

Обзор базовых методов и средств диагностирования электрооборудования сельскохозяйственного назначения.

Савченко П.И., ХГТУСХ, Уваров А.В., ВТХГТУСХ

The paper provides analysis of fundamental diagnostic of agriculture electrical equipment

Как показывает опыт обслуживания электроустановок, диагностирование основных видов электрооборудования в сельском хозяйстве ведется, как правило, с большими затратами времени и с остановкой технологического процесса, что связано с дополнительными убытками. Однако отказываться от диагностирования "жизненно важных" элементов электроустановок нельзя, поскольку убытки от аварий часто превышают стоимость всей электроустановки. Для малых предприятий данная проблема приобретает особую актуальность.

Основное назначение технологической диагностики состоит в повышении эксплуатационной надежности объектов. Повышение надежности обеспечивается улучшением таких показателей, как коэффициент готовности, коэффициент технического использования, времени восстановления работоспособности, наработки на отказ, а также ресурса или срока службы. Кроме того, диагностическое обеспечение разрешает получать достоверную информацию о функционировании объектов.

Любой технический объект после проектирования проходит две основных стадии - изготовление и эксплуатацию. Для стадии эксплуатации типичными являются этапы применения объекта по назначению, профилактики (плановой, перед и после применения по назначению), ремонта и сохранения объекта.

Требования, которым должен удовлетворять объект, определяются соответствующей нормативно-технической документацией. Объект, который удовлетворяет всем требованиям нормативно-технической документации, является исправным или, другими словами, находится в исправном состоянии. Неисправное и неработоспособное техническое состояние, а также техническое состояние при неправильном функционировании объекта, может быть детализировано путем поиска соответствующих дефектов, которые нарушают исправность, работоспособность или правильность функционирования. Выявление и поиск неисправностей состоит в определении технического состояния объекта и объединяется общим сроком "диагностирования" или "контроля", диагноз является результатом диагностирования[1].

Диагностирование технического состояния объекта осуществляется средствами диагностирования. Средства и объекты диагностирования взаимодействуют между собой и образуют систему диагностирования. Система диагностирование - это совокупность объекта, способов и средств диагностирования. По назначению и типом решаемой задачи их условно разделяют на профилактические, дифференцированные, функциональные и прогнозирующие.

Различают системы тестового и функционального диагностирования. В системах тестового диагностирования на объект подаются специально организованные тестовые действия. В системах функционального диагностирования, которые работают в условиях эксплуатации объекта, подача тестовых действий, как правило, исключается; на объект подаются только рабочие действия, предусмотренные алгоритмом его функционирования. В системах обеих видов средства диагностирования воспринимают и анализируют ответы объекта на входные (тестовые или рабочие) действия и выдают результат диагностирования, то есть ставят диагноз: объект исправный или неисправный, работоспособный или неработоспособный, функционирует правильно или неправильно, имеет какой-то дефект или в объекте повреждена какая-то его составная часть и т.п. [4].

Профилактическая система диагностирования предназначена для выявления в процессе эксплуатации дефектных деталей и элементов, которые выработали свой ресурс, то есть тех элементов объекта, параметры которых близки к критически допустимым значениям (плановые профилактические испытания).

Дифференцированные системы диагностирования предназначены для выявления отдельных неисправностей при плановом техническом обслуживании и ремонте электрооборудования. По полученным результатам уточняют вид необходимого ремонта (текущий или капитальный) и состав его операций. Дифференцированное диагностирование проводят с помощью приборов общего и специального назначения, а также при помощи таблиц неисправностей, которые представлены в справочной литературе или в техническом описании конкретного электрооборудования.

Функциональные системы диагностирования предназначены для оценки качества функционирования и работоспособности путем определения комплекса эксплуатационных параметров при контрольных, типовых или специальных испытаниях и сравнение их с номинальными или нормированными значениями.

