

Мы уже увидели, что если ток протекает в первичной обмотке, то во вторичной он отсутствует и наоборот. И на данном этапе для нас влияние токов в таком трансформаторе остается загадкой.

Величину тока в топологии flyback будет определять запасенная энергия. Энергия, запасенная в сердечнике, в общем случае определяется следующим образом:

$$E = LI^2/2$$

Мы знаем, что токи, через первичную и вторичную обмотки обратноходовой схемы, протекают по очереди, но энергия, связанная с каждым из этих токов должна быть равной энергии запасенной в сердечнике, и величины этих энергий равны между собой. В математическом виде это правило записывается следующим образом.

$$E = L_p I_p^2 / 2 = L_s I_s^2 / 2$$

где  $L_p$  индуктивность первичной обмотки и  $L_s$  индуктивность вторичной обмотки. Нам известно, что величина индуктивности в Генри определяется из следующего выражения:

$$L = N^2 A_L 10^{-9}$$

где  $A_L$  коэффициент индуктивности. Следовательно, можно записать:

$$L_p = n_p^2 A_L 10^{-9}$$

$$L_s = n_s^2 A_L 10^{-9}$$

$$n_p I_p = n_s I_s$$

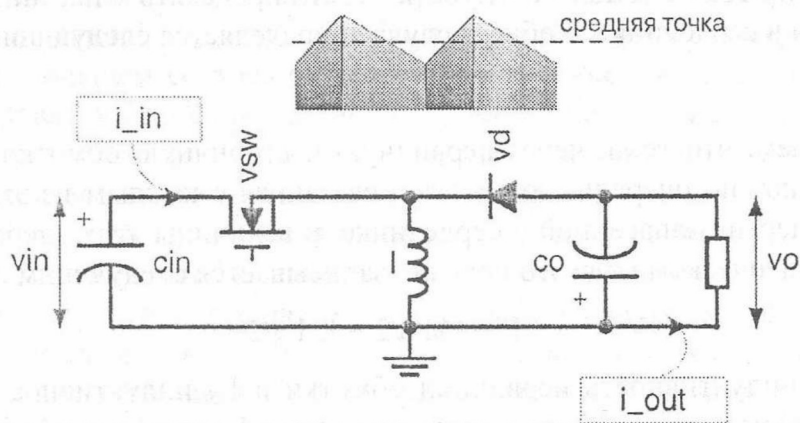
$$\text{или } I_p / I_s = 1/n$$

Мы видим, что аналогично «правилу» Вольт/виток, существует «правило» Ампер/виток, которое также должно соблюдаться всегда. Фактически, сам сердечник никак влияет на ток, протекающий через обмотку в любой момент времени, при сохранении величины ампер/виток.

### Эквивалентная модель в виде понижающе-повышающего преобразователя

Мы уже говорили, что между обратноходовыми преобразователями и понижающе-повышающими преобразователями на основе катушки индуктивности существует много общего. По этой причине, освоив основные понятия, принятые в топологии Buck-Boost, нам будет очень удобно рассматривать обратноходовые преобразователи, как частый случай упомянутой топологии. Заменив трансформатор в преобразователе flyback на простую катушку индуктивности, мы получаем преобразователь, выполненный по топологии Buck-Boost. И так создав модель преобразователя, в котором место трансформатора займет катушка индуктивности, мы можем применять все уравнения, выведенные для топологии понижающе-повышающих преобразователей. Конечно, будут некоторые отличия и упрощения, о них мы будем говорить несколько

позднее и достаточно подробно. Но на данном этапе, кроме этих некоторых особенностей, все другие параметры и электронные компоненты схемы мы сможем рассчитать на основе полученных знаний о топологии Buck-Boost.



Параметр	Первичная цепь	Вторичная цепь
$v_{in}$	$V_{IN}$	$V_{INR} = V_{IN}/n$
$i_{in}$	$I_{IN}$	$I_{INR} = nI_{IN}$
$c_{in}$	$C_{IN}$	$n^2 C_{IN}$
$l$	$L_P$	$L_S = L_P/n^2$
$V_{sw}$	$V_{SW}$	$V_{SW}/n$
$v_o$	$V_{OR} = nV_O$	$V_O$
$i_{out}$	$I_{OR} = I_O/n$	$I_O$
Средняя точка наклона	$I_{OR}/(1 - D) = I_O(n(1 - D))$	$I_O/(1 - D)$
$c_o$	$C_O/n^2$	$C_O$
$v_d$	$nV_D$	$V_D$
Коэффициент заполнения	$D$	$D$
Коэффициент пульсаций	$r$	$r$

