

энергии образуют замкнутый контур. Следовательно, отклонение рабочих параметров любого из этих элементов (крайний случай – выход из строя) приведет к отклонению выходных характеристик генераторной установки.

Можно сказать, что генераторная установка обладает последовательной схемой надежности (см. рисунок 2) [1].

Одним из ключевых элементов генератора является обмотка возбуждения, расположенная на роторе. Ее назначение – преобразовывать подведенное напряжение в магнитный поток, который за счет вращения ротора оказывается переменным как пространстве, так и во времени.

Обмотка ротора характеризуется структурными – масса, размеры, и выходными параметрами – сопротивление обмотки, сопротивление изоляции, температура обмотки [7].

Поскольку обмотка ротора предназначена для создания магнитного потока, то можно осуществить следующие преобразования:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi \equiv I \cdot w \\ I = \frac{U_{\delta}}{R_{op}} \\ R_{op} = \frac{\rho \cdot \pi \cdot D_{cp} \cdot w}{S_{np}} \\ \Phi \equiv \frac{U_{\delta} \cdot S_{np}}{\rho \cdot \pi \cdot D_{cp}} \end{array} \right. \quad (1)$$

где Φ – магнитный поток, Вб;
 I – сила тока обмотки, А;
 w – количество витков обмотки;
 R_{op} – сопротивление обмотки ротора, Ом;
 U_{δ} – напряжение бортовой сети, В;
 ρ – удельное сопротивление проводника, Ом·м;



Рисунок 2. Последовательное взаимодействие элементов генератора

D_{cp} – средний диаметр обмотки, м;
 S_{np} – площадь сечения проводника, м².
 Так как параметры ρ , S_{np} и D_{cp} в процессе эксплуатации остаются постоянными, то можно считать, что:

$$\Phi \equiv U_{\delta}. \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что производительность обмотки ротора не зависит от ее сопротивления, в то время как все основные неисправности обмотки приводят к его уменьшению (межвитковые замыкания, замыкания на корпус, обрыв обмотки) [3].

Рассмотрим еще один параметр обмотки – ее температуру:

$$t_{об} = \frac{U_{\delta}^2}{R_{op}}. \quad (3)$$

Если графически представить изменение параметров обмотки в процессе эксплуатации (см. рисунок 3), то можно заметить, что первичным является все же изменение сопротивления обмотки, приводящее к росту ее температуры и ускорению деструктивных процессов.

К изменению сопротивления обмотки приводит изменение сопротивления изоляции: межвитковой и корпусной [4], [5]. Графическая схема замещения обмотки ротора представлена на рисунке 4.

В исправном состоянии сопротивление корпусной и межвитковой изоляции (десятки мегаом) намного превышает сопротивление обмотки ротора (единицы ом) и не оказывает на нее влияние. В случае значительного снижения сопротивления изоляции под действием дестабилизирующих факторов (попадание влаги, повышенная температура, коррозионные вещества) происходит межвитковое замыкание или замыкание на корпус, приводящее к снижению сопротивления обмотки, как показано на рисунке 3.

Исходя из этого, математическая модель обмотки ротора:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi = f(U_{\delta}) \\ t_{об} \equiv \frac{U_{\delta}^2}{R_{op}} \\ R_{op} \rightarrow R_{орн} \text{ при } R_{ки}, R_{ми} \rightarrow \max \end{array} \right. \quad (4)$$

а модель работоспособности:

$$\left. \begin{aligned} R_{op} &= R_{орн} - \text{исправное состояние} \\ R_{op} &\geq 0,85 \cdot R_{орн} - \text{работоспособное состояние} \\ 0,5 \cdot R_{орн} &\leq R_{op} \leq 0,85 \cdot R_{орн} - \text{межвитковые замыкания} \\ 0 \leq R_{op} &\leq 0,7 \cdot R_{орн} - \text{замыкание на корпус} \\ R_{op} &= \infty - \text{обрыв обмотки} \\ R_{op} &= 0 - \text{короткое замыкание обмотки} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Рассмотрим теперь обмотку статора, которая преобразует магнитный поток обмотки ротора в переменное напряжение и характеризуется теми же структурными и выходными параметрами, что и обмотка ротора.

