchip компанія Analog Devices зробила ставку на мікроконтролери з вбудованими АЦП високої розрядності. Серії мікроконтролерів ADUC8 і ADUC7 містять АЦП з роздільною здатністю до 24 розрядів, а також ЦАП до 14 розрядів. Причому АЦП і ЦАП високої розрядності є в мікросхемах з кількістю виводів не більше 56 і корпусах розміром не більше 10x10 мм.

На особливу увагу заслуговують мікроконтролери останніх років на основі ядра ARM Cortex M3. Наприклад, ADUCM320 в BGA- корпусі розміром 6x6 мм. Мікросхема містить в своєму складі 4 ЦАП з струмовим виходом до 150 мА.

Загальна номенклатура мікроконтролерів від Analog Devices для обробки сигналів датчиків перевищує 40 типоміналів. Texas Instruments представляє найбільш широку лінійку мікроконтролерів для обробки сигналів різних

датчиків, а також на додаток до мікроконтролерів випускає спеціалізовані мікросхеми для попередньої обробки цих сигналів.

Загальна номенклатура мікроконтролерів, які можна застосувати для обробки сигналів датчиків, становить 510 типоміналів, в тому числі 309 типів серії MSP430 і 16 типів з вбудованим радіоканалом.

Фірма Asam випускає серії TDC, UFC, PicoCAP, PicoStrain, PicoTurn. Ці мікросхеми націлені на створення мікропотужних перетворювачів сигналів датчиків в різних областях вимірювання потоків і температур (витратоміри). Середня потужність споживання може становити менше 3 мкВт.

Фірма Silicon Labs йде в основному в фарватері Analog Devices з деякими особливостями архітектури вбудованих мікропроцесорів, що дозволяє їм стійко тримати свій сектор ринку.

Загальна номенклатура мікроконтролерів від Silicon Labs для обробки сигналів датчиків складає більше 30 типоміналів.

Таким чином, на зарубіжному ринку присутні понад 800 типів різних мікроконтролерів, за своєю архітектурою призначених для обробки сигналів з різних датчиків.[12, 13]

Таким чином, критеріями за якими потрібно обирати мікроконтролери для обробки сигналів з датчиків для потреб електронного навантаження зводиться до того щоб вони мали в своєму складі кілька електронних вузлів, - наприклад, від двох-трьох до десяти, - оптимізованих для обробки сигналів первинних перетворювачів фізичних величин без додаткових зовнішніх активних навісних елементів.

3 АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ АКТИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ

3.1 Мікросхеми живлення

Одне з найпростіших рішень щодо захисту входів від імпульсних перешкод ДЖ пропонує фірма Maxim [9]. Це ряд спеціалізованих мікросхем - обмежувачів напруги (MAX6495-MAX6499). Мікросхеми з зовнішнім потужним NMOS- транзистором дозволяють захистити навантаження як від вхідної перенапруги, так і від зміни полярності. Резистори R1 і R2 задають поріг спрацьовування захисту від перенапруги (рис. 3.1).

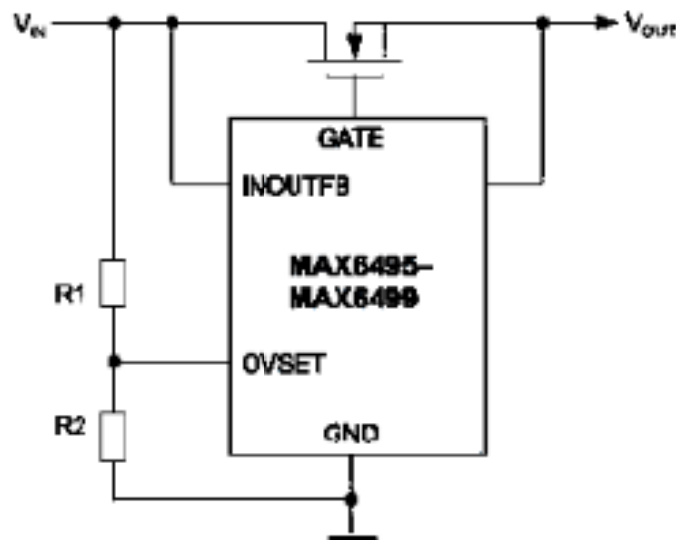


Рисунок 3.1 — Обмежувач напруги

Таке рішення доцільно застосовувати для захисту пристроїв з малим і надмалим споживанням 0,25-10 .. 20 Вт, якими є ланцюги електронного навантаження.

Проте сучасні вимоги до малогабаритних інтелектуальним датчикам змушують розробників зменшувати розміри вузлів живлення. Це можливо через малу споживаної потужності датчиком в цілому. У сучасних датчиків дана величина становить менше 200-300 мВт, навіть з урахуванням інтерфейсу.

Подібні рішення вимагають появи на ринку елементної бази сверхмалогабаритних джерел живлення з вихідною потужністю нижче 1 Вт і

об'ємом менше 2 см^3 .

Частково перерахованим умовам (немає захисту від імпульсів і переполісовки) задовольняє модуль LTM8020, при габаритах $6,25 \times 6,25 \times 2,32 \text{ мм}$ (менше $0,1 \text{ см}^3$) характеризується вихідною потужністю до 1 Вт і потребує всього в трьох елементах зовнішньої об'язки розміром не більше 0603. Тобто на основі цього модуля можна побудувати джерело живлення об'ємом менше 1 см^3 , повністю відповідний регламентам для електроустаткування.

Технічне рішення імпульсного стабілізатора без гальванічної розв'язки з підвищеним вхідним напругою можна розглянути на прикладі мікросхем LinkSwitch-TN Family від Power Integrations (LNK302-LNK306). На основі наведених мікросхем реалізуються імпульсні джерела живлення з вихідною потужністю від 0,25 Вт до декількох ват. Детальний опис застосування цих мікросхем наведено в Application Note AN-37, April 2009. Відзначимо, що дані мікросхеми виконані по високовольтній технології з вбудованими транзисторами на робочу напругу до 700 В.

Для організації живлення від мережі +27В з допустимими перенапруженнями до 90 В оптимальна мікросхема LM5019 від TI, що виготовляється по високовольтній DMOS- технології. Без будь-яких додаткових захисних пристроїв, крім діода захисту від зміни полярності, мікросхема дозволяє виконати на її основі блок живлення потужністю до 1 Вт на площі менше 1 см^2 . ККД при номінальній напрузі 24 В і струмі навантаження 60-80 мА становить не менше 80%, тобто в номінальному режимі мікросхема розсіює не більше 200 мВт і не вимагає спеціальних заходів щодо відведення тепла.

Внутрішня структура мікросхеми LM5019 показана на рис. 3.2. Типова схема включення мікросхеми наведена на рис. 3.3. Схема містить: вхідний конденсатор фільтра CIN, вихідний фільтр L1 COUT, резистори зворотного зв'язку RFB1 і RFB2 і пасивні навісні елементи, які, згідно з описом для мікросхеми, необхідні для її коректної роботи.

Texas Instruments пропонує в мікросхемі TPS55010 дуже оригінальне технічне рішення для мікросхем джерел живлення з широким діапазоном

вхідних напруг і струмів навантаження без організації безпосередньої ланцюга зворотного зв'язку.

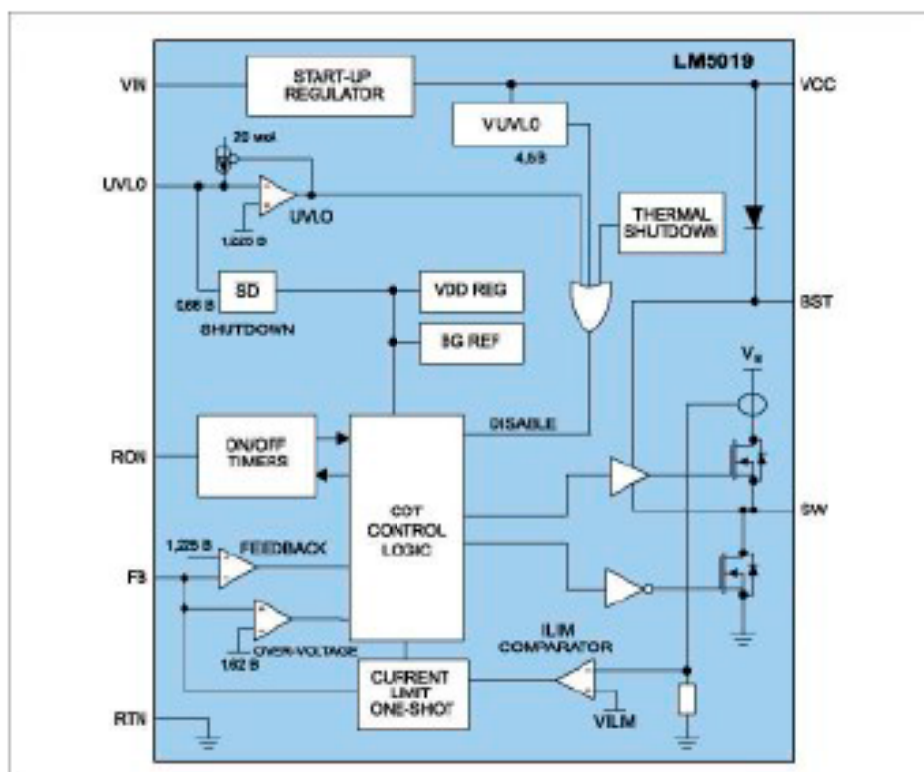


Рисунок 3.2 — Структура мікросхеми LM5019

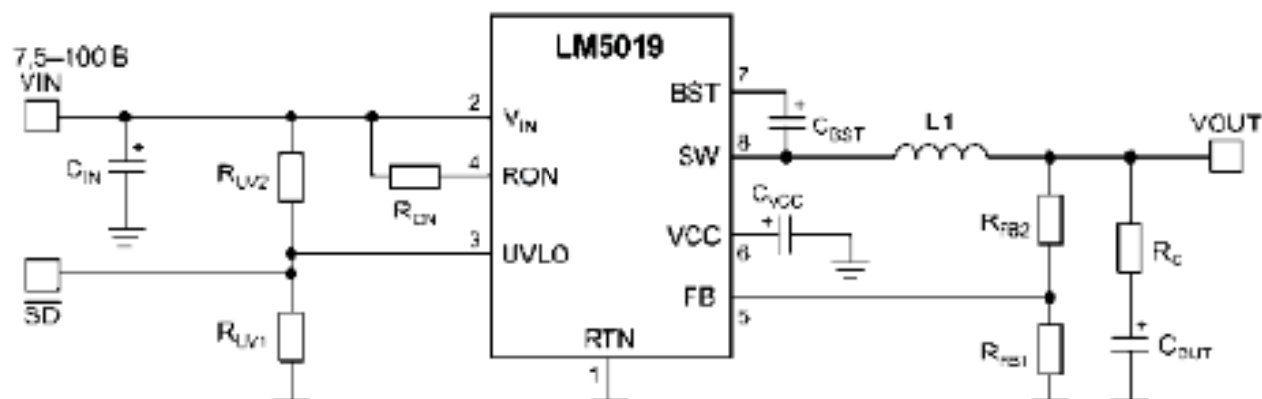


Рисунок 3.3 - Типова схема включення мікросхеми

У даній мікросхемі введена зворотний зв'язок по напрузі зворотного ходу силового трансформатора при його «закоротки» по змінному струму. Таке рішення дозволяє точно відстежити вихідну напругу і заощадити на елементах ланцюга зворотного зв'язку з необхідною розв'язкою на оптопарі чи іншому приладі передачі аналогового сигналу через ізолюючий бар'єр.

