

**Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Университет «Дубна»
Филиал «Протвино»
Кафедра «Автоматизация технологических процессов и производств»**

В.И. Дягилев

**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»**

АНАЛОГОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

ЭЛЕКТРОННОЕ МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Рекомендовано
кафедрой автоматизации технологических процессов и производств
филиала «Протвино» государственного университета «Дубна»
в качестве методического пособия для студентов,
обучающихся по направлению
«Автоматизация технологических процессов и производств»

Протвино
2017

ББК 31.291
Л47

Рецензент:
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
ФГБУ «Институт физики высоких энергий» – НИЦ «Курчатовский институт»
Е.А. Устинов

- Дягилев, В.И.**
Л47 Лабораторные работы по дисциплине «Электротехника и электроника». Аналоговая электроника: электронное методическое пособие / В.И. Дягидев. — Протвино, 2017. — 25 с.

Методическое пособие содержит теоретические сведения и описание четырёх лабораторных работ по дисциплине «Электротехника и электроника». Аналоговая электроника. Целью данных лабораторных работ является изучение электронных устройств и режимов их работы — регуляторов - стабилизаторов, усилителей низкой частоты, широтно - импульсных регуляторов напряжения, генераторов импульсного и гармонического напряжения. При этом студентами получают практические навыки настройки и пользования этими устройствами.

Методическое пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению «Автоматизация технологических процессов и производств».

ББК 31.291

© Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Университет «Дубна», филиал «Протвино», 2017
© Дягилев В.И., 2017

Содержание

1. Лабораторная работа №1 Регуляторы - стабилизаторы постоянного тока.....	4
2. Лабораторная работа №2 Импульсные регуляторы.....	9
3. Лабораторная работа №3 Исследование усилителей гармонических сигналов звуковой частоты.....	15
4. Лабораторная работа №4 Транзисторный генератор с резонансным колебательным контуром.....	22

Лабораторная работа №1

Регуляторы — стабилизаторы постоянного тока

1 Цель работы

Ознакомление с принципом поддержания стабильного напряжения на нагрузке при допустимых отклонениях входного питающего напряжения

2 Основные теоретические положения

Регуляторы - стабилизаторы напряжения или других параметров электроэнергии в цепях постоянного тока выполняются преимущественно на основе полупроводниковых приборов. Большинство типов регуляторов - стабилизаторов по принципу действия могут быть разделены на две группы: параметрические (разомкнутые) и с обратной связью (замкнутые). Последние могут быть непрерывного и дискретного (импульсного) действия. Рассмотрим простейший параметрический стабилизатор.

Параметрические стабилизаторы напряжения являются наиболее простыми стабилизирующими устройствами, широко применяемыми в микроэлектронике. Особенно большое распространение они получили в различного рода электронных устройствах для стабилизации напряжений питания отдельных функциональных узлов схемы.

В основе принципа действия параметрических стабилизаторов напряжения лежит использование свойств: стабилитронов, диодов и пр., вольт - амперная характеристика которых обладает большой крутизной.

На рис. 1а представлена простейшая схема однокаскадного параметрического

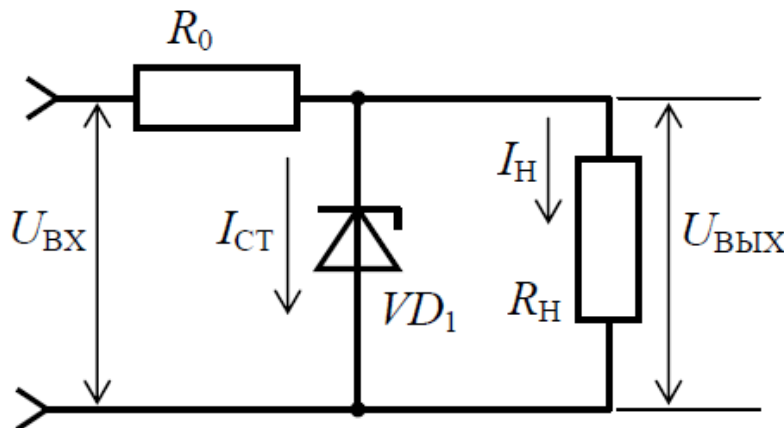


Рис. 1а Схема

однокаскадного параметрического стабилизатора

стабилизатора, выполненного на стабилитроне VD .

Резистор r_0 выполняет роль балластного сопротивления, ограничивающего ток в стабилитроне и воспринимающего избыток напряжения источника питания. Нагрузка R_H подключена параллельно стабилитрону VD . В отличие от выпрямительного типа диодов он включён катодом к плюсовому зажиму источника питания $U_{ВХ}$. Это особый вид диодов — диод Зенера[1]. Его вольт - амперная характеристика представлена на рис. 1б.

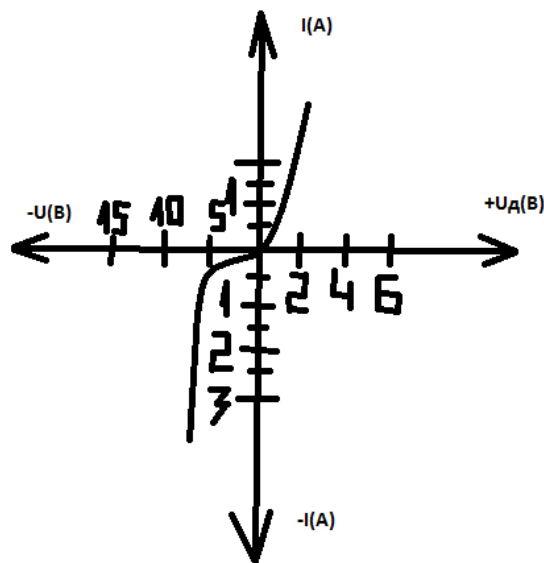


Рис.16 Вольт - амперная

характеристика стабилитрона

Прямая ветвь $U_d(I)$ - обычная входная характеристика диода. Обратная характеристика $U_d(-I)$ почти параллельна оси ординат. Это означает, что при увеличении обратного тока стабилитрона напряжение на нём почти не увеличивается. Таким образом на нагрузке напряжение будет стабильным при увеличении $U_{вх}$.

В настоящее время используются транзисторные стабилизаторы непрерывного действия. Принцип действия регуляторов - стабилизаторов с непрерывным регулированием основан на зависимости вольт - амперной характеристики транзистора от базового тока. Благодаря этому свойству транзистор можно рассматривать как резистор с регулируемым сопротивлением, которое определяется током базы. В качестве регулируемого сопротивления транзистор (или группа транзисторов) может быть включён последовательно или параллельно с нагрузкой. В качестве основного регулирующего элемента обычно используют мощные силовые транзисторы, которые соединяют параллельно между собой в количестве, определяемом мощностью стабилизатора. В настоящее время стабилизаторы подобного типа выполняются, как правило, на мощности от долей ватта до нескольких киловатт.

Системы управления стабилизаторов могут иметь различное схемное исполнение, но в основе их обычно лежит принцип регулирования систем с замкнутой обратной связью.

