

Н.А. Беляев, Э.В. Любимов

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО ПРИБОРА ДЛЯ СНЯТИЯ УГЛОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Исследован виртуальный прибор для снятия угловой характеристики синхронного генератора в лаборатории электропривода кафедры электротехники и электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета на компьютеризированном стенде с использованием устройства косвенного определения угла нагрузки. На основании исследований делается вывод о возможности применения виртуального прибора для работающих синхронных генераторов большой мощности и мониторинга мгновенного значения величины угла нагрузки, с использованием разработанного устройства для выявления неисправностей синхронного генератора.

Синхронные генераторы вырабатывают порядка 80 % электроэнергии во всем мире. Аварийные режимы работы синхронных генераторов на тепловых электростанциях, гидроэлектростанциях или в составе автономных энергоустановок могут привести к перебоям в подаче электроэнергии конечному потребителю и дорогостоящему ремонту оборудования.

Аварийные режимы работы возникают из-за различных неисправностей, повреждений и дефектов синхронных генераторов или аномальных режимов работы электрической сети. Статистика повреждений синхронных генераторов отображена на рис. 1 [1].

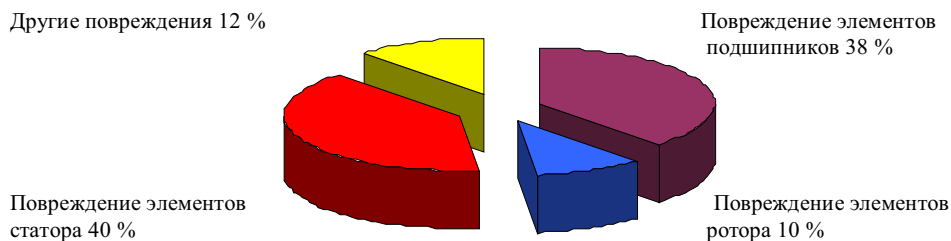


Рис. 1. Статистика повреждений синхронных генераторов

Мониторинг технического состояния работающего синхронного генератора по мгновенным значениям его основных электрических параметров и их анализ позволят своевременно определять возникновение и характер неисправности, избежать неожиданных аварий, спланировать ремонтные работы с минимальными потерями, продлить срок службы оборудования. В качестве дополнительного интегрального параметра для анализа аварийных режимов работы предлагается использовать мгновенное значение угла нагрузки синхронного генератора.

Разработано устройство косвенного определения угла нагрузки синхронного генератора по напряжению и току [2]. В состав устройства входят плата для сбора данных, компьютер и разработанное программное обеспечение. В качестве среды разработки было выбрано программное обеспечение «LabVIEW» компании «National Instruments®» – производителя плат сбора данных. Существующие устройства определения угла нагрузки имеют существенный недостаток, а именно для их работы необходимо наличие датчика углового положения ротора генератора. Для работы разработанного устройства необходимо знать мгновенные значения тока и напряжения и значение активного и индуктивного сопротивлений обмотки статора. Индуктивное сопротивление обмотки статора определяется по отношению ЭДС к току короткого замыкания, которые в свою очередь можно заранее определить по характеристикам холостого хода и короткого замыкания машины. Следовательно, для работы разработанного устройства не нужно иметь специальных датчиков, а достаточно иметь датчики мгновенных значений тока и напряжения.

Устройство косвенного определения угла нагрузки синхронного генератора по напряжению и току использует формулы (1) и (2). По известным исходным данным рассчитываем мгновенное значение ЭДС:

$$\dot{E} = \dot{U} + \dot{I} \cdot R + j \cdot \dot{I} \cdot X_d, \quad (1)$$

где \dot{E} – комплексное значение ЭДС, В; \dot{U} – комплексное значение напряжения, В; \dot{I} – комплексное значение тока статора, А; R – активное сопротивление обмотки статора, Ом; X_d – индуктивное сопротивление обмотки статора, Ом.

Вычисляем значение начальных фаз напряжения и ЭДС и рассчитываем мгновенное значение угла нагрузки:

$$\theta = |\psi_e - \psi_u|, \quad (2)$$

где θ – угол нагрузки синхронного генератора, рад; ψ_e – начальная фаза ЭДС, рад; ψ_u – начальная фаза напряжения, рад.

Одной из важных характеристик синхронного генератора является угловая характеристика. Информация о мгновенном значении угла нагрузки позволяет прогнозировать момент выпадения синхронной машины из синхронизма и своевременно форсировать возбуждение, тем самым предотвращая аномальный (в некоторых случаях аварийный) режим работы. Поэтому наличие виртуального прибора для снятия угловой характеристики в составе системы мониторинга весьма целесообразно.

На рис. 2 приведена фронтальная панель разработанного виртуального прибора для снятия угловой характеристики.

