

## Краткие сообщения

УДК 621.314

Т.В. Руденко<sup>1</sup>, канд. техн. наук, Ю.В. Руденко<sup>2</sup>, канд. техн. наук

### Оценка потерь энергии в магнитопроводе дросселя в импульсном стабилизаторе напряжения

**Рассчитаны потери энергии в магнитопроводе дросселя в импульсных источниках электропитания при различных параметрах индуктивности и режимах работы.**

**The power loss of magnetic core is calculated in pulse power supply with different parameters of inductance and operating modes.**

**Ключевые слова:** потери энергии, магнитопровод дросселя, импульсные источники электропитания.

#### Введение

В импульсных источниках электропитания, как известно, используются различные компоненты, вызывающие потери энергии. Прежде всего, это силовые полупроводниковые элементы и моточные электромагнитные изделия. Одной из задач при проектировании импульсных источников питания является уменьшение потерь энергии. Проблемам снижения потерь энергии в импульсных преобразователях посвящено большое количество работ [1–4]. Выбор оптимальных компонентов при разработке импульсных преобразователей во многом зависит от режимов, в которых они должны работать. Так, например, выбор режима прерывистого или непрерывного тока дросселя в традиционном импульсном стабилизаторе на основе регуляторов понижающего или повышающего типов во многом зависит от свойств используемой элементной базы полупроводниковых элементов. Использование сверхбыстро действующих диодов со временем восстановления порядка 100 нс и менее, а также быстро действующих силовых транзисторов дает основание для применения режима непрерывных токов дросселя, при котором значения пульсаций тока могут быть меньше, чем в режиме прерывистых токов. И хотя меньшие пульсации тока дросселя создают меньшие потери энергии на перемагничивание его сердечника, вопрос выбора режимов работы требует отдельного изучения в связи с проблемой обеспечения эффективной траектории переключения силовых полупроводниковых элементов и обеспечения минимального выделения энергии при переключениях. Поэтому и

выбор величины индуктивности дросселя в импульсном стабилизаторе целесообразно рассматривать с позиции сравнения величины потерь в сердечнике дросселя и его габаритов в режимах непрерывного и прерывистого тока.

Как показывает анализ, количественные характеристики влияния величины параметров дросселя на потери энергии в его магнитопроводе для импульсных источников электропитания недостаточно полно освещены в литературе [1–4]. Поэтому целью этой работы является оценка изменения потерь энергии в магнитопроводе дросселя при различной индуктивности. В качестве примера рассмотрен импульсный стабилизатор напряжения на основе понижающего регулятора с параметрами: изменение входного напряжения в пределах 400...600 В, выходное напряжение – 200 В, выходной ток в пределах 0...2 А.

#### Потери энергии в магнитопроводе

Для определения потерь энергии в сердечнике  $P_c$ , воспользуемся следующим соотношением [5, 6]:

$$P_c = P_0 G_c \left( \frac{f}{f_h} \right)^\alpha \left( \frac{\Delta B}{B_h} \right)^\beta, \quad (1)$$

где  $P_0$  (Вт/кг) – удельные потери энергии в материале сердечника при частоте  $f_h$  и индукции  $B_h$ ;  $G_c$  – масса магнитопровода;  $f_h$ ,  $B_h$  – нормированные значения частоты и индукции;  $f$ ,  $\Delta B$  – значения частоты и величины изменения магнитной индукции, для которых ведется расчет потерь энергии;  $\alpha$ ,  $\beta$  – коэффициенты, характеризующие свойства материала магнитопровода (для указанного типа феррита  $\alpha = 1,2$ ;  $\beta = 2,8$ ).

