

А.А. ПРАВИКОВА, м.н.с (НИИ АЭМ ТУСУР)
 Д.Ю. ЛЯПУНОВ, с.н.с. (НИИ АЭМ ТУСУР), доцент (ТПУ)
 г. Томск

МОДЕЛЬ СТАБИЛИЗАТОРА ТОКА ДРОССЕЛЯ НА БАЗЕ ПОНИЖАЮЩЕГО ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

В настоящее время активно ведется разработка устройств для преобразования энергии, получаемой от возобновляемых источников энергии [1]. Понижающий импульсный преобразователь постоянного напряжения имеет перспективу применения для этих целей. В процессе разработки устройства принимаются во внимание ключевые показатели регулирования системы. Для понижающего импульсного преобразователя напряжения (рис. 1) важными показателями являются ток дросселя i_L , а также точность, с которой этот ток поддерживается δ .

Целью данной работы является разработка имитационной модели системы автоматического регулирования преобразователем с регулятором тока дросселя, обеспечивающей стабилизацию тока дросселя на уровне 8 А с ошибкой не более 1%.

Принцип действия системы автоматического регулирования понятен из функциональной схемы стабилизатора (рис. 1).

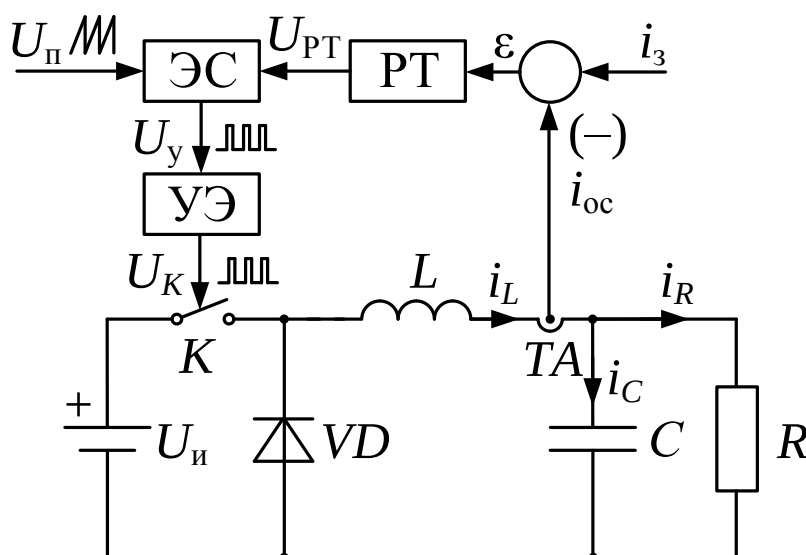


Рис. 1. Функциональная схема стабилизатора на базе понижающего импульсного преобразователя

Обозначения: $U_{и}$ – источник постоянного напряжения, K – ключ, VD – диод, L – дроссель, TA – датчик тока, C – конденсатор, i_C – ток конденсатора, R – сопротивление нагрузки, i_L – ток дросселя, i_C – ток

конденсатора, i_R – ток нагрузки, i_3 – сигнал задания, i_L – ток дросселя, i_{oc} – сигнал обратной связи, ε – ошибка регулирования, РТ – регулятор тока, $U_{РТ}$ – сигнал с выхода регулятора тока, ЭС – элемент сравнения, $U_{п}$ – пилообразное напряжение развертки по времени, U_y – сигнал управления, УЭ – усилительный элемент, U_K – сигнал управления ключом.

Параметры схемы: Напряжение источника $U_{и} = 100$ В, емкость конденсатора $C = 2,2$ мкФ, индуктивность дросселя $L = 1$ мГн, сопротивление нагрузки $R = 10$ Ом, задание на ток дросселя $i_3 = 8$ А.

