

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК24- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 1

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»

протокол від __ _____ 20__ р.
№__

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ для проведення лабораторного заняття № 8 з навчальної дисципліни «Електроживлення систем зв'язку»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
освітньо-професійна програма «Телекомунікації та радіотехніка»
освітньо-професійна програма «Інформаційні відеосистеми та системи
контролю доступу»
факультет інформаційно-комп'ютерних технологій
кафедра комп'ютерних технологій у медицині та телекомунікаціях

Рекомендовано на засіданні
кафедри комп'ютерних
технологій у медицині та
телекомунікаціях
_____ 2024 р.,
протокол № ____

Розробник: ст. викладач кафедри комп'ютерних технологій у медицині та
телекомунікаціях
БЕНЕДИЦЬКИЙ Василь

Житомир
2024

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК24- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 2

Лабораторне заняття № 8

Дослідження якості перетворювачів напруги

Мета роботи: – ознайомитися з роботою імпульсного перетворювача постійної напруги на постійну напругу.

Теоретичні відомості

Імпульсні перетворювачі постійної напруги характеризуються високими значеннями ККД, масогабаритних показників та надійністю роботи. Вони використовуються в тих випадках, коли треба перетворити параметри електричної енергії з вихідною напругою джерела електроживлення на інші параметри, потрібні для навантаження. При цьому виникають завдання узгодження напруг як за рівнем, так і за полярністю.

1. Імпульсний принцип перетворювання електричної енергії

Перетворювачі, що досліджуються в даній роботі, використовуються в різних вузлах апаратури зв'язку, обчислювальної апаратури та ін. Одним з прикладів їхнього використання є плати телекомунікаційного обладнання, де напруга основного джерела живлення +5 В перетворюється на напругу, необхідну для нормальної роботи процесора обробки інформації, яка становить, залежно від моделі процесора, 1,8...3,6 В. Там використовується перетворювач знижуючого типу потужністю 25...150 Вт. Вихідна напруга дискретно регулюється за допомогою спеціалізованої мікросхеми пристроями керування, який має цифровий інтерфейс зв'язку.

Імпульсні перетворювачі електричної енергії постійної напруги (струму) характеризуються роботою силових комутувальних елементів у режимі перемикачів.

Найпростішим прикладом імпульсного методу перетворювання

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК24- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 3

електричної енергії постійного струму є періодичне підмикання навантаження до первинного джерела електроживлення через ключовий елемент – переривач SI (рис.8.1,а).

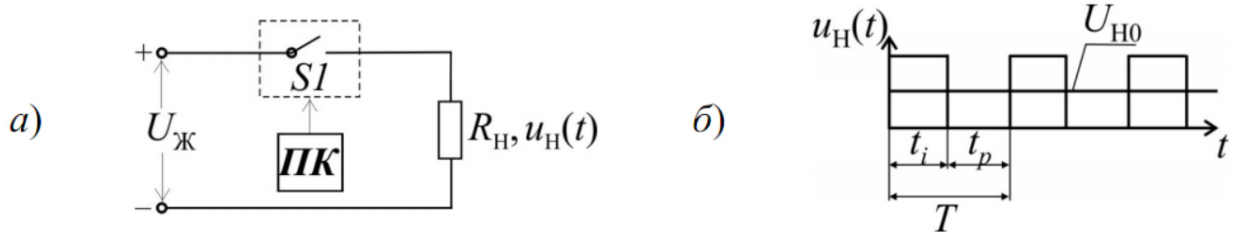


Рисунок 8.1 – Функціональна схема імпульсного перетворювача електричної енергії послідовного типу (а) і часова діаграма вихідної напруги $u_н(t)$ (б)

При цьому на виході ключа SI формуються імпульси напруги прямокутної форми (рис. 8.1,б). Час замкнутого t_i і розімкненого t_p станів ключа SI можна автоматично змінювати, впливаючи на нього сигналами з виходу пристрою керування $ПК$. Якщо знехтувати спаданням напруги на ключі SI та з'єднувальних проводах, то в інтервалах часу t_i , коли ключ SI замкнено, миттєва напруга на навантаженні дорівнює напрузі $U_ж$ джерела живлення, а в інтервалі t_p , коли ключ розімкнено, напруга на навантаженні дорівнює нулю (рис. 8.1,б).

