

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГАОУ ВО «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ

Дисциплина: Электроника и схемотехника

ОТЧЕТ
по лабораторной работе №14 на тему:
«Импульсные стабилизаторы напряжения»

Выполнил: студент 2 курса
специальности «Информационная
безопасность» группы ИНБ-б-о-
21-1(2)
Омаргаджиев Владислав
Русланович

Проверил: кандидат технических
наук Аникуев Сергей Викторович
Работа защищена с оценкой:

Ставрополь 2023 г.

Цель работы:

1. Изучения принципа действия и схемотехники импульсных стабилизаторов напряжения.
2. Получение навыков измерения параметров и определения основных характеристик импульсных стабилизаторов напряжения.
3. Исследование влияния параметров элементной базы на характеристики импульсных стабилизаторов.

4.4.3 Краткие сведения из теории

Общим недостатком компенсационных стабилизаторов напряжения является низкий КПД из-за потерь в транзисторах регулирующего элемента, что, кроме того, требует мощных теплоотводов, значительно превышающих по габаритам и массе сами стабилизаторы. Более прогрессивным техническим решением являются *импульсные стабилизаторы напряжения* (ИСН), в которых транзисторы регулирующих элементов работают в ключевом режиме. При использовании высокочастотных транзисторов проблема КПД и массогабаритных характеристик в таких стабилизаторах решается достаточно радикально.

Существуют *три основные схемы ИСН*: последовательный ИСН понижающего типа (рисунок 4.5.1, а), параллельный ИСН повышающего (рисунок 4.5.1, б) и параллельный инвертирующего (рисунок 4.5.1, в) типа. Все три схемы содержат накопительный дроссель L , регулирующий элемент 1, блокировочный диод VD , элементы управления 2, 3 и конденсатор фильтра C .

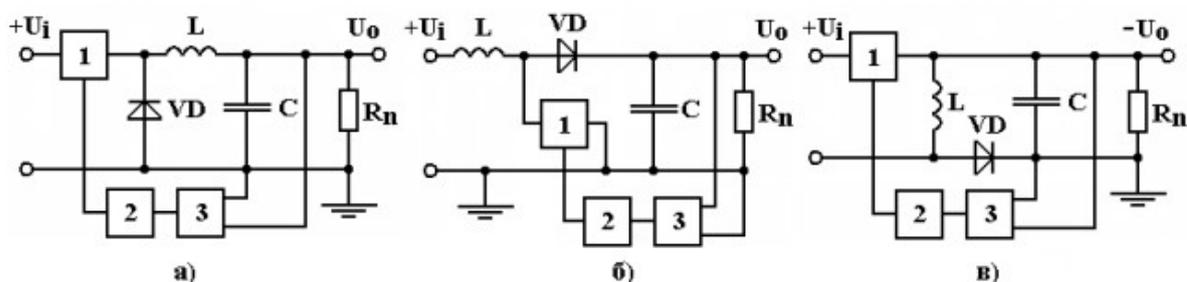


Рисунок 4.5.1 – Структурные схемы последовательного ИСН понижающего типа (а), параллельного ИСН повышающего (б) и инвертирующего (в) типа

В последовательном ИСН понижающего типа (рисунок 4.5.1, а) регулирующий элемент 1 и дроссель L включены последовательно с нагрузкой R_n . В качестве РЭ используется транзистор, работающий в ключевом режиме. При

открытом в течение времени $T_{\text{н}}$ транзисторе энергия от входного источника постоянного тока U_i (или выпрямителя с выходным напряжением $U_{\text{в}}$) передается в нагрузку через дроссель L , в котором накапливается энергия. При закрытом в течение времени $T_{\text{п}}$ транзисторе накопленная в дросселе энергия через диод VD передается в нагрузку. Период коммутации (преобразования) равен $T = T_{\text{н}} + T_{\text{п}}$. Частота коммутации (преобразования): $F = 1/T$. Отношение длительности открытого состояния транзистора, при котором генерируется импульс напряжения длительностью $T_{\text{н}}$, к периоду коммутации T называется коэффициентом заполнения $K_{\text{з}} = T_{\text{н}}/T$.

Таким образом, в импульсном стабилизаторе регулирующий элемент 1 преобразует (модулирует) входное постоянное напряжение U_i в серию последовательных импульсов определенной длительности и частоты, а сглаживающий фильтр, состоящий из диода VD , дросселя L и конденсатора C , демодулирует их в постоянное напряжение U_o . При изменении выходного напряжения U_o или тока в нагрузке $R_{\text{н}}$ в импульсном стабилизаторе с помощью цепи обратной связи, состоящей из измерительного элемента 3 и схемы управления 2, длительность импульсов изменяется таким образом, чтобы выходное напряжение U_o осталось неизменным (с определенной степенью точности).

Импульсный режим работы позволяет существенно уменьшить потери в регулирующем элементе и тем самым повысить КПД источника питания, уменьшить его массу и габариты. В этом и состоит основное преимущество импульсных стабилизаторов перед компенсационными стабилизаторами непрерывного действия.

В параллельном ИСН повышающего типа (рисунок 4.5.1, б) регулирующий элемент 1 подключен параллельно нагрузке $R_{\text{н}}$. Когда регулирующий транзистор открыт, ток от источника питания U_i протекает через дроссель L , запасая в нем энергию. Диод VD при этом находится в закрытом состоянии и поэтому не позволяет конденсатору C разрядиться через открытый регулирующий транзистор. Ток в нагрузку в этот промежуток времени поступает только от конденсатора C . В момент времени, когда регулирующий транзистор закрывается, ЭДС самоиндукции дросселя L суммируется с входным напряжением и энергия дросселя передается в нагрузку, при этом выходное напряжение оказывается больше входного напряжения питания U_i . Дроссель не является элементом фильтра, а выходное напряжение становится больше входного на величину, определяемую индуктивностью дросселя L и временем открытого состояния регулирующего транзистора (или скважностью управляющих импульсов).

Схема управления стабилизатором (рисунок 4.5.1, б) построена таким об-

регулирующего транзистора (или скважностью управляющих импульсов).

Схема управления стабилизатором (рисунок 4.5.1, б) построена таким образом, что, например, при повышении входного напряжения питания U_i уменьшается длительность открытого состояния регулирующего транзистора на такую величину, что выходное напряжение U_o остается неизменным.

В параллельном инвертирующем ИСН (рисунок 4.5.1, в), в отличие от схемы на рисунке 4.5.1, б, дроссель L включен параллельно нагрузке R_n , а регулирующий элемент 1 – последовательно с ней. Блокирующий диод отделяет конденсатор фильтра C и нагрузку R_n от регулирующего элемента по постоян-

ному току. Стабилизатор обладает свойством изменения (инвертирования) полярности выходного напряжения U_o относительно полярности входного напряжения питания.

Импульсные стабилизаторы в зависимости от способа управления регулирующим транзистором могут выполняться с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), частотно-импульсной модуляцией (ЧИМ) или релейным управлением. В ШИМ-стабилизаторах в процессе работы изменяется длительность импульса T_n , а частота коммутации остается неизменной; в ЧИМ-стабилизаторах изменяется частота коммутации, а длительность импульса T_n остается постоянной; в релейных стабилизаторах в процессе регулирования напряжения изменяется как длительность импульсов, так и частота их следования.

