

БЕСПАЛОВ Н. Н., ЛЯДУНОВ К. А., ЛИМОНОВ В. Ю., ПЕРКОВ А. А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ
ДЛЯ КАСКАДОВ УСИЛЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Аннотация. В данной статье приводятся результаты моделирования в программной среде Multisim 11.0 зависимостей электрических параметров линейного источника питания, реализованного на микросхеме КР142ЕН8В, от сопротивления вторичной обмотки трансформатора R_i в диапазоне от 0,1 до 10 Ом при изменении ёмкости сглаживающего конденсатора от 0,1 мФ до 5 мФ. Исследования проведены при условии протекания в активной нагрузке эквивалентной цепям питания операционных усилителей тока величиной до 0,25 А. Определялись условия формирования пульсаций выходного напряжения на уровне размаха не более ± 1 мВ.

Ключевые слова: операционный усилитель, пульсации напряжения, стабилизатор напряжения, сглаживающий конденсатор.

BESPALOV N. N., LYADUNOV K. A., LIMONOV V. Y., PERKOV A. A.
SIMULATION OF STABILIZED POWER SUPPLY
FOR CASCADES OF AMPLIFICATION IN MEASURING DEVICES

Abstract. This article presents the results of modeling in the Multisim 11.0 software environment of the dependences of the electrical parameters of the linear power supply implemented on the KR142EN8V chip on the resistance of the secondary winding of the transformer R_i in the range from 0.1 to 10 ohms when the capacity of the smoothing capacitor changes from 0.1 mF to 5 mF. The studies were carried out under the condition of a current flow in an active load equivalent to the power supply circuits of operational amplifiers with a value of up to 0.25 A. The conditions for the formation of output voltage ripples at a span level of no more than ± 1 mV were determined.

Keywords: operational amplifier, voltage ripple, voltage stabilizer, smoothing capacitor.

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) имеют широкое применение в различных областях современной науки и техники. Они являются основными составляющими систем преобразования и отображения информации, программируемых источников питания и цифровых измерительных приборов (ЦИП) [1]. Входные усилительные каскады ЦИП в основном реализуются на операционных усилителях (ОУ) или транзисторных усилительных каскадах, работающих в режиме класса «А». При этом для неискажённой передачи информационных сигналов важно добиться высокой стабильности напряжения источника питания и малых его пульсаций, учитывая, что питание таких приборов осуществляется

обычно от промышленной сети. Современные импульсные источники питания, работающие на частотах преобразования до 1 МГц, имеют достаточно высокие показатели по стабильности выходного напряжения, а также по экономичности, однако достичь малых пульсаций выходного напряжения на уровнях менее ± 1 мВ, что требуется для качественной работы усилительных каскадов измерительных приборов, с ними достаточно сложно.

Для достижения цели создания высокостабильного источника питания для ОУ с пульсациями выходного напряжения менее ± 1 мВ с входным питанием от промышленной сети переменного тока с напряжением $220 \text{ В} \pm 10\%$ нами рассмотрено известное схмотехническое решение линейного источника питания [2; 3], реализованного на микросхеме КР142ЕН8В, электрическая принципиальная схема (ЭПС) которого представлена на рисунке 1.

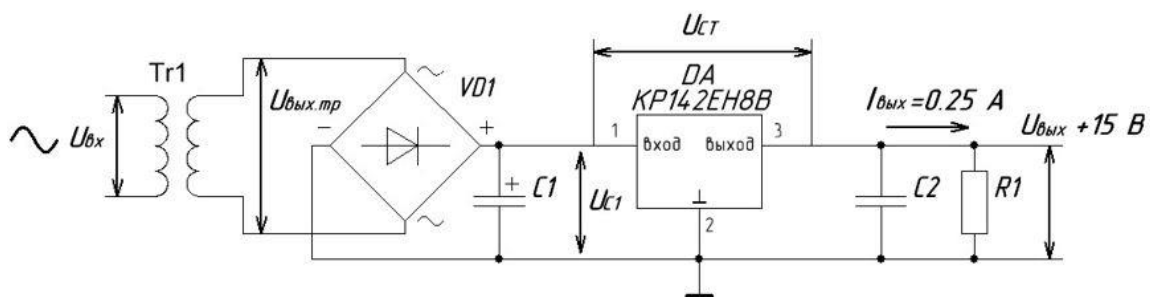


Рис. 1. ЭПС линейного источника питания для ОУ с выходным напряжением $U_{\text{вых}} = +15 \text{ В}$.

