

ИССЛЕДОВАНИЕ КОММУТАЦИИ ЭСГ С КАСКАДНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ТРАНСПОРТЕРОВ

А. М. КУПЦОВ, В. В. ПАЦЕВИЧ

(Представлена научным семинаром кафедры теоретических основ электротехники)

При расчете характеристики короткого замыкания $I_{кз} = f(U_B)$, являющейся одной из основных характеристик ЭСГ, обычно рассматриваются те моменты работы генератора, когда транспортеры отсоединяются от щеток системы возбуждения и высоковольтной системы [1, 2, 3]. Разность зарядов, переносимых транспортерами от системы возбуждения к высоковольтной и в обратном направлении в единицу времени, принимается равной среднему значению тока генератора. Величины этих зарядов определяются на основе уравнений электростатики: или по величинам максимальной емкости в системе возбуждения и минимальной емкости в высоковольтной системе [1], или путем решения системы уравнений Максвелла с потенциальными коэффициентами [2] и с частичными емкостями [3].

Правомочность такого подхода к определению тока генераторов обосновывается тем, что электрическое поле ЭСГ удовлетворяет условию квазистационарности и что быстропротекающие процессы, связанные с коммутацией, заканчиваются к моменту отсоединения транспортеров от щеток. Однако данное обоснование до настоящего времени не имеет убедительных доказательств и в ряде работ указывается на необходимость исследования ЭСГ не как квазистатической, а как электродинамической системы на основе уравнений электродинамики [4, 5].

Ниже излагаются результаты исследования некоторых процессов, сопровождающих коммутацию в ЭСГ, проведенные путем осциллографирования тока в однодисковой модели генератора в режиме короткого замыкания с целью показать возможность исследования данного типа ЭСГ как квазистатической системы и подтвердить в них наличие эффекта естественной перезарядки.

Осциллографирование проводилось для двух взаимозаменяемых роторов осциллографами С 1—13 и 2КО/721. Ротор № 1 имел 60 транспортеров цилиндрической формы диаметром $d = 10$ мм. Ротор № 2 имел 60 транспортеров сложной конфигурации, у которых при равенстве расстояний между выступающими на внешнюю поверхность ротора частями транспортеров расстояние между соседними транспортерами в теле ротора было различным. При этом частичная емкость между любым из транспортеров по отношению к статору была практически одинаковой, а частичные емкости между соседними транспортерами были различными. Оба ротора имели внешний диаметр $D = 490$ мм; транспортеры были утоплены в диэлектрик — эпоксидную смолу холодного отверждения.

Для исключения влияния неравномерного распределения потенциала по статору на процессы, сопровождающие коммутацию при выполнении статора из слабопроводящего материала [6], эксперименты проводились при кондукционной схеме возбуждения. При такой схеме равномерному распределению потенциала по статору соответствует равенство нулю последнего и статор из слабопроводящего материала может быть заменен проводящим. Здесь необходимо отметить, что последующее сравнение осциллограмм тока при металлическом статоре и при статоре из слабопроводящего материала показало наличие определенного качественного различия процессов, сопровождающих коммутацию в этих генераторах.

Однако при прочих равных условиях время процесса коммутации в обоих случаях характеризуется величиной одного порядка и величины среднего тока генератора оказываются примерно равными.

На рис. 1 изображена измерительная схема генератора, где генератор показан условно. Верхняя часть генератора относительно осевой линии будет аналогична изображенной внизу. Осциллограммы токов i_1 , i_2 для ротора № 1 при широких щетках, перекрывающих одновременно по