На рис. 2 приведена схема стабилизатора компенсационного типа. Здесь базовый переход регулирующего транзистора VT2 включён между датчиком напряжения (R1 и R2) и стабилитроном в цепи эмиттера. Таким образом ток эмиттера VT2 определяется разницей $U_{стаб} - U_{датч}$. А он в свою очередь определяет напряжение на коллекторном переходе VT1 — $U_{кэ1}$. Это способствует соблюдению стабильности выходного напряжения, т. к. $U_{вых} = U_{вх} - U_{кэ1}$.

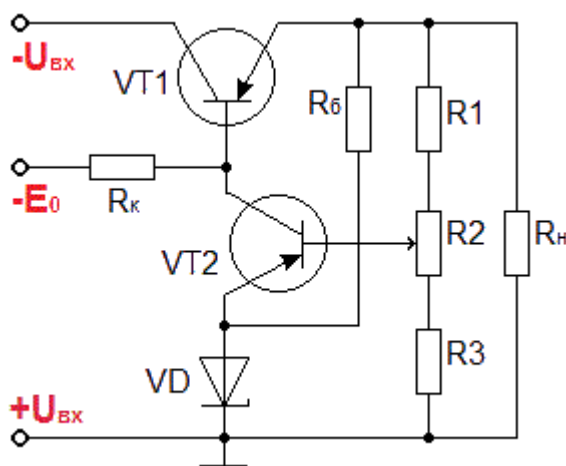


Рис. 2 Схема стабилизатора компенсационного

типа

Исторически сложилось так, что под компенсационным стабилизатором понимают стабилизатор непрерывного действия. В то же время этот принцип регулирования лежит в основе импульсных стабилизаторов.

В основе работы импульсных или ключевых регуляторов напряжения лежит следующий принцип. Предположим, что нагрузка подключена к источнику напряжения через ключевой элемент К, который периодически замыкается и размыкается. Времена замкнутого (t_3) и разомкнутого (t_p) состояний ключа можно автоматически изменять, воздействуя на него сигналами, поступающими из системы управления СУ. Очевидно, что среднее значение напряжения на нагрузке будет зависеть от соотношения времён замкнутого и разомкнутого состояний ключа К. Согласно определению среднего значения напряжения можно записать

$$U_d = \frac{1}{T} \int_0^{t_3} U_{вх}(t) dt = \frac{U_{вх} t_3}{t_3 + t_p} = U_{вх} \frac{t_3}{T}$$

где U_d - среднее значение напряжения на нагрузке; T – период переключения ключа К.

3 Описание исследуемой схемы стабилизатора ВМ037

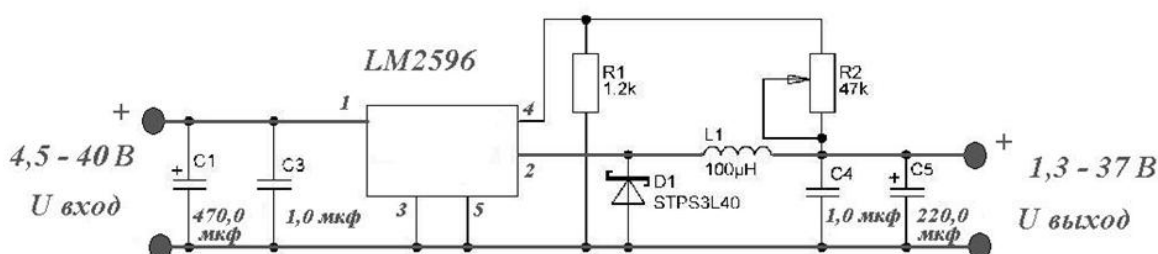


Рис.3 Импульсный стабилизатор напряжения 1,2 ... 37 В, 3А на LM2596T-ADJ

3.1. Состав оборудования

Блок схема стабилизатора ВМ-037 приведена на рис.5.

- 1) БП — блок питания типа АТН – 1335;
- 2) Стабилизатор типа ВМ – 037;
- 3) Мультиметр типа АВМ – 4084;
- 4) Осциллограф типа ADS 2111МВ;
- 5) Блок нагрузочных резисторов;

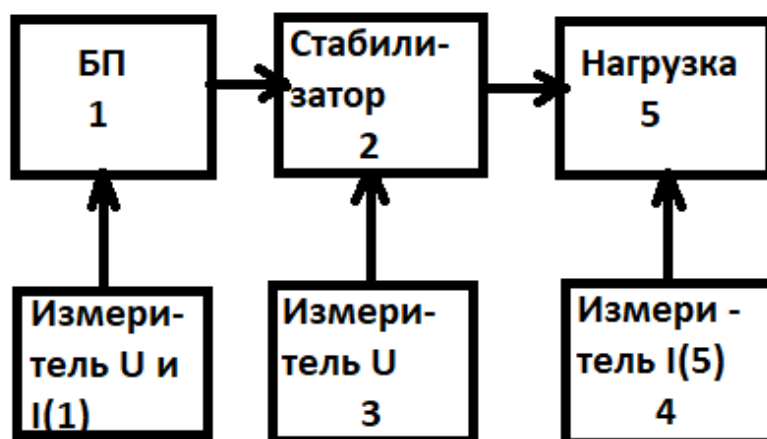


Рис. 5 Блок схема стабилизатора ВМ-037

4 Порядок выполнения лабораторной работы

- 1) Собрать схему путём подключения соответствующих разъёмов к БП (согласно указаниям преподавателя);
- 2) Произвести испытания стабилизатора ВМ-037 в двух режимах;
 - 2.1) Изменение тока нагрузки при постоянном входном напряжении на выходе БП, путём подключения различных резисторов к выходным клеммам стабилизатора ВМ-037;
 - 2.2) Изменение величины питающего входного напряжения стабилизатора;
- 3) В этих режимах необходимо измерить токи и напряжения контрольными приборами и все данные занести в таблицу 1.
- 4) Все данные таблицы проанализировать и сделать выводы.

№	$U_{ВХ}$ (В)	$I_{ВХ}$ (А)	$U_{стаб}$ (В)	$U_{пульс}$ (В)	R_H (Ом)	Примечания
1						
...						
8						

Лабораторная работа №2

Импульсные регуляторы

1. Цель работы

Ознакомление с электронными импульсными регуляторами напряжения и мощности.

2. Краткие теоретические положения

В основе работы импульсных или ключевых регуляторов напряжения лежит следующий принцип. Предположим, что нагрузка подключена к источнику напряжения через ключевой элемент K (рис а), который периодически замыкается и размыкается. Времена замкнутого (t_z) и разомкнутого (t_p) состояний ключа можно автоматически изменять, воздействуя на него сигналами, поступающими из системы управления СУ. В результате к нагрузке будет приложено импульсное напряжение, форма которого соответствует диаграмме, представленной на рисунке б. Очевидно, что среднее значение напряжения на нагрузке будет зависеть от соотношения времени замкнутого и разомкнутого состояний ключа K . Согласно определению среднего значения напряжения можно записать:
$$U_d = \frac{1}{T} \int_0^{t_z} U_{вх}(t) dt = \frac{U_{вх} t_z}{t_z + t_p} = U_{вх} \frac{t_z}{T},$$

где U_d - среднее значение напряжения на нагрузке; T – период переключения ключа K ; f - частота переключения ключа K .

