

КОММУТИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА УГОЛЬНЫХ ЩЕТОК
В МАШИНАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА МАЛОЙ МОЩНОСТИ

А. И. СКОРОСПЕШКИН, Э. К. ДАММ, Л. Я. ЗИННЕР

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Вопрос о коммутационной способности угольных щеток является одним из центральных в теории и практике коммутации, но, несмотря на значительное количество опубликованных работ [1—5], остается открытым. Проведенные нами исследования позволили отметить некоторые особенности проявления коммутационных свойств угольных щеток при завершении коммутационного цикла в машинах с относительно небольшой реактивной э. д. с. коммутации.

Эксперименты проводились на установке, подробно описанной в [6].

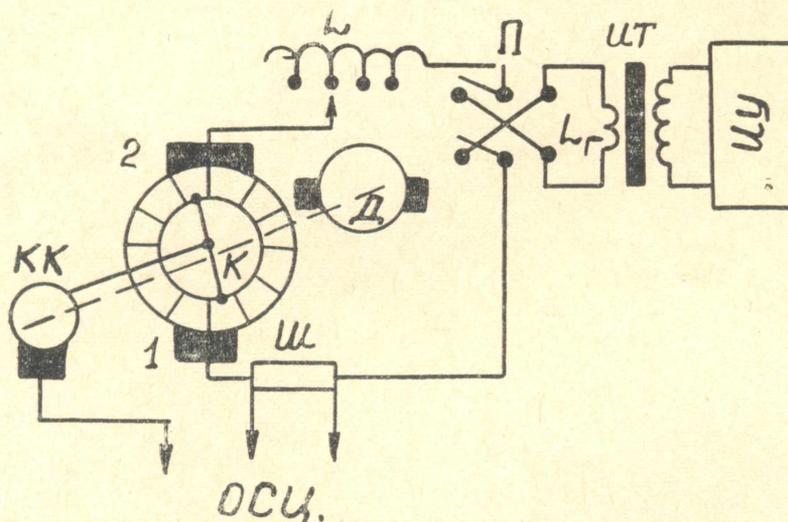


Рис. 1

Коллектор K (рис. 1), две противоположные пластины которого замкнуты, приводится во вращение двигателем постоянного тока $Д$. В течение времени, когда обе рабочие ламели замкнуты щетками, через образовавшуюся цепь пропускается импульс тока от специальной импульсной установки $ИУ$. Поскольку $ИУ$ имеет большое и изменяющееся во времени выходное сопротивление, импульс на K подается через импульсный трансформатор $ИТ$. Были приняты все меры для уменьшения индуктивности рассеяния вторичной обмотки $ИТ$.

В цепь щеток включалась ступенчато регулируемая линейная индуктивность L . В момент запуска $ИУ$ рабочие ламели имеют надежный

контакт со щетками, длительность же импульсов устанавливалась такой, что при выходе ламели из-под щетки 1 разрывался некоторый ток, величина которого могла регулироваться воздействием на ИУ. Щетка 2 шире, чем щетка 1, поэтому цепь всегда разрывалась последней. Контакт противоположной ламели со щеткой 2 можно, не внося существенных погрешностей в дальнейшие рассуждения, рассматривать как дополнительное постоянное сопротивление цепи. Переключатель П служит для изменения полярности щетки 1. Кривые напряжения между рабочей ламелью и щеткой и тока цепи наблюдались и на экране двухлучевого осциллографа. Типичная осциллограмма приведена на рис. 2.

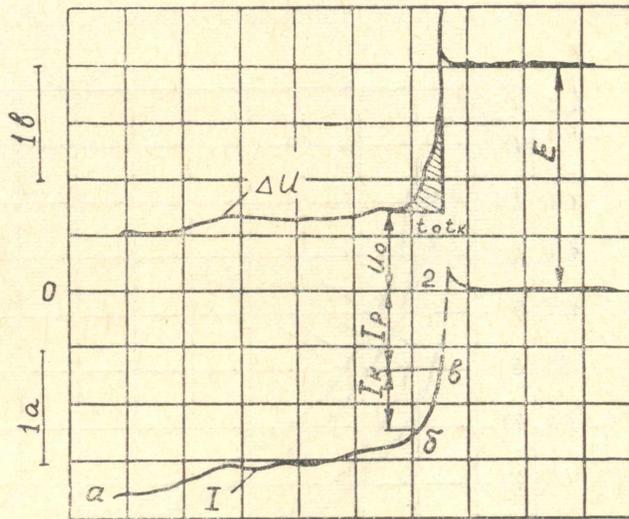


Рис. 2

Кривые тока и напряжения можно разбить на 3 временных участка. На участке *ab* ток плавно уменьшается, поскольку уменьшается площадь контактирования ламели со щеткой и переходное сопротивление увеличивается в соответствии с вольт-амперной характеристикой контакта. Наклон кривой тока при этом зависит от вида вольт-амперной характеристики, а также от участка этой характеристики, соответствующего участку *ab* кривой тока.

