

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

О.Ю. Кондратюк, А.Б. Егоров

(Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков)

*Проанализирована схема замещения асинхронного генератора и на основании этого выведена зависимость напряжения от параметров ветроустановки.*

### ***асинхронный генератор, схема замещения***

Негативное влияние энергетики на экологическую обстановку и преимущественно экстенсивный характер ее развития привели к такому состоянию, когда объемы потребления традиционных энергоресурсов достигли планетарных масштабов, что, с одной стороны, грозит их исчерпанием и «энергетическим голодом», а с другой – метаморфозой окружающей среды в направлении ее деградации и полного уничтожения ноосферы. В связи этим развитию нетрадиционных возобновляемых источников энергии и в первую очередь ветроэнергетике уделяется большое внимание. Суммарная мощность ветроэлектростанций (ВЭС) всего мира в 1998 году составила порядка 9000 МВт.

Значительное внимание развитию ветроэнергетики уделяется в Украине. В Национальной энергетической программе Украины до 2010 года предусматривается строительство ВЭС общей мощностью 2000 МВт и в частности Донузлавской – 500 МВт, Новоазовской – 50 МВт, Аджигольской, Восточно-Крымской, Черноморской. Принятию этой программы предшествовала работа по составлению схемы районирования территории Украины по средней годовой скорости ветра [1]. Юг Донецкой области находится в районе со средней годовой скоростью ветра 4,75 – 5,25 м/с. Более высокие показатели средней годовой скорости ветра до 5,75 м/с имеют районы Крыма и Карпат.

Отличительной особенностью работы ветродвигателя является его работа в условиях непрерывной пульсации скорости ветра. Целью работы является разработка математической модели ВЭС по полным дифференциальным уравнениям элементов и исследование динамических режимов ее работы.

Обычной схемой ВЭС, представленной на рис. 1, является параллельная работа нескольких генераторов на общие шины с последующей

выдачей мощности через повышающий трансформатор в линию высокого напряжения. В указанной схеме к источнику питания с напряжением  $U_s$  через трансформатор с активным сопротивлением  $R_t$  и индуктивностью  $L_t$  подключены шунт  $R_{ш}$ ,  $L_{ш}$ , два асинхронных генератора  $G_1$ ,  $G_2$  и суммарная емкость их системы возбуждения  $C$ .

Асинхронный генератор с конденсаторным самовозбуждением представляет собой обычный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором в котором происходит электромагнитное преобразование механической энергии вращения ротора в электрическую энергию генерируемого тока. Синусоидальные колебания напряжения на статорных обмотках генератора являются результатом автоколебательного процесса в LC-колебательном контуре,

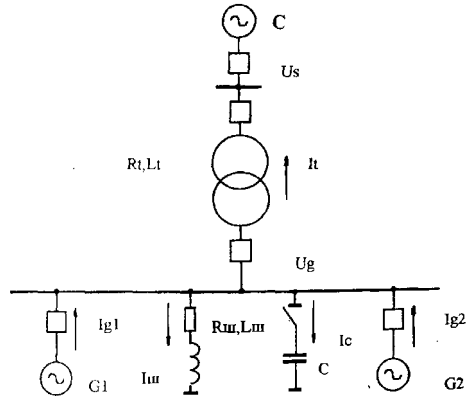


Рис. 1. Схема замещения ВЭС

образованном индуктивностью генератора и емкостью конденсаторов возбуждения. Асинхронный генератор может быть представлен в виде двухконтурной схемы замещения (рис. 2).

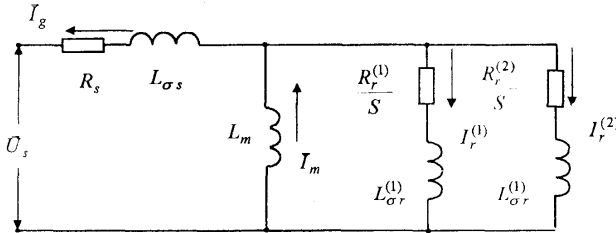


Рис. 2. Схема замещения АГ

В соответствии с уравнениями обобщенной электрической машины [2] дифференциальные уравнения АГ для схемы рис 2 можно представить в виде:

$$\begin{aligned}
 0 &= U_g + R_s * I_g + p * \Psi_s + j\omega_k * \Psi_s; \\
 0 &= R_r^{(1)} * I_r^{(1)} + p\Psi_r^{(1)} + j(\omega_k - \omega) * \Psi_r^{(1)}; \\
 0 &= R_r^{(2)} * I_r^{(2)} + p * \Psi_r^{(2)} + j(\omega_k - \omega) * \Psi_r^{(2)}; \\
 p\omega &= j(M_t - M_e),
 \end{aligned}$$

где  $R_s, R_r^{(i)}, L_{\sigma s}, L_{\sigma r}^{(i)}, i = 1, 2$  – активные сопротивления и индуктивности рассеяния статора и ротора;  $L_m$  – индуктивность взаимной индукции;  $\Psi_s, \Psi_r^{(i)}, \Psi_m$  – потокоцепления статора, роторных контуров и ветви намагничивания;  $I_g, I_r^{(i)}$  – токи статора и роторных контуров;  $M_e$  – электромагнитный момент генератора;  $M_t$  – момент вращения ветротурбины.

До включения конденсаторов возбуждения АГ напряжение  $U_g$  может быть определено из уравнения баланса токов в узле в дифференциальной форме:

$$pI_t + pI_m - pI_g + j\omega_k (I_t + I_m - I_g) = 0.$$

После подстановки составляющих можно получить:

$$U_g = \frac{1}{Y} \left( \frac{U_s}{L_t} + \frac{R_t}{L_t} I_t + \frac{R_m}{L_m} I_m - \frac{R_s}{L_{\sigma s}} (1 - A_s) I_g - \frac{E_r}{L_{\sigma s}} \right),$$

где  $E_r = \sum_{i=1}^2 A_r^{(i)} (p\Psi_r^{(i)} + j\omega_k \Psi_r^{(i)})$  – эквивалентная ЭДС;  
 $Y = \frac{1}{L_r} + \frac{1}{L_m} + \frac{1 - A_s}{L_{\sigma s}}$  – собственная индуктивность;  $A_s = \frac{L_{sr}}{L_{\sigma s}}$ ;  $A_r^{(i)} = \frac{L_{sr}}{L_{\sigma s}^{(i)}}$ .

Взаимосвязь между параметрами ветра (средняя скорость, порывистость), ветроколеса (число модулей, угол разворота лопастей) и моментом ветротурбины является достаточно сложной [3], однако при исследовании электромагнитных переходных процессов с частотой затухания менее 0,5 с величина  $M - p$  может быть принята постоянной.

Исходя из выше сказанного, можно сделать вывод, что необходимо для определения напряжения асинхронного генератора составить программу для ПЭВМ и решить уравнение для определения  $U_g$ . Это позволит исследовать следующие режимы: включение в сеть невозбужденного генератора, включение конденсаторов возбуждения, короткие замыкания в сети генераторного напряжения, взаимное влияние генераторов.

Полученные данные могут быть использованы при наладке устройств защиты и автоматики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Васько П.Ф., Брыль А.А., Пекур П.П. *Определение технических показателей эффективности использования ветроэлектрических агрегатов в Украине // Энергетика и электрификация. – 1995. – Т. 2. – С. 48-51.*
2. Ковач К.П. *Переходные процессы в машинах переменного тока. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 744 с.*
3. Шефтер Я.И. *Использование энергии ветра. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 200 с.*

Поступила 12.04.2006

**Рецензент:** доктор технических наук, профессор С.Ф. Артюх,  
Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.