Для обмотки статора справедливо следующее утверждение:

$$\left\{ \begin{aligned} U_{\approx} &\equiv n \cdot \Phi \cdot \omega \\ n &= i \cdot \eta \cdot n_{двс} \end{aligned} \right. \quad (6)$$

где U_{\approx} – переменное напряжение обмотки статора, В;

n – частота вращения ротора генератора, мин⁻¹;

i – передаточное отношение шкив генератора – шкив коленчатого вала;

η – КПД ременной передачи;

$n_{двс}$ – частота вращения коленчатого вала ДВС, мин⁻¹.

Поскольку мы выяснили, что магнитный поток в процессе эксплуатации практически не изменяется, то можно считать, что на величину напряжения, вырабатываемого обмоткой статора, оказывает влияние число витков обмотки, которое может снизиться при межвит-

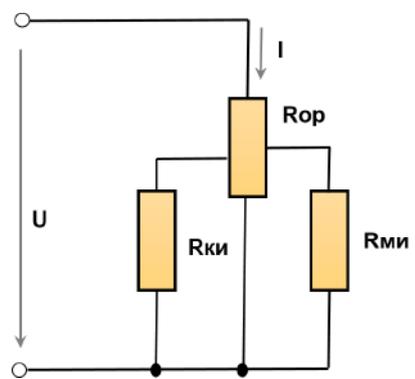


Рисунок 4. Схема замещения обмотки ротора

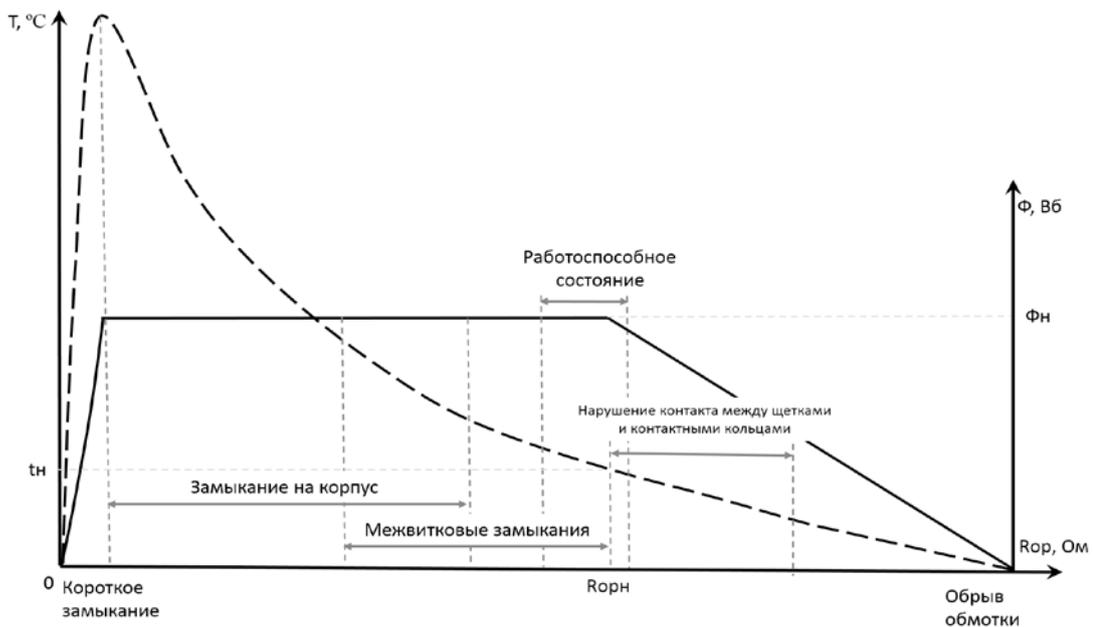


Рисунок 3. Изменение параметров обмотки ротора в процессе эксплуатации

ковых замыканиях, замыканиях на корпус и межфазных замыканиях, и частота вращения ротора, уменьшающаяся при недостаточном натяжении ремня.

Практически можно считать, что:

$$R_{oc} \equiv w. \quad (7)$$

Тогда модель работоспособности аналогично обмотке ротора

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{oc} = R_{ocн} - \text{исправное состояние} \\ R_{oc} \geq 0,85 \cdot R_{ocн} - \text{работоспособное состояние} \\ 0,5 \cdot R_{ocн} \leq R_{oc} \leq 0,85 \cdot R_{ocн} - \text{межвитковые замыкания} \\ 0 \leq R_{oc} \leq 0,7 \cdot R_{ocн} - \text{замыкание на корпус, межфазное замыкание} \\ R_{oc} = 0 - \text{короткое замыкание обмотки} \\ R_{oc} = \infty - \text{обрыв обмотки} \end{array} \right\} \quad (8)$$

Избыточное натяжение ремня может привести к ускоренному выходу из строя подшипников (особенно переднего).

