

## СРАВНЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Известно, что при работе асинхронных двигателей (АД) с постоянной частотой питающего напряжения потери в двигателе в установленном режиме являются функцией момента нагрузки и тока намагничивания. Поскольку зависимость потерь, обусловленных током намагничивания, от момента нагрузки имеет экстремальный характер, для каждого значения момента нагрузки потери в двигателе можно сводить к минимуму путем изменения тока намагничивания, например, с помощью тиристорных преобразователей переменного напряжения (ТПН), включаемых в статорную цепь АД.

Следует учитывать, что излишний ток намагничивания вызывает рост потерь не только в самом двигателе, но и в системе электроснабжения промышленного предприятия, в которую он включен. Техничко-экономические расчеты показали, что доля потерь в системе электроснабжения, возникающих при работе таких электроприводов, от общих потерь электроэнергии на предприятии является весьма значительной. Критерий оптимального управления асинхронного двигателя следует определять из условия достижения минимальных потерь электроэнергии во всей системе электроснабжения.

Анализ вариантов оптимального по различным критериям управления АД, как элемента системы электроснабжения, показал, что основным критерием должен быть либо минимум полного тока статора, либо максимум коэффициента мощности АД, поскольку именно эти величины определяют минимальные потери активной мощности в системе электроснабжения и близкие к минимальным потерям в двигателе. Следовательно, система управления АД должна изменять напряжение на выходе ТПН так, чтобы при каждом значении момента нагрузки обеспечить или минимальный ток статора, или максимальный коэффициент мощности АД. Однако при использовании последнего критерия, при котором поддерживается максимальный коэффициент мощности АД, КПД двигателя значительно ниже, чем при других критериях оптимизации. Это обуславливает уменьшение момента на валу АД, и в конечном итоге – снижение его производительности, поэтому такой способ, конечно, нельзя признать целесообразным.

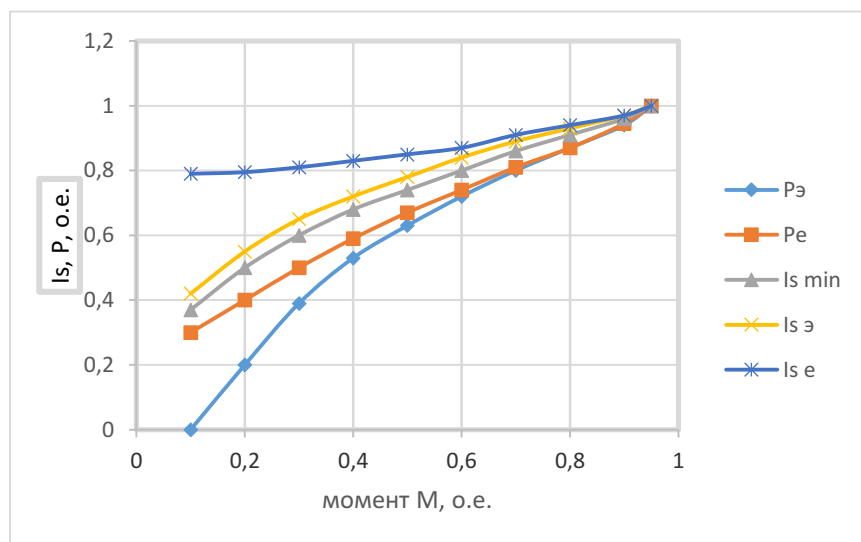
Поэтому, решая поставленную задачу оптимизации как многокритериальную, следует ориентироваться на алгоритмы управления, обеспечивающие значение коэффициента мощности АД, близкое к номинальному, или минимальный ток статора. В этом случае и КПД двигателя также принимает значения, близкие к номинальному.

Следует отметить, что коэффициент мощности этих устройств определяется путем измерения угла  $\beta$  закрывания тиристоров, зависящего от угла  $\alpha$  открывания тиристоров, и соотношения активных и реактивных параметров нагрузки ТПН, которое характеризуется эквивалентным фазовым углом  $\varphi_{\Sigma}$ .

