

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ ИСКРОДУГОВЫХ РАЗРЯДОВ НА КОЛЛЕКТОРЕ С ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ИСКРЕНИЯ В БАЛЛАХ

А. Я. ЦИРУЛИК, В. С. СТУКАЧ, З. Ф. ИДРИСОВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и аппаратов  
и общей электротехники)

Интенсивность искрения на коллекторе согласно ГОСТ 183-66 есть характеристика, определяемая интенсивностью светового излучения искродуговых разрядов. Интенсивность светового излучения оценивается визуально, что является причиной необъективности этого способа измерения искрения. Делаются попытки разработать объективные методы измерения искрения с помощью приборов, регистрирующих и измеряющих параметры каких-либо объективных сигналов, порождаемых процессом искрения.

Наиболее известны приборы типа ИИ и их последняя модификация ИЭ-1, созданные под руководством М. Ф. Карасева и основанные на измерении напряжения искродуговых разрядов на сбегавшем крае щеток. Во всех этих приборах используется один принцип — усреднение параметров сигналов от разрядов на всех ламелях и получение некоторого интегрального показателя в условных единицах, который считается пропорциональным определенному уровню искрения, выраженному в баллах по шкале ГОСТ. С нашей точки зрения такой принцип не соответствует физике явления по следующим признакам:

1. Создатели приборов для измерения искрения стремятся с помощью прибора измерять такой параметр сигнала, значения которого затем можно было бы сопоставить со шкалой искрения в баллах. Это естественное стремление; ведь шкала искрения в баллах — это единственная шкала, предусмотренная стандартом.

При этом полагают, что зрительное впечатление об интенсивности искрения на коллекторе при визуальной оценке искрения человек получает как результат суммарного светового эффекта от всех искровых разрядов на всех ламелях коллектора. Очевидно, поэтому и при приборных методах измерения искрения стремятся получить некоторую интегральную характеристику сигнала, усредненную по всему коллектору.

В действительности, как ясно из физических соображений и как показали проведенные нами исследования, визуальная оценка искрения определяется не совокупным действием всех разрядов на коллекторе, а лишь световым эффектом, создаваемым самыми интенсивными разрядами, имеющими место на некоторых ламелях коллектора. Если бы это было не так, то визуальная оценка искрения зависела бы от скорости вращения коллектора. При разных скоростях вращения при той же интенсивности разрядов глаз человека в единицу времени обнаруживает



разное количество разрядов, однако интенсивность искрения в баллах не кажется различной. При изменении скорости вращения в широком диапазоне можно заметить изменение частоты пульсаций (миганий) искровых разрядов, но уровень искрения кажется прежним.

С концепцией суммарного эффекта от всех разрядов не согласуется и тот факт, что при весьма слабом искрении на всех ламелях, но сильном искрении на одной-двух ламелях человек без всякого сомнения оценивает интенсивность искрения на коллекторе высоким баллом. В этом случае прибор покажет малую интенсивность искрения, так как один-два выдающихся разряда в очень малой степени изменят среднюю характеристику сигнала.

Исследования, проведенные нами на макетах и на машинах, показали, что при визуальной оценке искрения каждому классу искрения в баллах соответствуют искродуговые разряды определенной интенсивности, причем класс искрения определяется несколькими самыми интенсивными разрядами из всех разрядов, происходящих на разных ламелях коллектора.

2. Электроэрозионный износ ламелей коллектора зависит от интенсивности разрядов на ламелях. Каждая ламель изнашивается со скоростью, пропорциональной энергии разрядов на данной ламели. С этой точки зрения важно знать не среднюю оценку искрения для всего коллектора, а искрение на отдельных ламелях, так как коллектор считается отказавшим, если только одна из ламелей изнашивается искрением до недопустимых пределов. Нарботка коллектора до отказа определяется наработкой до отказа той ламели, которая быстрее других изнашивается и на которой искрение наиболее интенсивно. Таким образом, ресурс коллектора определяется не средним показателем искрения на коллекторе, а параметрами самых интенсивных искродуговых разрядов.

