

## БЕСКОНТАКТНЫЙ АСИНХРОНИЗИРОВАННЫЙ ТУРБОГЕНЕРАТОР С ВРАЩАЮЩИМСЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ В РЕЖИМАХ ГЛУБОКОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ И ВЫДАЧИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

**А.М.Галиновский**, канд.техн.наук, **В.А.Бобер**, **Е.М.Дубчак**  
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,  
пр. Победы 37, Киев, 03056, Украина. e-mail: [alga40@mail.ru](mailto:alga40@mail.ru)

*Проведен анализ работы бесконтактного асинхронизированного турбогенератора с трехфазной обмоткой ротора с вращающимся непосредственным преобразователем частоты с естественной коммутацией и модулированным входным напряжением в режимах глубокого потребления и выдачи реактивной мощности при изменении активной мощности от нуля до номинальной. Приведены результаты исследований математических моделей турбогенератора при разных величинах скольжения с учетом параметров массива. Рекомендуется работа турбогенератора с синхронной скоростью вращения в режиме глубокого потребления реактивной мощности и с асинхронной скоростью – в режиме выдачи реактивной мощности. Библиограф. 8, табл. 1, рис. 5.*

**Ключевые слова:** бесконтактный, асинхронизированный, турбогенератор, преобразователь.

Одна из важнейших проблем электроэнергетики – регулирование реактивной мощности в электрических сетях. В работах [7, 8] отмечается, что из-за снижения нагрузки уровни напряжений в электрических сетях 220, 500 кВ могут значительно (на 6–10%) превысить регламентированные, что приводит к повышению аварийности электрооборудования. Для решения этой проблемы принимаются специальные меры. В частности, осуществляют перевод синхронных турбогенераторов (СТГ) в режимы потребления реактивной мощности. Это позволяет несколько снизить уровни напряжений, но со временем приводит к ускоренному износу СТГ, а в ряде случаев – к аварийным отключениям из-за разрушения торцевых зон статоров. Важным направлением в решении указанной проблемы является разработка и внедрение асинхронизированных машин (АСМ). В энергосистемах России и Украины введены в эксплуатацию асинхронизированные турбогенераторы (АСТГ) мощностью 110, 160, 200, 220, 320 МВт [8]. АСТГ в отличие от СТГ предназначены для работы в режимах не только выдачи, но и потребления реактивной мощности. АСТГ позволяют отказаться от установки шунтирующих реакторов на линиях электропередачи, вывести параллельно работающие СТГ из неблагоприятных для них режимов работы.

В существующих АСМ роторные обмотки подключены к преобразователям частоты через контактные кольца. Требования по повышению надежности машин исключают или ограничивают применение щеточно-контактных узлов. Поэтому актуальна разработка бесконтактных АСМ (БАСМ).

Системы возбуждения БАСМ с низкими частотами возбуждения разрабатываются на базе многофазных каскадных возбудителей и непосредственных преобразователей частоты с естественной коммутацией и модулированным входным напряжением (НПЧЕМ) [1–5]. НПЧЕМ обеспечивают высокое качество формы напряжения и тока нагрузки ( $U_2$  и  $I_2$ ) при  $\cos\varphi_2 = 1 \div 0,7$  ( $\varphi_2 = 0 \div 45^\circ$ ). Работоспособность НПЧЕМ сохраняется при  $\cos\varphi_2 > 0,5$  ( $\varphi_2 < 60^\circ$ ) [4].

Актуальным является определение работоспособности НПЧЕМ бесконтактного асинхронизированного турбогенератора (БАСТГ), работающего при  $s < 0$  в режимах выдачи и глубокого потребления реактивной мощности при наличии активной мощности нагрузки. Работоспособность преобразователя определим по результатам исследований математических моделей турбогенератора [1–3, 5], на основании которых разработаем рекомендации по выбору величины скольжения.

**Цель работы:** разработка рекомендаций по выбору скольжений бесконтактного асинхронизированного турбогенератора в режимах выдачи и глубокого потребления реактивной мощности при изменении активной мощности от нуля до номинальной.

Разработка рекомендаций проводится по результатам исследований моделей БАСТГ-200 с номинальными параметрами:  $S=235$  МВт; напряжение  $U=15750$  В; частота  $f=50$  Гц;  $\cos\varphi=0,85$ ; скольжение  $s_N=-0,001$ . Число пар полюсов  $p=1$ , число фаз обмотки ротора  $m_r=3$ .

