

## ДИСКОВЫЙ ЭСГ С УВЕЛИЧЕННЫМ ЧИСЛОМ ТРАНСПОРТЕРОВ-ПРОВОДНИКОВ

В. В. ПАЦЕВИЧ

(Представлена научным семинаром научно-исследовательского института  
высоких напряжений)

Наиболее перспективными с точки зрения удельных энергетических показателей являются дисковые ЭСГ с увеличенным числом транспортеров при каскадном соединении последних [1, 2]. Принцип действия и основы конструкции ЭСГ с каскадным соединением транспортеров, принципиальная схема которого представлена на рис. 1, описаны в [3, 4]. Основными элементами конструкции генератора являются:

1) вращающийся ротор, состоящий из отдельных транспортеров-проводников, соответствующим образом укрепленных и изолированных друг от друга;

2) неподвижный статор, состоящий из отдельных пластин, соединенных с делителем напряжения и обеспечивающих равномерное распределение потенциалов транспортеров ротора, а также равномерность электрического поля в генераторе;

3) система возбуждения, состоящая из источника возбуждения, подсоединенного к одной из пластин статора, и заземленной щетки, сообщающей заряд транспортерам при непосредственном контакте с ними или через коронный разряд;

4) высоковольтная система, состоящая из пластины статора, соединенной со щеткой, снимающей заряд с транспортеров, и с нагрузкой генератора.

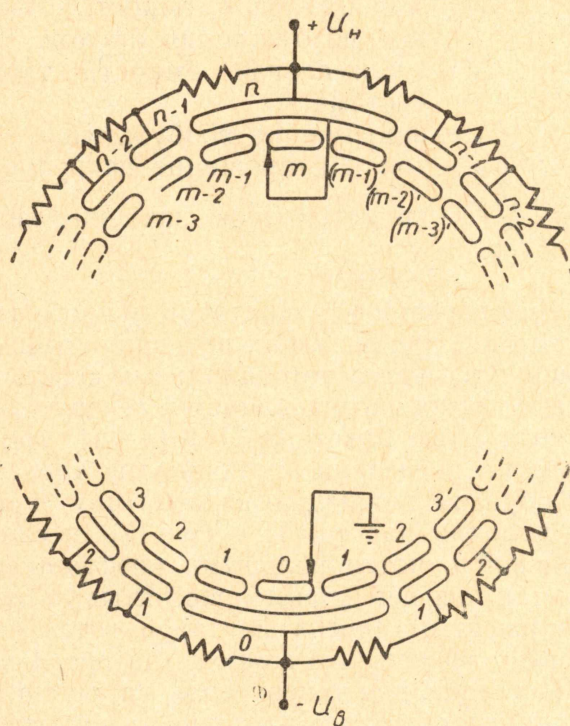


Рис. 1. Принципиальная схема ЭСГ с каскадным соединением транспортеров-проводников.



Ток такого генератора определяется величиной заряда, переносимого транспортером за один оборот ротора, который в свою очередь можно определить как разность заряда, переносимого транспортером к высоковольтной системе, и заряда, остающегося на транспортере при его возвращении от высоковольтной системы к системе возбуждения.

Величину заряда, переносимого транспортером к высоковольтной системе, принято определять [3] как заряд конденсатора, состоящего из статорной пластины возбуждения и транспортера в момент отсоединения последнего от заземленной щетки.

Для определения величины заряда, остающегося на транспортере, в работе [3] вводится понятие минимальной емкости транспортера в высоковольтной системе относительно земли, получившей впоследствии название паразитной емкости генератора. Понятие паразитной емкости используется также для анализа и расчета ЭСГ в работах [4, 6].

Величина тока короткого замыкания при этом принимается равной

$$I_{кз} = 2mnC_1U_B, \quad (1)$$

а уравнение внешней характеристики при отсутствии потерь через корону и по изоляции, принимает вид

$$I_H = I_{кз} \left( 1 - \frac{C_3}{C_1U_B} U_H \right) = I_{кз} \left( 1 - \frac{U_H}{U_{xx}} \right). \quad (2)$$

Здесь  $2m$  — число транспортеров ротора,

$n$  — число оборотов ротора в секунду,

$C_1$  — максимальная емкость между транспортером и пластиной возбуждения статора,

$C_3$  — минимальная емкость транспортера в высоковольтной системе,

$U_B$  — напряжение возбуждения,

$I_H$  и  $U_H$  — ток и напряжение нагрузки,

$U_{xx} = \frac{C_1U_B}{C_3}$  — теоретическое значение напряжения холостого хода генератора.