Известно, что согласно ГОСТ 183-66 каждому классу искрения соответствует определенная интенсивность процессов разрушения коллектора. Это подтверждает вывод о том, что визуальное искрение оценивается по наиболее интенсивным разрядам. Если, например, на одном коллекторе на всех ламелях разряды одинаково интенсивны, а на другом такие разряды имеются лишь на двух ламелях, а на остальных искрение слабое, то, несмотря на это, как следует из вышеизложенного, ресурс этих коллекторов будет одинаков. В то же время интегральная характеристика искрения для первого коллектора будет во много раз больше, чем для второго.

Изложенное в пп. 1 и 2 показывает, что при создании объективных методов измерения искрения приборами следует измерять параметры отдельных искродуговых разрядов и оценку искрения делать по разрядам максимальной интенсивности. Это соответствует физико-биологической природе процесса визуальной оценки искрения на коллекторе и, следовательно, шкале ГОСТ 183-66 и в то же время соответствует природе процессов электроискрового износа ламелей. Будут созданы методы расчета показателей долговечности коллекторов, работающих с искрением. Необходимо будет объективно измерять параметры наиболее интенсивных разрядов на коллекторе, чтобы получить исходные данные для расчета. Приборы должны измерять именно эти параметры, а не среднее от всех разрядов на коллекторе.

Конечно, интегральный показатель сигнала имеет связь с интенсивностью искрения, но связь корреляционную, а не функциональную. Характеристики связи зависят от статистического закона распределения параметров разрядов на отдельных ламелях коллектора. Законы распределения на разных коллекторах различны, различны и характерис-



тики связи. Именно поэтому приборы, определяющие интегральный показатель, приходится градуировать визуально для каждой машины. Приборы, определяющие характеристики отдельных разрядов, будут иметь универсальную шкалу.

Импульсы напряжения на сбегавшем крае щетки имеют прямоугольную форму с длительностью  $\tau_n$  и напряжением  $U_n$ .

Исследованиями А. Е. Лифшица и других [1] показано, что «для встречающихся практически возможных сочетаний материалов электродов, среды и полярности, вольтвременная характеристика дугового разряда остается (с точностью  $\pm 10-15\%$ ) параллельной оси времени независимо от длительности импульса, напряжения источника питания и сопротивления в цепи...». Тогда ток в дуге изменяется от  $i_0$  до нуля линейно, и энергия разряда равна

$$W_n = \frac{L \cdot i_0^2}{2} = \frac{U_n^2 \cdot \tau_n^2}{2L}, \quad (1)$$

где  $L$  — индуктивность размыкания секции обмотки якоря.

При неизменной  $L$  параметры  $U_n$  и  $\tau_n$  импульса напряжения разряда однозначно определяют энергию разряда. Величина напряжения  $U_n$  не зависит от индуктивности контура, тока разрыва, скорости размыкания, марки щетки и может считаться постоянной и равной примерно 12,5 в. Тогда параметр  $\tau_n$  может служить единственной характеристикой искровых разрядов, которая при постоянной  $L$  однозначно связана с энергией разрядов. Длительности разрядов  $\tau_n$  могут достаточно просто определяться осциллографированием импульсов напряжения разрядов.

Нами определена связь длительности искродуговых разрядов с интенсивностью искрения, выраженной в баллах ГОСТ 183-66. Это сделано путем построения обучающей последовательности значений длительности разрядов и поставленных им в соответствие уровней искрения в баллах, то есть путем решения задачи классификации длительностей разрядов по уровням искрения.

Эксперимент проводился следующим образом. Путем изменения тока подпитки-отпитки искрение на коллекторе машины выводилось на границу между соседними классами искрения по визуальной оценке, потому что граничный уровень искрения можно зафиксировать визуально более четко и определенно, чем уровень искрения в пределах одного класса. В пределах одного класса существует достаточно широкий диапазон возможной интенсивности разрядов, и глаз это различает, но балл искрения можно приписать только один.

