

УСИЛИЯ В ЛОБОВЫХ ЧАСТЯХ ОБМОТКИ СТАТОРА УДАРНОГО ГЕНЕРАТОРА

А. И. ВЕРХОТУРОВ, Г. А. СИПАЙЛОВ, К. А. ХОРЬКОВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

В связи с ростом мощности машин переменного тока большое внимание при их проектировании уделяется расчету усилий, возникающих в отдельных элементах конструкций. Особенно большое внимание уделяется в последнее время расчету механических усилий, которые испытывают лобовые части обмотки статора при коротком замыкании. Большую опасность эти усилия представляют для ударного генератора, нормальным режимом работы которого является внезапное короткое замыкание или внезапное замыкание на нагрузку с небольшим сопротивлением на период одной максимальной полуволны тока.

Известно, что ударный ток синхронных генераторов может достигать $20 \div 30$ и более кратных значений от номинального тока. Следовательно, усилия, которые будут испытывать проводники статора генератора, превысят в $400 \div 900$ раз усилия, действующие при нормальной работе машины. В связи с этим, вопросы крепления лобовых частей обмотки статора ударного генератора и расчет их механической прочности требуют специальных исследований. Расчет усилий в лобовых частях обмотки статора может быть произведен лишь приближенно. Это объясняется очень сложным пространственным распределением большого числа стержней обмотки в зоне лобовых частей и тем влиянием, которое оказывают на лобовые части окружающие их ферромагнитные поверхности торца статора, корпуса, торцевых щитов и ротора. Исследования показали, что наибольшая часть потока рассеяния (около 20% от общего потока рассеяния) связывает лобовую часть с торцом пакета статора. Поток рассеяния лобовой части по отношению к корпусу и торцевым щитам соответственно составляют примерно 3% и 10% от общего потока рассеяния [1]. Следовательно, в первую очередь должны быть учтены усилия между лобовой частью и торцом пакета статора.

Методика расчета усилий в зоне лобовых частей обмотки статора электрической машины построена на методе расчета усилий между отдельными отрезками различной длины [2]. В целях упрощения расчетов усилия, возникающие в отрезках лобовых частей обмотки статора, подразделены на отдельные составляющие:

1. Радиальные и тангенциальные усилия, возникающие между прямолинейными отрезками лобовых частей обмотки.

2. Аксиальные усилия, возникающие между изогнутыми отрезками лобовых частей обмотки.

3. Усилия, возникающие между отрезками лобовой части и ферромагнитными поверхностями. При этом рассмотрены только усилия между изогнутыми отрезками лобовых частей, параллельными торцу статорного железа, и торцем статора.

Исследования механических усилий в лобовых частях однофазной однослойной концентрической обмотки статора проведены с помощью ЭЦВМ-Минск-1. Расчеты механических усилий выполнены для ряда машин с различными диаметрами расточки статора, различными вылетами лобовых частей и различными числами пазов статора. Алгоритм расчета усилий и расчетные формулы изложены ранее [2], поэтому здесь не приводятся. Для определения механических усилий на единицу длины проводника пользуемся зависимостью

$$F_x = \kappa_{r,x} \cdot 10^{-8} I_{уд}^2, \text{ кг/м},$$

где $I_{уд}$ — пик тока короткого замыкания в амперах,

κ_r — геометрический фактор, учитывающий пространственное положение отдельного отрезка лобовой части и конфигурацию всей лобовой части в целом.

