

А. А. САФАРЯН, В. И. ЧИТЕЧЯН, В. Г. БУРНАЗЯН,
А. О. ГРИГОРЯН, С. А. ПАРУНАКЯН

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ АВТОНОМНЫХ АСИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ В УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ

Широкое внедрение асинхронизированных генераторов в автономной энергетике на современном этапе, обусловленное их технико-экономической перспективой [1—3], сдерживается сложностью этих машин и отсутствием методологической базы их проектирования [3, 4].

Развитие электромашиностроения, преобразовательной и микроэлектронной техники предполагает достаточное многообразие схемно-силовых реализаций автономных асинхронизированных генераторов (ГАА), однако в основе их практически лежат ГАА с вращающимся (независимое возбуждение) и статическим возбудителем (самовозбуждение), причем в первом случае в качестве возбудителя используется секционированный синхронный возбудитель (ВСС), а во втором — секционированный трансформатор (ТС) [4].

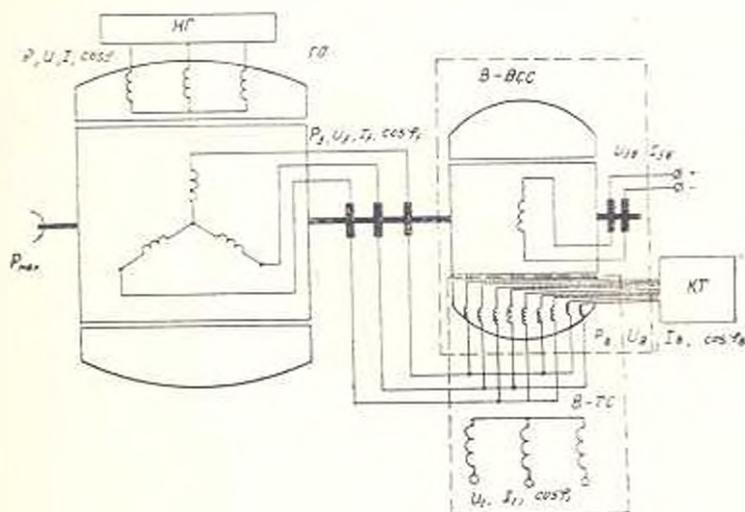


Рис. 1. Блок-схема ГАА с вращающимся и статическим возбудителем.

Блок-схема ГАА для обоих случаев представлена на рис. 1. Здесь в качестве основного генератора системы (ГО) используется асинхронная машина с фазным ротором, а в качестве преобразователя частоты (ПЧ) в роторной цепи ГО — непосредственный ПЧ с квазиоднополосной модуляцией и искусственной коммутацией вентилей, обладающий свойствами высокочастотных ПЧ [5]. ГАА включает также системы уп-

рвления и защиты. ГО системы генерирует напряжение U постоянной частоты и амплитуды, при изменении в заданном диапазоне частоты вращения $\omega_{\text{вр}}$ и величины нагрузки (НГ) — $P(I)$. Анализ рассматриваемых систем позволил выявить и обобщить следующие характерные особенности ГАА:

1. Возбуждение основного генератора осуществляется со стороны ротора переменными теками частот скольжения причем ток возбуждения ГО I_f на всем диапазоне изменения частоты вращения отстает от напряжения возбуждения U_f .

2. Величина тока I_f практически пропорциональна выходной мощности (току нагрузки I), а величина напряжения U_f — значению (S) .

3. При переходе через синхронную скорость, в случае сохранения положительного напряжения тока I_f во всех режимах работы, направление U_f при вышесинхронных частотах вращения необходимо изменить на противоположное, что автоматически осуществляет ПЧ.

4. В зависимости от способа формирования кривой выходного напряжения и соотношения частот питания ПЧ $\omega_{\text{пр}}$, коммутации ω_k и ротора ГО ω_r можно изменить (регулировать) на входе ПЧ фазовый угол сдвига между основными гармониками тока и напряжения [5]. Для исследуемых систем между углами сдвига фаз на входе и на выходе ПЧ существует следующая взаимосвязь:

$$\begin{cases} \varphi_u = -\varphi_f & \text{при } \omega_k = \omega_{\text{вр}} + \omega_r \\ \varphi_u = \varphi_f & \text{при } \omega_k = \omega_{\text{вр}} - \omega_r \end{cases} \quad (1)$$

