

Об эффективности использования регулируемого асинхронного электропривода

Рассматриваются вопросы сравнительной оценки вариантов модернизации существующих электроприводов центробежных механизмов заменой устаревших систем на более современные. Предлагаются формулы и графики для оценки активной и реактивной мощности. Анализируется возможность снижения затрат на ремонты и наладку. Обосновываются преимущества современных систем электропривода с широтно-импульсными регуляторами напряжения двигателя.

Эффективность замены устаревших технических систем новыми определяется прежде всего экономической эффективностью, которая может быть получена в результате уменьшения эксплуатационных затрат. В условиях производства используют два варианта реконструкции путем замены нерегулируемого электропривода регулируемым, путем замены регулируемого электропривода более современным. В каждом варианте можно получить экономию на потребляемой энергии и экономию на ремонтах. Поэтому представляет интерес расчет и сравнение потребляемых мощностей.

Известно, что для центробежных механизмов (насос, вентилятор, компрессор) производительность Q ($\text{м}^3/\text{с}$) пропорциональна первой степени частоты вращения ω (рад/сек), напор H (Па) - второй степени частоты вращения, а требуемая мощность P_m их производству

$$P_m = kQH,$$

где k - коэффициент пропорциональности

Для приближенного анализа составляющих потребляемой активной мощности можно принять такие допущения:

- при постоянной скорости механизма напор не зависит от расхода ($H \approx \text{const}$);
- характеристика напорной магистрали параболическая функция ($H/Q^2 = \text{const}$);
- приводной электродвигатель выбран так, что его номинальная мощность равна номинальной мощности механизма ($P_n = P_{mn}$);
- КПД электродвигателя не зависит от нагрузки и скорости вращения.

Из характеристики напорной магистрали следует, что для изменения расхода в q раз

$$Q_1 = q Q_H$$

нужно изменить напор в q^2 раз

$$H_1 = q^2 H_H$$

где Q_H, H_H - номинальные значения расхода и напора.

При этом полезная мощность, требуемая для обеспечения Q_1 , составит

$$P_1 = kQ_1; \quad H_1 = P_m q^3.$$

В случае регулирования производительности задвижкой, напор перед задвижкой практически не изменяется и на задвижке теряется мощность

$$\Delta P_{з\delta\theta} = k(H_m - H_1)Q_1 = P_n q(1 - q^2)$$

Потери мощности на нагрев электродвигателя зависят от передаваемой мощности и КПД двигателя (η)

$$\Delta P_o = (P_1 + \Delta P_{з\delta\theta}) \frac{1 - \eta}{\eta}.$$

В результате потребляемая из сети активная мощность будет равна

$$P_{a0} = P_1 + \Delta P_{з\delta\theta} + \Delta P_o = (P_n q^3 + P_n q(1 - q^2)) \frac{1}{\eta} + P_n \frac{q}{\eta}. \quad (1)$$

Для варианта регулирования скорости вращения вала механизма без изменения скорости вращения магнитного поля двигателя ω_0 (например, регулирование гидромuftой

или добавочными сопротивлениями в роторных цепях двигателя) составляющая $\Delta P_{здв}$, исключается, но возникают потери мощности в регулирующих элементах (муфте, добавочных сопротивлениях) которые пропорциональны моменту на валу двигателя M_1 и изменению скорости

$$\Delta P_{дон} = M_1(\omega_n - \omega_1).$$

Момент двигателя M_1 можно оценить по значению требуемой мощности P_1 на его валу

$$M_1 = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{P_n}{\omega_n} \cdot \frac{\omega_n}{\omega_1} \cdot q^3 = \frac{P_n}{\omega_n} q^2.$$

Поэтому

$$\Delta P_{дон} = P_n q^2 (1 - q).$$

Потери мощности в электродвигателе

$$\Delta P_{\partial 1} = (P_1 + \Delta P_{дон}) \frac{1 - \eta}{\eta}.$$

Потребляемая из сети активная мощность

$$P_{a1} = (P_n q^3 + P_n q^2 (1 - q)) \frac{1}{\eta} - P_n \frac{q^2}{\eta}. \quad (2)$$

В случае использования привода с регулированием скорости электродвигателя изменением частоты подводимого напряжения, потери мощности на регулирующей аппаратуре будут минимальными

Для упрощения их можно принять равными нулю. Это значит, требуемую активную мощность можно оценить по формуле

$$P_{a2} = P_n \frac{q^3}{\eta}. \quad (3)$$

Формулы (1), (2) и (3) можно представить в удобных для анализа относительных единицах

$$h_0 = \frac{P_{a0}}{P_n} + \frac{q}{\eta};$$

$$h_1 = \frac{P_{a1}}{P_n} = \frac{q^2}{\eta};$$

$$h_2 = \frac{P_{a2}}{P_n} = \frac{q^3}{\eta}.$$

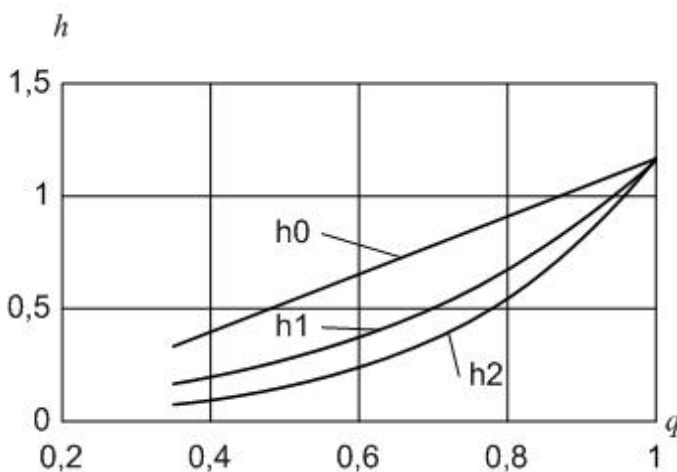


Рисунок 1. Влияние производительности на потребляемую мощность.

