

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ СОСТОЯНИЯ ЩЕТОЧНО-КОЛЛЕКТОРНЫХ УЗЛОВ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Панкратов А.И., Ивченко Н.В.

Донбасская государственная машиностроительная академия
pankratov@dgma.donetsk.ua, kolk_ivchenkov@mail.ru

The article is devoted to research of direct current machines monitoring and diagnostic. The diagnostic characters for DC machine commutator faults are analyzed experimentally. The basic features of commutator faults and malfunction progress can be used for its diagnosis, based on algorithms which allow to perfect dc machine diagnostic systems based on frequency analysis of dc machine voltage and armature current.

Введение. В настоящее время основными приводами мощных экскаваторов при разработке месторождений открытым способом являются электроприводы системы генератор – двигатель постоянного тока. Надежность этих электроприводов в большей степени зависит от надежности машин постоянного тока. Наибольшее число отказов в машинах постоянного тока приходится на щеточно-коллекторный узел. В зависимости от условий эксплуатации они составляют 60 – 66 % от общего числа отказов машин [1]. Отказы приводят к снижению производительности горных машин из-за простоев, связанных с аварийными ремонтами. Сократить эти простои возможно за счет использования систем диагностики, которые определяют отклонение эксплуатационных параметров от номинальных значений и прогнозируют время наступления аварий. Это позволяет скорректировать графики планово-предупредительных ремонтов и значительно сократить аварийные простои горных машин. Существующие тестовые системы диагностики используются в процессе ремонтных испытаний машин для определения их эксплуатационных параметров [1].

Технологические системы диагностирования электроприводов постоянного тока не получили широкого распространения из-за недостаточного развития информационных технологий диагностирования.

До сих пор оценку процесса коммутации машин постоянного тока производят в основном визуально по интенсивности искрения на коллекторе.

Цель работы. Основной целью работы является экспериментальное исследование диагностических признаков состояния щеточно-коллекторных узлов машин постоянного тока.

Материал и результаты исследований. Для определения влияния неисправности щеточно-коллекторного узла машины постоянного тока на форму сигналов тока и напряжения якоря машины была собрана установка, изображенная на рис. 1.

