

УДК 621.865.8

МЕХАТРОННЫЙ КОМПЛЕКС ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.А. Шахнин

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых
Россия, 600000, Владимир, Горького ул., 87
E-mail: vshakhnin@rambler.ru

Ключевые слова: траекторные перемещения, интеграционная платформа, интерполятор, частичные разряды.

Аннотация: Сформулированы общие принципы построения мобильных средств диагностического мониторинга высоковольтных аппаратов электрических подстанций. Предложена обобщённая схема мехатронного комплекса дистанционного мониторинга по параметрам частичных разрядов в изоляции высоковольтных аппаратов. В качестве интеграционной платформы, объединяющей мехатронные компоненты в комплекс, выбрано управление на основе учёта текущих результатов мониторинга. Особое внимание уделено управлению перемещением сенсорного модуля с использованием модифицированного метода оценочной функции.

1. Введение

Положением ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» определено приоритетное применение методов дистанционного мониторинга высоковольтного оборудования электрических подстанций [1]. Физической основой группы методов, позволяющих выявлять дефекты изоляции высоковольтных аппаратов на ранних стадиях их развития, являются частичные разряды (ЧР) [2]. К числу наиболее важных диагностических признаков ЧР относится высокочастотное электромагнитное излучение, наличие которого открывает возможность дистанционного мониторинга. Для реализации этой возможности при сложной топологии пространственного размещения и многочисленности диагностируемых аппаратов на территории подстанций целесообразно применение мобильных мехатронных комплексов диагностического мониторинга (МКДМ). Эти устройства позволяют автоматизировать мониторинг и уменьшить продолжительность присутствия человека в опасных зонах электрических подстанций.

2. Состав и взаимосвязи МКДМ

Состав, функциональные и информационные взаимосвязи компонентов МКДМ определяются особенностями объектов мониторинга, видами изоляции и типом выявляемых в ней дефектов. Тем не менее наиболее важные принципы, определяющие структуру МКДМ, являются общими для мехатронных диагностических комплексов различного назначения. По-нашему мнению, к ним можно отнести следующее:

- наличие общей интеграционной платформы, т.е. общего подхода к управлению мехатронными модулями, обеспечивающего их синергетическое объединение в единый комплекс;
- минимизация числа ступеней преобразования энергии и информации при объединении модулей в комплекс;
- обеспечение возможности встраивания МКДМ в системы более высокого уровня.

К наиболее важным функциям системы управления МКДМ относятся выбор и коррекция математической модели мониторинга; формирование и коррекция траектории перемещения для манипуляционно-исполнительных компонентов комплекса; выбор и коррекция режима изменения напряжённости электрического поля; реализация алгоритма измерений и обработки их результатов. МКДМ может работать как автономно, так и в составе автоматизированной системы диспетчерского управления и мониторинга электрической сети. Эта система является централизованной территориально распределенной многоуровневой информационно-измерительной системой реального времени, предназначенной для контроля, управления технологическими процессами и мониторинга состояния оборудования электрических сетей.

Примером реализации мехатронного комплекса на основе вышеизложенных принципов может служить МКДМ «ЭЛЕКТРО», разработанный в Инжиниринговом центре Владимирского государственного университета. Комплекс предназначен для дистанционного отслеживания изменений концентрации растворенных газов в масле главной изоляции силовых трансформаторов методом частичных разрядов. В качестве интеграционной платформы комплекса выбрано управление на основе учёта текущих результатов мониторинга. Этот подход используется для корректировки алгоритмов обработки сигналов, законов изменения напряжённости электрического поля и траекторий перемещения сенсорного модуля. Регистрация электромагнитных сигналов ЧР осуществляется сенсорным модулем с антенной марки «AES» компании *HVPD (High Voltage Partial Discharge Ltd)*. Антенна регистрирует высокочастотные импульсы, вызванные ЧР, в диапазоне частот от 500 до 1000 МГц. Манипуляционно-исполнительный модуль перемещения антенны оснащен высокомоментными бесколлекторными двигателями постоянного тока с полым ротором компании *Faulhaber*. В качестве преобразователей движения применены планетарные редукторы и шарико-винтовые передачи *HIWIN* с вращающимся винтом.

