

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОКРАЩЕНИЯ ПЕРИОДА КОММУТАЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ КОЛЛЕКТОРНО-ЩЕТОЧНОГО УЗЛА

Э. К. Стрельбицкий, В. С. Стукач, А. Я. Цирулик

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

На кафедре электрических машин ТПИ исследовалось сокращение периода коммутации в зависимости от степени рассеивания механических параметров коллекторно-щеточного узла. Случайная задержка начала коммутации на набегающем крае x_1 и случайное опережение окончания коммутационного периода на сбегающем крае x_2 входят в уравнение для остаточного потокосцепления [1].

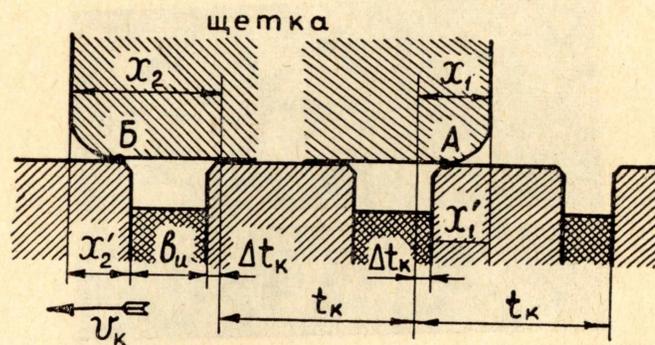


Рис. 1. Схема контактирования щетки с коллектором: А — точка возникновения контакта на набегающем крае щетки; Б — точка прекращения контакта на сбегающем крае щетки

Как видно из рис. 1,

$$x_1 = x_1' + \Delta t_k,$$

$$x_2 = x_2' + \Delta t_k + v_{щ},$$

где x_1' и x_2' обусловлены закругленностью краев щетки и пластины коллектора, нестабильностью момента начала и окончания контакта под влиянием микронеровностей поверхности коллектора и щеток под влиянием вибраций и т. п.;

$v_{щ}$ — ширина межламельной щели;

Δt_k — технологические отклонения коллекторного шага. Параметры $v_{щ}$ и Δt_k могут быть определены в статистическом плане путем измерений для разных типов коллекторов и разного уровня технологии производства. Параметры x_1' и x_2' должны быть определены для разных марок щеток и типовых конструкций щеткодержателей как функции перепадов уровней пластин, эксцентриситета коллектора, контактного

нажатия, окружной скорости вращения коллектора, температуры коллектора, влажности среды и т. п.

При щеточном перекрытии, большем единицы, x_1' и x_2' будут являться функциями нескольких перепадов, так как под щеткой находится несколько пластин. Такие функции нужно определить для следующих случаев:

$$1) \text{ при } 0 < b_{\text{щ}} < t_{\text{к}} + b_{\text{у}} \quad x_1' = f(\Delta_1); \quad x_2' = f_2(\Delta_1); \quad (2)$$

$$2) \text{ при } t_{\text{к}} + b_{\text{у}} < b_{\text{щ}} < 2t_{\text{к}} + b_{\text{у}} \quad x_1' = f_1(\Delta_1, \Delta_2); \quad x_2' = f_2(\Delta_1, \Delta_2); \quad (3)$$

$$3) \text{ при } 2t_{\text{к}} + b_{\text{у}} < b_{\text{щ}} < 3t_{\text{к}} + b_{\text{у}} \quad x_1' = f_1(\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3); \quad x_2' = f_2(\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3) \text{ и т. д.} \quad (4)$$

Здесь

- $b_{\text{щ}}$ — ширина щетки;
- Δ_1 — разность уровней соседних пластин в месте начала (при определении f_1) и в месте окончания (при определении f_2) контактирования щетки и пластины;
- $\Delta^2, \Delta^3, \dots$ — следующие по порядку перепады, находящиеся под щеткой.

Перепад будем считать положительным, если следующая по ходу движения щетки пластина стоит выше предыдущей. x_1' и x_2' будем измерять в долях коллекторного шага.

Аналитическое определение зависимостей f_1 и f_2 не представляется возможным ввиду многочисленности входных параметров и случайного характера их проявления. Эти зависимости можно определить экспериментально, используя математические методы планирования экспериментального поиска и регрессионные методы обработки результатов [2].

