

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ В ОБРАТНОХОДОВОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ С УЧЕТОМ НЕИДЕАЛЬНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРА

Ю.В. Руденко, канд. техн. наук
Ин-т электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

Рассмотрены электромагнитные процессы в обратноходовом преобразователе с учетом неидеальности трансформатора. Показано влияние неидеальности трансформатора на свойства преобразователя. Библи. 5, рис. 6, табл. 3.

Ключевые слова: обратноходовой преобразователь, неидеальность трансформатора, индуктивность рассеяния, энергетические показатели.

Однотактные обратноходовые преобразователи напряжения имеют достаточно обширную область использования, так как в диапазонах малой и средней мощностей (до 300 Вт) они обеспечивают наиболее оптимальное соотношение между величиной стоимости устройства и параметрами его эффективности. Это связано с разработкой новых серий транзисторов с улучшенными динамическими параметрами, что позволяет ожидать применения подобных преобразователей и в области больших мощностей (500 Вт и выше).

При анализе электромагнитных процессов в обратноходовых преобразователях часто необходимо учитывать его паразитные параметры, в частности индуктивность рассеяния обмоток, отражающую неидеальность трансформатора. При рассмотрении особенностей процессов в таких преобразователях становится очевидным, что данная индуктивность рассеяния играет существенную роль на этапах накопления и отдачи энергии в преобразователе. Вопросам анализа процессов в обратноходовых преобразователях посвящено большое количество работ [3, 4, 5], однако в основном все они не учитывают индуктивность рассеяния обмоток трансформатора. Исключением являются работы [1, 2], где процессы рассмотрены с учетом индуктивности рассеяния. Однако предложенная в них математическая модель преобразователя не позволяет в полной мере рассчитать параметры установившегося процесса. Число независимых переменных в этой модели не дает возможности одновременно определить необходимую индуктивность первичной обмотки трансформатора и необходимый коэффициент трансформации трансформатора при заданном значении индуктивности рассеяния без полной информации о всех временных интервалах работы преобразователя. Поэтому целью данной работы является анализ процессов и разработка более полной математической модели обратноходового преобразователя, позволяющей рассчитывать основные необходимые параметры преобразователя, а также изучать его электромагнитные свойства. Для получения математической модели обратноходового преобразователя рассмотрим электромагнитные процессы в нем с учетом неидеальности трансформатора.

На рис. 1 изображена структура силовой части обратноходового преобразователя на основе двухтранзисторной схемы.

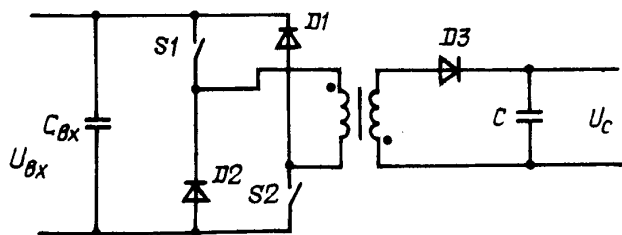


Рис. 1

При анализе процессов двухобмоточный трансформатор преобразователя можно представить в виде Т-образной схемы замещения с параметрами, приведенными к первичной обмотке через коэффициент трансформации K_{TP} , которая включает в себя индуктивность намагничивания L_m , а также индуктивности рас-

