

УДК 621.314.6

А.В. Фролов, Н.Ю. Грунина

Исследование особенностей работы однополупериодного выпрямителя на ёмкостную нагрузку

Приводятся результаты теоретических расчётов и компьютерного моделирования в программе «SimInTech» работы однофазного однополупериодного выпрямителя с ёмкостным фильтром. Приводятся зависимости среднего значения, коэффициента пульсаций и минимального значения напряжения нагрузки от постоянной времени фильтра. Авторами получены графические зависимости и предложены аналитические выражения для расчета параметров напряжения, справедливые при малых постоянных времени фильтра ($0,1 < \tau < 100T$), проведена их верификация аналитически (с помощью численного решения уравнений) и имитационным моделированием в программе SimInTech. Точность аппроксимации предложенных выражений составила не менее 98%.

Ключевые слова: выпрямитель, моделирование, SimInTech, ёмкостный фильтр, среднее напряжение, коэффициент пульсаций.

DOI: 10.21293/1818-0442-2022-25-4-134-139

Как известно, сглаживающий фильтр является неотъемлемой частью любого источника вторичного электропитания и применяется для сглаживания пульсаций постоянного напряжения. Эти фильтры устанавливаются на выходе выпрямителя, а в импульсных схемах – на выходе схем силовых ключей. Применяемая для LC-фильтров классическая методика анализа работы схем проста и надёжна, но она не учитывает особенности работы выпрямителя с C-фильтром, которые заключаются в том, что среднее значение напряжения нагрузки, как и его коэффициент пульсаций, в значительной степени зависит от ёмкости конденсатора фильтра и величины активного сопротивления нагрузки. При этом режим работы схемы определяется величиной нагрузки. Так, например, при работе однофазного однополупериодного выпрямителя с ёмкостным фильтром его

выходное напряжение значительно меняет свою форму в зависимости от тока нагрузки или от ёмкости фильтра (рис. 1) [1–3]. Это является широко известным фактом. Более того, очевидно, что среднее значение выходного напряжения будет изменяться в пределах от среднего до амплитудного значения входного напряжения выпрямителя, т.е. для однополупериодной схемы изменение составляет более чем в три раза относительно расчётного значения. Изменяется также и коэффициент пульсаций в зависимости от тока нагрузки от 0 (на холостом ходу) до $\pi/2$ (при больших нагрузках). Не менее интересен вопрос изменения минимального мгновенного значения напряжения нагрузки от ее характера. Вышесказанное иллюстрируется диаграммами, приведёнными на рис. 1, при ёмкости сглаживающего фильтра 100 мкФ и нагрузках от 2 Ом до 2 кОм.

