

Московский Государственный Технический Университет
имени Н.Э.Баумана

ШИМ – контроллеры в импульсных источниках питания

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по курсу «Электроника и схемотехника»

Лабораторная работа №2. «ШИМ – контроллеры в импульсных источниках питания»

Цель работы – Исследование принципов применения широтно-импульсной модуляции в современных блоках питания ПЭВМ.

Краткие сведения по ШИМ-контроллеру

1. ШИМ – КОНТРОЛЛЕР TL494

Микросхема TL494 - это - ШИМ-контроллер с фиксированной частотой, предназначенный преимущественно для применения в импульсных блоках питания (ИБП), и содержащий следующие устройства:

- генератор пилообразного напряжения (ГПН);
- усилители ошибки;
- источник эталонного (опорного) напряжения +5 В;
- схема регулировки «мертвого времени»;
- выходные транзисторные ключи на ток до 500 мА;
- схема выбора одно- или двухтактного режима работы.

Предельные параметры:

- Напряжение питания: 42 В.
- Напряжение на коллекторе выходного транзистора: 42 В.
- Ток коллектора выходного транзистора: 500 мА.
- Диапазон входного напряжения усилителя: от - 0,3 В до +42 В.
- Рассеиваемая мощность (при $t < 45\text{ }^{\circ}\text{C}$): 1000 мВт.
- Диапазон температур хранения: от -55 до +125 $^{\circ}\text{C}$.
- Диапазон рабочих температур окружающей среды: от 0 до +70 $^{\circ}\text{C}$.

Задачей данной микросхемы является широтно-импульсная модуляция (ШИМ) импульсов напряжения, вырабатываемых внутри как регулируемых, так и нерегулируемых ИБП. В импульсных блоках питания диапазон длительности импульсов, как правило, достигает максимально возможной величины (~ 48% для каждого выхода в двухтактных схемах, широко используемых для питания различных устройств).

Микросхема TL494 имеет в общей сложности 6 выводов для выходных сигналов, 4 из них (1, 2, 15, 16) являются входами внутренних усилителей ошибки, используемых для защиты ИБП от токовых и потенциальных перегрузок. Контакт № 4 – это вход сигнала от 0 до 3 В для регулировки скважности выходных прямоугольных импульсов, а № 3 является выходом компаратора и может быть использован несколькими способами. Еще 4 (номера 8, 9, 10, 11) представляют собой

свободные коллекторы и эмиттеры транзисторов с предельно допустимым током нагрузки 250 мА (в длительном режиме не более 200 мА). Они могут соединяться попарно (9 с 10, а 8 с 11) для управления мощными полевыми транзисторами (MOSFET-транзисторов) с предельно допустимым током 500 мА (не более 400 мА в длительном режиме).

Рассмотрим внутреннее устройство TL494. Схема ее показана на рисунке 1.

