

“ ОСНОВИ ІНЖЕНЕРНОЇ ТВОРЧОСТІ ”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

для студентів напрямку підготовки
6.050902 “Радіоелектронні апарати”

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”

“ОСНОВИ ІНЖЕНЕРНОЇ ТВОРЧОСТІ”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Затверджено Методичною радою НТУУ “КПІ”

Київ

2012

Передмова

Специфіка того, що лабораторні роботи проводяться з інженерної творчості вимагає, щоб традиційні методичні вказівки були суміщені з навчальним матеріалом, тобто статус видання був – дещо розширені за теоретичним вступом методичні вказівки. Крім того, стан творчості має певну духовну складову. Відповідно і матеріал має нести певну емоційну складову. Ця вимога врахована в додаткових питаннях та репліках.

Вказане видання поглиблює знання з дисципліни “Основи інженерної творчості”.

Після засвоєння теоретичного курсу та виконання наведених нижче лабораторних робіт студент має:

ЗНАТИ: В творчому аспекті - характери особистостей за енергетикою, способом сприйняття інформації, шкалою цінностей способом прийняття рішень та способами досягнення мети. В технічному аспекті – основи проектування інтегральних перетворювачів DC/DC як провідного класу сучасної інтегральної схемотехніки.

УМІТИ: В творчому аспекті – напрацьовувати та включати необхідні творчі ресурси. В технічному аспекті – створювати та налаштовувати три основні блоки інтегрального перетворювача DC/DC

БУТИ ОЗНАЙОМЛЕНИМ: В творчому аспекті – з тим, як працювати в творчому колективі, долати недоліки особистості та вдосконалювати здібності. В технічному аспекті – з вимогами та основними підходами до створення схеми інтегрального перетворювача DC/DC в цілому та подібних інтегральних мікросхем.

Потреба в такому виданні виникає з декількох причин. Одна з них полягає в тому, що сучасному інженеру доводиться братись за виконання роботи, яку ще не відомо яким чином треба зробити, але термін виконання вже визначений. Без певної психологічної підготовки та певних стереотипів творчості важко сподіватись на позитивний результат виконання та збереження нервів фахівця. Отож, деяку підготовку в цьому сенсі мають впровадити представлені лабораторні роботи. В лабораторних роботах постановка задачі містить теоретичні відомості, загальну структуру та вказівку на стратегію творчості. Результат полягає в тому, що потрібно мобілізувати певний творчий ресурс, видати схему електричну, налаштувати її за номіналами компонентів інтегральної мікросхеми. В загальному вигляді це можна визначити як синтез з багатьма невідомими.

Для початку студенту видається перелік параметрів та інформаційно-довідковий матеріал, що призначений тільки для користувача інтегральної мікросхеми. Цим,

робиться постановка задачі таким чином, як це і буває при надходженні до проектування нової мікросхеми. Така задача для студента важка, і він має включити всі ресурси до її вирішення. Поступово задача пом'якшується і надається приблизний граф блоків схеми. Цим впроваджується у підсвідомість установка: «Не так страшна творчість, як її малюють. Сьогодні дізнаємося трохи, завтра більше, а після завтра вже все працює...». Роз'яснюються авторські підходи, розуміння дістатись суті технічного рішення з точки зору певних психологічних типів. Поступово доводиться до свідомості можливість різних підходів.

Короткі теоретичні відомості, що наводяться у вказівках, не замінюють матеріал основного теоретичного курсу, а лише окреслюють коло питань для самостійної підготовки, виконання роботи, звіту та захисту експериментальних результатів.

Слід зауважити, що будь-яка дисципліна, що потребує розвитку уявлення, сприяє розвитку творчості і зайвих знань не буває. Мета саме цих лабораторних робіт – здолати психологічний бар'єр перед не зрозумілим (на цей час!) завданням, прояснити процес зростання творчих здібностей та пов'язати їх з сучасним уявленням про особливості характеру. Розуміння різноманітності характерів сприяє також толерантності відносин в колективі і дозволяє прискорити розвиток особистості завдяки взаємній підтримці та духовному взаємозбагаченню.

Зміст лабораторних робіт

Лабораторні роботи направлені на засвоєння теоретичного курсу з інженерної творчості, розвиток творчих здібностей на основі практичних рішень інтегральної мікросхемотехніки. Технічний зміст лабораторних робіт присвячений дослідженню інтегрального індуктивного імпульсного перетворювача напруги типу DC/DC без гальванічної розв'язки на основі ORCAD-проекту. Цей клас інтегральних мікросхем відзначається поєднанням імпульсних блоків з прецизійними джерелами опорної напруги, генератором, сукупністю блоків захисту, петлями зворотного зв'язку. Завдяки цьому є можливість вдосконалити майстерність в проектуванні на прикладі складного пристрою. Загалом лабораторні роботи єднають мету та мотивацію для ґрунтовного засвоєння курсу у двох напрямках (аспектах).

Перший напрямок – технічний. Він спрямований на поповнення бази технічних знань на прикладі практичних схем блоків сучасної інтегральної мікросхеми (ІМС) перетворювача DC/DC LM2596. Схемні рішення цієї ІМС являють собою певний зразок творчості і спираються на ряд патентів США. Здобуваючи розуміння схемотехніки ІМС

студенти набувають суто професійне інженерне зростання. На цьому напрямку активізується вся база знань, набута на попередніх курсах.

Другий напрямок – це розвиток творчих можливостей особистості. Сам процес розвитку спирається на технічну базу, зазначену вище, та власні здібності. Для початку в рамках теоретичного курсу та самостійної роботи студента визначаються риси власного класу характеру за першою та другою функцією. Розвиток спрямовується на ті риси характеру, які на даней момент являють собою третю та четверту функції. Заодно, спостерігаючи за творчою роботою інших членів бригади, визначають (без коментарів!) їхні сильні сторони творчості та залучають до особистого арсеналу корисні здобутки в творчому розвитку власної особистості.

За етичними мотивами не дозволяється публічний аналіз характеру будь-кого з контингенту студентів, викладачів та інших осіб!

Виконання робіт потребує певного налаштування особистості. Для цього застосовуються теоретичні знання з творчості та впроваджуються стереотипи творчості відповідних типів характерів. Отже виникає потреба оцінювати не лише схемні властивості самого завдання, але і віднаходити відповідь на питання: «Якому характеру відповідає завдання роботи?» і мобілізувати відповідні творчі ресурси. В основному роботи сприяють мобілізації та розвитку творчих здібностей завдяки тому, що студенти напрацьовують навички мобілізації навіть таких стереотипів творчості, які не властиві вродженим схильностям. Наприклад, концептуаліст має напрацьовувати стереотипи творчості, що властиві традиціоналістам, ідеалістам та реалістам. В той же час, наприклад, реалісти теж напрацюють для себе досить корисний досвід для розвитку своїх творчих можливостей, спостерігаючи за роботою концептуалістів.

Відповідність лабораторної роботи і розділу навчальної робочої програми наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

№ роботи	Тема лабораторної роботи	Тема, розділ навчальної програми,
1	Структурна схема знижуючого перетворювача DC/DC LM2596 з точки зору ідеаліста	Тема 3.4. Ідеалісти. Розділ 3. Основи характеру особистості. Творчі можливості особистості за характером.
2	Джерело опорної напруги з точки зору концептуаліста.	Тема 3.3. Концептуалісти. Розділ 3. Основи характеру особистості. Творчі можливості особистості за характером
3	Драйвер ключа з точки зору традиціоналістів.	Тема 3.1. Традиціоналісти. Особливості характеру. Можливості творчості.

Порядок виконання робіт.

1. Роботи виконуються бригадами. Бригади формуються за принципами формування творчого колективу, в першу чергу з огляду психологічної сумісності членів бригади. Найкращий склад бригади – квадра, до якої входять концептуаліст, реаліст, традиціоналіст та ідеаліст.
2. Роботи виконуються послідовно та контролюються до початку робіт та при зарахуванні. Контролюється як технічний аспект робіт, так і творчі досягнення.
3. Роботи виконуються в режимі імітаційного моделювання блоків інтегрального перетворювача DC/DC.
4. Для проведення робіт проводяться заходи для створення творчої атмосфери. В перелік цих заходів входять самостійна робота студента, настанови і тренінги, що налаштовують на творче відношення до виконання робіт, а також контрольні запитання з засвоєння загального теоретичного курсу та пояснень до лабораторної роботи за даним посібником.

Перший контроль проводиться за контрольними питаннями за першим та другим аспектом з теоретичного мінімуму, наведеного в роботі, та за теоретичним курсом. Робота зараховується за повнотою заповнення протоколу, відповідями на контрольні питання щодо змісту роботи з урахуванням здобутків, отриманих при виконанні роботи.

Загальні теоретичні основи.

Технічний аспект

DC/DC-конвертори використовують принцип дії імпульсних джерел живлення, і застосовуються для того, щоб перетворити одну напругу постійного струму в іншу, зазвичай з нестабільної в добре стабілізовану. Ці пристрої використовуються там, де електронне устаткування повинне живитися від батареї або іншого автономного джерела постійного струму.

Інтегральні DC/DC-конвертори широко використовуються для перетворення і розподілу постійної напруги живлення. Ця напруга живлення зазвичай поступає в систему від мережевого джерела живлення або батареї. Воно може мати стандартне значення 5, 12, 24, 40 В або бути будь-якого другого номіналу і полярності. Ця напруга може бути не стабілізованою і мати значну шумову компоненту. Інше поширене застосування DC/DC-конверторів – це перетворення напруги батареї в напругу іншого номіналу, необхідну для живлення різноманітних схем. Типові значення напруги батареї зазвичай рівні 1.5, 3.0, 3.6, 4.5, 6.3, 9, 12, 24 або 48 В (DC), причому кожне використовується для певних потреб. Проте напруга батареї може змінюватися в

широких межах. Наприклад, напруга дванадцятивольтової акумуляторної батареї транспортного засобу може підніматися до 15 В і вище під час підзарядки і опускатися до 6 В при запуску двигуна. У таких випадках для живлення електронних схем потрібний DC/DC-конвертор, щоб з вхідної напруги, що змінюється, виробити стійку, добре стабілізовану вихідну напругу.

Класифікація імпульсних перетворювачів по схемі побудови містить: ємнісні перетворювачі, індуктивні перетворювачі, перетворювачі без гальванічної розв'язки, перетворювачі з гальванічною розв'язкою та резонансні перетворювачі. За вихідною напругою – перетворювачі підвищуючі (Boost), знижуючі (Buck), а також за принципом – інвертуючі, одноктактні, двотактні, прямоходові (forward), зворотньоходові (flyback), мостові та напівмостові.

Індуктивні перетворювачі напруги.

Стабілізатори з ємнісним накопичувачем не набули широкого вжитку, оскільки вони добре працюють лише при великому внутрішньому опорі первинного джерела. Така ситуація виникає досить рідко, оскільки внутрішній опір джерел живлення намагаються зменшити, для віддачі більшої потужності в навантаження і менших втрат енергії в джерелі (наприклад, внутрішній опір побутовій мережі електропостачання в житлових приміщеннях складає зазвичай від 0,05 Ом до 1 Ом). При роботі від джерела з малим внутрішнім опором в якості накопичувача енергії доцільно використовувати дросель, або складніші комбінації дроселів і конденсаторів.

В індуктивних перетвореннях напруги енергонакопичувальним елементом є індуктивність (дросель або трансформатор). Трансформаторний перетворювач може бути отриманий на основі будь-якого генератора з вихідним трансформатором. На практиці для здобуття ефективного джерела живлення використовуються прямоходові та зворотньоходові перетворювачі з схемою управління.

На рис.1 зображена ідеальна модель знижуючого перетворювача, що містить такий

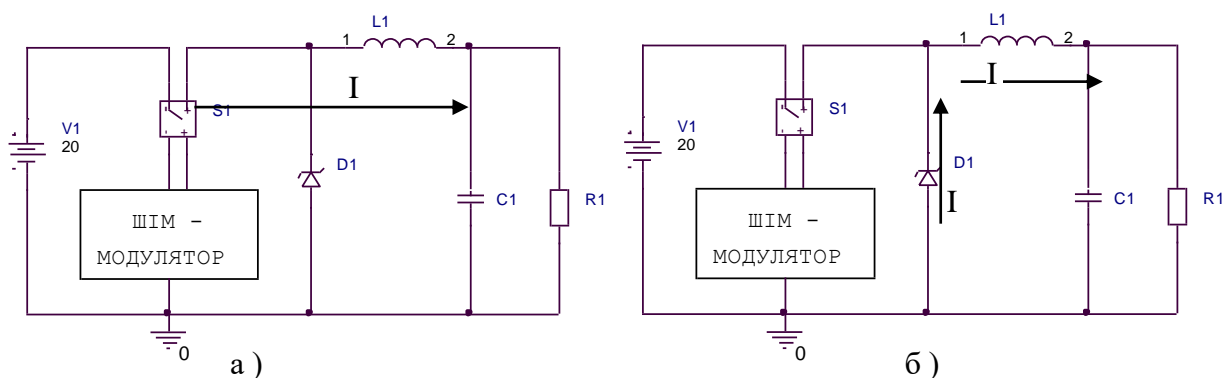


Рис.1. Ідеалізована модель знижуючого перетворювача:

а) струм проходить через замкнутий ключ S1

б) струм проходить через діод Шоткі D1

перетворювач (конвертор), який складається з джерела напруги, керованого ключа, діода Шоткі, дроселя та конденсатора і резистора навантаження. Перетворювач називається знижуючим тому, що вихідна напруга завжди менше вхідної, оскільки напруга на дроселі «опирається» вхідному (протилежно полярності напруги джерела).

В якості керуючого елемента тут зазначено широтно-імпульсний модулятор (ШІМ). Використання дроселя дозволяє отримати недороге і ефективне вирішення імпульсного джерела живлення, але при цьому виключається гальванічна розв'язка вихідного і вхідного ланцюга.

У даній схемі діод використовується як клапан керований напругою. Коли дросель накопичує енергію (ключ замкнено, рис. 1, а), діод зміщений у зворотному напрямі, тому струм через нього не тече і струм через дросель надходить до навантаження R1, а в цей час дросель накопичує енергію в електромагнітному полі.

В той час, коли вхідний ключ розімкнений (див. рис. 1, б), діод забезпечує канал для протікання розрядного струму дроселя до навантаження R1.

Деяке уявлення про сучасний стан в області інтегральних знижуючих імпульсних перетворювачів DC/DC, розробки National Semiconductor дає таблиця 2.

Нас особливо цікавить третя стрічка цієї таблиці.2.