Гораздо точнее можно зафиксировать граничный уровень искрения, когда по визуальной оценке искрение максимально интенсивно для нижнего класса искрения и в то же время минимально интенсивно для следующего верхнего класса искрения и когда с равной вероятностью можно отнести такой уровень искрения к тому и другому классу. Оценка искрения делалась группой экспертов, состоящей из пяти человек. Граничные уровни искрения устанавливались многократно на одной машине, и эксперимент повторялся на машинах разных габаритов серии П, чтобы обеспечить надежную статистику. Устанавливались граничные уровни искрения  $1-1\frac{1}{4}$ ,  $1\frac{1}{4}-1\frac{1}{2}$ ,  $1\frac{1}{2}-2$ . В дальнейшем для удобства будем выражать уровни искрения десятичными дробями. При каждом уровне искрения в каждом отдельном опыте осциллографировались импульсы напряжения искровых разрядов на всех ламелях коллектора и определялись длительности разрядов.



Таким образом, для каждого граничного уровня искрения определено множество значений длительностей разрядов, распределенных по некоторому статистическому закону.

Исследования проведены для щеток ЭГ4, ЭГ63, ЭГ74 и ЭГ14, применяемых в машинах серии П. Граница искрения между классами 1 и 1,25 наблюдается при длительности импульсов  $\tau_{и} = 0 \div 0,3$  мксек. Распределения  $\tau_{и}$  для других граничных уровней искрения даны в табл. 1, а полигоны распределения — на рис. 1.

Таблица 1

Класс искрения		1,25—1,5				1,5—2						
		1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7
Кол-во импульсов	ЭГ-4	310	30	10	—	290	140	130	260	170	30	—
	ЭГ-63	410	20	20	—	260	100	170	310	220	70	—
	ЭГ-74	360	40	10	—	220	120	120	220	160	50	—
	ЭГ-14	520	120	100	60	170	110	100	250	320	170	40

На рис. 1 для щеток ЭГ-4, ЭГ-63 и ЭГ-74 при искрении 1,25—1,5 все импульсы длительностью менее 3 мксек относятся к классу 1,25, а импульсы длительностью 3 мксек соответствуют нижней границе класса 1,5. При искрении 1,5—2 все импульсы с длительностью меньше 3 мксек относятся к классу 1,25, импульсы с длительностью менее 6 мксек и более 3 мксек относятся к классу 1,5, а импульсы с длительностью 6 мксек соответствуют нижней границе класса 2. Классу 1,25 соответствуют разряды длительностью 3—6 мксек. Классу 1,5 соответствуют разряды длительностью 3—6 мксек. Классу 2 — разряды длительностью более 6 мксек. Верхнюю границу для класса 2 установить трудно, так как трудно определить границу между классами искрения 2 и 3. Однако это не имеет существенного значения, так как оба эти класса искрения не допускаются при длительной работе машин. Для щетки ЭГ-14 классу 1,25 соответствуют длительности разрядов 1—4 мксек, классу 1,5 — длительности 4—7 мксек, а классу 2 — свыше 7 мксек. Объединив данные для щеток ЭГ-4, ЭГ-63 и ЭГ-74, получим следующую классификацию длительностей разрядов (табл. 2).

Таблица 2

Класс искрения	1,25		1,5		
	1	2	3	4	5
Длительность разрядов, мксек					
кол-во разрядов	1850	450	460	790	550
Математическое ожидание длительности разряда, мксек . . . . .	1,2		4,05		

На рис. 2 изображены границы возможных длительностей разрядов (штриховые линии) и полигоны распределения длительностей для каждого класса искрения. При оценке искрения машин определенной серии визуальнo при определенном классе искрения машин будут иметь место различные значения длительностей разрядов. Среднее значение длительности разрядов для серии будет равно математическому ожиданию длительности разряда для соответствующего класса искрения.