В данном случае интерес представляет участок *бв* рассматриваемых кривых. Щетка за время, равное примерно 5—10% от периода контактирования ламели со щеткой, успевает скоммутировать весьма большой ток. Переходное падение напряжения между ламелью и щеткой в это время намного больше получаемого из вольт-амперной характеристики контакта при тех же плотностях тока.

Если построить вольт-амперную характеристику контакта (рис. 3) по приведенным выше осциллограммам, то на участке 2—3 она будет иметь резкий подъем, соответствующий участку *бв* на рис. 2.

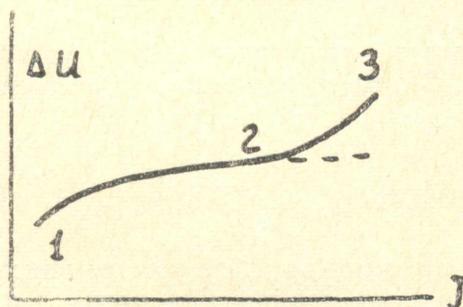


Рис. 3

Характеристика, представленная на рис. 3, не отражает коренные свойства скользящего контакта.

Увеличение напряжения на обгоняющем крае щетки можно объяснить постепенным расслаблением контактного давления у краев щетки.

На рис. 4 (слева) показаны зависимости тока I_k , скоммутированного щеткой за счет увеличения напряжения на сбегающем крае, от индуктивности цепи для щеток обеих полярностей и при различных скоростях вращения коллектора.

Вначале индуктивность вторичной обмотки ИТ L_T была неизвестна, поэтому строились кривые

$$L = L_c - L_T = f(I_k),$$

где L_c — суммарная индуктивность цепи,

L — регулируемая индуктивность (рис. 1).

Зависимости $L = f(1/I_k)$ прямолинейные (рис. 4 — справа). Продолжая эти прямые до пересечения с осью ординат, можно определить индуктивность L_T и представить полученные зависимости в осях L_c и I_k .

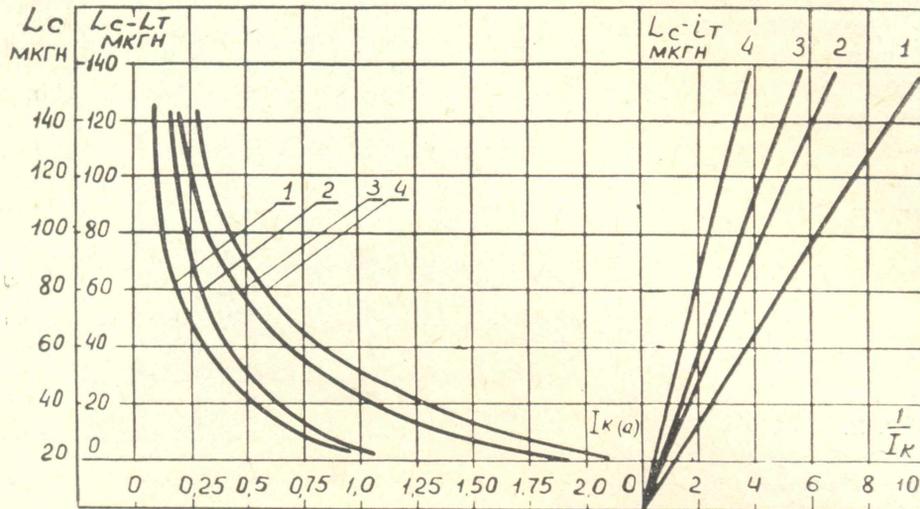


Рис. 4

Кривые $L_c = f(I_k)$ имеют гиперболический вид, и для тока I_k справедливо

$$L_c I_k = C = \text{const.} \quad (1)$$

Величина этой константы характеризует коммутирующую способность щеточного контакта при завершении коммутации. $L_c I_k$ имеет размерность потокосцепления ($\text{в} \cdot \text{сек}$).

Если графически определить площадь заштрихованного участка под кривой падения напряжения (рис. 2), то всегда имеем с достаточной точностью

$$\int_{t_0}^{t_k} (\Delta u - u_0) dt = L_c I_k. \quad (2)$$

Если считать, что при завершении коммутации при быстром изменении тока переменная составляющая переходного напряжения равна э.д.с. самоиндукции коммутируемой цепи, то выражение (2) согласуется с тем очевидным выводом из теории электрических цепей, что суммарное изменение потокосцепления индуктивного участка цепи за определенный промежуток времени равно интегралу напряжения на этом участке за тот же промежуток времени. При этом постоянная составляющая переходного напряжения, равная U_0 (рис. 2), совместно с падением напряжения на активном сопротивлении цепи уравнивает э.д.с. вторичной обмотки трансформатора E .

