

ВЛИЯНИЕ СХЕМЫ ЭСГ НА ЕГО ВНЕШНЮЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ

А. П. КОНОНОВ, В. В. ПАЦЕВИЧ, В. Д. ЭСЬКОВ.

(Представлена научным семинаром кафедры ТОЭ)

Принцип действия и основы теории электростатических генераторов (ЭСГ) с каскадным соединением транспортеров-проводников описаны в [1] и целом ряде других работ. Установлено, что если в рабочем объеме генератора градиенты потенциала не достигают критических значений (при которых возникают существенные утечки зарядов с транспортеров, интенсивная ионизация в зазоре между ротором и статором и т. д.), то напряжение и ток на выходе генератора связаны известным линейным уравнением

$$I_H = I_{кз} \left(1 - \frac{U_H}{U_{хх}} \right), \quad (1)$$

где $I_{кз}$ и $U_{хх}$ — ток короткого замыкания и напряжение холостого хода ЭСГ.

В этом случае отношения $\frac{I_{кз}}{nU_B}$ и $\frac{U_{хх}}{U_B}$ (n — скорость вращения ротора, U_B — напряжение возбуждения) для каждой конкретной машины оказываются постоянными величинами, зависящими от ее геометрии и схемы.

Настоящая статья посвящена изучению одной стороны этой зависимости — сравнению внешних характеристик ЭСГ при использовании различных схем включения источника возбуждения и щеток различной ширины.

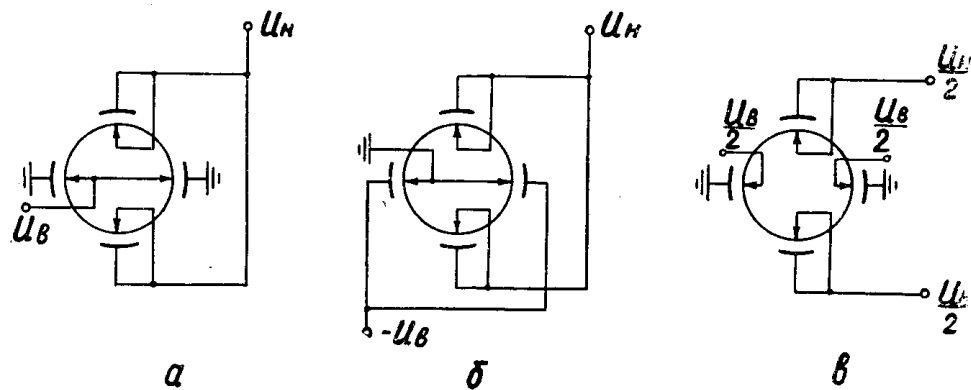


Рис. 1. Принципиальные электрические схемы ЭСГ.

Рассматриваются три варианта соединения элементов ЭСГ с двумя парами полюсов, схематически представленные на рис. 1. Здесь ротор изображен в виде окружности, щетки — в виде стрелок, индукторы — в виде дуг. Отдельные транспортеры и элементы статора, выравнивающие поле, не показаны. Направление вращения ротора совпадает с ходом часовой стрелки. Схемы «а» и «б» соответствуют униполярному генератору с кондукционной и индукционной схемами возбуждения, схема «в» — биполярному генератору. Щетки могут перекрывать по одному транспортеру каждая («узкие») либо несколько транспортеров одновременно («широкие»).

При известных значениях частичных емкостей между элементами ЭСГ (важнейшими являются частичные емкости любого из транспортеров относительно: заземленных элементов конструкции ЭСГ — C_0 , противолежащего элемента статора — C_1 , соседнего транспортера — C_2 , элемента статора, противолежащего соседнему транспортеру, — C_3) расчет внешней характеристики можно провести достаточно просто по методике, изложенной в [2]. Для этого достаточно вычислить три величины: коэффициент естественной перезарядки k_1 , коэффициент увеличения напряжения k_u и ток короткого замыкания генератора без перезарядки I_0 .

Введем обозначения: $2m$ — общее число транспортеров, p — число пар полюсов, s — число транспортеров, перекрытых каждым из индукторов. Тогда при $\frac{m}{p} > \frac{C_2}{C_3}$ по [2] нетрудно получить

$$I_0 = 2mpC_3U_B, \quad (2)$$

$$k_1 = \sqrt{1 + \frac{4C_2}{C_3}} \quad (3)$$

$$k_u = \left[\frac{C_0}{C_3} + \frac{F}{\frac{m}{p} - s + 1} \right]^{-1}, \quad (4)$$

где $C_3 = C_0 + C_1 + 2C_3$, а F — сложная функция m , p , s , C_1 , C_2 , C_3 , C_0 ($F < k_1$).

С учетом этих параметров отношения $I_{кз}/I_0$ и $U_{хх}/U_B$ в зависимости от рассматриваемой схемы приобретают значения, приведенные в табл. 1. Сравним генераторы, отличающиеся только одним каким-нибудь фактором.

Легко заметить, что применение широких щеток исключает условия проявления естественной перезарядки: в этом случае ток короткого замыкания униполярных ЭСГ и напряжение холостого хода биполярных оказываются в k_1 раз меньше соответствующих величин для генераторов с узкими щетками. Одновременно уменьшается и $I_{кз}$ биполярных генераторов, а напряжение холостого хода униполярных практически не изменяется. Отсюда ясно, что применение узких щеток способствует увеличению мощности ЭСГ.