Таблиця 2

Тип	Діапазон вхідних напруг		Вихідний струм	Падіння напруги	Вихідна напруга	Робоча частота	ККД
	U _{in}		I _{out}	U _{drop}	U _{out}	F _o	h
	В		мА	В	В	кГц	%
	мін	макс	макс	мін	тип	тип	макс
LM2594	4,5	40	500	0,8	3,3; 5.0; 12; 1.23-37 рег.	150	90
LM2595	4,5	40	1000	1,0	3,3; 5.0; 12; 1.23-37 рег.	150	90
LM2596	4,5	40	3000	1,3	3,3; 5.0; 12; 1.23-37 рег.	150	90
LM2674	6,5	40	500	1,0	3,3; 5.0; 12; 1.23-37 рег.	260	96
LM2675	6,5	40	1000	1,0	3,3; 5.0; 12; 1.23-37 рег.	260	96
LM2676	8,0	40	3000	-	3,3; 5.0; 12; 1.23-37 рег.	260	92
LM2677	8,0	40	5000	-	3,3; 5.0; 12; 1.23-37 рег.	260	92
LM2678	8,0	40	5000	-	3,3; 5.0; 12; 1.23-37 рег.	260	92

LM2679	8,0	40	5000	-	3,3; 5.0; 12; 1.23-37 пер.	260	92
LM2651	4,0	14	1500	-	3,3; 2,5; 3,3; 1.23-12 пер.	300	97
LM2653	4,0	14	1500	-	1,5-5 пер.	300	97
LM2660	1,5	5,5	100	-	Uin/2; 2Uin; -Uin	10-80	90
LM2661	1,5	5,5	100	-	Uin/2; 2Uin; -Uin	80	90
LM2662	1,5	5,5	200	-	Uin/2; 2Uin; -Uin	20-150	90
LM2663	1,5	5,5	200	-	Uin/2; 2Uin; -Uin	150	90

Творчий аспект

Характер – це форма реакцій на подразники, схильності та прагнення.

Темперамент – це темп та глибина реакцій.

Характер людини утворюється лише за світосприйманням – сенсор, або інтуїт, та за шкалою цінностей – логіка або емоції, таблиця 3.

Таблиця 3.

	Тип	Провідна	Друга	Третя	Анти-провідна
SJ	ESTJ	Логіка	Відчуття	Інтуїція	Емоції
	ISTJ	Відчуття	Логіка	Емоції	Інтуїція
	ESFJ	Емоції	Відчуття	Інтуїція	Логіка
	ISFJ	Відчуття	Емоції	Логіка	Інтуїція
SP	ESTP	Відчуття	Логіка	Емоції	Інтуїція
	ISTP	Логіка	Відчуття	Інтуїція	Емоції
	ESFP	Відчуття	Емоції	Логіка	Інтуїція
	ISFP	Емоції	Відчуття	Інтуїція	Логіка
NT	ENTJ	Логіка	Інтуїція	Відчуття	Емоції
	INTJ	Інтуїція	Логіка	Емоції	Відчуття
	ENTP	Інтуїція	Логіка	Емоції	Відчуття
	INTP	Логіка	Інтуїція	Відчуття	Емоції
NF	ENFJ	Емоції	Інтуїція	Відчуття	Логіка
	INFJ	Інтуїція	Емоції	Логіка	Відчуття
	ENFP	Інтуїція	Емоції	Логіка	Відчуття
	INFP	Емоції	Інтуїція	Відчуття	Логіка

Градації екстраверт/інтроверт/амбоверт та тактик/персивер вказують на спрямованість та темп прийняття рішень, тому вони визначають лише темперамент.

Перша функція характеру визначає світогляд людини.

Друга функція – робоча. Визначає спосіб досягнення мети.

Третя функція – болюча точка характеру. За рисами третьої функції людина відчуває власні недоліки та переживає за це.

Четверта функція – ті риси характеру, які настільки не розвинуті, що людина відчуває повну безпорадність і сприймає допомогу за ними, вже навіть не відчуваючи комплексів.

ІЄРАРХІЯ ФУНКЦІЙ

Хоча деякі типи характеру за кодуванням в таблиці співпадають, але вони відрізняються за емоційною направленістю, що визначається першою та останньою літерою типу, що істотно впливає на характер.

Шифр:

Логіка - прийняття об'єктивних рішень

Емоції - взаємини з людьми

Відчуття - дія з досвіду, реалістичний погляд на речі

Інтуїція - розуміння перспектив і можливостей.

З точки зору творчості інтуїти представляють найбільш творчу групу особистостей навіть серед простих характерів. Імплементация стереотипу творчості інтуїтів у три інші групи дозволяє гармонізувати їхні особистості без втрати власних природних рис характеру. Найбільш ефективна стратегія для цього – шести кроковий рефреймінг. Групи характерів, що визначені за функціями, наведені в таблиці 3.

Позначення

SJ - традиціоналісти

SP - реалісти

NT - концептуалісти

NF - ідеалісти

Лабораторна робота №1

Структурна схема перетворювача DC/DC LM2596, що знижує напругу,
з точки зору ідеалістів

1. Мета та призначення роботи.

Дана робота має за мету

- Налаштування свідомості на стереотип творчості ідеаліста (творчий аспект)
- Закріплення цього стереотипу як творчого ресурсу (творчий аспект)
- Визначити, які функції мають бути в ідеальному перетворювачі DC/DC (технічний аспект та розвиток творчих можливостей).
- Уявлення роботи ІМС LM2596 за структурною схемою (технічний аспект та розвиток творчих можливостей).

2. Теоретичні основи.

2.1 Технічний аспект

ІМС LM2596 [1] – це високоточний імпульсний регулятор напруги (step-down), що покликаний з вхідної нестабільної напруги утворювати вихідну напругу, що нижча за рівнем від вхідної, але має стабільні характеристики при зміні вихідного струму від 200мА і нижче до 3А (дивись додаток). Для цього ІМС містить блоки керування та інтегральний потужний транзистор, який слугує ключем. Мікросхема виконана за біполярною технологією та прямо спирається на винахід [2] та опосередковано на винахід [3].

ІМС LM2596, призначена для роботи від джерела напруги від 5 В до 45 В і забезпечує напругу 3,3, 5,0, 12 В або налаштовану зовнішнім подільником напруги у варіанті виконання ADJ. Ключ розміщено на тому самому кристалі, що і керуюча частина ІМС. Він розмикається і замикається через кожних 6,7 мкс, при цьому на пасивних компонентах формується сигнал з широтно-імпульсною модуляцією. У сталому режимі вихідна напруга стабілізатора рівна

$$V_{OUT} = V_{IN} * K_f, \quad (1)$$

де K_f – коефіцієнт заповнення (величина, що характеризує відношення між позитивними та нульовими півперіодами послідовності імпульсів).

Це рівняння визначає вихідну напругу перетворювача незалежно від значень індуктивності, струму навантаження і ємності вихідного конденсатора, за умови, що через дросель тече безперервний (але змінний!) струм. При цьому мається на увазі, що напруга на дроселі має прямокутну форму, а струм – пилковидну.

Основні характеристики мікросхеми [1], (дивись додаток):

1. Ефективність перетворення DC/DC від 73% на 3В до 90% на 12В вихідної напруги.
2. Залишкова напруга на ключі 1,16В при 3А та 25°C.
3. Робочий цикл 0...100%
4. Нестабільність за входом – не перевищує 60мВ при зміні напруги на вході від 7 до 30В.
5. Частота перетворення – 150кГц.
6. Мікросхема має захист від перегріву та дворівневий захист від перенавантаження за вихідним струмом.

Перетворювач DC/DC на основі ІМС LM2596 є прямоходовим за своїм принципом

Технічна сторона завдання на дану лабораторну роботу полягає в тому, щоб з наведених технічних даних та за наведеною на рис.2 структурою схеми уявити роботу схеми, побудувати ідеалізовані часові діаграми та сформулювати технічні вимоги до блоків, зазначених на структурній схемі.

2.2. Творчий аспект

Перша та друга функції характеру ідеаліста – інтуїція та емоції.

Інтуїція в якості першої функції дозволяє досягнути проект в цілому, вирішити стратегічні питання та спроможність виконання завдання в цілому,

В якості другої функції інтуїція допомагає пов'язати параметри схеми та блоки, що їх визначають, досягнути співвідношення часових діаграм і т.п.

Емоції в якості першої функції відповідають стійкості в досягненні мети проекту та його досконалості.

Емоції в якості другої функції визначають бажання зробити проект таким, аби він сподобався споживачам.

Синергія підходу до стереотипу творчості ідеаліста полягає в тому, що на початку рішення не застосовуються жодні обмеження для виконання мети проекту, а пропозиції по вдосконаленню сприймаються доброзичливо. Такий підхід цілком відповідає початку творчого вирішення проекту [4]. Виконавець проекту може собі сказати: «Дозволяється все... Коефіцієнти підсилення можуть бути нескінченними, температурні коефіцієнти – нульові, елементна база – високоточна, стійкість за частотними умовами – абсолютна і т.д. Допускається застосовувати ідеалізовані характеристики сигналів, блоків та елементної бази».

Такі підходи вкладаються в межі стратегії творчості У. Діснея [5].

Творчість з позиції ідеаліста починається під гаслом:

«Від оточення - жодної критики! Вважається, що все, що треба – є. Потрібно лише виконати вимоги за технічними характеристиками. А ще краще – перевершити їх».

Особистість ідеаліста для вирішення творчих питань приваблива тим, що ідеаліст спроможний бачити приховану технічну суть ще на етапі проектування. Для нього не є проблемою сформулювати список технічних вимог. Ідеаліст може сприйняти проект як соціальне замовлення та буде піклуватись, аби найкращим чином задовольнити вимоги за параметрами, за зовнішнім оформленням і т.п. та ще й забезпечити гарний виробничий запас.

З урахуванням цього, на даному етапі допускається доповнення структурної схеми допоміжними блоками, аби надати схемі додаткових позитивних якостей та покращення параметрів.

Творча сторона завдання: за основу взяти стереотип ідеаліста та напрацювати стереотип та ресурс творчості **без впливу обмежень**. Обґрунтування необхідності такого кроку полягає в тому, щоб насмілитись поставити завдання, що може спочатку здаватись нереальним, відірваним від життя. Але ж відомо, що **поставити завдання – це наполовину вирішити його**.

3. Схема структурна.

Схема структурна мікросхеми LM2596 наведена на рис.2.

Стабілізатор призначений для живлення блоків мікросхеми напругою 2,5 В. **Джерело опорної напруги** призначено для формування еталонної напруги 1,235 В, яка використовується для формування сигналу похибки регулювання та формування стабільної частоти.

Генератор формує прямокутні та пилкоподібні імпульси з частотою 150 кГц. Прямокутні імпульси потрібні для захисту ІМС від перевантаження а пилкоподібні – для формування сигналів широтно-імпульсного регулювання (ШИМ), що керують драйвером ключа.

Підсилювач сигналу зворотного зв'язку утворює **сигнал похибки регулювання**, що пропорційний різниці між бажаним вихідним рівнем напруги та фактично існуючим за даними умовами експлуатації.

ШИМ-компаратор утворює прямокутні імпульси, частота яких дорівнює 150 кГц, а тривалість пропорційна сигналу похибки регулювання.

Трігер формує керуючий сигнал драйвера. Якщо не спрацював захист, то він транслює сигнал ШІМ-компаратора. Коли захист спрацював, то на драйвер пропускаються лише короткі за часом імпульси 0,3...0,4мкс.

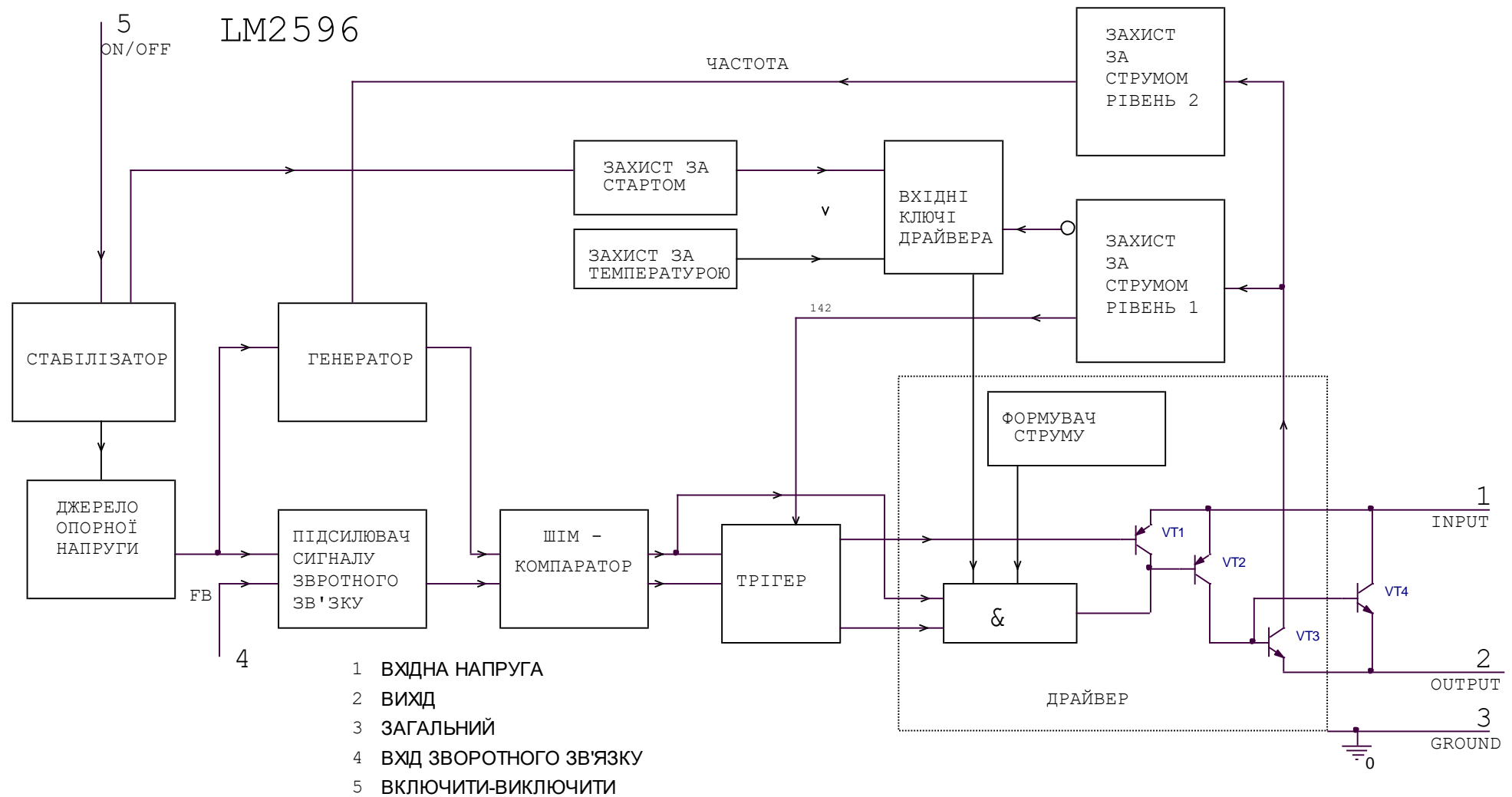


Рис.2. Структурна схема ІМС перетворювача DC/DC LM2596, що знижує

Захист за стартом виключає можливість включення ключа, доки не встановились робочі режими блоків схеми

Захист за температурою знеструмлює ключ, коли температура датчика сягає $+160^{\circ}\text{C}$.

