

УДК 621.3.018.782.3

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ИМПУЛЬСНОМ ИСТОЧНИКЕ ПИТАНИЯ

Н.М. Сапрунова, А.И. Гребнев

Рассмотрены схемы замещения импульсного источника питания, у которого в качестве демпфирующей цепи применяются резистор и конденсатор. Для расчета используется операторный метод. Получено выражение тока в первичной обмотке выходного трансформатора для двух интервалов работы.

Ключевые слова: импульсный источник питания, транзистор, трансформатор, демпфирующая цепь, схема замещения, колебательный процесс.

Импульсные источники вторичного электропитания широко применяются в автономных и стационарных устройствах для питания различных электронных приборов [1–6]. Принципиальная схема одного из возможных исполнений источника питания приведена на рис. 1 [7–9]. Транзистор управляется прямоугольным сигналом, у которого изменяется ширина импульса, т.е. на затвор подается ШИМ-сигнал [10–14].

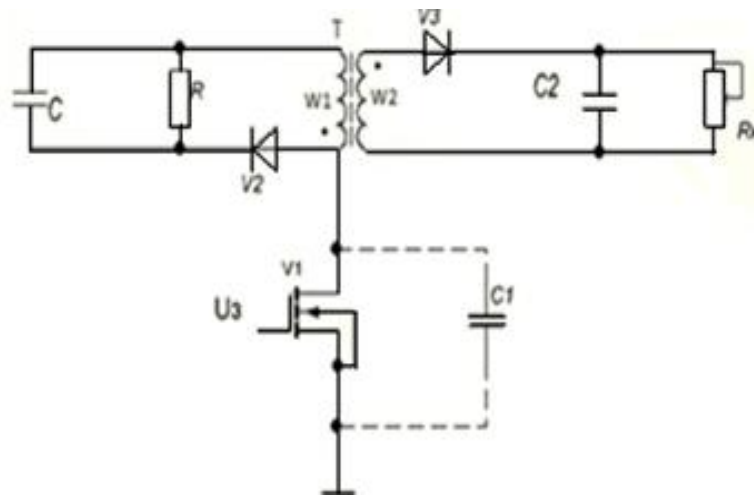


Рис. 1. Схема импульсного источника питания

При выключении транзистора на первичной обмотке w_1 трансформатора T возникает ЭДС самоиндукции, которая ограничивается демпфирующей цепью. Целью исследования на первом этапе являются переходные процессы при выключении транзистора. Характер переходных процессов в дальнейшем позволит выбрать схему и параметры демпфирующей цепи.

Схема замещения при выключении транзистора и положительной полярности ЭДС самоиндукции приведена на рис. 2, где C_1 – эквивалентная емкость транзистора, Z – параллельное соединение резистора R и емкости C .

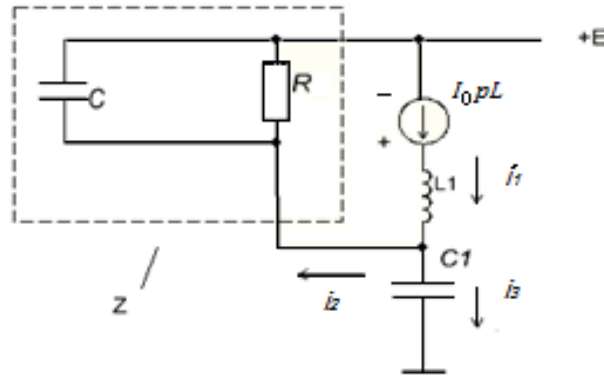


Рис. 2. Схема замещения на первом интервале работы

Тогда в схеме замещения получается 3 неизвестных параметра: i_1 , i_2 , i_3 . Согласно схеме замещения составлена система уравнений:

$$\begin{cases} I_1(p) = I_2(p) + I_3(p) \\ -I_0 pL + I_1(p) \cdot pL = -I_2(p) \cdot Z(p) \\ E = -I_2(p) \cdot Z + I_3(p) \cdot \frac{1}{pC_1} \end{cases} \quad (1)$$

Решение системы (1) дает значение тока $I_1(p)$:

$$I_1(p) = \frac{pER C_1}{p^2 LR(C+C_1)+pL+R} + \frac{p^2 I_0 LR(C+C_1)+pI_0 L}{p^2 LR(C+C_1)+pL+R}. \quad (2)$$

Знаменатель приводим к виду $(p^2 + ap + d)$:

$$I_1(p) = \frac{E C_1}{L C_{\Sigma}} \cdot \frac{p}{p^2 + \frac{p}{RC_{\Sigma}} + \frac{1}{LC_{\Sigma}}} + \frac{I_0 (p^2 + \frac{p}{RC_{\Sigma}})}{p^2 + \frac{p}{RC_{\Sigma}} + \frac{1}{LC_{\Sigma}}}. \quad (3)$$

Общий знаменатель двух слагаемых имеет вид: $(p^2 + ap + d)$, где

$$a = \frac{1}{RC_{\Sigma}}, d = \frac{1}{LC_{\Sigma}}, C_{\Sigma} = C + C_1. \quad (4)$$