При моделировании были приняты следующие допущения. Элементы схемы идеальны, то есть дроссель L имеет линейные характеристики. Активные сопротивления у дросселя L и конденсатора C отсутствуют. Ключ K и диод VD являются идеальными ключевыми элементами. Инерционность цепи датчика тока TA учтена в виде апериодического звена первого порядка с постоянной времени $T_{TA} = 0.8$ мкс. Обратная связь единичная.

Для настройки регулятора тока дросселя была использована методика настройки системы на модульный оптимум [2]. Структурная схема линеаризованной модели приведена на рис. 2.

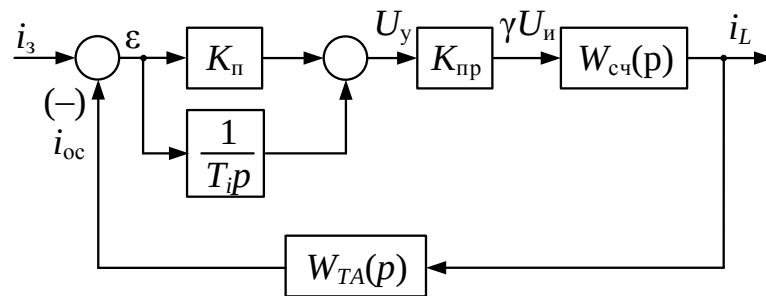


Рис. 2. Линеаризованная модель преобразователя

Передаточная функция силовой части преобразователя [3]:

$$W_{сч} p = \frac{i_L}{U} \frac{p}{p} = \frac{K_{пр}}{R} \frac{RCp + 1}{LCp^2 + \frac{L}{R}p + 1},$$

где $K_{пр}$ – коэффициент передачи преобразователя.

Для настройки системы на модульный оптимум используем желаемую передаточную функцию разомкнутой системы:

$$W_{ж} p = \frac{1}{2T_{\mu}p T_{\mu}p + 1},$$

где $T_\mu = RC$ – малая постоянная времени системы.

Передаточная функция регулятора без учета инерционности датчика тока TA определится как:

$$W_{\text{пр}} p = \frac{W_{\text{ж}} p}{W_{\text{сч}} p} = \frac{1}{2RCp} \frac{R}{RCp+1} \frac{LCp^2 + L/R p + 1}{RCp+1} =$$

$$= \frac{LCp^2 + L/R p + 1}{2CK_{\text{пр}}p R^2 C^2 p^2 + 2RCp + 1} = \frac{LCp^2 + L/R p + 1}{2R^2 C^3 K_{\text{пр}} p^3 + 4RC^2 K_{\text{пр}} p^2 + 2CK_{\text{пр}} p}.$$

Пренебрегая составляющими второго порядка, получаем передаточную функцию ПИ-регулятора тока:

$$W_{\text{пр}} p = \frac{L/R p + 1}{2CK_{\text{пр}}p} = \frac{L}{2RCK_{\text{пр}}} + \frac{1}{2CK_{\text{пр}}p} = K + \frac{1}{T_i p}.$$

Имитационная модель системы автоматического регулирования импульсного стабилизатора тока дросселя приведена на рис. 3. В модели учтена инерционность датчика тока TA .

