

**УДК 621.316**

Н.Д. САМОНОВ, студент гр. НЭБ-241 (КузГТУ)

А.С. ГРОМОВ, студент гр. НЭБ-241 (КузГТУ)

Научный руководитель А.В. ГРИГОРЬЕВ, к.т.н., доцент (КузГТУ)

г. Кемерово

**АДАПТИРОВАНИЕ СХЕМЫ ТОКОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КЛЕЩЕЙ  
К ДИАГНОСТИЧЕСКОМУ КОМПЛЕКСУ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

Около 180 млн. единиц общепромышленных асинхронных двигателей (АД), эксплуатируемых в РФ, потребляют порядка 65% вырабатываемой в РФ электроэнергии [1]. Ежегодно от 4 до 7% парка АД обновляется, проходит капитальный ремонт и модернизируется, а не менее 0,5-0,7% утилизируются из-за разрушения или ухудшения конструкционных элементов и магнитных свойств электротехнической стали статора [1].

Существующая технология капитального ремонта АД предусматривает извлечение неисправной обмотки статора из его пазов после отжига статора при температуре 360-380°C, из-за чего ухудшаются магнитные свойства электротехнической стали. Кроме того, при коротких замыканиях в обмотке, находящейся в пазу, возможны локальные оплавления паз. Извлечение обмотки из пазов статора часто сопровождается нарушением их геометрии. Устранение оплавленных мест, правка пазов требуют затраты трудовых ресурсов. В большинстве случаев, при капитальном ремонте АД, новая обмотка статора изготавливается по обмоточным данным исходного двигателя, без учета ухудшенных свойств магнитопровода статора, что приводит к уменьшению КПД [1].

Из вышесказанного можно сделать вывод, что проведение капитального ремонта электродвигателей зачастую является довольно затратным по времени. Остановка производства на этот период вероятно приведёт к серьёзным убыткам. Кроме того, такой вид ремонта может оказаться достаточно дорогостоящим.

В свою очередь планово-предупредительный ремонт исключает вероятность внезапного выхода из строя, а также увеличивает срок службы. Также стоит отметить, что своевременная диагностика позволит планировать капитальный ремонт.

Однако стоит отметить, что применение стратегии обслуживания электрооборудования по состоянию, в первую очередь, является эффективным при эксплуатации мощных дорогостоящих электродвигателей, задействованных на ответственных технологических процессах, не допускающих длительных простоев и связанных с большими материальными ущербами [2].

Использование диагностического комплекса электродвигателей позволит выявить весь спектр возможных неисправностей, а также облегчит и ускорит проведение планово-предупредительного ремонта.

**Анализ схем токоизмерительных клещей.** Существует два вида клещей: измеряющие только переменный ток и измеряющие как переменный, так и постоянный токи.

Клещи для измерения только переменного тока (клещи Дитце) работают по принципу трансформатора тока (рисунок 1). Губки клещей представляют собой магнитопровод, на который намотана обмотка. При смыкании губок образуется замкнутый контур, и создаётся трансформатор тока, первичной обмоткой которого является проводник, ток в котором нужно измерить, а вторичной – обмотка внутри клещей. При прохождении переменного тока через проводник в магнитопроводе создается переменный магнитный поток, наводящий во вторичной обмотке соответствующую коэффициенту трансформации ЭДС.

Достоинства клещей – низкая стоимость и простота конструкции. Недостатком является невозможность измерения постоянного тока.

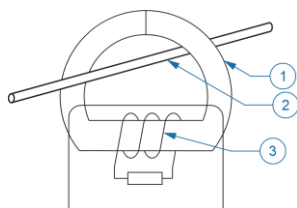


Рис. 1. Строение клещей Дитце: 1 – губки клещей; 2 – проводник;  
3 – вторичная обмотка

Принцип работы клещей для измерения переменного и постоянного токов основан на датчике Холла. Датчик Холла представляет собой пластинку, вдоль которой подаётся ток возбуждения  $I$  (рисунок 2). При прохождении через эту пластинку магнитного поля с индукцией  $B$ , ток возбуждения начинает отклоняться, вследствие чего между краями пластинки появляется разность потенциалов  $U$ , называемая ЭДС Холла.

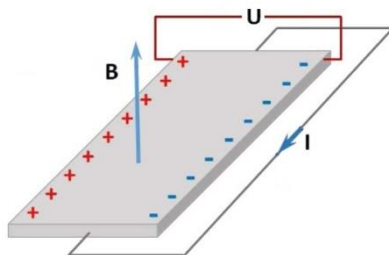


Рис. 2. Строение датчика Холла:  $U$  – ЭДС Холла;  $I$  – ток возбуждения;  
 $B$  – индукция магнитного поля измеряемого тока

Существует два типа клещей, использующих для своей работы датчик Холла: работающие по принципу датчиков тока прямого усиления и датчиков тока компенсационного типа. Их строение изображено на рисунке 3.

