

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

До друку і в світ дозволяю

Проректор

Гладкий І.П.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до курсової роботи з дисципліни
“Електротехніка, електроніка та
мікропроцесорна техніка”
для студентів всіх форм навчання
за напрямом 6.050503

Всі цитати, цифровий,
фактичний матеріал
і бібліографічні

Затверджено
методичною радою
університету.

відомості перевірені,
написання одиниць
відповідає стандартам

Протокол №
від . .2013

Упорядники

І.О. Серікова
Г.С. Серіков
О.С. Панікарський
С.В. Дмитрієва

Відповідальний за випуск

О.В. Бажинов

Харків ХНАДУ 2013

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до курсової роботи з дисципліни
“ Електротехніка, електроніка та
мікропроцесорна техніка”
для студентів всіх форм навчання
за напрямом 6.050503

Харків 2013

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

“Електротехніка, електроніка та
мікропроцесорна техніка”
для студентів всіх форм навчання
спеціальностей 6.05050304, 6.05050305, 6.05050308

Затверджено методичною
радою університету,
протокол № від р.

Харків 2013

Укладачі:: І. О. СЕРІКОВА
Г. С. СЕРІКОВ
О.С. ПАНКАРСЬКИЙ
С.В. ДМИТРІЄВА

Кафедра Автомобільної електроніки

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
ХАРКІВСЬКІЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до курсової роботи
«Моделювання роботи трифазного джерела живлення»
з дисципліни "Електротехніка, електроніка та МП техніка"
для студентів зі спеціальностей 6.05050304, 6.05050305, 6.05050308
“Двигуни внутрішнього згоряння”, “Колісні та гусеничні транспортні
засоби”, “Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні
машини і обладнання”

Затверджено
методичною радою факультету,
протокол № 5 від 28.02.2013р.

Харків
ХНАДУ
2013

Укладачі: І. О. Серікова
Г. С. Серіков
О.С. Панікарський
С.В. Дмитрієва


Кафедра автомобільної електроніки

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 МЕТА І ЗАДАЧІ КУРСОВОЇ РОБОТИ	8
2 СТРУКТУРА І ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ	9
3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ З ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ	10
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	20
Додаток А ВИХІДНІ ДАНІ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ	22

ВСТУП

Сучасні автомобілі все більше перетворюються в високотехнологічні транспортні засоби, у яких поступово всі механічні системи замінюються на сучасні електронні модулі. Так, наприклад, гідравлічний підсилювач керма в сучасних автомобілях вже замінено на електричний з досить складною електронікою. Карбюраторні системи паливного живлення вже давно змінено на мікропроцесорні високотехнологічні. В цих системах присутні датчики, при побудові яких застосовуються найсучасніші досягнення в галузі напівпровідникової техніці. В зв'язку з тенденцією все більш зростаючої кількості електричних приладів та пристроїв актуальною є проблема їх електромагнітної сумісності, специфічні вимоги надійності та безпеки для людини.

До автомобільної електроніки пред'являються найжорсткіші вимоги у порівнянні з електронікою загального призначення. Наприклад для побутової техніки це в основному вимоги до кіл з електроживленням і вимоги електромагнітної сумісності, для промислової електроніки додаються вимоги до кліматичних дій, а до списку вимог до автомобільної електроніки додаються і вимоги забезпечення якості на виробництві (conformity production). Щоб автомобіль або його частини, наприклад виготовлені в Польщі, не створювали небезпеки на дорогах, наприклад, в Білорусі, в 1958 році в Женеві була досягнута угода, щоб ці норми і правила були однаковими для Європейського континенту. Вироби, які вмонтовуються в автомобіль, і відповідають цим нормам безпеки, маркуються знаком  з супутнім номером правила і номером офіційного затвердження виробу. Автомобільні охоронні системи нормуються Правилком 97, прийнятим в 1996 році Європейським транспортним комітетом при ООН. Ці правила містять такі вимоги. По-перше, автомобільні охоронні системи не повинні впливати на управління автомобілем, повинні працювати в температурному діапазоні від -40 до +85°C, витримувати вібрації з прискоренням 3g в частотному діапазоні від 10 до 500 Hz, зберігати працездатність протягом 1 години при підвищеній нарузі живлення до 18 В і 1 хвилину при 24В, споживати в комплекті з датчиком в черговому режимі не більш 20 мА, зберігати працездатність в електромагнітному полі силою до 30 В/м і частотою до 1000 МHz,

виконувати функції при появі індуктивних перешкод амплітудою 66,5 В (часом дії 0,4 с), амплітудою 75 В (часом дії 0,2 с) і т.д. Параметри дії і методика випробувань зазначено в міжнародних стандартах: ISO 7637 (ГОСТ 28751), IEC 68-2-30-1980, IEC 839-1-3-198, ISO/TR 10605-1993 і ін. Виробник автомобільної техніки повинен періодично проводити тестування серійних виробів згідно системи управління якістю (ISO 9001, QS9000, ISO/TR 16949:2002). Практика випробувань китайських автомобільних випробувань показала, що, наприклад, при подачі індуктивної перешкоди 66,5В (часом дії 0,4 с) деякі продукти «загинули» відразу, деякі «забули», що потрібно робити далі.

Цю перешкоду на проводку автомобіля може зробити генератор, коли ненадійно прикріплена клемма акумулятора.

Для імітації перешкод застосовуються спеціальні генератори. Звичайно, якщо тестувати стійкість автомобільного електронного пристрою одразу на автомобілі (фізичне моделювання), можна вивести з ладу бортовий комп'ютер або інші вузли електроніки. Найбільш надійним та простішим способом боротьби з електромагнітними завадами та підвищення електромагнітної сумісності є контроль якості електроживлення та застосування фільтрів у колах. В автомобілі основним джерелом живлення є трифазний генератор зі схемою напівпровідникового випрямляча. У розрахунково-графічній частині курсу «Пакети прикладних програм в електроніці» студентам необхідно розрахувати та промодельовати роботу джерела живлення з RC або RL фільтром та активним навантаженням.

Варто звернути увагу, що акумулятор, генератор, свічки запалення, електричний бензонасос, двигун двірників, бортовий комп'ютер з електронікою управління, комутаційні реле, електропроводка і фари створюють індивідуальне електромагнітне середовище для кожного автомобіля. Причому, це електромагнітне середовище постійно міняється, оскільки з часом слабіє акумулятор, зносяться електричні двигуни (при цьому збільшується їх струм споживання і перенапруження під час комутації), оксидуються і слабіють контакти електропроводки.

