

К РАСЧЕТУ ВНЕШНЕЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА С КАСКАДНЫМ СОЕДИНЕНИЕМ ТРАНСПОРТЕРОВ-ПРОВОДНИКОВ

А. П. КОНОНОВ, В. А. ЛУКУТИН, В. В. ПАЦЕВИЧ

(Представлена научным семинаром кафедры теоретических основ электротехники)

Создание электростатического генератора промышленного типа с транспортерами-проводниками связано с решением целого ряда вопросов, одним из которых является расчет внешней характеристики генератора. В данной работе дается приближенная методика этого расчета и делается попытка проанализировать явление естественной перезарядки [3], которая в какой-то степени влияет на внешнюю характеристику генератора.

Величину тока короткого замыкания для генератора данного типа без учета естественной перезарядки определяют по уравнению [1—2]:

$$I_0 = 2m \cdot nq_0 = 2mnC_0U_B, \quad (1)$$

где m — количество транспортеров-проводников,

n — число оборотов ротора в секунду,

q_0 — заряд одного транспортера-проводника,

C_0 — зарядная емкость транспортера,

U_B — напряжение возбуждения,

Расчетные значения тока короткого замыкания, подсчитанные по формуле (1), и экспериментальные данные в виде зависимости $I_{кз} = f(U_B)$ представлены на рис. 1. Из графика видно, что значение тока короткого замыкания при одном и том же напряжении возбуждения, подсчитанное по уравнению (1), значительно меньше, чем определенное опытным путем. Увеличение тока короткого замыкания в ЭСГ по сравнению с расчетным происходит за счет естественной перезарядки [3].

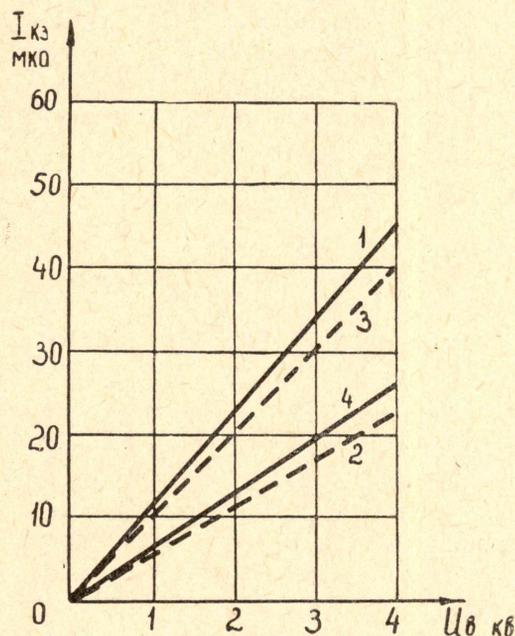


Рис. 1. Зависимость $I_{кз} = f(U_B)$.
1. Опытная зависимость при перекрытии щеткой одного транспортера.
2. Расчетная зависимость без учета перезарядного тока.
3. Расчетная зависимость с учетом перезарядного тока.
4. Опытная зависимость при перекрытии щеткой трех транспортеров.

Это увеличение тока в реальном генераторе можно объяснить следующим образом.

В режиме короткого замыкания при подходе транспортера m_1 (рис. 2) к высоковольтной заземленной щетке его заряд $+q_0$ уходит в землю.

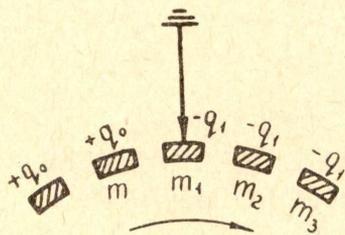


Рис. 2.

Но рядом с транспортером m_1 располагается соседний проводник m , имеющий заряд $+q_0$ при высоком положительном потенциале. Этот транспортер m будет индуцировать на заземленном транспорте m_1 некоторый заряд противоположного знака ($-q_1$). Таким образом, в заземляющем проводнике будет протекать заряд $Q = q_0 + q_1$, что и приводит к увеличению тока короткого замыкания генератора.

Для исследования перезарядного явления был изготовлен экспериментальный генератор дискового типа с каскадным соединением транспортеров-проводников, в котором предусмотрена возможность изменения положения и ширины щеток, а также изменение тока отходящих транспортеров.

Нами была снята зависимость перезарядного тока для опытного генератора, которая представлена на рис. 3 (зависимость 1).

При анализе естественной перезарядки, происходящей в ЭСГ, мы пришли к следующему заключению.

Величина заряда $-q_1$ будет определяться емкостью между соседними транспортерами m и m_1 (рис. 2) и разностью потенциалов между ними. Поэтому заряд q_1 , наведенный на транспорте m_1 , можно определить по уравнению:

$$q_1 = C_1 \cdot \Delta U, \quad (2)$$

где C_1 — емкость между соседними транспортерами, ΔU — разность потенциалов между транспортерами m и m_1 .