Типова схема включення імпульсного стабілізатора TPS55010 приведена на рис. 3.4.

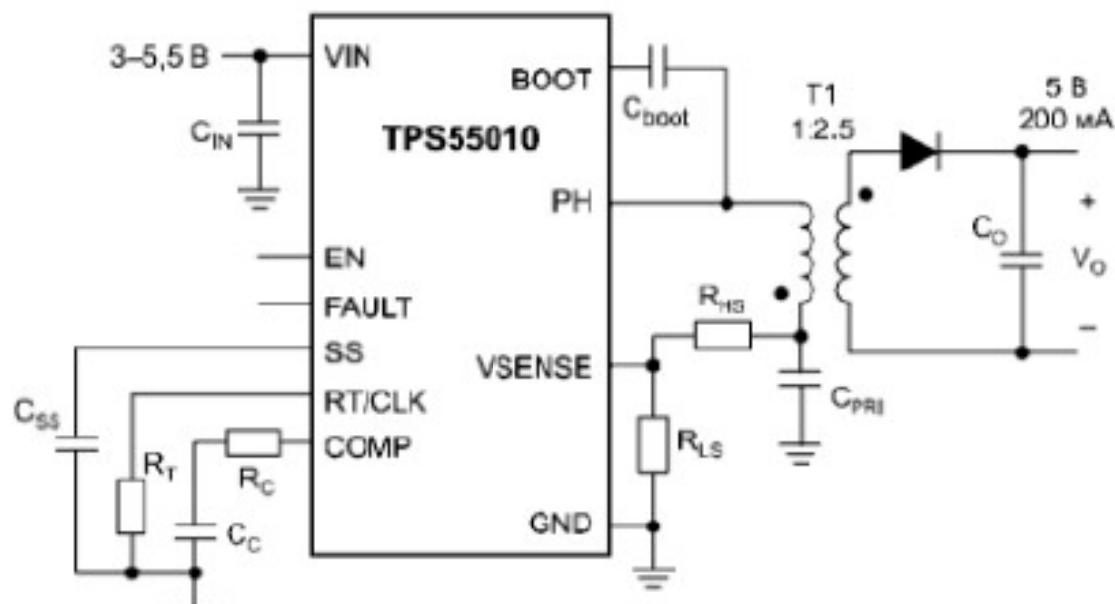


Рисунок 3.4 - Структурна схема мікросхеми TPS55010

Power Integrations анонсувала мікросхему MinE-CAP для універсальних AC/DC перетворювачів з високою щільністю потужності. Завдяки вдвічі меншому розміру високовольтних електролітичних конденсаторів, необхідних для бестрансформаторних мережових джерел живлення, в яких використовуються MinE-CAP, цей новий тип мікросхеми дозволяє скоротити габарити мережевого адаптера до 40%. Пристрій MinE-CAP також значно знижує кидки пускового струму, роблячи непотрібними NTC термістори, підвищуючи ККД системи і зменшуючи розсіювання тепла [14].

Низький опір відкритих каналів нітрид-галієвих транзисторів PowiGaN, що складають основу цієї невеликої мікросхеми, використовується для активного і автоматичного підключення і відключення сегментів ланцюжка згладжують конденсаторів в залежності від напруги мережі змінного струму. Розробники, що використовують MinE-CAP, вибирають найменший високовольтний

конденсатор з робочою напругою, відповідним найбільшій напрузі мережі змінного струму, а основну частину енергії зберігають в більш низьковольтних конденсаторах, захищених MinE-CAP до тих пір, поки вони не будуть потрібні при низькій мережевій напрузі. Такий підхід значно зменшує розміри вхідних конденсаторів без шкоди для вихідних пульсацій і робочого ККД і без необхідності зміни конструкції трансформатора.

Зменшення габаритів джерел живлення, заснованих на традиційні рішеннях для перетворення енергії, відбувається за рахунок збільшення частоти перемикання, що дозволяє використовувати трансформатори менших розмірів.

Інноваційна мікросхема MinE-CAP забезпечує настільки ж значне зменшення загальних габаритів джерела живлення при використанні меншої кількості компонентів і без проблем, пов'язаних зі збільшенням рівня випромінюваних електромагнітних завад і втрат в трансформаторах, що виникають при підвищенні частоти перетворення.

Новий пристрій, упакований в мініатюрний корпус MinSOP-16A, органічно поєднується з мікросхемами джерел живлення сімейства InnoSwitch компанії Power Integrations, вимагаючи мінімальної кількості зовнішніх компонентів.

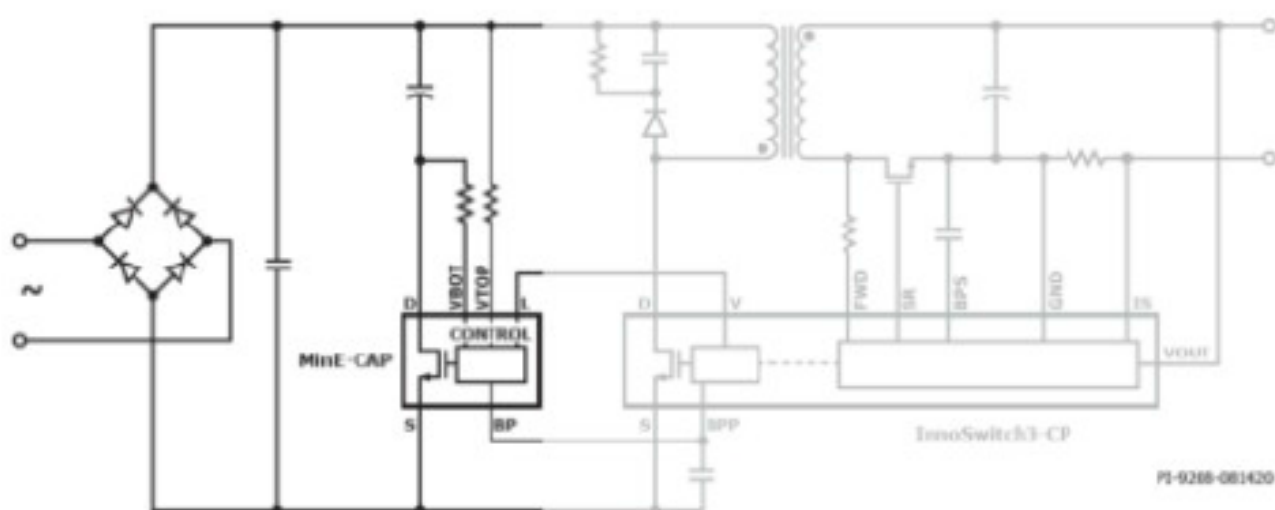


Рисунок 3.5 - Блок живлення з MinE-CAP

3.2 Дослідження режимів роботи активних елементів

Для проведення дослідження буде використовуватись програма схемотехнічного моделювання Micro-Cap.

Micro-Cap 12 (MC12) — програма для моделювання електронних схем, розроблений фірмою Spectrum Software. Серед інших програм аналогічного призначення вона виділяється зручністю інтерфейсу в поєднанні з адекватністю результатів, що обумовлено її сумісністю з відомим пакетом SPICE, що є своєрідним еталоном по точності розрахунків. SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) ідейно пов'язана з однойменною програмою моделювання, створеної близько 30 років тому в Каліфорнійському університеті [15].

MC12 здійснює такі основні види аналізу:

- режиму по постійному струму (розрахунок робочої точки);
- відгуку схеми на варіації джерел постійної напруги (струму) та інших параметрів складових цількомпонентів;
- частотних характеристик схеми, лінеаризованної в околиці робочої точки;
- перехідних процесів при впливі сигналів, що задаються у вигляді функцій часу, включаючи аналіз спектра.

Одним з основних вимог до електронної навантаженні є стабільність параметрів. Іншою вимогою є стабільність від температури, тому що під час роботи виділяється значна кількість тепла на елементах схеми. Аналізуючи ринок електронних компонентів можна прийти до висновку, що не випускається силових приладів, які могли б в єдиному кількості розсіяти потужність, що підводиться. Як правило електронні навантаження будуються за принципом паралельного з'єднання транзисторів, як показано на рис. 3.6. Таким чином вдається створювати електронні навантаження на велику потужність. Завданням дослідження є перевірка поведінки транзисторів при нерівномірному розподілі тепла і відхиленні резисторів баласту від номінального значення. Так само проведення моделювання показує що можна виявити аварійну ситуацію, якщо

використовувати датчики Холу на кожному каналі ключів.

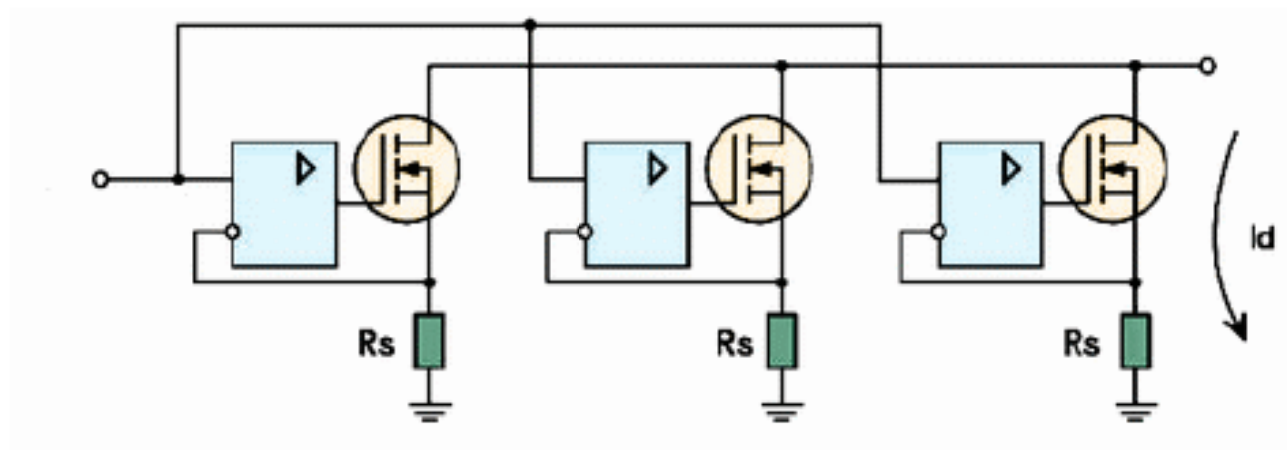


Рисунок 3.6 — Принцип роботи електронного навантаження

Схема для проведення моделювання представлена на рис. 3.7.