Середнє значення напруги $U_{н0}$ на навантаженні залежатиме від співвідношення часу замкнутого і розімкненого станів ключа:

$$U_{ж0} = \frac{1}{T} \int_0^{t_i} U_ж dt = U_ж \frac{t_i}{T} = U_ж K_3 = U_ж t_i f = \frac{U_ж}{Q}, \quad (8.1)$$

де f , T – частота і період відповідно перемикання ключа SI ; $K_3 = t_i/T$ – коефіцієнт заповнювання імпульсів; $Q = T/t_i$ – щільність роботи ключа.

Рівень вихідної напруги $U_{н0}$ можна змінювати шляхом зміни щільності

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК24- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 4

$Q = T/t_i = 1/K_3$. Цей процес можна розглядати як модуляцію вихідної напруги

$U_{ж}$ ключем SI :

- широтно-імпульсна модуляція (*ШИМ*) відповідає випадку, коли час t_i – змінний, а період T – постійний;
- частотно-імпульсна модуляція (*ЧИМ*) відповідає випадку, коли час t_i – постійний, а період T – змінний;
- широтно-частотно-імпульсна модуляція відповідає випадку, коли час t_i і період T – змінні.

Напруга після ключового елемента SI у схемі рис. 8.1 носить явно виражений імпульсний характер. Для зменшення змінної складової напруги чи струму в імпульсних перетворювачах встановлюють фільтри, які складаються з реактивних елементів – індуктивностей та ємностей.

Вмикання дроселя послідовно з навантаженням чи конденсатора паралельно до нього, призводить до штучного змінювання характеру навантаження з активного на індуктивний, чи ємнісний. При цьому розглянута вище схема трансформуються на схеми безпосередніх перетворювачів постійної напруги.

2. Однотактні імпульсні перетворювачі знижувального, підвищувального та інвертувального типів

Безпосередні перетворювачі постійної напруги виконують свої функції за одноразового перетворення електроенергії. Сьогодні є відомі і широко використовуються три основних типи цих перетворювачів – регуляторів постійної напруги (*РН*). Визначальною класифікаційною ознакою розглянутих перетворювачів є наявність гальванічного зв'язку поміж входом і виходом.

Три найпростіших способи одноразового перетворення електричної енергії здійснюються у схемах трьох основних типів (γ) (рис.8.2.). Наявність

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК24- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 5

періодичної комутації в колі між джерелом електроживлення та навантаженням потребує впровадження додаткових реактивних елементів для накопичення, зберігання і передавання енергії до навантаження. Регулювання та стабілізація напруги (струму) навантаження здійснюється зміною в тривалості відкритого і закритого станів ключа SI у силовій схемі перетворювача – силовому каналі $СК$.



Рисунок 8.2 – Імпульсні перетворювачі електричної енергії:

а – знижувальний ($y=1$), б – підвищувальний ($y=2$)

та в – інвертувальний ($y=3$)

Схеми рис. 8.2 називають перетворювачами знижувального ($y=1$), підвищувального ($y=2$) та інвертувального ($y=3$) типів, або, відповідно, регуляторами I , II , III типів (PHI , $PHII$, $PHIII$). Регулятори містять однакову кількість однотипних елементів, які у різні способи увімкнено стосовно навантаження і джерела первинного електроживлення. У їхньому функціонуванні мають місце такі відмінності: імпульсне споживання енергії від джерела електроживлення і неперервне передавання енергії до навантаження PHI (за неперервного струму силового дроселя), неперервне споживання електричної енергії від джерела електроживлення і імпульсне передавання електроенергії до навантаження в $PHII$, імпульсне споживання і передача електроенергії в навантаження в $PHIII$. Рівні середнього значення вихідної

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК24- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 6

напруги U_H регуляторів визначаються через рівень вхідної напруги $U_{ж}$ за допомогою коефіцієнта заповнювання K_3 (відносної тривалості провідного стану ключа):

$$U_H = U_{ж} K_3, \quad \text{для РНІ}; \quad (8.2)$$

$$U_H = \frac{U_{ж}}{1-K_3}, \quad \text{для РНІІ}; \quad (8.3)$$

$$U_H = U_{ж} \frac{U_{ж} K_3}{1-K_3}, \quad \text{для РНІІІ}. \quad (8.4)$$

Ці вирази носять назву регулювальних характеристик. Параметром регулювання є K_3 .

