

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Кафедра «Транспортний зв'язок»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни

***"ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ЗВ'ЯЗКУ"***

Частина 3

Харків – 2009

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри "Транспортний зв'язок"

24 січня 2008 р., протокол №7.

Методичні вказівки призначені для студентів усіх форм навчання факультету АТЗ спеціальності „Телекомунікаційні мережі” та спеціалізації „Автоматизовані системи технологічного зв’язку на залізничному транспорті”.

Укладачі:

доц. М.П. Кириченко,
асистенти О.В. Мороз,
К.А. Трубчанінова

Рецензент

доц. К.С. Клименко

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни
"ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ЗВ’ЯЗКУ"

Частина 3

Відповідальний за випуск Кириченко М.П.

Редактор Еткало О.О.

Підписано до друку 03.04.08 р.
Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.
Умовн.-друк.арк. 1,75. Обл.-вид.арк. 2,0.
Замовлення № Тираж 200. Ціна

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від. 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТу,
61050, Харків - 50, пл. Фейєрбаха, 7

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ

Українська державна академія залізничного транспорту

Кафедра: „Транспортний зв'язок”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни

"ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ"

для студентів усіх форм навчання факультету АТЗ спеціальності
„Телекомунікаційні мережі” та спеціалізації „Автоматизовані
системи технологічного зв'язку на залізничному транспорті”

Частина 3

Харків 2009

ЗМІст

СТИСЛИЙ ОПИС МЕТОДИКИ МОДЕЛЮВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ СХЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ „ELECTRONICS WORKBENCH” (WEWB 5.12).....	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1 МОДЕЛЮВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОННОГО ЗГЛАДЖУЮЧОГО ФІЛЬТРА.....	9
1.1 Загальні теоретичні положення.....	9
1.2 Стислий опис роботи схеми.....	9
1.3 Порядок виконання завдання.....	11
Контрольні запитання.....	12
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2 МОДЕЛЮВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЕНСАЦІЙНОГО СТАБІЛІЗАТОРА НАПРУГИ.....	13
2.1 Загальні теоретичні положення.....	13
2.2 Стислий опис роботи схеми.....	13
2.3 Порядок виконання завдання.....	15
Контрольні запитання.....	16
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3 МОДЕЛЮВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ СТАБІЛІЗАТОРІВ НАПРУГИ З ІМПУЛЬСНИМ КЕРУВАННЯМ.....	17
3.1 Загальні теоретичні положення.....	17
3.2 Стислий опис роботи схеми.....	23
3.3 Порядок виконання завдання:.....	25
Контрольні запитання.....	26
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	28

СТИСЛИЙ ОПИС МЕТОДИКИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ СХЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ „ELECTRONICS WORKBENCH” (WEWB 5.12)

Програмні пакети „Electronics Workbench” різноманітних версій широко застосовуються для схемотехнічного проектування. Користуватися ними не дуже складно, у той же час вони іноді дозволяють заощадити час та обійтися без дорогого натурального макетування. Від інших програм схемотехнічного проектування „Electronics Workbench” відрізняється зручним інтерфейсом та простотою використання.

Історія створення програми Electronics Workbench (EWB) починається з 1989 р. Ранні версії програми склалися з двох незалежних частин. За допомогою однієї половини програми можна було моделювати аналогові пристрої, за допомогою іншої - цифрові. Такий "роздвоєний" стан створював певні незручності, особливо при моделюванні змішаних аналого-цифрових пристроїв. У 1996 р. у версії 4.1 ці частини були об'єднані і через півроку випущена п'ята версія програми. Було доповнено засобами аналізу приблизно в обсязі програми Micro-Cap V, перероблено й трохи розширено бібліотеку компонентів. Засоби аналізу ланцюгів виконані в типовому для всієї програми ключі - мінімум зусиль із боку користувача. Подальшим розвитком EWB є програма EWB Layout, призначена для розроблення друкованих плат. Програма EWB має сумісність знизу нагору, тобто всі схеми, які створені у версіях 3.0 і 4.1, можуть бути промодельовані у версії 5.0. Слід зазначити, що EWB дозволяє також моделювати пристрої, для яких завдання на моделювання підготовлено в текстовому форматі SPICE, забезпечуючи сумісність із програмами Micro-Cap і PSpice.

Програма EWB 4.1 розрахована для роботи в середовищі Windows 95. Необхідний обсяг дискової пам'яті - близько 16 Мбайт. Для розміщення тимчасових файлів потрібно додатково 10 – 20 Мбайт вільного простору.

Розглянемо стисло роботу програми версії WEWB 5.12.

Моделювання радіоелектронних пристроїв здійснюється у такій послідовності:

- 1) складання електричної принципіальної схеми спроектованого пристрою;
- 2) підключення приладів і задання режиму їх роботи;
- 3) вмикання моделі, аналіз і оцінка результатів дослідження;
- 4) документування схеми і результатів дослідження.

Після запуску програми з'являється робоче поле і лінійка елементів, меню готових елементів та пристроїв електронних схем, меню приладів, головне меню, перемикач живлення (рисунок 1.1).

Керування програмою та створення схеми здійснюється за допомогою комп'ютерної „мишки”. Головне меню має такі позиції: “File” (Файл); “Edit” (Редагування); “Circuit” (Схема); “Window” (Вікно); “Help” (Довідка). Для доступу до набору команд головного меню або до лінійок елементів необхідно встановити курсор на потрібну позицію і натиснути ліву кнопку „мишки”.

1 Складання схеми здійснюють у такій послідовності.

У робоче поле розміщують усі необхідні елементи електронної схеми з відповідних лінійок елементів (ліва колонка екрана), які у свою чергу вибирають з набору лінійок елементів (над робочим полем) або з позиції головного меню Window. На рисунку 1.1 відкриті усі лінійки елементів.

Елемент схеми слід вибрати курсором, зафіксувати вибір, натискаючи та утримуючи ліву кнопку „мишки” і, переміщуючи „мишку”, розмістити елемент у потрібному місці робочого поля, відпустити кнопку. Так само слід зробити, якщо потрібен будь-який прилад.

Для зручності розташування елементів на робочому полі передбачений режим розподілення поля на квадрати сітки. Також передбачений показ значень і моделей елементів. Ці режими можна ввімкнути, входячи у головному меню у позицію Circuit та вибравши команду Preferences (Параметри) і визначивши режим роботи екрана:

- Show grid - показувати сітку;
- Use grid - використовувати сітку;
- Show labels - показувати мітки;
- Show models - показувати моделі;
- Show values - показувати значення.

(За замовчанням ввімкнені всі режими, крім Show grid)

Режим роботи задають, встановивши курсор на віконце відповідної позиції і натиснувши ліву кнопку „мишки” (позначка - так, пусто - ні). Вибір необхідно підтвердити, натиснувши на кнопку Ассерт (Прийняти).

При необхідності вилучити непотрібний елемент (групу елементів) з робочої області екрана необхідно спочатку позначити його, а потім реалізувати один з варіантів:

- а) натиснути на клавіатурі клавішу Delete;
- б) вибрати команду Edit \ Cut;
- в) вибрати команду Edit \ Delete;
- г) перемістити елемент у поле лінійки елементів.

У варіантах „а” і „в” слід підтвердити вилучення.

Щоб виділити елемент, достатньо встановити на нього курсор і натиснути ліву кнопку „мишки”. Для виділення групи елементів необхідно встановити курсор у лівому верхньому куті цієї групи, натиснути з утриманням ліву або праву кнопку „мишки” і переміщенням останньої праворуч і вниз замкнути у прямокутник частину схеми, що виділяється.

Щоб відмінити виділення, достатньо перемістити курсор у вільну площину робочого поля і клацнути лівою кнопкою „мишки”.

Здійснюють з’єднання виводів елементів схеми. Його виконують за допомогою „мишки”. Для цього підводять курсор до виводу елемента або приладу (з’являється маркер виводу - чорний квадрат або точка), натискають із утриманням ліву кнопку „мишки” і підводять курсор до іншого виводу (при цьому також з’являється маркер). Відпустивши кнопку, здійснюють з’єднання.

