

К ПОСТРОЕНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ ПО СИСТЕМЕ «ТУРБОДЕТАНДЕР–АСИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР–ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ»

Технология транспортировки газа от газовой магистрали к потребителю предусматривает понижение давления от 5,5-7,4 МПа в магистрали до 0,3-1,2 МПа у потребителя. В газотранспортной системе Украины эксплуатируется свыше 1600 газораспределительных станций (ГРС) и более 51000 газорегулирующих пунктов (ГРП), которые нередко располагаются в удалении от линий электроснабжения, тогда как для целей освещения, катодной защиты, ремонтных работ и других собственных нужд ГРС и ГРП требуются источники электроэнергии. Подведение линий электроснабжения к подобным потребителям требует значительных капитальных затрат. Поэтому, весьма актуально создание автономного источника электропитания который бы устранял чрезмерные потери от дроселирования и исключал бы необходимость создания линий электроснабжения до ГРС и ГРП. Это может быть обеспечено построением автономного источника электропитания на основе турбодетандера с асинхронным самовозбуждающимся генератором. При этом требуемое качество электрической энергии достигается применением управляемых полупроводниковых преобразователей.

Процедура синтеза структуры электромеханического высокостабильного источника электропитания, разработанного кафедрой «Автоматизированные электромеханические системы» НТУ «ХПИ» по заявке ОАО «Газбогаз» описана в [1]. Спецификой предложенной структуры источника является применение двухуровневой стабилизации для обеспечения постоянства выходного напряжения. Целесообразность обосновывается возможностью полезного использования балластной нагрузки в виде теплоэлектронагревательных элементов (ТЭН), которые с одной стороны подогревают газ, с другой стороны, дают возможность регулирования нагрузки асинхронного генератора посредством широтноимпульсного преобразователя (ШИП) с целью стабилизации его выходного напряжения на первом уровне. Вторая ступень стабилизации обеспечивает с помощью широтноимпульсной модуляции стабильность выходного напряжения автономного инвертора напряжения (АИН) за счет применения внешней отрицательной обратной связи.

Использование в качестве генератора электрической энергии асинхронной машины, дает известные преимущества с точки зрения надежности и массогабаритных показателей, однако при этом необходимо обеспечить надежное самовозбуждение асинхронного генератора (АГ). Различные способы и условия возбуждения подобных генераторов рассматривались в [2,3]. Исследования влияния различных факторов на условия самовозбуждения АГ с конденсаторным возбуждением на основе двухосевой математической модели АМ, учитывающей нелинейность характеристики намагничивания, проведенные авторами средствами компьютерного моделирования в пакете Matlab 6.5, а также на лабораторном стенде, описаны в [4,5]. В качестве выпрямителя, ШИП и инвертора с ШИМ использовались стандартные блоки Matlab 7.0 библиотеки SimPower Systems.

В настоящей работе разрабатывается математическая модель важной составной части общей математической модели источника питания – турбодетандера. Схема отведения газа турбодетандером представлена на рис. 1.

Механическая характеристика турбодетандера, т.е. зависимость момента на валу колеса детандера от скорости вращения в рабочем диапазоне изменения нагрузок, с достаточной для практических целей точностью может быть описана линейной зависимостью рис. 2 кривая 1 [6]. Момент сопротивления со стороны АГ определяется суммой нагрузок ШИП и АИН. При моделировании эта величина вычисляется по математической модели описанной в [4].

При равенстве момента турбодетандера и момента АГ имеет место статический режим с установившейся скоростью вращения. В динамическом режиме движение системы колесо детандера – ротор генератора может быть описано уравнением:

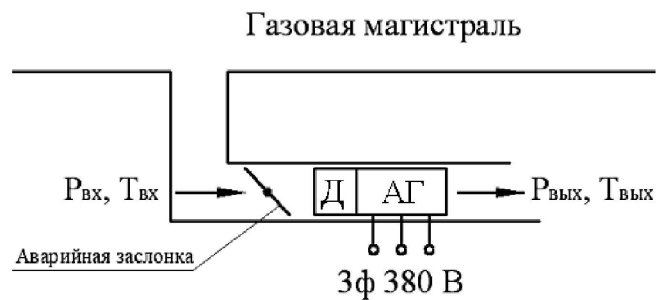


Рисунок 1. Схема отведения газа турбодетандером

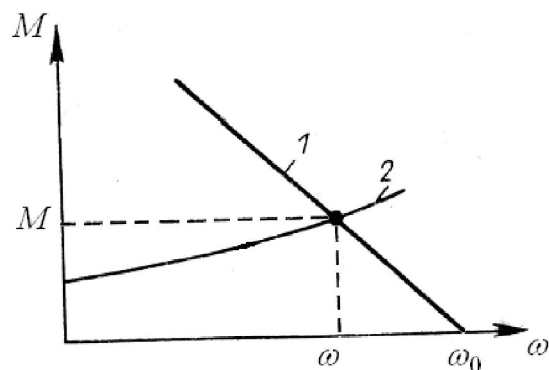


Рисунок 2. Характеристики турбины и генератора

$$J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} = M_{\text{Д}} - M_{\Gamma} \quad (1)$$

где: J_{Σ} - суммарный момент инерции колеса детандера и ротора генератора, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$
 ω - частота вращения ротора детандер-генератора, с^{-1}
 $M_{\text{Д}}$ - механический момент, создаваемый колесом детандера, Нм,
 M_{Γ} - момент сопротивления со стороны генератора, Нм.

Момент на валу детандера выражается механической мощностью N и частотой вращения ротора ω

$$M_{\text{Д}} = \frac{N_{\text{Д}}}{\omega}, \quad (2)$$

Механическая мощность на валу детандера равна:

$$N_{\Gamma} = G_{\Gamma} \cdot L_{\text{д}} \quad (3)$$

где: G_{Γ} - расход газа, $\text{кг}/\text{с}$

$L_{\text{д}}$ - энергия созданная детандером, $\text{Дж}/\text{кг}$.

Расход газа определяется плотностью газа, площадью поперечного сечения, через которое проходит газ, и скоростью его движения:

$$G_{\Gamma} = \rho \cdot S \cdot V, \quad (4)$$

где: ρ - плотность газа, $\text{кг}/\text{м}^3$

S - площадь поперечного сечения, м^2

V - скорость движения газа, $\text{м}/\text{с}$.

При прохождении газа через сопла совершается работа, которая определяется соотношением

$$L_{\text{д}} = C_p \cdot (T_{\text{вх}} - T_{\text{вых}}), \quad (5)$$

где: C_p - удельная теплоемкость газа на единицу массы, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$

$T_{\text{вх}}$ - температура газа на входе в детандер, К

$T_{\text{вых}}$ температура газа на выходе из детандера, К .

Для линеаризованной механической характеристики турбодетандера справедливо:

$$M_{\text{Д}} = (\omega_0 - \omega) \cdot \beta, \quad (6)$$

где: ω_0 - скорость холостого хода детандера;

$\beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega}$ - жесткость механической характеристики детандера.

Подставим (6) в уравнение движения (1), получим:

$$J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} = \omega_0 \cdot \beta - \omega \cdot \beta - M_{\Gamma}, \quad (7)$$

или, разделив левую и правую части на β , дифференциальное уравнение, описывающее движение механического звена колесо детандера – ротор АГ

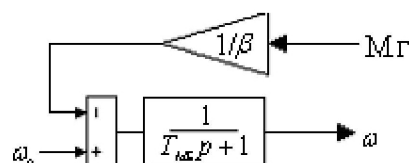
$$T_{\text{М}\Sigma} \cdot \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_0 - \frac{M_{\Gamma}}{\beta}, \quad (8)$$

где: $T_{\text{М}\Sigma} = \frac{J_{\Sigma}}{\beta}$ - механическая постоянная времени звена колесо детандера – ротор АГ.

Данному соотношению соответствует передаточная функция вышеуказанного звена в виде апериодического звена первого порядка.

$$W(p) = \frac{\omega(p)}{\omega_0(p) - \frac{M_{\Gamma}(p)}{\beta}} = \frac{1}{T_{\text{М}\Sigma} p + 1}, \quad (9)$$

В структурной форме звено имеет вид



Выходная координата ω - скорость детандера, является входной для ранее полученной математической модели АГ с самовозбуждением [4], а значение момента нагрузки M_l рассчитывается с учетом данной системы, а также модулей выпрямителя, ШИП и инвертора с ШИМ. При их компьютерном моделировании использовались стандартные блоки Matlab 7.04 библиотеки SimPower Systems. Полная компьютерная модель настоящей системы имеет вид представленный на рис. 3.