Регулювальні характеристики $РНІ$, $РНІІ$ і $РНІІІ$ наведено на рис. 8.3.

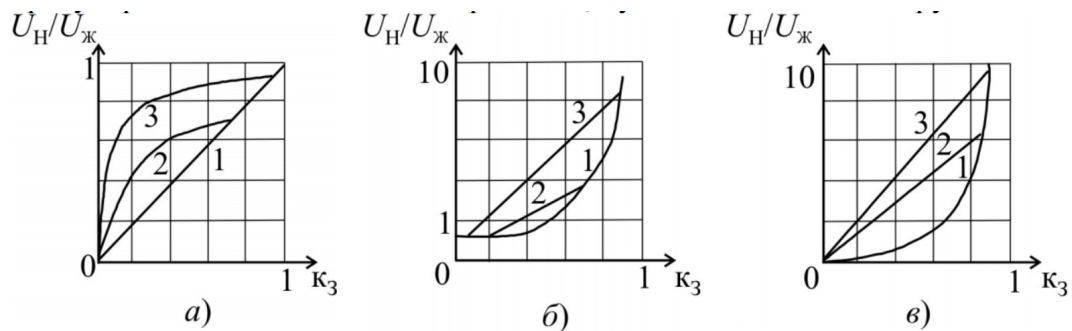


Рисунок 8.3 – Регулювальні характеристики перетворювачів електричної енергії: а – знижувального ($y=1$), б – підвищувального ($y=2$) та в – інвертувального ($y=3$) типів

Криві 1 – відповідають режиму неперервного струму силового дроселя, криві 2, 3 – переривчастому – розривному. Пристрої $РНІІ$ і $РНІІІ$, порівняно з $РНІ$, характеризуються істотно гіршими показниками: значно більшими габаритами і масою дроселя та конденсатора, більшим внутрішнім опором, гіршим використанням за струмом комутувального ключа SI і рекупераційного діода VDI . Окрім того, пульсації вихідної напруги $РНІІ$ та $РНІІІ$ є пропорційні до струму навантаження і не залежать від індуктивності дроселя фільтра. Для досягнення такого самого рівня пульсацій вихідної напруги у схемі перетворювача $РНІ$ потрібен конденсатор значно меншої ємності. Що

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК24- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 7

стосується характеру комутаційних процесів при відкриванні і закриванні силових комутувальних ключів SI та діодів у всіх трьох схемах – PNI , $PNIІ$, $PNIІІ$ – то вони є цілковито ідентичні.

У схемі рисунка 8.2,а дросель LI бере участь у згладжуванні змінної напруги, яка надходить на вхід фільтра. Це дозволяє здобути мінімально можливі значення імпульсного і ефективного струму, що протікає через конденсатор C_H , та мінімальний за об'ємом і масою силовий згладжувальний фільтр.

Схему рис. 8.2,а доцільно використовувати за необхідності зниження напруги джерела живлення за струмів навантаження до кількох десятків амперів, схему рис. 8.2,б – там, де потрібно підвищити рівень вихідної напруги (порівняно з вхідною), а схему рис. 8.2,в – для змінювання полярності вихідної напруги (стосовно вхідної).

Принципові схеми перетворювачів знижувального, підвищувального та інвертувального типів із використанням у якості силових ключів SI транзисторів VTI наведено на рис. 8.4.

