

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].

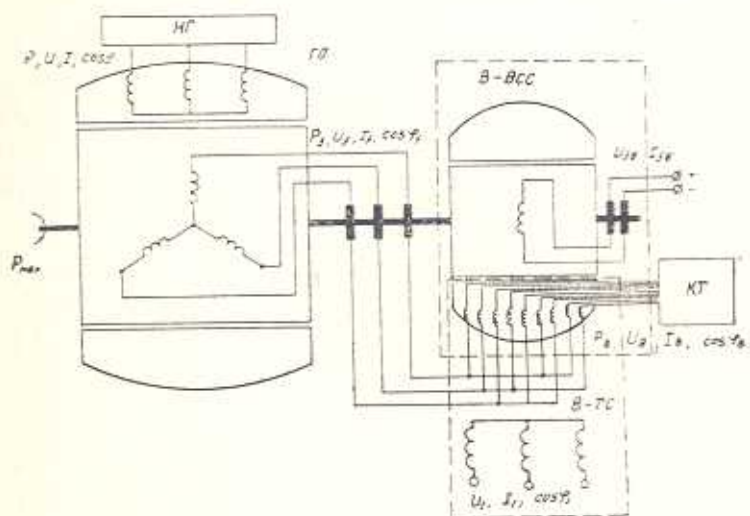


Рис. 1. Блок-схема ГАА с вращающимся и статическим возбудителем.

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 вентиля, 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 тсками 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 $\omega_{\text{вр}}$, коммутации ω_k и ротора ГО ω_s 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:

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

5. Определение токов I_u и напряжений U_u возбудителя в зависимости от величин I_f 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]:

$$\begin{cases} k_u = \frac{U_f}{U_c} = \frac{\sin \pi/s_k}{\pi/s_k}; \\ k_i = \frac{I_c}{I_f} = \frac{k_u k_s}{\sqrt{N}}, \end{cases} \quad (2)$$

где U_c и I_c —соответственно напряжение и ток секции; S_k —число основных коммутирующих ключей (числе пульсаций); k_s —коэффициент, учитывающий неравномерность загрузки фазных полуобмоток ВСС [2].

6. С целью упрощения силовой части ПЧ входные (питающие) обмотки ПЧ делятся на полуобмотки (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_u эквивалентной нерасщепленной фазы воз-

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

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 $I_2(s)$ 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 ГАА, описывающая электромагнитные процессы комплекса в нормальном установившемся режиме:

Система ГАА — ВСС —

$$\begin{cases}
 \dot{U} = \dot{E}_a - I(r + jx_s); \\
 \dot{U}_f/s = -\dot{E}_a + I_f(r_f + jx_{f0}) + I_f r_f \left(-\frac{1}{s} - 1\right); \\
 I_f = I_{f0} + I; \quad I_{f0} = j\dot{E}_a/x_{f0}; \\
 \dot{U}_u = \dot{U}_f k_u e^{j\varphi_u}; \quad I_u = I_f k_i; \\
 \dot{U}_u = \dot{E}_{in}(1+s) - I_u[r_u + jx_{u0}(1+s)]; \\
 I_{fa} = I_{f00} + I_u; \quad I_{f00} = j\dot{E}_{in}/x_{f00}; \\
 P_{\text{мех}} = P_u + P_{\text{sc}} + P_{\text{sf}} + P_{\text{об}} + P_{\text{v}} + P_u + P_{\text{фа}} + \\
 + P_{\text{мг}} + P_{\text{фм}} + P_{\text{мо}} + P_{\text{маг}} + P_{\text{мло}} + P_{\text{тг}} + P_{\text{тв}};
 \end{cases} \quad (3)$$

Система ТС —

$$\begin{cases}
 \dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + I_1(r_1 + jx_{s1}); \\
 \dot{U}_u = k_r \dot{E}_1 - I_u k_r^2 (r_2' + jx_{s2}'); \\
 I_1 = I_{01} + I_u k_r; \quad I_{01} = j\dot{E}_1/x_{m1}; \\
 P_{\text{мех}} = P_u + P_{\text{sc}} + P_{\text{sf}} + P_{\text{с1}} + P_{\text{v}} + P_u + P_{\text{с2}} + \\
 + P_{\text{мг}} + P_{\text{фм}} + P_{\text{мг}} + P_{\text{маг}} + P_{\text{тг}};
 \end{cases} \quad (4)$$

где $s = \frac{\omega_{ap} - \omega_1}{\omega_1}$ — скольжение; r_i и x_i — активные и индуктивные сопротивления; $I_{f\phi}$, $I_{f\phi_0}$ (I_{f1}) — токи намагничивания ГО и возбuditеля; θ_u — углы, учитывающие изменение характера угла; k_p — относительное значение выходного напряжения ТС при ШИМ; $P_{\text{мех}}$, P_u — соответственно механическая мощность приводного двигателя и полезная мощность нагрузки; $P_{\text{ст}}$, $P_{\text{р}}$, $P_{\text{вс}}$, $P_{\text{фс}}$, $P_{\text{с1}}$, $P_{\text{с2}}$, $P_{\text{с}}$, $P_{\text{н}}$ — электрические потери в статорной и роторной обмотках ГО и ВСС в первичной и вторичной обмотках ТС, на вентилях и на искажение ПЧ; $P_{\text{мг}}$, $P_{\text{мг}^*}$, $P_{\text{мг}^0}$, $P_{\text{мг}^1}$, $P_{\text{мг}^2}$, $P_{\text{мг}}$ — основные и добавочные магнитные потери ГО, ВСС и ТС; $P_{\text{тр}}$, $P_{\text{в}}$ — потери на трение и вентиляцию машин.

