



ЭКСПЛУАТАЦИЯ, МОНТАЖ И НАЛАДКА

Система непрерывного контроля сопротивления изоляции электротехнических изделий в процессе их термической сушки

Цытович Л. И., доктор техн. наук, Рахматулин Р. М., инж., Брылина О. Г.,
Дудкин М. М., кандидаты техн. наук

Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск

Мыльников А. Ю., Тюгаев В. А., Тюгаев А. В., инженеры

ОАО «Челябинский трубопрокатный завод»

Рассмотрена система многозонного регулирования температуры и непрерывного контроля сопротивления изоляции электротехнических изделий в процессе их термической обработки. Показаны функциональные схемы установки и преобразователя значения сопротивления в частоту импульсов. Приведены временные диаграммы сигналов и результаты экспериментальных исследований в сушильной камере электроцеха ОАО «Челябинский трубопрокатный завод».

Ключевые слова: регулятор температуры, многозонная модуляция, регулятор переменного напряжения, интегратор, релейный элемент, амплитудно-частотно-широотно-импульсная модуляция, преобразователь значения сопротивления в частоту импульсов, электротехническое изделие.

Одной из наиболее распространенных и экономически доступных для большинства промышленных предприятий технологических операций при изготовлении и ремонте электротехнических изделий (дросселей, трансформаторов, электродвигателей и т.д.) является их термическая сушка с целью повышения электрической прочности обмоток и других токоведущих частей. Технология подобных работ требует не только строгого соблюдения температурных режимов сушильных камер, но и непрерывного контроля сопротивления изоляции обмоток изделия в процессе его термообработки, иногда исчисляемого сотнями мегаом, что вызывает определенные технические трудности.

Ниже рассматривается автоматизированная система управления режимами работы сушильной камеры 120ЕК-2 электроцеха ОАО «Челябинский трубопрокатный завод» (рис. 1, а), разработанная совместно с кафедрой электропривода Южно-Уральского государственного университета (НИУ). В ее состав входят непосредственно сушильная камера СК с боксом для размещения электротехнического изделия (в частности, как показано на рисунке, — трансформатора) и датчика температуры Dt , теплоэлектронагреватели $TЭН$,

управляющая ЭВМ с периферийными устройствами ПУ ввода/вывода данных, силовой регулятор переменного напряжения РН с блоком силовых тиристоров БСТ и многозонным регулятором МР [1], преобразователь значения сопротивления в частоту импульсов ПСЧ и синхронизированный с ЭВМ мультиплексор МХ, предназначенный для подключения входа ПСЧ к контролируемым цепям изделия, подвергаемого сушке. ЭВМ осуществляет функции ПИД-регулятора системы, корректора циклограммы процесса сушки изделия в функции значения сопротивления изоляции его токоведущих цепей, диагностику работоспособности Dt , $TЭН$ и $РН$, а также аварийное отключение объекта при возникновении катастрофических отказов функциональных блоков.

Принцип действия РН с МР подробно описан в [1, 2], поэтому рассмотрим лишь базовые моменты его функционирования. Регулятор РН [2] состоит из МР, устройства синхронизации УС регулятора напряжения с сетью, блока БСТ, в котором каждая фаза напряжения сети содержит три идентичных ключа $K1 - K3$ переменного тока с термонагревателями $TЭН1 - TЭН3$ (рис. 1, б). Ключ $K1$ работает в режиме частотно-широотно-им-