Исследованию генераторов данного типа на основе уравнений электростатики, связывающих величину потенциалов и зарядов системы проводящих тел через потенциальные коэффициенты, посвящена работа [7]. Однако в этих исследованиях в генераторе не учитывались промежуточные статорные пластины  $[1 \div (n-1)]$  (рис. 1), обеспечивающие равномерное распределение потенциалов транспортеров ротора и существенным образом влияющие на величину напряжения и тока генератора. При наличии пластин  $[1 \div (n-1)]$  исследование и расчет на основе уравнений с потенциальными коэффициентами значительно осложняется, так как необходимо рассчитывать величину заряда пластин, которая зависит от многих факторов, в том числе и от расположения этих пластин относительно кожуха (на рис. 1 кожух не показан).

Исследования генераторов упрощаются, если использовать уравнения электростатики с частичными емкостями, при условиях, как правило, имеющих место в реальных генераторах, наличия малого зазора между транспортерами и пластинами статора и равномерном распределении потенциалов статорных пластин. При этом наибольшую величину будут иметь частичная емкость  $C_1$  между транспортером и противостоящей ему пластиной статора и частичная емкость  $C_2$  между соседними транспортерами. Величина остальных частичных емкостей транспортеров в соответствии с их определением [8] будет значительно меньше  $C_1$  и  $C_2$  и их влиянием в первом приближении можно пренебречь.



Решение системы уравнений с частичными емкостями приводит к уравнениям [9] вида:

$$I_{кз} = 2mn a_1 C_1 U_B \quad (3)$$

и

$$I_H = 2mn (a_1 C_1 U_B - a_2 U_H) = I_{кз} \left( 1 - \frac{a_2}{a_1} U_H \right) = I_{кз} \left( 1 - \frac{U_H}{U_{xx}} \right), \quad (4)$$

где  $a_1$  и  $a_2$  — коэффициенты, зависящие от соотношения частичных емкостей  $C_1$  и  $C_2$  и от числа транспортеров ротора. При  $C_2 \neq 0$ , что практически всегда имеет место в генераторах данного типа,  $a_1 > 1$  и  $a_2 > 0$ . Величины  $a_1$  и  $a_2$  возрастают с увеличением отношения  $\frac{C_2}{C_1}$ .

Увеличение тока короткого замыкания при  $C_2 \neq 0$  физически можно объяснить на основании явления электростатической индукции. Как известно, если к заземленному телу поднести другое заряженное тело, то на первом появится заряд обратного знака по отношению к заряду второго тела. При заземлении одного из двух тел, предварительно заряженных зарядами одного знака и достаточно близко расположенных относительно друг друга; последнее оказывается заряженным зарядом обратного знака. При наличии только двух тел величина наводимого заряда определяется емкостью и разностью потенциалов между телами. При наличии нескольких тел величина разряда заземленного тела будет более сложным образом зависеть от величины зарядов и потенциалов тел и может быть рассчитана известными методами электростатики, например, через уравнения с частичными емкостями. Как показывают расчеты, при наличии частичной емкости  $C_2$  в режиме короткого замыкания, а также при некоторой нагрузке транспортер, будучи соединенным со щеткой нагрузки, не только отдает имевшийся на нем заряд, но и получает заряд обратного знака.

Следовательно, при  $C_2 \neq 0$  транспортер в высоковольтной системе не только разряжается на нагрузку, но и перезаряжается. Генератор работает с естественной перезарядкой транспортеров в высоковольтной системе.

Зарядка транспортера зарядом обратного знака соответствует отдаче в нагрузку дополнительного заряда того же знака, который был на транспортере до его заземления, в результате чего увеличиваются ток и мощность генератора.

Необходимо отметить, что проявление естественной перезарядки не ограничивается явлениями, происходящими только в высоковольтной системе. В системе возбуждения заземленный транспортер, передав в землю заряд, полученный в высоковольтной системе, вновь заряжается за счет явления электростатической индукции под действием не только индуктора возбуждения, но и соседнего заряженного транспортера 1, что приводит к увеличению заряда, переносимого от системы возбуждения в нагрузку.

Непосредственно из уравнений (2, 4) следует, что величина тока короткого замыкания не определяет полностью величину мощности генератора при его работе на нагрузку. Это обстоятельство обусловлено тем, что при увеличении напряжения нагрузки происходит уменьшение тока генератора, вызванное наличием реакции якоря.

Количественно величина реакции якоря может быть оценена по углу наклона внешней характеристики к оси тока. Для генератора, у которого реакция якоря отсутствует, ток остается постоянным при любом напряжении нагрузки, и внешняя характеристика будет параллельной оси напряжений. Напряжение холостого хода такого генерато-



ра при отсутствии утечек теоретически равно бесконечности при любом напряжении возбуждения. При наличии реакции якоря угол наклона внешней характеристики к оси токов меньше  $90^\circ$ . При большой величине реакции якоря характеристика будет очень пологой к оси токов и при работе генератора с такой характеристикой на нагрузку его мощность будет много меньше теоретически возможной величины. В связи с этим исследование путей снижения величины реакции якоря в ЭСГ имеет важное значение.