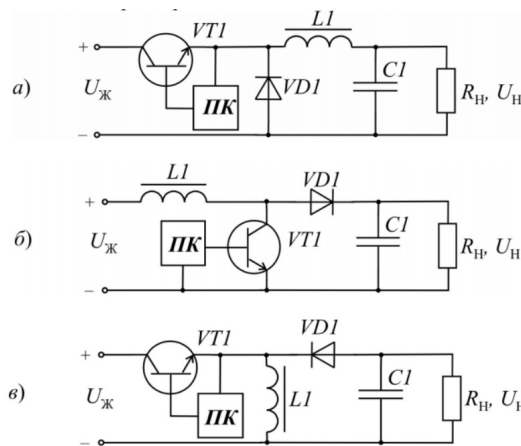


Рисунок 8.4 – Принципові схеми перетворювачів: знижувального (а), підвищувального (б), та інвертувального (в) типів

У всіх трьох схемах рис. 8.4 забезпечується періодичне підмикання дроселя LI до джерела живлення за допомогою транзистора VTI і до

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК24- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 8

навантаження за допомогою діода V_{D1} , які відіграють роль електронних ключів. Конденсатор $C1$ згладжує пульсацію перетвореної напруги.

Характеристики перетворювачів залежать від режиму роботи накопичувального дроселя $L1$. Розрізняють три режими роботи: неперервний, граничний і переривчастий (рис. 8.6). Для зменшення масогабаритних показників доцільно зменшувати індуктивність дроселя $L1$, але це призводить до переривчастого режиму, за якого різко зростають пульсації струмів в елементах і колах перетворювачів.

3. Особливості функціонування одноканальних імпульсних перетворювачів

Період T роботи перетворювача можна розділити на три інтервали: накопичення t_n , повернення $t_{пов}$ і паузи $t_{п}$. Як протікають струми у перетворювачах на даних інтервалах, показано на рис. 8.5, відповідно для знижувального ($y=1$) (рис. 8.5,а), підвищувального ($y=2$) (рис. 8.5,б), інвертувального ($y=3$) (рис. 8.5,в).

На інтервалі t_n накопичення електричної енергії дроселем $L1$ вихідний сигнал пристрою керування $ПК$ забезпечує відкритий провідний стан транзистора V_{T1} . Транзистор перебуває у стані насичення, тому спадання напруги на ньому є незначне і транзистор V_{T1} виконує функції замкненого ключа. Діод V_{D1} при цьому перебуває у закритому непровідному стані, до катода стосовно анода прикладено позитивний потенціал (прикладено зворотну напругу) і струм через нього практично не протікає. Струм через дросель лінійно зростає, сягаючи наприкінці даного інтервалу максимального значення. При цьому в дроселі накопичується магнітна енергія.

На початку інтервалу повернення пристрій керування $ПК$ закриває транзистор V_{T1} – переводить у закритий непровідний стан і його струм стає рівним нулю. Енергія, накопичена в дроселі $L1$, призводить до появи на його виводах ЕРС, що прагне підтримувати струм у ньому незмінним. При цьому

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК24- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 9

діод VDI переходить у відкритий провідний стан і розпочинає проводити струм. На цьому інтервалі струм дроселя лінійно зменшується.

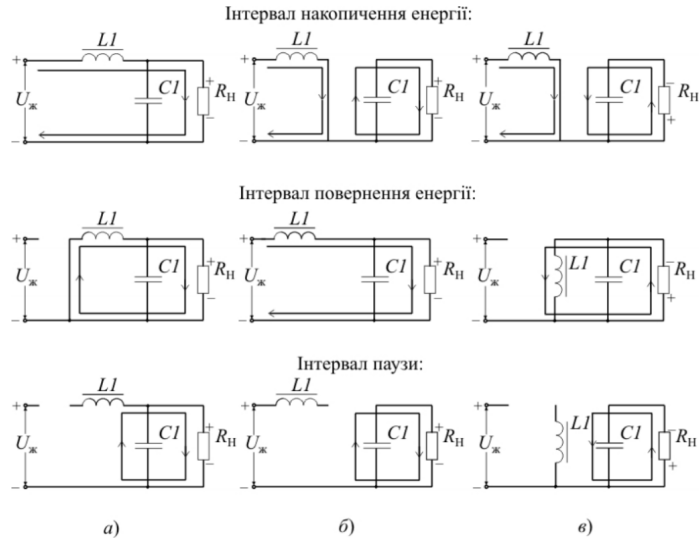


Рисунок 8.5 – Принцип роботи перетворювачів

Енергія, накопичена у дроселі, передається до навантаження – забезпечується повернення енергії, накопиченої дроселем LI на інтервалі t_H .