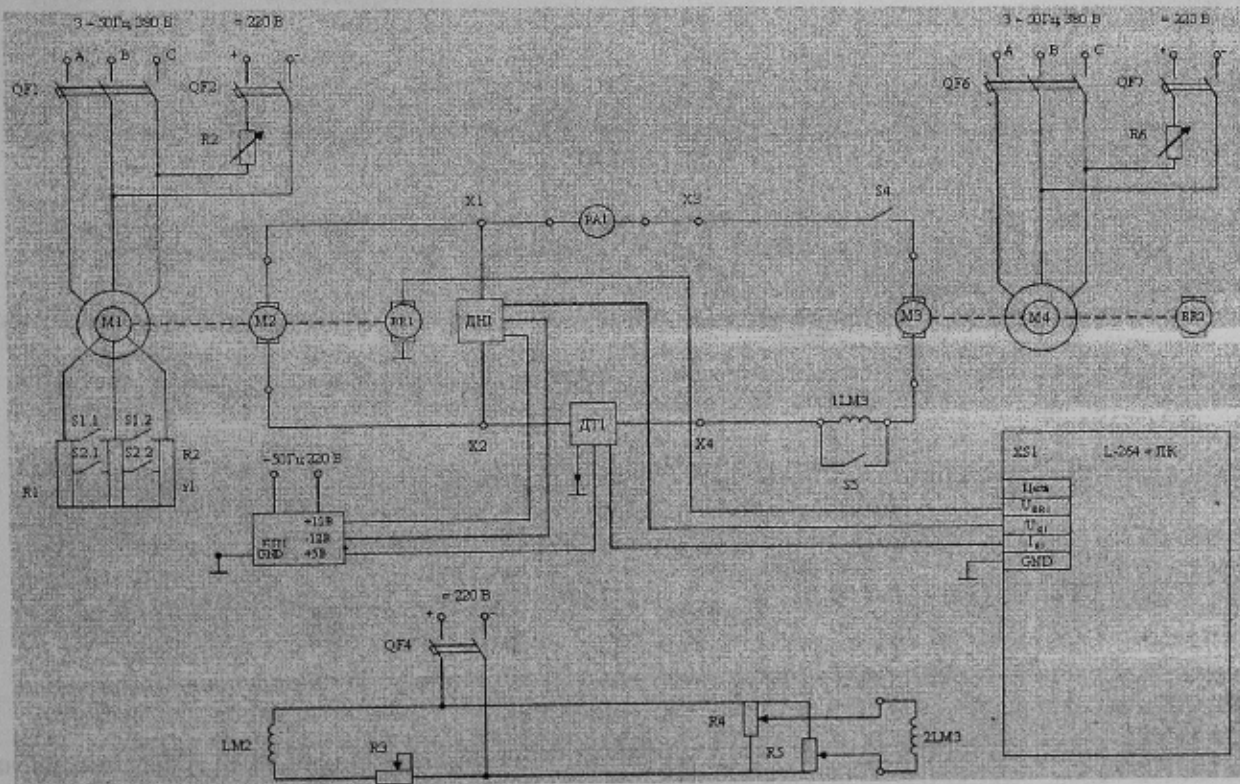


Рисунок 1 - Электрическая схема установки для исследования машин постоянного тока

Силовая часть установки представляет собой электропривод системы Г-Д. В ходе экспериментов якорь генератора постоянного тока (ГПТ) М3 приводился в движение первичным асинхронным двигателем М4. Питание двигателя постоянного тока (ДПТ) М2 осуществлялось от ГПТ (М3). Механическая нагрузка ДПТ обеспечивалась асинхронным двигателем с фазным ротором М1 в режиме торможения противовключением или

динамического торможения. Обмотки возбуждения ГПТ и ДПТ были запитаны от независимого источника постоянного тока. Двигатель М1 исследовался при коэффициентах загрузки $\beta = 0.2 \dots 2.5$.

В качестве информационных сигналов использовались мгновенные значения тока и напряжения якоря.

Для контроля сигналов тока и напряжения якоря использовались датчики тока и напряжения производства фирмы LEM, основными достоинствами которых являются: гальваническая развязка измерительных цепей, высокая точность измерения ($\pm 0,2\%$), высокая линейность ($< 0,1\%$) и широкий диапазон измеряемых частот (0.. 200 кГц). Сигналы тока и напряжения преобразовывались датчиками тока (ДТ1) и напряжения (ДН1) и подавались на электронную плату сопряжения типа L-264 производства фирмы L-card, подключаемую к персональному компьютеру (ПК). На персональном компьютере устанавливалось программное обеспечение для осциллографирования с высокой разрешающей способностью и последующей записью результатов на жесткий диск.

Одним из важных эксплуатационных параметров машин постоянного тока является сопротивление между коллекторными пластинами, зависящее от загрязнения коллектора угольной и металлической пылью.

Поэтому при экспериментах между пластинами коллектора подключались сопротивления, имитирующие изменение межламельного сопротивления $R_{\text{и}} = 0 \dots 1 \text{ МОм}$.

Экспериментально полученные графики мгновенных сигналов тока и напряжения якоря при нормальном и аварийном состояниях щеточно-коллекторных узлов ДПТ при номинальной нагрузке представлены на рис. 2. В верхней части рисунка 2 показаны осциллограммы мгновенных значений напряжения якоря ДПТ, в нижней части соответственно – осциллограммы тока.

Как видно из рисунка 2 при замыкании хотя бы двух коллекторных пластин формы сигналов тока и напряжения изменяются, в их спектрах появляются гармонические составляющие различной частоты.

