

ЗАВИСИМОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ ПУЛЬСАЦИЙ ТОКА ЭСГ ОТ ШИРИНЫ ИНДУКТОРОВ

А. М. КУПЦОВ, В. А. ЛУКУТИН, В. М. ФЕДЯКИН

(Представлена объединенным научным семинаром кафедры ТОЭ
и отдела РЭСГ НИИ ЯФ)

Возродившийся в последние годы интерес к электростатическим генераторам объясняется в первую очередь достоинствами этих недорогих и достаточно универсальных источников высокого напряжения постоянного тока. По сравнению с другими высоковольтными источниками основные преимущества электростатических генераторов, освоенных производством, — генераторы с транспортером-диэлектриком (ЭСГД), — по данным зарубежных фирм, таковы: компактность, малый вес, безопасность работы в режиме короткого замыкания, высокая стабильность выходного напряжения (до 0,001%) и практическое отсутствие пульсаций [1].

В настоящее время поставлен вопрос о создании более эффективного промышленного ЭСГ. Таким ЭСГ может быть генератор с транспортерами-проводниками (ЭСГП). Его принцип действия в целом не отличается от принципа действия ЭСГД, однако из-за дискретной структуры транспортера зарядов в ЭСГП имеется ряд специфических особенностей [1, 2]. Одна из особенностей — несколько большая, чем в ЭСГД, величина пульсаций тока [1, 2].

Практическое отсутствие пульсаций тока имеет решающее значение для ряда областей науки и техники, таких, как, например, телевидение на больших экранах, рентгентехника и ядерная физика. В связи с этим представляет интерес рассмотреть те факторы, которые в генераторах с проводящими транспортерами приводят к уменьшению амплитуды пульсаций.

В данной статье приводятся некоторые результаты экспериментального исследования, цель которых дать практические рекомендации для получения в ЭСГП тока с минимальными пульсациями и выяснить основные причины, их обуславливающие.

Результаты исследования получены на основе статистической обработки осциллограмм тока в нагрузочной цепи генератора. Методика осциллографирования достаточно подробно изложена в [3].

Эксперименты проведены на дисковом ЭСГП с большим числом транспортеров на полюсный шаг для ряда взаимозаменяемых роторов, отличающихся друг от друга числом и формой транспортеров. Минимальное число транспортеров ротора — 14, максимальное — 52. Диаметр дисков роторов — 140 мм. Транспортеры помещены в компаунд-эпоксидную смолу. Толщина покрытия транспортеров смолой для всех

роторов одинаковая и составляла 1,5 мм. Скорость вращения ротора 2700 об/мин. Рабочая среда — воздух при атмосферном давлении.

Результаты экспериментов

На рис. 1 приведены типовые осциллограммы тока в нагрузочной цепи генератора для одного из роторов, соответствующие режиму короткого замыкания — а и режиму нагрузки — б. Осциллограммы получены при одной и той же величине среднего значения тока, фиксируемого по прибору. Для измерения токов использованы многопредельные магнитоэлектрические микроамперметры М-135. Условия осциллографирования во всех случаях одинаковые.

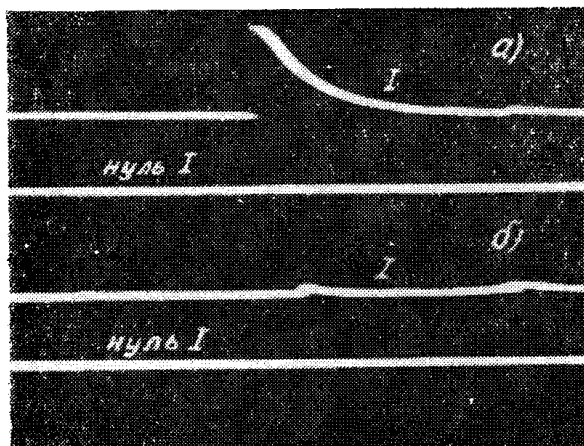


Рис. 1

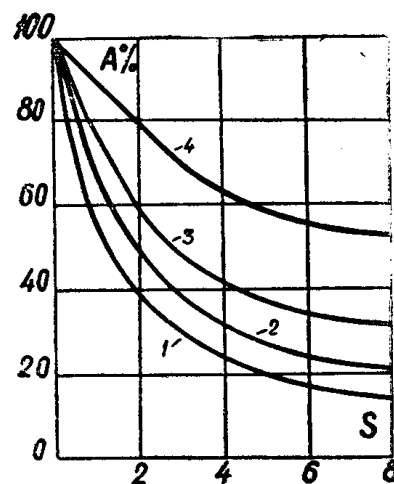


Рис. 2

Из приведенных осциллограмм непосредственно видно, что величина пульсаций тока (амплитуда пульсаций) в режиме короткого замыкания максимальная и в несколько раз превышает амплитуду пульсаций в режиме нагрузки. Это обстоятельство отмечалось в [3], однако, насколько быстро происходит уменьшение пульсаций и главное каковы условия их снижения, до настоящего времени не рассматривалось.

