



ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА БАЗЕ СИЛОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ И ЦИФРОВЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ

ОЛЕЩУК Валентин, ПРУДЯК Роман, СИЗОВ Александр
Институт энергетики Академии наук Молдовы

Реферат – Регулируемые электроприводы переменного тока на базе силовых преобразователей являются одним из наиболее эффективных средств экономии электрической энергии и повышения качества технологических процессов. Описываются особенности функционирования систем регулируемого электропривода, приведены примеры практической реализации систем электропривода различного функционального назначения на современной элементной базе.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, полупроводниковый преобразователь, регулирование частоты и напряжения.

ACTIONARI ELECTRICE DE CURENT ALTERNATIV ÎN BAZA CONVERTIZOARELOR DE PUTERE SI COTROLERE DIGITALE

OLESCIUK Valentin, PRUDEAK Roman, SIZOV Alexandr
Institutul de Energetică al Academiei de Stiințe a Moldovei

Rezumat – Acțiunile electrice reglabile de curent alternativ în baza convertizoarelor de putere constituie unul dintre cele mai eficiente mijloace de economie a energiei electrice și sporire a calității proceselor tehnologice. Sunt descrise particularitățile de funcționare a sistemelor de acționări electrice reglabile, sunt prezentate exemple de realizare practică a sistemelor de acționări electrice cu destinație de funcționare diversă în bază de elemente moderne.

Cuvinte cheie: motor electric asincron, convertizor cu semiconductori, reglarea frecvenței și tensiunii.

AC ELECTRIC DRIVES ON THE BASE OF POWER CONVERTERS AND DIGITAL CONTROLLERS

Oleschuk V., Prudeak R., Sizov A.
Power Engineering Institute of the Academy of Sciences of Moldova

Abstract – Adjustable speed electric drives are ones of the most effective means of energy saving and of improvement of quality of technological processes. Peculiarities of operation of controlled electric drives have been described, and examples of implementation of these systems on the base of modern components have been presented.

Keywords: induction motor, semiconductor converter, control of frequency and voltage.

1. ВВЕДЕНИЕ

Повышение энергетической эффективности и развитие энергосберегающих технологий является стратегическим направлением развития мировой экономики [1]-[5]. В настоящее время около 40 процентов от общего объема энергопотребления приходится на электрическую энергию, с прогнозом дальнейшего повышения этой части до 60 процентов к 2040-му году, в связи с чем проблемы экономии электроэнергии находятся в числе приоритетных задач развития национальных экономик [4]. При этом широкое использование энергосберегающих систем и устройств силовой электроники, в том числе систем регулируемого электропривода, является одним из наиболее эффективных путей решения этой проблемы.

2. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА БАЗЕ СИСТЕМ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Современный электрический привод - это электромеханическая система, состоящая из электродвигателей, электронных преобразователей параметров электрической энергии, датчиков, и устройств управления. Электроприводы являются основными потребителями электроэнергии, доля которых в развитых странах составляет 55-60 процентов от общего объема электропотребления [5]. На рис. 1 представлена обобщенная структура системы регулируемого электропривода, включающая в свой состав полупроводниковый преобразователь, включенный между питающей сетью и электродвигателем, регулируемый специализированной системой управления.

