

1. Ткаченко Р. Модель нейронних мереж // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”. 1998. № 349. С.83–86. 2. Ткаченко Р., Юрчак І., Цимбал Ю. Нейтераційне навчання нейронних мереж прямого поширення // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”. 1999. № 380. С.109–115.

УДК 631.313.333

**Гребченко Н.В., Полковниченко Д.В.**

Донецкий государственный технический университет, кафедра ЭС

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЭС

© Гребченко Н.В., Полковниченко Д.В., 2000

**У статті описана програма обробки експериментальних даних, що дозволяє підвищити точність виділення діагностичних параметрів за отриманими під час прямих вимірів параметрів режиму електродвигуна, і, отже, підвищити достовірність встановлення діагнозу про технічний стан електродвигуна.**

В настоящее время оценка состояния электродвигателей (ЭД) собственных нужд (с.н.) в рабочем режиме в основном производится обслуживающим персоналом по показаниям приборов (амперметры, вольтметры, термометры). Естественно, что таким способом можно выявить повреждения только уже на такой стадии их развития, когда показания приборов имеют существенные отклонения от нормальных. При этом во многих случаях степень развития повреждения такова, что параметры режима близки к срабатыванию релейной защиты. Поэтому для повышения чувствительности диагностики ЭД с.н. в рабочих режимах до такой степени, чтобы она выявляла возникновение повреждений на начальной стадии развития, предложено выполнять обработку и анализ записи в цифровом виде фазных токов ЭД и фазных напряжений на секции с.н. Осциллографирование этих величин выполняется без отключения ЭД.

Обработка полученной информации даст возможность выявить такие виды повреждений ЭД [1]:

- витковые замыкания в обмотках статора;
- обрывы и повреждения стержней короткозамкнутых роторов (КЗР);
- обрывы параллельных ветвей фазных обмоток статора.

При возникновении этих повреждений в фазных токах появляются симметричные составляющие обратной последовательности (ОП), а также могут появляться составляющие, частота которых отличается от частоты сети на величину скольжения ЭД.

Требуемую достоверность результатов диагноза можно обеспечить за счет применения таких алгоритмов и программ выделения диагностических параметров по полученным в ходе прямых измерений параметрам режима ЭД, которые удовлетворяют требуемую точность.

Для решения указанных задач разработана программа обработки фазных токов и напряжений на ПЭВМ. В основу программы положено определение векторов фазных токов и напряжений по двум выборкам мгновенных значений и вычисление вектора тока ОП по векторам трех фазных токов. Ток фазы  $B$  при отсутствии трансформатора тока в этой фазе рассчитывается по токам фаз  $A$  и  $C$ .

Первичная информация о состоянии ЭД фиксируется в виде непрерывных электрических величин – напряжений и токов, являющихся аналоговыми сигналами. В разработанной системе диагностики для контроля параметров режима работы ЭД используются сигналы, которые фиксируются в дискретные, равноотстоящие моменты времени и получают путем преобразования аналоговых сигналов в цифровые.

В основу программы положены зависимости

$$\overline{I}_2 = \frac{1}{3}(\overline{I}_a + a^2 \overline{I}_b + a \overline{I}_c), \quad (1)$$

$$\overline{U}_2 = \frac{1}{3}(\overline{U}_a + a^2 \overline{U}_b + a \overline{U}_c), \quad (2)$$

где  $\overline{I}_2$  – ток ОП;  $\overline{U}_2$  – напряжение ОП;  $\overline{I}_a, \overline{I}_b, \overline{I}_c, \overline{U}_a, \overline{U}_b, \overline{U}_c$  – векторные значения токов и напряжений фаз;  $a = e^{j120^\circ}$  – фазный множитель.

