

А.Н. МОИСЕЕВ, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ"

В.В. ВОИНОВ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ"

РЕЛЕЙНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ АУТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ

Представлена система релейного регулирования автономного источника электропитания для газотранспортных сетей. Составлена расчетная схема системы автоматического регулирования, определена зависимость частоты переключения релейного регулятора в зависимости от коэффициента нагрузки.

Ключевые слова: автономный источник электропитания, турбодетандер, асинхронный генератор, релейный регулятор, конденсаторное самовозбуждение.

Введение. Украинская газотранспортная система насчитывает около 1600 газораспределительных станций (ГРС) и 51000 газораспределительных пунктов (ГРП), основная задача которых, понижать давление магистрального газа. Для обеспечения функционирования электрооборудования на ГРС и ГРП требуются источники электроэнергии. Зачастую, ГРС и ГРП расположены в отдалении от электрических сетей, поэтому подведение к ним линий электроснабжения требует значительных капиталовложений.

В настоящее время понижение давления газа на существующих ГРС и ГРП осуществляется, как правило, путем дросселирования, что сопровождается значительными потерями энергии и выпадением конденсата. Для возврата конденсата в газообразное состояние необходима дополнительная энергия.

Постановка задачи исследований. На кафедре "Автоматизированные электромеханические системы" НТУ "ХПИ" был разработан, создан и запатентован автономный источник электропитания, в котором понижение давления газа осуществляется турбодетандером, а вырабатываемая им механическая энергия преобразуется в электрическую [1, 2]. Нагрузка источника носит переменный характер в зависимости от числа и мощности подключенных потребителей. Известно, что выходное напряжение асинхронного генератора с самовозбуждением существенно зависит от нагрузки [3, 4, 5, 6], в то время как к выходному напряжению автономного источника предъявляются достаточно жесткие требования по стабилизации. В запатентованной схеме предлагается стабилизировать нагрузку АГ с помощью регулируемой балластной

© А.Н. Моисеев, В.В. Воинов

нагрузки, дополняющей общую нагрузку до номинального значения. При этом в качестве балластной нагрузки используются теплонагревательные элементы, осуществляющие подогрев конденсата, необходимого для его перевода в газообразное состояние. Регулирование балластной нагрузки осуществляется широтно-импульсным преобразователем. Известно, что при данном способе управления частота коммутации изменяется с изменением нагрузки.

Цель работы. Оценить диапазон изменения частоты релейного регулятора и определить факторы влияющие на ее изменения.

Материал и результаты исследований. В качестве технического решения системы автоматического регулирования (САР) напряжения инвертора принято релейное регулирование напряжения постоянного тока, питающего инвертор. Это достигается замыканием – размыканием ключа $K_{\text{и}}$, соответственно подключением – отключением балластной нагрузки $R_{\text{б}}$ нагревательных элементов рис. 1.

При этом подключенное либо отключенное состояние $R_{\text{б}}$ определяется релейной характеристикой рис. 2.

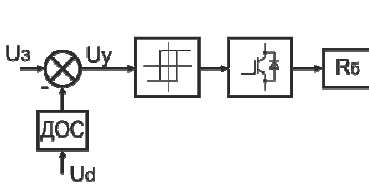


Рис. 1 – Схема релейного регулирования

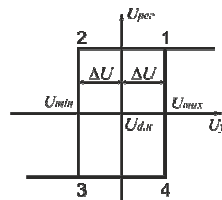


Рис. 2 – Характеристика релейного регулятора

Напряжение управления равно $U_y = U_3 - u_{\text{в}}k_{\text{ос}}$, где U_y – входное напряжение релейного регулятора; $u_{\text{в}}$ – текущее мгновенное напряжение выпрямителя, равное напряжению на его емкости фильтра $C_{\text{ф}}$; $k_{\text{ос}} = U_{3,\text{н}}/U_{d,\text{н}}$ – коэффициент передачи звена обратной связи, равный; U_3 – сигнал задания напряжения U_d .

