

ЭНЕРГЕТИКА

С. Л. КАЗАРЯН

К ВЫБОРУ ОБМОТОК МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

По методу Крондля [1] качество обмотки, с точки зрения наличия высших гармоник в кривой и. с. (намагничивающей силы), характеризуется показателем:

$$\xi = \frac{R_g^2 - R^2}{R^2} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где R_g — среднее квадратичное всех полярных радиусов, т. е. расстояний зубцовых точек от центра многоугольника Гергеса;

R — радиус окружности основной гармоники и. с., который вычисляется по формуле:

$$R = \frac{m}{\pi} k_{\omega_1} q n I \sqrt{2}, \quad (2)$$

где m — число фаз обмотки;

k_{ω_1} — обмоточный коэффициент основной гармоники;

q — число пазов на полюс и фазу;

n — число проводников в пазу;

I — действующее значение тока в проводнике.

Чем меньше величина ξ , тем слабее выражены высшие гармоники и тем лучше качество обмотки. Следовательно, выбор обмотки может быть произведен лишь после вычисления и сопоставления показателей качества предполагаемых обмоток. Так как количество многоугольников Гергеса для каждого q определяется числом возможных шагов обмотки, то выбор обмотки будет связан с большим объемом графических построений и расчетов. Поэтому целесообразной табулировать значения ξ в зависимости от относительного шага обмотки β при разных значениях q . Однако при этом возникают трудности, связанные с тем, что R_k^2 вычисляется после графического построения многоугольника Гергеса. Их можно избежать, если R_k^2 определять аналитически.

В статье выводится аналитическое выражение R_k^2 для $2m$ — зонных двухслойных обмоток с целым числом пазов на полюс и фазу при $\frac{m-1}{m} \leq \beta \leq 1$ и с $m \geq 2$. При выводе для упрощения рассматриваются многоугольники Гергеса, построенные на одну пару полюсов,

так как при целом числе пазов на полюс и фазу эти многоугольники для остальных пар полюсов повторяются. В диаметральных обмотках (шаг обмотки равен mq пазам) во всех q пазов фазовой зоны находятся проводники, принадлежащие одной фазе. Если принять полный ток одного слоя пазов $\frac{n}{2}I\sqrt{2}$ равным $\frac{1}{2q}$, то диаграмма н. с. m -фазной

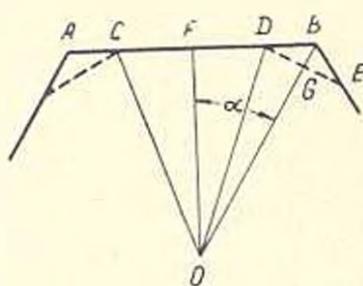


Рис. 1. Диаграмма н. с. одной повторяющейся группы зубцовых точек

обмотки с диаметральной шаг может быть представлена правильным $2m$ -угольником со стороной $AB=1$ (рис. 1). В обмотках с шагом, укороченным на $(1-\beta)mq$ пазов, из q пазов фазовой зоны только $q-(1-\beta)mq$ пазов будут находиться проводники, принадлежащие одной фазе, а диаграмма н. с. может быть представлена $4m$ -угольником с чередующимися сторонами $CD=1-(1-\beta)m$ и $DE=(1-\beta)m\cos\alpha$, где $\alpha=\frac{\pi}{2m}$.

Поскольку диаграммы н. с. рассматриваемых обмоток симметричны, определение R_x^2 можно упростить, вычисляя его только для одной повторяющейся группы зубцовых точек. Такой повторяющейся, очевидно, будет группа из q зубцовых точек, расположенных на сторонах CD и DE многоугольника. Расстояние между зубцовыми точками на стороне CD будет равно $1/q$, а на стороне $DE=1/q\cos\alpha$. Условимся считать точки вершин C, D, E и т. д. $4m$ -угольника, относящимися к сторонам первоначального $2m$ -угольника. Тогда на стороне CD число зубцовых точек будет равно $k=q-(1-\beta)mq+1$, а на стороне $DE=l=(1-\beta)mq-1$, и для R_x^2 можно написать:

$$R_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^k R_i^2 + \sum_{j=1}^l R_j^2}{q} \quad (3)$$

где $\sum_{i=1}^k R_i^2$ и $\sum_{j=1}^l R_j^2$ — сумма квадратов полярных радиусов зубцовых точек соответственно стороны CD и DE .