Моделирование электрических процессов в данной схеме питания ОУ осуществлялось в программной среде Multisim 11.0. На рисунке 2 представлена визуализация исследуемой схемы.

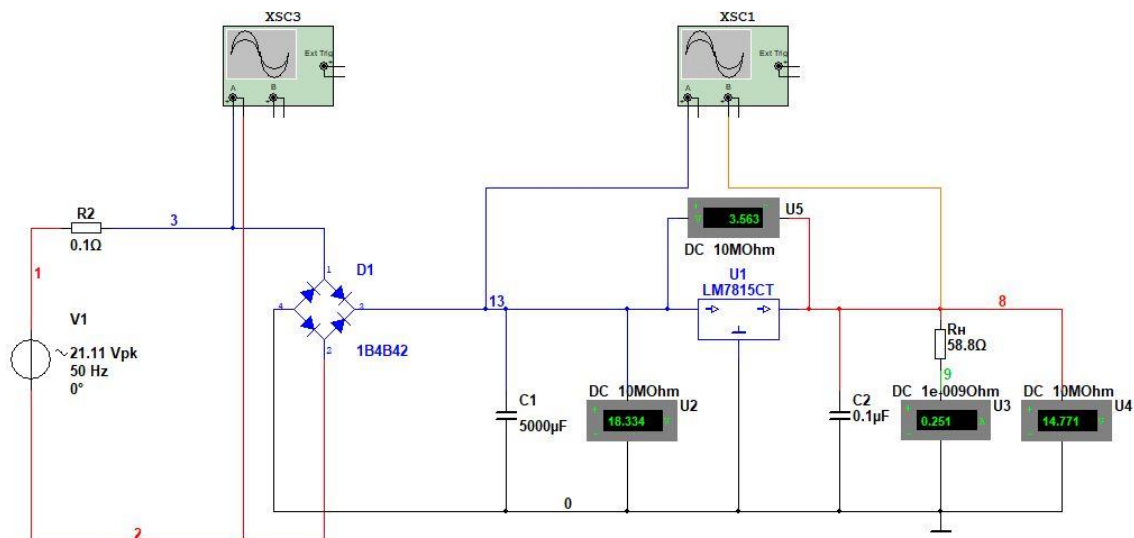


Рис. 2. Визуализация исследуемой схемы источника питания в Multisim.

Исследования пульсаций выходного напряжения $U_{вых}$ осуществлялись при вариации следующих параметров схемы:

- сопротивление вторичной обмотки трансформатора R_i изменялось дискретно в пределах от 0,1 Ом до 10 Ом;
- действующее значение напряжения на выходе трансформатора $U_{вых.тр}$ изменялось в соответствии с изменением входного напряжения трансформатора в пределах $\pm 10\%$ от установленного номинального значения;
- ёмкость конденсатора фильтра $C1$ изменялось дискретно в пределах от 0,1 мФ до 5 мФ;
- выходной максимальный ток $I_{вых}$ в нагрузке был установлен равным 0,25 А.

В ходе моделирования при изменении сопротивления вторичной обмотки R_i было обнаружено, что форма сигнала выходного напряжения $U_{вых.тр}$ с вторичной обмотки трансформатора изменялась. На рисунке 3 изображены осциллограммы $U_{вых.тр}$ при различных значениях R_i .

