

чениях оцениваемых параметров, распределенной по нормальному закону ошибки. Критерием окончания итерационного процесса построения оптимального плана является близость значения нормированной дисперсии поверхности отклика к его теоретическому значению, равному числу оцениваемых параметров. С использованием данной программы производилось построение оптимальных планов и поиск областей значений оцениваемых параметров, в которых локально-оптимальные планы остаются неизменными, для моделей (1) и (2). На расчет 50 шагов планирования затрачивалось около 1 ч машинного времени ЦВМ БЭСМ-4, из которых 4 мин. занимала трансляция программы (при использовании транслятора ТА-1М). Оптимальные планы оказывались сосредоточенными в вершинах областей факторного пространства. При варьировании значений оцениваемых параметров в широком диапазоне оптимальные планы эксперимента не менялись. Это обстоятельство является весьма важным, так как позволяет для нелинейных по оцениваемым параметрам объектов произвести априорное планирование эксперимента и позволяет избежать непрерывного обращения к ЦВМ в ходе выполнения эксперимента.

Л и т е р а т у р а

1. Файбисович В.А. Определение предела передаваемой мощности электропередачи в условиях эксплуатации электрической системы. – Электричество, 1976, №4. 2. Федоров В.В. Теория оптимального эксперимента. М., 1971. 3. Фомина Е.С., Фомин Г.А. Построение априорных планов эксперимента для регрессионных моделей, нелинейных по параметрам. – Тез. докл. У Всесоюз. конф. по планированию и автоматизации эксперимента в научных исследованиях. Математическая теория эксперимента. М., 1976.

УДК 621.313.32:538.311

А.Г.Губанович

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ НА ВЕЛИЧИНУ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ УСИЛИЙ В ЛОБОВОЙ ЧАСТИ ОБМОТКИ СТАТОРА МОЩНЫХ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

Мощные отечественные и зарубежные турбогенераторы имеют в большинстве петлевою обмотку стержневого типа с эволь-

вентной лобовой частью. Лобовые стержни при этом находятся на очень близких расстояниях друг от друга. Поэтому при расчете электродинамических усилий (э.д.у.) в лобовой части обмотки турбогенераторов необходимо принимать в расчет размеры поперечного сечения проводников. По приближенным оценкам некоторых авторов [1] влияние размеров поперечного сечения сказывается в пределах 10% для радиальной составляющей и 5% для тангенциальной и аксиальной составляющей э.д.у.

При использовании ЭЦВМ для расчета э.д.у. появляется возможность более точного учета влияния размеров сечения. Известный классический способ учета влияния размеров сечения на э.д.у. по кривым для параллельных проводников в данном случае неприменим. Использование математического выражения для коэффициента формы при произвольном расположении проводников в виде пятикратного интеграла также затруднительно, поскольку приведет к построению очень сложного алгоритма расчета э.д.у. и потребует больших затрат машинного времени.

Наиболее приемлемым методом учета влияния размеров сечения проводников на э.д.у. при расчетах на ЭЦВМ представляется численный: дробление проводника на ряд элементарных, расчет их взаимодействия по методике [2] и суммирование по сечению стержня.

Для дробления сечения необходимо иметь координаты в пространстве граничных точек каждого участка, на которые дробится лобовая дуга. Чтобы их получить, удобно использовать аналитическое описание геометрии лобовой дуги, полученное в [3]. При этом дуга представляется в виде бесконечно тонкого стержня.

Координаты точек произвольного сечения стержня в цилиндрической системе координат определяются как функции расстояния до расчетной точки дуги

$$\left. \begin{aligned} r(s) &= l(s) \sin \alpha \mp \frac{h}{2} \cos \alpha; \quad z(s) = l(s) \cos \alpha \pm \frac{h}{2} \sin \alpha; \\ r(s) &= \frac{1}{\sin \alpha} \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{\rho \sin t - (\rho t \pm \frac{d}{2}) \cos t}{\rho \cos t + (\rho t \pm \frac{d}{2}) \sin t} \right) - \right. \end{aligned} \right\} (1)$$

$$- \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin t_0 - t_0 \cos t_0}{\cos t_0 + t_0 \sin t_0} \right); \quad (1)$$

$$t = \sqrt{t_0^2 + \frac{2s}{\rho}}; \quad l(s) = \rho \sqrt{1+t^2},$$

где α - угол наклона конуса лобовых частей; ρ - радиус образующего круга; t_0 и t - соответственно начальный и текущий параметр эвольвенты; s - расстояние до расчетного узла от начальной точки соответствующей t_0 ; d , h - ширина и высота сечения стержня.