Этот заряд q_1 при отсутствии утечек остается без изменения на отходящих транспортерах m_2 , m_3 и т. д. (рис. 2) и обуславливает перезарядный ток в генераторе, значение которого было замерено экспериментально.

Величину перезарядного тока в генераторе можно подсчитать по выражению, аналогичному уравнению (1),

$$I_{\text{пер}} = 2mnq_1. \quad (3)$$

Расчетная зависимость перезарядного тока представлена на рис. 3 (зависимость 2).

Из графика рис. 3 видно, что опытная зависимость имеет значения намного больше, чем расчетные по уравнению (3). Это можно объяснить тем, что при определении заряда q_1 была учтена только емкость между соседними транспортерами, а влияние других проводников не учитывалось в расчете.

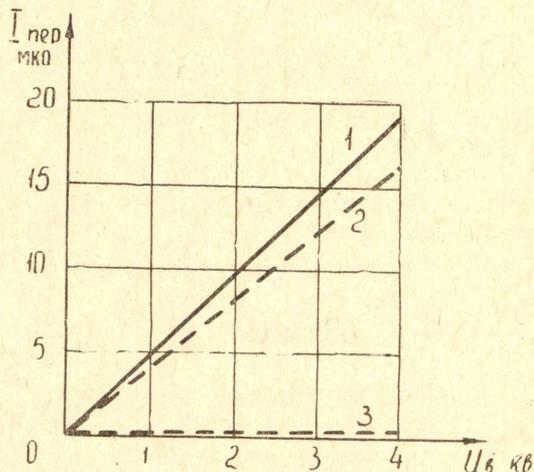


Рис. 3. Зависимость $I_{\text{пер}} = f(U_b)$. 1. Опытная зависимость при перекрытии щеткой одного транспортера. 2. Расчетная зависимость. 3. Опытная зависимость при перекрытии щеткой трех транспортеров.

С учетом перезарядного тока ток короткого замыкания генератора можно определить по уравнению

$$I_{кз} = I_0 + I_{пер}. \quad (4)$$

Расчетная зависимость тока короткого замыкания, найденная по формуле (4), приведена на рис. 1 (зависимость 3), которая почти совпадает с опытной (зависимость 1).

Приведенное выше определение естественной перезарядки относится к случаю, когда щетка перекрывает только один транспортер и при этом перезарядный ток имеет максимальное значение. Если же щетка будет перекрывать два, три и более транспортеров, то происходит уменьшение перезарядного тока.

Это можно объяснить следующим образом.

При подходе транспортера m с зарядом q_0 к широкой щетке (рис. 4) происходит явление, аналогичное описанному выше. Но в этом случае при дальнейшем движении транспортера он продолжает оставаться соединенным с заземленной щеткой.

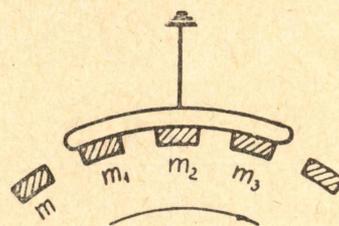


Рис. 4.

Когда проводник займет положение m_2 , он имеет нулевой потенциал и оказывается уже отделенным от положительно заряженного подходящего транспортера m одним промежуточным транспортером m_1 с потенциалом, равным нулю.

Естественно, что влияние на него положительного заряда q_0 будет значительно ослаблено. Оно еще более ослабевает, когда транспортер займет положение m_3 .

Так как перекрытые щеткой транспортеры экранируют друг друга, то электростатическое влияние подходящего к щетке проводника на отсоединяющийся транспортер очень мало. Поэтому явление перезарядки не наблюдается и отходящие транспортеры от высоковольтной щетки не будут иметь заряда.

Опытные зависимости $I_{пер} = f(U_в)$ и $I_{кз} = f(U_в)$ при перекрытии щеткой трех транспортеров представлены соответственно на рис. 3 (зависимость 3) и на рис. 1 (зависимость 4).

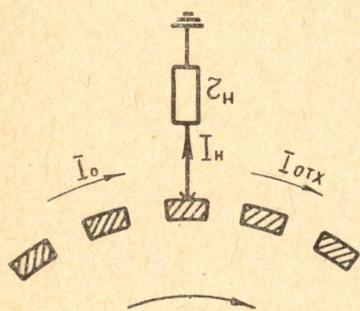


Рис. 5.

Как видно из рис. 3, перезарядный ток почти отсутствует, а рис. 1 показывает хорошее совпадение опытной и расчетной зависимости, подсчитанной по уравнению (1) без учета перезарядки.

Явление перезарядки наблюдается и в системе возбуждения [3], что в данной работе не рассматривается и поэтому было ликвидировано в экспериментальном генераторе установкой широкой щетки, перекрывающей три транспортера.

При работе генератора на нагрузку (нагрузочный режим) значение тока, протекающего через нагрузку, будет уменьшаться, и при холостом ходе оно будет равно нулю. Иными словами, при нагрузочном режиме заряд q_0 , подходящий к высоковольтной щетке, не полностью будет сниматься с транспортера, часть его будет оставаться на отходящих транспортерах. Назовем этот заряд остаточным и обозначим $q_{ост}$.