Расчетную схему принятой релейной САР можно представить в виде рис. 3

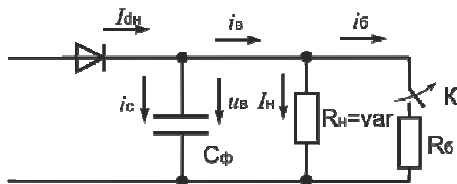


Рис. 3 – Расчетная схема САР напряжения выпрямителя

В данной схеме i_c , i_b , i_v мгновенные значения токов емкости фильтра C_ϕ постоянного тока, потребляемого инвертором и нагревателем балластного сопротивления, I_n средний входной ток инвертора, определяемый нагрузкой R_n , $I_{d.n.}$ средний выпрямленный ток, соответствующий номинальной нагрузке инвертора:

При номинальной нагрузке, равной P_n балластное сопротивление к цепи постоянного тока не подключается. При нагрузке инвертора меньшей номинальной, балластное сопротивление периодически подключается ключом K , обеспечивая средний выпрямленный ток на уровне номинального $I_{d.n.}$ и, тем самым, стабилизируя нагрузку асинхронного генератора (АГ). Если на интервале, предыдущем ключ K был разомкнут, и напряжение на емкости достигло значения $u_v = U_{\max}$, что соответствует точке 1 на релейной характеристике рис. 2, при этом ключ K замыкается, подключая сопротивление R_b , в результате чего происходит увеличение тока i_b , при котором $i_c = I_{d.n.} - i_b$ начинается разряд конденсатора C_ϕ по экспоненциальному закону.

Зависимость частоты коммутации ключа K от нагрузки определяется по формуле (1).

$$f_k = \frac{1}{T} = \frac{\alpha I_{d.n.} (1 - \alpha)}{(U_{\max} - U_{\min}) C_\phi} \quad (1)$$

где $U_{\max}$ - верхняя граница напряжения стабилизации; $U_{\min}$ - нижняя граница напряжения стабилизации; C_ϕ - емкость конденсатора фильтра в звене постоянного тока; $\alpha = I_u / I_{d.n.}$ - коэффициент нагрузки инвертора; I_u - выходной ток инвертора; $I_{d.n.}$ - средний выпрямленный ток; T - период коммутации.

Выражение для f_k можно представить в другом виде, если учесть, что $I_{d.i.} = U_{d.i.} / R_a$:

$$\frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{d.n.}} = 2\Delta U_d, \quad (2)$$

где $\pm \Delta U_d$ - точность регулирования напряжения.

Таким образом, на частоту коммутации влияет нагрузка инвертора, точность поддержания напряжения, емкость сглаживающего фильтра выпрямителя, сопротивление ТЭНов R_b и ширина зоны релейного регулятора ΔU_d

$$f_k = \frac{\alpha(1 - \alpha)}{2\Delta U_d C_\phi R_b} \quad (3)$$

Зависимость частоты коммутации от коэффициента нагрузки, при заданных значениях остальных величин представлены на рис. 4. Значение R_b определяется номинальной мощностью источника $P_n = 10$ кВт.

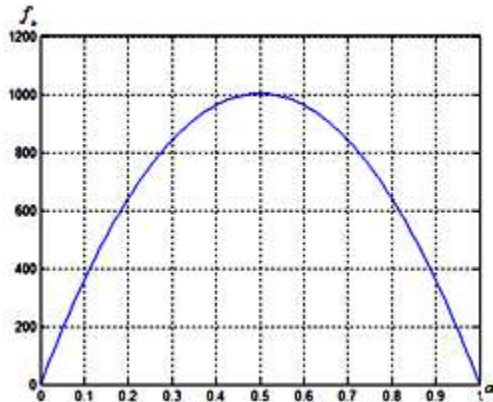


Рис. 4 – Зависимость частоты коммутации от коэффициента нагрузки

Выводы. В результате выполненной работы проведена оценка влияния на частоту f_k коэффициента нагрузки инвертора α , а также величин сопротивления балласта R_6 и емкости сглаживающего фильтра C_Φ . Из (3) видно, что:

$$f_k = 0 \text{ при } \alpha = 0 \text{ и } \alpha = 1. \quad (4)$$

Что так же хорошо согласуется с физикой процесса принятого принципа автоматического регулирования. Действительно, при отсутствии нагрузки инвертора R_6 должен быть постоянно подключен, т.е. ключ K замкнут, а при номинальной нагрузке – отключен – ключ K разомкнут.