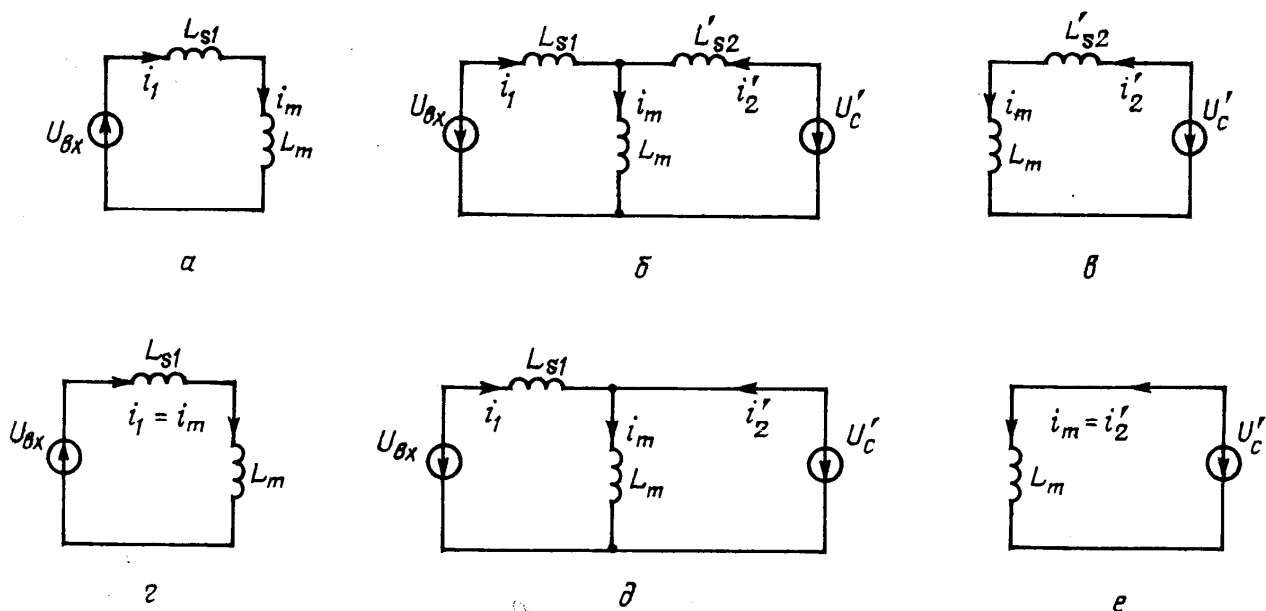


Рис. 2

сеяния обмоток L_{S1} и $L'_{S2} = \frac{L_{S2}}{K_{TP}^2}$. Эквивалентные схемы на различных интервалах работы

обратноходового преобразователя с учетом Т-образных схем замещения трансформатора представлены на рис. 2 а, б, в.

На рис. 2 г, д, е изображены эквивалентные схемы с учетом Г-образных схем замещения трансформатора, что является частным случаем от предыдущего варианта, когда вся индуктивность рассеяния обмоток представлена на первичной стороне L_{S1} . На схемах рис. 2 обозначено: U_{BX} – входное напряжение; $U'_C = U_C K_{TP}$ – выходное, приведенное к первичной стороне; $i_1, i'_2 = i_2 / K_{TP}$ – ток в первичной и вторичной обмотках, приведенный к первичной стороне; i_m – ток намагничивания. Схемы рис. 2 а, г соответствуют первому этапу работы, когда транзисторные ключи $S1, S2$ замкнуты, диоды $D1, D2$ – разомкнуты. На первом этапе происходит накопление энергии в поле магнитопровода (в индуктивности L_m) и в поле рассеяния трансформатора (в индуктивности L_{S1}). Схемы рис. 2 б, д соответствуют второму этапу, когда ключи $S1$ и $S2$ разомкнуты, диоды $D1, D2, D3$ замкнуты. На данном этапе происходит передача энергии, накопленной в поле рассеяния и в поле магнитопровода, в источники U_{BX} и U_C . Напряжение на ключах $S1, S2$ ограничено на уровне U_{BX} . Третьему этапу работы соответствуют эквивалентные схемы рис. 2 в, е. К началу этого этапа энергия поля рассеяния является полностью разряженной во входной источник, ток в диодах $D1, D2$ достигает нуля и они выключаются. На третьем этапе энергия поля магнитопровода продолжает разряжаться в нагрузку, диод выпрямителя $D3$ проводит ток до момента, когда ток в нем достигнет нуля, и выключается.

В идеальном случае, когда индуктивности рассеяния обмоток равны нулю, вся энергия, накопленная в поле магнитопровода трансформатора, передается в нагрузку. Этому случаю соответствуют только два этапа работы преобразователя – накопление и отдача энергии. Если допустить равные временные интервалы накопления T_H и отдачи T_O , можно представить изменения токов первичной стороны i_1 и вторичной i'_2 , приведенных к первичной в виде диаграммы на рис. 3 а, где прямые токов пересекаются в момент времени t_1 (момент окончания интервала накопления энергии и начала интервала отдачи энергии трансформатором в