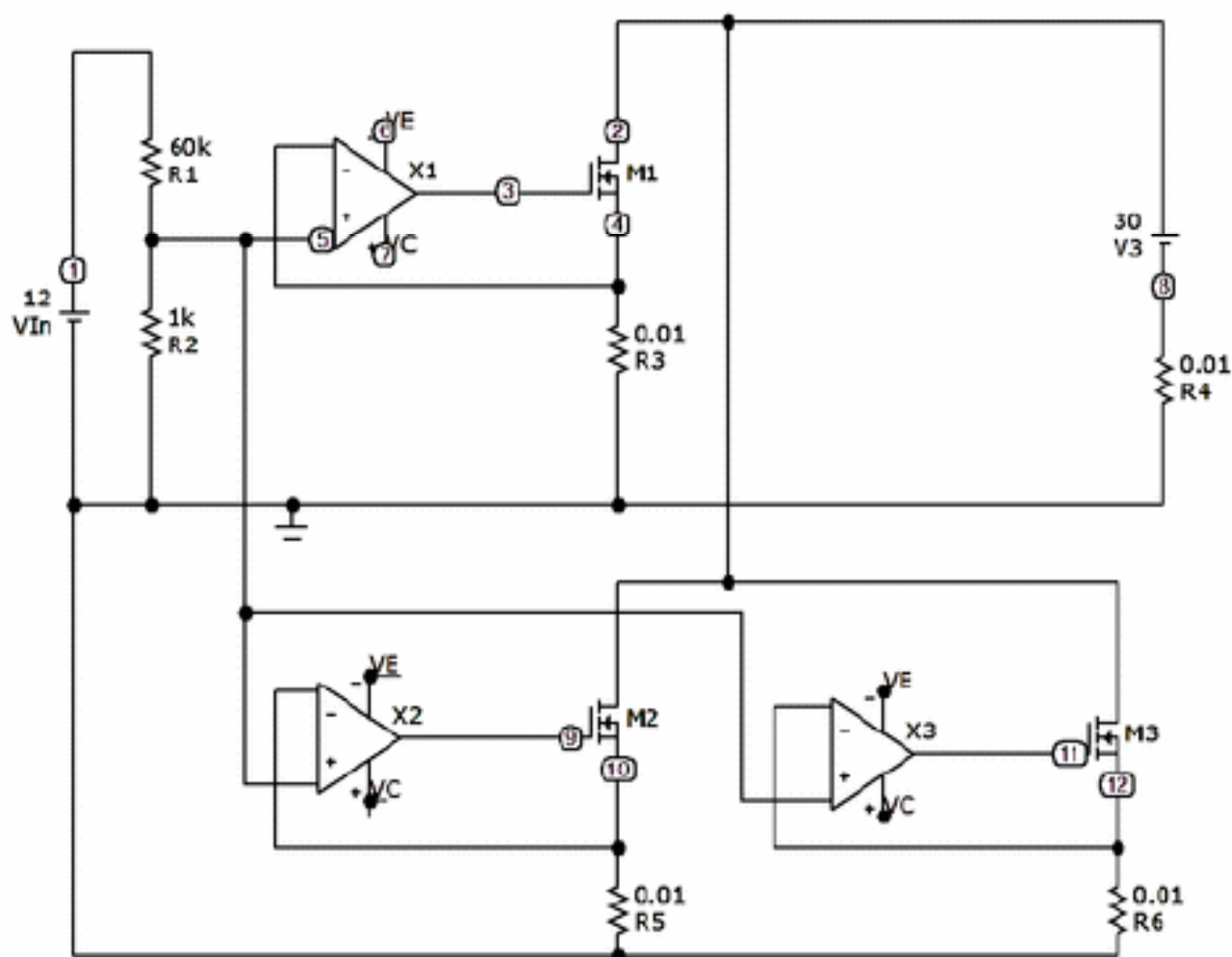


Рисунок 3.7 — Схема для проведення моделювання

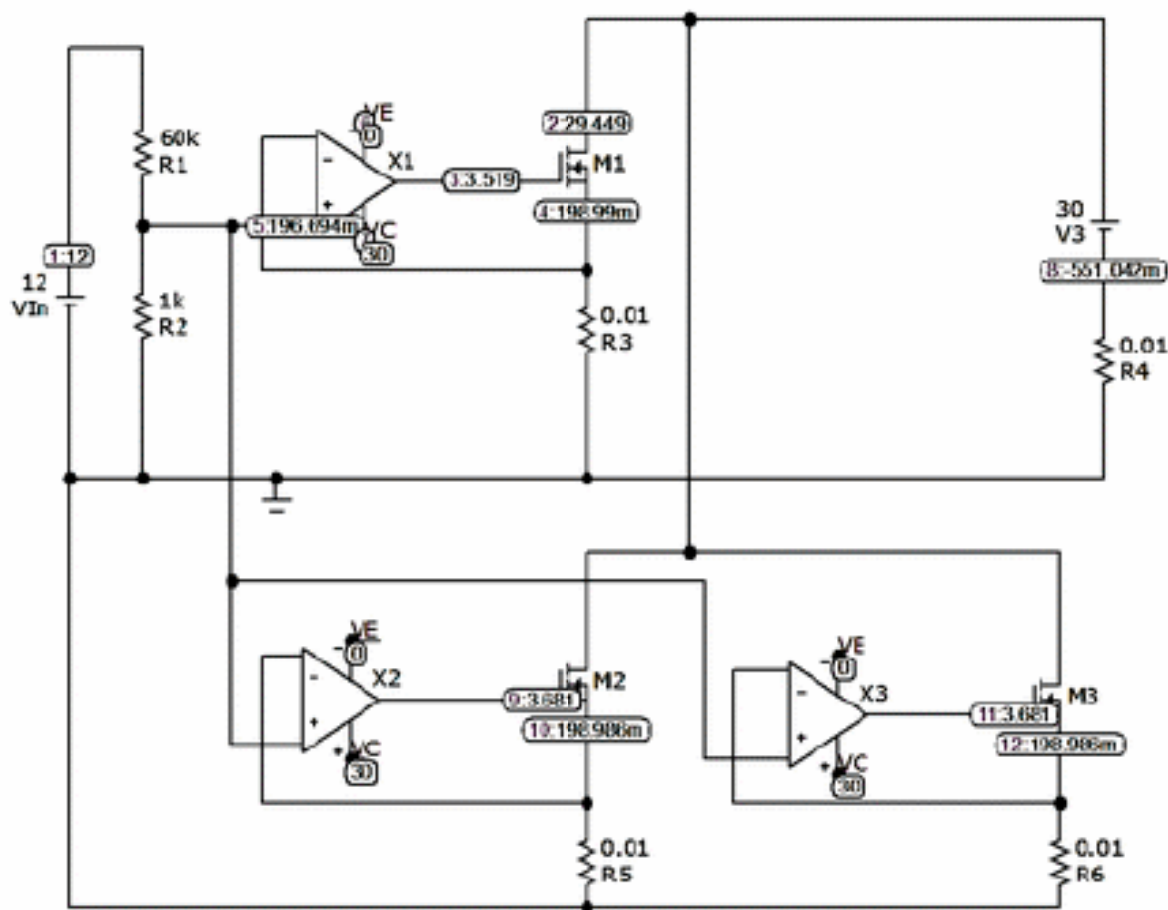


Рисунок 3.8 — Напряга на елементах при моделюванні

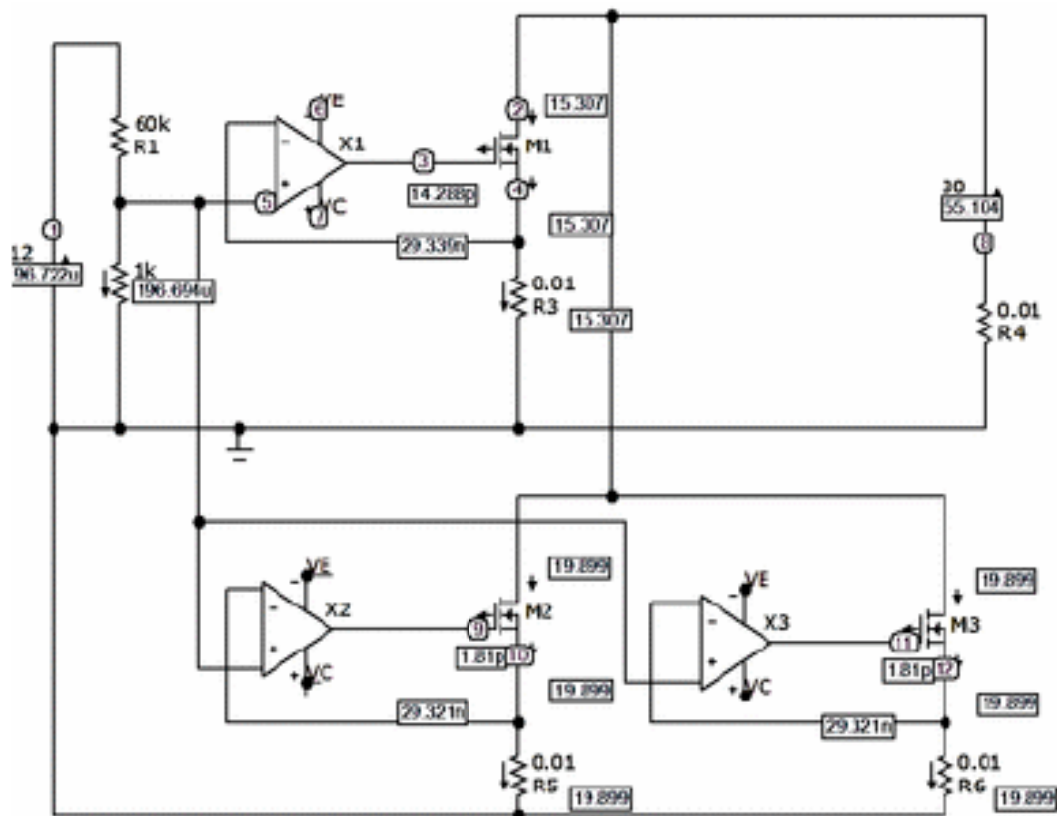


Рисунок 3.9 — Струм на елементах при моделюванні

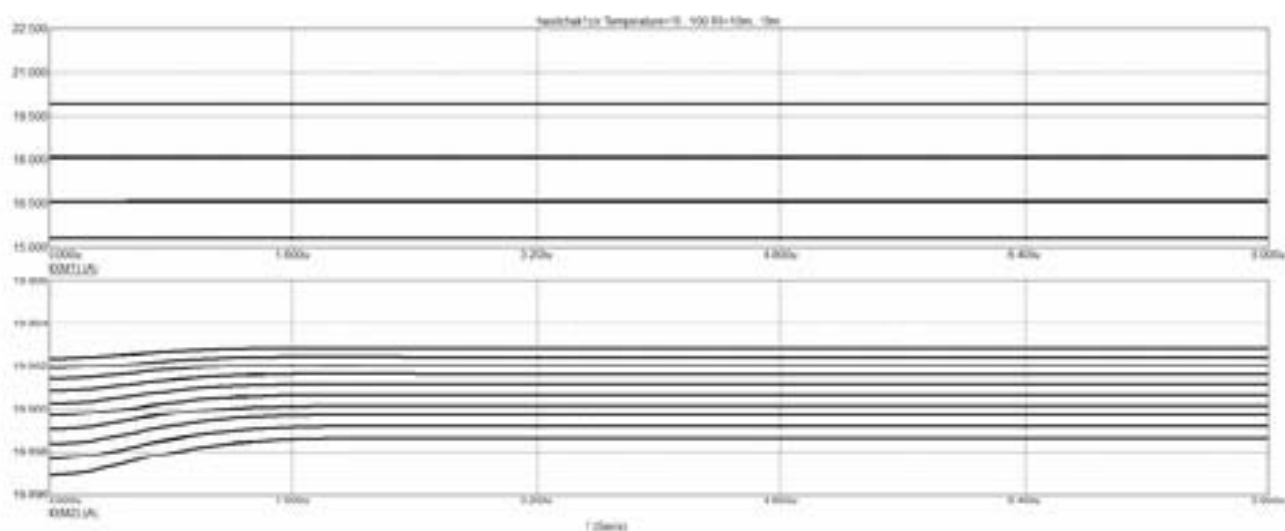


Рисунок 3.10 — Результати моделювання

По результатам дослідження видно, що температурні відхилення, які виникають унаслідок нерівномірного нагріву транзисторів впливають незначно на характеристики поведінки електронного навантаження. Відхилення баластних резисторів вносять куди більший вплив на характеристики, на рівні одиниць ампер. Компенсувати такий вплив можна шляхом використання окремих вільних портів вводу/виводу мікроконтролеру, та поділ каналів управління транзисторами.

4 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Конструкція блоку активного навантаження

Конструкція блоку виконана таким чином. Основні елементи приладу знаходяться платі довжина якої 100мм, ширина 50мм та висота 40мм. Плата друкована приладу кріпиться до шасі 4 гвинтами М4. На передній панелі встановлені індикатори для візуального контролю роботи та елементи управління.

За допомогою програми DipTrace проводилось проектування принципів схем і друкованих плат (EDA — система). DipTrace включає в себе чотири основні програми:

Schematic - розробка принципів схем;

PCB Layout - розводка плат, ручна і автоматичне трасування;

ComEdit - редактор корпусів;

SchemEdit - редактор компонентів.

Основні функції:

- Редактор плат - проектування плат за допомогою потужного автотрасувальника, зручною ручного трасування і системи позиціонування компонентів.

- Редактор схем - проектування схем з підтримкою ієрархії і необмеженої кількості аркушів. Експорт в редактор плат, список мереж (netlist) або симулятор.

- Редактори компонентів і корпусів - дозволяють створювати свої бібліотеки.

- Стандартні бібліотеки - містять більше 100 000 компонентів.

- 3D попередній - дозволяє переглядати тривимірну модель плати. З програмою поставляються більш 2.5 тис. 3D-моделей корпусів.

- Імпорт / Експорт - система може імпортувати схеми, плати і бібліотеки з P-CAD, PADS і інших популярних програм. Експорт в P-CAD, Gerber і інші формати дозволить підготувати плати для будь-якого виробництва.

- Доступний інтерфейс, довідка, підручник і приклади - дозволять швидко вивчити й ефективно користуватися програмою [16].

На рис. 4.1 показано зовнішній вигляд електронного навантаження.

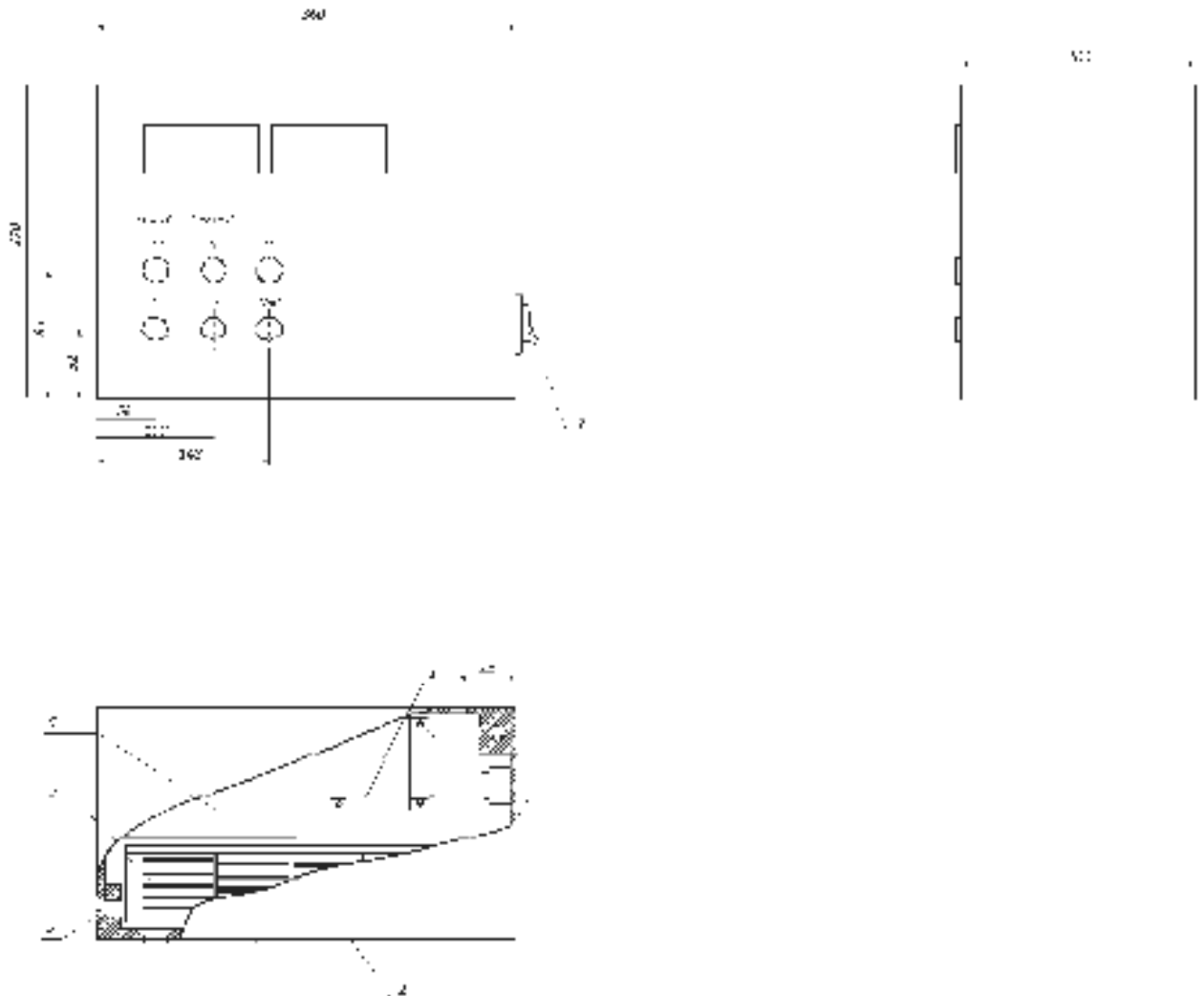


Рисунок 4.1 — Корпус пристрою