Рис. 3.2. Эквивалентная модель в виде преобразователя Buck-Boost

В данной эквивалентной модели преобразователя (см. рис. 3.2) по существу, отражены напряжения и токи только в одной обмотке трансформатора. Мы можем представлять катушку индуктивности как первичную обмотку трансформатора, во втором варианте, катушка может рассматриваться как вторичная обмотка трансформатора. Мы знаем, что напряжения и токи в первичной и во вторичной цепях связаны между собой коэффициентом трансформации. Вспомним, что при разомкнутом силовом ключе ток, протекающий во вторичной обмотке, создает в сердечнике магнитный поток, в результате чего на концах первичной обмотки появляется напряжение. Это напряжение мы приняли обозначать как  $V_{OR}$  и оно является одним из самых важных параметров обратноходовых преобразователей.

Для наглядности, предположите, что мы имеем 50 Вт-преобразователь с выходным напряжением 5 В, способный обеспечивать ток в нагрузке равный 10 А, коэффициент трансформации равен 20. «Отраженное» напряжение  $V_{OR}$  равняется  $5 \times 20 = 100$  В. Теперь, если мы изменяем выходное напряжение, установив его значение на

уровне 10 В и уменьшаем коэффициент трансформации до 10, то «отраженное» напряжение будет иметь такое же значение 100 В. Мы обнаружим, что форма волны напряжения на первичной обмотке совсем не изменилась. Далее, если мы также не изменяем выходную мощность преобразователя т.е. нагрузка будет потреблять ток равный 5 А, то и ток через первичную обмотку останется неизменным. Поэтому, для силового ключа два приведенных случая абсолютно идентичны. Другими словами, для силового ключа данная ситуация представляет собой работу обычного понижающе-повышающего преобразователя с выходным напряжением  $V_{OR}$ , питающий нагрузку током  $I_{OR}$ .

Единственное различие между обратногоходным преобразователем на основе трансформатора, который «думает», что он обеспечивает питание нагрузки напряжением  $V_{OR}$  и током  $I_{OR}$ , и преобразователем на основе катушки индуктивности, который действительно обеспечивает нагрузку такими же напряжением и током ( $V_{OR}$  и  $I_{OR}$ ), является *индуктивностью рассеяния* трансформатора в схемотехнике flyback. Именно из-за индуктивности рассеяния часть энергии появляется в виде всплеска напряжения (см. рис. 3.1) на первичной обмотке трансформатора после запираания силового ключа. Величину выброса напряжения определяют как индуктивность рассеяния, так и энергия, запасенная в трансформаторе. Саму природу данного всплеска напряжения мы рассмотрим чуть позднее.

Отметим, что в эквивалентной модели, величины реактивных компонентов схемы также отображены, при этом учитывается коэффициент трансформации. Например, если рассматривать обратногоходной преобразователь, выходной конденсатор  $C_0$  заряжается до напряжения  $V_0$ . Таким образом, сохраненная энергия составит  $1/2 C_0 V_0^2$ . С точки зрения его эквивалентной модели, напряжение в первичной цепи (на выводах катушки) равняется величине  $V_{OR}$ , равное  $nV_0$ .

Поэтому, для хранения такого количества энергии, в нашей модели потребуется конденсатор емкостью равной  $C_0/n^2$ . То же самое относится и к величине индуктивности.

### Коэффициент пульсаций в обратногоходных схемах

Взглянем на схему эквивалентной модели (см. рис. 3.2). Пунктирная линия, проходящая через центр, есть ни что иное, как средний ток « $I_L$ », протекающий через катушку индуктивности (вторичная цепь flyback). Для топологии Buck-Boost величина этого тока равна  $I_0/(1 - D)$ . Мы имеем средний ток  $I_L$ , протекающий через индуктивность вторичной цепи. В первичной цепи будет протекать ток  $I_{LR}$ , при этом, его величина будет равна  $I_L/n$ .

Мы имеем средний ток  $I_L$ , протекающий через индуктивность вторичной цепи. В первичной цепи будет протекать ток  $I_{LR}$ , при этом, его величина будет равна  $I_L/n$ . Можно записать следующее –  $I_{OR}/(1 - D)$ , где  $I_{OR} = I_0/n$ . Точно так же связаны коэффициентом трансформации и размахи токов, первичной и вторичной цепей. Мы, таким образом, имеем возможность задавать коэффициент пульсаций  $r$  для обратногоходных преобразователей так же, как мы это делали для рассматриваемых ранее преобразова-