Отношение $q = T/t_z$, называют скважностью работы ключа. Изменяя скважность q , можно регулировать выходное напряжение на нагрузке. Регулирование напряжения в рассматриваемой схеме за счет изменения скважности можно рассматривать как модуляцию входного напряжения ключом K . Возможны три способа модуляции входного напряжения:

1. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ), когда время t_z – переменная, а частота f – постоянная.
2. Частотно-импульсная модуляция (ЧИМ), когда время t_z – постоянная, а частота f – переменная.
3. Широтно-частотная модуляция (ШЧМ), когда время t_z и частота f – переменные.

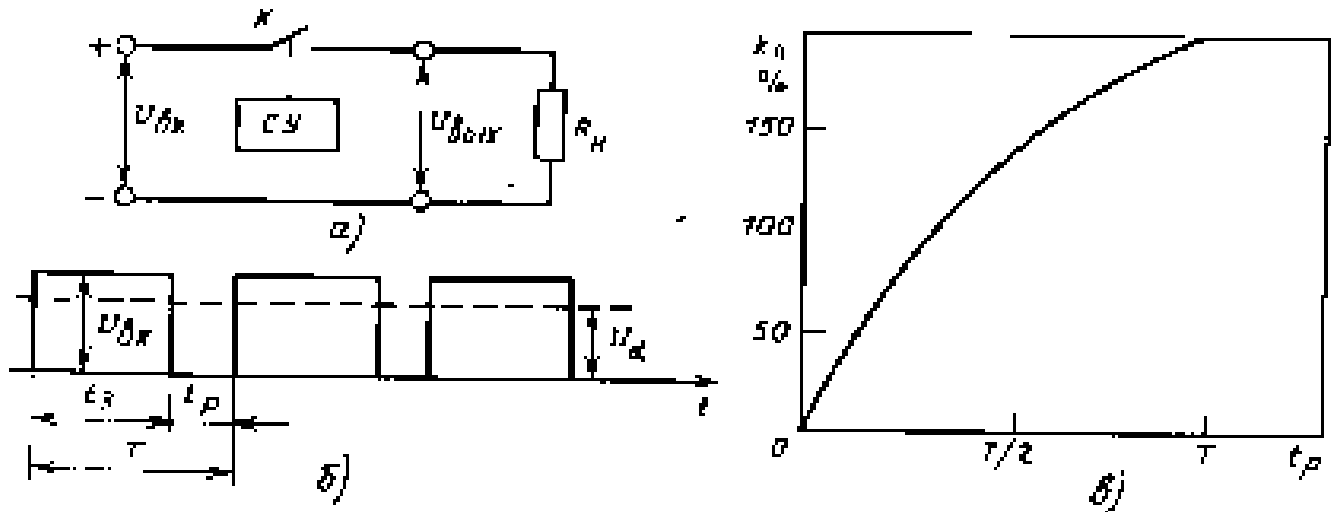


Рис. 1. а) — Схема импульсного регулятора напряжения (ИРН)
 б) — Выходное напряжение ИРН
 в) — Зависимость величины пульсации от скважности ИРН

Система автоматического управления ключом может быть выполнена, как с цепью обратной связи (регулирование по отклонению), так и без цепи обратной связи, с контролем входного напряжения (регулирование по возмущению). В этих случаях ключевой регулятор можно считать регулятором компенсационного типа. Кроме того, существует класс ключевых регуляторов с регулированием релейного типа. В таких преобразователях сигнал в цепи обратной связи, подаваемый на исполнительный орган (в данном случае ключ K) изменяется скачком, когда сигнал рассогласования эталонного и контролируемого напряжений становятся равным нулю. При расчете ключевых регуляторов чаще всего используются следующие параметры:

1. Среднее значение выходного напряжения $U_d = \frac{U_{\text{вх}}(T - t_p)}{T}$, его относительное значение $N = \frac{U_d}{U_{\text{вх}}} = \frac{T - t_p}{T}$;

2. Действующее значение выходного напряжения $U_{\text{вых}} = \sqrt{\int_0^T U_{\text{вых}}^2(t) dt} = U_{\text{вх}} \sqrt{\frac{T - t_p}{T}}$

3. Коэффициент пульсации $K_{\text{п(1)}} = \frac{U_{m(1)}}{U_d}$, где $U_{m(1)}$ – амплитуда первой гармоники кривой выходного напряжения.

Коэффициент пульсации увеличивается с ростом скважности Q , т.е. при увеличении времени t_p ключа K . На рис. 1.б в представлена зависимость КП от t_p , из которой видно, что он может при работе регулятора изменяться в диапазоне от 0 до 2 (или до 200 в процентном исчислении).

3. Состав оборудования и подготовка его к работе

На рисунке 2 приведена схема блока широтно-импульсного регулятора (БШИР) напряжения и мощности типа ВМ4511, а на рисунке 3 – схема аналоговой имс LM358.

3.1 Технические характеристики БШИР ВМ4511

- ⑩ Максимальный ток нагрузки, А 50
- ⑩ КПД, не менее % 99
- ⑩ Диапазон регулировки, % 0-100
- ⑩ Рабочая частота, Гц 500
- ⑩ Потребление тока, не более , мА 1,5
- ⑩ Размер печатной платы, мм 40х35

Предлагаемое устройство можно использовать в качестве регулятора мощности различных нагревателей, работающих от напряжения постоянного тока, например, подогревателей автомобильных сидений или двигателей. Устройство можно использовать для регулирования оборотов мощных двигателей постоянного тока.

Применение современной элементной базы позволило повысить КПД регулятора до 99% и максимально уменьшить габариты устройства. Общий вид регулятора на рис. 1.

3.2 Краткое описание работы устройства

Устройство выполнено на основе широтно-импульсного регулятора. Принципиальная электрическая схема регулятора приведена на рис. 2. Применение сдвоенного операционного усилителя (DA1) позволило реализовать генератор с широтно-импульсной модуляцией при минимальном количестве деталей.

Задающий генератор, выполненный на одном из операционных усилителей, обеспечивает независимость рабочей частоты от напряжения питания и длительности выходного импульса. В качестве выходного силового ключа использован полевой транзистор (VT1). Малое сопротивление открытого канала транзистора ($R = 0.008 \text{ Ом}$) позволяет использовать транзистор без радиатора при коммутации тока до 10-12 А (при мощности нагрузки до 100-150 Вт).

Нагрузка и источник питающего напряжения подключается к блоку путем соединения (пайки) соответствующих проводов.