Захист за струмом рівень 1 забороняє ШІМ ключа, коли вихідний струм перевищує 4,5 А. На драйвер пропускаються лише вузькі імпульси для перевірки навантаження.

Коли надлишок навантаження (коротке замикання) зняте, тоді захист знімає свій сигнал і ШІМ ключа відновлюється.

Захист за струмом рівень 2 спрацьовує після спрацювання **Захисту за струмом рівень 1**, коли рівень сигналу надлишок навантаження на компараторі захисту 2 перевищує рівень сигналу надлишок навантаження на компараторі першого рівня на 200 мВ. Наслідком спрацювання Захисту за струмом рівень 2 є зниження частоти генератора пропорційно надлишку навантаженню виходу ключа. Рівень струму в імпульсі може сягати 17 А, що знижує період імпульсів до 175 мс. Цим рятується ключ та ІМС в цілому.

Формувач струму виконує функцію первинного запуску драйвера ключа. Являє собою джерело струму на латеральному ррр-транзисторі. Рівень струму – до 4 мА. Цим струмом включається потужний формувач-регулятор струму в драйвері, що визначає роботу ключа.

Схема «&» виконує вентильні функції, відключаючи ШІМ, фактично суміщена з **вхідними ключами драйвера** та потужним формувачем-регулятором струму в драйвері, що визначає роботу ключа.

Вхідні ключі драйвера направляють струм **формувача струму** на землю, коли спрацьовують елементи захисту. Тоді потужний формувач-регулятор струму в драйвері, що визначає роботу ключа, знеструмлюється на час дії ШІМ.

Транзистор VT1 визначає швидкість зростання (фронт) імпульсу виходу ключа у стан «Ввімкнено».

Транзистор VT2 визначає струм бази транзистора-ключа **VT4**.

Транзистор VT3 – датчик струму. Його утворено як сегмент транзистора-ключа **VT4** для контролю струму самого **VT4**.

4. Порядок виконання роботи

4.1 Самостійна робота студента.

- а) Ознайомитись з типами генераторів пилкоподібної напруги. Зрозуміти принцип їх побудови та роботи. Уявити зміст терміну «Добротність ГПН». Формули для аналітичного розрахунку вузлів запам'ятовувати не обов'язково, але зміст їх

потрібно зрозуміти. Опрацювати стор. 533-557 [6] (Генераторы пилообразного напряжения).

Занотуйте в протокол короткий конспект: схеми, часові діаграми, визначення.

б) Ознайомитись з матеріалами [7-10]. Занотуйте в протокол висновки прочитаного.

4.2. Мобілізуйте творчий ресурс ідеаліста.

4.3 Визначити та занотувати в протокол :

1. Блоки, які повинні мати низьку температурну залежність
2. Часові діаграми імпульсних блоків
3. Блоки, які впливають на стабільність роботи з точки зору стійкості до збудження схеми.

4. Блоки, які що виробляють постійні рівні напруги

4.5 Вийдіть з ресурсу ідеаліста.

4.6. Мобілізуйте творчий ресурс традиціоналіста.

4.7 Запустіть в роботу проект, що додається. Занотуйте в протокол часові діаграми імпульсних блоків та постійні рівні напруги ДОН та стабілізатора.

5. Обробка результатів аналізу

1. Визначте, за яким принципом можливе побудування генератора пилкоподібної напруги.
2. Визначте, який може бути граничний коефіцієнт підсилення підсилювача сигналу зворотного зв'язку.
3. Визначте, чи можливе введення елемента регулювання в датчик струму ключа.
4. Визначити, які вхідні електроди мають бути в компараторі захисту від надлишку навантаження.

6. Контрольні питання

Технічний аспект

- 6.1. Чи входить вихідний транзистор-ключ в насичення, квазінасичення. Обґрунтувати відповідь.
- 6.2. Яку форму має напруга на виході 2?
- 6.3. Яку форму має напруга на навантаженні перетворювача? Намалюйте діаграму.
- 6.4. Яку форму має напруга на вході FB? Намалюйте діаграму.
- 6.5. Які складові має діаграма напруги?

- 6.6. Які складові корисні, а які шкідливі? Чому?
- 6.7. За яким принципом поєднані датчик струму та захист за струмом?
- 6.8. Який принцип покладено в роботу захисту за температурою?
- 6.9. Який ефект виникає на виході ключа, коли він закритий?
- 6.10. Який параметр ІМС відповідає закритому стану ключа?

Творчий аспект

- 7.1. Що таке творча квадра?
- 7.2. Чим визначається психологічна сумісність людей в квадрі?
- 7.3. Що лежить в основі творчості ідеалістів?
- 7.4. Як покращити творчий продукт ідеалістів?

Література до лабораторної роботи №1.

1. LM 2596. Analog Devices. Data Sheet. (Дивись додаток).
2. Patent Number 5.382.918. USA. <http://patent101.com>
3. Patent Number 5.514.947. USA. <http://patent101.com>
4. Павлов Л.М. “Основи інженерної творчості”. Навчальний посібник. “Політехніка”, К., 2006р., 84ст. – ISBN 966-622-223-X.
5. Джозеф О'Коннор, Джон Сеймор. Введение в нейролингвистическое программирование, Челябинск, «Библиотека А.Миллера», 1998.
6. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем, изд.3-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1973. 608 с. с ил.
7. Павлов Л.М., Калніболотський Ю.М. Минимизация влияния паразитных структур в преобразователях DC/DC. Электроника и связь. №2, 2010г., с.87-90.
8. Л.Н. Павлов. Работа выходного каскада интегрального импульсного понижающего стабилизатора напряжения. “Электроника и связь”. 2007, №1, с.79-80.
9. Л.Н. Павлов, В.А. Ткаченко, В.И. Филь. Исследование устойчивости интегральных импульсных преобразователей DC/DC. Электроника и связь. Тематический выпуск «Проблемы электроники». Ч1, 2008, с.123-127.
10. Павлов Л.Н., Яганов П.А. Минимизация эффекта инжекции в подложку при проектировании выходного каскада преобразователя DC/DC. Электроника и связь. 2009, № 2-3, стр.28-31. (“Электроника и нанотехнологии”, ч.1.)
11. Л. Гудмен. [Знаки зодиака или астрология с улыбкой.](#)

Лабораторна робота №2

Джерело опорної напруги з точки зору концептуаліста.

1. Мета та призначення роботи.

Дана робота має за мету

- Налаштувати свідомість на стереотип творчості концептуаліста (творчий аспект)
- Закріплення цього стереотипу як творчого ресурсу (творчий аспект)
- Визначити, які функції мають бути в ідеальному джерелі опорної напруги (розвиток).
- Уявити роботу джерела опорної напруги за принципом забороненої зони (розвиток).
- Уявити принцип утворення позитивного температурного коефіцієнту з точки зору концептуаліста

2. Теоретичні основи.

2.1. Технічний аспект

Сучасні джерела опорної напруги (**ДОН**) в ІМС будуються переважно на основі забороненої зони – енергетичної відстані між зоною валентності та зоною провідності. Теорія таких джерел для неінтегрованих компонентів детально опрацьована, наприклад в [4]. Зараз зупинимось на побудові такого джерела для ІМС.

Схема джерела опорної напруги для ІМС будується на основі генератора постійного струму.

Генератор постійного струму

Ядро генератора постійного струму ДОН наведено на рис.1.

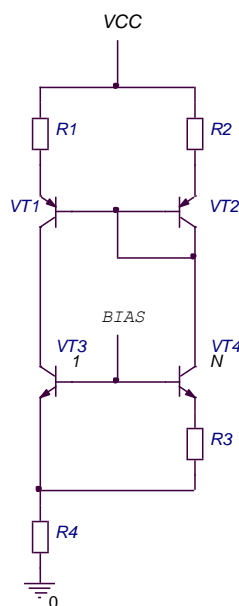


Рис.1. Схема генератора постійного струму (ядра ДОН) з зовнішнім зміщенням

На ньому позначені:

VCC – джерело напруги живлення.

$BIAS$ – джерело напруги зміщення.

$R1$, $R2$ – резистори для корекції в транзисторах $VT1$, $VT2$ струмів, які різняться через електрофізичні параметри структур. В даному випадку вони найперше зменшують ефект Ерлі завдяки послідовному від'ємному зв'язку за струмом (**B33C**).

$VT1$ – транзистор, що віддзеркалює струм транзистора $VT2$. Тому струми через ці транзистори відносно сталі. Транзистор $VT2$ ввімкнено з колектором, що замкнений на базу для формування потенціалу на базі транзистора $VT1$.

Транзистори $VT3$ та $VT4$ – транзисторна пара, утворена з площами емітерів, які зазвичай співвідносяться, як $1 : N$, $N = 6 \dots 10$. В даному випадку $N = 10$. Завдяки такому співвідношенню при рівних струмах напруга між базами та емітерами у цих транзисторах різняться.

Резистор $R3$ утворює B33C та компенсує нестачу напруги на емітері транзистора $VT4$, утворену через більшу площу емітера, порівняно з транзистором $VT3$ за умови, що струми, які проходять через їхні емітери – однакові.

Резистор $R4$ є елементом B33C для транзисторів $VT3$ та $VT4$ та плечем подільника напруги $R3/R4$.

Досліджуємо генератор струму.

Для найпростішого випадку подамо в лінію $VBIAS$ напругу 1,2 В. (Приблизно таку напругу має заборонена зона). Тоді з номінальними значеннями $R1 = R2 = 3$ кОм, з площею емітера транзистора $VT4$, що в 10 разів перевищує ($N = 10$) одиничну площу транзистора $VT3$. За номінальними значеннями коефіцієнтів підсилення транзисторів $VT1$ та $VT2$ $B=50$, опором $R3 = 1,53$ кОм, $R4 = 7,4$ кОм, маємо залежність струму через резистори $R1$ та $R2$ від напруги живлення, як це наведено на рис.2.

Цей графік свідчить про те, що, коли напруга в базах транзисторів $VT3$ та $VT4$ стабільна, то маємо відносно стабільний струм, який, після виходу на режим, в деякій мірі залежить від напруги живлення.

Збільшимо значення коефіцієнтів підсилення транзисторів $VT1$ та $VT2$ до $B=150$. Тоді маємо залежність струму через резистори $R1$ та $R2$ від напруги живлення, як це наведено на рис.3.

Збільшимо значення опорів резисторів – $R1 = R2 = 30$ кОм. Тоді маємо залежність струму через резистори $R1$ та $R2$ від напруги живлення, як це наведено на рис.4.

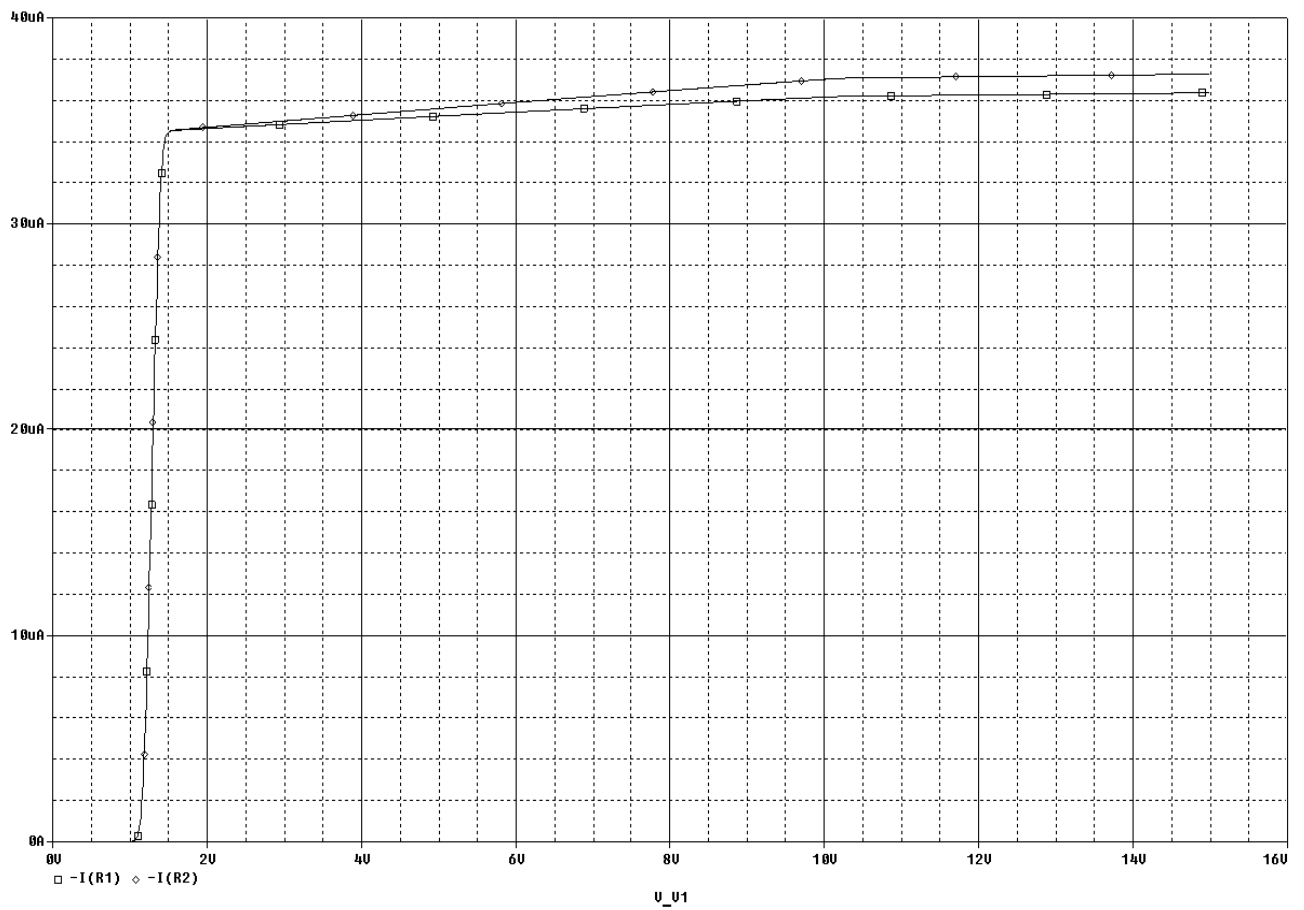


Рис.2. Залежність струмів через резистори $R1= R2 = 3 \text{ кОм}$, за умови $V=50$ для $VT1$ та $VT2$ від напруги живлення.