Далее по известным выражениям производится преобразование координат точек сечения к декартовой системе.

Расчет координат центров элементарных сечений производится по выражению

$$\left. \begin{aligned} B_{ij, k} = & A_{1k} + (A_{4k} - A_{1k}) \frac{d}{2m} + (A_{4k} - A_{1k}) \frac{d}{m} \lambda_i + \\ & + \left[(A_{2k} + (A_{3k} - A_{2k}) \frac{d}{2m} + (A_{3k} - A_{2k}) \frac{d}{m} \lambda_i) - \right. \\ & - A_{1k} - (A_{4k} - A_{1k}) \frac{d}{2m} - (A_{4k} - A_{1k}) \frac{d}{m} \lambda_i \left. \right] \frac{h}{2n} + \\ & + \left[(A_{2k} + (A_{3k} - A_{2k}) \frac{d}{2m} + (A_{3k} - A_{2k}) \frac{d}{m} \lambda_i) - \right. \\ & - A_{1k} - (A_{4k} - A_{1k}) \frac{d}{2m} - (A_{4k} - A_{1k}) \lambda_i \frac{d}{m} \left. \right] \cdot \frac{h}{n} \lambda_j, \end{aligned} \right\} (2)$$

где m, n - число дроблений соответственно по ширине и высоте стержня; $A_{1k}, A_{2k}, A_{3k}, A_{4k}$ - координаты точек сечения в декартовой системе координат, $k = x, y, z$; $\lambda_i = 0, 1, 2, \dots, (m-1)$; $\lambda_j = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$.

Элементарные дробления заменяются бесконечно тонкими проводниками, расположенными в центрах полученных сечений, и производится расчет их взаимодействия с элементарными проводниками участка другого стержня. Полученные таким образом коэффициенты контура для расчета э.д.у., которые зависят только от взаимного положения в пространстве участков исследуемой лобовой дуги и остальных дуг обмотки, суммируются по сечению стержня.

Разработаны программы расчета на ЭЦВМ коэффициентов контура э.д.у. без учета влияния размеров поперечного сечения проводников и с учетом их влияния. Программы составлены на языке "Фортран".

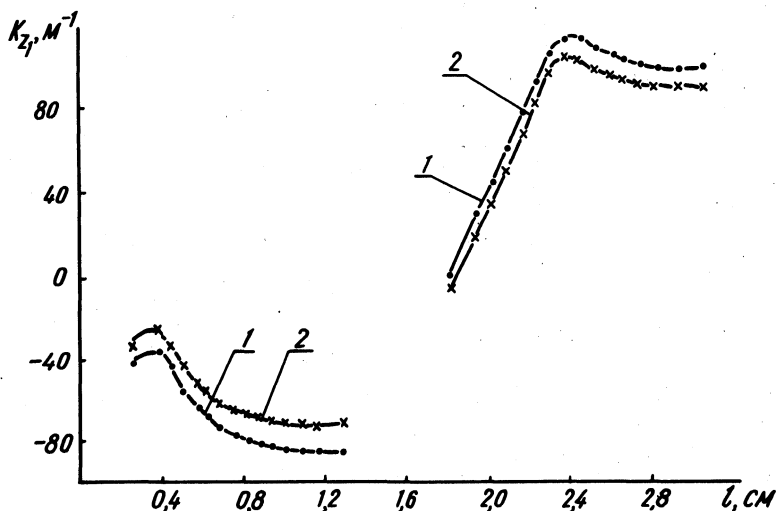


Рис. 1. Распределение удельных значений аксиальных составляющих коэффициентов контура вдоль лобовой дуги первого витка фазы А турбогенератора ТВВ-320-2 от проводников фазы А: 1 – без учета влияния размеров поперечного сечения проводников; 2 – с учетом влияния.

Рассчитывались удельные и суммарные составляющие коэффициентов контура э.д.у., обусловленные влиянием проводников отдельных фаз обмотки. На рис. 1 приведено распределение аксиальных составляющих коэффициентов контура вдоль первой лобовой дуги фазы А генератора ТВВ-320-2 от проводников фазы А.

Л и т е р а т у р а

1. Lawrenson P.J. Forces on turbogenerator end windings. - Proc. of the IEE. 1965. 112, №4.
2. Рудкий А.И., Стрелюк М.И., Губанович А.Г. Расчет электродинамических усилий в лобовых частях генераторов. - Изв. вузов СССР. Энергетика, 1976, № 6.
3. Цветков В.А. К расчету электродинамических сил в зоне лобовых частей в обмотке статора электрической машины. - Электричество, 1972, № 4.