Комутаційні викиди напруги можуть досягати -75 В для автомобілів з бортовим живленням мережі +12 В. Саме змінним електромагнітним середовищем можна пояснити, чому в роботі електронного блоку, що бездоганно пропрацював протягом

декількох років, раптом з'явилися збої, а при тестуванні її «на столі» вона виглядає повністю справною. Іноді допомагає заміна нового блоку такого ж типу, оскільки при встановленні міняється положення дротів, але в більшості випадків проблема виникає знов. Перешкода -75 В може розрядити конденсатори вхідних ланцюгів для дверей, запалення або зовсім перезавантажити мікропроцесор. На практиці це виявляється випадковими спрацьовуваннями функції блокувань.

В автомобілебудуванні електронні пристрої становлять досить складні структури, тому розробка таких пристроїв без застосування ПК вже не можливо. Тут на допомогу в розробці радіоелектронної апаратури існують і продовжують створюватися різноманітні Системи Автоматизованого Проектування – САПР (а в англійському варіанті: Computer Aided Design - CAD). Найбільш розвинутий САПР є інтегрованим програмним комплексом для крізного проектування аналогових, цифрових і змішаних аналого-цифрових пристроїв, синтезу їх програмованої логіки і аналогових фільтрів.

Проектування починається з введення принципової схеми, її моделювання і оптимізації і закінчується створенням управляючих файлів для програматорів, розробкою друкарської плати і створенням управляючих файлів для фотоплоттерів і свердлувальних верстатів. Таким чином, весь цикл розробки тісно пов'язаний з комп'ютером.

Практика розрахунково-графічної роботи з дисципліни "Пакети прикладних програм в електроніці" спеціальності "Електричні системи та комплекси транспортних засобів" показує, що найефективнішим способом досягнення навчальних завдань проектування є поєднання вивчення особливостей побудови електричних схем в різноманітних пакетах схемотехнічного аналізу та розрахунків параметрів систем електрообладнання автомобілів.

У розрахунково-графічній роботі пропонується ознайомитися з методиками аналізу схем в пакетах схемотехнічного аналізу MicroCap-7 та Electronic Work Bench.

Термін виконання курсової роботи обмежується одинадцятьма тижнями: від дня видачі технічного завдання на проектування і до дня здачі на перевірку пояснювальної записки керівнику розрахунково-графічної роботи.

З метою дотримання графіка виконання розрахунково-

графічної роботи передбачаються щотижневі консультації, присутність студентів на яких обов'язкова.

Методичні вказівки складені для студентів спеціальності “Електричні системи та комплекси транспортних засобів” усіх форм навчання. Виконання розрахунково-графічної роботи виконується у восьмому семестрі за допомогою ліцензійних програм MicroCap-7 та Electronic Work Bench, та є підсумковим етапом при вивченні дисципліни “ Пакети прикладних програм в електроніці”.

В розрахунково-графічній роботі необхідно провести моделювання роботи блока живлення з фільтром, якій згладжує коливання напругі. Такого типу фільтри застосовуються для живлення електронних схем автомобіля з гібридною енергетичною установкою. Тип фільтра та параметри його елементів студент повинен вибрати згідно останніх двох цифр з номера залікової книжки. Схема блока живлення повинна складатися з 5 електронних елементів. Дана тематика є одним з основних напрямків діяльності кафедри автомобільної електроніки по створенню економічних та екологічно чистих транспортних засобів.

Мета курсової роботи - навчитися проектувати електричні системи за допомогою ЕОМ, а саме проектувати з її допомогою обраного електронного блоку живлення автомобіля з гібридною енергетичною установкою для якісного та надійного живлення різноманітних електронних схем, таких як блок запалення, різноманітні підсилювачі сигналів с датчиків, встановлених на автомобілі, а також порівняти техніко-експлуатаційні властивості різноманітних схем побудови фільтрів блоків живлення.

Зміст курсової роботи визначається його завданням. Об'єм пояснювальної записки повинен складати 25-30 сторінок. Обов'язкові розділи: вибір даних з науково-технічної літератури та мережі Internet для розрахунку, створення схеми, встановлення заданих умов роботи, зняття потрібних характеристик та обробка результатів. Наприкінці роботи потрібно зробити висновки з ефективності фільтра, якій досліджувався.

Для моделювання схем та порівняльної оцінці використовують програми MicroCap-7 та Electronic Work Bench, результати проектування додають до пояснювальної записки.

1. МЕТА І ЗАДАЧІ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Під терміном проектування розуміють розробку комплексної технічної документації (проекту), до складу якої входять техніко-економічне обґрунтування, розрахунки, креслення, макети, кошториси, пояснювальні записки та інші матеріали, що необхідні для виробництва обладнання, виробів, пристроїв та ін.

Розрахунково-графічне проектування є навчальним проектуванням, але за своєю суттю і при сумлінному ставленні до нього з боку керівників та виконавців проекту, воно вимагає не менших творчих зусиль та досконалих інженерних рішень, ніж проектування реальних промислових виробів.

Мета розрахунково-графічного проектування з дисципліни "Пакети прикладних програм в електроніці" - розвиток інженерних навичок проектування електронних пристроїв, які застосовуються в сучасних електричних системах та комплексах транспортних засобів. В процесі курсового проектування студент має розглянути електричну структурну схему системи, засвоїти особливості функціонування її основних елементів, розрахувати основні параметри та характеристики і на підставі розрахунків скласти й розрахувати їх принципові схеми.

Задачі розрахунково-графічного проектування:

набуття навичок самостійного пошуку найдоцільніших технічних рішень з урахуванням техніко-економічних показників системи;

застосування новітніх досягнень схемотехніки та технологій;

розвиток вміння узгодження схемних і конструктивних рішень окремих елементів системи з метою досягнення її якісних показників;

навчання самостійно користуватися науково-технічною і довідковою літературою;

вміння оформлювати матеріали курсової роботи відповідно до вимог державних стандартів України.

2 СТРУКТУРА І ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ

У розрахунково-графічній роботі наводиться електрична структурна схема системи, пояснюються призначення, основні параметри та принципи функціонування кожного її структурного елемента.