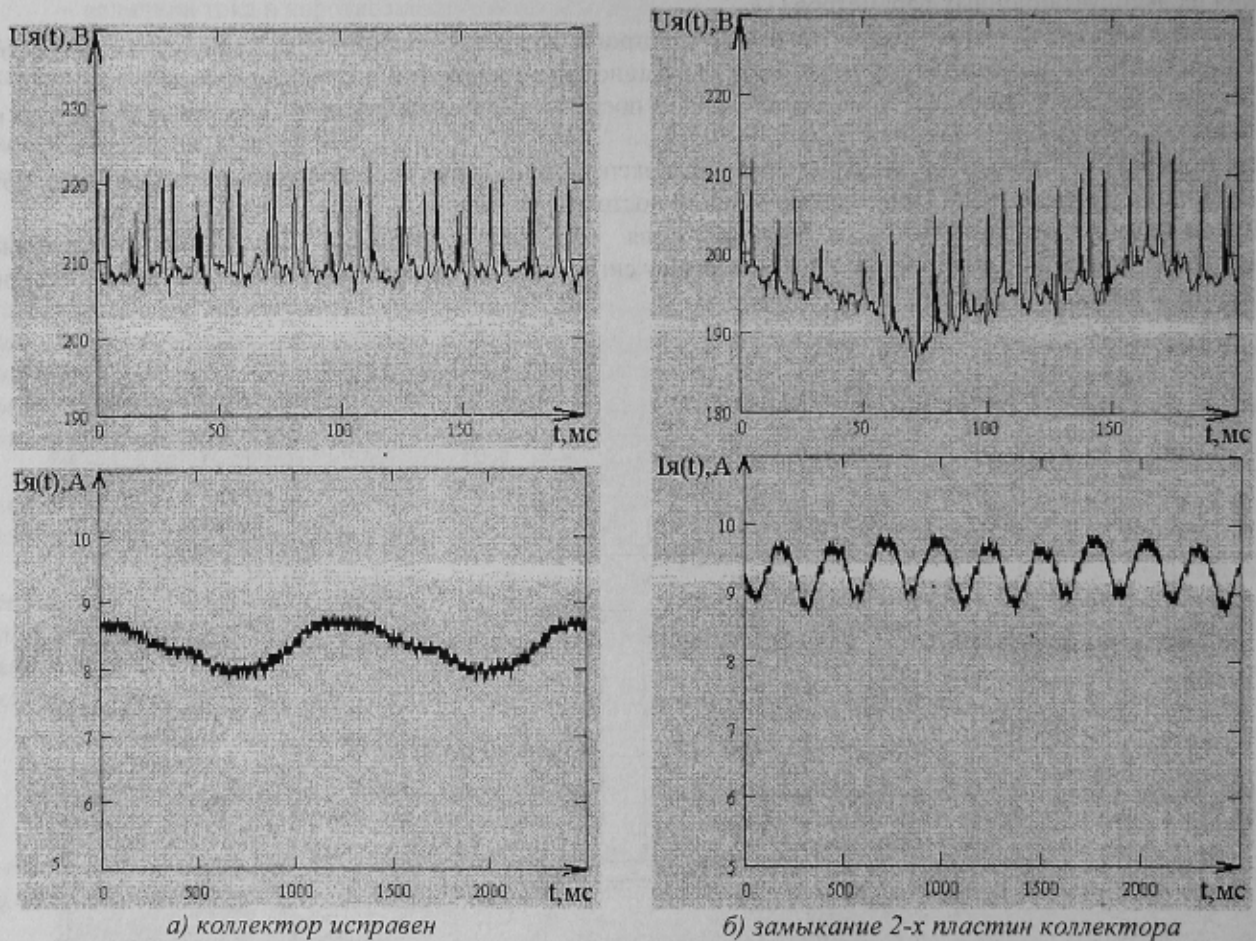


Рисунок 2 – Графики мгновенных сигналов напряжения и тока якоря ДПТ при различных состояниях коллектора

С учетом стационарности случайных процессов коммутации спектральный анализ исследуемых сигналов проводился на основе быстрого преобразования Фурье.

Для отстройки от изменений тока и напряжения, спектральный анализ проводился с нормализацией сигналов [2], при которой относительные амплитуды гармонических составляющих сигналов определялись по формуле:

$$A_{Nn} = \frac{A_n}{A_0}, \quad (1)$$

где A_n – амплитуда n -ой гармоники сигнала; A_0 – амплитуда сигнала нулевой гармоники.