Максимальная частота коммутации соответствует экстремуму функции $f_k(\alpha)$, т.е. имеет место при $\frac{df_k}{d\alpha} = 0$

$$1 - 2\alpha = 0; \quad \alpha = \frac{1}{2} \quad (5)$$

Подставив в (3) значения максимальной частоты коммутации и точность регулирования $2\Delta U_d$ можно определить значение емкости сглаживающего фильтра.

Список литературы: 1. Пат. 41977 Україна, МПК H02P 9/00. Джерело автономного електроживлення для газотранспортних мереж / Клепиков В.Б., Колотило В.И., Моисеев А.Н.; власник Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут". – № u200811140; заявл. 15.09.2008; опубл. 25.06.2009, Бюл. №12. 2. Клепиков В.Б., Колотило В.И., Моисеев О.М., Банев С.Ф. Синтез структуры источника электроэнергии для газотранспортной сети // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ. –

2007. – Ч. 2, вип. 4 (45). – С. 29-30. 3. Вишнеvский Л.В., Пасс А.Е. Системы управления асинхронными генераторными комплексами – К.; Одесса: "Либидь", 1990. – 168 с. 4. Асинхронні енергатор из вентильним та вентильно-емнісним 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. 5. Bassett E.D. and F.M. Potter. Capacitive excitation for induction generators. – IEE Transactions on Electrical Engineering. – 1975. – Vol. 54, pp. 540. 6. Клепиков В.В., Колотило В.І., Моїсєєв О.М., Банєв Є.Ф. Дослідження процесів самозбудження в електротехнічній системі "Детандер-асинхронний генератор-інвертор" // Електроінформ. – 2007. – № 2. – С.6-8.

Bibliografy (transliterated): 1. Pat. 41977 Ukraine, MPK H02P 9/00. Djerelo vatonomnogo jilennja dlja gazotransportnich merej. Klepikov V.B., Kolotillo V.I., Moiseev A.N.; – u200811140; zajavl. 15.09.2008; opybl. 25.06.2009, bul. 12. Print. 2. Klepikov V.B., Kolotillo V.I., Moiseev A.N., Banev E.F. "Sintez strukturi istochnika elektroenergiidljz gazotransportnich setei". *Vesnik Kremenchyckogo Visnik derjavnogo yniversiteta imeni Ostrogradskokogo*. Kremenchyk : KDPY. – 4(45) (2007): 29-30. Print. 3. Vishnevskii L. V., Pass A.E., *Sistemi ypravlenija asinchronnimi generatornimi kompleksami*. Kiyv : Odessa: "Libid", 1990. – 168. Print. 4. Asinchronnie generatori s ventilno-emkostnim vozbyjdeniem dlja avtonomnich ystanovok: Avtoref. dis. d-ra texn. nayk: 05.09.01 / L.I. Mazurenko / NAN Ykraini. In-t elektrodinamiki. – Kiyv, 2001. – 37 p. Print. 5. Klepikov V.B., Kolotillo V.I., Moiseev A.N., Banev E.F. "Issledovanie processov samovozbyjdenija v elektromechanicheskoi sisteme "Detander-asinchronnii generator-invertor". *Elektroinform*. 2 (2007): 6-8. Print. 6. Bassett E.D. and F.M. Potter. "Capacitive excitation for induction generators". *IEE Transactions on Electrical Engineering*. 54 (1975): 540. Print.

Поступила (received) 26.03.2015



Моїсєєв Александр Николайович, к.т.н., ст. преподаватель кафедры "Автоматизированные электромеханические системы", Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", г. Харьков.



Войнов Владимир Владимирович, к.т.н., декан Электромашиностроительного факультета Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", г. Харьков