Найдем связь между параметрами дросселя  $\Delta B$  и параметрами, характеризующими режим работы импульсного регулятора. Важным фактором при выборе величины индуктивности дросселя является максимальное использование свойств сердечника при обеспечении им возможности максимального накопления энер-

гии  $W_L = L I_{L,\max}^2 / 2$ . Из условия максимального использования сердечника дросселя по индукции [4], индукция сердечника должна достигать значение  $B_m$  при максимальном токе  $I_{L,\max}$ . Считая участок зависимости намагничивания  $B(H)$  сердечника прямолинейным до величины индукции  $B_m = 0,4$  Тл, можно записать зависимость изменения величины индукции  $\Delta B$  от изменения (переменной составляющей) тока в дросселе  $\Delta I_L$  в следующем виде:

$$\Delta B = B_m \frac{\Delta I_L}{I_{L,\max}}. \quad (2)$$

Рассмотрим в какой степени влияет выбор величины индуктивности дросселя на изменение потерь энергии в его магнитопроводе на примере указанного выше импульсного стабилизатора напряжения в диапазоне изменения тока нагрузки 0...2 А. Для этой цели с помощью численных методов моделирования были рассчитаны пульсации (переменная составляющая) тока в дросселе  $\Delta I_L$  при фиксированных токах нагрузки в названном диапазоне 0...2 А, при индуктивностях дросселя 1 и 2 мГн, входном напряжении 400 и 600 В. Рассчитанные значения величины пульсаций тока дросселя приведены на рис. 1.

На основании полученных зависимостей определены величины потерь энергии в сердечнике с помощью выражения (1). В качестве магнитопровода выбран сердечник Ш12x15 типа 2000НМ1.

Приведенное выражение (1) предназначено для вычислений при синусоидальных формах напряжения на дросселе. Для прямоугольной формы напряжения в выражении (1) необходимо использовать амплитудное значение первой гармоники индукции и коэффициент добавочных потерь, учитывающий потери от высших гармоник. Однако, в связи с тем, что нас интересует относительное изменение величины потерь, остановимся на первоначальном выражении (1).

Результаты вычислений потерь энергии для рассматриваемого примера приведены на рис. 2.

На рис. 2, а показана область величин потерь энергии при изменении входного напряжения от 400 до 600 В при индуктивности дросселя 1 мГн, на рис. 2, б – при индуктивности дросселя 2 мГн. Из анализа результатов вычислений видно существенное увеличение потерь энергии при уменьшении индуктивности дросселя с 2 до 1 мГн. Если при величине 2 мГн потери в магнитопроводе не превышают 3,2 Вт, то при индуктивности 1 мГн и использовании такого же типоразмера сердечника потери могут достигать 14 Вт.

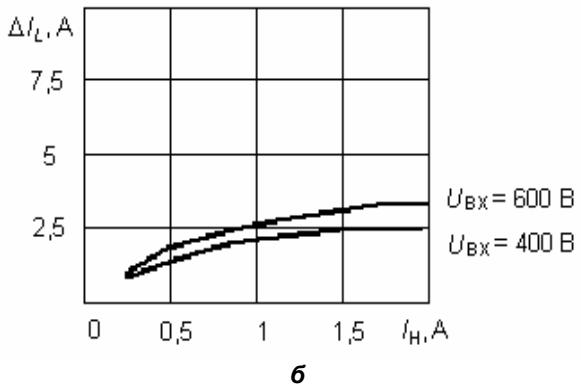
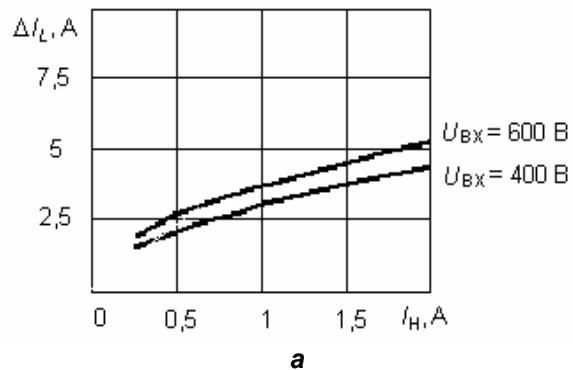


Рис. 1. Зависимость пульсаций тока в дросселе  $\Delta I_L$  от тока нагрузки, при входном напряжении 400, 600 В и индуктивностях дросселя: а – 1 мГн; б – 2 мГн

