



УДК 62-83:621.313.333

M.M.XAMUDXANOV

A TWO - INTEGRATED SYSTEM OF SLAVEED CONTROL OF THE SPEED OF ADJUSTABLE MULTIPLE MOTORING ELECTRIC DRIVE WATER- REMOVABLE PUMP INSTALLATIO

Сувни кўтарувчи насос қурилмаларининг таркибидаги насос агрегатлари сувни етказиб бериш технологик жараёнини таъминлаш учун ростланадиган кўп моторли электр юритма тизимига мувофиқ электр тармоги билан етакланувчи умумий инверторли ва роторлар занжирлариаро боғланган электрик асинхрон фаза роторли моторларини автоматик бошқариш тизимини яратиш тамойиллари муҳокама қилинади. «Кўп моторли электр юритма – насослар – гидравлик босим тармоги» тизими ишлаб чиқилди, тизимни динамикасини тавсифловчи тенгламалар олинди ва унинг асосий элементларини узатиш функциялари аниқланди.

Таянч сўзлар: роторлар занжирлариаро электрик боғланган кўп моторли электр юритма, электр тармоги билан етакланувчи инвертор, сув кўтаргич машиналар тизими, сув таъминоти графиги, насос қурилмаси, агрегат, электр мотор юритмаси, айлланиш частотаси, бўйсундирилган бошқариш тизими, рақамли электр юритма, эталон частотали генератор, рақамли интегратор.

Рассматриваются системы автоматического управления регулируемым многодвигательным электроприводом с электрической связью по роторной цепи асинхронных электродвигателей с фазными роторами и общим инвертором, ведомым сетью для обеспечения управления технологическим процессом водоподдачи насосных агрегатов в составе водоподъемной насосной установки. Разработана система «многодвигательный электропривод – насосы – гидравлическая напорная сеть», получены уравнения, описывающие динамику системы, и определены передаточные функции ее основных элементов.

Ключевые слова: многодвигательный электропривод с электрической связью по роторной цепи, инвертор, ведомый сетью, система машинного водоподъема, насосная установка, агрегат, приводной электродвигатель, частота вращения, система подчиненного управления, цифровой электропривод, генератор эталонной частоты, цифровой интегратор.

The article discusses the automatic control system of an adjustable multi-motor electric drive with an electrical connection through a rotor circuit of asynchronous motors with phase rotors and a common inverter driven by a network to provide control of the water supply process of pumping units as part of a water-lifting pumping unit. The system "multi-motor electric drive - pumps - hydraulic pressure net" was developed, equations describing the dynamics of the system were obtained, and the transfer functions of its main elements were determined.

Keywords: multi-motor electric drive with electric connection through the rotor circuit, inverter, network- driven, machine water lift system, pump unit, unit, drive motor, rotational speed, slave control system, digital drive, reference frequency generator, digital integrator.

В системах машинного водоподъема (СМВ) на мелиоративных насосных станциях (НС) наиболее часто применяются варианты конструктивного решения, когда группа насосных агрегатов (НА), оснащаемых однотипными электроприводами переменного тока, объединяется на совместную параллельную работу в общую гидравлическую напорную сеть в составе водоподъемной насосной установки (НУ).

Применительно к водоподъемным НУ наиболее перспективной и всецело отвечающей требованиям, предъявляемым к ее системе регулируемого электропривода, является

многодвигательный электропривод с электрической связью (МЭЭС) по роторной цепи с общим инвертором, ведомым сетью (ИВС), в которой энергия скольжения роторной цепи передается (возвращается) в электросеть [1].

Известно [2], что в системе подчиненного управления при оптимизации контуров управления решается задача компенсации наибольшей постоянной времени рассматриваемого контура за счет действия регулятора. При этом малые постоянные времени, как правило, не компенсируются в виду необходимости обеспечения помехоустойчивости системы.

Предлагаемая двухконтурная система подчиненного управления (СПУ) скоростью МЭЭС с общим ИВС, являющаяся двукратно-интегрирующей, обеспечивает стабилизацию частот вращения приводных электродвигателей НА и их равенство заданной величине, рассчитываемой на цифровой вычислительной машине (ЦВМ), служащей лишь источником входной информации. Оптимизация контуров указанной СПУ заключается в определении передаточных функций регулятора тока для внутреннего контура и регулятора скорости для внешнего контура в соответствии с заданным законом (модульным или симметричным оптимумом).

Прежде всего, в соответствии с принципом построения системы автоматического управления (САУ) НУ СМВ [3], сформируем структурную схему СПУ скоростью МЭЭС с общим ИВС, которая приведена на рис. 1.

