

ПРОБЛЕМА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ И СРЕДСТВАМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА



Электроприводы потребляют до 65% электроэнергии и осуществляют практически все технологические процессы, связанные с движением. Считается, что сегодня сэкономить единицу энергетических ресурсов, например 1 т топлива в условном исчислении, вдвое дешевле, чем ее добыть. Если в нерегулируемом электроприводе доминировал и продолжает доминировать асинхронный двигатель, то в регулируемом приводе до недавнего времени применялся почти исключительно двигатель постоянного тока. В последние годы, в связи с появлением надежных и приемлемых по цене преобразователей частоты, ситуация кардинально изменилась. В Европе к 2000 году лишь 15% регулируемых электроприводов укомплектовано двигателями постоянного тока. Поэтому актуально рассматривать проблему энергосбережения главным образом применительно к асинхронному электроприводе, в том числе частотно-регулируемому. В миро-

вой практике сложилось несколько основных направлений решения указанной проблемы.

Энергоэффективные двигатели (ЭД) — это асинхронные ЭД с короткозамкнутым ротором, в которых за счет увеличения массы активных материалов, их качества, а также за счет специальных приемов проектирования удается поднять на 1–2% (мощные двигатели) или на 4–5% (небольшие двигатели) номинальный КПД при некотором увеличении цены двигателя.

Этот подход может приносить пользу, если нагрузка меняется мало, регулирование скорости не требуется и двигатель правильно выбран.

Правильный выбор двигателя по мощности для конкретного технологического процесса. Известно, что средняя нагрузка электродвигателя (отношение мощности, потребляемой рабочим органом машины к номинальной мощности электродвигателя) в отечественной промышленности составляет 0,3–0,4 (в европейской практике эта величина составляет 0,6). Это значит, что двигатель работает с КПД значительно ниже номинального. Завышен-

ная «на всякий случай» мощность двигателя часто приводит к незаметным на первый взгляд, но очень существенным отрицательным последствиям в обслуживаемой электроприводом технологической сфере, например, к излишнему напору в гидравлических сетях, связанному с ростом потерь, снижению надежности и т.п.

Применение фильтрокомпенсирующих устройств в цепи питания электропривода с целью повышения коэффициента мощности и фильтрации высших гармоник тока.

В нерегулируемом электроприводе с асинхронным двигателем, работающем часть цикла вхолостую, — снижение напряжения при уменьшении нагрузки.

Вышеуказанные направления касаются энергосбережения собственно в приводе и преследуют цель сократить потери на преобразование электрической энергии в механическую и повысить энергетические показатели электропривода. Автоматизированный электропривод дает более широкие возможности по энергосбере-

жению вплоть до создания новых энергосберегающих технологий.

Поэтому основной путь энергосбережения средствами электропривода — это подача в каждый момент времени конечному потребителю необходимой мощности именно в этот момент. Это может быть достигнуто посредством управления координатами (т.е. скоростью и моментом) электропривода в регулируемом электроприводе. Этот процесс стал в последние годы основным в развитии электропривода, и ожидается, что переход от нерегулируемого электропривода к регулируемому в технологиях, где это требуется, позволит сократить до 30% электроэнергии.

Остановимся подробнее на некоторых направлениях.

Энергоэффективные двигатели — это, скорее, чисто западное явление. В России пока такие двигатели не пользуются спросом. Однако работы в этом направлении ведутся, в частности по снижению потерь на охлаждение и в подшипниках. Материалы в следующих номерах. **Правильный выбор двигателя по мощности** связан прежде

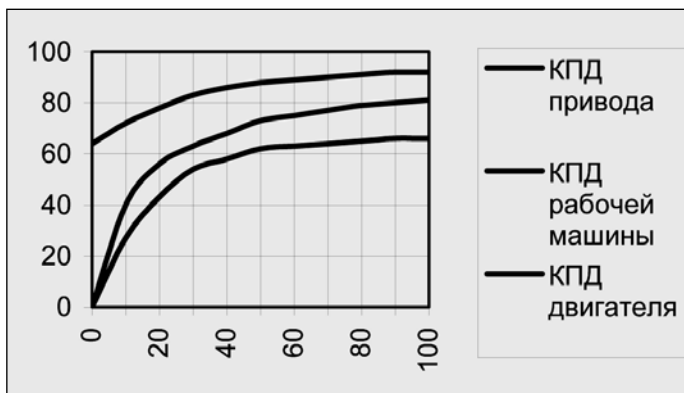


Рис. 1 Зависимость КПД от коэффициента нагрузки

всего с тем, что ранее при проектировании стремились «подстраховаться», и часто установленная мощность двигателя превышала требуемую, поскольку задачи экономии энергоресурсов не было. В настоящее время эта задача имеется, и возможно два подхода к ее решению.

Увеличение нагрузки рабочих машин.

Увеличение средней нагрузки рабочих машин снижает удельные расходы электроэнергии.

На рис. 1 видно, что при уменьшении нагрузки снижается КПД электродвигателя и особенно рабочей машины.