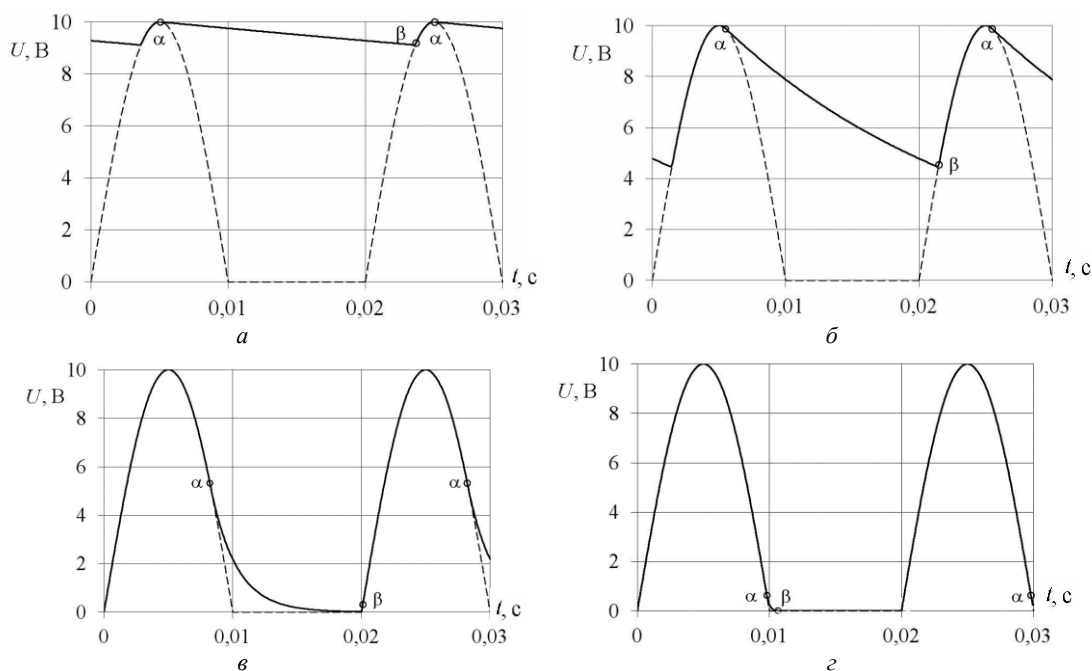


Рис. 1. Диаграммы выходного напряжения однофазного однополупериодного выпрямителя с ёмкостным фильтром при постоянных времени цепи разряда: $\tau = 10T$ (а); $\tau = T$ (б); $\tau = 0,1T$ (в); $\tau = 0,01T$ (г)

Зависимости среднего напряжения нагрузки от значения ёмкости фильтра в литературе описываются достаточно приближённо [1–10], часто определяются сложным образом с помощью номограмм и только для граничных режимов [18]

$$\frac{R_{вн}}{R_n} \geq \frac{10}{(m\omega CR_n)^2} \text{ либо } \frac{R_{вн}}{R_n} < \frac{4}{(m\omega CR_n)^2},$$

где R_n – сопротивление нагрузки, Ом.

Формул расчёта ёмкостного фильтра в современной литературе встречается несколько, и они противоречивы [3, 4, 6, 16], некоторые из них:

$$K_{сп} = 2\pi f C R_n + 1, \tag{1}$$

$$K_{сп} = \sqrt{(2\pi f C R_n)^2 + 1}, \tag{2}$$

$$\begin{cases} K_{п} = \frac{1}{\sqrt{3}(4fCR_n - 1)}, \\ CR_n > \frac{1}{2\pi f}, \end{cases} \tag{3}$$

где $K_{п}$ – коэффициент пульсаций напряжения; $K_{сп}$ – коэффициент сглаживания пульсаций; f – частота пульсаций, Гц; C – ёмкость конденсатора, Ф.

В связи с актуальностью выбранной темы исследований в статье приводятся результаты теоретических и модельных исследований влияния постоянной времени цепи нагрузки выпрямителя (ёмкости сглаживающего фильтра и активного сопротивления

нагрузки) на параметры выходного напряжения: среднего и минимального значений, а также коэффициента пульсаций.

Методика исследований

Теоретические исследования выполнялись на основе схемы выпрямителя с фильтром (рис. 2). Для упрощения математических расчётов параметры элементов схемы идеализировались: нагрузка представлялась идеальным резистором; внутреннее сопротивление выпрямителя принималось много меньше сопротивления нагрузки; падение напряжения на диоде, обратный ток диода и омическое сопротивление диода не учитывались.

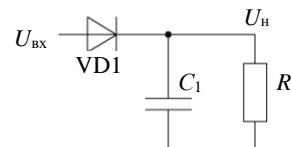


Рис. 2. Схема однофазного однополупериодного выпрямителя с ёмкостным фильтром

Вместо натурных испытаний выполнялось имитационное моделирование [5–7], [11–15], так как оно обеспечивает достаточно достоверные результаты, но не требует изготовления испытательного оборудования и отличается меньшей трудоёмкостью. Модельные исследования выполнялись с помощью программного симулятора SimInTech (рис. 3).

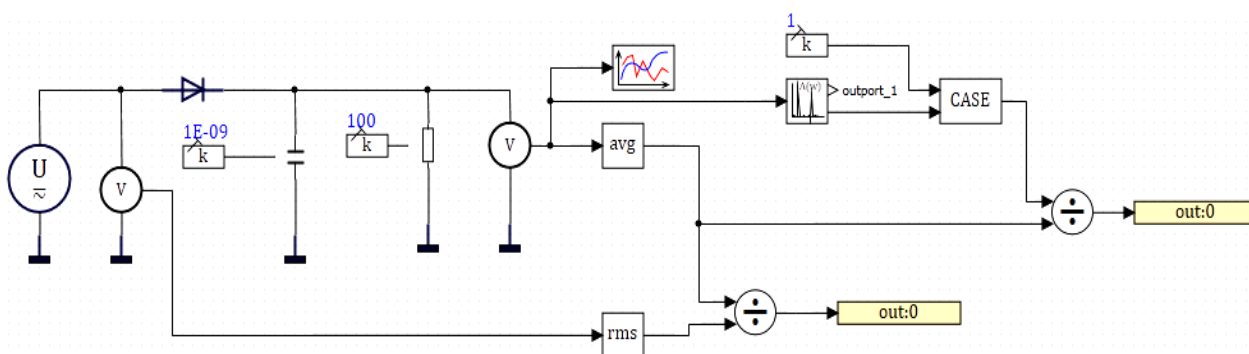


Рис. 3. Модель исследуемой схемы в программе SimInTech

Параметры элементов модели:

- источник входного сигнала (U) – амплитуда 100 В; частота 10 Гц; сопротивление источника – нет;
- диод – 1N4004 (сопротивление утечки перехода – 10 МОм; последовательное сопротивление – 42,9 мОм; ток насыщения – 31,98 нА);
- сопротивление нагрузки – 100 Ом, что обеспечивало среднее значение тока диода не более 1 А;
- ёмкость фильтра – 10 мкФ ... 0,1 Ф, что обеспечивало изменение постоянной времени цепи нагрузки $\tau = 0,01T \dots 100T$.

Модель автоматически рассчитывает среднее значение (avg) выходного напряжения и действующее значение (rms) входного напряжения, а также коэффициент пульсаций выходного напряжения. Минимальное значение выходного напряжения определялось с помощью инструмента моделирования «TimeGraphic». Измерения напряжений выпол-

нялись с помощью вольтметров (V). Блоки констант (k) задавали значения ёмкости конденсатора, сопротивления нагрузки.

Параметры расчёта: минимальный шаг – 5 мкс; максимальный шаг – 100 мкс; начальный шаг интегрирования – 0 с; метод интегрирования – RK45; относительная ошибка 10^{-4} ; абсолютная ошибка – 10^{-6} ; относительная ошибка сравнения времени – 10^{-12} ; шаг синхронизации задан – 100 мкс.

Результаты исследований и их обсуждение

Для однофазной однополупериодной схемы с ёмкостным фильтром период выходного напряжения можно разбить на два интервала: интервал разряда конденсатора фильтра через нагрузку и интервал заряда конденсатора фильтра от выпрямителя. Заряд конденсатора фильтра осуществляется выходным напряжением выпрямителя, которое описывается формулой

$$\begin{cases} U_1(t) = U_m \sin(\omega t), & T/4 < t < T/2, \\ U_1(t) = 0, & T/2 < t < T, \\ \omega = 2\pi f, \\ f = 1/T, \end{cases}$$

где $U_1(t)$ – выходное напряжение выпрямителя без фильтра, В; U_m – амплитуда входного напряжения выпрямителя, В; ω – частота напряжения, рад/с; T – период напряжения, с; f – частота напряжения, Гц.

Разряд конденсатора выполняется через активную нагрузку по следующему закону:

$$U_2(t) = U_1(\alpha) e^{-\frac{t-\alpha}{\tau}} = U_m \sin(\omega\alpha) e^{-\frac{t-\alpha}{\tau}},$$

$$\tau = CR_H,$$

где $U_2(t)$ – выходное напряжение фильтра во время разряда конденсатора, В; α – время коммутации (начала разряда), с; τ – постоянная времени цепи, с. Разряд конденсатора происходит при закрытом диоде выпрямителя. А диод закрывается в случае, если напряжение на конденсаторе превышает выходное напряжение выпрямителя: $U_2(t) > U_1(t)$. Поэтому точка коммутации α соответствует моменту времени, начиная с которого будет выполняться это неравенство.

Функция $U_1(t)$ на интервале $T/4 \leq t \leq T/2$ монотонно убывает, а скорость ее убывания растёт с увеличением t и определяется по величине первой производной

$$-\frac{dU_1(t)}{dt} = -U_m \omega \cos(\omega t).$$

Функция $U_2(t)$ на этом же интервале также монотонно убывает, а скорость убывания функции падает с ростом t :

$$-\frac{dU_2(t)}{dt} = \frac{U_m}{\tau} \sin(\omega\alpha) e^{-\frac{t-\alpha}{\tau}}.$$