Визначаються вимоги до функціональних вузлів, складаються електричні принципові схеми.

Розрахунково-графічна робота складається з пояснювальної записки обсягом 25-30 сторінок рукописного або друкованого тексту і графічної частини.

Пояснювальна записка та зміст її складових частин мають відповідати вимогам ДСТУ 3008-95. Рекомендується такий обсяг окремих частин пояснювальної записки (у сторінках):

титульний аркуш	
технічне завдання	
Реферат	1
Перелік скорочень	1
Зміст	1
Вступ	5
Аналіз вихідних даних до розрахунково-графічної роботи	1
Аналіз структурної схеми електронного блока живлення	3
Створення схеми електричної принципової в пакеті MicroCAP-7	2
Створення схеми електричної принципової в пакеті Electronic Work Bench	2
Моделювання роботи пристрою в пакеті MicroCAP-7	2
Моделювання роботи пристрою в пакеті Electronic Work Bench	5
Аналіз характеристик, що були зняті	2
Порівняльний аналіз результатів, отриманих в різних пакетах	2
Висновки	1
Перелік посилань	1
Додатки (без обмежень)	

Графічна частина розрахунково-графічної роботи складається з електричної принципової схеми, яка була створена в застосованих пакетах та двох рисунків вікон програм в процесі моделювання пристрою.

3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ З ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

3.1 Аналіз вихідних даних до розрахунково-графічної роботи

В якості джерела живлення в автомобілі застосовується трифазний генератор з напівпровідниковим випрямлячем. Загальна схема живлення зображена на рис. 1.

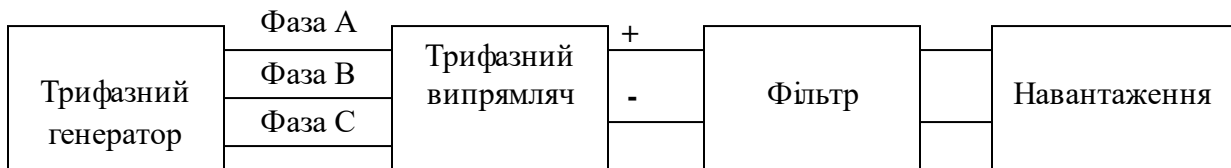


Рисунок 1 - Загальна схема живлення з застосуванням трифазного генератора напруги

На виході з випрямляча поступає напруга зі змінною складовою, яка недопустима велика для живлення електронних схем. Для зменшення пульсацій між випрямлячем та навантаженням встановлюється фільтр, що зменшує змінну складову (рис. 2).

Для оцінки якості фільтру застосовується коефіцієнт пульсації, якій визначається наступним чином:

$$K_{ПВЫХ} = \frac{U_{1m}}{U_0},$$

де U_{1m} – амплітуда коливань,

U_0 – амплітуда постійної складової (рис. 2).

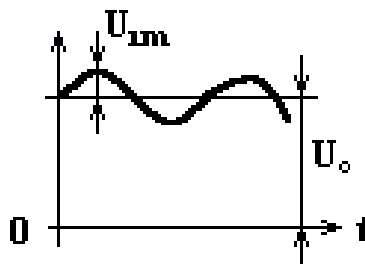


Рисунок 2 - Пульсації напруги на виході з напівпровідникового випрямляча

Фільтри, які застосовуються для згладжування пульсацій, розподіляють на активні, та пасивні фільтри.

В свою чергу пасивні фільтри, які розглядаються у розрахунково-графічній бувають LR (рис. 3), RC (рис. 4). Назва фільтру вказує на його побудову.

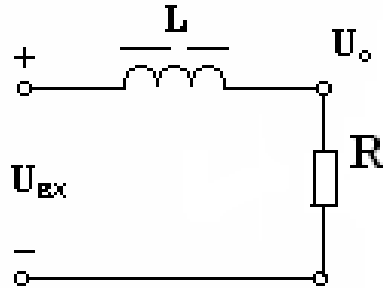


Рисунок 3 - Схема побудови LR фільтра

Найпростішим фільтром є дросель, включений послідовно з навантаженням.

Коефіцієнт згладжування індуктивного фільтра

$$q_L = \frac{2 \cdot m \cdot \pi \cdot f_c \cdot L}{R_f},$$

де m - відношення частоти основної гармоніки випрямленої напруги до частоти пульсацій ($m=5.95$);

f_c - частота мережі живлення.

Для кращого згладжування пульсацій індуктивним фільтром необхідне виконання умови $2 \cdot m \cdot \pi \cdot f_c \cdot L \gg R_f$. Цю умову легко виконати при малих опорах навантаження, тобто при великих струмах. Ому індуктивний фільтр застосовують головним чином випрямних установках великої потужності.

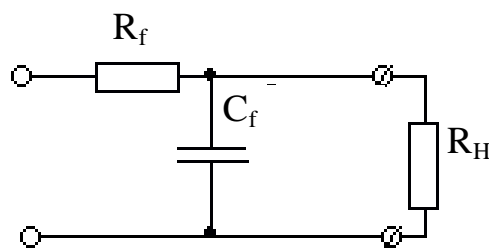


Рисунок 4 - Схема побудови RC фільтра

RC фільтри мають малі габаритні розміри, масу і вартість, але низький ККД. Застосовуються іноді при малих випрямлених струмах (не більше 10...15 мА).

Коефіцієнт згладжування пасивного RC - фільтра визначається з виразу

$$q_{LC} = \eta \cdot \omega \cdot R_f \cdot C_f = \frac{R_H}{R_f + R_H} \cdot \omega \cdot R_f \cdot C_f,$$

де $\omega = 2\pi f$ – частота коливань.

Активні фільтри це фільтри в схемах яких застосовуються активні напівпровідникові пристрої – транзистори (рис. 5).