При з’єднанні разом більше двох виводів елементів спочатку необхідно встановити з’єднувач (точку) з лінійки пасивних елементів (Passive), а потім виконати необхідні з’єднання за допомогою цього з’єднувача. При необхідності приєднання виводу елемента до існуючої лінії з’єднання з’єднувач можна не встановлювати, а просто протягнути вказівником „мишки” лінію від виводу елемента до лінії з’єднання (на лінії з’явиться невелике коло) і відпустити кнопку „мишки”.

Попередження! Якщо ви спробуєте приєднатися до виводу, який вже з'єднаний з іншим виводом, то старе з'єднання може бути перервано.

Для зміни кольору з'єднувальних ліній і амплітудно-часових діаграм на екрані осцилографа необхідно поставити курсор на потрібну з'єднувальну лінію, двічі натиснувши ліву кнопку „мишки”, вибрати колір курсором і натиснути ліву кнопку „мишки”. Колір осцилограм відповідає кольорові з'єднувальної лінії між входом осцилографа і точкою схеми.

Для встановлення міток або параметрів для елементів схеми слід встановити на його позначку курсор і двічі натиснути ліву кнопку „мишки”.

При використанні у спроектованій схемі фрагментів, що повторюються, доцільно створити їх підсхеми. Для цього необхідно виконати таку послідовність дій: помітити групу елементів, які виділяють у підсхему, в позиції головного меню Circuit ініціювати команду Subcircuit, набрати латинським шрифтом ім'я підсхеми, натиснути на кнопку Copy from Circuit (копіювання зі схеми). Створена підсхема зберігається у лінійці елементів Custom (Закази) - крайня ліва позиція на полиці елементів. Тепер можна використовувати макровизначник підсхеми для компонування загальної схеми. Щоб прибрати підсхему, необхідно закрити її вікно, а щоб розкрити - встановити курсор на умовну позначку її макровизначника і двічі натиснути ліву кнопку „мишки”.

2 Підключення приладів або пристроїв відображення інформації аналогічно складанню схеми:

- у робоче поле поміщують необхідні прилади таким чином, щоб довжина з'єднувальних ліній була мінімальною. Слід вибрати курсором необхідний прилад у верхньому секторі екрана (на приладній полиці), зафіксувати вибір шляхом натискання та утримання лівої кнопки „мишки” і, переміщуючи її, розташувати прилад у потрібному місці робочого поля, відпустити кнопку;

- здійснюють підключення приладів до схеми. Попередньо слід відкрити їх панелі для усвідомлення необхідності використання конкретних входів/виходів.

Для відкриття панелі приладу (а також для установлення режиму його роботи і знімання показань) необхідно до його умовної позначки підвести курсор і натиснути двічі ліву кнопку „мишки”.

Для закриття панелі приладу слід встановити курсор на кнопку закриття панелі і натиснути ліву кнопку „мишки”.

З’єднання входів/виходів приладів з входами/виходами схеми здійснюють аналогічно з’єднанню елементів схеми.

Задають режими роботи приладів, виходячи з їх функціональних можливостей і потреби використання. Попередньо слід відкрити їх панелі.

3 Вмикання моделі здійснюють установленням курсора на вмикач, розташований у правому верхньому куті екрана, і натисканням лівої кнопки „мишки”. Аналіз і оцінку результатів здійснюють візуально за результатами вимірювань.

4 Документування схеми і результатів досліджень (панелей приладів) здійснюють, вибравши File\ Print (замість цього можна натиснути одночасно на клавіатурі клавіші “Ctrl” і “P”). З’явиться діалогове вікно, в якому ви маєте змогу вибрати об’єкти, які бажаєте надрукувати. Щоб внести до списку друку об’єкт, встановіть поряд із ним позначку (поставте на квадратик курсор і натисніть ліву кнопку „мишки”). Для зняття позначки встановіть курсор на позначку і натисніть ліву кнопку „мишки”. Вибір у цілому фіксується натисканням „мишкою” кнопки Print.

Під час досліджень, після завершення роботи, а також при необхідності короткочасного виходу з програми бажано зберігати одержані поточні результати на дискеті.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

МОДЕЛЮВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОННОГО ЗГЛАДЖУЮЧОГО ФІЛЬТРА

1.1 Загальні теоретичні положення

Згладжуючі фільтри (ЗФ) вмикають між випрямлячем і навантаженням для зменшення змінної складової напруги. Одним із найбільш важливих показників ЗФ є коефіцієнт згладжування пульсацій, який визначають як співвідношення коефіцієнтів пульсацій на вході і виході фільтра. Пасивні фільтри складаються з С-, R-, L- елементів, активні містять транзистори, що в залежності від схеми відіграють роль ємності або індуктивності.

Матеріал теми достатньо повно викладений у [1, с. 108-115; 2, с. 47-61; 3, с. 174-185; 7, с. 36-41]. У тому числі перехідні процеси у ЗФ розглянуті у [1, с. 111-115; 2, с. 54-55; 3, с. 185-187; 7, с. 39-40], активні ЗФ – у [1, с. 183-185; 2, с. 55-59; 3, с. 182-185; 7, с. 40-41].

Особливу увагу при вивченні матеріалу слід звернути на порівняльні характеристики різних типів ЗФ, зокрема переваги та недоліки кожного з них.

У результаті засвоєння матеріалу студент повинен:

- **знати** основні схеми пасивних і активних згладжуючих фільтрів;
- **вміти** здійснювати розрахунки пасивних ЗФ.

1.2 Стислий опис роботи схеми

Транзистор VT1 в такій схемі вмикання має різний опір за постійним $R_{ст}$ і змінним r_d струмом (рисунок 1.1). Статичний опір $R_{ст} = E_k / I_k$, динамічний $r_d = \Delta E_k / \Delta I_k$. Згідно з типовими вихідними характеристиками транзистора можна зробити висновок, що $r_d \gg R_{ст}$. Динамічний опір r_d можна подати як еквівалентну індуктивність $L_{екв}$, оскільки $r_d = \omega_{п} L_{екв}$ ($\omega_{п} = 2\pi f_{п}$ - частота пульсацій), звідки $L_{екв} = r_d / \omega_{п}$. Ця індуктивність може досягти одиниць і десятків Генрі, що значно перевищує індуктивність звичайних дроселів.

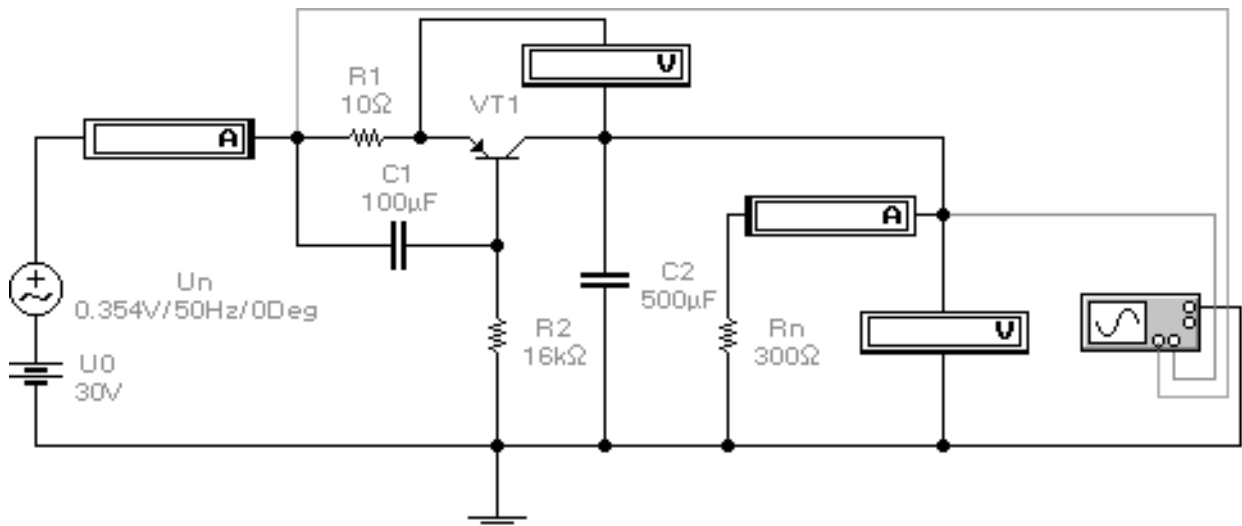




Рисунок 1.1 - Схема моделювання ЗФ


Розглянуто схему, в якій Г-подібним є RC-фільтр, який згладжує напругу пульсацій на базі VT1 і складається з R2C1. Ці елементи слід вибирати так, щоб $\tau = R2C1 \gg T_{п}$ ($T_{п}$ - період пульсацій). За допомогою R2 можливе регулювання вихідних напруги та струму - U'_0, I'_0 . Резистор R1 забезпечує підвищення постійної часу розрядки конденсатора C1 $\tau_p = R1C1$, яка повинна бути набагато більша, ніж $T_{п}$. Оскільки R1 увімкнений на шляху струму навантаження, то це призводить до зниження ККД фільтра. Тому великого значення τ_p треба досягти не за рахунок R1, а збільшенням C1 (сотні мікрофарад).