Для выделения гармоник, модулированных ДПТ и ГПТ, частоты полученных спектров делились на частоты вращения ДПТ и ГПТ по формуле:

$$n_i = \frac{f_i}{f_{вр}}, \quad (2)$$

где f_i – частота i -й составляющей спектра, Гц;

$f_{вр}$ – частоты вращения машин постоянного тока, Гц;

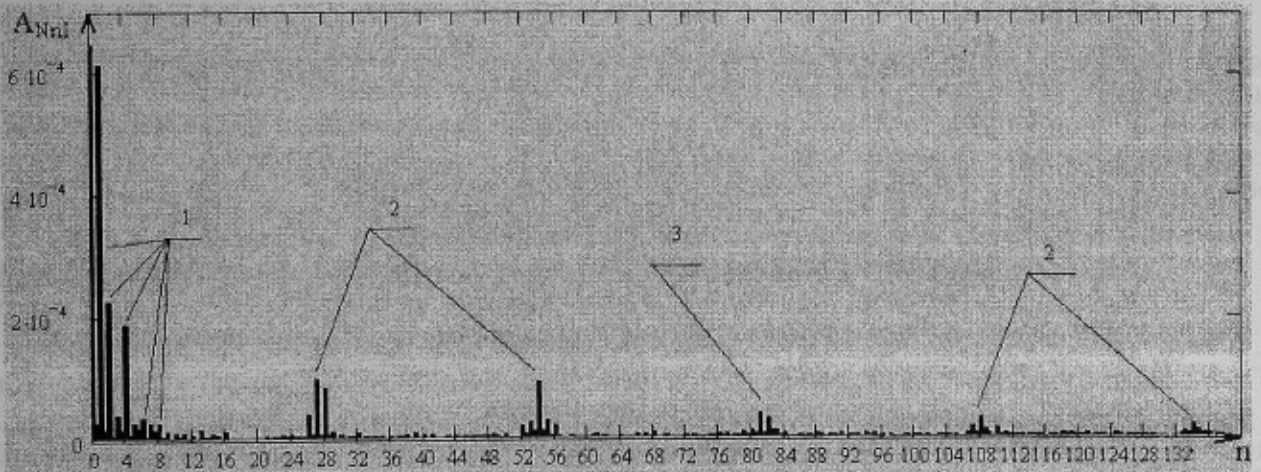
С учетом случайного характера процесса коммутации ДПТ исследовались представительные однотипные выборки N спектрограмм ($N \geq 30$).

Наиболее характерные нормированные спектры сигналов тока якоря при нормальном и аварийном состояниях щеточно-коллекторных узлов ДПТ для $\beta = 1$ приведены на рисунке 3.

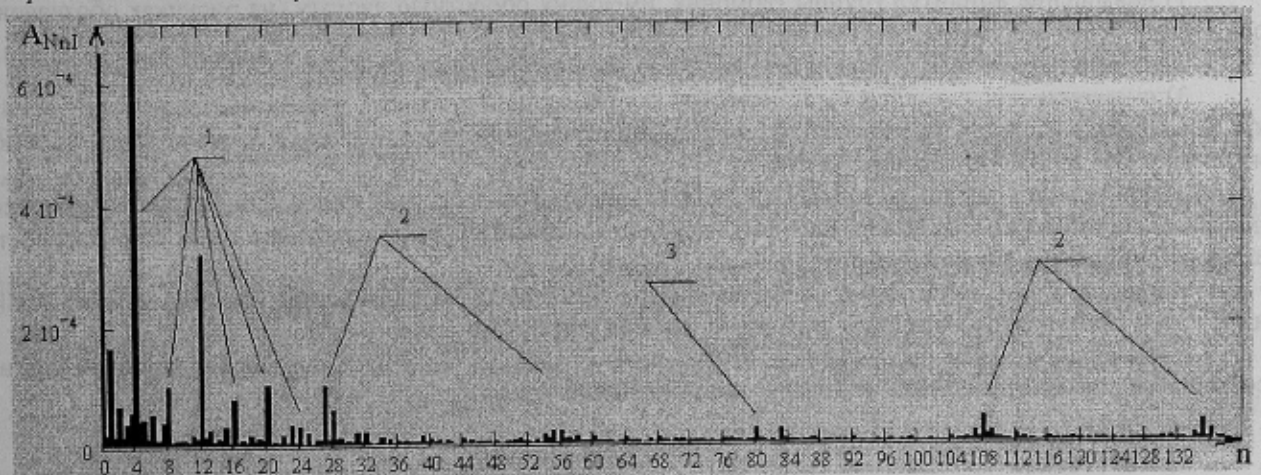
Наиболее характерные нормированные спектры сигналов напряжения якоря при нормальном и аварийном состояниях щеточно-коллекторных узлов ДПТ для $\beta = 1$ приведены на рисунке 4.