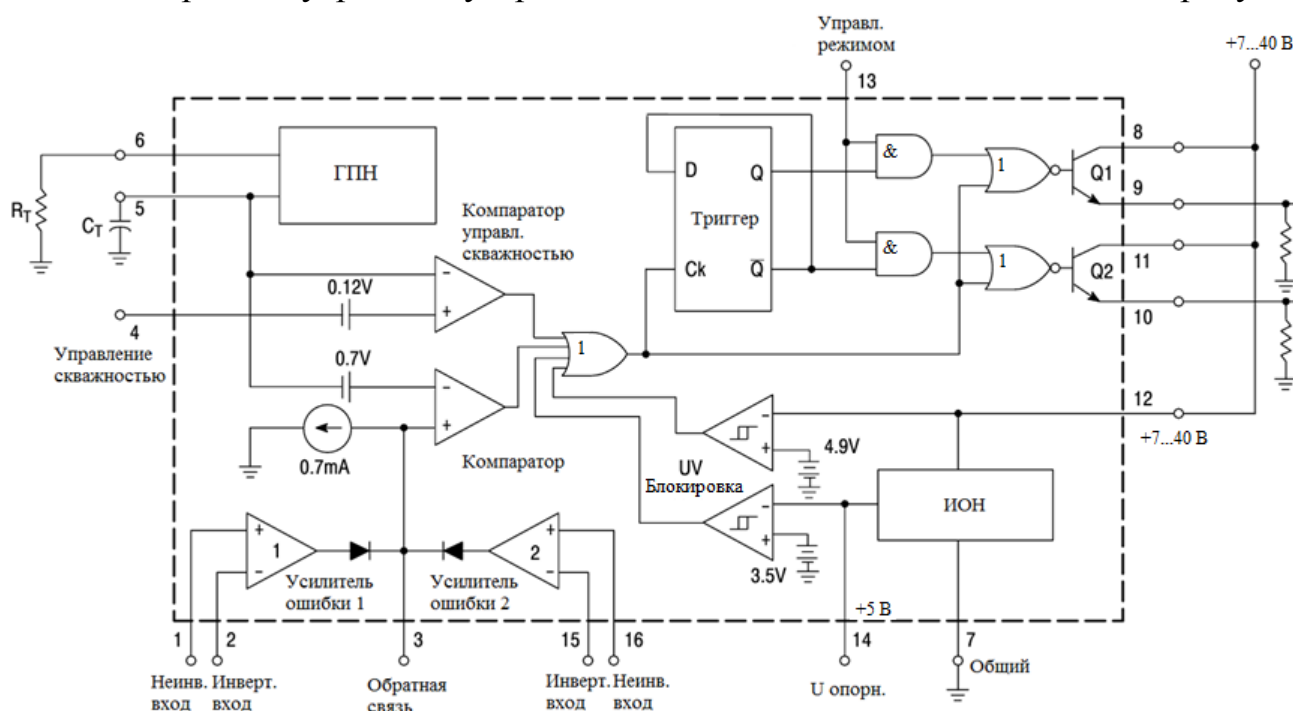


Рис.1 Схема электрическая функциональная микросхемы TL494

Микросхема имеет встроенный источник опорного напряжения (ИОН) +5 В (№ 14). Он обычно используется в качестве эталонного напряжения (с точностью $\pm 1\%$), подаваемого на входы схем, потребляющих не более 10 мА, например, на вывод 13 выбора одно- или двухтактного режима работы микросхемы: при наличии на нем +5 В выбирается второй режим, при наличии на нем минуса напряжения питания – первый.

Для настройки частоты генератора пилообразного напряжения (ГПН) используют конденсатор и резистор, подключаемые к контактам 5 и 6 соответственно. Микросхема имеет выводы для подключения плюса и минуса источника питания (номера 12 и 7 соответственно) в диапазоне от 7 до 42 В. Из схемы видно, что имеется еще ряд внутренних устройств в TL494.

Функции выводов входных сигналов:

Как и любое другое электронное устройство, рассматриваемая микросхема имеет свои входы и выходы. Мы начнем с первых. Выше уже было дан перечень этих выводов TL494.

Вывод 1

Это положительный (неинвертирующий) вход усилителя сигнала ошибки 1. Если напряжение на нем ниже, чем напряжение на выводе 2, выход усилителя ошибки 1 будет иметь низкий уровень. Если же оно будет выше, чем на контакте 2, сигнал усилителя ошибки 1 станет высоким. Выход усилителя по существу, повторяет положительный вход с использованием вывода 2 в качестве эталона. Функции усилителей ошибки будут более подробно описаны ниже.

Вывод 2

Это отрицательное (инвертирующий) вход усилителя сигнала ошибки 1. Если этот вывод выше, чем на выводе 1, выход усилителя ошибки 1 будет низким. Если же напряжение на этом выводе ниже, чем напряжение на выводе 1, выход усилителя будет высоким.

Вывод 15

Он работает точно так же, как и вывод 2. Зачастую второй усилитель ошибки не используется в TL494. Схема включения ее в этом случае содержит вывод 15 просто подключенный к 14-му (опорное напряжение +5 В).

Вывод 16

Он работает так же, как и вывод 1. Его обычно присоединяют к общему № 7, когда второй усилитель ошибки не используется. С выводом 15, подключенным к +5 В и № 16, подключенным к общему, выход второго усилителя низкий и поэтому не имеет никакого влияния на работу микросхемы.

Вывод 3

Этот контакт и каждый внутренний усилитель TL494 связаны между собой через диоды. Если сигнал на выходе какого-либо из них меняется с низкого на высокий уровень, то на № 3 он также переходит в высокий. Когда сигнал на этом выводе превышает 3,3 В, выходные импульсы выключаются (нулевая скважность). Когда напряжение на нем близко к 0 В, длительность импульса максимальна. В промежутке между 0 и 3,3 В, длительность импульса составляет от 50% до 0% (для каждого из выходов ШИМ-контроллера - на выводах 9 и 10 в большинстве устройств).