4.2 Технологія виготовлення та збірки друкарської плати

Друкована плата являє собою плоску ізоляційну підставу, на одній або обох сторонах якої розташовані струмопровідні смужки металу (провідники) відповідно до електричної схеми.

Застосування друкованих плат дозволяє полегшити настройку апаратури і виключити можливість помилок при її монтажі, так як розташування провідників і монтажних отворів однаково на всіх платах даної схеми.

Використання друкованих плат, обумовлює також можливість зменшення габаритних розмірів апаратури, поліпшення умов відведення тепла, зниження металоємності апаратури і забезпечує інші конструктивно-технологічні переваги в порівнянні з об'ємним монтажем.

Виготовлення друкарських плат відбувається на виробничій ділянці, де встановлено необхідне устаткування. Для виготовлення друкарських плат (ДП) використовують:

- шаруваті матеріали: фольговані і нефольговані листові діелектрики (папір, склотканина і інш.);
- нешаруваті матеріали (листові матеріали на основі фотопласта, сополімера, арилокса і інш.).

Залежно від кількості шарів з електропровідним рисунком, друковані плати поділяють на:

- односторонні (ОДП; є тільки один шар фольги);
- двосторонні (ДДП; два шари фольги);
- багат шарові (БДП; фольга не тільки на двох сторонах плати але і у внутрішніх шарах діелектрика), які застосовуються у випадках, коли розводка сполук на двосторонній платі стає занадто складною.

Залежно від умов експлуатації вибирається марка матеріалу ДП. Зазвичай ДП розробляються простій прямокутної форми; конфігурацію, що відрізняється від прямокутної, застосовують в технічно-обґрунтованих випадках.

Процес виготовлення друкованої плати можна умовно розділити на п'ять основних етапів:

- попередня підготовка заготовки (очищення поверхні, знежирення);
- нанесення тим чи іншим способом захисного покриття;
- видалення зайвої міді з поверхні плати (травлення);
- очищення заготовки від захисного покриття;
- сверловка отворів, покриття плати флюсом, лудіння.

1. Попередня підготовка заготовки є початковим етапом і полягає в підготовці поверхні майбутньої друкованої плати до нанесення на неї захисного

покриття. У цілому за тривалий проміжок часу технологія очищення поверхні не зазнала скільки-небудь значних змін. Весь процес зводиться до видалення окислів і забруднень з поверхні плати з використанням різних абразивних засобів і подальшого знежирення шкіри.

2. Нанесення захисного покриття є найважливішим етапом у процесі виготовлення друкованих плат, і саме їм на 90% визначається якість виготовленої плати. Найбільш популярними є три способи нанесення захисного покриття.

