Проф. А. А. Потебня

Две заметки по методике проектирования тяговых моторов постоянного тока

1. Школьное проектирование машин и аппаратов должно дать студенту практические навыки и таким образом подготовить его к производственному проектированию.

С другой стороны, это проектирование является дополнением к курсу электрических машин и должно, параллельно с лабораторией, способствовать уяснению понимания процессов и их связи с выбором параметров и конструктивным оформлением машины.

Последнее требование часто заставляет отказываться от допущений и упрощений, возможных и удобных в производственном проектировании, но затемняющих некоторые зависимости и потому нежелательных в школьном проектировании.

К таким нежелательным упрощениям относится, между прочим, допущение пропорциональности току ампервитков, компенсирующих реакцию якоря в машинах постоянного тока.

Особенно нежелательно это допущение при проектировании тяговых моторов постоянного тока.

Решающим моментом при проектировании сериесного тягового мотора постоянного тока является построение скоростной характеристики. Только построив кривую скорость-ток, а исходя из нее—кривую вращающих моментов или тяговых усилий, студент сможет судить о тяговых свойствах проектируемого электродвигателя и окончательно решать, правильно или нет были выбраны параметры при проектировании.

Основанием для построения скоростной характеристики служит внутренняя или нагрузочная характеристика, а эту последнюю получаем из характеристики холостого хода, добавляя ампервитки, компенсирующие реакцию якоря, которые будем обозначать AW_r. Ампервитки AW_r обычно принимают пропорциональными току в якоре, что, как известно, не верно и вносит ошибку, не существенную для шунтовых машин, но дающую значительное искажение скоростной характеристики сериесных моторов. Если нет надобности в тонком, более кропотливом расчете при заводском проектировании, где в конечном счете все неточности построения характеристики будут исправлены на

станде испытательной лаборатории, то для школьного проектирования безусловно желательно исключить всякие допущения, подрывающие у студента уверенность в правильности полученных результатов.

Дадим метод нахождения точек нагрузочной характеристики, не делая допущения:

$$AW_r : I = \text{const}.$$

Будем обозначать:

ε_a — э. д. с. при нормальном (часовом) числе оборотов n_h,
AW_0 — число ампервитков характеристики холостого хода,
AW_{0h} — то же число ампервитков, соответствующее часовому току I_h,
$AW_{\delta z}$ — ампервитки переходной характеристики,
w_m — число витков индуктора на пару полюсов.

Построим характеристику холостого хода:

$$f_1(AW_0,\ \varepsilon_a) = 0$$

и переходную характеристику:

$$f_2(AW_{\delta z},\ \varepsilon_a) = 0.$$

По последней, пользуясь точным методом Арнольда, находим для часового тока AW_{rh} и тогда

$$w_m = \frac{AW_{0h} + AW_{rh}}{I_h}.$$

Понятно, что для любого тока I будем иметь

$$AW_0 + AW_r = Iw_m. \qquad (1)$$

Из этого уравнения, совокупно с уравнениями, представляемыми кривыми $f_1(AW_0,\ \varepsilon_a)=0$ и $f_2(AW_{\delta z},\ \varepsilon_a)=0$ для каждого заданного ε_a, можем найти путем последовательных приближений соответствующий ток I.

Зададимся какой-либо э. д. с. ε_x. По кривой холостого хода $f_1(AW_0,\ \varepsilon_a)=0$ найдем соответствующие ампервитки AW_{0x}. Как первое приближение возьмем ток

$$I_x' = AW_{0x}\frac{I_h}{AW_{0h}}.$$

По кривой $f_2(AW_{\delta z},\ \varepsilon_a)=0$ находим точным методом Арнольда соответствующие току I_x' и э. д. с. ε_x ампервитки AW'_{rx}. Подставляя в уравнение (1) принятое значение I_x' и найденное AW'_{rx} получим некоторый избыток Δ:

$$AW_{0x} + AW'_{rx} - I_x' W_m = \pm\Delta.$$

Как второе приближение принимаем

$$I_x'' = I_x' \mp \frac{\Delta}{W_m};$$

повторяем расчет сначала и т. д.