Спектральный анализ сигналов позволил получить четкую картину гармонических составляющих и их изменение при возникновении неисправностей. Установлено, что в спектрах сигналов тока и напряжения содержатся гармонические составляющие, кратные частоте вращения машины, кратные количеству пазов якоря, так называемые зубцовые гармоники, и кратные количеству пластин коллектора машины. В спектрах также присутствуют высокочастотные составляющие, обусловленные разрывом контактов коммутируемых секций, которые увеличивают свою амплитуду с увеличением интенсивности искрения на коллекторе. В данной работе исследованы три группы гармоник:

1) гармоники, имеющие частоту вращения (оборотные), здесь основная частота $f = pn/60$, где p – число пар полюсов машины, n – частота вращения якоря машин постоянного тока (МПТ);



а) нормализованный спектр тока исправного двигателя

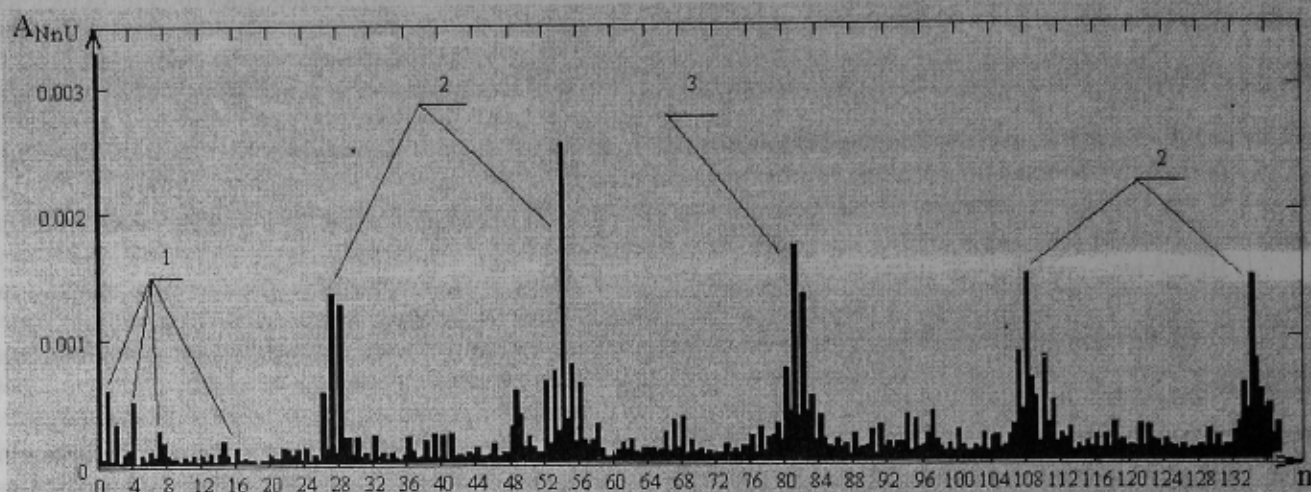


б) нормализованный спектр тока двигателя при замыкании 2-х пластин коллектора

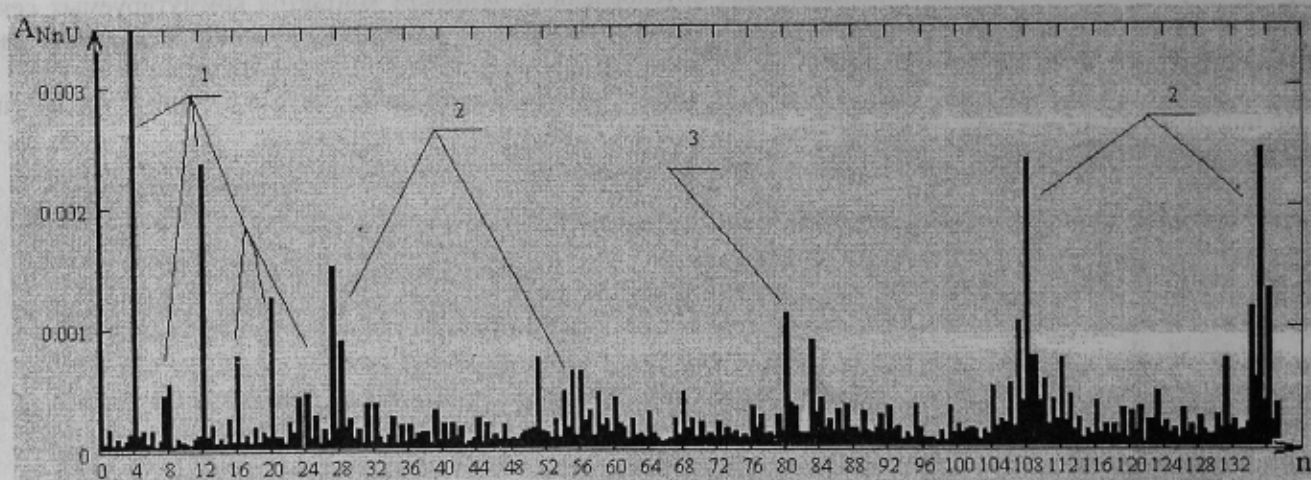
Рисунок 3 - Нормализованные спектры сигналов тока якоря ДПТ при различных состояниях коллектора

2) гармоники, пульсирующие с зубцовой частотой; основная частота $f_z = zn/60$, где z – число зубцов якоря;

3) гармоники, имеющие так называемую коллекторную частоту; основная частота $f_k = kn/60$, где k – количество коллекторных пластин.



а) нормализованный спектр напряжения исправного двигателя



б) нормализованный спектр напряжения двигателя при замыкании 2-х пластин коллектора

