

ЧАСТОТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЕ ПРИ НЕПОСТОЯННОЙ НАГРУЗКЕ

Шавазов Абдулатиф Ачилович¹

Ишанова Дилдора Абдувалиевна²

Зав. лаборатории с.н.с (PhD), институт проблем
энергетики, АН РУз старший преподаватель,

¹⁻²ТГТУ им. Ислама Каримова

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7151691>

Аннотация. Рассмотрен режим работы частотно-управляемого асинхронного двигателя в замкнутой системе с обратной связью по скорости при непостоянстве нагрузки. Определен коэффициент передачи системы, обеспечивающий постоянство заданного значения коэффициента перегружаемой двигателя при управлении напряжения пропорционально частоте управления.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, частотно-регулируемый электропривод, системы автоматического управления, нагрузка, коэффициент перегружаемости динамические характеристики электропривода, структурная схема автоматизированных электроприводов, передаточные функции электроприводов

Современные требования, предъявляемые к частотно-регулируемому электроприводу общепромышленного назначения со стороны рабочих машин, могут быть обеспечены простой по структуре системой частотно-регулируемого электропривода. Если механическая характеристика нагрузки заранее неизвестна (например, имеет случайный характер), то формирование выбранного закона частотного управления (за исключением простейшего закона $U/f = \text{const}$) осуществляется в замкнутом контуре с помощью введения обратных связей по переменным двигателя.

Представление систем автоматизированных электроприводов в виде структурных схем (рис.1) дает возможность характеризовать их с точки зрения некоторых общих свойств, присущих определенными классу систем автоматического управления (структурно устойчивые и неустойчивые системы, много контурные и много связанные системы и т.п.).

Режим работы асинхронного двигателя (АД) в системе электропривода с частотным управлением определяется взаимным изменением следующих связанных между собой параметров: входными - частотой и напряжением; внутренними - токами статора и ротора, потоком и параметром абсолютного скольжения; выходными - скоростью

вращения и моментом на валу. Величины входных параметров - частота и напряжение, должны изменяться таким образом, чтобы при воздействии на величину внутренних параметров обеспечивалась заданная скорость при любом моменте сопротивления на валу.

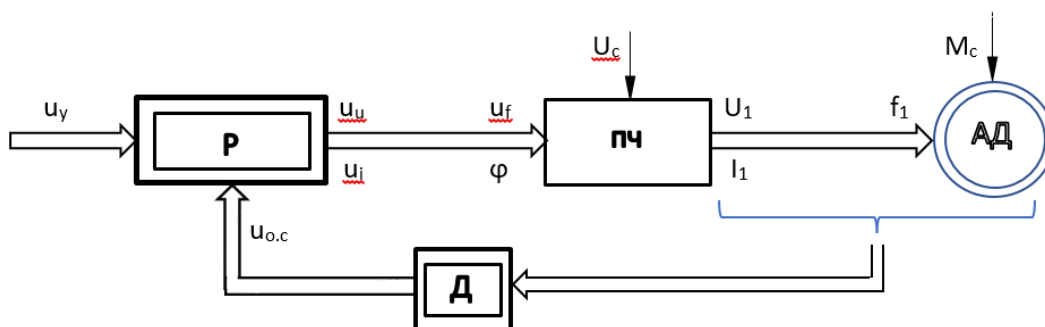


Рис.1. Функциональная схема замкнутой системы ПЧ-АД

где: Р-регулятор; Д-датчик обратных связей АД; ПЧ – преобразователь частоты; $u_{o.c}$ – сигнал обратной связи.

Системы частотного управления АД, работающие по принципу регулирования напряжения пропорционально частоте управления, нашли широкое практическое применение из-за простоты реализации. Этот принцип управления пригоден не только для механизмов с постоянными моментами сопротивления, но и для механизмов с моментами сопротивления, изменяющегося в функции скорости по вентиляторному закону. Недостатком являются некоторые ухудшения характеристики АД вследствие уменьшения потока из-за падения напряжения в активных сопротивлениях статора АД. Отношение напряжение к частоте определяет закон частотного управления.