Необхідність резистора R1 полягає також у тому, що він забезпечує захист схеми від короткого замикання опору навантаження R_n , оскільки струм КЗ створює на R1 напругу негативного зворотного зв'язку, яка закриває транзистор VT1.

Конденсатор C2 є додатковим елементом фільтрації пульсацій вихідної напруги.

Рекомендації щодо використання компонентів та приладів WEWB41:

- джерела живлення, резистори та конденсатори вибрати з лінійки елементів „passiv”, біполярний транзистор – з лінійки „active”, підводячи курсор до піктограм  і  (за умовчанням вибирається транзистор бібліотеки „default” тип „ideal”); вольтметри

- й амперметри – з лінійки „indicators” (піктограма );
- режим роботи вольтметрів та амперметрів слід вибрати „DC”;
 - здійснити такі установки осцилографа (рисунок 1.2): масштаб горизонтальної розгортки (time base) - 0,02 s/div ; вертикальний масштаб каналу А - 500 mV/div , каналу Б - 500 μV/div ;

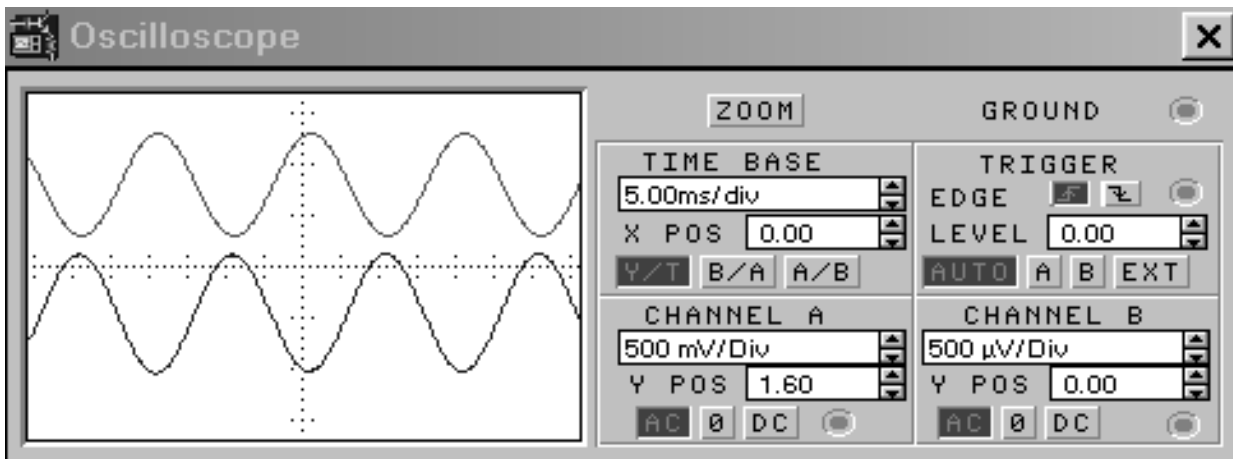


Рисунок 1.2 - Панель осцилографа з відповідними установками

1.3 Порядок виконання завдання:

- користуючись приладами, зробити такі вимірювання параметрів схеми:

U'_n - амплітуду пульсацій на виході схеми;

U_n - амплітуду пульсацій на вході;

U'_0 - вихідну напругу;

I'_0 - вихідний струм,

I_0 - вхідний струм (постійна складова вхідної напруги згідно зі схемою - $U_0=30V$);

- обчислити коефіцієнти фільтрації $K_\phi = U_n/U'_n$, сгладжування $K_{згл} = U_n \cdot U'_0 / (U'_n \cdot U_0)$ та ККД фільтру $\eta = U'_0 \cdot I'_0 / (U_0 \cdot I_0)$;

- змінюючи номінали C1, R1 та C2, дослідити зміну K_ϕ та $K_{згл}$. Проаналізувати і пояснити одержані результати.

Примітки

1 При зміні R1 необхідно контролювати падіння напруги між

емітером та колектором транзистора (не менше 2,5В) для зберігання активного режиму підсилення.

2 Файл програми моделювання „filtr.ca4” зберігається в електронній бібліотеці кафедри транспортного зв'язку.

Контрольні запитання

- 1 Класифікація ЗФ. Схеми пасивних фільтрів.
- 2 Як змінюються параметри схеми випрямлення при підключенні конденсатора паралельно навантаженню?
- 3 Перехідний процес у випрямлячі з С – фільтром. Як залежить час перехідного процесу від R_i , R_n , С і m_2 ?
- 4 Порівняйте характеристики Г – подібних RC – і LC – фільтрів. Назвіть галузь їх застосування.
- 5 Перехідний процес у LC – фільтрі. Засоби зменшення перевантажень за напругою і струмом.
- 6 Чому в Г – подібному LC – фільтрі K_Φ залежить від R_n ?
- 7 Чому Г – подібний LC – фільтр неефективний при великих струмах навантаження?
- 8 Принцип роботи транзисторного ЗФ з колекторним навантаженням. Призначення елементів схеми.
- 9 Принцип роботи транзисторного ЗФ з емітерним навантаженням.
- 10 Які переваги і недоліки мають активні ЗФ порівняно з пасивними?
- 11 За допомогою програмного пакета “Electronics Workbench” (WEWB41) побудувати та дослідити схему активного ЗФ, як показано на рисунку 1.1 (діюче значення змінної складової напруги 0,354В відповідає амплітудному значенню 0,5В).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2 МОДЕЛЮВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЕНСАЦІЙНОГО

СТАБІЛІЗАТОРА НАПРУГИ

2.1 Загальні теоретичні положення

Стабілізатором напруги (СН) називається електротехнічний пристрій, на виході якого підтримується стабільність напруги із заданою точністю при зміні вхідної напруги або вихідного навантаження в заданих межах.

Нестабільність напруги (струму) на виході стабілізатора залежить від впливу так званих дестабілізуючих факторів, а саме: нестабільності мережної напруги, температури, старіння матеріалів елементів схеми, зміни опору навантаження і т. ін.

Стабілізуючі властивості СН повною мірою характеризуються коефіцієнтом стабілізації $K_{ст} = \Delta U_{вх} / U_{вх} : \Delta U_{вих} / U_{вих}$.

При вивченні матеріалу слід звернути увагу також на фільтруючі властивості параметричних та компенсаційних СН.

У результаті засвоєння матеріалу студент повинен:

- **знати** схеми та принципи дії параметричних та компенсаційних СН безперервної дії;
- **вміти** здійснювати розрахунки компенсаційного стабілізатора напруги (КСН) із безперервним управлінням.

Призначення, класифікація та основні характеристики стабілізаторів найбільш повно викладені у [2, с. 61-63; 3, с. 248-250; 7, с. 43-45], принципи дії та схеми параметричних СН – у [1, с. 152-162; 2, с. 64-70; 3, с. 250-254; 4, с. 166-170; 7, с. 45-50; 9, с. 104-107; 10, с. 138-140], КСН безперервної дії – у [1, с. 162-188; 2, с. 71-75; 3, с. 254-269; 4, с. 170-181; 7, с. 50-51; 9, с. 107-116], методики розрахунків – у [2, с. 165-169; 4, с. 176-181; 7, с. 96-103], інтегральні керуючі мікросхеми – у [1, с. 182-183; 4, с. 190-200].