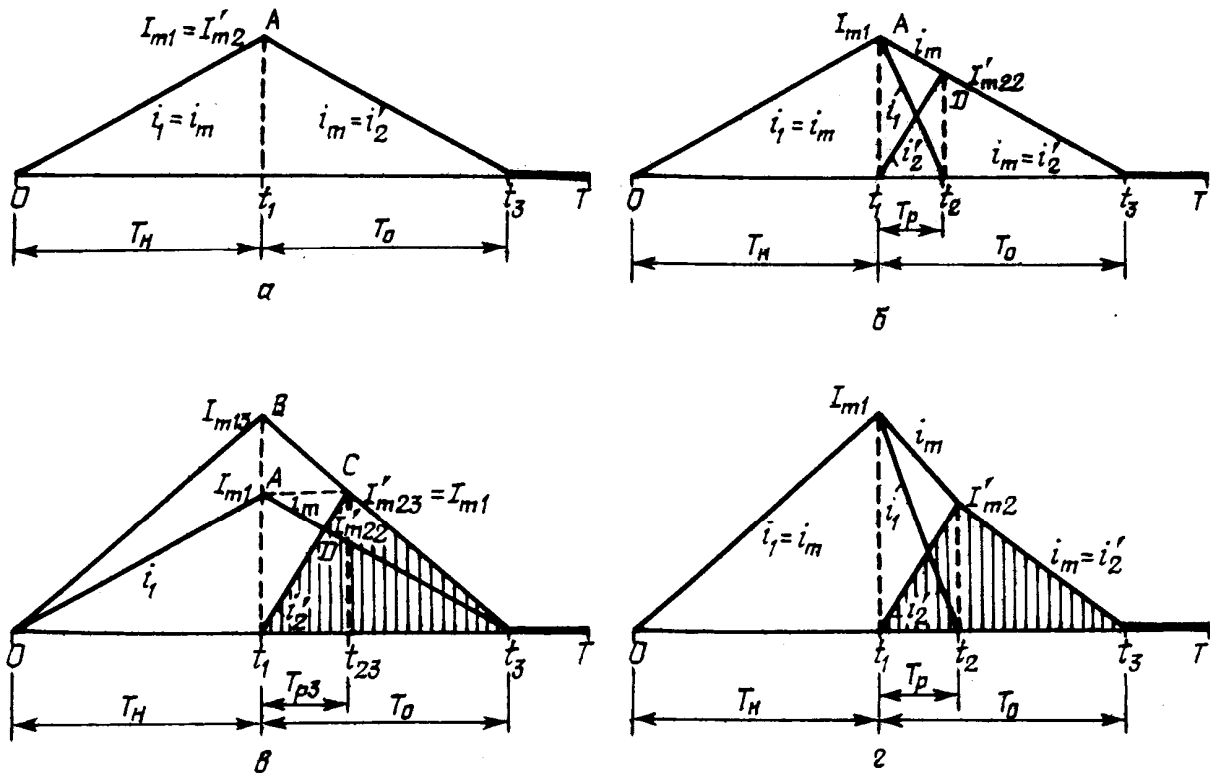


Рис. 3

нагрузку) на уровне $I_{m1} = I'_{m2}$ в точке А. Соотношение баланса энергий на этапе накопления и отдачи имеет вид $U_{BX} I_{m1} T_H / 2 = U'_C I'_{m2} T_0 / 2$.

Если в силовом трансформаторе появляется неидеальность магнитной связи, что выражается внесением индуктивности рассеяния в эквивалентную схему замещения трансформатора, то этап отдачи энергии распадается на два интервала, как было описано ранее. Для простоты рассмотрим Г-образную схему замещения трансформатора. Таким образом, на интервале $t_1 < t < t_2$ ток i_1 в индуктивности рассеяния L_{S1} спадает до нуля, а ток намагничивания i_m – от уровня I_{m1} в точке А до уровня I'_{m22} в точке D. Ток во вторичной обмотке i'_2 является разностью токов намагничивания i_m и тока через индуктивность рассеяния i_1 . Но так как ток рассеяния спадает быстрее, чем ток намагничивания, то это вызывает возрастание тока i'_2 на этом интервале от нуля до уровня I'_{m22} , что и отображено на рис. 3 б. Энергия, поступающая в нагрузку на этапе отдачи W_0 , определяется ампер-секундной площадью кривой тока во вторичной обмотке, ограничивающей область между точками $t_1 D t_3$ на рис. 3 б и может быть оценена выражением $W_0 = U'_C I'_{m22} T_0 / 2$. Очевидно, что данная ампер-секундная площадь меньше, чем площадь, ограничиваемая функцией тока i'_2 между точками $t_1 A t_3$, который соответствует режиму идеального трансформатора без паразитных индуктивностей рассеяния. Такая интерпретация процесса позволяет оценить также ту часть энергии, которая возвращается в источник питания за счет индуктивности рассеяния как разность ампер-секундных площадей тока i_1 на этапе накопления и тока i'_2 на этапе отдачи в нагрузку. Из рис. 3 б видно, что разность ампер-секундных площадей равна площади, ограниченной точками $t_1 A I'_{m22}$.

Вся энергия в обратномходовом преобразователе, передаваемая трансформатором на этапе T_0 в выходную цепь, поступает в первую очередь на заряд и поддержание энергии в