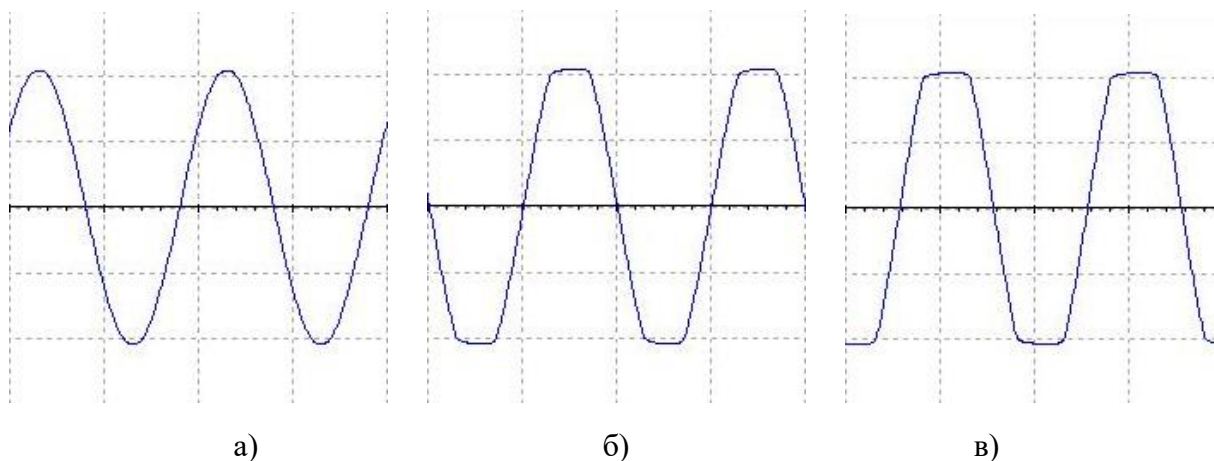


Рис. 3. Формы сигналов выходного напряжения с трансформатора при различных значениях сопротивлении вторичной обмотки R_i :

а) 0,1 Ом; б) 5 Ом; в) 10 Ом.

Из рисунка 3 видно, что при достаточно малом значении $R_i = 0,1$ Ом форма выходного напряжения трансформатора $U_{вых.тр}$ соответствует синусоидальной временной зависимости (рисунок 3а). Однако с увеличением R_i выходное напряжение трансформатора $U_{вых.тр}$ начинает приобретать трапецеидальную форму. Это свидетельствует об увеличении активных электрических потерь в выходной обмотке трансформатора. Этот эффект приводит к дополнительному нагреву трансформатора при эксплуатации. Таким образом, для снижения электрических потерь и, соответственно, повышения коэффициента полезного действия источника питания, а также температуры перегрева обмоток трансформатора требуется обязательное снижение сопротивления выходной обмотки R_i трансформатора

питания. При этом необходимо учитывать, что это возможно только при увеличении диаметра медных проводов трансформатора. Однако, в свою очередь это приводит к увеличению массы и габаритов трансформатора питания.

При моделировании значения выходных пульсаций напряжения $U_{вых.нул}$ определялись по величинам размахов показаний пульсаций с экрана виртуального осциллографа. На рисунке 4 подробно показано как проводились измерения.