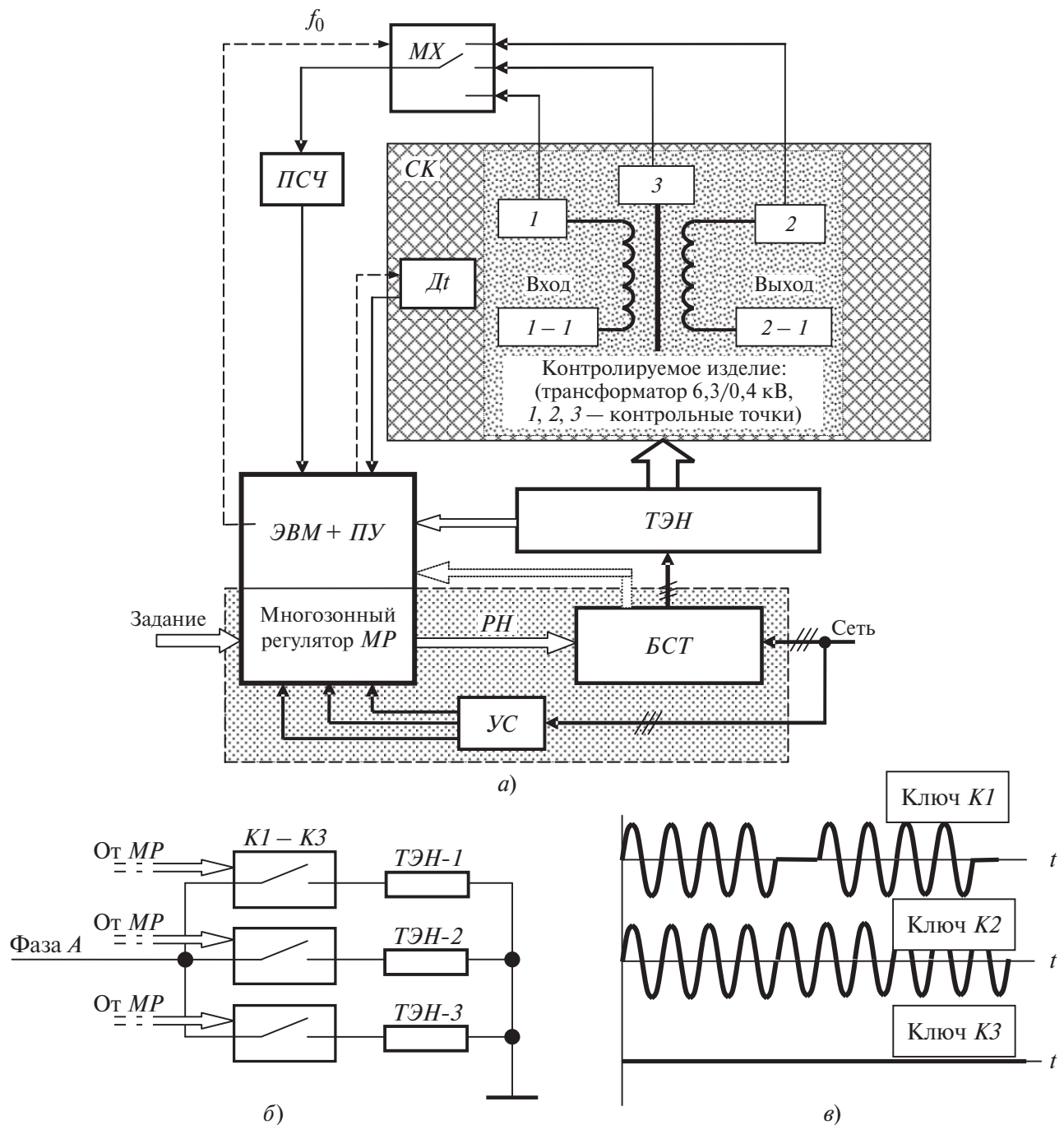


Рис. 1. Функциональные схемы системы управления температурными режимами работы сушильной камеры 120ЕК-2 (а) и силовых ключей переменного тока фазы А тиристорного регулятора напряжения (б), а также временные диаграммы их работы (в)

пульсной модуляции (рис. 1, в), формируя на нагрузке “пакет” синусоидального напряжения с целым числом периодов. Относительная продолжительность включенного состояния $K1$ определяется значением сигнала задания. Ключи $K2, K3$ работают в статическом состоянии “включено” или “отключено”, что также зависит от значения сигнала задания. Включение или отключение $K1, K2, K3$ во всех фазах происходит в моменты перехода синусоидального напряжения сети через нуль.

Для повышения помехоустойчивости PH используется $УС$ с интегрирующим алгоритмом формирования сигнала синхронизации [3, 4], что практически исключает вероятность сбоя в работе $УС$ при наличии перенапряжений и коммутационных искажений напряжения сети, проявляющих себя в системах с источником энергоснабжения ограниченной мощности.

