

УДК 621.316.7

**ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С АДАПТИВНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ  
ДЛЯ КОМПРЕССОРОВ МАЛЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

**О. Я. Карпович, О. А. Онищенко**

Одесская государственная академия холода  
ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, 65082, Украина. E-mail: olegoni@mail.ru

Приведены результаты исследований применения адаптивной системы управления вентиляльно-индукторным электроприводом с явной эталонной моделью и сигнальной самонастройкой для однопоршневых герметичных компрессоров малых холодильных установок, которая позволяет снизить пульсации скорости электропривода герметичного компрессора и расширить диапазон регулирования его производительности.

**Ключевые слова:** диапазон регулирования, вентиляльно-индукторный электропривод, компрессор.

**ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД З АДАПТИВНОЮ СИСТЕМОЮ УПРАВЛІННЯ  
ДЛЯ КОМПРЕСОРІВ МАЛИХ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК**

**О. Я. Карпович, О. А. Онищенко**

Одеська державна академія холоду  
вул. Дворянська, 1/3, м. Одеса, 65082, Україна. E-mail: olegoni@mail.ru

Наведено результати досліджень застосування адаптивної системи управління вентиляльно-індукторним електроприводом з явною еталонною моделлю і сигнальним самонаштуванням для однопоршневих герметичних компресорів малих холодильних установок, яка дозволяє знизити пульсації швидкості електроприводу герметичного компресора й розширити діапазон регулювання його продуктивності.

**Ключові слова:** діапазон регулювання, вентиляльно-індукторний електропривод, компресор.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Для малых холодильных установок (МХУ) известен ряд основных особенностей их работы.

Во-первых, в МХУ в качестве электропривода однопоршневого герметичного компрессора (ОГК) используются однофазные асинхронные двигатели (ОАД), работающие в двухпозиционном режиме [1]. Регулирование производительности включением и отключением ОАД вызывает повышенный износ компрессора из-за резкого ухудшения условий смазки при пуске, при включении возникают большие пусковые токи, приводящие к повышенному нагреву обмоток, кроме того, происходят и существенные колебания температур в камерах МХУ.

Во-вторых, МХУ, как правило, оптимизированы для работы в проектной точке, соответствующей пике тепловой нагрузки. Большинство МХУ функционируют в таких экстремальных условиях около 300 часов в год и оставшуюся часть времени года эксплуатируются при сниженных тепловых нагрузках. Мощность ОАД компрессора для режимов “неполной нагрузки” избыточна, поскольку нерегулируемый по частоте вращения ОАД выбирается для самых тяжелых условий эксплуатации.

Перечисленные негативные особенности работы МХУ могут быть успешно устранены путем применения управляемого по частоте вращения электропривода герметичного компрессора. Кроме того, если снижать производительность ОГК путем снижения скорости его электродвигателя, то уменьшается потребляемая всей МХУ мощность [2].

При снижении частоты вращения электродвигателя компрессора возникает задача обеспечения требуемого диапазона производительности МХУ. Установлено, что пульсации частоты вращения недопустимо возрастают уже при относительно небольших изменениях производительности ОГК в сторону уменьшения ( $D \approx 1/2$ ) [3]. Таким образом, решение задачи обеспечения стабильной работы герметичного

компрессора при управлении его производительностью весьма актуально. Так как регулирование частоты вращения ОАД неэффективно и сложно, то в качестве электродвигателя компрессора МХУ целесообразно применять управляемые трехфазные асинхронные двигатели, бесконтактные вентиляльные постоянного тока, а также электрические машины иных типов.

Целью работы является установление возможности применения таких адаптивных систем управления вентиляльно-индукторным электроприводом (ВИП) однопоршневых герметичных компрессоров МХУ, которые позволят снизить пульсации частоты их вращения и расширить диапазон регулирования производительности МХУ.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** В [4, 5] рассмотрена адаптивная система управления с явной эталонной моделью (ЯЭМ) желаемой динамики электропривода и сигнальной самонастройкой (ССН). В [5] определена передаточная функция (ПФ) корректирующего звена:

$$W_K(s) = \frac{W_{3АМ.ЭМ}(s)W_{ОС}(s)W_P(s)}{W_P(s)W_O(s)(W_{ЭМ}(s) - \dots \rightarrow} \dots \rightarrow \frac{\times W_O(s) + 1) - W_P(s)W_O(s)}{-W_{3АМ.ЭМ}(s)W_{ОС}(s)} \tag{1}$$

Применим изложенную методику [5] синтеза корректирующей цепи ССН к ВИП однопоршневого герметичного компрессора. С этой целью

– свернем контур тока (рис. 1);