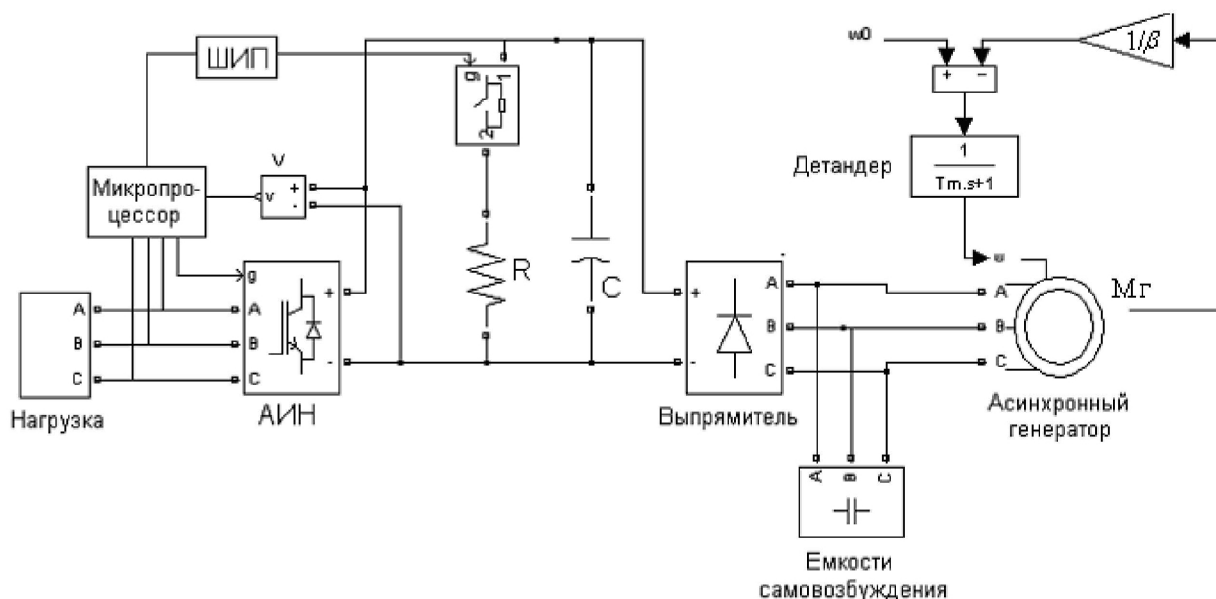


Рисунок 3. Компьютерная модель автономного источника электропитания по системе «Турбодетандер – асинхронный генератор – полупроводниковый преобразователь»

Литература

1. Клепиков В.Б., Колотило В.И., Моисеев А.Н., Банев Е.Ф., Синтез структуры источника электроэнергии для газотранспортной магистрали. // Вестник КГПУ імені Михайла Остроградського 2007 г.
2. Вишневикий Л.В., Пасс А.Е., Системы управления асинхронными генераторными комплексами – К.; Одесса: «Лыбидь», 1990. – 168 с.
3. Асинхронні генератори з вентильним та вентильно-ємнісним збудженням для автономних енергоустановок: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.09.01/Л.І. Мазуренко/НАН України. Ін-т електродинаміки. - К., 2001. - 37 с. - укр.
4. Клепиков В.Б., Колотило В.І., Моисеев О.М., Банев Е.Ф. Дослідження процесів самозбудження в електротехнічній системі «Детандер-асинхронний генератор-інвертор» // Електроінформ. – 2007. №2. – С.6-8.
5. Клепиков В.Б., Колотило В.І., Моисеев О.М. Экспериментальные исследования высокостабильного источника электропитания для газотранспортных сетей. // Вестник КГПУ імені Михайла Остроградського.
6. Кириллов И.И. Автоматическое регулирование паровых турбин и газотурбинных установок. 2008 г.