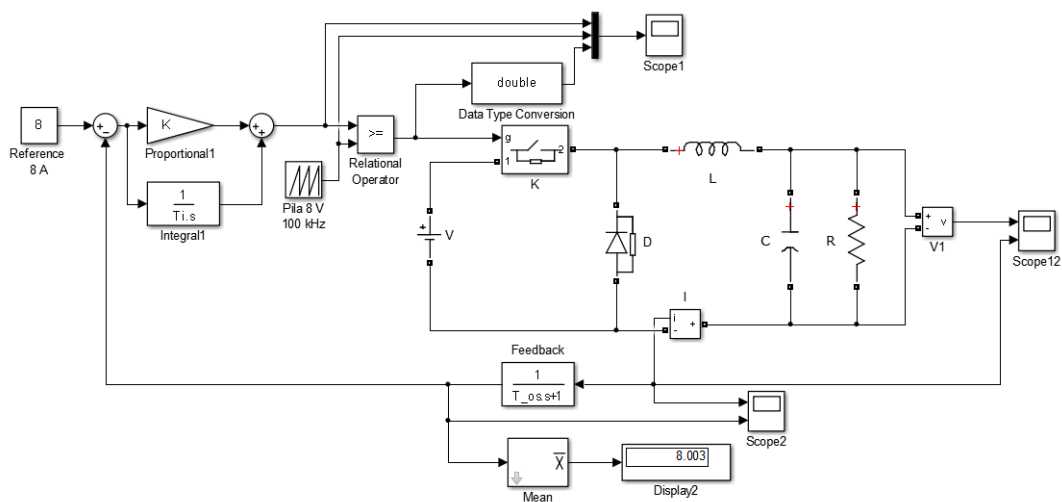


Рис. 3. Имитационная модель импульсного стабилизатора тока дросселя

В данной модели блок Relational Operator используется в качестве элемента сравнения. Блок Mean вычисляет среднее значения тока дросселя. С помощью блока Data Type Conversion происходит преобразование данных из логического типа в вещественный для отображения импульсов управления на осциллографе для проверки правильности работы системы регулирования.

Работа системы управления оценивалась исходя из осциллограмм сигналов управления в установившемся режиме (рис. 4). Переходные процессы по напряжению $U_R(t)$ и току дросселя $i_L(t)$ приведены на рис. 5.

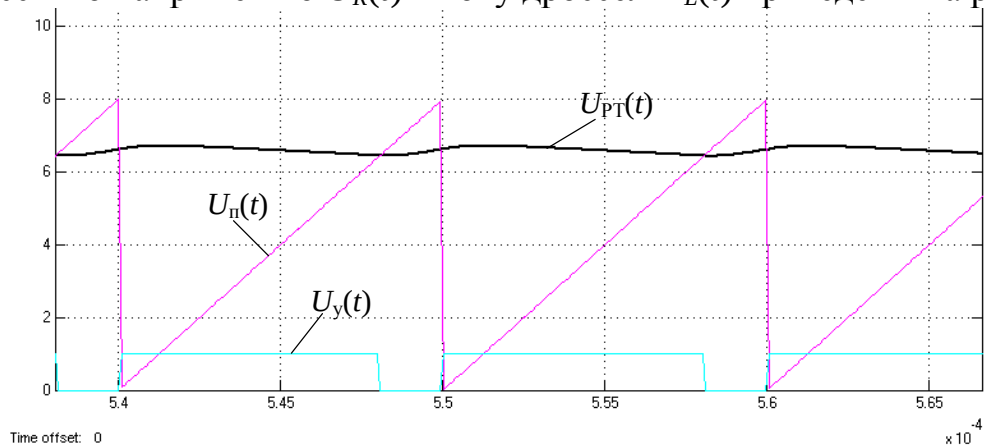


Рис. 4. Осциллограммы сигналов управления: $U_{PT}(t)$ – напряжение на выходе регулятора тока, $U_{\pi}(t)$ – пилообразное напряжение развертки, $U_y(t)$ – напряжение управления