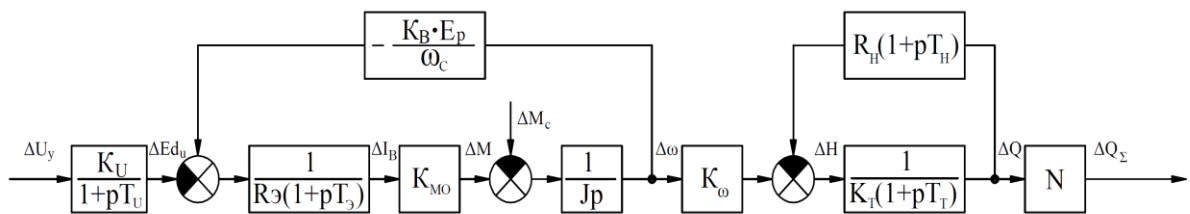


Рис. 1. Структурная схема системы «МЭЭС – насосы – напорная сеть» с каналами регулирования

При этом нами использованы следующие обозначения: $W_{PT}(p)$ – передаточная функция регулятора тока; K_{PC} – передаточный коэффициент регулятора скорости; K_1 – передаточный коэффициент преобразователя ПНЧ1; $K_{ДТ}$ – передаточный коэффициент датчика тока; $K_f = f_{ДС} / \omega$ – передаточный коэффициент ИДС; $K_{ДС} = K_f * K_2$ – передаточный коэффициент аналоговой цепи обратной связи по скорости; K_2 – передаточный коэффициент преобразователя ПНЧ2; $\tau_{ЦИ}$ – постоянная времени цифрового интегратора.

В соответствии с принципом построения системы должно выполняться условие $K_1 = K_2 = K_{ДС} / K_f$.

Передаточная функция цифрового интегратора (ЦИ) получена на основе следующих соображений.

В соответствии с переходной функцией интегратор [4] может быть представлен в виде звена с передаточной функцией

$$W_{ЦИ}(p) = q / (1 - e^{-T_{вв} * p}), \quad (1)$$

где $q = U_{ЦИ \max} / z$ – дискретное приращение выходной величины; $U_{ЦИ \max}$ – максимальное напряжение на выходе интегратора; z – цифровая емкость счетчика ЦИ; $T_{ВХ} = 1 / f_{ВХ}$ – период следования входных импульсов.

В результате разложения в степенной ряд

$$e^{-T_{BX} * p} = 1 - T_{BX} * p / 1! + T_{BX}^2 * p^2 / 2! + T_{BX}^3 * p^3 / 3! + T_{BX}^4 * p^4 / 4! + \dots,$$

ограничиваясь первыми двумя членами разложения, (1) можно представить как:

$$W_{ЦИ}(p) = q / (T_{BX} * p) = 1 / (\tau_{ЦИ} * p), \quad (2)$$

где $\tau_{ЦИ} = T_{BX} / q = z / (U_{ЦИ \max} * f_{BX})$, что указывает на возможность настройки ЦИ за счет изменения цифровой емкости счетчика либо масштаба входной частоты.

Таким образом, пренебрегая дискретизацией ЦИ и используя полученную передаточную функцию $W_{ЦИ}(p)$, можно, применяя предложенную структурную схему СПУ скоростью МЭЭС с общим ИВС, исследовать ее динамику, как обычной аналоговой системы.

Оптимизацию внутреннего контура регулирования выпрямленного тока проведем по модульному оптимуму. При этом значением внутренней обратной связи по ЭДС ротора пренебрегаем, так как она, являясь более инерционной, незначительно влияет на регулирование в контуре тока. ПИ – регулятор тока представим в виде:

$$W_{РТ}(p) = K_{РТ} * (p * T_{ИЗ} + 1) / (p * T_{ИЗ}), \quad (3)$$

где $T_{ИЗ}$ – время изодрома.

Тогда передаточная функция разомкнутого контура будет иметь вид:

$$W_0(p) = K_{РТ} \frac{p * T_{ИЗ} + 1}{p * T_{ИЗ}} * \frac{K_{И}}{p * T_{И} + 1} * \frac{1}{R'_{Э} * (p * T_{Э} + 1)}.$$

Для того, чтобы большая постоянная времени цепи выпрямленного тока была скомпенсирована, необходимо выполнение условия $T_{ИЗ} = T_{Э}$. В этом случае для разомкнутого и замкнутого контуров тока соответственно получим следующие передаточные функции:

$$W_0(p) = K_{РТ} * K_{И} / [R'_{Э} * p * T_{Э} * (p * T_{И} + 1)]; \quad (4)$$

$$W_3(p) = W_0(p) / (1 + W_0(p) * K_{ДТ}) = \frac{K_{РТ} * K_{И} / R'_{Э}}{T_{Э} * T_{И} * p^2 + T_{Э} * p + K_{РТ} * K_{И} * K_{ДТ} / R'_{Э}}. \quad (5)$$

В соответствии с условием модульного оптимума запишем $a_1^2 = 2 * a_0 * a_2$,

где $a_0 = K_{РТ} * K_{И} * K_{ДТ} / R'_{Э}$, $a_1 = T_{Э}$, $a_2 = T_{Э} * T_{И}$.