2.2 Стислий опис роботи схеми

Електрична схема КСН (рисунок 2.1) являє собою емітерний повторювач на складеному транзисторі VT1–VT2, що охоплений негативним зворотним зв'язком, в який входить ділльник R3, R4 і підсилювач постійного струму на VT3. Опорне джерело напруги $U_{оп}$




створене за схемою параметричного стабілізатора на VD1 та R2.

У статичному режимі на вході VT3 діють два джерела напруги: позитивна на R4 і негативна на VD1. Базово-емітерна напруга VT3 дорівнюватиме різниці цих напруг, тому що вони ввімкнуті зустрічно. Для того, щоб VT3 міг реагувати на зміну вихідної напруги U'_0 , він повинен бути відкритим, а для цього треба, щоб напруга на R4 була більшою, ніж $U_{оп}$.

Через колектор VT3 протікає колекторний струм $I_{кз}$, створюючи перепад напруги на R1 - U_{R1} . Напруга на базі VT1, з одного боку, буде $U_{\delta 1} = U_0 - U_{R1}$, а з другого - $U_{\delta 1} = U_{ке3} + U_{оп}$, де $U_{ке}$ - падіння напруги між колектором і емітером VT3. Оскільки ця напруга прикладається до бази складеного транзистора, що увімкнений за схемою емітерного повторювача, то його вихідна напруга $U'_0 = U_{\delta 1} - (U_{\delta e1} + U_{\delta e2}) \cong U_{\delta 1}$, де $U_{\delta e1}, U_{\delta e2}$ - падіння напруги на базово-емітерних переходах відповідно VT1 і VT2. Таким чином, транзистори VT1 і VT2 також відкриті.

Розглянемо тепер динамічний режим КСН, уявивши, що вхідна напруга U_0 зросла на $+\Delta U_0$. У цьому разі вихідна напруга U'_0 теж дещо зросте і це призведе до того, що напруга на R4 також підвищиться, отже, VT3 відкриється більше. Струм $I_{кз}$ зросте, падіння напруги на R1 підвищиться, а на базі VT1 - зменшиться. В результаті цього транзистори VT1 і VT2 трохи закриються і вихідна напруга U'_0 зменшиться на величину $-\Delta U'_0$. Таким чином відбудеться часткова компенсація нестабільності вихідної напруги.

Рекомендації щодо використання компонентів та приладів WEWB41:

- джерела живлення, резистори та конденсатори вибрати з лінійки елементів „passiv”, біполярний транзистор та стабілітрон – з лінійки „active”, підводячи курсор до піктограм  і  (за умовчанням вибираються елементи бібліотеки „default” тип „ideal”); вольтметри й амперметри – з лінійки „indicators” (піктограма 

- режим роботи вольтметрів та амперметрів слід вибрати „DC”;

- здійснити такі установки осцилографа: масштаб горизонтальної розгортки (time base) - $0,02 \text{ s/div}$; вертикальний

масштаб каналу А - 1V/div , каналу Б - 20mV/div .

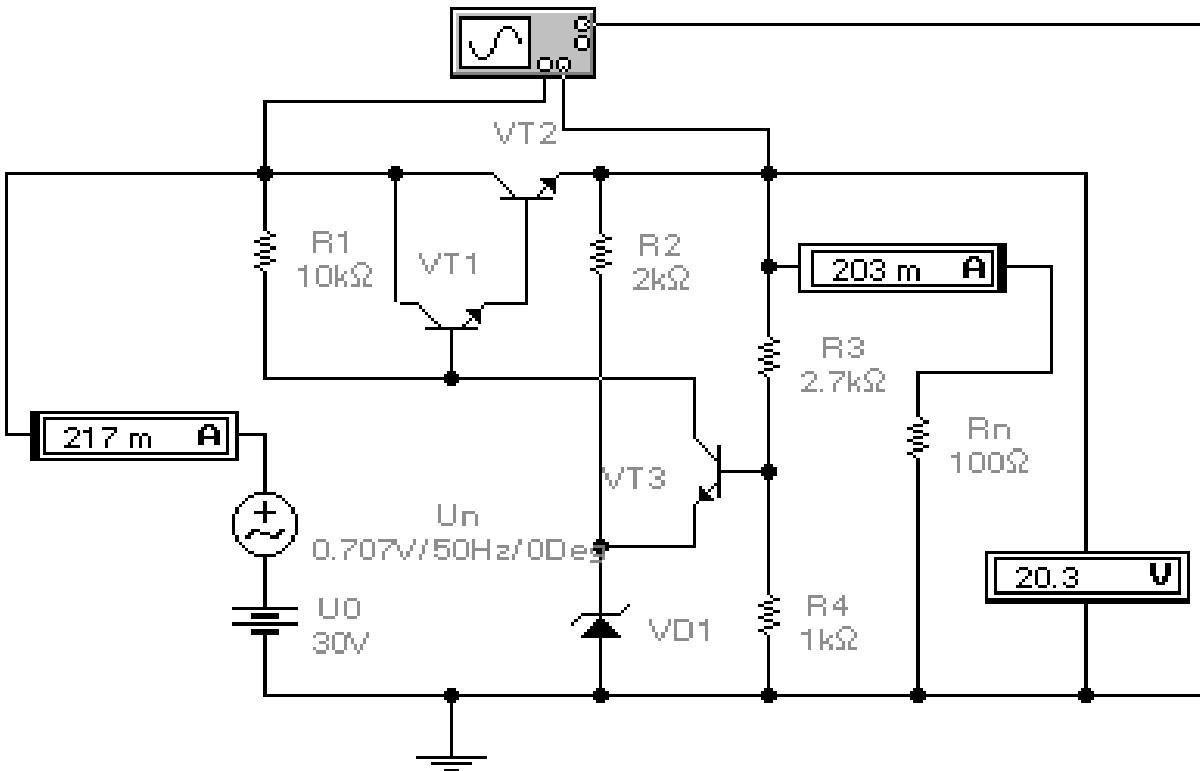


Рисунок 2.1 - Схема моделювання КСН з безперервним управлінням

2.3 Порядок виконання завдання

- користуючись приладами, зробити наступні вимірювання параметрів схеми: U'_n - амплітуду пульсацій на виході схеми; U_n - амплітуду пульсацій на вході; U'_0 - вихідну напругу; I'_0 - вихідний струм, I_0 - вхідний струм (постійна складова вхідної напруги згідно зі схемою - $U_0 = 30\text{В}$);

- обчислити коефіцієнт фільтрації та ККД стабілізатора для величини опору навантаження $R_n = 50\ \text{Ом}$;

- змінюючи постійну складову вхідної напруги на $\Delta U_0 = 10\text{В}$ ($U_0 = 40\text{В}$) та користуючись даними вимірювальних приладів обчислити коефіцієнт стабілізації $K_{ст} = \Delta U_0 \cdot U'_0 / (\Delta U'_0 \cdot U_0)$;

- фіксуючи постійні та змінні складові напруги обчислити коефіцієнт фільтрації K_ϕ у діапазоні змін струму навантаження $I'_0 = 0,1 - 1\text{А}$ та побудувати графіки залежностей $K_\phi = f(I'_0)$ і зовнішньої характеристики стабілізатора $U'_0 = f(I'_0)$.

Проаналізувати та пояснити одержані результати.

Примітка - Файл програми моделювання „st.ca4” зберігається в електронній бібліотеці кафедри транспортного зв'язку.

