

ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗАЗОРОВ РОТОР — СТАТОР И РОТОР — ЩЕТКА НА ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ДИСКОВОГО СТЕРЖНЕВОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА

А. Ф. КАЛГАНОВ, Э. А. ПОДПЛЕТНЕВА, Ю. Н. СИВКОВ

(Представлена объединенным научным семинаром кафедры теоретических основ электротехники и сектора роторных ЭСГ НИИ ЯФЭА)

Во многих работах, посвященных исследованию стержневых ЭСГ, последние рассматриваются лишь как системы, обладающие линейными характеристиками [1—8]. Результаты исследований, в том числе выведенные аналитическим путем зависимости одних параметров от других, дают многое для понимания происходящих в ЭСГС процессов. Однако они оказываются недостаточными для оценки максимальных выходных параметров ЭСГ, поскольку эти параметры достигаются в условиях, когда система становится нелинейной (режим насыщения) и уже не описывается аналитически.

В связи с отсутствием аналитического расчета ЭСГС в режимах насыщения максимальные выходные параметры ЭСГС обычно оцениваются экспериментальным путем [9—11].

Дополнительная нелинейность вносится в систему ЭСГС при замене контактной коммутации на газоразрядную.

Нами проведены экспериментальные исследования зависимости максимального тока к. з. однодискового ЭСГС от величины зазора d_1 ротор — статор при контактной коммутации и от величины зазора δ между коллекторной частью ротора и щеткой при газоразрядной коммутации.

Исследования проводились на генераторе, описанном в [12], при атмосферных условиях. Контактная коммутация осуществлялась с помощью узких щеток по методике [12], а газоразрядная — с помощью щеток в виде стальных стержней диаметром 4 мм, концы которых, обращенные к коллекторной части ротора, имели конусообразную форму; конец конусной части скруглялся радиусом 1 мм и шлифовался. Положение щеток-стержней относительно коллекторной части ротора регулировалось с помощью резьбового соединения других их концов со щеткодержателями. Величина зазора определялась по шагу резьбы щетки-стержня и по углу поворота крепящей гайки.

Влияние зазора ротор — статор

На рис. 1 кривая 1 изображает зависимость $I_{к.з. м} = f(d_1)$ в условиях, когда оба зазора между ротором и дисками двойного статора поддерживались одинаковыми. Ток измерялся микроамперметром М-194, имеющим класс точности 1,0.

Как видно из рисунка, кривая 1 имеет два характерных участка. Первый из них соответствует зазорам $0,2 \div 1$ мм, когда с увеличением зазора ток к. з. резко уменьшается. Второй участок соответствует зазорам d_1 1 мм, когда с увеличением зазора уменьшение тока к. з. становится незначительным.

Характер зависимости $I_{к.з. м} = f(d_1)$ соответствует характеру изменения пробивной напряженности $E_{пр}$ слабонервномерного электрического поля в зависимости от величины пробивного промежутка. Придерживаясь исходных позиций, изложенных в [13], в отношении связи максимального тока к. з. с величиной средней

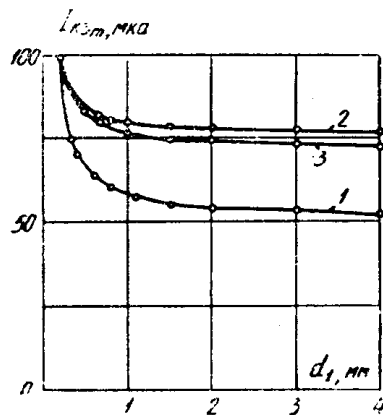


Рис. 1. Зависимости максимального тока к. з. от величины зазоров ротор-статор однодискового ЭСГС

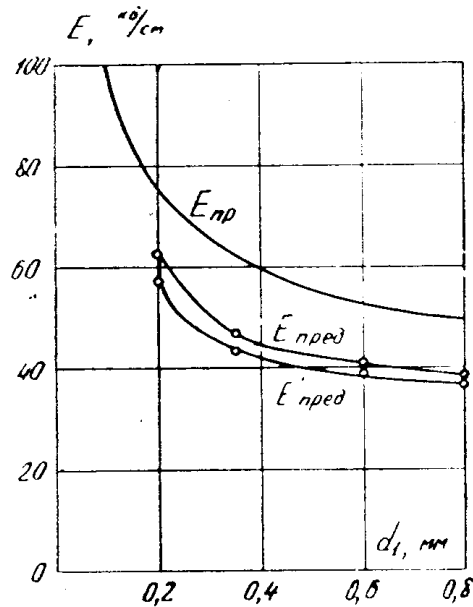


Рис. 2. Зависимости напряженности электрического поля от межэлектродного расстояния стандартного разрядника ($E_{пр}$) и от зазора ротор-статор ЭСГС ($E'_{пред}$ и $E_{пред}$)

предельной напряженности поля $E'_{пред}$ в зазоре ротор — статор ЭСГС, эту напряженность можно оценить по соотношению

$$E'_{пред} = \frac{\sigma'_m}{\varepsilon_0} = \frac{1}{\varepsilon_0} \cdot \frac{I_{к.з. м}}{2Sn}, \quad (1)$$

где

σ'_m — максимальная величина средней поверхностной плотности переносимого ротором заряда, определяемая по максимальному току к. з.;

S — двусторонняя рабочая поверхность ротора;

n — число оборотов ротора в секунду.

