

профиля;

линейный износ по толщине долот из стали 65Г на величину утопания (2 мм) головки крепежных болтов наступает при наработке около 12 га;

для испытанных экспериментальных долот по мере изнашивания их почворежущего профиля обеспечивалась нормальная заглубляемость корпусов плуга;

у испытанных серийных деталей из стали 65Г в процессе изнашивания фиксировалось образование затылочной фаски, угол наклона которой уменьшался по мере износа ПРП по толщине;

для долот из стали 60ПП (тип № 3) в наплавленном слое не обнаружено случаев скалывания и выкрашивания;

долота из стали 65Г имеют более низкий ресурс по сравнению с долотами из стали 60ПП;

на лицевой поверхности крепежной части долот из стали 65Г по мере их эксплуатации появляются глубокие риски и царапины, направление которых параллельно движению абразивных частиц почвы;

лицевая поверхность крепежной части долот из стали 60ПП с начала эксплуатации приобретает зеркальный вид без видимых глубоких царапин и рисков, что способствует меньшему сопротивлению движения пахотного пласта по данной поверхности;

на долотах из стали 65Г из-за их недостаточной износостойкости крепежной части изнашиваются головки крепежных болтов, использование которых повторно исключается;

на долотах из стали 60ПП сохраняется целостность головок крепежных болтов, что делает возможным их повторное использование при замене долот;

установлена достаточно высокая стабильность темпа

изнашивания долот из стали 65Г и из стали 60ПП.

Результаты расчетов интенсивности изнашивания и коэффициента износостойкости представлены в табл. [1].

#### Выводы

В результате испытаний установлено, что долота из стали 65Г на почвах с высокой абразивной изнашивающей способностью имеют наработку до предельного состояния, равную нормативной в 20 га. Они выбраковываются из-за опережающего линейного износа по толщине крепежной части. При этом не подлежат повторному использованию крепежные болты, так как происходит полный износ их конической головки.

Долота из стали 60ПП (тип № 2) имеют ресурс в пределах от 40 до 50 га, что в 2...2,5 раза превышает этот показатель для долот из стали 65Г.

Долота из стали 60ПП (тип № 3) имеют ресурс в пределах от 50 до 60 га, что в 2,6...3,0 раза превышает этот показатель для долот из стали 65Г.

Высокий ресурс и работоспособность долот из стали 60ПП свидетельствуют о целесообразности использования таких изделий, особенно на почвах, засоренных гравелистыми частицами и камнями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. СТБ 1388-2003. Плуги тракторные общего назначения. – Мн.: Госстандарт, 2003. – С. 34.

2. Протокол № 106-2004 приемочных испытаний долот (серийных из стали 65Г, экспериментальных из стали 60ПП (закалка+отпуск) и из стали 60ПП (диффузионное намерзание + закалка + отпуск)) к плугам для каменистых почв. БелМИС, 2004. – С. 34.

УДК 626.833-83

## УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ И ТУРБИННОГО ВРАЩЕНИЯ ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРОНАСОСА

**В.А. Дайнеко, к.т. н., доцент, В.В. Гурин, к. т. н., профессор, Д.В. Батраков, аспирант, И.Г. Русак, инженер (УО БГАТУ)**

Надежность и долговечность электродвигателей погружных насосов можно значительно повысить за счет непрерывного контроля состояния электрической изоляции и предотвращения неблагоприятных режимов во время работы и в периоды пуска и остановки. При эксплуатации погружных насосов возможен режим обратного (турбинного) вращения, которое возникает после отключения питания электро-

двигателя при неисправности обратного клапана. Такое вращение вызывается давлением на насос жидкостью, падающей сверху; пуск электродвигателя при этом недопустим до полной остановки насоса.

