

УДК 621.313.333

В.С. Петрушин, д-р техн. наук,

А.М. Якимец, канд. техн. наук

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ В ЧАСТОТНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ АДАПТИРОВАННЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

***Аннотация.** Выполнено сопоставление суточного энергопотребления насосной установкой при различных типах электроприводов. Частотно-регулируемый привод рассматривался с разными двигателями и законами частотного управления. Определено преимущество, обеспечивающееся за счет использования в частотном приводе адаптированных регулируемых асинхронных двигателей.*

В.С. Петрушин ., доктор технічних наук

А.М. Якимец, кандидат технічних наук

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ В ЧАСТОТНОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ АДАПТОВАНИХ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

***Аннотація.** Виконано зіставлення добового енергоспоживання помпової установки при різних типах електроприводу. Частотно-регульований привод розглядався з різними двигунами та законами частотного управління. Визначено перевагу, що забезпечується за рахунок використання в частотному приводі адаптованих регульованих асинхронних двигунів.*

V. S. Petrushin., ScD

A. M. Jakimec., PhD

ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENTS THROUGH THE USE OF A TAILORED FREQUENCY ELECTRIC INDUCTION MOTORS

***Abstract.** The comparison of the daily energy consumption for pumps in different types of motors. Variable frequency drive was considered with different engines and the laws of frequency of administration. Defined benefit provided by using a variable speed drive adapted controlled induction motors.*

Введение. Эффективность применения управляемых электроприводов (ЭП) во всех отраслях промышленности, на транспорте, в коммунальной сфере может быть повышена при использовании в них специальных регулируемых асинхронных двигателей (РАД). В некоторых случаях (например, безредукторные частотно-регулируемые лифтовые подъемники) применение приводов с серийными общепромышленными машинами вообще не способно решать требуемые задачи с необходимой эффективностью. Особого внимания заслуживают энергосберегающие аспекты используемого электропривода. Вопросы обеспечения энергосбережения с помощью управляемых электроприводов рассмотрены в ряде работ [1, 2, 3, 7]. Есть публикации, в которых акцент сделан на дополнительном энергосбережении за счет применения более совершенных АД [4].

Постановка задачи исследования. Целью данной статьи является подтверждение целесообразности применения специальных РАД, спроектированных с учетом специфики их работы в условиях управляемого ЭП. Такое проектирование возможно только при наличии специального программного обеспечения, основанного на принципах системного подхода и методах системного анализа с учетом взаимовлияния всех компонентов ЭП друг на друга.

Работа двигателей в системах с полупроводниковыми преобразователями частоты (ПЧ) обладает существенной спецификой, которая является причиной появления новых требований к параметрам и технико-экономическим показателям РАД, в результате чего задача разработки машин для указанных систем переросла в самостоятельную

проблему, включающую и круг вопросов, связанных с определением оптимальных параметров двигателей. Задача адаптации электромашиной части управляемого ЭП к специфическим условиям работы должна решаться как задача структурно-параметрической оптимизации [5]. Трудоемкость задачи проектирования обусловлена не только необходимостью формирования множества рациональных структур РАД, но и необходимостью решения задачи параметрической оптимизации для каждой сформированной структуры. По своей направленности задачи структурного синтеза можно разделить на внутренние (относящиеся к двигателю) и внешние (относящиеся к системе привода). Задачей параметрической оптимизации является определение такого набора значений управляемых переменных некоторой сформированной структуры электропривода и входящего в него РАД, при котором целевая функция имеет наилучшее значение. При этом должны выполняться все требования и ограничения, оговоренные в задании на проектирование. Множество структур РАД с оптимизированными параметрами является информационным базисом для выбора оптимального варианта РАД. Программное обеспечение включает в себя математические модели (ММ) повышенной адекватности, использует специфические проектные критерии и ограничения, что дает возможность осуществить проектный синтез высокоэффективных РАД. На кафедре электрических машин Одесского национального политехнического университета разработан программный продукт DIMASDrive [6], позволяющий осуществить разработку адаптированных к различным электроприводам асинхронных двигателей. Далее рассмотрен наиболее распространенный привод с транзисторным ПЧ с автономным инвертором напряжения и ШИМ-регулированием. Особенность проектирова-

© Петрушин В.С., Якимец А.М., 2011

ния специальных РАД связана не только с типом и настройками преобразователя, но и определяется характером нагрузочного механизма и режимом его работы. Наиболее просто задача проектирования решается для механизмов с такими режимами, в заданном диапазоне регулирования продолжительность работы на определенных частотах вращения двигателя значительно больше продолжительности переходов от одного установившегося состояния к другому. Примером может быть управление производительностью турбомеханизма регулированием частоты вращения рабочего колеса. Более сложно задача проектирования решается для механизмов, которые значительную часть времени находятся в динамических режимах работы. К таким механизмам, например, следует отнести крановые установки, лифты, экскаваторы, роулеры и т.п.