Контрольні запитання

- 1 Основні дестабілізуючі фактори та їх вплив на параметри стабілізатора напруги.
- 2 Класифікація стабілізаторів напруги.
- 3 Поясніть суть параметричного засобу стабілізації.
- 4 Нелінійні елементи параметричних стабілізаторів напруги (ПСН) та їх характеристики.
- 5 Експлуатаційні особливості та засоби розширення інтервалу стабілізації ПСН.
- 6 Фільтруючі властивості ПСН.
- 7 В чому суть компенсаційного засобу стабілізації?
- 8 Структурна схема КСН. Статичний та динамічний режими роботи.
- 9 Засоби захисту КСН від перевантаження.
- 10 Основні експлуатаційні характеристики КСН.
- 11 У чому подібність і розходження КСН безперервної дії та активних ЗФ?
- 12 Які режими є найбільш небезпечними у КСН із послідовним увімкненням регулюючого транзистора?
- 13 Чому захист КСН від перевантажень струмом за допомогою плавких запобіжників не є ефективним?
- 14 На якому принципі побудований електронний захист стабілізатора від перевантаження струмом?
- 15 Наведіть основні характеристики інтегральних мікросхем К142ЕН5А та внутрішні засоби їх захисту від перевантажень.
- 16 За допомогою програмного пакета “Electronics Workbench” (WEWB41) побудуйте та дослідіть схему КСН, яку показано на рисунку 2.1.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3 МОДЕЛЮВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ СТАБІЛІЗАТОРІВ НАПРУГИ З ІМПУЛЬСНИМ КЕРУВАННЯМ

3.1 Загальні теоретичні положення

Розроблення безтрансформаторних джерел електроспоживлення (ДЕЖ) на основі високочастотних інверторів напруги є сучасним напрямком розвитку високоефективних джерел електроживлення радіоелектронної апаратури. Відсутність у складі ДЕЖ силового мережного трансформатора значно покращує масогабаритні характеристики електронних пристроїв. Включення інвертора, діючого на частотах 20 – 300 кГц в структуру ДЕЖ забезпечує, по-перше, гальванічне розв'язання навантаження від первинної мережі, по-друге, значно підвищує ККД ДЕЖ за рахунок імпульсного режиму роботи силових транзисторів.

Матеріал з принципів побудови та розрахунків імпульсних КСН викладений у [1, с. 189-207; 2, с. 75-106; 4, с. 32-34, 306-319; 7, с. 52-53; 8, с. 159-183], методика розрахунків - у [2, с. 169-183; 4, с. 320-339], особливості розрахунків імпульсних трансформаторів і дроселів – у [2, с. 98-106; 4, с. 105-121; 6, с. 112-122], принципи побудови керуючих інтегральних мікросхем - у [1, с. 204-207], особливості побудови мережних фільтрів та випрямлячів і основні структурні схеми безтрансформаторних ДЕЖ найбільш повно викладені у [4, с. 401-405; 5, с. 9-11, с. 25-34; 8, с. 43-45], принципи дії та схеми інверторів із самозбудженням – у [1, с. 228-237, 4, с. 350-360; 5, с. 89-105], принципи дії, схеми та основи розрахунків регульованих одноктактних і двотактних інверторів напруги із зовнішнім збудженням – у [5, с.34-63; 8, с.119-145], особливості проектування імпульсних трансформаторів та елементна база безтрансформаторних ДЕЖ – у [5, с. 19-24; 6, с. 12-28], проблеми сумісності з радіоелектронною апаратурою (РЕА) – у [2, с. 159-162; 4, с. 466-468, 7, с. 91-95].

При вивченні матеріалу слід звернути увагу на характерну особливість КСН із імпульсним управлінням, яка полягає в тому, що на відміну від КСН із безперервним управлінням регулюючий елемент діє у ключовому режимі і більшу тривалість часу знаходиться у двох станах - насичення і відсікання, де втрати потужності мінімальні. Тому ККД імпульсних стабілізаторів суттєво вищий, ніж безперервних. Необхідно звернути також увагу і на те, що на відміну від стабілізаторів безперервної дії, де процеси фільтрації і стабілізації однозначно пов'язані між собою, в

імпульсних стабілізаторах фільтруються високочастотні імпульси, що обумовлені комутацією ключового елемента, тобто за допомогою вихідного фільтра зменшується змінна складова частоти комутації, а стабілізація напруги здійснюється за допомогою ланцюга негативного зворотного зв'язку.

При вивченні матеріалу зверніть увагу на проблеми електромагнітної сумісності безтрансформаторних ДЕЖ із електронною апаратурою, під якою розуміють здатність одночасного функціонування ДЕЖ та РЕА за умови дії ненавмисних електромагнітних перешкод з боку джерела вторинного електроживлення. Виникнення перешкод зумовлене наявністю високочастотних коливальних контурів, а також паразитними параметрами схем ємності обмоток трансформаторів, індуктивності розсіяння, індуктивності та ємності монтажу.

Розглянемо особливості роботи схем із імпульсним управлінням на прикладі послідовного стабілізатора знижуючого типу, який є найбільш поширеним серед імпульсних КСН. Складовими елементами стабілізатора, схема якого наведена на рисунку 3.1, є такі:

- силовий ключ – Кл, що забезпечує високочастотну комутацію струму (здебільшого роль ключа виконує потужний біполярний або польовий транзистор);
- розрядний діод VD;
- згладжуючий фільтр L, C;
- схема управління та зворотного зв'язку СУ, що забезпечує стабілізацію напруги.

Із рисунка 3.1 видно, що ключовий елемент Кл і накопичуючий дросель фільтра L увімкнені послідовно з навантаженням R_n , звідки й назва стабілізатора – послідовний.

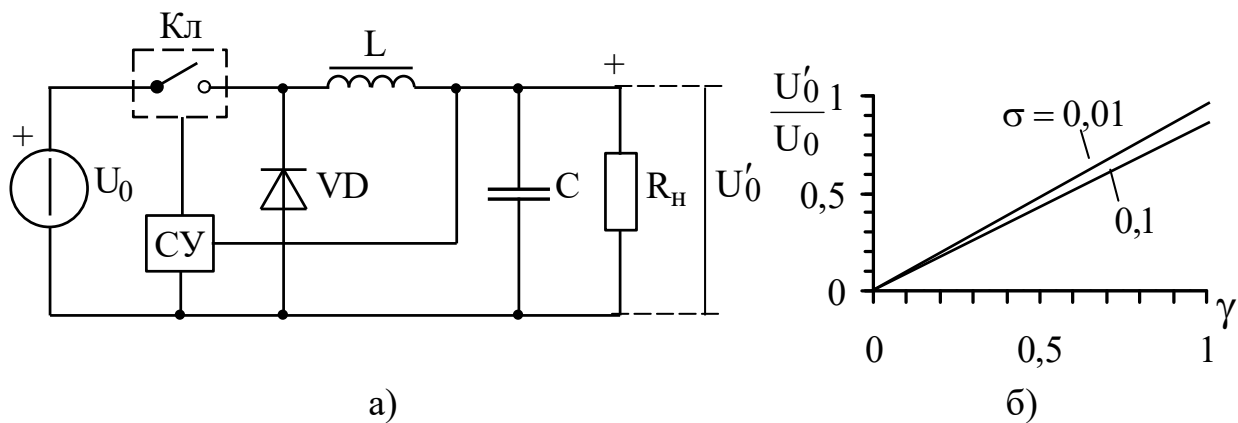


Рисунок 3.1 - Структурна схема (а) та регулююча характеристика (б) стабілізатору знижуючого типу

Фаза 1 - накачування енергії. Робота елементів у цій фазі, яка триває протягом часу t_1 , показана діаграмами напруг і струмів на рисунку 3.2,а та еквівалентною схемою заміщення на рисунку 3.2,б. Ключовий елемент замкнутий і проводить струм i_1 , що тече від джерела живлення U_0 до навантаження через дросель L , у якому в цей час відбувається накопичення енергії. У цей же час підзаряджується конденсатор C .

В еквівалентній схемі використані такі позначення: $r_{дж}$ - внутрішній опір джерела живлення; $r_{др}$ - активний опір обмотки дроселя; $r_н$ - активний опір замкнутого ключа.

Фаза 2 – розряд (рисунок 3.2,в). Відомо, що індуктивний елемент при різкій зміні характеристик ланцюга завжди прагне перешкодити зміні напрямку і величині струму, що протікає через його обмотку. Тому, коли після закінчення фази 1 відбувається розмикання ключа $Кл$ струм, що підтримується індуктивним елементом, змушений замикатися через розрядний діод VD , опір якого у відкритому стані позначений $r_д$.

