

УДК 621.316.79 О.Я.

О. А. Онищенко, д-р техн. наук,  
О. Я. Карпович

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ МИКРОКОМПРЕССОРА

*Аннотация.* Представлена система автоматического управления вентильно-индукторным электродвигателем с эталонной моделью динамики и сигнальной самонастройкой (дополнительной положительной обратной связью), обеспечивающая расширение диапазона регулирования производительности герметичного однопоршневого микрокомпрессора малой холодильной установки. Рассмотрен синтез систем управления микрокомпрессором. Приведены результаты имитационного моделирования.

О. А. Онищенко, д-р техн. наук,  
О. Я. Карпович

## СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНИ ЕЛЕКТРОДВИГУНИ МІКРОКОМПРЕСОРИ

*Анотація.* Представлено систему автоматичного управління вентильно-індукторним електродвигуном з еталонною моделлю динаміки і сигнальним самоналагоджуванням (додатковим позитивним зворотним зв'язком), що забезпечує розширення діапазону регулювання продуктивності герметичного однопоршневого мікрокомпрессора малої холодильної установки. Розглянуто синтез систем управління мікрокомпрессором. Приведені результати імітаційного моделювання.

Oleg A. Onishchenko, ScD.,  
Oleg Y. Karpovich

## CONTROL SYSTEM GATE-INDUCTOR- MOTOR MICROCOMPRESSORS

*Abstract.* The automatic control system of switched reluctance motor with sample model of dynamics and signal self-adjustment (additional positive feedback), providing expansion of productivity regulation range of the hermetic one-piston micro compressor of small refrigerating system is presented. The synthesis of micro compressor control system is considered. The results of simulation modeling are regarded.

Управление производительностью микрокомпрессоров, входящих в состав технологических установок различного назначения (малых холодильных, медицинских, специализированных), позволяет получить не только высокие технико-экономические показатели, но и расширить функциональные возможности установок [8, 9]. Одно из перспективных направлений решения задачи управления производительностью микрокомпрессоров – применение электроприводов на основе вентильно-индукторных электродвигателей (ВИД) [2,5,8].

При оценке возможностей применения управляемого по частоте вращения ВИД в электроприводе герметичного микрокомпрессора малой холодильной установки, установлено, что особенности функционирования герметичного однопоршневого микрокомпрессора и особенности построения вентильно-индукторного электропривода (ВИП) не позволяют простыми средствами обеспечить требуемый ( $D \approx 4$ ) диапазон регулирования производительности установки. Из-за наличия существенных пульсаций частоты вращения, обычно момент инерции ротора искусственно увеличивается – установкой дополнительного маховика, что приводит к возрастанию массогабаритных показателей компрессоров. Например, в [10] задача обеспечения требуемого диапазона регулирова-

ния и снижения массогабаритных показателей однопоршневых компрессоров решается за счет введения в систему автоматического управления (САУ) свойств частичной инвариантности к статической нагрузке, что является лишь одним из возможных решений.

В статье представляется альтернативное [10] решение, также обеспечивающее расширение диапазона регулирования производительности герметичного микрокомпрессора малой холодильной установки, использующее САУ ВИП с эталонной моделью (ЭМ) динамики и сигнальной самонастройкой (дополнительной положительной обратной связью). Безусловно, построение такого типа САУ с ЭМ невозможно без предварительных модельных исследований.

Основные особенности работы герметичных однопоршневых микрокомпрессоров, существенные при разработке САУ ВИП, заключены в следующем:

а) результирующий момент сопротивления, приложенный к валу ВИД содержит три составляющие – основную резкопеременную, являющуюся функцией угла поворота вала ВИД и режима работы холодильной установки, и две относительно небольших составляющих реактивного характера и вязкого трения;

б) приведенный к валу момент инерции в течение одного оборота вала ВИД изменяется дважды, принимая значения, примерно от 0,8 до 1,4 среднего значения.