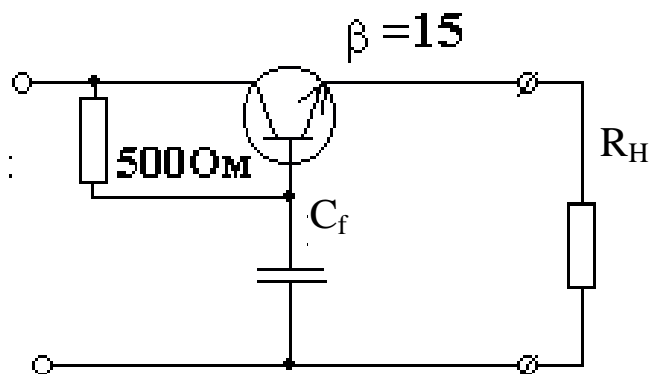


Рисунок 5 - Схема побудови активного RC фільтра

Змінна складова вхідної напруги заздалегідь згладжується RC-фільтром і поступає на вхід емітерного повторювача. Оскільки напруга на виході емітерного повторювача повторює напругу на його вході, змінна складова на навантаженні рівна змінній складовій на виході RC-фільтру. Таким чином, величина змінної складової на навантаженні визначається параметрами RC-фільтру, навантаженого на високоомний вхід емітерного повторювача. При добрих підсилювальних властивостях транзистора коефіцієнт згладжування визначається практично одним базовим кола фільтру.

Напруга на виході транзисторного фільтру завжди менше вхідної напруги на величину мінімальної напруги колектор-база транзистора. При збільшенні струму навантаження повинен збільшуватися базовий струм I_b . Для цього необхідно зменшити опір R . Для збереження фільтруючих властивостей необхідно

збільшити ємність конденсатора. Якщо ємність конденсатора велика, збільшується час встановлення напруги (затягуються перехідні процеси). Для підвищення коефіцієнта згладжування застосовують складовий транзистор.

Опір R можна істотно збільшити, а значить, і підвищити коефіцієнт згладжування фільтру.

Коефіцієнт згладжування активного RC - фільтра визначається з виразу

$$q_T = \eta \cdot \omega \cdot R_f \cdot C_f = \frac{R_H \cdot \beta}{R_f + R_H \cdot \beta} \cdot \omega \cdot R_f \cdot C_f,$$

де $\beta = 15$ – коефіцієнт підсилення.

Навантаження R_H підключається до фільтру та трифазної мостової схеми з напівпровідниковими випрямлячами (рис. 6).

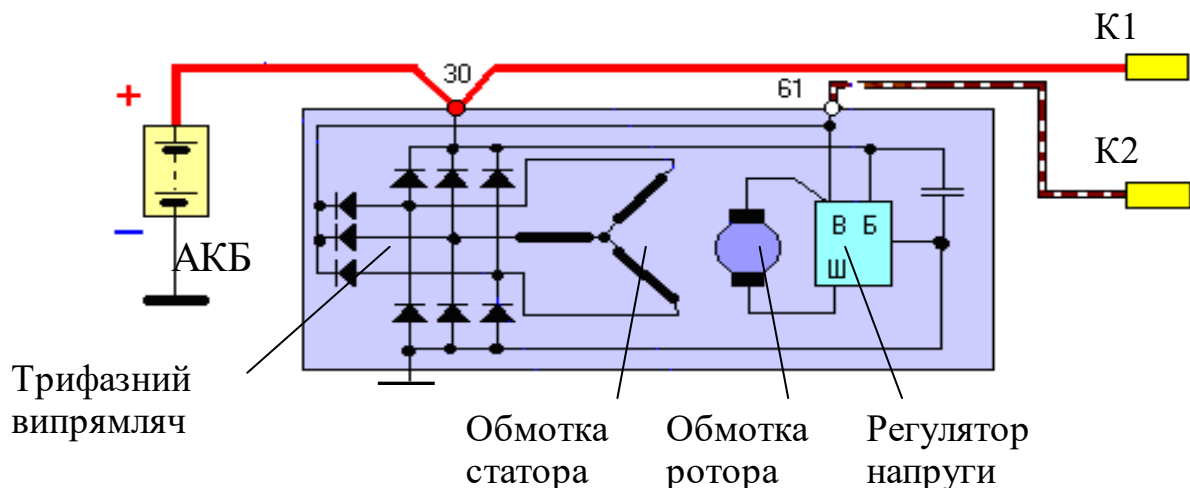


Рисунок 6 - Загальний вигляд трифазної мостової схеми з напівпровідниковими випрямлячами

3.2 Створення схеми електричної принципової в пакеті MicroCap-7

Програма MicroCap-7 призначена для моделювання електронних схем.

Створення схеми починається з вибору потрібного елемента та розміщення його на екрані згідно рис. 7.

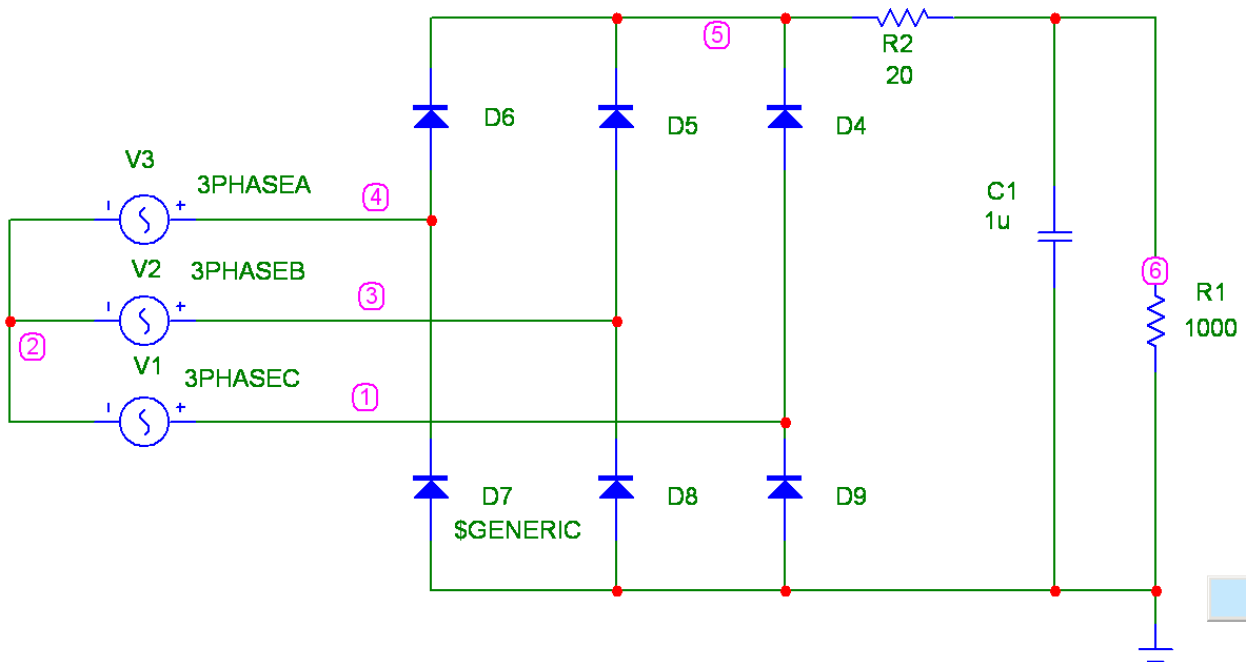


Рисунок 7 - Розташування компонентів на схемі

Компоненти розміщені на панелі інструментів під головним меню. Коли користувач вказує місце розташування елементу, автоматично з'являється вікно з його властивостями (рис. 8).