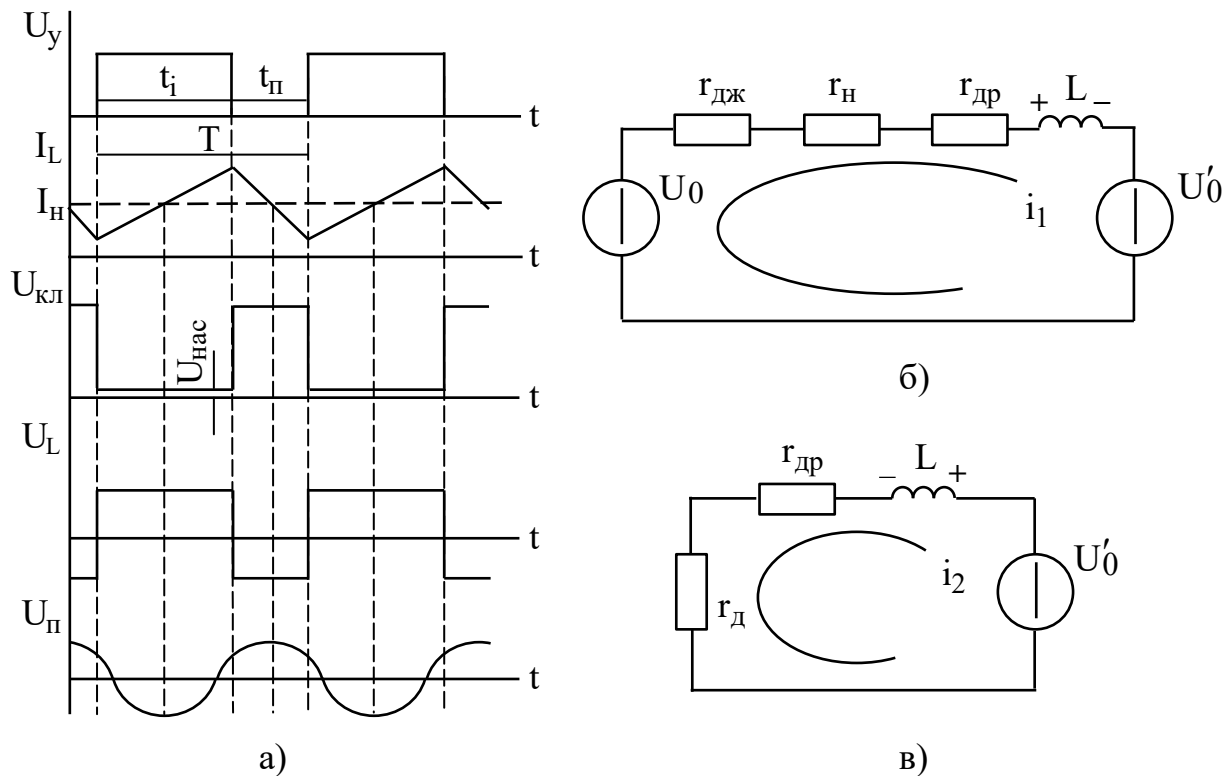


Рисунок 3.2 - Часові діаграми напруг і струмів (а) та еквівалентні схеми заміщення (б, в) для двох циклів роботи стабілізатора

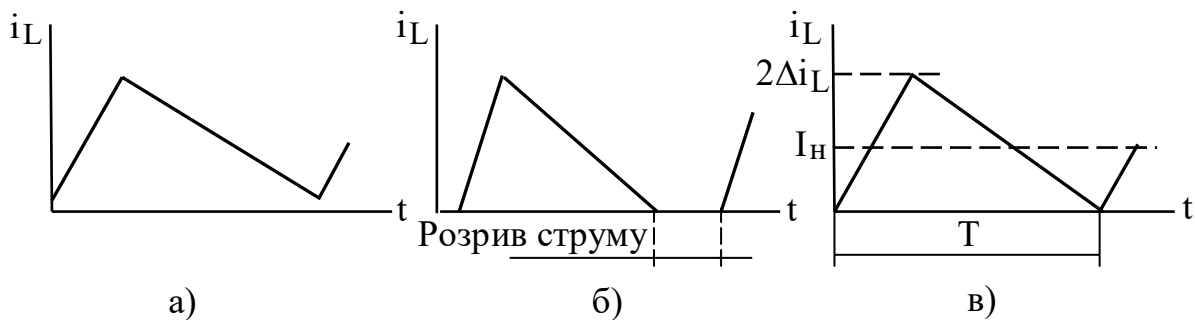
Оскільки джерело живлення відключене, дроселю нізвідки поповнювати енергію, тому він починає розряджатися по ланцюзі "діод-навантаження", як показано на рисунку 3.2,в. Звідси й назва діода - "розрядний". Через деякий проміжок часу $t_{п}$ ключ знову замикається і процес повторюється. Вихідна напруга завжди нижча за вхідну, звідки й назва стабілізатора. Робоча частота стабілізатора, що задається схемою управління, має такий вигляд:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_i + t_{п}}$$

Відношення тривалості відкритого стану ключа, при якому відбувається накачування енергії, до періоду комутації називається коефіцієнтом заповнення

$$\gamma = \frac{t_i}{T} = \frac{t_i}{t_i + t_{п}} = t_i \cdot f$$

Характеристики схеми в значній мірі залежать від режимів роботи дроселя, що визначаються величиною його індуктивності. Розрізняють два варіанти: режим безрозривних струмів та розривних (рисунок 3.3). У першому випадку струм через дросель не припиняється протягом усього періоду комутації.



а - безрозривний, б - розривний, в - граничний
Рисунок 3.3 - Струмові режими роботи дроселя

Режим безрозривних струмів є більш доцільним, оскільки, як свідчить аналіз роботи схеми, в цьому варіанті пульсації вихідної напруги найменші, а регулююча характеристика практично лінійна і визначається формулою

$$U'_0/U_0 = \gamma \cdot (1 + \sigma)^{-1},$$

де U'_0 , U_0 - відповідно вихідна та вхідна напруги.

У формулі використане позначення $\sigma = r/R_H$, де $r = r_H + r_{дж}$. Коефіцієнт пульсацій визначається співвідношенням

$$K_{\Pi} = \frac{(1 + \sigma) \cdot (1 - \gamma)}{16f^2 \cdot LC}.$$

Режим безперервних струмів дроселя здійснюється за умови

$$L \geq \frac{R_H \cdot (1 + \sigma) \cdot (1 - \gamma_{\min})}{2f}.$$

Система імпульсного управління забезпечує зворотний зв'язок між виходом та входом стабілізатора. Якщо вихідна напруга з будь-якої причини змінюється, то система управління відповідним чином корегує коефіцієнт заповнення, щоб зменшити цю зміну. Таким чином, основною характеристикою системи управління є коефіцієнт передачі, що встановлює зв'язок між зміною коефіцієнта заповнення $\Delta\gamma$ та напругою на навантаженні $\Delta U'_0$ при широтно-імпульсній модуляції (ШІМ)

$$K_{\text{шім}} = -\Delta\gamma/\Delta U'_0,$$

де від'ємний знак обумовлений протилежним характером змін коефіцієнта заповнення та вихідної напруги.

Коефіцієнт стабілізації обчислюється за формулами:

$$K_{\text{ст}} = \frac{K_{\text{шім}} \cdot U_0}{(1 + \sigma)} + 1, \quad r_{\text{ст}} = -\frac{r}{K_{\text{шім}} \cdot U_0 + 1}.$$

Відмітимо дуже важливий висновок, який можна зробити з останнього співвідношення, – внутрішній опір стабілізатора є постійним і не залежить від струму навантаження. Таким чином, зовнішньою характеристикою стабілізатора є пряма лінія із тангенсом кута нахилу, що дорівнює $\text{tg}(\alpha) = -r/(K_{\text{шім}}U_0 + 1)$.

У результаті засвоєння матеріалу студент повинен:

- **знати** основні схеми та принципи дії КСН із імпульсним управлінням, принципи побудови та основні структурні схеми стабілізованих безтрансформаторних ДЕЖ;

- **вміти** здійснювати розрахунки силових ланцюгів імпульсних КСН, технічно грамотно вибирати випрямлячі, однотоктні та двотоктні інвертори безтрансформаторних ДЕЖ, мати уявлення про основні тенденції і перспективи їх удосконалення.