выходном конденсаторе, откуда она передается непосредственно в нагрузку. Заряжается конденсатор током вторичной обмотки. При токе рассеяния, равном нулю в точке t_2 , максимальный ток заряда выходного конденсатора достигает своего наибольшего значения I'_{m22} , величина которого определяет запас энергии, накапливаемой в нем на этапе T_0 . Как показано на рис. 3 б, наличие тока рассеяния ведет к уменьшению ампер-секундной площади тока заряда конденсатора и соответственно к уменьшению той части энергии, которая передается в нагрузку. Очевидно, что для поддержания величины выходной энергии на заданном уровне необходимо увеличивать ампер-секундную площадь зарядного тока, приведенного к первичной стороне, до уровня, который соответствовал бы нулевому рассеянию трансформатора. Однако это требует увеличения ампер-секундной площади также и тока первичной обмотки. Это можно проиллюстрировать построением диаграммы тока, показанной на рис. 3 в. Для того чтобы получить ампер-секундную площадь зарядного тока, равную площади при отсутствии рассеяния (площадь, ограниченная точками t_1At_3), необходимо продлить линию тока i'_2 до пересечения с уровнем тока I_{m1} (точка C). Далее необходимо линию тока намагничивания провести через точки t_3 и C до пересечения с пунктирной прямой t_1A в точке B . Таким образом, если изменить значение индуктивности намагничивания до величины, которая обеспечит изменение тока в первичной обмотке на этапе накопления до уровня I_{m13} в точке B , то на этапе отдачи энергии при наличии индуктивности рассеяния можно получить ампер-секундную площадь тока вторичной обмотки, которая ограничена точками t_1Ct_3 (затемненная область рис. 3 в). Исходя из законов геометрии, очевидно, что площади t_1At_3 и t_1Ct_3 равны между собой. Полученное значение тока I_{m13} в точке B будет соответствовать необходимому приращению тока намагничивания на этапе накопления, которое является достаточным для обеспечения заданной выходной мощности преобразователя. В общем случае при использовании Т-образной схемы замещения трансформатора это требование можно проиллюстрировать с помощью рис. 3 г. Данная скорость уменьшения тока намагничивания на этапе отдачи энергии непостоянна. На интервале $t_1 < t < t_2$ напряжение на индуктивности намагничивания больше величины выходного напряжения $U'_{Lm} > U'_C$, на интервале $t_2 < t < t_3$ напряжение на индуктивности намагничивания меньше величины выходного напряжения $U'_{Lm} < U'_C$, в отличие от варианта с Г-образной схемой замещения, где на всем протяжении интервала отдачи энергии $U'_{Lm} = U'_C$. Однако такой характер изменения тока намагничивания на этапе отдачи энергии в этом случае также не изменяет потребности в увеличении запаса входной энергии для обеспечения заданной величины выходной мощности преобразователя.

Какова же должна быть величина приращения тока намагничивания на этапе накопления при заданной выходной мощности и расчетной индуктивности рассеяния? Соответственно какова должна быть величина индуктивности намагничивания, число витков первичной обмотки трансформатора и его коэффициент трансформации? Очевидно, что наличие больших индуктивностей рассеяния трансформатора в обратноточковом преобразователе не позволяет однозначно ответить на данные вопросы с помощью методов, которые допускаются при расчетах с нулевым рассеянием. С одной стороны, наличие рассеяния трансформатора однозначно уменьшает часть энергии, передаваемую в нагрузку. С другой стороны, обеспечение требуемых параметров энергии, передаваемой в нагрузку преобразователя (обеспечение необходимой ампер-секундной площади тока вторичной обмотки), вынуждает увеличивать амплитуду входного тока (увеличивать запас входной энергии), как это проиллюстрировано на рис. 3 в, г. Необходимое для этого изменение величины индуктивности намагничивания требует корректировки числа витков первичной обмотки трансформатора, а это в свою

очередь приводит к изменению величин индуктивности рассеяния, коэффициента трансформации и, следовательно, к изменению параметров энергии, поступающей в нагрузку.

Проведенный анализ влияния индуктивности рассеяния на процессы в обратноходовом преобразователе свидетельствует о необходимости использования такого подхода, который позволяет однозначно рассчитывать параметры трансформатора. Для этого рассмотрим математическую модель преобразователя на основе дифференциальных уравнений на различных интервалах работы с учетом общего случая – Т-образной схемы замещения трансформатора.

Для эквивалентных схем, изображенных на рис. 2 а, б, в, справедливы дифференциальные уравнения, описывающие электромагнитные процессы на трех интервалах работы с учетом схем замещения трансформатора и коэффициента трансформации K_{TP} реального трансформатора:

- для первого интервала

$$(L_m + L_{S1}) \frac{di_1}{dt} = U_{BX}; \quad (1)$$

- для второго интервала

$$L_{S1} \frac{di_1}{dt} + L_m \frac{di_m}{dt} = -U_{BX}; \quad (2)$$

$$L_m \frac{di_m}{dt} + \frac{L_{S2}}{K_{TP}} \frac{di_2}{dt} = -(U_C + U_D)K_{TP}; \quad (3)$$

- для третьего интервала

$$\frac{(L_m + L_{S2})}{K_{TP}} \frac{di_2}{dt} = -(U_C + U_D)K_{TP}, \quad (4)$$

где $K_{TP} = \frac{w1}{w2}$; $w1, w2$ – количество витков первичной и вторичной обмоток трансформатора, U_D – падение напряжения на диоде выпрямителя.