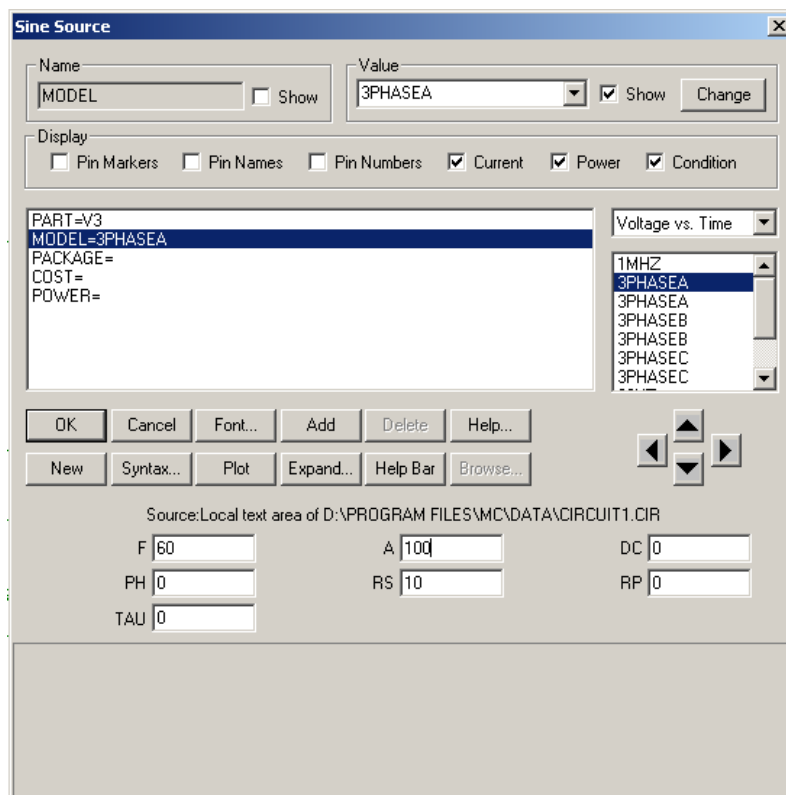


Рисунок 8 - Вікно з властивостями одного з джерел трифазної потужності

На рис. 8 зображено наступні параметри джерела:
 MODEL – тип джерела (потрібно обрати А, В чи С фазу);
 F – частота напругі;
 A – амплітуда напругі;
 RS – внутрішній опір джерела;
 PH – зсув фази напругі.

Після того, як усі електронні компоненти розміщені, їх необхідно з'єднати за допомогою ліній зв'язку (при підведенні курсору з'являється підпис –WIRE).

Щоб розпочати моделювання, слід визначити номер кола, яке є плюсовим. Для цього потрібно клікнути по ній вказівником.

Далі обираємо пункт меню analysis – transient. Вікно встановлення параметрів моделювання перехідних процесів зображено на рис. 9.

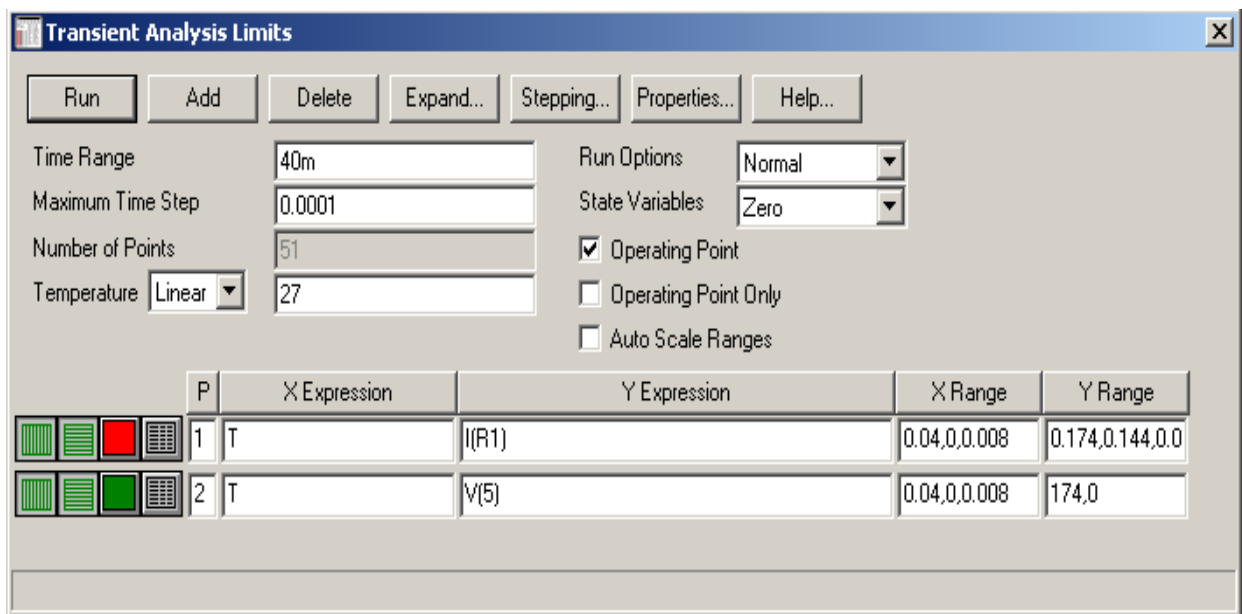


Рисунок 9 - Вікно параметрів моделювання перехідних процесів

Слід звернути увагу, що спочатку обирається кінцеве значення діапазонів графіків, потім нижня границя, наприкінці шаг сітки. Натиснувши RUN отримаємо залежність, що зображено на рис. 10.