На основе анализа результатов расчетов различными способами произведен выбор алгоритма, обеспечивающего наилучшую точность расчета векторных значений токов и напряжений фаз  $\overline{I}_a, \overline{I}_b, \overline{I}_c, \overline{U}_a, \overline{U}_b, \overline{U}_c$  по их мгновенным значениям  $i_a(t), i_b(t), i_c(t), u_a(t), u_b(t)$  и  $u_c(t)$ . Из рассмотренных наибольшую точность обеспечивает алгоритм определения вектора на основе двух выборок синусоидального сигнала [2]. Согласно этого алгоритма значения векторов  $\overline{U}_{A,n} = \overline{U}_A(nT), \overline{U}_{B,n} = \overline{U}_B(nT), \overline{U}_{C,n} = \overline{U}_C(nT)$ , соответствующие фазным синусоидальным сигналам, равны при  $\beta = \omega_0 T$  [2]:

$$\overline{U}_{A,n} = \frac{u_A(nt)e^{j\beta} - u_A(nt-T)}{\sin \beta}; \quad (3)$$

$$\overline{U}_{B,n} = \frac{u_B(nt)e^{j\beta} - u_B(nt-T)}{\sin \beta}; \quad (4)$$

$$\overline{U}_{C,n} = \frac{u_C(nt)e^{j\beta} - u_C(nt-T)}{\sin \beta}, \quad (5)$$

где  $u_A(nt), u_B(nt), u_C(nt)$  – последовательность чисел, возникающих в моменты времени  $t = nT (-\infty < n < +\infty)$ ,  $n$  – целое число;  $T$  – период дискретизации (время между двумя соседними выборками);  $\omega_0 = 2\pi f_0$  – угловая основная частота;  $f_0$  – основная (промышленная) частота синусоидальных сигналов.

В электрической системе периодически происходит отклонение частоты сети от номинального значения 50 Гц, а поскольку в алгоритме используется значение частоты, то для обеспечения точности расчетов необходимо ее правильно определять. При неправильном определении значения частоты сигнала возникает погрешность обработки данных, что приводит к появлению сигнала на выходе программы даже при его отсутствии на входе. Результаты расчета зависимости погрешности алгоритма обработки экспериментальных

данных показывают, что учет реально возможного отклонения частоты дает погрешность в определении тока ОП свыше 0,5 % от номинального тока.

Разработанный алгоритм определения частоты сигнала основан на определении моментов перехода сигнала через нуль и расчете интервалов времени между ними. Точность расчета составляет 0,0002 %.

Вместе с полезным сигналом в канал измерения системы диагностики попадают также и помехи, вызывающие часто значительные погрешности. Способы борьбы с помехами в значительной мере зависят от их спектра, характера исследуемого сигнала и характера помехи [3]. В условиях системы с.н. ТЭС, расположенными там электроустановками, создаются в основном электромагнитные помехи, имеющие частоту больше основной (промышленной) частоты  $f_0$ . Поэтому для выделения полезной информации о техническом состоянии ЭД и отстройки от высокочастотных помех в программе производится цифровая фильтрация контролируемых сигналов. Цифровая фильтрация производится путем вычитания из контролируемого сигнала составляющих высших гармоник

$$K = \frac{f_2}{f_0} = 1,2 \div 20 (\Delta K = 0,01), \quad (6)$$

где  $K$  – кратность гармоники;  $f_2$  – частота высшей гармоники;  $\Delta K$  – шаг расчета.

В качестве одного из основных диагностических параметров используется коэффициент ОП по току

$$K_{2I} = \frac{I_{2дейст}}{I_{1дейст}} 100\%, \quad (7)$$

где  $I_{2дейст}$  – действующее значение тока ОП;  $I_{1дейст}$  – действующее значение тока прямой последовательности.

При этом несимметрия питающих напряжений может быть оценена коэффициентом ОП по напряжению [4]

$$K_{2U} = \frac{U_{2дейст}}{U_{ном}} 100\%, \quad (8)$$

где  $U_{2дейст}$  – действующее значение напряжения ОП;  $U_{2ном}$  – номинальное значение междуфазного напряжения.

