

ВЛИЯНИЕ СМЕЩЕНИЯ ЩЕТОК ЭСГ НА ВЕЛИЧИНУ ТОКА НАГРУЗКИ

А. М. КУПЦОВ

(Представлена научным семинаром кафедры теоретических основ электротехники)

Различные отрасли производства, науки, техники нуждаются в компактном, надежном, недорогом источнике высокого напряжения. Одним из источников высокого постоянного напряжения является электростатический генератор (ЭСГ).

Электростатические генераторы оказались необходимыми и нашли широкое применение в ускорении заряженных частиц, в рентгенотехнике, телевидении и особенно в электронно-ионной технологии. Широко применяются электростатические генераторы зажигания для автомобилей.

В лабораториях и производстве установлено и работает большое число ЭСГ, отличающихся друг от друга как по конструктивному выполнению, так и по принципу действия. Наибольшее распространение получили электростатические генераторы, в которых перенос заряда осуществляется посредством металлических стержней — проводников (ЭСГП) или твердого диэлектрика (ЭСГД).

Принцип действия и основные элементы электростатического генератора с транспортерами-проводниками, соединенными по каскадной схеме, достаточно полно описаны в [1].

Нами проведено исследование работы такого электростатического генератора со статором из полупроводящего материала при различном положении коммутирующих устройств — щеток.

Было установлено, что при смещении щеток относительно геометрической нейтрали генератора [2] при индукторах, расположенных на геометрической нейтрали, происходит заметное снижение тока и напряжения генератора при одном и том же сопротивлении нагрузки.

Это снижение тока и напряжения объясняется уменьшением величины разности зарядов, отданной в нагрузку.

Подсчитаем величину этой разности зарядов при одновременном смещении высоковольтной и низковольтной щеток относительно геометрической нейтрали на угол $\pm \kappa \cdot \frac{\pi}{m}$, где $\kappa = 1, 2, 3, \dots, 2m$ — число транс-

портеров ротора, т. е. на угол, крагний углу между двумя соседними транспортерами, при условии, что щетки не выходят за область индукторов. Положительные углы отсчитываются при смещении щеток по ходу вращения ротора, отрицательные — при смещении против вращения ротора.

Воспользуемся цепочечной схемой замещения ЭСГП и методом электростатической аналогии в применении к расчету данного типа генераторов, изложенным в [3].

Схема замещения генератора с контактной коммутацией при кондукционной схеме возбуждения с полупроводящим статором представлена на рис. 1. Здесь щетки смещены относительно геометрической нейтрали в сторону вращения ротора на некоторый угол, характеризуемый коэффициентом k .

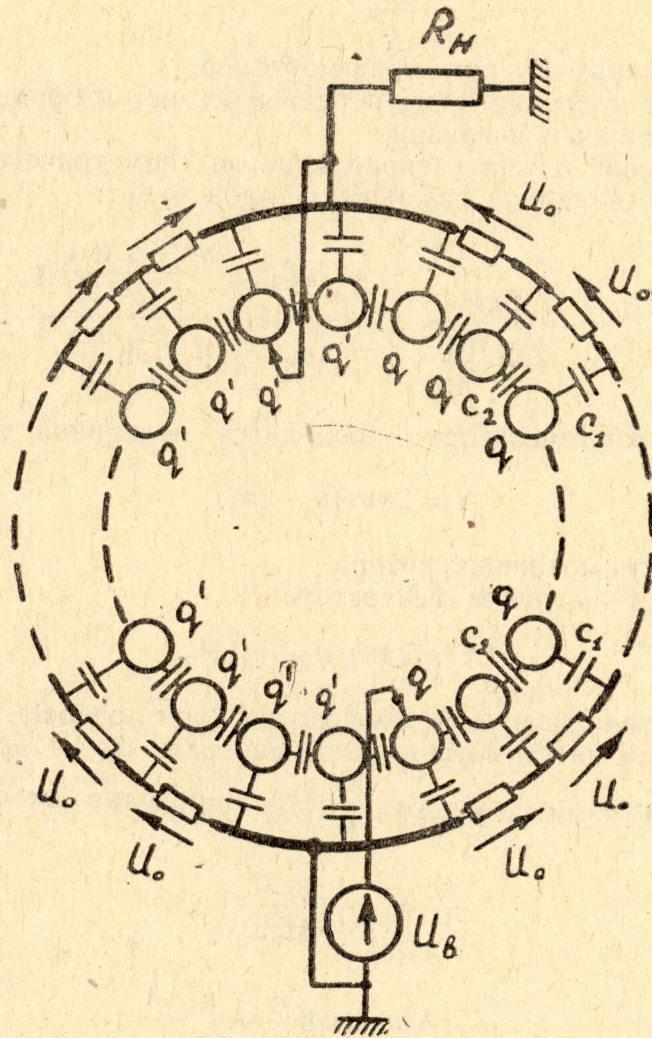


Рис. 1. Схема замещения ЭСГ с полупроводящим статором.

Эта схема с помощью метода наложения [4] рассчитывается как цепь постоянного тока, что позволяет, в силу формальной аналогии между электростатическим полем и полем постоянного тока, определить искомую разность зарядов, отданную в нагрузку.

Опуская ряд преобразований, имеем согласно методике расчета [3]

$$q - q' = \frac{2U_B}{R_c \operatorname{th} \frac{m\gamma}{2}} + \frac{4U_H C_2 \operatorname{sh} \frac{m-s+1}{2} \gamma \operatorname{ch} k\gamma}{(m-s+1) \operatorname{sh} \frac{m\gamma}{2}},$$

где U_c — напряжение источника возбуждения;
 R_e — повторное сопротивление четырехполюсников цепной схемы, равное $\frac{1}{C_1 \sqrt{1 + \frac{4C_2}{C_1}}}$;

γ — постоянная распространения четырехполюсников, равная

$$\ln \left[1 + \frac{C_1 (1 + \sqrt{1 + 4C_2/C_1})}{2C_2} \right];$$

C_1 и C_2 — частичные емкости транспортеров;

S — число транспортеров, перекрытых индуктором;

U_n — напряжение нагрузки.

В случае, если щетки расположены на геометрической нейтрали, т. е. при $\kappa = 0$, величина разности зарядов будет:

$$q_1 - q_1' = \frac{2U_B}{R_c \operatorname{th} \frac{m\gamma}{2}} + \frac{4U_n C_2 \operatorname{sh} \frac{m-s+1}{2} \gamma}{(m-s+1) \operatorname{sh} \frac{m\gamma}{2}}.$$

Ток нагрузки генератора определится величиной подсчитанного заряда и равен:

$$I = 2mn(q - q'),$$

где n — скорость вращения ротора.

Напряжение нагрузки генератора:

$$U_n = 2mn(q - q')R_n.$$

Сравним токи нагрузки генератора при работе со щетками, расположенными на геометрической нейтрали (I) и при работе со сдвинутыми щетками на угол $\kappa \cdot \frac{\pi}{m}$ (I'), определив их отношение:

$$\frac{I'}{I} = \frac{1 + M}{1 + M \operatorname{ch} \kappa \gamma},$$

где $M = \frac{8mnR_n \operatorname{sh} \frac{m-s+1}{2} \gamma}{(m-s+1) \operatorname{sh} \frac{m\gamma}{2}}.$

Полученное отношение показывает, что при одновременном смещении высоковольтной и низковольтной щеток в ту или иную сторону от геометрической нейтрали происходит снижение тока нагрузки.

Аналогично можно выяснить влияние смещения только одной из щеток либо высоковольтной, либо низковольтной на работу данного типа генераторов.

Пусть низковольтная щетка сдвинута на угол $\pm \kappa \cdot \frac{\pi}{m}$, тогда,

рассчитав схему, подобную рис. 1, получим искомую разность зарядов:

$$q - q' = \frac{U_B \operatorname{sh} m\gamma}{R_c \operatorname{sh} \frac{m+\kappa}{2} \gamma \operatorname{sh} \frac{m-\kappa}{2} \gamma} + \frac{4U_H \operatorname{sh} \frac{m-s+1}{2} \gamma \cdot \operatorname{sh} \frac{m\gamma}{2} \operatorname{ch}^2 \frac{\kappa\gamma}{2}}{(m-s+1) \operatorname{sh} \frac{m+\kappa}{2} \gamma \operatorname{sh} \frac{m-\kappa}{2} \gamma}$$

В силу симметрии расчетной схемы при смещении высоковольтной щетки результат будет таким же. Выражение для разности зарядов без сдвига щетки останется прежним, что позволяет найти отношение токов со сдвигом щетки (I_1') и без сдвига щетки (I)

$$\frac{I_1'}{I} = \frac{1+M}{\frac{\operatorname{sh} \frac{m+\kappa}{2} \gamma \cdot \operatorname{sh} \frac{m-\kappa}{2} \gamma}{\operatorname{sh}^2 \frac{m\gamma}{2}} + M \operatorname{ch}^2 \frac{\kappa\gamma}{2}}$$

или при $m \geq 10\kappa$ с достаточной точностью получим

$$\frac{I_1'}{I} = \frac{1+M}{1+M \operatorname{ch}^2 \frac{\kappa\gamma}{2}}$$

что свидетельствует о некотором снижении тока при смещении щетки. Явление снижения тока и напряжения нагрузки при сдвиге щеток подтверждается экспериментально.

Экспериментальные данные, полученные на опытной модели ЭСГП, и данные расчета при сдвиге щеток на угол $\pm \frac{\pi}{m}$ приведены в таблице.

Таблица

R_H	n	Расчетные данные		Эксперимент. данные	
		I/I %	I_1'/I %	I/I %	I_1'/I %
мом	об/мин				
500	1000	89	97	86	92
1000	1000	82	95,5	79,5	89
1500	1000	78	94	74,5	87,3

Некоторое расхождение расчетных данных с данными эксперимента связано с трудностью получения полупроводящего статора, тем не менее полученные результаты позволяют сделать ряд выводов:

1. При смещении щеток относительно геометрической нейтрали уменьшается величина заряда, переданного в нагрузку и, следовательно, происходит снижение тока и напряжения нагрузки генератора при одном и том же сопротивлении нагрузки.

2. Относительное снижение тока нагрузки зависит от величины сопротивления нагрузки, от скорости вращения ротора, от числа транспортеров ротора и от частичной емкости между транспортерами. Важное значение имеет ширина индуктора. Наибольшее снижение, очевидно, будет в режиме, близком к режиму холостого хода.

3. Величина этого снижения зависит от характера и величины смещения щеток и будет наибольшей при одновременном смещении высоковольтной и низковольтной щеток относительно геометрической нейтрали.

4. Оптимальное положение щеток с точки зрения получения максимального тока нагрузки — геометрическая нейтраль.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ф. Иоффе. Электростатический генератор, ЖТФ, т. IX, 23, 1939.
2. В. И. Левитов, А. Г. Ляпин. Электростатические генераторы с жестким ротором, ч. I, Цинтиприборэлектропром, М., 1963.
3. В. А. Лукутин, В. В. Пацевич, В. Д. Эськов. К электрическому расчету ЭСГ, Тезисы докладов на VI межвузовской конференции по электронным ускорителям, г. Томск, Изд. ТГУ, 1966.
4. Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин и др. Основы теории цепей, ГЭИ, 1963.