За допомогою графіку вимірюємо потрібні для розрахунків параметри.

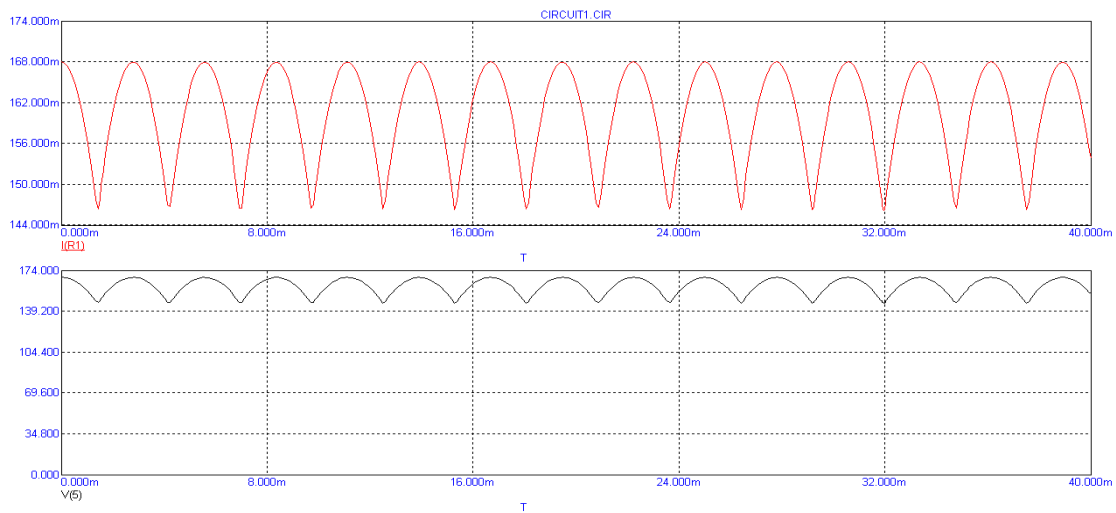


Рисунок 10 - Результати моделювання

За допомогою курсору необхідно зняти потрібні в розрахунках значення.

3.3 Моделювання схеми у пакеті Electronic Work Bench

Програма Electronic Work Bench призначена для моделювання електронних схем.

Створення схеми починається з вибору потрібного елементу та розміщення його на екрані. Компоненти розміщені на панелі інструментів під головним меню.

Загальна схема зображена на рис. 11.

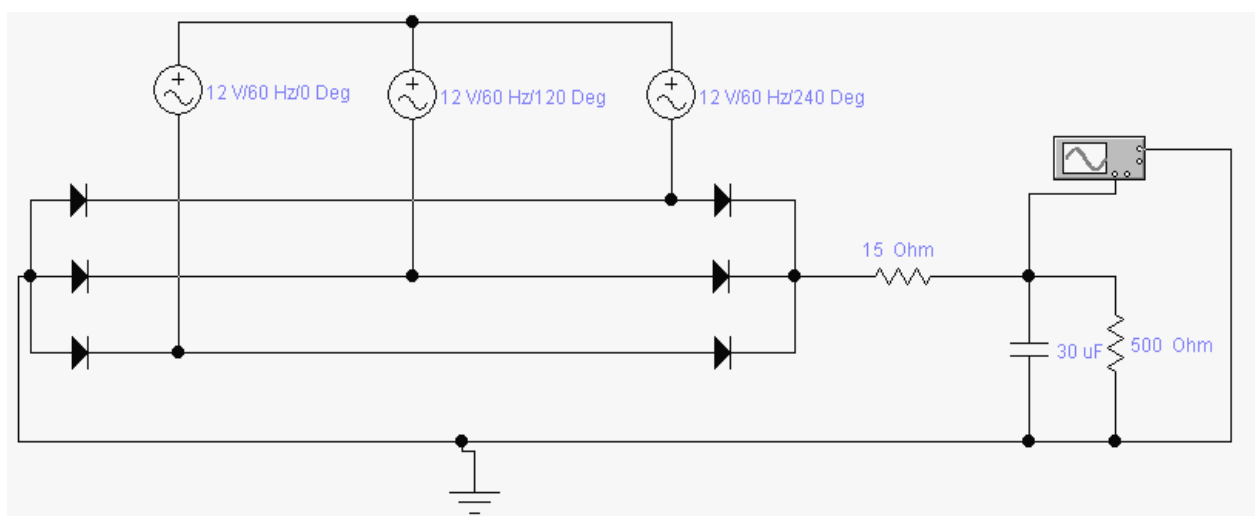


Рисунок 11 - Загальна схема досліджуваного трифазного випрямляча

Коли користувач вибирає елемент схеми, з'являється вікно з його властивостями (рис. 12).