Если необходимо, контакт 3 может быть использован в качестве входного сигнала или может быть использован для обеспечения демпфирования скорости изменения ширины импульсов. Если напряжение на нем высокое ($> \sim 3,5$ В), нет никакого способа для запуска ИБП на ШИМ-контроллере (импульсы будут отсутствовать).

Вывод 4

Он управляет диапазоном скважности выходных импульсов (англ. Dead-Time Control). Если напряжение на нем близко к 0 В, микросхема будет в состоянии выдавать как минимально возможную, так и максимальную ширину импульса (что задается другими входными сигналами). Если на этот вывод подается напряжение около 1,5 В, ширина выходного импульса будет ограничена до 50% от его максимальной ширины (или $\sim 25\%$ рабочего цикла для двухтактного режима ШИМ-контроллера). Если напряжение на нем высокое ($> \sim 3,5$ В), нет никакого способа для запуска ИБП на TL494. Схема включения ее зачастую содержит № 4, подключенный напрямую к точке нулевого потенциала.

Примечание: Сигнал на выводах 3 и 4 должен быть ниже 3,3 В. Иначе схема преобразователя напряжения не будет вырабатывать импульсы, т.е. не будет выходного напряжения от ИБП.

Вывод 5

Служит для присоединения времязадающего конденсатора C_t , причем второй его контакт присоединяется к точке нулевого потенциала. Значения емкости обычно от 0,01 μF до 0,1 μF . Изменения величины этого компонента ведут к изменению частоты ГПН и выходных импульсов ШИМ-контроллера. Как правило здесь используются конденсаторы высокого качества с очень низким температурным коэффициентом (с очень небольшим изменением емкости с изменением температуры).

Вывод 6

Для подключения времязадающего резистора R_t , причем второй его контакт присоединяется к точке нулевого потенциала. Величины R_t и C_t определяют частоту ГПН.

$$f = 1,1 / (R_t \times C_t).$$

Вывод 7

Он присоединяется к общему проводу схемы устройства на ШИМ-контроллере.

Вывод 12

Он обозначен VCC. К нему присоединяется «плюс» источника питания TL494. Схема включения ее обычно содержит вывод 12, соединенный с коммутатором источника питания. Многие ИБП используют этот вывод, чтобы включать питание (и сам ИБП) и выключать его. Если на нем имеется +12 В и № 7 подключен к точке нулевого потенциала, ГПН и ИОН микросхемы будут работать.

Вывод 13

Это вход режима работы. Его функционирование было описано выше.

Функции выводов выходных сигналов

Вывод 8

На этой микросхеме есть 2 *n-p-n*-транзистора, которые являются ее выходными ключами. Этот вывод – коллектор транзистора 1, как правило, подключенный к источнику постоянного напряжения (12 В). Тем не менее в схемах некоторых устройств он используется в качестве выхода, и можно увидеть на нем меандр (как и на выводе 11).

Вывод 9

Это эмиттер транзистора 1. Он управляет мощным транзистором ИБП (полевым в большинстве случаев) в двухтактной схеме либо напрямую, либо через промежуточный транзистор.

Вывод 10

Это эмиттер транзистора 2. В одноконтном режиме работы сигнал на нем такой же, как и на выводе 9. В двухтактном режиме сигналы на выводах 9 и 10 противофазны, т. е. когда на одном высокий уровень сигнала, то на другом он низкий, и наоборот. В большинстве устройств сигналы с эмиттеров выходных транзисторных ключей рассматриваемой микросхемы управляют мощными полевыми

транзисторами, приводимыми в состояние ВКЛЮЧЕНО, когда напряжение на выводах 9 и 10 высокое (выше $\sim 3,5$ В, но он никак не относится к уровню 3,3 В на выводах 3 и 4).

Вывод 11

Это коллектор транзистора 2, как правило, подключенный к источнику постоянного напряжения (+12 В).

Примечание: В устройствах на TL494 схема включения ее может содержать в качестве выходов ШИМ-контроллера как коллекторы, так и эмиттеры транзисторов 1 и 2, хотя второй вариант встречается чаще. Есть, однако, варианты, когда именно контакты 8 и 11 являются выходами. Если вы найдете небольшой трансформатор в цепи между микросхемой и полевыми транзисторами, выходной сигнал, скорее всего, берется именно с них (с коллекторов).

Вывод 14

Это выход ИОН, также описанный выше.