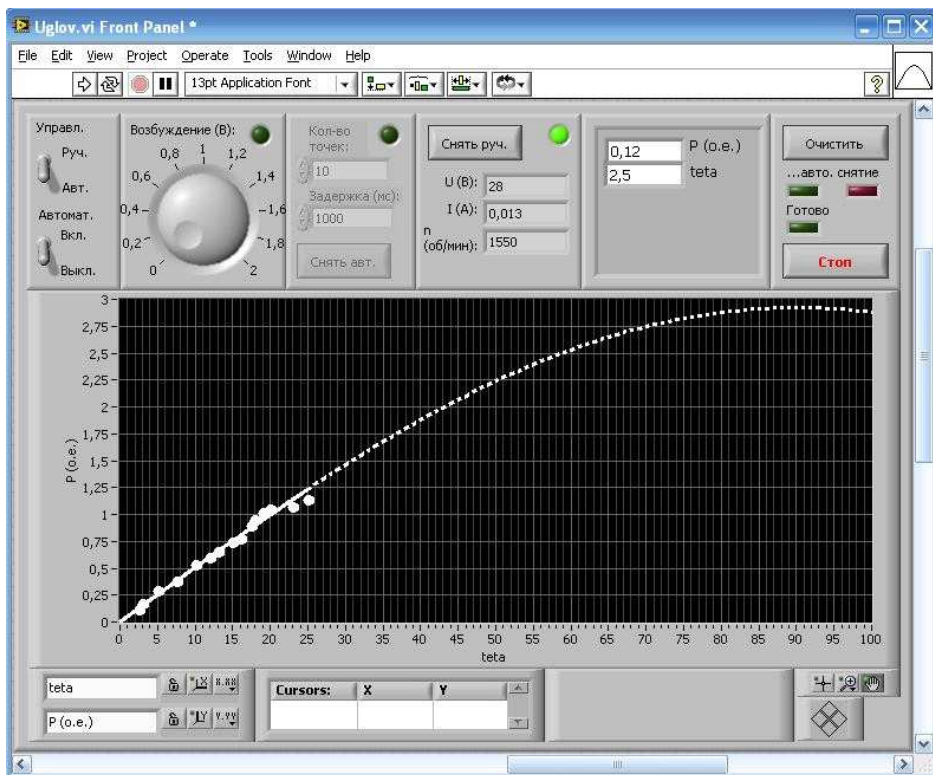


Рис. 2. Виртуальный прибор для снятия угловой характеристики синхронного генератора

Угловая характеристика получена в лаборатории электропривода кафедры электротехники и электромеханики на компьютеризированном стенде, где использован макет синхронного неявнополюсного

генератора мощностью 50 Вт. Активная мощность синхронного генератора в виртуальном приборе рассчитывается по формуле

$$P = \frac{m \cdot U \cdot I}{X_d} \sin \theta, \quad (3)$$

где P – активная мощность, Вт.

Точками на графике показана часть угловой характеристики, снятая в ручном режиме с использованием приборов класса точности 0,5; сплошной линией на графике показана часть угловой характеристики, снятая в автоматическом режиме; пунктирной линией на графике показана достроенная ветвь угловой характеристики.

Исследование аварийных режимов работы синхронного генератора по углу нагрузки было выполнено в приложении *Simulink* пакета *MatLab*. В процессе исследования были проведены эксперименты для синхронных машин мощностью от 100 кВт до 200 МВт в режимах: нормальном рабочем режиме при набросе нагрузки, в аварийных режимах однофазного и двухфазного коротких замыканий обмотки статора генератора.

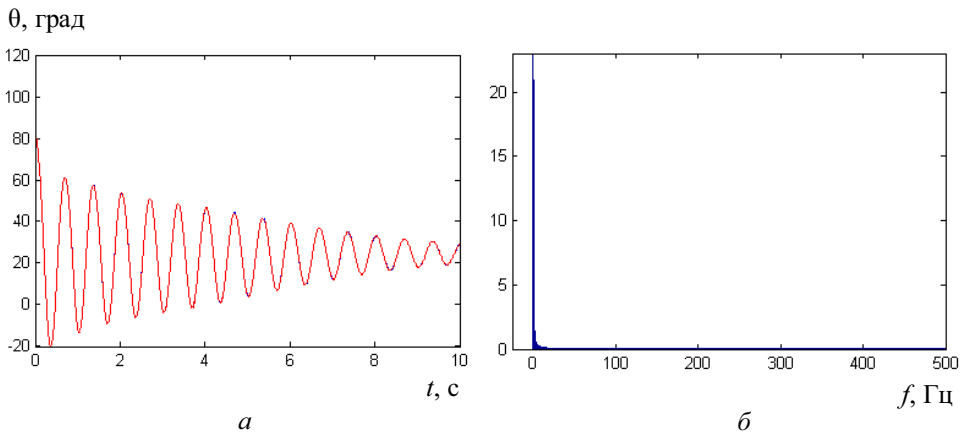


Рис. 3. Рабочий режим синхронного генератора при набросе нагрузки: изменение угла нагрузки a – во временной области; $б$ – в частотной области

