

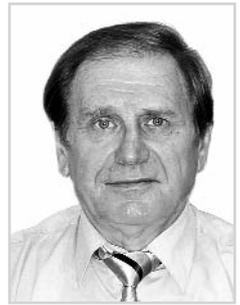


УДК 621.313.32

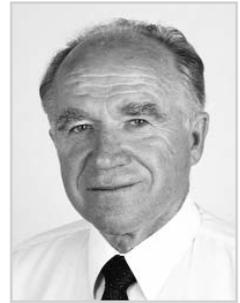
ЛЕВИЦКИЙ А.С., канд. техн. наук,
ФЕДОРЕНКО Г.М., докт. техн. наук,
Институт электродинамики НАН України

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГИБА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Проанализированы причины возникновения термодинамического прогиба ротора турбогенератора. Дано краткое описание метода расчета температурных полей и указанного прогиба на основе современных компьютерных программ. Описан метод измерения прогиба с использованием системы емкостных сенсоров зазора между ротором и статором.



ЛЕВИЦКИЙ А.С.



ФЕДОРЕНКО Г.М.

В настоящее время в комплексе проблем, связанных с повышением эксплуатационной надежности работы энергооборудования на электростанциях, все большее значение отводится исследованиям, направленным на создание эффективных систем технической диагностики (СТД) рабочего состояния турбогенераторов. Функционирование СТД заключается в своевременном обнаружении и локализации возникающих в турбогенераторе дефектов, оценке их влияния на работоспособность агрегатов, выдачи персоналу рекомендаций о целесообразности проведения ремонтных работ, прогнозирования аварийных ситуаций и т. д. Опыт показывает, что такие мероприятия безусловно повышают надежность работы турбогенераторов, сокращают длительность их вынужденных простоев.

В турбогенераторе особую опасность представляют термические дефекты, возникающие в роторе и вызывающие его асимметричный нагрев в плоскости поперечного сечения. Появление таких дефектов, обычно связанное с технологией производства или условиями эксплуатации, может явиться причиной повышенной вибрации ротора вследствие его термоупругого прогиба [1]. Неуравновешенные центробежные силы, возникающие при вращении изогнутого вала, создают вибрацию с частотой вращения. Повышенная вибрация, в свою очередь, является причиной ускоренного износа ответственных элементов машины и, как следствие, тяжелых аварий, приводящих к выходу из строя всего турбоагрегата. Поэтому, вопросам диагностики, а также способам устранения тепловой неуравновешенности роторов турбогенераторов уделяется большое внимание. Эффективность разрабатываемых при этом мероприятий зависит от достоверности оценок влияния различных термомодефектов на прогибы ротора.

Расчету прогибов и вибраций, обусловленных тепловым дисбалансом ротора турбогенератора, посвящены работы [2, 3, 4].

Как показано в [4], моделирование вибрации, обусловленной тепловым дисбалансом, включает в себя несколько этапов. Первый этап — анализ распределения температуры при появлении ка-

ких-либо дефектов. Второй — решение термоупругой задачи — определение прогиба ротора под действием несимметричного температурного поля и расчет соответствующего дисбаланса. Третий — расчет вибрации, обусловленной данным дисбалансом.

Для расчета температурных полей в роторе турбогенератора использовался пакет программ ELCUT, разработанный фирмой "TOP". Он позволяет быстро и эффективно находить распределение температуры в различных сечениях ротора. Решение термоупругой задачи — определение прогиба вала при несимметричном распределении температуры — осуществлялось с помощью программ MSC. Patran, MSC. Nastran. Использовались те же модели, что и при расчете собственных частот.

Для того, чтобы передать данные о распределении температуры из ELCUT в Patran использовался следующий прием. Полученные в результате расчета температурные поля аппроксимировались аналитическими соотношениями. В Patran'e создавались поля (Fields), в которые с помощью PCL функций вносились полученные выражения. Хотя такой прием несколько "огрубляет" картину распределения температуры, это мало влияет на правильность определения динамического прогиба вала, поскольку прогиб является интегральной характеристикой и слабо зависит от "местных" колебаний температуры, если они не слишком велики.

По итогам расчета определялся эквивалентный дисбаланс, создаваемый температурной несимметрией. Результаты вносились в файл, который затем считывался программой расчета изгибных колебаний для исследования вибраций, вызываемых температурными нарушениями.

