**1. Основные типы электромагнитных реле железнодорожной автоматики**

На сегодняшнее время электромагнитные реле являются основными элементами в устройствах автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте. Несмотря на интенсивное развитие и широкое внедрение современных интегральных микросхем, микропроцессорной и вычислительной техники в устройства железнодорожной автоматики, электромагнитные реле продолжают оставаться главными и наиболее массовыми элементами систем регулирования движением поездов на перегонах и станциях. В экономически развитых странах не только продолжают эксплуатироваться устройства железнодорожной автоматики, содержащие десятки миллионов электромагнитных реле, но и ведутся разработки новых типов реле [1,2]. Такое широкое применение электромагнитных реле в устройствах автоматики на железнодорожном транспорте обусловлено их следующими преимуществами по сравнению с полупроводниковыми приборами:

- высокая надежность работы в сложных климатических условиях;

- полный электрический разрыв коммутируемых цепей при разомкнутых контактах, и малое, стабильное переходное сопротивление при замкнутых контактах;

- отсутствие гальванической связи между управляющими и выходными цепями, а также возможность одновременно коммутировать несколько независимых электрических цепей с различными напряжениями и токами;

- простота эксплуатации, не требующая для обслуживания высококвалифицированного персонала и применения сложных и дорогостоящих измерительных приборов;

- высокая помехозащищенность от атмосферных разрядов, тяговых токов, воздействия радиации, резких колебаний питающих напряжений.

Анализ развития схемотехники современных устройств железнодорожной автоматики в Украине и за рубежом показывает, что электромагнитные реле будут применяться еще достаточно длительный период времени [1,2]. Это, прежде всего, связано с тем что, схемотехника устройств железнодорожной автоматики весьма консервативна, так как от ее работы зависит безопасность перевозочного процесса. Поэтому внедрение любого нового устройства или модернизация старого оборудования требуют тщательных испытаний на безопасность, как в лабораторных, так и эксплуатационных условиях. К тому же до сих пор не разработано полупроводниковых элементов, являющихся по надежности равноценной заменой электромагнитных реле первого класса надежности, обеспечивающих безопасность движения поездов.

Существует большое количество разновидностей и типов реле, но все они имеют две основные части [3]: 1) воспринимающую часть, которая реагирует на изменение определенного вида физической энергии; 2) исполнительную часть, которая непосредственно производит скачкообразное изменение тока в выходной цепи.

В технике используется большое количество разновидностей и типов реле, отличающихся конструкцией, принципом работы и т.п. Поэтому в основу классификации реле можно брать различные признаки. По виду физической природы энергии, на которую реагирует воспринимающая часть, все реле можно разбить на следующие классы (рис. 1): электрические, механические, тепловые, оптические, пневматические, акустические, жидкостные и газовые [3].

Рис. Классификация реле по виду управляющего воздействия

Полная классификация всех видов реле дана в [3]. В устройствах автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте наибольшее распространение получили электрические реле. Однако наряду с ними в автоматике возникает необходимость использовать и другие классы реле. Например, в автостопах на локомотивах используются пневматические реле, работающие за счет энергии сжатого воздуха и приводящие в действие поездные тормоза при приближении к сигналам с запрещающим показанием [4]. В схеме автоматической переездной сигнализации, применяются реле НМШТ-1440 и АНШМТ-310, которые представляют собой сочетание электрического и теплового реле и используются в качестве реле времени или для защиты от перегрузок [4].

Электрические реле – это реле, воспринимающая часть которых реагирует на один из видов электрической энергии. Электрические реле, по принципу устройства воспринимающей части, делятся на: нейтральные электромагнитные реле; поляризованные электромагнитные реле; магнитоэлектрические реле; электродинамические реле; индукционные реле; полупроводниковые реле [3].

Нейтральным электромагнитным реле называют реле, действие которого основано на взаимодействии магнитного поля, создаваемого электромагнитом, и якоря, выполненного из ферромагнитного материала. Действие нейтрального электромагнитного реле зависит только от значения тока, протекающего в обмотке электромагнитного реле, и не зависит от направления этого тока.

В устройствах железнодорожной автоматики наиболее широкое распространение получил класс нейтральных электромагнитных реле благодаря их простой конструкции, а также надежной и безотказной работе [4]. Конструкция любого нейтрального электромагнитного реле состоит из четырех основных узлов: обмотка реле (располагается либо на сердечнике, либо на якоре); неподвижная часть магнитопровода, состоит из сердечника и ярма; якорь, представляющий собой подвижную часть магнитопровода; контактная система. В зависимости от конструкции магнитной цепи электромагнитные реле делятся на три типа [3]: реле клапанного типа; реле соленоидного типа; реле с внешним поперечно движущимся якорем. Основная масса нейтральных электромагнитных реле применяемых в технике являются реле клапанного типа. Наиболее массовые реле железнодорожной автоматики типов НМШ и РЭЛ также имеют магнитную систему клапанного типа [4].

