

УДК 621.316.72

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА АКТИВНЫХ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ НАСОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Перекрест А.Л., ст. преп., Коренькова Т.В., к.т.н., доц.

Кременчугский государственный политехнический университет имени Михаила Остроградского

39614, г. Кременчук, ул. Первомайская, 20

E-mail: visnik@polytech.poltava.ua

В статті проведено аналіз вимог до системи електропривода активних регулюючих пристроїв насосних комплексів і представлені рекомендації щодо використання конкретних видів електроприводів систем активного регулювання продуктивності для різних технологічних умов.

Ключевые слова: насосный комплекс, активное регулирование, характеристики насосного комплекса, электропривод, асинхронный генератор, четырехквadrантный преобразователь частоты.

Analysis of the requirements is organized to system of electric drive active regulation device pumps complex and is presented recommendations on use concrete type electric drive for different technological conditions in article.

Key words: the pumping complex, active regulation, features of the pumping complex, электропривод, anisochronous generator, four quadrants converter of the frequency.

Введение. В работах [1, 2] доказана эффективность использования активных регулировочных устройств, как альтернативного варианта регулирования технологических параметров насосных комплексов (НК) систем коммунального водоснабжения и водоотведения. Структура системы активного регулирования параметров (САРП) НК предусматривает наличие гидротурбинного агрегата (ГТА), установленного в трубопроводной магистрали, и средств регулирования его мощности. При этом, мощность ГТА можно регулировать как гидромеханическим (изменением открытия направляющего аппарата), так и электрическим (изменением частоты вращения) способами. Одним из основных элементов САРП является электрический генератор, расположенный на одном валу с гидротурбиной, со средствами возбуждения и регулирования отдаваемой мощности.

Выбор генератора САРП, обеспечивающего связь с энергосетью, должен производиться на основе величины расчетной мощности турбины с учетом типа турбинного агрегата. Так, например, в системах коммунального водоснабжения с установленной мощностью основного насосного оборудования до 1.5 МВт для обеспечения требуемого диапазона изменения расхода в сети потребителя (например, до 50 % вниз от номинальной) требуется применение ГТА мощностью до 300 кВт [1]. В качестве ГТА САРП НК возможно использование серийно выпускаемых гидроагрегатов (например, фирм «Минигидро» (г. Харьков), «MAVEL» (Чехия)) с диапазоном установленных мощностей от 150 до 250 кВт, предназначенных для микро- и малых гидроэлектростанций [3]. Такие гидроустановки включают в свой состав гидромашину, направляющий аппарат или за-

твор, асинхронный или синхронный генератор.

Цель работы – обоснование выбора системы электропривода активных регулировочных устройств насосных установок систем водоснабжения.

Материал и результаты исследования. Авторами определены требования к электроприводу турбомеханизмов (ТМ) с повышенной управляемостью, обеспечивающие расширение диапазонов изменения технологических параметров при минимальных энергозатратах за счет использования турбинных режимов работы гидромашин (ГМ). Подобные режимы работы гидромашин имеют место в гидроаккумулирующих электростанциях, которые выполняют роль потребителей-регуляторов в энергосистеме [3]. В насосных установках систем водоснабжения переход из насосного в турбинный режимы гидромашин сопровождается повышенными пульсациями давления на выходе насосной установки.

На рис. 1 приведены совместные напорные, расходные и моментные характеристики регулируемого по скорости насосного агрегата для станции с параллельным и последовательным включением двух насосов; в табл. 1 отображены направления и значения основных параметров ГМ в рассматриваемых режимах, что позволило установить условия перехода ГМ из насосного в турбинный режим для обеспечения рекуперации энергии в сеть.

Анализ кривых $Q(\omega)$, $H(\omega)$, $M_{ГМ}(\omega)$, $M_1(\omega)$ - $M_4(\omega)$ (рис. 1) показал, что для реализации насосного, тормозного и турбинного режимов с использованием активных регулировочных устройств требуется управлять темпом изменения частоты вращения гидромашин по сигналу обратной связи по скорости изменения давления с целью ограничения максимального давления в сети потребителя.