Принцип работы ШИМ - контроллера TL494

Выход импульсов с широтной модуляцией достигается путем сравнения положительного пилообразного сигнала с конденсатора C_t с любым из двух управляющих сигналов. Логические схемы ИЛИ-НЕ управления выходными транзисторами Q1 и Q2, открывают их только тогда, когда сигнал на тактовом входе (C1) триггера (см. функциональную схему TL494) переходит в низкий уровень.

Таким образом, если на входе C1 триггера уровень логической единицы, то выходные транзисторы закрыты в обоих режимах работы: одноктактном и двухтактном. Если на этом входе присутствует сигнал тактовой частоты, то в двухтактном режиме транзисторные ключи открываются поочередно по приходу среза тактового импульса на триггер. В одноктактном режиме триггер не используется, и оба выходных ключа открываются синхронно.

Это открытое состояние (в обоих режимах) возможно только в той части периода ГПН, когда пилообразное напряжение больше, чем управляющие сигналы. Таким образом, увеличение или уменьшение величины управляющего сигнала вызывает соответственно линейное увеличение или уменьшение ширины импульсов напряжения на выходах микросхемы.

В качестве управляющих сигналов может быть использовано напряжение с вывода 4 (управление «мертвым временем»), входы усилителей ошибки или вход сигнала обратной связи с вывода 3.

Цепи ИОНа и защиты от недонапряжения питания.

Схема включается при достижении питанием порога 5.5..7.0 В (типовое значение 6.4В). До этого момента внутренние шины контроля запрещают работу генератора и логической части схемы. Ток холостого хода при напряжении питания +15В (выходные транзисторы отключены) не более 10 мА. ИОН +5В (+4.75..+5.25 В, стабилизация по выходу не хуже ± 25 мВ) обеспечивает вытекающий ток до 10 мА.

Умощнять ИОН можно только используя n-p-n-эмиттерный повторитель, но на выходе такого "стабилизатора" напряжение будет сильно зависеть от тока нагрузки.

Генератор вырабатывает на времязадающем конденсаторе C_t (вывод 5) пилообразное напряжение 0..+3.0В (амплитуда задана ИОНом) для TL494. Допустимы рабочие частоты от 1 до 300 кГц, при этом рекомендованный диапазон $R_t = 1...500\text{кОм}$, $C_t=470\text{пФ}...10\text{мкФ}$. При этом типовой температурный дрейф частоты составляет (естественно без учета дрейфа навесных компонентов) $\pm 3\%$, а уход частоты в зависимости от напряжения питания - в пределах 0.1% во всем допустимом диапазоне.

Для дистанционного выключения генератора можно внешним ключом замкнуть вход R_t (6) на выход ИОНа, или - замкнуть C_t на землю. Разумеется, сопротивление утечки разомкнутого ключа должно учитываться при выборе R_t , C_t .

ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

Проведите исследование работы ШИМ-контроллера TL494, выполняя четыре задания.

Задание 1. Ознакомьтесь с вариантом задания (Таблица №1). Соберите на рабочем поле среды Multisim схему для исследования цепи источника опорного напряжения и схемы защиты от недонапряжения питания (рис. 2).

Состав схемы: источник питания, осциллограф, частотомер, мультиметр, ШИМ-контроллер TL494, резисторы и конденсаторы.

Т а б л и ц а 1

Вариант	Начальное напряжение источника питания V1,В
1, 6, 11, 16, 21, 26, 31	17
2, 7, 12, 17, 22, 27, 32	15
3, 8, 13, 18, 23, 28, 33	22
4, 9, 14, 19, 24, 29	27
5, 10, 15, 20, 25, 30	18