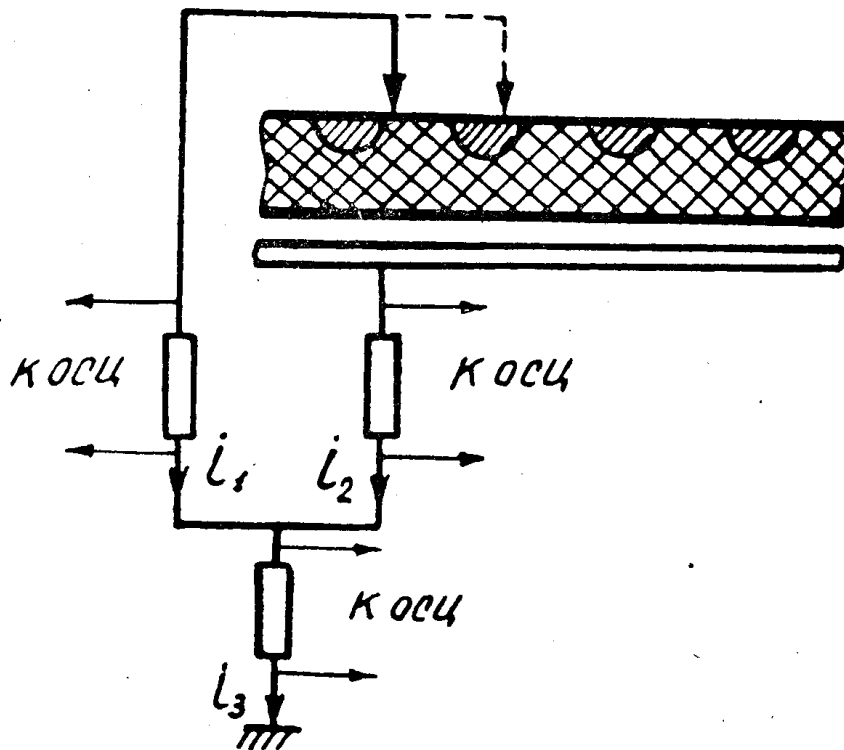


Рис. 1. Схема осциллографирования и измерений

три транспортера, представлены на рис. 2 (а, б соответственно). Здесь расстояние между соответствующими импульсами пропорционально времени T , за которое ротор поворачивается на угол $\frac{\pi}{m}$, где $2m$ — число

транспортеров ротора. В ходе исследования проводилось осциллографирование токов в цепи возбуждения, осциллограммы которых аналогичны соответствующим осциллограммам токов разрядной системы и здесь не приводятся.

Непосредственно из осциллограмм видно, что как процесс зарядки, так и разрядки транспортера происходит в течение времени значительно меньшего времени T .

Фотографированием зоны коммутации было установлено также, что время горения искры, всегда предшествующей установлению контакта между щеткой и транспортером, также значительно меньше времени T . Для выявления основных факторов, влияющих на форму импульсов тока, были сняты осциллограммы при включении в цепь тока сосредоточенной индуктивности и при подключении к статору и к разрядной щетке сосредоточенных емкостей. Для ротора № 1 и узкой щетки, касающейся одновременно одного транспортера, осциллограмма зарядной составляющей тока i_3 при наличии индуктивности дана на рис. 2в и при подключенной к статору емкости на рис. 2г. Данные осциллограммы показывают, что форма импульса в значительной степени определяется величиной сосредоточенных параметров цепей заряда и разряда транспортера. Среднее значение тока, определяемое по показаниям амперметра во всех случаях при одних и тех же щетках (широких или узких), практически остается постоянным, причем при узких щетках оно несколько больше, чем при широких. Из постоянства среднего тока цепи следует, что величина заряда, сообщаемого транспортеру в период зарядки и отдаваемого в период разрядки, остается постоянной во всех случаях.

На основании этого можно сделать предположение, что длительность импульсов тока при достаточно больших величинах емкостей и индуктивностей в цепи нагрузки не зависит от длительности времени коммутации, а следовательно, и времени горения искры, которое может быть меньше длительности импульса. Максимально возможное время горения искры определяется величиной времени опережения искрой момента непосредственного контакта между щеткой и транспортером (t_1). Величина t_1 может изменяться в значительных пределах при изменении