Режим частотно-широотно-импульсной модуляции, примененный в PH , обеспечивает

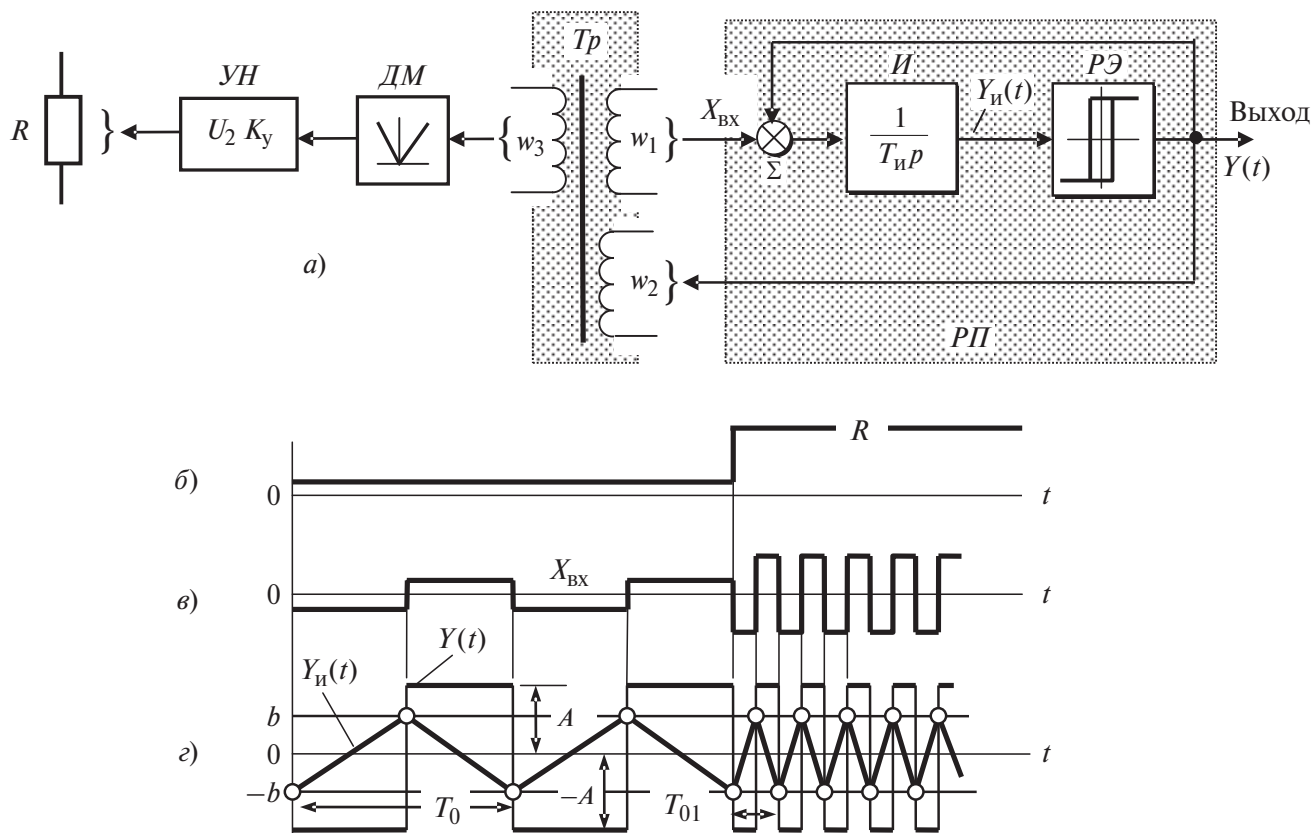


Рис. 2. Структурная схема (а) и временные диаграммы (б – в) сигналов преобразователя значения сопротивления в частоту импульсов

широкий диапазон регулирования и повышенную точность работы системы управления в целом [5]. В частности, уровень пульсаций температуры по объему СК снижается практически в 3 раза. На практике собственная частота несущих колебаний MP выбирается в пределах от долей до единиц герц.

$ПСЧ$ (рис. 2, а), с помощью которого контролируется сопротивление R изоляции электротехнического изделия, выполнен на базе развертывающего преобразователя PP , включающего в себя сумматор Σ , интегратор I , релейный элемент $PЭ$ с порогами переключения $\pm b$, а также разделительный трехобмоточный трансформатор Tr , демодулятор DM и умножитель напряжения $УН$ с коэффициентом умножения K_y .

PP выполняет одновременно функции генератора несущей частоты и преобразователя значения R в частоту импульсов. Его подключение к различным точкам контроля изоляции (например, первичная обмотка – корпус, вторичная обмотка – корпус или первичная обмотка – вторичная обмотка) осуществляется с помощью мультиплексора $МХ$ (см. рис. 1, а), синхронизированного с тактовой частотой f_0 ЭВМ. Сигнал с выхода $PЭ$ преобразователя

(рис. 2, в) подается на обмотку w_2 и трансформируется как в контролируемое с помощью $ПСЧ$ электротехническое изделие, так и на вход PP . Демодулятором DM импульсы с выхода обмотки w_3 выпрямляются, а значение выпрямленного напряжения увеличивается в K_y раз.