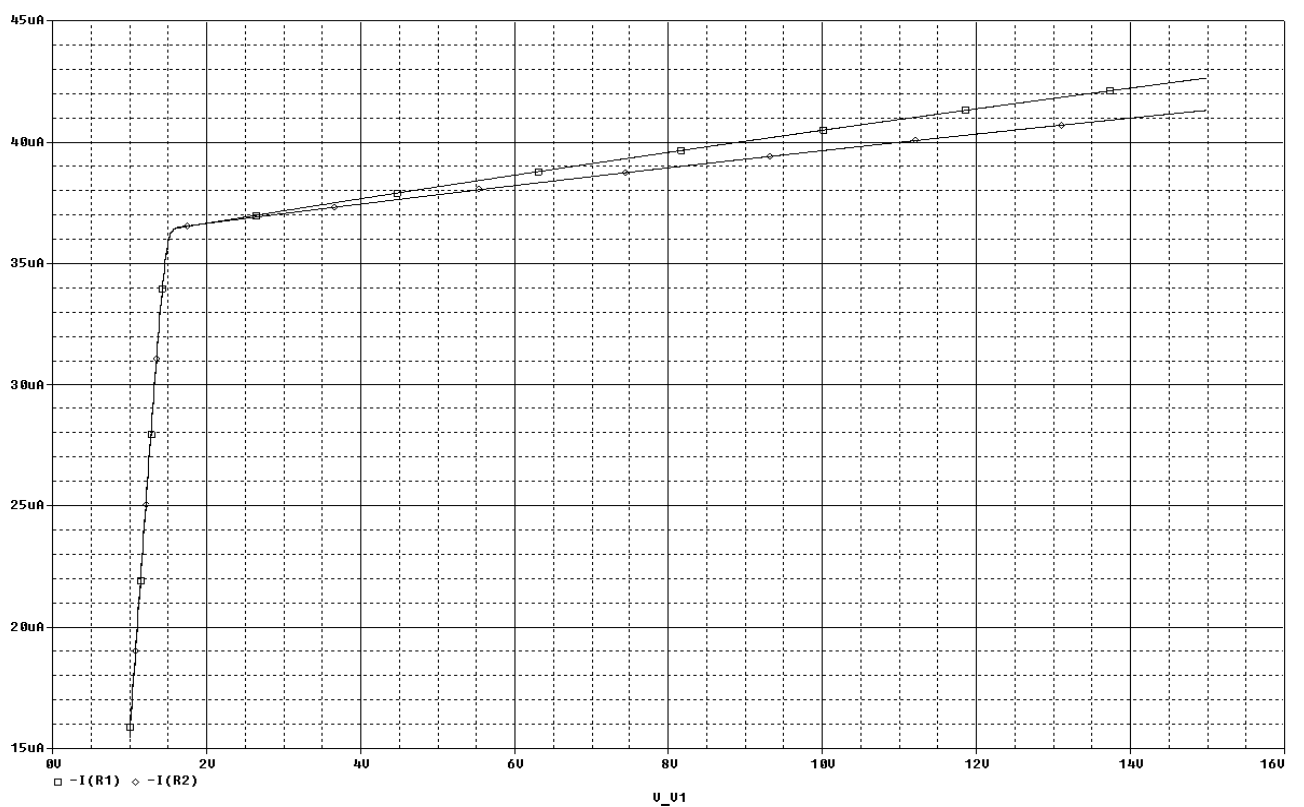


Рис.3. Залежність струмів через резистори $R1= R2 = 3 \text{ кОм}$, за умови $V=150$ для $VT1$ та $VT2$ від напруги живлення

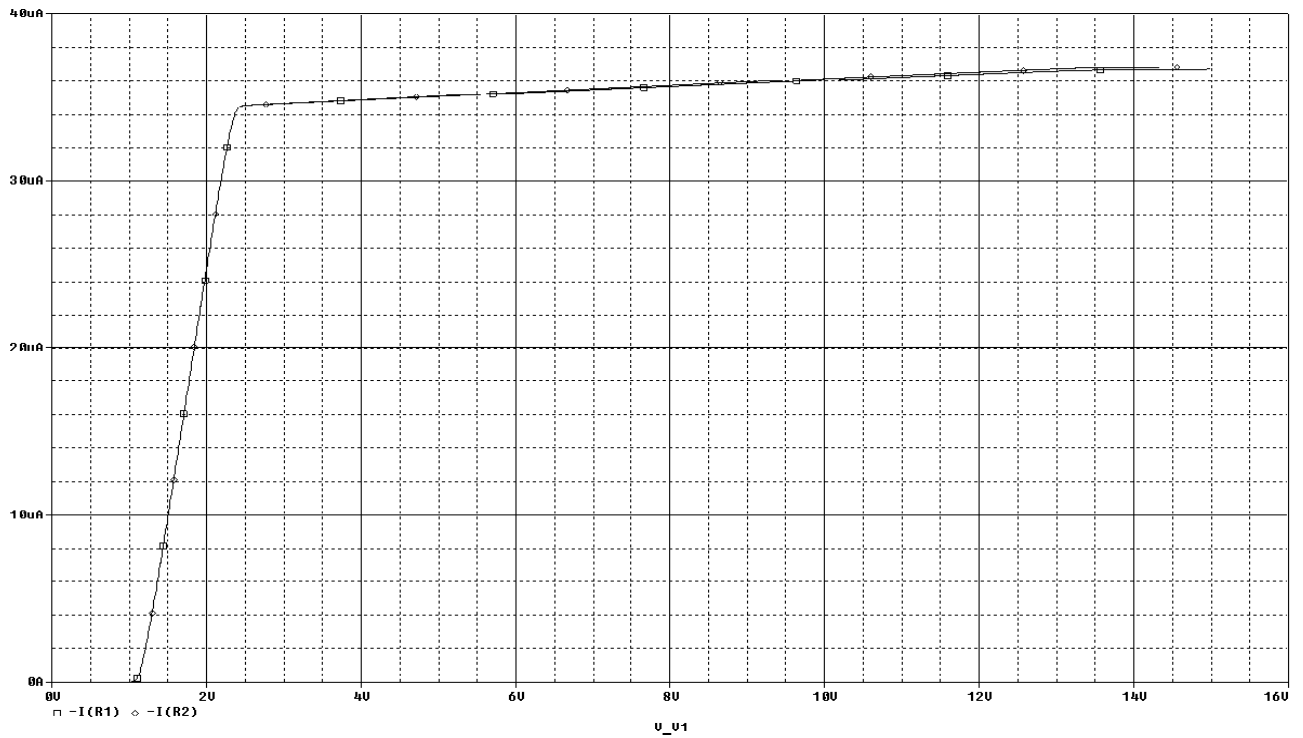


Рис.4. Залежність струму через резистори $R1 = R2 = 30 \text{ кОм}$, за умови $V=150$ для $VT1$ та $VT2$ від напруги живлення

2.2. Творчий аспект

Чи можна ядро генератора перетворити на автономний генератор струму?

Можливий, наприклад, варіант, рис.5. Така структура уявляє собою два дзеркала струму (поясніть чому).

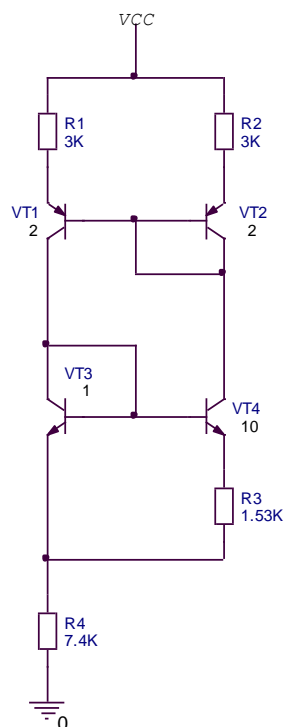


Рис.5. Схема генератора постійного струму з внутрішнім зміщенням

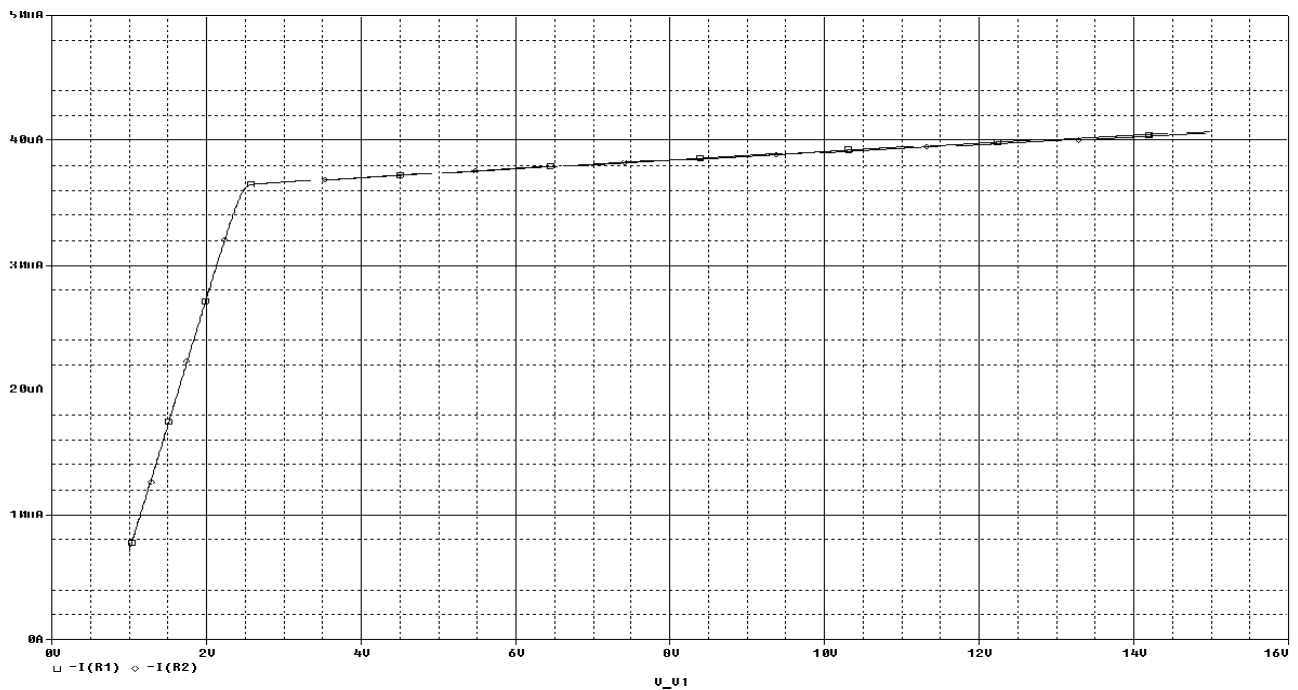


Рис.6. Залежність струму через резистори $R1$ та $R2$ від напруги живлення для схеми, рис.5

З аналізу двох схем, рис.1 та рис.5, виходить:

1. Схеми можуть мати відносно стабільний струм, коли в бази транзисторів $VT3$ та $VT4$ надходить стала напруга.
2. Схема з внутрішнім зміщенням, рис.5, може слугувати стартовим джерелом струму для автоматичного запуску схеми.
3. Струми в лівій та правій гілці джерела струму майже однакові.

Що таке РТАТ?

Це закономірність, що утворена площами емітерів в схемі, рис.1 та рис.5, які зазвичай співвідносяться, як $1 : N$, $N = 6 \dots 10$. В даному випадку $N = 10$.

Розшифровується як Proportional To Absolute Temperature – пропорційний температурі в абсолютному вимірі, то того ж, в даному випадку має ще й позитивний знак. Така властивість дозволяє створити схему, що компенсує негативний знак дрейфу напруги емітер-база з підвищенням температури за умови однакового струму в обох гілках схеми.

Але що і як зробити, аби з розглянутого джерела струму утворити джерело опорної напруги, яке має видавати еталонну напругу, яка не чутлива до температури?

З точки зору ідеаліста можливо вимагати, аби було дозволене налаштування цього джерела, наприклад, за допомогою лазера, або плавких перемичок. Це – технічно обґрунтовано, адже мова йде про еталонну для схеми напругу.

3. Схема електрична.

Реалізація з точки зору традиціоналістів + концептуалістів

Традиціоналісти – найліпші реалізатори еталонних рішень. Ними найточніше вивірено потенційні можливості ДОН [1].

Цей етап відповідає другому кроку стратегії творчості У. Діснея.

3.1 Випадок плівкових резисторів

Плівкові керметні резистори в інтегральній схемотехніці характеризуються найменшим температурним дрейфом, величина якого визначається якістю технічного обладнання та чистотою матеріалів.

Теоретичні основи для ДОН на основі забороненої зони для однакових транзисторів, що мають однакові площі емітерів, викладено в [4].

В нашому випадку те ж саме потрібно зробити, поклавши в основу структуру, наведену на рис.1. Для цього потрібен творчий підхід.

Творчий аспект

Згадаємо, що логарифм одиниці дорівнює нулю. Саме $\varphi_T \ln N$ дає основу РТАТ, дає можливість отримати мінімальний дрейф напруги.

При визначенні умов стабільності ідея полягає в тому, щоб знайти екстремальну точку для характеристики ДОН. Для цього треба взяти похідну від вихідної напруги. Друга ідея полягає в тому, аби в математичних виразах фігурувала енергетична ширина забороненої зони φ_z .

Для схеми, рис.1, маємо:

$$U_{beVT3} = U_{beVT4} + I_{VT4} * R3. \quad (1)$$

Для переходу база-емітер в даній схемі $I_c \gg I_{co}$ першому наближенні справедливо:

$$U_{be} = \varphi_T \ln(I_c/I_{co})$$

де $\varphi_T = kT/q$ – температурний потенціал, I_c – струм через колектор, I_{co} – струм насичення колекторного переходу (тепловий струм). Для одиничного транзистора VT3 струм

$$I_{co VT3} = CT^3 \exp(-q \varphi_z/kT),$$

де φ_z – енергетична ширина забороненої зони при абсолютному нулі (0°K), яка отримана лінійною екстраполяцією, що дає $\varphi_z = 1205$ мВ.

Тоді для транзистора VT4, з площею емітера в N раз більше, ніж у транзистора VT3

$$I_{co VT4} = N I_{co VT3}$$

У випадку, коли струми через транзистори $VT3$ та $VT4$ однакові,

$$\varphi_{\tau} \ln(I_c/I_{c0}) = \varphi_{\tau} \ln(I_c/N I_{c0}) + I_c \cdot R3.$$

Звідки

$$I_c = \varphi_{\tau} \ln(N) / R3 \quad (2)$$

Будемо вважати, що лінія BIAS – це вихід ДОН, на якому має бути опорна напруга V_{ref} . Відобразимо це на рис. 7.