На рис. 2 приведены зависимость $E'_{пред} = f(d_1)$, подсчитанная по (1) с использованием экспериментальных значений $I_{к.з. м}$, и зависимость $E_{пред} = f(d_1)$, подсчитанная по соотношению

$$E_{пред} = \frac{E'_{пред}}{\kappa_0}, \quad (2)$$

где $E_{пред}$ — амплитудное значение достигнутой напряженности поля; κ_0 — коэффициент, характеризующий, согласно [13], степень равномерности электрического поля в зазоре ротор-статор ЭСГС.

В рассматриваемом случае величина κ_0 изменяется от 0,91 до 0,95 при изменении d_1 от 0,2 до 0,8 мм.

Для сравнения на рис. 2 приведена зависимость электрической прочности $E_{пр}$ воздушного промежутка, образованного шарами диаметром 2,5 см, по данным [14].

Из приведенных данных видно, что как $E_{ред}$, так и $E_{пред}$ меньше величины $E_{пр}$. При этом разница между $E_{пр}$ и $E_{пред}$ составляет $25 \div 30\%$, а между $E_{пр}$ и $E_{ред}$ $17 \div 27\%$. С учетом наличия тангенциальной составляющей электрического поля в зазоре ротор — статор, которая в среднем оценивается в одну десятую от нормальной составляющей поля, можно констатировать удовлетворительное (в пределах $15 \div 20\%$) совпадение значений $E_{пр}$ и $E_{ред}$. Неполное совпадение этих величин может быть как за счет того, что коэффициент k_0 , возможно, недостаточно точно характеризует неравномерность поля в ЭСГС, так и из-за необеспеченности условий поддержания пробивных напряженностей поля в зазоре ротор — статор впоследствии влияния, например, щелочно-коллекторной системы.

Полученные данные наглядно свидетельствуют о необходимости поддержания в ЭСГС весьма малых зазоров ротор — статор с целью повышения удельных энергетических показателей, и это накладывает особые требования к точности изготовления и сборки основных рабочих элементов генератора.

В многодисковых ЭСГС каждый диск ротора отделен от статора двойным зазором. В реальных конструкциях ЭСГС обеспечение строгого совпадения величин обоих зазоров (особенно когда они весьма малы) затруднительно, если не невозможно. В связи с этим представляет практический интерес знание степени изменения величины $I_{к.з.т}$ генератора с изменением одного из двух зазоров. Нами проведено экспериментальное определение такого изменения на однодисковом ЭСГС. Результаты эксперимента приведены на рис. 1 в виде зависимости $I_{к.з.т} = f(d'_1, d''_1) = \text{const}$ (кривая 2), когда один из зазоров (d'_1) изменялся от 0,2 до 4 мм, а другой (d''_1) оставался неизменным и равным 0,2 мм. Как видно, кривая 2 по характеру изменения аналогична кривой 1, но расположена выше (ток к. з. для этого случая значительно больше).

Объяснение хода кривой 2 может быть сведено к следующему. Если ток $I_{к.з.т}$ определяется достигаемой величиной $E_{пред}$, которая, в свою очередь, зависит от d_1 , то для однодискового генератора с двойным статором он может быть представлен суммой двух токов: $I'_{к.з.т} = f(d'_1)$ и $I''_{к.з.т} = f(d''_1)$. При $d'_1 = \text{const}$ и увеличивающемся d''_1 ток $I''_{к.з.т}$ должен быть постоянен, а ток $I'_{к.з.т}$ и суммарный ток $I_{к.з.т}$ должны уменьшаться; при этом вследствие постоянства $I_{к.з.т}$ уменьшения $I_{к.з.т}$ должны быть значительно меньше, чем в случае, когда увеличиваются оба зазора одновременно. Это положение иллюстрируется кривой 3 рис. 1. Ордината ее точки является суммой половины ординаты кривой 1 для $d_1 = 0,2 \text{ мм}$ и половины ординаты той же кривой для текущего увеличенного значения d_1 . Как видно, кривые 2 и 3 почти совпадают; различие между ними не превышает 6%, что находится в пределах погрешности оценки величины d_1 . В этих условиях ток к. з. ЭСГС может быть определен как

$$I_{к.з.} = Sn\varepsilon_0 (E'n + E''n),$$

где $E'n$ и $E''n$ — нормальные составляющие поля в зазоре; d'_1 и d''_1 , соответственно.