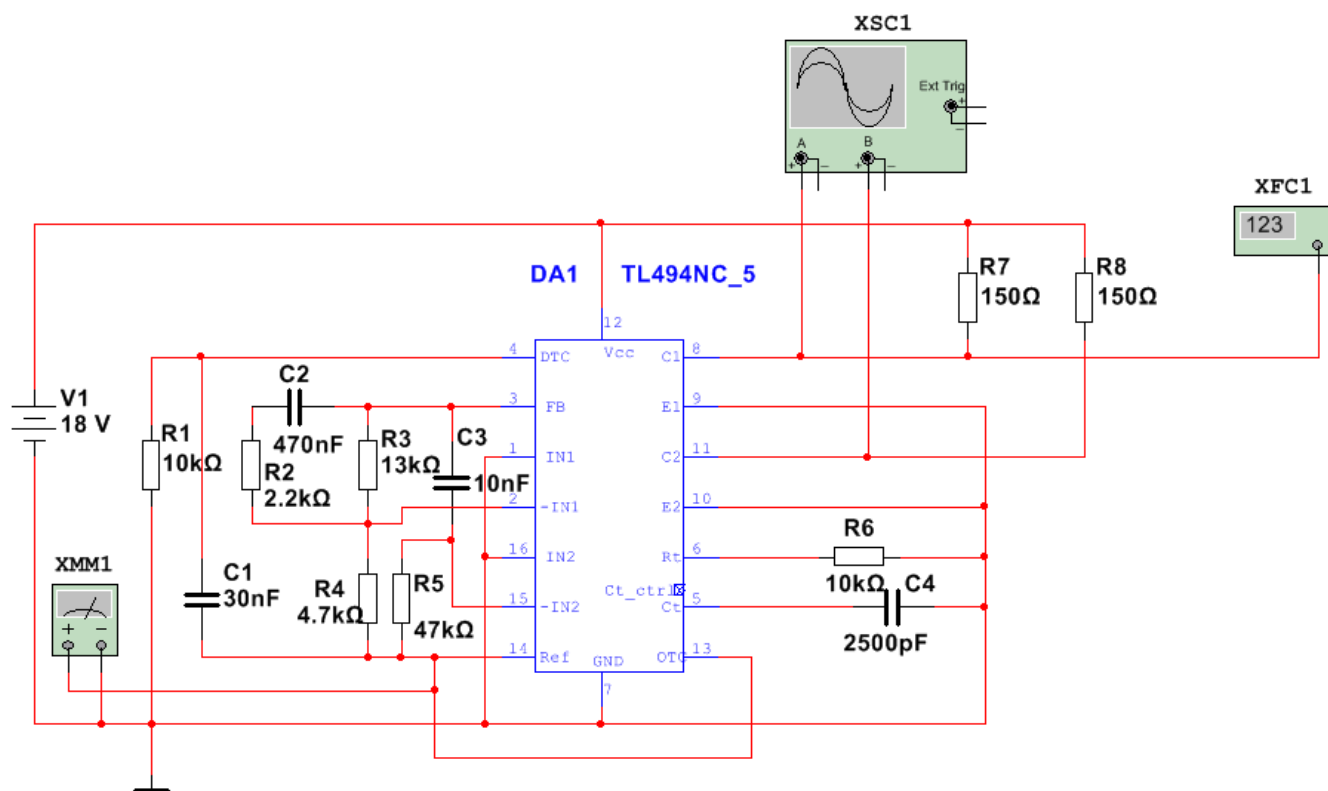


Рис. 2 Схема для исследования цепи источника опорного напряжения и защиты от недонапряжения питания

Убедитесь в работоспособности ШИМ-контроллера в двухтактном режиме и наличии напряжения ИОН 5В, на контакте 14. Сделайте скриншот с показаниями мультиметра (значение напряжения ИОН), частотомера (частоты импульсов на контакте 8), временными диаграммами напряжений на выводах 8 и 11, и поместите на страницу отчета. Также внесите показания напряжения источника питания V1, частоты следования импульсов, напряжения ИОН и амплитуды импульсов на контакте 8 микросхемы в таблицу результатов (Табл.2), в четвертую колонку.

Изменяя напряжение источника питания V1 от начального → вниз, 3 значения (с равными интервалами), до 7,001В и от начального → вверх, 3 значения (с равными интервалами) до 42 В, убедитесь в работоспособности ШИМ – контроллера, снимите показания напряжения источника питания V1, частоты следования импульсов, напряжения ИОН и амплитуды импульсов, на контакте 8 микросхемы, внесите в таблицу результатов (Табл.2).

Установите напряжение источника питания V1=7В, или ниже, и убедитесь в отсутствии импульсов, на контакте 8 микросхемы, и одновременно в работоспособности схемы защиты от недонапряжения питания.

Таблица 2

Напряжение источника питания V1, В	7,001В						
Напряжение на ИОН, В							
Частота следования импульсов, кГц							
Амплитуда импульсов, В							

Объясните полученные результаты.

Задание 2. Ознакомьтесь с вариантом задания, табл.3. Соберите на рабочем поле среды Multisim схему для исследования входного сигнала управления одноканальным и двухканальным режимами работы ШИМ-контроллера, рис. 3.

Состав схемы: источник питания, осциллограф, частотомер, ШИМ-контроллер TL494, резисторы и конденсаторы, переключатель S1.

