

УДК 621.548

С.А.Кудря, докт. техн. наук, Ю.Н.Перминов, канд. техн. наук, В.Ф.Буденный, канд. техн. наук  
(Ин-т возобновляемой энергетики НАН Украины, Киев)

### Процесс самовозбуждения автономного асинхронного генератора

*В статье проведен анализ самовозбуждения автономного асинхронного генератора в зависимости от емкости конденсаторов, остаточной намагниченности ротора и скорости вращения ротора.*

*У статті проведено аналіз самозбудження автономного асинхронного генератора в залежності від ємності конденсаторів, залишкової намагніченості ротора та швидкості обертання ротора.*

Для самовозбуждения асинхронного генератора необходимо наличие остаточного магнетизма в стали машины [1] после пребывания ее в намагниченном состоянии. Остаточный магнитный поток ротора наводит в статорной обмотке ЭДС холостого хода  $E_0$ . Этот поток имеет незначительную величину по сравнению с машинами с активным возбуждением, поэтому величина ЭДС  $E_0$  определяется величиной всего в несколько вольт. Очевидно, что процесс самовозбуждения является ключевым в обеспечении работоспособности машины.

Увеличение ЭДС  $E_0$  возможно за счет параллельно подключенных конденсаторов, создающих реактивный емкостной ток, который, протекая по статорным обмоткам, вызывает увеличение магнитного потока и ЭДС  $E_0$ . Увеличение напряжения на зажимах емкости сопровождается увеличением реактивного тока и подмагничивания машины. Процесс нарастания напряжения происходит до установившегося состояния, которое определяется пересечением характеристики намагничивания  $E_\phi = f(I_M)$  с вольт-амперной характеристикой подключенной емкости  $U_\phi = f(I_C)$  (рис. 1).

При малых значениях  $E_0 = 0a$  вольт-амперная характеристика емкости ОМ может пересечь магнитную характеристику машины  $E_\phi = f(I_M)$  в нескольких точках KLA, поэтому процесс нарастания напряжения закончится в точке К и генератор не возбуждётся. Это произой-

дет и при  $E_0 = 0L$ . При  $E_0 = 0C$  машина возбуждётся до напряжения, близкого к номинальному – ОН, т.е. необходимо достаточное значение ЭДС остаточного магнетизма. Для этого необходимо увеличить емкость конденсаторов, что обусловит уменьшение наклона вольт-амперной характеристики конденсаторов.

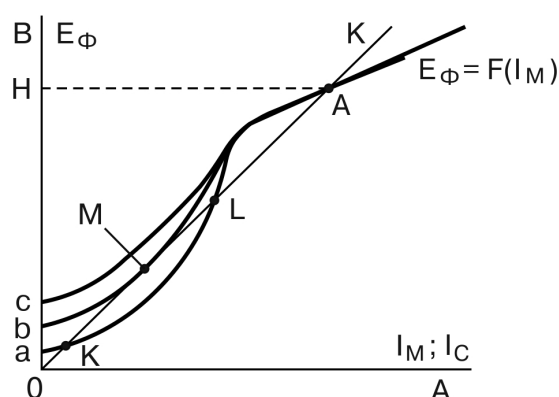


Рис. 1. Влияние ЭДС остаточного магнетизма на процесс самовозбуждения асинхронного генератора.

В том случае, если увеличение емкости недопустимо, необходима более высокая скорость ветротурбины.

Длительность установления постоянного напряжения зависит от мощности генератора, числа оборотов, величины емкости. При малых емкостях необходимо больше времени для возбуждения генератора до напряжения, близкого к установившемуся значению. Повышение емкости приводит к повышению напряжения генератора и реактивного тока, подмагничивающего машину. Пуск генератора необходимо осуществлять при подключенной емкости. При отключении емкости напряжение генератора падает.

При завышенной емкости возникает большой реактивный ток и происходит насыщение магнитной цепи. Автономный асинхронный генератор с конденсаторным возбуждением генерирует колебания с частотами, определяемыми резонансом возбуждающей емкости с полной индуктивностью фазы статора при холостом ходе  $L_1$  и индуктивностью рассеяния  $L_2'$ , определяемой общим коэффициентом рассеяния генератора  $\sigma$ :

$$\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_1 \cdot L_2'} \quad (1)$$

где  $L_1$  – полная индуктивность фазы статора при холостом ходе;  $L_2'$  – приведенная полная индуктивность фазы ротора при холостом ходе.

Круговая частота генерируемых колебаний равна:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \frac{1}{\sqrt{L_1 \cdot C}}; \\ \omega_1' &= \frac{1}{\sqrt{\sigma \cdot L_1 \cdot C}}. \end{aligned} \quad (2)$$

Возбуждение может произойти, если скорость вращения ротора соответствует круговой скорости вращения:

$$\omega_2 = \omega_1(1 - S), \quad (3)$$

где  $S$  – скольжение ротора.

На холостом ходу скорость вращения ротора будет почти равна скорости вращения поля ротора.

Для получения возбуждения автономного асинхронного генератора от конденсаторов ротор необходимо вращать со скоростью:

$$n_2 = \frac{30 \cdot \omega_1}{\pi \cdot \rho}, \quad (4)$$

где  $\rho$  – число пар полюсов машины.

