

$\xi_3$  – степень черноты экрана;

$T_3$  – абсолютная температура экрана;

$k_3$  – коэффициент, учитывающий экранирующее влияние соседних экранов.

Величина коэффициента  $k_3$  определяется по формулам

$$k_3 = 1 - \frac{2\chi}{\pi} \text{ – для средней фазы;}$$

$$k_3 = 1 - \frac{\chi}{\pi} \text{ – для крайних фаз,}$$

где

$$\chi = \arcsin \frac{D_3}{2D}.$$

Графическая интерпретация коэффициента показана на рисунке 1.

Окончательно получим уравнение теплового баланса для экрана.

$$q_{\Sigma} = N_1(t_3 - t_B)^{1,33} + C_0 \xi_3 \left[ \left( \frac{T_3}{100} \right)^4 - \left( \frac{T}{100} \right)^4 \right] k_3.$$

Полученное уравнение теплового баланса для экрана является трансцендентным относительно искомой температуры экрана. Такое уравнение решаются численным методом путём итераций. Для его решения на ЭВМ оно приводится к виду:

$$t_3 = t_B + N_2 \left[ q_{\Sigma} - N_3 (T_3^4 - T^4) \right],$$

где

$$N_2 = \frac{1}{N_1(t_3 - t_B)^{0,33}};$$

$$N_3 = C_0 \xi_3 k_3 10^{-8}.$$

УДК 621.316.925

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ ПЕРЕРЫВА ПИТАНИЯ НА УСПЕШНОСТЬ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6 КВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

*Левкович Д.В., Никитюк А.В.*

Научный руководитель – ГЛИНСКИЙ Е.В.

Основу всей нагрузки на электростанциях любого типа составляют электродвигатели 6 кВ собственных нужд.

Кратковременное снижение или полное исчезновение напряжения на шинах собственных нужд, вызванное коротким замыканием или переключением на резервное питание из-за автоматического или ошибочного ручного отключения рабочего питания, ведет к снижению частоты вращения двигателей вплоть до полной остановки части из них. Для сохранения в работе основных агрегатов электростанции двигатели ответственных механизмов при этом не отключаются от шин. После устранения причины кратковременного нарушения электроснабжения они восстанавливают нормальную частоту вращения без вмешательства персонала. Такой процесс называется самозапуском.

На примере Минской ТЭЦ-4 исследуется влияние времени перерыва питания на успешность самозапуска электродвигателей напряжением 6 кВ собственных нужд с помощью программы SAMOSAPU, разработанной на кафедре «Электрические станции» БНТУ.

При отключении питания напряжение на секции с неотключенными двигателями исчезает не сразу, а за счет электромагнитной и кинетической энергии, запасенной двигателями, затухает за время 1–1,5 с. Участвующие в групповом выбеге двигатели механизмов с большим моментом инерции (вентиляторы, дымососы) работают в этом случае в режиме генераторов, отдавая часть энергии двигателям механизмов с меньшим моментом инерции, работающим в двигательном режиме.

Частота затухающего напряжения при групповом выбеге по мере торможения двигателей уменьшается со скоростью примерно 4–7 Гц/с. Групповой выбег продолжается до снижения напряжения на секции до  $(0,25 - 0,2)U_{\text{ном}}$ , после чего все двигатели останавливаются. Из-за снижения частоты затухающего напряжения оно быстро отстает по фазе от напряжения сети. Уже через 0,3–0,4 с с момента отключения питания секции угол расхождения напряжения достигает  $180^\circ$ . При этом разность напряжений на секции и в сети может достигнуть  $(1,6 - 1,8)U_{\text{ном}}$ . При самопроизвольном или ошибочном отключении рабочего питания, а в некоторых случаях и при действии защит с малой выдержкой времени напряжение на секцию от АВР подается через 0,4–0,5 с, т. е. в момент противофазы. Несмотря на это, переходные токи в двигателях близки к нормальным пусковым токам. Это является следствием значительного падения напряжения в источнике резервного питания от одновременного самозапуска мощной группы двигателей. Поэтому повреждений двигателей при самозапуске от динамических усилий в обмотках не наблюдается.

