

А. И. Бегиев, В. А. Тихонов (г. Волжский, Волгоградская обл.)

Диагностическое оборудование для проверки якорей и статоров электродвигателей

Копирование, тиражирование и размещение данных материалов на Web-сайтах без письменного разрешения редакции преследуется в административном и уголовном порядке в соответствии с Законом РФ.



В эксплуатации у потребителей находится большое количество электроинструментов, основа которых — коллекторные электродвигатели переменного тока. В связи с этим сервисные центры, занимающиеся их ремонтом, вынуждены искать более эффективные пути выявления и устранения неисправностей. Сложность нахождения дефектного узла в электроинструментах связана с возможностью выхода из строя как механических, так и электрических узлов, причем внешнее проявление этих неисправностей в большинстве случаев одинаково. Без использования диагностических приборов находить неисправные узлы в электроинструменте оказалось весьма затруднительно.

В последнее время в мире получили широкое развитие методы диагностики состояния электрических машин, основанные на выполнении мониторинга потребляемого тока с последующим выполнением специального спектрального анализа полученного сигнала, что позволяет с высокой степенью достоверности определять состояние различных элементов двигателя. Физический принцип, положенный в основу этого метода, заключается в том, что любые возмущения в работе электрической и/или механической частей электродвигателя и связанного с ним устройства приводят к изменениям магнитного потока в зазоре электрической машины и, следовательно, к слабой модуляции потребляемого электродвигателем тока. Соответственно, наличие в спектре тока двигателя характерных (и несовпадающих) частот определенной величины свидетельствует о наличии поврежденной электрической и/или механической части электродвигателя и связанного с ним механического устройства [1].

Данный метод является достаточно дорогим и трудоемким, требующим применения специальной измерительной техники и программного обеспечения.

В течение ряда лет авторы занимались созданием недорогого прибора, способного быстро определять неисправные узлы в электродвигателях, применяемых в электроинструменте. Результатом этой работы явилось создание прибора ПУНС-5, позволяющего с высокой достоверностью диагностировать почти все электрические параметры «сердца» любого электроинструмента. В ручных электроинструментах, как правило, часто применяются коллекторные электродвигатели переменного тока на напряжение 220 В мощностью от 100 до 2500 Вт. В них наиболее часто выходят из строя якоря, статоры, подшипники, щетки и щеткодержатели. Наиболее дорогим узлом электродвигателя является якорь (от 25 до 50% от стоимости инструмента) и статор (от 15 до 25% от стоимости инструмента). Однако причиной повышенного искрения щеток (наиболее частый признак неисправности в коллекторном электродвигателе) может быть неисправность любого из вышеперечисленных узлов. Безошибочное нахождение дефектного узла, очевидно, положительно сказывается на стоимости ремонта.

Рассмотрим методику измерения параметров и нахождения неисправностей якоря, как наиболее дорогостоящей составляющей коллекторного электродвигателя. Внешний вид якоря электродвигателя показан на рис. 1. Обмотка якоря, как известно, состоит из ряда последовательных обмоток (секций), которые уложены в пазах сердечника. Выводы обмоток (секций) электрически подключены к пластинам цилиндрического

коллектора. К токопроводящим пластинам коллектора, который вращается вместе с якорем, прижимаются графитовые щетки, через которые происходит коммутация токов в обмотках якоря.

Все неисправности якоря можно разделить на две группы: электрические и механические.

К механическим неисправностям якоря и узлов, связанных с ним, относятся:

- повышенное биение коллектора на валу якоря при вращении;
- плохой прижим щеток к коллектору;
- несоответствие между типом коллектора и материалом используемых щеток;
- несоответствие угла укладки (угла заноса) обмоток якоря исходному типу намотки;

Рассмотрим эти виды неисправностей подробнее.

