

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

$$u_B = i_B r_B + L_B \frac{di_B}{dt} + M_{BЯ} \frac{di_Я}{dt} + M_{BД} \frac{di_Д}{dt}, \quad (1)$$

для к.з. контура обмотки якоря

$$0 = i_Я r_Я + L_Я \frac{di_Я}{dt} + M_{ЯВ} \frac{di_B}{dt} + M_{ЯД} \frac{di_Д}{dt}, \quad (2)$$

для к.з. контура дополнительной обмотки

$$0 = i_Д r_Д + L_Д \frac{di_Д}{dt} + M_{ДВ} \frac{di_B}{dt} + M_{ДЯ} \frac{di_Я}{dt}, \quad (3)$$

для цепи якоря

$$u_a = e_a + e_T - \left(j_a r_a + L_a \frac{di_a}{dt} \right), \quad (4)$$

где u_B , u_a — соответственно напряжение, приложенное к обмотке возбуждения, и напряжение генератора;

i_B , $i_Я$, $i_Д$, i_a — токи соответственно в обмотке возбуждения, в к.з. контуре обмотки якоря, в к.з. контуре дополнительной обмотки, в цепи якоря;

e_a , e_T — э.д.с. вращения соответственно от потока обмотки возбуждения и от потока к.з. контуров;

L_B , $L_Я$, $L_Д$, L_a — самоиндуктивности контуров;

$M_{BЯ}$, $M_{BД}$ — взаимоиנדуктивности обмотки возбуждения соответственно со всеми к.з. контурами обмотки якоря и со всеми к.з. контурами дополнительной обмотки;

$M_{ЯВ}$, $M_{ДВ}$, $M_{ЯД}$, $M_{ДЯ}$ — 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

$$B_\delta = \frac{i_B w_B}{2} \lambda_\delta, \quad (5)$$

где w_B — число витков обмотки возбуждения,

λ_δ — проводимость воздушного зазора.

Магнитный поток, созданный обмоткой возбуждения, равен

$$\Phi_\delta = \pi D l B_\delta = \frac{i_B w_B}{2} \lambda_\delta \pi D l, \quad (6)$$

где D — диаметр ротора,

l — расчетная длина ротора.

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

$$L_B = \frac{\Phi_\delta w_B}{i_B} = \frac{1}{2} \pi D l \lambda_\delta w_B^2. \quad (7)$$

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

$$e_a = \frac{1}{2} \pi D l \lambda_\delta w_B n i_B = \frac{n}{w_B} L_B i_B, \quad (9)$$

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

$$\Phi_T = \frac{1}{Z} \pi D l \lambda_\delta i_T, \quad (10)$$

где Z — число зубцов ротора.

Индуктивность к.з. контура тогда определится выражением

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

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

$$B_{\delta T} = \frac{2N_K \Phi_T}{\pi D l} = \frac{2N_K}{Z} \lambda_\delta i_T. \quad (12)$$

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

$$e_T = 2N_K n L_T i_T. \quad (13)$$

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_T , можем записать равенства.

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

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

$$M_{вя} = M_{вд} = N_K M. \quad (15)$$

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

$$\begin{aligned} i_я &= i_д = i_T, & L_я &= L_д = L_T, \\ r_я &= r_д = r_T, & M_T &= L_T. \end{aligned} \quad (16)$$

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

$$\begin{aligned} u_B &= i_B r_B + L_B \frac{di_B}{dt} + 2N_K M \frac{di_T}{dt}, \\ 0 &= i_T r_T + 2L_T \frac{di_T}{dt} + M \frac{di_B}{dt}, \\ u_a &= \frac{n}{\omega_B} L_B i_B + 2N_K n L_T i_T - \left(i_a r_a + L_a \frac{di_a}{dt} \right). \end{aligned} \quad (17)$$

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.