

К ВЫБОРУ ВЕЛИЧИНЫ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Е. Е. ДУТЛОВ, К. А. ХОРЬКОВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и аппаратов
и общей электротехники)

При проектировании машин постоянного тока выбор величины воздушного зазора под главными полюсами определяется расчетом электрических характеристик и требованиями механической надежности машины. Для уменьшения потерь в обмотке возбуждения и улучшения коммутации машины целесообразно уменьшение воздушного зазора δ . В то же время для повышения устойчивости работы машины и ее механической надежности требуется увеличение δ . Общепринятой является методика определения величины воздушного зазора из условия, что поле под полюсной дугой при нагрузке машины не опрокидывается, то есть не меняет своего направления. При этом воздушные зазоры получаются значительно больше тех, которые требуются для обеспечения механической надежности машины.

В настоящее время важными показателями качества и надежности электрических машин являются виброакустические характеристики машины. В спектре виброускорений значительную амплитуду имеют вибрации на зубцовой частоте. Причиной этих вибраций являются явления, связанные с пульсациями магнитного потока под главными полюсами при вращении зубчатого якоря. Известно, что амплитуда пульсаций магнитного потока зависит от ширины открытых пазов якоря b_0 и величины воздушного зазора машины δ . Следовательно, в тех случаях, когда ставятся ограничения по допустимому уровню вибраций, необходимо выбор δ согласовывать с допустимым уровнем зубцовых пульсаций магнитного потока.

Связь амплитуды периодической составляющей индукции в воздушном зазоре машины B_0 с геометрией рассматриваемой области, то есть с величинами δ и b_0 , осуществляется с помощью коэффициента β , полученного из рассмотрения поля в зазоре методом конформных отображений [1].

$$\beta = \frac{B_0}{B_\delta} = \frac{1 - 2u + u^2}{2(1 + u^2)}, \quad (1)$$

$$u = \frac{b_0}{2\delta} + \sqrt{1 + \left(\frac{b_0}{2\delta}\right)^2}, \quad (2)$$

где

B_δ — амплитуда кривой индукции в воздушном зазоре машины.

Если воспользоваться известным уравнением для силы магнитного тяжения, то средние амплитуды радиальной и тангенциальной составляющих сил магнитного тяжения, вызванных периодической составляющей магнитного поля под полюсом на единицу длины активной части машины при отсутствии скоса пазов якоря, согласно [2], будут равны

$$P_0 = \frac{B_\delta^2 \cdot Z \cdot \alpha \cdot 10^7}{16 \cdot \pi \cdot p} \cdot R_k, \text{ н/м}, \quad (3)$$

$$Q_0 = \frac{B_\delta^2 \cdot Z \cdot \alpha \cdot 10^7}{16 \cdot \pi \cdot p} \cdot S_k, \text{ н/м}, \quad (4)$$

где

P_0 — удельная радиальная составляющая силы;

Q_0 — удельная тангенциальная составляющая силы;

Z — число пазов якоря;

α — коэффициент полюсного перекрытия;

p — число пар полюсов;

R_k, S_k — коэффициенты геометрии машины.

При равномерном воздушном зазоре под полюсами

$$R_k = \frac{4 \cdot \delta^2 \cdot \beta^2 \cdot k_\delta^2 \cdot b_z}{4 b^2 + (b_0 - \varepsilon t_z)^2}, \quad (5)$$

$$S_k = \frac{\beta^2 \cdot k_\delta^2 \cdot (b_0 - \varepsilon t_z)^2 \cdot b_z}{4 \delta^2 + (b_0 - \varepsilon t_z)^2}, \quad (6)$$

где

δ — величина воздушного зазора под центром полюса;

k_δ — коэффициент воздушного зазора;

β — отношение амплитуды переменной составляющей магнитного потока к B_δ ;

b_z — ширина зубца якоря;

b_0 — ширина открытия паза;

t_z — зубцовый шаг;

εt_z — разница между шириной полюсного наконечника и целым числом зубцовых делений якоря.

Из выражений (3—6) следует, что удельные силы магнитного тяжения являются функцией коэффициента β , то есть в конечном счете отношения $\frac{b_0}{\delta}$. Влияние изменения отношения $\frac{b_0}{\delta}$ на уровень вибраций ма-

шины исследовался на экспериментальной установке, созданной на базе двигателя постоянного тока типа П-40. Якорь испытуемой машины имеет 31 паз со скосом на одно зубцовое деление и $t_z = 14$ мм, $b_z = 10,5$ мм, $b_0 = 3,5$ мм, $l = 60$ мм. Число полюсов машины $2p = 4$. Геометрия полюса определяется параметрами $b_p = 66$ мм; $\alpha = 0,69$; $\varepsilon = 0,7$; $\varepsilon t_z = 10$ мм. Величина воздушного зазора машины принималась равной 1; 1,5 и 2 мм. В этом случае при:

$$\delta = 1 \text{ мм}, \frac{b_0}{\delta} = 3,5 \text{ и } \beta = 0,25;$$

$$\delta = 1,5 \text{ мм}, \frac{b_0}{\delta} = 2,3 \text{ и } \beta = 0,18;$$

$$\delta = 2 \text{ мм}, \frac{b_0}{\delta} = 1,75 \text{ и } \beta = 0,12.$$

Таблица 1

| $\delta, \text{мм}$ | $B_{\delta}, \text{тл}$ | $F_{\text{ст}}, \text{а}$ | $F_{\delta}, \text{а}$ | $\Sigma F, \text{а}$ | $i_b \text{ а}$ |
|---------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------|-----------------|
| 1 | 0,76 | 986 | 704 | 1690 | 0,85 |
| 1,5 | 0,76 | 986 | 1056 | 2042 | 1,02 |
| 2,0 | 0,76 | 986 | 1408 | 2394 | 1,21 |

Примечание: $F_{\text{ст}}, F_{\delta}, \Sigma F$ —намагничивающая сила, необходимая для проведения магнитного потока по магнитопроводу, воздушному зазору и суммарная н. с.