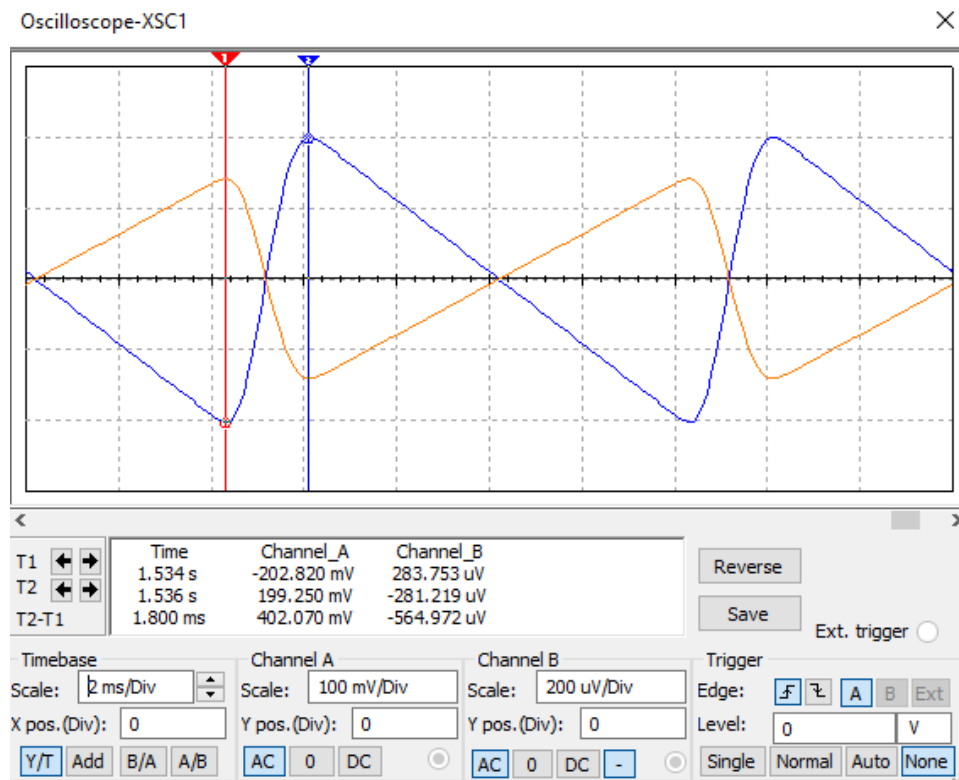


Рис. 4. Определение пульсаций входного напряжения (линия синего цвета) на конденсаторе $C1$ и выходных пульсаций (линия красного цвета) напряжения на нагрузке стабилизатора по осциллограммам.

Результаты исследования зависимостей пульсаций выходного напряжения $U_{вых.нул}$ от величины ёмкости конденсатора фильтра $C1$ при различных значениях нестабилизированного входного переменного напряжения.

На основе этих данных на рис. 5 представлены. графики зависимостей пульсаций выходного напряжения $U_{вых.нул}$ от величины ёмкости конденсатора фильтра $C1$ при $R_i = 0,1$ Ом, $R_i = 5$ Ом и $R_i = 10$ Ом и при действующих значениях напряжения на выходной обмотке трансформатора пропорциональные, пропорциональные изменения действующим значениям нестабилизированного напряжения питающей сети при $U_{ex} = 198$ В; при $U_{ex} = 220$ В; при $U_{ex} = 242$ В.