Для измерения x_1' и x_2' в динамике был разработан и использован следующий метод. Измерительная щеточка ИЩ (рис. 2) устанавли-

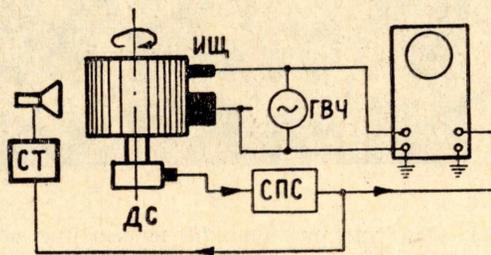


Рис. 2. Схема для измерения сокращения периода коммутации

вается на набегающем (при измерении x_1') или на сбегающем (при измерении x_2') крае основной щетки. Грани основной и дополнительной щеток точно совпадают. Если рабочая щетка имеет контакт с пластиной, то импульс падения напряжения под щеткой поступает на вход осциллографа. Одновременно на вход осциллографа поступает высокочастотное напряжение от генератора высокой частоты ГВЧ (4—6 мГц). Когда ИЩ находится на пластине коллектора, ГВЧ шунтируется, и на экране осциллографа можно видеть развертку коллектора (рис. 3), измерить действительные значения коллекторного шага и ширину межламельной щели, определить статистики технологического разброса этих параметров. Для повышения точности измерения измерительная щеточка жестко заземлена в подвижной части специального щеткодержателя, а сама

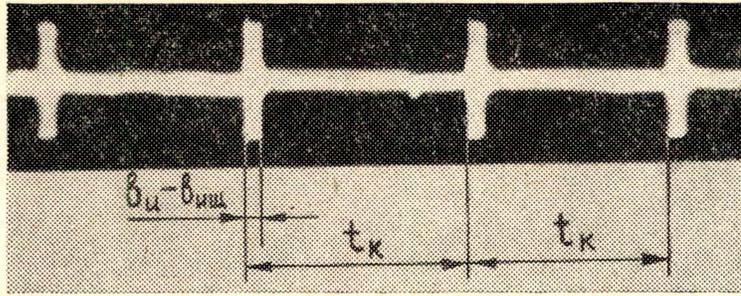


Рис. 3. Осциллограмма развертки коллектора

подвижная часть его может поворачиваться для обеспечения контактного нажатия на безлюфтовой оси (на кернах). Это исключает неопределенность положения измерительной щетки.

Параметры x_1' и x_2' в масштабе времени соответствуют сдвигу между высокочастотным импульсом, определяющим геометрическое положение рабочей щетки относительно пластины, и импульсом напряжения между щеткой и пластиной при возникновении и при обрыве контакта (рис. 4, а и 4, б). Ввиду кратковременности процессов (несколько микро-

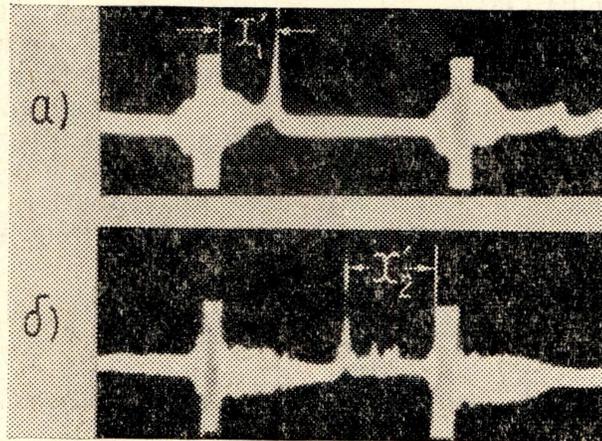


Рис. 4. Осциллографическое измерение сокращения периода коммутации: а) на набегающем крае щетки; б) на сбегающем крае щетки

секунд) требуется очень жесткая синхронизация осциллографа. Это осуществляется точным механическим датчиком ДС и схемой преобразования сигнала синхронизации СПС. Одновременно синхронизируется строботометр СТ, с помощью которого можно видеть номер наблюдаемой пластины. Поворачивая датчик синхронизации, можно осуществлять обзор и фотографирование сигналов от всех пластин коллектора.

В качестве примера рассмотрим метод определения зависимости x_2' от величины перепадов уровней пластин коллектора при разных нажатиях на щетку ЭГ74. Опыт производился на машине П32 при скорости вращения якоря 1610 об/мин. Коллектор был проточен с помощью приспособления прямо в машине в собственных подшипниках для исключения влияния эксцентриситета. Перепады уровней пластин Δ были спланированы по центральному композиционному ротатбельному плану второго порядка для трех переменных: (Δ_1 , Δ_2 и Δ_3), случай 3, выражение (4) [2]. Формирование перепадов пластин на коллекторе осу-

ществлено гальваническим методом, как описано в статье [3]. Матрица планирования и значения x_2' в миллиметрах приведены для разных нажатий в табл. 1.

Таблица 1

№ опы- тов	Матрица варьирования			Значения x_2' для раз- ных нажатий, μ			
	Δ_1	Δ_2	Δ_3	202	270	370	470
1	+	+	+	1,31	1,25	1,20	1,27
2	-	+	+	0,45	0,37	0,50	0,43
3	+	-	+	1,24	1,20	1,17	1,00
4	-	-	+	0,52	0,37	0,11	0,43
5	+	+	-	1,22	1,20	1,30	1,20
6	-	+	-	0,41	0,27	0,09	0,45
7	+	-	-	1,24	1,25	1,20	1,17
8	-	-	-	0,69	0,62	0,47	0,50
9	a	0	0	1,22	1,34	1,14	1,20
10	$-a$	0	0	0,28	0,25	0,11	0,33
11	0	a	0	0,31	0,30	0,50	0,33
12	0	$-a$	0	1,25	1,17	1,14	1,20
13	0	0	a	0,34	0,33	0,74	0,47
14	0	0	$-a$	0,62	0,50	0,30	0,50
15	0	0	0	0,45	0	0,05	0
16	0	0	0	0,46	0,20	0,05	0,43
17	0	0	0	0,25	0,06	0,05	0,55
18	0	0	0	0	0,10	0,05	0,60
19	0	0	0	0,08	0	0,05	0
20	0	0	0	0	0,33	0,05	0