При малом значении сопротивления R (рис. 2, б) трансформатор Tr нагружается со стороны обмотки w_3 , что приводит к уменьшению амплитуды импульсов, поступающих на вход PP с выхода обмотки w_1 (рис. 2, в). Выходные сигналы $PЭ$ и w_1 синфазны (рис. 2, в, г), поэтому по мере роста значения R (рис. 2, б) происходит увеличение амплитуды сигнала на выходе w_1 (рис. 2, в) и частоты выходных импульсов PP (рис. 2, г).

В ходе технологического процесса сушки через заранее заданный интервал опроса экспериментально фиксируются и заносятся в память ЭВМ частота $f_{вх}$ выходных импульсов $ПСЧ$ и соответствующее ей значение сопротивления R изоляции обмоток трансформатора. Контрольные измерения проводятся между точками 1–2, 1–3 и 2–3 (см. рис. 1, а). При этом вторые выводы 1–1 и

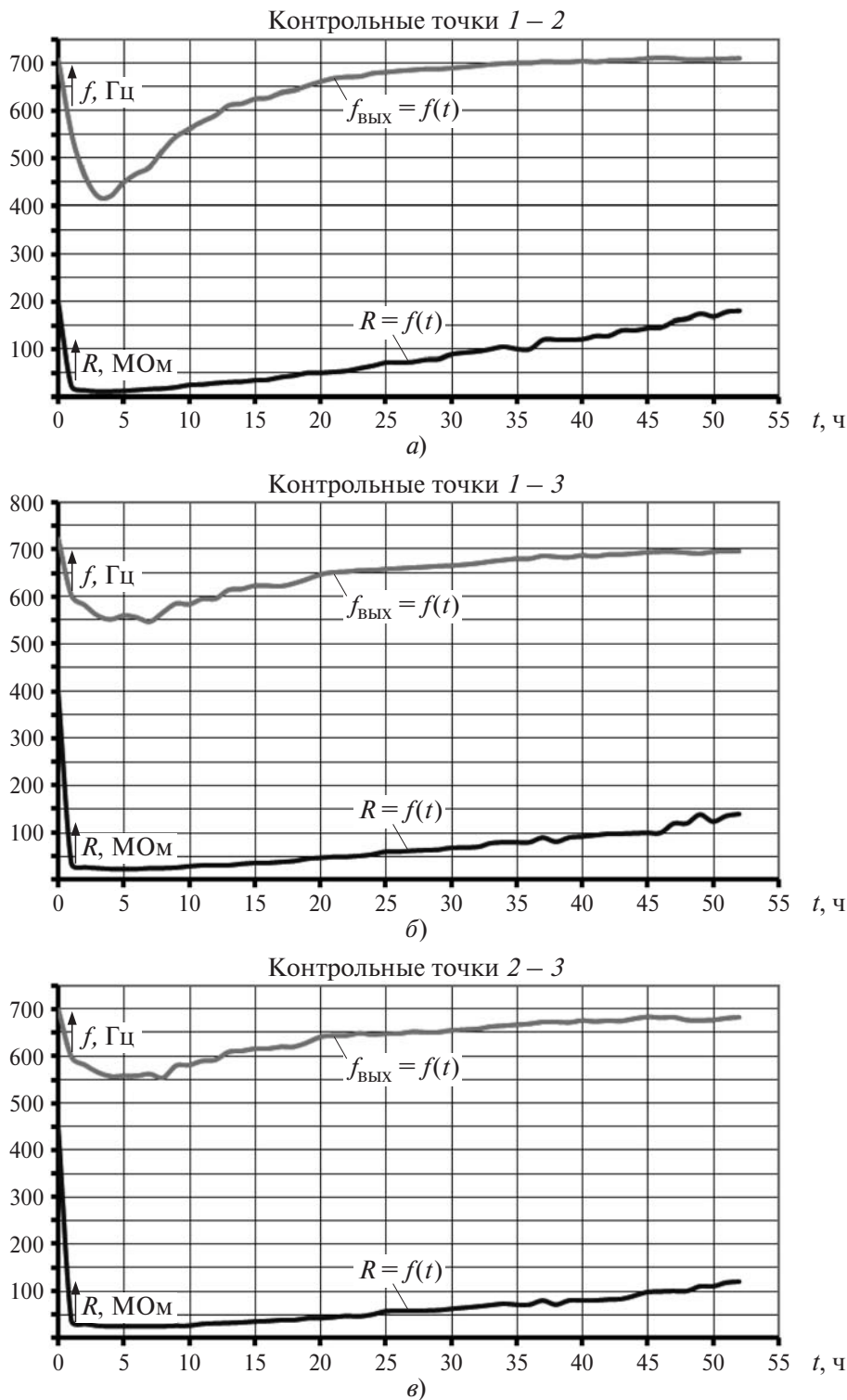


Рис. 3. Графики зависимостей $f_{\text{вых}} = f(t)$ и $R = f(t)$ для различных контрольных точек испытываемого трансформатора (а – в)

2 – 1 обмоток на первичной и вторичной сторонах трансформатора закорачиваются.