3. Интерполятор перемещений антенны МКДМ

Актуатор модуля траекторных перемещений антенны реализует модифицированный метод оценочной функции [3] имеет ортогональную кинематическую схему и осуществляет перемещения антенны в горизонтальном и вертикальном направлениях X и Y по траектории S . Математической моделью перемещения являются уравнения, связывающие координаты контрольной точки антенны и компоненты её скорости по направлению осей v_x и v_y . В МКДМ «ЭЛЕКТРО» эта модель для $v_x(t_0) = v_y(t_0) = v_0 = const$ реализуется интерполятором траекторных перемещений по схеме, представленной на рис. 1.

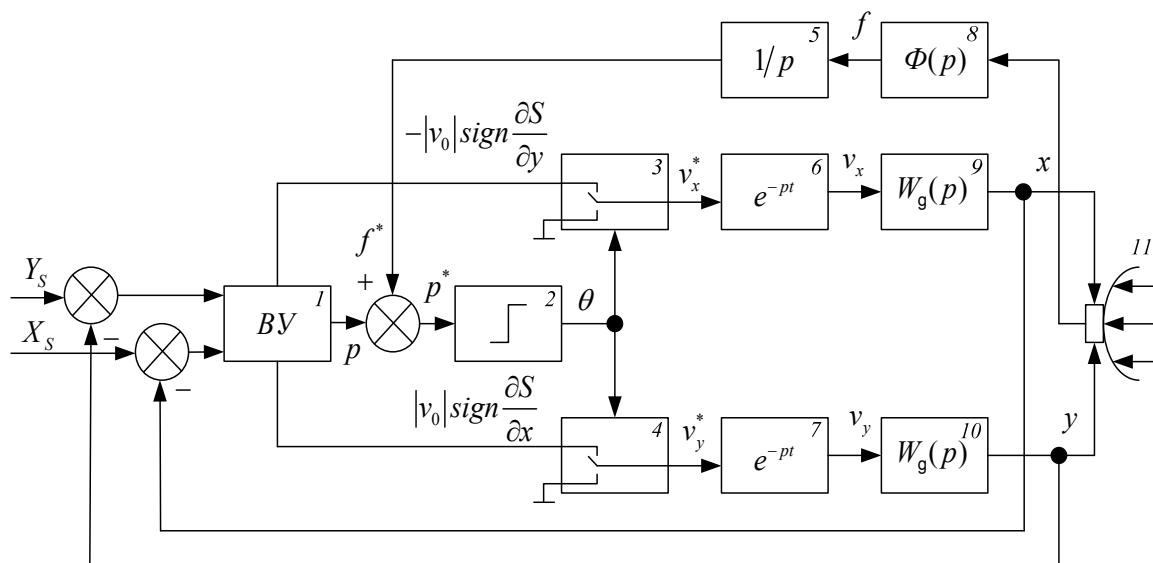


Рис. 1. Интерполятор траекторных перемещений

К основным компонентами интерполятора относятся: вычислительное устройство (1); логическое переключающее устройство (ЛПУ), выполненное на одном релейном элементе (2) и двух переключающих элементах (3, 4); интегратор (5); звенья чистого запаздывания (6, 7); вторичный преобразователь ЧР (8), а также электроприводы (9, 10) и первичный преобразователь ЧР, роль которого выполняет направленная антенна (11). На рис. 2 представлены осциллограммы входного $u(t)$ и выходного сигналов $f(t)$ вторичного преобразователя, а также корректирующего сигнала $f^*(t)$ для двух различных значений интенсивности ЧР в диагностируемом аппарате.