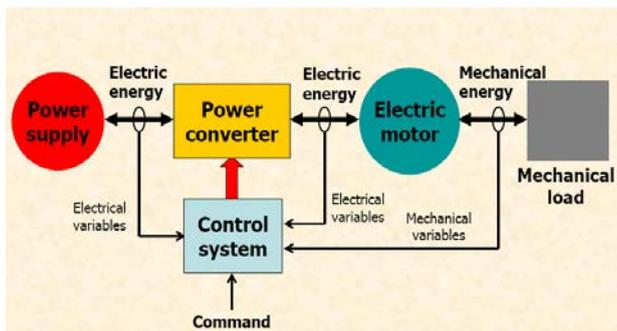


Рис. 1. Топология регулируемого электропривода

В отличие от нерегулируемых приводов, в которых электродвигатель подключен непосредственно к питающей сети, в системах регулируемого электропривода путем соответствующего регулирования выходных частоты и напряжения силового преобразователя осуществляется рациональное регулирование частоты вращения асинхронного электродвигателя в зависимости от параметров нагрузки. При этом при снижении нагрузки частота и величина питающего двигателя напряжения также снижается, способствуя тем самым существенной экономии электроэнергии. Приведенные на рис. 2 данные иллюстрируют данный факт применительно к электроприводу типового насосного агрегата [5]. В частности, в случае нерегулируемого электропривода для ограничения подачи жидкости в системе при помощи задвижки при малых расходах жидкости неизбежны потери электроэнергии составляющие более половины потребляемой электроэнергии. В то же время гибкое регулирование частоты вращения электродвигателя при помощи силового преобразователя обеспечивает существенную (до 80%) экономию электроэнергии в системе при пониженных нагрузках. При этом обеспечивается также улучшенное качество процессов в технологических системах и увеличивается срок службы электродвигателей за счет снижения токовых нагрузок.

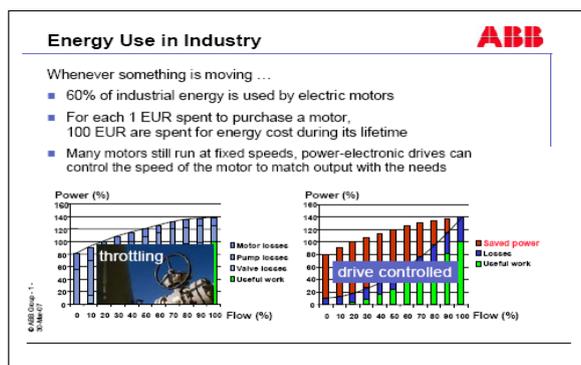


Рис. 2. Потенциал энергосбережения в электроприводах насосных установок

По оценкам зарубежных экспертов, величина потенциального энергосбережения за счет широкого использования регулируемых электроприводов в промышленности составляет более 30%, в системах электрического транспорта – более 25%, в сфере домашнего электропотребления – более 40% (Рис. 3 [5]). Таким образом, суммарная величина экономии электроэнергии за счет использования систем регулируемого электропривода может составить около 30% от всей потребляемой электроприводами электроэнергии, или же порядка 15-18% от общего объема потребляемой электроэнергии. В частности, в Молдове потенциальная величина сэкономленной электроэнергии может составить при этом несколько сотен миллионов кВт/час в год.

Major Consumers of Electrical Energy – Savings Potential				
Today: 40% out of the overall energy consumption is electrical energy				
Energy Split: ww		Energy saving potential		Key technology
Con. power supply - standby, ...	Others 14%	-standby - active	>80% >>1%	CoMoMS, SiC Smart control IC CoolSET
I/O, Computing power supply, ...	Internet 10%	80+ / 90+	>>1%	CoMoMS, SiC, Smart control IC, Low cost μ C
EC-Ballast Daylight dimming HID, LED, ...	Lighting 21%	Electronic control	>25%	CoMoMS Smart ballast IC Low cost μ C
Factory autom. Process engineering, Heavy industry, Light industry, ...	Motor control 55%	Variable Speed Drive (VSD)	>30%	IGBT Modules CIPDS EMCON CoMoMS
Transportation: Train, Bus, Car, ...		VSD + Bi-directional energy flow	>25%	OT Optimized μ C 8 bit / 16 bit / 32 bit
Home appliance: Fridge, WM, HVAC, ...		VSD	>40%	

Рис. 3. Основные группы потребителей электрической энергии, потенциал энергосбережения в системах [5].

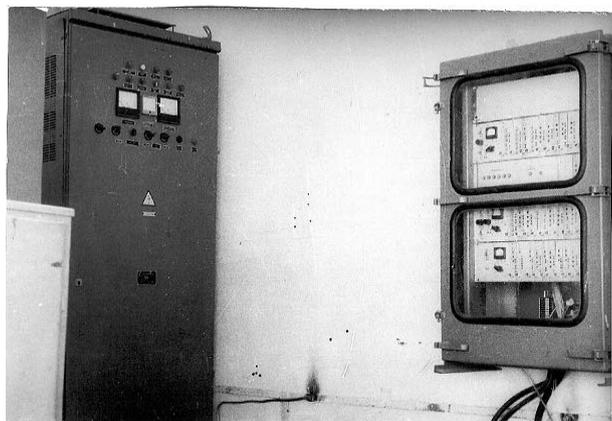
3. РЕГУЛИРУЕМЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ДЛЯ ОТРАСЛЕЙ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Лаборатория автоматизированного электропривода Института энергетики АН Молдовы являлась пионером в разработке и внедрении промышленных систем регулируемого электропривода в Молдове. Начиная с 80-х годов прошлого века по разработкам и рекомендациям лаборатории было внедрено более 50 систем регулируемого электропривода в мелиорации, жилищно-коммунальном хозяйстве и в промышленности Республики Молдова, с диапазоном мощностей от 1,5 до 300 кВт, в том числе на базе разработанных в лаборатории транзисторных и тиристорных преобразовательных устройств [6]. Средняя экономия электроэнергии за счет использования регулируемых электроприводов составила при этом около 25%, с соответствующим увеличением срока службы электродвигателей. В частности, в перечень базовых разработок в этой области входят:

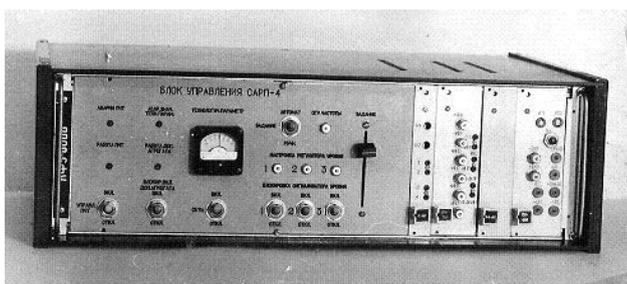
- серия тиристорных частотно-регулируемых электроприводов на базе оригинальных систем

управления и регулирования для многоагрегатных насосных установок на головных и подкачивающих насосных станциях предприятия «Апэ-Канал» (рис. 4);

- автоматизированные тиристорные электроприводы канализационных насосных станций ряда райцентров мощностью от 150 до 300 кВт;
- регулируемые асинхронные электроприводы питателей сырого угля на Молдавской ГРЭС на базе разработанных транзисторных преобразователей частоты для регулируемого асинхронного электропривода (рис. 5);
- системы регулируемых электроприводов на базе преобразователей частоты на АО ВИОПОЛА (г. Кишинев), позволившие автоматизировать сложные технологические процессы, а также увеличить надежность работы и срок службы двигателей;
- тиристорные и транзисторные регулируемые электроприводы насосных и канализационных станций г. Кишинева, обеспечивающие, в том числе, плавный пуск электроприводов насосов при существенно уменьшенной величине пускового тока асинхронных электродвигателей.



а)



б)

Рис. 4. Тиристорный регулируемый электропривод мелиоративной насосной станции (а), блок САРП системы автоматического регулирования производительности (б)

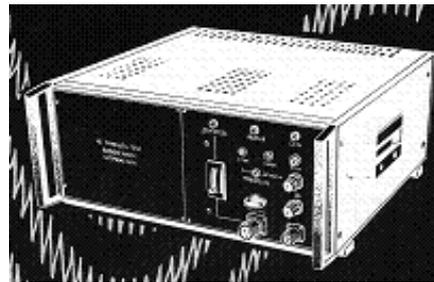


Рис. 5. Транзисторный преобразователь частоты для Молдавской ГРЭС

3.1 Регулируемые электроприводы переменного тока на базе преобразователей и контроллеров нового поколения

В настоящее время промышленностью выпускается большое количество систем высокой заводской готовности, в том числе преобразователей частоты, предназначенных для управления как асинхронными, так и синхронными электродвигателями в широком диапазоне мощностей и типоразмеров. За последние годы в Молдове был разработан и внедрен ряд высокоэффективных систем регулируемого электропривода на базе преобразователей частоты нового поколения японской компании OMRON [7]. В частности, типовой преобразователь третьего поколения серий 3G3RX/3G3JX выполнен по типичной для современных низковольтных преобразователей частоты схеме: мостовой неуправляемый выпрямитель — звено постоянного тока - мостовой управляемый инвертор (рис. 6). Для повышения надежности функционирования в силовую схему преобразователей OMRON входит специальный аварийный выключатель на силовых вентилях (рис. 7), обеспечивающий надежное выключение системы электропривода при различных режимах работы, в том числе при возникновении аномальных условий функционирования, а также при исчезновении питающего напряжения.