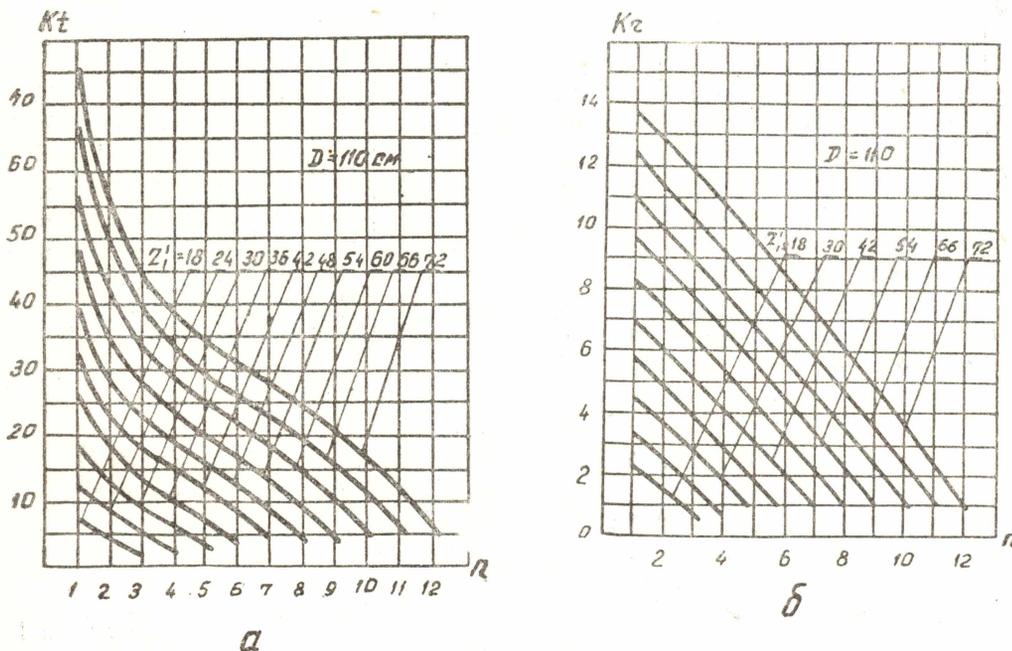


Рис. 1. К расчету усилий на прямолинейные отрезки лобовых частей:
а) геометрический фактор для расчета тангенциальных усилий,
б) геометрический фактор для расчета радиальных усилий.

В результате проведенных исследований найдены зависимости геометрического фактора от различных параметров машины. Эти зависимости представлены в виде кривых на рис. 1, 2, 3. По кривым рис. 1 можно определить геометрический фактор κ_r и κ_t для расчета радиальных F_r и тангенциальных F_t усилий, действующих на прямолинейные отрезки лобовой части. По кривым рис. 2 можно определить геометрический фактор κ_a и κ_c для расчета аксиальных усилий, действующих на отдельные изогнутые отрезки лобовой части F_a , и усилий притяжения этих отрезков к торцу пакета железа статора F_c .

Как следует из кривых рис. 1 и 2 наибольшие усилия действуют на первый стержень, за который принят стержень, лежащий на краю фазной зоны со стороны свободных от обмотки пазов. Наибольшие

усилия действуют на изогнутый отрезок стержня лобовой части. Расчеты показывают, что геометрический фактор в сильной степени зависит от диаметра расточки статора машины. Пользуясь серией кривых, аналогичных зависимостям, представленным на рис. 1, 2 для $D = 110$ см, можно построить зависимости геометрического фактора от чисел пазов для различных диаметров расточки статора. Такие зависимости представлены на рис. 3. Пользуясь кривыми для опреде-

