

Краткие сообщения

УДК 621.314

Т.В. Руденко¹, канд. техн. наук, Ю.В. Руденко², 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 сверхбыстродействующих диодов со временем восстановления порядка 100 нс и менее, а также быстродействующих 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]:

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

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

Найдем связь между параметрами дросселя ΔB 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 $W_L = LI_{L,max}^2/2$. 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 ΔB от изменения (переменной составляющей) тока в дросселе ΔI_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 ΔI_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 Ш12х15 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.

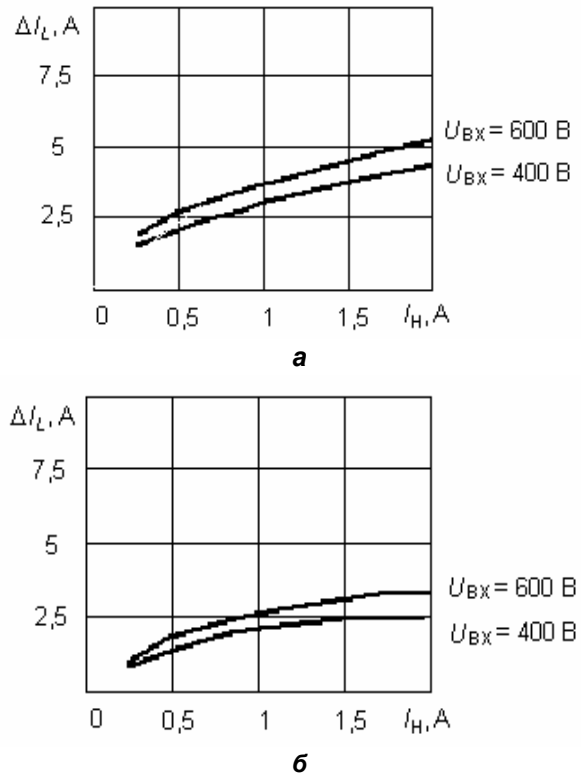


Рис. 1. Зависимость пульсаций тока в дросселе ΔI_L от тока нагрузки, при входном напряжении 400, 600 В и индуктивностях дросселя: а – 1 мГн; б – 2 мГн

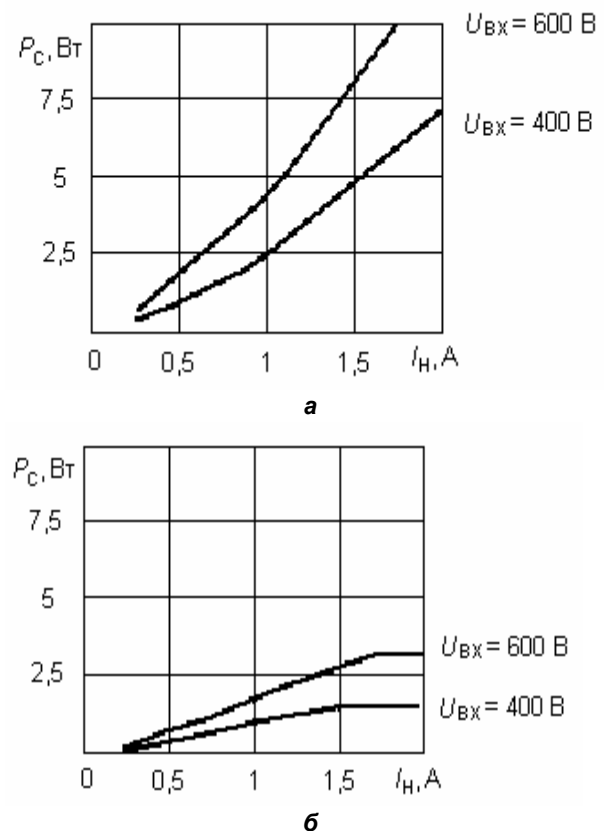


Рис. 2. Зависимость потерь энергии от тока нагрузки, при входном напряжении 400, 600 В и индуктивностях дросселя: а – 1 мГн; б – 2 мГн

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 изменяется. 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. Особенно 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 // *Гірнична 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., Касторена 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.

¹Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»

²Институт электродинамики НАН Украины, г. Киев

Поступила в редакцию 14 декабря 2009 г.