Интервалы варьирования входных параметров выбирались с учетом реального технологического разброса перепадов уровней пластин коллектора для машин серии П 1-6 габаритов и представлены в табл. 2 в мк.

Таблица 2

Наименование пределов варьирования	в мк		
	Δ_1	Δ_2	Δ_3
Единица варьирования (\pm)	1	1	1
Нулевой уровень (0)	0	0	0
Верхний уровень (+)	1	1	1
Нижний уровень (-)	-1	-1	-1
Звездное плечо ($\pm a$)	1,682	1,682	1,682

Вид зависимости $x_2' = f_2(\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3)$ задаем полиномом второй степени:

$$x_2' = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i \Delta_i + \sum_{i=1}^3 b_{ii} \Delta_i^2 + \sum_{i < j}^3 b_{ij} \Delta_i \Delta_j. \quad (5)$$

В табл. 3 представлены коэффициенты уравнения (5), полученные на основе обработки данных табл. 2. Величина x_2' выражена в долях коллекторного шага.

	Нажатие в г			
	202	270	370	470
b_0	0,200	0,110	0,048	0,276
b_1	1,146	1,293	1,376	1,088
b_2	0,476	0,459	0,237	0,307
b_3	0,121	0,110	0,166	0,061
b_{12}	0,599	0,525	0,180	0,525
b_{13}	0,329	0,225	0,270	0,015
b_{23}	0,449	0,673	1,048	0,434
b_{11}	2,776	3,225	2,596	2,380
b_{22}	2,903	2,971	3,423	2,380
b_{33}	1,632	1,615	2,152	0,069
R	0,916	0,958	0,952	0,840

Так как множественный коэффициент корреляции R близок к единице, уравнение (5) достаточно адекватно описывает эксперимент.

На рис. 5 даны зависимости коэффициентов уравнения (5) от величины нажатия на щетку (сечение щетки 10×12 мм).

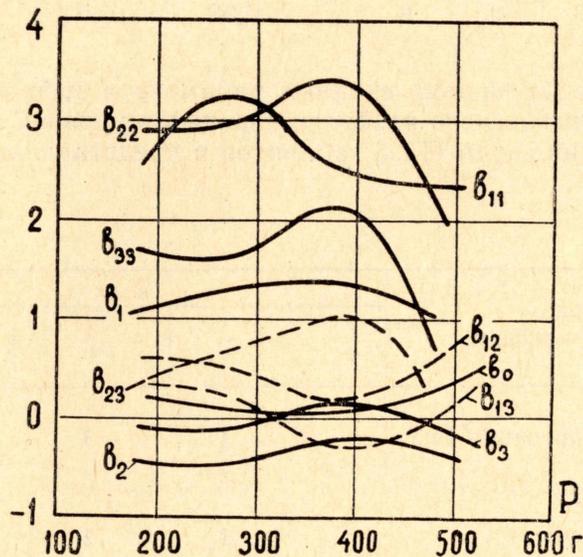


Рис. 5. Зависимость коэффициентов уравнения (5) от величины нажатия на щетку

Аналогично можно найти зависимости x_1' и x_2' от перепадов пластин при других скоростях вращения, другой температуре коллектора и других условиях среды. Все новые переменные необходимо варьировать по определенному плану в соответствии с требованиями теории планирования эксперимента [2]. Тогда может быть получена универсальная зависимость нестабильности контакта на набегающем и сбегающем крае щетки от технологических отклонений параметров коллекторно-щеточного узла и условий эксплуатации.

Выводы

1. Разработан метод непосредственного измерения величины сокращения периода коммутации, обусловленного нестабильностью контакта на набегающем и сбегавшем крае щетки.

2. Предложена экспериментально-статистическая методика определения зависимости величины сокращения периода коммутации от технологических отклонений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. К. Стрельбицкий, В. С. Стукач, А. Я. Цирулик. Учет влияния технологии на коммутацию при проектировании машин постоянного тока. Известия ТПИ, т. 190, 1968.

2. В. В. Налимов, Н. А. Чернова. Статические методы планирования экстремальных экспериментов. «Наука», М., 1965.

3. А. И. Скороспешкин, Л. Я. Зиннер, Э. К. Дамм. Метод моделирования профиля коллекторов для исследования влияния состояния поверхности коллектора на электрические и механические характеристики щеточного контакта. Известия ТПИ, т. 190, 1968.