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Если } g_p = g_{pн} \rightarrow n = i \cdot \eta \cdot n_{ocн} \\ \text{Если } g_p < g_{pн} \rightarrow n < i \cdot \eta \cdot n_{ocн}, U_{\approx} \downarrow - \text{ремень проскальзывает} \\ \text{Если } g_p > g_{pн} \rightarrow n = i \cdot \eta \cdot n_{ocн}, t_{подш} \uparrow, T_{подш} \downarrow - \text{ремень перетянут} \end{array} \right\} \quad (9)$$

где g_p – натяжение ремня, Н;

$t_{подш}$ – температура подшипника, °С;

$T_{подш}$ – ресурс работы подшипника, ч.

Исходя из этого, математическая модель обмотки статора:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{\approx} = f(\Phi, R_{oc}, n) \\ R_{oc} \rightarrow R_{ocн} \text{ при } R_{кк}, R_{мц} \rightarrow \max \\ n = i \cdot \eta \cdot n_{ocн} \text{ при } g_p = g_{pн} \end{array} \right\} \quad (10)$$

Следующим узлом по схеме надежности (рисунок 2) идет выпрямительный блок, преобразующий переменное напряжение обмотки статора в постоянное напряжение бортовой сети.

Выпрямительный блок представляет собой последовательно-параллельное соединение группы полупроводниковых диодов (как правило, не меньше шести), причем сопротивление каждого диода может принимать значения в широком диапазоне: от 0,1 Ом при пропускании тока в прямом направлении до 10000 Ом – в обратном [6].

На рисунках 5, 6 показано графическое представление работоспособности диодов в зависимости от их внутреннего сопротивления.

Выпрямительный блок считается исправным, если сопротивление каждого из диодов находится в диапазоне:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{\delta} = f(U_{\approx}, R_{\delta}) \\ 0 \leq R_{\delta} \leq 1,5 \cdot R_{\delta} - \text{при прямом включении} \\ 0,75 \cdot R_{\delta} \leq R_{\delta} \leq \infty - \text{при обратном включении} \end{array} \right\}, \quad (11)$$

где U_{δ} – напряжение на выходе выпрямительного блока, В;

R_{δ} – сопротивление диодов, Ом.

Замыкающим схему элементом является щеткодержатель, связывающий выпрямительный узел и обмотку ротора.

Если генератор находится в исправном состоянии наблюдается равенство:

$$U_{щ} = U_{\delta} \approx U_{\delta}, \quad (12)$$

где $U_{щ}$ – напряжение на выходе щеткодержателя, В.

В общем случае напряжения отличаются на величину падения напряжения в щеткодержателе [8]:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{щ} = f(U_{\delta}, \Delta U_{щ}) \\ \Delta U_{щ} \equiv R_{щ} \\ R_{щ} = f(g_{щ}, R_{кк}) \end{array} \right\}, \quad (13)$$

где $\Delta U_{щ}$ – падение напряжения в щеткодержателе, В;

$R_{щ}$ – сопротивление цепи щеткодержатель-обмотка ротора, Ом;

$g_{щ}$ – сила прижатия щеток, Н;

$R_{кк}$ – сопротивление контактных колец, Ом.

Основными неисправностями щеткодержателя, обуславливающими увеличение разности напряжений, являются:

$$\left\{ \begin{array}{l} g_{щ} < g_{щн} \rightarrow \text{полохой контакт} \\ g_{щ} = 0 \rightarrow \text{зависание щеток} \rightarrow U_{щ} = U_{\delta} = 0 \\ R_{кк} > R_{ккн} \rightarrow \text{окисление контактных колец} \end{array} \right\} \quad (14)$$

Таким образом, сводная математическая модель работоспособности генератор будет выглядеть следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{\delta} = f(n) \\ \text{при } R_{\delta} \rightarrow R_{ocн}, R_{\delta} \rightarrow R_{\delta}, R_{щ} \rightarrow R_{щ} \end{array} \right\}. \quad (15)$$