Еще одним, существенно влияющим на разра-

ботку САУ микрокомпрессора фактором является то, что обычно в составе ВИП используют совмещенный датчик положения и скорости [6], вносящий основную некомпенсируемую инерционность и заметно ухудшающий результирующие динамические свойства САУ.

Используя разработанные в [3,4,7] математические модели и результаты экспериментальных исследований, установлено, что применение скользящего режима работы [1,11] в САУ с ЭМ и сигнальной самонастройкой для микрокомпрессора на основе ВИД нецелесообразно из-за: а) возникновения высокочастотных вибраций, приводящих к повышенному шуму корпуса микрокомпрессора и снижающих надежность его механических узлов; б) низкой помехоустойчивости; в) резкому снижению свойств робастности на участках поверхности переключения.

Предлагается провести синтез САУ с ЭМ классическими методами – последовательной коррекцией ЛАФЧХ. Непосредственно использовать этот метод можно в том случае, если предположить, что исследуемая САУ ВИП является активным фильтром низких частот, на который воздействует периодическая помеха [12]. В рассматриваемом случае помеха – изменяющийся в функции угла поворота статический момент, а выход САУ – совмещенный с датчиком положения ротора инерционный датчик скорости. Из теории построения фильтров известно, что для того, чтобы фильтр пропускал практически без искажений входной сигнал в заданном диапазоне частот, необходимо обеспечить неизменный коэффициент усиления ( $K \approx 1$ ) его АЧХ в этом частотном диапазоне, а ФЧХ должна иметь постоянный ( $\Delta\varphi \approx 0$ ) или слабо возрастающий фазовый сдвиг.

На рис.1 (граф.1) приведены ЛАФЧХ разомкнутой по скорости САУ ВИП микрокомпрессора, настроенной на симметричный оптимум (СО). ЛАФЧХ разомкнутой САУ с ЭМ ВИП и сигналом самонастройки с синтезированным корректирующим звеном показаны на рис. 1 (граф. 2). Параметры ВИП приведены в [2-4; 5,7].

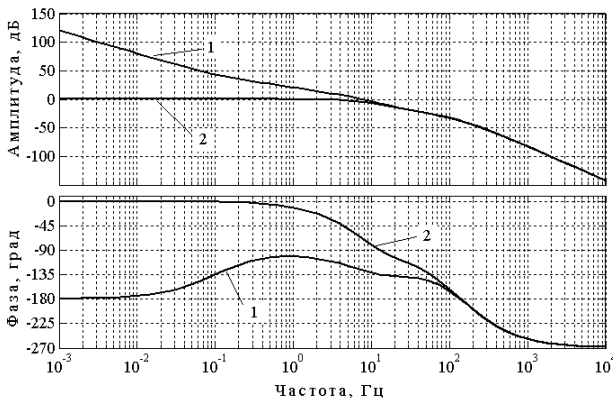


Рис.1. ЛАФЧХ САУ ВИП: 1 – при настройке на симметричный оптимум; 2 – с синтезированным звеном коррекции

Участок структурной схемы САУ с ЭМ ВИП, реализующий положительную обратную связь (сигнал самонастройки) со звеном коррекции, по-

казан на рис. 2.

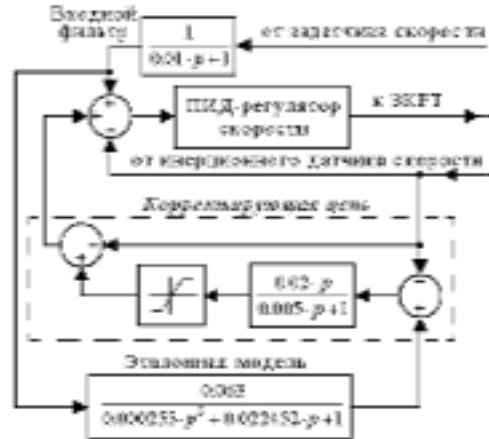


Рис.2. Участок структурной схемы САУ ВИП

На рис.3 приведены результаты моделирования САУ с ВИП микрокомпрессора (масштаб момента увеличен в 20 раз), соответствующие настройке на СО (рис.1, граф. 1) с входным фильтром.