Наибольшее распространение на практике получил последовательный ИСН (рисунок 4.5.1, а), в котором накопительный дроссель одновременно является элементом сглаживающего LC -фильтра. В стабилизаторах на рисунке 4.5.1, б и 4.5.1, в дроссель L не участвует в сглаживании пульсации выходного напряжения: в этих схемах сглаживание пульсации достигается только за счет увеличения емкости конденсатора C , что приводит к увеличению массы и габаритов фильтра и устройства в целом

Статическая регулировочная характеристика, определяемая для стабилизатора на рисунке 4.5.1, а по формуле $U_o/U_i = K_3(1 - K_r)$, представляет собой прямую, наклон которой зависит (без учета потерь в регулирующем транзисторе и диоде) от отношения активных сопротивлений дросселя и нагрузки, т. е. K_r

б и 4.5.1, в дроссель L не участвует в сглаживании пульсации выходного напряжения: в этих схемах сглаживание пульсации достигается только за счет увеличения емкости конденсатора C , что приводит к увеличению массы и габаритов фильтра и устройства в целом

Статическая регулировочная характеристика, определяемая для стабилизатора на рисунке 4.5.1, а по формуле $U_o/U_i = K_s(1 - K_r)$, представляет собой прямую, наклон которой зависит (без учета потерь в регулирующем транзисторе и диоде) от отношения активных сопротивлений дросселя и нагрузки, т. е. $K_r = R_d/R_n$. Напряжение U_o на нагрузке определяется относительной длительностью управляющих импульсов (при постоянном U_i) и не может быть больше напряжения питания, а линейность данной характеристики соответствует условиям устойчивой работы ИСН.

Рассмотрим основные элементы ИСН (см. рисунок 4.5.1, а). Схема его силового блока показана на рисунке 4.5.2.

Блок включает в себя силовую часть и регулирующий элемент на транзисторе $VT1$, управляемый ключом на транзисторе $VT2$ (диод $VD2$ служит для защиты базового перехода транзистора $VT2$ при большом отрицательном входном

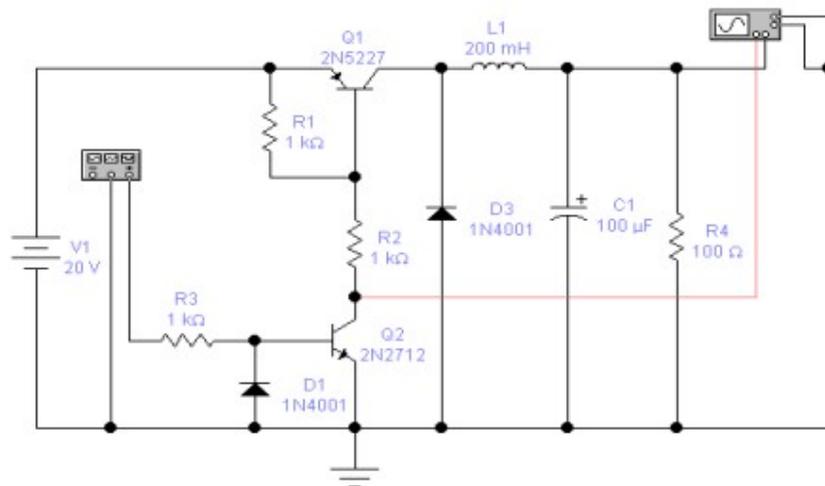


Рисунок 4.5.2 – Силовой блок последовательного ИСН

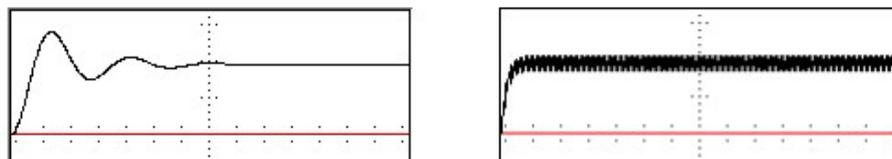
сигнале управления). Сопротивление резистора $R1$ выбирается из условия обеспечения закрытого состояния транзистора $VT1$ (100...900 Ом), а $R2$ – ориентировочно из условия $k\beta U_i = R_2 I_{k \max}$, где $k = 1,5...2$ – коэффициент запаса по насыщению; β , $I_{k \max}$ – коэффициент усиления тока и максимальный импульсный коллекторный ток транзистора $VT1$. Аналогичным образом выбирается сопротивление резистора $R3$, но при этом в расчетах U_i заменяется амплитудой управляющего импульса функционального генератора. Выбор количества транзисторов РЭ осуществляется с учетом максимального тока протекающего в нагрузке $I_{n \max}$.

Исходными данными для выбора параметров схемы на рисунке 4.5.2. являются: напряжение U_i и пределы его изменения; внутреннее сопротивление R_i источника U_i ; номинальное выходное напряжение стабилизатора U_o и допустимые пределы его регулировки; максимальный $I_{n \max}$ и минимальный $I_{n \min}$ токи нагрузки, допустимая амплитуда пульсации выходного напряжения стабилизатора; коэффициент стабилизации $K_{ст}$ и внутреннее сопротивление R_o ; максимальный температурный уход напряжения U_o и др. Порядок выбора параметров следующий:

- Выбираем частоту преобразования F (до 100 кГц, для модели – единицы килогерц) и принимаем ориентировочно КПД = 0,85...0,95.
- Определяем минимальное и максимальное значения относительной длительности (коэффициента заполнения) импульса напряжения на входе фильтра: $K_{з \min} = U_{i \min} / U_{o \max} \text{ КПД}$, $K_{з \max} = U_{i \max} / U_{o \min} \text{ КПД}$.
- Из условия сохранения режима непрерывности токов дросселя определяем его минимальную индуктивность $L_{\min} = U_{o \max} (1 - K_{з \min}) / 2I_{n \min} F$.
- Вычисляем произведение LC по заданному значению напряжения пульсаций $U_{\text{пр}} LC = U_{n \min} (1 - K_{з \min}) / 16U_{\text{пр}} F^2$, откуда находим емкость конденсатора C .

Произведение LC определяет не только уровень пульсаций, но и характер переходных процессов выходного напряжения после включения стабилизатора.

На рисунке 4.5.3 показаны результаты моделирования схемы приведенной на рисунке 4.5.2 при следующих данных: $F = 1$ кГц, $K_3 = 0,5$, $R_n = 100$ Ом, $L = 200$ мГн, $C = 100$ мкФ (для рисунка 4.5.3, а) и $C = 1$ мкФ (для рисунка 4.5.3, б). Как видно из осциллограмм, при сравнительно большом значении произведения



опасными для потребителя (нагрузки).

Импульсные стабилизаторы с ШИМ по сравнению со стабилизаторами двух других типов имеют следующие преимущества:

- обеспечивается высокий КПД и оптимальная частота преобразования независимо от напряжения первичного источника питания и тока нагрузки; частота пульсации на нагрузке является неизменной, что имеет существенное значение для ряда потребителей электроэнергии;
- реализуется возможность одновременной синхронизации частот преобразования неограниченного числа ИСН, что исключает опасность возникновения биений частот при питании нескольких ИСН от общего первичного источника постоянного тока. Кроме того, при работе ИСН на нерегулируемый преобразователь (например, усилитель мощности) возможна синхронизация частот обоих устройств.

Недостатком ИСН с ШИМ по сравнению со стабилизатором релейного типа является более сложная схема управления, содержащая обычно дополнительный задающий генератор.