поэтому график зависимости интенсивности искрения в баллах от длительности разрядов естественно провести через точки, соответствующие математическому ожиданию длительности разрядов для каждого класса искрения, а именно 1,2 мксек — для класса 1,25 и 4,05 мксек — для класса 1,5. Шкала искрения в баллах становится непрерывной, и появляется возможность давать физическое толкование также и промежуточным числам на шкале искрения И: этим числам соответствуют разряды на коллекторе, длительность которых не равна 1,2 или 4,05. Так как раньше промежуточные классы искрения не предусматривались, то воз-

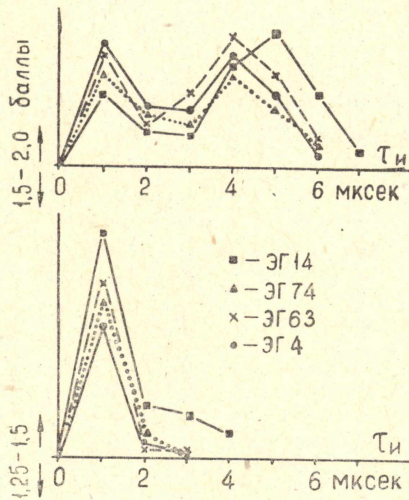


Рис. 1. Полигоны распределения длительностей разрядов для граничных уровней искрения.

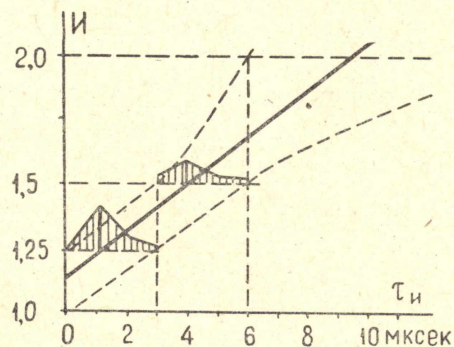


Рис. 2. Связь длительностей разрядов со шкалой искрения в баллах

можен некоторый произвол при построении функции связи искрения И с длительностью разрядов  $\tau_n$ . На рис. 2 эта функция задана прямой сплошной линией, проходящей через точки с координатами  $И=1,25$ ,  $\tau_n=1,2$  и  $И=1,5$ ,  $\tau_n=4,05$ . Она описывается выражением

$$И = 1,14 + 0,089 \cdot \tau_n, \text{ баллов.} \quad (2)$$

Здесь  $\tau_n$  — в микросекундах. Число 1,14 соответствует границе между темной коммутацией и появлением первых признаков искрения. Тот факт, что эта граница не оказалась в точке 1 на шкале И, не является чем-то неожиданным и противоестественным. В свое время числа  $1,1\frac{1}{4}$ ,  $1\frac{1}{2}$ , 2 и 3 как индексы уровней искрения были взяты совершенно произвольно.

Функция (2) позволяет объективно оценивать искрение, если параметры разрядов  $\tau_n$  на коллекторе измеряются приборами. Она дает возможность также определить ориентировочно параметры разрядов  $\tau_n$  при известном уровне искрения серии машин или отдельной машины по формуле

$$\tau_n = \frac{И - 1,14}{0,089}, \text{ мксек.} \quad (3)$$



## Выводы

1. Оценку интенсивности искрения на коллекторе по напряжению на сбегающем крае щеток следует производить не по интегральному показателю, определенному по всем разрядам на всех ламелях коллектора, а по параметрам наиболее интенсивных разрядов на коллекторе.
2. Определена зависимость интенсивности искрения на коллекторе в баллах от длительности искродуговых разрядов на коллекторе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. Е. Лившиц, А. Т. Кравец, И. С. Рогачев, А. Б. Сосенко. Электроимпульсная обработка металлов. М., «Машиностроение», 1967.
-