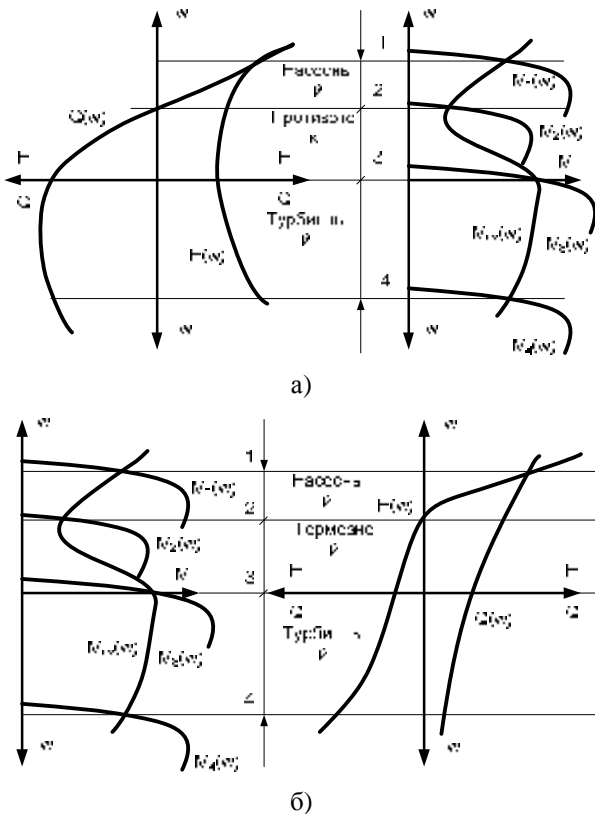


Рисунок 1 – Совместные напорные, расходные и моментные характеристики регулируемого по скорости насосного агрегата:
 а) при параллельном включении насосов; б) при последовательном включении насосов

Таблица 1 – Параметры регулируемых по скорости насосных агрегатов

режим	N _в	N _г	H	Q	ω	M _{гм}	M	Баланс мощности
1	+	+	+	+	+	+	+	N _в = =N _г +ΔN1
2	+	0	+/0*	0/+*	+	+	+	N _в =ΔN2
3	0	-	+/-*	-/+*	0	+	+	N _г =ΔN3
4	-	-	+/-*	-/+*	-	+	+	N _г = =N _в +ΔN4

* +/- - параллельно и последовательно включенная ГМ.

На рис. 1 и в табл. 1 приняты следующие обозначения: 1-4 – режимы работы ГМ; N_в – мощность на валу гидромашин; N_г – гидравлическая мощность; M_{гм}, M – моменты гидравлической машины и его двигателя; H, Q, ω – напор, подача и скорость ГМ; ΔN1- ΔN4 – потери мощности в ГМ; M1(ω)-M4(ω) – механические характеристики двигателя ГМ.

Важным требованием к электроприводу САРП НК является обеспечение пусковых моментов гидромашин при изменении ее режима работы. В [4] получена зависимость момента гидромашин от частоты ее вращения $M_{ГТ} = A(\alpha) + B(\alpha)v + C(a)v^2$ в

турбинном режиме, из которой следует, что момент ГМ при пуске зависит от открытия направляющего аппарата и составляет $M_{ГТ} = (1.2-1.4)M_{ГТ\text{ ном}}$.

Турбинные режимы ГМ могут быть достигнуты изменением направления вращения рабочего колеса механизма при изменении знака подачи или напора. В связи с этим, САРП должна быть укомплектована четырехквadrантным силовым преобразователем, обеспечивающим рекуперацию энергии в сеть при работе ГМ в турбинном режиме.

С целью реализации режима минимального энергопотребления при работе ГМ САРП необходимо формировать рациональный закон частотного регулирования, обеспечивающий постоянство перегрузочной способности электропривода турбомеханизма. Для реализации этого в систему управления ЭП ГМ САРП необходимо введение контура оптимизации по измеренным сигналам частоты вращения и потребляемой мощности в различных режимах работы ГМ.

С учетом перечисленных выше требований системы электропривода ГМ САРП можно классифицировать в зависимости от способа регулирования мощности на системы с нерегулируемым и регулируемым ЭП (рис. 2). При этом, в качестве электрических генераторов САРП НК могут использоваться как асинхронные (АГ), так и синхронные генераторы (СГ). Асинхронный генератор значительно дешевле и проще синхронного той же мощности; более надежен и доступен – практически любой серийный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором может быть использован в качестве асинхронного генератора [5].

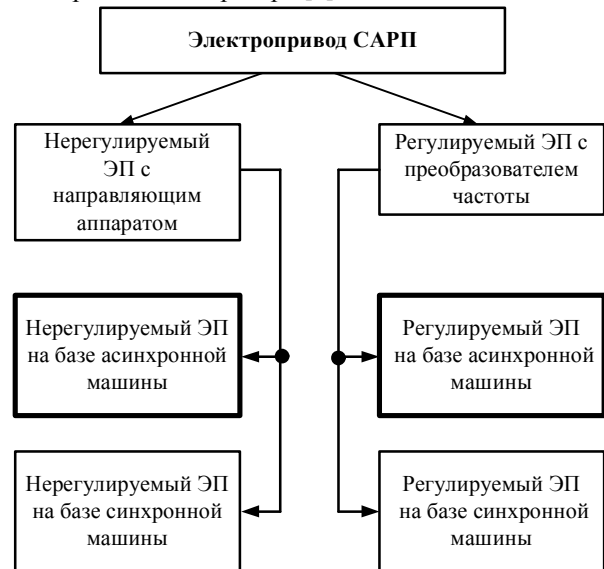


Рисунок 2 – Классификация ЭП САРП НК

Анализ зарубежных и отечественных технических разработок в области создания генераторов для ветроэнергетических установок, малых гидроэлектростанций и приливных электростанций различных классов показал, что находят применение самые различные системы регулирования мощности элек-