Имеем

$$R_i^2 = OF^2 + \left[CF - (i-1)\frac{1}{q} \right]^2 = OC^2 - \frac{i-1}{q}CD + \left(\frac{i-1}{q} \right)^2, \quad (i=1, 2, 3, \dots, k.)$$

$$R_j^2 = OG^2 + \left(DG - \frac{j}{q} \cos\alpha \right)^2 = OD^2 - \frac{j}{q}DE\cos\alpha + \left(\frac{j}{q} \cos\alpha \right)^2, \quad (j=1, 2, 3, \dots, l.)$$

Таблица 1
Зависимость показателя качества двухфазной двухслойной четырехзонной обмотки
от относительного шага обмотки

β	Показатель качества обмотки ξ , % при числе полюсов на полюс и фазу q									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.000	21,370	8,403	4,680	3,301	2,649	2,291	2,074	1,932	1,835	1,766
0,950	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,632
0,944	—	—	—	—	—	—	—	—	1,670	—
0,938	—	—	—	—	—	—	—	1,721	—	—
0,929	—	—	—	—	—	—	1,803	—	—	—
0,917	—	—	—	—	—	1,925	—	—	—	—
0,900	—	—	—	—	2,129	—	—	—	—	1,360
0,889	—	—	—	—	—	—	—	—	1,351	—
0,875	—	—	—	2,507	—	—	—	1,345	—	—
0,857	—	—	—	—	—	—	1,348	—	—	—
0,850	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,045
0,833	—	—	3,338	—	—	1,375	—	—	1,000	—
0,813	—	—	—	—	—	—	—	0,958	—	—
0,800	—	—	—	—	1,470	—	—	—	—	0,755
0,786	—	—	—	—	—	—	0,932	—	—	—
0,778	—	—	—	—	—	—	—	—	0,704	—
0,750	—	5,835	—	1,771	—	0,962	—	0,675	—	0,541
0,722	—	—	—	—	—	—	—	—	0,527	—
0,714	—	—	—	—	—	—	0,706	—	—	—
0,700	—	—	—	—	1,157	—	—	—	—	0,444
0,688	—	—	—	—	—	—	—	0,577	—	—
0,667	—	—	2,841	—	—	0,890	—	—	0,516	—
0,650	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,434
0,643	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,625	—	—	—	1,878	—	—	0,771	—	—	—
0,611	—	—	—	—	—	—	—	0,723	—	—
0,600	—	—	—	—	1,480	—	—	—	0,711	—
0,583	—	—	—	—	—	1,296	—	—	—	0,717
0,571	—	—	—	—	—	—	1,205	—	—	—
0,563	—	—	—	—	—	—	—	1,161	—	—
0,556	—	—	—	—	—	—	—	—	1,141	—
0,550	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,134
0,500	23,370	8,403	4,680	3,301	2,649	2,291	2,074	1,932	1,835	1,766

Тогда

$$\sum_{i=1}^k R_i^2 = kOC^2 - \frac{S_1}{q} CD + \frac{S_2}{q^2}, \quad (4)$$

$$\sum_{l=1}^l R_l^2 = lOD^2 - \frac{S_3}{q} DE \cos^2 + S_4 \left(\frac{1}{q} \cos \pi \right)^2, \quad (5)$$

где S_1 и S_2 — соответственно суммы $k-1$ и l членов ряда $1+2+3+\dots$
 $\dots+r+\dots$

S_3 и S_4 — соответственно суммы $k-1$ и l членов ряда $1^2+2^2+3^2+\dots$
 $+\dots+r^2+\dots$

По условию $k \geq 2$.