Далее получим выражение для параметра $K_{РТ}$ регулятора тока:

$$K_{РТ} = T_{Э} * R'_{Э} / (2 * T_{И} * K_{И} * K_{ДТ}). \quad (6)$$

Тогда передаточная функция замкнутого контура тока определится как:

$$W_3(p) = 1 / K_{ДТ} / (2 * T_{И}^2 * p^2 + 2 * T_{И} * p + 1). \quad (7)$$

Пренебрегая членами высшего порядка [2], можно записать:

$$W_3(p) = 1 / K_{ДТ} / (2 * T_{И} * p + 1). \quad (8)$$

Передаточную функцию РТ с учетом (3), (6) и равенства $T_{ИЗ} = T_{Э}$ определим как:

$$W_{РТ}(p) = \frac{1 + p * T_{Э}}{2 * T_{И} * K_{И} * K_{ДТ} * p / R'_{Э}}. \quad (9)$$

Прежде, чем приступить к оптимизации контура регулирования скорости, определим вид передаточной функции, который будет иметь ПИ – регулятор скорости, представленный цифровым интегратором и звеном с передаточным коэффициентом $K_{РС}$. Для этого преобразуем структурную схему (рис. 1), перенеся связи ΔU_3 и $\Delta U_{ДС}$ со второго на первый сумматор. В

результате с учетом проведенной оптимизации контура тока получим структурную схему контура регулирования скорости (рис. 2).

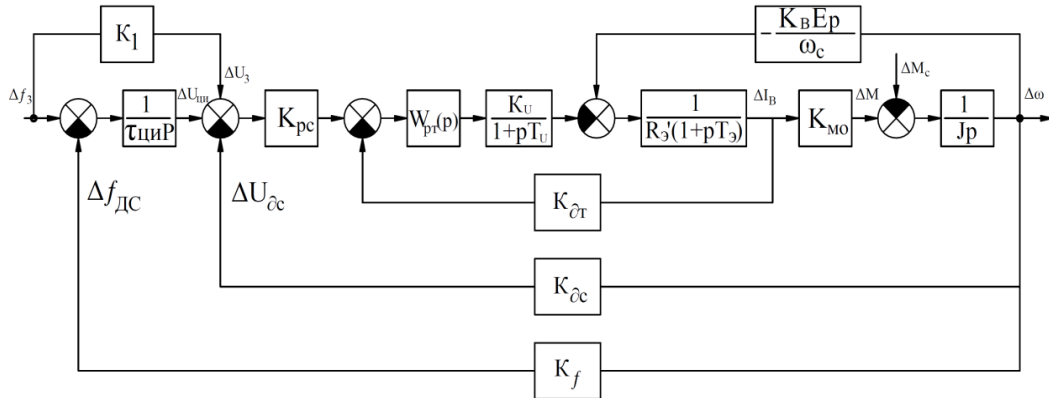


Рис. 2. Структурная схема системы подчиненного управления МЭЭС с общим ИВС.

Здесь передаточная функция регулятора скорости, определенная посредством преобразования, имеет вид:

$$W_{PC}(p) = K_{PC} * [(K_{DC} / K_f) * \tau_{цир} * p + 1] / (\tau_{цир} * p). \quad (10)$$

Известно, что ПИ – регулятор скорости должен иметь передаточную функцию:

$$W_{PC}(p) = K'_{PC} * (p * T_{ИЗ} + 1) / (p * T_{ИЗ}), \quad (11)$$

где K'_{PC} – передаточный динамический коэффициент РС.

Далее, преобразуя (10) следующим образом получим:

$$W_{PC}(p) = K_{PC} * \frac{K_{DC}}{K_f} * \frac{(K_{DC} / K_f) * \tau_{цир} * p + 1}{(K_{DC} / K_f) * \tau_{цир} * p},$$

где

$$T_{ИЗ} = (K_{DC} / K_f) * \tau_{цир}, \quad (12)$$

$$K'_{PC} = K_{PC} * K_{АН} / K_f. \quad (13)$$

Оптимизация контура регулирования с ПИ – регулятором скорости (рис. 3) проводится по условию симметричного оптимума.

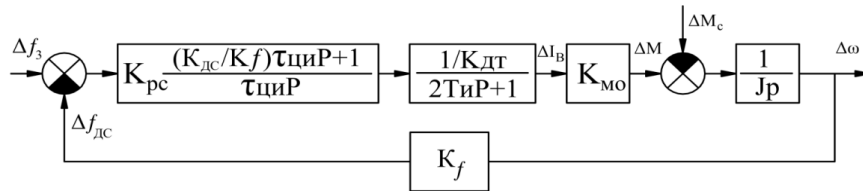


Рис. 3. Структурная схема контура регулирования скорости МЭЭС с общим ИВС.

