

К РАЗРАБОТКЕ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА СГЛАЖИВАЮЩИХ ДРОССЕЛЕЙ НА ЗАДАННОЕ ПАДЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Е. И. ГОЛЬДШТЕЙН, А. К. МАЙЕР

(Представлена научно-техническим семинаром кафедры
приборов и устройств систем автоматики)

Существующие методы расчета сглаживающих дросселей (с. д.) имеют ряд недостатков. Так в [4] приводится только метод расчета с. д. на заданный перегрев. Однако в инженерной практике довольно часто возникает задача расчета с. д. на заданный к. п. д. или на заданное падение напряжения. Такую задачу можно решить, используя методику расчета с. д. [5]. Но такой путь довольно трудоемок, поскольку задача, по существу, решается методом последовательных приближений.

Поставим задачу разработать инженерный метод расчета с. д. на заданное падение напряжения.

Для расчета с. д. используем формулы, полученные ранее одним из авторов [1, 2, 3].

а) Базовый размер a определяется по формуле (10) из [1]:

$$a = \left(\frac{N}{n_{\Gamma}} \right)^{0,2}, \quad (1)$$

где

$$N = \frac{L^2 I_0^2 \cdot \rho \cdot K_n}{R_{\text{доп}} \cdot B_0^2 \cdot K_c^2 \cdot K_0} = \frac{Q_c^2 \cdot Q_0}{l_0}, \quad (2)$$

$K_n = 1 + \alpha_T (t_n - 20^\circ)$ — коэффициент, учитывающий увеличение активного сопротивления меди при нагреве;

α_T — температурный коэффициент меди;

t_n — температура нагрева дросселя,

L — индуктивность дросселя,

I_0 — постоянная составляющая выпрямленного тока,

ρ — удельное электрическое сопротивление меди,

$R_{\text{доп}}$ — допустимое сопротивление дросселя в рабочем режиме,

B_0 — постоянная составляющая индукции,

K_c, K_0 — коэффициенты заполнения магнитопровода и окна,

n_{Γ} — коэффициент геометрии,

Q_c — сечение магнитопровода,

Q_0 — площадь окна магнитопровода,

l_0 — средняя длина витка.

При расчете дросселей, выполненных на нормализованных сердеч-

никах, выбор типоразмера можно производить по подсчитанному по уравнению (2) значению N . При этом для выбранного типоразмера величина $N = \frac{Q_c^2 \cdot Q_0}{l_0}$ должна быть не меньше рассчитанного значения.

Для нормализованных сердечников ШЛ, ПЛ, ОЛ были рассчитаны таблицы со значениями N , позволяющими выбрать необходимый типоразмер, обеспечивающий требуемые электромагнитные параметры (смотри статью в этом же сборнике).

б) При подсчете допустимого активного сопротивления дросселя можно воспользоваться известным выражением

$$R_{\text{доп}} = W^2 \cdot \rho \cdot K_H \frac{l_0}{Q_0 \cdot K_0} \quad (3)$$

Из последнего выражения можно определить необходимое число витков

$$W = \sqrt{\frac{R_{\text{доп}} \cdot Q_0 \cdot K_0}{\rho \cdot l_0 \cdot K_H}} \quad (4)$$

в) При определении величины немагнитного зазора можно воспользоваться методикой [2, 7].

1. Определяют

$$\frac{\delta'}{K_\Phi} = K'_\delta \cdot IW_0, \quad (5)$$

где

$\delta' = \frac{\delta}{l_c}$ — относительный зазор,

l_c — длина средней силовой линии,

δ — величина зазора,

$IW_0 = \frac{I_0 \cdot W}{l_c}$ — удельные ампервитки,

K_Φ — коэффициент фиктивного зазора;

K'_δ — коэффициент, значения которого приведены в табл. 1.