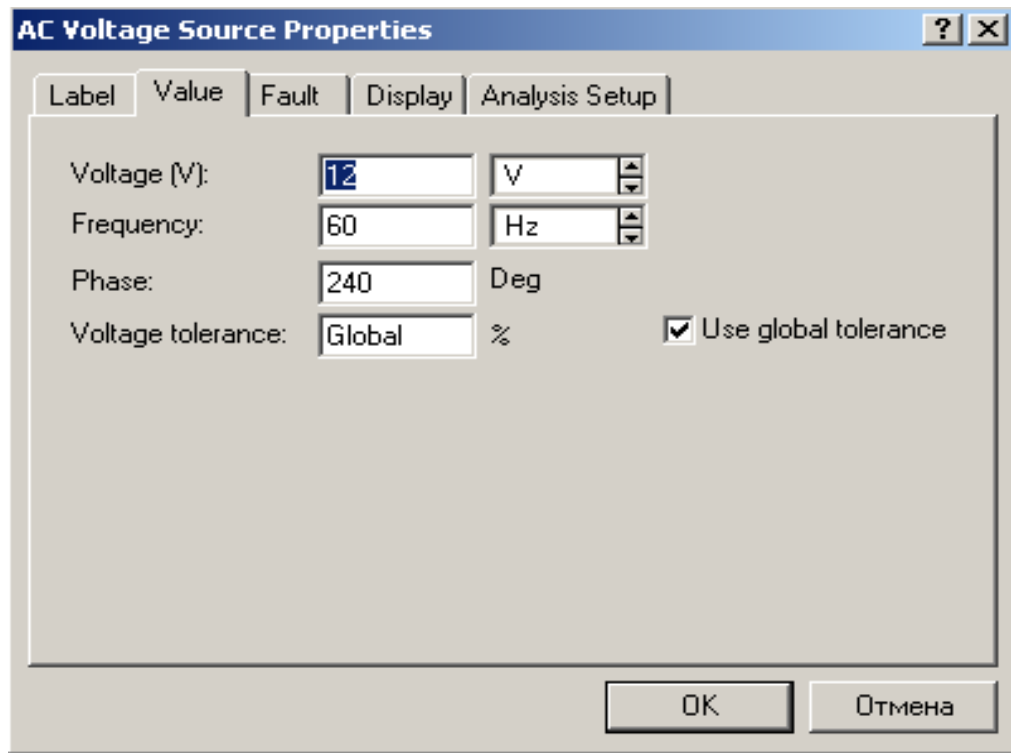


Рисунок 12 - Вікно з властивостями одного з джерел трифазної потужності

На рис. 12 зображені наступні параметри джерела:

Frequency – частота напруги;

Voltage – амплітуда напруги;

Phase – зсув фаз напруги.

Слід звернути увагу на те, що зсув між фазами трифазного джерела потужності складає 120° .

Після того, як усі електронні компоненти розміщені, їх необхідно з'єднати за допомогою ліній зв'язку (при підведенні курсору до виводів елементів з'являється чорне коло – з'єднувач).

Щоб розпочати моделювання, слід встановити також віртуальний інструмент – осцилограф, якій має виводи, повністю аналогічні реальному. Для цього потрібно клікнути по ньому вказівником.

Далі обираємо пункт меню analysis – analysis options – instrument та встановлюємо maximum time step 0.000001. Вікно встановлення параметрів моделювання перехідних процесів зображено на рис. 13.

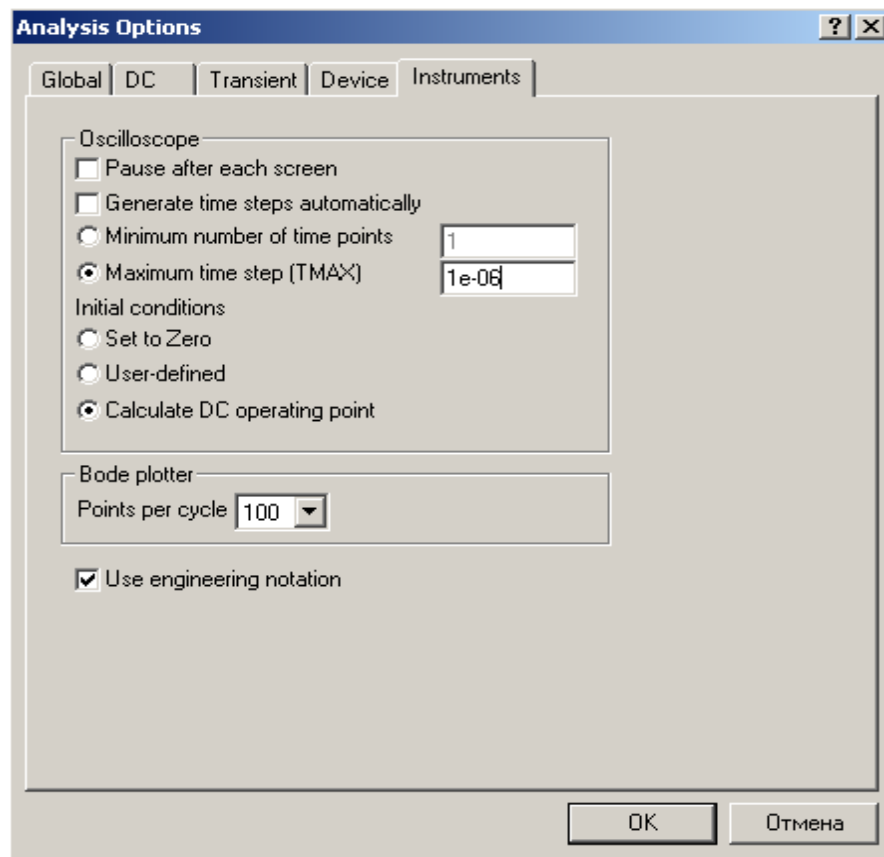


Рисунок 13 - Вікно параметрів моделювання віртуальним осцилографом

Слід звернути увагу, що часовий крок розрахунків обирається, виходячи з потужності ПК. Натиснувши клавішу ввімкнення моделювання, яка знаходиться в правому верхньому куту, активується моделювання. Розгорнувши осцилограф, можна побачити осцилограми отриманих результатів, зображені на рис. 14.

За допомогою графіку вимірюємо потрібні для розрахунків параметри.

Приклад розрахунку

Вхідні дані:

Тип фільтру – RC

$R_f = 15 \text{ Ом}$

$C_f = 30 \text{ мкф}$

$R_H = 500 \text{ Ом}$

Струм живлення буде визначатися
$$I_m = \frac{U_{1m}}{R_f + R_H} = \frac{1,7}{500 + 15} = 3,3 \text{ mA}$$