Рис. 6. Преобразователи частоты компании OMRON

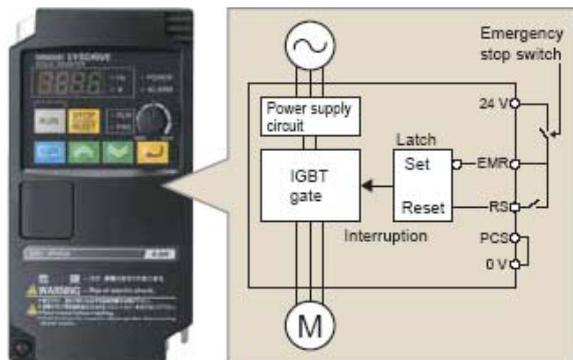


Рис. 7. Аварийный выключатель в силовой цепи преобразователей OMRON

Управление выходным инвертором преобразователей OMRON осуществляется по широтно-импульсному закону с переменной (подстраиваемой) несущей частотой. Звено постоянного тока выполнено открытым, что позволяет использовать совместно с ПЧ дополнительные фильтры постоянного тока, или тормозные устройства, или же осуществлять питание преобразователя от внешнего источника постоянного тока. Последний вариант особенно интересен с точки зрения экономии электроэнергии для систем многодвигательного привода с большой повторностью включений привода, таких как станки с ЧПУ, намоточные и перемоточные станки и т.д. При останове одного привода из группы в такой системе его энергия, отдаваемая им в звено постоянного тока используется другими приводами, повышая энергетическую эффективность системы в целом.

На рис. 8 представлена диаграмма, иллюстрирующая потенциал энергосбережения регулируемых электроприводов на базе преобразователей OMRON при использовании в насосных и вентиляционных системах с переменной нагрузкой на валу двигателя.

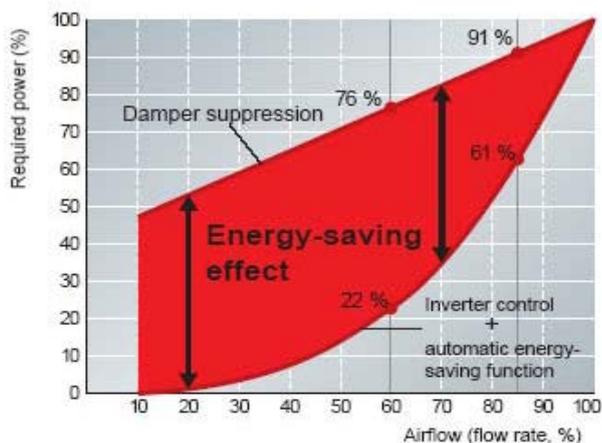


Рис. 8. Потенциал энергосбережения в электроприводах с преобразователями OMRON

преобразователей OMRON позволяет осуществлять управление электродвигателями в соответствии с заданными параметрами. При этом система управления представляет из себя микропроцессорное устройство, выполненное на базе микроконтроллера и процессора цифровой обработки сигналов (DSP), что позволяет реализовать достаточно сложные алгоритмы управления электропривода при невысокой собственной стоимости систем управления в сочетании с высокой надежностью последних.

В частности, система управления преобразователями частоты (ПЧ) серии 3G3RX реализует следующие функции:

- Контроль питающего напряжения и защита входных цепей ПЧ;
- Управление силовым модулем с использованием алгоритма широтно-импульсной модуляции;
- Контроль выходных токов и защита выходных цепей ПЧ от короткого замыкания в линии и в двигателе;
- Контроль симметрии фазных токов и защита двигателя от асимметричного тока;
- Контроль токов утечки на землю;
- Защита ПЧ от перегрева посредством встроенного в силовой модуль ПЧ датчика температуры;
- Защита двигателя от перегрева посредством встроенного в двигатель датчика температуры;
- Тепловая защита двигателя без встроенного датчика температуры - посредством контроля нагрузки двигателя и расчета тепловой модели двигателя.
- Скалярный алгоритм управления выходной частотой;
- Векторный режим управления без датчика обратной связи по положению ротора двигателя;
- Векторный режим управления и позиционирования при использовании датчика положения ротора электродвигателя;
- Режим управления моментом на валу электродвигателя;
- Плавный разгон и торможение электродвигателя при моменте на валу и токе близком к номинальному;
- Позиционирование вала электродвигателя при наличии датчика положения ротора электродвигателя;
- Управление выходным параметром системы привода (например, давлением для системы насосных агрегатов) при наличии датчика обратной связи по величине выходного параметра системы. Встроенный регулятор реализует алгоритмы пропорционального (П), пропорционально — интегрального (ПИ) и

пропорционально — интегрально — дифференциального (ПИД) регулирования;

- Автоматическое снижение питающего напряжения электродвигателя при понижении нагрузки на валу.