Прогнозирующие системы диагностирования позволяют предусмотреть состояние изделия и определить вероятность момента появления отказа. Для этого оценивают остаточный ресурс элементов на основе информации о закономерности изменения параметров в период, который предшествует прогнозу. При эксплуатации электрооборудования создание прогнозирующих систем диагностирование связано с определенными методологическими трудностями, которые обусловлены сложностью процессов старения и изнашивание электрооборудование.

Одним из главных направлений дальнейшего совершенствования технической эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве является более широкое внедрение систем диагностирования. Профилактическая система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий (ППРЭСХ) [2] предусматривает для отдельных видов электрооборудования контроль с целью прогнозирования его состояния на протяжении срока до следующего технического обслуживания.

Система диагностирования в процессе определения технического состояния объекта реализует некоторый алгоритм. Он в общем случае состоит из определенной совокупности так называемых элементарных проверок объекта, а также правил, которые устанавливают последовательность элементарных проверок и правил анализа их результатов. Результатом элементарной проверки является конкретное значение соответствующих сигналов объекта в соответствующих контрольных точках. Диагноз (окончательный вывод о техническом состоянии объекта) ставится в общем случае по совокупности полученных результатов экспериментальных проверок.

При разработке систем диагностирования должны решаться следующие задачи: определение объекта, его возможных дефектов и признаков их проявления, выбор или построение математического описания (модели) поведения исправного объекта и его неисправных модификаций, анализ математической модели с целью получения системного алгоритма диагностирования, внесение при необходимости изменений в структуру и конструкцию объекта для обеспечения нужных условий диагностирования, анализ и расчет характеристик системы диагностирования в целом [4].

Системы тестового диагностирования являются системами управления, поскольку в них реализуются специально организованные тесты, то есть управляющие воздействия на объект с целью определения его технического состояния. Система функционального диагностирования является типовой системой контроля, которая не требует подачи на объект специальных воздействий.

Необходимость роста производительности труда при операциях диагностирования, сокращение времени выявления, поиска и устранения неисправностей, вызывает интерес к разработке методов построения оптимальных алгоритмов, которые требуют минимальных затрат на их реализацию. Эффективность процесса диагностирования определяется не только качеством алгоритма диагностирования, но и качеством средств диагностирования. Наличие объективных статистических данных о вероятности возникновения дефектов, о средних затратах на выявление, поиск и устранение дефекта, расширяет возможности эффективной организации процессов диагностирования.

Оценивая область, охваченную технической диагностикой, можно выделить два типа задач по определению технического состояния объектов. К первому типу относятся задачи определения технического состояния, в котором находится объект в данный момент времени. Это - задача диагностирования. Задача второго типа - предсказание технического состояния, в котором окажется объект в некоторый следующий момент времени. Это - задача прогнозирования. К задачам прогнозирования относятся, например, задачи, связанные с определением срока службы объекта или с назначением периода его профилактических проверок и ремонтов. Эти задачи решают путем определения возможных или возможных эволюций состояния объекта, которые начинаются в данный момент времени [4]. Решение задач прогнозирования очень важно для организации технического обслуживания объектов по состоянию (взамен обслуживания по сроками эксплуатации или по ресурсу).

По режиму работы методы диагностирования можно разделить на постоянно действующие (беспрерывные), периодического действия и одноразовые. Постоянно действующие методы характеризуются постоянным контролем выбранных в процессе работы объектов; этими методами выполняется только функциональное диагностирование. Периодически действующие методы предусматривают строгого соблюдения периодичности контроля рабочих параметров при функциональном или тестовом диагностировании. Одноразовые методы используются только как вспомогательные для получения дополнительной информации к результатам постоянного и периодического контроля [4].

Существующая сегодня ориентация на систему ППРЭСх в вопросе диагностирования электрооборудования не может в полной мере обеспечить своевременное выявление дефектов, что обусловлено в основном причинами экономического характера.

Известные в настоящее время методы диагностирования разработаны с учетом особенностей эксплуатации конкретных видов электрооборудования и предусматривают применение традиционного арсенала диагностических средств.

На практике наблюдается сравнительно высокий процент выхода из строя асинхронных двигателей из-за специфических условий и режимов работы, которые не были учтены при проектировании. В отдельных хозяйствах ежегодно приходится заменять 20—25% электродвигателей [1].