Импульсные стабилизаторы с ЧИМ, не имея существенных преимуществ перед другими типами ИСН, обладают следующими недостатками:

- сложность реализации регуляторов частоты в широких пределах, особенно при больших изменениях напряжения питания и тока нагрузки;
- отсутствие возможности реализации отмеченных выше преимуществ системы регулирования с ШИМ.

Последний недостаток относится и к релейным (или двухпозиционным) ИСН, которые характеризуются также сравнительно большой пульсацией напряжения на нагрузке (в стабилизаторах с ШИМ или ЧИМ пульсации выходного напряжения принципиально могут быть сведены к нулю, что невозможно достичь релейных стабилизаторов).

В общем случае блок 3 (рисунок 4.5.4, *a*) содержит делитель напряжения, источник опорного напряжения ИОН, сравнивающий элемент и усилитель рас-согласования. Эти элементы выполняют такие же функции, что и в компенсационных стабилизаторах. Для ИСН с ШИМ к этим устройствам добавляются формирователь синхронизирующего напряжения (задающий генератор) и пороговое устройство, с помощью которых осуществляется формирование модулированных по длительности импульсов. Изменение длительности управляющего импульса осуществляется модуляцией его переднего или заднего фронта.

При модуляции переднего фронта линейно изменяющееся напряжение синхронизации на каждом периоде нарастает, а при модуляции заднего фронта управляющее напряжение в каждом периоде уменьшается. При модуляции по обоим фронтам напряжение синхронизации на каждом периоде нарастает и спадает. Этот вид модуляции по сравнению с односторонней модуляцией позво-

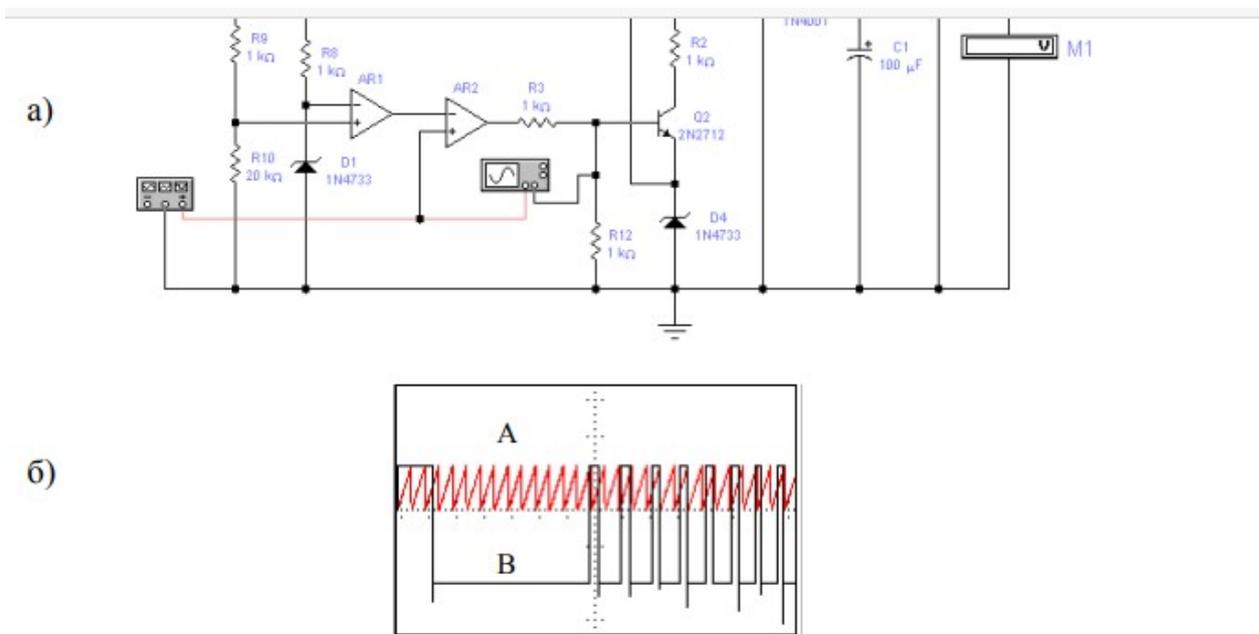
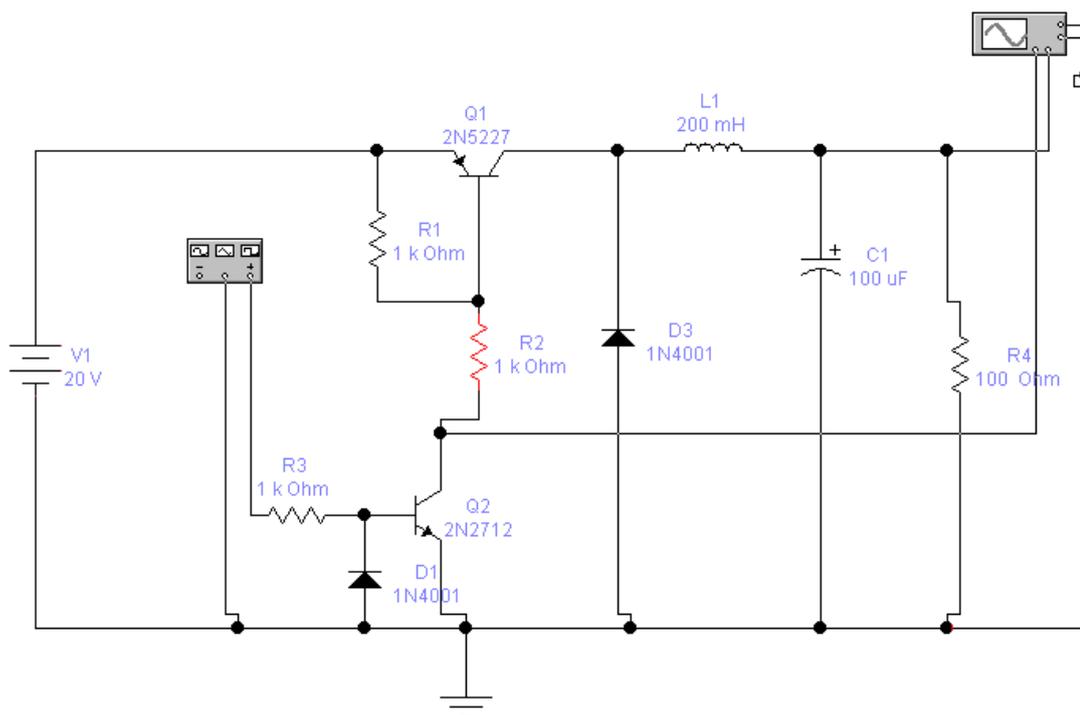


Рисунок 4.5.4 – Схема ИСН, дополненная элементами ШИМ (а) и осциллограммы сигналов управления (А) и сигналов ШИМ (В) (б)

изменениями относительной длительности импульсов на входе сглаживающего фильтра и напряжения на нагрузке (для ШИМ), равен $K_{ш} = K_{дн} K_y / 2U_y$, где $K_{дн}$, K_y – коэффициенты передачи делителя напряжения и усилителя рассогласования соответственно; U_y – амплитуда синхронизирующего напряжения.