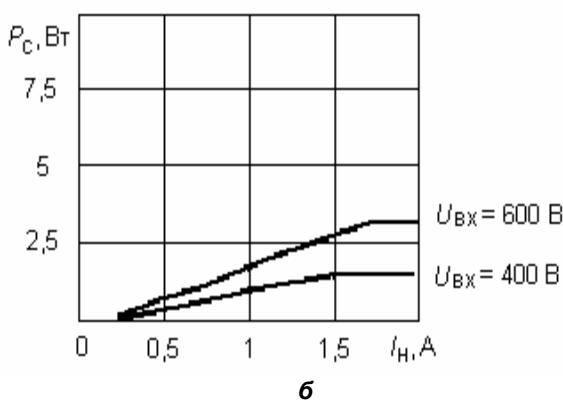
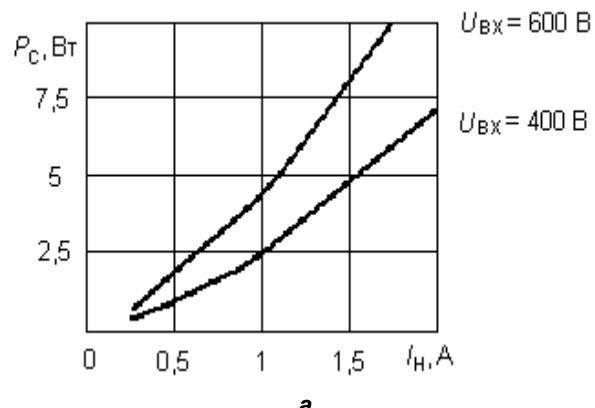


Рис. 2. Зависимость потерь энергии от тока нагрузки, при входном напряжении 400, 600 В и индуктивностях дросселя: а – 1 мГн; б – 2 мГн

Интерес представляет при этом форма кривой изменения потерь энергии. При индуктивности 2 мГн имеется два участка: на этапе прерывистых токов дросселя имеется почти линейное возрастание потерь при увеличении тока нагрузки, на этапе непрерывных токов потери энергии в сердечнике практически не изменяются. В этом моменте отражается факт прекращения роста пульсаций тока дросселя в режиме непрерывных токов, несмотря на увеличение тока нагрузки.

### Выводы

Получены зависимости потерь энергии в магнитопроводе дросселя в импульсных источниках электропитания при различных параметрах индуктивности и режимах работы. Результаты вычислений показывают, что при уменьшении индуктивности дросселя с 2 до 1 мГн потери энергии в магнитопроводе в среднем увеличиваются в четыре раза. Эти потери существенно влияют как на перегрев электромагнитных элементов, так и на общий КПД устройства. Особенno это важно при проектировании мощных систем электропитания, рассчитанных на десятки и сотни киловатт, где эти потери могут составлять достаточно большую величину относительно общей потребляемой энергии.

### Литература

1. Мирошник Д.Н. Асинхронный электропривод с частотным управлением при регулировании напряжения в звене постоянного тока // Гірнича електромеханіка та автоматика. – 2007. – Вип. 79 – С. 147–153.
2. Ковалев Е.Б., Шавелкин А.А. Мирошник Д.Н. Особенности расчета силового дросселя для импульсных преобразователей постоянного напряжения // Наук. праці ДонНТУ. Серія Електротехніка та Енергетика. – 2006. – Вип. 102 – С.154.
3. Шелле Д., Кастрорена Д. Советы по проектированию понижающих преобразователей // Новости электроники. – 2007. – № 8. – С. 23–28.
4. Комаров Н.С. К расчету дросселей на сердечниках с прямоугольной петлей гистерезиса // Проблемы технической электродинамики: Сб. науч. тр. – К.: ИЭД НАНУ, 1974. – Вып. 45. – С. 35–39.
5. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Г.С. Найвельт, К.Б. Мазель, Ч.И. Хусаинов и др.; Под. ред. Г.С. Найвельта. – М.: Радио и связь, 1985. – 576 с.
6. Расчет электромагнитных элементов источников вторичного электропитания: Монография / А.Н. Горский, Ю.С. Русин, Н.Р. Иванов, Л.А. Сергеева. – М.: Радио и связь, 1988. – 176 с.

<sup>1</sup>Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт»

<sup>2</sup>Институт электродинамики НАН Украины, г. Киев

Поступила в редакцию 14 декабря 2009 г.