



2.1.4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА (СЕМИНАР) № 4. МОЩНОГО ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ВЫСОКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА БАЗЕ НЕСТАНДАРТНОГО МАГНИТОПРОВОДА

Цель работы: изучение принципов расчета мощного высокочастотного высокопотенциального трансформатора на базе нестандартного магнитопровода, изучение конструкции и принципов его работы, получение заданных входных и выходных параметров трансформатора, получение навыков расчета трансформатора по заданным параметрам выходных напряжения и тока.

Задание по работе

1. Получить задание.
2. Рассчитать параметры трансформатора по заданным характеристикам.
3. Проанализировать результаты работы, сформулировать краткие выводы по работе

Методические указания по выполнению работы

Габаритные размеры стандартных магнитопроводов ограничены. При большой мощности трансформатора возникает необходимость его проектирования на базе специально разрабатываемого магнитопровода. Рассмотрим особенности проектирования трансформатора мощностью $10 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ с рабочим потенциалом вторичной обмотки 24 кВ , входящего в состав модуля источника электропитания и устанавливаемого на выходе инвертора. Рабочая частота инвертора 40 кГц .

Сравнительный анализ различных магнитомягких материалов показывает, что при частоте преобразования 40 кГц эффективно могут быть использованы ферриты, аморфные и наноструктурированные кристаллические сплавы. Магнитопроводы из аморфных и наноструктурированных сплавов ввиду особенностей технологии их изготовления в настоящее время используются в основном в виде колец для трансформаторов сравнительно небольшой мощности.



Поэтому для проектируемого трансформатора целесообразно использовать ферритовый магнитопровод, удельная мощность полных потерь в котором определяется выражением $P_{уд} = \rho_0 f^\alpha V^\beta$. Постоянные ρ_0, α, β для каждого конкретного материала приведены в табл. 2.4.1, 2.4.2., рассчитанные значения удельной мощности полных потерь для различных марок ферритов – в табл. 2.4.1.

Таблица 2.4.1.

Значения потерь мощности для различных марок ферритов

Марка феррита	Удельная мощность полных потерь, Вт/кг, при различных значениях индукции, Тл			
	0,12	0,15	0,18	0,20
2000НМ1-17	15,02	28,05	47,70	62,00
1500НМ3	18,28	29,80	44,60	56,20
2000НМ3	17,61	32,10	52,60	69,95
2500НМС1	22,70	34,70	49,10	60,00
2500НМС2	26,20	38,20	52,10	62,30

Таблица 2.4.2.

Значения коэффициентов для расчета удельных потерь в магнитопроводах

Марка феррита	Коэффициент удельных потерь		
	ρ_0 , Вт/кг	α	β
1500НМ3	23,2	1,2	2,2
2000НМ1	68,0	1,2	2,8
2000НМ3	44,6	1,3	2,7
2500НМС1	7,3	1,4	1,9
2500НМС2	11,5	1,2	1,7

Из табл. 2.4.1 видно, что при выбранных значениях индукции 0,12...0,15 Тл предпочтительны материалы 2000НМ1-17, 1500НМ3 или 2000НМ3. Конструкция магнитопровода должна удовлетворять ряду требований: иметь большую поверхность охлаждения трансформатора, малую индуктивность рассеивания, высокую технологичность выполнения обмоток и высоковольтной изоля-



ции. Этим требованиям в достаточной мере может удовлетворить П-образный магнитопровод при размещении обмоток на двух стержнях.

Выбор типоразмера магнитопровода проводится с учетом зависимости:

$$S_c S_o = 10^2 P_T / 2 k_\phi f j K_c K_m B,$$

где S_c – площадь сечения магнитопровода, см²; S_o – площадь окна, см²; P_T – габаритная мощность трансформатора, В·А; k_ϕ – коэффициент формы преобразуемого напряжения; f – рабочая частота, Гц; j – плотность тока в обмотках, А/мм²; K_c – коэффициент заполнения магнитопровода активным материалом; K_m – коэффициент заполнения окна медью; B – рабочая индукция, Тл.



Для рассматриваемого примера принимаем:

$$B = 0,15 \text{ Тл}; j = 2,5 \text{ А/мм}^2; k_{\phi} = 1; K_M = 0,1; K_C = 1.$$

Поскольку расчетная мощность выходной обмотки P_2 рассматриваемого трансформатора отличается незначительно от его габаритной мощности P_T ($P_2 \approx P_T$), получаем $S_C S_0 = 334 \text{ см}^4$.

Сравнивая это значение с аналогичным показателем известных магнитопроводов, можно сделать вывод, что для реализации рассматриваемого трансформатора необходим новый магнитопровод, так как максимальное значение $S_C S_0$, разработанных ранее П-образных магнитопроводов не превышает 78 см^4 . Пусть соотношение между площадью окна и сечением нового магнитопровода будет таким же, как у максимального по размерам стандартного магнитопровода ПК48 x 20. Тогда $S_0 = 58 \text{ см}^2$.

