

О ВЫБОРЕ ЧИСЛА ПРОВОДНИКОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ДИСКОВЫМ ЯКОРЕМ

В. ТАЕЛ

При проектировании электрических машин постоянного тока с дискообразными якорными обмотками целесообразно следовать такому порядку электромагнитного расчета, когда по требуемой мощности машины на основе накопленного опыта предварительно задается диаметр машины, выбирается величина воздушного зазора (в соответствии с выбранным материалом якорного диска) и механического запаса надежности вращающего якоря, рассчитывается вся магнитная цепь и, наконец, по величине торцевой поверхности полюсного наконечника определяется витковый контур якорной обмотки. После этого можно определить необходимое число проводников якорной обмотки, от которого зависят э.д.с. машины, ток и сопротивление якорной обмотки и которое должно обеспечить соответствие между заданными значениями рабочего напряжения и скорости вращения машины. Так как дискообразные якорные обмотки геометрически полностью определены, то число проводников можно определить, решив уравнение

$$U \mp IR - E = 0, \quad (1)$$

где U — рабочее напряжение машины, I — ток якорной цепи, R — сопротивление якорной цепи, E — э.д.с. машины.

В ходе расчета удобно пользоваться системой относительных единиц в отношении геометрических величин, приняв в качестве базисной величины величину внешнего радиуса внешних эвольвентных частей обмотки R_4 .

Величина э.д.с. машины определяется формулой

$$E = \frac{pn\Phi_{\Delta}}{60a}N, \quad (2)$$

где p — число полюсных пар, n — скорость вращения, об/мин, a — число пар параллельных ветвей обмотки, Φ_{Δ} — полезный поток полюса, N — число проводников обмотки.

Учитывая, что относительная ширина проводника обмотки определяется выражением

$$b_{rel} = \frac{4\pi r_0}{N} - b_{из rel}, \quad (3)$$

где $b_{rel} = \frac{b}{R_4}$ — относительная ширина проводника, $r_0 = \frac{R_0}{R_4}$ — относитель-

ная величина радиуса опорной окружности эвольвента, $b_{из\ rel} = \frac{b_{из}}{R_4}$ относительная ширина изоляционного промежутка между проводниками, получим выражение тока якорной обмотки в виде

$$I = 2a \delta h_{rel} b_{rel} R_4^2 = 8\pi a \delta R_4^2 \frac{\left(r_0 - \frac{b_{из\ rel} N}{4\pi}\right) h_{rel}}{N}, \quad (4)$$

где I — ток якорной обмотки, δ — плотность тока в проводнике, $h_{rel} = \frac{h}{R_4}$ — относительная толщина меди проводника.

Формула сопротивления якорной обмотки с трапециoidalными прямыми частями выведена в [1]. Пользуясь аналогичным методом в случае обмотки, проводники которой имеют постоянное по всей длине поперечное сечение, получается формула сопротивления всей якорной цепи в виде

$$R = \frac{\rho}{16\pi a^2 R_4} [l_{прэ} + l_{пра} + l_{пр}''] \frac{N^2}{\left(r_0 - \frac{b_{из\ rel} N}{4\pi}\right) h_{rel}} + \frac{2\Delta U}{I}, \quad (5)$$

где

ρ — удельное сопротивление материала проводников,

$l_{прэ} = \frac{L_{прэ}}{R_4}$ — относительная суммарная длина эвольвентных частей проводника,

$l_{пра} = \frac{L_{пра}}{R_4}$ — относительная длина прямой части проводника,

$l_{пр}'' = \frac{L_{пр}''}{R_4}$ — относительная длина переходящей через изоляционное основание части проводника,

$\frac{2\Delta U}{I}$ — переходное сопротивление щеточных контактов.

Относительные длины частей проводника определяются соответственно:

$$a) \quad l_{прэ} = \frac{1 - r_3^2 + r_2^2 - r_1^2}{2r_0}, \quad (6)$$

где $r_3 = \frac{R_3}{R_4}$ — относительная величина внутреннего радиуса внешних эвольвентных частей,

$r_2 = \frac{R_2}{R_4}$ — то же для внешнего радиуса внутренних эвольвентных частей,

$r_1 = \frac{R_1}{R_4}$ — то же для внутреннего радиуса внутренних эвольвентных частей;

$$b) \quad l_{пра} = \left\{ \begin{array}{l} r_3 - r_2 \text{ — в случае радиальных прямых частей} \\ \frac{r_3 \sin \gamma}{\sin \alpha_{a2}} \text{ — в случае скошенных прямых частей,} \end{array} \right\} \quad (7)$$

где

γ — величина скоса прямых частей проводников в угловом размере, α_{a2} — угол наклона внутреннего конца прямой части проводника в отношении радиус-вектора;

$$в) \quad l''_{\text{пр}} = h_{\text{rel}} + h_{\text{из rel}}, \quad (8)$$

где $h_{\text{из rel}} = \frac{h_{\text{из}}}{R_4}$ — относительная толщина изоляционного основания диска.