**2. Эксплуатационно-технические требования к параметрам реле железнодорожной автоматики**

Электромагнитные реле, эксплуатирующиеся в устройствах автоматики, должны удовлетворять большому количеству различных эксплуатационно-технических требований (ЭТТ), которые часто являются противоречивыми и полностью не могут быть удовлетворены в одной универсальной конструкции.

Все параметры электромагнитных реле можно разделить на три типа [4]: электрические, временные и механические.

К электрическим параметрам электромагнитного реле относятся: напряжение (ток) срабатывания реле; напряжение (ток) отпускания реле; рабочее напряжение (ток) реле; напряжение (ток) перегрузки реле; сопротивление обмотки реле; переходное сопротивление замкнутых контактов; коэффициент запаса; коэффициент возврата (коэффициент безопасности).

К временным параметрам электромагнитного реле относятся: время срабатывания реле; время отпускания реле; время перелета якоря из одного положения в другое.

К механическим параметрам любых электромагнитных реле относятся: высота антимагнитного штифта; ход якоря; межконтактный зазор; контактное давление; неодновременность замыкания или размыкания контактов; совместный ход контактов.

Кроме перечисленных параметров, работу электромагнитного реле характеризуют механическая и тяговая характеристики. Механическая характеристика реле – это зависимость механических усилий, преодолеваемых якорем при его движении, от хода якоря. Тяговая характеристика - это зависимость электромагнитной силы притяжения создаваемой электромагнитом реле, от величины воздушного зазора между якорем и сердечником при постоянной магнитодвижущей силе (м.д.с.) [5].

Все электромагнитные реле по надежности работы делятся на реле первого класса и реле низшего класса надежности. Во всех устройствах железнодорожной автоматики, обеспечивающих безопасность движения поездов, применяются реле первого класса надежности типов НМ, НМШ и РЭЛ. На их основе строятся рабочие и контрольные цепи управления светофорами и стрелками, рельсовые цепи, а также логические схемы, непосредственно обеспечивающие безопасность движения поездов. Реле железнодорожной автоматики разрабатываются, изготавливаются и эксплуатируются с учетом специальных эксплуатационно-технических требований (ЭТТ) по обеспечению надежности, которые разработаны и утверждены Управлением сигнализации, связи и вычислительной техники МПС [6,7].

Согласно ЭТТ электромагнитные реле СЦБ первого класса надежности должны исключать опасные отказы. Для этого они должны удовлетворять следующим основным требованиям.

 Фронтовые и общие контакты не должны свариваться при любых условиях эксплуатации. Для фронтовых контактов применяется уголь с металлическим наполнением, а для общих контактов серебро или его сплавы.

2. Якорь должен возвращаться в исходное состояние и замыкать тыловые контакты при снятии напряжения с обмоток или уменьшении его до величины напряжения отпускания под действием силы тяжести.

3. Возможность залипания якоря после выключения питания должна быть исключена. Для этого между якорем и сердечником всегда должен быть остаточный воздушный зазор, который реализуется с помощью антимагнитного бронзового штифта, укрепленного на якоре. У нормальнодействующих реле высота штифта должна быть не менее 0,2 мм, а у медленодействующих реле – не менее 0,15 мм.

4. Все тыловые контакты реле должны размыкаться при замыкании хотя бы одного фронтового контакта и наоборот. Данное требование выполняется только в реле первого класса надежности типа РЭЛ.

ЭТТ к реле первого класса надежности включают в себя также требования к электрическим параметрам, к контактам и конструкции реле.

Основные требования к электрическим параметрам электромагнитного реле первого класса надежности: напряжение срабатывания не более 0,8 от номинального; напряжение отпускания не менее 0,08 от номинального; напряжение (ток) срабатывания реле, измеренное при одной полярности, не должно превышать напряжение (ток) срабатывания при другой полярности более чем на 20 %; коэффициент возврата для путевых реле должен быть не менее 0,5, огневых реле не менее 0,3, у остальных не менее 0,2; обмотка реле должна длительное время выдерживать напряжения перегрузки, равное двукратному номинальному рабочему напряжению.

Основные требования к контактам реле первого класса надежности: переходное сопротивление фронтовых контактов не более 0,3 Ом, тыловых контактов не более 0,03 Ом; раствор контактов не менее 1,3 мм, а в момент переключения контактов не менее 0,8 мм; совместный ход контактов должен быть не менее 0,35 мм, а скольжения контактов для их самоочистки у фронтовых контактов должно быть не менее 0,25 мм, а у тыловых контактов не менее 0,2 мм; контактное давление фронтовых контактов не менее 0,294 Н (30 гр), а тыловых контактов не менее 0,147 Н (15 гр); неодновременность замыкания или размыкания контактов - не более 0,2мм.