Таблица 1

Материал магнитопровода	Тип дросселя	$K'_\delta \left[\frac{M}{a \cdot \text{вит.}} \right]$	B_0 [тл]
Э 3 1 0	П, ПЛ, Ш, ШЛ	$1,6 \cdot 10^{-6}$	0,8
Э 4 1	П, ПЛ, Ш, ШЛ	$1,8 \cdot 10^{-6}$	0,7
Пермаллой	П, ПЛ, Ш, ШЛ	$2,2 \cdot 10^{-6}$	0,57

2. По зависимостям $\frac{\delta'}{K_\Phi} = f(\delta')$ определяют относительный зазор δ' .

3. Подсчитывают величину немагнитного зазора

$$\delta = \delta' \cdot l_c. \quad (6)$$

При расчете с. д. на заданное падение напряжения должны быть заданы: индуктивность с. д. L , постоянная составляющая выпрямленного тока — I_0 , максимальное падение напряжения на дросселе — ΔU , частота пульсаций — f и максимальная температура нагрева с. д. — t

Порядок расчета

1. По конструктивным, технологическим или габаритным соображениям выбирается тип магнитопровода.
2. Выбирается материал для сердечника дросселя и обмотки.
3. Определяется допустимое сопротивление дросселя при максимальной температуре нагрева:

$$R_{\text{доп}} = \frac{\Delta U_{\phi}}{I_0}$$

4. Подсчитывается мощность, затрачиваемая на нагрев с. д.:

$$P = I_0 \cdot \Delta U_{\phi} = I_0^2 \cdot R_{\text{доп}}$$

5. По таблицам [4] выбирают значение коэффициентов K_0 и K_c и плотность тока Δ .

6. По табл. 1 выбирают величину B_0 . В первом приближении для электротехнических сталей типа Э-310 можно принять $B_0 = 0,8$ тл.

7. Подсчитывается расчетный коэффициент N по формуле (2).

8. По подсчитанному значению N по табл. 1, 2, 3 (смотри в этом же сборнике) выбирают типоразмер с. д., у которого величина коэффициента $N = \frac{Q_c^2 \cdot Q_0}{I_0}$ не меньше рассчитанного значения.

9. Определяется число витков обмотки по выражению (4).

10. Определяют расчетное сечение провода $S_{\text{пр.р}} = \frac{Q_0 \cdot K_0}{W}$ и по таблицам из работы [6] выбирают провод из условия $S_{\text{пр}} \leq S_{\text{пр.р}}$.

11. Определяют фактическую плотность тока $\Delta = \frac{I_0}{S_{\text{пр}}}$ и сравнивают с рекомендуемой в [4].

12. Определяется величина оптимального немагнитного зазора:

- а) подсчитывают величину $\frac{\delta'_{\text{опт}}}{K_{\phi}}$ по выражению (5);

- б) по зависимостям $\frac{\delta'_{\text{опт}}}{K_{\phi}} = f(\delta)$ определяют $\delta'_{\text{опт}}$;

- в) определяют величину оптимального немагнитного зазора по выражению (6).

13. Подсчитываются технико-экономические показатели с. д. — вес, объем активных материалов, габаритный объем и стоимость активных материалов

$$G = a^3 (K_{Vc} \cdot \gamma_c \cdot K_c + K_{V0} \cdot \gamma_0 \cdot K_0),$$

$$V = a^3 (K_{Vc} + K_{V0}),$$

$$V_{\Gamma} = a^3 \cdot 2K_{V\Gamma},$$

$$\Pi = a^3 (K_{Vc} \cdot \alpha_c + K_{V0} \cdot \alpha_0),$$

где

K_{Vc} , K_{V0} , $K_{V\Gamma}$ — безразмерные коэффициенты объемов, выражения которых приведены в таблице работы [1];

γ_0 , γ_c — удельные веса меди и стали;

α_0 , α_c — удельные стоимости меди и стали.