Поскольку в режиме короткого замыкания пульсации максимальные, то большая часть экспериментов проведена для режима короткого замыкания.

Во всех опытах условия зарядки транспортеров одинаковые и оптимальные [4]. Щетки генератора установлены строго симметрично относительно индукторов.

а) Зависимость величины пульсаций от ширины индукторов

Форма импульсов тока или, иными словами, форма пульсаций при изменении ширины индукторов не изменяется. Однако количественное соотношение между пульсациями и постоянной (слабо изменяющейся) составляющей существенно зависит от этого обстоятельства. Максимальные пульсации бывают при отсутствии высоковольтных индукторов. Постоянная составляющая при этом полностью отсутствует.

При неизменной величине зазора ротор—статор увеличение ширины индуктора приводит к существенному уменьшению величины pulsa-

ций. Если за 100% принять величину пульсаций (A) при отсутствии высоковольтного индуктора (в этом случае постоянная составляющая тока отсутствует), то процентное уменьшение пульсаций может быть представлено кривой, приведенной на рис. 2. Кривая получена для ротора с числом транспортеров $m = 52$.

Для роторов с числом транспортеров $m < 52$ кривые зависимости величины пульсаций от ширины индукторов изображаются аналогично кривой 1, но располагаются выше. От среднего значения тока процентное содержание пульсаций в токе режима короткого замыкания не зависит. Ширина индукторов на графике обозначена буквой S и как в [4] характеризуется числом транспортеров, которое она перекрывает.

б) Влияние заземленных элементов генератора на величину пульсаций

В работе рассматривалось влияние заземления вала ротора, заземления кожуха генератора, а также искусственно увеличенной частичной емкости на землю. Последнее осуществлялось заменой одного из двух слабопроводящих дисков статора заземленным металлическим диском. Для ротора с $m = 52$ результаты опытов представлены на рис. 2. Здесь кривая 2 получена при тех же условиях, что и кривая 1, но с заземленным валом. Кривая 3 получена для тока, когда заземлены вал ротора и кожух генератора; кривая 4 — при искусственно увеличенной частичной емкости на землю.

Во всех случаях среднее значение тока, фиксируемое по микроамперметру, постоянное, в то время как качественная структура тока существенно изменилась, о чем можно судить по рис. 2. С увеличением ширины индуктора при наличии заземленных элементов генератора уменьшение пульсаций менее значительное, чем было в том случае, когда они не были заземлены.

Минимальная величина пульсаций, которую можно получить при увеличении ширины индуктора тем больше, чем больше в генераторе заземленных элементов. При наличии проводящего заземленного диска вместо одного из дисков статора эта величина наибольшая и для данного ротора составляла около 50%, то есть в этом случае амплитуда пульсаций уменьшалась только наполовину по сравнению с пульсациями тока в генераторе без высоковольтного индуктора.

Для роторов с другим числом или формой транспортеров отмеченные закономерности качественно подобны.

в) Зависимость величины пульсаций от сопротивления нагрузки

Для того, чтобы оценить степень убывания величины пульсаций с ростом сопротивления нагрузки, проводилось осциллографирование тока нагрузки при изменении нагрузочного сопротивления. С увеличением сопротивления нагрузки для поддержания постоянного значения тока, фиксируемого по микроамперметру, напряжение возбуждения увеличивалось (кривая получена при токе, равном 20 мка). Для ротора с 52 транспортерами при индукторах, перекрывающих не менее 4 транспортеров, степень убывания величины пульсаций с ростом сопротивления нагрузки характеризуется кривой, представленной на рис. 3. Наиболее быстро пульсации уменьшаются при увеличении сопротивления нагрузки от 0 до 100 мОм. Дальнейшее увеличение сопротивления величину пульсаций снижает незначительно. Характер кривой, пока-

занной на рис. 3, не изменяется и в том случае, когда индукторы перекрывают не четыре, а другое число транспортеров. Аналогия сохраняется и для ротора с другим числом транспортеров.

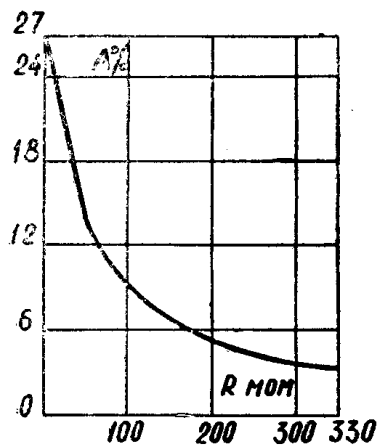


Рис. 3

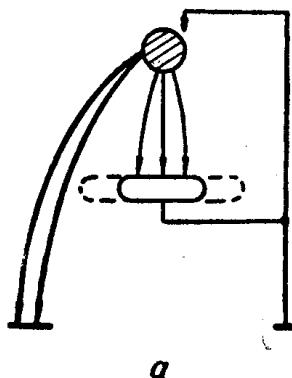
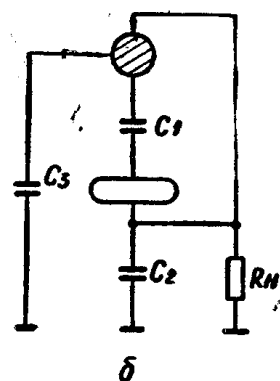


Рис. 4



Обсуждение результатов

В [2] при рассмотрении коммутационных процессов в генераторах данного типа сделано предположение, что наличие импульсной составляющей в нагрузочном токе обусловлено частью заряда транспортера, связанного с землей, т. е. с наличием частичной емкости транспортера на землю. Анализ полученных результатов подтверждает это предположение.