ЭТТ к конструкции реле первого класса надежности включает следующее. Реле должно иметь конструкцию, не требующую дополнительного схемного контроля отпускания якоря. Положение контактов должно обеспечиваться механическим соединением их между собой и якорем. Штепсельные разъемы реле должны исключать возможность его ошибочного включения. Корпус реле должен исключать попадание во внутрь влаги, пыли и газов для устранения влияния внешней среды на работу реле. Реле должно устойчиво работать при температуре окружающего воздуха от –40 до +60 0С и относительной влажности до 95%, измеренной при температуре +200С.

**3. Анализ методов контроля параметров электромагнитных реле железнодорожной автоматики**

Для обеспечения соответствия ЭТТ реле железнодорожной автоматики проходят трудоемкий процесс регулировки и проверки на заводах-изготовителях, а также при входном контроле в РТУ сразу после получения и после длительного хранения. В процессе эксплуатации реле так же периодически проверяются и регулируются по всему комплексу параметров, так как в процессе длительной эксплуатации параметры реле изменяются. В настоящее время все основные работы по ремонту, регулировке и проверке параметров реле сосредоточены на ремонтно-технологических участках СЦБ [8,9].

Технология проверки электромагнитных реле первого класса надежности в РТУ изложена в технологической карте «Аппаратура СЦБ. Технологический процесс ремонта РМ32-ЦШ 09.36-85» [10]. Согласно [10] ремонт и проверка приборов СЦБ выполняется с соблюдением принципа двойной проверки. Регулировку и измерение электрических, временных и механических параметров реле осуществляет электромеханик-регулировщик, а контрольную проверку и пломбирование – другой электромеханик или старший электромеханик, имеющий право приема аппаратуры и печать для пломбирования. Согласно техническим условиям (ТУ) завода-изготовителя для электромагнитных реле первого класса надежности типов НМШ (ТУ32ЦШ72-76) и РЭЛ (ТУ32ЦШ451-86) измерению в процессе проверки и ремонта реле в РТУ подлежат следующие параметры:

1) электрические параметры: напряжение (ток) срабатывания реле при прямой полярности; напряжение (ток) срабатывания реле при обратной полярности; напряжение (ток) отпускания реле; сопротивление обмотки реле; переходное сопротивление контактов;

2) временные параметры: время срабатывания реле; время отпускания реле;

3) механические параметры: высота антимагнитного штифта; межконтактный зазор в крайних положениях якоря и при перелете контактов; совместный ход фронтовых и тыловых контактов; контактное давление фронтовых и тыловых контактов; неодновременность замыкания фронтовых и тыловых контактов.

Гарантировать безотказную работу реле в течение заданного срока эксплуатации возможно только при условии точного измерения их электрических, временных и механических параметров, а также соответствия этих параметров ТУ завода-изготовителя и технологическим картам на ремонт реле в РТУ. Электромеханик при проверке нейтральных реле в РТУ, в соответствии с технологическим процессом, должен выполнить измерение не менее пяти механических, пяти электрических и двух временных параметров. При этом общее число измерений, приходящихся на одно реле, может достигать до 50 для механических параметров и до 21 для электрических параметров, в зависимости от числа контактов и количества обмоток реле.

Для измерения электрических параметров реле в РТУ используют типовой универсальный стенд для испытания реле СЦБ, дешифраторных ячеек и трансмиттеров типа СИ-СЦБ заводского изготовления [11] или упрощенный специализированный стенд, изготавливаемый самостоятельно в РТУ [9]. Стенд представляет собой набор регулируемых вторичных источников питания, стрелочных электроизмерительных приборов, электросекундомера и вспомогательных коммутационных устройств. Стенд позволяет измерять напряжение (ток) срабатывания и отпускания реле постоянного и переменного тока с напряжением перегрузки до 250 В, а также переходное сопротивление контактов методом вольтметра-амперметра. Регулировку напряжения (тока) на обмотке реле осуществляют с помощью ЛАТРа. В качестве измерительных приборов до 1974 года применялись электромагнитные приборы М24 с установкой шунтов и добавочных резисторов, а с 1974 года внешний комбинированный прибор Ц4312. Комбинированный измерительный прибор Ц4312 имеет класс точности 1,0 по постоянному и 1,5 по переменному току, а приборы М24 - 1,5 по постоянному и 2,5 по переменному току.

Измерение сопротивления обмотки реле производят любым способом, обеспечивающим погрешность не более ±1%. Для измерения сопротивления обмоток реле используют ампервольтметр Ц4312 или омметр Щ-30. Для токовых реле, имеющих малое сопротивление обмотки, используют мост постоянного тока. Наличие короткозамкнутых витков в обмотках реле определяют с помощью отдельного прибора [9], представляющего собой мост переменного тока. При насадке на сердечник катушки с короткозамкнутыми витками, индуктивное сопротивление плеча изменится, что приведет к разбалансу моста, и отклонению стрелки миллиамперметра.