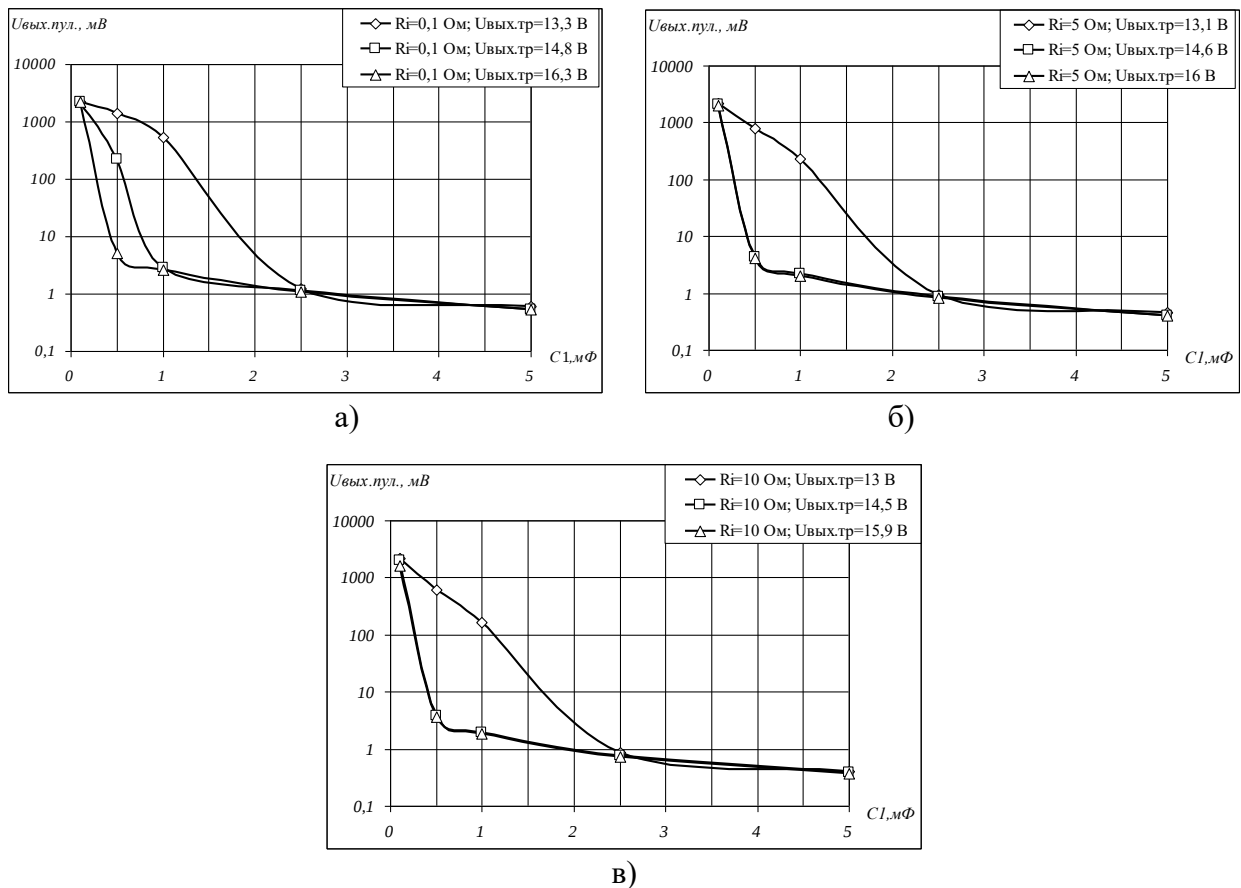


Рис. 5. Графики зависимостей выходных пульсаций $U_{\text{вых.пул.}}$ от ёмкости сглаживающего фильтра $C1$ при R_i : а) 0,1 Ом; б) 5 Ом; в) 10 Ом.

Анализируя данные графики, можно заметить, что при увеличении R_i пульсации выходного напряжения снижается. Также можно сделать вывод о том, что во всех случаях (рисунок 6 а-в) уровень пульсаций 1мВ достигается при ёмкости $C1=2,5$ мФ (25 000 мкФ). При этом для обеспечения такого уровня пульсации необходимо применять электролитические конденсаторы с номинальной ёмкостью не менее 2,7 мФ [4].

При изменении напряжения сети, параметров трансформатора и конденсатора $C1$, также меняется мощность $P_{ст}$, которая выделяется в силовой цепи микросхемы стабилизатора. Эта мощность можно определить по формуле:

$$P_{ст} = U_{ст} I_{вых}, \quad (1)$$

где $U_{ст}$ – падение напряжения между входом и выходом стабилизатора, В; $I_{вых}$ – сила тока в нагрузке, А.