Для поддержания практически постоянным значения угла  $\varphi_{\Sigma}$  при изменяющейся нагрузке АД достаточно применить в ТПН обычную отрицательную обратную связь по параметру  $\beta$ . Следует отметить, что такой алгоритм оптимизации математически строго не обоснован. Он базируется на утверждении, что коэффициент мощности  $K_M$ , определяемый отношением потребляемых из сети активной  $P$  и полной  $S$  мощностей, измеренных на входе АД, и эквивалентный фазовый угол  $\varphi_{\Sigma}$  в равной мере характеризуют комплексный характер входного сопротивления АД как объекта оптимизации и, следовательно, в равной степени могут быть регулируемой координатой.

С целью подтверждения данного предположения выполнены экспериментальные исследования режимов АД, управляемого ТПН с обратной связью по параметру  $\beta$ . Полученные для двигателя 4АХ80А6 экспериментальные зависимости коэффициента мощности  $K_M = f(M)$ ,  $\cos\varphi_e = f(M)$ , тока статора  $I_{se} = f(M)$ , активной мощности  $P_e = f(M)$ , где  $M$  – момент двигателя при номинальном напряжении питания, приведены на рисунке. Все величины представлены в относительных единицах. Базовыми являются номинальные значения потребляемой активной мощности  $P_{ном}$ , полного тока статора  $I_{s ном}$  и момента нагрузки  $M_{ном}$ .

На рисунке показаны зависимости тока статора (график  $I_{s \varphi}$ ) и потребляемой АД активной мощности (график  $P_\varphi$ ) при оптимальном управлении с регулируемой координатой  $\varphi_\varphi$  и зависимости тока статора  $I_{se}$  и мощности  $P_e$  для естественной характеристики двигателя. Оптимальное управление позволяет на АД данного типоразмера примерно на 30% снизить потребляемую активную мощность и вдвое уменьшить ток статора. Здесь же для сравнения



приведена зависимость  $I_{s \min} = f(M)$ , снятая экспериментально при управлении по минимуму полного тока статора. Различие в значениях токов  $I_{s \varphi}$  и  $I_{s \min}$  для одного и того же момента нагрузки не превышает 7% во всем диапазоне изменения  $M$ . Значения  $K_M$  и  $P$  как при управлении по координате  $\varphi_\varphi$ , так и при управлении по минимуму тока практически совпадают.

Рисунок – Зависимости тока статора (кривая  $I_{s \varphi}$ ) и потребляемой АД активной мощности (кривая  $P_\varphi$ ) при оптимальном управлении с регулируемой координатой  $\varphi_\varphi$  и зависимости  $I_{se}$  и  $P_e$  для естественной характеристики двигателя

**Выводы.** Приведенные результаты позволяют сделать следующие выводы. Во-первых, справедливо утверждение, что в асинхронном электроприводе энергетический показатель  $\cos\varphi_\varphi$  адекватен показателю  $K_M$ . Во-вторых, при оптимизации коэффициента мощности АД с параметром  $\varphi_\varphi$  в качестве регулируемой координаты обеспечивается практически постоянный и не зависящий от нагрузки коэффициент мощности при изменении  $M$  в диапазоне 0,1 – 0,8. Следует отметить, что несинусоидальность тока статора, возникающая при регулировании напряжения с помощью ТПН, приводит к дополнительным потерям в АД от высших гармоник. Это явление не позволяет при решении задачи оптимизации получить без снижения КПД коэффициент  $K_M$ , равный номинальному.

Результаты экспериментов и расчеты свидетельствуют о том, что зависимости, приведенные на рисунке, типичны для всех типоразмеров АД. Различие наблюдается лишь в степени улучшения энергетических показателей при оптимальном управлении.