3.2 Стислий опис роботи схеми




Електрична схема імпульсного КСН являє собою регулятор напруги знижуючого типу з широтно-імпульсним управлінням на VT1,

VD1, L1, C1, що охоплені негативним зворотним зв'язком, в який входить розділювальні опори R2, R3, R4, підсилювач сигналу відхилення на DA1, ШІМ перетворювач на DA2 і підсилювач на VT2.

Вихідна напруга через опори R2, R3, R4 подається на вхід DA1, де порівнюється з опорним нульовим потенціалом на інвертуючому вході операційного підсилювача. Різницевий сигнал відхилення підсилюється з коефіцієнтом підсилення, який визначається номіналами резисторів R5, R6 ($K_y \approx R6/R5$). На DA2 сигнал відхилення порівнюється з опорною пилоподібною напругою і, завдяки значній величині коефіцієнта підсилення операційного підсилювача, на виході створюються імпульси практично прямокутної форми, які через підсилювач на VT2 забезпечують ключовий режим роботи регулюючого транзистора VT1. Тривалість керуючих імпульсів залежить від рівня вихідної напруги.


Конденсатор C2 є елементом частотної корекції системи управління, VD2 зменшує пускові перевантаження схеми.

Рекомендації щодо використання компонентів та приладів WEWB41:


- джерела живлення, резистори та конденсатори вибрати з лінійки елементів „passiv”, біполярний транзистор VT2, діоди VD1, VD2 та операційні підсилювачі DA1, DA2 – з лінійки „active”, підводячи курсор до піктограм  і  (за умовчанням вибираються елементи бібліотеки „default” тип „ideal”); вольтметри й амперметри – з лінійки „indicators” (піктограма 

- режим роботи вольтметрів та амперметрів слід вибрати „DC”;

- здійснити такі установки осцилографа: масштаб горизонтальної розгортки (time base) - 5ms/div; вертикальні масштаби каналів А,Б - 5V/div;

- здійснити такі установки імпульсного генератора: форма імпульсів – трикутна (позначка ); частота (frequency) – 1кГц; коефіцієнт заповнення (dute cycle) – 50%; амплітуда імпульсів (amplitude) – 4,5В;

- в меню **circuit\ analysis option** (рисунок 3.4) встановити: тип аналізу (analysis type) – transient – перехідний процес; осцилограф (oscilloscope display) – пауза після кожного екрана (pause after each screen);

- присвоїти ім'я та встановити параметри польового транзистора. Для цього виконати таку послідовність дій: перемістити польовий транзистор із р-каналом у робоче поле з лінійки „FET” (піктограма ); встановити курсор на елемент і, двічі натиснувши „мишку”, відкрити діалогове вікно „properties” (рисунок 3.5); відкрити позицію „new library” і присвоїти їй англійською мовою ім'я, наприклад „exp”; скопіювати модель „ideal” із бібліотеки „default” в бібліотеку „exp” („copy”- „paste”); присвоїти ім'я моделі транзистора, наприклад „MOS”;

- відредагувати параметри транзистора (позиція „edit”), встановивши крутизну („transconductance coefficient”) - 1 A/V ; підтвердити дії - „access”.

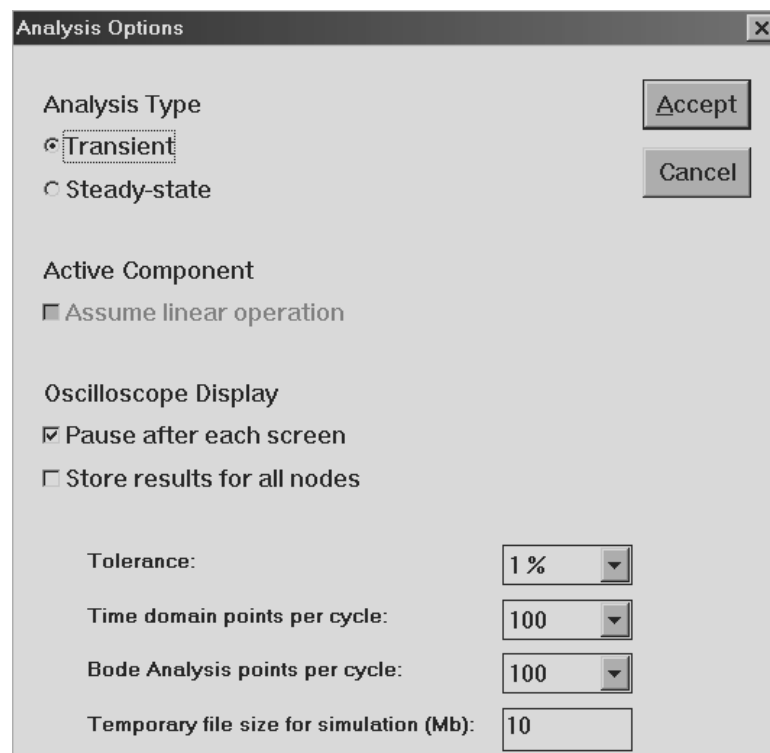


Рисунок 3.4 - Вікно меню analysis option

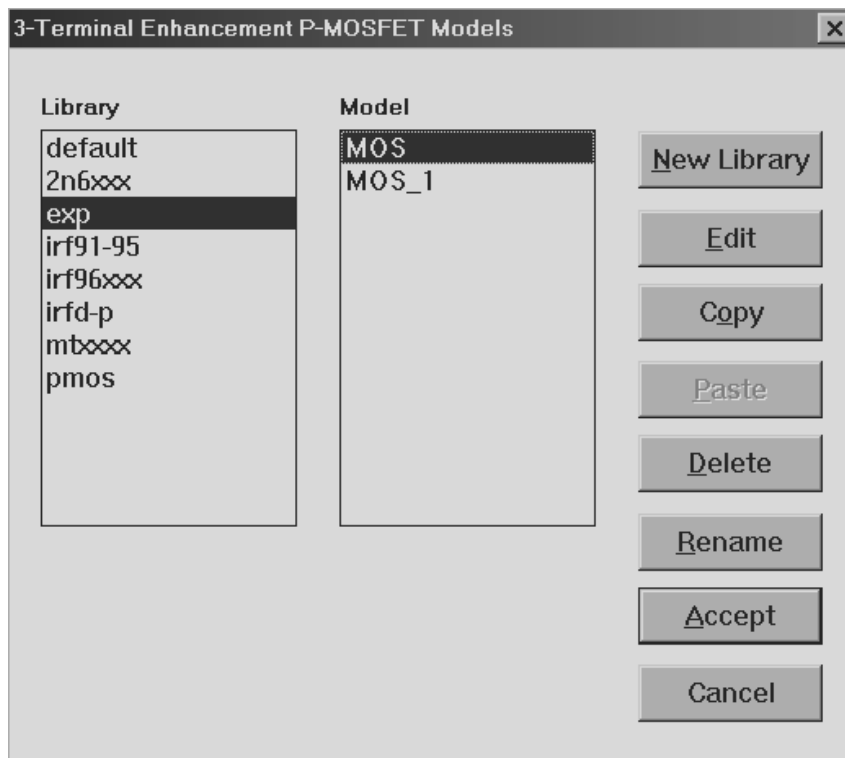


Рисунок 3.5 - Вікно меню „properties”

3.3 Порядок виконання завдання:

- користуючись приладами, виміряти такі параметри схеми:
 U'_n - амплітуду пульсацій на виході схеми; U'_0 - вихідну напругу;
 I'_0 - вихідний струм, I_0 - вхідний струм (постійна складова вхідної напруги згідно з схемою - $U_0 = 15\text{В}$);

- обчислити коефіцієнт пульсацій та ККД стабілізатора для величини опору навантаження $R_n = 5 \text{ Ом}$;

- змінюючи постійну складову вхідної напруги на $\Delta U_0 = 5\text{В}$ ($U_0 = 20\text{В}$) та користуючись даними вимірювальних приладів, обчислити коефіцієнт стабілізації $K_{ст} = \Delta U_0 \cdot U'_0 / (\Delta U'_0 \cdot U_0)$;

- змінюючи величину опору навантаження, зафіксувати відповідні зміни вихідних напруги та струму і побудувати графік зовнішньої характеристики стабілізатора $U'_0 = f(I'_0)$ у діапазоні струму навантаження $I'_0 = 0,5 - 5\text{А}$.