Измерение переходного сопротивления контактов проводят четырехпроводным методом, позволяющим исключить влияние соединительных проводов на результаты измерения. Через измеряемые контакты пропускают ток 0,5 А и с помощью милливольтметра измеряют падение напряжения на контактах, значение которого будет пропорционально переходному сопротивлению контактов. Если переходное сопротивление контактов больше нормы, то производят еще три измерения для исключения ошибки [10]. Точное измерение переходного сопротивления контактов возможно только при наличии стабильного источника тока, который в универсальном стенде СИ-СЦБ отсутствует.

К недостаткам технологии измерения электрических параметров реле относятся:

- невысокий класс точности измерительных приборов;

- низкая чувствительность измерительных приборов электромагнитного типа;

- неравномерность шкалы стрелочных измерительных приборов;

- частые отказы измерительных приборов из-за пропадания электрических цепей или увеличения переходного сопротивления в контактах переключателей пределов измерений;

- отсутствие в стенде стабилизированных источников питания, что увеличивает погрешность измерения;

- ручная регулировка выходного напряжения (тока) с помощью ЛАТРа, не обеспечивающая достаточной точности измерения;

- большое количество ручных операций при измерении параметров реле (до 30 коммутаций на одно реле).

Измерение временных параметров реле осуществляется с помощью универсального стенда для проверки приборов СЦБ и электросекундомера типа ПВ-53Щ, встроенного в стенд, или с помощью внешнего цифрового измерителя временных параметров реле Ф291 [12]. Стрелочный электросекундомер ПВ-53Щ имеет шаг измерения временных интервалов 10 мс, а цифровой измеритель временных параметров реле Ф291 – 1 мс.

Недостатками технологии измерения временных параметров реле являются:

- низкая точность измерения времени срабатывания и времени отпадания нормальнодействующих реле, особенно электросекундомером ПВ-53Щ;

- невозможность измерения времени дребезга контактов, так как оно сопоставимо, либо меньше шага измерения электросекундомера ПВ-53Щ и Ф291;

- возможность попадания электромеханика под опасное напряжение (220В) при измерении временных параметров электросекундомером ПВ-53Щ;

- затраты времени на сборку схемы измерения временных параметров реле.

В настоящее время измерение механических параметров реле осуществляется различного рода приспособлениями, шаблонами, граммометрами, щупами и т.п.

Высота антимагнитного наклепа согласно ЭТТ к реле первого класса надежности нормируется, так как она оказывает существенное влияние на коэффициент возврата, электрические и другие параметры реле. Сейчас эта операция проводится вручную, с помощью набора щупов №2 и №3 [10], причем электромеханик-регулировщик визуально определяет момент равенства измеряемой величины и подбираемых щупов. Также измерение высоты антимагнитного наклепа может проводиться при помощи устройства на базе стрелочного индикатора часового типа (люфтомера) [9], позволяющего определять высоту антимагнитного наклепа с точностью до 0,01 мм. Данная технология измерения высоты антимагнитного наклепа отличается субъективностью при оценке измеряемой величины, малой производительностью и требует от электромеханика напряженного и утомительного визуального контроля.

Совместный ход фронтовых (тыловых) контактов определяется ходом якоря от момента прямого касания замыкающихся контактов до момента полного притяжения (отпускания) реле. Измерение этого параметра производится щупами при визуальном контроле нахождения общих контактов в соприкосновении с фронтовыми (тыловыми). Необходимый совместный ход фронтовых и общих контактов обеспечивают следующим образом. Между сердечником и якорем вводят щуп толщиной 0,4 мм и добиваются прямого касания замыкающихся контактов при минимально различимом просвете 0,01-0,03 мм. Для определения совместного хода тыловых контактов между якорем и сердечником вводят щуп толщиной 0,9 мм. При такой регулировке совместный ход контактов будет не менее 0,35 мм согласно ЭТТ к реле первого класса надежности. Данная операция выполняется для каждого контакта отдельно, т.е. для реле НМШ необходимо порядка 16 последовательных измерений. Для снижения зрительного напряжения регулировщика к контактам подключают световую или звуковую индикацию для фиксации моментов замыкания и размыкания контактов [9]. Данный метод измерения совместного хода контактов обладает следующими недостатками:

- не измеряется реальная величина совместного хода контактов, а только фиксируется, соответствует или не соответствует норме измеряемое значение. В тоже время значение этого параметра оказывает существенное влияние на напряжение срабатывания и отпускания реле, переходное сопротивление контактов, контактное давление и время срабатывания реле и, что наиболее важно, определяет ресурс работы контактной системы;

- высокое зрительное напряжение электромеханика-регулировщика;

- значительные затраты времени на регулировку, так как каждый контакт регулируется отдельно.