Так, из рис. 2 видно, что увеличение ширины индуктора приводит к уменьшению пульсаций. Если придерживаться вышеприведенного из [2] предположения, то это уменьшение пульсаций следует объяснить уменьшением части заряда, связанного с землей. В генераторах, где отсутствует слабопроводящий статор и естественная перезарядка транспортеров, это объяснение вряд ли вызвало бы сомнение, поскольку увеличение ширины индукторов приводит к увеличению степени экранирования коммутирующего транспортера от земли, как это следует из рис. 4, *a*. Последнее соответствует уменьшению емкостной связи с землей и, как следствие, приводит к уменьшению величины пульсаций.

В генераторах со слабопроводящим статором взаимосвязь между шириной индуктора и степенью экранировки коммутирующего транспортера от земли существенным образом зависит от проводимости материала статора и от скорости протекания коммутационных процессов. Для статического процесса при наличии слабопроводящего статора степень экранировки транспортера вовсе не должна зависеть от ширины индуктора и для конкретного зазора ротор-статор должна быть всегда постоянной, обеспечивая постоянную величину пульсаций. Поскольку в генераторах со статором из стекла этого не достигается, то следует допустить, что и здесь увеличение ширины индуктора приводит к улучшению экранирования коммутирующего транспортера от земли; основная причина пульсаций — наличие частичной емкости на землю.

Дополнительное подтверждение данного предположения можно получить на основе анализа рис. 2. Известно [5, 6], что заземление вала ротора или кожуха генератора приводит к увеличению частичной

емкости транспортеров, в том числе и коммутирующего, на землю. В таком случае при заземлении вала ротора пульсации должны быть больше, чем при незаземленном, а при заземлении и вала, и кожуха больше, чем при заземлении только вала. Это полностью подтверждается кривыми 2 и 3 рис. 2.

Наиболее заметное увеличение пульсаций наблюдается при искусственном увеличении частичной емкости на землю (кривая 4, рис. 2).

Учитывая вышесказанное, для получения тока с минимальными пульсациями в режиме короткого замыкания необходимо таким образом выполнить коммутационные зоны, чтобы обеспечить максимально возможное экранирование коммутирующего транспортера от земли. Этому требованию в общем случае отвечает клетка Фарадея. Однако в ЭСГ выполнить ее невозможно из-за самой конструкции ротора. Поэтому для ЭСГ следует говорить лишь о некотором подобии устройств, рассматривая индукторы как несовершенную клетку Фарадея. Вполне очевидно, что увеличение ширины индукторов способствует более полной экранировке транспортера от земли. Особенно значительно это сказывается при изменении ширины индуктора до величины, соответствующей 3—4 перекрытым стержням. Дальнейшее увеличение ширины индукторов практически не сказывается на степени экранирования транспортеров и практически не снижает пульсаций.

Зависимость величины пульсаций от сопротивления нагрузки можно объяснить из рассмотрения показанной на рис. 4, б RC -цепочки, образованной сопротивлениями нагрузки и частичными емкостями на землю. Отсюда видно, что с ростом сопротивления нагрузки пульсации уменьшаются. Для данного генератора наиболее значительное уменьшение пульсаций при увеличении R_n от 0 до 100 мОм. Дальнейшее увеличение R_n уменьшает пульсации весьма слабо (рис. 3).

Выводы

1. Наличие пульсаций в генераторах с проводящими транспортерами обусловлено в основном частичной емкостью коммутирующих транспортеров на землю.

2. В генераторе, рабочий зазор которого уменьшается в пределах 0—1 мм, для получения тока с минимальными пульсациями целесообразная ширина индукторов разрядной системы должна соответствовать 3—4 перекрытым транспортерам.

3. Наличие заземленного вала и кожуха генератора приводит к увеличению пульсаций, так как увеличивается частичная емкость транспортера на землю.

4. Увеличение сопротивления нагрузки резко снижает пульсации.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Левитов, А. Г. Ляпин. Электростатические генераторы с жестким ротором. «Центприборэлектропром», ч. 1, 1963.
2. А. М. Купцов, В. В. Пацевич. «Электричество», № 7, 1968.
3. А. М. Купцов. Электронные ускорители. «Энергия», 1968.
4. N. J. Felici. «J. Physique et Radio», vol. 9, p. 66, 1948.
5. В. В. Пацевич. Электронные ускорители. Атомиздат, 1964.
6. В. А. Лукутин, В. Д. Эськов. «Энергетика и транспорт», 1967, № 2, стр. 94.