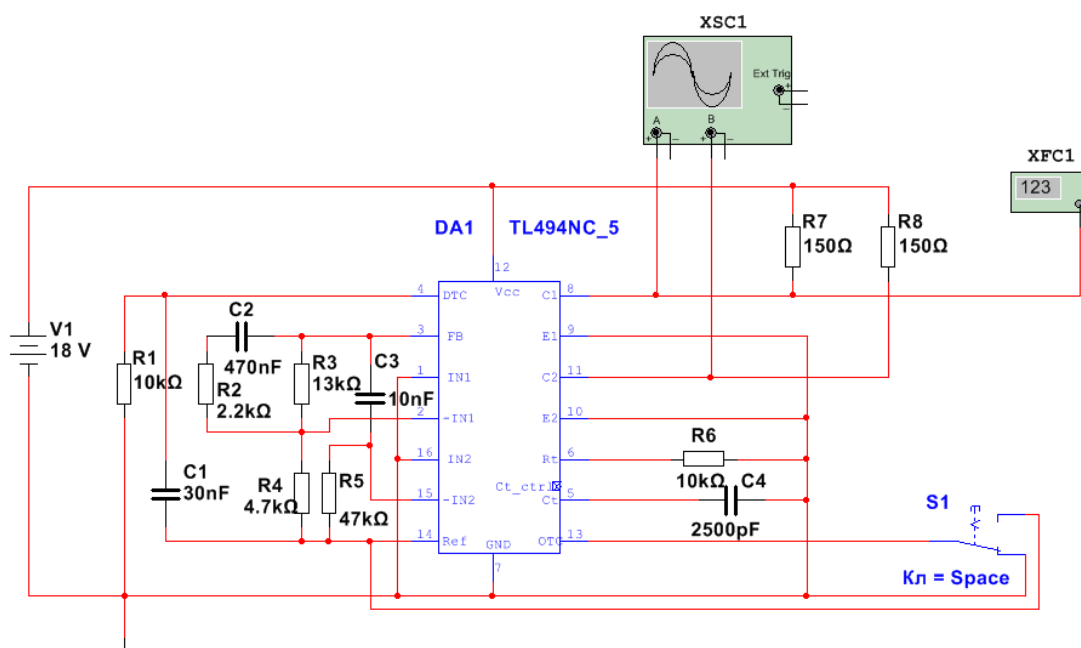


Рис. 3 Схема для исследования входного сигнала управления одноканальным и двухканальным режимами работы ШИМ-контроллера

Т а б л и ц а 3

Вариант	Напряжение источника питания V1,В	Резистор R6, кОм	Конденсатор C4, нФ
1, 6, 11, 16, 21, 26, 31	17	10	1,5
2, 7, 12, 17, 22, 27, 32	15	13	1,3
3, 8, 13, 18, 23, 28, 33	22	15	1,2
4, 9, 14, 19, 24, 29	27	16	1
5, 10, 15, 20, 25, 30	18	11	1,1

С помощью переключателя S1 необходимо поочередно подавать на 13 вывод микросхемы сигналы управления режимом работы.

При моделировании убедитесь в правильности работы сигнала управления, подаваемого на вывод 13 микросхемы, для выбора одно- или двухтактного режима работы микросхемы. При наличии на нем +5 В (от источника опорного напряжения микросхемы, вывод 14) выбирается второй режим, при наличии на нем нулевого потенциала – первый. Проведите измерение частоты и длительности импульсов для двух режимов работы и внесите результаты в таблицу 4, форма которой приведена ниже. Сделайте скриншоты режимов работы и поместите их в отчет.

Таблица 4

Режим работы	Частота	Длительность имп.
1 тактн.РР		
2 тактн.РР		

Объясните полученные результаты.

Задание 3. Ознакомьтесь с вариантом задания, табл.5. Воспользуйтесь собранной схемой на рабочем поле среды Multisim, из предыдущего задания, рис.3, для исследования влияния частотно-задающих элементов схемы на работу ШИМ-контроллера.

Состав схемы: источник питания, осциллограф, частотомер, ШИМ-контроллер TL494, резисторы и конденсаторы, переключатель S1.