5. Определение токов I_f и напряжений U_f возбудителя в зависимости от величин I и U_f , схемы ПЧ и загрузки фаз представляет достаточно сложную задачу, однако для проектных работ взаимосвязь вход—выход ПЧ можно осуществить через упрощенные коэффициенты преобразования ПЧ по напряжению k_u и току k_i [2, 5]:

$$\begin{cases} k_u = \frac{U_f}{U_r} = \frac{\sin \pi / S_k}{\pi S_k} \\ k_i = \frac{I_f}{I_r} = \frac{k_u k_1}{1/N} \end{cases} \quad (2)$$

где U_r и I_r — соответственно напряжение и ток секции; S_k — число основных коммутирующих ключей (числе пульсаций); k_1 — коэффициент, учитывающий неравномерность загрузки фазных полюсов ВСС [2].

6. С целью упрощения силовой части ПЧ входные (питающие) обмотки ПЧ делятся на полюсовотки (секционируются [4, 5]) с выбором наиболее целесообразного числа секций N , равного 2, 3, 4 и 6, причем независимо от N и силовой схемы ПЧ на входе преобразователя формируется фазный ток I_f эквивалентной нерасщепленной фазы воз-

будителя. Величина этого тока примерно равна величине выходного тока ПЧ ($I_n \approx I_f$). По этому току определяется реакция якоря ВСС и ток нагрузки ТС, угол сдвига фаз φ_n и коэффициент мощности $\cos \epsilon_n$ возбуждателя.

7. Зависимость $U_f(s)$ ГО, имеющая параболический характер [3], является основной регулировочной характеристикой системы и в первом случае обеспечивается регулированием напряжения возбуждения ВСС $U_{f0}(s)$, а во втором — вторичным током ТС $I_1(s)$ с помощью ЩИМ [5].

С учетом приведенных специфических особенностей на основе уравнений электромеханического преобразования энергии, записанных в относительных единицах в ортогональной системе координат, вращающихся с синхронной скоростью [3], с приведением роторной обмотки ГО к статорной и статорной обмотки ВСС (вторичной обмотки ТС) к роторной обмотке (первичной обмотке ТС), получена система уравнений автономного ГДА, описывающая электромагнитные процессы комплекса в нормальном установившемся режиме:

Система ГДА — ВСС —

$$\begin{cases}
 \dot{U} = E_n - I(r + jx_n); \\
 U_f' s = -E_n + I_f(r_f + jx_{f2}) + I_f r_f \left(-\frac{1}{s} - 1\right); \\
 I_f = I_{f0} + I'; \quad I_{f0} = I E_n x_{f1}; \\
 U_n = U_f k_n e^{j\theta_n}; \quad I_n = I_f k_f; \\
 \dot{U}_n = E_{n0}(1+s) - I_n[r_n + jx_n(1+s)]; \\
 I_{fn} = I_{f0n} + I_n'; \quad I_{f0n} = jE_{n0} x_{n2} j; \\
 P_{мех} = P_n + P_{гн} + P_{гф} + P_{мн} + P_{гн} + P_n + P_{гн} + \\
 + P_{мг} + P_{фн} + P_{мо} + P_{мгн} + P_{мо} + P_{гг} + P_{гн};
 \end{cases} \quad (3)$$

Система ТС —

$$\begin{cases}
 \dot{U}_1 = -E_1 + I_1(r_1 + jx_{n1}); \\
 \dot{U}_n = k_r E_1 - I_n k_r^2(r_2' + jx_{n1}); \\
 I_1 = I_{01} + I_n k_f; \quad I_{01} = jE_1 x_{n1}; \\
 P_{мех} = P_n + P_{гг} + P_{гф} + P_{гн} + P_n + P_n + P_{гн} + \\
 + P_{мо} + P_{фн} + P_{мг} + P_{мгн} + P_{гг};
 \end{cases} \quad (4)$$