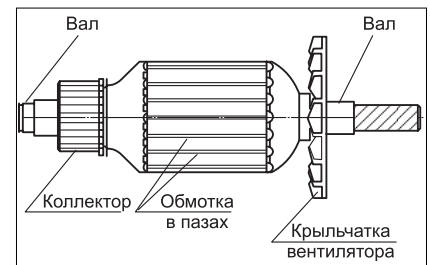


Рис. 1. Якорь

Повышенное биение коллектора на валу якоря приводит к увеличенной вибрации щеток при вращении якоря, что усиливает искрообразование, и как следствие, приводит к повышенному выделению тепла и сокращению ресурса работы щеток и электродвигателя в целом. Повышенное биение коллектора на валу якоря может быть вызвано следующими причинами:

- большим люфтом подшипника или разбитым посадочным местом подшипника;

– износом резиновой амортизационной втулки заднего подшипника;

– плохой балансировкой самого якоря. В этом случае даже при исправных подшипниках и амортизационной втулке при включении машины ощущается повышенная вибрация и замечается повышенный шум от вращения якоря. Подобный дефект устраняется балансировкой якоря на специальном балансировочном станке;

– неравномерным износом коллектора или недостаточно точным изготовлением коллектора. Обнаружить повышенное биение коллектора можно с помощью микрометра, имеющего подпружиненную измерительную штангу. Измеренное таким образом биение коллектора не должно превышать 5 мкм. В противном случае поверхность коллектора нужно обработать в токарном приспособлении, в специальных призмах или другом приспособлении, дающем необходимую точность установки. Коллекторы якорей высокооборотных электродвигателей должны тщательно проверяться на величину биения.

Плохой прижим щеток к коллектору возможен при износе щеток, ослаблении упругости пружины в щеткодержателе, а также при люфте или заедании щетки в щеткодержателе.

Несоответствие между типом коллектора и материалом используемых щеток. Имеется четыре группы разновидностей щеток [2], различающихся типом материала и предназначенных для соответствующих видов коллекторов. После установки щеток, соответствующих коллектору группы, необходимо произвести их притирку к коллектору, то есть дать поработать электродвигателю 3-4 минуты.

Несоответствие угла укладки (заноса) обмоток якоря исходному типу намотки. Угол укладки — это смещение пластины коллектора относительно паза якоря, в котором расположена обмотка, начальный вывод которой соединен с данной пластиной коллектора. Несоответствие угла укладки обмоток

якоря исходному типу намотки якоря может возникнуть при перемотке обмоток якоря или его замене на новый якорь, изготовленный другим производителем. Несоответствие угла укладки обмоток якоря может быть выявлено проверкой угла укладки исходного якоря и примененного якоря.

Рассмотрим более подробно электрические неисправности якорей.

Перейдем к рассмотрению электрических неисправностей якорей.

К электрическим неисправностям якоря относятся:

- обрыв обмотки;
- короткозамкнутые витки в обмотке;
- пониженное сопротивление изоляции между обмоткой якоря и его сердечником (или валом);
- повышенное сопротивление между выводом обмотки и пластиной коллектора, так называемое переходное сопротивление между обмоткой и коллектором;

Определение обрывов и переходных сопротивлений в обмотках якоря

Самый простой способ определить обрыв в обмотках якоря — это провести проверку электрического сопротивления обмоток при помощи омметра, прикоснувшись щупами последнего к двум смежным пластинам коллектора (см. рис. 2). При этом омметр регистрирует сопротивление R_{Σ} , равное:

$$R_{\Sigma} = R / (N - 1) \times R$$

где N — количество обмоток, R — сопротивление одной обмотки, $(N - 1) \times R$ — сопротивление последовательно включенных $(N - 1)$ обмоток, $//$ — знак параллельного соединения.

Так как количество обмоток в якоря N , как правило, бывает не менее 20, то в случае обрыва обмотки, непосредственно к которой подключаются щупы омметра, показания последнего увеличиваются более чем в десять раз. Однако, при таком способе проверки сопротивления обмоток якоря требуется достаточно большое время для проведения контроля, чтобы проверить все пластины коллектора. Кроме того, при измерении сопротивления низкоомных обмоток