Выходной ток преобразователя (ток нагрузки) I_H равен среднему значению тока заряда конденсатора. Зарядный ток конденсатора полностью формируется током i_2' вторичной стороны трансформатора: на интервале $t1 < t < t2$ этот ток равен разности токов $i_m - i_1$, на интервале $t2 < t < t3$ ток заряда $i_2' = i_m$. Поэтому средний ток заряда конденсатора за период времени T равен

$$I_{m2} \frac{(t3 - t1)}{2T} = I_H, \quad (5)$$

где I_{m2} – максимальное значение тока на вторичной стороне.

Для получения более полной системы уравнений, описывающих процессы в преобразователе, вычтем уравнение (3) из (2). В результате получим следующее выражение:

$$L_{S1} \frac{di_1}{dt} - \frac{L_{S2}}{K_{TP}} \frac{di_2}{dt} = -U_{BX} + (U_C + U_D)K_{TP}. \quad (6)$$

Для дальнейшего решения системы уравнений (1)...(6) будем пренебрегать активными потерями в обмотках трансформатора, считать пульсации напряжения на выходном конденсаторе несоизмеримо малыми по сравнению с постоянной составляющей выходного напряжения и принимать во внимание линейный характер изменения токов в индуктивностях схемы замещения. Так как производные по времени функций токов i_m, i_1, i_2' на разных интервалах противоположны по знаку, то правомерно записать приращения этих токов за соответствующие интервалы времени через следующие параметры: для первого интервала

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{I_{m1}}{T_H}; \text{ для второго интервала } \frac{di_1}{dt} = -\frac{I_{m1}}{T_P}, \frac{di_2}{dt} = \frac{I_{m2}}{T_P}, \frac{di_m}{dt} = \frac{I_{m2} - I_{m1}}{T_P}; \text{ для третьего интервала}$$

$\frac{di_2}{dt} = -\frac{I_{m2}}{T_O - T_P}$, где T_H – длительность первого интервала; T_P – длительность второго интервала; $T_O = T - T_H$ – длительность всего этапа отдачи энергии преобразователем в нагрузку; T – период рабочей частоты преобразователя. Примем также допущение, что в схеме замещения индуктивности рассеяния первичной и вторичной (приведенной к первичным виткам) обмоток распределены между собой поровну: $L_{S1} = L_{S2} = \frac{L_S}{2}$, где L_S – суммарная индуктивность рассеяния обмоток. В таком случае для описания процессов удобно воспользоваться непосредственно отношением индуктивности рассеяния к индуктивности намагничивания $\alpha = \frac{L_S}{L_m}$.

После введенных замечаний, перепишем систему уравнений (1)...(6) в следующем виде:

$$L_m \left(1 + \frac{\alpha}{2}\right) \frac{I_{m1}}{T_H} = U_{BX}; \quad (7)$$

$$L_m \left(1 + \frac{\alpha}{2}\right) \frac{I_{m1}}{T_P} - L_m \frac{I_{m2}}{K_{TP} T_P} = U_{BX}; \quad (8)$$

$$L_m \frac{I_{m1}}{T_P} - L_m \left(1 + \frac{\alpha}{2}\right) \frac{I_{m2}}{K_{TP} T_P} = (U_C + U_D) K_{TP}; \quad (9)$$

$$\frac{\alpha L_m}{2} \cdot \frac{I_{m1}}{T_P} + \frac{\alpha L_m}{2} \cdot \frac{I_{m2}}{K_{TP} T_P} = U_{BX} - (U_C + U_D) K_{TP}; \quad (10)$$

$$L_m \left(1 + \frac{\alpha}{2}\right) \frac{I_{m2}}{K_{TP} (T_O - T_P)} = (U_C + U_D) K_{TP}; \quad (11)$$

$$I_{m2} \frac{T_O}{2T} = I_H. \quad (12)$$

Полученная таким образом математическая модель преобразователя на основе уравнений (7)...(12) позволяет рассчитать основные его параметры и определить замкнутое решение для установившегося процесса. Для проверки адекватности полученной математической модели (7)...(12) процессам в преобразователе проведено моделирование с помощью программного пакета Orcad.

В схеме моделирования силовой трансформатор представлен в виде идеального трансформатора, в цепь первичной и вторичной обмоток которого введены индуктивности рассеяния L_{S1} , L_{S2} . Так как ранее было допущено равное распределение величины индуктивности рассеяния первичной и вторичной обмоток в схеме, приведенной к первичной стороне, то для реальной схемы имеем $L_{S2} = \frac{L_{S2}}{K_{TP}^2} = \frac{L_{S1}}{K_{TP}^2}$. На рис. 4 представлены результаты моделирования в виде временных диаграмм: ток в силовом ключе $S1$, ток во вторичной цепи трансформатора – в диоде $D3$, напряжение и ток в нагрузке $U(R_H)$, $I(R_H)$.