Временная функция $i_1(t)$ зависит от соотношения di $a^2/4$. Предположим, что в схеме рис. 2 происходит колебательный процесс, тогда значение принимает вид:

$$i_1(t) = \frac{E}{\omega L} \cdot \frac{C}{C_{\Sigma}} \cdot e^{-\frac{at}{2}} \cdot \sin \omega t + I_0 e^{-\frac{at}{2}} \cdot \left[\cos \omega t + \frac{1}{2RC_{\Sigma}} \cdot \sin \omega t \right]. \quad (5)$$

Для оценки влияния параметров схемы на характер изменения тока i_1 удобно воспользоваться относительными единицами:

$$\frac{t}{RC_{\Sigma}}, \frac{tR}{L}, at = \frac{t}{RC_{\Sigma}}, \omega t = \sqrt{\frac{tR}{L} \cdot \frac{tR}{L} - \frac{t^2}{RC_{\Sigma}^2}}. \quad (6)$$

Напряжение на индуктивности $u_L = i_1(t) \cdot \omega L$.

После прохождения одной полуволны тока полярность ЭДС самоиндукции изменяется. Кроме того, изменяется схема замещения (рис. 3), где R_I – активное сопротивление обмоток трансформатора.

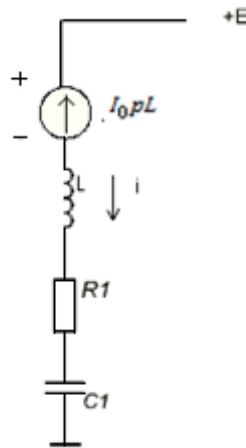


Рис. 3. Схема замещения на втором интервале работы

Значение тока $i_1(t)$ в случае колебательного процесса принимает вид [15–18]:

$$i_1(t) = \frac{E}{\omega_1 L} \cdot e^{-\frac{a_1 t}{2}} \cdot \sin \omega_1 t + I_0 e^{-\frac{a_1 t}{2}} \cdot \left[\frac{a_1}{2\omega_1} \cos \omega_1 t + \sin \omega_1 t \right]. \quad (7)$$

По выражениям (5) и (7) рассчитаны и построены зависимости $i_1(t)/I_0$, причем $E/\omega L$ принято равным I_0 . При расчете взяты значения параметров работающего макета источника питания [19–22]. Результирующая кривая переходного процесса тока первичной обмотки трансформатора приведена на рис. 4.

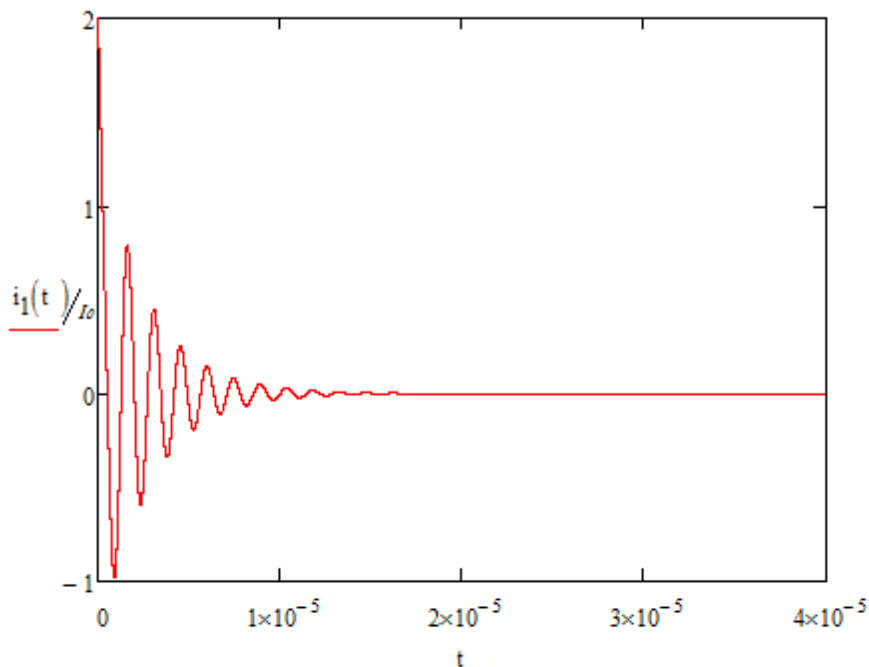


Рис. 4. Переходный процесс тока $i_1(t)$

Итак, для демпфирующей цепи (рис. 1) характерен колебательный процесс с затуханием в течение времени порядка 10–20 мкс. Это позволяет работать транзистору с ШИМ–сигналом на частотах $f \leq 40$ кГц.