на результаты измерения будет существенно влиять сопротивление контакта между щупом и коллекторной пластиной. Существует способ контроля сопротивления обмоток путем поворота якоря на 360 градусов (рис. 3), при этом к пластинам коллектора прижимаются два пружинящих контакта, сдвинутых на расстояние S , равное шагу Y_k между пластинами коллектора (см. рис. 3а). Пружинящие контакты прижимаются к пластинам коллектора и подключаются к омметру, якорь поворачивают, контакты последовательно пробегают все пластины, омметр регистрирует сопротивление обмоток. Диаметр контролируемых коллекторов может находиться в диапазоне от 15 до 45 мм, шаг Y_k между пластинами коллектора также бывает различным: от 2 до 4 мм. Поскольку пластины коллектора разделены между собой изоляционными прокладками (дорожками) шириной 0,4...1,0 мм, то при попадании пружинящего контакта на эту прокладку омметр будет регистрировать ложный обрыв. Избавиться от этого путем увеличения толщины пружинящего контакта свыше 1,0 мм не удастся, поскольку диаметры коллекторов различных типов якорей различаются в три раза. Значит и кривизна контактируемой поверхности также будет сильно меняться, и вследствие этого не удастся обеспечить плотного прилегания всей поверхности торца контакта к пластине коллектора вне зависимости от его диаметра. Надежное контактирование между пружинящим контактом и пластинами коллектора любого диаметра можно обеспечить,

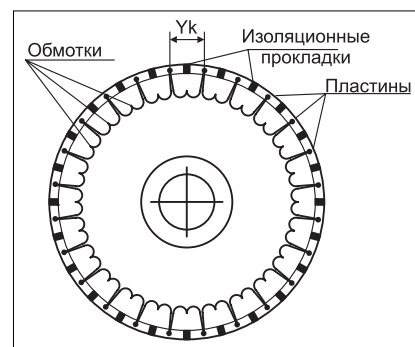


Рис. 2. Схема подключения обмоток якоря к коллектору

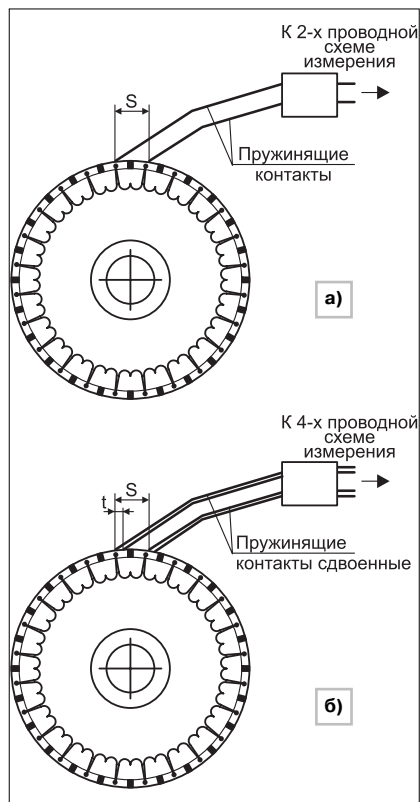


Рис. 3. Измерение сопротивления обмоток якоря при помощи пружинящих контактов.
а) коллектор с пружинящими контактами
б) коллектор со сдвоенными пружинящими контактами

используя сдвоенные пружинящие контакты, как показано на рис. 3б.

При этом торцы сдвоенного контакта достаточно сдвинуть относительно друг друга на расстояние $t = 1$ мм, чтобы избавиться от регистрации ложных обрывов. Кроме того, использование сдвоенного пружинящего контакта позволяет применить более точную 4-проводную схему измерения.

Функциональная схема устройства оперативного определения обрыва в обмотках якоря показана на рис. 4. Схема включает: источник постоянного тока I_0 , буферный каскад — инвертор (ОУ, R1, R2), цифровой вольтметр (мультиметр), компаратор напряжений СМР, световой индикатор обрыва HL1 и зуммер обрыва BF1.

Пружинящие контакты А и В прижимаются к пластинам коллектора и на них подается фиксированный ток I_0 (мА) от источника тока. Напряжение на выходе ОУ, будет равно:

$$U(\text{мВ}) = I_0 \times (R_э + 0,001 R_{п});$$
 (при условии $R_1 = R_2 \gg R_э$)
 где: $R_э$ — эквивалентное сопротивление обмоток, включенных между двумя смежными пластинами коллектора, Ом; $R_{п}$ — переходное сопротивление между пружинящими контактами и пластинами коллектора, мОм.