Рисунок 4 - Нормализованные спектры сигналов напряжения якоря ДПТ при различных состояниях коллектора

Исследованиями установлено, что основными диагностическими признаками замыкания коллекторных пластин являются:

1) повышение амплитуд группы гармоник, имеющих обратную частоту (на рисунках обозначены цифрой 1);

2) изменение амплитуд гармонических составляющих зубцовой частоты;

3) смещение коллекторной гармонической составляющей в область низких частот (из рисунка 4 видно, что номер коллекторной гармонической составляющей, соответствующей количеству пластин коллектора k , изменился с 81 на 80, что соответствует $k-1$);

4) при замыканиях коллекторных пластин в гармоническом составе тока и напряжения появляются также производные гармоник тока и напряжения не кратные ни одной из указанных групп гармонических составляющих, например, гармоника нормированной частоты $n = 12$.

Выводы. Экспериментально установлено, что неисправности щеточно-коллекторных узлов приводят к изменению гармонического состава тока и напряжения машин постоянного тока.

Установленные диагностические признаки можно использовать в технологических системах диагностики состояния щеточно-коллекторных узлов машин постоянного тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Родькин Д.И. Системы динамического нагружения и диагностики электродвигателей при после ремонтных испытаниях – Москва: Недра, 1992. – 236 с.
2. US Patent 6507797, ILC: G01R23/18 / Direct current machine monitoring system and method / Kliman G.V., et al. – Appl.№.: 579488, Filed: May 30, 2000. – 12с.
Рекомендовано проф., д.т.н. Дудник М.З.