Кількість накопиченої в дроселі LI енергії здатна певний час підтримувати у ньому струм. Якщо цей інтервал $t_{пов}$ є менше за $T - t_H$, тоді упродовж часу $t_{п} = T - t_H - t_{пов}$, струм через дросель LI не протікає. Даний інтервал часу відповідає стану паузи. Навантаження при цьому одержує електричну енергію від конденсатора CI (див. рис. 8.5).

Характер електричних процесів у перетворювачах відображає рис. 8.6 (знижувальний – рис. 8.6,а; підвищувальний – рис. 8.6,б; інвертувальний – рис. 8.6,в).

В якості електричного ключа VTI використовують потужні високочастотні біполярні, $IGBT$ або $МОН$ транзистори. В якості електричного ключа VDI використовують потужні високочастотні діоди. За значних струмів на низьких напругах перетворювання для цієї мити використовують діоди із дифузиею золота або діоди Шоттки. Їхні функції можуть виконувати також біполярні або

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК24- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 10

МОН транзистори, але це ускладнює пристрій керування (рис. 8.7).

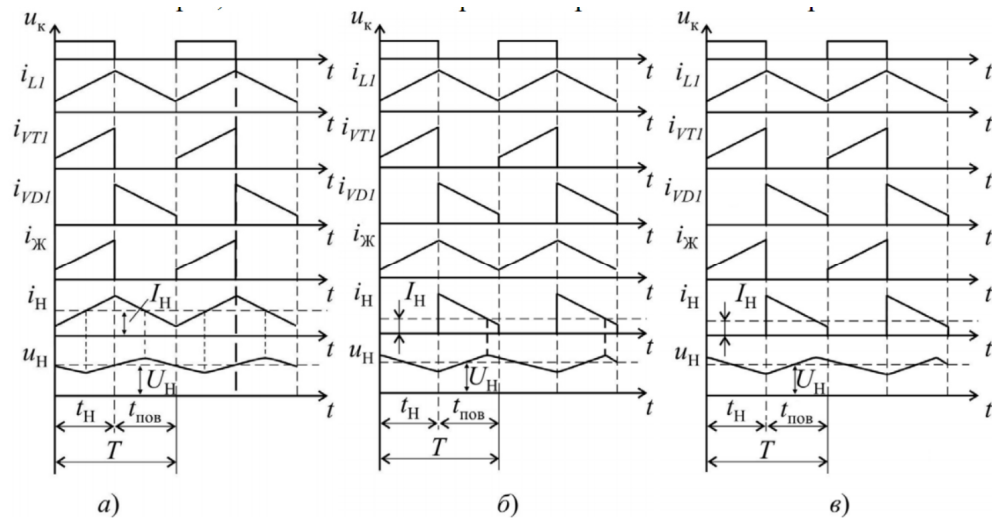


Рисунок 8.6 – Діаграми роботи перетворювачів: а – знижувального, б – підвищувального, в – інвертувального

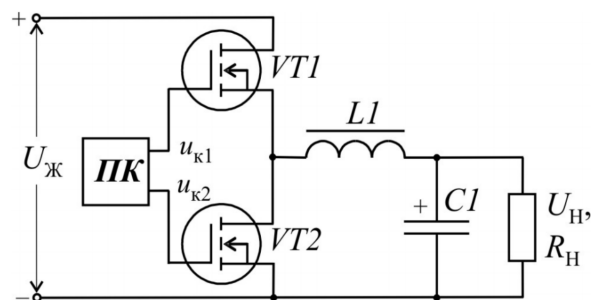


Рисунок 8.7 – Знижувальний перетворювач із транзистором VT2 замість діода

Навчальні завдання і методичні вказівки до їх виконання

Номер варіанта лабораторного завдання визначається з дати народження ДД.ММ студента. Остання цифра ДД – номер варіанта в таблиці даних вхідної напруги. Остання цифра ММ визначає номер варіанта в таблиці параметрів елементів електричного кола.