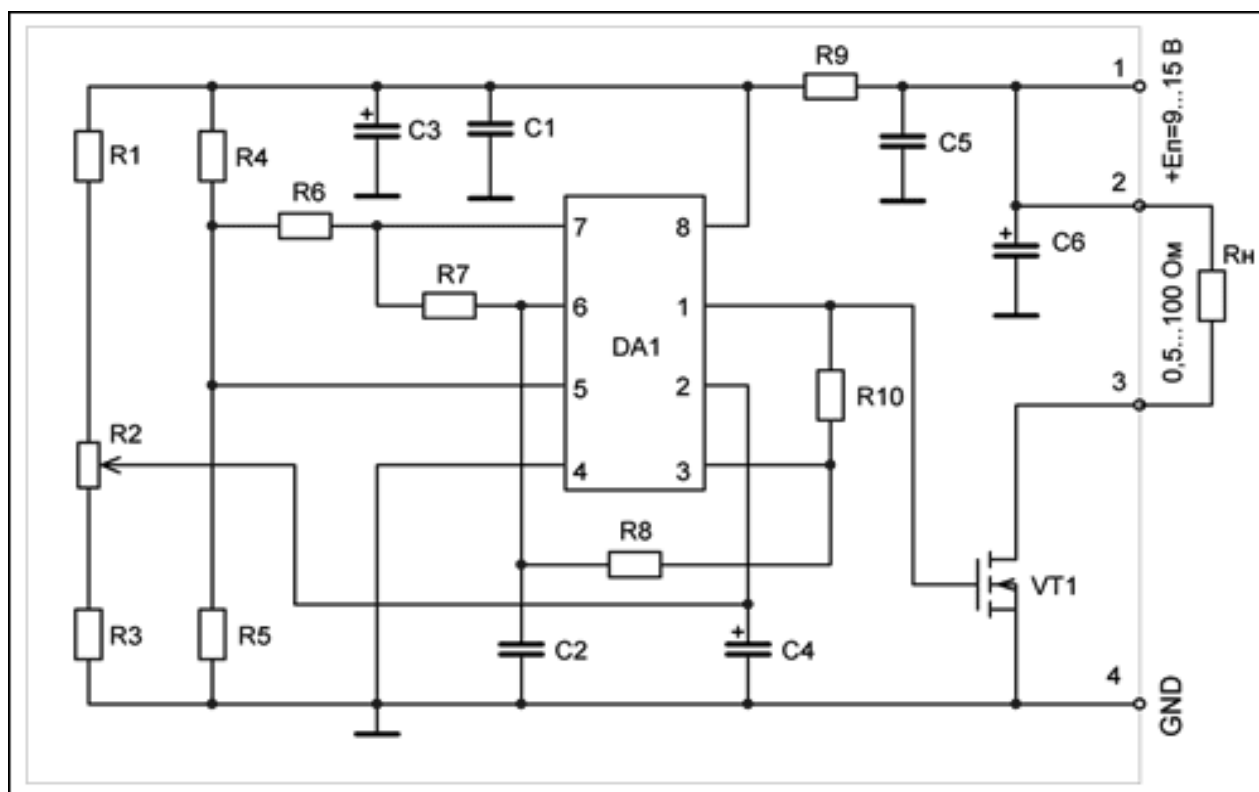


Рис. 2. Схема блока широтно-импульсного регулятора напряжения и мощности BM4511

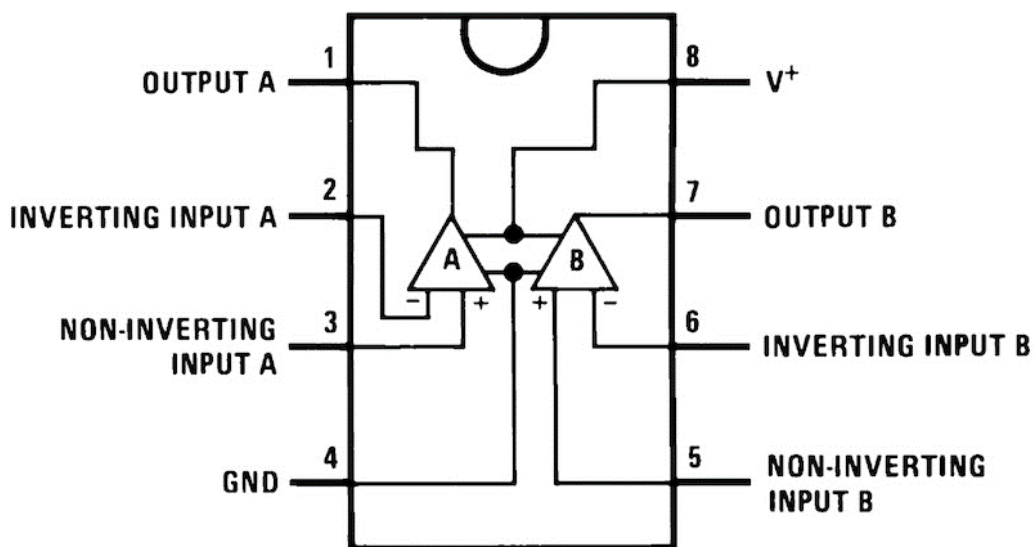


Рис. 3. Схема имс LM358

Для проведения работы должна быть собрана схема для испытания БШИР и измерения токов и напряжений (рис. 4).

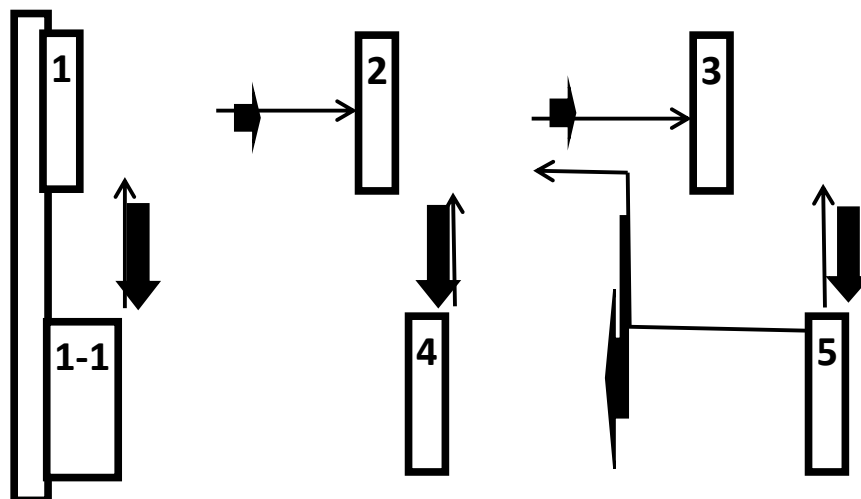


Рис. 4. Блок-схема испытательного стенда БШИР

- 1) Блок питания АТН1335 с измерителем тока и напряжения(1-1);
- 2) Блок ШИР типа ВМ4511;
- 3) Блок нагрузок (резисторов);
- 4) Мультиметр АВМ4084;
- 5) Осциллограф ADS2111MB;

4 Порядок проведения работы с БШИР

- 1) Перед вкл. БШИР установить напряжение БП $U_{\text{пит}} = 12 \text{ В}$.
- 2) Повернуть движок переменного резистора — регулятора ВМ 4511 против часовой стрелки (на 70% полного оборота).
- 3) Присоединить выходные клеммы БП к разъему БШИР.
- 4) Подать питание 12 В на БШИР. При этом начинает вращаться вентилятор и светиться лампа накаливания.
- 5) Поворачивая регулятор в разные стороны, убедиться в изменении скорости вращения вентилятора и свечении лампы.
- 6) Произвести исследования согласно таблице 1.
- 7) Для этого необходимо фиксировать показания измерительных приборов (рис. 4).
- 8) Рекомендуется привести осциллограммы напряжений на нагрузку и на силовой транзистор, после чего приложить их к отчету.

№	$U_{\text{ВХ}}$ (В)	$U_{\text{Н}}$ (В)	$I_{\text{ВХ}}$ (А)	$I_{\text{Н}}$ (А)	$R_{\text{Н}}$ (Ом)	Примечания
1	10					
2	15					
3	20					

5 Выводы

Применение вместо пассивных регуляторов напряжения полупроводниковых ключевых устройств позволяет существенно повысить к.п.д. устройства.

6 Вопросы для самопроверки

- 1) Дать определение к термину «регулятор напряжения».
- 2) Какие виды регуляторов еще известны и где они (регуляторы) применяются.
- 3) Почему ключевые регуляторы предпочтительнее?
- 4) Каким образом можно «избавиться» от прерывистого тока в нагрузке?

7 Литература

- 1) Розанов Ю.К. Основы силовой электроники. - М.: Энергоатомиздат. 1992. - 296с.

Лабораторная работа №3

Исследование усилителей гармонических сигналов звуковой частоты

1 Цель работы

Рассмотреть принцип действия усилителей различных классов.

2 Основные теоретические сведения

Класс А. Это усилители самого высокого качества звука, так как по своему принципу действия нулевая точка гармонического сигнала находится в середине линейного участка входной характеристики благодаря смещению её по постоянному току. Но этот же фактор «заставляет работать» транзистор постоянно на половине питающего напряжения. Из-за этого теоретический к.п.д. - 50%, практически - 30%, а то и 25%.

Класс В. Эффективность усилителя этого класса почти в два раза выше эффективности усилителя класса А, потому что каждая полу волна входного сигнала усиливается своим транзистором. При этом не нужны цепи смещения. Но есть нелинейные искажения.

Класс АВ. Большинство $H_i - F_i$ усилителей принадлежат именно этому промежуточному классу. Как видно из названия «АВ» - совмещают некоторые достоинства класса А и класса В и их недостатки, то есть их рабочая точка смещена от нуля, значит транзисторы открыты постоянно, а это улучшает качество выходного сигнала, но снижает КПД. Усилители класса АВ вобрали в себя возможности усилителей класса А - относительно «чистый сигнал» при относительно неплохой эффективности (немного ниже чем в классе В).

Класс С. Усилители этого класса имеют КПД достигаемое почти 75%, что делает их очень эффективными, но с увеличением КПД резко увеличиваются искажения выходного сигнала.

Класс D. Это самый современный класс усилителей, применяющих цифровую обработку сигнала. Как ни странно, но усилители D класса были разработаны ещё в 1958 году. (И вообще середина прошлого столетия была богата научными разработками, которыми мы лишь сейчас начинаем пользоваться, а нового, на мой взгляд, практически ничего не предлагается. В полной мере сказанное относится и к усилителям класса D, которые завоевали особую популярность именно в начале 21 века.) Вообще каждому классу усилителей звуковой частоты присущи свои достоинства и недостатки, определяющие диапазоны их применения. Для D класса неоспоримыми плюсами являются низкая мощность рассеяния и тепловыделение, малые размеры (на фото размер готового устройства на 400 ватт сопоставим с размером батарейки) и стоимость, продолжительное время работы в автономных устройствах (при автономном питании линейный выходной каскад опустошит батарею гораздо быстрее, чем усилитель класса D).

Ключи выходного каскада такого усилителя коммутируют выход с отрицательной и положительной шиной питания, создавая тем самым серии положительных и отрицательных импульсов. Теоретический КПД усилителей класса D равен 100%. То есть, все питание подается на нагрузку. Но, конечно же, на практике MOSFET (Металл - окисел - кремний - поле - электрик-транзисторы) (МОП - транзисторы) не являются идеальными переключателями, так как обладают сопротивлением перехода. Соответственно, на него тратится часть энергии. Но все же КПД усилителей звуковой частоты D класса выше 90%.

По сравнению с коэффициентом полезного действия максимум 78% для УНЧ В класса, являющимся самым производительным из линейных, показатель более 90% это весомый аргумент экономичности класса D.

Часто подобные усилители называют цифровыми. Этот термин прочно за ними закрепился, однако название цифровой усилитель некорректно. Работа УНЧ класса D основана на широтно - импульсной модуляции (PWM). Следовательно правильнее их называть импульсными усилителями. Почему же их называют цифровыми? Все очень просто. Принцип работы усилителя схож с принципом работы цифровой логики. Как вы знаете, в цифровой технике и электронике применяется двоичная система счисления. А иначе можно сказать «есть» и «нет» или «истина» и «ложь» или «1» и «0» или 5 вольт и 0 вольт. Примерно также работает и усилитель класса D, что связано с применением в выходном каскаде МОП-транзисторов. В последние годы все более упоминаемым является класс T. В коммерческих целях он выделен в отдельную линейку усилителей. Но, по сути, он является дальнейшей реализацией класса D.

2.1 Кратко о принципе работы усилителя

Принцип работы усилителей класса D можно объяснить таким образом. Аналоговый сигнал дискретизируется на отдельные импульсы. Получаем огибающую полезного сигнала с частотным заполнением «несущего» сигнала. При этом частота его на 2-3 порядка выше частоты полезного сигнала. Так для «звуковой» частоты 25 кГц нужна несущая 250кГц и выше. Затем каждый импульс усиливается простым и эффективным методом. А после этоо усиленные сигналы демодулируются (способ запатентован и пока не открыт).

Существует полумостовая топология включения и мостовая. Ниже на рисунках 1 и 2, приведена их реализация на практике.

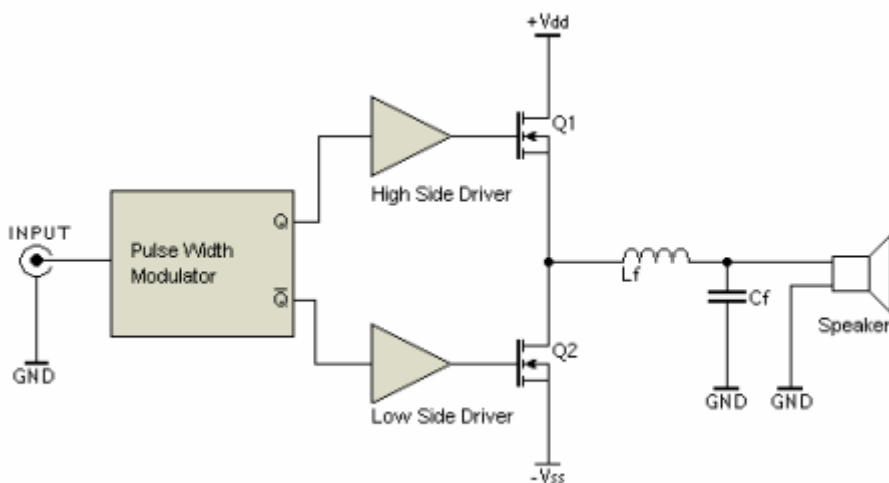


Рис.1 Полумостовая схема УНЧ (класс T)

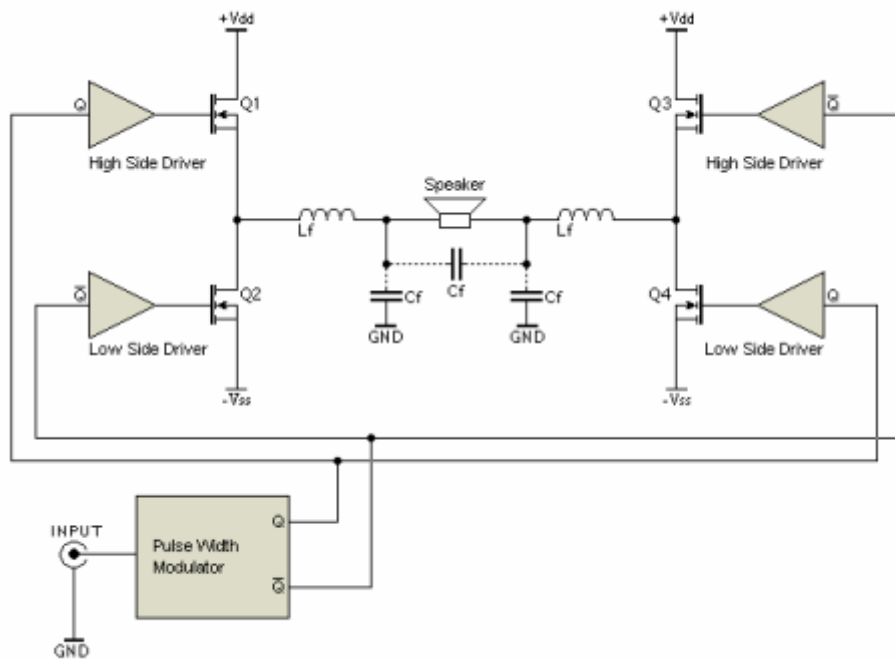


Рис.2 Мостовая схема УНЧ (класс T)

Как можно увидеть по полумостовой схеме включения, в каждый момент времени должен быть открыт только один транзистор. Если откроются оба, то произойдет короткое замыкание, сила тока резко увеличится, что приведет к выходу из строя выходные МОП-транзисторы. В момент открытия один из транзисторов усиливает положительную составляющую напряжения, другой – отрицательную, относительно нулевого проводника. Но существует период времени, названный «мертвым», когда оба ключа закрыты. Так вот это время должно быть в пределах 5...100 нс. В конечном счете, оно влияет на все характеристики готового усилителя: и качественные, и мощностные.

Если вы хотите получить качественный звук, то «мертвое время» должно быть наименьшим. Но при этом увеличивается вероятность короткого замыкания (как говорилось выше). Поскольку МОП-транзисторы могут не успеть переключиться. Поэтому при выборе радиодеталей для усилителей класса D нужно выбирать высокоскоростные компоненты.

В этой лабораторной работе исследуются 2 усилителя гармонических сигналов, а именно:

- однокаскадный транзисторный усилитель класса A, собранный по классической схеме со смещением по базе;
- усилитель T – класса NT1290;

Ниже приведено описание и внешний вид усилителя T - класса NT1290(рисунки 3 и 4).

2.2 NT1290 Цифровой усилитель T - класса (технология Tripath)



Рис.3 Общий вид собранного усилителя

Отличительная особенность модуля - технология Digital Power Processing(DPP™) – отсутствие переходных помех (щелчков) при включении. Усилитель обеспечивает аудиофильское качество звука, имеет низкие нелинейные искажения и широкий диапазон воспроизводимых частот, а также существенно более высокий к.п.д. (92%) по сравнению с усилителями класса АВ. Имеется режим «mute». Встроенный стабилизатор напряжения питания и выпрямитель позволяют питать усилитель переменным напряжением.

Технические характеристики NT1290:

- Напряжение питания, переменное В — 2х22
- Выходная мощность $R = 4\Omega$ THD 1% — (2х100 Вт)
- Выходная мощность $R = 4\Omega$ THD 0.1% — (2х90 Вт)
- Выходная мощность $R = 8\Omega$ THD 0.1% — (2х60 Вт)
- Мин. сопротивление нагрузки, Ом — 3,2
- Номинальное входное напряжение, В — 1,2
- Пиковое значение выходного тока, А — 5
- Диапазон воспроизводимых частот Гц — 20 - 22000
- Динамический диапазон, Дб — ≥ 102
- THD+N, PO=70W, RL = 4 Ω , f = 1кН — 0.015
- КПД, % — >92
- Габаритные размеры печатной платы, мм — 75х120



Рис.4 Схема подключения

3 Содержание лабораторной работы

- 1) Произвести испытания стенда с однокаскадным усилителем класса А и с усилителем NT1290.
- 2) Проверить работоспособность обоих усилителей;
- 3) Произвести измерения входного и выходного сигналов;
- 4) Сделать выводы;

4 Описание лабораторной установки для проведения испытания усилителя NT1290.

Оборудование:

- 1) Блоки питания ATN1335 и ИП - 2(сетевой блок питания с двумя понижающими обмотками на 22В каждая);
- 2) Осциллограф ADS - 2111MV;
- 3) Генератор AWG - 4110;
- 4) Мультиметр АВМ – 4084;
- 5) Учебно - лабораторный стенд (плата с усилителем NT1290 на микросхеме TA2022);

5 Порядок выполнения работы

- 1) Присоединить два разъема (к источнику питания ИП - 2, три провода, и разъем от генератора, и на нагрузки);

- 2) Включить генератор AWG – 4110;
- 3) Установить все данные входного сигнала усилителя;
- 4) Включить ИП - 2, «загорится» светодиод LED;
- 5) Включить осциллограф ADS - 2111MV;
- 6) Присоединить его щупы на клеммы входных сигналов от генератора и на нагрузки;
- 7) Включить генератор;
- 8) При этом на экране осциллографа появятся два сигнала (с желтым и красным лучами);
- 9) Снять частотную характеристику. Регулируя генератор в диапазоне 10Гц - 30Гц, произвести измерения амплитуды выходного сигнала, при постоянстве нагрузочных резисторов;
- 10) Проверить нагрузочную характеристику - зависимость напряжения на нагрузке от ее сопротивления ($R_n = 20, 50, 100 \text{ Ом}$);

6 Выводы

- 1) В процессе исследования частотной характеристики усилителя NT1290, выяснилось, что она линейно в гораздо большем диапазоне, а именно 5 Гц — 100кГц;
- 2) При значительном токе нагрузки обоих каналов корпус микросхемы TA2022 начинает греться, для устранения перегрева необходимо принять меры(радиатор, охладитель);

7 Вопросы для самопроверки

- 1) Опишите принцип действия УНЧ класса А;
- 2) Опишите принцип действия УНЧ класса АВ;
- 3) Опишите принцип действия УНЧ класса D;
- 4) Объясните, почему к.п.д. растёт по мере движения от класса АВ до D;

8 Список литературы

Интернет ссылки:

- 1) www.sinava.ru/MP1290;
- 2) www.masterkit.ru/1333284;

Лабораторная работа №4

Транзисторный генератор с резонансным колебательным контуром

1 Цель работы

Ознакомление со схемами импульсных генераторов тока высокой частоты и методом преобразования импульсного выходного напряжения в гармоническое.

Исследование способов регулирования и усиления выходного синусоидального напряжения при неизменном питающем.

2 Основные теоретические положения

В современных технологических установках в настоящее время широко применяются ультразвуковые методы обработки: очистка, мойка, пайка, сварка и т. д. В частности для очистки и мойки изделий используется ванна с водой или раствором в который опускается пьезо - пакет. При подаче на его входные зажимы синусоидального напряжения высокой частоты происходят механические колебания пластин пакета. Рабочая жидкость приходит в движение, а именно, образуются пузырьки воздуха. Они схлопываются, и происходят микровзрывы, способствующие очищению поверхности изделия (и главное, его внутренних полостей). Это процесс кавитации. Источником питания рабочих органов УЗВ - установок обычно служат высокочастотные генераторы синусоидального напряжения. Пьезоэлектрические пластины (как правило - кольца) воспринимают только гармоническое напряжение на частотах 22-44 кГц, т. к. сами обладают упругими свойствами. По сути это механическая резонансная система. Для получения гармонических колебаний из любого по форме входного напряжения чаще всего применяются весьма простые по устройству генераторы с выходными фильтрами на основе резонансного индуктивно - емкостных контуров. Такие генераторы состоят из:

- 1) Сетевого трансформаторного выпрямителя со сглаживающим фильтром;
- 2) Генератора прямоугольного напряжения;
- 3) Выходного фильтра на основе резонансного индуктивно-емкостного фильтра (LC - контура);
- 4) Нагрузки(активная и активно - индуктивная).

Сетевое напряжение промышленной частоты понижается трансформатором до нужной величины. Одновременно с этим обеспечивается гальваническое разделение нагрузки от питающей сети. Далее следует выпрямитель и сглаживающий фильтр.

Генератор, как правило, собирается из двух или четырех транзисторов (полумост, мост). На выходе его имеем двух полярное прямоугольное напряжение нужной частоты. Современные силовые полевые транзисторы типа MOSFET или IGBT обеспечивают безаварийную работу при напряжениях до 1500 В и токах до 1000 А (неодновременно).

Рассмотрим схему полумостового импульсного генератора на полевых транзисторах (как наиболее современных) M1 и M2. Они управляются прямоугольными импульсами от двухтактного ШИМ-контроллера типа TL494 и драйвера, который обеспечивает подачу на затворы полевых транзисторов прямоугольных импульсов напряжения, величиной 10 В (при 2 А в пике).

При отпирании транзистора M1 ток от источника питания, заряжая конденсатор C1, протекает в нагрузку R5 (при условии, что отсутствует дроссель L1 и конденсатор C2). Когда запирается M1 (отсутствует на его затворе напряжение) и отпирается M2, заряженный конденсатор C1 разряжается на нагрузочный резистор R5 (в обратном

направлении). Таким образом, на нагрузке появляется двухполярное прямоугольное напряжение с частотой подачи управляющих импульсов. Их частота, а так же, длительность определяется ШИМ-контроллером.

Для получения синусоиды из этого прямоугольного напряжения используется индуктивно-емкостный резонансный контур L1, C1, C2. Параметры его определяются из выражений [1].

В нагрузке, подключенной параллельно C2 и последовательно с конденсатором C1 пртекает синусоидальный ток. Рассмотрим упрощённую схему такого генератора (рис. 1):

- 1) V1 – источник постоянного напряжения;
- 2) L1 - дроссель;
- 3) C1 и C2 - конденсаторы;
- 4) R1 — нагрузка;

Параметры колебательного контура определяются из выражений [1]:

- 1) $\omega_0^2 LC = 1$
- 2) $\omega_0 = 2\pi f_0$ - круговая резонансная частота;
- 3) $f_0 = 1/T_0 = 1/(2T)$ - циклическая резонансная частота;
- 4) $L = t_u/\pi * Z_e$ - индуктивность резонансного контура;
- 5) $C = t_u/(\pi * Z_e)$ - емкость конденсатора резонансного контура;
- 6) $Z = \sqrt{L/C}$ - волновое сопротивление резонансного контура;
- 7) $R_n = K_n * Z$ - сопротивление нагрузки;
- 8) K_n - нагрузочный коэффициент (1:10);
- 9) T_0 и t_u - соответственно период с полупериодом гармоники;

Как правило параметры колебательного контура задаются частотой f_0 , сопротивлением нагрузки R_n и напряжением на ней U_n .

3 Описание схемы генератора синусоидального напряжения высокой частоты (ГСНВЧ)

На рис. 1 представлена блок - схема ГСНВЧ. Она содержит:

- 1) Блок питания с разделительным понижающим трансформатором;
- 2) Задающий генератор на ИМС TL494;
- 3) Драйвер на ИМС IR2110;
- 4) Силовой преобразователь генератора прямоугольного напряжения на двух транзисторах IRF530;
- 5) Резонансный контур индуктивно - ёмкостный;
- 6) Нагрузка;



Рис.1 Блок - схема ГСНВЧ

Следует заметить, что резонансный контур выполнен по схеме взаимосвязанных контуров L1, C1 и L2, C2. Это даёт такие возможности как:

- 10) Стабилизировать выходное синусоидальное напряжение при изменении сопротивления нагрузки [2] при $C1 = C2$;

⑩ Регулировать величину напряжения на нагрузке при неизменном входном питающем за счёт изменения ёмкости конденсатора C2[3];

На рис. 2 представлена принципиальная схема генератора, а на рис. 3 и 4 приведены временные диаграммы напряжений на выходе полумоста (прямоугольное и на нагрузке (гармоника)).

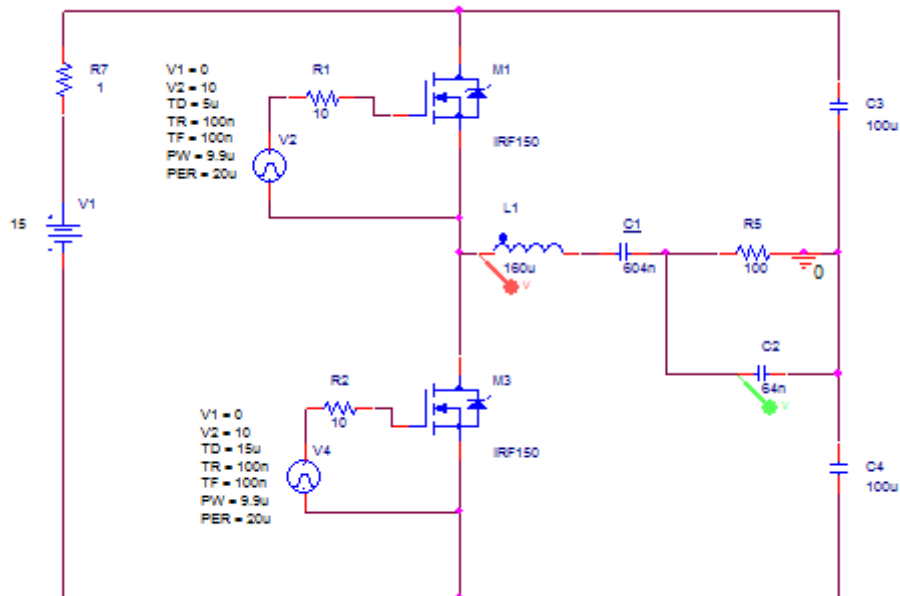


Рис.2 Принципиальная схема генератора

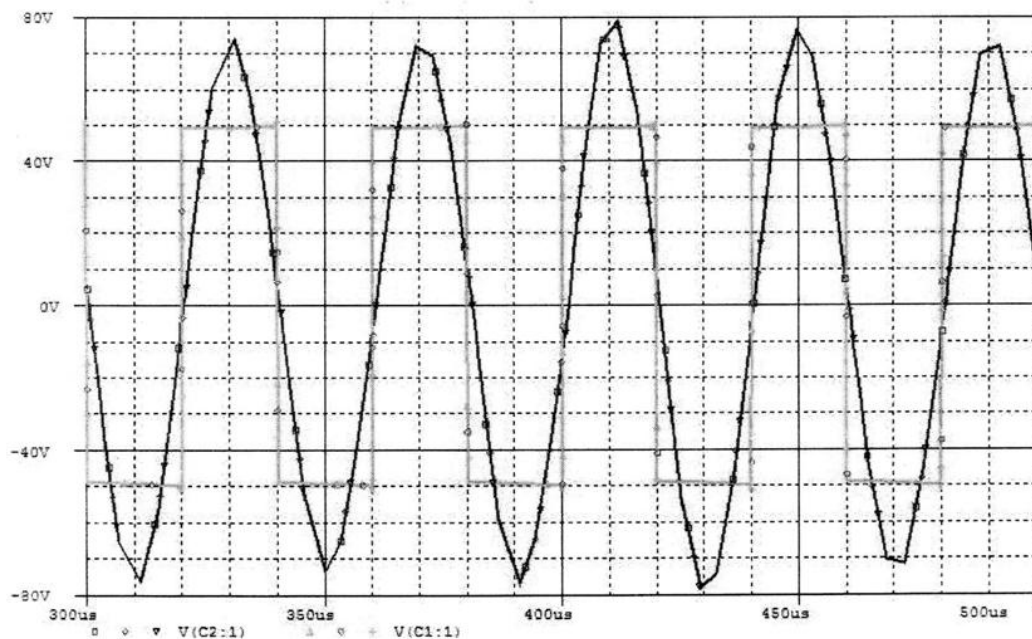


Рис.3 Временные диаграммы напряжений (прямоугольного и синусоидального)

На первом этапе исследовалась схема с большим по емкости последовательным конденсатором C2. На рисунке 2 представлены кривые входного прямоугольного и выходного синусоидального напряжений. Такая схема называется «параллельный инвертор». В ней первая гармония, согласно разложению входного напряжения в ряд Фурье равна $U_m = \sqrt{2} U_{\text{вход}}$

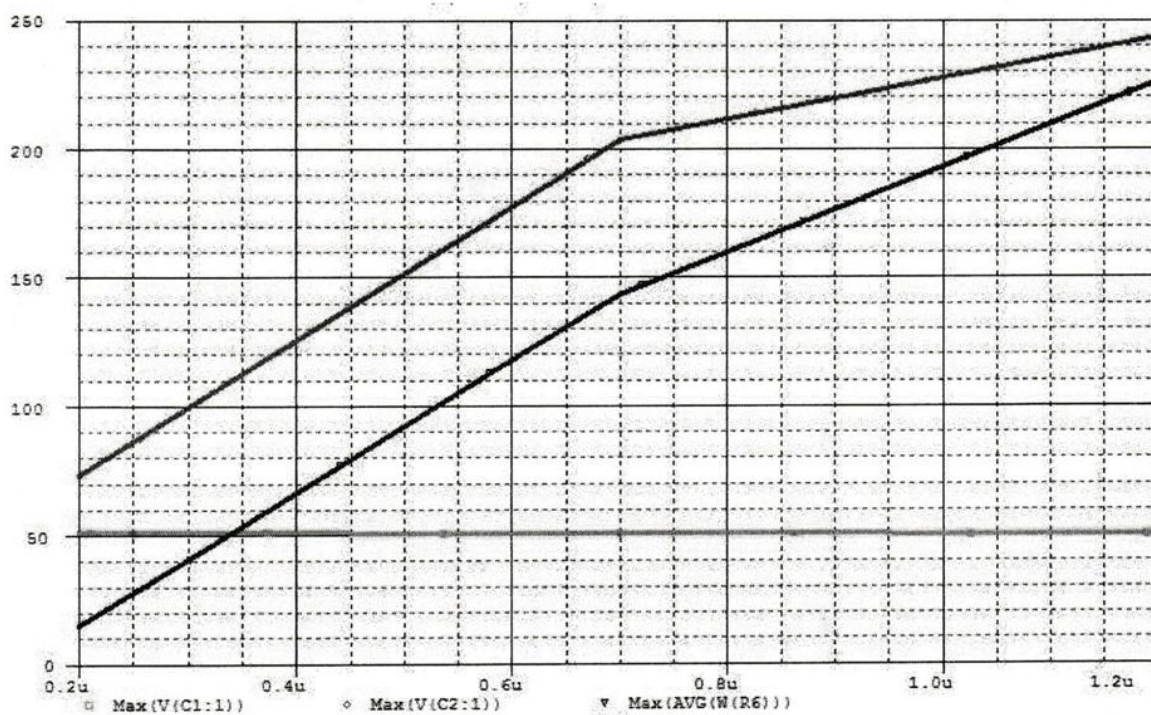


Рис. 4 Параметрические зависимости напряжений и мощности генератора от емкости последовательного конденсатора C1

4 Порядок выполнения работы

- 1) Ознакомиться со схемой генератора и приборами, используемым при выполнении работы.
- 2) Произвести исследование схемы генератора (рис. 2) - для этого подать напряжение питания ± 12 В на его входные зажимы.
- 3) Осциллографом измерить напряжение на выходе транзисторного полумоста и на нагрузке.
- 4) По указанию преподавателя изменять ёмкость конденсатора C1.
Все данные зафиксировать в таблице.

№	U _{пит} (В)	I _{потр} (А)	U _{нм} (В)	R _н (Ом)	C1 (нФ)	C2 (нФ)	T (мкс)	f (кГц)	Примечания
1									
2									
...									
5									

5 Выводы

Влияние шунтирующей нагрузки конденсатора C_2 исследуется двумя путями на ЭВМ в физическом эксперименте. Известно, что при резонансе в параллельном инверторе напряжение на конденсаторе C_2 достигает очень большой величины, если нагрузка отсутствует. Но при малом R_5 конденсатор C_2 будет зашунтирован очень сильно и ток в контуре будет треугольным. Поэтому предложено [3] дополнить схему генератора последовательным инвертором $L_1 C_1$. Известно, что в последовательном инверторе при малых R_5 ток синусоидален, а при больших имеет апериодическую форму [2]. Дальнейшее развитие схемы контуры- это использование последовательного конденсатора как регулятора напряжения на нагрузке [3] . Это дает такие преимущества нашему генератору:

- Синусоидальность напряжения на нагрузке в диапазоне ее изменения от 0 до большой величины.
- Режим стабилизации напряжения при условии, что C_1 равно C_2 , а $R_n \rightarrow \text{var}$.
- Режим работы генератора как усилителя напряжения и мощности путем изменения величины емкости конденсатора C_1 при $R_n = \text{const}$.

5 Вопросы для самопроверки

- 1) Как получить прямоугольное напряжение из постоянного?
- 2) Каким образом регулируется его частота?
- 3) Как получить гармонику из прямоугольника?
- 4) Какое основное уравнение для резонансного колебательного контура?
- 5) Как можно регулировать выходные напряжения генератора?

6 Список литературы

- 1) Дягилев. В.И. Транзисторные генераторы тока высокой частоты для электротехнологий. - М.: Издательств «Лица», 2011. - 68с.
- 2) Силовой преобразователь. Патент №134717. - авторы: Дягилев В.И., Коковин В.А., Увайсов С.У.
- 3) Силовой преобразователь. Патент №153221. - авторы: Дягилев В.И., Коковин В.А., Увайсов С.У.