Т а б л и ц а 5

Вариант	Напряжение источника питания V1,В	Резистор R6, кОм	Конденсатор C4, нФ
1, 6, 11, 16, 21, 26, 31	17	3, 10, 30, 100, 400	1,5
2, 7, 12, 17, 22, 27, 32	15	2, 20, 50, 200, 500	1,3
3, 8, 13, 18, 23, 28, 33	22	4, 10, 40, 300, 500	1,2
4, 9, 14, 19, 24, 29	27	2, 20, 100, 300, 600	1
5, 10, 15, 20, 25, 30	18	3, 20, 100, 200, 400	1,1

С помощью переключателя S1 установите 1-тактный режим работы ШИМ - контроллера и проверьте наличие выходных импульсов. Сделайте скриншот и поместите его в отчет.

Изменяя значение резистора R6, согласно варианту, проведите измерение частоты следования импульсов, для каждого его значения, на выходе (контакт 8 ШИМ-контроллера), внесите их значения в таблицу результатов (Табл. 6). В таблице, также, разместите расчетные значения частоты генератора, которые вычисляются по формуле:

$$f_{\Gamma} = \frac{1,1}{R_6 \cdot C_4}$$

Таблица 6

Резистор R6	R6=	R6=	R6=	R6=	R6=
Частота измер.					
Частота вычисл.					

Постройте графики зависимости частоты (измеренной и вычисленной) генератора ШИМ- контроллера от значения резистора R6, используя логарифмическую шкалу значений, рис.4.

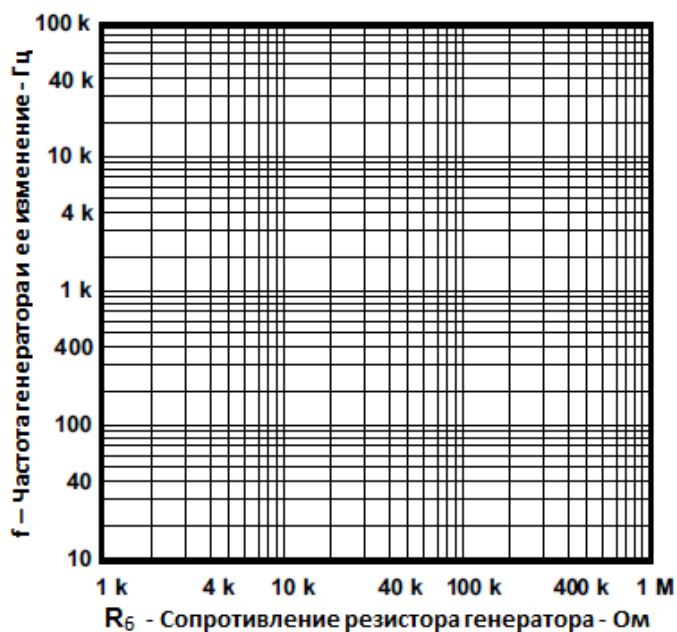


Рис. 4 Графики зависимости частоты (измеренной и вычисленной) генератора ШИМ- контроллера от значения резистора R6

Объясните полученные результаты.

Задание 4. Ознакомьтесь с вариантом задания, таблица 7. Соберите на рабочем поле среды Multisim схему для исследования работы ШИМ-контроллера при стабилизации выходного напряжения, рис. 5.