Графики зависимостей (h_0), (h_1) и (h_2) показаны на рисунке (КПД двигателя принят равным 0,9) и позволяют оценить возможность снижения потребляемой активной мощности. В любом случае наименьшее значение мощности соответствует варианту с частотно-регулируемым электроприводом.

Кроме активной энергии электропривод может потреблять и реактивную. Причем, обе составляющие учитываются счетчиками и за обе нужно платить. Поэтому сравнивая варианты привода необходимо учесть возможность уменьшения реактивной

мощности.

Реактивная мощность, потребляемая электродвигателем, подключенным к питающей электросети без преобразователя, связана с процессом создания магнитного поля в рабочем зазоре и магнитных полей рассеяния. Магнитное поле рабочего зазора практически постоянно и значительно превышает по величине изменяющиеся поля рассеяния. Поэтому затраты энергии на создание магнитных полей можно принять постоянными и ориентировочно оценить их по номинальным данным двигателя:

$$P_{\text{пов}} = 3U_{\phi_n} I_{\phi_n} \sin \varphi_n = 3U_{\phi_n} I_{\phi_n} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_n} \approx 3U_{\phi_n} I_{\phi_n} \sqrt{1 - \left(\frac{1,25P_n}{3U_{\phi_n} I_{\phi_n}} \right)^2},$$

где U_{ϕ_n} , I_{ϕ_n} , P_{ϕ_n} , $\cos \varphi_n$ - номинальные значения напряжения фазы, тока фазы, мощности и коэффициента мощности

Частотно-регулируемый электропривод с промежуточным звеном постоянного тока такую мощность не потребляет.

Сравнивая варианты, следует учесть, что использование регулируемых резисторов в роторе требует использования электродвигателя с фазным ротором. Скользящий контакт ротора обычно является источником неплановых отказов, а пускорегулирующая аппаратура требует постоянного обслуживания и ремонта. Использование гидромукфы также требует постоянного обслуживания и ремонтов (особенно резиновых уплотнений). Поэтому частотно-регулируемый привод имеет не только энергетические, но и эксплуатационные преимущества.

Экономию на ремонтах можно оценить по стоимости среднего количества незапланированных ремонтов из-за неблагоприятного характера процессов пуска и торможения. Например, при пуске асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью в сотни киловатт (привод компрессора или транспортера) возникает проблема защиты от действия больших (>1000 А) пусковых токов. Такие токи:

- вызывают нежелательные механические усилия, местные перегрузки элементов по механическому износу и нагреву;
- сокращают срок службы изоляции вибрирующих проводников, механической и электрической части коммутационных аппаратов создают дополнительные потери напряжения в питающей сети, которые могут стать причиной нежелательных защитных отключений участков электроснабжения с другими потребителями.

Для уменьшения количества трудных пусковых режимов в условиях эксплуатации создают условия непрерывной многосуточной работы, что приводит к непроизводительному расходу всех видов электрической энергии. Типичный пример - привод компрессора с перегрузочным механическим клапаном. Сжатый воздух в определенные промежутки времени может не расходоваться, а электропривод все равно потребляет практически постоянную мощность.

Привод с плавным экономичным регулированием скорости и ускорения позволяет исключить подобные проблемы.

Предлагаемый частотно регулируемый электропривод с асинхронным электродвигателем и инвертором напряжения на базе широтно-импульсных модуляторов имеет ряд технических и эксплуатационных преимуществ:

- обеспечивается уменьшение потребляемой активной электрической энергии до 65% при глубине регулирования производительности до 0,5 (см. рисунок);
- на входе установлен нерегулируемый сетевой выпрямитель и поэтому привод потребляет из питающей сети практически активную энергию. Реактивная энергия, необходимая для работы асинхронного двигателя, создается и циркулирует внутри привода между накопительным конденсатором сетевого выпрямителя и обмотками двигателя через инвертор. Счетчиком реактивной энергии она не учитывается;

- потери энергии на нагрев минимальны, так как:
 - электродвигатель работает в условиях естественной характеристики без добавочных сопротивлений в цепи ротора;
 - нет искажений формы тока двигателя и связанных с ними потерь активной мощности (до 15%);
 - потери мощности на элементах преобразователя весьма невелики (КПД преобразователя достигает значений 0,97-0,98);
- инвертор напряжения с широтно-импульсной модуляцией на частоте 5-10 кГц позволяет формировать практически синусоидальное напряжение регулируемой частоты и амплитуды. В результате обеспечиваются устойчивый режим вращения двигателя на малых скоростях и плавный пуск с заданным ускорением;
- малая мощность и габариты системы управления позволили использовать встроенную микро-ЭВМ, которая значительно упростила наладку и переналадку системы, увеличила надежность системы расширением диагностических функций;
- электроприводы выпускаются серийно, не содержат компонентов, за которыми нужен постоянный оперативный контроль, требуют минимальных затрат на эксплуатацию (осмотры, наладку, ремонт).