где $s = \frac{\omega_{ан} - \omega_1}{\omega_1}$ — скольжение; r_1 и x_1 — активные и индуктивные сопротивления; $I_{a1}, I_{r1}, (I_{f1})$ — токи намагничивания ГО и возбuditеля; θ_a — углы, учитывающие изменение характера угла; k_p — относительное значение выходного напряжения ТС при ШИМ; $P_{мех}, P_{\text{пол}}$ — соответственно механическая мощность приводного двигателя и полезная мощность нагрузки; $P_{\sigma 1}, P_{\sigma 2}, P_{\sigma 3}, P_{\sigma 4}, P_{\sigma 5}, P_{\sigma 6}, P_{\sigma 7}, P_{\sigma 8}, P_{\sigma 9}$ — электрические потери в статорной и роторной обмотках ГО и ВСС в первичной и вторичной обмотках ТС, на вентилях и на искажение ПЧ; $P_{\text{мг}}, P_{\text{сд}}, P_{\text{мгн}}, P_{\text{сдт}}, P_{\text{мг}}$ — основные и добавочные магнитные потери ГО, ВСС и ТС; $P_{\text{тр}}, P_{\text{в}}$ — потери на трение и вентиляцию машины.

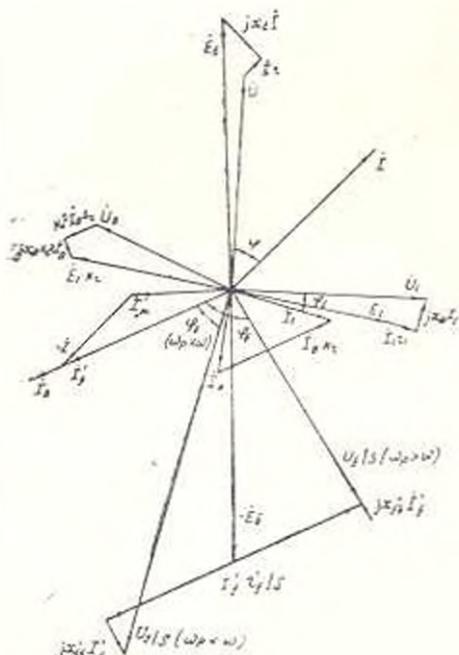


Рис. 2. Векторная диаграмма ГАА со статическим возбудителем в режиме нижесинхронных частот вращения.

При этом параметры ГО обозначены без специального индекса, параметрам обмотки ротора ГО присвоен индекс „f“, параметрам возбuditеля — соответственно индексу „В“, первичной и вторичной обмотке ТС — индексу „1“ и „2“, параметром взаимной индукции — индексом „af“.

В этих уравнениях осуществлено приведение всех звеньев системы ГАА (роторная цепь) к единой синхронной частоте ω_1 , что позволяет представить на одном рисунке (рис. 2) общую векторную диаграмму системы ГАА и построить общую схему замещения системы (рис. 3), исключив из нее ПЧ, заменив его и эквивалентный трансформатор с параметрами z_{11} и z_{21} , учитывающими коэффициенты k_u и k_p . На векторной диаграмме системы ГАА с ТС имеет место соответствующее изменение направления напряжения $U_1 (U_2)$ при нижесинхронных частотах вращения, а схема замещения ГАА с ВСС включает дополнительные сопротивления $r_1 \left(-\frac{1}{s} - 1\right)$ и ЭДС $U_2 \left(-\frac{1}{s} - 1\right)$, появление которых обус-

ловлено приведением вращающейся части ГАА к неподвижному. Направления этих величин изменяются с изменением знака скольжения s , причем в первом случае преобразование энергии происходит соответственно асинхронному принципу, а во втором — синхронному при-

ципу ГАА. В нижесинхронных режимах работы обладает свойствами источника тока статорная цепь возбудителя, а в вышесинхронных режимах — роторная цепь ГО. Момент перехода обусловлен равенством $\cos \varphi = 0$.

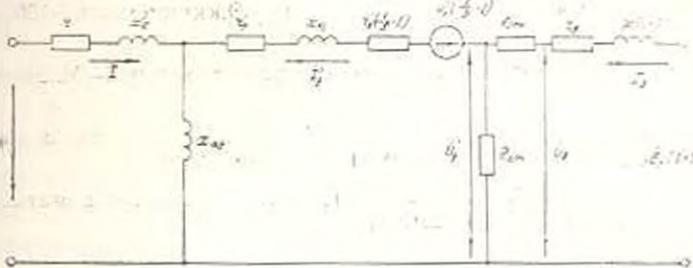


Рис. 3 Схема замещения системы ГАА.