Рассчитанное по полученным при обследовании ЭД данным значение  $K_{2I}$  сравнивается с допустимым значением коэффициента ОП по току для данного ЭД  $K_{2Iдон}$  (соответствует повреждению, вызывающему минимальное изменение тока ОП  $I_2$ ). На основе этого сравнения можно сделать вывод о наличии повреждения в ЭД и о его характере.

От вида повреждения ЭД зависит также частота тока ОП  $I_2$ . Так при повреждении обмоток статора  $I_2$  имеет частоту основной гармоники  $f_0$ , а при повреждении стержней КЗР  $I_2$  имеет частоту, определяемую по выражению [5, 6]

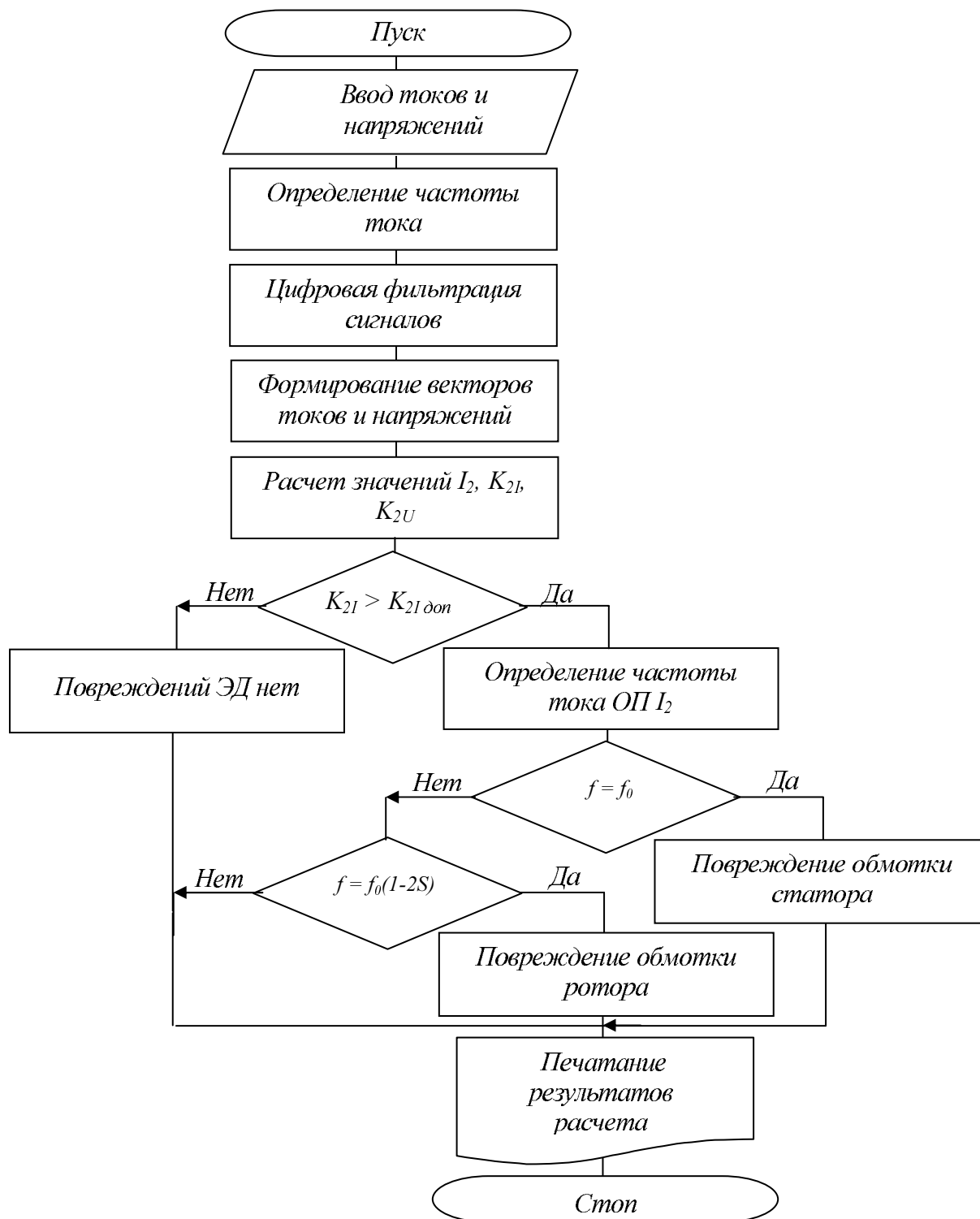
$$f_2 = f_0(1 - 2S), \quad (9)$$

где  $S$  – скольжение ЭД.