Далее, ток генераторов с индукционной схемой возбуждения всегда меньше, чем ток ЭСГ с кондукционной схемой при том же самом напряжении нагрузки; различие становится несущественным при $k_u \gg 1$. В последнем случае предпочтение следует отдать генератору с индукционной схемой, поскольку его источник возбуждения практически не потребляет энергии.

Наконец, сравним униполярный и биполярный генераторы с узкими щетками и достаточно высоким значением k_u . Ток короткого замыкания первого в $2(k_1 + \frac{1}{k_1})$ раз больше, а напряжение холостого

Таблица 1.

| Схема | Щетки | Общий вид | | Расчет | | Опыт | |
|-------|---------|---|----------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | | $\frac{I_{кз}}{I_0}$ | $\frac{U_{хв}}{U_в}$ | $I_{кз},$ мкА | $U_{хх},$ кВ | $I_{кз},$ мкА | $U_{хх},$ кВ |
| а | узкие | $2k_1$ | $k_{и}$ | 16,1 | 2 | 17 | 1,9 |
| | широкие | 2 | $k_{и}$ | 9,3 | 2 | 10 | 2,0 |
| б | узкие | $2k_1 \left(1 - \frac{1}{k_{и}}\right)$ | $k_{и}-1$ | 8,05 | 1 | 8 | 1 |
| | широкие | $2 \left(1 - \frac{1}{k_{и}}\right)$ | $k_{и}-1$ | 4,65 | 1 | 4,5 | 1 |
| в | узкие | $\frac{k_1^2}{k_1^2+1}$ | $k_1 k_{и}$ | 3,42 | 3,46 | 3,5 | 3,3 |
| | широкие | 0,5 | $k_{и}$ | 2,32 | 2 | 2,5 | 2 |

хода лишь в k_1 раз меньше соответствующих параметров второго. Нетрудно убедиться, что при

$$U_H < k_{и} U_B \left(1 - \frac{k_1 - 1}{2k_1^2 + 1} \right) \quad (5)$$

униполярный ЭСГ дает больший ток, чем биполярный. В этом диапазоне обычно и лежит рабочая точка, соответствующая номинальному режиму. Даже при увеличении вдвое напряжения возбуждения биполярного генератора (что, вероятно, возможно при одинаковой электрической прочности рабочей среды в обоих генераторах) более эффективным, как показывает анализ, остается униполярный ЭСГ.

Эти теоретические выводы были проверены на экспериментальном однодисковом генераторе с ротором из эпоксидной смолы с запеченными внутри металлическими транспортерами круглого сечения, расположенными в один ряд на равном расстоянии от обеих поверхностей ротора. Ротор располагался между двумя дисками статора, изготовленными из слабопроводящего стекла, с которыми контактировали металлические индукторы. Основные конструктивные характеристики: диаметр ротора 140 мм, его толщина 7 мм, число пар полюсов 2, число транспортеров 52, диаметр транспортера 4 мм, его длина 25 мм, диэлектрическая проницаемость материала ротора 3,75, зазор между ротором и статором 0,8 мм с каждой стороны.

Для такой системы частичные емкости могут быть вычислены по формулам, приведенным в [3]. При этом получаются следующие числовые значения: $C_0 = 1,9$ мкф, $\frac{C_2}{C_0} = 0,5$ и из (3) $k_1 = 1,73$. Что касается

величины $\frac{C_0}{C_2}$, то она настолько мала, что погрешности при ее экспериментальном определении оказываются соизмеримыми с ней. Чтобы избежать ошибки, было решено искусственно увеличить значение этой емкости, для чего одна половина статора во всех режимах работы была заземлена. В этом случае, очевидно, $C_0 = 0,5 C_2$. Тогда в правой части уравнения (4) вторым слагаемым можно пренебречь и принять $k_{и} = 2$.

Расчетные значения $I_{кз}$ и $U_{хх}$ для каждой из рассматриваемых схем при $n=47$ об/сек. и $U_B=1$ кВ приведены также в табл. 1, равно как и значения этих величин, полученные в результате эксперимента. Следует отметить, что испытания генератора проводились при сравнительно небольших значениях напряжения возбуждения ($U_B \leq 2$ кВ); при больших значениях U_B зависимости $I_{кз}=f(U_B)$, $U_{хх}=f(U_B)$, а следовательно, и $I_H=f(U_H)$ становились нелинейными.

Сравнение результатов расчета и эксперимента показывает, во-первых, что точность расчета является вполне удовлетворительной и намного превышает точность расчета по всем другим известным в настоящее время методикам. Во-вторых, подтверждается правильность количественной оценки явлений естественной перезарядки и реакции якоря, которые неразрывно связаны между собой и оказываются в конечном счете различными формами проявления электростатической индукции.

Таким образом, изложенная в [2] методика правильно учитывает большую часть факторов, характеризующих конструкцию и схему ЭСГ и влияющих на внешнюю характеристику последнего, и может быть использована в инженерном расчете генераторов с каскадным соединением транспортов-проводников.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ф. Иоффе. Электростатический генератор, ЖТФ, 9, № 23, 1939.
2. В. А. Лукутин, В. Д. Эськов. К расчету ЭСГ с каскадным соединением транспортов-проводников. Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, № 2, 1967.
3. А. П. Кононов, В. В. Пацевич, В. Д. Эськов. Частичные емкости между элементами ЭСГ. Изв. ТПИ, т. 162, 1967.