Выбор рациональной схемы электроснабжения погружного электронасоса также повышает надежность его работы и снижает частоту аварийных отключений по причине

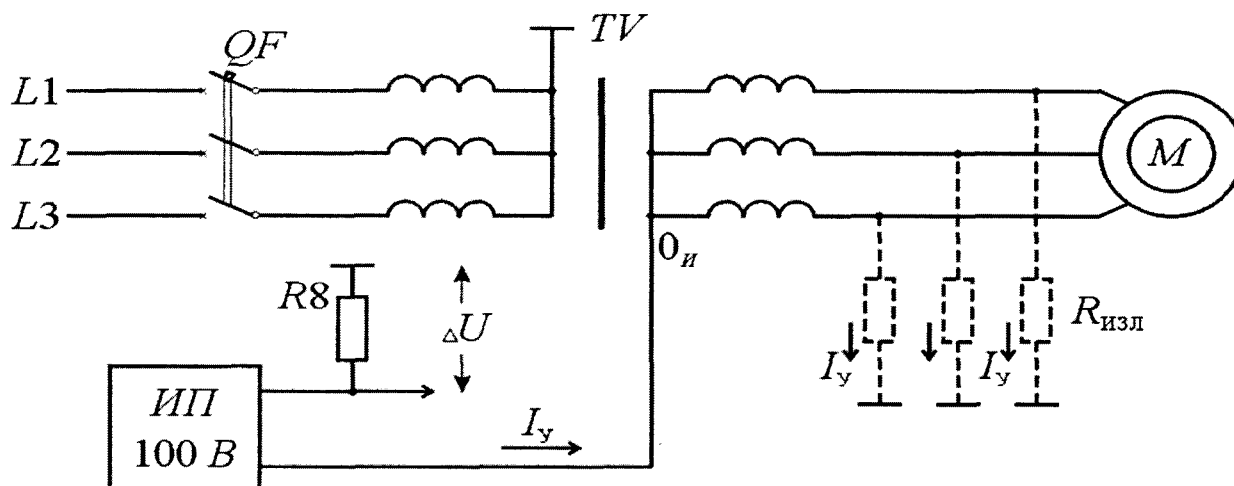


Рис. 1. Общая схема контроля изоляции при работающем оборудовании с использованием источника постоянного тока 100 В

нарушения изоляции.

Такой является схема электроснабжения с изолированной нейтралью (система IT), в которой используется специальный повышающий трансформатор. Последний обеспечивает на зажимах электродвигателя номинальное напряжение при большой (до 2 000 м) длине питающего кабеля [1].

Система IT обеспечивает большую электробезопасность и надежность, чем системы с заземленной нейтралью (TN) при условии непрерывного контроля состояния изоляции электрооборудования в процессе работы [2].

На кафедре электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ разработано устройство для непрерывного контроля сопротивления изоляции системы “вторичная обмотка трансформатора – питающий кабель – обмотка электродвигателя” (рис. 1). Устройство обеспечивает измерение и регистрацию текущего значения сопротивления изоляции при совместной работе с микроконтроллером. Кроме того, устройство обеспечивает предупредительную сигнализацию при снижении сопротивления изоляции ниже заданного значения и автоматическое отключение электронасоса при аварийном снижении сопротивления изоляции (ниже 40 кОм) системы “вторичная обмотка трансформатора – кабель – обмотка электродвигателя”.

В отличие от известных устройств, например, описанных в [3], разработанное устройство позволяет определить коэффициент адсорбции изоляции и хранить его в памяти контроллера. Этот параметр представляет собой отношение сопротивления изоляции, измеренное через 60 с. после подачи постоянного напряжения, к сопротивлению изоляции, измеренному через 15 с после подачи постоянного напряжения. Функция контроля направления вращения ротора электродвигателя позволяет обнаружить обратное (турбинное) вращение насоса и выдавать сигнал запрета включения питания электронасоса до его полной остановки.

Схема контроля сопротивления изоляции (рис. 2) состоит из стабилизированного источника питания напряжением 100 В, предназначенного для питания измерительной цепи (диодный мост VD1, стабилитрон VD4, резисторы R8, R9, конденсатор C8), ограничителя напряжения (стабилитроны VD2, VD3), усилителя с RC-фильтром на входе (DA1, R11, R3, R1, R2, C1, C2), преобразователя “напряжение-частота” (DA2, R4, R5, C5) и оптрона DA3, предназначенного для гальванической изоляции выхода DA2 и входа контроллера.

Как видно из рис. 1, ток утечки при повреждении изоляции определяется как

$$I_{ут} = \frac{U}{R_{из} + R8}, \quad (1)$$

или

$$I_{ут} = \frac{\Delta U}{R8}, \quad (2)$$

где  $U$  – напряжение стабилизированного источника питания постоянного тока (100 В);

$\Delta U$  – падение напряжения на резисторе R8.