Исходя из этого, если  $K_{2I} > K_{2Iдон}$ , то для определения вида и места повреждения выполняется разложение тока ОП  $I_2$  на составляющие основной гармоники с частотой  $f_0$  и разностный сигнал, который получается после вычитания из сигнала основной гармоники.

По значению этих составляющих ставится диагноз о техническом состоянии ЭД в целом и о наличии и месте повреждения (обмотки статора или ротора).

На рис.1 показан алгоритм обработки экспериментальных данных, получаемых при обследовании ЭД с.н. ТЭС.



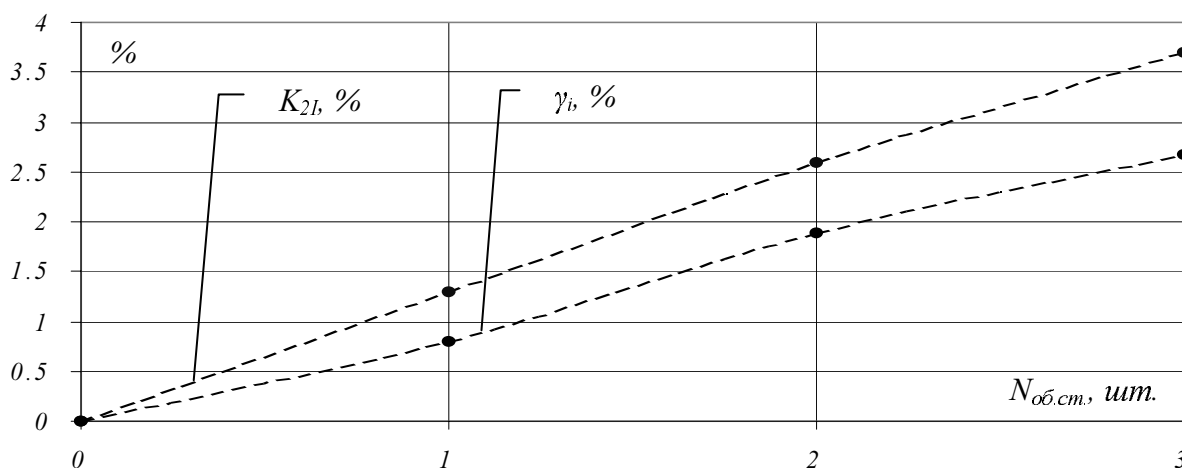
**Рис.1.** Алгоритм обработки экспериментальных данных.

Разработанная программа даст возможность также выделять из фазных токов третью гармонику, что позволяет использовать в качестве диагностического параметра также пульсации третьей гармоники в фазных величинах тока статора [6].

Правильность работы программы, разработанной в соответствии с приведенным алгоритмом, проверена с помощью математического тестирования. Для этого на вход программы подавались тестовые сигналы, полученные в результате суммирования составляющих прямой последовательности, ОП основной частоты сигнала и сигнала ОП с частотой, близкой к основной. Результаты, полученные на выходе программы, сопоставляли с входными данными, а их анализ подтвердил правильность и высокую точность работы программы.

Для проверки правильности принципов, заложенных в разработанную методику диагностирования, и получения зависимостей диагностических параметров от количества поврежденных стержней КЗР асинхронного электродвигателя (АД) проведена серия экспериментальных исследований на специальном АД. Ротор этого АД модернизирован с целью обеспечения возможности создания обрывов стержней КЗР. Для преобразования аналоговых сигналов (токов и напряжений) в цифровой вид при проведении экспериментальных исследований использовались десятиразрядные АЦП. В течение каждого периода промышленной частоты фиксировалось 20 точек входных сигналов, т.е. период дискретизации составил 1 мс.

