

Трансформаторы в импульсных источниках мощности

Мирослав Лукевски

Появление транзистора в 50-х годах прошлого столетия положило начало быстрому развитию силовой электроники. Традиционные источники питания заменялись импульсными источниками питания большей эффективности и имеющие значительно меньшие массо-габаритные показатели. Современные полупроводниковые ключи обеспечивают развитие преобразователей, работающих на все более высоких частотах. Постоянно совершенствуемые магнитные материалы позволяют разрабатывать оптимальные трансформаторы и индуктивные элементы.

Предприятие ELHAND TRANSFORMATORY производит трансформаторы и дроссели, которые предназначены для работы на высоких частотах.

Импульсный источник питания типа push-pull

На рисунке 1 представлена схема источника питания постоянного тока с преобразованием. Первичное напряжение питания подается на транзисторный мост инвертора. Пары транзисторов, включаемые попеременно, чаще всего со значительной частотой, питают трансформатор напряжением прямоугольной формы. Путем изменения продолжительности времени включения транзисторов изменяется величина напряжения, подаваемого на трансформатор.

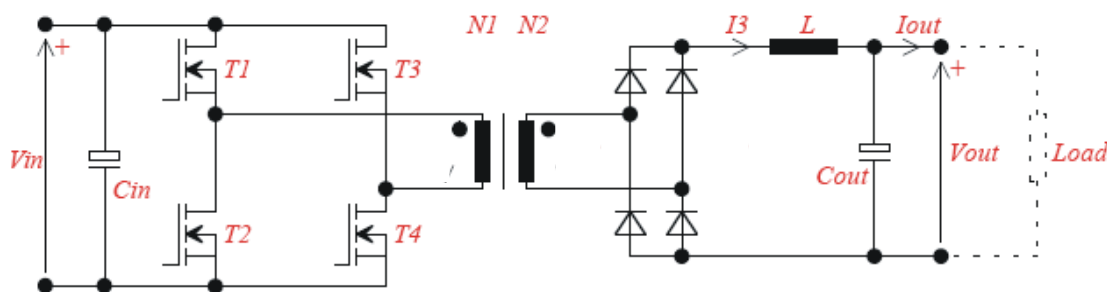


Рис.1 Схема конвертора типа push-pull в полномостовой схеме. [1]

Трансформатор является преобразующим элементом и согласующим уровень напряжения и тока, которые затем выпрямляются. На выходе диодного моста помещен индуктивный или индуктивно-емкостной фильтр, обеспечивающий сглаживание выходного напряжения. Преобразователи типа push-pull разрабатываются для питания приемников большой мощности.[1]

Трансформатор с нанокристаллическим сердечником

Трансформаторы, работающие в импульсных цепях, подвержены воздействию факторов, вызывающих дополнительные потери. Обмотки трансформаторов следует проектировать, предвидя возникновение скин-эффекта, то есть роста сопротивления обмотки токам высокой частоты, что в последствии приводит к большим потерям. В сердечнике трансформатора существенное значение имеют потери на гистерезис и потери вызванные вихревыми токами. Для их ограничения в конструкции сердечника применяются современные магнетики с низкими потерями. Материал с торговым знаком VITROPERM 500F является нанокристаллическим материалом, полученным путем контролируемой термообработки аморфного сплава на базе железа. Сплав VITROPERM 500F характеризуется узкой петлей магнитного гистерезиса (Рис.2), а также большим сопротивлением, которое эффективно ограничивает вихревые токи [2]. Электрические параметры

нанокристаллического сплава VITROPERM 500F [2] приведены в таблице 1. Внешний вид тороидального сердечника изображен на рис.3.

Таблица 1

Свойства материала	Нанокристаллический сплав VITROPERM 500F
Толщина ленты	~ 25 мкм
Индукция насыщения	1,2 Т
Коэрцитивная сила (статическая)	< 3 А/м
Проницаемость	10 000 - 150 000
Потери в сердечнике	$P_{fe} = 80$ [Вт/кг] $f=100$ кГц, $B=0,3$ Т
Сопротивление	115 мкОм см
Магнитострикция насыщения	$10^{-8} - 10^{-6}$
Температура Кюри	600 °С
Допустимая температура	
Непрерывная работа	120-150 °С
Кратковременная перегрузка	180 °С