Застосування фоторезистів. Фоторезистом називається чутлива до світла речовина, яка під впливом освітлення змінює свої властивості. Сутність застосування фоторезиста полягає в наступному: на плату з нанесеним на неї шаром фоторезисту накладається фотошаблон і виробляється її засвітка, після чого засвічені (або незасвічені) ділянки фоторезисту змиваються спеціальним розчинником, в якості якого зазвичай виступає їдкий натр (NaOH). Всі фоторезисти діляться на дві категорії: позитивні та негативні. Для позитивних фоторезистів доріжці на платі відповідає чорна ділянка на фотошаблоні, а для негативних, відповідно, прозора. Найбільшого поширення набули позитивні фоторезисти як найбільш зручні в застосуванні.

Після нанесення шару фоторезисту необхідно висушити отриману плівку. Робити це рекомендується при температурі 70-80 градусів, причому спочатку потрібно підсушити поверхню при невеликій температурі і лише потім поступово довести температуру до потрібного значення. Час сушіння при вказаній температурі становить порядку 20-30 хвилин. В крайньому випадку допускається сушіння плати при кімнатній температурі протягом 24 годин. Плати з нанесеним фоторезистом повинні зберігатися в темному прохолодному місці.

Наступним дією після нанесення фоторезисту є експонування. При цьому на плату накладається фотошаблон (бажано стороною друку до плати: це сприяє збільшенню чіткості при експонуванні), який притискається тонким склом або шматком плексигласу. При досить невеликих розмірах плат для

притиску можна використовувати кришку від коробки компакт-диска або відміту від емульсії фотопластинку. Оскільки область максимуму спектральної чутливості більшості сучасних фоторезистів припадає на ультрафіолетовий діапазон, для засвічення бажано використовувати лампу з великою часткою УФ-випромінювання в спектрі (ДРШ, ДРТ та інш.). У крайньому випадку, можна використовувати потужну ксенонову лампу. Час експонування залежить від багатьох причин (тип і потужність лампи, відстань від лампи до плати, товщина шару фоторезиста, матеріал притискного покриття тощо) і підбирається експериментально. Проте в цілому час експонування становить зазвичай не більше 10 хвилин навіть при експонуванні під прямими сонячними променями.

Прояв більшості фоторезистів здійснюється розчином їдкого натру (NaOH) - 7 грамів на літр води. Краще всього використовувати свіжоприготований розчин, що має температуру 20-25 градусів. Час прояву залежить від товщини плівки фоторезисту і знаходиться в межах від 30 секунд до 2 хвилин. Після прояви плати можна піддавати травленню в звичайних розчинах, оскільки фоторезист стійкий до впливу кислот. При використанні якісних фотошаблонів застосування фоторезисту дозволяє отримати доріжки шириною аж до 0,15-0,2 мм.

3. При видалення зайвої міді з поверхні плати відомо багато складів для хімічного травлювання. Всі вони відрізняються швидкістю протікання реакції, складом речовин, що виділяються в результаті реакції, а також доступністю необхідних для приготування розчину хімічних реактивів.

Найбільш популярні розчини для травлення:

- Хлорне залізо (FeCl_3) - мабуть, найвідоміший і найпопулярніший реактив. Сухе хлорне залізо розчиняється у воді до тих пір, поки не буде отриманий насичений розчин золотисто-жовтого кольору (для цього потрібно близько двох столових ложок на склянку води). До недоліків даного розчину слід віднести освіту в процесі реакції відходів, які осідають на платі і перешкоджають нормальному протіканню процесу травлення, а також порівняно низьку швидкість реакції.

- Персульфат амонію - світла кристалічна речовина, розчиняється у воді виходячи зі співвідношення 35 г речовини на 65 г води. До недоліків цього розчину відноситься необхідність підтримання необхідного температурного режиму і перемішування.

- Розчин соляної кислоти (HCl) і перекису водню (H₂O₂). Для приготування цього розчину необхідно до 770 мл води додати 200 мл 35% соляної кислоти і 30 мл 30% перекису водню. Готовий розчин повинен зберігатися в темній пляшці, не закритим герметично, тому що при розкладанні перекису водню виділяється газ. Увага: при використанні даного розчину необхідно дотримуватися всіх запобіжних заходів при роботі з їдкими хімічними речовинами. Всі роботи необхідно проводити тільки на свіжому повітрі або під витяжкою. При попаданні розчину на шкіру її необхідно негайно промити великою кількістю води. Недоліком даного розчину є необхідність суворого дотримання при роботі з ним усіх заходів обережності.

4. Очищення заготовки, сверловка, нанесення флюсу, лудіння.

Після завершення травлення і промивання плати необхідно очистити її поверхню від захисного покриття. Зробити це можна яким-небудь органічним розчинником, наприклад, ацетоном.

Далі необхідно просвердлити всі отвори. Найзручніше для свердління плат використовувати електродвигуни типу ДПМ-35Н і їм подібні з насадженням на їх вал невеликим цанговим патроном. Після свердловки потрібно обробити отвори: видалити всі щербини і задирки. Зробити це можна наждачним папером.

Наступним етапом є покриття плати флюсом з подальшим лудінням. Можна використовувати спеціальні флюси промислового виготовлення (найкраще змивані водою або взагалі не потребують змивання) або просто покрити плату слабким розчином канифолі в спирті. Лудіння можна проводити двома способами: зануренням в розплав припою або за допомогою паяльника і металевого обплетення, просоченої припоєм. У першому випадку необхідно виготовити залізну ванночку і заповнити її невеликою кількістю сплаву Розі або

Вуда. Розплав повинен бути повністю покритий зверху шаром гліцерину щоб уникнути окислення припою. Для нагрівання ванночки можна використовувати перевернутий праску або електроплитку. Плата занурюється в розплав, а потім виймається з одночасним видаленням надлишків припою ракелем з твердої гуми.

На цьому процес виготовлення друкованої плати вважається закінченим і можна приступати до монтажу елементів на ній.

Вихідним параметром при конструюванні друкованих плат є крок координатної сітки. За допомогою координатної сітки регламентуються основні геометричні розміри друкованих плат. Як правило, центри всіх видів отворів на друкованих платах розташовуються у вузлах координатної сітки. Її основний крок 2.5 мм, додатковий - 0.635 мм. При компонованні друкованої плати прагнуть досягти максимального заповнення її поверхні навісними елементами і розмістити їх так, щоб забезпечити найкоротші зв'язки між ними, що виконуються друкованими провідниками. Розміри визначаються відомчими нормативами і ДСТУ. За даними цих документів максимальний розмір друкованої плати не повинен перевищувати 240x360 мм. Перевага при розробці віддається малогабаритним платам, так як великогабаритні друковані плати мають малу механічну міцність і складні у виготовленні.

Товщина плати, як правило, відповідає товщині фольгованого діелектрика і вибирається залежно від вимог, що пред'являються до конструкції виробу, методу виготовлення плати, ваги і габаритів встановлюваних елементів і не перевищує 3 мм. Перехідним елементом від отвору, в який вставляється вивід встановлюваного елемента, до друкованого провідника є контактна площадка.

Важкі елементи (наприклад, трансформатори) або елементи, схильні до механічних впливів (тумблери, потенціометри, підлаштування конденсатори), встановлюються насамперед за допомогою своїх утримувачів. Такі утримувачі забезпечують механічне кріплення відповідних елементів до плати і запобігають обрив і поломку виводів під впливом механічних навантажень.

У разі необхідності роблять додаткове кріплення корпусів елементів до плати за допомогою прив'язки, приклеювання, установки хомутів, скоб і інших утримувачів. Установку елементів на друковані плати рекомендується починати з менших за розмірами. Всі елементи встановлюють таким чином, щоб лужена частина виведення виходила з монтажного отвору [17].

4.3 Заходи з охорони праці.

4.3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

При розробці, проектуванні й виробництві джерела живлення для залізничного рухомого складу на базі трифазного випрямляча з нульовим виводом присутні наступні потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- підвищені запыошеність й загазованість повітря;
- підвищена температура поверхонь техніки, обладнання й матеріалів, наприклад, при роботі з паяльником;
- підвищений рівень шуму на робочому місці, виникаючий від установки штучної вентиляції, паяльної станції та роботи комп'ютеру;
- підвищена напруга в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- недостатня освітленість робочої зони;
- перевантаження (статичні й динамічні) і нервово-психічні чинники (емоційні перевантаження, перенапруга аналізаторів, ро-зумова перенапруга, монотонність праці).

Відповідно до складального креслення в якості припою використовується олов'яно-свинцевий припій, а як флюс використовується безкислотний флюс. Для видалення залишків флюсу застосовується етиловий спирт.

Свинець є надзвичайно небезпечною речовиною (клас 1). ГДК у повітрі робочої зони 0,01мг/м³. Олово є речовиною помірковано небезпечною (клас 3). ГДК у повітрі робочої зони 10 мг/м³.

Спирт етиловий є малонебезпечною речовиною (клас 4). ГДК у повітрі робочої зони 10 мг/м³ [18].

Перевищення допустимої концентрації парів свинцю під час проведення паяльних робіт приводить до зміни репродуктивної, нервової, серцево-судинної, імунної та ендокринної систем людини. Сполуки свинцю можуть викликати легке отруєння, отруєння середньої важкості та важке отруєння. При тривалому впливі виникає отруєння свинцем (сатурнізм). Для легкого отруєння характерними є розвиток анемії, для середньої важкості – токсичний гепатит, свинцева коліка, астеновегетативний синдром, для важкого – енцефалопатія, порушення координації рухів, розлади мови, периферичні нейропатії. Характерними симптомами свинцевої інтоксикації є свинцева кайма по краю ясен, а також «свинцевий колорит» - землисто-сіре забарвлення шкіри. Виникає енцефалопатія, яка характеризується головними болями, розладами сну, епілептичними паралічами, коматозними станами, депресією. Рухові розлади характеризуються поліневритом з переважним ураженням розгиначів кисті та стопи. Розвивається тремор витягнутих рук, посмикування очних яблук, болі в руках і ногах, болючість при пальпації по ходу нервів, погіршення зору. При свинцевій інтоксикації виникає свинцева коліка з тріадою симптомів: різкі переймоподібні болі в животі, закрепи, підвищення артеріального тиску. Хворих турбують також гарячка, тошнота, блювота, зміни зі сторони серцево-судинної системи – болі в ділянці серця, аритмія, тахікардія, глухі тони, систолічний шум. Для жінок свинець представляє особливу небезпеку, тому що цей елемент має здатність проникати через плаценту і накопичуватися в грудному молоці [18].

Робота за ком'ютером, супроводжується підвищеним напруженням зору, інтенсивністю і монотонністю праці, збільшенням статичних навантажень, нервово-психічним напруженням, впливом різного виду випромінювань та ін. Внаслідок цього трапляються такі професійні захворювання, як передчасна стомлюваність, погіршення зору, м'язові і головні болі, психічні й нервові розлади, хвороби серцево-судинної системи, онкологічні захворювання та ін.