Заданными параметрами в схеме моделирования были: входное напряжение $U_{ex} = 300$ В, $T_H = 12$ мкс, $T = 40$ мкс, $L_{S1} = 29,6$ мкГн, $L_{S2} = 0,39$ мкГн, индуктивность первичной обмотки идеального трансформатора $L_1 = 270$ мкГн, индуктивность вторичной обмотки идеального трансформатора $L_2 = 3,5$ мкГн, $R_H = 1,3$ Ом. Результаты моделирования позволили получить основные характеристики установившегося процесса, параметры которого отражены в табл. 1

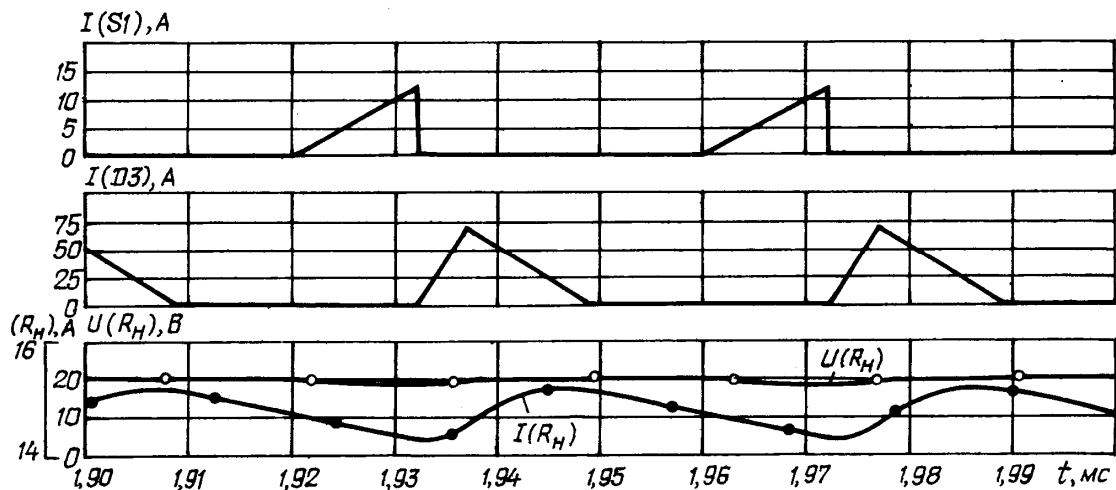


Рис. 4

во второй графе. В таблице указаны максимальные значения в первичной и вторичной обмотках трансформатора I_{m1} , I_{m2} , время спада тока в индуктивности рассеяния L_{S1} до нуля T_P , время отдачи накопленной трансформатором энергии в нагрузку – T_O , напряжение и ток в нагрузке U_H , I_H .

Таблица 1

Параметры установившегося процесса	Результаты моделирования Orcad	Результаты расчета Mathcad	Экспериментальные результаты
I_{m1} , А	12,9	13,4	13
I_{m2} , А	71,9	71,6	68
T_P , мкс	4,9	5,4	5
T_O , мкс	17,9	17,6	20
U_H , В	19,4	20	19,2
I_H , А	14,6	15	14,4

Для сопоставления результатов моделирования проведен расчет установившегося режима численными методами исходя из системы уравнений (7)...(12) с использованием программного пакета MathCad. Результаты расчета помещены в соответствующую графу табл. 1. Также проведены экспериментальные исследования действующего макетного образца рассматриваемого обратноходового преобразователя. Результаты экспериментальных исследований помещены в третью графу табл. 1. Сравнение результатов моделирования, расчета и эксперимента показывает близость величин исследуемых параметров с точностью до 10 %. Некоторое различие обусловлено погрешностью измерительных приборов, а также принятыми допущениями об идеальности ключевых элементов преобразователя на первичной стороне трансформатора. Таким образом, разработанная математическая модель обратноходового преобразователя, учитывающая такие паразитные параметры трансформатора, как его индуктивность рассеяния, достаточно точно отражает процессы в установившемся режиме.

Интерес также может представлять вопрос, насколько отличаются результаты расчетов и моделирования при использовании Т-образной схемы замещения трансформатора и Г-образной схемы, когда вся величина индуктивности рассеяния трансформатора представлена на первичной стороне, а величина $L_{S2} = 0$. В табл. 2 представлены результаты таких расчетов при Г-образной схеме замещения трансформатора.