Амплитуда сил магнитного тяжения при увеличении воздушного зазора до 1,5 и 2 мм уменьшается, согласно (3—6), соответственно в 2 и 4,2 раза. Для сохранения неизменной величины основного потока ма-

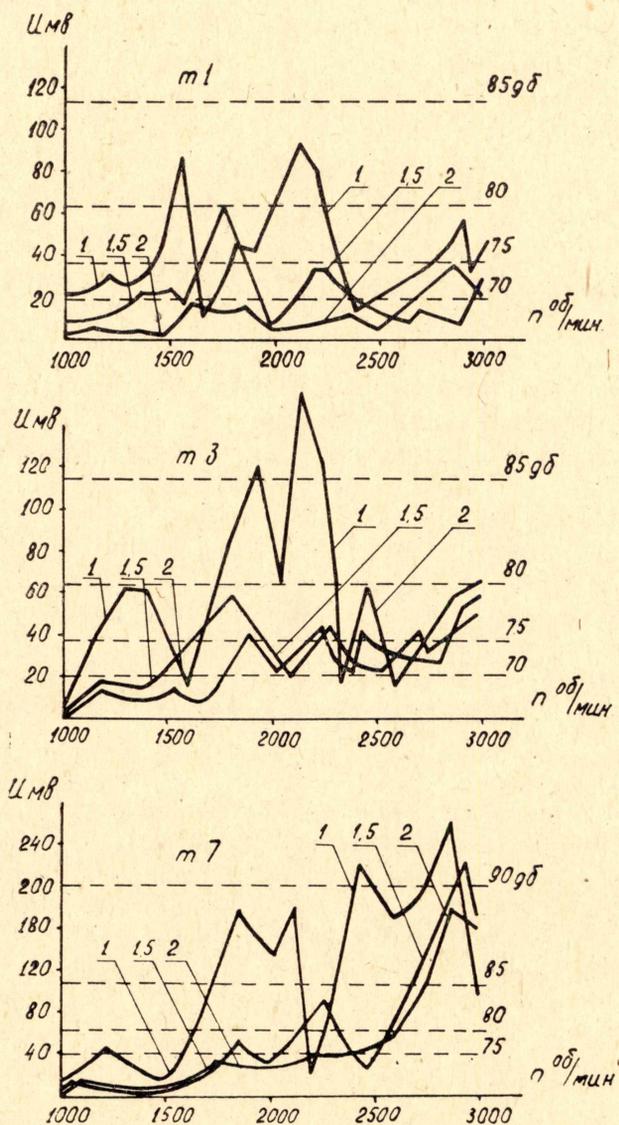


Рис. 1. Виброграммы корпуса двигателя в зоне добавочных полюсов (т. 1), главных полюсов (т. 3) и лап двигателя (т. 7) при различных величинах воздушного зазора: $\delta = 1; 1,5$ и 2 мм

шины увеличение воздушного зазора при исследованиях сопровождается увеличением тока возбуждения. Расчетные значения тока возбуждения представлены в табл. 1.

Для приведенных выше значений воздушного зазора и соответствующих токов возбуждения были сняты вибрации корпуса в двух характерных точках: по линии крепления главных (точка 3) и добавочных (точка 1) полюсов и вибрации лап машины (точка 7). Виброграммы снимались при изменении скорости вращения двигателя, работающего в режиме холостого хода, от 1000 до 3000 об/мин.

В качестве приборов для измерения вибрации использовались виброметр SM-211 с датчиком КД-13 и анализатор частот «Magsoni». Результаты исследований представлены в виде виброграмм на рис. 1.

Наибольшие величины вибраций имеют место при $\delta=1$ мм. На отдельных скоростях вращения машины, благодаря явлению резонанса, уровень вибраций корпуса достигает 87 дб, а уровень вибраций лап превосходит 90 дб. С увеличением величины воздушного зазора происходит стабильное снижение вибраций машины. Особенно значительно снижение вибраций при переходе от зазора в 1 мм к $\delta=1,5$ мм. Как для участков корпуса машины, так и для лап вибрации снизились в среднем в 3 раза, а на отдельных скоростях в 5 и более раз. При увеличении зазора машины до 2 мм вибрации корпуса снизились в 4 раза, по сравнению с вариантом $\delta=1$ мм. Вибрации лап (за исключением вибраций, измеренных при скоростях машины в диапазоне 2800—3000 об/мин) также снизились в 4 раза. Обращает внимание непропорциональное снижение вибраций машины с уменьшением отношения $\frac{b_0}{\delta}$; увеличение воздушного зазора с 1 до 1,5 мм сказывается значительно сильнее на уровень вибраций машины, чем увеличение зазора с 1,5 до 2 мм.

Проведенные исследования показывают необходимость выбора величины воздушного зазора согласовывать с допустимым уровнем вибраций машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Ш у й с к и й. Расчет электрических машин. М., «Энергия», 1968.
 2. Н. П. Е р м о л и н. Магнитный шум машины постоянного тока. Известия ЛЭТИ, т. 28, 1955.
-