На Рис. 1, 2 приведены примеры расчета динамического прогиба ротора под действием температурной несимметрии. Видим, что в зависимости от характера распределения несимметрии дисбаланс может создаваться не только изгибом



Рис. 1. Прогиб ротора при равномерном перегреве одного из полюсов



Рис. 2. Прогиб ротора при перегреве части зубцов

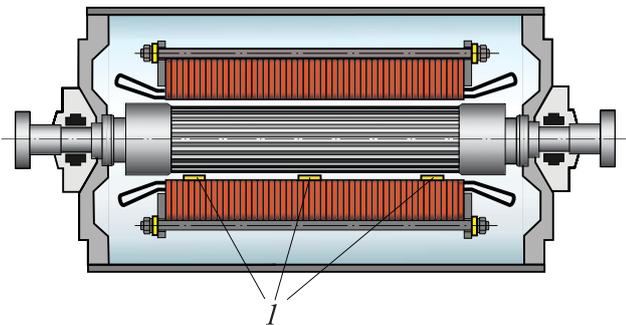


Рис. 3. Установка сенсоров зазора на расточке сердечника статора турбогенератора для определения прогиба ротора

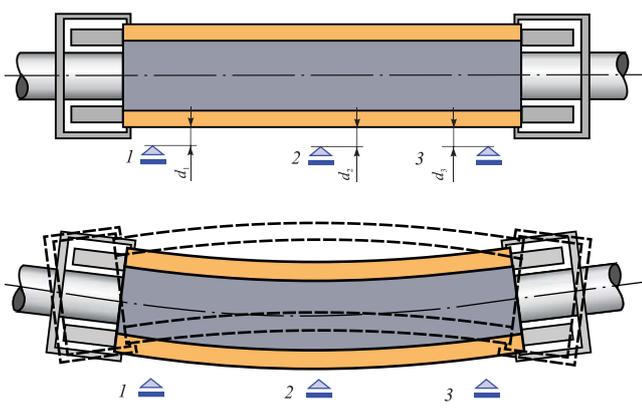


Рис. 4. Измерение термодинамического прогиба ротора турбогенератора с использованием системы сенсоров воздушного зазора

вала, но также и выпучиванием отдельных зубцов. Однако оценки показывают, что как правило эффект выпучивания влияет на тепловой дисбаланс слабее, чем изгиб вала.

Во время работы машины термодинамический прогиб ротора турбогенератора может быть изменен с помощью системы сенсоров воздушного зазора между статором и ротором [5]. Сенсоры 1 устанавливаются в нижней части расточки сердечника статора на одной линии (Рис. 3). Количество сенсоров зависит от длины ротора, при минимальном количестве три единицы.

Во время поворота ротора на угол при отсутствии термодинамического прогиба зазоры в сенсорах 1, 2 и 3 не будут изменяться и будут равными между собой (Рис. 4, а). С появлением прогиба зазоры в сенсорах будут изменяться по периодическому закону (Рис. 4, б).

В качестве сенсоров зазора можно использовать емкостные сенсоры, теоретические основы которых были разработаны в Институте электродинамики НАН Украины и опубликованы в ряде работ, например монографии [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Ronald J. Zawoysky, William M. Genovese. Generator Rotor Thermal Sensitivity – Theory and Experience. – GE Power System. – GER-3809. – April 2010. – P. 1–18. – Режим доступа: http://site.ge-energy.com/prod_serv/products/tech_docs/en/downloads/ger3809.pdf.

2. Мартынов М.В. Математические модели и диагностические характеристики тепловой разбалансировки роторов турбогенераторов с водяным охлаждением : дис. ... кандидата техн. наук : 05.09.01 "Электрические машины" / Мартынов Михаил Васильевич. – Ленинград, 1984. – 189 с.

3. Войнович М.И., Кацман В.Г., Кузьмин В.В., Лившиц А.Л., Чернуха Ю.А. Прогибы и вибрации неравномерно нагретого ротора турбогенератора // Электротехника. – 1987. – № 9. – С. 44–49.

4. Рыжик Б.В. Решение задач, связанных с изгибными колебаниями роторов турбогенераторов, с помощью программ фирмы MSC.Software. – Режим доступа: http://www.mscsoftware.ru/document/conf/Moscow_conf/conf_2000/elsila.doc.

5. A new conception on on-line monitoring and diagnose of turbo-generator. – Режим доступа: <http://www.marubun.co.jp/product/measurement/elect>