Тоді

$$V_{ref} = U_{beVT3} + 2I_c R4 = U_{beVT3} + 2 \varphi_{\tau} \ln(N) R4 / R3 = \varphi_{\tau} \ln(I_c/I_{c0}) + 2T \ln(N) R4k / (qR3).$$

Визначимо умову, коли V_{ref} не змінюється. Для цього похідну dV_{ref}/dT прирівняємо до нуля. Отже, вважаючи I_c сталою величиною, маємо:

$$dV_{ref}/dT = k/q \ln(I_c/I_{c0}) - kT/q d \ln(I_{c0})/dT + 2 \ln(N) R4k / (qR3)$$

$$\ln I_{c0} = \ln C + 3 \ln T - q\varphi_3 / kT$$

$$d \ln I_{c0} / dT = (3/T) + q\varphi_3 / kT^2$$

$$dV_{ref}/dT = k/q \ln(I_c/I_{c0}) - kT/q [(3/T) - q\varphi_3 / kT^2] + 2 \ln(N) R4k / (qR3) =$$

$$= k/q \ln(I_c/I_{c0}) - (3k/q + \varphi_3/T) + 2 \ln(N) R4k / (qR3)$$

$$dV_{ref}/dT = U_{beVT3}/T - (3k/q + \varphi_3/T) + 2 \ln(N) R4k / (qR3) \quad (3)$$

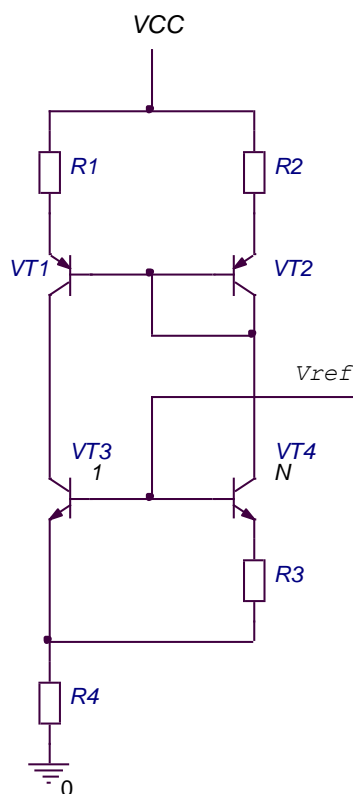


Рис.7. Схема ядра ДОН

$$U_{beVT3} = 3kT/q + \varphi_3 + 2 kT/q R4/R3 \ln(N); \quad (4)$$

$$U_{beVT3} = \varphi_\tau [3 - 2 R4/R3 \ln(N)] + \varphi_3.$$

Таким чином, підставляючи в (4) $\varphi_3 = 1205$ мВ бачимо, що для нульового дрейфу ДОН має бути виконано

$$U_{beVT3} = \varphi_\tau [3 - 2 R4/R3 \ln(N)] + 1205. \quad (5)$$

Тоді

$$V_{ref} = \varphi_\tau [3 - 2 R4/R3 \ln(N)] + 1205 + 2IcR4 \quad (6)$$

Для технології з визначеним середнім значенням $U_{be} = 700$ мВ, в точці $T=300^\circ\text{K}$ $\varphi_\tau = kT/q = 25,9$ мВ та $N = 10$ з рівняння (4) маємо

$$R4/R3 = 4.8 \quad (7)$$

Для струму $Ic = 40$ мкА з рівняння (2) маємо $R3 = 1,5$ кОм. Тоді з (7) $R4 = 7,4$ кОм, а з рівняння (6)

$$V_{ref} = 25,9[3 - 2 * 4,89 * 2,3] + 1205 + 2 * 40 * 10^{-6} * 7,4 * 10^3 = 1293 \text{ мВ}. \quad (8)$$

Таким чином, вихідна напруга інтегрального ДОН за схемою рис.7 трохи вища за енергетичну ширину забороненої зони.

Насправді співвідношення (8) є дещо приблизним, бо, наприклад, за визначенням φ_3 це – функція, що має апроксимацію

$$\varphi_3 = 1205 - 7 * 10^{-4} T^2 / (1108 + T).$$

Що далі?

А далі потрібно створити схему, яка забезпечить рівність струмів через $VT1$ та $VT3$, або (що те ж саме) через $VT3$ та $VT4$.

Це взагалі просто. Для цього є навіть два відносно стандартні шляхи. Потрібно взяти різницю струмів та мінімізувати її. Для утворення різниці можна використати як послідовну схему та працювати зі струмами. Можна використати і паралельну схему і працювати з напругами. Всі умови схемою рис.1 вже надані. Просто треба використати той факт, що резистори – ідеальні перетворювачі струм-напруга. В нашому випадку – це $R1$ та $R2$. Саме до них треба підвести входи операційного підсилювача та регулювати за його допомогою живлення схеми.

Зі струмами – дещо складніше, але яскравіше. Поглянемо на рис.7. Там маємо високоомну точку типу «колектор-колектор» - це підключення колектору $VT1$ до колектора $VT3$. Для будь-якої схеми така точка – особлива. Для ДОН – тим паче. Такі точки мають «погану славу». «На папері», тобто за розрахунком, схема може працювати, а при виготовленні – може працювати, а може і не працювати. Сто разів включиться, а на сто перший – ні. За кожним разом такі точки потрібно аналізувати

прискіпливо, варіюючи параметри моделі та визначаючи за яких умов може статися параметрична відмова схеми.

В нашому випадку цю критичну точку перетворимо на некритичну. Критичність полягає в тому, що в цій точці змагаються колекторні струми $VT1$ та $VT3$. А ми підключимо в оцю точку базу ще одного транзистора, аби надлишок струму чи $VT1$ чи $VT3$ – який з них більший, відходив в підключену базу.

Маємо сигнал для регулювання!

Залишилось лише добудувати коло зворотного зв'язку, аби скерувати живленням.

Та, мабуть, цього замало. Буде краще, коли зразу доповнимо схему до стабілізатора в цілому. Адже як знизити рівень напруги – знаємо ще зі школи. Поставимо дільник напруги. Маємо схему, рис.8

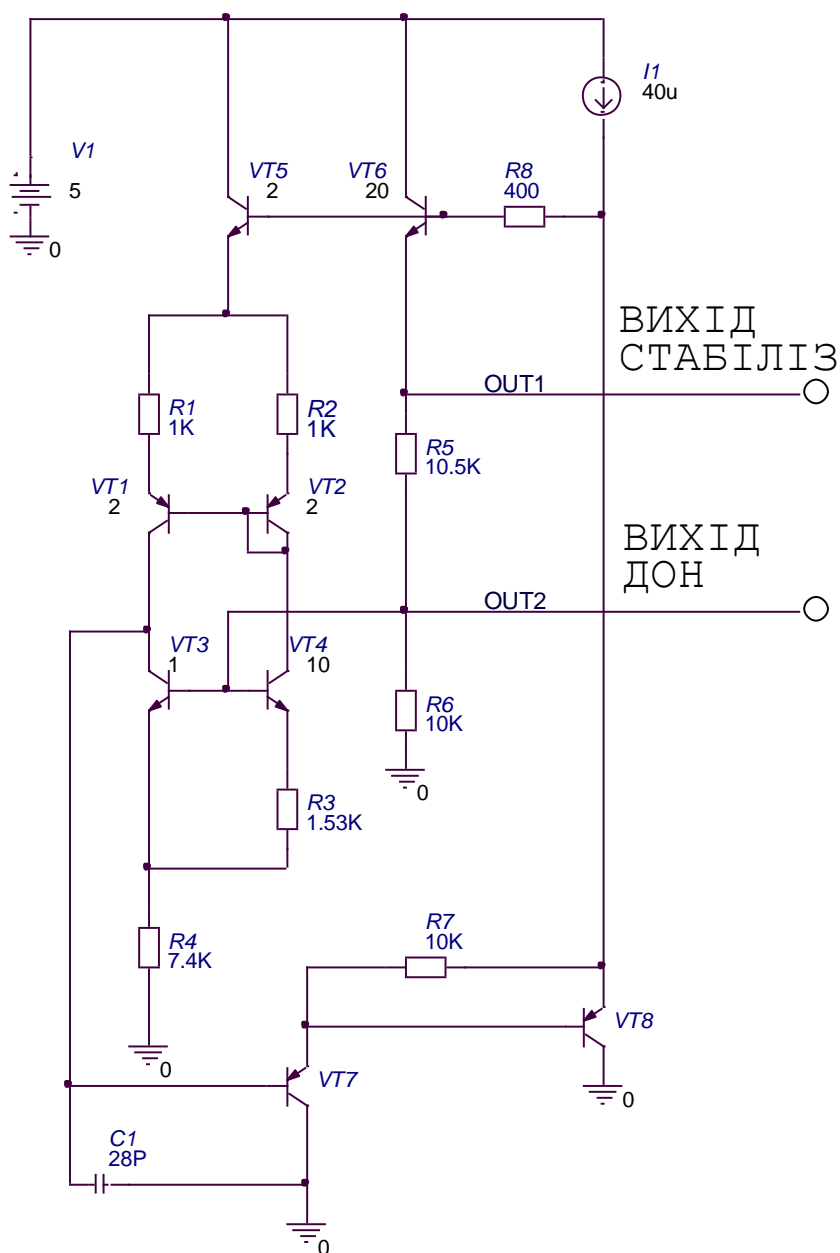


Рис.8. Схема ДОН, суміщеного зі стабілізатором

Технічний аспект

Як працює схема? Тут все дуже просто. Різниця струмів транзисторів $VT1$ та $VT3$ надходить в базу $VT7$, підсилюється за схемою Дарлінгтона $VT7$ та $VT8$. Підсилена різниця струмів за винятком сталих 40 мкА джерела струму $I1$ надходить в базу $VT6$. На цьому транзисторі створено емітерний повторювач, що навантажений ділянкою напруги $R5$ - $R6$. Другий емітерний повторювач утворює транзистор $VT5$, що керує живленням ядра ДОН.

Призначення інших елементів:

резистор $R7$ – задає режим роботи транзистора $VT7$ в колі емітера;

резистор $R8$ – покращує стійкість схеми до збудження за рахунок внесення втрат в коло бази транзистора $VT5$;

конденсатор $C1$ – попереджує збудження за рахунок зменшення частотної смуги схеми по колу регулювання. Фактично він збільшує ємність переходу база-колектор (ємність Міллера). Але є одна особливість. В даній схемі цей конденсатор не входить до кола зворотного зв'язку відносно колектора транзистора $VT7$, бо останній заземлено. Тому він разом з вихідним опором транзисторів $VT1$ та $VT3$ утворює фільтр нижніх частот першого порядку з нахилом 6дБ/октаву .

Розгортка виходів схеми за температурою наведена на рис.9.

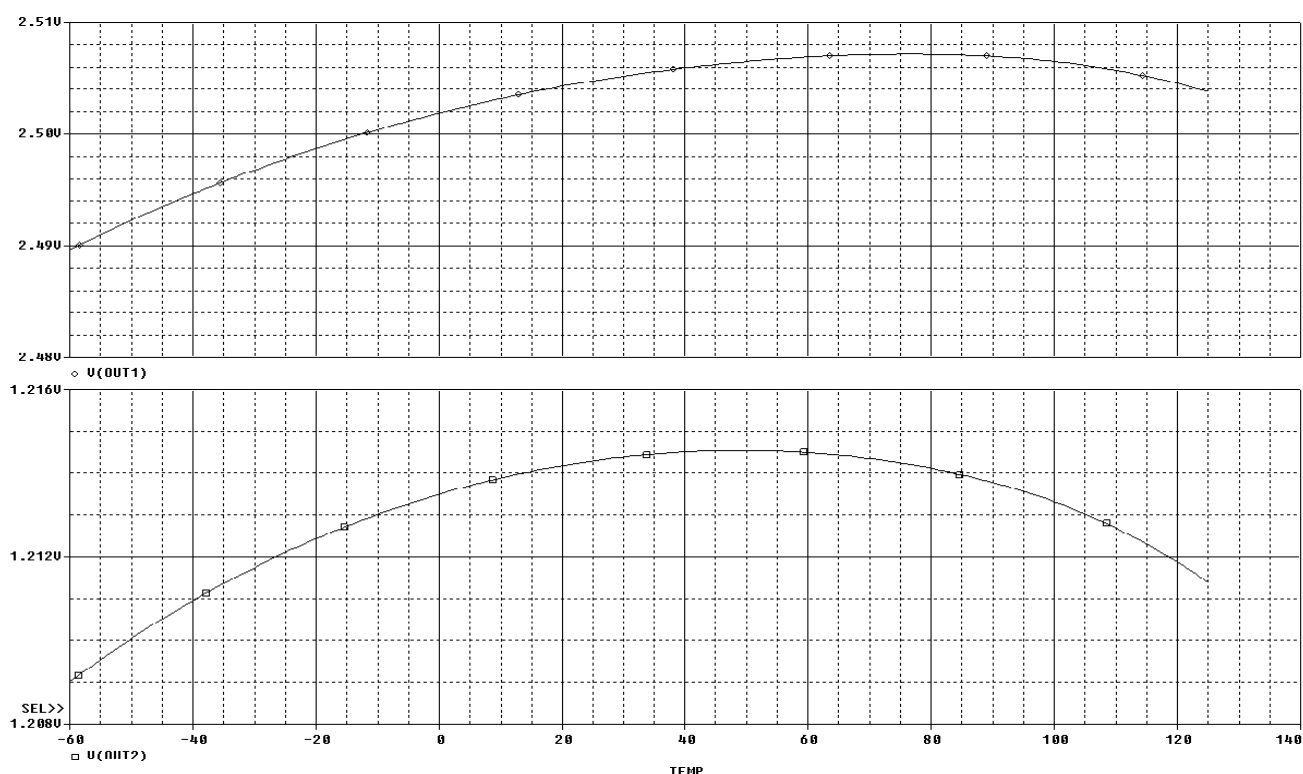
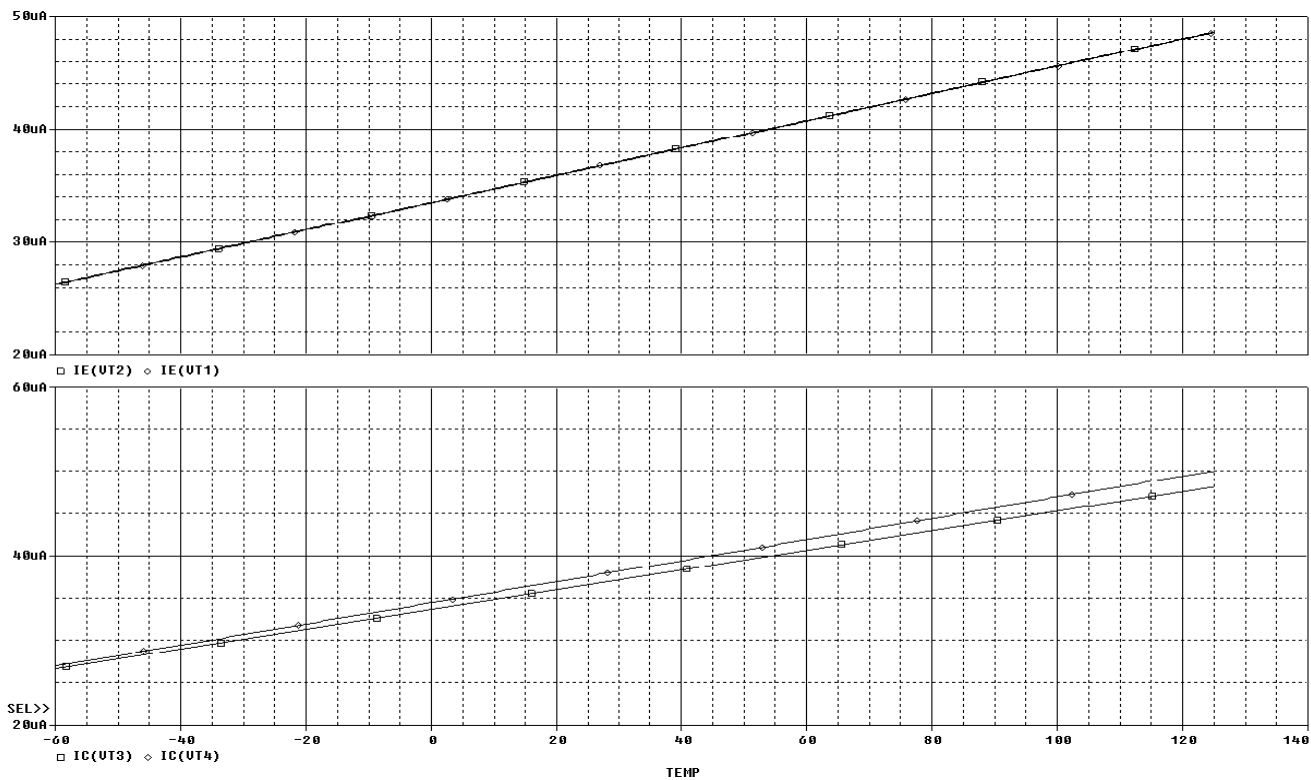


Рис. 9. Вихідна напруга стабілізатора та ДОН

Нестабільність ДОН складає $4,9\ldots 5,5\text{ мВ}$, тобто $0,40\ldots 0,45\%$ в залежності від вимог до налаштування. Розгортка струмів транзисторів $VT3$ та $VT4$ наведена на рис.10.