Полная схема ИСН с элементами ШИМ показана на рисунке 4.5.4, а. Делитель напряжения выполнен на резисторах $R9$, $R10$, источник опорного напряжения – на резисторе $R8$ и стабилитроне $VD1$, усилитель сигнала рассогласования – на $OU1$ ($AR1$) пороговое устройство – на $OU2$ ($AR2$). Поскольку оба ОУ питаются от однополярного источника, для согласования уровней в ключевом каскаде на $VT2$ ($Q2$) в эмиттерную цепь включен параметрический стабилизатор $VD4$, $R11$). В качестве задающего использован функциональный генератор в режиме пилообразных импульсов; при модуляции по переднему фронту коэффициент заполнения (*Duty cycle*) выбирается максимальным (99%), при модуляции по заднему фронту – минимальным (0,1%) – при модуляции по обоим фронтам – 50%. На рисунке 4.5.4, б показаны результаты моделирования процесса формирования управляющих импульсов при модуляции по переднему фронту; они получены при $R_n = 100$ Ом и $U_i = 20$ В.

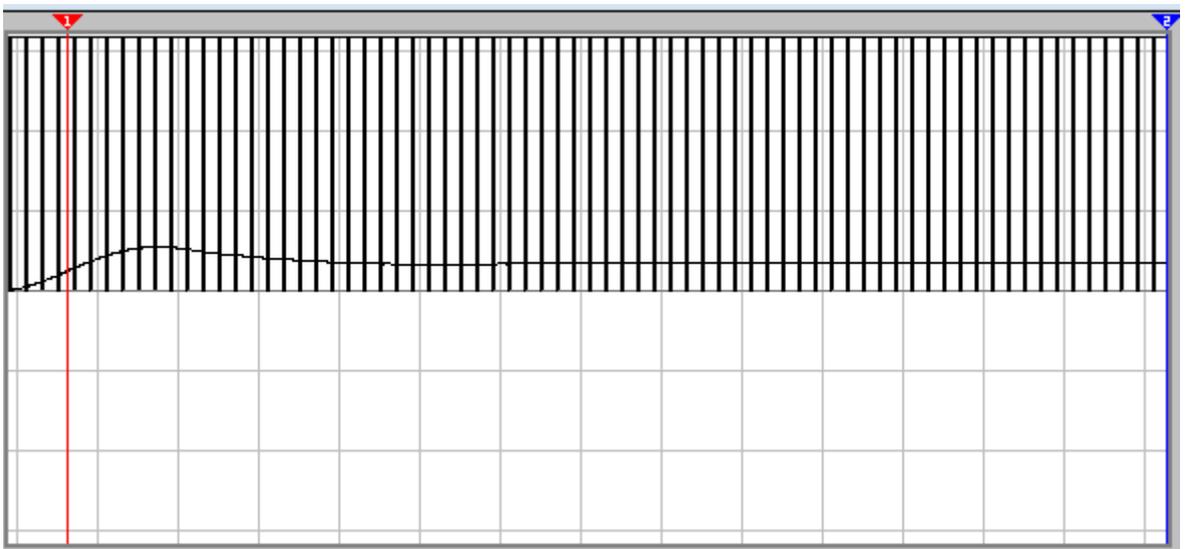
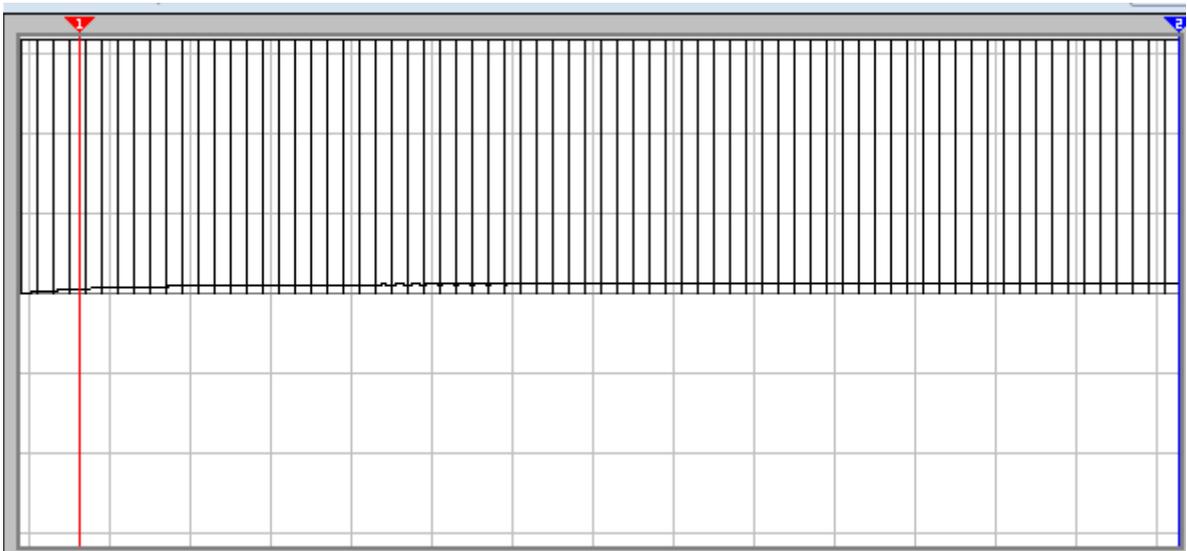
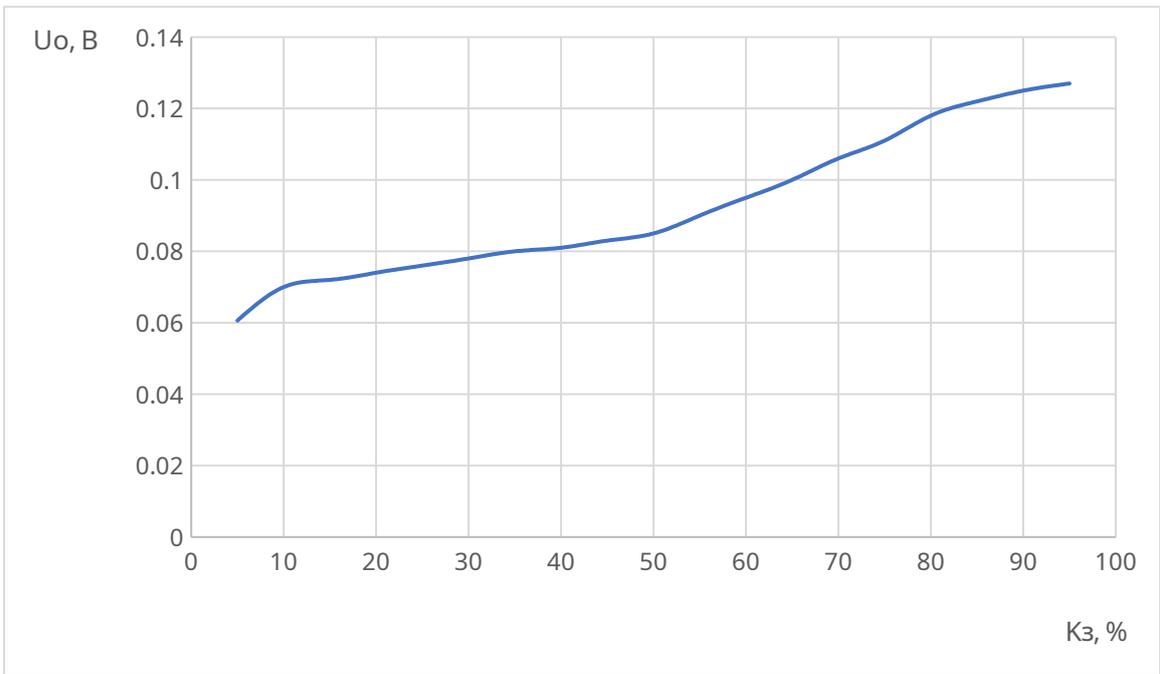
Эксперимент 1:

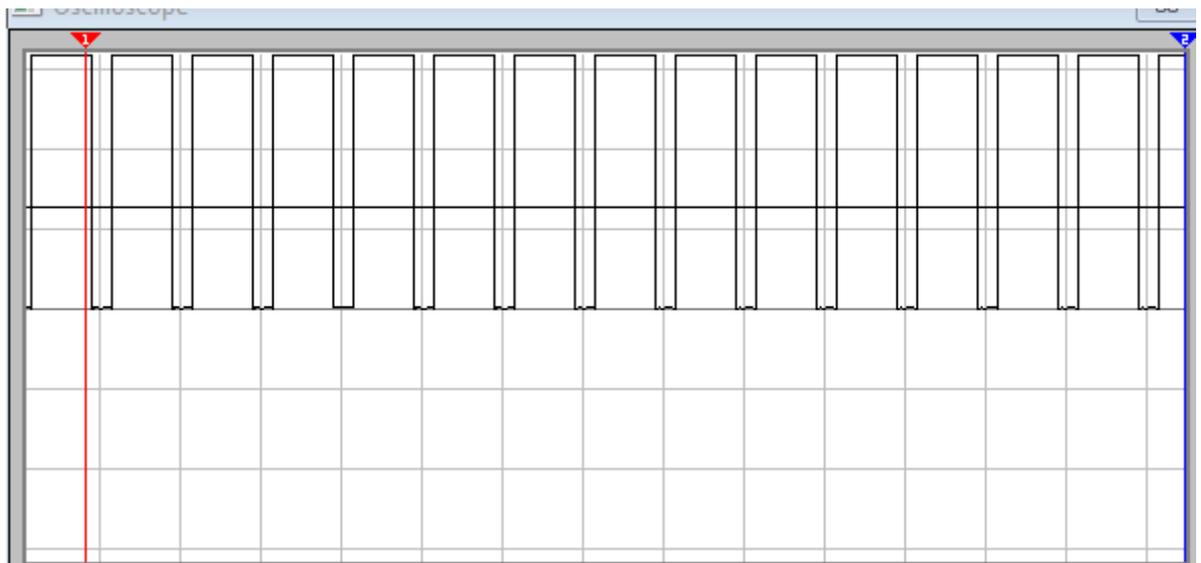
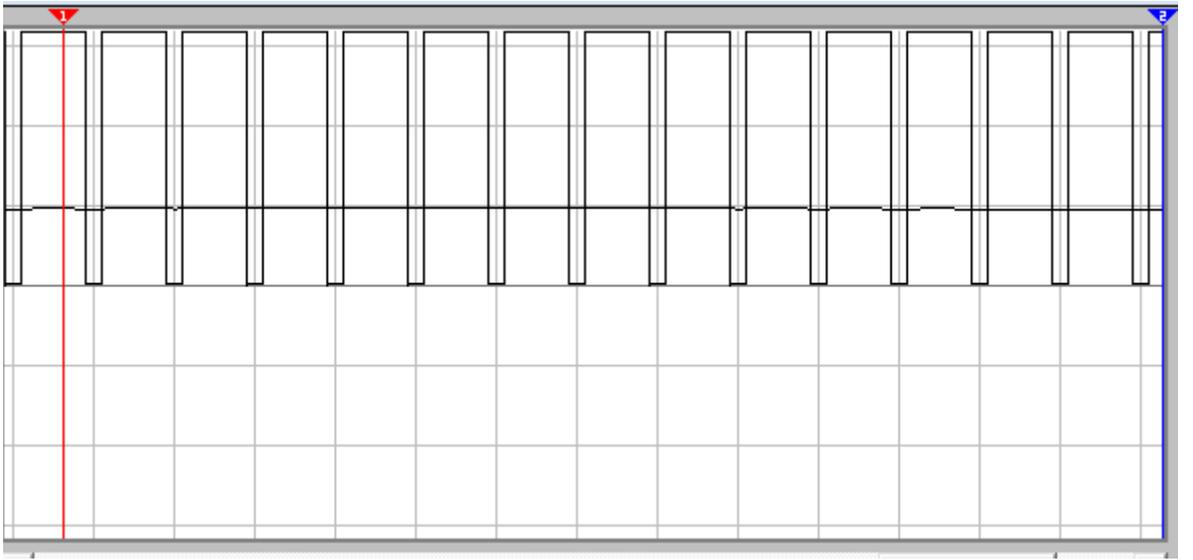
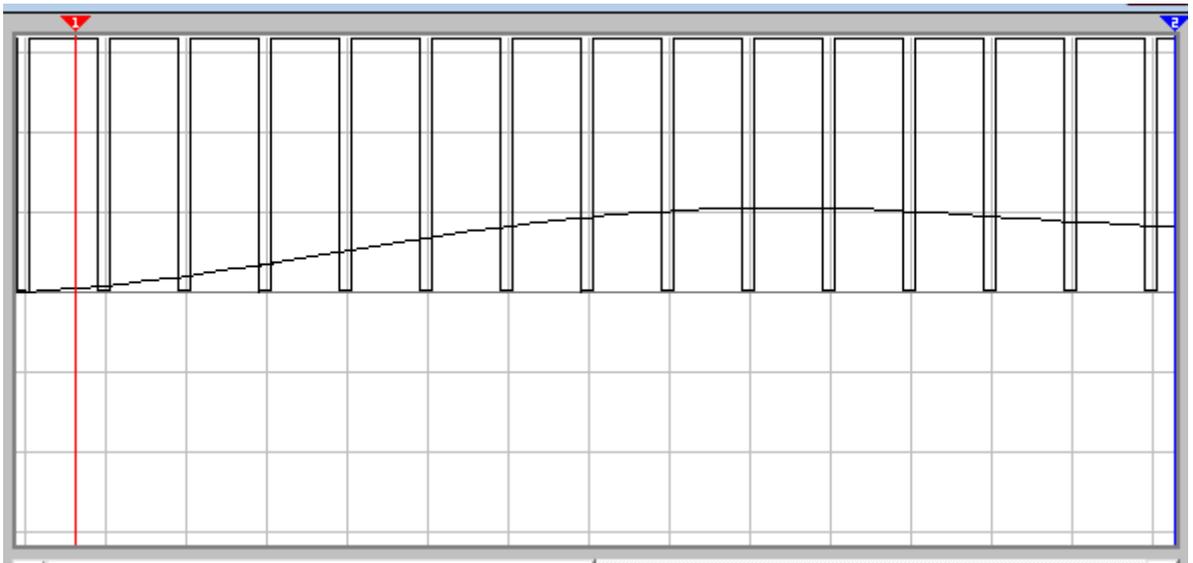