Влияние зазора ротор — щетка

На рис. 3 приведены зависимости максимального тока к. з. при газоразрядной коммутации в относительных единицах β (как отношении

максимального тока к. з. при газоразрядной коммутации к максимальному току к. з. при контактной коммутации при прочих равных условиях (от величины зазора ротор — щетка δ для двух значений зазора ротор — статор d_1 (0,2 и 1 мм, причем $d_1 = d'_1 = d''_1$). Значения токов к. з. при контактной коммутации соответствуют данным кривой 1 рис. 1.

Из полученных данных следует, что с увеличением зазора максимальный ток к. з. генератора уменьшается; при этом степень уменьшения тока тем больше, чем больше зазор между ротором и статором. Другой характерной особенностью зависимостей $\beta = f(\delta) d_1 = \text{const}$ является то, что при малых значениях d_1 (порядка 0,2 мм) ток к. з. генератора практически не изменяется при изменении зазора δ в диапазоне $0 \div 0,5$ мм, тогда как при зазоре $d_1 = 1$ мм резкое уменьшение тока наблюдается уже при зазоре $\delta = 0,2$ мм.

Выводы

1. Подсчитанные по максимальному току к. з. предельно достижимые значения нормальной составляющей напряженности электрического поля в зазоре ротор — статор ЭСГС оказываются близкими к значениям электрической прочности среды в сопоставимых условиях, что является дополнительным подтверждением справедливости ранее высказанных исходных положений в отношении методики оценки максимального тока к. з. ЭСГС.

2. При наличии двойного статора и, соответственно, двойного зазора между ротором и статором ток к. з. однодискового генератора прямо пропорционален сумме величин напряженностей поля, достигаемых в каждом из зазоров.

3. Использование газоразрядной коммутации в ЭСГС практически не приводит к снижению максимального тока к. з., если обеспечиваются достаточно малые зазоры как между ротором и щеткой, так и между ротором и статором.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. А. Бобковский. ЖТФ, 10, № 17, 1404, 1940.
2. Ю. С. Корзенников, В. В. Пацевич, Ю. Н. Сивков. Электронные ускорители (Труды 5 межвузовской конференции, Томск, 1964 г.), М., 1966.
3. В. А. Лукутин, В. Д. Эськов. Ж. «Энергетика и транспорт», № 2, 1967.
4. В. А. Лукутин, В. Д. Эськов. Изв. ТПИ, т. 149, 1966.
5. А. П. Кононов, В. А. Лукутин, В. В. Пацевич. Изв. ТПИ, т. 149, 1966.
6. В. Д. Эськов. Изв. ТПИ, т. 152, 1966.
7. А. П. Кононов, В. В. Пацевич, В. Д. Эськов. Ж. «Энергетика и транспорт», № 4, 1967.
8. А. П. Кононов. Исследование электростатического генератора дискового типа. Диссертация, Томск, 1967.
9. N. J. Felici, J. Phus, et Rad, 9, № 2, 66, 1948.
10. В. В. Пацевич. Некоторые вопросы теории и расчета ЭСГ с транспортерами-проводниками. Диссертация, Томск, 1963.
11. А. Ф. Калганов, В. В. Пацевич, Ю. Н. Сивков. Тезисы докладов всесоюзной межвузовской научно-технической конференции по вопросам создания и методам испытания высоковольтной физич. аппаратуры, Томск, 1967.
12. А. Ф. Калганов, Э. А. Подплетнева, Ю. Н. Сивков. К вопросу о сравнении экспериментальных и расчетных характеристик короткого замыкания стержневого ЭСГ. Настоящий сборник.
13. А. Ф. Калганов. Об энергетическом соотношении между стержневыми ЭСГ и ЭСГ с транспортером-диэлектриком. Настоящий сборник.
14. Под ред. проф. А. А. Воробьева. Высоковольтное испытательное оборудование и измерения, ГЭИ, 1960.

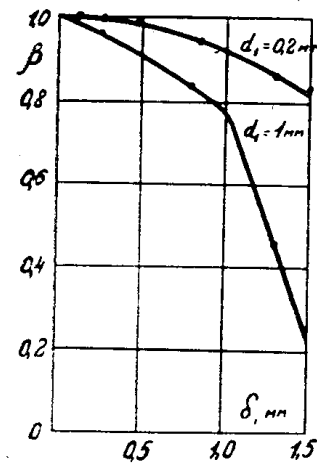


Рис. 3. Зависимости максимального тока к. з. от величины зазора ротор-щетка при различных зазорах ротор-статор