

К РАСЧЕТУ ВНЕШНЕЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ САМОВОЗБУЖДАЮЩЕГОСЯ ЭСГ

Ю. Г. ЛЕЛЕКО, В. Д. ЭСЬКОВ

(Представлена научным семинаром кафедры теоретических основ электротехники
и отделом роторных ЭСГ НИИ ЯФ АЭ при ТПИ)

В связи с бурным развитием электронноионной технологии в последние годы повысился интерес к электростатическим генераторам как источникам постоянного тока высокого напряжения. Наибольшее внимание уделяется при этом генераторам с посторонним возбуждением. Тем не менее в автономных системах и в малогабаритных устройствах целесообразно применение самовозбуждающихся электростатических генераторов с самозапуском (СЭСГ), которые не требуют для своей работы внешнего источника возбуждения и в связи с этим обладают более высокими удельными энергетическими показателями.

Принцип действия генераторов с самозапуском достаточно подробно описан в литературе (например, [1], [2]), где однако практически отсутствуют сведения о соотношениях, связывающих выходные параметры машины с ее геометрией, без которых невозможно научно обоснованное проектирование генераторов.

В то же время существует уже несколько методик получения подобных соотношений для генераторов с посторонним возбуждением [3, 4]. Очевидна целесообразность применения этих достаточно хорошо отработанных методик и к расчету СЭСГ. Именно такой подход используется в настоящей статье для определения методики построения и вывода уравнения внешней характеристики малогабаритного СЭСГ, принципиальная схема которого приведена на рис. 1, где 1 — статор из изолирующего материала; 2 — слой слабопроводящего материала, обеспечивающий равномерное распределение потенциала по статору вне ин-

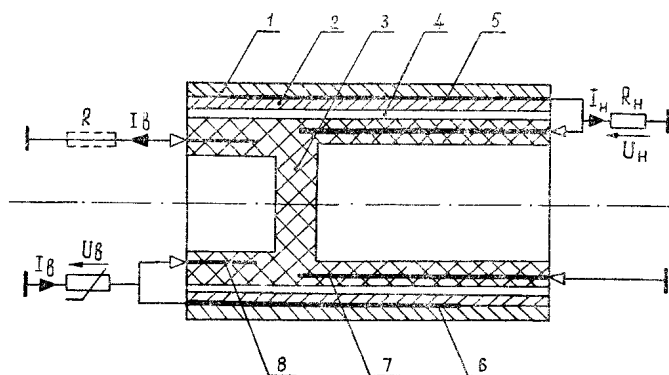


Рис. 1. Принципиальная схема СЭСГ

дукторов; 3 — диэлектрическая основа ротора; 4 — зазор между ротором и статором; 5 — индуктор системы нагрузки; 6 — индуктор системы возбуждения; 7 — основные транспортеры; 8 — вспомогательные транспортеры.

Щетки, с помощью которых осуществляется контактная коммутация, изображены на рисунке в виде треугольников. Кроме того, на рисунке обозначены: U_H и I_H — напряжение и ток нагрузки генератора; U_B — напряжение возбуждения; I_B — утечки зарядов в системе возбуждения (в основном через специальный коронирующий промежуток, который служит для регулирования напряжения возбуждения). Утечки в системе нагрузки и по статору в первом приближении не учитываются.

Описываемую систему можно рассматривать как совокупность двух генераторов (основного и вспомогательного), выходное напряжение каждого из которых служит напряжением возбуждения для другого (схема возбуждения индукционная). Соответственно их токи и напряжения можно связать уравнениями, полученными в [4] для ЭСГ с посторонним возбуждением и имеющими в данном случае следующий вид:

$$I_H = 2mnK_i C_3 \left(U_B - \frac{U_H + U_R}{K_u} \right). \quad (1)$$

$$I_B = 2mnK'_i C'_3 \left(U_H - \frac{U_B + U_H}{K'_u} \right), \quad (2)$$

где n — число оборотов ротора в секунду;

$2m$ — число транспортеров каждого из генераторов;

C_3 — сумма частичных емкостей основного транспортера по отношению к элементам статора и заземленным элементам СЭСГ;

K_u, K_i — безразмерные коэффициенты, которые могут быть либо выражены через частичные емкости между элементами основного генератора, либо определены экспериментально;

C'_3, K'_u, K'_i — соответствующие величины для вспомогательного генератора.