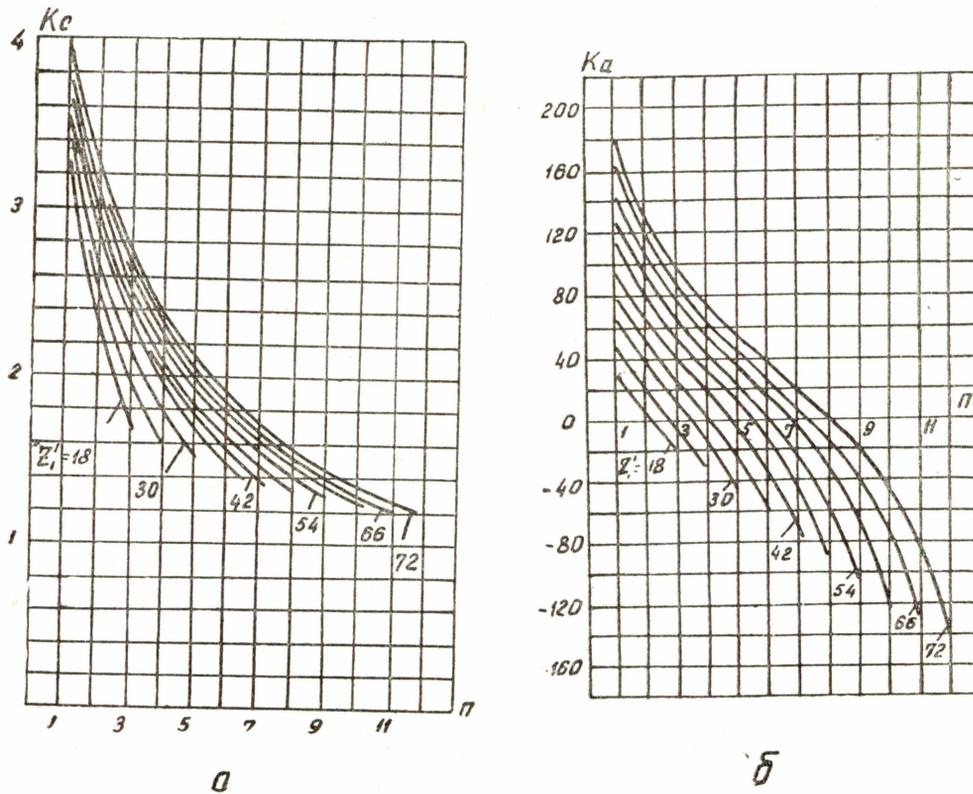


Рис. 2. К расчету усилий на изогнутые отрезки лобовых частей: а) геометрический фактор для расчета усилий притяжения к стали статора, б) геометрический фактор для расчета аксиальных усилий.

Таблица 1

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_r \frac{m}{M}$	9,78	8,74	7,83	6,94	6,02	5,07	4,07	3,00	1,87	0,65
$F_t \frac{m}{M}$	52,0	35,8	29,6	25,6	22,3	19,2	16,0	12,7	8,78	3,50
$F_a \frac{m}{M}$	135,7	89,7	65,4	47,0	30,4	13,8	4,1	-25,4	-54,4	-107,8
$F_c \frac{m}{M}$	3,44	2,80	2,35	2,03	1,79	1,60	1,45	1,33	1,22	1,14
$\sum F_r = 801,6$			$\sum F_a = 190,45$				$\sum F_c = 19,17$			