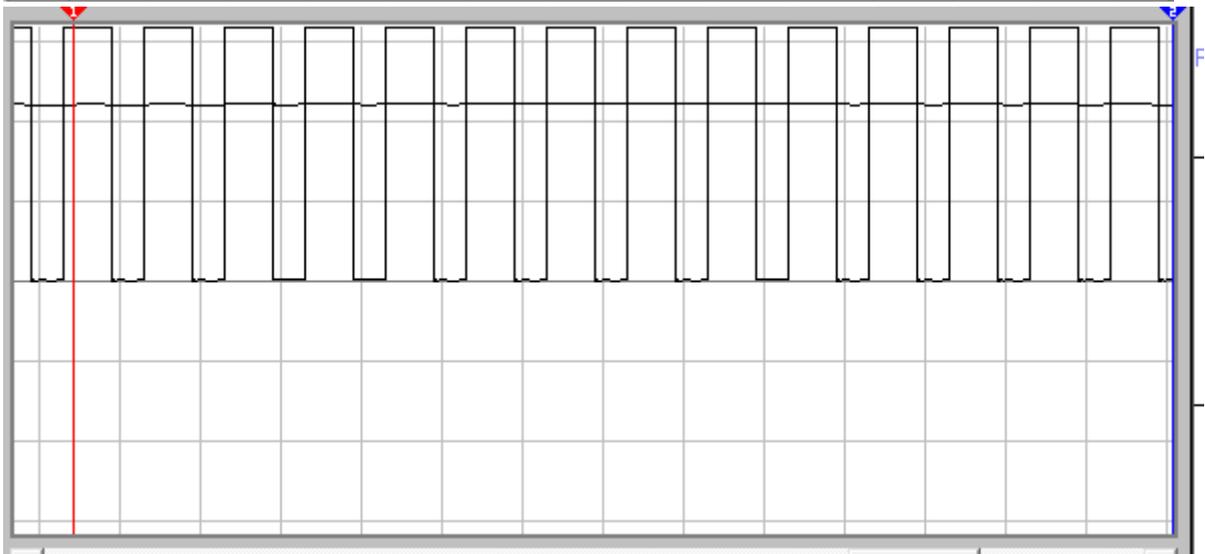
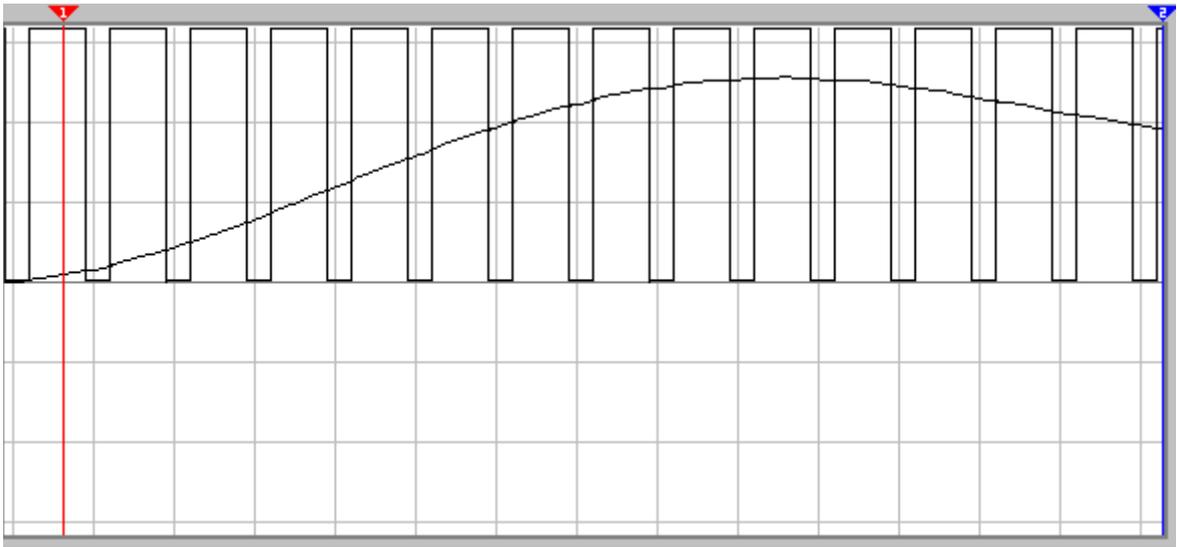
Результаты эксперимента 1:

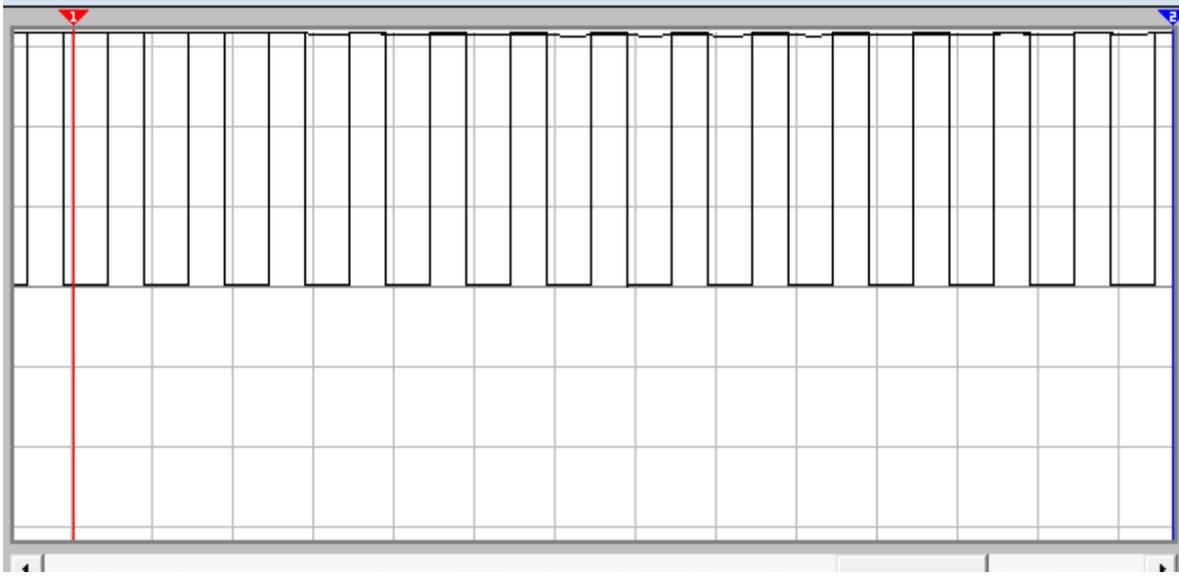
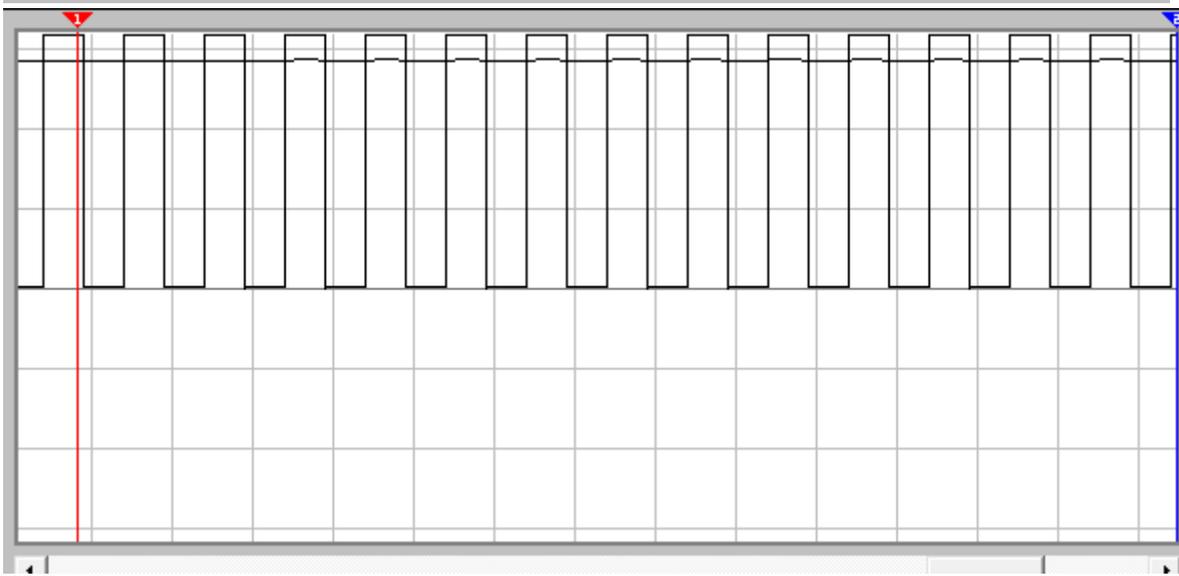
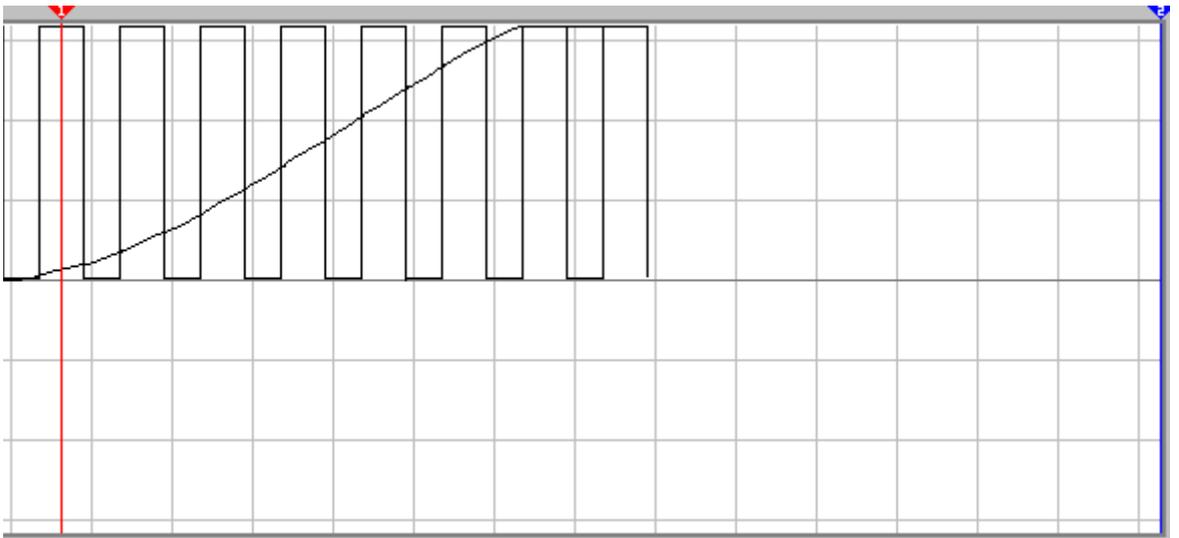
Кз, %	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Uo, B	0,0606	0,070	0,072	0,074	0,076	0,078	0,080	0,081	0,083

Кз, %	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Uo, B	0,085	0,090	0,095	0,100	0,106	0,111	0,118	0,122	0,125	0,127

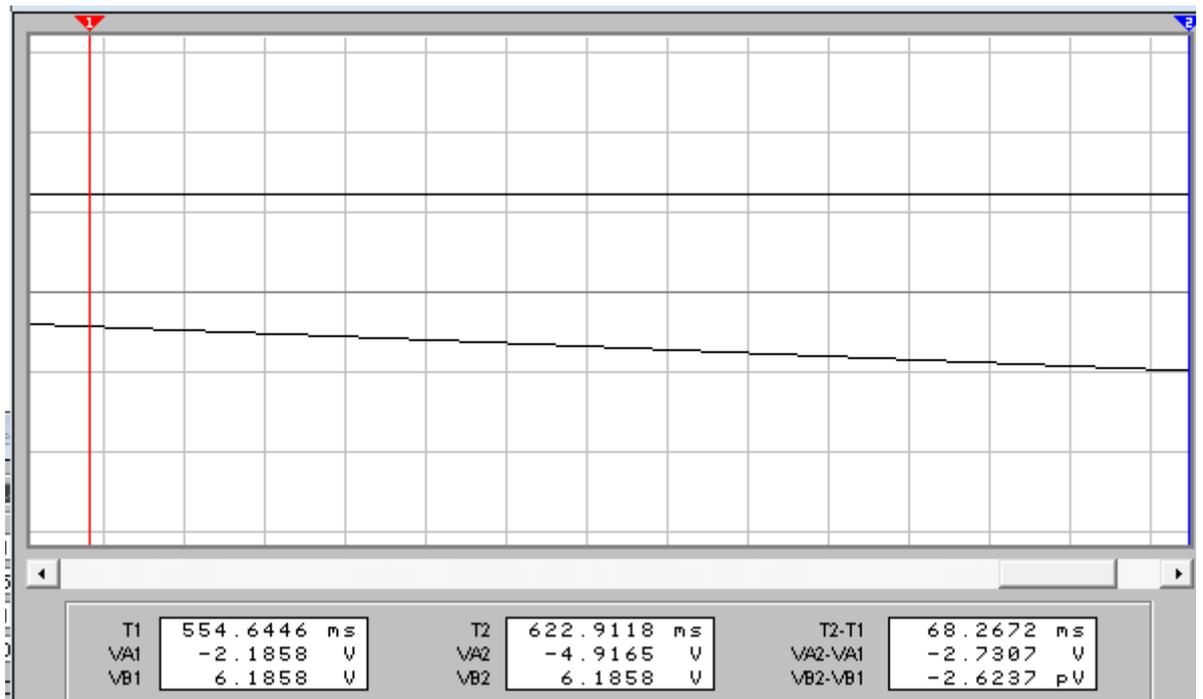
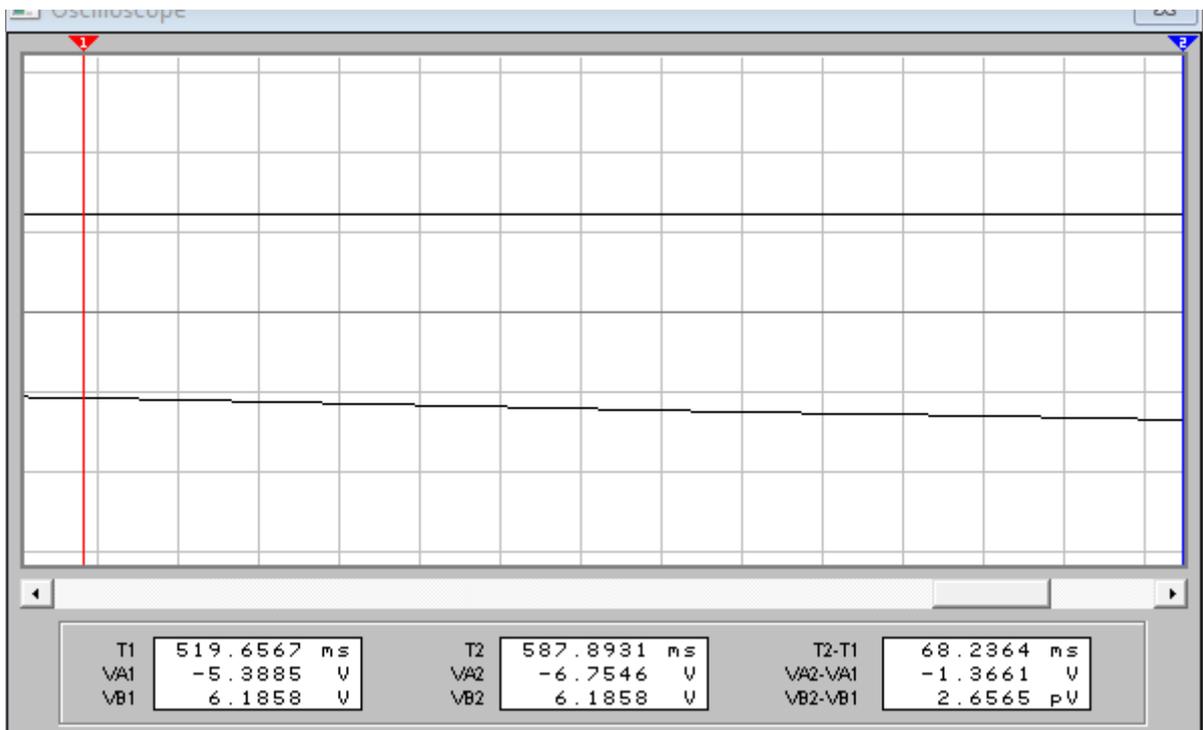