VT4

VT3

Рис. 10. Струми транзисторів VT1 та VT2, VT3 та VT4

Розгортка напруги база-емітер транзисторів VT3 та VT4 наведена на рис.11.

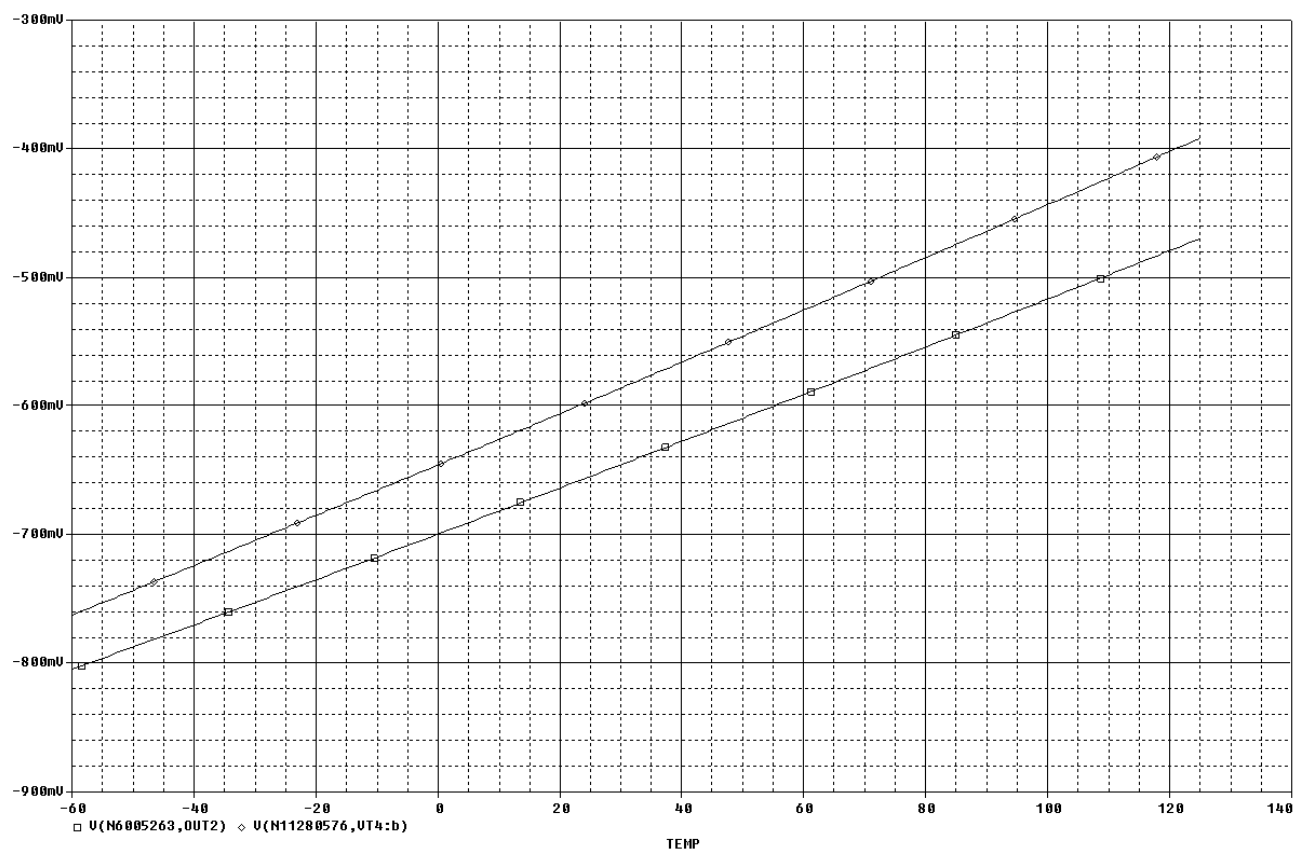


Рис.11. Розгортка напруги база-емітер транзисторів VT3 та VT4

Наведені графіки, рис.9 – рис.11, це результат **вирішення нелінійних рівнянь**, що пов'язують струм та напругу в цій схемі.

Графіки напруги налаштованого ДОН мають екстремум та спадаючі гілки.

Чим можна пояснити таку характеристику, рис. 9?

Дещо спрощено наростання напруги по лівій гілці можна пояснити домінуванням росту величини $\varphi_{\tau} = kT/q$. Ця складова має позитивний нахил.

Спад напруги в правій частині обумовлений домінуванням спаду величини забороненої зони $\varphi_s = 1205 - 7 \cdot 10^{-4} T^2 / (1108 + T)$.

Необхідно зауважити, що коли номінальні значення резисторів істотно відрізняються від умов екстремальної точки, то замість опуклої кривої, рис.9, в діапазоні від – 60 до + 125 градусів можна отримати функцію без екстремуму. В залежності від конкретного значення резисторів залежність напруги ДОН може виявитись як позитивним, так і з негативним значенням, що буде вказувати на необхідність аналізу та виявлення похибки в розрахунку.

3.2 Випадок дифузійних резисторів

Творчий аспект

Третій крок у стратегії творчості У. Діснея – це критика рішення. В даному разі можна висунути такі критичні зауваження:

- 1) Технологія з плівковими резисторами на порядок дорожча за звичайну, де резистори дифузійні, або навіть іонно-імплантовані.
- 2) Добре відома фірма створила прецизійне ДОН на плівкових резисторах, але воно працює не ліпше, аніж ті, які виконані з кремнію, чи то на основі шару дифузії бази, чи то іонно-імплантовані.

Виникає питання, чи можна зробити ДОН за допомогою найдешевших дифузійних резисторів.

Повернемось до рівнянь (5) та (6), продублюємо їх для зручності нижче

$$U_{beVT3} = \varphi_{\tau} [3 - 2 R4/R3 \ln(N)] + 1205. \quad (5)$$

$$V_{ref} = \varphi_{\tau} [3 - 2 R4/R3 \ln(N)] + 1205 + 2 I_c R4 \quad (6)$$

Чи фігурує в цих рівняннях температурний коефіцієнт резисторів?

Ні. А мав би? Для дифузійних – так. Бо дифузійні резистори в температурному діапазоні –60...+125°C змінюються на 60%.

А можна це якось врахувати вже зараз?

Звичайно!

Відомо, що з температурою опір дифузійних резисторів росте за температурним коефіцієнтом ТС. Отже, замість R можна записати $(R * TC)$. Але співвідношення $R4/R3$ від цього не зміниться, бо дрейф резисторів відбувається однаково. Тому рівняння (5) залишиться без змін. Далі, φ_r з температурою росте, отже від'ємна частка в рівнянні (6) росте. Тоді і для ширини забороненої зони замість константи 1205 краще врахувати температурну залежність

$$\varphi_3 = 1205 - 7 \cdot 10^{-4} T^2 / (1108 + T).$$

Це додає до від'ємної частки. Разом від'ємна частина компенсує (в деякій мірі!) позитивний приріст $2IcR4$.

Технічний аспект

Відкоригуємо бібліотеку 3842.lib, модель резисторів "RB", введемо температурний коефіцієнт TC1 із значенням 0.003. Маємо перші результати, рис.12, де нестабільність складає 7,16мВ. Коригуємо резистор $R3 = 1.52K$. Результат – нестабільність з 7,16 мВ збільшилась до 10,27мВ. Отже спроба – невдала. Збільшуємо резистор до 1,546 Ом і маємо симетричну діаграму, рис.13. Нестабільність складає 0,58%. Порівняємо 0,45% для плівкових та 0,58% для дифузійних резисторів. З інженерного підходу – майже однаково. Далі потрібно приймати рішення з урахуванням того, які вимоги технічного завдання. Необхідно лише врахувати, що технологія з плівковими резисторами – на порядок збільшить вартість ДОН, порівняно з дифузійними резисторами. Досягнення 0,1% покращення на тлі 0,45% порівняно з подорожчанням на порядок – незрівняні витрати. Отже варто враховувати економічну складову створюваного приладу.

Щодо принципу роботи схеми. Порівняймо струми у випадку плівкових резисторів та у випадку дифузійних. В першому випадку струми через транзистори міняються синхронно з температурою. В другому – залишаються майже незмінними. Причина такої залежності полягає в тому, що виконання умови (2) змушує схему в першому випадку відпрацьовувати по колу зворотного зв'язку підвищення струму, аби за рахунок цього компенсувати зниження напруги база-емітер транзистора VT4. А у випадку дифузійних резисторів зростання опору резистора $R3$ компенсує це зниження напруги база-емітер.

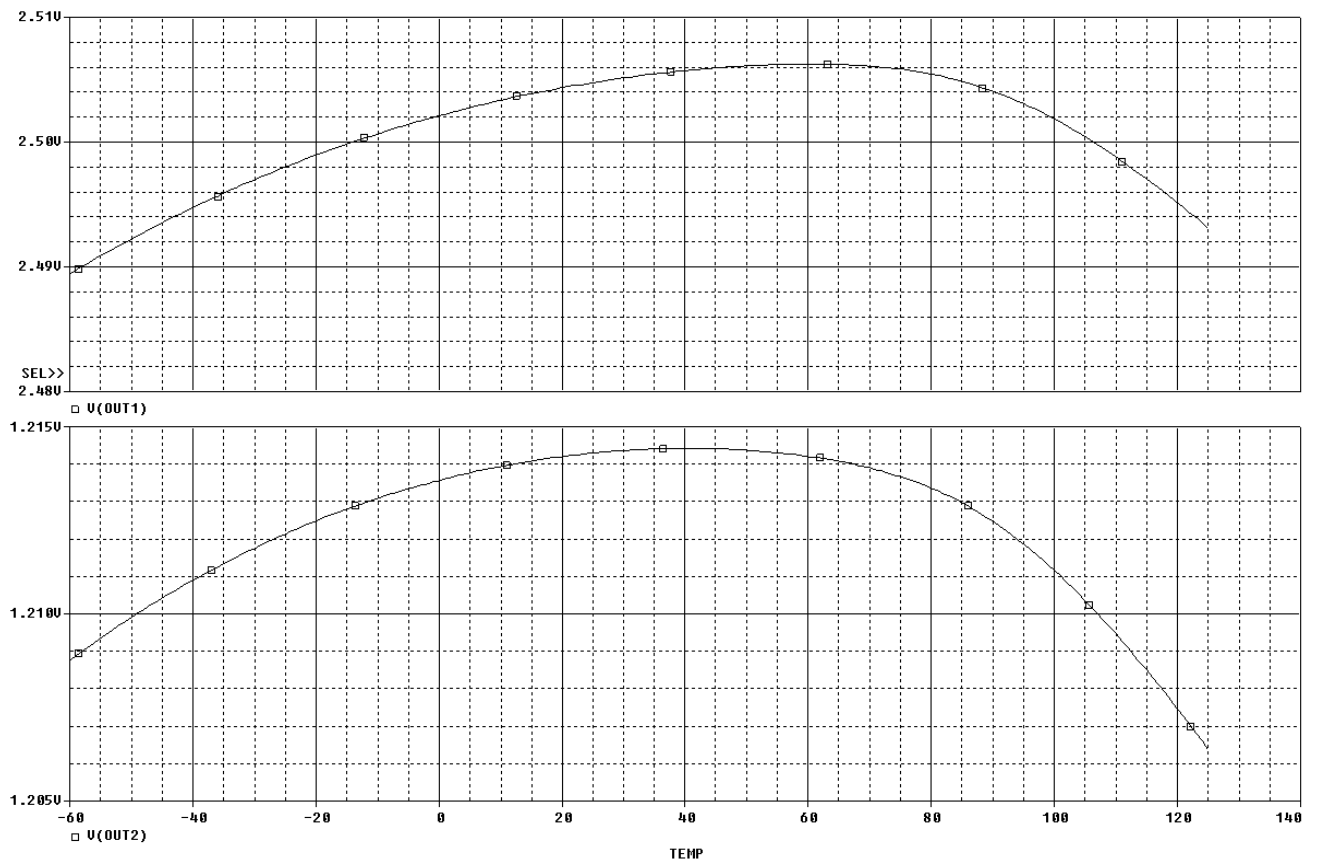


Рис. 12. Вихідна напруга стабілізатора та ДОН, дифузійні резистори, перша спроба

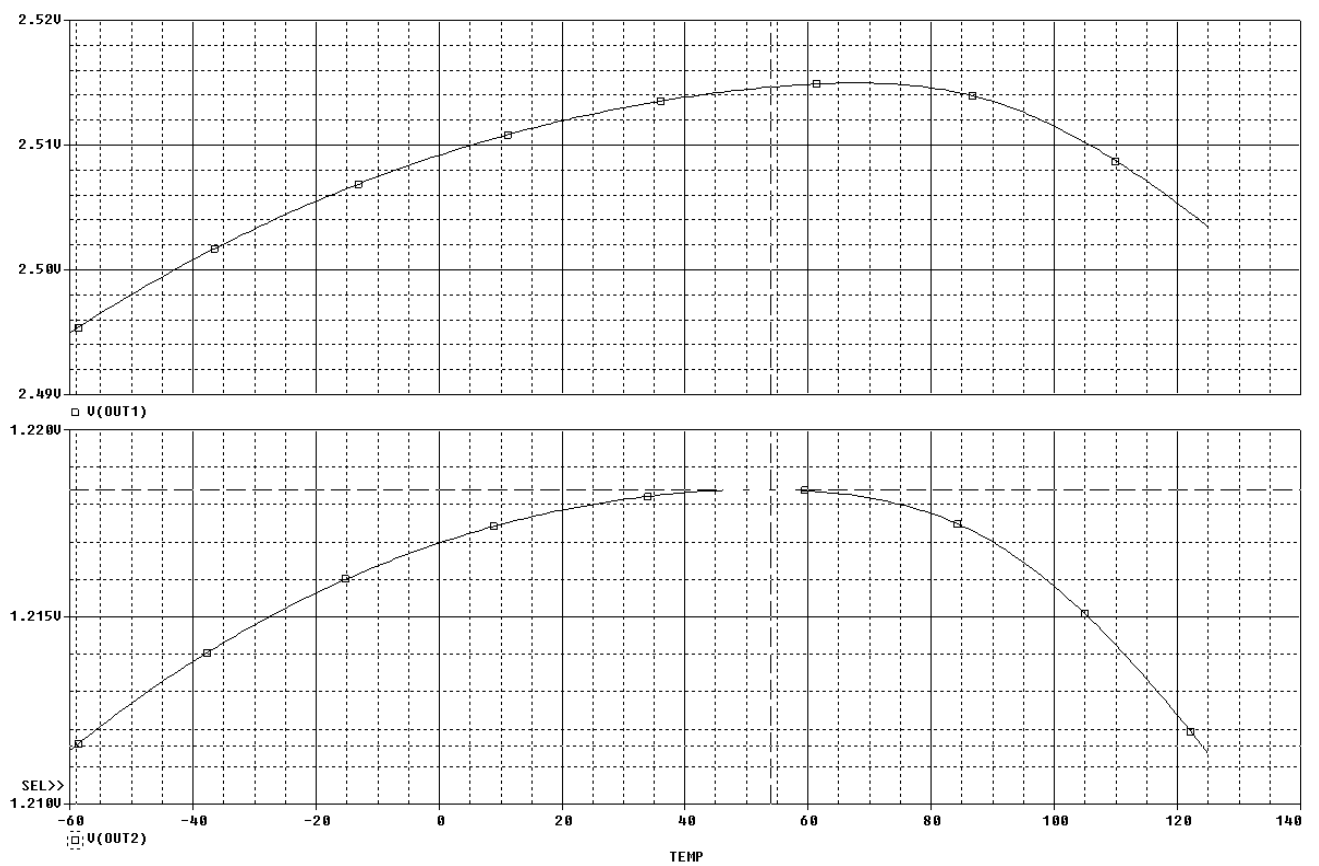


Рис. 13. Вихідна напруга стабілізатора та ДОН, дифузійні резистори, налаштована схема