Исследования показывают, что 80% вышедших из строя электродвигателей имеют причиной тому повреждения изоляции [3]. Чаще всего это проявляется в виде межвитковых замыканий. Предпосылками возникновения данного дефекта являются причины технологического характера (использование при сборке обмоток металлического инструмента [1], растяжение проводов при изготовлении катушечных групп, дефекты изоляции проводов, некачественная пропитка обмоток), а также эксплуатационные воздействия (пусковые токи, перегрузки по току, перегрев обмоток, повышенный нагрев стали, повышенная вибрация корпуса, повышенная влажность и агрессивность окружающей среды)[2].

Для оценки состояния обмоток электродвигателей на сегодня разработано несколько методов и средств их реализации. Перспективным является метод спектрального анализа тока и напряжения работающего двигателя при помощи персональной ЭВМ, который позволяет сделать вывод о состоянии обмотки после сравнения реального спектра с эталонным. Внедрить этот метод в практику диагностических служб сельскохозяйственных предприятий сейчас невозможно из-за высокой стоимости оборудования, неподготовленности персонала, непригодности помещений. Для измерения сопротивления обмоток электрических машин и аппаратов постоянному току рекомендованы омметры, измерительные мосты, метод вольтметра – амперметра.

Статистика показывает, что чаще для этой цели на практике применяют стрелочные комбинированные приборы (тестеры), простейшие пробники, недорогие малогабаритные мультиметры. Преимущественно эти приборы используются персоналом для проверки электрических цепей на обрыв. Это является предпосылкой для разработки простых и надежных пробников, недорогих и легко повторяемых в условиях хозяйств.

Иногда используются вибрационные способы диагностики, суть которых в измерении величины вибрации с помощью чувствительных датчиков. Вибрация в местах с плохим креплением обмоток или с дефектами изоляции будет повышенной [1]. Недостаток этих методов – необходимость использования вибрационных датчиков с сопутствующими измерительными приборами, что резко ограничивает возможность применения в условиях сельскохозяйственного производства. Как альтернативу можно рассматривать анализ шумовых характеристик электродвигателя, когда дефект может быть выявлен в процессе сравнения реального шумового спектра с эталонным. В качестве основы для датчика можно использовать доступный сегодня электрретный микрофон, а затем исследовать шумовые характеристики с помощью программного анализатора спектра на персональной ЭВМ. В принципе возможны два реализуемых варианта: анализ спектра напрямую от работающего двигателя и анализ предварительно записанной фонограммы.

Известен метод прогноза остаточного ресурса изоляции [1]. При каждом плановом техническом осмотре измеряют сопротивление изоляции, результаты измерений регистрируют в журнале. Прогнозирование заключается в последующем исследовании математической модели старения изоляции:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_2}{R_3} = \frac{R_3}{R_4} = \dots = \frac{R_i}{R_{i+1}} = \dots = \frac{R_n}{R_{n-1}};$$

где R_i – сопротивление изоляции при i – м измерении;
 n – число измерений.

Широко используется абсорбционный метод оценки состояния изоляции. Критерием является коэффициент абсорбции – отношение сопротивлений изоляции через 60 и 15 секунд с начала измерения: $K_{abc} = R_{60} / R_{15}$; Если $K_{abc} < 1,3$, то изоляция требует сушки. Контроль токов утечки является основой метода диагностирования обмоток, при котором диагностическими параметрами являются абсолютные значения токов утечки, их фазовая асимметрия и стабильность при повышении напряжения (приборы для измерения токов утечки ИВН – 1, ВС – 23 и др.) [1].