В условиях РТУ нет средств, позволяющих измерять значение неодновременности замыкания фронтовых и тыловых контактов. Сейчас в РТУ производится визуальная оценка параметра с помощью устаревшего приспособления [9], принцип работы которого основан на подключении контрольных лампочек в цепь проверяемых контактов. По неодновременности их загорания делается вывод о неодновременности замыкания контактов. Данный способ визуальной оценки неодновременности замыкания фронтовых и тыловых контактов очень субъективный и не позволяет однозначно определить соответствует параметр требованиям ЭТТ или нет.

Измерение контактного давления производится вручную с помощью граммометра часового типа Г-10-60 [10]. Контактное давление измеряют путем оттягивания фронтового (тылового) контакта от общего и отсчета показаний в момент их размыкания. Для повышения точности отсчета добавляют световой или звуковой контроль размыкания контактов [9]. При этом более точно фиксируется момент размыкания контактов и исключается довольно утомительная для регулировщика операция визуального контроля за положением контактов. Статистические наблюдения показывают, что недостатком данного способа измерения контактного давления является достаточно высокая погрешность. Она обусловлена как субъективностью при определении момента отсчета показаний, так как направление усилия и точка приложения усилия при оттягивании контакта устанавливаются электромехаником вручную, так и погрешностью самого граммометра. Граммометр Г-10-60 необходимо удерживать в руке на уровне продольной оси измеряемого контакта, так как любые относительные отклонения от этой оси приводят к увеличению погрешности измерения. Высокая погрешность измерения контактного давления (до 30%) отражается на качестве регулировки реле в РТУ и в сильной степени влияет на их коммутационный ресурс [13].

Из проведенного анализа технологии проверки реле в РТУ можно сделать следующие выводы:

- для проверки электрических и временных параметров реле в настоящее время применяются морально устаревшие стенды, не обеспечивающие необходимую точность;

- результаты измерений характеризуются высокой субъективностью, которая обусловлена ручным управлением исполнительными устройствами, недостатками стрелочных измерительных приборов непосредственной оценки (инерционностью, нелинейностью шкалы, низкой чувствительностью), а также отсутствием соответствия между допусками по отклонению измеряемой величины и классом точности измерительного прибора;

- процесс измерения параметров реле трудоемок, утомителен и требует от электромеханика высокой квалификации, постоянного зрительного напряжения и значительных затрат времени, так как практически все операции технологического процесса проверки параметров реле выполняются вручную;

- производительность труда является низкой из-за не высокой скорости измерений, а также потерь времени на сборку схем измерений и обработку результатов.

Статистические исследования, проведенные на кафедре АТС ДИИТа, показали, что до 10% реле выпускаются из РТУ с браком, т.е. их параметры лежат вне допустимых пределов, а величина межконтактного зазора при перелете якоря может отклоняться от нормы до 35% [14]. Резервы повышения качества проверки реле и производительности труда при использовании существующей технологии и измерительных приборов практически исчерпаны, поэтому для устранения данных недостатков необходимо оснащение РТУ стендами, позволяющими автоматизировать измерения параметров и характеристик электромагнитных реле железнодорожной автоматики.

**4. Автоматизированные стенды для измерения и контроля параметров реле**

Разработка методов измерений и автоматизированных измерительных стендов (АИС) для проверки параметров реле железнодорожной автоматики началась еще в 70-е годы [15,16,17]. В Уральском отделении ЦШ МПС в 1976-1979 годах проводились работы по созданию полуавтоматического измерительного стенда по проверке параметров реле [13]. В результате данной работы были предложены методы автоматизации измерения параметров реле, а также разработан и изготовлен макетный образец стенда. Стенд предназначался для автоматизации технологического процесса измерения параметров реле в РТУ и при выходном контроле на заводах-изготовителях. Данный стенд должен был измерять следующие параметры электромагнитных реле: напряжения срабатывания и отпускания реле; переходное сопротивление контактов; время срабатывания и отпускания реле с точностью ±1мс; неодновременность замыкания контактов; межконтакный зазор при перелете контактов и в крайних положениях; физический зазор реле; контактное давление для реле типа НР; высоту антимагнитного наклепа (с помощью контрольного щупа при снятом кожухе реле).