трических генераторов [6, 7]. Так, силовая часть САРП НК на базе нерегулируемого ЭП с непосредственной связью с сетью может быть реализована с использованием схемы емкостного возбуждения АГ (рис. 3, а)) или АГ с вентильным возбуждением от полупроводникового преобразователя (рис. 3, б)), выполненного по схеме автономного инвертора напряжения (АИН). При этом, в АГ с емкостным возбуждением начальное самовозбуждение обеспечивается автоматически при достижении критической частоты вращения (0.7-0.8 номинальной); для начального самовозбуждения АГ с вентильным возбуждением используются специальные схемы включения коммутирующих конденсаторов АИН. Преобразователи вентильных систем возбуждения выполняются на основе АИН и автономного инвертора тока (АИТ), непосредственных преобразователей частоты (НПЧ) [5].

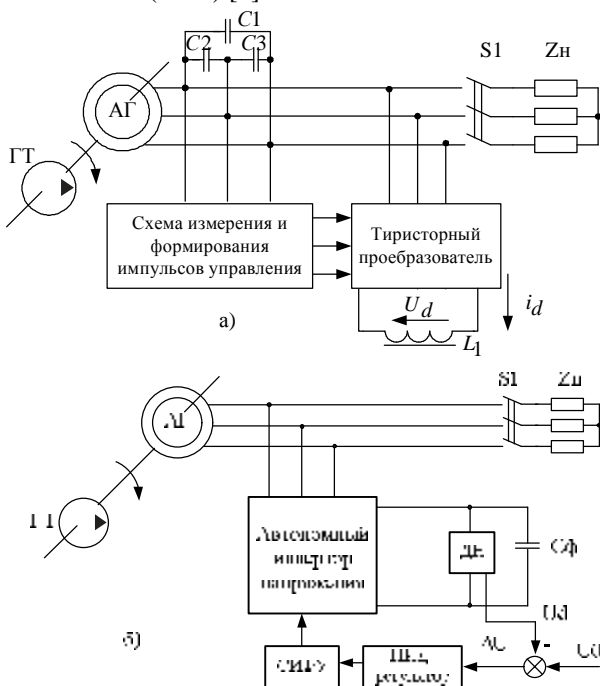


Рисунок 3 – Функциональные схемы АГ с емкостным возбуждением а) и вентильным возбуждением б):

Z_н – автономная нагрузка; C₁-C₃ – конденсаторы возбуждения; L₁ – нагрузочный дроссель; C_ф – буферный конденсатор; ДН – датчик напряжения

КПД генераторной установки на базе АГ с емкостным возбуждением в номинальном режиме на 7-8% выше, чем АГ с вентильным возбуждением, однако при изменении частоты вращения и нагрузки снижается более интенсивно. Содержание высших гармоник в сигналах напряжения и тока АГ с емкостным возбуждением на порядок меньше, чем при использовании АГ с вентильным возбуждением. По мере роста нагрузки форма фазного тока АГ улучшается в обоих случаях.

Альтернативой АГ могут выступать генерирую-

щие установки на базе СГ, непосредственно подключенные к питающей сети без силовых трансформаторов. Регулирование мощности ГМ САРП в этом случае осуществляется гидромеханическим путем с использованием направляющего аппарата.

Возможность упрощения конструкции механического оборудования турбинной установки, повышение энергетической эффективности и надежности системы активного регулирования реализуются за счет переноса основных функций управления на электрическую часть. При этом, требуется применение машинно-вентильных систем как комплекса, которые в сочетании с современным микропроцессорным управлением, позволят добиться наилучших энергетических показателей.