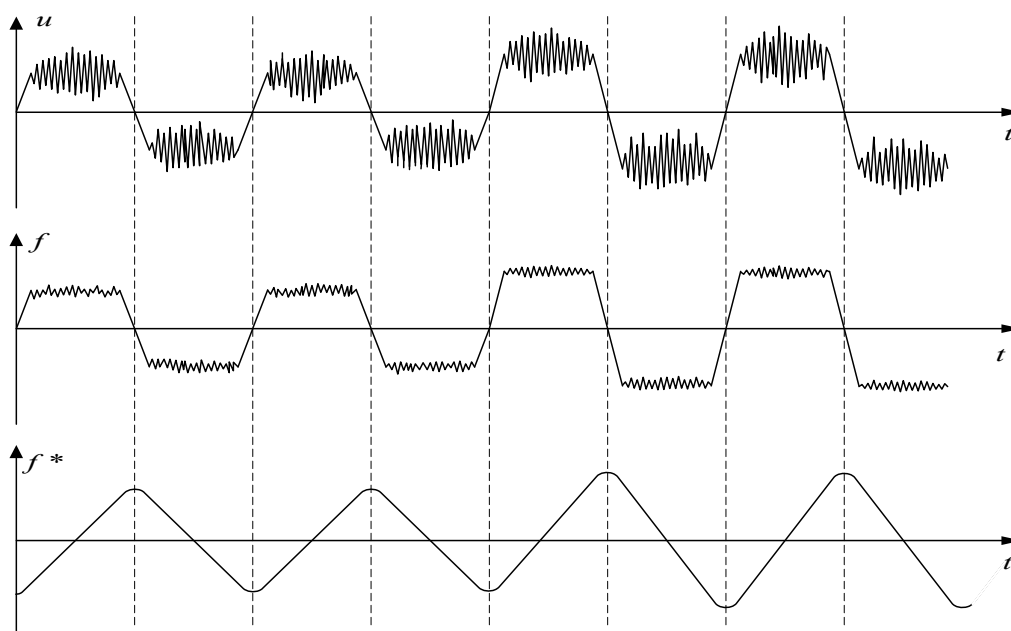


Рис. 2. Осциллограммы зашумлённого сигнала на входе вторичного преобразователя $u(t)$, сигнала на выходе вторичного преобразователя $f(t)$ и сигнала на выходе интегратора $f^*(t)$.

На релейный элемент ЛПУ поступает сигнал

$$p^*(t) = p(t) + f^*(t), \text{ где } p(t) = S \operatorname{sign} \frac{\partial S}{\partial y} \frac{\partial S}{\partial x}.$$

Система уравнений, описывающая интерполятор, имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} v_x(t) &= v_x^*(t - \tau); v_y(t) = v_y^*(t - \tau); \\ v_x^* &= F_x(\theta) = \begin{cases} -v_0 \operatorname{sign} \left(\frac{\partial S}{\partial y} \right), & \text{если } \theta = 1; \\ 0, & \text{если } \theta = -1 \end{cases}; \\ v_y^* &= F_y(\theta) = \begin{cases} -v_0 \operatorname{sign} \left(\frac{\partial S}{\partial x} \right), & \text{если } \theta = -1; \\ 0, & \text{если } \theta = 1 \end{cases}; \\ \theta &= F(p^*) = \begin{cases} 1, & \text{если } p > 0 \\ -1, & \text{если } p < 0 \end{cases}; \quad p = S \operatorname{sign} \frac{\partial S}{\partial y} \frac{\partial S}{\partial x}. \end{aligned}$$

Осциллограммы входных сигналов сумматора $p(t)$ и $f^*(t)$, его выходного сигнала $p^*(t)$, а также сигналов на выходе ЛПУ v_x^* и v_y^* представлены на рис. 3.