**Модели бесконтактного асинхронизированного турбогенератора.** На рис. 1 показана схема замещения основной электрической машины БАСТГ (асинхронного генератора, АГ). Активные и ин-

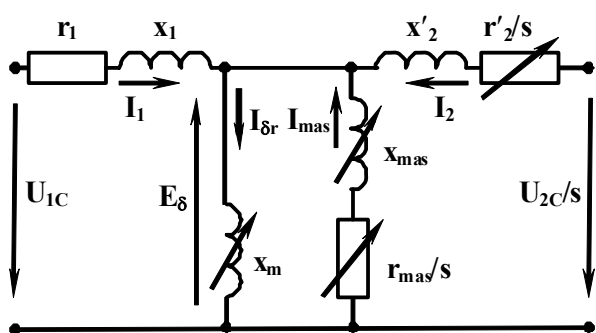


Рис. 1

дуктивные сопротивления рассеяния обмоток:  $r_1=0,00271$  Ом;  $r'_2=0,00285$  Ом;  $x_1 = 0,224$  Ом;  $x'_2 = 0,188$  Ом. Параметры ротора приведены к обмотке статора. Коэффициент трансформации  $k = w_r/w_s = 3,654$ , где  $w_r, w_s$  – эффективные числа витков обмоток ротора и статора. Сопротивление взаимной индукции в номинальном режиме  $x_m = 2,46$  Ом. Сопротивления ротора вихревому току ( $r_{mas}, x_{mas}$ ) и индуктивность рассеяния массива ( $L_{mas}$ ) в зависимости от скольжения даны в таблице [2, 5]. Сопротивления приведены к обмотке возбуждения.

трическая схема модели БАСТГ [2]. Статорная обмотка АГ подключена к сети (С). Трехфазная обмотка ротора АГ через три фазные тиристорные преобразователя (ТП<sub>А</sub>, ТП<sub>В</sub>, ТП<sub>С</sub>)

$s, \%$	0	-0,05	-0,1	-0,15	-0,2	-0,3	-0,4
$r_{mas}, \text{Ом}$	0,0125	0,0259	0,0418	0,0438	0,0404	0,0413	0,0405
$r_{mas}/s, \text{Ом}$	$-\infty$	-51,9	-41,8	-28,8	-20,2	-13,8	-10,1
$x_{mas}, \text{Ом}$	0	0,0111	0,0125	0,0143	0,0162	0,0181	0,0202
$x_{mas}/ s , \text{Ом}$	675,8	22,2	12,5	9,5	8,1	6,0	5,0
$L_{mas}$	0	0,07066	0,0398	0,0303	0,0258	0,0192	0,016

подключена к якорным обмоткам многофазного каскадного возбуждателя (КВ), который состоит из двух возбуждателей с одинаковым числом пар полюсов  $p_B$ . Тиристорный преобразователь (ТП) расположен на вращающейся части (ВЧ) машины. Параметры массива ротора учтены дополнительной трехфазной обмоткой ( $a_m, b_m, c_m$ ) с переменными параметрами. Статорные обмотки двух возбуждателей ( $A_1, B_1, C_1$  и  $A_2, B_2, C_2$ ) подключены к трехфазному источнику напряжения частоты скольжения  $f_s$  АГ ( $I_B$ ). Направление вращения поля статора первого возбуждателя  $n_{B1}$  согласно, а второго возбуждателя  $n_{B2}$  – встречно направлению вращения вала АГ  $n$ . На схеме показаны номера роторных обмоток двух возбуждателей (1-1÷1-12 и 2-1÷2-12). Частоты ЭДС роторных обмоток:  $f_{21} = p_B \cdot f \cdot (1-s)/p - f_s$ ;  $f_{22} = p_B \cdot f \cdot (1-s)/p + f_s$ .

