

К.В. Быков, Н.М. Лазарева, Ю.В. Павлов, В.М. Яров  
(г. Чебоксары, ООО НПП ЭКРА,  
Чувашский государственный университет)

## ПОНИЖАЮЩЕ-ПОВЫШАЮЩИЙ КОНВЕРТОР КАК ЗВЕНО СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

*Определены передаточные функции понижающе-повышающего конвертора по напряжению нагрузки и по току дросселя. Рассчитаны параметры ПИ-регуляторов электрического режима. Представлены результаты моделирования в Simulink Matlab.*

*The transfer functions of the down-boost converter are determined by the load voltage and the choke current. The parameters of PI-regulators of electric mode are calculated. Presents simulation results in Simulink Matlab.*

*Ключевые слова: понижающе-повышающий конвертор, передаточная функция, ПИ-регулятор, моделирование в Simulink.*

*Keywords: down-boost converter, transfer function, PI-regulator, simulation in Simulink.*

Источники питания на основе понижающе-повышающих преобразователей незаменимы в тех случаях, когда напряжение на входе источника во время его работы может быть как ниже, так и выше выходного напряжения. Особенно востребованы такие преобразователи в промышленных установках с питанием от аккумуляторных батарей, напряжение которых к концу срока службы может отличаться от напряжения «свежей» батареи на десятки вольт.

Понижающе-повышающий конвертор можно получить, соединяя последовательно понижающий и повышающий преобразователи, но такая схема будет содержать четыре транзистора. Как вариант можно использовать конвертор типа *Sepic* с одним транзистором, слабым звеном этого решения является наличие разделительного конденсатора. Более простую конструкцию имеет конвертор [1], Simulink-модель двухтактной реализации которого приведена на рис. 1.

Источник питания на основе понижающе-повышающего конвертора должен обеспечивать стабилизацию напряжения нагрузки при его изменении вследствие различного рода возмущений. Требуемое качество переходных процессов можно обеспечить введением соответствующих обратных связей, т.е. использованием замкнутых систем управления. Для построения замкнутой системы необходимо знать передаточную функцию конвертора как звена системы управления.

Вид и параметры передаточных функций конвертора можно определить по кривым разгона.

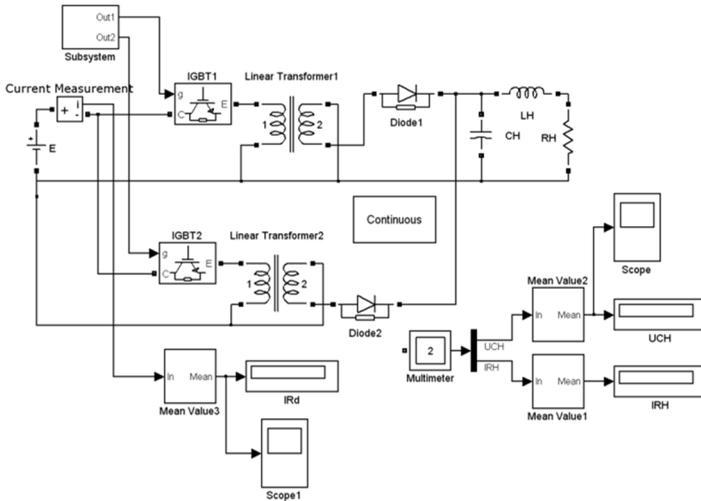


Рис. 1. Simulink-модель двухтактного понижающе-повышающего конвертора

Пусть требуется поддерживать режим работы преобразователя по току, потребляемому от сети, и по напряжению нагрузки. Для построения модели конвертора в виде передаточной функции снимем кривые разгона по соответствующим параметрам. На рис. 2 приведена кривая переходного процесса изменения среднего значения напряжения нагрузки конвертора до и после возмущающего скачка. Крупно показан начальный участок кривой разгона, на котором хорошо видно, что после скачка, поданного по управляющему воздействию в момент времени  $t = 6$  мс, напряжение имеет «провал» длительностью  $t_3 = 0,313$  мс, что является проявлением наличия неминимальнофазового звена.

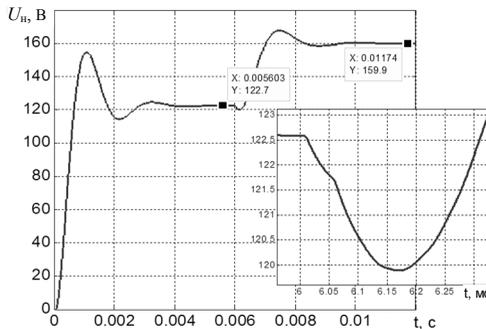


Рис. 2. Переходный процесс напряжения нагрузки двухтактного понижающе-повышающего конвертора

Нормированные кривые разгона тока  $I_d^* = I_d / I_{dуст.}$  и напряжения нагрузки  $U_n^* = U_n / U_{нуст.}$  представлены на рис. 3.