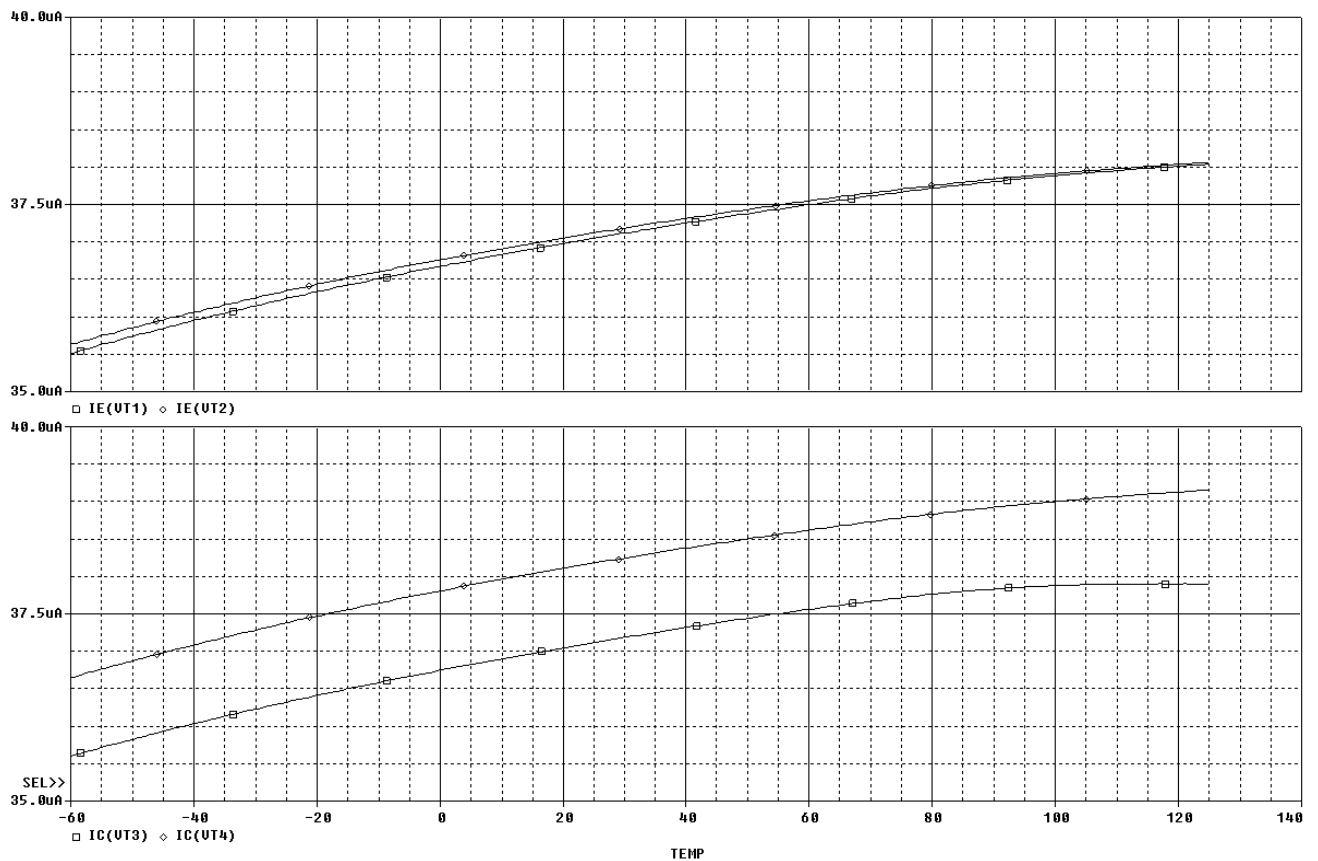


Рис. 14. Струми транзисторів VT1 та VT2, VT3 та VT4 (дифузійні резистори)

4.Порядок роботи

4.1 Самостійна робота студента.

а) Ознайомитись з типами ДОН [4]. (Опрацювати стор. 161...200).

Занотуйте в протокол короткий конспект: схеми, визначення.

4.2 Проаналізувати в проекті, що додається роботу ДОН.

Визначити та занотувати в протокол :

1. Вплив резисторів $R1$ та $R2$
2. Вплив резисторів $R3$ та $R4$
3. Вплив резисторів $R5$ та $R6$
4. Вплив конденсатора $C1$
5. Вплив джерела напруги $V1$
6. Вплив джерела струму $I1$.

4.3. Модифікуючи бібліотеку моделей визначте та занесіть в протокол

1. Вплив коефіцієнта підсилення β_{npn} -транзисторів
2. Вплив коефіцієнта підсилення β_{pnp} -транзисторів
3. Вплив температурного коефіцієнта опору

5. Обробка результатів аналізу

1. Застосовуючи стратегію творчості У.Діснея, визначте, за яким принципом можливе побудування ДОН на основі керування за допомогою напруги
2. Зобразіть структурну схему з паралельним керуванням
3. Створіть схему електричну
4. Дослідіть схему та визначте похибку такого ДОН.

6. Контрольні питання

Технічний аспект

- 6.1 Як працює ядро ДОН, рис. 8?
- 6.2 Як працює зворотний зв'язок в ДОН, рис. 8?
- 6.3 Як впливають резистор $R3$ та $R4$ на точність ДОН?
- 6.4 На що впливають резистори $R5$ та $R6$.
- 6.5. Який вигляд повинен мати генератор струму $I1$, якщо його виконати на р-п-р-транзисторі?
- 6.6 Яка залежність ширини забороненої зони від температури? Чому?
- 6.7 Що таке джерело напруги, кероване напругою? Яке його стандартне втілення в інтегральній схемотехніці?
- 6.8 Чи потрібна рівність струмів в гілках ядра ДОН. Обґрунтувати відповідь.
- 6.9. Як впливають резистор $R1$ та $R2$ на точність ДОН?
- 6.10 На що впливають:
 1. резистори $R1$ та $R2$
 2. резистори $R3$ та $R4$
 3. резистори $R5$ та $R6$
 4. конденсатор $C1$
 5. джерело напруги $V1$
 6. джерело струму $I1$.
- 6.11 Чи можна змінити співвідношення площ транзисторів $VT3$ та $VT4$?

Творчий аспект

- 7.1. Що таке генератор нової поведінки?
- 7.2. Що таке зміна особистої історії?
- 7.3. Що таке фільтри сприйняття?
- 7.4. Що таке якір ресурсу творчості?

7.5. В чому полягає стратегія творчості У. Діснея.

7.6. В чому користь шести крокового рефреймінгу.

Література до лабораторної роботи №2.

1. LM 2596. Analog Devices. Data Sheet. (Дивись додаток).
2. Patent Number 5.382.918. USA. <http://patent101.com>
3. Patent Number 5.514.947. USA. <http://patent101.com>
4. Соклоф С. Аналоговые интегральные микросхемы. М., «Мир», 1988. – 583 с. ISBN 5-03-001149-8.
5. Павлов Л.М. “Основи інженерної творчості”. Навчальний посібник. “Політехніка”, К., 2006р., 84ст. – ISBN 966-622-223-X.
6. Джозеф О'Коннор, Джон Сеймор. Введение в нейролингвистическое программирование, Челябинск, «Библиотека А.Миллера», 1998

Лабораторна робота №3

Драйвер перетворювача DC/DC з точки зору традиціоналіста

1. Мета та призначення роботи.

Дана робота має за мету

- Налаштувати свідомість на стереотип творчості традиціоналіста (творчий аспект)
Закріплення цього стереотипу як творчого ресурсу (творчий аспект).
- Визначити, які функції мають бути в драйвері перетворювача DC/DC з точки зору традиціоналіста (розвиток).
- Опанувати аналізом процесів, що циркулюють в драйвері.
- Навчитись оптимально розподіляти витрати енергії на керування ключом драйвера
- Налаштовувати захист за струмом
- Пояснити, що буде відбуватись у схемі, змінювати номінальні значення компонентів схеми. Особливо цікавий випадок, коли збільшувати площу транзистора *VT13*, проект *driv_zah*, що додається.

2. Теоретичні основи.

Опрацювати роботи [1-6], [7] (стор. 359-371, 414-452)

3.Схема електрична.

3.1.1 Драйвер

Відкрийте проект `driv_zah`, що додається.

Ознайомтесь зі складом схеми за відображенням на моніторі.

Цей проект призначений для дослідження схеми драйвера, що містить формувач струму бази вихідного ключа, петлю регулювання глибини насичення попереднього підсилювача формувача, ключі блокування входу драйвера і також захист ключа від надлишку навантаження.

Формувач драйвера представляє собою комплекс блоків керування вихідним транзисторним ключем та формування вихідних імпульсів, зокрема:

- формує форсований струм бази вихідного транзисторного ключа під час фронту імпульсу;
- формує та регулює струм бази вихідного транзисторного ключа на полиці імпульсу;
- забезпечує швидку розрядку бази вихідного транзисторного ключа на зрізі імпульсу;
- формує вузькі імпульси при виявленні надлишку навантаження. Такий режим включається, коли спрацює захист за струмом. Режим формування вузьких імпульсів з одного боку унеможливорює деградацію та вигорання ключа, а з другого боку – зондування кола навантаження. Саме зондування необхідне, аби при відключенні непомірного навантаження перейти в штатний режим широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).

На драйвер поступають:

- вхідна напруга, аби пропускати її на вихід «2» у визначені проміжки часу
- імпульси від ШІМ-компаратора, що визначають моменти ввімкнення та виключення ключа
- напруга від внутрішнього стабілізатора та прецизійний рівень від джерела опорної напруги для формування вхідного струму та початкового стану захисту за струмом

- імпульс блокування входу при надлишку навантаження за струмом, що приймається від тригера заднього фронту.

Містить транзистори, що утворюють:

- блок струмових ключів *VT1-VT7*;
- вхідний генератор струму на р-п-р транзисторі *VT8*, база якого

живиться від загальної лінії зсуву р-п-р транзисторів 38;

- генератор струму бази розрядника *VT8*
- генератор струму розгойдування вихідного ключа *VT9- VT15*
- датчик струму ключа *VT16*
- діодна збірка *VT17- VT18*
- розрядний ключ *VT19*
- вихідний (силовий) ключ *VT20*

Блок захисту від надлишку навантаження побудовано на транзисторах *VT21- VT26*.

3.1.2 Формувач струму ключа

Основний сигнал, що керує драйвером, надходить в точку *KT_INP* від ШІМ-компаратора. На цій схемі ШІМ-компаратор моделює джерело імпульсного сигналу *V4*.

Якщо в точку *KT_INP* від ШІМ-компаратора (тобто від *V4*) надходить сигнал логічної «1», то транзистор *VT1* відкритий і весь струм транзистора *VT8* через *VT1* іде на землю. Транзистор *VT11* закритий і вихідний ключ *VT20* знеструмлений.

При надходженні від ШІМ-компаратора рівня «0» транзистор *VT1* закривається. Струм транзистора *VT11* поступає в базу генератора струму розгойдування *VT12*. Сформований через цей транзистор струм рівня імпульсу стабілізується транзистором *VT8* через транзистор *VT11* таким чином, що потенціал на резисторі *R4* вмикає транзистор локального зворотного зв'язку *VT8*, коли напруга в його базі сягне рівня 0,7 В. Цей від'ємний зворотний зв'язок

стабілізує струм через транзистор *VT8* і надлишковий струм вхідного генератора на транзисторі *VT1* спливає на землю.

При формуванні рівня імпульсу генератор струму бази вихідного ключа *VT12* посилює струм від транзистора *VT11* і надсилає його в базу ключа *VT20*. Струм через цей транзистор визначається навантаженням в колі емітера, бо його увімкнено за схемою з спільним колектором (емітерний повторювач). Відповідно до цього струм в колі бази регулюється датчиком насичення – транзистором *VT13* і трьома локальними зв'язками від цього датчика. Перший – позитивний через транзистор - «діод» форсажу *VT10*. Струм через цей елемент на фронті форсує струм транзистора *VT11*. Завдяки цьому формується прискорений фронт імпульсу. Із затримкою порядку 25 нс включаються гасильні «діоди» *VT14*, *VT15*. Струми цих транзисторів піднімають потенціал емітера *VT11* і підпирають його. Тому цей зворотний зв'язок – негативний. У бази транзисторів *VT5* і *VT7* надходить струм, визначений рівнем насичення транзистора *VT12*.

Як датчик насичення транзистор *VT13* працює таким чином. При зменшенні напруги емітер-колектор транзистора *VT12* до 0,25 В і нижче починає відмикатися транзистор *VT13*, оскільки база у них – загальна. Тому струм колектора транзистора *VT13* відповідає глибині насичення транзистора *VT12*. Зворотний зв'язок по колектору транзистора *VT13* критичний і велика глибина цього зв'язку може привести до нестійкості в роботі драйвера.