Таблица 2

Параметры установленного процесса	Результаты моделирования Orcad	Результаты расчета Mathcad	Экспериментальные результаты
I_{m1}, A	12,6	13,3	13
I_{m2}, A	70	73,6	66
$T_P, \text{мкс}$	5,3	5,6	5
$T_O, \text{мкс}$	17,9	16,6	20
U_H, B	18,4	20	19,2
I_H, A	14,2	15	14,4

Сопоставление данных в табл. 1 и 2 показывает незначительные (не более 5...10 %) отличия в результатах, что связано с погрешностями расчетов и не вносит существенных изменений в качественную и количественную оценки процессов при данных входных и выходных параметрах преобразователя.

Как показывают экспериментальные исследования, при определенных параметрах работы преобразователя в нем могут возникать режимы, когда ток в индуктивности намагничивания в трансформаторе не достигает нулевого уровня за интервал времени $T_O = T - T_H$. Это свидетельствует о возникновении режимов непрерывных токов в трансформаторе. На рис. 5 изображены временные диаграммы, построенные с помощью пакета Orcad, для режима, когда $K_{TP} = 10$, $\alpha = 0,33$. Как видно, интервал отдачи энергии прерывается началом нового этапа накопления энергии, когда открываются силовые транзисторы на первичной стороне трансформатора, а диод выпрямителя еще не закрылся, так как ток в нем не равен нулю. Интервал времени "форсированного" спада тока диода до нуля длится порядка единицы микросекунды, причем напряжение на обмотках трансформатора не меняет знак в течение этого времени, несмотря на переход силовых транзисторов на первичной стороне в открытое состояние. Такая инерционность в этот момент процесса обусловлена наличием индуктивности рассеяния силового трансформатора.

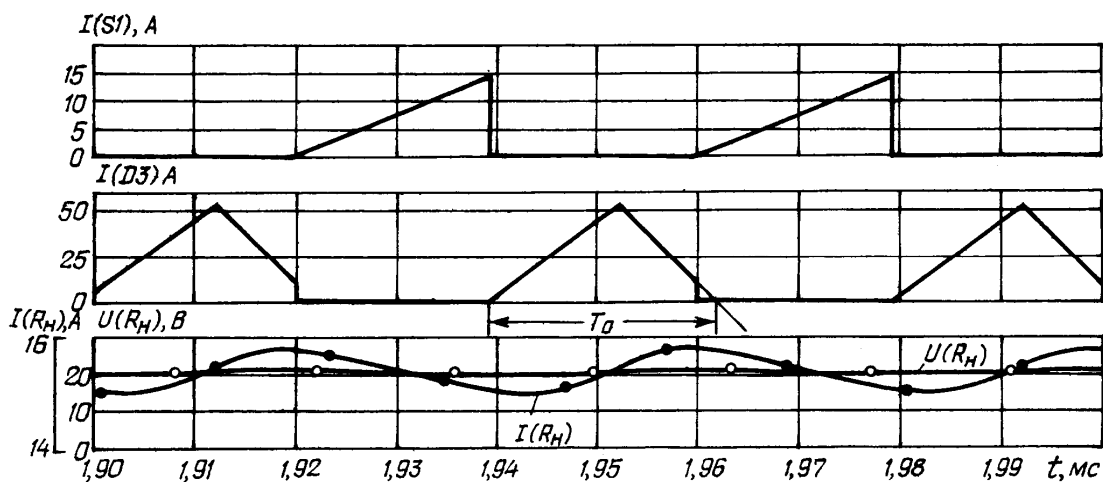


Рис. 5

Результаты расчета, моделирования процессов в преобразователе в данном режиме приведены в табл. 3. Там же помещены и экспериментальные данные.

Таблица 3

Параметры установившегося процесса	Результаты моделирования Orcad	Результаты расчета Mathcad	Экспериментальные результаты
I_{m1} , А	14,1	14,6	16
I_{m2} , А	51,9	49,1	48
T_P , мкс	13,2	13,6	14
T_O , мкс	23,7	24,9	26
U_H , В	20,3	20	20
I_H , А	15,6	15	15

Как показывают данные табл. 3, результаты расчета практически полностью совпадают с моделированием и экспериментом. Значение интервала времени отдачи энергии в нагрузку, полученное из расчета, соответствует отрезку времени T_O от начала интервала до мнимой точки пересечения прямой разряда тока намагничивания с осью времени, который показан на рис. 5.

Таким образом, полученная система уравнений (7)...(12) представляет собой достаточно точную математическую модель исследуемого обратного преобразователя с учетом принятых допущений. Анализ такой системы

позволяет применять ее для установившегося режима. Например, решение данной системы для заданных входных и выходных параметров U_{BX} , U_C , I_H , T , при известном соотношении индуктивности рассеяния и индуктивности намагничивания α , для рабочих значений длительностей интервала накопления T_H позволяет определить требуемые значения коэффициента трансформации K_{TP} и индуктивности намагничивания L_m , а также оценить возникающие при этом максимальные токи в обмотках трансформатора I_{m1} , I_{m2} и временные параметры установившегося процесса T_P , T_O .