Для упрощения записи введем обозначения:

$$R_0 = \frac{K_u}{2mnK_i C_3},$$

$$R'_0 = \frac{K'_u}{2mnK'_i C'_3},$$

(эти величины имеют размерность сопротивлений и характеризуют наклон внешней характеристики соответствующего генератора при работе с постоянным внешним напряжением возбуждения). Тогда уравнения (1) и (2) можно переписать следующим образом:

$$I_H \cdot R_0 = U_B \cdot (K_u - 1) - U_H, \quad (3)$$

$$I_B \cdot R'_0 = U_H \cdot (K'_u - 1) - U_B. \quad (4)$$

Обозначая затем $R_H = \frac{U_H}{I_H}$ и $R_B = \frac{U_B}{I_B}$, из (3) и (4) легко вывести,

что

$$\frac{R_B}{R'_0} = \frac{R_H + R_0}{KR_H - R_0}, \quad (5)$$

где

$$K = [(K_u - 1) \cdot (K'_u - 1) - 1].$$

Уравнение (5) показывает, что каждому конкретному значению сопротивления нагрузки R_n должно соответствовать вполне определенное значение сопротивления в системе возбуждения R_v . Необходимое изменение R_v обеспечивается токами утечки в системе возбуждения, которые появляются, когда значения градиента потенциала на элементах вспомогательного ротора достигают критических значений. Однако при работе СЭСГ в таком режиме, в результате интенсивных ионизационных процессов происходит загрязнение рабочего объема и существенное сокращение срока его работы. Во избежание этого в системе возбуждения и предусмотрен вышеупомянутый коронирующий промежуток, который играет роль нагрузки вспомогательного генератора, ограничивая напряжение на индукторе возбуждения.

Как показывают эксперименты, вольт-амперная характеристика коронирующего промежутка имеет вид кривой, изображенной на рис. 2. В этом случае внешняя характеристика СЭСГ может быть построена на основании уравнений (3—5) и будет иметь вид кривой, показанной на рис. 3. Соответствующие особые точки обеих характеристик обозначены одинаковыми буквами, которые ниже используются в качестве индексов напряжений, токов и сопротивлений.

Точка k характеризует момент возникновения тока в коронирующем промежутке, в отрезок ok — холостой ход вспомогательного гене-

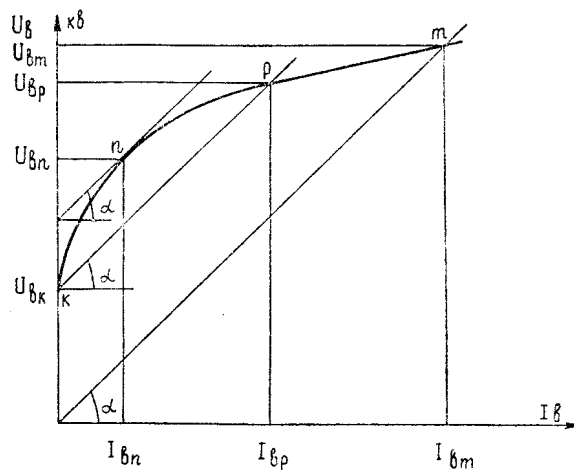


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика коронирующего промежутка

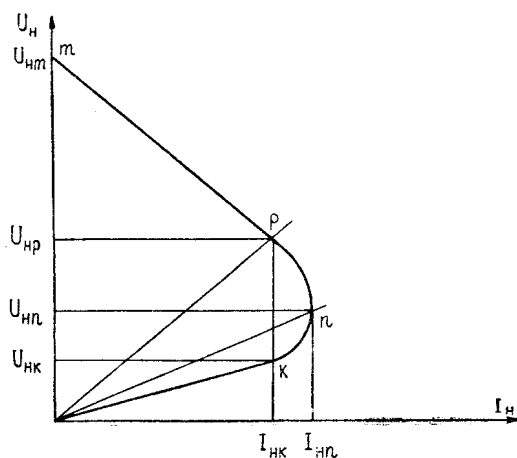


Рис. 3. Внешняя характеристика СЭСГ

ратора ($R_B \rightarrow \infty$). Тогда из уравнения (5) находится минимальное значение сопротивления нагрузки

$$R_{HK} = \frac{R_0}{K}, \quad (6)$$

при котором теоретически еще возможно самовозбуждение СЭСГ. При этих условиях из уравнений (4) и (3) определяются

$$U_{HK} = \frac{U_{BK}}{K_u' - 1} \quad \text{и} \quad I_{HK} = \frac{U_{HK}}{R_{HK}} = \frac{U_{BK}}{(K_u' - 1) R_{HK}}.$$

Эти уравнения показывают, что участок характеристики ок соответствует режиму работы генератора как линейной системы, так как величины градиентов потенциалов элементов генератора еще не достигли своих критических значений.