Подставляя в (3) выражения (4) и (5), и выражения для $OC = OD$, CD и DE , полученные из многоугольника Гергеса, после преобразования находим:

Зависимость показателя качества трехфазной звездообразной шестипулевой обмотки ξ от относительного шага обмотки α

α	Показатель качества обмотки ξ , % при числе полюсов $2p$ и фазе q									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.000	9.662	2.844	1.406	0.890	0.648	0.518	0.437	0.385	0.349	0.324
0.967	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.298
0.953	—	—	—	—	—	—	—	—	0.318	—
0.958	—	—	—	—	—	—	—	0.345	—	—
0.952	—	—	—	—	—	—	0.385	—	—	—
0.944	—	—	—	—	—	0.448	—	—	—	—
0.933	—	—	—	—	0.549	—	—	—	—	0.248
0.926	—	—	—	—	—	—	—	—	0.259	—
0.917	—	—	—	0.738	—	—	—	0.278	—	—
0.905	—	—	—	—	—	—	0.303	—	—	—
0.900	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.193
0.889	—	—	1.149	—	—	0.349	—	—	0.199	—
0.875	—	—	—	—	—	—	—	0.212	—	—
0.867	—	—	—	—	0.437	—	—	—	—	0.147
0.857	—	—	—	—	—	—	0.238	—	—	—
0.852	—	—	—	—	—	—	—	—	0.156	—
0.833	—	2.354	—	0.624	—	0.268	—	0.176	—	0.122
0.815	—	—	—	—	—	—	—	—	0.142	—
0.810	—	—	—	—	—	—	0.220	—	—	—
0.800	—	—	—	—	0.411	—	—	—	—	0.123
0.792	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.778	—	—	1.109	—	—	—	—	0.181	—	—
0.767	—	—	—	—	—	0.311	—	—	0.161	—
0.762	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.150
0.750	—	—	—	—	—	—	0.258	—	—	—
0.741	—	—	—	0.688	—	—	—	0.228	—	—
0.733	—	—	—	—	—	—	—	—	0.210	—
0.722	—	—	—	—	0.500	—	—	—	—	0.200
0.714	—	—	—	—	—	0.400	—	—	—	—
0.708	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.704	—	—	—	—	—	—	0.341	—	—	—
0.700	—	—	—	—	—	—	—	0.305	—	—
0.700	—	—	—	—	—	—	—	—	0.280	—
0.667	9.662	2.844	1.406	0.890	0.648	0.518	0.437	0.385	0.349	0.324

$$R_{\Sigma}^2 = a^2 \alpha^2 + b^2 \alpha^4 + c \alpha + d. \quad (6)$$

где

$$a = -\frac{m^2 \sin^2 \alpha}{6};$$

$$b = \frac{m^2 (2m \sin^2 \alpha - 1)}{4};$$

$$c = \frac{3m^2 (1 - m \sin^2 \alpha) + \frac{m}{q} \sin^2 \alpha}{6};$$

$$d = \frac{2m^2 \sin^2 \alpha - 3m^2 + 3k \lg^2 \alpha + 1 + \frac{2}{q^2} (1 - m \sin^2 \alpha)}{12}$$

С учетом того, что обмоточный коэффициент основной гармоники рассматриваемых обмоток равен

$$k_{\text{об1}} = \frac{\sin \alpha}{q \sin \frac{\alpha}{q}} \sin \frac{3\pi}{2}$$

и что вначале было принято $\frac{n}{2} I \sqrt{2} = \frac{1}{2q}$, формула (2) примет вид:

$$R = \frac{m}{q} \frac{\sin \alpha}{\sin \frac{\alpha}{q}} \sin \frac{3\pi}{2} \quad (7)$$

При прочих равных условиях искажение кривой и, с. уменьшается с увеличением числа фаз. С этой точки зрения наибольшее опасение могут вызвать двух- и трехфазные обмотки. Используя формулы (1), (6) и (7), на ЭЦВМ „Напри“ были вычислены значения пока-