При этом передаточную функцию разомкнутого контура с учетом (11) представим в виде:

$$W_0(p) = K'_{PC} * \frac{p * T_{ИЗ} + 1}{p * T_{ИЗ}} * \frac{1 / K_{ДТ}}{2 * p * T_{И} + 1} * \frac{K_{МО}}{J * p}. \quad (14)$$

Передаточная функция замкнутого контура регулирования запишется как:

$$W_3(p) = \frac{W_0(p) * K'_{PC} * K_{МО} * (p * T_{ИЗ} + 1) / K_{ДТ}}{1 + W_0(p) * K_f * p^2 * T_{ИЗ} * J * (2 * p * T_{И} + 1) + K_f * K_{PC} * K_{МО} * (p * T_{ИЗ} + 1) / K_{ДТ}} \quad (15)$$

или

$$W_3(p) = \frac{(p * T_{ИЗ} + 1) / K_f}{[J * T_{ИЗ} * K_{ДТ} / (K'_{РС} * K_{МО} * K_f)] * p^2 * (2 * T_{И} * p + 1) + p * T_{ИЗ} + 1}. \quad (16)$$

Введем обозначения:

$$B' = J * T_{ИЗ} * K_{ДТ} / (K'_{РС} * K_{МО} * K_f); \quad T = 2 * T_{И}. \quad (17)$$

Тогда в соответствии с условиями симметричного оптимума $B' = T^2$, $T_{ИЗ} = 4 * T$ получим соотношения для параметров ПИ – регулятора скорости:

$$; \quad K'_{РС} = J * K_{ДТ} / (4 * T_{И} * K_{МО} * K_f). \quad (18)$$

Подставив (18) в (15), определим выражения для передаточной функции замкнутого контура регулирования скорости:

$$W_3(p) = \frac{(1 + 8 * T_{И} * p) / K_f}{64 * T_{И}^3 * p^3 + 32 * T_{И}^2 * p^2 + 8 * T_{И} * p + 1}. \quad (19)$$

Передаточная функция регулятора скорости в соответствии с (11) и (18) будет равна:

$$W_{РС}(p) = \frac{J * K_{ДТ} * (1 + 8 * T_{И} * p)}{32 * K_{МО} * K_f * T_{И}^2 * p}. \quad (20)$$

При этом параметры ПИ – регулятора скорости $K_{РС}$ и $\tau_{ЦИ}$ на основании (12) и (13) определяться как:

$$K_{РС} = J * K_{ДТ} / (4 * T_{И} * K_{МО} * K_{ДС}); \quad (21)$$

$$\tau_{ЦИ} = 8 * K_f * T_{И} / K_{ДС}. \quad (22)$$

Из условия (22) можно выбрать постоянную времени цифрового интегратора.

Предложенная система подчиненного управления скоростью МЭЭС с общим ИВС имеет переменные параметры, являющиеся функциями выпрямленного тока I_B и скорости вращения как во внутреннем, так и во внешнем контурах (например, $K_{МО}$, $R'_{Э}$). Поэтому строгое соблюдение модульного и симметричного оптимумов может быть достигнуто только тогда, когда параметры регуляторов изменяются в зависимости от текущих значений тока и скорости системы электропривода. Кроме того, параметры регулятора тока также меняются с изменением количества функционирующих НА, объединенных в НУ СМВ, что отражается на величине выпрямленного роторного тока каждого находящегося в работе АД. Все это в совокупности вызывает необходимость применения самонастраивающихся регуляторов, реагирующих как на изменение структуры системы, так и текущих значений тока и скорости вращения.

References:

1. Khamudkhanov M.M. Pumping unit multimotor electric drive with electric coupling by rotor circuit under conformal rotation mode. Ninth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation, WCIS -2016. Tashkent, Uzbekistan. –P. 186-192.
2. Spravochnik po proektirovaniyu avtomatizirovannogo e`lektroprivoda i sistem upravleniya tehnologicheskimi processami./ Pod red. Krupovicha V.M., Bary'bina YU.G., Samovera M.L. - 3-e izd., pererab. i dop. M.: E`nergoizdat, 1982. -416 s.
3. Khamudkhanov M.M., Umarov Sh.B. Equations and transfer functions of the main elements of a multi-motorized automated electric drive pumping unit. Tenth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation, WCIS - 2018. Tashkent, Uzbekistan. –P. 146-150.
4. Basharin A.V., Novikov I.F., Sokolovskiy G.G. Upravlenie e`lektroprivodami. L.: E`nergoizdat, Leningr. Otd-nie,1982. - 392 s.

Хамудханов М.М – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханики и электротехнологии» ТГТУ.