Точка m соответствует холостому ходу основного генератора ($I_H = 0, R_H \rightarrow \infty$). В этом случае из уравнения (5) можно выразить необходимое минимальное значение статического сопротивления коронирующего промежутка

$$R_{BM} = \frac{R_0'}{K}, \quad (7)$$

и затем по кривой $U_B = f(I_B)$ найти наибольшее значение напряжения возбуждения U_{BM} . Тогда напряжение холостого хода СЭСГ согласно (3) равно

$$U_{HM} = U_{BM} \cdot (K_u - 1).$$

Точка n определяет режим максимальной нагрузки СЭСГ ($I_{HN} = I_{max}$). Используя уравнения (3) и (4), нетрудно показать, что касательная к кривой $U_B = f(I_B)$ (рис. 2) в этой точке параллельна отрезку om (поскольку на рис. 3 касательная в точке n параллельна соответствующему отрезку), т. е. дифференциальное сопротивление коронирующего промежутка в режиме максимальной нагрузки равно его статическому сопротивлению в режиме максимального напряжения. Это обстоятельство дает возможность определить величины U_{BN} , I_{BN} и $R_{BN} = \frac{U_{BN}}{I_{BN}}$, а затем из уравнения (5)

$$R_{HN} = R_0 \cdot \frac{R_{BN} + R_0'}{KR_{HN} - R_0'} = R_{HK} \frac{R_{BN} + R_0'}{R_{BN} - R_{BM}}, \quad (8)$$

Устойчивая работа СЭСГ возможна лишь при $R_H > R_{HN}$, а участок ок внешней характеристики может быть получен экспериментально лишь при работе на специальную нелинейную (например, коронную) нагрузку. В этом случае напряжение и ток нагрузки определяются соотношениями:

$$I_{HN} = \frac{U_{BN}K - I_{BN} \cdot R_0'}{R_0(K_u' - 1)} \quad \text{и} \quad U_{HN} = I_{HN} \cdot R_{HN}.$$

Рабочим же участком внешней характеристики является кривая nm. Нетрудно убедиться, что на ней лежит и точка p, соответствующая режиму максимальной мощности, точка, в которой дифференциальное и статическое сопротивления генератора равны по абсолютной величине и имеют разные знаки. Местоположение этой точки определяется как особенностями самого генератора, так и свойствами коронирующего

промежутка. Эксперименты показывают, что ее координаты с достаточной для практических целей точностью можно принять равными $U_{нр} = \frac{U_{вн}}{2}$, $I_{нр} = I_{нк}$ и участок рп заменить прямой линией. В этом случае сопротивление нагрузки, соответствующее режиму максимальной мощности, оказывается равным

$$R_{нр} = \frac{U_{нр}}{I_{нр}} = R_{нк} \cdot \frac{U_{вн} \cdot (K_u' - 1)}{2U_{вк}} \quad (9)$$

Что касается точки р на кривой рис. 2, то ее можно найти, проведя из точки к прямую, параллельную отрезку оп, до пересечения с кривой и определить $U_{вр}$ и $I_{вр}$.

В заключение следует отметить, что если в цепь заземленной щетки вспомогательного генератора ввести активное сопротивление R (для уменьшения разности потенциалов между коммутирующим транспортером и индуктором нагрузки), то формулы (3—9) сохраняют свой вид при замене в них величины R'_o на $R''_o = R'_o + R \cdot (K_u' - 1)$.

Таким образом, по вышеизложенной методике можно построить внешнюю характеристику СЭСГ, провести ее исследование и выделить на ней особые точки, если определены коэффициенты, характеризующие геометрию генератора (K_u , K_i , C_a), задана скорость вращения ротора и известна вольтамперная характеристика коронирующего промежутка в системе возбуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высоковольтное испытательное оборудование и измерения. Под ред. А. А. Воробьева, ГЭИ, 1960.
2. А. Ф. Калганов. Разработка и исследование некоторых типов роторных ЭСГ. Диссертация. Томск, 1962.
3. В. И. Левитов, А. Г. Ляпин. Электростатические генераторы с жестким ротором. Ч. I, ЦИНТИЭлектропром, М., 1963.
4. В. А. Лукутин, В. Д. Эськов. К расчету ЭСГ с каскадным соединением транспортеров-проводников. Изв. АН СССР «Энергетика и транспорт», № 2, 1967.