Из выражений (1) и (2) сопротивление изоляции

$$R_{из} = \frac{U \cdot R8}{\Delta U} - R8 \quad (3)$$

Падение напряжения  $\Delta U$ , пропорциональное току утечки изоляции, через RC-фильтр R11, C1, R3, C2 поступает на вход неинвертирующего усилителя на микросхеме DA1 с коэффициентом усиления

$$k_1 = \frac{R2}{R1} + 1.$$

Фильтр подавляет переменную составляющую в сигнале  $\Delta U$ . Стабилитроны VD2, VD3 образуют двусторонний ограничитель напряжения, благодаря которому напряжение на R8 не превышает 5В даже при возникновении коротких замыканий на зем-

лю контролируемой цепи.

Выходная частота преобразователя “напряжение – частота” (“ $U - f$ ”) определяется по формуле:

$$f_{ВЫХ} = k \cdot \Delta U, \quad (4)$$

где  $k = k_1 \cdot k_2$ ,  $k_2$  – коэффициент пропорциональности, определяющий крутизну преобразователя “напряжение – частота”.

Подставив  $\Delta U = \frac{f_{ВЫХ}}{k}$  в (3), получим

$$R_{ИЗ} = \frac{k \cdot U \cdot R8}{f_{ВЫХ}} - R8, \quad (5)$$

или

$$R_{ИЗ} = A \cdot T - R8, \quad (6)$$

так как  $f = \frac{1}{T}$ ,

где  $T$  – период импульсов на выходе преобразователя

“напряжение – частота”,  $A = k \cdot U \cdot R8$ .

Так как в нормальном режиме работы электронасоса  $R_{ИЗ} \gg R8$  ( $R8=2\text{кОм}$ ,  $R_{ИЗ} > 10\text{МОм}$ ), можно записать

$$R_{ИЗ} \cong A \cdot T. \quad (7)$$

Таким образом, контроллер должен выполнять операцию измерения периода, при этом после умножения на заданный масштабный коэффициент  $A$  на индикаторе отображается сопротивление изоляции в кОм или МОм.

При контроле работоспособности устройства контакт реле KV2, управляемого контроллером, подключает резистор R12 сопротивлением 10Мк “–” источника питания 100 В.

Реле KV1 также управляется контроллером и служит для подключения цепи контроля изоляции к ИП при измерении коэффициента адсорбции R60/R15. Программа микроконтроллера позволяет при каждом включении насоса автоматически определять коэффициент адсорбции.