Введем понятие удельного расхода энергии на данной рабочей машине. Этот расход равен количеству энергии, потребляемому двигателем из сети E_c , отнесенному к каждому киловатт-часу полезной работы при данном техническом режиме:

$$E_n = P_m \times T_m,$$

где P_m – мощность, потребляемая рабочим органом машины, кВт;

T_m – машинное время или время полезной работы, ч.

Удельный расход энергии

$$\Delta E = \frac{1}{\eta_{m,n} \times \kappa_n} \left(\kappa_n + \frac{\alpha(1-\eta_{m,n})}{\kappa_m} \right),$$

где $\eta_{m,n}$ – КПД рабочей машины при полной нагрузке;

$$\kappa_n = \frac{P_m}{P_{m,ном}} - \text{коэффициент на-}$$

грузки;

$P_{m,ном}$ – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

$$\kappa_m = \frac{T_m}{(T_m + T_x)} - \text{коэффициент}$$

использования рабочей машины;

T_m – машинное время, ч;

T_x – время холостой работы, ч;

α – коэффициент, зависящий от типа и конструкции рабочей машины, равный 0,7–0,9.

При отсутствии холостого хода ($\kappa_m=1$) удельный расход энергии

$$\Delta E_0 = \frac{\kappa_n + \alpha(1-\eta_{m,n})}{\eta_{m,n} \times \kappa_n}.$$

При максимальном использовании рабочей машины, т.е. при отсутствии холостого хода ($\kappa_m=1$) и полной нагрузке машины ($\kappa_n=1$), удельный расход энергии будет минимальным:

$$\Delta E_0 = \frac{1 + \alpha(1-\eta_{m,n})}{\eta_{m,n}}.$$

Отношение $\beta = \frac{\Delta E}{\Delta E_0}$ определяет

коэффициент увеличения удельного расхода энергии в зависимости от нагрузки и продолжительности работы в режиме холостого хода:

$$\beta = \frac{\kappa_n \kappa_m + \alpha(1-\eta_{m,n})}{[1 + \alpha(1-\eta_{m,n})\kappa_n \kappa_m]}.$$

В качестве примера приведем одну из проведенных работ на металлообрабатывающем производстве у одного из клиентов, токарный станок постоянно работал с нагрузкой, равной 25% номинальной мощности ($\kappa_n=25\%$), и с продолжительностью периода холостого хода вращения, равной 50% ($\kappa_m=0,5$). В этом случае удельный расход энергии, по сравнению с минимально возможным расходом энергии при полном использовании станка, по расчету составит 210%.

После проведения расчетов, нагрузку станка увеличили, так что $\kappa_n=80\%$, и сократили период холостого вращения так, что $\kappa_m=0,9$. Увеличение удельного расхода энергии составит только 106%.

Учитывая, что $\beta = \frac{\Delta E}{\Delta E_0}$,

где $\Delta E_0=1,48$ кВт/ч и $\alpha=0,9$, была получена часовая экономия электроэнергии: $\Delta E = (\beta_1 - \beta_2) \Delta E_0 = (2,5 - 1,06) 1,48 = 2,14$ кВт/ч

Второй подход заключается в замене незагруженных электродвигателей электродвигателями меньшей мощности. Замена незагруженных двигателей, даже если она оправдана расчетом, может производиться только после тщательной проверки возможности их полной загрузки за счет правильного использования приводимых ими рабочих машин.

1. Если средняя нагрузка электродвигателя менее 45% номинальной мощности, то замена его менее мощным двигателем всегда целесообразна и проверка расчетами не требуется.

2. При нагрузке более 70% номинальной мощности можно считать, что замена его нецелесообразна.

3. При нагрузке двигателя в пределах 45–70% номинальной мощности целесообразность его замены должна быть подтверждена уменьшением суммарных потерь активной мощности в электрической системе и в электродвигателе. Эти суммарные потери активной мощности определяются по формуле:

$$\Delta P_{сум} = [Q_x(1-\eta_n^2) + \eta_n^2 Q_{ном}] \eta_n + \Delta P_x + \eta_n^2 \Delta P_{a,n}$$

где $Q_x = ? 3 U_{ном} I_x$ – реактивная мощность, потребляемая двигателем из сети при холостом ходе, кВар;

I_x – ток холостого хода двигателя, А;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение двигателя, В;

$\eta_n = P/P_{ном}$ – коэффициент нагрузки двигателя;

P – средняя нагрузка двигателя, кВт;

$P_{ном}$ – номинальная мощность двигателя, кВт;

$Q_{ном} = (P_{ном}/\eta_\theta) \text{tg}\varphi_{ном}$ – реактивная мощность двигателя при номинальной нагрузке, кВар;

η_θ – КПД двигателя при полной нагрузке;

$\text{tg}\varphi_{ном}$ – производная от номинального коэффициента мощности двигателя;

η_θ – коэффициент повышения потерь (рекомендуемое значение – 0,1);

$\Delta P_x = P_{ном} ((1-\eta_\theta)/\eta_\theta)(\gamma/(1+\gamma))$ – потери активной мощности при холостом ходе двигателя, кВт;

$\Delta P_{a,n} = P_{ном} ((1-\eta_\theta)/\eta_\theta)(1/(1+\gamma))$ – прирост потерь активной мощности в двигателе при нагрузке 100%, кВт;

$\gamma = \Delta P_x / \Delta P_{a,n}$ – расчетный коэффициент, зависящий от конструкции двигателя и определяемой из выражения,

$\gamma = (\Delta P_x, \%)/((1-\eta_\theta, \%) - \Delta P_x, \%)$ – в котором $\Delta P_x, \%$ численно равен потерям активной мощности при холостом ходе двигателя, но берется безразмерным.