Поэтому точка коммутации α будет соответствовать моменту времени, в котором равны как обе функции, так и их производные. Этому моменту соответствует время

$$\alpha = \frac{\text{atg}(-\omega\tau) + \pi}{\omega}.$$

Вторая точка коммутации β соответствует точке пересечения функций $U_1(t)$ и $U_2(t)$ на интервале $T/2 \leq t \leq 5T/4$. На этом интервале функция $U_1(t)$ либо равна нулю, либо монотонно возрастает, а функция $U_2(t)$ монотонно убывает. Поэтому для нахождения угла коммутации β необходимо решить уравнение

$$\begin{cases} U_m \sin(\omega\beta) = U_m \sin(\omega\alpha) e^{-\frac{\beta-\alpha}{\tau}}, \\ T/2 \leq t \leq 5T/4. \end{cases}$$

Аналитическое решение этого уравнения представляется затруднительным, поэтому угол коммутации определялся численными методами.

Напряжение нагрузки анализируемой схемы выпрямителя с ёмкостным фильтром можно описать следующей формулой:

$$U_H(t) = \begin{cases} U_1(t), & U_1(t) \geq U_2(t), \\ U_2(t), & U_1(t) < U_2(t), \\ \alpha \leq t \leq \alpha + T. \end{cases}$$

Относительное среднее значение напряжения нагрузки рассчитывалось численными методами по формуле

$$U_H = \frac{\sqrt{2}}{U_m} \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\alpha+T} U_H(t) dt. \quad (4)$$

Коэффициент пульсаций напряжения нагрузки рассчитывался следующим образом:

$$\begin{cases} K_H = \frac{U_r}{U_H}, \\ U_r = \sqrt{A^2 + B^2}, \\ A = \frac{2}{T} \int_{\alpha}^{\alpha+T} U_H(t) \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) dt, \\ B = \frac{2}{T} \int_{\alpha}^{\alpha+T} U_H(t) \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) dt, \end{cases} \quad (5)$$

где K_H – коэффициент пульсаций напряжения; U_r – амплитуда первой гармоники напряжения нагрузки, В; U_H – среднее значение напряжения нагрузки, В; A, B – косинусный и синусный коэффициенты первой гармоники ряда Фурье.

Результаты расчёта и моделирования работы схемы (в программе SimInTech) показаны на рис. 4–6. На рис. 4 представлена теоретически рассчитанная по формуле (4) зависимость относительного среднего напряжения нагрузки от значения постоянной времени фильтра (кривая 1), а также отображены результаты моделирования работы схемы в программе SimInTech (точки 2).

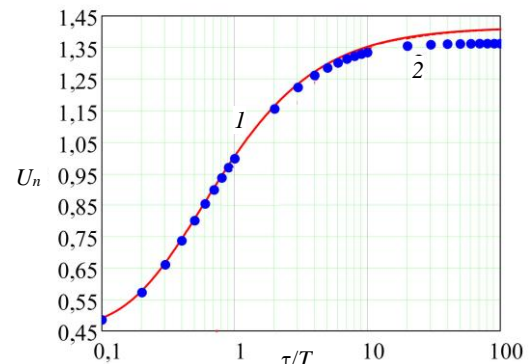


Рис. 4. Расчётная (1) и экспериментальная (2) зависимости относительного среднего напряжения нагрузки от постоянной времени цепи нагрузки

На рис. 5 представлена расчётная зависимость минимального напряжения нагрузки от значения постоянной времени RC -цепи (кривая 1), а также отображены результаты моделирования работы схемы в программе SimInTech (точки 2). Погрешность между расчётными значениями и результатами моделирования не превышает 2%.

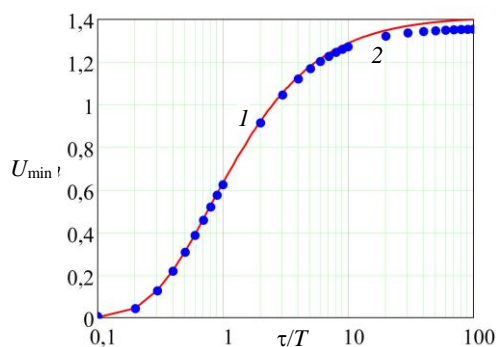


Рис. 5. Расчётная (1) и экспериментальная (2) зависимости относительного минимального напряжения нагрузки от постоянной времени цепи нагрузки

Расхождения теоретически рассчитанных значений с результатами моделирования вызваны тем, что при теоретическом расчёте схема идеализировалась, а при моделировании применялись параметры реального диода. Погрешность не превышает 4%.

