

Расчёт магнитопровода трансформатора

(Дополнение к статье «Расчет параметров трансформаторов»,

Электричество, 2016, No. 6)

КРИВОНОСОВ Г.А.

В [1] отмечается, что в последние годы развитие трансформаторостроения шло в основном по пути усовершенствования технологии изготовления металлических конструктивных элементов. На заре изобретения трансформаторов высказывались предложения выполнять обмотку из магнитного материала, при этом она выполняла бы роль как магнитопровода, так и проводника электрического тока. Однако технология того времени не позволила реализовать такую конструкцию трансформаторов; в настоящее время она находит свое воплощение [2–5].

В многочисленной литературе по конструированию трансформаторов авторы ссылаются на формулы, полученные эмпирическим путем. В [1] в строгой форме с соблюдением теоретических законов электротехники приводятся выражения, на основании которых предлагается методика расчетов основных параметров трансформатора.

I. *Данные для расчета параметров первичной обмотки:* U_1 – напряжение источника питания; f – частота; I_1 – номинальный ток; i_1 – допустимая плотность тока; ρ_1 – удельное сопротивление проводника; μ^* – магнитная проницаемость стали магнитопровода; H^* – напряженность магнитного поля при выбранной магнитной проницаемости; v_1 – допустимое пробивное напряжение между слоями в обмотке; Δ_1 – зазор из изолятора между магнитопроводом и первым слоем витков обмотки; Δ_2 – толщина изоляции между первичной и вторичной обмотками; Δ_3 – зазор из изолятора между последним слоем вторичной обмотки и внешними предметами.

II. *Требуется определить:* N_1 – число витков в обмотке; n_1 – число слоев; w_1 – число витков в слое; l_1 – длину проводника; $d_{1пр}$ – диаметр проводника; i_1 – плотность тока; T_1 – толщину обмотки; V_1 – высоту обмотки; r_1 и r_3 – радиусы магнитопровода и последнего слоя в обмотке (см. рис. 1); $S_{\text{маг}}$ – поперечное сечение магнитопровода; L – длину магнитопровода, а также длину стержня L_c и ярма $L_{я}$.

1. Число слоев $n_1 = U_1 / v_1$;
2. Диаметр проводника $d_{1пр} = \sqrt{I_1 / (\pi i_1)}$;
3. Толщина обмотки $d_{1обм} = (d_{1пр} + d_1)n_1 + \Delta_1$;
4. Радиус магнитопровода $r_1 = \sqrt{\frac{U_1}{\pi \mu_0 \mu^* H^* k f}}$;
5. Радиус последнего слоя в обмотке $r_3 = d_{1обм} + r_1$;
6. Число витков $N_1 = U_1 / (\pi i_1 \rho_1 (r_3 + r_1 + \Delta_1))$;
7. Длина проводника $l_1 = \pi (r_3 + r_1 + \Delta_1) N_1$;
8. Плотность тока $i_1 = U_1 / \rho l_1$;
9. Число витков в слое $w_1 = N_1 / n_1$;
10. Высота обмотки $h_1 = w_1 k_1 d_{1пр} + \Delta_1$, где k_1 – коэффициент укладки провода в слое (принимают $k_1 = 1,5$);
11. Сечение магнитопровода $S_{\text{маг}} = \pi (r_1 - \Delta)^2$;
12. Длина магнитопровода $L = IN \mu_0 \mu^* / B = IN / H^*$;
13. Длина ярма $L_{я} = 2(d_{1обм} + d_{2обм}) + \Delta_4$;

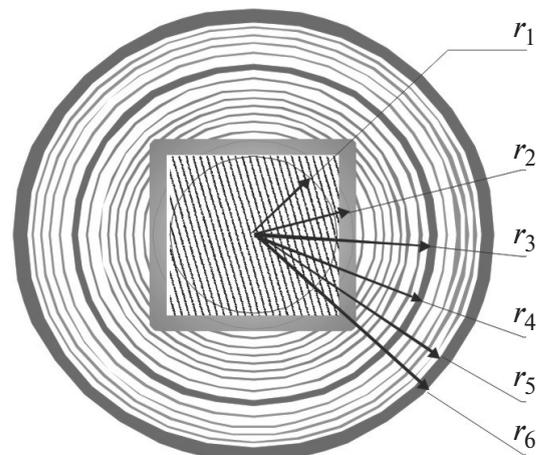


Рис. 1. Поперечное сечение стержня с обмоткой, радиусы: r_1 – магнитопровода; r_2 и r_3 – первого и последнего слоев первичной обмотки; r_4 и r_5 – первого и последнего слоев вторичной обмотки; r_6 – изоляции между последним слоем вторичной обмотки и внешними предметами

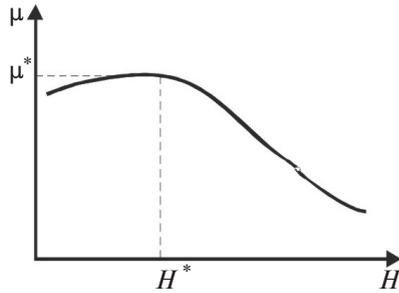


Рис. 2. Характеристика намагничивания трансформаторной стали. При выборе параметров μ и H следует руководствоваться оптимальными значениями для применяемого типа ферромагнитной стали. Согласно (рис. 2) рекомендуется выбирать значение H^* при максимальном значении μ^* . Но H является не только функцией значения тока I , но и отношения радиуса a катушки к ее высоте b , т.е. $H^* = H(I^*, a, b)$. Следует заметить, что наиболее эффективная работа трансформатора (повышенное КПД) наблюдается при малых отклонениях значений номинального тока I от I^* .