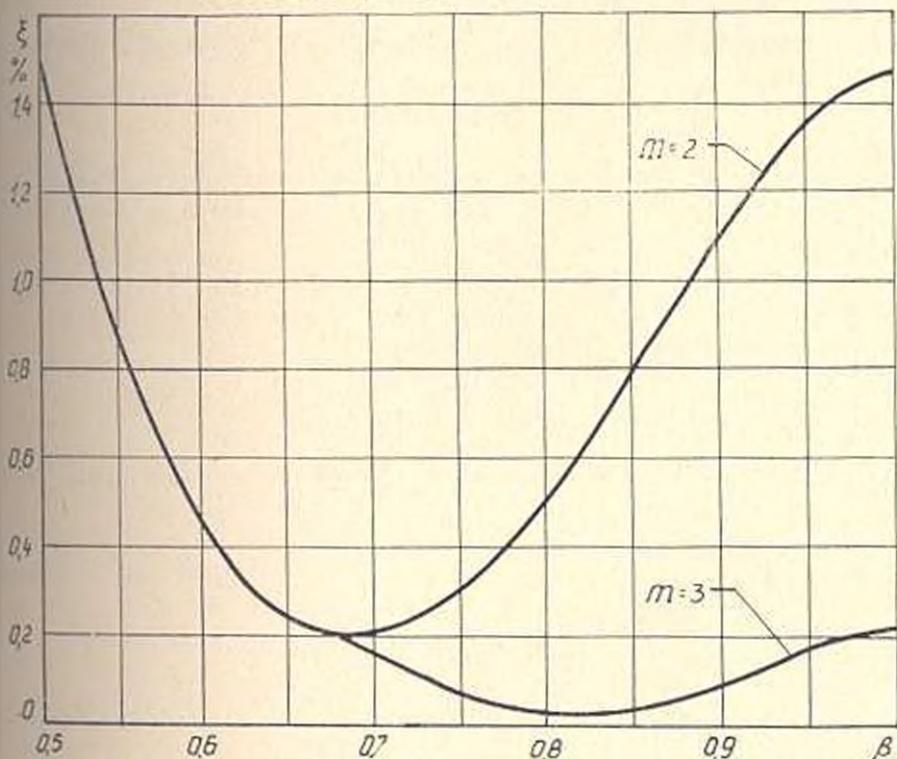


Рис. 2. Зависимость показателя качества обмотки от относительного шага

показателя ξ для двух- и трехфазных обмоток в функции от β для q . Результаты расчета сведены в табл. 1 и 2 (наименьшие значения показателя ξ подчеркнуты).

Отклонения между значениями β , соответствующими наименьшим показателям ξ в табл. 1 и 2 следует объяснить тем, что в обмот-

ках с конечным числом пазов на полюс и фазу относительный шаг β является дискретной величиной.

На рис. 2 представлена зависимость показателя качества ξ от относительного шага β при $q = \infty$ для двух- и трехфазных обмоток. Из представленных кривых следует, что при $q = \infty$ теоретически наименьшим показателем качества двухфазной обмотки является $\xi_{\min} = 0,2\%$ при $\beta = 0,689$, трехфазной — $\xi_{\min} = 0,023\%$ при $\beta = 0,817$.

Табл. 1 и 2 позволяют произвести выбор обмотки, лучшей в отношении минимального содержания вредных гармоник в кривой и. с. и определить то значение β , меньше которого укорочение шага обмотки нежелательно.

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Поступило 27. XII. 1971

Ս. Լ. ԿԱԶԱՐՅԱՆ

ՓՈՓՈԽԱԿԱՆ ՀՈՍՈՒՆՔԻ ՄԵՔԵՆԱՆՆԵՐԻ ՓԱՅՈՒՅԹՆԵՐԻ ԸՆՏՐՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ո մ

Առաջարկվում է փոփոխական հոսանքի մեքենաների փաթույթների օրակի ցուցանիշի որոշման անալիտիկ եղանակ՝ կրթ մեկ բևեռին ու ֆազին ընկնող փորտանների բանակը ամբողջ թիվ է:

Բերված են աղյուսակներ, որոնք հնարավորություն են ընձևանում կատարել փաթույթների ընտրում՝ մեղմիսականացման ուժի կորի մեջ բարձր հարմունիկաների նվազագույն պարունակությամբ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Кучера Я., Гинз Я. Обмотки электрических вращательных машин. Прага, 1963.