Известные законы управления отношением напряжения к частоте в основном исследованы исходя из принципа управления в разомкнутой системе. В такой разомкнутой системе частотного управления по мере снижения частоты управления уменьшается поток, максимальный момент, жесткость механической характеристики и диапазон регулирования двигателя.

В замкнутой системе управления отношение напряжения к частоте в том смысле в каком он понимается в разомкнутой системе, лишено практического значения, так как оно игнорирует реальные обратные связи системы и ограниченность ее коэффициента усиления. Коэффициент передачи АД по каналу напряжения будет

$$K_{Д\gamma} = \frac{\Delta\omega}{U_n \gamma} = \frac{\omega_{он}}{U_n \gamma} S, \quad (1)$$

где S - относительное скольжение АД.

Как видно из (1) коэффициент передачи $K_{д\gamma}$ переменная -зависит от S и отношения частоты к напряжению.

Канал частоты управления определяет синхронную угловую скорость вращения, а канал напряжения - абсолютное скольжение двигателя. Разность $\omega_0 - \Delta\omega$ дает угловую скорость вращения вала АД. Особенностью данной системы является то, что скорость вращения двигателя через цеп обратной связи воздействует одновременно на частоту и напряжение.

Отметим, что при регулирование необходимого соотношения между частотой и напряжением с помощью ФП в общем случае можно принимать за исходный параметр как частоту, так и напряжение. Однако с точки зрения влияния возмущений в питающей сети и нагрузке на скорость вращения двигателя более рациональной будет система, у которой исходным параметром является частота, а напряжение регулируется в функции от частоты. В такой системе динамические изменение скорости вращения будет меньше, так как скорость вращения двигателя зависит в первую очередь от частоты, которая определяется системой управления инвертором и не зависит от возмущений в питающей сети и нагрузке, а напряжение-это параметр, определяемый не только системой управления ПЧ, но и всей силовой схемой. Именно поэтому в приведенной замкнутой системе частота является исходным параметром.

Согласно приведенного рисунка угловая скорость вращения двигателя будет:

$$\omega = KU_3,$$

где

$$K = \frac{K_f K_{дf} - K_{фп} K_\gamma K_{l\gamma}}{1 + (K_f K_{дf} - K_{фп} K_\gamma K_{l\gamma}) K_{oc}} \quad (2)$$

K - коэффициент передачи замкнутой системы. Здесь заданные постоянные значения коэффициентов K_f , K_γ , $K_{фп}$, K_{oc} можно подобрать исходя из условия требование, поставленные к системе, а остальные коэффициенты постоянны.

Найдем, каким должен быть коэффициент передачи замкнутой системы с обратной связью по скорости, чтобы коэффициент перегружаемости АД в этой системе в рабочем диапазоне регулирования скорости вращения насосной установки от F_{min} до $F=1$ был не ниже номинального коэффициента перегружаемости (λ_n) двигателя в

естественной схеме включения. Для этого необходимо предварительно найти минимальную частоту и момент двигателя.

У оросительных насосов уменьшение скорости вращения с целью регулирования производительности возможно до определенной минимальной величины, при которой напор насоса (H) становится равен статическому напору ($H_{ст}$). Производительность насоса (Q) при этом падает до нуля. Исходя из этого условия определим с точностью до скольжения минимальную частоту управления [2]

$$F_{\min} = \sqrt{H_{ст} / H_0}, \quad (3)$$

где H_0 - напор при $Q=0$ и $\omega=\omega_n$.