В случае обрыва обмотки измеряемое сопротивление резко возрастает (более чем в 10 раз), загорается индикатор брака HL1 и звучит зуммер BF1. Диапазон сопротивления обмоток (секций) различных типов якорей достаточно большой — от 0,1 до 20 Ом. Величина этого сопротивления напрямую связана с мощностью контролируемого якоря. Чем больше мощность якоря и чем больше сечения проводом выполнены его обмотки, тем меньше сопротивление обмоток якоря. 2-проводная

схема измерения, изображенная на рис. 4а, имеет погрешность, связанную с увеличением измеряемого сопротивления на величину переходного сопротивления $R_{п}$. Для якорей мощных электродвигателей, у которых сопротивление обмоток составляет десятые доли Ом, эта погрешность может быть существенной. Для устранения погрешности переходного сопротивления используется 4-проводная схема измерения, показанная на рис. 4б. При такой схеме измерения величина переходного сопротивления $R_{п}$ практически не влияет на выходное напряжение U , которое в этом случае пропорционально измеряемому сопротивлению $R_э$:

$$U = I_0 \times R_э$$
 (при условии $R_1 = R_2 \gg R_э$)
 Сравнивая показания цифрового вольтметра различных секций об-

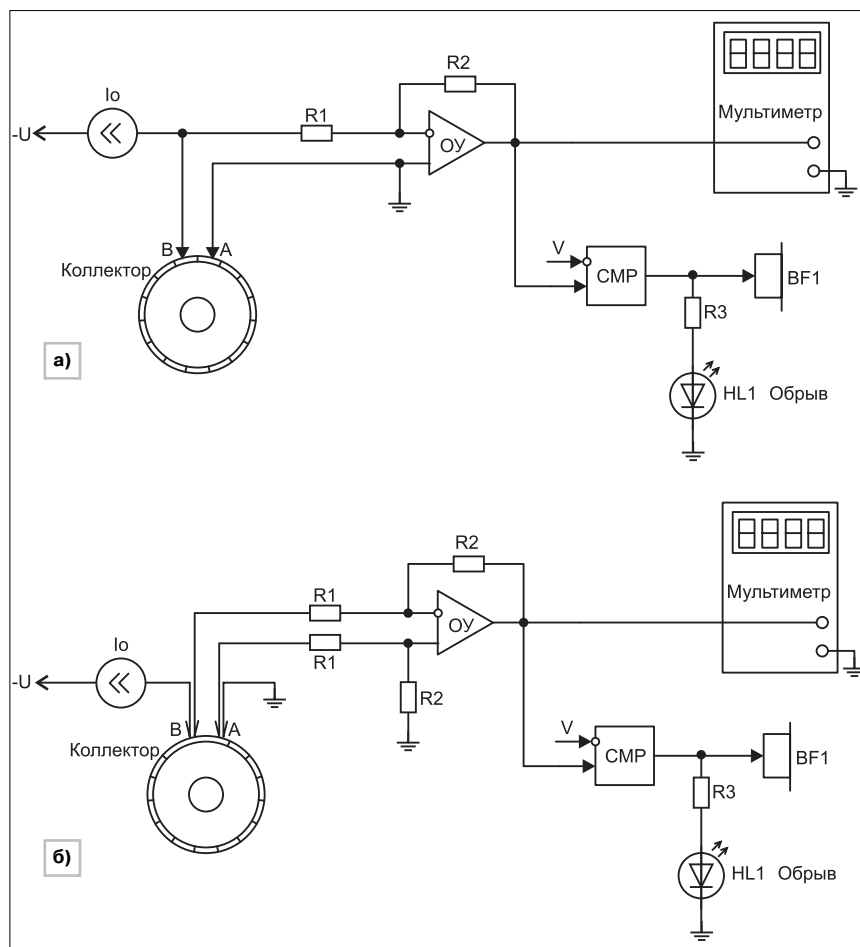


Рис. 4. Функциональная схема определения обрыва в обмотках якоря.
а) 2-проводная схема измерения
б) 4-проводная схема измерения

моток якоря, можно судить о переходном сопротивлении между выводами секции и пластинами коллектора, то есть о качестве обжима или термоусадки (сварки) проводов в ламелях коллектора.