Материалы исследования. В статье рассматриваются реальная насосная станция подачи воды и конкретный суточный график подачи воды [4]. Связь между мощностью, потребляемой насосом P (кВт), подачей насоса Q (м³/с) и напором насоса H (м) определяется

$$P = \rho g H Q / \eta_{нас.}$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³; $g = 9,81$ м/с²; $\eta_{нас}$ – КПД насоса (зависит от положения дроссельной заслонки). Базовые значения подачи насоса и его напора – 0,01573 м³/с и 54,5 м, соответственно.

Приводным двигателем насоса является асинхронный типа 4A160M4. Изначально изменение подачи воды соответственно суточному графику осуществляется с помощью дроссельных заслонок. В табл.1 приведены основные показатели, характеризующие

работу насоса, а также определенные с помощью программы DIMASDrive потребляемая мощность P_1 и коэффициент мощности $\cos \phi$ с нерегулируемым приводным двигателем. Базовое значение частоты вращения насоса 1460 об/мин.

В той же таблице приведены результаты, полученные при использовании частотно-регулируемого электропривода с двигателем 4A160M4. КПД насоса определяется [4]

$$\eta_{нас} = 1 - (1 - \eta_{нас.}) / n^*$$

где $\eta_{нас}$ – КПД насоса при номинальной подаче, принятый 69,8 %. КПД транзисторного ПЧ был принят 97 %. Коэффициент мощности на входе преобразователя является постоянным 0,95. Рассмотрение коэффициента мощности двигателя нецелесообразно. Анализировались привода, работающие с двумя законами частотного управления $U/f = \text{const}$ и $U/f^2 = \text{const}$. Кроме двигателя 4A160M4, исследовался двигатель 4A160S4.

Для двигателя 4A160M4 были разработаны два варианта, отличающиеся глубиной модификации. В первом случае изменялись только параметры обмотки статора двигателя, во второй – изменялись также главные аксиальные и радиальные размеры, геометрия статорной и роторной пазовых зон. В табл.1 даны потребляемые мощности при частотном регулировании: P_1 – серийным двигателем 4A160M4, $P_{1\text{мод}}$ – его второй модификацией.

Данные, аналогичные представленным в таблице, получены для различных двигателей и их модификаций при разных законах частотного управления.

Показатели работы насоса при различных видах регулирования

Время суток	Подача, Q^* , о.е.	Дроссельное регулирование					Частотное регулирование ($U/f^2 = \text{const}$)				
		Напор, H^* , о.е.	P , кВт	n , о.е.	P_1 , кВт	$\cos \phi$	Напор, H^* , о.е.	P , кВт	n^* , о.е.	P_1 , кВт	$P_{1\text{мод}}$, кВт
0-1	0,45	1,194	7,17	1,0127	8,178	0,850	0,894	5,43	0,801	6,19	6
1-2	0,41	1,242	6,91	1,0133	7,888	0,844	0,886	4,94	0,791	5,64	5,46
2-3	0,39	1,261	6,78	1,0136	7,743	0,841	0,883	4,70	0,786	5,37	5,19
3-4	0,37	1,284	6,66	1,0138	7,609	0,839	0,880	4,46	0,782	5,09	4,93
4-5	0,37	1,284	6,66	1,0138	7,609	0,839	0,880	4,46	0,782	5,09	4,93
5-6	0,44	1,210	7,11	1,0128	8,111	0,848	0,890	5,30	0,798	6,05	5,63
6-7	0,47	1,202	7,31	1,0124	8,334	0,852	0,897	5,67	0,806	6,47	6,26
7-8	0,47	1,202	7,31	1,0124	8,334	0,852	0,897	5,67	0,806	6,47	6,26
8-9	0,56	1,116	7,96	1,0109	9,056	0,866	0,913	6,75	0,832	7,67	7,45
9-10	0,85	0,998	10,46	1,0047	11,910	0,895	0,970	10,24	0,935	11,64	11,27
10-11	0,88	1,000	10,76	1,0038	12,268	0,896	0,977	10,61	0,948	12,08	11,67
11-12	0,86	0,999	10,56	1,0044	12,032	0,896	0,974	10,38	0,939	11,8	11,43
12-13	0,80	0,994	9,98	1,0060	11,341	0,895	0,961	9,65	0,915	10,97	10,62
13-14	0,80	0,994	9,98	1,0060	11,341	0,895	0,961	9,65	0,915	10,97	10,62
14-15	0,79	1,002	9,98	1,0060	11,341	0,895	0,973	9,65	0,915	10,97	10,62
15-16	0,78	0,991	9,79	1,0065	11,116	0,894	0,957	9,41	0,908	10,71	10,36
16-17	0,78	0,991	9,79	1,0065	11,116	0,894	0,957	9,41	0,908	10,71	10,36
17-18	0,82	0,996	10,17	1,0055	11,566	0,895	0,965	9,89	0,923	11,25	10,89
18-19	0,88	1,000	10,76	1,0038	12,268	0,896	0,977	10,61	0,948	12,07	11,67
19-20	0,94	1,002	11,39	1,0021	13,021	0,897	0,989	11,34	0,973	12,88	12,46
20-21	0,96	1,002	11,61	1,0015	13,285	0,897	0,993	11,58	0,982	13,15	12,72
21-22	1	1,000	12,05	1,0003	13,815	0,898	1,001	12,06	1	13,68	13,25
22-23	0,85	0,998	10,46	1,0047	11,910	0,895	0,970	10,24	0,935	11,64	11,26
23-24	0,57	1,106	8,03	1,0108	9,134	0,867	0,914	6,87	0,834	7,83	7,58