При выборе соотношения между линейными размерами окна необходимо руководствоваться компромиссными соображениями. С одной стороны, чем ближе это соотношение к единице, тем меньше масса магнитопровода и, следовательно, меньше потери мощности в нем. С другой стороны, необходимо стремиться к увеличению отношения высоты h окна к его ширине c для снижения индуктивности рассеивания и уменьшения потерь в обмотках. Учитывая изложенное, приходим к значениям $h = 80 \text{ мм}$, $c = 72 \text{ мм}$. Тогда площадь окна $S_0 = hc = 57,6 \text{ см}^2$; площадь сечения магнитопровода $S_C = 334/57,6 = 5,8 \text{ см}^2$.

Для уменьшения размеров и повышения технологичности изготовления катушек целесообразно выбрать магнитопровод типа ПК. В этом случае диаметр стержня:

$$D = \sqrt{4S_C/\pi} = 2,76 \text{ см.}$$

С учетом отверстия для крепления магнитопровода принимается $D = 2,8 \text{ см}$. Таким образом, получен магнитопровод ПК72 x 28 с окном $7,2 \times 85,0 \text{ см}^2$ и сечением стержня $S_C \cong 6 \text{ см}^2$. Объем магнитопровода $V_C = S_C l_C = 250 \text{ см}^3$, где l_C – средняя длина магнитной силовой линии.

Масса магнитопровода:

$$G_C = V_C \rho_C = 1125 \text{ г,}$$



где $\rho_c = 4,5 \text{ г/см}^3$ – плотность феррита.

Мощность потерь в магнитопроводе $P_c = P_{уд}G_c = 31,5 \text{ Вт}$.

Размеры магнитопровода определяют размеры катушки и всего трансформатора в целом. Объем катушки на одном стержне:

$$V_k = \frac{\pi h(D_k^2 - D^2)}{4} \approx 580 \text{ см}^3,$$

где D_k – диаметр катушки.

Мощность потерь в катушке может быть определена по выражению:

$$P_k = j^2 k_t \gamma V_k k_0,$$

где k_t – температурный коэффициент, равный 1,2 для предполагаемого значения температуры перегрева $\theta = 50 \text{ }^\circ\text{C}$; γ – удельное электрическое сопротивление меди при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$. При $\gamma = 0,0175 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ получим значение мощности потерь в катушке $P_k = 7,61 \text{ Вт}$.

Вводя поправочный частотный коэффициент $k_- = 1,1$ получаем суммарные потери в меди $P_M = 2k_- P_k = 16,74 \text{ Вт}$.

Температура перегрева обмоток трансформатора рассчитывается по формуле:

$$\theta = K_1 [P_M/2 - (P_M K_1 - P_c K_2)/K_3],$$

где K_1, K_2, K_3 – коэффициенты, приведенные в табл. 2.4.1 для магнитопровода ПЛВ16 х 32-80, близкого по размерам рассматриваемому.

Подставляя в последнее уравнение рассчитанные значения мощности потерь в катушках и магнитопроводе, а также значения K_1, K_2 и K_3 , равные 2,7; 5,85 и 12,84 соответственно, получаем $\theta = 52 \text{ }^\circ\text{C}$.

Коэффициент полезного действия трансформатора:

$$\eta = P_2 / (P_2 + P_c + P_M) \approx 0,99.$$



Ориентировочная масса трансформатора:

$$G_{\text{тр}} = 1,1(G_{\text{с}} + G_{\text{м}} + G_{\text{из}}),$$

где $G_{\text{из}} = 2V_{\text{к}}\rho_{\text{из}}(1 - k_0)$; $\rho_{\text{из}}$ – плотность изоляции. Выбирая для плотности изоляции типичное значение $\rho_{\text{из}} = 1,65 \text{ г/см}^3$ и учитывая, что $G_{\text{м}} = 2V_{\text{к}}k_{\text{м}}\rho_{\text{м}} \approx 1040 \text{ г}$, получаем $G_{\text{тр}} \approx 4,3 \text{ кг}$. Ориентировочные размеры трансформатора 210 x 120 x 175 мм³.

Контрольные вопросы

1. Как укладывается межобмоточная изоляция при ширине ленты БДХ меньшей ширины окна каркаса?
2. Как меняются габариты трансформатора при повышении частоты питающей сети?
3. Какие материалы могут быть использованы для создания магнитопровода на частотах выше 25 кГц?
4. Почему стандартные ферритовые кольца не используют для изготовления высоковольтных трансформаторов?
5. На какие характеристики трансформатора влияет изменение соотношений размеров окна магнитопровода?