Для выявления межвитковых замыканий промышленностью выпущены приборы серии СМ, типов, ЕЛ – 1 и др. Так, с помощью аппаратов серии СМ можно получить практически исчерпывающую информацию. Они позволяют найти конкретные пазы, в которых размещены катушки с замкнутыми витками, проверить правильность соединения обмоток, испытать обмотки на диэлектрическую прочность. Принцип их работы основан на сравнении импульсных характеристик обмоток, что визуализируется на экране электронно-лучевой трубки. Использование таких приборов в условиях хозяйств ограничивается относительной сложностью методов, необходимостью применения специальных датчиков, высокой стоимостью. Из опыта ремонта обмоток статоров асинхронных двигателей в условиях хозяйств известно, что в большинстве случаев информация о локализации короткозамкнутых витков является избыточной, так как более технологичной и надежной с точки зрения дальнейшей эксплуатации является полная замена обмотки, а не отдельной секции. Отсюда следует, что для практического применения вполне достаточно иметь приборы, которые работают по детерминированному принципу "Да – Нет".

Метод диагностирования витковой изоляции без разборки двигателя реализуется при помощи приборов типа ВЧФ-5-3. Его недостатки очевидны: необходимость использования высокого высокочастотного напряжения, устаревшая элементная база и громоздкость конструкции, контроль изоляции надо проводить при различных положениях ротора. Для широкого внедрения в диагностическую практику сельскохозяйственных предприятий требуется простой и компактный прибор, лишенный этих недостатков. Устройства для обнаружения короткозамкнутых витков в катушках магнитных пускателей, контакторов, реле также сегодня имеют усложненную и устаревшую схемотехнику либо крайне неудобны в использовании, что фактически привело к отказу от их применения в условиях малых хозяйств. Известны приборы, работающие по принципу трансформатора, когда в измерительной обмотке наводится Э.Д.С. только при наличии короткозамкнутых витков в испытываемой обмотке. Устройства, использующие в своей основе электронный генератор высокочастотных колебаний, позволяют выявить к.з. витки по ослаблению или срыву

генерации [1]. Однако, согласно статистическим данным по ряду хозяйств и перерабатывающих предприятий Харьковской обл., электротехническими службами подобные диагностические средства не используются ввиду вышеизложенных причин. Поэтому актуальной является разработка малогабаритных приборов для выявления к.з. витков в катушках коммутационных аппаратов, которые имеют простой алгоритм функционирования, имеют необходимый уровень диагностической достоверности и небольшую стоимость.

Для оценки технического состояния короткозамкнутых роторов разобранных электродвигателей разработано много методов и средств, которые можно классифицировать по принципу действия [1]:

- приборы трансформаторного типа;
- приборы, преобразующие поля рассеивания в электрические сигналы;
- приборы на основе измерительных мостов;
- приборы, использующие принцип изменения магнитного сопротивления в зазоре "датчик – ротор";
- приборы, использующие принцип порошково-магнитной дефектоскопии;
- приборы на основе электротепловых явлений.

Наибольшее распространение получили приборы трансформаторного типа.

До 60% отказов коммутационных аппаратов приходится на контактные системы. Отказы в основном возникают из-за механического и электрического износа рабочих поверхностей контактов, их окисления, загрязнения, старения и износа контактных пружин и изоляционных материалов [1]. Основой существующих методов диагностики контактных соединений является контроль их основных параметров: сопротивления, падения напряжения, температуры. Переходное сопротивление контакта, согласно ГОСТу 17441-84 измеряют микроомметрами М-246, Ф-415; с помощью двойных мостов Р-3, Р-39, или используют метод вольтметра-амперметра на постоянном токе (допускается измерение на переменном токе) с учетом требований ГОСТа 2933-83. Известны случаи изготовления микроомметров в местных условиях на базе милливольтметров М-109, М-265 [4]. Контроль контактного соединения по падению напряжения на практике осуществляют при пропускании через контакт номинального (или близкого к номинальному) тока, используя при этом низковольтные (2 – 5 В) источники постоянного тока [1]. Разработаны устройства контроля контактных соединений с эффектом памяти формы [4], которые дают достоверную информацию о состоянии контакта, однако их использование экономически целесообразно лишь в мощных электроустановках, а также ограничивается удобствами монтажа и последующего визуального наблюдения.