Приклад:

04.02 – 4 варіант в таблиці даних вхідної напруги, 2 варіант в таблиці параметрів елементів електричного кола.

12.10 – 2 варіант в таблиці даних вхідної напруги, 0 варіант в таблиці параметрів елементів електричного кола.

Таблиця 8.1 – Амплітудне значення вхідної постійної напруги

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U_{1m} , В	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28

Завдання № 1.

1. Запустити програмний пакет Ltspice XVII. В робочому вікні Ltspice зібрати для дослідження схему імпульсного понижувального перетворювача (Buck converter) або схему запропоновану викладачем (рис. 8.8).

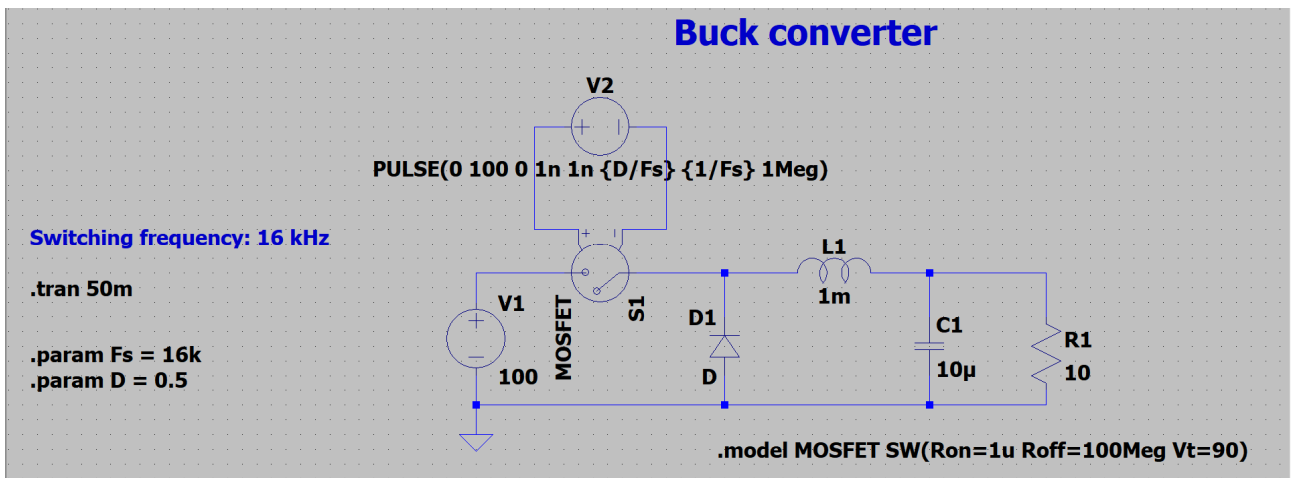


Рис. 8.8 – Схема імпульсного понижувального перетворювача (Buck converter) для дослідження

2. За формулою $U_{\text{вих}} = K_3 \cdot U_{\text{вх}}$ і відповідно до варіанта завдання (табл. 8.1) розрахувати значення вихідної напруги $U_{\text{вих}}$ для різних значень коефіцієнта наповнення K_3 . Результати занести до табл. 8.2.

Таблиця 8.2 – Результати розрахунків та вимірювань. Залежність вихідної напруги від коефіцієнта заповнення

K_3	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$U_{\text{вих}}$ (розрахунок)									
$U_{\text{вих}}$									
$P_{\text{вх}}$, мВт									
$P_{\text{вих}}$, мВт									
η , %									

2. Здійснити вимірювання рівня постійної напруги на виході схеми для

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК24- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 12

різних значень коефіцієнта заповнення K_3 . Результати занести до табл. 8.2.