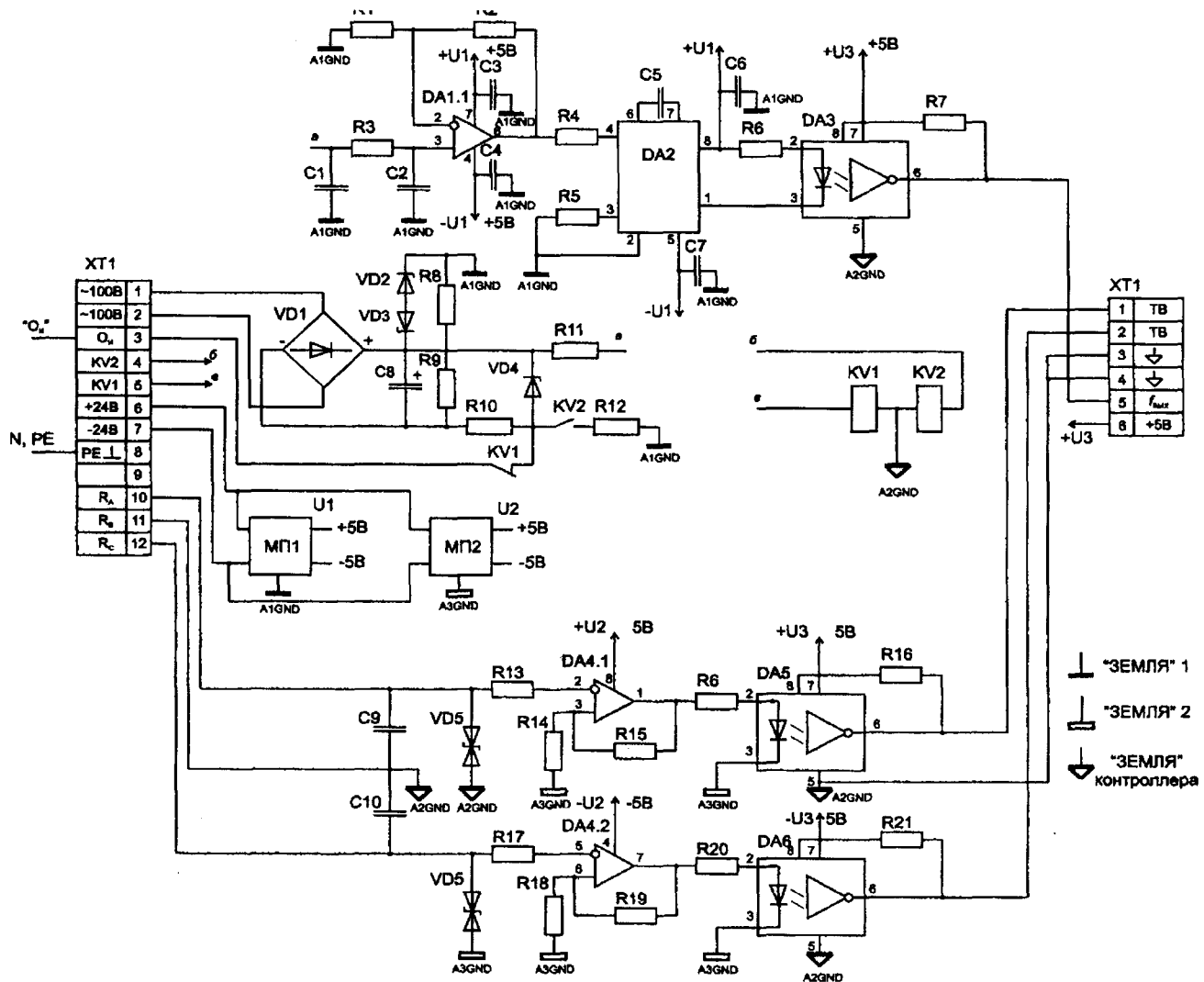


Рис. 2. Электрическая принципиальная схема блока контроля изоляции и турбинного вращения