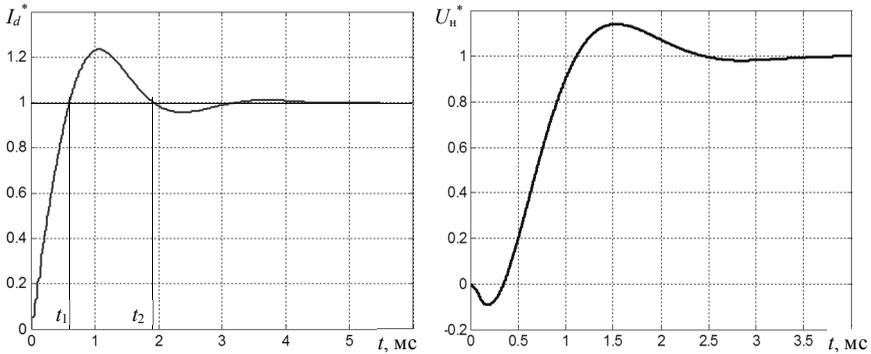


Рис. 3. Нормированные кривые разгона конвертора по току  $I_d$  и напряжению нагрузки

Кривая разгона по току  $I_d$  имеет быстро затухающий колебательный характер и скоростной подъем на начальном участке, поэтому можно сделать вывод о возможности аппроксимации ее переходной характеристикой последовательного соединения идеального форсирующего и колебательного звеньев.

Параметры колебательного звена определяются следующим образом [2]:

коэффициент затухания  $\xi = -\cos\left(\frac{t_1}{t_2 - t_1} \pi\right),$

постоянная времени

$$T = \frac{t_2 - t_1}{\pi} \sin\left(\frac{t_1}{t_2 - t_1} \pi\right).$$

Постоянную времени форсирующего звена можно определить по наклону касательной в начальной точке кривой разгона.

Кривая разгона по напряжению нагрузки может быть аппроксимирована переходной характеристикой звена, полученного последовательным соединением неминимальнофазового и колебательного звеньев. Постоянная времени неминимальнофазового звена определяется аналогично таковой для форсирующего звена.

В итоге получим, что по току, потребляемому от сети, конвертор как объект управления может быть моделирован передаточной функцией

$$W_{I_d}(p) = \frac{2 \cdot 10^{-4} p + 1}{1,36 \cdot 10^{-7} p^2 + 2 \cdot 0,47 \cdot 3,69 \cdot 10^{-4} p + 1}, \quad (1)$$

а по напряжению нагрузки – звеном

$$W_{U_n}(p) = \frac{1 - 2,15 \cdot 10^{-4} p}{1,406 \cdot 10^{-7} p^2 + 2 \cdot 0,55 \cdot 3,75 \cdot 10^{-4} p + 1}. \quad (2)$$

На рис. 4 приведено сравнение переходных характеристик звеньев (1) и (2) с соответствующими кривыми разгона, подтверждающее достоверность использования указанных передаточных функций как объектов управления при разработке регуляторов режима двухтактного понижающе-повышающего конвертора.

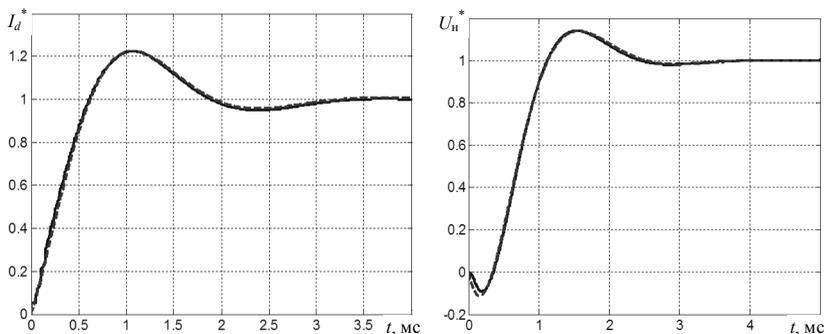


Рис. 4. Аппроксимация кривых разгона конвертора (синие сплошные линии) по току  $I_d$  и напряжению нагрузки переходными характеристиками (красный пунктир) звеньев (2) и (3) соответственно

В качестве примера на рис. 5 приведена кривая разгона тока  $I_d$  конвертора с замкнутой системой управления – переходный процесс без перерегулирования, близкий к апериодическому. Параметры ПИ-регулятора контура тока  $K_{II} = 0,7$ ,  $K_{I} = 744$  рассчитаны с использованием передаточной функции (1) как звена системы управления. Аналогичный результат получен и для контура напряжения нагрузки.

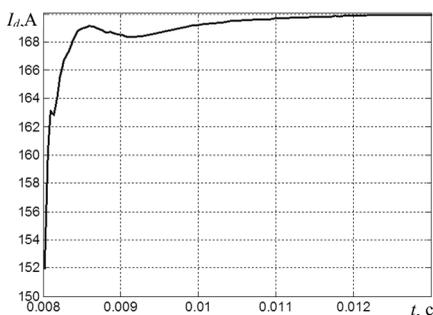


Рис. 5. Переходный процесс тока  $I_d$  в конверторе с контуром регулирования тока, потребляемого из сети

### Список литературы

1. Арройо Гектор. Индукторы с отводом для простых и компактных повышающе-понижающих преобразователей / Гектор Арройо // Компоненты и технологии. – 2011. – № 8. – 204 с.
2. Шаварин, Н. Двухфазный повышающий конвертор как звено системы автоматического управления / Н. Шаварин, В. Яров, Н. Лазарева // Силовая электроника. 2015, – № 3. – С. 40–46.

Материал поступил в редколлегию 12.10.18.