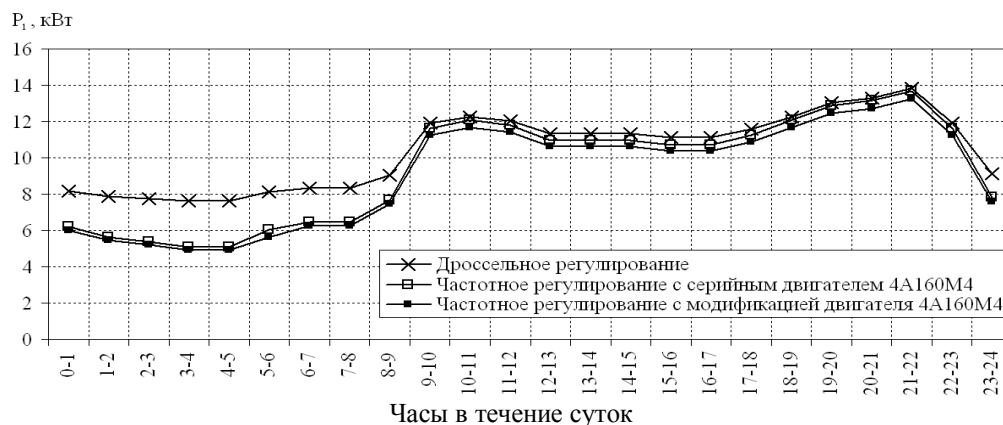


Рис.1. Потребление активной мощности электроприводом насоса при различных способах регулирования

Сопоставление суточного энергопотребления при различных вариантах приведены на рис.1. При частотном регулировании использовался закон управления $U/f^2 = \text{const}$.

Выводы.

1. Для данного проекта суточная экономия энергии за счет замены дросселирования частотным регулированием серийного двигателя 4A160M4 с законом частотного управления $U/f = \text{const}$ составляет 9,6 %.

2. Более приемлемый для данного вида нагрузки закон частотного управления $U/f^2 = \text{const}$ обеспечивает 10 % суточную экономию энергии.

3. Расчеты показывают, что представляется возможным осуществить замену при частотном регулировании приводного двигателя 4A160M4 на двигатель меньшей мощности 4A160S4, что дает суточную экономию по сравнению с дроссельным регулированием 8,7 %.

4. Рассмотрена целесообразность использования специальных модификаций двигателя 4A160M4. Потребляемая энергия при второй модификации несколько ниже, чем для первой модификации. Суточная экономия потребления энергии по сравнению с дроссельным регулированием для 1-й модификации 11 %, а для 2-й – 12,1 %.

5. Большие проценты экономии энергии обеспечиваются при большем диапазоне регулирования.

Список использованной литературы

1. Закладный О.М. Энергосбережения засобами промислового електропривода / О.М.Закладный, А.В.Праховник, О.І.Соловей // Навч. Посібн.. – К: Кондор, 2005. – 408 с.

2. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И.Я.Браславский., З.Ш.Ишматов, В.Н.Поляков – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 256 с.

3. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных установках / Б.С.Лезнов – М.: ИК «Ягроба» - «Биоинформсервис», 1998.

4. Захаров А.В. Исследование эффективности применения специальных серий частотно-регулируемых асинхронных двигателей в электроприводах центробежных насосов / А.В.Захаров, А.Л.Колосов // Электротехника. – № 11. – 2008. – С. 49 – 52.

5. Петрушин В.С. Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе // В.С.Петрушин // Учебн. Пособие. – Одесса: Наука и техника, 2006. – 320 с.

6. Петрушин В.С., Рябинин С.В., Якимец А.М. Программный продукт „DIMASDrive”. Программа анализа работы, выбора и проектирования асинхронных короткозамкнутых двигателей систем регулируемого электропривода (свидетельство о регистрации программы ПА№4065). – К.: Государственный департамент интеллектуальной собственности, 26.03.2001.

7. Kiselychnyk O. Improved interactive energy saving control algorithms of water supply pump based on head measurement/ O.Kiselychnyk, S.Buryan, M.Bodson, H.Werner// Problems of automated electric drive. “Electroinform”, Lviv. – 2009. – P.349-354.

Получено 30.05.2011.



Петрушин Виктор Сергеевич,
 д-р техн. наук, зав. каф.
 “Электрические машины”
 Одесск. нац. политехн. ун-та,
 пр-т Шевченко, 1, ОНПУ,
 тел. (048)734-8494.
 E-mail: viktor_petrushin@ukr.net



Якимец Андрей Миронович,
 канд. техн. наук, доц. каф.
 “Электрические машины”
 Одесск. нац. политехн. ун-та,
 тел. (048)734-8479
 E-mail: yakimets74@gmail.com