

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ РАЗРЯДНОГО УСТРОЙСТВА АККУМУЛЯТОРА

Цао Цзюньмин

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Гребенников В. В., к.т.н., доцент кафедры  
промышленной и медицинской электроники

Для стабильной работы аккумулятору необходимо пройти несколько циклов полного заряда-разряда. Для этого применяются как разрядные, так и зарядно-разрядные устройства. Кроме этого, с помощью разрядных устройств можно контролировать уровень заряда, напряжение, остаточную емкость аккумулятора [1]. В данной статье рассматривается моделирование преобразователя разрядного устройства аккумулятора с целью получения выражений для расчета переходных процессов и анализа преобразователя.

Рассмотрим принцип действия преобразователя разрядного устройства, схема которого приведена на рис. 1.

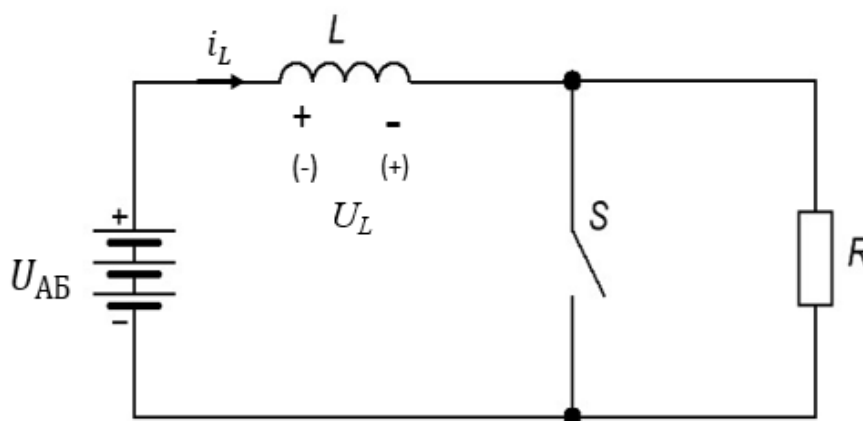


Рис. 1. Схема преобразователя

В момент времени  $t = 0$ , ключ  $S$  замыкается и к дросселю прикладывается напряжение аккумулятора с полярностью, показанной на рисунке без скобок. Ток дросселя  $i_L$  линейно возрастает, при этом дроссель накапливает энергию. Путь протекания тока дросселя в этом случае:  $+U_{AB} \rightarrow L \rightarrow S \rightarrow (-)U_{AB}$ . Данное состояние сохраняется до момента времени  $t_1$  соответствующего моменту, когда ток дросселя достигает максимального условия  $I_{Lmax}$ .

В момент времени  $t_1$  ключ  $S$  размыкается, напряжение на дросселе принимает полярность, указанную в скобках, и энергия, запасенная в

дросселе, передается в нагрузочный резистор  $R$ , при этом ток дросселя спадает. Этот процесс продолжается до тех пор, пока ток не снизится до уровня  $I_{Lmin}$ . Путь протекания тока дросселя на этапе спада:  $+U_{AB} \rightarrow L \rightarrow R \rightarrow (-)U_{AB}$ .

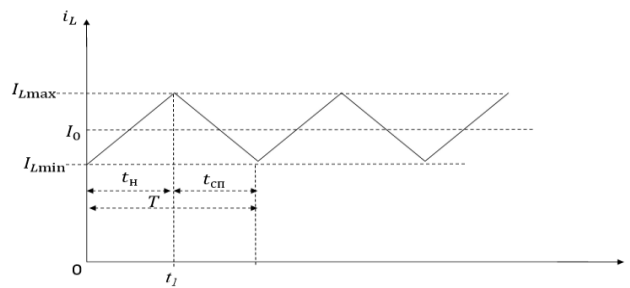


Рис. 2. Диаграмма тока дросселя

Для расчета временных параметров переходного процесса в преобразователе в установившемся режиме, получим соответствующие приближенные аналитические выражения. При выводе расчётных соотношений воспользуемся следующими допущениями и обозначениями:  $U_{AB}$  – напряжение аккумуляторной батареи; ключ  $S$  и аккумуляторная батарея (АБ) – идеальные; активные потери в элементах отсутствуют; дроссель  $L$  – линейный элемент;  $\Delta I_L = I_{Lmax} - I_{Lmin}$  – заданный размах тока дросселя;  $K_{пл} = \Delta I_L / I_0$  – коэффициент пульсаций тока дросселя и нагрузки;  $I_0$  – значение постоянного разрядного тока;  $U^* = I_0 \cdot R / U_{AB}$  – относительное напряжение нагрузки.

