

УРАВНЕНИЯ Э. Д. С. УНИПОЛЯРНОГО ГЕНЕРАТОРА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

А. Д. ЧЕСАЛИН

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Аналитическое исследование режимов работы униполярного генератора переменного тока можно проводить на основе уравнений равновесия э.д.с. контуров. При составлении этих уравнений будем исходить из следующих допущений:

- 1) магнитная проницаемость материала магнитопровода равна бесконечности;
- 2) вихревые токи и потери в стали отсутствуют;
- 3) потоки рассеяния отсутствуют;
- 4) обмотки на роторе генератора и компенсационная обмотка на статоре распределены равномерно;
- 5) щетки на коллекторе распределены равномерно по его окружности.

В униполярном генераторе (УГ) переменного тока цилиндрического исполнения на роторе расположены две обмотки: обмотка якоря и дополнительная обмотка [1]. Эти обмотки выполнены по типу беличьей клетки из стержней, замкнутых по торцам ротора кольцами, а в середине ротора выведенных на общий коллектор. Между полюсами статора расположена обмотка возбуждения, выполненная в виде цилиндрической катушки, питаемая от независимого источника переменным током. На полюсах статора расположена компенсационная обмотка, выполненная по типу беличьей клетки и включенная последовательно с обмоткой якоря через щетки, расположенные на коллекторе.

В УГ переменного тока можно выделить два основных контура: обмотка возбуждения и цепь якоря, включающая обмотку якоря, компенсационную обмотку и нагрузку. Оси этих контуров взаимно перпендикулярны, следовательно, между ними отсутствует трансформаторная связь. Связь между этими контурами осуществляется через э.д.с. вращения, наводимую в стержнях обмотки якоря от потока обмотки возбуждения. Кроме рассмотренных на роторе в результате переключения щеткой двух соседних пластин коллектора, возникают два одинаковых короткозамкнутых контура, один из которых образован стержнями обмотки якоря, а другой стержнями дополнительной обмотки. Между этими контурами и между каждым из них и обмоткой возбуждения существует взаимноиндуктивная связь. Число N_k таких пар контуров в роторе определяется числом щеток на коллекторе, а размеры зубцовым делением ротора. Заметим, что контуры, возникающие в обмотке якоря, между собой индуктивно не связаны. Это относится и к контурам, возникающим в дополнительной обмотке. Поток, создаваемый короткозамкнутыми (к.з.) контурами, будет оказывать влияние на величину э.д.с. вращения в стержнях обмотки якоря. Это влияние можно учесть через э.д.с. вращения от потока к.з. контуров.

Для рассмотренных контуров УГ можно написать уравнения равновесия э.д.с.:

для обмотки возбуждения

$$u_{\text{в}} = i_{\text{в}} r_{\text{в}} + L_{\text{в}} \frac{di_{\text{в}}}{dt} + M_{\text{вя}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} + M_{\text{вд}} \frac{di_{\text{д}}}{dt}, \quad (1)$$

для к.з. контура обмотки якоря

$$0 = i_{\text{я}} r_{\text{я}} + L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} + M_{\text{яв}} \frac{di_{\text{в}}}{dt} + M_{\text{яд}} \frac{di_{\text{д}}}{dt}, \quad (2)$$

для к.з. контура дополнительной обмотки

$$0 = i_{\text{д}} r_{\text{д}} + L_{\text{д}} \frac{di_{\text{д}}}{dt} + M_{\text{дв}} \frac{di_{\text{в}}}{dt} + M_{\text{дя}} \frac{di_{\text{я}}}{dt}, \quad (3)$$

для цепи якоря

$$u_{\text{а}} = e_{\text{а}} + e_{\text{т}} - \left(i_{\text{а}} r_{\text{а}} + L_{\text{а}} \frac{di_{\text{а}}}{dt} \right), \quad (4)$$

где $u_{\text{в}}$, $u_{\text{а}}$ — соответственно напряжение, приложенное к обмотке возбуждения, и напряжение генератора;

$i_{\text{в}}$, $i_{\text{я}}$, $i_{\text{д}}$, $i_{\text{а}}$ — токи соответственно в обмотке возбуждения, в к.з. контуре обмотки якоря, в к.з. контуре дополнительной обмотки, в цепи якоря;

$e_{\text{а}}$, $e_{\text{т}}$ — э.д.с. вращения соответственно от потока обмотки возбуждения и от потока к.з. контуров;

$L_{\text{в}}$, $L_{\text{я}}$, $L_{\text{д}}$, $L_{\text{а}}$ — самоиндуктивности контуров;

$M_{\text{вя}}$, $M_{\text{вд}}$ — взаимоиנדуктивности обмотки возбуждения соответственно со всеми к.з. контурами обмотки якоря и со всеми к.з. контурами дополнительной обмотки;

$M_{\text{яв}}$, $M_{\text{дв}}$, $M_{\text{яд}}$, $M_{\text{дя}}$ — взаимоиנדуктивности к. з. контуров с обмоткой возбуждения и между собой.

Так как в униполярной машине магнитная индукция распределена в воздушном зазоре равномерно и не зависит от положения ротора [2, 3], то самоиндуктивности и взаимоиנדуктивности в уравнениях (1), (2), (3), (4) будут постоянными.

Систему уравнений (1)—(4) можно упростить, определив значения э.д.с. вращения и взаимоиנדуктивности.

Индукция в воздушном зазоре УГ от потока обмотки возбуждения равна

$$B_{\delta} = \frac{i_{\text{в}} \omega_{\text{в}}}{2} \lambda_{\delta}, \quad (5)$$

где $\omega_{\text{в}}$ — число витков обмотки возбуждения,

λ_{δ} — проводимость воздушного зазора.

Магнитный поток, созданный обмоткой возбуждения, равен

$$\Phi_{\delta} = \pi D l B_{\delta} = \frac{i_{\text{в}} \omega_{\text{в}}}{2} \lambda_{\delta} \pi D l, \quad (6)$$

где D — диаметр ротора,

l — расчетная длина ротора.

Зная поток обмотки возбуждения и учитывая ранее принятые допущения, можно определить индуктивность обмотки возбуждения

$$L_{\text{в}} = \frac{\Phi_{\delta} \omega_{\text{в}}}{i_{\text{в}}} = \frac{1}{2} \pi D l \lambda_{\delta} \omega_{\text{в}}^2. \quad (7)$$

Известно, что э.д.с. вращения УГ определяется уравнением [3]

$$e = \Phi_{\delta} n. \quad (8)$$

Поэтому для э.д.с. вращения от потока обмотки возбуждения, учитывая выражение (7), можно записать уравнение

$$e_{\text{а}} = \frac{1}{2} \pi D l \lambda_{\delta} \omega_{\text{в}} n i_{\text{в}} = \frac{n}{\omega_{\text{в}}} L_{\text{в}} i_{\text{в}}, \quad (9)$$

где n — скорость вращения ротора генератора. Значение э.д.с. вращения от потока к.з. контуров ротора определим через среднее значение индукции потока этих контуров в воздушном зазоре.

Магнитный поток одного к.з. контура равен

$$\Phi_{\tau} = \frac{1}{Z} \pi D l \lambda_{\delta} i_{\tau}, \quad (10)$$

где Z — число зубцов ротора.

Индуктивность к.з. контура тогда определится выражением

$$L_{\tau} = \frac{1}{Z} \pi D l \lambda_{\delta}. \quad (11)$$

Среднее значение индукции в воздушном зазоре от всех к.з. контуров

$$B_{\delta\tau} = \frac{2N_{\kappa}\Phi_{\tau}}{\pi D l} = \frac{2N_{\kappa}}{Z} \lambda_{\delta} i_{\tau}. \quad (12)$$

Тогда э.д.с. вращения от магнитного потока к.з. контуров будет равна

$$e_{\tau} = 2N_{\kappa} n L_{\tau} i_{\tau}. \quad (13)$$

Так как все к.з. контура на роторе одинаковы по своим параметрам и находятся в одинаковых условиях, то, обозначив взаимоиндуктивность одного к.з. контура с обмоткой возбуждения через M и взаимоиндуктивность к.з. контура обмотки якоря с к.з. контуром дополнительной обмотки через M_{τ} , можем записать равенства.

$$\begin{aligned} M_{\text{яв}} &= M_{\text{дв}} = M, \\ M_{\text{яд}} &= M_{\text{дн}} = M_{\tau}. \end{aligned} \quad (14)$$

Тогда взаимоиндуктивности обмотки возбуждения со всеми к.з. контурами обмотки якоря и дополнительной обмотки будут равны

$$M_{\text{вя}} = M_{\text{вд}} = N_{\kappa} M. \quad (15)$$

Поскольку параметры всех к.з. контуров одинаковы, мы можем для них записать равенства

$$\begin{aligned} i_{\text{я}} &= i_{\text{д}} = i_{\tau}, & L_{\text{я}} &= L_{\text{д}} = L_{\tau}, \\ r_{\text{я}} &= r_{\text{д}} = r_{\tau}, & M_{\tau} &= L_{\tau}. \end{aligned} \quad (16)$$

Преобразовав уравнения (1), (2), (3) и (4) с учетом выражений (9), (13), (14—16), мы получим систему уравнений

$$\begin{aligned} u_{\text{в}} &= i_{\text{в}} r_{\text{в}} + L_{\text{в}} \frac{di_{\text{в}}}{dt} + 2N_{\kappa} M \frac{di_{\tau}}{dt}, \\ 0 &= i_{\tau} r_{\tau} + 2L_{\tau} \frac{di_{\tau}}{dt} + M \frac{di_{\text{в}}}{dt}, \end{aligned} \quad (17)$$

$$u_{\text{а}} = \frac{n}{\omega_{\text{в}}} L_{\text{в}} i_{\text{в}} + 2N_{\kappa} n L_{\tau} i_{\tau} - \left(i_{\text{а}} r_{\text{а}} + L_{\text{а}} \frac{di_{\text{а}}}{dt} \right).$$

Полученная система уравнений может быть использована для аналитического исследования режимов работы УГ переменного тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. P. Klaudy. Unipolarmaschine für Wechselstrom. Австрийский патент, кл. 21d, 85 № 210514, 1960.
2. Б. С. Х л у с е в и ч. Униполярная машина переменного тока и некоторые вопросы ее конструирования, «Труды ЛОЛКВАИУ», 1958, том 3.
3. А. И. Б е р т и н о в, Б. Л. А л и е в с к и й, С. Р. Т р о и ц к и й. Униполярные электрические машины с жидкометаллическим токосъемом, 1966.