Формування зрізу імпульсу здійснюється подачею «1» в вузол *KT_INP* від ШІМ-компаратора (*V4*). Цим припиняється подача струму в базу транзистора *VT11*, бо транзистор *VT1* відкритий і весь струм транзистора *VT8* через *VT1* іде на землю. Транзистор *VT11* закритий і вихідний ключ *VT20* має бути знеструмлений. Для цього здійснюється форсований розряд заряду, накопиченого в базі ключа. Частина цього заряду відводиться через резистор *R8*. Але основна функція цього резистора – забезпечити пробивну напругу ключа на максимальному рівні. Завдяки цьому резистору рівень пробивної напруги наближається до рівня включення за схемою із загальною базою. Основна ж частина заряду бази відводиться через розрядний ключ *VT12*. Для цього в блоці тригера заднього

фронту формується по сигналу ШІМ-компаратора імпульс, відповідний по часовому положенню зрізу імпульсу вихідного ключа. В даному проекті цю функцію виконує модель у вигляді імпульсного джерела V5. Крутий фронт і зріз імпульсу ключа а також мінімальна напруга емітер-колектор ключ VT20 дозволяють досягти к.п.д. до 80%.

3.1.3 Блок струмових ключів VT1-VT7

Блок струмових ключів на транзисторах VT1-VT7 разом з джерелом струму на транзисторі VT8 виконує логічну функцію «Чи». Досить одному з транзисторів VT1-VT7 відкритись і весь струм транзистора VT8 піде вже не в базу транзистора VT11, а на шину землі. В результаті відключиться коло струму бази ключа і ключ перейде у закритий стан.

Вхідними сигналами блоку струмових ключів є вихідні сигнали:

1. Тригеру блокування (лінія ZANCHELKA – тимчасово заземлена)
2. Схеми термозахисту (лінія TERMO – тимчасово заземлена)
3. Схем захисту за струмом (в даному варіанті посібника розглядається лише перший рівень захисту)
4. Захисту при включенні (лінія On/Off – тимчасово заземлена)
5. Зворотного зв'язку від емітера транзистора VT14.

3.1.4 Блок захисту за струмом

Склад та призначення

Блок призначений для захисту вихідного (силового) ключа VT20.

За функціональною структурою схема є компаратор напруги з низькоомним входом. Власне порівняльна частина компаратора утворена нижніми колекторами, а верхні призначені для узгодження із зовнішніми схемами.

Для цього транзистор VT24 ввімкнено за схемою з спільною базою, щоб підсилити вихідний сигнал, який виділяється на струмовому дзеркалі VT25 та VT26.

Вхідною інформацією є струм датчика *VT16*. Най більш проблемними елементами у схемі є резистори *R10* та *R11*. Призначення *R10* та *R11* – перетворення струму в напругу.

Резистор *R10* перетворює опорний струм транзистора *VT21* в порогову напругу.

Резистор *R11* перетвор в напругу струм датчика *VT16*. Коли напруга на резисторі *R11* перевищить опорну напругу на резисторі *R10*, компаратор спрацює і на колекторі транзистора *VT25* виділиться імпульс. Цей імпульс надходить на вхідний ключ *VT3* та на тригер для пришвидшення його переходу в початковий стан.

Початковий струм в основні елементи компаратора *VT21* та *VT22* задається від прецизійного джерела струму, побудованого на транзисторі *VT23*.

Для цього в базу транзистора подається еталонна напруга з подільника *R16-R18*, який ввімкнено між стабілізатором та ДОН. Сам транзистор *VT23* ввімкнено за схемою із спільним емітером з додатковим «навантаженням» у колекторі. Термін навантаження умісне взятий у лапки, по переходу база-емітер *VT21* та *VT22* є низькоомними точками, напруга в яких дорівнює вхідній за винятком 0,7 В за нормальних умов. Струм колектора транзистора *VT23* є стабільним в діапазоні робочих температур і стабільність визначається точністю початкового налаштування резистора *R13*. При виробництві налаштування не потрібне. Коли модель резистора достовірно враховує температурний дрейф номінального значення в діапазоні температур, то схема не потребує і початкового налаштування. Якщо струм через транзистор *VT23* стабільний, то температурний дрейф резисторів *R10* та *R11* істотної ваги не має.

Робота блоку захисту

В початковому стані, коли струм через вихідний ключ незначний, напруга на резисторі *R10* більша, ніж на *R11*. На лінії «Вихід» маємо рівень «0». Струм в датчику *VT16* в значній мірі відповідає струму вихідного ключа, бо в них

однакова напруга база-емітер. Деяка поправка вноситься резистором R_6 . Він потрібен для стабілізації петлі керування.

Коли струм вихідного ключа значно збільшується, синхронно з ним зростає і струм в транзисторі $VT16$. Цей струм додає падіння напруги на резисторі $R11$. Наступає момент, коли падіння напруги на резисторі $R11$ перевищить падіння напруги на резисторі $R12$ і тоді стан компаратора змінюється на протилежний. На виході з'явиться рівень «1». Тоді відкриється ключ $VT3$, що знеструмить вхід формувача і, тим самим, вихідний ключ. Струм через датчик $VT16$ припиниться і компаратор захисту повернеться до стану «0» на виході.

Якщо надлишок навантаження не знято, то на наступному такті роботи ситуація повториться і захист знову спрацює. Якщо надлишок навантаження буде знято, то на наступному такті захист не спрацює і вихідний каскад продовжить роботу в штатному режимі.

3.2 Творчий аспект

Характер традиціоналіста відзначається серйозним та прискіпливим ставленням до роботи. Більш того, справа, якою на цей час зайнявся «рафінований» традиціоналіст автоматично і негайно стає найважливішою справою у світі. Тому напружуючи стереотип традиціоналіста, треба повністю зосередитись на роботі. Ніяких посмішок, ніяких сторонніх розмов! Все, що не стосується роботи потрібно прибрати. Зовнішній вигляд має бути охайним і таким, аби не привертати увагу сторонніх. Мислення необхідно налаштувати на конструктивний розгляд всіх деталей та подробиць. Основне гасло – «Все має бути розкладено на полицках!». Ресурс пам'яті потрібно включити на максимальну потужність. Традиціоналіст не робить двічі одну і ту саму роботу. Все, що потрібно зробити – ліворуч, все що виконано – праворуч. Потрібно мобілізувати все вміння в оцінюванні поточного стану речей. В цьому традиціоналісти – неперевершені. Навчитись утримувати у свідомості вплив на схему кожного елемента!

Конкретні творчі завдання суміщені з виконанням роботи.

4.Виконання роботи

4.1. А тепер вмикаємо ресурс традиціоналіста і приступаємо до виконання роботи.

Відкрийте проект `driv_zah`. Вам надано цей поки що не налаштований проект для першого завдання. Ця схема надана з такими параметрами елементів, що ключ навіть не вмикається і не вимикається.

Якщо ви уважно читали основи роботи схеми, то вам буде не важко змусити його запрацювати, тобто змусити ключ надсилати імпульси в навантаження.

Вважайте, що коефіцієнти підсилення транзисторів за середніх струмів близькі до 100. По мірі збільшення базових струмів коефіцієнти підсилення транзисторів починають спадати. Для одиничних латеральних (горизонтальних) `rpr`-транзисторів – це струм 0,2 мА, для `prp` – 0,7 мА.

Застереження. Пильнуйте поточне підсилення транзисторів як співвідношення струму колектора до струму бази. Для виконання даної роботи майже для всіх транзисторів неприпустимо зменшувати коефіцієнти підсилення транзисторів нижче 30! Це не стосується тільки транзистора *VT12*.

4.2. Встановіть струм через генератор вхідного струму – транзистор *VT8* струм в межах 2,4...2,9 мА.

Як це можливо зробити?

Традиціоналіст має знати як це зробити... Читайте вище...

4.3. Встановіть струм через генератор вхідного струму – транзистор *VT11* струм в межах 35...55 мА.

Як це можна зробити?

Традиціоналіст має знати як це зробити...

(Підказка ☺. Старанний студент далі не мусить читати те, що в цих дужках. Але, якщо вам непереливки, то зверніть увагу на номінали резисторів *R3*, *R4*. Якщо ви не зрозуміли що до чого – читайте ще раз третій абзац розділу 2.3.1)

4.4. А тепер встановіть струм транзистора *VT12* в межах 35...55 мА.

Спостережливий традиціоналіст має вигукнути – «Не може бути!», бо де тоді підсилення! Поплещемо йому за пильність, і звернемо увагу на те, що маємо справу з імпульсною схемою. Розрядити заряд в базі латерального рпр-транзистора з точки зору схемотехніки ще складніше, ніж в базі вертикального рпр-транзистора, бо ефекти насичення важчі за наслідками, бо база латерального рпр-транзистора – це весь карман... А найбільша ємність – це карман-підкладка.

Відкрийте бібліотеку проекту та перевірте ємності моделі!

Отож підсилення $1 \dots 10$ теж буває, але це частіше виняток, ніж правило.

В даному випадку зверніть увагу на резистор $R2$. Цей резистор – одна з частин навантаження транзистора $VT12$.

Творчий аспект

Фірма-батько схеми LM2596 (інші фірми з часом теж впровадили аналогічні власні мікросхеми, іноді під зміненими іменами, але ж за тією ж схемою, але власною топологією) виконала цей резистор з «повзунковим» вікном, аби налаштувати його за результатами тестування!

Навіть розробники LM2596 не цілком довіряють моделям! Це – підхід традиціоналіста.

4.5. Ви вже маєте імпульс на виході. Тепер налаштуйте фронт та зріз. Для гарного фронту потрібен форсований струм в базі.

При проектуванні мають бути отримати параметри вихідного імпульсу.

Ширина переднього фронту – $20 \dots 40$ нс, заднього (зрізу) – $40 \dots 80$ нс.

4.6. Досліджуємо полицю імпульсу

Збільшуйте площу транзистора $VT13$. Що спостерігається? Чому?

Який рівень «0» та «1» на виході захисту? Чому?

Встановіть найбільшу площу транзистора $VT13$, доки не спостерігаються коливання. Встановіть коефіцієнт підсилення BF латеральних (горизонтальних) рпр-транзисторів і вертикальних рпр-транзисторів по 150.

Творчий аспект

Ще одне супутнє завдання для роздумів. Чи можна встановити індивідуально коефіцієнт підсилення, наприклад, для деяких латеральних рпр-

транзисторів? Для основної маси $BF = 150$, а для деяких – по 10? При цьому не дозволяється вводити жодної додаткової операції!

Підказка ☺. Фірма-батько схеми LM2596 **це вирішила!** Вийшов майже функціональний елемент.

І ви зможете, тільки трішки подумайте!

4.7. Перевірте, чи є генерація у драйвері. Додатково зменшуємо площу транзистора VT13, доки не вщухнуть коливання. А коле немає – збільшуємо. Ведемо протокол, в якому реєструємо кроки, спостереження та значення елементів схеми.

Коли коливання вщухли, зменшуємо площу транзистора вдвічі і фіксуємо це значення, як остаточне.

Чи можна інакше вирішити схемотехніку регулювання полиці?

Можна.

Творчий аспект

Які є пропозиції? (Творчі результати).

4.8. Включіть індуктивність на вузол 2 (вихід ключа). Чому виникають сплески напруги? Як їх нейтралізувати? Підказка – дивіться довідковий матеріал на схему.

Творчий аспект

На вузлі 2 утворюються негативні значення напруги. Визначіть, з яким параметром схеми [1] це по зв'язано.

Вимірюємо струми транзисторів та джерел живлення, підраховуємо к.к.д. формувача, коригуємо схему, доки не отримаємо такі ж цифри, як в [1].

Заносимо це в протокол як фінішний результат.

5. Обробка результатів аналізу

1. Застосовуючи стратегію творчості У.Діснея, визначте, за яким принципом можливе керувати запасом стійкості до збудження в драйвері
2. Зобразіть структурну схему з додатковими компонентами схеми для керування
3. Створіть схему електричну

4. Дослідіть схему та визначте, від яких елементів залежить к.к.д.

6. Контрольні питання

Технічний аспект

- 6.1. Чим відрізняються коефіцієнти підсилення статичний та динамічний. Поясніть на сімействі характеристик
- 6.2. На який параметр схеми впливає величина струму транзистора $VT8$
- 6.3. Яка температурна залежність коефіцієнтів підсилення інтегральних транзисторів: латеральних (горизонтальних) pnp-транзисторів та вертикальних pnp-транзисторів. Чим це визначено в моделі.
- 6.4. Який принцип формування фронту імпульсу
- 6.5. Який принцип формування зрізу імпульсу
- 6.6. Який вузол задає струм бази вихідного ключа
- 6.7. Який вузол регулює струм бази вихідного ключа. За яким принципом.
- 6.8. За яким принципом працює захист за струмом
- 6.9. Які вимоги до резисторів $R10$, $R11$.
- 6.10. Чому для живлення бази транзистора $VT23$ застосовано ДОН
- 6.11. Який принцип формування полиці імпульсу
- 6.12. Який принцип формування імпульсу захисту
- 6.13. Чи можна відключити вихідний ключ при надлишку навантаження, чи потрібно надсилати в його базу хоча б короткі імпульси. Чому.
- 6.14. Яка функція елемента схеми ... (визначає викладач індивідуально).
- 6.15. Що таке паразитний транзистор в кармані латерального pnp-транзистора. За яких обставин він активується
- 6.16. Що таке паразитний транзистор в кармані вертикального pnp-транзистора. За яких обставин він активується
- 6.17. Яку логічну схему утворюють вхідні ключі. Для чого. Коли спрацьовує кожен з них.

Творчий аспект

- 7.1. В чому полягає стратегія творчості У. Діснея.
- 7.2. В чому користь шести крокового рефреймінгу.
- 7.3. Що таке мета-модель

7.4. Що таке Мілтон-модель

7.5. Що таке осяяння, хибне осяяння. Як їх відрізнити.

7.6. Де вперше було визначено необхідність розвитку особистості як мету життя.

Література до роботи №3.

1. LM 2596. Analog Devices. Data Sheet. (Дивись додаток).
2. Павлов Л.М., Калніболотський Ю.М. Минимизация влияния паразитных структур в преобразователях DC/DC. Электроника и связь. №2, 2010г., с.87-90.
3. Л.Н. Павлов. Работа выходного каскада интегрального импульсного понижающего стабилизатора напряжения. “Электроника и связь”. 2007, №1, с.79-80.
4. Л.Н. Павлов, В.А. Ткаченко, В.И. Филь. Исследование устойчивости интегральных импульсных преобразователей DC/DC. Электроника и связь. Тематический выпуск «Проблемы электроники». Ч1, 2008, с.123-127.
5. Павлов Л.Н., Яганов П.А. Минимизация эффекта инжекции в подложку при проектировании выходного каскада преобразователя DC/DC. Электроника и связь. 2009, № 2-3, стр.28-31. ("Электроника и нанотехнологии", ч.1.)
6. Павлов Л.М. “Основи інженерної творчості”. Навчальний посібник. “Політехніка”, К., 2006р., 84ст. – ISBN 966-622-223-X.
7. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем, изд.3-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1973. 608 с. с ил.

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Основи інженерної творчості”. / Укладач к.т.н, доц. Л.М.Павлов. – К.: КПІ, 2012. – 44 с.

Відповідальний редактор : за авторською редакцією

Рецензент: