

Оглавление

Список терминов и сокращений	5
Введение	6
Разработка структурной схемы однофазного транзисторного инвертора с гальванической развязкой	8
Разработка функциональной схемы силового каскада	10
Разработка структурной схемы СУЗ	11
Построение источника опорного синусоидального напряжения	12
Математические расчеты	13
Моделирование и результаты	14
Перечень элементов	28
Анализ полученных результатов	30
Перечень используемых источников	31
Отзыв руководителя	33

Список терминов и сокращений

ВЧ трансформатор – Высокочастотный трансформатор

НЧ трансформатор – Низкочастотный трансформатор

ИВЭП – Источник вторичного электропитания

БВН – Блок вспомогательного напряжения

ДВН – Датчик выходного напряжения

СУЗ – Схема управления и защиты

ДТ – Датчик тока

ИОСН – Источник опорного синусоидального напряжения

РНП– Регулятор напряжения питания

РИУ – Регулятор импульсного управления

УСР – Усилитель сигнала рассогласования

ОС – Обратная связь

Введение

Возрастающие требования к функциональным возможностям, экономичности и надежности летательных аппаратов диктуют необходимость разработки и внедрения автоматизированных бортовых комплексов, использующих новейшие достижения силовой электроники и микроэлектроники. В области авиационного электрооборудования - это системы, основанные на преобразовании и распределении электрической энергии с помощью полупроводниковых ключей. В составе таких комплексов важное место отводится инверторам.

Инвертор – Один из видов ИВЭП. Устройство для преобразования постоянного напряжения в выходное переменное. При построении инвертора в приоритете повышение КПД и уменьшение потерь.

Требования к инвертору:

- Инвертор должен иметь высокий КПД
- Инвертор должен уменьшать потери
- Инвертор должен обладать высокой надежностью
- Инвертор должен обладать приемлемыми массо-габаритными характеристиками
- Инвертор должен иметь допустимое значение коэффициентов гармоник

Классификация инверторов:

1. Однофазные:
 - С гальванической развязкой:
 - С ВЧ трансформатором
 - С НЧ трансформатором
 - Без гальванической развязки
2. Трехфазные
3. С управлением по напряжению
4. С управлением по току
5. С ШИМ регулированием
6. С РИМ регулированием
7. С аналого-цифровым управлением
8. С микроконтроллерным управлением
9. Одноуровневые
10. Многоуровневые
11. Транзисторные
12. Терристорные

Выбор зависит от конкретных исходных данных и требований. Каждый из перечисленных типов инверторов имеет свои “плюсы” и “минусы”.

Исходя из технических требований, так как в приоритете работы инвертора повышение КПД и снижение потерь, сделан инвертор в ключевом режиме с импульсным методом преобразования.

В процессе создания пришлось использовать сглаживающие силовые фильтры ФНЧ. Благодаря им удалось пропустить первую гармонику, а остальные профильтровать (подавить).

Разработка структурной схемы однофазного транзисторного инвертора с гальванической развязкой

Исходные данные:

- $U_{BX} = 27 \text{ В} (18 \text{ В}_{\min}-36 \text{ В}_{\max})$
- $U_{ВЫХ} = 36 \text{ В} \pm 2\%$
- $P_{нагр} = 250 \text{ Вт}$
- $\cos\varphi \geq 0,8$
- $U_{ВЫХ \text{ пост}} \leq 0,5\%$
- Ограничение аварийных и переходных токов $P_{H_{\max}} = 1,5 * P_{нагр}$
- Коэффициент гармоник $K_g \leq 7\%$

Алгоритм работы структурной схемы и особенности ее построения

Для переключения ключей СТК используется второй импульсный режим. Ключи включаются по диагонали одновременно и синфазно. Такой алгоритм работы структурной схемы обеспечивает простую схему управления и низкую частоту переключения, что позволяет использовать маленький радиатор и тем самым уменьшить массу устройства.

Фильтр разбит на 2 части. В СТК находится дроссель L , т.к. там большой ток, а перед нагрузкой находится конденсатор C , т.к. там большое напряжение. L фильтра – двухобмоточная.

Структурная схема инвертора

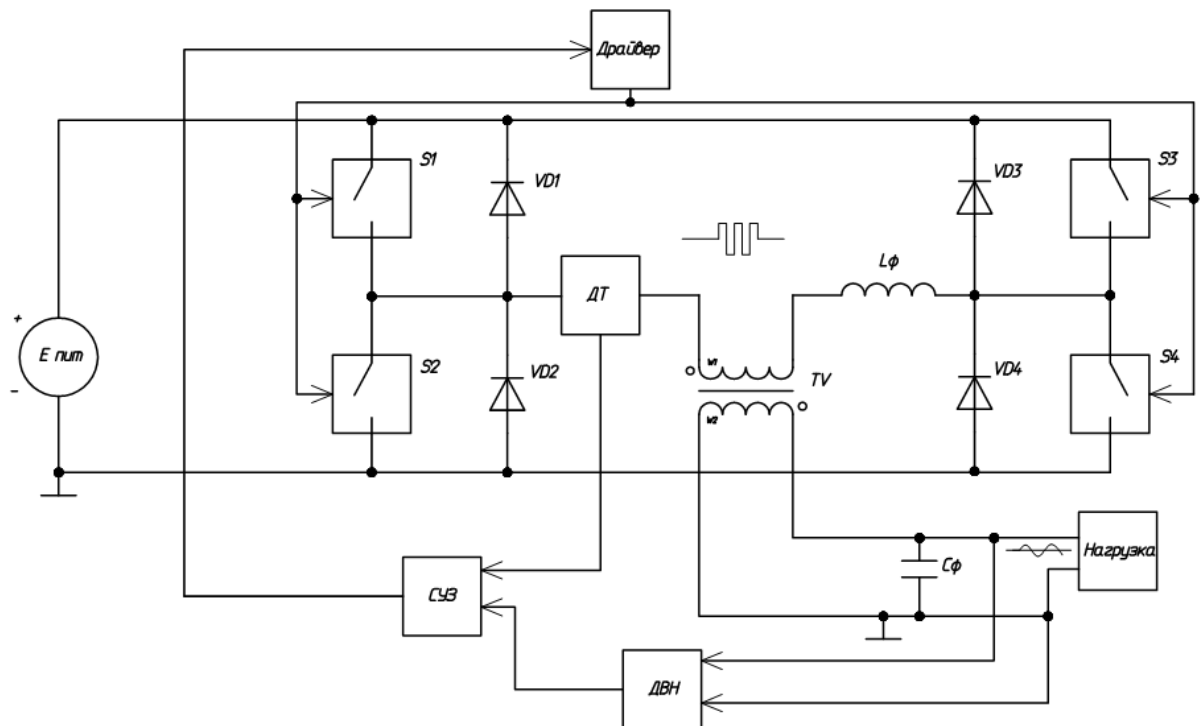


Рисунок 1 – Структурная схема инвертора

Где :

СУЗ – Схема управления и защиты;

ДВН – Датчик выходного напряжения;

ДТ – Датчик тока.

Разработка функциональной схемы силового каскада

В схеме СТК используются драйверы, которые не требуют подпитки от БВН, это позволяет уменьшить массу устройства.

Из нескольких видов датчиков тока:

- Резистивный
- На эффекте Холла (отечественных датчиков нет)
- Трансформаторный

был выбран последний.

Внутри МДП транзисторов присутствуют паразитные диоды, благодаря им можно обойти без обратных диодов. Но т.к. их параметры плохие, они могут привести к ЭМС и большим потерям. Следовательно, было принято решение поставить диоды шотки. При закрытии транзистора, тока из катушки индуктивности пойдет по пути наименьшего сопротивления через диоды шотки.

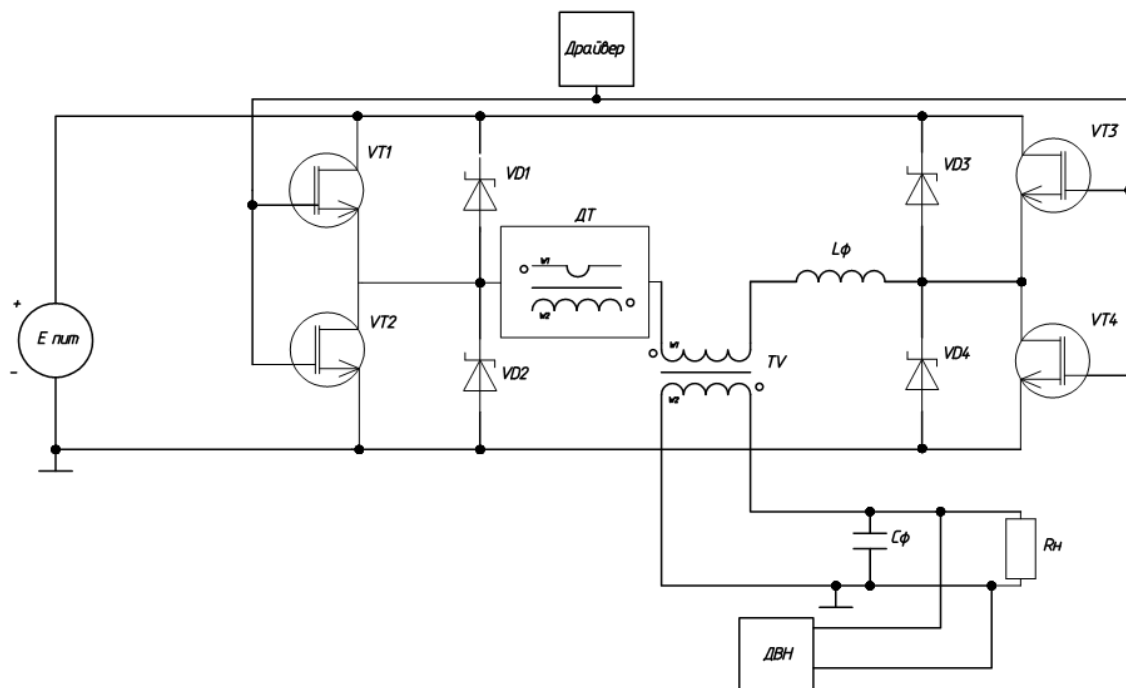


Рисунок 2 – Функциональная схема СТК

Разработка структурной схемы СУЗ

Существует множество способов построения схемы управления и защиты. В данной курсовой работе был выбран: СУЗ с релейно-импульсной модуляцией и ограничением по току.

Элементы схемы:

- Сумматор (создает рассогласование напряжения между опорой и синусом)
- Ограничитель напряжения (ограничивает напряжение от -1 до +1)
- Релле (переключает транзисторы)
- ИНСН (дает опорное синусоидальное напряжение)
- ДВН (датчик входного напряжения)
- ДТ (датчик тока)
- УСР (усиливает сигнал рассогласования)
- РНП (регулирует напряжения питания)
- РИУ (регулирует импульсное управление)

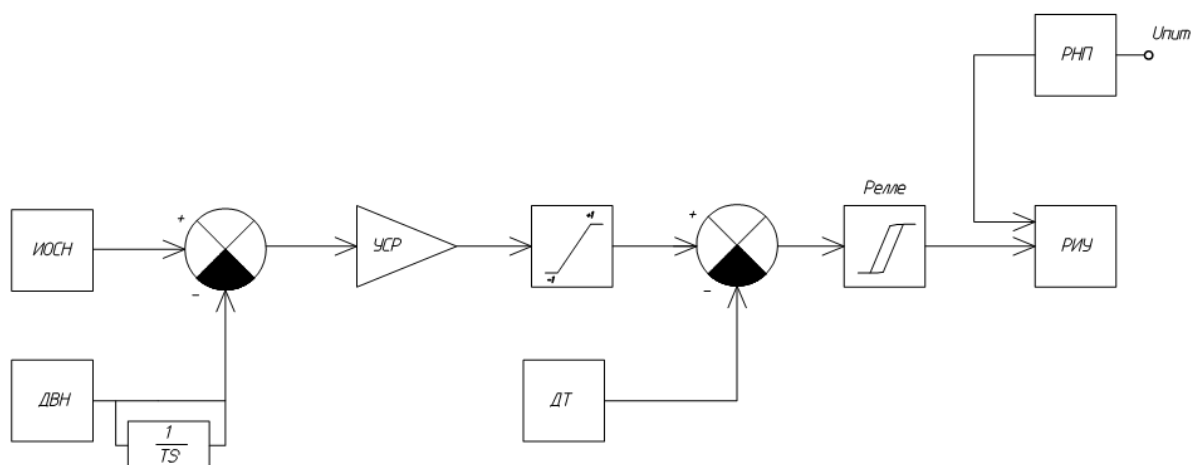


Рисунок 3 – Структурная схема СУЗ

Построение источника опорного синусоидального напряжения

Есть несколько способов получения ИОСН:

- Однополярный микроконтроллер + схема для второй полярности
- Мультивибратор + фильтр
- Синусный генератор

Был выбран последний вариант.

Из-за того, что ВАХ диода очень зависит от температуры, для схемы выбраны прецизионные и термостабильные диоды.

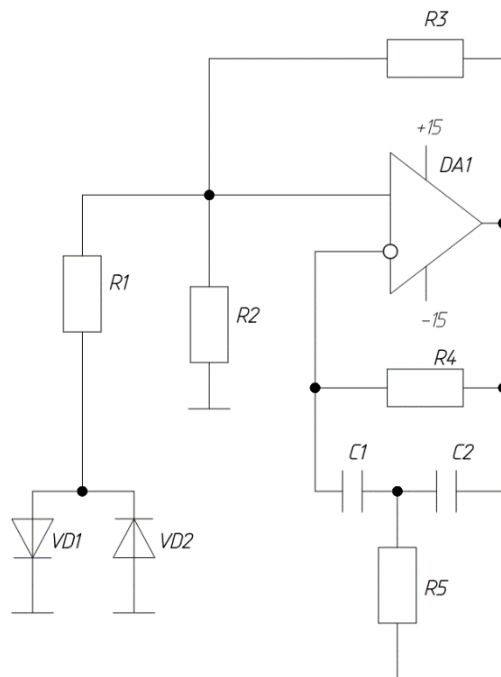


Рисунок 4 – Схема ИОСН

Математические расчеты

Расчет датчика тока

$$I := \frac{375}{18} = 20.833 \text{ А}$$

$$\frac{I}{0.8} = 26.042 \text{ округляем до } 30 \text{ А}$$

$$I_{\text{ДТ}} := 30 \text{ А} = \text{току защиты}$$

Расчет индуктивности ДТ

$$L1 := 5 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$$

$$W2 := 1000 \text{ Количество витков второй обмотки}$$

$$W1 := 1$$

$$\frac{L1}{\left(\frac{W1}{W2}\right)^2} = 5 \text{ Гн}$$

Расчет сопротивления нагрузки

$$P_{\text{ВЫХ}} := 250 \text{ Вт}$$

$$U_{\text{ВЫХ}} := 50 \text{ В}$$

$$I_{\text{Н}} := \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВЫХ}}} = 5 \text{ А}$$

$$R_{\text{Н}} := \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{Н}}} = 10 \text{ Ом}$$

Расчет R и C для ИОСН

$$f := 400 \text{ Гц}$$

$$\omega := 2 \cdot \pi \cdot f = 2.513 \times 10^3$$

$$T_{\text{П}} := \frac{1}{\omega} = 3.979 \times 10^{-4}$$

$$\text{Задаем } C = 33 \text{ нФ}$$

$$C_{\text{ИОСН}} := 33 \cdot 10^{-9} \text{ нФ}$$

$$R_{\text{ИОСН}} := \frac{T_{\text{П}}}{C_{\text{ИОСН}}} = 1.206 \times 10^4 \text{ Ом} = 12.063 \text{ кОм}$$

Моделирование и результаты

В среде Pspice OrCAD была создана модель синусоидального опорного напряжения.

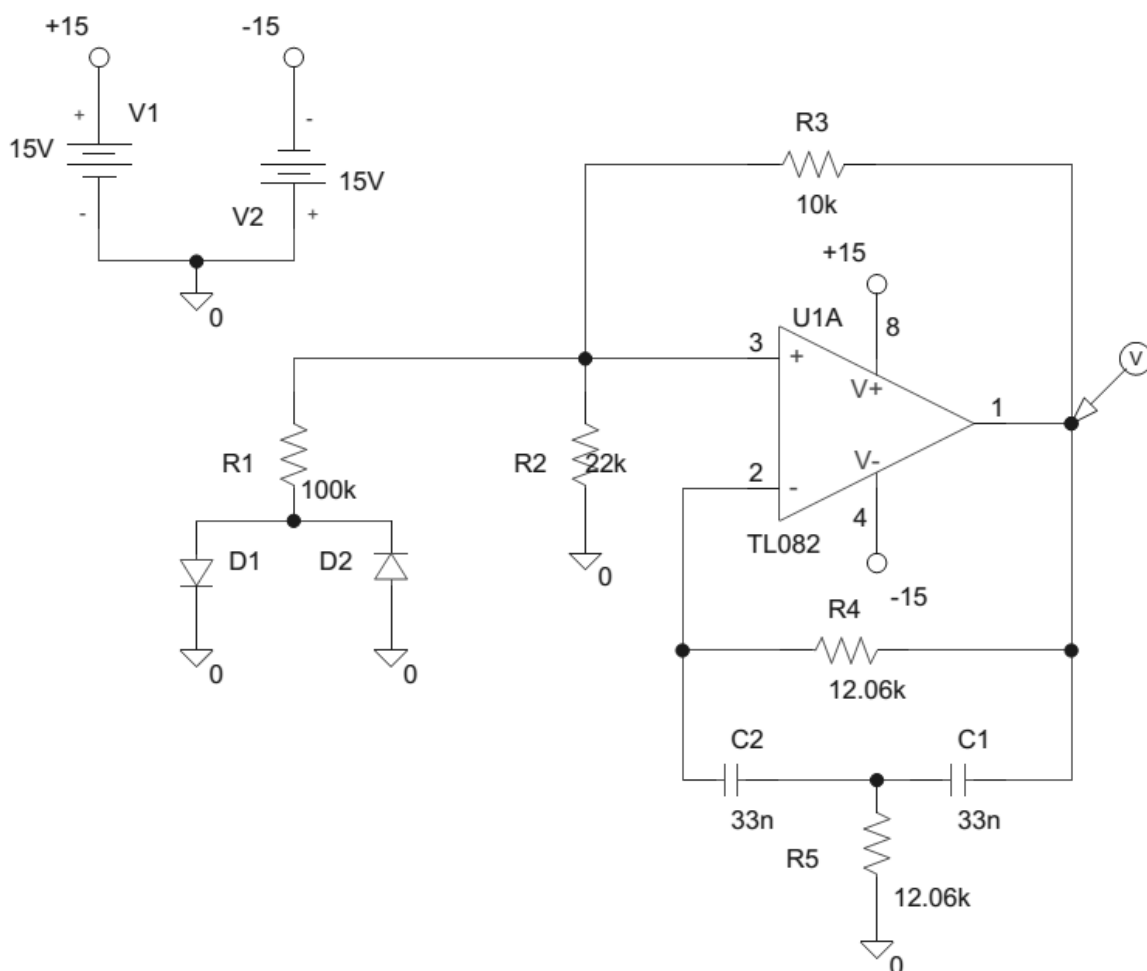


Рисунок 5 – Схема Pspice источника опорного синусоидального напряжения

ИОСН выполнен как звено с незатухающими синусными колебаниями. Переходные процессы в RC цепочке (R4,C2,C1) образуют синус. При значении коэффициента > 1 , колебания будут нарастать, при значении < 1 колебания будут затухать. По этой причине к схеме была пристроена обратная связь. Положительная обратная связь позволяет замкнутой системе работать в режиме генератора. Рассчитанные значения элементов (R1, R2, R3) в ОС умножают коэффициент на $2/3$, что и позволяет получить незатухающие колебания.

Результат моделирования указан на следующем рисунке.

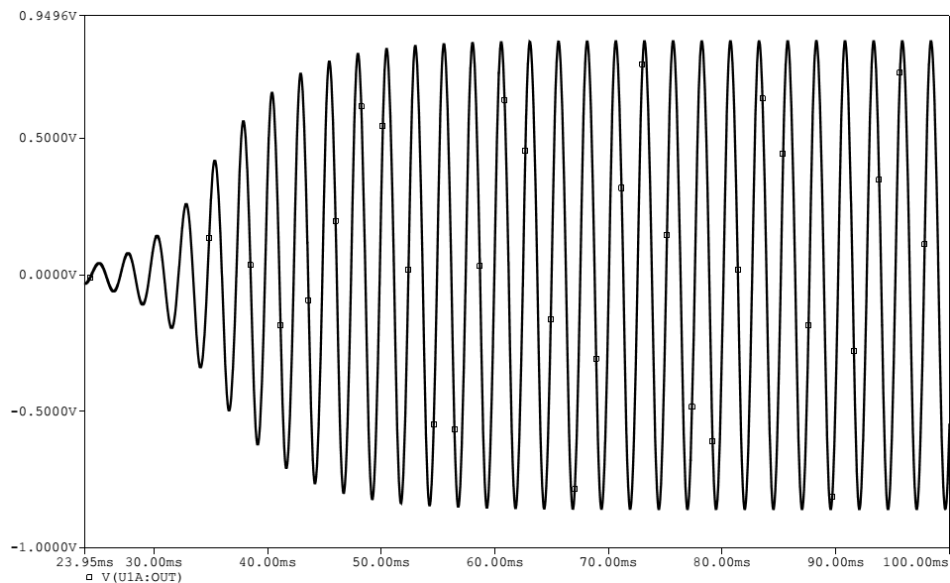


Рисунок 6 – Результаты моделирования блока ИОСН. Опорный синус.

К сожалению, чтобы избежать проблемы конвергенции программы, в дальнейших схемах данный блок будет заменен элементом VSin.

Так же был промоделирован блок ограничения напряжения.

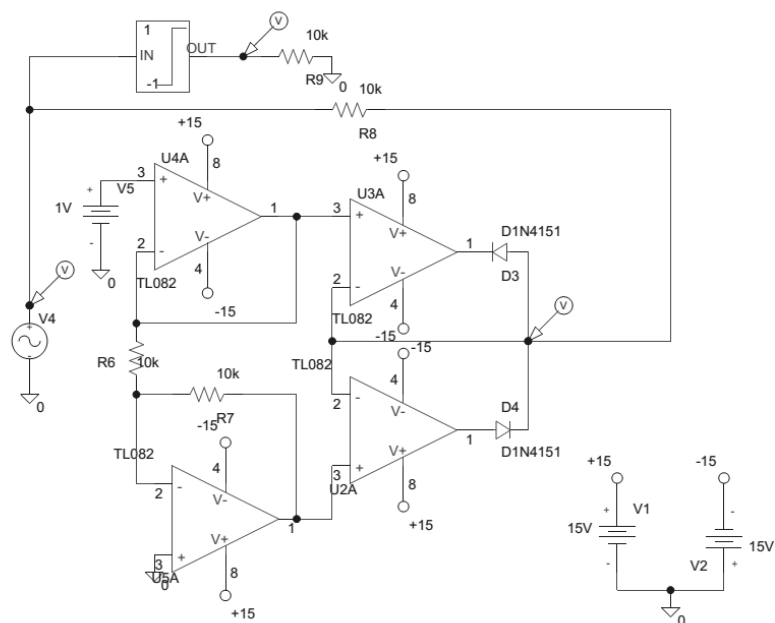


Рисунок 7 – Блок ограничения напряжения.

В данной схеме, микросхемы U4A и U5A создают уровни напряжения +1В и -1В. Они поступают на положительные входы микросхем U3A и U2A, на инверсные входы которых приходит синусоидальный сигнал с элемента VPULSE. При ограничении синусоидального сигнала уровнями “+1В” и “-1В”, получается прямоугольный сигнал, показанный на рисунке 8.

Элемент Limit на представленной схеме выполняет роль проверки. Чтобы сравнить эффективность построенной схемы с готовым элементом. Результаты предоставлены ниже.

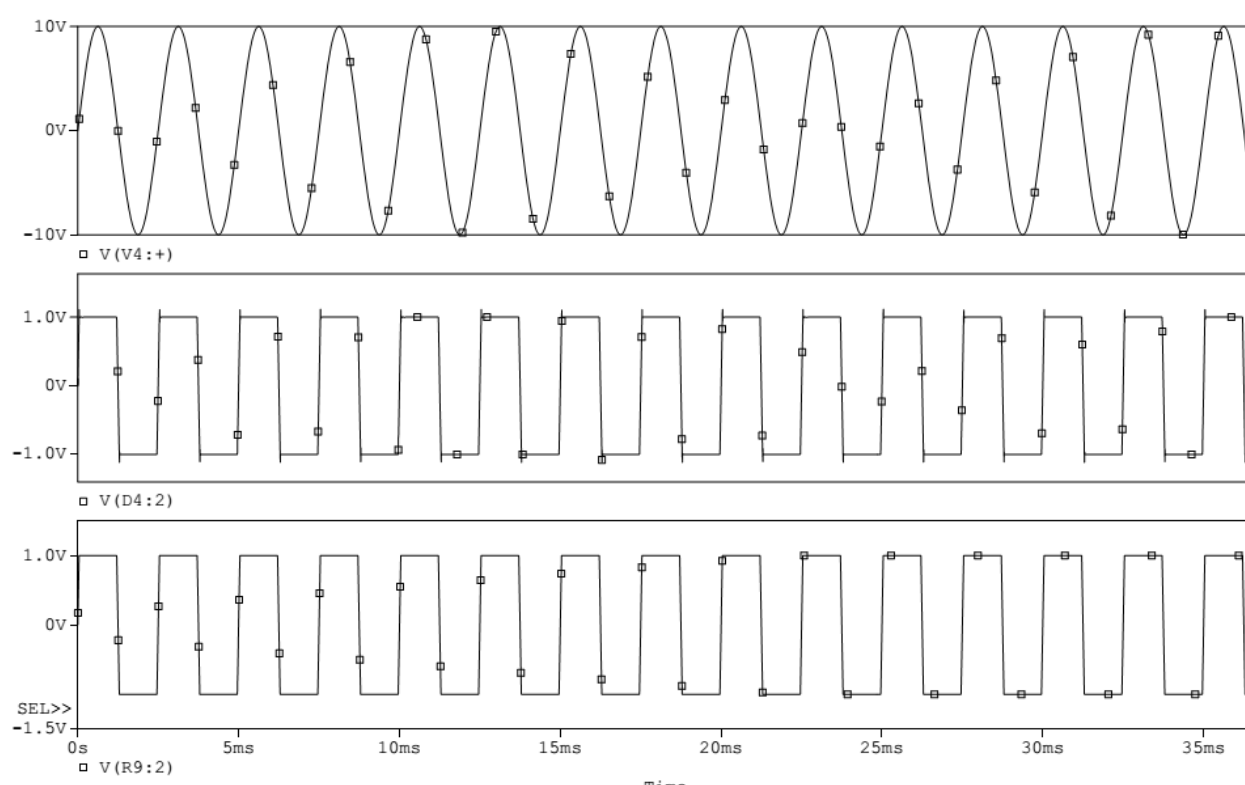


Рисунок 8 – Результаты моделирования блока ограничения напряжения

На первом графике представлен исходный синус, на втором графике результат ограничения схемой, а на третьем результат ограничения готовым элементом.

Схема работает исправно. Но чтобы исключить появление конвергенции в программе, в дальнейших схемах будет использоваться элемент Limit.

- Передача сигнала.
- Передача энергии самоподпитки.

В левой части модели трансформаторного драйвера находится его схема управления, замененная элементом VPULSE. Ток из нее поступает на первичную обмотку трансформатора L6 и не меняясь переносится на вторичную обмотку L7. Сигнал следуя от точки “+” катушки L7 открывает силовой транзистор M5. В момент, когда транзистор CTK будет закрыт, открывается транзистор M7 и ток возвращается через открытый транзистор M6 на точку “-” катушки L7.

17

Результаты работы драйвера показаны ниже.

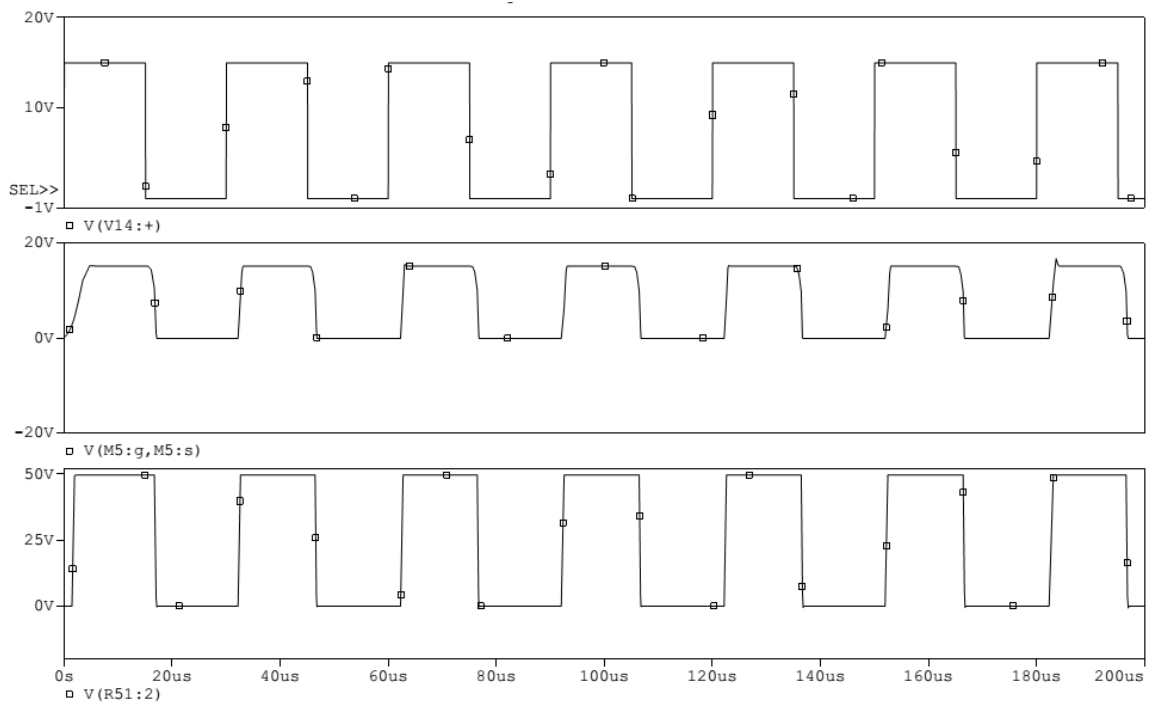


Рисунок 10 - Результаты моделирования схемы драйвера без схемы упр.

На первом графике сигналы элемента VPULSE, на втором графике напряжение на силовом транзисторе, на третьем графике напряжение на нагрузке.

Следующим шагом была сделана схема управления драйвером.

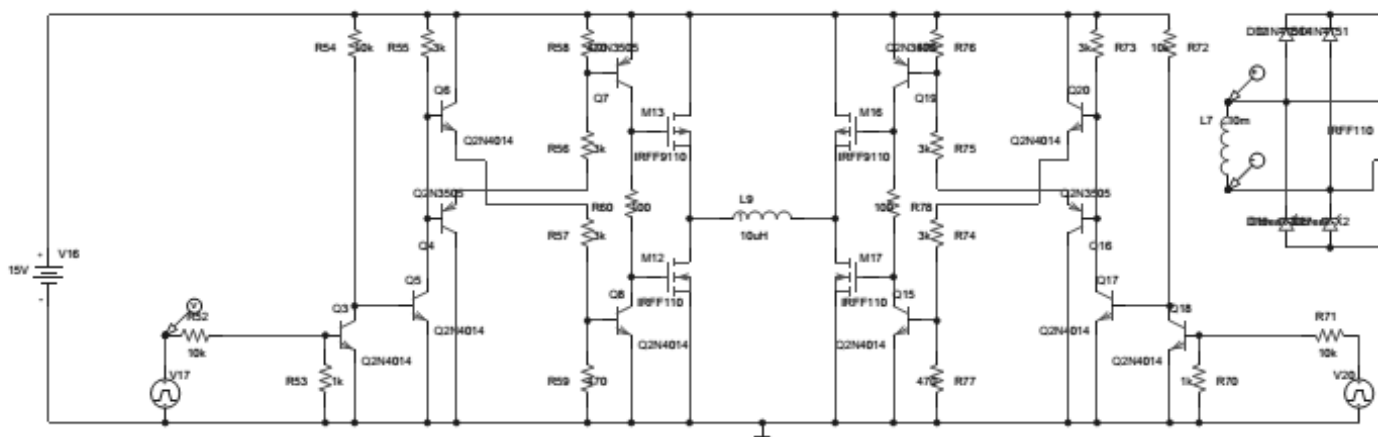


Рисунок 11 – Схема драйвера со схемой управления

Результаты моделирования со схемой управления показаны ниже.

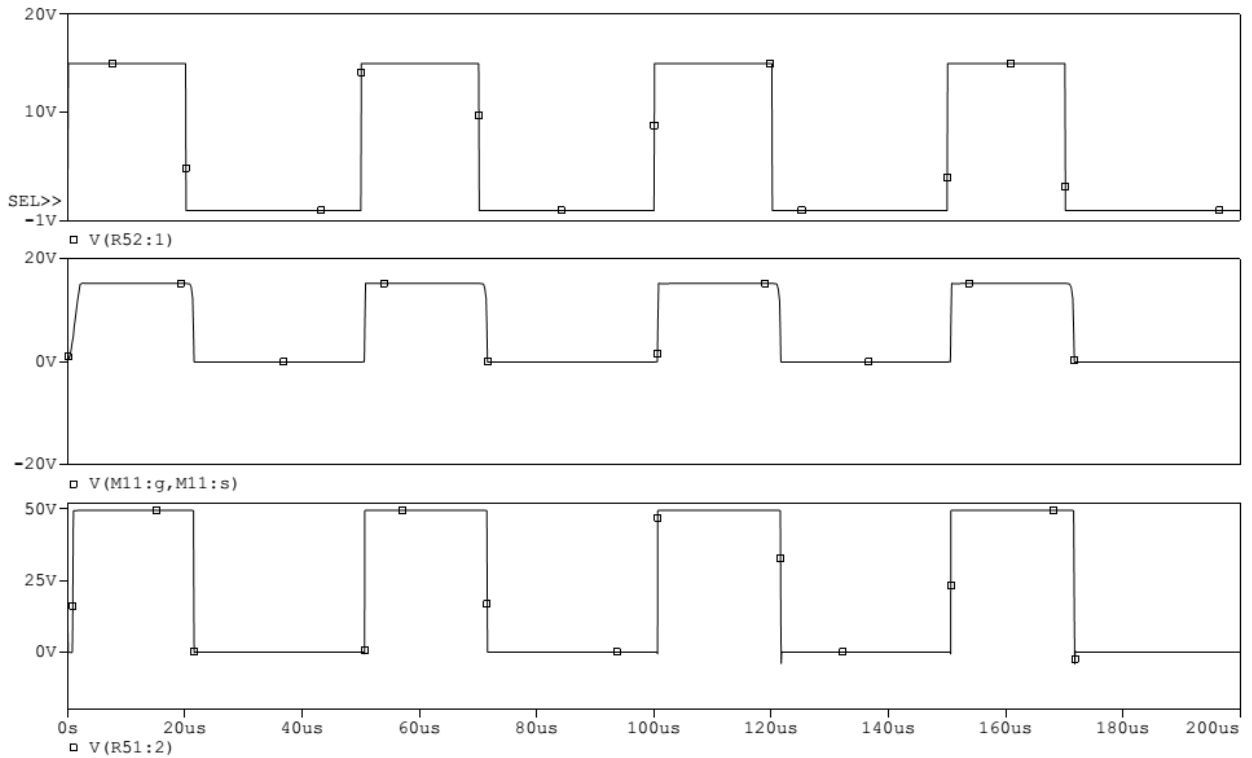


Рисунок 12 – Результаты моделирования схемы драйвера со схемой управления.

На первом графике сигналы элемента VPULSE, на втором графике напряжение на силовом транзисторе, на третьем графике напряжение на нагрузке. В общей модели, для исключения конвергенции, вместо данной схемы используется элемент E.

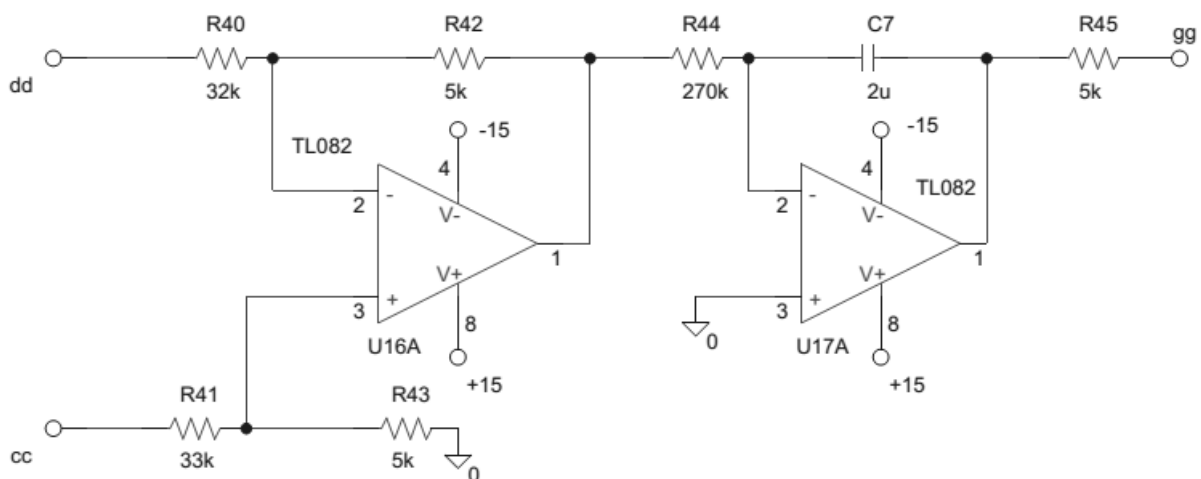


Рисунок 13 – Модель интегратора.

Для защиты устройства от аварийных переходных токов и токов КЗ, в дополнению к датчику тока была построена модель узла ограничения токов.

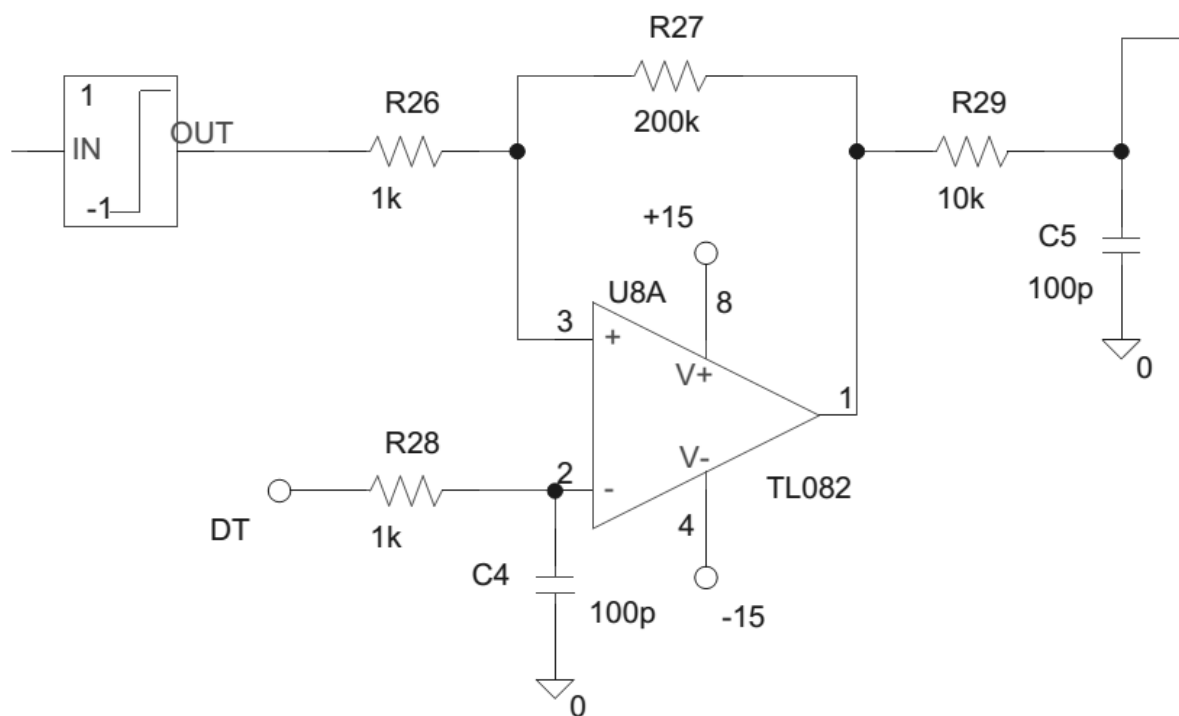


Рисунок 14 – Схема ограничения тока

Результаты ограничения тока показаны ниже.

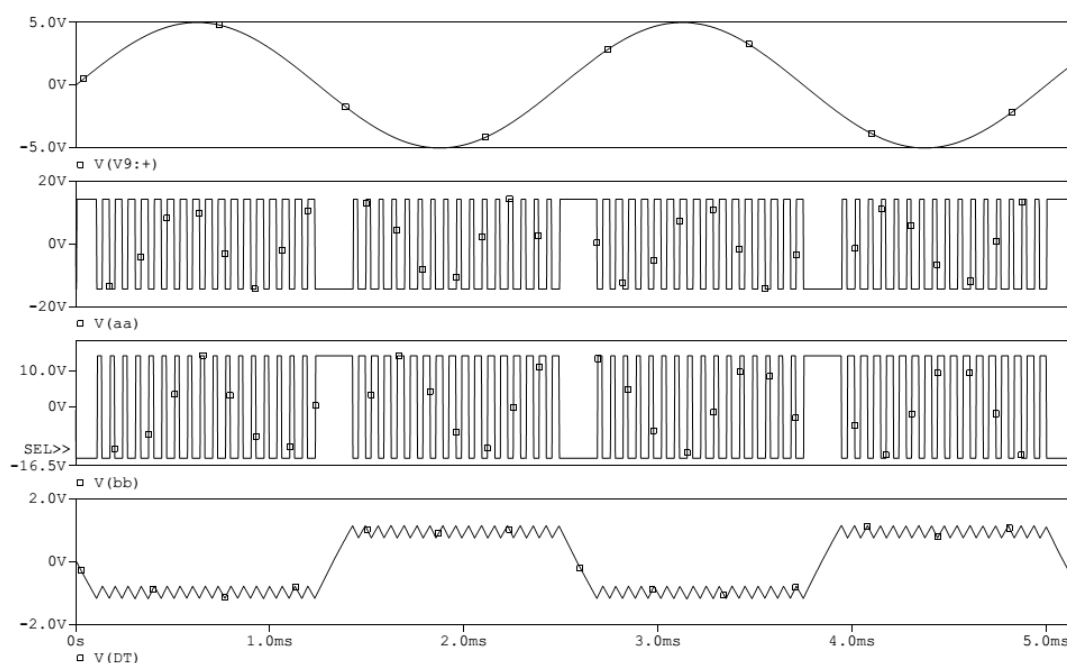


Рисунок 15 – Результаты моделирования схемы ограничения тока

На первом графике показан опорный синус, на втором и третьем сигналы управления диагоналями СТК (а и б). На 4 графике показан результат работы ограничителя тока.

Отдельно от общей схемы был собран и БРНП.

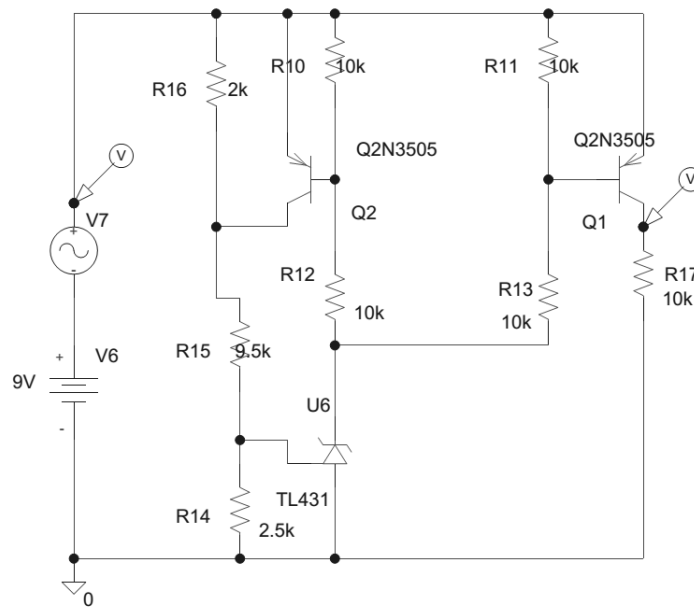


Рисунок 16 – Модель блока БРНП.

Результаты моделирования этого блока показаны ниже.

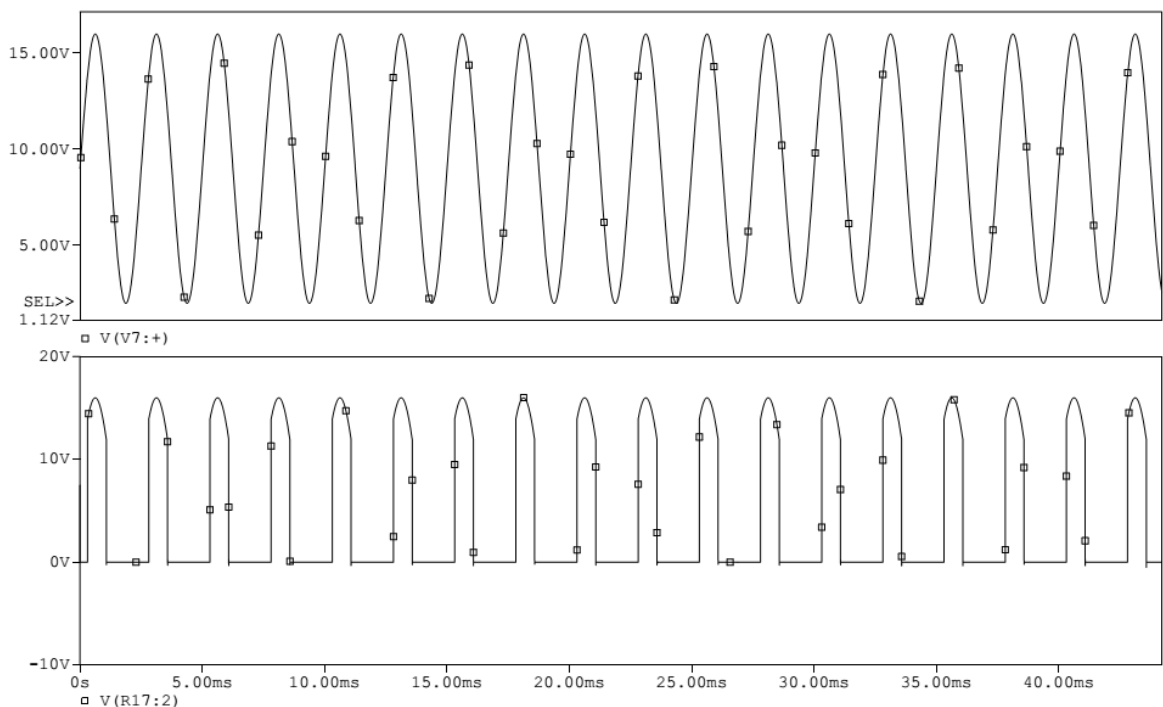


Рисунок 17 – Результаты моделирования блока БРНП.

На первой диаграмме – синус поступающий на Блок релле, на второй диаграмме сигналы, которые пропускаются блоком.

Все выше перечисленные блоки и схемы входят в состав схемы управления СТК, показанной ниже.

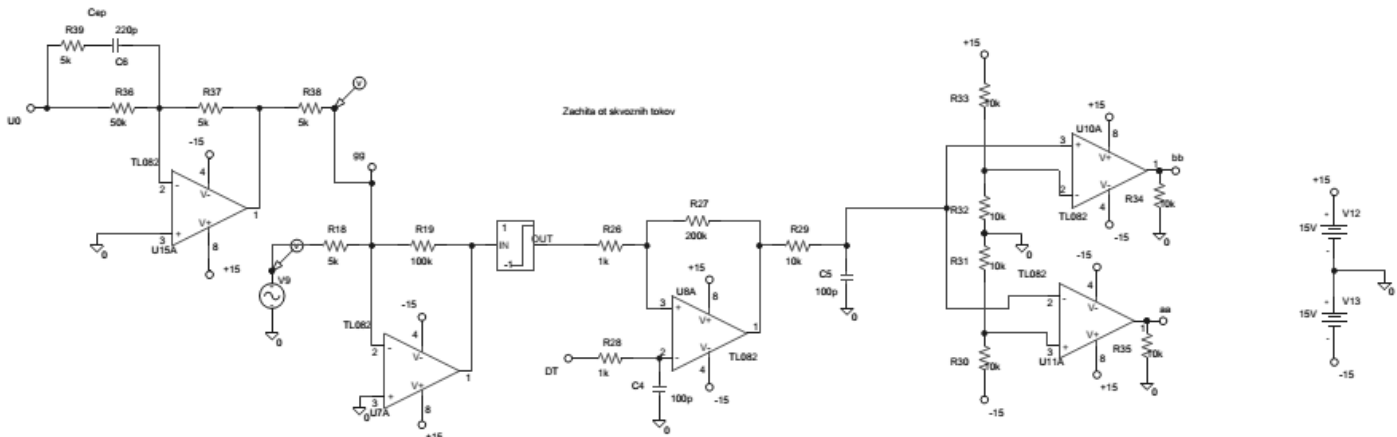


Рисунок 18 – Полная модель схемы СУЗ.

Схема самого силового транзисторного каскада показана на следующем рисунке.

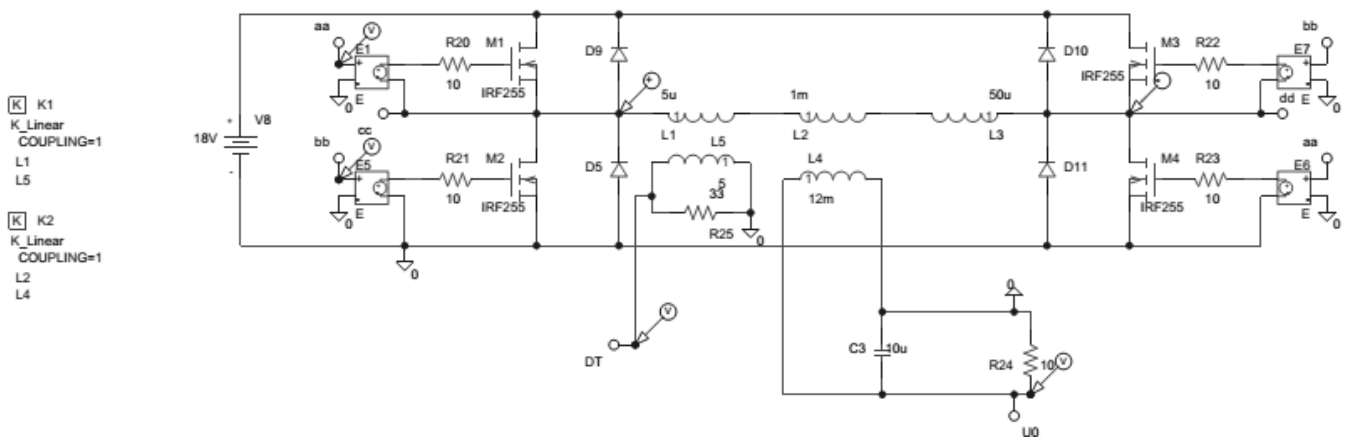


Рисунок 19 – Модель СТК

СТК работает во втором импульсном режиме. Ключи включаются по диагоналям одновременно и синфазно. При открытии транзисторов, ток идет на трансформаторный датчик тока, повышающий трансформатор (ведущий к нагрузке) и сглаживающий фильтр. При закрытии транзисторов, ток из катушки пойдет по пути наименьшего сопротивления через диоды шоттки.

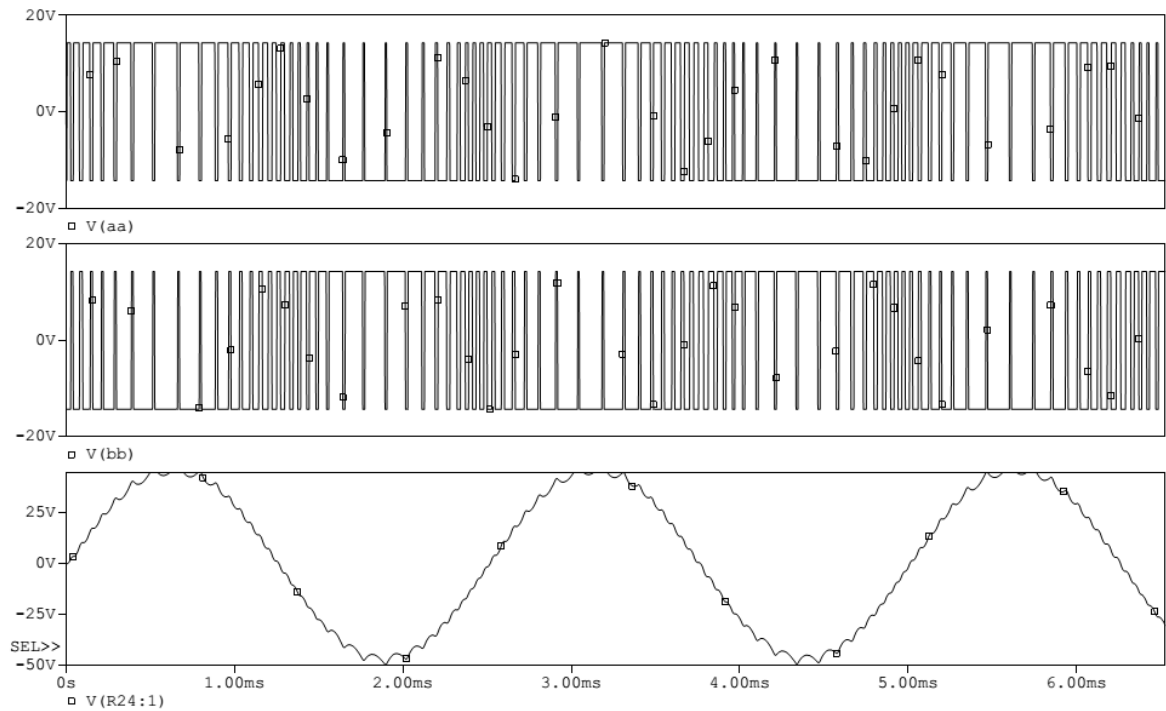


Рисунок 20 – Результаты моделирования схемы СТК.

Где первые два графика – сигналы управления диагоналями, а третий график – напряжение на нагрузке.

Для проверки стабильности напряжения на выходе, схема инвертора была промоделирована сначала с изменяющимся напряжением питания при неизменном сопротивлении нагрузки, а потом с меняющимся изменением нагрузки при неизменном напряжении питания.

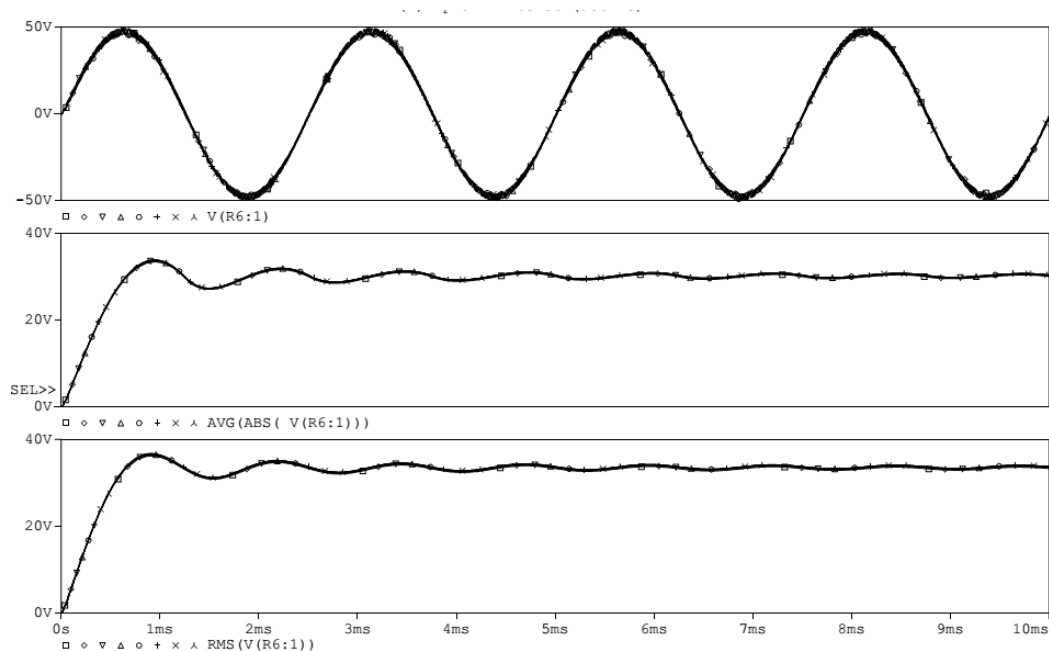


Рисунок 21 – Результаты моделирования устройства при $E_p = \text{var}$, $R_n = \text{const}$.

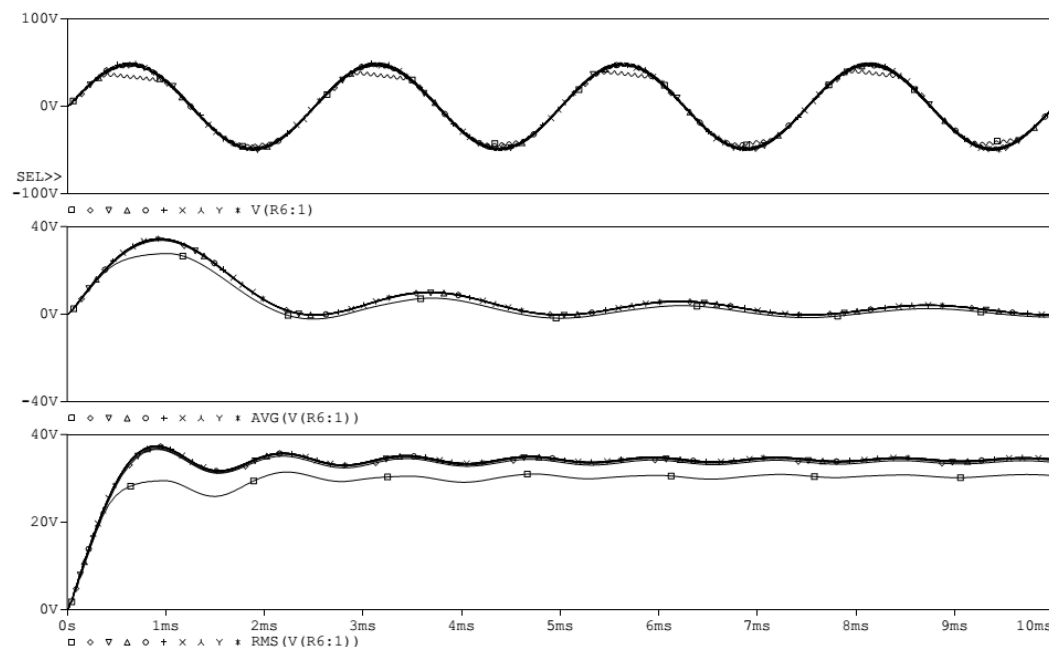
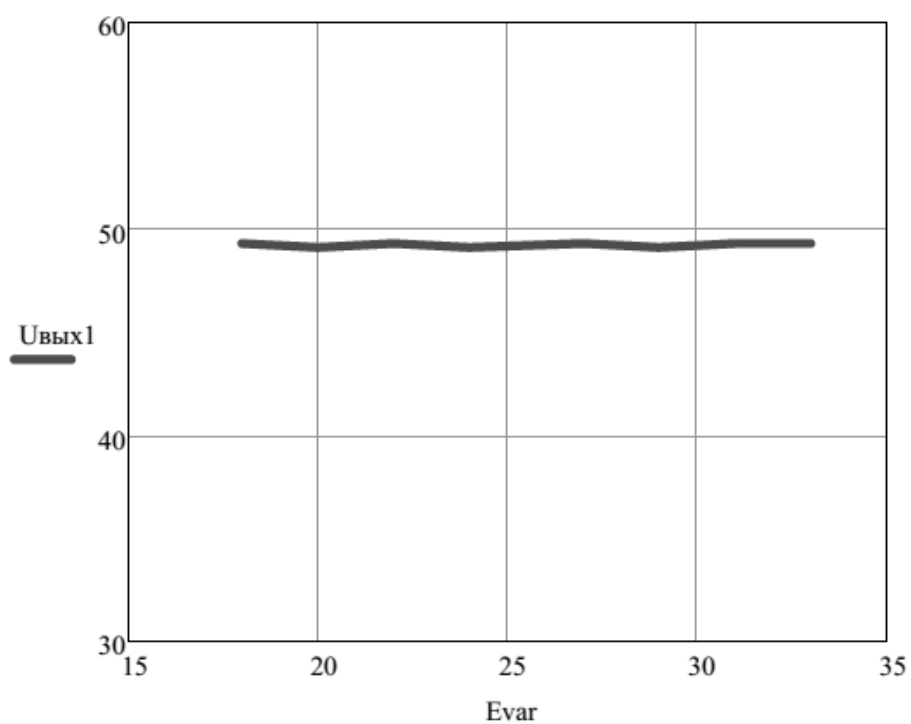


Рисунок 22 – Результаты моделирования устройства при $E_p = \text{const}$, $R_n = \text{var}$.

Для наглядности результата, были построены графики в среде MathCAD.

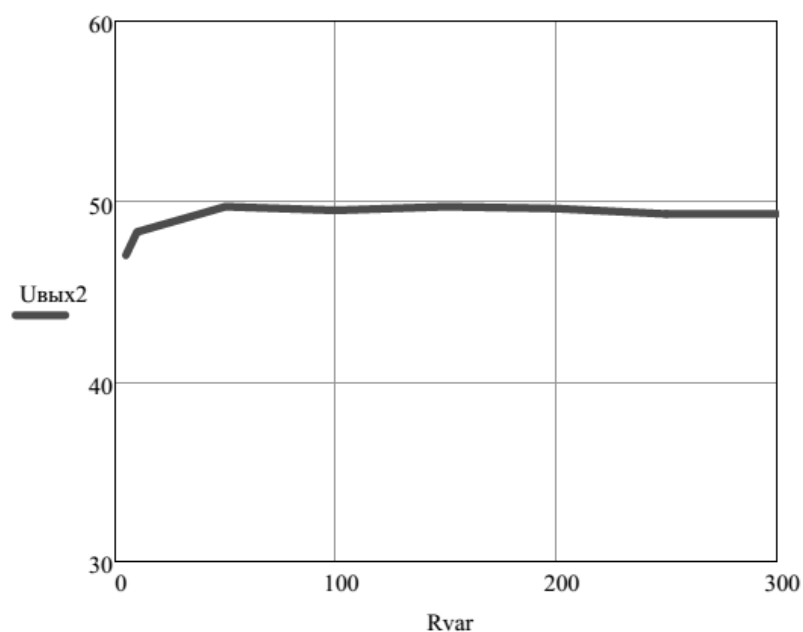
В случае, когда напряжение питания меняется, а сопротивление нагрузки остается неизменным = 10 ом.

$$U_{\text{вых1}} := \begin{pmatrix} 49.3 \\ 49.1 \\ 49.3 \\ 49.1 \\ 49.3 \\ 49.1 \\ 49.3 \\ 49.3 \end{pmatrix} \quad E_{\text{var}} := \begin{pmatrix} 18 \\ 20 \\ 22 \\ 24 \\ 27 \\ 29 \\ 31 \\ 33 \end{pmatrix}$$



В случае, когда сопротивление нагрузки меняется, а напряжение питания остается неизменным = 27 В.

$$U_{\text{вых2}} := \begin{pmatrix} 47 \\ 48.3 \\ 49.7 \\ 49.5 \\ 49.7 \\ 49.6 \\ 49.3 \\ 49.3 \end{pmatrix} \quad R_{\text{var}} := \begin{pmatrix} 5 \\ 10 \\ 50 \\ 100 \\ 150 \\ 200 \\ 250 \\ 300 \end{pmatrix}$$



В обоих случаях коэф. гармоника не превышал 5%.

Перечень элементов

Анализ полученных результатов

В результате проделанной работы, все поставленные задачи по разработке инвертора успешно выполнены.

- 1) Разработана структурная схема инвертора;
- 2) Разработан силовой каскад инвертора;
- 3) Разработана схема управления и защиты инвертора;
- 4) Разработан источник опорного синусоидального напряжения;
- 5) Проведен электрический расчет принципиальных электрических схем функциональных узлов инвертора;
- 6) Разработана компьютерная модель в среде Pspice;
- 7) Проведено имитационное компьютерное моделирование процессов в инверторе в номинальных, аварийных и переходных режимах;
- 8) С помощью имитационной компьютерной модели показана работоспособность устройства;
- 9) Представлены временные диаграммы электро-магнитных процессов, полученные с помощью моделирования.

Перечень используемых источников

- 1) Моин В.С Стабилизированные транзисторные преобразователи, 1986г.
- 2) Источники электропитания радиоэлектронной и другой аппаратуры:
Справочник под редакцией Т.С. Найтвельта, 1985г.
- 3) Четти. П. Проектирование ключевых источников электропитания:
Перевод с англ.: Энергоатомиздат 1990г.
- 4) Источники вторичного электропитания (Под редакцией Ю.И. Конева.
Радио и связь 1983г.)
- 5) Высокочастотные трансформаторные преобразователи Э.М. Ромаш,
Ю.И. Драбович, Н.Н. Юрченко, П.Н. Шевченко. Радио и связь 1988г.
- 6) Ромаш Э.М. Источники вторичного электропитания радиоэлектронной
аппаратуры. Радио и связь 1981г.
- 7) Севернс Р., Блум Т. Импульсные преобразователи постоянного
напряжения для систем вторичного электропитания. Перевод с англ.
Под редакцией Л.Е. Смольникова 1988г.
- 8) Аморфные магнитомягкие сплавы и их применение в источниках
вторичного электропитания. Справочное пособие под редакцией В.И.
Хандогина 1990г.
- 9) Оксмер Э.С. Мощные полевые транзисторы и их применение. Радио и
связь 1985г.
- 10) Проектирование источников электропитания электронной
аппаратуры. Учебное пособие под редакцией В.А. Шахмова 4-е
издание переработанное и дополненное 2016г.
- 11) Резисторы (справочник) под редакцией И.И. Четверткова 1981г.
- 12) Схемотехника устройств на мощных полевых транзисторах.
Справочник под редакцией В.П. Двяконова 1994г.
- 13) Микросхемы для линейных источников питания и их применение
ДОДЭКА 1996г.

- 14) Микросхемы для импульсных источников питания и их применение ДОДЭКА 1997г.
- 15) Лекции по курсу "Статические преобразователи энергии систем электроснабжения летательных аппаратов".
- 16) Основы радиоинженерной деятельности Дашкова А.К
- 17) Проектирование электрооборудования объектов гражданского назначения Макаренко С.И.
- 18) Аспекты проектирования электронных схем А.Ч. Моисейкин
- 19) Переходные процессы в линейных электрических цепях Мякишев В.М.
- 20) Радиотехника от истоков до наших дней Каганов В.И.
- 21) Силовая электроника, силовые полупроводниковые преобразователи Онищенко Г.Б.
- 22) <http://meandr.org> - ссылка на транзисторы
- 23) <http://chipinfo.pro/element> - ссылка на резисторы и диоды.

Отзыв руководителя