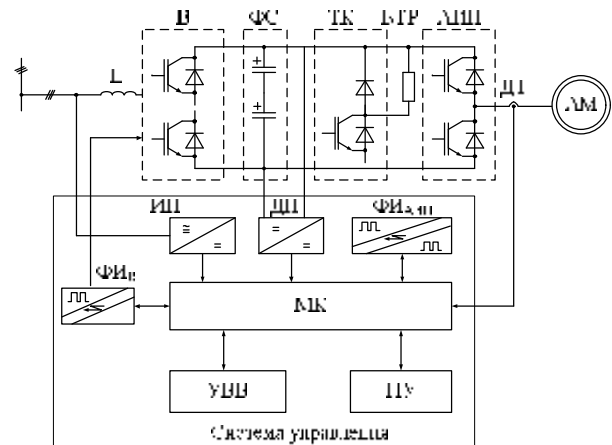


Рисунок 4 – Функциональная схема типового четырехквadrантного ПЧ:

В - реверсивный управляемый выпрямитель;
ТК – транзисторный ключ реостатного торможения; БР – блок тормозного резистора;
АИН - автономный инвертор напряжения;
ДТ – датчик тока; ДН – датчик напряжения;
ИП – источник питания;
ФИ_В, ФИ_{АИН} – формирователи управляющих импульсов выпрямителя и АИН;
МК – микропроцессорный контроллер;
УВВ – устройство ввода/вывода;
АМ – асинхронная машина

При наличии преобразователя частоты (ПЧ) генератор САРП работает синхронно с сетью практически при любой частоте вращения, поэтому наиболее целесообразным является применение машинно-вентильных каскадов на базе систем ПЧ-АГ и ПЧ-СГ. При этом возможность изменения частоты вращения значительно расширяет диапазон нагрузок, при которых гидротурбина работает с высоким КПД. В качестве силовых преобразователей могут выступать выпускаемые промышленностью четырехквadrантные преобразователи частоты, обеспечивающие работу электропривода как в двигательном, так и в тормозном режимах. К числу таких устройств относятся ПЧ, например, серии Триол АТ05, MITSUBISHI с блоком рекуперации энергии.

[5]. Структурно эти устройства представляют собой стандартный ПЧ со звеном постоянного тока, где в качестве сетевого выпрямителя используется трехфазный диодно-транзисторный модуль. Диодный мост является сетевым выпрямителем в двигательном режиме работы электропривода, обратный транзисторный мост – сетевым инвертором в тормозном режиме (рис. 4).

Выводы. Выполненный анализ позволил сформулировать следующие рекомендации по выбору электропривода систем активного регулирования параметров насосных комплексов:

- применение асинхронных машин для привода ГМ САРП наиболее перспективно в связи с очевидными их преимуществами по сравнению с синхронными машинами: лучшие массогабаритные, стоимостные и энергетические показатели для требуемого диапазона мощностей;

- при гидромеханическом способе регулирования мощности ГТА целесообразно использовать нерегулируемый асинхронный ЭП, при электрическом – регулируемый по схеме ПЧ-АГ;

- для САРП насосных комплексов малых мощностей, предназначенных для работы на автономного потребителя, целесообразно использовать схему нерегулируемого асинхронного ЭП с емкостным возбуждением;

- для САРП насосных комплексов средних мощностей, предназначенных для работы параллельно с энергосистемой, обоснованно применение машинно-вентильных схем на основе системы ПЧ-АГ, обеспечивающих работу ЭП ГТА во всех четырех квадрантах его характеристик;

- свойство обратимости гидравлических и электрических машин расширяет возможности использования САРП как в стационарных, так и в аварийных режимах работы технологического комплекса;

при этом в систему автоматического управления НК с САРП должна быть введена обратная связь по скорости изменения напора в трубопроводной магистрали для реализации гидрозащитных функций используемого оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коренькова Т.В., Перекрест А.Л., Кравец А.М. Обоснование целесообразности использования альтернативных способов регулирования параметров насосных станций / Праці Луганського відділення Міжнародної Академії інформатизації. - №1 (10)2005. Луганськ 2005, – С. 136-144.

2. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый электропривод в насосных и воздуходувных установках. М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360с.

3. Аршенский Н.Н. Обратимые гидромашинные гидроаккумулирующие электростанции. М.: Энергия, 1977. – 239с.

4. Перекрест А.Л., Коренькова Т.В. Характеристики турбомеханизмов в двигательном и тормозном режимах электропривода // Електромашинобудування та електрообладнання. Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. Вип. 66. – Київ: Техніка, 2006. – С. 180-183.

5. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод. М.: Академия, 2004. – 256с.

6. Хлапук Н.Н., Маковський А.М. Мала гідроенергетика України – можливості розвитку. Гідроенергетика України, №3 2005, – С. 30-40.

7. Голоднов Ю.М., Псковский А.В. Генераторы для ветровых, малых гидравлических и приливных электростанций // Итоги науки и техники. Серия Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Том 3, М.: ВИНТИ, 1992. – 99с.

Стаття надійшла 4.04.2008 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Родькіним Д.Й.