– примем среднее значение суммарного момента инерции кривошипно-шатунного механизма (КШМ), жестко соединенного с вентиляльно-индукторным двигателем (ВИД)  $J_{\Sigma\text{ сред}} \approx 1 \cdot 10^{-3}$  кг·м<sup>2</sup>;

– используем линеаризованную связь “ток-момент” (конструктивный коэффициент ВИД

$$C = \frac{dL[\Theta(\tau), i(\tau)]}{d\Theta(\tau)} i_o(\tau) = 0,18 \text{ Н·м/А}.$$

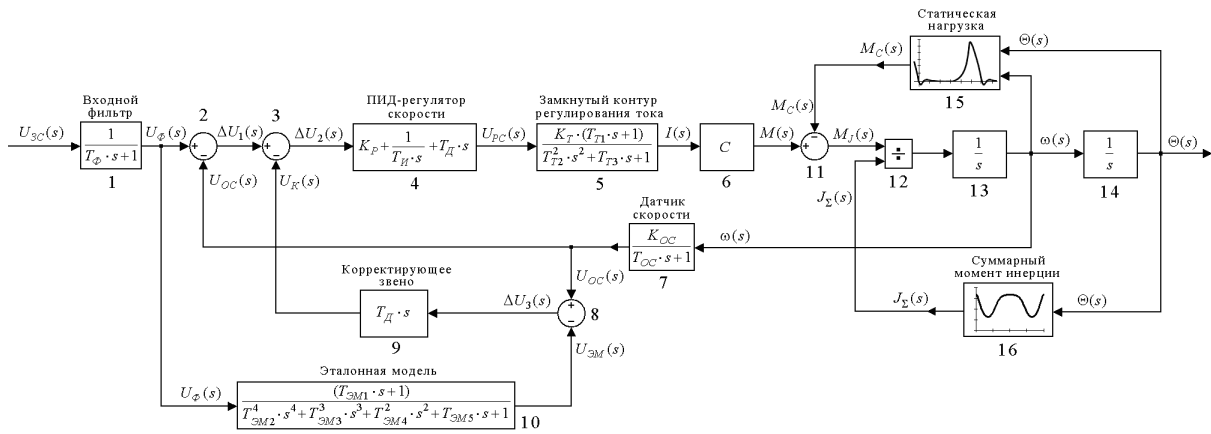


Рисунок 1 – Структурная схема модели ВИП с ЯЭМ, ССН и звеньями 11–16, характеризующими изменения момента инерции и момента сопротивления герметичного компрессора

Исходя из этих условий, при  $K_{OC} = 0,063$  В·с/рад и  $T_{OC} = 0,022$  с синтезируем регулятор скорости (рис. 2). ЛАФЧХ разомкнутого нескорректированного контура скорости ВИП и контура, настроенного на работу, близкую к симметричному оптимуму с синтезированным ПИД-регулятором скорости ( $K_P = 2,5$ ,  $T_I = 0,033$  с,  $T_D = 0,01$  с) ВИП, приведены на рис. 3.

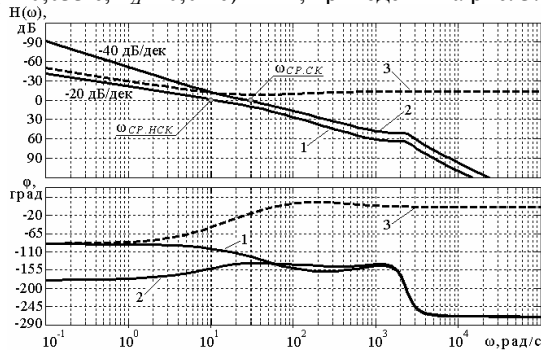


Рисунок 2 – ЛАФЧХ: 1 – ВИП без коррекции; 2 – ВИП с коррекцией; 3 – корректирующего звена – ПИД-регулятора скорости

Из рис. 2 и передаточной функции (ПФ) эталонной модели, приведенной в [5], следует, что при частоте среза  $\omega_{CP,CK} = 30$  рад/с  $= 1/(2 \cdot T_u)$ , приняв  $m = 8$  и  $T_{ЭМ} = T_u/m = \frac{1/30}{2 \cdot 8} = 0,002$  с, получим ПФ ЯЭМ:

$$W_{ЭМ}(s) = \frac{(0,002s + 1)}{(5,12 \cdot 10^{-10} s^4 + 5,12 \cdot 10^{-7} s^3 + \dots)} \rightarrow \frac{\dots}{+1,28 \cdot 10^{-4} s^2 + 0,016s + 1} \approx \frac{(0,002s + 1)}{5,12 \cdot 10^{-7} s^3 + 1,28 \cdot 10^{-4} s^2 + 0,016s + 1} \quad (2)$$

Из анализа ЛАФЧХ (рис. 3) можно сделать вывод о том, что полоса пропускания частот системы без ССН составляет 40 рад/с, а с ССН возрастает примерно до 180 рад/с при более эффективном подавлении возмущений.