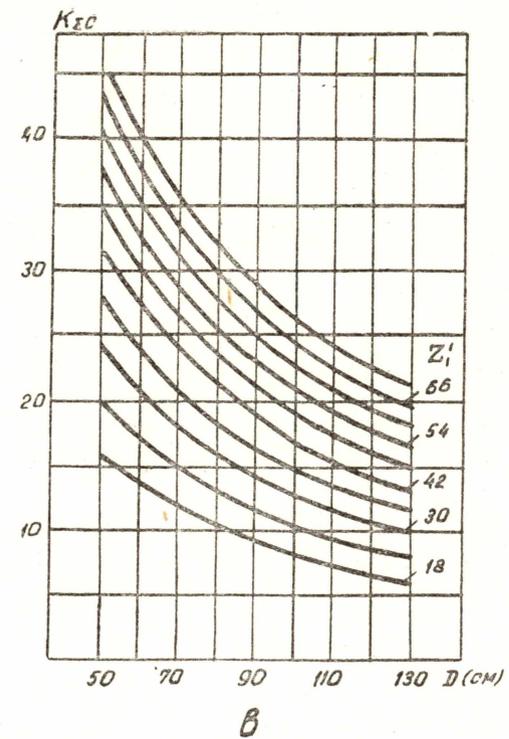
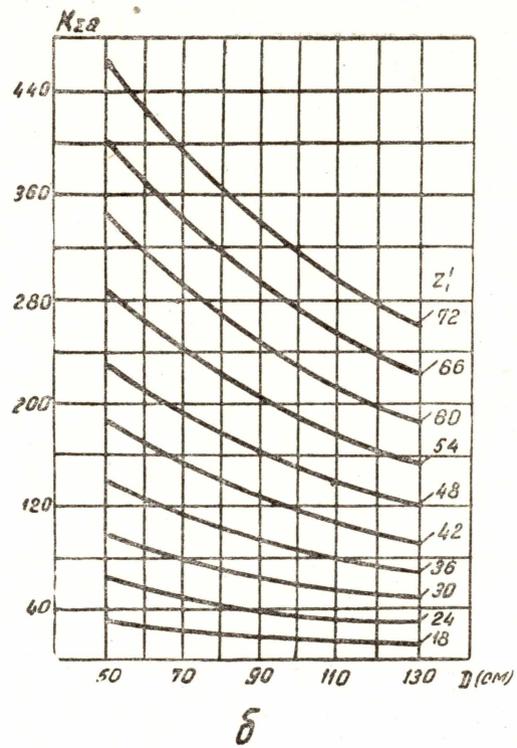
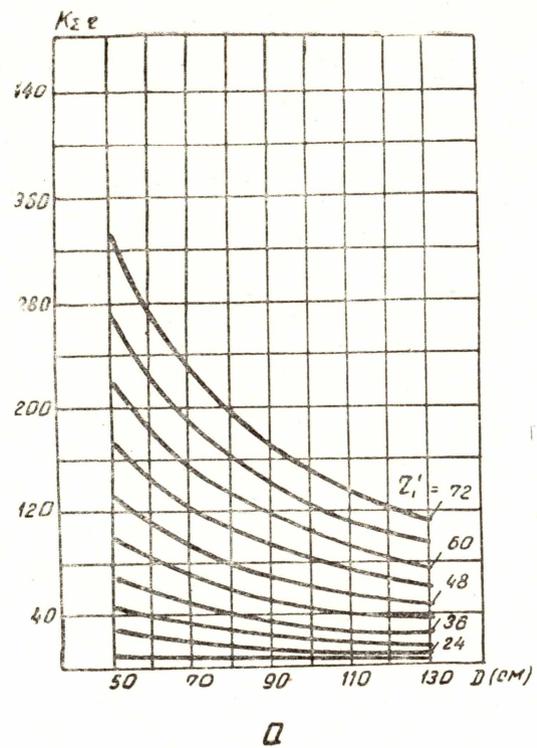


Рис. 3 К расчету суммарных усилий действующих на лобовые части:
 а) геометрический фактор для расчета радиальных усилий, б) геометрический фактор для расчета аксиальных усилий, в) геометрический фактор для расчета усилий притяжения к стали статора.

ления $K_{\Sigma r}$; $K_{\Sigma a}$; $K_{\Sigma c}$ (рис. 3), можно рассчитать суммарные усилия, действующие на лобовую часть обмотки статора в радиальном F_r и аксиальном направлении F_a , а также усилия притяжения к стали F_c .

В качестве примера по полученным зависимостям рассчитаны усилия, действующие на лобовую часть генератора с однофазной однослойной концентрической подразделенной обмоткой с диаметром расточки статора $D = 110$ см, числом пазов статора $z_1' = 60$ при протекании по обмотке тока $I_{уд} = 300000$ а. Расчеты представлены в табл. 1.

Найденные усилия могут быть использованы для расчета механической прочности изоляции, а также для расчета механических напряжений в узлах крепления лобовых частей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Сипайлов, К. А. Хорьков. О методах расчета рассеяния лобовых частей однофазных обмоток. Известия ТПИ, т. 138, 1965.
2. А. И. Верхотуров, Г. А. Сипайлов, К. А. Хорьков. Методика расчета механических усилий. Известия ТПИ, т. 139, 1965.