В качестве примера на рис. 3–5 представлены графики изменения угла нагрузки во временной и частотной области для указанных выше режимов синхронного гидрогенератора мощностью 200 МВт. Анализ полученных зависимостей угла нагрузки во временной области

показал, что при однофазном и двухфазном коротком замыкании, если вовремя не срабатывает защита, синхронный генератор не выпадает из синхронизма, а продолжает работать в аварийном режиме. В частотной области появляются амплитуды с частотой $f = 2 \cdot f_{\text{сети}} \cdot n$, где $f_{\text{сети}}$ – частота сети 50 Гц, $n = 0, 1, 2, 3 \dots n_k$. Причем характер изменения угла нагрузки в частотной области не зависит от мощности машины. Это дает возможность идентифицировать неисправности по виду спектра.

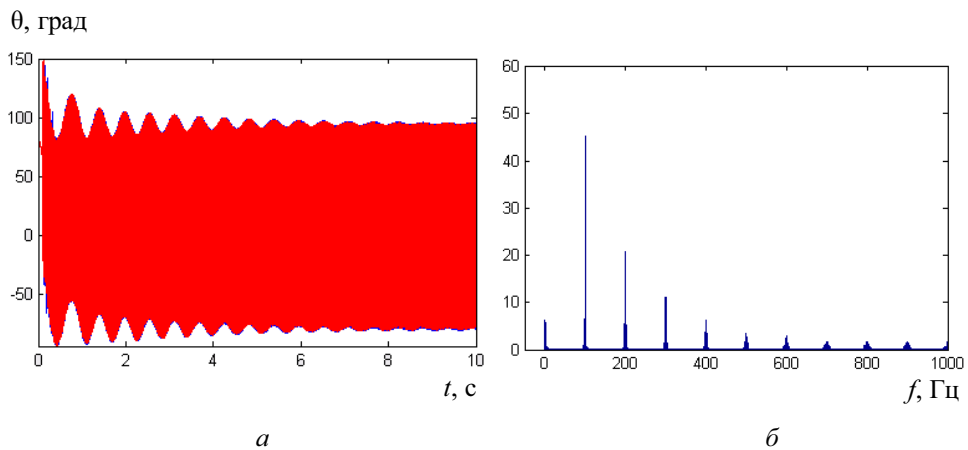


Рис. 4. Однофазное короткое замыкание обмотки статора: изменение угла нагрузки: *a* – во временной области; *б* – в частотной области

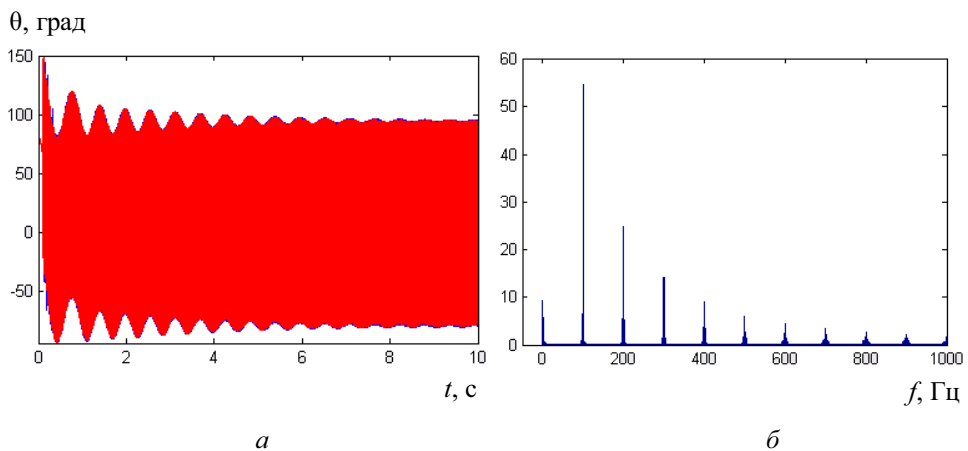


Рис. 5. Двухфазное короткое замыкание обмотки статора: изменение угла нагрузки: *a* – во временной области; *б* – в частотной области

Таким образом, на основании исследований виртуального прибора на лабораторном компьютеризированном стенде можно говорить о возможности его применения для работающих синхронных генераторов большой мощности, а мониторинг мгновенного значения величины угла нагрузки с использованием разработанного устройства позволяет фиксировать возникновение и характер аварийных режимов работы и выявлять неисправности синхронных генераторов.

Библиографический список

1. Максютов С.Г. Диагностирование теплового состояния крупных электродвигателей НПС магистральных трубопроводов // Магистральные и промышленные трубопроводы: проектирование, строительство, эксплуатация и ремонт: науч.-техн. сборник. – М., 2006. – № 2.

2. Любимов Э.В., Беляев Н.А. Устройство определения угловой характеристики синхронных двигателей // Нефтегазовое и горное дело: материалы Всерос. науч.-техн. конф. – Пермь, 2010.

Получено 06.09.2012