Вращающий момент АД при применной частоте, полученный на основе Т-образной схемы замещения с учетом (2) при $\gamma=F$ запишется в виде

$$M = \frac{K_M r_2' X_{\mu H}^2 (F - \beta)}{K U_3 \beta D^2}, \quad (4)$$

Где

$$D = \sqrt{\left(\frac{r_1 r_2'}{\beta F} - X_s X_r \sigma \right)^2 + \left(\frac{r_2'}{\beta} X_s + \frac{r_1}{F} X_r \right)^2}, \quad (5)$$

$X_s = X_{1H} + X_{\mu H}$; $X_r = X'_{2H} + X_{\mu H}$; $\sigma = 1 - X_{\mu H}^2 / X_s X_r$; r_1 и X'_{1H} - активное и номинальное индуктивное сопротивление фазы обмотки статора; r_2' и X'_{2H} приведенные активное и номинальное индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора; $X_{\mu H}$ - номинальное индуктивное сопротивление намагничивающего контура; $\beta = FS$ - параметр абсолютного скольжения; $K_M = mU_n / 9,81$; m -число фаз.

Исследуя (4) на максимум, получим

$$a\beta^2 + b\beta + c = 0, \quad (6)$$

где

$$a = \left[\left(\frac{r_1}{F} \right)^2 + (X_s \sigma)^2 \right] X_r^2 + 2r_1 r_2' X_{\mu H}^2 / F^2,$$

$$b = 2 \left[\left(\frac{r_1}{F} \right)^2 + X_s^2 \right] r_2' / F, \quad c = -Fb/2.$$

Из (6) определим критическое значение параметра абсолютного скольжения

$$\beta_{k1,2} = \frac{b}{2} (-1 \pm \sqrt{1 + 2aF/b}). \quad (7)$$

Как видно из (7), что корни (6) положительные. Условие положительности нужного нам действительного корня (отыскивается критическое значение параметра абсолютного скольжения) будет при положительности знака перед радикалом, то есть

$$\beta_k = \frac{b}{2}(-1 + \sqrt{1 + 2aF/b}). \quad (8)$$

Подстановкой этого выражения в место β в (4) найдем максимальный момент (M_k) двигателя.

Коэффициент перегружаемой АД при минимальной частоте управления будет:

$$\lambda(F=F_{\min})=M_k(F=F_{\min})/M_n, \quad (9)$$

где M_n определяется из (4) при $F=1$ и $\beta=S_n$.

Из условия $\lambda(F=F_{\min})= \lambda_n$, получим

$$k = \frac{S_n D_n^2 [F_{\min} - \beta_{k(F=F_{\min})}]}{\gamma_3 \lambda_n (1 - S_n) D_n^2 (F=F_{\min}) \beta_{k(F=F_{\min})}}, \quad (10)$$

где $\gamma=U_3/U_{3n}$ и $k=K/K_n$ - относительные задающее напряжение и коэффициент передачи системы, замкнутой по скорости; λ_n - номинальный коэффициент перегружаемой АД в разомкнутой системе, определяемый из каталога; D_n - определяется из (5) при $F=1$ при $\beta=S_n$.

Таким образом по (10) определяется значение "к", обеспечивающий постоянство коэффициента перегружаемости АД во всем диапазоне изменения частоты управления в замкнутой системе частотного управления с обратной связью по скорости вращения двигателя.

Список использованной литературы:

1. Камалов Т.С., Тоиров О.З., Шавазов А.А. Математическая модель многосвязная система асинхронного электропривода с частотным управлением // Межд. научно-практической конференции «Проблемы повышения эффективности использования электрической энергии в отраслях агропромышленного комплекса» – Ташкент, 2015. С. 260-265.
2. Камалов Т.С., Шавазов А.А. Обобщенная математическая модели в системе насосный агрегат-трубопровод // Международной научно-практической конференции «Проблемы повышения эффективности использования электрической энергии в отраслях агропромышленного комплекса» – Ташкент, 2018. С. 660-663.
3. Лезнов Б.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. – М.: Машиностроение, 2013. – С. 176.