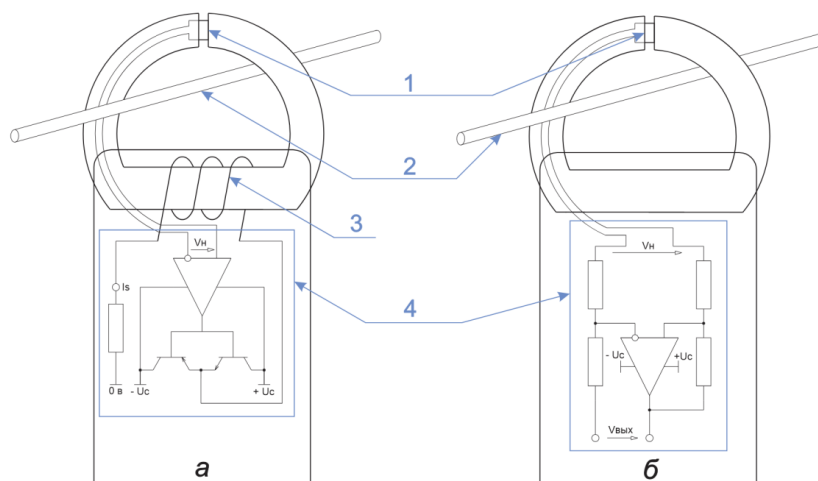


Рис. 3. Типы клещей с датчиком Холла: а – клещи, работающие по принципу датчиков тока компенсационного типа; б – клещи, работающие по принципу датчиков тока прямого усиления; 1 – датчик Холла; 2 – проводник; 3 – катушка; 4 – схема усиления

В клещах первого типа датчик Холла установлен поперёк магнитопровода, т.е. так, чтобы магнитный поток внутри магнитопровода проходил перпендикулярно пластинке датчика. Этот магнитный поток изменяет направление тока возбуждения в пластинке, в результате чего создастся разность потенциалов (ЭДС Холла). В данном случае ЭДС Холла будет пропорционально измеряемому току. Далее этот сигнал усиливается на дифференциальном усилителе.

Как и в клещах первого типа, датчик Холла в клещах второго типа измеряет магнитный поток в магнитопровode. Однако в данном случае сигнал, полученный с датчика, после усилителя поступает на вторичную (компенсационную) обмотку. Вторичная обмотка создаёт в магнитопровode магнитный поток противоположного направления. Таким образом, создаётся обратная связь. В результате ток во вторичной обмотке пропорционален измеряемому току и количеству её витков.

Достоинством клещей является возможность измерять постоянный ток. Недостатки – высокая стоимость и возможная необходимость усложнения схемы диагностического комплекса.

В данном случае (диагностика двигателей переменного тока) нет необходимости измерять постоянный ток, поэтому были выбраны клещи, способные измерять только переменный ток.

**Адаптирование схемы к диагностическому комплексу электродвигателей.** После изучения схемы токоизмерительных клещей, было выявлено, что схема является типовой. Выход вторичной обмотки приходит на шунт, показания клещей будут сниматься с этого шунта.

В качестве примера на рисунке 4 представлен переделанный фрагмент схемы токоизмерительных клещей MS2001.

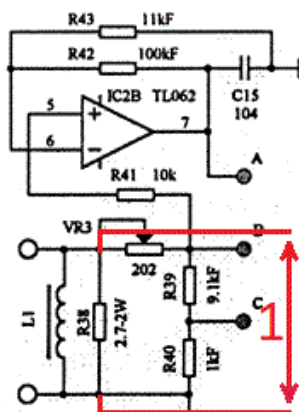


Рис. 4. Фрагмент схемы токоизмерительных клещей: 1 – выход схемы

Из рисунка 4 можно сделать вывод, что работоспособность схемы не была нарушена, т.е. клещи могут выполнять свои изначальные функции.

Было изменено питание: изначально клещи питаются от батареек, однако в диагностическом комплексе установлен внутренний источник питания 3В, который будет запитывать клещи вместо них. Клещи имеют два сигнальных выхода и два питающих входа. Все четыре провода объединены в общий экранированный кабель. Экран будет защищать сигнал, пока он идёт от клещей до комплекса, для избежания искажения измерений.

Адаптированные клещи представлены на рисунке 5.



Рис. 5. Адаптированные клещи

Белый и зелёный провода подключены к шунту, они снимают напряжение с вторичной обмотки. Красный и чёрный провода предназначены для питания клещей.

Подключение клещей к диагностическому центру будет осуществляться при помощи пятиконтактного коннектора. Схема подключения клещей изображена на рисунке 6.

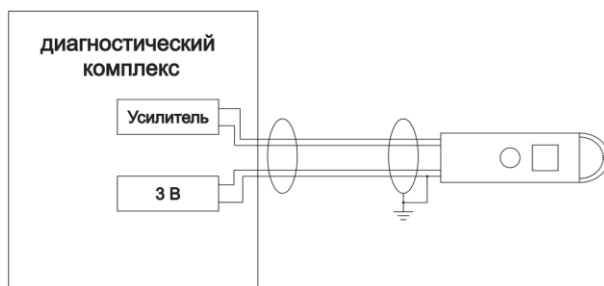


Рис. 6. Схема подключения клещей

Выход с клещей будет подаваться на дифференциальный усилитель, изображённый на рисунке 7, после чего на встроенные в комплекс АЦП и планшет. Планшет будет показывать графики измеренных параметров двигателя для анализа неисправностей.