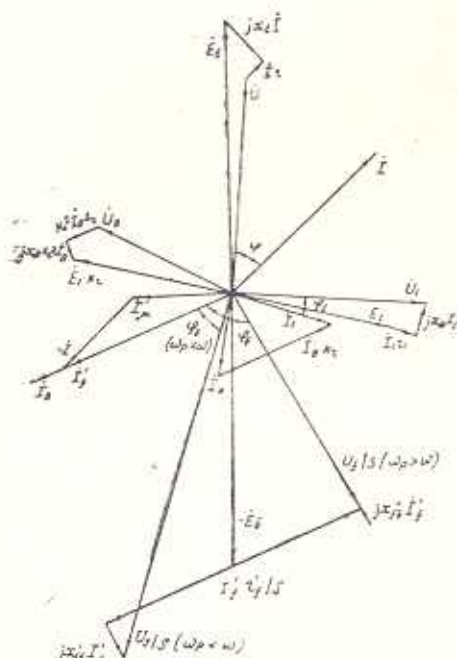


Рис. 2. Векторная диаграмма ГАА со статическим возбудителем в режиме несинхронных частот вращения.

При этом параметры ГО обозначены без специального индекса, параметрам обмотки ротора ГО присвоен индекс „f“, параметрам возбuditеля — соответственно индексе „в“, первичной и вторичной обмотке ТС — индексе „1“ и „2“, параметром взаимной индукции — индексе „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_{1n} и z_{2n} , учитывающими коэффициенты k_u и k_i . На векторной диаграмме системы ГАА с ТС имеет место соответствующее изменение направления напряжения U_u (U_r) при несинхронных частотах вращения, а схема замещения ГАА с ВСС включает дополнительные сопротивления $r_f \left(-\frac{1}{s} - 1\right)$ и ЭДС $U_f \left(-\frac{1}{s} - 1\right)$, появление которых обусловлено 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-

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

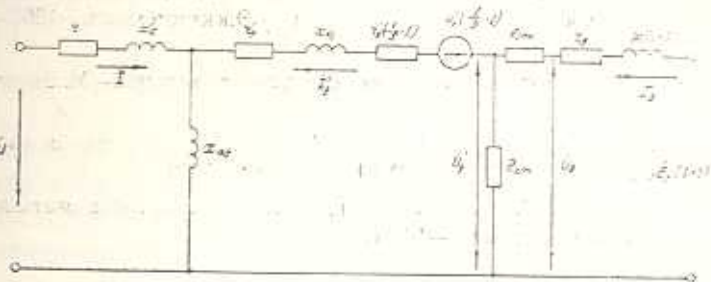


Рис. 3. Схема замещения системы ГАА.

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. Վ. ՄԱՅՐՅԱՆ, Վ. Ի. ՉԻՏԵՉՅԱՆ, Վ. Գ. ԲՈՒՌՆԱՉՅԱՆ,
Հ. Հ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Ս. Ա. ՊԱՐՈՒՆԱՅՅԱՆ

ԿԱՅՈՒՆԱՅՎԱԾ ՌԵԺԻՄՆԵՐՈՒՄ ԻՆՔՆՈՒՐՈՒՅՆ ԱՍԻՆԿՐՈՆԱՅՎԱԾ
ԳԵՆԵՐԱՏՈՐՆԵՐԻ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԵՍԱԿԱՆ ՊՐՈՑԵՍՆԵՐԻ
ՅՈՒՐԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Ուսումնասիրվում և ընդհանրացվում են էլեկտրամագնիսական երևույթների յուրահատկությունները մասնակազմավորված գրգռչով ասինխրոնացված գեներատորներում: Ստացված են նորմալ կայունացված ուժիմի հավասարումները, որոնց հիման վրա կառուցվում են համակարգի փոխաբերման սխեման և վեկտորային դիագրամը: Ուսումնասիրվում է էներգիայի էլեկտրոմեխանիկական փոխակերպման երևույթը: Հետազոտությունների արդյունքները հիմք են հանդիսանում ինքնզբույն ասինխրոնացված գեներատորների համակարգերի նախագծման և ստեղծման համար:

1. Орлов А. В., Пугачинский В. А., Саложников В. В. Перспективы создания дизель-электрических установок с переменной частотой вращения // Судостроение.—1976.—№ 10.—С. 28—29.
2. Еремко В. Г. Система синхронный генератор—преобразователь частоты—асинхронизированный синхронный генератор // Электротехника.—1966.—№ 6.—С. 37—39.
3. Шакарян Ю. Г. Асинхронизированные синхронные машины.—М.: Энергостомиздат, 1984.—153 с.
4. Shakharian Ju., Chitechian V., Sadjarian A. Doubled fed machines in autonomous power System // ICEM. — 1981. — P. III. — P. 1068—1072
5. Дюдожи Л., Пелли Б. Силовые полупроводниковые преобразователи частоты.—М.: Энергостомиздат, 1983.—400 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. ХLI, № 1, 1988

ГИДРОТЕХНИКА

Р. М. БАРСЕГЯН, В. А. САГАТЕЛЯН

ЗАДАЧА ФИЛЬТРАЦИИ В ДЕФОРМИРУЕМЫХ ГРУНТАХ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ СООТНОШЕНИИ 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

$$\left(1 + \frac{e_{cp}}{aE_w}\right) \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{(\gamma - \gamma_s) k}{\gamma(1 + e_{cp})} \frac{\partial H}{\partial z} \Big|_{z,t} + \frac{(1 + e_{cp}) k}{\gamma a} \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} - s'(t) \frac{\gamma e_{cp} + \gamma_s}{\gamma(1 + e_{cp})}, \quad (1)$$

где $H = H(z, t)$ — искомый напор; e_{cp} — осредненный коэффициент пористости грунта; a — 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 .