Для измерения механических параметров без снятия кожуха в данном стенде предлагалось использовать токовихревой измеритель перемещения якоря [13], который позволял получить на выходе напряжение пропорциональное координате якоря x(t). Промышленный образец стенда не был изготовлен, так как он обладал целым рядом недостатков, основными из которых являются:

- токовихревой датчик для измерения механических параметров реле был ненадежным в работе, требовал тщательной настройки и калибровки для каждого проверяемого реле и не отличался высокой точностью и стабильностью показаний;

- обработка информации проводилась в аналоговой форме, так как в стенде полностью отсутствуют цифровые микросхемы. Например, для хранения аналоговых величин предлагалось использовать интеграторы на базе операционных усилителей (ОУ) и полевых транзисторов, которые имели малое время хранения (30-40 минут), невысокую точность из-за разряда конденсаторов и ошибки вносимой самим ОУ, а также отличались сложностью в изготовлении и настройке. В результате этого стенд обладал невысокой точностью и низким быстродействием;

- в качестве элементной базы стенда использовалась транзисторная техника. Это привело к тому, что стенд получился громоздким, сложным в обслуживании, имел высокое энергопотребление и стоимость, а также отличался невысокой надежностью работы.

В 1983 году на кафедре АТС ДИИТа были начаты работы по созданию полуавтоматического стенда для проверки реле СЦБ на базе комплекса технических средств для локальных информационно-управляющих систем (КТС ЛИУС-2) [14,18,19,20,21]. Элементной базой КТС ЛИУС-2 являются ИМС средней степени интеграции (серия К155) и микропроцессорный комплект К580. В соответствии с техническим заданием на разработку полуавтоматического стенда, он должен был измерять следующие параметры реле: напряжение срабатывания и напряжение отпускания реле; напряжение полного подъема при прямой и обратной полярности; время отпускания реле; сопротивление обмотки реле и переходное сопротивление контактов; совместный ход контактов; межконтактное расстояние; неодновременность замыкания фронтовых контактов; величину хода якоря.

Для измерения механических параметров реле без снятия кожуха предлагалось использовать токовихревой датчик положения якоря, а также дополнительный оптоэлектронный измерительный преобразователь на базе лазерного излучателя (ИЛПН-205) и пироэлектронного приемника излучения (МГ-30).

Разрабатываемый стенд обладал целым рядом недостатков не позволившим довести его до промышленного изготовления:

- низкая надежность работы стенда, обусловленная выбором элементной базы (сам стенд и вычислительный комплекс КТС ЛИУС выполнены на базе микропроцессорного комплекта К580 и цифровые микросхемы средней степени интеграции типа К155);

- применение внешних дополнительных датчиков положения якоря, позволяло создать только полуавтоматический стенд, так как при проверке каждого реле датчики требовали индивидуальной калибровки и настройки;

- невысокая точность измерения временных параметров реле (Δt=1мс), не позволяла измерять такие временные параметры реле как, время срабатывания реле, время перелета контактов и время дребезга контактов;

- стенд не предусматривал возможность измерения таких важных параметров реле как контактное давление, высота антимагнитного наклепа, неодновременность замыкания тыловых контактов, время срабатывания реле;

- высокая стоимость стенда, обусловленная применением дорогостоящей вычислительной системы на базе СМ 1803 и оптоэлектронного лазерного измерительного преобразователя.

В 1991 –1992 гг. по заданию Управления сигнализации, связи и вычислительной техники МПС институт «Гипротранссигналсвязь» разработал автоматизированный комплекс РТУ для проверки характеристик реле (АРМ-РТУ-Р) и для проверки релейных блоков железнодорожной автоматики (АРМ-РТУ-Б) [22,23,24].

Автоматизированный комплекс АРМ-РТУ-Р выполнен в виде модуля, работающего под управлением компьютера типа IBM, и позволяет измерять характеристики железнодорожных реле типа НМШ и РЭЛ. Модуль АРМ-РТУ-Р измеряет следующие электрические и временные параметры реле: напряжение (ток) срабатывания реле; напряжение (ток) возврата реле; переходное сопротивление контактов и сопротивление обмоток реле постоянному току; напряжение (ток) срабатывания при смене полярности; время замедления реле на отпадание.

Автоматизированный комплекс позволяет вычислять механические параметры реле: совместный ход контактов; неодновременность замыкания и размыкания контактов; межконтактные зазоры в различных положениях якоря. Кроме этого АРМ-РТУ-Р позволяет определять наличие дребезга контактов, а также наличие или отсутствие прямого и полного срабатывания. Вычисление механических параметров происходит по кривой переходного процесса i(t), которая с помощью АЦП заносится в компьютер и подвергается обработке по определенному алгоритму. В базе данных компьютера хранится набор переходных характеристик во всем спектре изменения механических параметров реле. При вычислении механических параметров компьютер выбирает из базы данных ближайшие кривые перемещения якоря и на их базе известными методами аппроксимации определяет необходимые параметры реле [24]. Результаты измерений отображаются на экране монитора, записываются в базу данных на магнитном диске и распечатываются на бумагу в виде протокола испытаний.

К недостаткам стенда АРМ-РТУ-Р можно отнести:

- применяемый метод оценки механических параметров реле по кривой тока i(t) имеет большую погрешность [24];

- отсутствие возможности измерения контактного давления и высоты антимагнитного штифта;

- модуль автоматизированного комплекса АРМ-РТУ-Р выполнен на ИМС средней степени интеграции, в результате чего он обладает большими габаритами и весом, высокой стоимостью и энергопотреблением.