3. Виміряти потужність ($P_{ВХ}$), що віддається джерелом $V1$, виміряти потужність ($P_{ВИХ}$), що споживається активним навантаженням R_H , для різних значень коефіцієнта заповнення K_3 . Результати занести до табл. 8.2.

Примітка: Для визначення потужності, яка виділяється на схемному компоненті, потрібно у полі графічного редактора навести курсор на обраний елемент і натиснути клавішу «Alt», курсор приймає вигляд термометра. Далі, не відпускаючи клавішу «Alt», клікнути ЛКМ. У вікні плотера з'являються результати розрахунку. Якщо результат додатній, схемний компонент споживає енергію.

Обчислити середнє значення потужності, а також середні і діючі значення напруги та струмів можна лише після закінчення моделювання. Усереднення проводиться за весь період часу, що відображається у вікні плоттера. Щоб скористатися функцією усереднення, достатньо натиснути клавішу «Ctrl» і, утримуючи її, клацнути лівою кнопкою мишки за виразом, що цікавить. Для напруг і струмів розраховуються середнє (Average) та діюче (RMS) значення. Для потужності розраховується середня (Average) потужність і енергія (Integral) за період часу, що відображається.

4. Для різних значень коефіцієнта наповнення K_3 (табл. 8.2), розрахувати ККД імпульсного понижувального перетворювача постійної напруги за формулою

$$\eta = \frac{P_{ВИХ}}{P_{ВХ}} \cdot 100\%.$$

Результати занести до табл. 8.2.

5. Побудувати залежності рівня вихідної напруги $U_{ВИХ}$ і ККД η від коефіцієнта заповнення K_3 .

Завдання № 2.

1. В робочому вікні Ltspice зібрати для дослідження схему імпульсного перетворювача з підвищенням напруги (Boost converter) або схему

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК24- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 14

4. Для різних значень коефіцієнта наповнення K_3 (табл. 8.3), розрахувати ККД імпульсного перетворювача з підвищенням напруги за формулою

$$\eta = \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}} \cdot 100\%.$$

Результати занести до табл. 8.3.

5. Побудувати залежності рівня вихідної напруги $U_{\text{вих}}$ і ККД η від коефіцієнта заповнення K_3 .

Зміст звіту

Звіт повинен містити:

- 1) формулювання мети дослідження;
- 2) Принципову схему для дослідження;
- 3) Таблиці результатів вимірювань з розрахованими параметрами;
- 4) Таблиці осцилограм;
- 5) Аналіз отриманих результатів.

Контрольні питання

1. Які принципи дії та призначення перетворювачів напруги?
2. З яких міркувань вибирається робоча частота перетворювача напруги?
3. Наведіть інші відомі схеми перетворювачів напруги.
4. В якому режимі працюють транзистори перетворювачів напруги?
5. Від чого залежить ККД перетворювача напруги?
6. У чому полягає перевага перетворювача напруги з додатковим трансформатором, який насичується?

Перелік посилань

1. LTspice Information Center. Analog Devices.

URL: <https://www.analog.com/en/resources/design-tools-and-calculators/ltspice>

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.01/172.00.2/Б/ОК24- 2024
	Екземпляр № 1	Арк 15 / 15

[simulator.html](#) (дата звернення 14.11.2024).

2. Gabino Alonso. Get Up and Running with LTspice. Analog Devices.

URL:<https://www.analog.com/en/resources/analog-dialogue/articles/get-up-and-running-with-ltspice.html> (дата звернення 14.11.2024).

3. LTspice® Technical Information and Guides. Analog Devices.

URL:<https://www.analog.com/en/resources/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator/ltspice-recommended-reading-list.html> (дата звернення 14.11.2024).

Рекомендована література

1. Захарченко М.В. Електроживлення систем зв'язку. Лабораторний практикум: Частина 1: Теоретичні положення; Частина 2: Методичні вказівки / М.В. Захарченко, А.Ф. Кадацький, О.П. Русу, І.П. Малявін, В.Б. Русаловський, О.А. Грабовий. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2011. – 312 с.,іл.