Відомим проявом дії ЕМВ на організм людини є нагрівання тканин та органів, що призводять до їх змін та пошкоджень. Теплова дія характеризується загальним підвищенням температури тіла або локальованим нагріванням тканин. Нагрівання особливо небезпечно для органів із слабкою терморегуляцією (мозок, очі, органи кишкового та сечостатевого тракту).

Шумом називають коливання частинок навколишнього середовища, що сприймається органами слуху людини як небажані сигнали. Тривала дія інтенсивного шуму (вище 80 дБА) на людину призводить до часткової або повної втрати слуху. Залежно від тривалості і інтенсивності дії шуму відбувається більше чи менше зниження чутливості органів слуху, яке виражається або:

а) у тимчасовому зсуві порога чутності, яке зникає після закінчення впливу шуму;

б) у незворотній втраті слуху (туговухість), яка характеризується постійною зміною порогу чутності.

Шуми класифікуються за частотою, спектральними і тимчасовими характеристикам. За частотою звукове поле різниться на три області: інфразвук - коливання, що розповсюджуються в повітряному середовищі з частотою нижче 16 Гц; звук - коливання з частотою від 16 до 20000 Гц, що розповсюджуються в повітрі і сприймаються органом слуху людини; ультразвук - коливання, що поширюються як у повітрі, так і у твердих середовищах з частотою більше 20000 Гц.

За часовими характеристиками шум підрозділяється на постійний і непостійний (змінний у часі, переривчастий, імпульсивний). Постійним вважається шум, рівень якого за восьмигодинний робочий день змінюється в часі не більше ніж на 5 дБ, непостійним - більш ніж на 5 дБ.

Органи слуху людини сприймають звукові хвилі з частотою від 16 до 20000 Гц. Коливання з частотою нижче 16 Гц (інфразвук) і вище 20000 Гц (ультразвук) не викликають слухових відчуттів, але справляють біологічний вплив на організм [19].

4.3.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Для освітлення лабораторії використовуються найбільш економічні розрядні лампи. Для місцевого освітлення крім розрядних джерел світла використовуються й лампи розжарювання, в тому числі галогенні. У світлий час використовується бічне одностороннє природне освітлення.

Для створення сприятливих умов зорової роботи освітлення робочих приміщень повинне задовольняти таким умовам:

- рівень освітленості робочих поверхонь має відповідати гігієнічним нормам для даного виду роботи;
- мають бути забезпечені рівномірність та часова стабільність рівня освітленості у приміщенні, відсутність різких контрастів між освітленістю робочої поверхні та навколишнього простору, відсутність на робочій поверхні різких тіней (особливо рухомих);
- у полі зору предмета не повинно бути сліпучого блиску;
- штучне світло, що використовується на підприємствах, за своїм спектральним складом має наближатися до природного;
- не створювати небезпечних та шкідливих факторів (шум, теплове випромінювання, небезпеку ураження струмом, пожежо- та вибухонебезпечність);
- бути надійним, простим в експлуатації та економічним.

В лабораторії рівні звуку та еквівалентні рівні звуку не повинні перевищувати 50 дБА [19]. А рівень вібрації не повинен перевищувати 75 дБ. Для зменшення рівня звуку і вібрації застосовуються демпфуючі матеріали (гумова прокладка під принтер). Також для профілактичної роботи щодо забезпечення безпечних умов праці по шумовому фактору, є аудіометричного контроль (аудіометрія) працюючих, що проводиться для оцінки стану органів слуху.

Для поліпшення мікроклімату в приміщенні проводиться:

а) виведення тепловидлишків для підтримання припустимої температури повітря (21-24 °С);

б) виведення шкідливих речовин для підтримання гранично припустимих концентрацій цих речовин у повітрі робочої зони;

в) виведення залишків вологи для підтримання припустимої відносної вологості повітря (0.1-0.2%).

Забезпечення цих умов у теплий період року здійснюється за допомогою припливно-витяжної вентиляції (встановлюється кондиціонер); в холодний - за допомогою природної вентиляції та опалення.

Основним джерелом електромагнітного випромінювання, у тому числі рентгенівського, в приміщенні є електронно-променеві трубки (ЕПТ) моніторів. Потужність експозиційної дози рентгенівського випромінювання трубки в будь-якій точці перед екраном на відстані 5 см від його поверхні не повинна перевищувати 100 мкР/год. Захист користувачів ЕОМ від ЕМВ і рентгенівського випромінювання забезпечується за допомогою екранів із спеціального затемненого скла.

Допустимий рівень напруженості електростатичних полів повинен бути не більше 20 кВ. У приміщеннях для запобігання утворення статичної електрики і захисту від нього повинні знаходитися нейтралізатори і зволожувачі повітря, підлога повинна мати антистатичне покриття, а також необхідно робити заземлення екрана дисплея.

ЕМІ і статична електрика призводять до іонізації повітря, в результаті якої відбувається утворення позитивних іонів, які є несприятливими для здоров'я людини (іони потрапляють разом з повітрям в дихальні шляхи, викликаючи ускладнення). Норма вмісту легких аеронів обох знаків повинна становити від 1500 до 5000 в 1 см³ повітря. Заходами щодо зниження кількості іонів у повітрі є зволоження повітря і провітрювання приміщення.

Відповідно до існуючих рекомендацій час безперервної роботи з екраном не повинен перевищувати 4 години, тривалість перерви для відпочинку повинна становити від 5 до 15 хвилин.

Сумарний час роботи - до 50% тривалості зміни. Перерви мають бути 10-15 хвилин кожна годину роботи.

Тривалі перерви ведуть до порушення робочої установки, розладу динамічного стереотипу. Загальна перерва через 4 години. Додаткова перерва через 3 години і за 2 години до закінчення роботи.

4.3.3. Виробнича санітарія

Робота в лабораторії відноситься до категорій Іб [20]. Це категорія робіт, які виконуються сидячи, стоячи або таких, що зв'язані з ходьбою та деяким фізичним напруженням (енерговитрати 121-150 ккал/годину, тобто 140-174 Вт). А значить, в період холодної пори роки температура повітря має становити 21-23° С, відносна вологість - 60 - 40 %, а швидкість руху 1 м / сек. У теплий час температуру слід збільшити до 22-24 °С, а швидкість руху до 0,2 м/сек.

Лабораторія обладнана системами центрального опалення, припливно-витяжної вентиляції з механічним спонуканням, кондиціонування повітря. Система вентиляції забезпечує нормативну величину повітрообміну. Також двічі на день проводиться й природна вентиляція через вікна.

Необхідність подачі охолодженого повітря безпосередньо в пристрої ЕОМ обумовлюється технологічними вимогами.

Системи кондиціонування повітря забезпечують в холодний і теплий періоди року температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря в робочій зоні відповідно до раніше обумовлених норм.

Запиленість повітря в приміщеннях не повинна перевищувати - 0,75 мг/м³ при розмірах частинок не більше 3 мкм.

Кількість зовнішнього повітря в системах кондиціонування приймається з розрахунку 60 м³/год на одного працюючого, але при цьому повинен забезпечуватися не менш ніж дворазовий повітрообмін на годину [23].

Нормування природного освітлення проводиться за допомогою коефіцієнта природної освітленості (КПО).

Освітленість приміщення природним світлом характеризується коефіцієнтами природної освітленості ряду точок, розташованих у перетині вертикальної площини характерного розрізу приміщення і горизонтальній площині, що знаходиться на відстані 1 м над рівнем підлоги і прийнятої за умовну робочу поверхню.

Мінімальний КПО в залежності від точності роботи при верхньому і комбінованому освітленні нормується в межах від 10 до 2, а при одному бічному освітленні - від 3,5 до 0,5. Розряд зорової роботи для лабораторії - 3й, тому що найменший розмір об'єкта розрізнення становить від 0.3 до 0.5 мм. КПО складе 3%.

Освітленість даної лабораторії сягає 500 лк, коли мінімальне допустиме значення – 300 лк, індекс передачі кольору джерел світла, Ra становить 90 (мінімальний допустимий – 50), а діапазон колірної температури джерел світла, має лежати в межах $T_c = 3500-5500$ К. Колірна температура світильників даної лабораторій – 4200 К [22].

4.3.4 Електробезпека

Живлення електроприладів усередині лабораторії здійснюється від трьохфазної мережі з заземленою нейтралю напругою 220 В і частотою 50Гц із використанням автоматів токового захисту.

В аналізованому приміщенні використовуються наступні типи електроустаткування:

- персональний комп'ютер;
- елементи місцевого освітлення;
- система вентиляції.

В приміщенні лабораторії температура непідвищена, відносна вологість повітря не перевищує 75%, температура не більш 35 °С, відсутні хімічно агресивні середовища.

У розглянутому приміщенні електропроводка схована, проведена в прорізах під штукатуркою на висоті 2 м. Силові провідники, які з'єднують між

собою ПК із системним блоком і принтером мають подвійну ізоляцію. Штепсельні розетки встановлені на висоті одного метра від підлоги. Вимикачі на стінах розташовані на висоті 1,75 метра від підлоги з боку ручки для відкривання дверей.

Для зменшення небезпеки ураження струмом виконується:

- ізоляція струмопровідних частин;
- захисне заземлення;
- пристрій захисного відключення.

→ Стан ізоляції струмопровідних частин повинен відповідати правилам використання електроустановок. Цими правилами передбачене періодичне випробування ізоляції (2 рази на рік у приміщеннях зі складними умовами, підвищеною вологістю і 1 раз на рік у приміщеннях з нормальним середовищем). Ізоляція створює великий опір, який перешкоджає протіканню через неї струму. Опір ізоляції кожної установки або окремої ділянки електричної мережі має бути не меншим 0,5 МОм. Якщо опір ізоляції знижується на 50% від початкового, мережу або ізоляцію міняють [24].

В даному приміщенні не допускається розміщення відкритих струмопровідних частин.

4.3.5 Пожежна та техногенна безпека

Приміщення, в якому розроблявся проект, розташоване на п'ятому поверсі семиповерхового будинку. В ньому знаходиться один комп'ютер. Розміри кімнати: довжина - 5м, ширина - 3м, висота - 3,6м. Загальна площа становить 15м².

По категорії вибухо- і пожежонебезпеки дане приміщення відноситься до категорії В - пожежонебезпечне із-за твердих горючих матеріалів (робочі столи, папір, ізоляція тощо) [25]. Виходячи з категорії пожежонебезпеки і поверховості будівлі, ступінь вогнестійкості будівлі II [20].

Можливими причинами пожеж в приміщенні є несправність електропроводки і електроустаткування, коротке замикання в мережі,

зберігання горючих матеріалів (паперу), блискавка і т.д. У якості профілактичних заходів щодо попередження причин пожеж використовується постійний контроль за станом електричної проводки і сполучних проводів, зберігання паперу в сейфах і вогнетривких шафах.