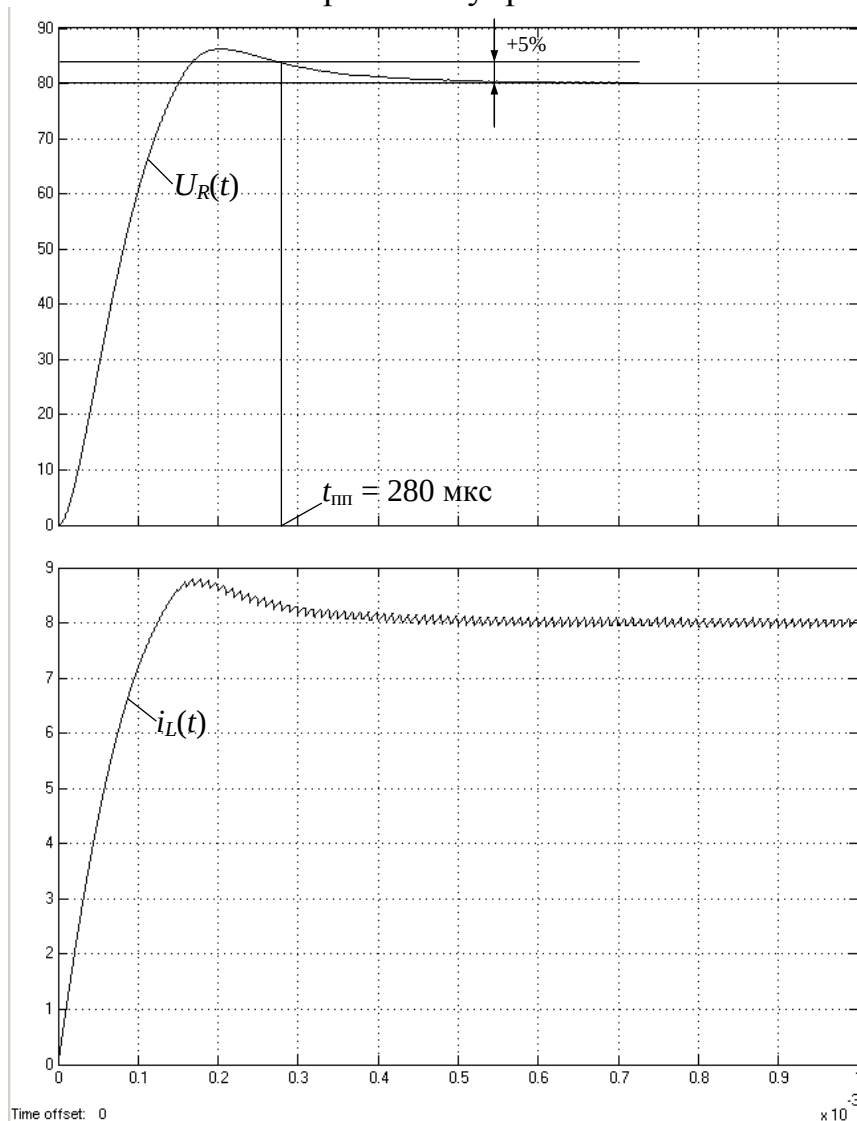


Рис. 5. Переходные процессы по напряжению на нагрузке и току дросселя

Частота пилообразного напряжения развертки составляет 100 кГц. Как было выяснено в ходе эксперимента, постоянная времени датчика тока TA на вид кривой тока дросселя влияет незначительно.

Как видно из рис. 5, разработанная система автоматического регулирования обеспечивает заданные показатели качества как в динамике, так и в статике. Ошибка регулирования в статическом режиме не превышает 1% и зависит от частоты пилообразного напряжения развертки и параметров силовой части преобразователя. Перерегулирование мало и составляет 7,8%. Время переходного процесса составило 280 мкс.

Созданная имитационная модель позволяет оценивать работу импульсных стабилизаторов в динамических и статических режимах, производить настройку регулятора тока дросселя, обеспечивающего требуемые показатели качества системы.

Список литературы:

1. Power Electronics Handbook. Devices, Circuits and Applications [Текст] / Edited by Muhammad H. Rashid. – Elsevier, 2011. – 1389 p.
2. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1, 2: учебное пособие [Текст] – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 156 с.
3. Волович Г.И. Устойчивость импульсных стабилизаторов напряжения [Электронный ресурс], режим доступа: http://www.platan.ru/shem/pdf/12_p16-20.pdf, дата обращения 20.11.2015.