Исходя из необходимости повышения надежности диагностических средств, нами предлагается следующее схемотехническое решение прибора для определения наличия короткозамкнутых витков в обмотках трехфазных электродвигателей (рис.1). Диагностическим параметром в данном случае служит асимметрия трехфазной системы потребителя электроэнергии. Прибор представляет собой двухканальный фазометр, который отличается от аналогичных конструкций [5] гальванической развязкой входов, что значительно расширяет область его применения. Он позволяет измерять угол сдвига фазы не только между напряжением и током, но и между двумя напряжениями или двумя токами. Гальваническая развязка входов достигнута заменой традиционного логического элемента сравнения оптроном. В приборе также обеспечена развязка измерительных каналов и по питанию. Прибор состоит из двух измерительных каналов, близких по структуре. Входной сигнал в каждом из них ограничивают по амплитуде диоды (VD1—VD4), а компараторы на ОУ (DA1, DA2) преобразуют его в прямоугольные импульсы, противофазные входному напряжению, амплитуда которых постоянна и близка к напряжению питания.

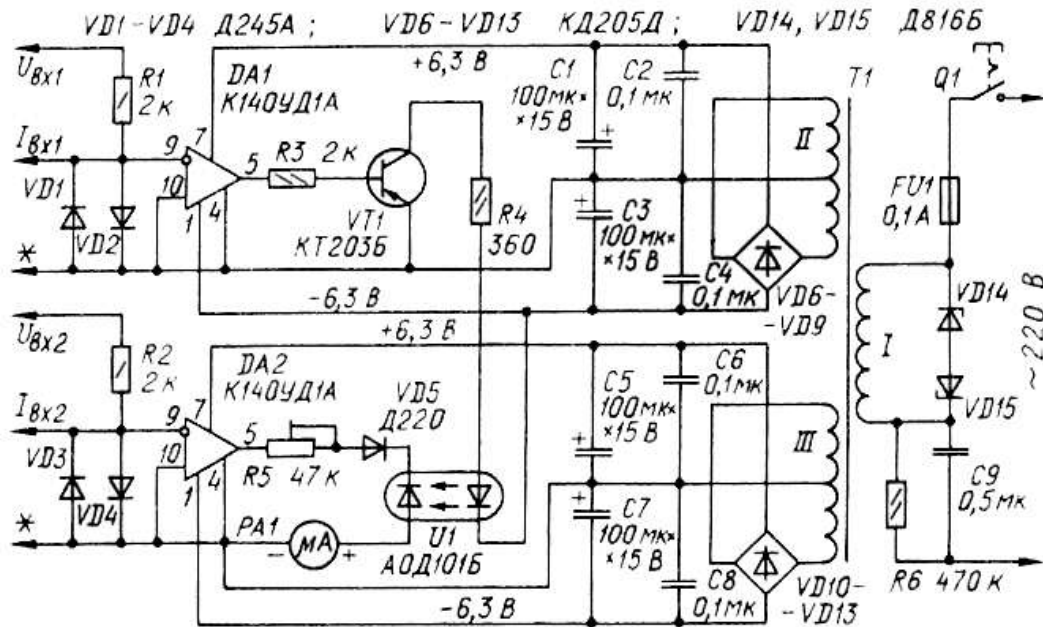


Рис.1 Принципиальная электрическая схема фазометра

Предположим, что угол сдвига фазы входных сигналов равен нулю (рис 2, а). Тогда в отрицательный полупериод выходного напряжения компаратора DA1 открывается транзистор VT1 и в цепи светодиода оптрона U1 протекает ток. Отрицательное выходное напряжение компаратора DA2 приложено к диоду VD5 в обратном направлении, поэтому ток в цепи микроамперметра PA1 не протекает. При положительном напряжении на выходе компараторов транзистор VT1 закрыт, светодиод выключен, оптрон U1 закрыт и ток в цепи микроамперметра PA1 также отсутствует. Таким образом, среднее значение тока, протекающего через микроамперметр за период входного напряжения, равно нулю. Если же входные сигналы сдвинуты один относительно другого на некоторый угол (точки изменения знака выходного напряжения компараторов смещены во времени, рис. 2, б), то в течение промежутка времени от t_1 до t_2 , пропорционального углу сдвига фазы между входными сигналами, оптрон будет открыт. Среднее значение тока, протекающего за период входного напряжения через микроамперметр, пропорционально измеряемому углу сдвига фазы.