14. Длина стержня $L_c \geq (L - 2L_{я}) - 2$; она не должна быть больше h_1 .

III. Данные для расчета параметров вторичной обмотки: U_2 — напряжение на выходе вторичной обмотки; I_2 — номинальный ток; i_2 — допустимая плотность тока; ρ_2 — удельное сопротивление проводника; v_2 — допустимое пробивное напряжение (d_2 — толщина) между слоями в обмотке; Δ_2 — зазор из изолятора между последним слоем вторичной обмотки и магнитопроводом.

IV. Требуется определить: N_2 — число витков в обмотке; n_2 — количество слоев; w_2 — число витков в слое; l_2 — длину проводника; i_2 — плотность тока; $d_{2пр}$ — диаметр проводника; $d_{2обм}$ — толщину обмотки; r_4 — радиус последнего слоя в обмотке.

1. Число слоев $n_2 = U_2 / v_2$;
2. Диаметр проводника $d_{2пр} = \sqrt{I_2 / (\pi i_2)}$;
3. Толщина обмотки $d_{2обм} = (d_{2пр} + d_2^*) n_2 + \Delta_2$;
4. Радиус последнего слоя в обмотке $r_4 = d_{2обм} + r_3$;
5. Число витков $N_2 = U_2 / (\pi i_1 \rho_2 (r_3 + r_5 + \Delta_2))$;
6. Длина проводника $l_2 = \pi (r_3 + r_5 + \Delta_2) N_2$;
7. Плотность тока $i_2 = U_2 / \rho_2 l_2$;
8. Число витков в слое $w_2 = N_2 / n_2$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривonosов Г.А. Расчет параметров трансформатора. — Электричество, 2016, No. 6, с. 46–54.
2. Казаков В.В. Силовые МТС-трансформаторы и генераторы. — Энергетика Татарстана, 2007, No. 2(6), с. 25–36; No. 3(7), с. 44–55.
3. Казаков О.В., Казаков В.В. Нагрузочная способность трансформаторов МТС. Анализ явлений в электромагнитных системах и гипотезы. — Энергетика Татарстана, 2008, No. 3(11), с. 29–38.
4. Казаков О.В., Казаков В.В. Нагрузочная способность трансформаторов МТС. Анализ явлений в электромагнитных системах и гипотезы. — Силовая электроника. Приложение к журналу «Компоненты и технологии», 2008, No. 2, с. 19–24.
5. Казаков В.В. Источники питания. Многофазные трансформаторы-преобразователи. Многофазные выпрямители. — Силовая электроника. Приложение к журналу «Компоненты и технологии», 2006, No. 4, с. 50–52.

Автор: **Кривonosов Геннадий** окончил физ.-мат. факультет Таджикского государственного университета в 1962 г. В 1977 г. защитил кандидатскую диссертацию. Старший научный сотрудник, АО Фирма «ГЭК», Харьков, Украина.

[25.04.2018]

Elektrichestvo, 2018, No. 8, pp. 60–61

DOI:10.24160/0013-5380-2018-8-60-61

In addition to article «Calculating of the Transformer Parameters»

(«Elektrichestvo», 2016, № 6)

KRIVONOSOV Gennady A. (Kharkiv, Ukraine) — Senior Scientific Researcher, Cand. Sci. (Phys.-Math.)

REFERENCES

1. Krivonosov G.A. Elektrichestvo — in Russ. (Electricity), 2016, No. 6, pp. 46–54.
2. Kazakov V.V. Energetika Tatarstana — in Russ. (Energy of Tatarstan), 2007, No. 2(6) pp. 25–36; No. 3(7), pp. 44–55.
3. Kazakov O.V., Kazakov V.V. Energetika Tatarstana — in Russ. (Energy of Tatarstan), 2008, No. 3(11), pp. 29–38.

4. Kazakov O.V., Kazakov V.V. Silovaya elektronika. Prilozheniye k zh. «Komponenty i tekhnologii» — in Russ. (Power electronics. Supplement to journ. «Components and technologies»), 2008, No. 2, pp. 19–24.
5. Kazakov V.V. Silovaya elektronika. Prilozheniye k zh. «Komponenty i tekhnologii» — in Russ. (Power electronics. Supplement to journ. «Components and technologies»), 2006, No. 4, pp. 50–52.

[25.04.2018]