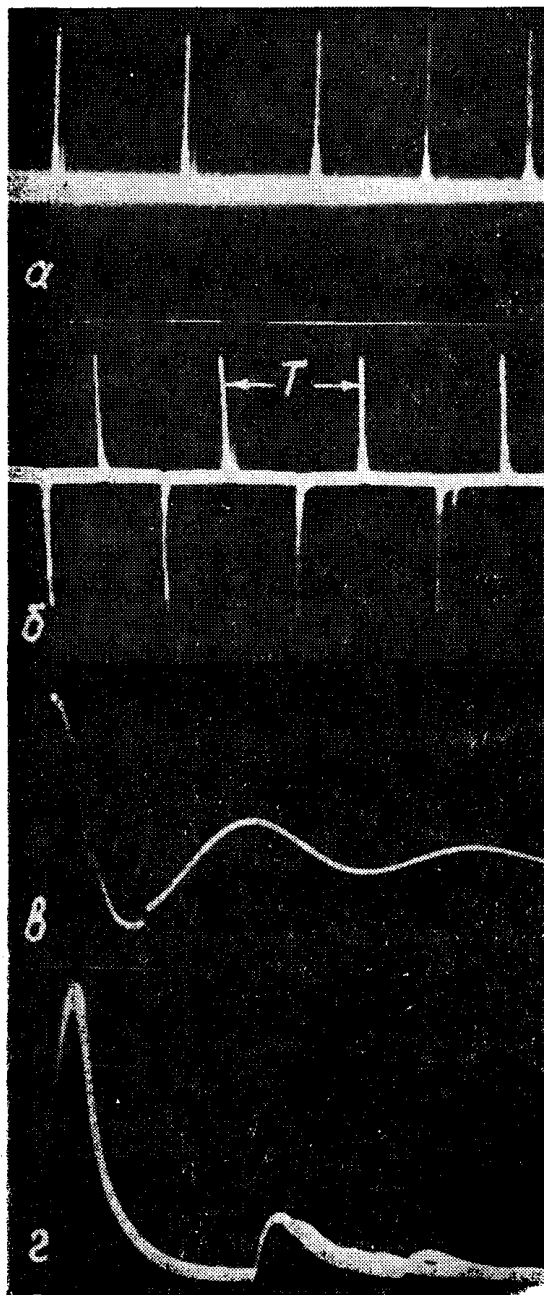


Рис. 2. Типовые осциллограммы токов для ротора № 1; а, б — i_1 , i_2 соответственно, в — i_3 с индуктивностью, г — i_3 с емкостью

напряжения возбуждения, возрастая с увеличением последнего. Было установлено, что расстояние между фронтом зарядного импульса и дополнительным импульсом, появляющимся на спаде зарядного импульса (рис. 2 г) или после его окончания, на осциллограмме пропорционально величине t_1 . Следовательно, установление металлического контакта сопровождается появлением дополнительного импульса. Малая величина дополнительного импульса указывает на то, что основной процесс коммутации заканчивается за время горения искры, которое чаще всего меньше длительности импульса и значительно меньше величины T . Это подтверждается также тем, что при устранении непосредственного контакта и осуществлении коммутации только через искру среднее значение тока уменьшается незначительно.

Таким образом, изложенные выше результаты позволяют сделать вывод, во-первых, о том, что к моменту отсоединения транспортера от щетки как в зарядной, так и в разрядной системах имеет место квазистатическое состояние. Во-вторых, процесс коммутации протекает при практически неизменных частичных емкостях и с достаточно высокой степенью точности может быть рассчитан по схемам замещения с сосредоточенными параметрами.

Определенный интерес представляет также тот факт, что ток в цепи нагрузки $i_3 = i_1 + i_2$ по существу является током заряда, а не разряда транспортера в системе нагрузки. При разряде транспортера происходит короткое замыкание емкости транспортер-статор, и токи i_1 и i_2 , имея различное направление при широких щетках, в сумме дают величину, равную нулю; при узких $i_1 > i_2$. Здесь можно отметить, что наличие тока компенсации в цепи транспортер-статор в период коммутации в разрядной системе имеет место и при слабопроводящем статоре как в режиме короткого замыкания, так и под нагрузкой. При исследовании причин, обуславливающих при узких щетках неравенства токов i_1 и i_2 и появление дополнительного импульса в момент установления непосредственного контакта между щеткой и транспортером, было проведено осциллографирование по схеме рис. 1 при наличии дополнительной щетки в виде острия, показанной на рис. 1 пунктиром.