СМР, включается сигнал брака по межвитковому замыканию (загорается индикатор брака МВ и звучит зуммер ВФ). Чувствительность этой схемы к короткозамкнутым виткам определяется величиной

тока утечки I_u , при этом искомое сопротивление $R_{из}$ будет равно:

$R_{из}(M\Omega) = 500/I_u - R_b$, где I_u — ток утечки (мкА), R_b — балластное сопротивление, ограничивающее ток в цепи измерения (МОм).

Величина порогового значения тока утечки $I_{уп}$ для сопротивления 100 МОм, будет равна:

$$I_{уп} = 500/(100+R_b).$$

Если ток утечки, измеренный прибором, превысит значение $I_{уп}$, формируется сигнал брака по сопротивлению изоляции.

На основе приведенных функциональных схем разработан и выпускается прибор ПУНС-5 (рис. 6), предназначенный для проверки якорей и статоров электродвигателей, работающих от сети переменного тока 220 В, 50 Гц, мощностью от 100 до 2500 Вт.

Прибор предназначен для:

- обнаружения обрывов и определения сопротивления обмоток якоря;
- обнаружения межвиткового замыкания в обмотках якоря;
- определения целостности обмоток статора;
- обнаружения межвиткового замыкания в обмотках статора;
- определения сопротивления изоляции обмоток якоря (статора) при напряжении 500 В; (функция мегаомметра);
- определения шага и угла укладки обмоток якоря.

Технические характеристики прибора ПУНС-5:

Типоразмеры проверяемых якорей:

- максимальный диаметр — 60 мм;
- длина (вместе с валом) — 100...250 мм;
- мощность — 100...2500 Вт.

Типоразмеры проверяемых статоров:

- минимальный диаметр внутреннего отверстия — 30 мм;
- минимальная длина пакета сердечника — 32 мм;
- максимальная мощность — 2500 Вт.

Пределы измерения сопротивления обмоток якоря (погрешностью не более $\pm 2,5\% \pm 0,02 \text{ Ом}$) — 0,07...19,99 Ом.

