

## 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].

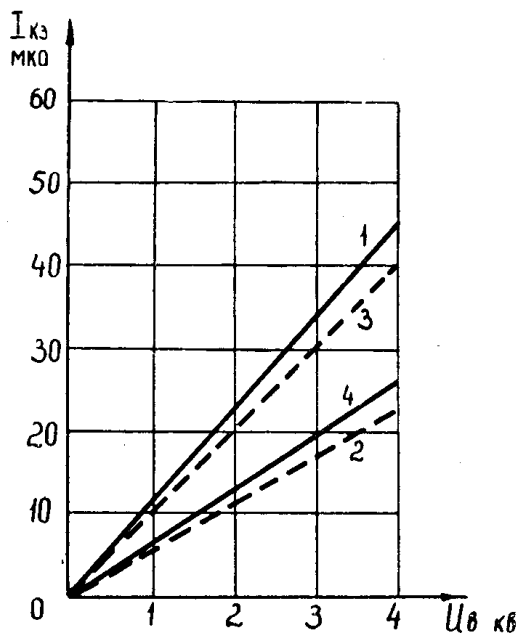


Рис. 1. Зависимость  $I_{кз} = f(U_B)$ .  
1. Опытная зависимость при перекрытии щеткой одного транспортера.  
2. Расчетная зависимость без учета перезарядного тока.  
3. Расчетная зависимость с учетом перезарядного тока.  
4. Опытная зависимость при перекрытии щеткой трех транспортеров.

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.

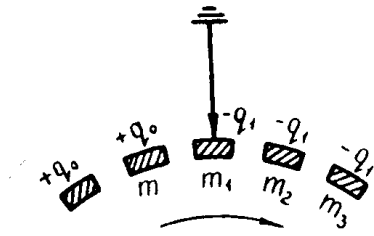


Рис. 2.

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,  
 $\Delta U$  — 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 измерено экспериментально.

Величину перезарядного тока в генераторе можно подсчитать по выражению, аналогично 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.

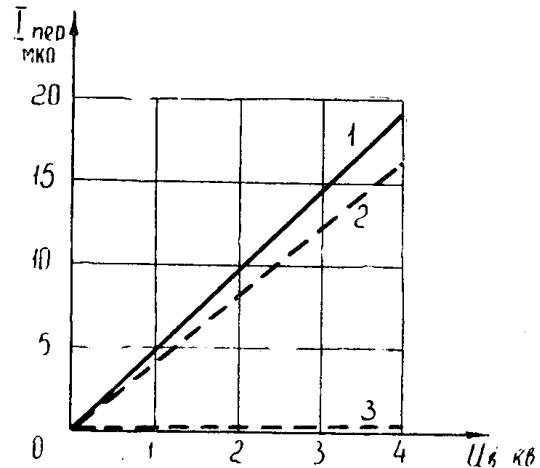


Рис. 3. Зависимость  $I_{\text{пер}} = f(U_{\text{в}})$ .  
 1. Опытная зависимость при перекрытии щеткой одного транспортера.  
 2. Расчетная зависимость.  
 3. Опытная зависимость при перекрытии щеткой трех транспортеров.

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.

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).

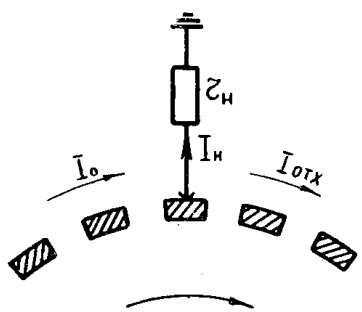


Рис. 5.

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.

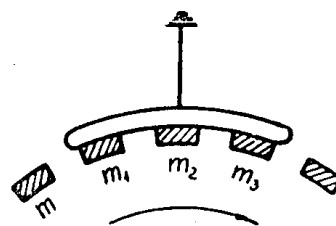


Рис. 4.

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

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).

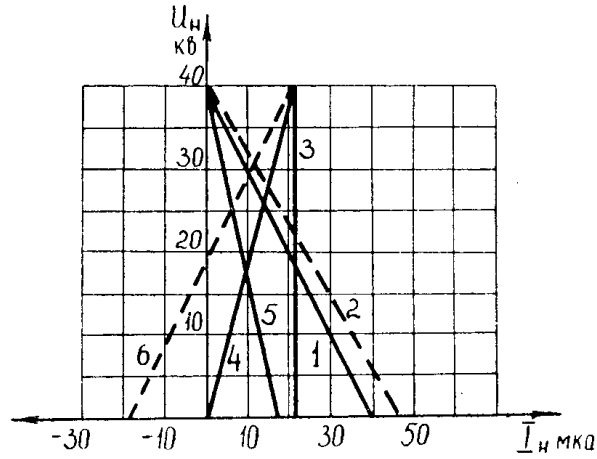


Рис. 6. Зависимость  $U_n = f(I_n)$ .  
 1. Расчетная зависимость, определенная по уравнению (9). 2. Опытная зависимость. 3. Значение тока  $I_0$ , подсчитанная по уравнению (1). 4. Значение остаточного тока  $I_{ост}$ . 5. Значение перезарядного тока  $I_{пер}$ . 6. Значение отходящего тока  $I_{отх}$ .

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 ( $q_{отх}$ ), и он обуславливает отходящий ток  $I_{отх}$ .

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

Значение нагрузочного тока при этом можно определить по уравнению:

$$I_n = I_0 - I_{отх}. \quad (7)$$

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

Величину этого тока можно определить, используя принцип наложения по равенству

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

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

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

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

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

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

$U_n$  — напряжение нагрузки;

$U_{xx}$  — напряжение холостого хода.

В режиме короткого замыкания

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

В режиме холостого хода

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

## 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.

---