На рис. 6 представлены: расчётная зависимость коэффициента пульсаций напряжения нагрузки от постоянной времени RC-цепи по формуле (5) – сплошная кривая 1; зависимость коэффициента пульсаций от постоянной времени цепи, полученная в результате моделирования в программе SimInTech, – точки 2, а также зависимости коэффициента пульсаций от постоянной времени цепи, полученные по известным формулам (1) и (2), – пунктирные кривые 3 и 4.

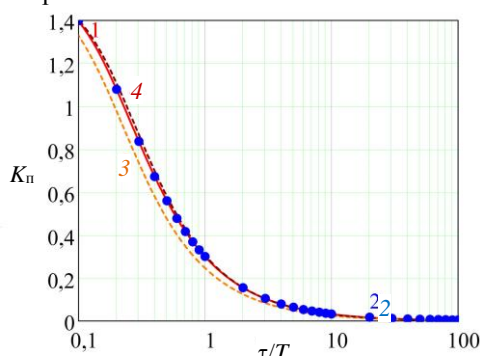


Рис. 6. Зависимости коэффициента пульсаций напряжения нагрузки от постоянной времени цепи нагрузки: расчётная (1), экспериментальная (2), аппроксимирующая по формуле (1) (3) и аппроксимирующая по формуле (2) (4)

Из известных зависимостей наиболее точно зависимость коэффициента пульсаций от постоянной времени цепи нагрузки описывает формула (2), при этом коэффициент детерминации составляет $R^2 = 0,979$.

Для обеспечения возможности применения полученных зависимостей в расчётах графики на рис. 4–6 можно аппроксимировать следующими аналитическими зависимостями:

$$U_n \left(\frac{\tau}{T} \right) = \sqrt{2} \left[1 - \frac{\pi - 1}{\sqrt[1,3]{\left(1,66\pi \frac{\tau}{T} \right)^{1,3} + \pi^{1,3}}} \right], \quad (6)$$

$$K_p \left(\frac{\tau}{T} \right) = \frac{\pi}{2\sqrt{\left(1,6\pi \frac{\tau}{T} \right)^2 + 1}}, \quad (7)$$

$$U_{\min} \left(\frac{\tau}{T} \right) = \sqrt{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt[1,45]{\left(0,38\pi \frac{\tau}{T} \right)^{1,42} + 1}} \right]. \quad (8)$$

При этом коэффициенты детерминации составляют $R^2 = 0,999$ в диапазоне $0,01T \leq \tau \leq 100T$.

Заключение

Наибольшие изменения среднего напряжения нагрузки, коэффициента пульсаций напряжения нагрузки и минимального мгновенного напряжения нагрузки происходят в диапазоне постоянных времени фильтра $0,1T < \tau \leq 10T$. Зависимости параметров напряжения нагрузки от постоянной времени описать аналитически не удаётся, и при расчётах необходимо пользоваться либо графическими данными (см. рис. 4–6), либо рассчитывать численными методами. Приблизённо можно использовать полученные авторами аппроксимирующие функции (6)–(8) с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,999$ (в диапазоне $0,01T \leq \tau \leq 100T$).

Литература

1. Бурков А.Т. Электроника и преобразовательная техника. – М.: УМЦ ЖДТ, 2015. – 307 с.
2. Гейтенко Е.Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчёт. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 448 с.
3. Ефимов И.П. Источники питания РЭА. – Ульяновск: УлГТУ, 2002. – 136 с.
4. Бладыко Ю.В. Сглаживающие фильтры // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2010. – № 2. – С. 36–40.
5. Петров А. Трансформаторы, выпрямители, фильтры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.radioradar.net/hand_book/documentation/tran.html#5, свободный (дата обращения: 11.10.2022).
6. Романов В.П. Электропитание средств вычислительной техники. – Новокузнецк: ФГОУ СПО «Кузнецкий индустриальный техникум», 2008. – 94 с.
7. Сажнёв А.М. Электропитание устройств и систем связи / А.М. Сажнёв, Л.Г. Рогулина, С.С. Абрамов. – Новосибирск: ГОУ ВПО СибГУТИ, 2008. – 112 с.
8. Климах В.С. Разработка конденсаторных установок и способа регулирования реактивной мощности в системах промышленного электроснабжения / В.С. Климах, Б.Д. Табаров // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2022. – №1 (57). – С. 7–14. DOI: 10.17084/20764359-2022-57-7.
9. Иванов С.Н. Теоретические основы математического моделирования процессов преобразования мощности в сверхмощных энергетических устройствах / С.Н. Иванов, К.К. Ким, О.В. Приходченко и др. // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2020. – № 1 (41). – С. 37–44.
10. Егоров В.А. Микроконтроллерная система управления автономным инвертором с упрощённой простран-

ственно-временной широтно-импульсной модуляцией / В.А. Егоров, Ю.Г. Егорова, Е.В. Плотников // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2020. – № 3 (43). – С. 36–42.