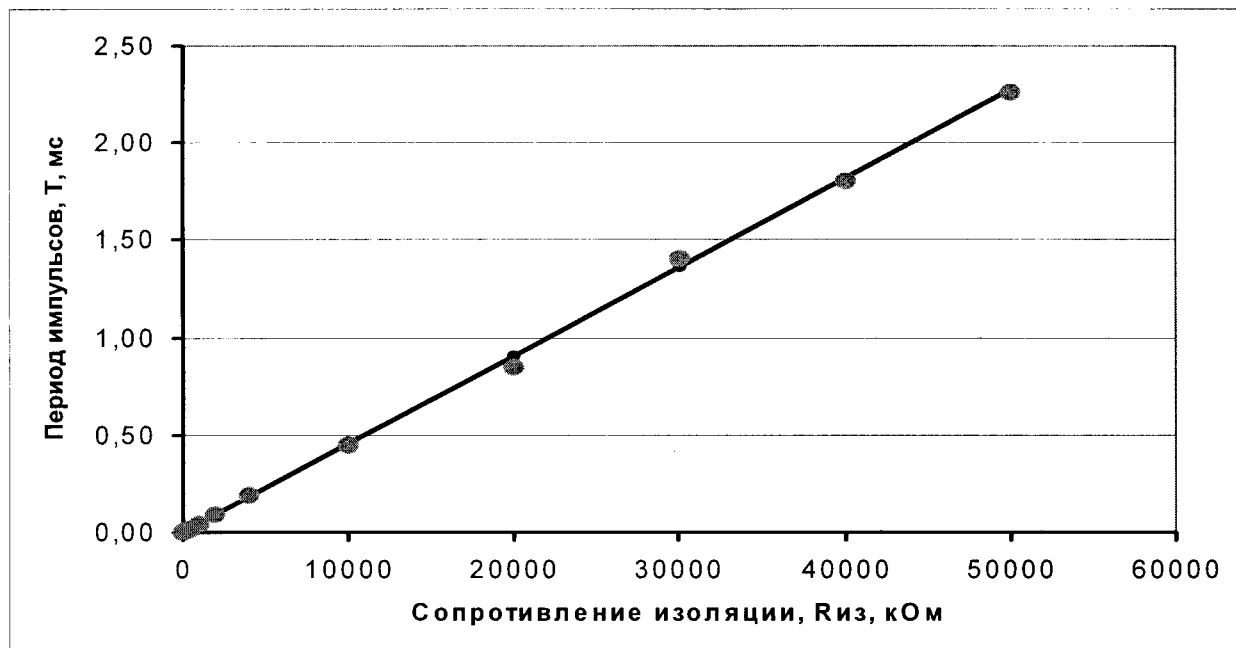


Рис. 3. Результаты расчета и испытаний устройства контроля сопротивления изоляции: — — — результаты расчета; • — результаты испытаний

Узел контроля турбинного вращения состоит из двух компараторов DA4.1 и DA 4.2, входы которых через резисторы R13, R17 подключены к выводам двух фаз первичной обмотки трансформатора.

Если после отключения от сети трансформатора ротор электродвигателя вращается из-за турбинного эффекта, на выводах обмоток двигателя появится ЭДС, которая наводится вращающимся ротором из-за его остаточной намагниченности. Таким образом, на выходах компараторов появятся прямоугольные импульсы с частотой турбинного вращения. С помощью контрол-

лера производятся измерения частоты и фазы (направления) вращения ротора. Выходные цепи узлов контроля изоляции и турбинного вращения гальванически развязаны при помощи оптронов DA3, DA5, DA6.

На рис. 3 представлены результаты испытаний устройства контроля изоляции. Максимальное отклонение величины измеренного периода от рассчитанного по формуле (7) не превышает 0,00093 мс при измерении сопротивления изоляции от 30 кОм до 50 МОм. Период при этом линейно зависит от сопротивления изоляции. Среднеквадратическое отклонение не превысило 0,726 в диапазоне сопротивлений изоляции от 30 кОм до 50 Мом.

Описанное устройство выполнено на печатной плате и помещено в защитный пластмассовый корпус исполнения IP 54 (рис. 4).

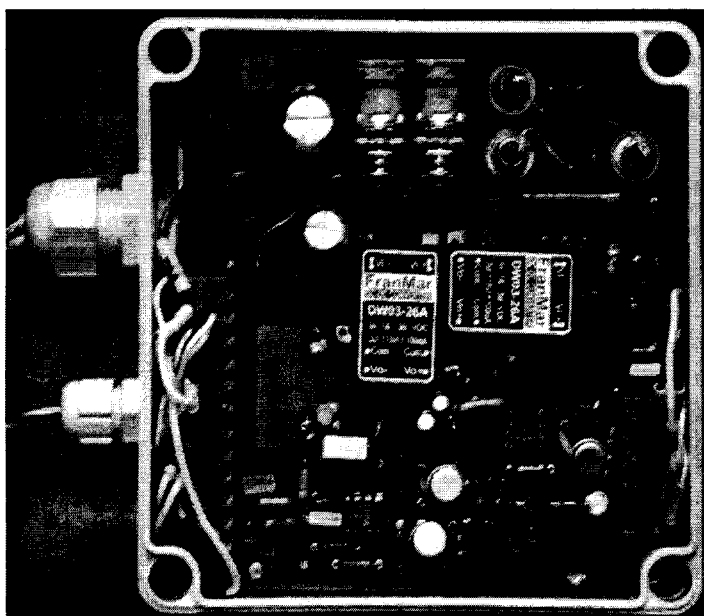


Рис. 4. Устройство контроля сопротивления изоляции и турбинного вращения

## ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов А.А. Погружные центробежные электронасосы. —М.: Гостоптехиздат, 1957. — 191 с.
2. УЗО – устройства защитного отключения: Учебно-справочное пособие. – М.: ЗАО “Энергосервис”, 2003. – 232 с.
3. Фролкин В. “Аргус” – надежная защита от поражения электрическим током. / Новости электротехники, №1 (13), 2002. – С. 44...45.
4. Бесчастнов Г., Красильников А., Нэмени Т., Филиппов Ю. Устройство контроля изоляции обмотки статора генератора / СТА, №3, 1999. – С. 80...84.