Проаналізувати та пояснити одержані результати.

Примітка - файл програми моделювання „imp_st.ca4”

зберігається в електронній бібліотеці кафедри транспортного зв'язку.

3.4 Контрольні питання

1 Засоби регулювання вихідної напруги імпульсних стабілізаторів.

2 Принципи дії системи управління із односторонньою та двосторонньою широтно-імпульсною модуляцією.

3 Схема та принцип дії імпульсного послідовного стабілізатора напруги знижуючого типу.

4 Чому коефіцієнт пульсацій стабілізатора знижуючого типу не залежить від коефіцієнта передачі кола зворотного зв'язку?

5 Який вигляд мають регулююча та зовнішня характеристики стабілізатора знижуючого типу?

6 Схема та принцип дії імпульсного стабілізатора напруги підвищуючого типу.

7 Накресліть регулюючу характеристику підвищення стабілізатора та проаналізуйте її залежність від активних втрат.

8 Чим визначається діапазон змін коефіцієнта заповнення стабілізатора із підвищенням напруги?

9 Чи є індуктивність дроселя у схемі підвищуючого стабілізатора елементом високочастотної фільтрації?

10 Схема та принцип дії імпульсного стабілізатора напруги інвертуючого типу.

11 Накресліть основні структурні схеми стабілізованих безтрансформаторних ДЕЖ.

12 Накреслити базову схему та пояснити принцип дії регульованого одноктного перетворювача напруги (ОПН) із передачею енергії в імпульсі.

13 Накресліть схему та поясніть принцип дії регульованого ОПН із передачею енергії в паузі.

14 Накресліть базову схему та поясніть принцип дії регульованого двотактного перетворювача напруги (ДПН).

15 Відобразіть базову схему мостового регульованого ДПН та пояснити його принцип дії.

16 Накресліть базову схему і пояснити принцип дії

регульованого напівмостового ДПН та критерії вибору ємності конденсаторів.

17 Особливості широтноімпульсного регулювання вихідної напруги у ДПН.

18 Принцип роботи транзисторного двотактного інвертора із самозбудженням. Перерахуйте втрати у всіх елементах схеми та вкажіть шляхи їх зниження.

19 Основні джерела перешкод в імпульсних ДЕЖ РЕА.

20 Методи зниження рівня електромагнітних перешкод, обумовлених дією ДЕЖ.

21 За допомогою програмного пакета “Electronics Workbench” (WEWB41) побудуйте та дослідіть схему КСН, що зображена на рисунку 3.6.

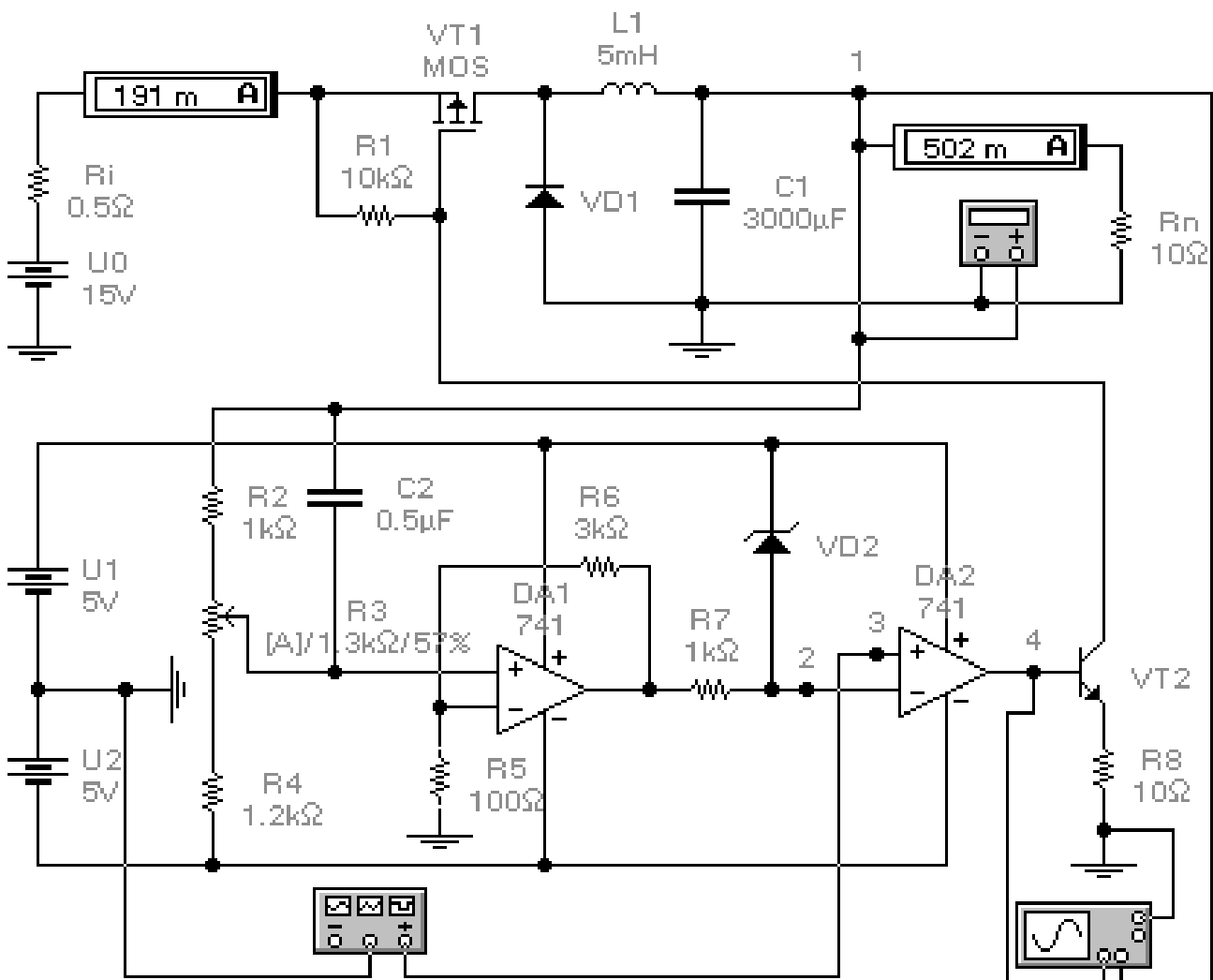


Рисунок 3.6 - Схема моделювання КСН з імпульсним управлінням

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Иванов-Цыганов А.И. Электропреобразовательные устройства РЭС: Учеб. для радиотехн. спец. вузов.- 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 272 с.
- 2 Будов О.Ф., Зарудний О.А., Чумаков В.І. Джерела електроживлення РЕЗ: Навч. посібник. –Харків: Компанія СМІТ, 2004. – 196 с.
- 3 Электротехнические устройства: Учеб. для вузов / О.В. Алексеев, В.Е. Китаев, А.Я. Шихин; Под общ. ред. А.Я. Шихина. – М.: Энергоиздат, 1981. – 336 с.
- 4 Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры: Справочник/ Под. ред. Г.С. Найвельта.-М.: Радио и связь, 1985. - 576 с.
- 5 Источники вторичного электропитания с бестрансформаторным входом / Бас А.А., Миловзоров В.П., Мусолин А.К. – М.: Радио и связь, 1987. – 160 с.
- 6 Вдовин С.С. Проектирование импульсных трансформаторов. – М.: Высш. шк., 1991. - 116 с.
- 7 Будов А.Ф. Электропреобразовательные устройства РЭС. – К.: Выщ. шк., 1990. – 116 с.
- 8 Высокочастотные транзисторные преобразователи / Ромаш Э.М., Драбович Ю.И., Юрченко Н.Н., Шевченко П.Н. – М.: Радио и связь, 1988. – 288 с.
- 9 Электропитание устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / Багуц В.П., Ковалев Н.П., Костроминов А.М. – М.: Транспорт, 1991. – 288 с.
- 10 Электропитание устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / Под ред. Вл.В. Сапожникова – М.: Маршрут, 2005. – 452 с.