По результатам экспериментальных исследований выполнено сравнение используемого диагностического параметра  $K_{2l}$  и пульсаций обобщенного вектора тока статора  $\gamma_i$  [7]. Полученные зависимости (рис.2), показывают, что при одних и тех же условиях относительное содержание тока ОП  $K_{2l}$  по значению больше, чем пульсации обобщенного вектора тока статора  $\gamma_i$ . Поэтому  $K_{2l}$  можно считать более информативным диагностическим параметром.



**Рис.2.** Зависимость диагностических параметров ( $K_{2l}$  – коэффициент ОП,  $\gamma_i$  – пульсации обобщенного вектора тока статора) от количества оборванных стержней КЗР АД  $N_{об.ст.}$ .

На основе разработанных и проверенных в лабораторных условиях принципов построения системы диагностики проведено обследование ЭД с.н. на одной из ТЭС ГАЭК Донбассэнерго. При этом блок 300 МВт находился в работе и нес нагрузку, близкую к номинальной. Обследуемые двигатели не отключались. Подключение в токовые цепи этих ЭД выполнялось на клеммных рядах в ячейках соответствующих выключателей. Результаты обработки полученных данных приведены в таблице.

### Относительное содержание тока ОП $K_{2I}$ в опытном токе статора ЭД

Обследуемый двигатель	Коэффициент ОП по току $K_{2I}, \%$	Коэффициент ОП по напряжению $K_{2U}, \%$
Дымосос	1,5	0,9
ДРГ	1,9	
ПЭН	2,5	
ШБМ	3,7	

На основе сравнения полученных результатов с допустимыми значениями  $K_{2I}$ , рассчитанными на математической модели по каталожным данным ЭД, сделан вывод об исправности всех обследованных ЭД. Полученные значения тока ОП можно использовать при последующей диагностике этих ЭД, а также им подобных.

### Выводы

1. Предложена методика диагностики ЭД и программа обработки фазных токов и напряжений, осциллографируемых при обследовании ЭД с.н. ТЭС с целью выявления повреждений ЭД. Правильность и точность работы программы проверена с помощью математического тестирования и путем сопоставления с результатами экспериментальных исследований на специальном АД в лабораторных условиях.

В основу программы положено определение векторов фазных токов и напряжений по двум выборкам мгновенных значений и вычисление вектора тока ОП по векторам трех фазных токов. Ток фазы В при отсутствии трансформатора тока в этой фазе рассчитывается по токам фаз А и С.

2. Результаты математической обработки экспериментальных данных показывают, что при выявлении обрывов стержней КЗР АД более информативным параметром является относительное содержание тока ОП. Для выявления характера и места повреждения необходимо определять частоту тока ОП.

3. Полученные экспериментальные данные и результаты их обработки можно использовать при последующих обследованиях ЭД.

1. Корогодский В.И., Куржиков С.Л., Паперно Л.Б. Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ. М., 1987. 2. Шнейерсон Э.М. Дистанционные защиты. М., 1986. 3. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. К., 1976. 4. ГОСТ-13109-87. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения. М., 1988. 5. Брюханов Г.А., Князев С.А. Метод и устройство для диагностики состояния роторных обмоток асинхронных электродвигателей // Электрические станции. 1986. № 2. С.44–45. 6. Гашимов М.А., Аскеров Н.А. Выявление неисправности стержней ротора асинхронных электродвигателей // Электрические станции. 1984. № 8. С.60–66. 7. Сивокобыленко В.Ф., Гребченко Н.В., Нури Абделбассет. Автоматизация диагностики стержней короткозамкнутых роторов асинхронных двигателей собственных нужд электрических станций // Сб. науч. тр. Донецкого государственного техн. ун-та. 1998. С.6–13.