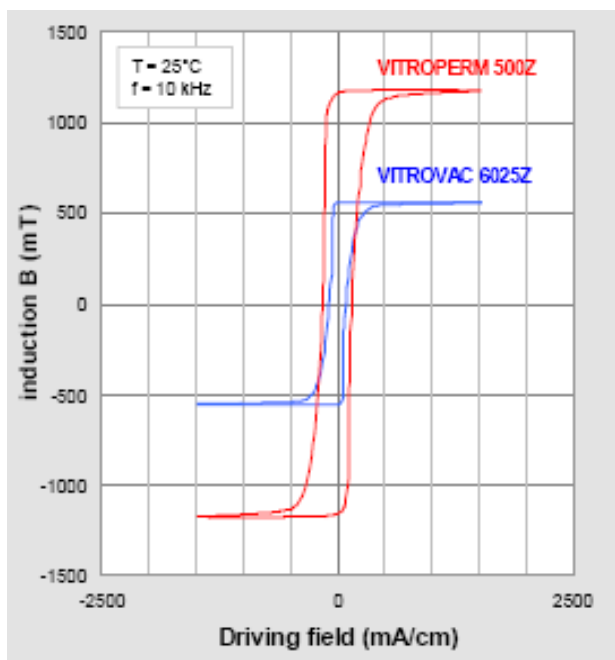


Рис.3. Кривые петель магнитного гистерезиса для нанокристаллического VITROPERM 500F и аморфного VITROVAC 6025Z сплавов [2]



Рис.3 Тороидальные сердечники, выполненные из нанокристаллического сплава VITROPERM 500F [2]

Зная соответствующую конфигурацию схемы конвертора (напр., full bridge) и оптимальную частоту работы системы, мы можем подобрать магнитный материал, из которого будет выполнен сердечник трансформатора. Нанокристаллический материал на базе железа VITROPERM 500F является магнетиком созданным для использования в электронно-силовых приложениях. Производитель трансформаторных сердечников предлагает оптимальные, для этого материала значения частоты, плотности магнитного потока и коэффициента формы напряжения, питающего трансформатор. (Табл. 2)

Таблица 2

Предпочтительные значения параметров работы и расчетные коэффициенты	Нанокристаллический сплав VITROPERM 500F
Частота - fo	100 кГц
Отклонения индуктивности - ΔBo	0,6 Т
Коэффициент формы - Fo	1,11 (синус)
Потери в сердечнике -Po для Fo, ΔBo, fo	110 Вт/кг
Коэффициент X	1,6
Коэффициент Y	1,8
Коэффициент Z	2,08

Очередным важным моментом для правильной работы трансформатора является определение оптимальной индуктивности в сердечнике ΔB_{opt} и оптимальной плотности тока в обмотках S_{opt}. Эти величины определяются для выбранного сердечника, когда можно уже определить массу m_{fe}, термическое сопротивление R_{th} и потери мощности P_o, определенные для предпочтительных условий работы. На этом этапе мы устанавливаем также, каковы будут частота и форма напряжения питания - f, F.

$$\Delta B_{opt} = \Delta B_o \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta T}{(2 + Z) \cdot R_{th} \cdot m_{fe} \cdot P_o \cdot \left(\frac{F}{F_o}\right)^X \cdot \left(\frac{f}{f_o}\right)^Y} \right)^{1/2}$$

Проектируя обмотки, следует предварительно для вычислений установить значение тока I_{cu} и сопротивление r_{cu} материала, из которого будут они выполнены. Важной является также площадь сечения обмотки A_{cu}, подобранная так, чтобы при оптимальной плотности тока прирост температуры обмоток не превысил допустимого значения ΔT [3].

$$S_{opt} = \sqrt{((Z + \Delta T) / ((Z + 2) \cdot R_{th} \cdot r_{cu} \cdot I_{cu} \cdot A_{cu}))}$$

Зная значения оптимальной индукции в сердечнике и плотность тока в обмотках, можно определить величину трансформируемой мощности P_{max} при частоте f напряжения питания. Коэффициент

мощности k зависит от вида конвертора, для типа push-pull в полномостовой схеме, максимальной пульсации t_{\max} напряжения питания U_E составляет:

$$k = 1/\sqrt{2 \cdot t_m}$$
$$t_m = 0,5 \cdot t_{\max} \cdot (1 + U_{E,\min}/U_{E,\max})$$
$$P_{\max} = k \cdot f \cdot A_{fe} \cdot A_{cu} \cdot \Delta B_{opt} \cdot S_{opt}$$

Количество витков первичной обмотки N_p подбираем так, чтобы напряжение питания U_E , вызывало магнитную индукцию в сердечнике не большую, чем значение оптимальной индукции ΔB_{opt} . Вторичные витки N_s определяются в зависимости от величины постоянного напряжения на выходе U_A [3].

$$N_p = (t_{\max} \cdot U_{E,\min}) / (f \cdot A_{fe} \cdot \Delta B_{opt})$$
$$N_s = (U_A \cdot N_p) / (t_{\max} \cdot U_{E,\min})$$

После определения параметров обмоток следует выполнить контрольные расчеты, проверяя, помещаются ли обмотки в отверстия сердечника, с учетом изолирующих материалов.

Литература

- [1] <http://schmidt-walter.fbe.fh-darmstadt.de> Dr Ing. Heinz Schmidt-Walter, Switched Mode Power Supplies – the lecture
- [2] www.vacuumschmelze.de Nanocrystalline VITROPERM/EMC components– 2004 г.
- [3] www.vacuumschmelze.de Tape-wound cores in power transformers for switched mode power supplies– 2003 г.