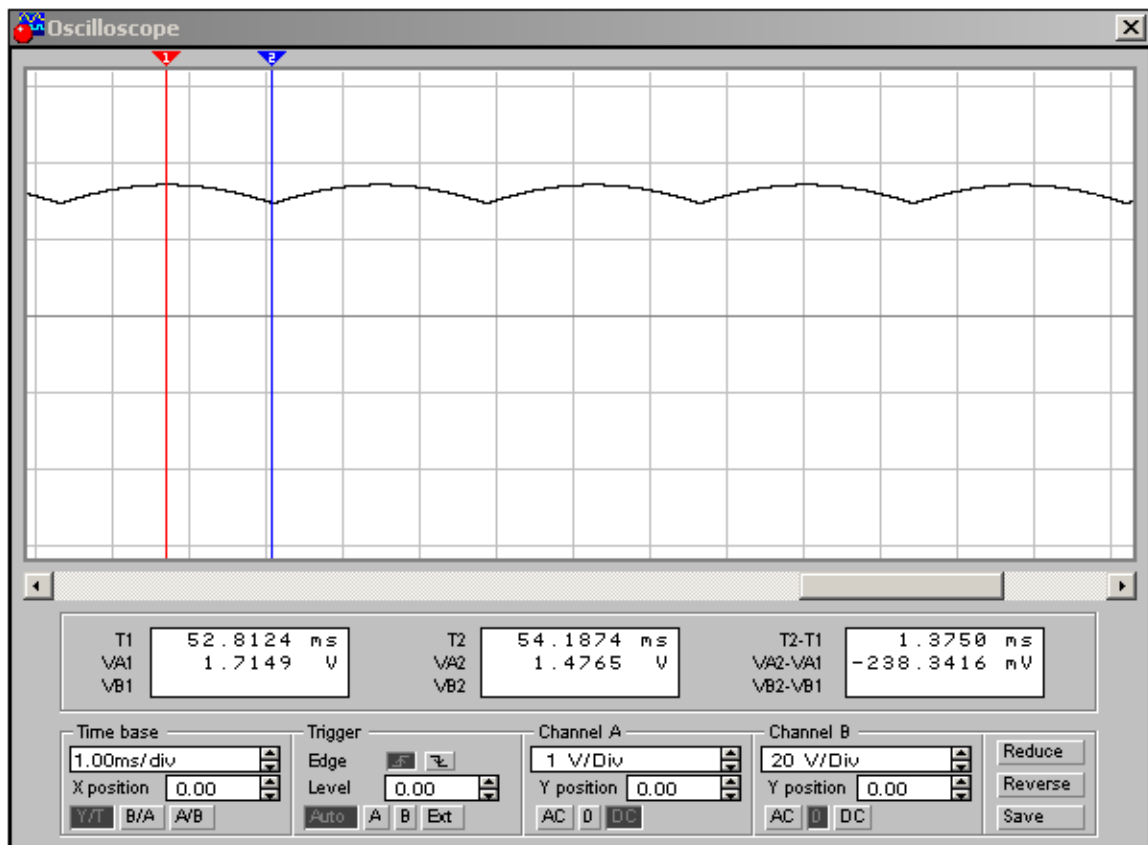


Рисунок 14 - Осцилограма роботи трифазного випрямляча

Скористуємось довідниковими даними визначимо тип напівпровідникових випрямлячів, для яких допустимий струм більше розрахованого, наприклад 1N4001.

Складемо схему в середовищах EWB 4.15 та MicroCAP-7.

Розрахуємо коефіцієнт пульсації

$$K_{ПВЫХ} = \frac{U_{1m}}{U_0} = \frac{1,7}{1,7 - (0,238/2)} = 1,07$$

Коефіцієнт згладжування пасивного RC - фільтра визначається з виразу

$$S_1 = \frac{R_H}{R_f + R_H} \cdot \omega \cdot R_f \cdot C_f,$$

$$S_1 = \frac{500}{500 + 15} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 60 \cdot 30 \cdot 10^{-6} = 0,11.$$

Коефіцієнт згладжування активного RC - фільтра визначається з виразу

$$S_1 = \frac{R_H \cdot \beta}{R_f + R_H \cdot \beta} \cdot \omega \cdot R_f \cdot C_f$$

$$S_1 = \frac{R_H \cdot \beta}{R_f + R_H \cdot \beta} \cdot \omega \cdot R_f \cdot C_f = \frac{500 \cdot 15}{15 + 500 \cdot 15} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 60 \cdot 15 \cdot 35 \cdot 10^{-6} = 1,97$$

ВИСНОВОК

В процесі виконання курсової роботи були розраховані параметри фільтрів, що згладжують; побудована зовнішня характеристика випрямляча. Моделювання дослідженої схеми проводилось за допомогою сучасних програм MicroCap-7 та Electronic Work Bench.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Общая электротехника / Под ред. А.Т. Блажкина. Л.: Энергоатомиздат, 1986. 592 с.
2. Электротехника / Под ред. В.Г. Герасимова. М.: Высшая школа, 1985. 480 с.
3. Основы промышленной электроники / Под ред. В.Г. Герасимова. М.: Высшая школа, 1986. 336 с.
4. <http://obuk.ru/hardware/29954-programma-skhemotekhnicheskogo.html> (самоучитель по MicroCAP)
5. Кардашев Г.А. Виртуальная электроника. Компьютерное моделирование аналоговых устройств. - Издательство: Горячая линия –Телеком. - 2002, - 260 С.
6. <http://obuk.ru/compbook/39817-virtualnaja-jelektronika.-kompjuternoe.html> (Кардашев Г.А. Виртуальная электроника. Компьютерное моделирование аналоговых устройств)
7. Разевиг В.Д. Схемотехническое моделирование с помощью MicroCAP 7. — Горячая линия-Телеком, 368 с.
8. Разевиг В.Д. Система моделирования Micro-Cap 6. – М.: Горячая линия-Телеком, 2001. — 344 с., ил.
9. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования Micro-Cap V. – Москва, «Солон», 1997. – 273 с.
10. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC.

Программа Electronics Workbench и ее применение.— Москва: Солон-Р, 2001. — 726 с.

11. Micro-Cap 7.0 Electronic Circuit Analysis Program Reference Manual Copyright 1982-2001 by Spectrum Software 1021 South Wolfe Road Sunnyvale, CA 94086

Додаток А

Таблиця 1

Номінали компонентів фільтру

№ вар.	R_f , Ом	L_f , мГн	C_f , мкф	R_H	Тип фільтру
1	1	-	10	10	RC
2	2	-	30	300	RC
3	1,5	-	20	500	RC
4	1,1	-	10	500	RC
5	1,3	-	10	500	RC
6	0,5	-	10	500	RC
7	0,5	-	5	500	RC
8	0,5	-	5	50	RC
9	1	-	50	50	RC
10	1	-	50	300	RC
11	1	-	30	700	RC
12	1	-	40	700	RC
13	0,5	-	40	700	RC
14	1,5	-	20	50	RC
15	0,5	-	35	80	RC
16	-	10	20	1000	LC
17	-	30	10	500	LC
18	-	25	5	700	LC
19	-	15	15	900	LC
20	-	35	10	1000	LC
21	-	30	10	1000	LC
22	-	10	10	1000	LC
23	-	10	30	400	LC