Изменением расстояния между дополнительной щеткой и трущейся узкой щеткой изменялась величина времени t_1 в широких пределах при постоянном напряжении возбуждения. Если $t_1 < T$, то характер импульса оставался таким же, как и на рис. 2 г.

Если устанавливалось $t_1 > T$, то полярность импульса менялась

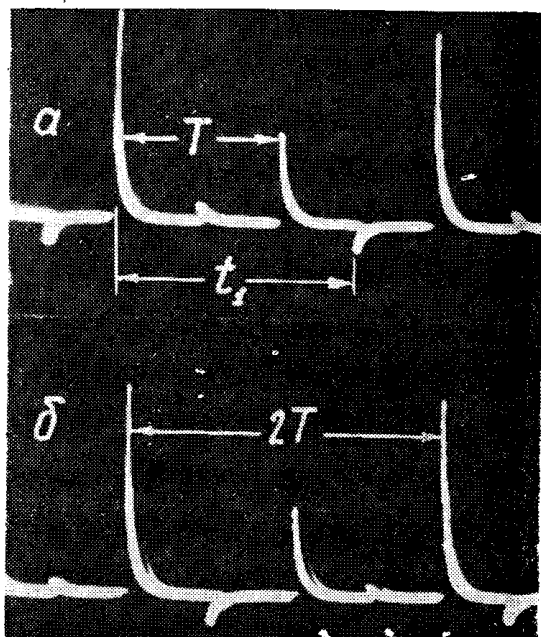


Рис. 3. Типовые осциллограммы для ротора № 2: а) при $T < t_1 < 2T$, б) при $2T < t_1 < 3T$

на обратную. Этот факт хорошо подтверждает данное в [3] объяснение явления естественной перезарядки. Действительно, если $t_1 < T$, то к моменту соединения транспортера с трущейся щеткой следующий за ним

по ходу вращения ротора транспортер прокоммутировал уже через искру и перезарядился под влиянием следующего за ним транспортера через сопротивление искры. Под влиянием перезарядившегося транспортера транспортер, соединившийся со щеткой, отдает приобретенный им ранее при коммутации через искру заряд обратного знака и при определенных соотношениях частичных емкостей может даже получить заряд того же знака, что и был на нем перед коммутацией через искру. В цепи нагрузки появится импульс тока обратного знака, естественная перезарядка ликвидируется и среднее значение тока получается меньше, чем при $t_1 < T$, оказываясь примерно равной среднему значению тока при широких щетках.

Наконец, наличие естественной перезарядки хорошо подтверждается осциллограммами тока i_1 для ротора № 2 при $T < t_1 < 2T$ (рис. 3 а), и при $2T < t_1 < 3T$ (рис. 3 б).

Осциллограммы тока i_1 и i_3 для ротора № 2 при одной узкой щетке будут подобны приведенным выше (рис. 3 а, б), отличаясь от последних отсутствием дополнительных перезарядных импульсов. Различие величин тока от отдельных транспортеров для ротора № 2 обусловлено только различием частичных емкостей между соседними транспортерами и полностью согласуется с представлениями о естественной перезарядке в генераторах данного типа.

Таким образом, эксперименты с проводящим статором дают наиболее наглядное доказательство в пользу возможности расчета величины тока генератора по электрическим схемам замещения с сосредоточенными параметрами и позволили наглядно подтвердить наличие эффекта естественной перезарядки в генераторах данного типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ф. Иоффе. ЖТФ, № 9, 1939.
2. С. А. Бабковский. ЖТФ, т. 10, № 1—7, 1940, стр. 1404.
3. В. В. Пацевич. Диссертация, Томск, 1964.
4. Л. С. Полотовский. Емкостные машины постоянного тока высокого напряжения, М., ГЭИ, 1960.
5. В. И. Левитов, А. Г. Ляпин. Электростатические генераторы с жестким ротором, ч. 1, М., Цинтиприборэлектропром, 1963.
6. Н. Ж. Филиси. Французский патент, кл. Н02п, № 1 397 294.