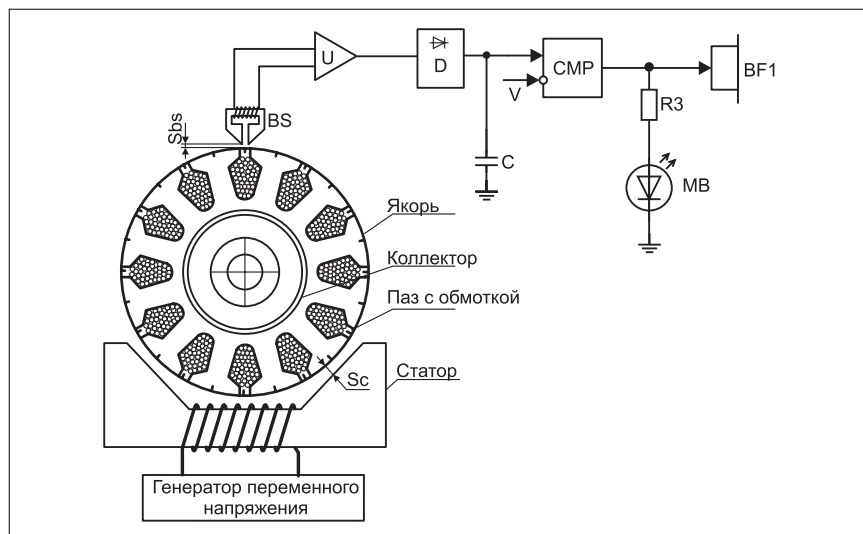


Рис. 5. Функциональная схема проверки обмоток якоря на межвитковое замыкание

Обнаружение межвиткового замыкания в обмотках якоря

Для обнаружения межвиткового замыкания в обмотках якоря, последний помещают в переменное электромагнитное поле, создаваемое с помощью внешней статорной катушки. На статорную катушку поступает переменное напряжение с генератора (рис. 5). С противоположной стороны от статорной катушки вблизи пазов якоря размещают датчик электромагнитного поля BS. При отсутствии межвиткового замыкания в обмотках наводится напряжение, но из-за симметричного расположения обмоток ток в обмотках отсутствует. Вследствие чего суммарное электромагнитное поле, воздействующее на датчик BS, очень незначительно. В случае межвиткового замыкания в одной из секций, симметрия поля и его взаимокompенсация нарушается. В пазах, где располагается секция с короткозамкнутым витком, величина электромагнитного поля резко возрастает, что и регистрируется датчиком BS. Сигнал на выходе детектора D превышает пороговый уровень V компаратора

зазора Sc между статором и сердечником якоря, величиной зазора Sbs между датчиком электромагнитного поля BS и пазами, в которых уложены провода обмотки якоря, также параметрами электронной схемы.

Определение сопротивления изоляции обмоток якоря

При измерении сопротивления изоляции между обмотками якоря и его металлическими частями необходимо руководствоваться правилами международного стандарта NF C15-100 [3], а также ГОСТ 16264.0-85. В соответствии с ГОСТ 16264.0-85 «Машины электрические малой мощности. Двигатели. Общие технические условия.», п.3.2, сопротивление изоляции токоведущих частей двигателей относительно корпуса должно быть не менее 100 МОм для основной изоляции в практически холодном состоянии и в нормальных климатических условиях. Измерить сопротивление изоляции $R_{из}$ обмоток якоря наиболее просто подачей тестируемого напряжения (500 В) между обмоткой якоря и его сердечником (валом) и измерением тока утечки I_u . Прибор измеряет

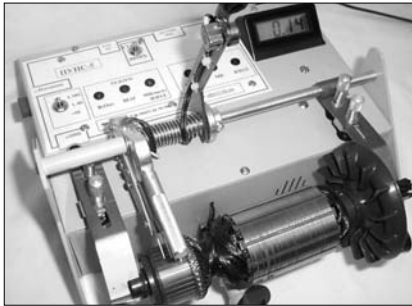


Рис. 6. Прибор ПУНС-5 с контролируемым якорем

Пределы измерения сопротивления изоляции — 24...500 МОм.

Электропитание прибора сеть переменного тока — 220 ± 22 В, 50 Гц.

Потребляемая мощность от сети переменного тока — не более 10 ВА.

Габариты прибора (265×265×160) мм.

Масса, не более — 4 кг.

Прибор имеет световую и звуковую сигнализацию при обнаруже-

нии обрыва и межвиткового замыкания в обмотках, а также, если сопротивление изоляции контролируемой цепи менее 100 МОм.

Прибор характеризуется большими значениями напряжений, возбуждаемых в обмотках контролируемого изделия, что приближает режим диагностики к режиму работы контролируемого изделия в реальных условиях.

Для контроля обмоток статоров к прибору подключается внешний датчик МВС (рис. 7). Методика оп-



Рис. 7. Датчик МВС к прибору ПУНС-5 для проверки статоров

ределения межвиткового замыкания в статорах с помощью аналогового датчика подробно описана в [4].

Для определения шага и угла укладки обмоток якоря используется внешний зажим — адаптер, который через разъем соединяется с прибором.

Литература

1. Петухов В., Соколов В. Диагностика состояния электродвигателей.

Метод спектрального анализа потребляемого тока. // *Новости Элтехники*. — 2008. — № 4.

2. Кацман М.М. Электрические машины. М. 2001, с. 369

3. Стандарт NF C15-100. www.diagnost.ru.

4. Бегиев А., Тихонов В. Прибор для обнаружения межвиткового замыкания в обмотках электродвигателей. // *Схемотехника*. — 2006. — № 1. — С. 44-45.

Приборы для проверки якорей и статоров ПУНС-5, ППС-1, М830L и др.



Технические параметры на сайте: <http://el-diag.narod.ru/>
г. Волжский. Консультации и приобретение:
тел/факс (8443) 41-39-90, e-mail: altiv@list.ru