Так как скорость вращения ветроколеса изменяется непредсказуемым образом, то процесс самовозбуждения является неустойчивым.

При подстановке в (4) значения  $\omega_1$  (2) получим число оборотов, которое должен иметь ротор для самовозбуждения машины:

$$n_2 = \frac{30}{\pi \rho \sqrt{L_1 \cdot C}}. \quad (5)$$

При холостом ходе автономного асинхронного генератора с конденсаторным возбуждением частота генерируемых колебаний  $f$  находится в линейной зависимости от скорости вращения ротора:

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 \cdot C}}. \quad (6)$$

Индуктивность фазы статора  $L_1$  равна сумме индуктивности рассеяния статора  $L_{S1}$  и взаимной индуктивности статора и ротора:

$$L_1 = L_{S1} + M. \quad (7)$$

Индуктивность  $L_{S1}$  при изменении тока до номинального значения можно считать постоянной [2].

Взаимная индукция статора и ротора  $M$  зависит от ЭДС, наводимой вращающимся полем в статорной обмотке.

Полная индуктивность фазы статора при холостом ходе:

$$L_1 = \frac{U_{\phi 0}}{\omega \cdot I_M}, \quad (8)$$

где  $U_{\phi 0}$  и  $I_M$  – могут быть найдены из зависимости (рис. 1).

Производя расчеты для точек магнитной характеристики (рис. 1), можно получить зависимость  $L_1 = f(U_{\phi 0})$  при  $\omega_1 = const$ .

Самовозбуждение может возникнуть только в точке, соответствующей максимальному значению полной индуктивности фазы ротора при холостом ходе  $L_{\max}$ .

Из (5) следует, что процесс самовозбуждения асинхронной машины с определенной емкостью, подключенной к статорной обмотке, может начаться только в том случае, если ротор будет приведен ветротурбиной во вращение с минимальной критической скоростью  $n_0$ , которую можно определить, если в (5) подставить значение полной индуктивности фазы статора при холостом ходе  $L_{\max}$ .

Тогда критическая скорость вращения будет равна:

$$n_0 = \frac{30}{\pi \rho \sqrt{L_{\max}} \cdot C}. \quad (9)$$

Из (9) следует, что критическая скорость вращения зависит только от величины возбуждающей емкости. При малой емкости самовозбуждение начнется при высокой скорости вращения ротора  $n_2$  и соответствующая частота генерируемых колебаний  $f_0$  будет велика. При больших емкостях конденсаторов процесс самовозбуждения возникает при небольшой скорости вращения ротора  $n_2$  и дает колебания  $f_0$  малой частоты. Если скорость вращения ротора от ветроколеса упадет ниже критической, то процесс самовозбуждения исчезнет и напряжение упадет до нуля.

Из исследования режимов работы асинхронного генератора при холостом ходе можно сделать следующие **выводы**:

1. Возбуждение асинхронного генератора при холостом ходе от статических конденсаторов может быть устойчивым при соответствующей емкости конденсаторов.

2. Напряжение и ток холостого хода асинхронного генератора при постоянной скорости вращения возрастают с увеличением емкости конденсаторов.

3. Частота колебаний напряжения пропорциональна скорости вращения ротора. При постоянной возбуждающей емкости изменение скорости вращения ротора сопровождается изменением частоты, напряжения и намагничивающего тока.

4. Самовозбуждение асинхронной машины с определенной емкостью может начаться только при минимальной критической скорости. Учитывая, что ветротурбина имеет широкий диапазон изменения скорости вращения, процесс самовозбуждения может не состояться.

1. Мхитарян Н.М., Кудря С.А., Перминов Ю.Н., Буденный В.Ф. Анализ некоторых особенностей синхронных и асинхронных генераторов, используемых в качестве автономных источников энергии // *Відновлювана енергетика*. – 2010. – №2. – С. 7–9.

2. Рихтер Р. Электрические машины: Пер. с нем. – Л.-М.: ГОНТИ, 1939. – Т. IV. – С. 210.

МІЖНАРОДНИЙ ІНВЕСТИЦІЙНИЙ БІЗНЕС-ФОРУМ З ПИТАНЬ  
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

ІІІ СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

# ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ 2012

АЛЬТЕРНАТИВНА ТА ПОНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ  
ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ В ЕНЕРГЕТИЦІ, ПРОМИСЛОВОСТІ, БУДІВНИЦТВІ, ЖКГ, АПК

# 6-9

## ЛИСТОПАДА



Технічний партнер: **ReutMedia**

**Організатор:**  
Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України

**Співорганізатор:**  
Міжнародний виставковий центр

**За підтримки:**  
Міністерства охорони навколишнього природного середовища України  
Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України  
Державного комітету України з водного господарства



**МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**  
Україна, Київ, Броварський пр-т, 15  
М "Лівобережна"

☎ +38 044 590-59-65, 201-11-59  
✉ [pressanaer@ukr.net](mailto:pressanaer@ukr.net), [lyudmila@iec-expo.com.ua](mailto:lyudmila@iec-expo.com.ua)  
[www.iec-expo.com.ua](http://www.iec-expo.com.ua), [www.tech-expo.com.ua](http://www.tech-expo.com.ua)