По уравнению (4) величина реакции якоря определяется соотношением  $\frac{a_2}{a_1} = \frac{U_B}{U_{XX}}$ . Расчеты показывают, что величина отношения  $\frac{a_2}{a_1}$  уменьшается как с уменьшением отношения  $\frac{C_2}{C_1}$ , так и с увеличением числа транспортеров ротора  $2m$ .

Уменьшение отношения  $\frac{C_2}{C_1}$  может быть достигнуто, в частности, за счет увеличения  $C_1$  при уменьшении зазора ротор-статор. Поскольку и уменьшение зазора ротор-статор и увеличение числа транспортеров ротора соответствует увеличению максимальной мощности генератора [9, 10], то для уменьшения реакции якоря необходимо до максимума использовать обе возможности. Следует отметить, что уменьшение зазора ротор-статор является также весьма желательным с точки зрения уменьшения величины напряжения возбуждения генератора.

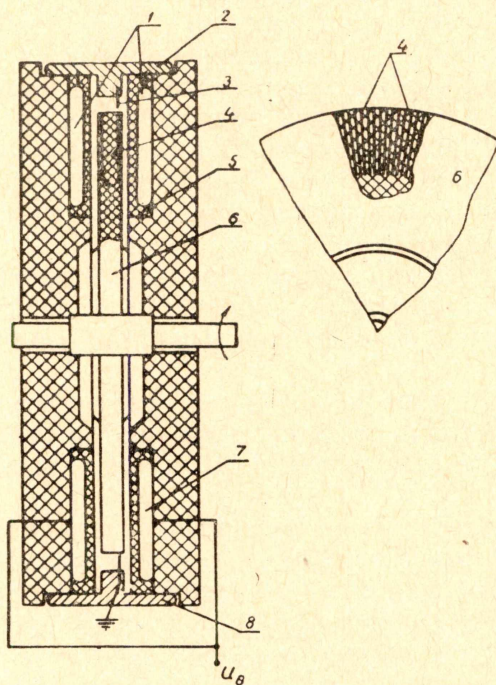


Рис. 2. Принципиальная схема конструкции дискового ЭСГ.

Полупроводящее статорное покрытие 5 с запеченными в него металлическими высоковольтными индукторами 1 и индукторами возбуждения 7 изготовлялось из компаунда на основе эпоксидной смолы с карбидом кремния. Коммутация осуществлялась заземленной щеткой, укрепленной в изоляционном щеткодержателе 8, и щеткой 3, укрепленной в металлическом щеткодержателе 2. Индукторы 1 и щеткодержатель 2 образуют одновременно высоковольтный кондуктор, обеспечивающий снятие заряда с транспортеров в условиях, близких к условиям цилиндра Фарадея.

Изложенные результаты проверены экспериментально на модели дискового ЭСГ с каскадным соединением транспортеров-проводников, принципиальная схема конструкции которого представлена на рис. 2, а внешний вид генератора на рис. 3.

Ротор 6 генератора изготовлен из компаунда на основе эпоксидной смолы с запеченными в него транспортерами 4. Распределение потенциала по статору осуществлялось полупроводящим покрытием, возможность использования которого была указана впервые А. Ф. Иоффе [3].

Ротор 6 генератора изготовлен из компаунда на основе эпоксидной смолы с запеченными в него транспортерами 4. Распределение потенциала по статору осуществлялось полупроводящим покрытием, возможность использования которого была указана впервые А. Ф. Иоффе [3].



Конструктивное выполнение генератора предусматривало возможность использования как контактной, так и коронной коммутации при регулируемом зазоре между щеткой и ротором, а также изменение зазора между ротором и статором.

Данные ротора: внешний диаметр  $D_2 = 154$  мм, внутренний диаметр по транспортерам  $D_1 = 96$  мм, толщина диска ротора  $h = 8$  мм, число транспортеров  $2m = 200$ .