Однако ход расчета можно сократить, замечая, что при одном и том же ε_x отношение $AW_r : I$ с изменением тока меняется очень мало.

Найдя по первому принятому току I_x' компенсирующие ампервитки AW_{rx}', истинное значение тока с достаточной точностью найдем по формуле:

$$I_x = \frac{AW_{0x}}{W_m - \frac{AW_x'}{I_x'}}.$$

В нижеследующей таблице показаны результаты проверочного расчета внутренней характеристики для электровозного мотора фирмы Savigliano заказа НКПС. Магнитные свойства железа определялись кривыми, приведенными для русских жестей в бюллетене „Динамо" 1932 г., № 3. Число k, стоящее в четвертом столбце таблицы, есть отношение компенсирующих ампервитков к току $k = AW_r : I$, т. е. число витков, принимающих участие в компенсации.

E	I	AW_r	k
300	54	0	0
450	92	600	6,5
550	135	1800	13,3
600	164	2340	14,3
650	207	3100	15,0
675	241	3670	15,2
695	270	3680	13,6
725	310	3660	11,6
750	360	3660	10,15
775	415	4100	9,9
800	477	4340	9,1

В этом моторе воздушный зазор равен 6 мм. Для меньших зазоров отклонения k будут еще больше.

2. Вторым требованием рационального школьного проектирования следует поставить возможное уменьшение, если не полное устранение таких случаев, когда студент ищет решения конструктивных задач ощупью, что часто замечается при нахождении размеров паза.

Размеры паза якоря предопределяют: живое сечение меди, заложенной в пазу, коэфициент заполнения паза и максимальную идеологию индукции в ножке зубца.

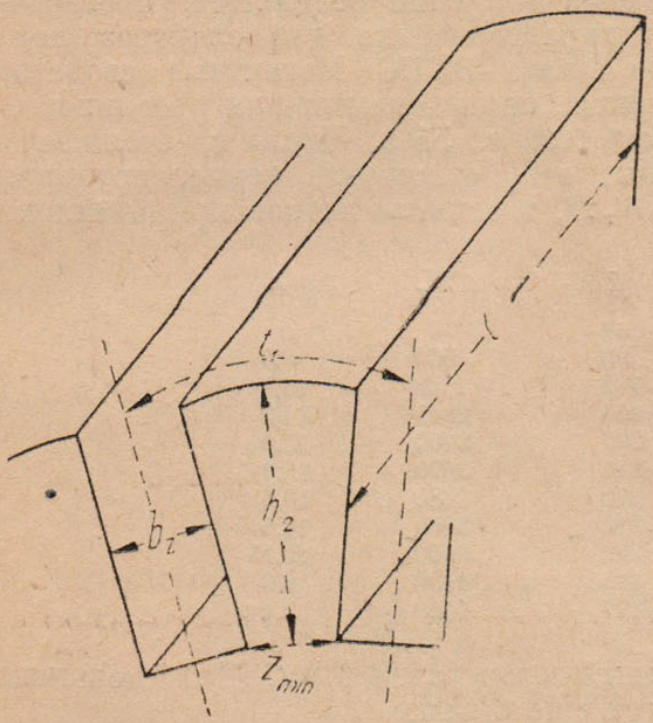
Обычно задаются глубиной паза h_z, исходя из эмпирической зависимости между h_z и диаметром якоря (Курбатов, Шенфер). Коэфициент заполнения проверяется уже после установления размеров паза. Нам этом метод в школьном проектировании кажется нерациональным. Мы предлагаем исходить из коэфициента заполнения, определяя глубину и ширину паза по нижевыводимым формулам.

Предполагаем, что число проводников якоря N определено, число пазов U выбрано так же, как и плотность тока, и следовательно сечение проводника q известно.