3.1.1 Система автоматического регулирования насосной станции

Интересным примером эффективного использования преобразователей OMRON является создание системы автоматического регулирования (САР) для вакуумной насосной станции на текстильном предприятии IONEL S.A. (Кишинев, Молдова). В качестве силового блока в данной системе использованы три преобразователя мощностью 37+37+30 кВт. В данной САР используются функции встроенных регуляторов выходных параметров преобразователей, совместно с функциями автоматического снижения напряжения на обмотках статора электродвигателя. Внедрение данной САР позволило не только достичь прямой экономии электроэнергии до 35...40% по сравнению с показателями до внедрения данной САР, но и повысить качество поддержания технологических параметров (глубины вакуума), что в свою очередь позволило значительно улучшить условия работы технологического оборудования. Кроме того, внедрение частотного привода значительно уменьшило износ вакуумных насосных агрегатов как за счет уменьшения ударных нагрузок в момент пуска агрегата, так и за счет уменьшения коэффициента повторности включения агрегатов. Срок окупаемости САР даже при учете только прямой экономии электроэнергии составляет не более 18 месяцев.

3.1.2 Система управления и регулирования приводом транспортеров

Автоматическая система управления и регулирования приводом транспортеров (АСУР ПТ) в составе двух преобразователей частоты мощностью 45кВт+15кВт, внедренная на гранитном карьере города Сорока (Молдова) обеспечивает не столь значительную прямую экономию электроэнергии (20...25% по сравнению с показателями до внедрения АСУР ПТ), но обеспечивает оптимизацию загрузки мощных дробильных агрегатов (500+500+315кВт). Это позволяет получить экономический эффект за счет экономии электроэнергии на данных дробильных агрегатах до 15% от их суммарной мощности (до 200кВт).

3.1.3 Система автоматического регулирования производства полиуретановых изделий

Система автоматического регулирования (САР) подачи компонент (изоционата и полиоля) при

заливке полиуретановых изделий, внедренная на одном из предприятий легкой промышленности и включающая в свой состав четыре преобразователя мощностью 1.5 кВт и два преобразователя мощностью 0.4 кВт, позволяет обеспечить экономический эффект преимущественно за счет снижения процента брака и уменьшения времени простоя оборудования. Снижение процента брака достигается за счет более точного (по сравнению с приводом постоянного тока) дозирования компонент (изоционата и полиоля). Применение быстро-действующих преобразователей OMRON совместно с электродвигателями, оборудованными датчиками положения ротора, позволило достичь погрешности поддержания рабочего соотношения компонент не более 0.2%, что в свою очередь привело к практическому отсутствию брака готовой продукции, вызываемого погрешностями литья.

Благодаря высокой надежности функционирования преобразователей OMRON в данной системе наблюдается также повышение отказоустойчивости оборудования. В частности, с момента внедрения САР в 2006 г. и до настоящего времени не было зафиксировано отказов и сбоев в работе преобразователей.

ВЫВОДЫ

Регулируемые электроприводы переменного тока на базе преобразователей частоты являются одними из наиболее эффективных средств прямой и значительной экономии электрической энергии, а также повышения качества технологических процессов. При этом в масштабах Молдовы потенциальная величина сэкономленной электроэнергии может составить несколько сотен миллионов кВт/час в год.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. B.K. Bose, *Technology Advances and Trends in Power Electronics*, IEEE Distinguished Lecture, Singapore, 2009, 16 p.
- [2]. Action Plan for Energy Efficiency: *Realizing the potential*, European Commission, 2006, 15 p.
- [3]. ECPE Study: *Power electronics potentials and political framework to improve energy efficiency*, 2007, 18 p.
- [4]. H. De Keulenaer, *Energy efficient motor driven systems can save Europe 200 billion kWh of electricity consumption and 100 million tonne of greenhouse gas emissions a year*, Motor Challenge Programme, 2004, 8 p.
- [5]. EPE Position Paper on Energy Efficiency, *The Role of Power Electronics*, 2007, 18 p.
- [6]. Лаборатория автоматизированного электропривода Института энергетики АН Молдовы: 1965-2006. Изд-во «Штиинца», Кишинев, 2006, 16 стр.
- [7]. OMRON SYSDRIVE Inverters JX Series and RX Series. www.ormon-ap.com/product-info