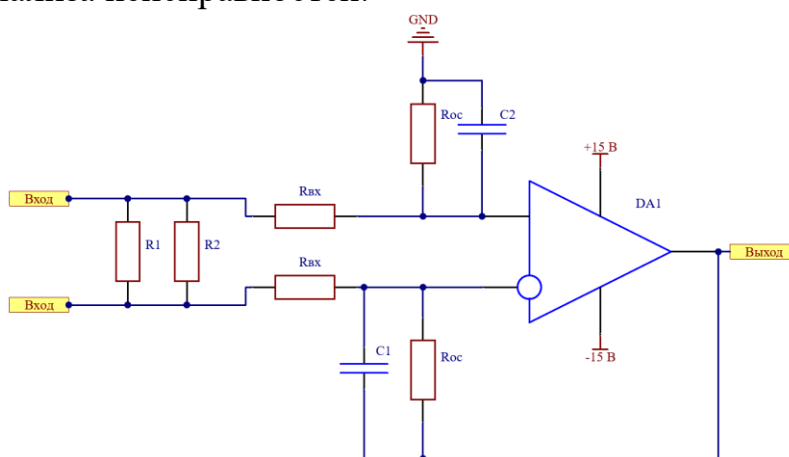


Рис. 7 Дифференциальный усилитель

После испытания клещей было выяснено, что при измерении тока в проводнике, равного 7 А, на шунте появляется напряжение  $U_{ш} = 13 \text{ мВ} = 0,013 \text{ В}$ . Выходное напряжение  $U_{вых}$  должно быть равно 1 В, следовательно коэффициент усиления схемы  $k_y$  будет равен:

$$k_y = \frac{U_{вых}}{U_{ш}} = \frac{1}{0,013} = 77. \quad (1)$$

Коэффициент усиления  $k_y$ , при  $R_{вх}$ , равном 1 кОм, составит:

$$k_y = \frac{R_{ос}}{R_{вх}} \Rightarrow 77 = \frac{R_{ос}}{1 \text{ кОм}} \Rightarrow R_{ос} = 77 \cdot 1 \text{ кОм} = 77 \text{ кОм}. \quad (2)$$

Таким образом, для получения нужного выходного напряжения, необходимо взять  $R_{ос} = 77 \text{ кОм}$ , а  $R_{вх} = 1 \text{ кОм}$ .

Общий вид диагностического комплекса изображён на рисунке 8.

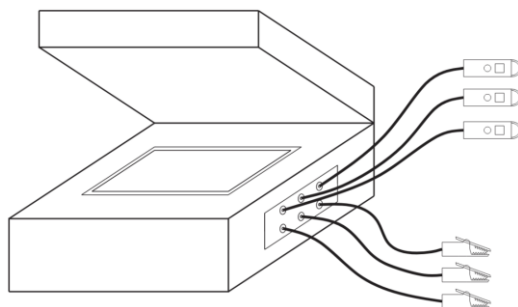


Рис. 8. Общий вид диагностического комплекса

**Вывод.** В ходе предварительных проверок токоизмерительные клещи были успешно адаптированы к уровням сигналов разрабатываемого диагностического комплекса. Дальнейшее усовершенствование комплекса будет связано с адаптацией к диагностическому комплексу клещей на основе элемента Холла.

#### Список литературы:

1. Мугалимов Р.Г. Повышение энергоэффективности и ресурсосбережение при капитальном ремонте, модернизации и утилизации двигателей асинхронных электроприводов / Р.Г. Мугалимов, Р.А. Закирова, А.Р. Мулимова, К.Э. Одинцов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. – Магнитогорск. 2018. Т. 16. №3. С. 145-159. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-energoeffektivnosti-i-resursosberezhenie-pri-kapitalnom-remonte-modernizatsii-i-utilizatsii-dvigatelye-asinhronnyh>.
2. Сырых Н.Н. Методика применения диагностирующего параметра при стратегии обслуживания электродвигателей по состоянию / Н.Н. Сырых, А. И. Некрасов, А. А. Некрасов // Ползуновский вестник – Барнаул. 2011. №2/2. С. 144 - 149. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-primeneniya-diagnostiruyuschego-parametra-pri-strategii-obsluzhivaniya-elektrodvigatelye-po-sostoyaniyu>.

#### Информация об авторах:

Самонов Никита Дмитриевич, студент гр. НЭБ-241, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, [samonovnd@kuzstu.ru](mailto:samonovnd@kuzstu.ru)

Громов Александр Сергеевич, студент гр. НЭБ-241, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, [gromovas@kuzstu.ru](mailto:gromovas@kuzstu.ru)