Для определения остаточного заряда $q_{ост}$ был проведен эксперимент в реальном генераторе со щеткой, перекрывающей три транспортера, так как в этом случае отсутствует перезарядный ток.

Это позволило получить изменение остаточного заряда $q_{\text{ост}}$, дающего в свою очередь остаточный ток $I_{\text{ост}}$.

При исследовании работы генератора было установлено, что величина остаточного тока (при отсутствии перезарядки) линейно изменяется от нуля при коротком замыкании до значения, равного I_0 при холостом ходе (рис. 6, зависимость 4).

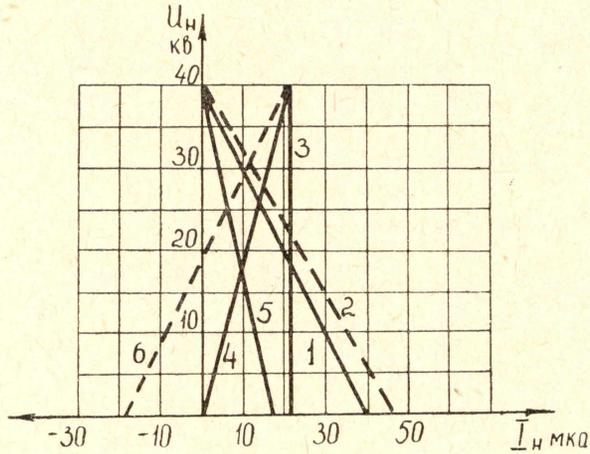


Рис. 6. Зависимость $U_n = f(I_n)$.

1. Расчетная зависимость, определенная по уравнению (9). 2. Опытная зависимость. 3. Значение тока I_0 , подсчитанная по уравнению (1). 4. Значение остаточного тока $I_{\text{ост}}$. 5. Значение перезарядного тока $I_{\text{пер}}$. 6. Значение отходящего тока $I_{\text{отх}}$.

Это подтверждается опытом (зависимость 4, рис. 6).

При анализе нагрузочного режима, в том случае, когда щетка перекрывает только один транспортер, оказалось, что на отходящих проводниках имеется заряд, который назовем отходящим ($q_{\text{отх}}$), и он обуславливает отходящий ток $I_{\text{отх}}$.

Тогда при рассмотрении нагрузочного режима (рис. 5) будем иметь три тока — ток I_0 , подходящий к щетке, I_n — нагрузочный ток и $I_{\text{отх}} \simeq$ отходящий ток.

Значение нагрузочного тока при этом можно определить по уравнению:

$$I_n = I_0 - I_{\text{отх}}. \quad (7)$$

Опытная зависимость отходящего тока представлена на рис. 6 (зависимость 6).

Величину этого тока можно определить, используя принцип наложения по равенству

$$I_{\text{отх}} = I_{\text{ост}} - I_{\text{пер}}. \quad (8)$$

Значение перезарядного тока взято со знаком минус, потому что этот ток обусловлен зарядом, имеющим противоположный знак.

Объединив уравнения (7) и (8), получим зависимость для определения нагрузочного тока генератора

$$I_n = I_0 - I_{\text{отх}} = I_0 - (I_{\text{ост}} - I_{\text{пер}}) = I_0 + I_{\text{пер}} - I_{\text{ост}}. \quad (9)$$

Расчетная зависимость $U_n = f(I_n)$, подсчитанная по уравнению (9), и опытная, представленные на рис. 6, хорошо совпадают.

На основании опыта была получена зависимость, позволяющая подсчитывать величину остаточного тока в виде равенства

$$I_{\text{ост}} = I_0 \frac{U_n}{U_{\text{хх}}}, \quad (5)$$

где I_0 — значение тока, определенного по уравнению (1);

U_n — напряжение нагрузки;

$U_{\text{хх}}$ — напряжение холостого хода.

В режиме короткого замыкания

$$U_n = 0, \text{ тогда } I_{\text{ост}} = 0.$$

В режиме холостого хода

$$U_n = U_{\text{хх}}, \text{ тогда } I_{\text{ост}} = I_0.$$

Заключение

1. Явление перезарядки наблюдается не только в режиме короткого замыкания, но и имеет место в нагрузочном режиме.
2. Естественная перезарядка отмечается как положительное явление, полезное при работе генератора при больших токах, но при невысоком напряжении.
3. Величина перезарядного тока в высоковольтной системе в первом приближении может быть подсчитана по уравнению (3).

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Воробьев и др. Высоковольтное испытательное оборудование и измерения, ГЭИ, 1960.
 2. А. Ф. Иоффе. ЖТФ 9, № 23, 2071, 1939.
 3. В. В. Пацевич. Некоторые вопросы теории и расчета ЭСГ с транспортерами-проводниками, Диссертация, ТПИ, 1964.
-