Тогда живое сечение меди в одном пазу будет $\frac{Nq}{u}$ мм². Если F_u есть коэфициент заполнения паза, то сечение паза будет:

$$Q = \frac{Nq}{uF_u}.$$

Если $B_{zid\,max}$ есть наибольшая допускаемая идеальная индукция в зубце, а z_{min} — наименьшая толщина зубца в ножке, то



Фиг. 1.

$$z_{min} = \frac{B_\delta\, l_i t_1}{0{,}9\, l B_{z\,id\,max}},$$

где B_δ — индукция в зазоре, l_i — расчетная длина якоря, l — конструктивная длина железа якоря и t_1 — зубцевый шаг по окружности якоря.

Очевидно (фиг. 1)

$$b_z + z_{min} = \frac{\pi(D - 2h_z)}{u}.$$

Обозначая через $\gamma = \frac{2\pi}{u}$ угол в радианах, соответствующий одному зубцевому делению, для определения h_z и b_z будем иметь два уравнения:

$$b_z h_z = Q \qquad (2)$$

и

$$b_z + z_{min} = t_1 - \gamma h_z. \qquad (3)$$

Из уравнений (2) и (3) получаем для b_z:

$$b_z = \frac{t_1 - z_{min}}{2} \pm \sqrt{\frac{(t_1 - z_{min})^2}{4} - \gamma Q}. \qquad (4)$$

Глубина паза h_z найдется тогда из соотношения

$$h_z = \frac{Q}{b_z}. \qquad (4')$$

Знак (+) или (—) берется так, чтобы

$$h_z : b_z = 2{,}5 - 4.$$

Выбрав h_z и b_z, руководясь ОСТ 4123 или 5725 и местом, необходимым для изоляции, выберем точные размеры проводника.

Найденные формулы относятся к случаю закрепления обмотки в пазах одним бандажом, без клина. При закреплении клином формула (4) несколько изменится.

Пусть (фиг. 2) m — есть толщина клина, считая от наружной поверхности якоря. Отнесем коэфициент заполнения F_u только к части паза ниже клина, т. е. будем брать те же его значения, что и в пазах без клина.

Если h_z' есть размер паза от дна до нижней поверхности клина (фиг. 2), то попрежнему

$$b_z h_z' = Q = \frac{Nq}{uF_u},$$

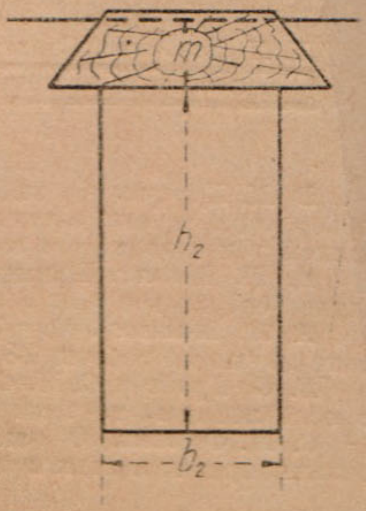
но

$$b_z + z_{\min} = \frac{\pi (D - 2h_z - 2m)}{u},$$

откуда для случая с клином

$$b_z = \frac{t_1 - z_{\min} - \gamma m}{2} \pm$$

$$\pm \sqrt{\frac{(t_1 - z_{\min} - \gamma m)^2}{4} - \gamma Q},$$



Фиг. 2.

а полная глубина паза

$$h_z = h_z' + m = \frac{Q}{b_z} + m.$$

В случае неудачного выборе F_z или $B_{zid\,max}$, предполагаемые формулы дадут возможность проектирующему быстро и сознательно притти к наилучшему варианту.

Two remarks on the d-c motors designing

By A. A. Potebnia, prof.

Synopsis

In school designing simplifications which can disguise the character of operation process are undesirable as it is undesirable too to grope one's waywhen designing. The present article shows two examples of designig d-c traction motors. It offers a method of calculating the motor load characteristic where no assumption is made that the current is proportional to the number of ampereturns, compensating the armature reactance. As an example of groping in designing the author shows the case of calculating the physical dimensions of armature teeth. A very useful formula is given for determining slot dimensions.

10/XI 1934.

35310
Химико-Технологический ин-т им. Кирова
Научная библиотека
07259