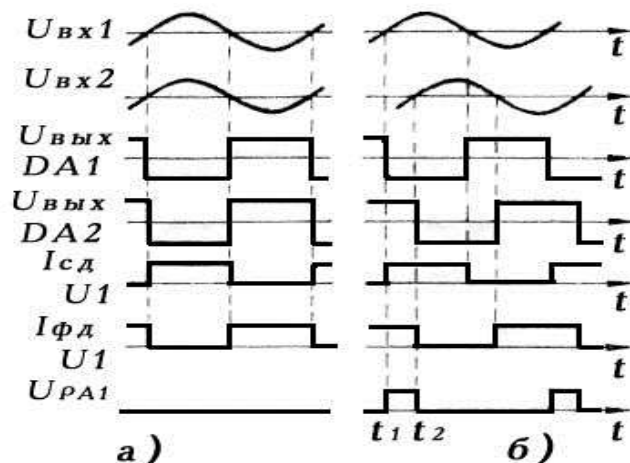


Рис.2 Осциллограммы напряжений и токов

Измерительные каналы устройства питаются от отдельных выпрямителей, гальванически не связанных между собой. В цепь первичной обмотки сетевого трансформатора Т1 введены два стабилитрона (VD14, VD15), включенных встречно-последовательно. Поэтому амплитуда напряжения на первичной обмотке стабилизирована. Излишек сетевого напряжения гасит балластный конденсатор С9, а резистор R6 разряжает его после выключения прибора. С выводов каждой из вторичных обмоток трансформатора снимают напряжение почти прямоугольной формы, которое выпрямляет диодный мост и сглаживает емкостный фильтр. Такое схемное решение блока питания обеспечивает очень низкий уровень пульсаций, а среднее значение (постоянная составляющая) у него намного выше, чем у выпрямителей синусоидального напряжения. Это, в свою очередь, снижает требования к сглаживающим фильтрам и увеличивает жесткость внешней характеристики всего выпрямителя. Электронный фазометр имеет равномерную шкалу, и его налаживание заключается в установке резистором R5 максимального угла отклонения стрелки микроамперметра. При этом вход фазометра подключают к источнику противофазного синусоидального напряжения, параметры которого соответствуют входному напряжению и частоте прибора.

Для диагностических целей применим пробник использующий генераторный принцип [1]. С помощью этого пробника можно проверять обмотки трансформаторов, дросселей, электродвигателей, реле, магнитных пускателей, контакторов и других катушек индуктивностью от 200 мкГн до 2 Гн. Пробником удастся определить не только целостность обмотки, но и наличие в ней короткозамкнутых (КЗ) витков. В отличие от аналогичного по назначению пробника, описанного в [1], предлагаемый проще в эксплуатации, поскольку не содержит переключателя пределов измерения, разработан на полупроводниковой элементной базе, а также позволяет однозначно определить вид неисправности — обрыв цепи или короткое замыкание витков. Основа прибора (рис. 3) — измерительный генератор на транзисторах VT1, VT2. Его рабочая частота определяется параметрами колебательного контура, образованного конденсатором С1 и проверяемой катушкой индуктивности, к выводам которой подключают щупы ХР1 и ХР2. Генератор работоспособен в широком диапазоне изменения отношения индуктивности и емкости колебательного контура. Переменным резистором R1 устанавливают необходимую глубину положительной обратной связи, обеспечивающей надежную работу генератора. Транзистор VT3, работающий в диодном режиме, создает необходимый сдвиг уровня напряжения между эмиттером транзистора VT2 и базой VT4. Эксперименты с различными кремниевыми диодами, которые можно было бы использовать на месте транзистора VT3, показали, что они не обеспечивают нужного, результата. На транзисторах VT4, VT5 собран генератор импульсов, который совместно с усилителем мощности на транзисторе VT6 обеспечивает работу индикаторной светодиода HL1 в одном из трех режимов: отсутствие свечения, мигания и непрерывного горения. Режим работы генератора импульсов определяется напряжением смещения на базе транзистора VT4.