В отличие от синхронного генератора энергия к статору ГАА подводится двумя путями: электромеханическим путем от вала и электромагнитным, через цепь ротора от системы возбуждения. При этом для ГАА с ВСС разделение энергетического потока, подводимого от дизеля, происходит механическим путем через вращающийся вал системы, а для ГАА с ТС — электрическим путем через статорную цепь ГО.

Ա. Ա. ՍԱՅԱՐՅԱՆ, Վ. Ի. ՉԻՏԵՉՅԱՆ, Վ. Գ. ԲՈՒՌՆՈՋՅԱՆ,
 Հ. Հ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Ս. Ա. ԳԱՐՈՒՆԱՆՅԱՆ

**ԿԱՅՈՒՆԱՅՎԱԾ ՌԵԺԻՄՆԵՐՈՒՄ ԻՆՔՆՈՒՐՈՒՅՆ ԱՍԻՆԿՐՈՆԱՅՎԱԾ
 ԳԵՆԵՐԱՏՈՐՆԵՐԻ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԵՍԱԿԱՆ ՊԻՐՅԵՍՆԵՐԻ
 ՅՈՒՐԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Ուսումնասիրվում և ընդ տեղացվում են էլեկտրամագնիսական երևույթ-
 ների յուրահատկությունները մասնակազմավորված գրգռիչով ասինխրոնացված
 գեներատորներում: Ստացված և նորմալ կայունացված ուժի մի հավասարում-
 ները, որոնց հիման վրա կատարվում են համակարգի փոխարինման սխեման
 և վեկտորային դիագրամը: Ուսումնասիրվում է էներգիայի էլեկտրոմեխանի-
 կական փոխակերպման երևույթը: Հետազոտությունների արդյունքները հիմք
 են հանդիսանում ինքնուրույն ասինխրոնացված գեներատորների համակարգի-
 ռի նախագծման և ստեղծման համար:

1. Орлов А. П., Пустыльников В. А., Савосжихин В. В. Перспективы развития дизель-электрических установок с переменной частотой вращения // Судостроение.— 1976.— № 10.— С. 28—29.
2. Еремюк В. Г. Система синхронный генератор—преобразователь частоты—асинхронизированный синхронный генератор // Электротехника.— 1966.— № 6.— С. 37—39.
3. Шакарня Ю. П. Асинхронизированные синхронные машины — М.: Энергостомиздат, 1981.— 193 с.
4. Shkarinya Ju., Chibrikova V., Safarian A. Doubled machines in automatic power System // ISEI. — 1981. — P III. — P. 1068—1072
5. Дюдожи А., Пелли Б. Сверхмощные полупроводниковые преобразователи частоты.— М.: Энергостомиздат, 1983—400 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XIII, № 1, 1985

ГИДРОТЕХНИКА

Р. М. БАРСЕГЯН, В. А. САГАТЕЛЯН

ЗАДАЧА ФИЛЬТРАЦИИ В ДЕФОРМИРУЕМЫХ ГРУНТАХ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ФАЗАМИ ГРУНТА

Основные уравнения фильтрации в деформируемых водонасыщенных грунтах с учетом изменения соотношений между жидкой и твердой фазами грунта в процессе фильтрации даны в работе [1]. При выводе основных уравнений использовано уравнение равновесия для нестационаризованного состояния, которое позволяет учитывать изменение соотношений между фазами грунта для любого момента времени.

Одно из уравнений, приведенных в [1], имеет вид

$$\left(1 + \frac{e_{cp}}{\alpha E_w}\right) \frac{\partial H}{\partial t} = - \frac{(\gamma - \gamma_s) k}{\gamma(1 + e_{cp})} \frac{\partial H}{\partial z} \Big|_{z=0} + \frac{(1 + e_{cp}) k}{\gamma \alpha} \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} - S(t) \frac{\gamma e_{cp} + \gamma_s}{\gamma(1 + e_{cp})}, \quad (1)$$

где $H = H(z, t)$ — искомый напор; e_{cp} — осредненный коэффициент пористости грунта; α — коэффициент уплотнения грунта (грунт не обладает структурной прочностью); E_w — модуль объемного сжатия воды; γ — объемный вес воды; γ_s — удельный вес скелета грунта; k — коэффициент фильтрации. $S(t)$ — осадка слоя грунта в момент времени t .