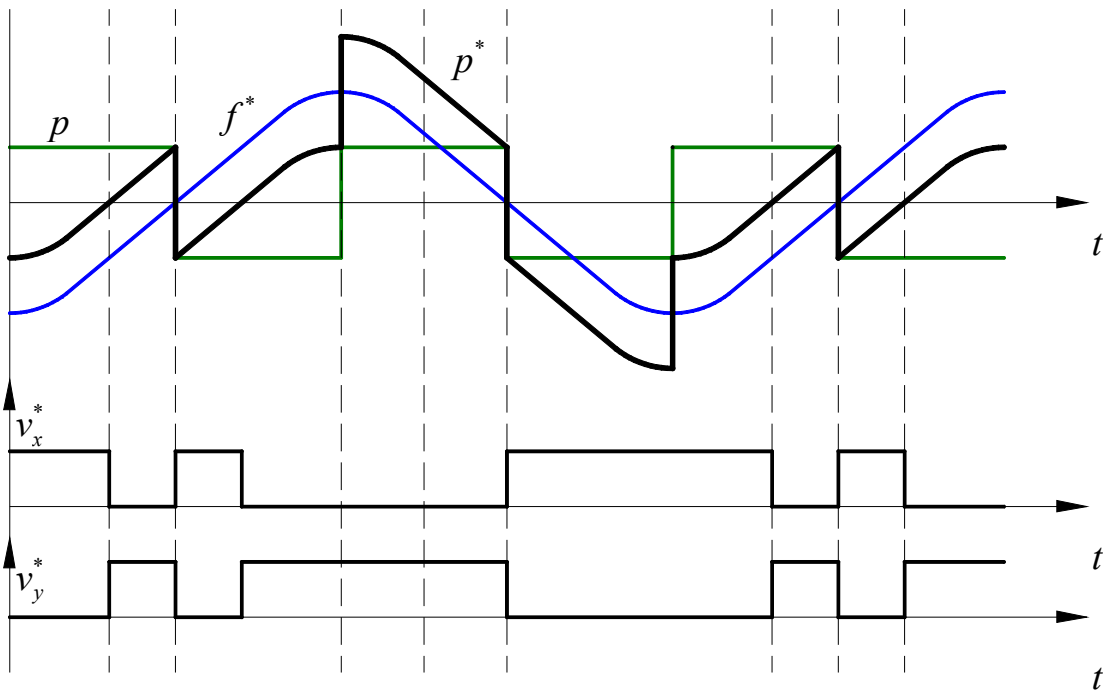


Рис. 4. Осциллограммы входных сигналов сумматора.

Осциллограммы иллюстрируют наличие зависимости параметров импульсных сигналов v_x^* и v_y^* (моментов начала формирования и длительности) от воздействия $f^*(t)$. Импульсные сигналы являются управляющими для электроприводов вертикального и горизонтального перемещения антенны, а амплитуда пилообразного сигнала $f^*(t)$ определяется интенсивностью ЧР (рис. 3). Это является главной особенностью алгоритма управления перемещением сенсорного модуля МКДМ, которая обеспечивает корректировку траектории перемещения антенны в соответствии с интенсивностью ЧР в диагностируемом высоковольтном аппарате.

4. Заключение

Рассмотренный способ адаптации параметров движения антенны реализован системой управления МКДМ «ЭЛЕКТРО» на базе микроконтроллеров *SC 1801*. Переме-

щение антенны осуществляются по шариковым рельсовым направляющим в диапазонах $3 \cdot 10^3$ мм по горизонтали и $5 \cdot 10^3$ мм в вертикальном направлении. Точность позиционирования определялась лазерным интерферометром *XL-80* (Великобритания) для 15 положений антенны. Получены следующие результаты: точность двухстороннего позиционирования - 640 мкм; повторяемость двухстороннего позиционирования - 410 мкм; средняя зона нечувствительности – 32 мкм. Анализ показал, что достигнутая точность позиционирования обеспечивает возможность мониторинга при нахождении антенны на расстоянии до 50 м от диагностируемого аппарата. В этой зоне напряжённости электрического и магнитного полей, даже на ОРУ-750 кВ, не превышают значений 1 кВ/м и 8 А/м, соответственно, т.е. безопасны для оператора [4].

Список литературы

1. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» ОАО (раздел 11. *Техническое диагностирование и мониторинг электросетевого оборудования*): [утверждено Советом директоров ПАО «Россети» 22.02.2017] <http://www.rosseti.ru/investment/science/tech/doc/tehpolit/>
2. Вдовико В.П. Частичные разряды в диагностике высоковольтного оборудования. Новосибирск: Наука, 2007. 356 с.
3. Шахнин В.А., Моногаров О.И., Чебрякова Ю.С. Управление движением мехатронного комплекса электрошумовой диагностики высоковольтного оборудования // Мехатроника, автоматизация, управление. 2013. № 8. С. 47-50.
4. Электромагнитные поля в производственных условиях. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы 2.2.4.1191-03. М.: Минздрав России, 2003. 38 с.