Закключение. Согласно данным эксплуатации [3] неисправности автомобильных генераторов составляют порядка 15% всех отказов электрооборудования, причем внезапный выход из строя генератора приводит к остановке транспортного процесса. Следовательно, актуальной задачей является разработка методики прогнозирования текущей работоспособности и остаточного ресурса автомобильных генераторов. На основании разработанных математических моделей как основных элементов, так

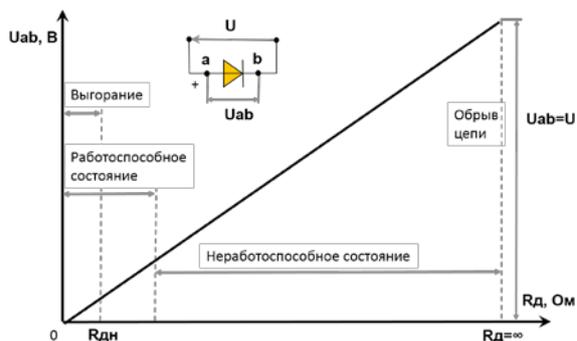


Рисунок 5. Прямое включение диода

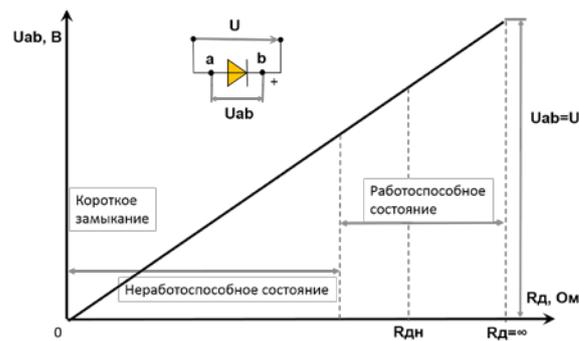


Рисунок 6. Обратное включение диода

и генератора в целом установлено, что главными параметрами, определяющими работоспособность, являются электрические сопротивления. Значит, для решения поставленной задачи необходимо установить взаимосвязь

между текущим значениями электрических сопротивлений элементов автомобильного генератора и величиной (формой) его выходного напряжения [2], [7].

23.02. 2015

Список литературы:

1. Набоких, В.А. Диагностика электрооборудования автомобилей и тракторов: Учебное пособие / В.А. Набоких. – М.: Форум: НИЦ Инфра-М, 2015. – 288 с.
2. Гриценко, А.В. Диагностирование автомобильных генераторов по осциллограммам напряжения / А.В. Гриценко, С.С. Куков // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2010. – №2. – С. 13-15.
3. Пузаков А.В. Исследование эксплуатационной надежности автомобильных генераторных установок / А.В. Пузаков // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: сборник статей VIII Международной научно-производственной конференции / МНИЦ ПГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2014. – С. 87-91.
4. Пузаков, А.В. Метод диагностики генераторных установок / А.В. Пузаков // Повышение эффективности эксплуатации автотранспортных средств на основе современных методов диагностирования: материалы междунар. научн.-практ. конф.– Иркутск: ИрГТУ, 2007.– с.197-199
5. Пузаков, А.В. Совершенствование диагностики генераторных установок автомобилей / А.В. Пузаков, Е.В. Бондаренко, А.М. Федотов // Прогрессивные технологии в транспортных системах: материалы X междунар. научн.-практ. конф. – Оренбург: ОГУ, 2011. – с. 246-249
6. Зарандия, Ж.А. Диагностирование генераторных установок автомобилей / Ж.А. Зарандия, В.Д. Рогачев, В.В. Нечаев // Вестник ТГТУ – 2004. – Том 10. – С. 1109-1112
7. Пузаков, А.В. Обоснование диагностических параметров автомобильных генераторных установок /А.В. Пузаков // Вестник ОГУ – №10, 2014. – С. 158-163
8. Пузаков, А.В. Диагностирование регуляторов напряжения автомобильных генераторов / А.В. Пузаков // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: материалы VIII междунар. науч.-техн. конф. 21-23 мая 2014 г. – Пенза, ПГУАС, 2014. – С. 367-372

Сведения об авторе:

Пузаков Андрей Владимирович, старший преподаватель кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей транспортного факультета Оренбургского государственного университета

460000, г. Оренбург, пр-т Победы, 149, тел.: (3532) 912224, e-mail: And-rew78@yandex.ru