Исследования показали, что величина максимальной мощности $P_{ст\text{макс}}$ выделяемой в силовой цепи микросхемы стабилизатора при $C1=2,5$ мФ достигается для всех значений R_i достигается при максимальном действующем значении напряжения питающей сети

$U_{\text{д.сети макс}} = 242$ В. При этом проведена оценка площади охлаждающего радиатора, расчёт которой проводилась по известной формуле [5]:

$$S_{\text{охл}} = \frac{1350}{\frac{(T_{J.\text{макс}} - T_{\text{окр}})}{P_{\text{ст}}} - R_{\text{th}}}, \quad (2)$$

где $T_{J.\text{макс}}$ – предельная максимальная температура полупроводниковых структур микросхемы стабилизатора, при которой обеспечиваются заданные показатели надёжности микросхемы при эксплуатации, °С; $T_{\text{окр}}$ – максимальная температура окружающей среды при эксплуатации, °С; $P_{\text{ст}}$ – мощность на стабилизаторе, Вт; R_{th} – установившееся значение теплового сопротивления радиатора, Ом.

При этом предельное значение температуры $T_{J.\text{макс}}$ выбрана равной +60 °С., значение максимальной температуры окружающей среды $T_{\text{окр}}$ выбрана +40 °С, а по справочным данным для данной микросхемы стабилизатора $R_{\text{th}} = 3$ °С/Вт.

Расчётные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1

Расчёт площади радиатора для трансформаторов с разным сопротивлением вторичной обмотки, при входном максимальном действующем значении напряжении сети $U_{\text{д.сети макс}} = 242$ В, при $C1$ 2,5 мФ			
R_i , Ом	$U_{\text{д.сети макс}}$, В	$U_{\text{д.вых.тр.}}$, В	$S_{\text{охл}}$, см ²
0,1	242	16,29	119,3
5		16,02	132,6
10		15,93	142,7

На основе данных из таблицы 1 построен график зависимости площади радиатора $S_{\text{охл}}$ от сопротивления вторичной обмотки R_i (рис. 6).

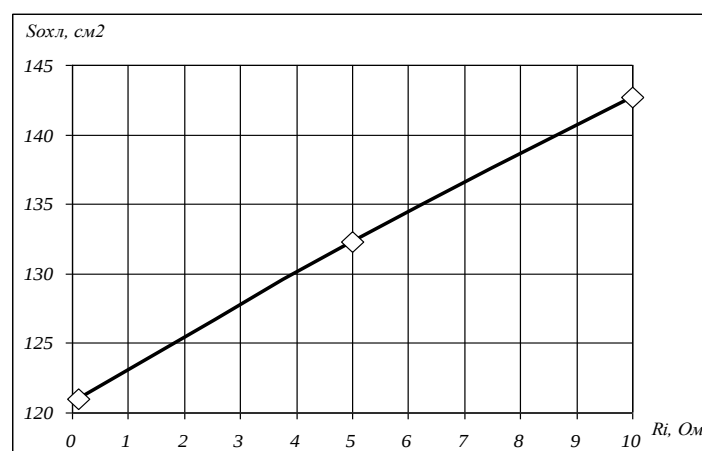


Рис. 6. График зависимости площади поверхности радиатора $S_{\text{охл}}$ от сопротивления вторичной обмотки R_i .

Из полученной зависимости видно, что чем больше сопротивление вторичной обмотки R_i , тем больше габариты и, соответственно, масса радиатора.

В дальнейшем данные исследования будут использованы при разработке высокостабильных источников питания с малыми пульсациями выходного напряжения, которые составят основу электрического питания измерительных устройств, разрабатываемых на кафедре электроники и нанoeлектроники Научно-исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Одинец А. И., Науменко А. П. Цифровые устройства: АЦП и ЦАП. Учеб. пособие. – Омск: ИРСИД, 2006. – 48 с.
2. Ефимов И. П. Источники питания РЭА. – У.: УлГТУ, 2001. – 135 с.
3. Найвельт Г. С., Мазель К. Б., Хусаинов Ч. И. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры: Справочник. – М.: Радио и связь, 1986. – 576 с.
4. Интернет-магазин электронных компонентов и радиодеталей ПЛАТАН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.platan.ru> (дата обращения: 03.10.2022).
5. Цыкина А. В. Проектирование транзисторных усилителей низкой частоты. – М.: Связь, 1968. – 186 с.