Кроме стендов, решавших комплексную задачу автоматизации измерения параметров реле, разрабатывались и стенды, решавшие задачи частного характера. Например, стенды для автоматизации измерения отдельных параметров реле [25], системы контроля параметров реле на базе стандартных источников питания типа Б5-47(49) и универсальных цифровых измерительных приборов [26,27], стенды для автоматизации проверки монтажа релейных блоков ЭЦ [28,29,30,31] и т.п. Но данные стенды были изготовлены либо в единичных экземплярах на дистанциях в РТУ, либо в виде лабораторных макетов и не получили широкого распространения из-за их специфичности и слишком высокой стоимости.

**5. Анализ методов автоматизации измерения механических параметров реле**

При автоматизации измерения параметров электромагнитных реле наибольшую трудность вызывает разработка устройств для измерения механических параметров реле. Системы для измерения механических параметров реле электрическими методами строятся по трехзвенной структуре: 1) первичный датчик, который осуществляет преобразование механического параметра в электрический сигнал; 2) блок преобразования, который реализует обработку сигнала (масштабирование, линеаризация, и т.п.); 3) блок регистрации.

Для расчета механических характеристик реле необходимо знать координаты положения якоря δ при перемещении в любой момент времени t. Все методы контроля положения якоря δ(t) можно разделить на два вида: контактные и бесконтактные [32].

Контактные методы контроля подразумевают механическое соединение измерительной системы и проверяемого реле [33 - 38]. Общий принцип работы контактных датчиков основан на кинематическом воздействии исследуемого реле на подвижную часть измерительной системы. Перемещение подвижной части приводит к изменению электрических параметров измерительной системы и как следствие к изменению электрического сигнала на выходе датчика. По типу контролируемого электрического параметра измерительного датчика, различают индуктивные, емкостные, резистивные (потенциометрические преобразователи или тензодатчики) и оптоэлектронные контактные системы.

Контактные способы не получили широкого распространения, так как обладали рядом недостатков, не позволяющих создавать на их базе автоматизированных систем измерения механических параметров реле: необходимость снятия кожуха реле; большое количество ручных операций (подключение измерительной системы, калибровка датчика для каждого реле и т.п.); значительное обратное влияние самой измерительной системы на механические параметры реле; сложность конструкции измерительной системы и большое время измерения параметров одного реле.

Более перспективными являются бесконтактные методы измерения механических параметров реле. По сравнению с контактными, бесконтактные методы позволяют измерять механические параметры реле без снятия кожуха реле, не оказывают влияния на параметры самого реле, а также гораздо проще в изготовлении и эксплуатации. Это позволяет строить на базе бесконтактных датчиков перемещения якоря полуавтоматические и автоматические стенды для измерения механических параметров реле. Классификация бесконтактных датчиков приведена на рис. 2.

Рис. 2. Классификация бесконтактных датчиков измерения механических перемещений

Емкостные

Индукционные

Магнитные

(датчики Холла)

Оптоэлектронные

(лазерные)

Бесконтактные датчики измерения

механических перемещений

Ультразвуковые

Непосредственный метод контроля индуктивности обмотки реле

Большую группу составляют индукционные датчики перемещения, принцип действия которых основан на явлении электромагнитной индукции [13,39-44]. Датчик представляет собой разомкнутый П - или Ш - образный магнитопровод, полюсные наконечники, которого замыкаются якорем реле. На магнитопровод наматывается измерительная обмотка, которая включается в колебательный контур автогенератора LC-типа. При движении якоря, изменяется индуктивность контура LC-генератора, а также потери в контуре из-за влияния вихревых токов, возникающих в якоре реле. При изготовлении индукционных датчиков используются оба явления. К общим недостаткам индукционных датчиков перемещения можно отнести:

- нелинейная зависимость выходного напряжения датчика от хода якоря;

- контроль перемещения якоря возможен только для реле имеющих корпус из диэлектрика;

- нестабильность работы из-за влияния температуры и напряжения питания на параметры обмоток датчиков, что вызывает изменение сигнала на выходе датчиков при неподвижном якоре.

Основным недостатком рассмотренных датчиков является невозможность создания полностью автоматизированной измерительной системы, так как для каждого реле индукционные датчики требуют индивидуальной настройки и калибровки.

Измерительные системы, использующие магнитный метод, строятся на датчиках положения якоря выполненных на элементах Холла [45 - 48]. Датчик Холла размещается на неподвижном сердечнике и при перемещении якоря с него снимается напряжение, пропорциональное магнитной индукции. Изменение магнитной индукции, пропорционально скорости движения якоря dδ/dt. Проинтегрировав напряжение, пропорциональное dδ/dt получим напряжение, пропорциональное координате якоря электромагнитного реле. К недостаткам данного метода можно отнести необходимость снятия кожуха реле для крепления датчика Холла, а также то, что не у всех типов реле есть место на сердечнике для размещения датчика Холла.