Самозапуск двигателей до нормальной частоты вращения происходит каскадно. Первыми заканчивают разбег двигатели механизмов с легкими условиями пуска, например, циркуляционных (ЦЭН), конденсатных насосов. Благодаря снижению пусковых токов этих двигателей до номинальных напряжение на секции повышается, что облегчает разбег других двигателей: питательных насосов (ПЭН), дымососов (Д), дутьевых вентиляторов (ДВ) и т. д. Для облегчения самозапуска все неотчетственные двигатели при снижении напряжения на шинах СН до  $(0,6 - 0,7)U_{\text{ном}}$  отключаются защитой минимального напряжения с выдержкой 0,5 с. Каскадный разбег двигателей позволяет обеспечить их самозапуск при начальном напряжении несколько ниже того, которое требуется для двигателей механизмов с тяжелыми условиями пуска.

Чем более кратковременный перерыв питания, тем меньше двигатели успевают затормозиться, тем меньше их пусковые токи и больше начальное напряжение на шинах после включения резервного питания и, следовательно, тем быстрее самозапуск двигателей. Поэтому следует по возможности сокращать время действия защит и АВР на собственных нуждах. Предельно допустимая продолжительность перерыва ограничивается также режимом работы котлоагрегата. Перерыв более 3 с вызывает такое снижение частоты вращения тягодутьевых механизмов, при котором факел в топке может погаснуть. Одновременное последующее восстановление работы тягодутьевых механизмов и питателей топлива может привести к взрыву в топке котла. При перерывах питания СН на 4 с и более работа котлоагрегата нарушается, и самозапуск двигателей не только не имеет смысла, но даже и недопустим.

Для успешности самозапуска начальное напряжение на шинах СН должно быть достаточным, чтобы создать избыточный момент для разбега всех основных двигателей, а продолжительность разбега двигателей, зависящая как от начального напряжения, так и скорости его восстановления, не должна превышать предельно допустимую.

К числу основных электродвигателей на ТЭЦ относятся следующие: электродвигатели мазутных, тягодутьевых, питательных, конденсатных, циркуляционных насосов. Все они являются ответственными механизмами и требуют наличия резервного источника питания.

С помощью программы SAMOSAPU, изменяя время перерыва питания секции 5РА (5РБ), исследовалась успешность самозапуска электродвигателей этих секций. Результаты исследования занесены в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты испытаний

Время перерыва питания $t, \text{с}$	Максимальный рабочий ток секций 5РА/5РБ $I_{п \text{ max}}, \text{А}$	Секция 5РА	Секция 5РБ	ЦН-2 (яч. 143)	ДВ-5А (яч. 145)	ПЭН-5 (яч. 148)	ЦН-1 (яч. 161)	Д-5Б (яч. 165)	ДВ-5Б (яч. 167)
0,10	2,4/1,4	+	+	+	+	+	+	+	+
0,11	9,0/5,0	+	+	+	+	+	+	+	+
0,12	2,4/1,6	+	+	+	+	+	+	+	+
0,13	8,8/5,3	+	+	+	+	+	+	+	+
0,14	2,9/2,1	+	+	+	+	+	+	+	+
0,15	8,7/4,6	+	+	+	+	+	+	+	+
0,50	7,1/3,4	+	+	+	+	+	+	+	+
0,80	3,6/3,0	+	+	+	+	+	+	+	+
1,20	5,2/4,5	+	+	+	+	+	+	+	+
1,21	5,3/4,6	-	+	-	+	+	+	+	+

Примечание: + – самозапуск успешный; – – самозапуск неуспешный

Как видно из таблицы 1, наибольший скачок тока на секции наблюдается уже при перерыве питания на 0,11 с, что является следствием снижения частоты затухающего напряжения, которое быстро отстаёт по фазе от напряжения сети. За это время угол расхождения напряжения достигает  $180^\circ$ .

Предельное время отключения для исследуемых электродвигателей составило 1,21 с. При таком перерыве питания при КЗ на секции 5РА самозапуск электродвигателей циркуляционных насосов ЦН-2 оказывается неуспешным.

### Литература

1. Инструкция по применению программы «Расчет самозапуска электродвигателей собственных нужд электростанций» / В.И. Новаш, Е.В. Глинский. – Минск: БГПА, 1995.
2. Ульянов, С.А. Электромагнитные переходные процессы. – М.: Энергия, 1970.
3. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 640 с.

УДК 621.316.5

## ВЫБОР ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫХ ФОРМУЛ АППРОКСИМАЦИИ ОБОБЩЕННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ОТ КРИТЕРИЯ ПОДОБИЯ

Филипенко К.М., Давидович Е.Н.

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор СЕРГЕЙ И.И.

Уравнения движения проводов, представленных гибкой нитью, в математическом отношении являются нелинейными гиперболическими дифференциальными уравнениями второго порядка в частных производных и относятся к уравнениям математиче-