Теперь можно оценить работу ВИП герметичного компрессора для различных значений сигнала задания скорости, определяющего требуемую производительность компрессора малой холодильной установки при:

– введении в его систему управления ССН с ЯЭМ,

рассчитанной по (2), и компенсирующего звена с ПФ, определенной согласно (3), при условии его реализации в виде реального дифференцирующего звена  $W_K(s) = 0,125 \cdot s / (0,001 \cdot s + 1)$ ;

– учете влияния переменного момента сопротивления в функции изменения скорости и угла поворота КШМ;

– учете изменений момента инерции КШМ.

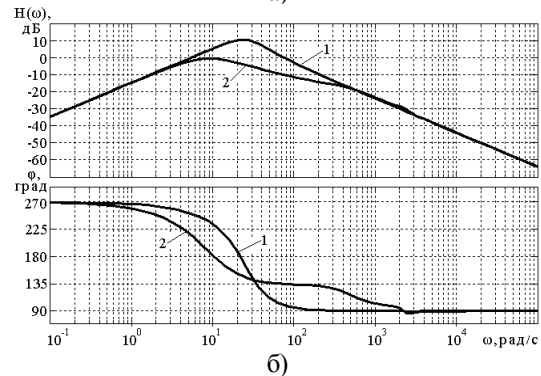
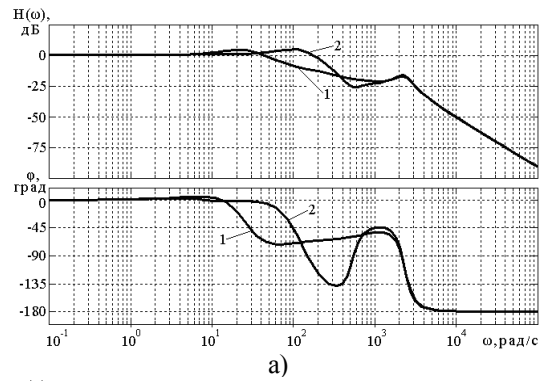


Рисунок 3 – ЛАФЧХ ВИП при  $T_{OC} = 0,063$  с по заданию (а) и возмущению (б):

1 – при разрыве цепи ССН; 2 – с цепью ССН и  $W_K(s) = 0,125 \cdot s / (0,001s + 1)$

Для такой оценки используем математическую модель, приведенную в [6], введя в нее узлы  $M_C = var$  и  $J = var$  (рис. 1), применяя ПИД-регулятор скорости (рис. 2). Параметры и коэффициенты КШМ компрессора определены из экспериментально полученных данных герметичного компрессора серии ХКВ, входящего в состав бытового холодильного прибора “Памир”.

На рис. 4, 5 приведенные некоторые из результатов моделирования динамики ВИП ОГК при стабилизированном напряжении источника питания и указанных выше условиях.

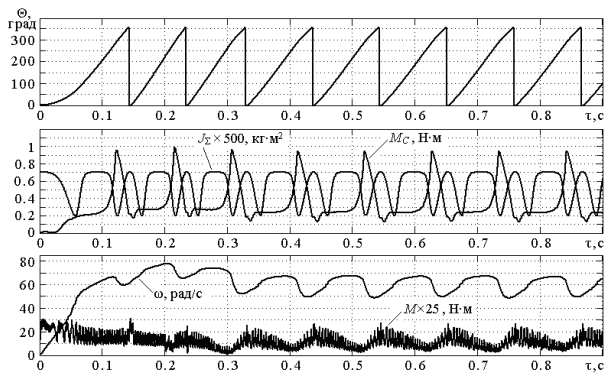


Рисунок 4 – Динамика ВИП компрессора с учетом влияния моментов сопротивления и инерции ( $M_c = var$ ,  $J_\Sigma = var$ ), при отсутствии ССН ( $\omega_{зад} = 60$  рад/с)