11. Болдырев В.В. Разработка интеллектуального модуля управления автоматизированной автономной системой энергообеспечения / В.В. Болдырев, М.А. Горькавый // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2020. – № 3 (43). – С. 9–18.

12. Иванов С.Н. Анализ электромеханических систем методами имитационного моделирования / С.Н. Иванов, К.К. Ким, А.А. Просолович и др. // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2021. – № 3 (51). – С. 29–38. DOI: 10.17084/20764359-2021-51-29.

13. Сочелев А.Ф. Математическая модель регулятора переменного напряжения с вольтодобавочным каналом // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2019. – № 3 (39). – С. 27–37.

14. Ахрамович С.А. Использование среды динамического моделирования технических систем SIMINTECH в задачах полунатурного моделирования / С.А. Ахрамович, А.В. Сычёв, А.М. Колпаков и др. // Тезисы докл. XXIV Междунар. науч. конф. «Системный анализ, управление и навигация». – М.: Изд-во МАИ-Принт, 2019. – С. 71–73.

15. Воронцов И.Н. Моделирование в SIMINTECH устройств силовой электроники / И.Н. Воронцов, И.С. Ситников // Матер. 76-й студенческой науч. конф. – Брянск: Изд-во Брян. гос. техн. ун-та, 2021. – С. 597–598.

16. Ллойд П. Справочник по полупроводниковой электронике. – М.: Машиностроение, 1975. – 508 с.

17. Борисов П.А. Расчет и моделирование выпрямителей: учеб. пособие по курсу «Элементы систем автоматики». – Ч. I / П.А. Борисов, В.С. Томасов. – СПб.: СПб ГУ ИТМО, 2009. – 169 с.

18. Коновалов Б.И. Основы преобразовательной техники: учеб. пособие / Б.И. Коновалов, В.С. Мишуков. – Томск: ТУСУР, 2015. – 197 с.

single-wave rectifier with a capacitive filter and an active load. The correlation between the average load voltage, the minimum load voltage, the ripple factor and the RC load constant are given. The article shows that the available in literature approximating dependences of the load voltage characteristics do not correspond to either the results of theoretical calculations or the results of mathematical modeling. The found dependences allow to produce the optimal value of the smoothing filter capacitance for the desired load.

Keywords: rectifier, calculation, simulation, SimInTech, capacitive smoother, average voltage, ripple factor, minimum voltage.

DOI: 10.21293/1818-0442-2022-25-4-134-139

References

1. Burkov A.T. *Electronica i preobrazovatel'naya tehnica* [Electronics and transformative technology]. M., EMC RT, 2015, 307 p. (in Russ.).

2. Geytenko E.N. *Istochniki vtorichnogo eletropitaniya. Chemotehnika i raschet* [Secondary power sources. Circuit design and calculation]. Moscow, SOLON-PRESS, 2008, 448 p. (in Russ.).

3. Efimov I.P. *Istochniki pitaniya REA* [Power sources of electronic equipment]. Ulyanovsk, USTU, 2002, 136 p. (in Russ.).

4. Bladiko Y.V. [Ripple filter]. *Energy. News of higher educational institutions and energy associations of the CIS*, 2010, no. 2, pp. 36–40 (in Russ.).

5. Petrov A. [Transformers, rectifiers, filters]. Available at: https://www.radioradar.net/hand_book/documentation/tran.html#5, free (Accessed: October 11, 2022) (in Russ.).

6. Romanov V.P. *Electropitanie sredstv vichislitel'noy tehniki* [Power supply of computer equipment]. Novokuznetsk, KIT, 2008, 94 p. (in Russ.).

7. Sajnev A.M., Rogulina L.G., Abramov S.S. *Electropitanie ustroystv i sistem svyazi* [Power supply of communication devices and systems]. Novosibirsk, SibSUTIS, 2008, 112 p. (in Russ.).