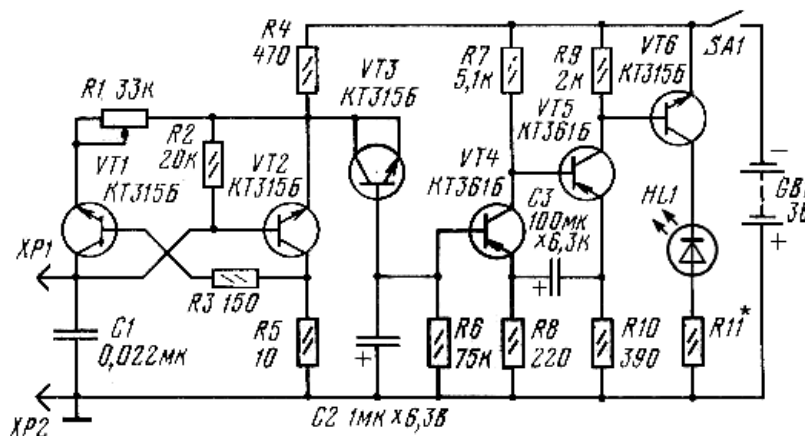


Рис.3
Принципиальная
электрическая
схема
пробника-генератора

Работает пробник так. При замкнутых щупах ХР1 и ХР2 измерительный генератор не возбуждается, транзистор VT2 открыт. Постоянного напряжения на его эмиттере, а значит, на базе транзистора VT4 недостаточно для запуска генератора импульсов. Транзисторы VT5, VT6 при этом открыты и светодиод горит непрерывно, сигнализируя о целостности проверяемой цепи. При подключении к щупам пробника исправной катушки индуктивности, скажем, обмотки трансформатора, и установке движка переменного резистора R1 в определенное положение, измерительный генератор возбуждается. Напряжение на эмиттере транзистора VT2 увеличивается, что приводит к увеличению напряжения смещения на базе транзистора VT4 и запуску генератора импульсов. Светодиод начинает мигать. Если в проверяемой обмотке есть короткозамкнутые витки, измерительный генератор не возбуждается и пробник работает, как при замкнутых щупах. При разомкнутых щупах или обрыве цепи проверяемой катушки транзистор VT2 закрыт. Напряжение на его эмиттере, а значит, и на базе транзистора VT4 резко возрастает. Этот транзистор открывается до насыщения, и колебания генератора импульсов срываются. Транзисторы VT5, VT6 закрываются, светодиод HL1 не светится. Если подключить к щупам прибора р-п переход кремниевого транзистора или диода в прямой полярности (анод диода — к щупу ХР1, катод — к щупу ХР2), светодиод будет мигать. При пробитом переходе светодиод горит непрерывно, а при обрыве цепи — не светится.

Рассмотренные разработки являются альтернативой классическим диагностическим средствам. Их успешное опробование в лабораторных условиях и на производстве доказало актуальность проблемы совершенствования средств и методов диагностики электрооборудования. Многие из имеющихся приборов и устройств диагностики сегодня требуют модернизации элементной базы, оптимизации схемотехнических решений, улучшения алгоритмов функционирования.

Литература:

1. В.П.Таран Технічна діагностика при експлуатації електрообладнання Київ "Урожай" – 1978
2. В.В.Овчаров Эксплуатационные режимы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве Киев УСХА – 1990
3. В.П.Таран, Г.М.Олійник Поточний ремонт силового електрообладнання Київ "Урожай" – 1977
4. В.В.Каплун Експлуатаційний контроль контактних з'єднань сільських електроустановок термочутливими пристроями з ефектом пам'яті форми Кандидатська дисертація Київ – 2001
5. А. Гончаренко «Фазометр на микросхемах» «Радио», 1984, № 12, с. 29