

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

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

## **РЕЛЕЙНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ АВТОНОМНОГО 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  $K_n$ , соответственно подключением – отключением балластной нагрузки  $R_b$  нагревательных элементов рис. 1.

При этом подключенное либо отключенное состояние  $R_b$  определяется релейной характеристикой рис. 2.

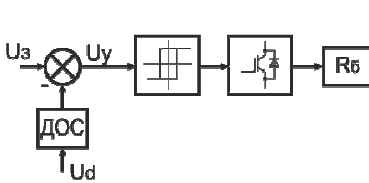


Рис. 1 – Схема релейного регулирования

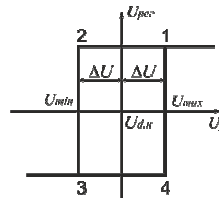


Рис. 2 – Характеристика релейного регулятора

Напряжение управления равно  $U_y = U_z - u_b k_{oc}$ , где  $U_y$  – входное напряжение релейного регулятора;  $u_b$  – текущее мгновенное напряжение выпрямителя, равное напряжению на его емкости фильтра  $C_\phi$ ;  $k_{oc} = U_{z,н}/U_{d,н}$  – коэффициент передачи звена обратной связи, равный;  $U_z$  – сигнал задания напряжения  $U_d$ .

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

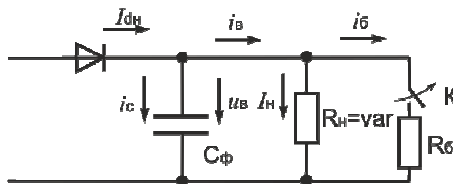


Рис. 3 – Расчетная схема САР напряжения выпрямителя

В данной схеме  $i_c$ ,  $i_b$ ,  $i_v$  мгновенные значения токов емкости фильтра  $C_\phi$  постоянного тока, потребляемого инвертором и нагревателем балластного сопротивления,  $I_n$  средний выходной 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  $u_b = U_{\max}$ , 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  $i_c = I_{d.n.}$  –  $i_v$  начинается разряд конденсатора  $C_\phi$  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;  $C_\phi$  - 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  $\Delta U_d$

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

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.

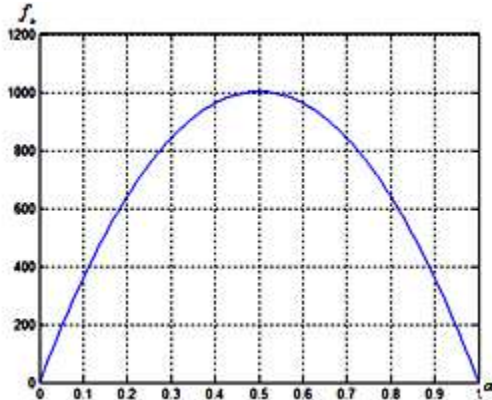


Рис. 4 – Зависимость частоты коммутации от коэффициента нагрузки

**Выводы.** В результате выполненной работы проведена оценка влияния на частоту  $f_k$  коэффициента нагрузки инвертора  $\alpha$ , а также величин сопротивления балласта  $R_6$  и емкости сглаживающего фильтра  $C_\phi$ . 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.І., Моїсєєв О.М., Банєв С.Ф. Синтез структури джерела електроенергії для газотранспортної мережі // 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: "Лыбидь", 1990. – 168 с. **4.** Асинхронні енератор 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 Вісник державного університета імені Ostrogradskokogo.* Kremenchyk : KDPY. – 4(45) (2007): 29-30. Print. **3.** Vishnevskii L. V., Pass A.E., *Sistemi upravlenija asinchronnimi generatormimi kompleksami.* Kiyv : Odessa: "Libid", 1990. – 168. Print. **4.** Asinchronnie generatori s ventilno-emkostnim vozbyjdeniem dlja avtonomnich ystanovok: Avtoref. dis. d-ra texn. nauk: 05.09.01 / L.I. Mazurenko / NAN Ukraini. 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.



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