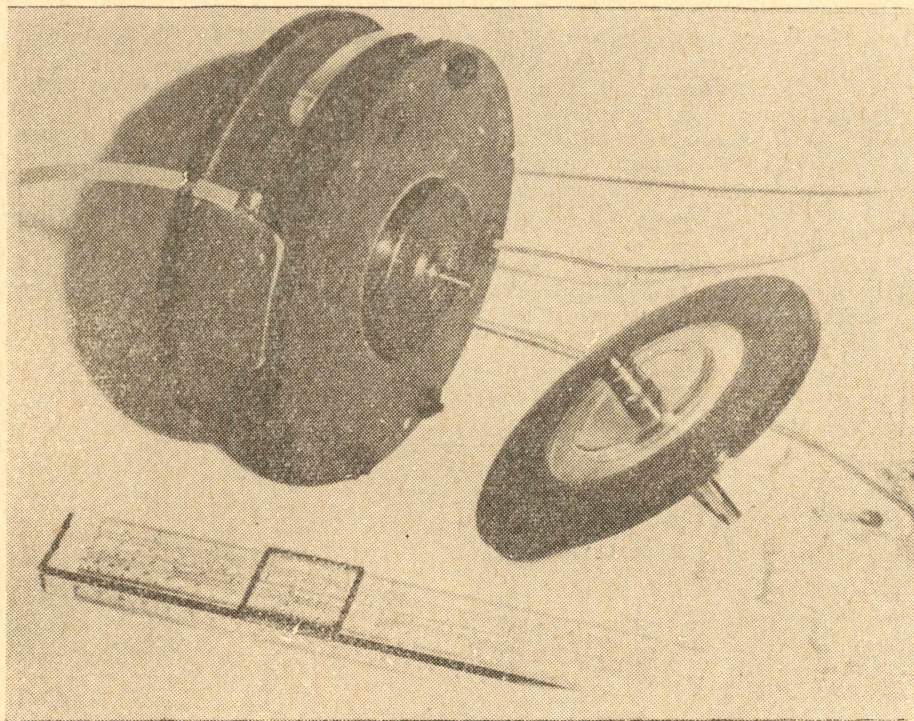


Рис. 3. Дискосый ЭСГ с каскадным соединением транспортеров.

При испытаниях генератора было получено  $a_1 = 2,3$  при зазоре ротор-статор 0,4 мм и  $a_1 = 3,0$  при зазоре 1,1 мм, при этом величины  $a_2$  соответственно были равны 0,036 и 0,084.

Наряду с доказательством наличия естественной перезарядки и возможности создания генераторов с малой величиной реакции якоря, эксперименты показали возможность успешной работы ЭСГ с транспортерами-проводниками при коронной коммутации.

Несмотря на свою простоту и кажущуюся эффективность, контактная коммутация, применявшаяся чаще всего в ЭСГ с транспортерами-проводниками, является серьезным тормозом в их практической разработке. Основной ее недостаток — запыление рабочего объема и резкое снижение вследствие этого его электрической прочности.

Возможность использования коронной коммутации, широко применяемой уже в ЭСГ с транспортером-диэлектриком при мощностях до нескольких киловатт, позволяет по-новому оценивать практические возможности генераторов данного типа.

В целом проведенные исследования определяют более конкретные пути исследовательских и конструкторских работ по созданию ЭСГ с транспортерами-проводниками на высокие удельные показатели (до 1 Вт/см<sup>3</sup>) [11].



## ЛИТЕРАТУРА

1. Felici U., L'avenir de la génétion électrostatique, 102<sup>-ème</sup> colloque du SNRC, Grenoble, 1960.
  2. В. В. Пацевич. К определению максимальных мощностей и удельных энергетических показателей некоторых ЭСГ, Труды V межвузовской конференции по электронным ускорителям 1964 года, Атомиздат, 1966.
  3. А. Ф. Иоффе. Ж. Т. Ф., **9**, № 23, 2071, 1939.
  4. Б. М. Гохберг, А. Ф. Иоффе, Н. М. Рейнов, Ж. Т. Ф., **9**, № 23, 2094, 1939.
  5. Felici N., J. Phys. et Rad. **9**, № 2, 66, 1948.
  6. А. Ф. Калганов. Известия вузов — Электромеханика, № 4, 20, 1960.
  7. С. А. Бобковский, Ж. Т. Ф., **10**, № 17, 1404, 1940.
  8. Л. Р. Нейман, П. Л. Калантаров. Теоретические основы электротехники, Госэнергоиздат, 1959, ч. III.
  9. Ю. А. Корзенников, В. В. Пацевич, Ю. Н. Сивков. Расчет ЭСГП стержневого типа на основе уравнений с частичными емкостями, Труды V межвузовской конференции по электронным ускорителям 1964 года, Атомиздат, 1966.
  10. А. Ф. Калганов, В. В. Пацевич. Известия вузов — Электромеханика, № 8, 917, 1963.
  11. А. А. Воробьев, А. Ф. Калганов, В. А. Лукутин, В. В. Пацевич. О теории и практике электростатических машин, Труды V межвузовской конференции по электронным ускорителям 1964 года, Атомиздат, 1966.
-