8. Klimash V.S., Tabarov B.D. [Development of capacitor devices and a method for regulating reactive power in industrial power supply systems]. *Scientific Notes of KnASTU*, 2022, no. 1 (57), pp. 7–14. DOI: 10.17084/20764359-2022-57-7 (in Russ.).

9. Ivanov S.N., Kim K.K., Prihodchenko O.V. [Theoretical foundations of mathematical modeling of power conversion processes in combined energy devices]. *Scientific Notes of KnASTU*, 2020, no. 1 (41), pp. 37–44 (in Russ.).

10. Egorov V.A., Egorova Y.G., Plotnikov E.V. [Microcontroller control system of an autonomous inverter with simplified space-time pulse-width modulation]. *Scientific Notes of KnASTU*, 2020, no. 3 (43), pp. 36–42 (in Russ.).

11. Boldirev V.V., Gorkaviy M.A. [Development of an intelligent control module for an automated autonomous power supply system]. *Scientific Notes of KnASTU*, 2020, no. 3 (43), pp. 9–18 (in Russ.).

12. Ivanov S.N., Kim K.K., Prosolovich A.A. [Analysis of electromechanical systems by simulation methods]. *Scientific Notes of KnASTU*, 2021, no. 3 (51), pp. 29–38. DOI: 10.17084/20764359-2021-51-29 (in Russ.).

13. Sochelev A.F. [Mathematical model of an alternating voltage regulator with an additional voltage channel]. *Scientific Notes of KnASTU*, 2019, no. 3 (39), pp. 27–37 (in Russ.).

14. Ahramovich A.A., Sichev A.V., Kolpakov A.M. [Using the SIMINTECH dynamic modeling environment for semi-natural modeling tasks]. *System Analysis, Management and Navigation*. Proceedings of the XXIV International scientific conference. M., MAI-PRINT, 2019. pp. 71–73 (in Russ.).

Фролов Алексей Валерьевич

Канд. техн. наук, доцент каф. промышленной электроники Комсомольского-на-Амуре государственного университета (КнАГУ)

Ленина ул., 27, г. Комсомольск-на-Амуре, Россия, 681013

ORCID: 0000-0002-9406-1095

Тел.: +7 (421-7) 24-11-92

Эл. почта: Afrolov.kms@mail.ru

Грунина Надежда Юрьевна

Студент каф. промышленной электроники КнАГУ

Ленина ул., 27, г. Комсомольск-на-Амуре, Россия, 681013

Тел.: +7 (421-7) 24-11-92

Эл. почта: Uheybyf1999uheybyf1999@gmail.com

Frolov A.V., Grunina N.Y.

Study of a single-wave rectifier with capacitive load

The article presents the results of theoretical calculations and SimInTech program simulation of a function of a single-phase

15. Vorontsov I.N., Sitnikov I.S. [SIMINTECH modeling of power electronics devices]. *Materials of the 76th Student Scientific Conference*. Proceedings of the 76th student scientific conference. Bryansk, BSTU, 2021, pp. 597–598 (in Russ.).

16. Lloyd P. *Spravochnik po poluprovodnikovoy elektronike* [Handbook of Semiconductor Electronics]. M., Mechanical engineering. 508 p. (in Russ.).

17. Borisov P.A., Tomasov V.S. *Raschet I modelirovanie vipryamitley* [Rectifiers calculation and modeling]. Saint Petersburg, SPb GU ITMO. 169 p. (in Russ.).

18. Kononov B.I., Mishurov V.S. *Osnovi preobrazovatelnoy tehniki* [Converter technology fundamentals]. Tomsk, TUSUR, 2015, 197 p. (in Russ.).

Aleksey V. Frolov

Candidate of Science in Engineering, Assistant professor,
Department of Industrial Electronics,
Komsomolsk-na-Amure State University
27, Lenin st., Komsomolsk-on-Amur, Russia, 681013
ORCID: 0000-0002-9406-1095
Phone: +7 (421-7) 24-11-92
Email: Afrolov.kms@mail.ru

Nadezhda Y. Grunina

Student,
Department of Industrial Electronics,
Komsomolsk-na-Amure State University
27, Lenin st., Komsomolsk-on-Amur, Russia, 681013
Phone: +7 (421-7) 24-11-92
Email: Uheybyf1999uheybyf1999@gmail.com