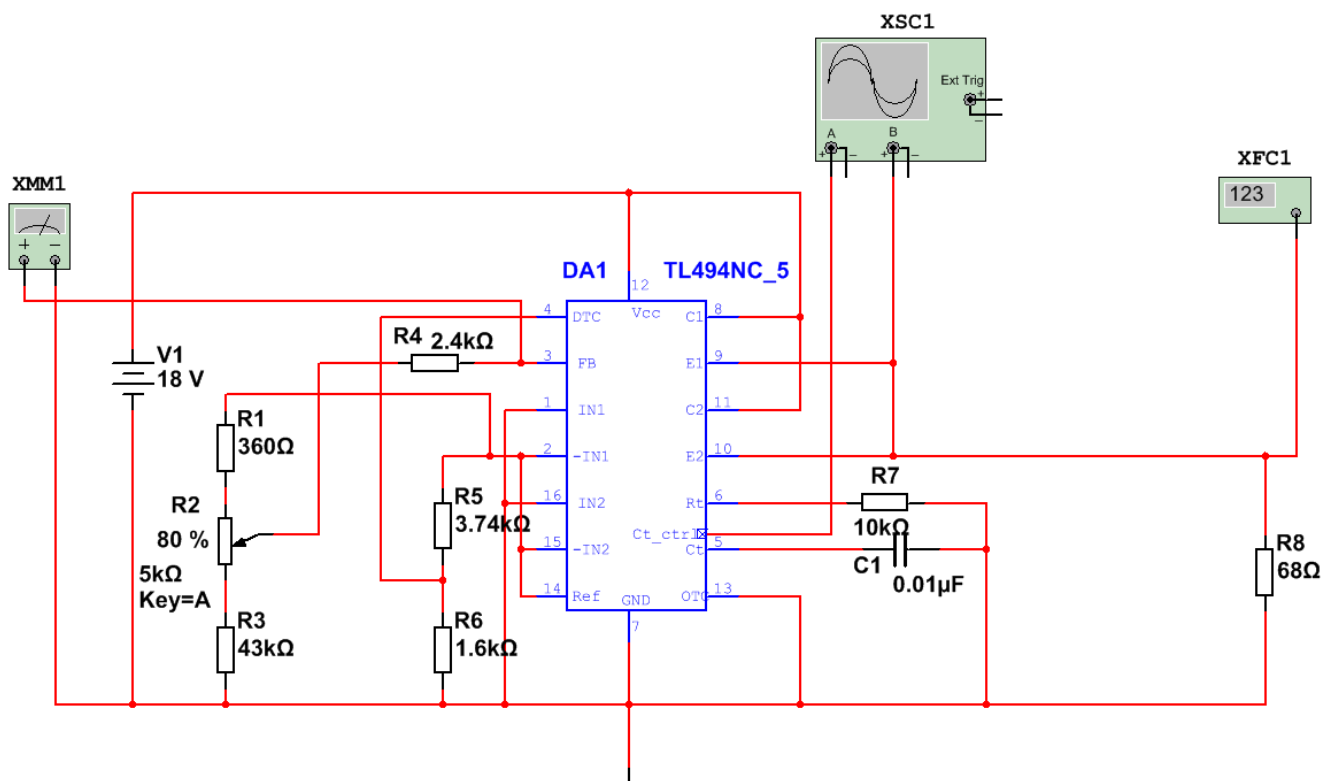


Рис. 5 Схема для исследования работы ШИМ-контроллера при стабилизации выходного напряжения

Т а б л и ц а 7

Вариант	Напряжение источника питания $V_1, В$	Резистор $R_6, кОм$	Конденсатор $C_4, нФ$
1, 6, 11, 16, 21, 26, 31	17	11	1,5
2, 7, 12, 17, 22, 27, 32	15	13	1,3
3, 8, 13, 18, 23, 28, 33	22	14	1,2
4, 9, 14, 19, 24, 29	27	16	1
5, 10, 15, 20, 25, 30	18	12	1,1

Стабилизацию выходного напряжения ШИМ-контроллер TL494 осуществляет путем изменения длительности импульсов управления силовыми транзисторами при неизменной частоте. Изменяя значение резистора R_2 , через 20%, от максимального значения до минимального, убедитесь, что значение длительности импульса на выходе ШИМ-контроллера, в одноканальном режиме, изменяется от минимального до максимального, соответственно. Внесите значения в таблицу результатов (табл.8).

Т а б л и ц а 8

Значение резистора $R_2, \%$	100%	80%	60%	40%	20%	0%
Частота следования, кГц						
Длительность импульсов, мкс						
Напряжение на контакте 3, В						

Объясните полученные результаты.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель работы.
2. Перечень элементов схем, использованных в исследованиях, с их краткими характеристиками.
3. Таблицы результатов измерений параметров выходных импульсов ШИМ-контроллера, по каждому заданию.
4. Изображения электрических схем исследования ШИМ-контроллера, по каждому заданию.
5. Графики зависимости частоты (измеренной и вычисленной) генератора ШИМ-контроллера, от значения резистора R_6 .
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные составные устройства схемы электрической функциональной микросхемы TL494.

2. Расскажите о назначении источника опорного напряжения +5В.

Какой

3. Перечислите функции выводов входных сигналов.

4. Перечислите функции выводов выходных сигналов.

5. Расскажите о влиянии параметров частотно-задающих элементов на частоту следования импульсов ШИМ-контроллера.

6. Расскажите как переключаются одноктактный и двухтактный режимы работы ШИМ-контроллера.

7. Для чего нужны усилители сигналов ошибки?

8. Включаются ли выходные транзисторы ШИМ-контроллера параллельно друг другу и в каком режиме?

9. Можно ли включать выходные транзисторы ШИМ-контроллера по схеме эмиттерных повторителей.