Как известно, напряжение и ток дросселя связаны между собой соотношением

$$U_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}. \quad (1)$$

Из которого следует, что если напряжение, приложенное к дросселю постоянно, то ток дросселя меняется по линейному закону:

$$i_L(t) = I_L(0) + \frac{U_L}{L} \cdot t, \quad (2)$$

где  $I_L(0)$  – независимое начальное условие для переходного процесса.

$$I_{Lн}(0) = -\frac{\Delta I_L}{2} + I_0, \quad (3)$$

$$I_{Lсп}(0) = \frac{U_{AB}}{R}. \quad (4)$$

Используя выражения (2)–(4), после преобразований получаем:  
– на этапе нарастания тока дросселя:

$$i_{Lн}(t) = I_{Lн}(0) + \frac{U_{Lнi}}{L} \cdot t = -\frac{\Delta I_L}{2} + I_0 + \frac{U_{AB}}{L} \cdot t_n; \quad (5)$$

– на этапе спада тока дросселя:

$$i_{L\text{сп}}(t) = \frac{U_{\text{АБ}}}{R} + \left( I_{L\text{max}} - \frac{U_{\text{АБ}}}{R} \right) \cdot e^{-t_{\text{сп}}/\tau}. \quad (6)$$

Индексы «н» и «с» в используемых обозначениях указывают на этапы, на которых рассматривается параметр: нарастания и спада, соответственно.

Используя формулы (5) и (6), выразим временные параметры переходных процессов.

Период работы ключа определяется:

$$T = t_{\text{н}} + t_{\text{сп}}.$$

Выразив из (5) и (6) время нарастания и время спада, с учетом последнего выражения получаем формулу для расчета периода переключения ключа

$$T = \frac{\Delta I_L \cdot L}{U_{\text{АБ}}} + \tau \cdot \ln \frac{\Delta I_L \cdot R + 2 \cdot (I_0 \cdot R - U_{\text{АБ}})}{-\Delta I_L \cdot R + 2 \cdot (I_0 \cdot R - U_{\text{АБ}})}. \quad (7)$$

Представим временные параметры в безразмерном виде:

– относительное время нарастания тока:

$$t_{\text{н}}^* = \frac{t_{\text{н}}}{T} = \frac{1}{1 + \frac{1}{K_{\text{пл}} \cdot U^*} \cdot \ln \frac{U^* \cdot (K_{\text{пл}} + 2) - 2}{U^* \cdot (-K_{\text{пл}} + 2) - 2}}; \quad (8)$$

– относительное время спада тока:

$$t_{\text{сп}}^* = \frac{t_{\text{сп}}}{T} = \frac{1}{1 + \frac{K_{\text{пл}} \cdot U^*}{\ln \frac{U^* \cdot (K_{\text{пл}} + 2) - 2}{U^* \cdot (-K_{\text{пл}} + 2) - 2}}}. \quad (9)$$

Частота переключения ключа:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\frac{\Delta I_L \cdot L}{U_{\text{АБ}}} + \tau \cdot \ln \frac{\Delta I_L \cdot R + 2 \cdot (I_0 \cdot R - U_{\text{АБ}})}{-\Delta I_L \cdot R + 2 \cdot (I_0 \cdot R - U_{\text{АБ}})}}. \quad (10)$$

Для оценки достоверности полученных приближенных выражений в пакете OrCAD разработана схемотехническая модель исследуемого преобразователя, изображенная рис. 5.

Результаты математического и схемотехнического моделирования сведены в таблице 1. Погрешность расчетов, приведенная в таблицах, рассчитывалась по формуле:

$$\delta X = \frac{|X_{\text{мм}} - X_{\text{см}}|}{X_{\text{см}}} \cdot 100\%,$$

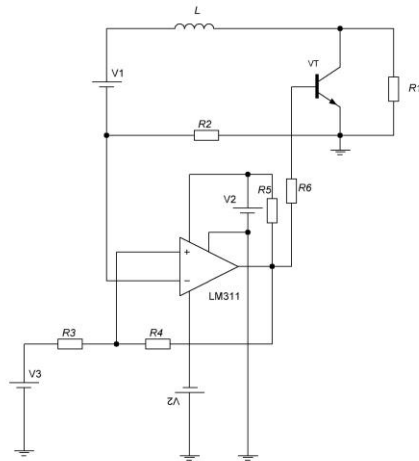


Рис.3. Схема преобразователя для моделирования в пакете OrCAD.  $R2$  – шунт;  $V1$  – источник, имитирующий аккумуляторную батарею; на LM311 организован двухпороговый компаратор;  $VT$  – транзистор, используемый в качестве ключа.