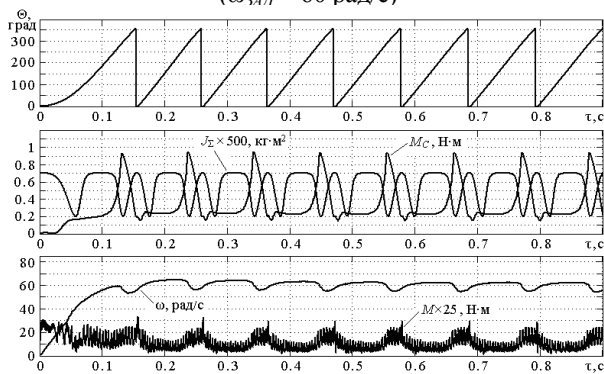


Рисунок 5 – Динамика ВИП компрессора с учетом влияния моментов сопротивления и инерции ( $M_c = var$ ,  $J_\Sigma = var$ ), при действии ССН ( $\omega_{зад} = 60$  рад/с)

### SWITCHED-RELUCTANCE DRIVE WITH ADAPTIVE CONTROL SYSTEM FOR SMALL REFRIGERATION UNITS COMPRESSORS

**O. Karpovich, O. Onishchenko**

Odessa State Academy of Refrigeration

ul. Dvoryanskaya, 1/3, Odessa, 65082, Ukraine. E-mail: olegoni@mail.ru

The studies results of using adaptive control system of switched-reluctance electric drive with an explicit reference model and the self-tuning signal for one-piston hermetic compressors small refrigeration units, which reduces the level of hermetic compressor drive speed pulses and extend the range of compressor performance regulation are presented.

**Key words:** control range, switched-reluctance electric drive, compressor.

#### REFERENCES

1. Household refrigerators and freezers: handbook / B.S. Babakin, V.A. Vygodina. – Ryazan: Uzoroch'e, 2005. – 860 p. [in Russian]
2. Onishchenko O.A. Energy consumption computer evaluation of refrigeration units with different capacity control methods // 61 Sci. Tech. Conference Proc.-reports. of OSAR, May 17–18, 2004. Section № 9 “Information technology”. – PP. 6–7. [in Russian]
3. Evaluation of properties a single-hermetic compressor in the cooling mode of regulation of its / O.Y. Karpovich, O.A. Onishchenko // System technologies. – № 4 (81). – Dnipropetrovsk, 2012. – PP. 95–102. [in Russian]
4. Switched reluctance electric motor control system

**ВЫВОДЫ.** Сравнительный анализ данных таблицы [5] со значениями амплитуд пульсаций частоты вращения ВИП и приведенных выше графиков (рис. 4, 5) убедительно доказывает, что при уровне пульсаций частоты вращения ВИП однопоршневого герметичного компрессора МХУ, не превышающем 20 %, имеется возможность расширения диапазона регулирования производительности не менее, чем в два раза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бытовые холодильники и морозильники: справочник / Б.С. Бабакин, В.А. Выгодин. – Рязань: Узорожье, 2005. – 860 с.
2. Онищенко О.А. Компьютерная оценка энергопотребления холодильных установок при различных способах регулирования производительности // Тез. докл. 61-й науч.-техн. конф. проф.-преп. состава ОГАХ, 17–18 мая 2004 г. Секция № 9 “Информационные технологии”. – С. 6–7.
3. Оценка свойств однопоршневого герметичного компрессора в режимах регулирования его холодопроизводительности / О.Я. Карпович, О.А. Онищенко // Системные технологии. – № 4 (81). – Днепропетровск, 2012. – С. 95–102.
4. Система управления вентильно-индукторным электродвигателем микрокомпрессора / О.Я. Карпович, О.А. Онищенко // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2011. – № 03 (79). – С. 204–206.
5. Расширение диапазона регулирования производительности герметичных однопоршневых компрессоров средствами автоматизированного управления / О.Я. Карпович, О.А. Онищенко // Холодильная техника и технологии. – 2012. – № 2 (136). – С. 64–70.
6. Двухквadrантный вентильно-индукторный электропривод / О.Я. Карпович, О.А. Онищенко, И.Н. Радимов // Вісник КДПУ. – 2003. – № 5 (22). – С. 56–60.

of the micro compressor / O.Y. Karpovich, O.A. Onishchenko // Electrotechnic and computer systems. – 2011. – № 03 (79). – PP. 204–206. [in Russian]

5. Extending the range of hermetic compressors control performance by means of an automated control / O.Y. Karpovich, O.A. Onishchenko // Refrigeration engineering and technology. – 2012. – № 2 (136). – PP. 64–70. [in Russian]

6. Two-quadrants switched reluctance drive / O.Y. Karpovich, O.A. Onishchenko, I.N. Radimov // Transactions of KSPU. – 2003. – № 5 (22). – PP. 56–60. [in Russian]

Стаття надійшла 13.07.2012.

Рекомендовано до друку  
к.т.н., доц. Кореньковою Т.В.