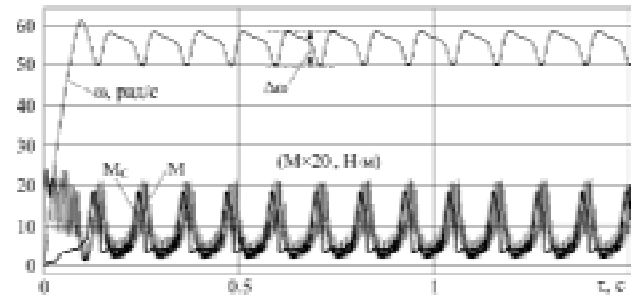


Рис.3. Динамика САУ ВИП микрокомпрессора при  $\omega_{\text{сред}} = 55,5 \text{ рад/с} = \omega_{\text{мин}}$  и настройке на СО с фильтром

При среднем значении приведенного момента инерции ( $J=1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ), среднее значение запаса кинетической энергии составляет 1,54 Дж при амплитуде пульсаций скорости  $\Delta\omega$  свыше 8 рад/с. Более детальный анализ динамики (рис. 3) показывает, что здесь реализована практически минимально возможная частота вращения вала ВИД микрокомпрессора ( $\omega_{\text{сред}} = 55,5 \text{ рад/с}$ ).

На рис.4 приведены результаты моделирования САУ с ЭМ ВИП микрокомпрессора (см. также рис. 1, граф.2) с входным фильтром и увеличенным масштабом момента.

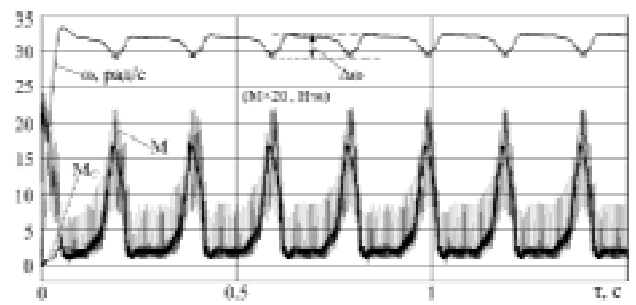


Рис.4. Динамика САУ с ЭМ ВИП при  $\omega_{\text{сред}} = 31,7 \text{ рад/с}$

Здесь среднее значение скорости составляет  $\omega_{\text{сред}} = 31,7 \text{ рад/с}$  (недостижимое при работе без ЭМ и

корректирующего звена) при запасе кинетической энергии 0,5 Дж и амплитуде пульсаций скорости  $\Delta\omega$  не более 4,5 рад/с.

Для сравнения на рис.5 приведены результаты моделирования САУ ВИП с ЭМ при  $\omega_{\text{сред}} = 55,5$  рад/с. Здесь, при прежнем запасе кинетической энергии, пульсации скорости  $\Delta\omega$  чуть более 4 рад/с.

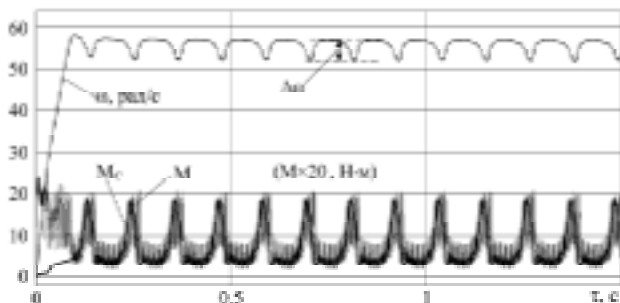


Рис.5. Динамика САУ с ЭМ ВИП при  $\omega_{\text{сред}} = 55,5$  рад/с

Дополнительно проведенный анализ свойств робастности к изменениям момента инерции, а также чувствительности САУ к высокочастотным помехам по каналу управления показал определенные преимущества описанной системы с ЭМ ВИП по сравнению с САУ с ЭМ ВИП и сигнальной самонастройкой, реализованной в виде “релейного” элемента.