Рассмотрим пример. К нам обратились с просьбой проверить рентабельность замены двигателя мощностью 125 кВт, работающего с нагрузкой 70 кВт; двигателем 75 кВт.

Двигатель 125 кВт имеет параметры:

$\eta=0,92$;

$\cos\varphi=0,92$;

$I_x=71$ А;

$\Delta P_x=4,4$ кВт.

Расчеты дают следующие результаты:

$Q_x=46,6$ кВар;

$Q_{ном}=58$ кВар;

$\kappa_n=0,7$;

$\gamma=4,4/((100-92)-4,4)=1,22$;

$\Delta P_{a,n}=4,9$ кВт;

$\Delta P_{сум}=11,99$ кВт.

Двигатель 75 кВт имеет параметры:

$\eta=0,91$;

$\cos\varphi=0,92$;

$I_x=42,6$ А;

$\Delta P_x=3,2$ кВт.

Результаты расчетов:

$Q_x=27,9$ кВар;

$Q_{ном}=35$ кВар;

$\kappa_n=0,93$;

$\gamma=3,2/((100-91)-3,2)=0,57$;

$\Delta P_{a,n}=4,36$ кВт;

$\Delta P_{сум}^1=10,4$ кВт.

Если заменить 125-киловаттный двигатель 75-киловаттным, то получим снижение потерь активной мощности в двигателе и электрических сетях:

$\Delta P = \Delta P^1 - \Delta P^2 = 11,99 - 10,4 = 1,59$ кВт.

Специально рассмотрим **выбор двигателя для насоса**, поскольку эта одна из категорий массового применения асинхронных двигателей и одна из категорий массового несоответствия установленной мощности требуемой.

Как известно, мощность электродвигателя для насоса рассчитывается по формуле, кВт:

$$P = \frac{\kappa Q N \gamma}{600 \times 102 \times \eta_n \times \eta_n},$$

где Q – подача насоса, м³/ч;

η – коэффициент запаса мощности (при $Q \leq 100$ м³/ч, $\eta=1,2-1,3$; при $Q < 100$ м³/ч, $\eta=1,1-1,5$);

N – полный напор с учетом высоты всасывания, м;

η_n – КПД насоса, %;

η_n – КПД передачи, %;

γ – плотность жидкости, кг/м³.

Удельный расход электроэнергии для любого режима работы насоса, кВт·ч/м³:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{N \times 1000}{102 \times 3600 \times \eta_\theta \times \eta_n} = \\ &= 0,00272 \frac{N}{\eta_\theta \eta_n}, \end{aligned}$$

где N – действительный напор, развиваемый насосом при данном режиме, м. вод. ст., $\eta_\theta \eta_n$ – КПД э/дв. и насоса при данном режиме. Наилучший выбор электродвигателя считается в том случае, когда при минимальном удельном расходе электроэнергии на подачу воды достигается требуемая подача и напор насоса. Поддача и напор зависят от характеристик системы водоснабжения, где установлен насос, поэтому паспортные данные выбранного насоса должны максимально совпадать с сопротивлением трубопроводов системы водоснабжения.

Об энергосбережении средств электропривода в насосах помещена статья в августовском номере настоящей газеты. Здесь остановимся подробнее на сравнении с другими способами энергосбережения.

Изменение (регулирование) режима работы насоса осуществляется:

– напорной или приемной задвижкой;

– изменением числа работающих насосов;

– изменением частоты вращения электродвигателя (с помощью ПЧ).

Анализ:

– при регулировании задвижкой с уменьшением расхода воды КПД насоса уменьшается, а значение напора растёт. Следовательно, с уменьшением расхода воды удельный расход электроэнергии быстро возрастает;

– если числом насосов, то КПД двигателя и насоса неизменно. Напор из-за уменьшения расхода и потерь в сети снижается; удельные расходы электроэнергии также снижаются;

– при частотном регулировании электродвигателя КПД насоса и электродвигателя с уменьшением расхода снижаются, напор также снижается. Удельные расходы электроэнергии изменяются незначительно.

Т.о. наиболее экономично – изменение числа работающих насосов; далее – регулировка частотой.

При этом в системах с преобразованием резкопеременных расходов рациональнее регулировать частотой.

В системах с постоянным расходом более рационально – числом насосов.

Использование задвижек – для мелких насосов, а также когда регулирование производится в течение небольшого числа часов в году.

И.В. Осин