где  $X_{MM}$ - значение параметра, полученного при математическом моделировании (расчет);  $X_{CM}$  - значение параметра, полученного при схемотехническом моделировании;

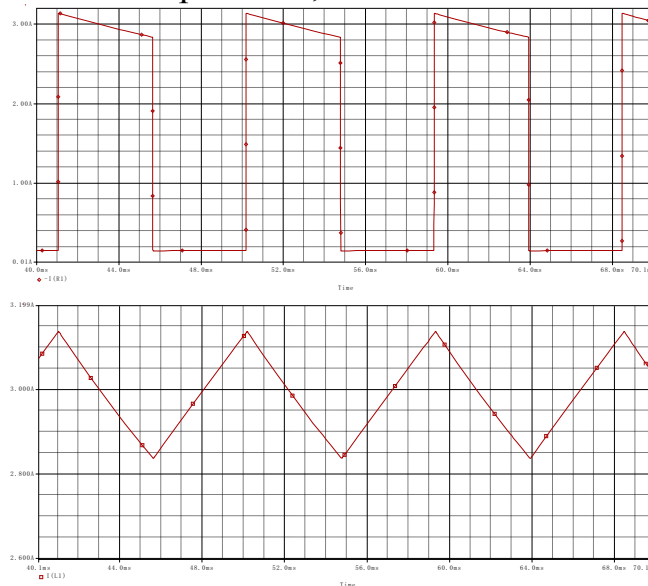


Рис. 4. Диаграммы тока на резисторе  $R1$ , дросселе  $L$ . Параметры элементов:  $L = 150$  мН;  $R1 = 7$  Ом ;  $R2 = 10$  Ом ;  $R3 = 500$  Ом ;  $R4 = 2$  кОм ;  $R5 = 500$  Ом ;  $R6 = 1$  кОм;  $V1 = 14$  В;  $V2 = 15$  В;  $V3 = 2.9$  В

Таблица 1.

$U^*$	Математическое	Схемотехническое	Погрешность, %
-------	----------------	------------------	----------------

	моделирование			моделирование					
	$t_H^*$	$t_{сп}^*$	$f, \text{кГц}$	$t_H^*$	$t_{сп}^*$	$f, \text{кГц}$	$\delta t_H^*$	$\delta t_{сп}^*$	$\delta f$
2	0.5	0.5	3.58	0.55	0.47	3,56	9.3	6.2	0,5
4	0.75	0.25	3.06	0.82	0.24	3,14	8.3	5.8	2,6
8	0.88	0.13	2.34	0.92	0.12	2,43	4.9	9.1	3,8

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что результаты математического и схемотехнического моделирования хорошо согласуются между собой практически по всем параметрам (погрешность расчетов не превышает 10%). Полученные приближенные выражения позволяют производить расчет элементов схемы преобразователя разрядного устройства.

### Список информационных источников

1. Для чего применяется разрядное устройство – Режим доступа: <http://www.4akb.ru/stati/dlya-chego-primenyaetsya-razryadnoe-ustroystvo/>

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО РЕЗОНАНСНОГО ИНВЕРТОРА

*Царёва Т.В.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Огородников Д.Н., к.т.н., доцент кафедры промышленной и медицинской электроники*

На данный момент основная часть аппаратуры питается от сети переменного тока. Но могут возникать ситуации, когда отсутствует возможность подключения к промышленной сети. В таких случаях появляется необходимость использовать автономные источники питания и преобразователи напряжения. Для получения выходного напряжения с амплитудой больше, чем входное используются трансформаторные и резонансные инверторы [2]. Схемы с трансформаторами, работающие на частоте выходного напряжения, имеют большие массогабаритные размеры, поэтому удобно использовать схемы резонансного инвертора. Недостатком нерегулируемого резонансного инвертора является сильная зависимость величины выходного напряжения от добротности колебательного контура.