Таким образом, можно утверждать, что техническая реализация представленного принципа построения САУ с ЭМ ВИП позволяет обеспечить требуемый диапазон регулирования скорости ( $D = \omega_{\text{ном}}/\omega_{\text{мин}} = 142/31,7 \approx 4,5$ ), снизить уровень шума, вибраций и массогабаритные показатели герметичных однопоршневых микрокомпрессоров малых холодильных установок.

#### Список использованной литературы

1. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы / А.Г. Александров. – М.: 2006. – 278 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/420898/>.
2. Карпович О.Я. Алгоритм моделирования вентильно-индукторных электроприводов микрокомпрессоров / О.Я. Карпович, О.А. Онищенко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 3/8(51). – С. 19-24.
3. Карпович О.Я. Базовая нелинейная модель вентильно-индукторного электропривода / О.Я. Карпович, О.А. Онищенко // Вестник НТУ “ХПИ”. – 2003. – №10. – Т.2. – С. 396-397.
4. Карпович О.Я. Двухквadrантный вентильно-индукторный электропривод / О.Я. Карпович, О.А. Онищенко, И.Н. Радимов // Вісн. КДПУ. – 2003. – № 5(22). – С. 56-60.
5. Карпович О.Я. Компьютерное исследование динамических свойств вентильно-индукторного двигателя / О.Я. Карпович, О.А. Онищенко // Ел.техніка і ел.механіка. – 2003. – № 4. – С. 42-45.
6. Карпович О.Я. Особенности реализации датчика обратной связи по скорости и положению в вентильно-индукторном электроприводе / О.Я. Карпович, О.А. Онищенко // Вест.НТУ “ХПИ”. – 2003. – № 11. –

С. 65-70.

7. Карпович О.Я. Экспериментально-отладочная схема управления вентильно-индукторным электродвигателем / О.Я. Карпович, О.А. Онищенко, А.С. Порайко // Научн. труды Донецк. нац. технич. ун.-та. Сер. “Эл.техника и энергетика”. – 2003. – № 67. – С. 152-155.

8. Онищенко О.А. Модель холодильной установки с автоматизированным электроприводом компрессора / О.А. Онищенко // Холодильная техника и технология (прил. к журналу). – 2005. – № 5(97). – С. 120-129.

9. Онищенко О.А. Оценка энергетических затрат на выработку холода бытовым холодильным прибором / О.А. Онищенко // Вісн. КДПУ ім. М.Остроградського. – 2007. – № 3(44). – Ч. 1. – С. 106-110.

10. Онищенко О.А. Система управления электроприводом поршневого компрессора холодильной установки / О.А. Онищенко // Электромашинобуд. та електрооблад. – 2005. – № 65. – С. 23-28.

11. Фролов Ю.М. Адаптивная система с самонастройкой параметров / Ю.М. Фролов // Электротехнич. комплексы и системы управления. – 2008. – № 4. – С. 29-31.

12. Хьюлсман Л.П. Введение в теорию и расчет активных фильтров / Л.П. Хьюлсман, Ф.Е. Аллен. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1984. – 384 с.

Получено 10.07.2011



Карпович  
Олег Яковлевич,  
ассистент Одесск. гос.  
акад. холода,  
65029, ул. Дворянская, 1/3,  
тел. (048)-7209171,  
olekar@mail.ru



Онищенко  
Олег Анатольевич, д-р  
техн. наук, проф. Одесск.  
гос. акад. холода,  
ул. Дворянская, 1/3,  
тел. (048)-7209171,  
olegoni@mail.ru