При расчете с. д., выполненного на произвольном (оптимальном) сердечнике; кроме перечисленных исходных данных, должна быть ука-

зана цель минимизации (вес, объем активных материалов, габаритный объем, стоимость активных материалов).

Особенностью расчета с. д. в этом случае является использование дросселей оптимальной геометрии. Оптимальные относительные размеры дросселя $x = \frac{b}{a}$, $y = \frac{c}{a}$, $z = \frac{h}{a}$ определяются по таблицам [1] для предварительно подсчитанных коэффициентов, указывающих на цепь оптимизации

$$\beta_G = \frac{\gamma_c \cdot K_c}{\gamma_0 \cdot K_0}; \quad \beta_V = 1; \quad \beta_{\alpha} = \frac{\gamma_c \cdot K_c \cdot \alpha_c}{\gamma_0 \cdot K_0 \cdot \alpha_0}.$$

Основной типоразмер a определяют по выражению (1).

По предлагаемому методу был рассчитан сглаживающий дроссель на нормализованном сердечнике (пример № 1) и на произвольном (оптимальном) сердечнике (пример № 2), обеспечивающем минимальный габаритный объем дросселя.

Результаты расчетов сведены в табл. 2.

Таблица 2

Пример	I_0 a	L мгн	P вт	$N \cdot 10^{-10}$ расчетный	$N \cdot 10^{-10}$ выбранный	Выбранный типоразмер	W витки	δ мм	V_L	V_T л	G кг	C руб
1	50	2,01	25	1000	1100	ШЛ 40×80	39	3,0	2,56	3,58	11,35	18,1
2	50	2,01	25	1000	—	$a=44,5$ мм $b=120$ мм $c=22,5$ мм $h=66,8$ мм	22	1,37	1,92	2,46	10,3	10,15

Во всех примерах были приняты:

$$t_n = 105^\circ; \quad K_n = 1,334; \quad \Delta U_\phi = 0,5 \text{ в}; \quad \rho = 1,72 \cdot 10^{-8} \text{ ом} \cdot \text{м};$$

$$\gamma_c = 7,65 \text{ г/см}^3; \quad \gamma_0 = 8,8 \text{ г/см}^3; \quad \alpha_c = 0,0032 \text{ руб/см}^3;$$

$$\alpha_0 = 0,01 \text{ руб/см}^3; \quad B_0 = 1 \text{ тл}; \quad \Delta = 3,5 \text{ а/мм}^2;$$

материал магнитопровода — сталь Э-340.

Выводы

1. Разработана инженерная методика расчета сглаживающего дросселя на заданное падение напряжения при учете нагрева дросселя.
2. Примеры расчета сглаживающих дросселей показывают, что для уменьшения технико-экономических показателей имеет смысл применение произвольной (оптимальной) геометрии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. И. Гольдштейн. Некоторые вопросы проектирования оптимальных сглаживающих дросселей. Изв. вузов. «Электромеханика», № 4, 1964.
2. Е. И. Гольдштейн, Л. В. Траут. К инженерному расчету основных параметров электромагнитных устройств на нормализованных броневого сердечниках с зазорами. Изв. вузов, «Электромеханика», № 4, 1968.
3. Е. И. Гольдштейн. Некоторые вопросы проектирования и расчета сглаживающих дросселей. Диссертация, Томск, 1964.
4. И. И. Белопольский, Л. Г. Пикалова. Расчет трансформаторов и дросселей малой мощности. ГЭИ, 1963.

5. А. М. Бамдас, Ю. А. Савиновский. Дроссели фильтров радиоаппаратуры, «Сов. радио», 1962.

6. Кабели, провода и шнуры электрические. Государственные стандарты СССР. 1964.

7. Л. В. Траут, Е. И. Гольдштейн. К инженерному расчету основных параметров электромагнитных устройств на нормализованных стержневых сердечниках с зазорами. Изв. ТПИ, т. 179, 1969.