Пожежна безпека забезпечується системами запобігання пожежі, пожежного захисту і організаційно-технічними заходами [25].

В системі запобігання пожежі передбачені наступні заходи:

1. Контроль і профілактика ізоляції.
2. Наявність плавких запобіжників в устаткуванні.
3. Блискавкозахист будівлі. Для даного класу пожежонебезпечної зони приміщення П-Па, з урахуванням кількості грозових годин у році-20 годин, встановлюється III категорія блискавкозахисту.

4. Вибір ступеня захисту оболонок комп'ютера відповідно до класу пожежонебезпечної зони приміщення П-Па не нижче IP-44 для електроустановок та IP-2X для світильників.

Системою пожежного захисту передбачені наступні заходи:

1. Система автоматичної пожежної сигналізації оснащена димовими сповіщувачами.
2. Приміщення оснащено вуглекислотними вогнегасниками - ОУ-2.
3. Для успішної евакуації персоналу двері приміщення мають наступні розміри: ширина не менше 1,5 м, висота не менше 2,0 м, ширина коридору 1,8 м. Робоче приміщення повинно мати два виходи. Відстань від найбільш віддаленого робочого місця не повинне перевищувати 100 м.

4.4 Розрахунок захисного заземлення

Розрахунок заземлення проводиться для того щоб визначити опір споруджуваного контуру заземлення при експлуатації, його розміри і форму. Як відомо, контур заземлення складається з вертикальних заземлювачів, горизонтальних заземлювачів і заземлюючого провідника. Вертикальні заземлювачі забиваються в ґрунт на певну глибину [24].

Горизонтальні заземлювачі з'єднують між собою вертикальні заземлювачі. Заземлювальний провідник з'єднує контур заземлення безпосередньо з електрощитом.

Розміри і кількість цих заземлювачів, відстань між ними, питомий опір ґрунту - всі ці параметри безпосередньо залежать на опір заземлення.

Заземлення служить для зниження напруги дотику до безпечної величини. Завдяки заземленню небезпечний потенціал йде в землю тим самим, захищаючи людину від ураження електричним струмом.

Величина струму стікання в землю залежить від опору заземлюючого контуру. Чим опір буде менше, тим величина небезпечного потенціалу на корпусі пошкодженої електроустановки буде менше.

Заземлювальні пристрої повинні задовольняти покладених на них певним вимогам, а саме величини опір розтікання струмів і розподілу небезпечного потенціалу.

Тому основний розрахунок захисного заземлення зводиться до визначення опору розтікання струму заземлювача. Це опір залежить від розмірів і кількості заземлюючих провідників, відстані між ними, глибини їх закладення і провідності ґрунту [24].

Залежно від що дозволяє площі і зручності монтажу заземлення стрижні можна розміщувати в ряд, або у вигляді який не будь фігури (трикутник, квадрат і т.інш.).

Основною метою розрахунку заземлення є визначити число заземлюючих стрижнів і довжину смуги, яка їх з'єднує.

Вихідні дані для розрахунку пристрою заземлення:

- опір заземлювального пристрою розтіканню струму - не більше 4 Ом;
- вид ґрунту - торф;
- кліматична зона - 1;
- розташування вертикальних заземлюючих електродів – по контуру.

Опір розтікання струму одного вертикального заземлювача (стержня):

$$R_0 = \frac{\rho_{ekv}}{2\pi L} \left(L n \left(\frac{2L}{d} \right) + 0.5 L n \left(\frac{4T+L}{4T-L} \right) \right)$$

де - ρ_{ekv} - еквівалентний питомий опір ґрунту, Ом·м;

L - довжина стержня, L=6 м;

d - його діаметр, d=0.01 м;

T - відстань від поверхні землі до середини стержня, м.

У разі установки заземлювального пристрою в неоднорідний ґрунт (двошаровий), еквівалентний питомий опір ґрунту знаходиться за формулою:

$$\rho_{ekv} = \frac{\psi \cdot \rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L}{(\rho_1(L-H+t_g) + \rho_2(H-t_g))}$$

де ψ - сезонний кліматичний коефіцієнт =2 (табл. 1);

ρ_1, ρ_2 - питомий опору верхнього і нижнього шару ґрунту відповідно, $\rho_1 = \rho_2 = 25$ Ом·м;

H - товщина верхнього шару ґрунту, H =1м;

t_g - заглиблення вертикального заземлювача (глибина траншеї) $t_g = 0.7$ м.

Так як питомий опір ґрунту залежить від його вологості, для стабільності опору заземлювача і зменшення на нього впливу кліматичних умов, заземлювач розміщують на глибині не менше 0.7 м.

Заглиблення горизонтального заземлювача можна знайти за формулою:

$$T = \left(\frac{L}{2} \right) + t_g$$

Монтаж і установку заземлення необхідно проводити таким чином, щоб заземлюючий стержень пронизував верхній шар ґрунту повністю і частково нижній.

Таблиця 4.1 - Значення сезонного кліматичного коефіцієнта опору ґрунту

Тип заземлюючих електродів	кліматична зона			
	I	II	III	IV
Стержневий (вертикальний)	1.8 ÷ 2	1.5 ÷ 1.8	1.4 ÷ 1.6	1.2 ÷ 1.4

Смуговий (горизонтальний)	4.5 ÷ 7	3.5 ÷ 4.5	2 ÷ 2.5	1.5
	Кліматичні ознаки зон			
Середня багаторічна нижча температура (січень)	от -20 до +15	от -14 до +10	от -10 до 0	от 0 до +5
Середня багаторічна вища температура (липень)	от +16 до +18	от +18 до +22	от +22 до +24	от +24 до +26

$$T = \left(\frac{6}{2}\right) + 0.7 = 3.7$$

$$\rho_{ekv} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 25 \cdot 6}{(25(6 - 1 + 0.7) + 25(1 - 0.7))} = 50$$

$$R_0 = \frac{50}{6,28 \cdot 6} \left(\ln\left(\frac{2 \cdot 6}{0.01}\right) + 0.5 \ln\left(\frac{4 \cdot 3.7 + 6}{4 \cdot 3.7 - 6}\right) \right) = 10 \text{ Ом}$$

Кількість стрижнів заземлення без урахування опору горизонтального заземлення знаходиться за формулою:

$$n_0 = \frac{R_0 \cdot \psi}{R n}$$

$$n_0 = \frac{10 \cdot 2}{4} = 5 \text{ (приймаємо } = 5)$$

Опір розтікання струму для горизонтального заземлювача:

$$R_g = 0.366 \left(\frac{\rho_{ekv} \cdot \psi}{L_g \cdot \eta_g} \right) \cdot l g \left(\frac{2 \cdot L_g^2}{b \cdot t_g} \right)$$

де L_g , b - довжина і ширина заземлювача, $L_g = 1\text{м}$, $b = 0.2\text{м}$;

Ψ - коефіцієнт сезонності горизонтального заземлювача, $\Psi = 2$;

η_g - коефіцієнт попиту горизонтальних заземлювачів, $\eta_g=0.4$.

Довжину самого горизонтального заземлювача знайдемо виходячи з кількості заземлювачів:

$$L_g=a \text{ (для контуру).}$$

де a - відстань між заземлювальними стрижнями.

$$R_g=0.366 \left(\frac{10 \cdot 2}{1 \cdot 0.4} \right) \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot 1^2}{0.2 \cdot 0.7} \right) = 243.3$$

Визначимо опір вертикального заземлювача з урахуванням опору розтікання струму горизонтальних заземлювачів:

$$R_v = \frac{R_g \cdot R_n}{R_g - R_n}$$

$$R_v = \frac{243.3 \cdot 4}{243.3 - 4} = 4.067$$

Загальна кількість вертикальних заземлювачів визначається за формулою:

$$n = \frac{R_0}{R_v \cdot \eta_v}$$

де η_v - коефіцієнт попиту вертикальних заземлювачів, $\eta_v=0.62$.

$$n = \frac{10}{4.016 \cdot 0.27} = 3.97$$

Приймаємо кількість вертикальних заземлювачів для забезпечення заданого опору рівним 4 шт.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Одним з основних показників, за допомогою якого оцінюється економічна ефективність нової техніки, є величина капітальних вкладень.

До таких капітальних вкладень відносяться витрати на науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи, включаючи випробування і доопрацювання дослідних зразків.

Для визначення вартості конструкторської підготовки виробництва складається кошторис витрат з моменту отримання завдання до виготовлення і заводських випробувань дослідного зразка включно і коректування документації за наслідками цих подій [26].

5.1 Визначення стадій розробки

Стадії роботи, які необхідні для розробки електронного навантаження, а також вміст робіт на кожній стадії зведені в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Стадії розробки моделі системи управління двигуном

№ з/п	Стадії розробки	Вміст робіт	Тривалість етапу, днів	Примітка
А	Постановка завдання	Узгодження технічного завдання із замовником	1	1 інженер
Б	Вивчення об'єкту	Аналіз існуючих схемних рішень	7	1 інженер
В	Розробка проекту	Проектування схеми	7	2 інженери
Г	Проведення дослідження та розробки	Розробка технічної документації	15	1 інженер
Д	Узгодження із замовником	Демонстрація. Виправлення помилок.	3	1 інженер
Е	Передача замовнику	Передача результатів замовнику, підписання акту здачі робіт	5	1 інженер

Для визначення терміну виконання етапів розробки електронного навантаження, а також витрат, будується лінійний графік, який відображує в наочному вигляді терміни виконання кожного етапу як окремо, так і в цілому. На рис. 5.1 зображений лінійний графік стадій вказаних в таблиці 5.1.