В качестве примера на рис. 3, а приведены экспериментальные характеристики $f_{\text{вых}} = f(t)$ и $R = f(t)$ для контрольных точек 1 – 2 трансформатора ТМЗ 630/10/6,3/0,4 кВ. “Провал” этих характеристик на начальной стадии сушки объясняется эффектом вытесне-

ния влаги из трансформатора под действием температуры. Аналогичный вид имеют характеристики, соответствующие точкам 1 – 3 и 2 – 3 (рис. 3, б и в).

Диапазон контролируемых значений сопротивлений ПСЧ находится в пределах от 200 кОм до 1 ГОм. Результирующая ошибка ПСЧ складывается из временной и темпера-

турной погрешностей. Временная ошибка зависит, как показала практика, от электромагнитной обстановки на объекте и носит нестационарный во времени характер. Так, для диапазона 200 – 500 МОм ее максимальное зафиксированное значение составляет $\pm 10\%$, для значений более 500 МОм – 14% , в области менее 200 МОм – не превышает $\pm 7\%$. Подобный разброс значений временной погрешности измерений объясняется тем, что по мере увеличения R уменьшается значение тока, подаваемого в контролируемую цепь от ПСЧ, что влечет за собой рост соотношения помеха/сигнал. Соответственно усиливается влияние на измерительный процесс внешних электромагнитных наводок от силовых энергоустановок цеха.

Температурная погрешность ПСЧ определялась в лабораторных условиях при отсутствии внешних электромагнитных полей. Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что в данном случае ее значение, находящееся на уровне $\pm 2\%$, пренебрежимо мало.

Интервал между тактами опроса контролируемых точек электротехнического изделия, подобранный экспериментальным путем, составил 20 мин. Увеличивать частоту сбора данных, как показала практика, нецелесообразно ввиду инфранизкочастотного характера процессов в сушильной камере, так как при фиксации избыточного числа близких друг другу значений параметров контролируемого изделия это приведет к нерациональному использованию памяти ЭВМ.

Введение системы непрерывного контроля сопротивления изоляции по сравнению с технологией ручного замера (как правило, присутствующей на объектах аналогичного функционального назначения) позволяет су-

щественно снизить влияние на технологический процесс человеческого фактора. В частности, из-за отсутствия объективных данных о состоянии изоляции электротехнического изделия обслуживающий персонал зачастую специально увеличивает время сушки с целью создания определенного запаса прочности и гарантий качества проведения работ, а это непосредственно влечет за собой рост затрат на электроэнергию.

Проведенный службой главного энергетика ОАО «ЧТПЗ» анализ показал, что применение рассмотренной системы контроля изоляции позволило оптимизировать время сушки электротехнических изделий и сократить затраты на электроэнергию для сушильной камеры на 15 – 20 %, причем, как подтвердили последующие контрольные стендовые электротехнические испытания, без ущерба для качества работ.

Список литературы

1. А.с. 1336039 СССР, G06G7/12. Многозонный разветвляющий преобразователь / Л. И. Цытович. — Оpubл. в бюл., 1987, № 25.
2. Пат. 2408969 РФ, МПК H02M 5/293. Многозонный частотно-широко-импульсный регулятор переменного напряжения / Л. И. Цытович, О. Г. Брылина, М. М. Дудкин, А. В. Качалов. — Оpubл. в бюл., 2011, № 1.
3. Пат. RU 2400910 РФ, МПК⁷ H 02 M 1/08. Устройство синхронизации / Л. И. Цытович, М. М. Дудкин, А. В. Качалов, Р. М. Рахматулин. — Оpubл. в бюл., 2010, № 27.
4. Качалов А. В. Интегрирующие устройства синхронизации для систем импульсно-фазового управления вентиляционными преобразователями / А. В. Качалов, Л. И. Цытович, М. М. Дудкин. — Практическая силовая электроника, 2010, № 1 (37).
5. Гельман М. В., Лохов С. П. Тиристорные регуляторы переменного напряжения. — М: Энергия, 1975.

teolge@mail.ru