Библиографический список

1. Брылина, О.Г. Статические и динамические спектральные характеристики многозонного преобразователя с частотно-широотно-импульсной модуляцией / О.Г. Брылина // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Энергетика». – 2013. – Т. 13. – № 1. – С. 70–79.
2. Цытович, Л.И. Многозонные интегрирующие системы управления каскадами «вентильный преобразователь исполнительный механизм» для объектов с параллельными каналами регулирования / Л.И. Цытович, О.Г. Терещина // Практическая силовая электроника. – 2009. – № 36. – С. 23–30.
3. Цытович, Л.И. Многозонный частотно-широотно-импульсный регулятор переменного напряжения / Л.И. Цытович, О.Г. Брылина, М.М. Дудкин, А.В. Качалов // Патент на изобретение RUS 2408969 23.12.2009.
4. Дудкин, М.М. Частотно-широотноимпульсный адаптивный регулятор переменного напряжения с интегрирующей системой управления / М.М. Дудкин, О.Г. Брылина, Л.И. Цытович, А.В. Тюгаев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Энергетика». – 2013. – Т. 13. – № 2. – С. 45–52.
5. Дудкин, М.М. Энергосберегающие технологии в испытательных стендах с использованием однофазных обратимых преобразователей / М.М. Дудкин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Энергетика». – 2013. – Т. 13. – № 1. – С. 5–18.
6. Цытович, Л.И. Интегрирующее устройство синхронизации с псевдоследящей фиксацией точек естественной коммутации напряжения сети / Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, О.Г. Брылина, А.В. Тюгаев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Энергетика». – 2013. – Т. 13. – № 2. – С. 53–61.
7. Tsytovich, L.I. About the dynamics of some methods of integrating conversion of analog signal into digital code / L.I. Tsytovich, M.M. Dudkin, S.P. Lokhov, O.G. Brylina // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Энергетика». – 2013. – Т. 13. – № 1. – С. 80–91.
8. Цытович, Л.И. Интегрирующий аналого-цифровой датчик нулевого тока / Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, О.Г. Брылина, В.П. Мацин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Энергетика». – 2012. – № 37 (296). – С. 93–96.
9. Лохов, С.П. О новом принципе интегрирующего аналого-цифрового преобразования с бестактовым поразрядным уравниванием / С.П. Лохов, Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, О.Г. Брылина, Р.М. Рахматулин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Энергетика». – 2012. – № 37 (296). – С. 97–106.

10. Дудкин, М.М. Однофазные обратимые преобразователи напряжения для улучшения качества электрической энергии в сетях ограниченной мощности / М.М. Дудкин // Практическая силовая электроника. – 2012. – № 2. – С. 19.
11. Дудкин, М.М. Энергетические характеристики однофазных обратимых преобразователей напряжения с различными законами модуляции / М.М. Дудкин // Практическая силовая электроника. – 2010. – № 38. – С. 25–32.
12. Цытович, Л.И. Фазосдвигающее устройство / Л.И. Цытович, М.М. Дудкин // Патент на изобретение RUS 2320071 09.10.2006.
13. Цытович, Л.И. Многозонный частотно-широотно-импульсный регулятор переменного напряжения / Л.И. Цытович, О.Г. Брылина, М.М. Дудкин, А.В. Качалов // патент на изобретение RUS 2408969 23.12.2009.
14. Цытович, Л.И. Система непрерывного контроля сопротивления изоляции электротехнических изделий в процессе их термической сушки / Л.И. Цытович, Р.М. Рахматулин, О.Г. Брылина, М.М. Дудкин, А.Ю. Мыльников, В.А. Тюгаев, А.В. Тюгаев // Промышленная энергетика. – 2013. – № 1. – С. 24–28.
15. Гельман, М.В. Комплексный автоматизированный стенд для изучения физических основ электроники и преобразовательной техники / М.В. Гельман, Р.З. Хусаинов, М.М. Дудкин, О.Г. Терещина // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Энергетика». – 2007. – № 12 (84). – С. 19–24.
16. Цытович, Л.И. Частотно-широотно-импульсный терморегулятор сушильной камеры с непрерывным тестированием сопротивления изоляции электротехнического изделия / Л.И. Цытович, О.Г. Брылина, М.М. Дудкин, Р.М. Рахматулин, А.В. Тюгаев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Энергетика». – 2011. – № 34 (251). – С. 50–55.
17. Григорьев, М.А. Система управления электроприводом с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения / М.А. Григорьев // Электротехника. – 2013 – № 10. – С. 29–35.
18. Моделирование электропривода активного прицепа / Ю.С. Усынин, М.А. Григорьев, А.Н. Шишков и др. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2013. – Т. 13. – № 2. – С. 106–114.
19. Григорьев, М.А. Удельные массогабаритные показатели электроприводов / М.А. Григорьев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2013. – Т. 13. – № 1. – С. 111–117.
20. Grigorev, M.A. The electric Drive with Field Regulated Reluctance Mashine / M.A. Grigorev // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2013. – Т. 13. – № 1. – С. 118–123.

21. Григорьев, М.А. Системы с переменной структурой для синхронных реактивных электроприводов с независимым управлением по каналу возбуждения / М.А. Григорьев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2013. – Т. 13. – № 2. – С. 91–96.

22. Электроприводы с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения для станков холодной прокатки труб / Ю.С. Усынин, С.П. Лохов, М.А. Григорьев, А.Н. Шишков, Е.В. Белоусов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2012. – Вып. 17. – № 16(275). – С. 107–110.