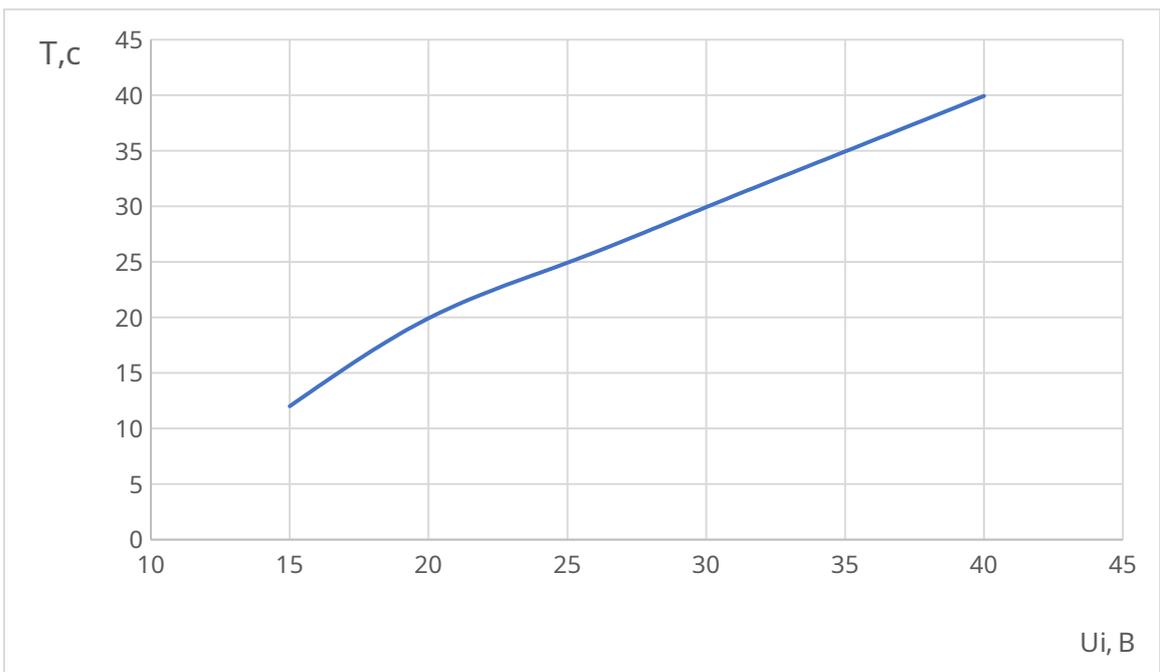
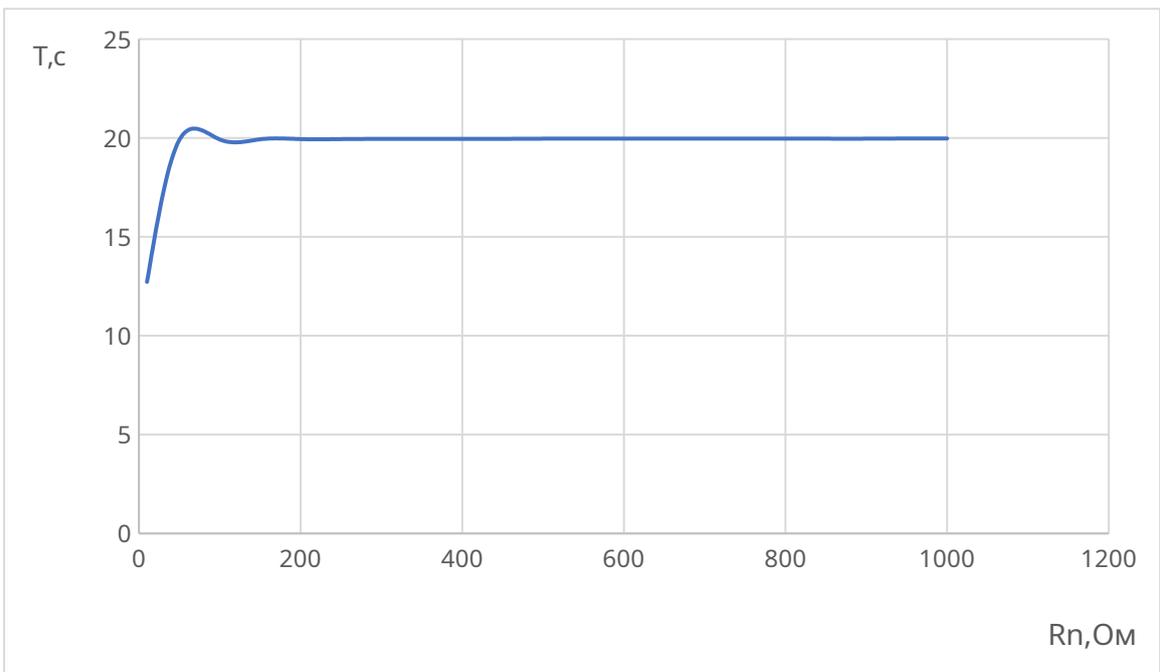




Эксперимент 2:



Duty cycle, %	0,1	99	50
ty, mc	68,23	68,32	68,26



Вывод: Изучил принцип действия и схемотехники импульсных стабилизаторов напряжения. Получил навыки измерения параметров и определения основных характеристик импульсных стабилизаторов напряжения. Исследовал влияние параметров элементной базы на характеристики импульсных стабилизаторов.