Отделив в выражениях э. д. с., тока и сопротивления, независимые от числа проводников части, получаем (2), (4) и (5) в виде

$$E = C_{EN}N \quad (9)$$

$$I = C_{IN} \frac{\left(r_0 - \frac{b_{\text{из rel}} N}{4\pi}\right) h_{\text{rel}}}{N} \quad (10)$$

$$R = C_{RN} \frac{N^2}{\left(r_0 - \frac{b_{\text{из rel}} N}{4\pi}\right) h_{\text{rel}}} + \frac{2\Delta U}{I}, \quad (11)$$

где

$$C_{EN} = \frac{\rho n \Phi \Delta}{60 a} \quad (12)$$

$$C_{IN} = 8 \pi a \delta R_4^2 \quad (13)$$

$$C_{RN} = \frac{q}{16 \pi a^2 R_4} [l_{\text{прэ}} + l_{\text{пра}} + l''_{\text{пр}}] \frac{q}{16 \pi a^2 R_4} \Omega \quad (14)$$

являются в отношении числа проводников постоянными величинами и где ради удобства целесообразно обозначить

$\Omega = l_{\text{прэ}} + l_{\text{пра}} + l''_{\text{пр}}$ — характеризующая форму проводника величина.

Уравнение (1) получает теперь вид

$$U \mp C_{IN} C_{RN} N \mp 2\Delta U - C_{EN} N = 0, \quad (15)$$

и его решением будет

$$N = \frac{U \mp 2\Delta U}{C_{EN} \pm C_{IN} C_{RN}} = \frac{U \mp 2\Delta U}{\frac{\rho n \Phi \Delta}{60 a} + \frac{q \delta R_4}{2a} \Omega}. \quad (16)$$

Число проводников, полученное по (16), необходимо уточнить с помощью формулы

$$N = 2(pQ + 1), \quad (17)$$

где Q — целое число.

В основе выведенных выше соотношений стоит предположение, что проводники обмотки имеют постоянное поперечное сечение. В случае трапециoidalных прямых частей вторая слагаемая в скобках в выражениях (5) и (14) будет иметь вид

$$l_{\text{пра}} = \left(r_0 - \frac{b_{\text{из rel}} N}{4\pi}\right) \ln \frac{r_3 \cos \alpha_{a3} - \frac{b_{\text{из rel}} N}{4\pi}}{r_2 \cos \alpha_{a2} - \frac{b_{\text{из rel}} N}{4\pi}}, \quad (18)$$

где α_{a3} — угол наклона внешнего конца прямой части проводника в отношении радиус-вектора,

и в этом случае описанный метод определения числа проводников обмотки имеет приближенный характер, так как величина $l_{\text{пра}}$ здесь не является относительной длиной прямой части реального проводника, а эквивалентной ему по сопротивлению (но с постоянной и равной эвольвентным частям шириной) частью проводника и в некоторой степени зависит от N .

Переходящие через изоляционное основание диска части проводников обычно не имеют постоянного и равного остальным частям поперечного сечения, а несколько отличаются от них. Однако поскольку они играют сравнительно малую роль в определении суммарного сопротивления, то можно с этим обстоятельством не считаться.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тael В., Изв. АН Эст. ССР. Сер. физ.-матем. и техн. наук, 10, № 3, 224 (1961).

*Институт термофизики и электрофизики
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию
31 VII 1964

JUHTMETE ARVUST KETASANKRUGA ALALISVOOLU- MASINAS

V. Tael

Resümee

Artiklis tuletatakse valem juhtmete arvu määramiseks kettakujulise ankrumähisel. Aluseks on võetud konstantse paksusega vasekihiga ja evolventkujuliste laupühendustega mähis, eeldades kogu selle ulatuses ühtlast temperatuuri. Valem on kasutatav nii muutmata laiusega kui ka trapetsoidaalsete juhtmete korral.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Termofüüsika ja Elektrofüüsika Instituut*

Saabus toimetusse
31. VII 1964

THE NUMBER OF ARMATURE CONDUCTORS IN A PRINTED-CIRCUIT MOTOR

V. Tael

Summary

In the article a formula is derived for determining the number of armature conductors. As a basis, a winding with evolvent frontal connections and a constant thickness of copper layer is taken, and a uniform temperature throughout the winding is assumed. The formula is applicable in the case of conductors of both an unvaried width and trapezoid shape.

*Academy of Sciences of the Estonian S.S.R.,
Institute of Thermophysics and Electrophysics*

Received
July 31st, 1964