С помощью численного решения полученных уравнений проанализированы свойства обратного преобразователя, характеризующие влияние неидеальности трансформатора на энергетические показатели устройства. На рис. 6 представлена зависимость относительных потерь энергии $W_{\Pi}^* = W_H/W_O$ в преобразователе от соотношения индуктивности рассеяния и индуктивности намагничивания трансформатора α при различных коэффициентах трансформации и следующих параметрах преобразователя: $U_{BX} = 300$ В, $U_C = 20$ В, $I_H = 15$ А, $T = 40$ мкс. В соотношении относительных потерь энергии включена величина энергии, отбираемая от источника на этапе накопления $W_H = U_{BX} I_{m1} T_H / 2$, и энергия, поступающая в выходную цепь на этапе отдачи $W_O = U_C I_{m2} T_O / 2$.

Рассчитанные зависимости параметров, представленные на рис. 6, свидетельствуют, что наилучшие энергетические показатели обратного преобразователя имеют место при минимальных индуктивностях рассеяния обмоток, причем с увеличением коэффициента трансформации эффективность преобразователя уменьшается.

Из изложенного следуют выводы:

1. В результате анализа электромагнитных процессов разработана математическая модель обратного преобразователя напряжения, которая достаточно адекватно

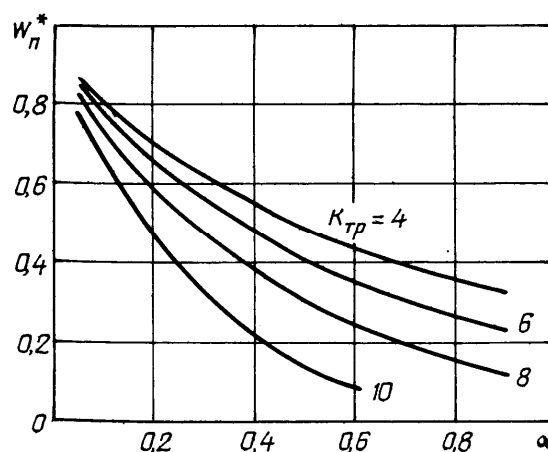


Рис. 6

отображает процессы в устройстве с учетом неидеальности силового трансформатора, обусловленной индуктивностью рассеяния обмоток.

2. Данная модель позволяет однозначно определять требуемые параметры силового трансформатора (индуктивность первичной обмотки, коэффициент трансформации) для обеспечения заданных выходных параметров преобразователя. Предложенная модель дает возможность получить не только качественные, но и количественные оценки свойств обратноходового преобразователя с неидеальным трансформатором.

3. Проведенный анализ режимов работы обратноходового преобразователя показал, что неидеальность трансформатора существенным образом влияет на электромагнитные процессы в преобразователе. При больших значениях индуктивности рассеяния обмоток трансформатора энергетическая эффективность преобразователя существенно уменьшается.

1. Бердников Д.В. Связь индуктивности рассеяния трансформатора и потерь в снаббере обратноходового преобразователя // Современная электроника. – 2005. – № 3. – С. 62–64.
2. Бердников Д.В. Измерение индуктивности рассеяния в трансформаторах импульсных преобразователей с помощью LRC-метра // Современная электроника. – 2006. – №8. – С. 58–61.
3. Ненахов С.М. Расчет обратноходового преобразователя напряжения в установившемся режиме // Электроническое питание. – 2005. – № 3. – С. 10–13.
4. Хныков А.В. Теория и расчет трансформаторов источников вторичного электропитания. – М.: Солон-Пресс, 2004. – 128 с.
5. Косенко С.В. Проектирование обратноходовых ИИП на TOPSwitch-II с помощью программы VDS // Радио. – 2006. – № 3. – С. 30–32.

УДК 621.314

Ю.В. Руденко, канд. техн. наук

Ин-т електродинаміки НАН України,

пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

Аналіз процесів у зворотногоходовому перетворювачі з урахуванням неідеальності трансформатора

Проаналізовано електромагнітні процеси у зворотногоходовому перетворювачі з урахуванням неідеальності трансформатора. Показано вплив неідеальності трансформатора на властивості перетворювача. Бібл. 5, рис. 6, табл. 3.

Ключові слова: зворотногоходовий перетворювач, неідеальність трансформатора, індуктивність розсіювання, енергетичні показники.

Yu.V. Rudenko

Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,

Peremogy, 56, Kyiv-57, Ukraine

Analysis of processes in flyback converter taking into account the transformer faultiness

Electromagnetic processes in flyback converter taking into account the transformer faultiness are analyzed. Influence of the transformer faultiness to converter characteristics is shown. References 5, figures 6, tables 3.

Key words: flyback converter, transformer faultiness, leakage inductance, power parameters.

Надійшла 14.09.2011

Received 14.09.2011