Ультразвуковые методы измерения перемещений, основаны на измерении времени прохождения сигнала от излучателя до препятствия и обратно [49]. Метод обладает небольшой погрешностью (0,5-1%), но на погрешность существенное влияние оказывает температура воздуха, от которой зависит скорость распространения ультразвука. К недостаткам также можно отнести сложность аппаратуры и невозможность измерять параметры реле с металлическим корпусом.

Оптоэлектронный преобразователь [20,50] состоит из источника светового потока и блока фотодиодов. Сфокусированный световой поток проходит через зазор между якорем и сердечником реле и попадает на фотодиоды. Сопротивление фотодиодов зависит от величины светового потока, поэтому при движении якоря, напряжение на выходе блока фотодиодов будет изменяться. Для улучшения метрологических характеристик оптоэлектронной измерительной системы в качестве источника светового потока применяют лазерные излучатели [21]. Недостатками таких измерительных систем являются сложность оборудования и высокая стоимость.

Отдельно можно выделить способы оценки качества контактной системы реле, используемые при массовом производстве, по времени дребезга контактов [51,52], а также для определения межконтактного зазора по времени перелета контактов [53 - 55]: Lмкз=K⋅tперелета , где К – коэффициент для данного типа реле.

Наиболее перспективным методом измерения механических параметров реле является непосредственный метод контроля за изменением индуктивности обмотки реле. Во время движения якоря уменьшается физический зазор между якорем и сердечником, что приводит к изменению параметров магнитной цепи реле и как следствие к изменению индуктивности обмотки реле. Таким образом, изменение индуктивности обмотки несет информацию о координате положения якоря. Используются два способа измерения индуктивности обмотки реле: включение обмотки реле в измерительную систему [56,57] и по форме тока в обмотке реле при включении или выключении реле [58-67].

Для железнодорожных реле первого класса надежности наиболее перспективным является способ вычисления механических параметров по форме тока в обмотке реле [13,24], однако методика вычисления до сих пор не разработана.

**Выводы. Постановка цели и задач научно-исследовательской работы**

Приведенный выше анализ технологии проверки параметров реле, применяемый в настоящее время в РТУ, а также разрабатываемых методов автоматизации измерения параметров электромагнитных реле железнодорожной автоматики, позволяет сделать следующие выводы.

 Существующая технология проверки параметров реле и релейных блоков в РТУ не обеспечивает необходимого качества обслуживания устройств железнодорожной автоматики, морально и технически устарела, а также требует большого количества ручных операций, что приводит к значительным затратам времени на проверку реле и релейных блоков. Помимо этого, используемая технология не позволяет с необходимой точностью измерить такие механические параметры реле как неодновременность замыкания и размыкания контактов, совместный ход контактов, которые влияют на коммутационный ресурс и надежность работы реле.

2. Разработанные устройства и стенды для автоматизации измерения параметров электромагнитных реле железнодорожной автоматики не получили широкого распространения из-за их низкой надежности и сложности в эксплуатации, высокой стоимости и значительных массогабаритных показателей.

3. Существующие методы автоматизации измерения механических параметров электромагнитных реле не позволяют измерять значения механических параметров, а только производить комплексную оценку качества работы реле. Большинство данных методов не учитывают специфику конструкции железнодорожных реле первого класса надежности и поэтому не пригодны для применения в РТУ при измерении параметров реле и релейных блоков. Наиболее перспективным является метод вычисления механических параметров реле по форме тока переходного процесса, для внедрения которого необходимо разработать математическое обеспечение.

Целью диссертационной работы является повышение безопасности релейных систем железнодорожной автоматики, совершенствование технологического процесса их обслуживания и снижение эксплуатационных расходов за счет разработки методов и средств автоматизированного измерения параметров и характеристик нейтральных реле железнодорожной автоматики.

В соответствии с поставленной целью подлежат решению следующие задачи:

- разработка математической модели, описывающей электромеханические процессы, протекающие в электромагнитных реле железнодорожной автоматики с учетом особенностей их конструкции;

- проведение экспериментальных исследований электромеханических процессов в реле первого класса надежности для научного обоснования методов автоматизированного измерения параметров и характеристик нейтральных реле железнодорожной автоматики;

- разработка методов определения положения якоря и вычисления механических параметров нейтральных реле первого класса надежности без снятия кожуха;

- разработка метода автоматизированного определения контактного давления в электромагнитных реле типов НМШ и РЭЛ;

- разработка методов и алгоритмов автоматизированного измерения электрических и временных параметров реле;

- аппаратная и программная реализация методов автоматизированного измерения характеристик и параметров электромагнитных реле железнодорожной автоматики.