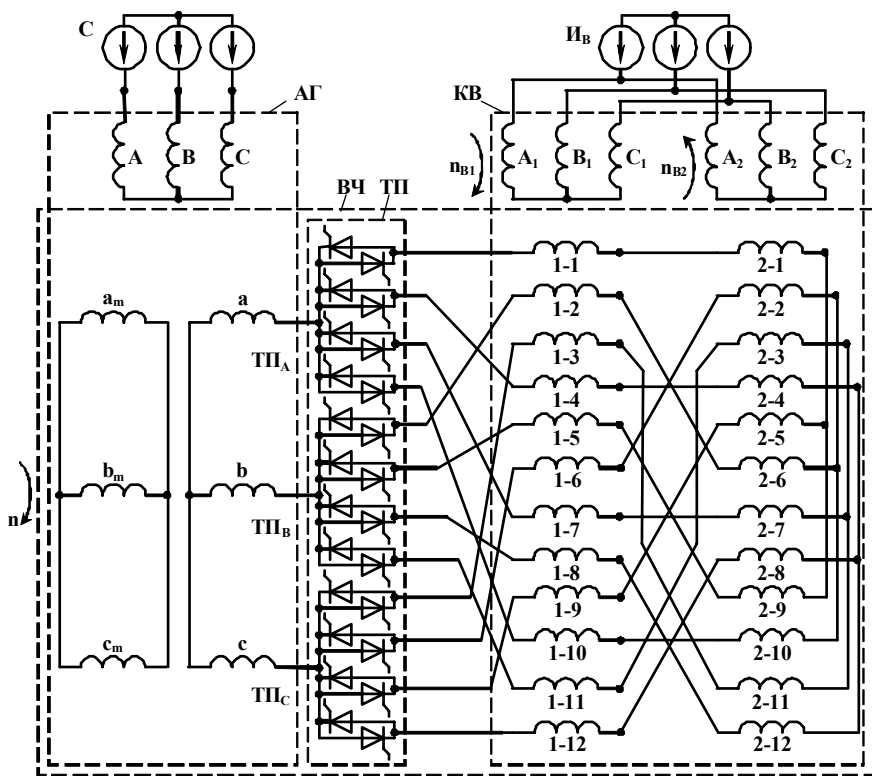


Рис. 2

Фазные ЭДС роторных обмоток двух возбуждателей  $e_{1j} = A_{i1} \cdot \sin(\omega_1 t + (j-1) \cdot \lambda_B)$ ,  $e_{2j} = A_{i2} \cdot \sin(\omega_2 t + (j-1) \cdot \lambda_B)$ , где  $A_{i1}=A_{i2}=A_i/2$  – амплитуды ЭДС,  $\omega_1=2\pi f_{21}$ ,  $\omega_2=2\pi f_{22}$ ,  $\lambda_B=2\pi/m_B$  – угол сдвига между векторами фазных ЭДС,  $m_B$  – число фаз роторной обмотки возбуждателя. Вторым нижним индексом  $j = (1 \div m_B)$  обозначены номера роторных обмоток возбуждателей.

Роторные обмотки двух возбуждателей соединены последовательно и подключены к трем фазным тиристорным преобразователям (ТП).

На вход тиристорного преобразователя фазы А (ТП<sub>А</sub>) подаются  $m_i = m_B/3$  биений напряжений, полученные при последовательном соединении одноименных фаз двух возбудителей,

$$e_{1A} = e_{1,1} + e_{2,1} = A_i \cdot \sin(\omega_3 t) \cdot \cos(\omega_6 t),$$

$$e_{2A} = e_{1,(1+3)} + e_{2,(1+3)} = A_i \cdot \sin(\omega_3 t + \lambda_B) \cdot \cos(\omega_6 t),$$

.....

$$e_{m_i A} = e_{1,(1+3(m_i-1))} + e_{2,(1+3(m_i-1))} = A_i \cdot \sin(\omega_3 t + (m_i - 1) \cdot \lambda_B) \cdot \cos(\omega_6 t),$$

где частота заполнения  $\omega_3 = 2\pi f_3$ ,  $f_3 = |f_{21} + f_{22}|/2$ , частота биений напряжений  $\omega_6 = 2\pi f_6$ ,  $f_6 = |f_{21} - f_{22}|/2 = f_s$ .

Роторные обмотки возбудителей, подключенные к тиристорным преобразователям ТП<sub>В</sub> и ТП<sub>С</sub>, соединены по правилу: номера обмоток первого возбудителя увеличены (уменьшены) на величину  $m_i$ , а номера обмоток второго возбудителя уменьшены (увеличены) на величину  $m_i$  по сравнению с номерами обмоток возбудителей, подключенных к тиристорному преобразователю ТП<sub>А</sub> [3]. При этом на входы трех фазных ТП подаются три  $m_i$ -фазные системы напряжений частоты заполнения, промодулированные трехфазной системой напряжений с частотой биений.

В НПЧЕМ применены [1–4]: комбинированное потенциальное соединение обмоток источника, при котором в  $m_i$  нулевые точки собираются группы обмоток с одинаковыми фазами ЭДС частоты заполнения; комбинированный закон управления тиристорами по частоте заполнения и току нагрузки, при котором совместное управление встречно включенными тиристорами осуществляется при токе нагрузки, меньшем тока уставки.

На роторе БАСТГ расположена управляющая машина синхронного типа, число пар полюсов которой равно числу пар полюсов возбудителей ( $p_u = p_B$ ). При этом частота ЭДС обмотки якоря управляющей машины (частота управления) равна частоте заполнения биений напряжений. Частота нагрузки НПЧЕМ равна частоте биений напряжений, а значит, частоте скольжения АГ (частоте возбуждения возбудителей)  $f_n = f_6 = f_s$ .

**Параметры модели.** Обмотки АГ:  $r_1=0,00271$  Ом;  $r_2=0,038$  Ом;  $L_{\sigma 1}=0,713$  мГн;  $L_{\sigma 2}=7,99$  мГн. Взаимоиндуктивность, приведенная к обмотке статора,  $L_m=5,22$  мГн. Параметры дополнительной обмотки ротора ( $\Gamma_{mas}$ ,  $L_{mas}$ ) приведены в таблице. Сеть:  $r_{12}=1$  мОм;  $L_{i2}=1 \cdot 10^{-7}$  Гн. Источники напряжения:  $r_i=1 \cdot 10^{-3}$  Ом;  $L_i=1 \cdot 10^{-7}$  Гн. Обмотки четырехполюсного возбудителя:  $m_{1B}=3$ ;  $m_{2B}=12$ ;  $r_{1B}=0,175$  мОм;  $r_{2B}=0,7$  мОм;  $L_{\sigma 1B}=1,114 \cdot 10^{-6}$  Гн,  $L_{\sigma 2B}=4,456 \cdot 10^{-6}$  Гн; коэффициент трансформации  $k_B=1$ ; взаимоиנדуктивность, приведенная к обмотке статора,  $L_{mB}=22,97 \cdot 10^{-6}$  Гн. Параметры тиристорov в направлении прямой проводимости:  $r_{i1}=1 \cdot 10^{-4}$  Ом,  $L_{i1}=2,5 \cdot 10^{-7}$  Гн, а в направлении обратной проводимости –  $r_{i1}=1 \cdot 10^5$  Ом,  $L_{i1}=25$  Гн. Длительность сигналов управления тиристорами по частоте заполнения  $T_{su}=90^\circ$ . В режиме холостого хода вращающегося преобразователя устанавливается упреждающий угол управления тиристорами,  $\alpha_u=5^\circ$ . Уставка по току нагрузки  $i_{un}=100$  А.

Отметим особенности построения математической модели БАСТГ [1–3].

Каждая ветка источника напряжения описывается дифференциальным уравнением

$$R_i \cdot I + L_i \cdot pI + E_i = \varphi_{in} - \varphi_{ik},$$

где  $p$  – оператор дифференцирования по времени,  $I$  – ток ветви,  $\varphi_{in}$ ,  $\varphi_{ik}$  – потенциалы начала и конца ветви. Каждая обмотка статора и ротора АГ описывается дифференциальным уравнением

$$R_k I_k + \sum_1^9 L_{kn} \cdot pI_n + \sum_1^9 pL_{kn} \cdot I_n = \varphi_{k1} - \varphi_{k2},$$

где  $R_k$  – активное сопротивление  $k$ -ой обмотки,  $L_{kk}$  – индуктивность рассеяния  $k$ -ой обмотки,  $L_{kn}$  – взаимоиנדуктивности  $k$ -ой обмотки с другими обмотками,  $I_n$  – токи обмоток,  $\varphi_{k1}$ ,  $\varphi_{k2}$  – потенциал начала и конца  $k$ -ой обмотки. Тиристор моделируется RL-цепью с переменными активным сопротивлением и индуктивностью. В целом ветви схемы описываются матричным уравнением

$$R \times I + L \times pI + pL \times I + K_E \times E = K_\varphi \times \varphi, \quad (1)$$

где  $K_E$ ,  $K_\varphi$  – матрицы коэффициентов. Ветви структурных элементов соединены в узлы. Система уравнений для узлов в матричной форме ( $K_i$  – матрица коэффициентов)

$$K_i \times I = 0. \quad (2)$$

К уравнениям (1) и (2) добавляются третье матричное уравнение связи токов и их производных. Система уравнений рассчитывается с использованием метода Эйлера. В этом случае третье мат-

ричное уравнение имеет вид  $K'_{i0} \times I_0 + h \cdot K'_{pi} \times pI = K_{ii} \times I$ , где  $K'_{i0}$ ,  $K'_{pi}$ ,  $K_{ii}$  – единичные диагональные матрицы размером  $[n \times n]$ .

В целом математическая модель БАСТГ (рис. 2) представлена системой матричных уравнений электрических цепей

$$\begin{cases} R \times I_0 + pL \times I_0 + K_E \times E = K_\varphi \times \varphi - L \times pI \\ 0 = K_i \times I \\ K_{i0} \times I_0 = K_{ii} \times I - h \cdot K_{pi} \times pI \end{cases}$$

После преобразований  $R \times I_0 + pL \times I_0 + K_{i0} \times I_0 + K_E \times E = (K_\varphi + K_i - h \cdot K_{pi} - L) \times N$ , где  $N$  – матрица неизвестных, включающая матрицы потенциалов, токов и производных токов, решение этого уравнения:  $N = (K_\varphi + K_i - h \cdot K_{pi} - L)^{-1} \times (R \times I_0 + pL \times I_0 + K_{i0} \times I_0 + K_E \times E)$ .

**Исследование модели турбогенераторов.** Вначале приводим результаты исследований АГ по схеме замещения. На рис. 3 показаны зависимости тока возбуждения генератора  $I_2$  и угла  $\varphi_2$  между векторами напряжения и тока возбуждения от величины реактивного тока нагрузки генератора ( $I_{1r} = -1 \div +1$ ) при скольжении  $s = s_N = \text{const}$ ; на рис. 4 – зависимости токов возбуждения  $I_2$  от скольжения  $s$  при токе нагрузки генератора  $I_1 = I_{1N} = \text{const}$ . Токи приведены в относительных единицах (о.е.). Зависимости построены при разных значениях активного тока нагрузки генератора: 1 –  $I_{1a}=0$ ; 2 –  $I_{1a}=0,1$ ; 3 –  $I_{1a}=0,2$ ; 4 –  $I_{1a}=0,6$ ; 5 –  $I_{1a}=0,85$  ( $P_1 = P_{1N}$ ). Нижними индексами «в» и «п» (рис. 4) обозначены соответственно режимы выдачи и потребления реактивной мощности генератора.

При работе генератора в режиме глубокого потребления реактивной мощности изменяется направление передачи реактивной мощности в цепи обмотки возбуждения генератора. При  $s=s_N$  угол нагрузки преобразователя частоты в цепи обмотки возбуждения достигает величины  $|\varphi_2| \approx 60^\circ$  (точка А на рис. 3, а).

По результатам исследований модели АГ при скольжении  $s=0 \div 2 \cdot s_N$  установлено: в режиме глубокого потребления реактивной мощности генератором угол нагрузки преобразователя частоты может превысить величину  $|\varphi_2|=90^\circ$ ; в режиме выдачи реактивной мощности  $|\varphi_2| < 45^\circ$ .

Максимальный длительный ток возбуждения генератора  $I_{2\text{max}}$  определяется при номинальной нагрузке со скольжением  $s = 0$  (точка А на рис. 4). Величина выдаваемой реактивной мощности при  $P_1=0 \div P_{1N}$  ограничивается допустимой величиной  $I_{2\text{max}}$ .

При неизменных сопротивлениях фазных обмоток возбуждения и одинаковой результирующей намагничивающей силе (НС) возбуждения потери в трехфазной обмотке не зависят от величины скольжения (включая  $s=0$ ). При  $s \neq 0$  потери равномерно распределены по трем фазным обмоткам возбуждения, что обуславливает их равномерный нагрев. При  $s=0$  и протекании тока возбуждения по двум фазным обмоткам потери выделяются только в этих обмотках. Таким образом, потери в одной фазной обмотке при  $s=0$  в 1,5 раза больше, чем при  $s \neq 0$ . Неравномерная нагрузка обуславливает неравномерный нагрев трех обмоток, а значит, повышение температуры одной или двух обмоток. По-

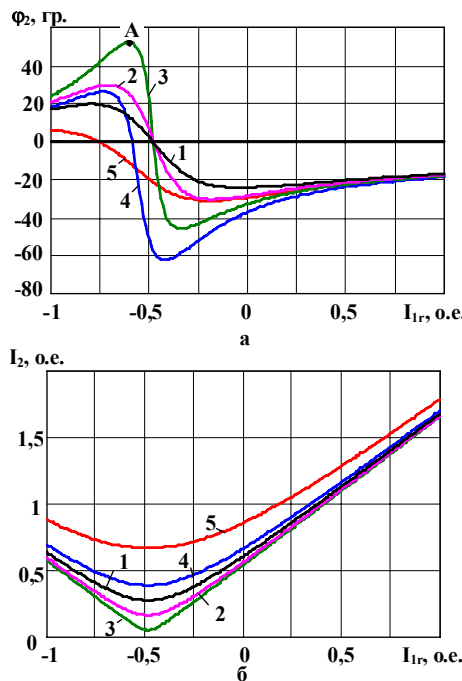


Рис. 3

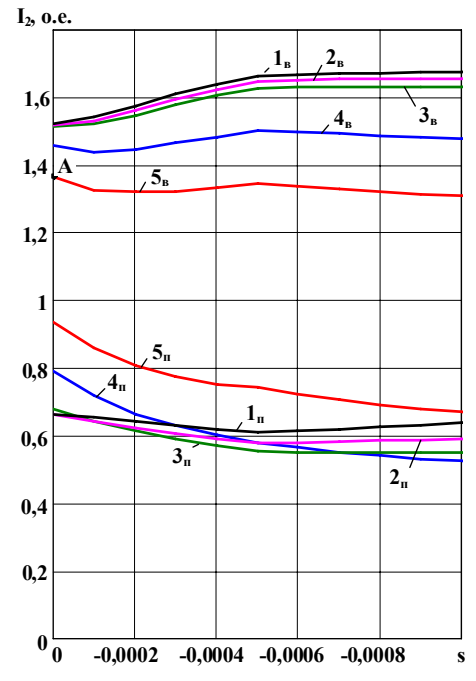


Рис. 4

этому в режиме выдачи реактивной мощности рекомендуется работа БАСТГ с  $s \neq 0$ . Определение скольжения необходимо проводить с учетом потерь в обмотке и массиве.

В режимах потребления реактивной мощности наибольшая величина тока возбуждения генератора меньше  $I_{2\max}$  примерно в 1,5 раза (рис. 4). Величина потребляемой реактивной мощности (при  $s=0$ ) ограничивается номинальным током статора генератора.

Приводим результаты исследований математической модели БАСТГ.

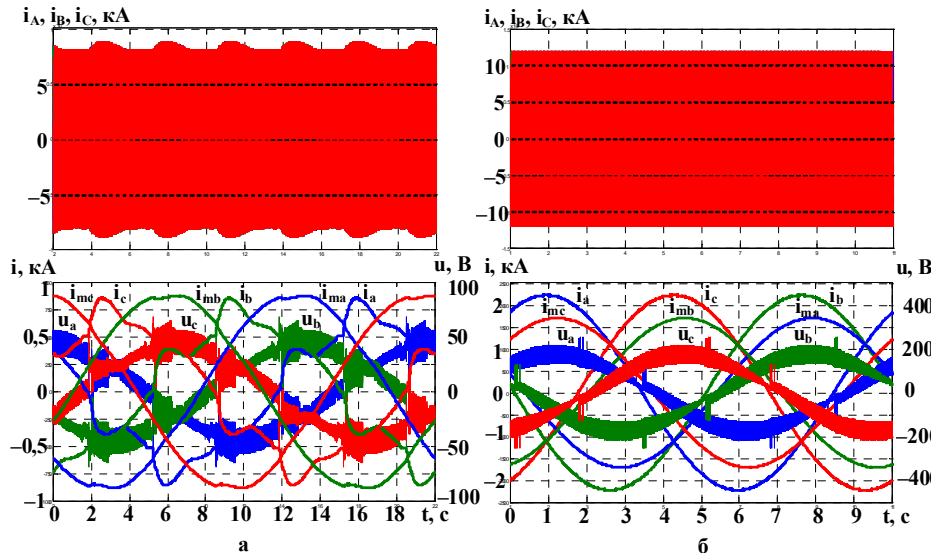


Рис. 5

На рис. 5, а показаны диаграммы напряжений и токов модели БАСТГ-200 в режиме глубокого потребления реактивной мощности при  $s=-0,001$ ,  $I_{1a}=0,2$  о.е.,  $I_{1r}=-0,6$  о.е. Принятые обозначения:  $i_A, i_B, i_C$  – токи в обмотках статора АГ;  $i_a, i_b, i_c$  – токи в обмотках возбуждения;  $u_a, u_b, u_c$  – напряжение возбуждения;  $i_{ma}, i_{mb}, i_{mc}$  – токи в массиве. В соответствии с рис. 3, а угол нагрузки НПЧЕМ  $\varphi_2 \approx 52^\circ$  (точка А на кривой 3). Упреждающий угол управления тиристорами (установка по режиму холостого хода

БАСТГ)  $\alpha_u=5^\circ$ . Как видно из диаграмм, существенное искажение токов возбуждения (коэффициент искажения синусоидальности формы кривой тока  $k_{ir}=0,1818$ ) приводит к недопустимым колебаниям амплитуды токов статора генератора. Высокое качество токов возбуждения и токов нагрузки генератора достигается увеличением угла управления тиристорами ( $\alpha_u=30 \div 45^\circ$ ) [4]. Оно также может быть достигнуто даже при повышенных скольжениях и работе с максимальным потреблением реактивной мощности. Для примера на рис. 5, б показаны диаграммы напряжений и токов модели при  $s=-0,002$ ,  $I_{1a}=0$ ,  $I_{1r}=-1$  о.е.

**Заключение.** 1. Вращающийся непосредственный преобразователь частоты с естественной коммутацией и модулированным входным напряжением (НПЧЕМ) в цепи возбуждения бесконтактного асинхронизированного турбогенератора (БАСТГ) при скольжении  $s=0 \div s_N$  и  $P_1=0 \div P_{1N}$  обеспечивает высокое качество тока нагрузки при выдаче в сеть реактивной мощности.

2. При скольжении  $s \neq 0$  в режиме глубокого потребления реактивной мощности БАСТГ изменяется направление передачи реактивной мощности по цепи обмотки возбуждения генератора. При этом угол нагрузки НПЧЕМ достигает величины  $60^\circ$  и более, что может привести к нарушению работоспособности НПЧЕМ и БАСТГ в целом.

3. С целью сохранения работоспособности НПЧЕМ при разных режимах работы БАСТГ, а также равномерного нагрева трехфазных обмоток возбуждения в номинальном режиме и в режимах выдачи реактивной мощности рекомендуется работа БАСТГ при следующих скольжениях:  $s=0$  – в режиме глубокого потребления реактивной мощности;  $s < 0$  – в номинальном режиме и режимах выдачи реактивной мощности.

1. Бобер В.А., Галиновский А.М. Математическая модель бесконтактной асинхронизированной машины с каскадным возбудителем в режимах генератора и двигателя // Гірничя електромеханіка та автоматика. – 2009. – Вип. 83. – С. 95-104.

2. Бобер В.А., Галиновский А.М., Саратов В.А. Разработка и исследование математической модели бесконтактного асинхронизированного турбогенератора с многофазным каскадным возбудителем // Праці ІЕД НАН України. – 2012. – № 31. – С. 49-58.

3. Галиновский А.М., Бобер В.А., Ленская Е.А. Особенности построения и расчета вращающихся многофазных преобразователей частоты бесконтактных асинхронизированных машин // Енергетика: економіка, технологія, екологія. – 2007. – № 1. – С. 45-57.



4. Галиновский А.М., Дубчак Е.М., Ленская Е.А. Электромашинно-вентильные преобразователи машин двойного питания (часть 2) // Гірничя електромеханіка та автоматика. – 2010. – №85. – С. 159–169.
5. Саратов В.А. Слоистая модель и многозвенная схема замещения асинхронной машины / Сб. научн. тр.: Регулируемые асинхронные двигатели. – Киев: Ин-т электродинамики НАН Украины, 1997. – С. 19–25.
6. Шакарян Ю.Г., Лабунец И.А. Внедрение асинхронизированных генераторов и компенсаторов на объектах единой энергетической системы // Энергетик. – 2005. – Вып. № 6. – С. 12–19.
7. Шакарян Ю.Г., Бобышев А.В. Новое энергетическое оборудование XXI века // Энергия России. – 2004. – № 9-10 (151-152). – С. 7.
8. Асинхронизированные машины: генераторы, компенсаторы / ОАО "НТЦ ФСК ЕЭС". – [http://www.ntc-power.ru/innovative\\_projects/asynchronous\\_machines\\_generators\\_compensators/](http://www.ntc-power.ru/innovative_projects/asynchronous_machines_generators_compensators/) (02.04.2014).