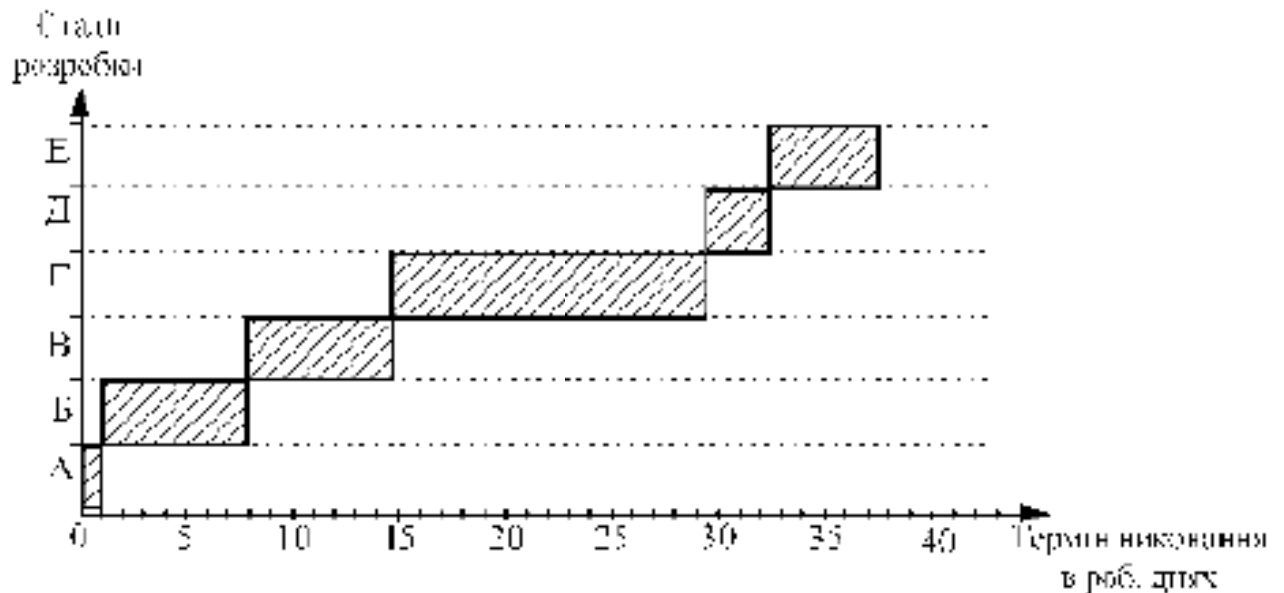


Рисунок 5.1 – Лінійний графік розробки електронного навантаження

Відповідно до рис. 5.1 на види роботи А-Е, потрібно 32 восьмигодинних робочих днів.

Для виконання робіт по етапу А необхідно 1 людину – інженера технічного забезпечення проекту.

Для виконання робіт по етапу Б необхідно 1 людину – інженера технічного забезпечення проекту.

Для виконання робіт по етапу В необхідно 2 людини – 1 інженер технічного забезпечення, 1 інженер електронної техніки.

Для виконання робіт по етапу Г необхідно 1 людина – інженер електронної техніки.

Для виконання робіт по етапу Д необхідно 1 людина – 1 інженер електронної техніки.

Для виконання робіт по етапу Е необхідно 1 людину – 1 інженер технічного забезпечення.

У зв'язку з наведеним вище списком працівників для виду робіт, в таблицю 5.2 зводяться всі необхідні співробітники з кількістю робочих днів участі в проекті.

Таблиця 5.2– Співробітники проекту

Найменування	Кількість співробітників людей	Кількість робочих днів участі в розробці, роб. дні	К-ть часу, витраченого на участь в проекті, ч
Інженер технічного забезпечення проекту	1	20	160
Інженер електронної техніки	1	25	200

5.2 Розрахунок заробітної плати

Заробітна плата кожного співробітника нараховується виходячи з годинної тарифної ставки. Вони представлені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Тарифні ставки співробітників

Найменування співробітника	Тариф Тсер, грн./год.
інженер технічного забезпечення проекту	55
інженер електронної техніки	60

Заробітна плата кожного співробітника визначається по формулі [26]

$$ЗП = N_{роб} \cdot T_{сер} \cdot B \quad (5.1)$$

де ЗП – заробітна плата, грн.;

$T_{сер}$ – ставка кожного співробітника, грн./год;

$N_{роб}$ – кількість працівників, людей;

B – кількість годин, витрачених на роботу над проектом, год.

Заробітну плату інженера технічного забезпечення збільшуємо на 15%, у зв'язку з необхідністю витрати робочого часу на коректування документів.

Результати розрахунків представлені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Заробітна плата

Найменування	Заробітна плата, грн.
інженер технічного забезпечення проекту	8800
інженер електронної техніки	12000
РАЗОМ	20800

5.3 Розрахунок кошторису витрат

Кошторис витрат складається виходячи з таких показників: основні засоби (комп'ютер з програмним забезпеченням), заробітна плата, відрахування до єдиного фонду – 37%; накладні витрати (60...150% від фонду заробітної плати), які включають різні господарські та адміністративні витрати.

Далі наводиться вартість устаткування і програмного забезпечення, представлені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Вартість устаткування і програмного забезпечення

Найменування	Ед.вим.	К-ть	Ціна, грн.	Вартість, грн.
Комп'ютер	шт	1	18000,00	18000,00
Осцилограф	шт	1	4000,00	4000,00
Мультиметр	шт	1	750,00	750,00
РАЗОМ				22750,00

Амортизація основних засобів (комп'ютер, осцилограф, мультиметр) [26]:

$$S_{ам} = \sum \frac{\alpha_{ам}}{100} \cdot \text{вартість} \cdot \frac{T_{вик}}{T_{можл.вик.}} \quad (5.2)$$

$$S_{аморт} = 0,15 \times 22750 \times (37 \times 8 / 2100) = 481,0 \text{ грн.}$$

Електроенергія, що витрачається при роботі інженера електронної техніки:

$$S_e = \text{тариф} \times \text{потужність} \times N \times T_{вик} \quad (5.3)$$

де N – кількість комп'ютерів, осцилографів, мультиметрів

$$S_e = 1,90 \times 0,5 \times 1 \times 296 = 281,2 \text{ грн.}$$

Кошторис витрат на розробку електронного навантаження представлений в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат

№ з/п	Найменування	Разом:
1	Основні засоби	22750
2	Амортизаційні відрахування	481,0
3	Витрати на електроенергію	281,2
4	Заробітна плата	20800
	Всього	44312,2

Економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки електронного навантаженням для використання її в умовах серійного виробництва.

ВИСНОВКИ

В ході дослідження було розглянуто принцип побудови електронного навантаження. В першому розділі наведена інформація про переваги використання електронного навантаження.

В другому розділі проведено дослідження елементної бази для побудови електронного навантаження. Розглянуто аналогово-цифрові перетворювачі та мікроконтролери. Показано, що не має потреби використовувати швидкодіючі мікроконтролери. Основними критеріями є функціональні можливості мікроконтролерів та параметри датчиків.

Проведено аналіз датчиків струму, обрано з оптимальними параметрами по точності та конструкції.

В третьому розділі проведено дослідження мікросхем для побудови джерел живлення. Проведено математичне моделювання. Результати показали слабкі місця в проектуванні виробів електронного навантаження. Дані рекомендації по усуненню недоліків та підвищенню надійності роботи пристроїв.

В четвертому розділі запропоновано конструкцію пристрою та розглянуті методи виготовлення таких плат та розглянуті заходи з охорони праці при проектуванні виробу.

В 5-му розділі проведено економічні розрахунки, які показали доцільність розробки

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Что такое электронная нагрузка [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.tehcom.com/Categories/Electronic_Loads/ Basics/Electronic_Loads_Basics.htm
2. Подключение электронной нагрузки [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://industry-hunter.com/baza-znaniy/ne-vyderzat-napravlenia-posetitelna-podklucat-elektronnye-nagruzki-posledovatelno>
3. Современные электронные нагрузки и особенности их использования для тестирования источников питания. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://prist.ru/library/stati/elektronnye_nagruzki_serii_akiip-13hh_i_ih_ispolzovanie_dlya_testirovaniya_istochnikov_pitaniya/
4. Электронные нагрузки серии АКІР-13хх [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.academline.com/АКІР-13хх_load.php
5. Многоканальная модульная электронная нагрузка с функцией рекуперации серии EA-ELR 9000 6U Mch [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://efo.ru/storage/docs/EA-ELR_90006U_MCh.pdf
6. Электронные нагрузки 6310А серии [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.sea.com.ua/izmeritelnye-pribory/nagruzka-elektronnaa-dc/dc-elektronnye-nagruzki-6310a-serii/>
7. Использование силовых транзисторов в линейном режиме [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://power-e.ru/components/transistors/ispolzovanie-silovyh-tranzistorov/>
8. Датчики: Справочное пособие / В.М. Шарапов, Е.С. Полищук, Н.Д. Кошевой, Г.Г. Ишанин, И.Г. Минаев, А.С. Совлуков. - Москва: Техносфера, 2012. - 624 с.
9. Maxim ADC for sensor [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/data-converters/analog-to-digital-converters/precision-adcs/integrated-adc-ics.html>

10. Современные датчики. Справочник. Дж. Фрайден Перевод с английского Ю. А. Заболотной под редакцией Е. Л. Свинцова ТЕХНОСФЕРА Москва Техносфера-2005.
11. Серия активных датчиков тока ACS713 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.compe1.ru/series/ALLEGRO/ACS713>
12. Microchip Technology Incorporated [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.microchip.com/>
13. STMicroelectronics [Электронный ресурс]. - Режим доступа: www.st.com
14. MinE-CAP | AC-DC Converters [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://ac-dc.power.com/products/mine-cap-family/mine-cap>
15. Micro-Cap [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.spectrum-soft.com/index.shtm>
16. САПР DipTrace [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://diptrace.com/ua/>
17. Друковані плати [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.pselectro.ru/article/7/78>
18. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
19. Васильчук М. В. «Основы охорони праці» Київ. Просвіта. 1997
20. НАПБ Б.03.002-2007 Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
21. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448с., ил.
22. СНиП 11-4-79. Естественное и искусственное освещение.
23. СНиП 2.04.05-92. «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».
24. Правила устройства электроустановок.- «Госэнергонадзор», 2009г. 704с.

25. СНиП 2.01.02-85. Противопожарные нормы.
26. Попова В.Д. Методичні вказівки до виконання економічної й організаційної частини дипломної роботи – Запоріжжя, 2005,-36с.

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<u>Документация</u>						
A1			ЕС М.19150.00.00.00.00.Д1	Активне навантаження з цифровим керуванням		
A1			ЕС М.19150.00.00.00.00.Д2	Схема електрична структурна Активне навантаження з цифровим керуванням		
A1			ЕС М.19150.00.00.00.00.Д3	Виробники мікроконтролерів Активне навантаження з цифровим керуванням		
A1			ЕС М.19150.00.00.00.00.Д4	Модель системи управління Активне навантаження з цифровим керуванням		
A1			ЕС М.19150.00.00.00.00.Д5	Блок схема та параметри моделі Активне навантаження з цифровим керуванням		
A1			ЕС М.1915000.00.00.00.Д6	Результати моделювання Активне навантаження з цифровим керуванням		
A1			ЕС М.19150.00.00.00.00.Д7	Порядок генерації коду Активне навантаження з цифровим керуванням		
A1			ЕС М.19150.00.00.00.00.Д8	Охорона праці Активне навантаження з цифровим керуванням		
				Економічні показники		
			ЕС М.19150.00.00.00.00			
Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Активне навантаження з цифровим керуванням		
Разраб.	Васильчак	ВВ	30.11			
Пров.	Шмалій	Шмалій	30.11	Лит. Лист Листов		
Нконтр.	Туршнев	Туршнев	30.11.20	ІННІ ЗНУ		
Утв.	Критська	Критська	30.11.20	8.1719		
				Копировав		Формат А4

Перб. примен.

Справ. №

Повт. и дата

Изм. № докум.

Взам. инв. №

Повт. и дата

Изм. № лист