На участке $вг$ кривых рис. 2 ламель уже не имеет механического контакта со щеткой.

Таким образом, участок $вг$ определяет ток разрыва коммутируемой цепи I_p . Если считать, что интенсивность искрения пропорциональна

величине энергии, рассеиваемой электрической дугой при постоянной частоте следования разрядов, то для постоянной интенсивности искрения имеем

$$\frac{L_c I_p^2}{2} = C_1 = \text{const.}$$

Нет никаких оснований считать, что C_1 зависит от марки щетки.

Из выражения (1) следует, что при больших значениях $L_c I_k \approx 0$, $I_0 \approx I_p$ и для постоянной интенсивности искрения можно получить зависимость

$$\frac{L_c I_0^2}{2} = C_2 = \text{const.}$$

Однако C_2 не отражает коммутационных свойств щеточного контакта при завершении коммутации, так как эти свойства в данном случае не проявляются. Следовательно, при оценке коммутационных свойств щеточного контакта при завершении коммутации следует разграничить токи I_k и I_p .

Поскольку величина $\int_{t_0}^{t_k} (\Delta U - U_0) dt$ уменьшается при увеличении скорости вращения коллектора, то величина $L_c I_k$ также должна уменьшаться. Это положение совершенно четко подтверждается опытом. Кривые 3, 4 (рис. 4) были получены при скорости вращения 1000 об/мин, кривые 1, 2 при 2000 об/мин. Из сравнения кривых видно, что коммутационные свойства на сбегующем крае несколько лучше для катодно-поляризованных щеток и уменьшаются для щеток обеих полярностей с ростом скорости вращения.

На рис. 5 представлена экспериментально полученная зависимость $I_k = f(n)$ при $L_c = 40 \text{ мкГн} = \text{const}$ для щетки ЭГ-74 анодной полярности, из которой видно, что $L_c I_k$ практически обратно пропорциональна скорости вращения. Эксперименты показали, что в одинаковых условиях величина $L_c I_k$ для щеток марки ЭГ-4 и ЭГ-74 отличается мало и примерно в полтора раза меньше у щеток марки МГ-4.

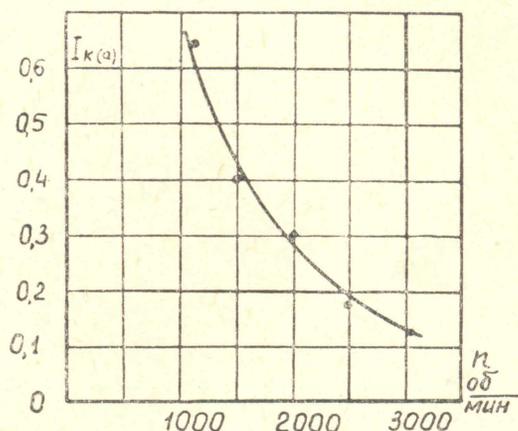


Рис. 5

Выводы

1. Коммутационные свойства угольных щеток проявляют себя двояким образом. В течение собственно периода коммутации коммутационное воздействие щетки определяется ее вольт-амперной характеристикой. При завершении коммутации коммутационная способность щетки определяется тем дополнительным напряжением, которое щетка вводит в коммутационный контур за счет постепенного расслабления контакта.

2. Коммутационную способность щетки при завершении коммутации можно оценивать величиной $C = L_c I_k$.

3. Для постоянной интенсивности искрения при постоянной частоте следования разрядов имеет место закономерность $\frac{L_c I_p^2}{2} = \text{const.}$

4. Величина $L_c I_k$ практически обратно пропорциональна скорости вращения коллектора.

ЛИТЕРАТУРА

1. З. Б. Вартапов. Импульсные вольт-амперные характеристики щеточного контакта. «Вестник электропромышленности», 1957, № 2.

2. П. С. Лифшиц. Об оценке коммутационных свойств электрощеточных материалов. «Электричество», 1958, № 1.

3. К. Биндер. Пограничные условия дугообразования при коммутации. ETZ — A, Bd 81, 1960.

4. Ф. Шретер. Коммутирующая способность угольной щетки ETZ — B, 1962, № 2.

5. М. Ф. Карасев. Коммутация коллекторных машин постоянного тока. Госэнергоиздат, 1961.

6. А. И. Скороспешкин, Л. Я. Зиннер, Э. К. Дамм, В. П. Каратаев. Установка для экспериментального скользящего контакта щетка-коллектор. «Известия ТПИ», т. 212 (в печати).