УДК 621.313.333

#### **БЕЗКОНТАКТНИЙ АСИНХРОНІЗОВАНИЙ ТУРБОГЕНЕРАТОР З ОБЕРТОВИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ ЧАСТОТИ В РЕЖИМАХ ГЛИБОКОГО СПОЖИВАННЯ І ВИДАЧІ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ**

**О.М.Галиновський**, канд.техн.наук, **В.А.Бобер**, **Є.М.Дубчак**

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»**,  
**пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна.** e-mail : [alga40@mail.ru](mailto:alga40@mail.ru)

*Проведено аналіз роботи безконтактного асинхронізованого турбогенератора з трифазною обмоткою ротора з обертовим безпосереднім перетворювачем частоти з природною комутацією та модульованою вхідною напругою в режимах глибокого споживання та видачі реактивної потужності при зміні активної потужності від нуля до номінальної. Наведено результати досліджень математичних моделей турбогенератора при різних величинах ковзання з урахуванням параметрів масиву. Рекомендується робота турбогенератора з синхронною швидкістю обертання в режимі глибокого споживання реактивної потужності та з асинхронною швидкістю – в режимі видачі реактивної потужності. Бібл. 8, табл. 1, рис. 5.*  
**Ключові слова:** безконтактний, асинхронізований, турбогенератор, перетворювач.

#### **BRUSHLESS ASYNCHRONOUS TURBINE GENERATORS WITH ROTARY CONVERTER IN MODES OF DEEP CONSUMPTION AND ISSUANCE OF REACTIVE POWER**

**A.M.Galinovskiy**, **V.A.Bober**, **E.M.Dubchak**

**National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute»**,  
**pr. Peremohy, 37, Kiev, 03056, Ukraine.** e-mail : [alga40@mail.ru](mailto:alga40@mail.ru)

*The analysis of brushless asynchronous turbine generator with the multiphase rotating direct frequency converter with natural commutation and modulated input voltage was made. The purpose of the work is to develop recommendations for the choice of covering asynchronous turbogenerator contactless modes of issuance and deep reactive power consumption when the active power from zero to nominal. In the case of the issuance of the generator reactive power to the network frequency converter provides high quality generator excitation current with changes in the slip from zero to the nominal value. In the case of generator reactive power consumption of network asynchronous rotor speed changes the direction of the flow of reactive power through the circuit winding of the generator. The angle load of converter reaches 60 electrical degrees or more, this can lead to malfunction of the converter. In order to maintain efficiency of the converter at different modes of operation of the generator, as well as fore uniform heating the exciting windings when reactive power generates to network it was recommended to work with synchronous speed in the mode of consumption and asynchronous speed in the mode of issue of reactive power. References 8, table 1, figures 5.*

**Keywords:** brushless, asynchronous, turbine generator, converter.

1. Bober V.A., Galinovskiy A.M. Mathematical model of noncontact asynchronous machine with a cascade exciter in the modes of generator and engine // Hirnichia Elektromekhanika ta Avtomatyka. – 2009. – Vypusk 83. – Pp. 95–104. (Rus)
2. Bober V.A., Galinovskiy A.M., Saratov V.A. Development and research of mathematical model of brushless asynchronous turbogenerator with a multyphase cascade exciter // Pratsi Instytutu Elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy. – 2012. – № 31. – Pp. 49 – 58. (Rus)
3. Galinovskiy A.M., Bober V.A., Lenskaya E.A. Features of construction and calculation of the revolved multyphases transformers of frequency of brushless asynchronous machines // Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia. – 2007. – № 1. – Pp. 45–57. (Rus)
4. Galinovskiy A.M., Dubchak E.M., Lenskaya E.A. Elektromashines-semiconductors transformers of machines of double feed (part 2) // Hymnichia elektromekhanika ta avtomatyka. – 2010. – №85. – Pp. 159–169. (Rus)
5. Saratov V.A. The stratified model and iterative chart of substituting for an induction machine / Sbornik nauchnykh trudov: Regulirue-mye asinchronnye dvigateli. – Kiev: Institut Elektrodynamiki Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy, 1997. – Pp. 19–25. (Rus)
6. Shakaryan U.G., Labunets I.A. Introduction of asynchronous generators and compensators on the objects of the general power system // Energetik. – 2005. – Vypusk 6. – Pp. 12–19. (Rus)
7. Shakaryan U.G., Bobylev A. New energy equipment XXI century // Energiia Rossii. – 2004. – № 9–10 (151–152). – 7 p. (Rus)
8. Asynchronous machines: generators, compensators / ОАО "NTC FSK EES". – Access mode: [http://www.ntc-power.ru/innovative\\_projects/asynchronous\\_machines\\_generators\\_compensators/](http://www.ntc-power.ru/innovative_projects/asynchronous_machines_generators_compensators/) (02.04.2014). (Rus)

Надійшла 24.04.2013  
Остаточний варіант 03.11.2014