

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА КАСКАДНЫХ СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ ДАВЛЕНИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

В современных насосных станциях находит широкое применение каскадное управление насосами с запуском электродвигателей от одного преобразователя частоты. При таком способе управления давление в системе стабилизируется на постоянном уровне регулированием скорости вращения электродвигателя одного из насосов. Если насос достиг максимальных оборотов, а давление в системе продолжает падать, то работавший двигатель насоса отключается от преобразователя частоты и подключается напрямую к сети. При этом сам преобразователь переключается на следующий насос и регулирует его скорость для стабилизации давления в выходной магистрали. Эта процедура повторяется аналогичным образом вплоть до включения всех насосов станции. В произвольный момент времени стабилизация давления может осуществляться за счет регулирования скорости любого из насосов. Такая система поддерживает так называемый мультимастерный режим работы с последовательным опросом объектов регулирования [1]. Общая схема мультимастерной системы стабилизации давления представлена на рисунке 1.

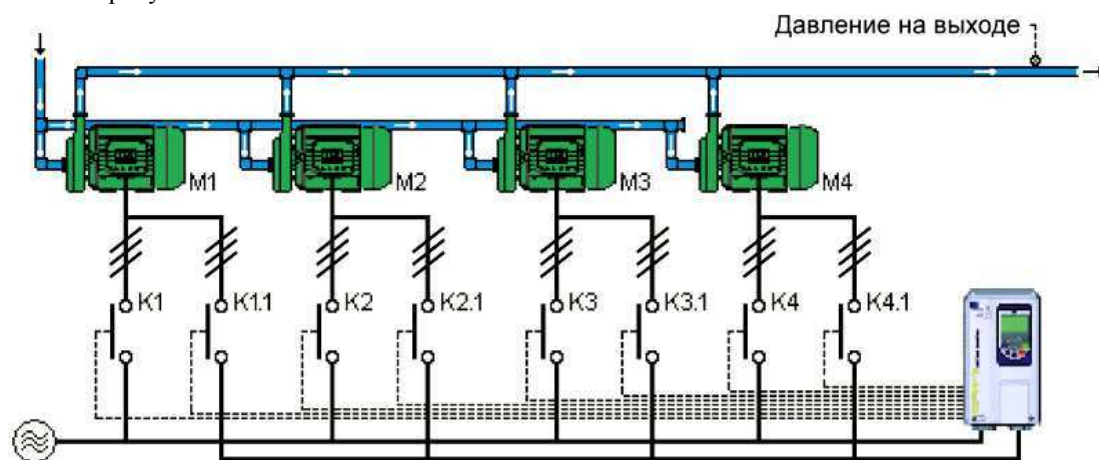


Рисунок 1 – Общая схема мультимастерной системы стабилизации давления насосной станции

Особенностью такой системы, когда в цепь между преобразователем и двигателем включается дополнительное коммутирующее устройство, является снижение надежности электропривода в целом. Причина в том, что при снижении напряжения в сети ниже определенного предела (порядка 180 В) происходит отключение силовых контакторов и, соответственно, разрывается питающая цепь асинхронного электродвигателя. Если пропадание напряжения в питающей электросети будет длительным (более 60 с), то преобразователь определяет снижение напряжения в сети и отключает ключи инвертора, при этом двигатель насоса успевает остановиться. После появления электропитания к катушке контактора прикладывается напряжение, цепь между преобразователем частоты и двигателем замыкается и система возвращается в рабочий режим.

Намного хуже складывается ситуация, когда пропадание напряжения в сети кратковременное (0,5 с и более). Контактник силовой цепи успевает отключиться за это время, при этом нагрузка преобразователя становится равной нулю и напряжение конденсаторов звена постоянного тока медленно снижается. В зависимости от мощности преобразователя время идентификации пропадания напряжения может составить несколько секунд (от 2-х до 10-ти), а до этого преобразователь будет выдавать на выходные клеммы напряжение номинальной частоты и амплитуды. В это же время двигатель насоса будет останавливаться в режиме выбега под воздействием нагрузки.

Если в момент времени, когда контактор уже успел отключиться, а преобразователь частоты еще не идентифицировал пропадание напряжения в сети, электропитание появится вновь, то в системе возникает ситуация, которая может привести к отказу преобразователя частоты. Это обусловлено тем, что при наличии переменного напряжения на выходных клеммах преобразователя и срабатывании силового контактора к обмоткам двигателя прикладывается номинальное напряжение, или близкое к нему. В обмотках снова появляется переменный ток, значительно больше номинального значения (вплоть до шестикратного при полной остановке двигателя). Обмотки асинхронного двигателя допускают такую перегрузку, а вот преобразователь частоты – нет. В лучшем случае преобразователь частоты отключится по перегрузке, в худшем – произойдет отказ силовых ключей инвертора.

Описанную проблему для случая кратковременного исчезновения напряжения в питающей сети можно рассмотреть, используя метод имитационного моделирования в среде *MATLAB*. Синтезированная функционально-виртуальная модель в пакетах *Simulink-SimPowerSystems* изображена на рисунке 2.

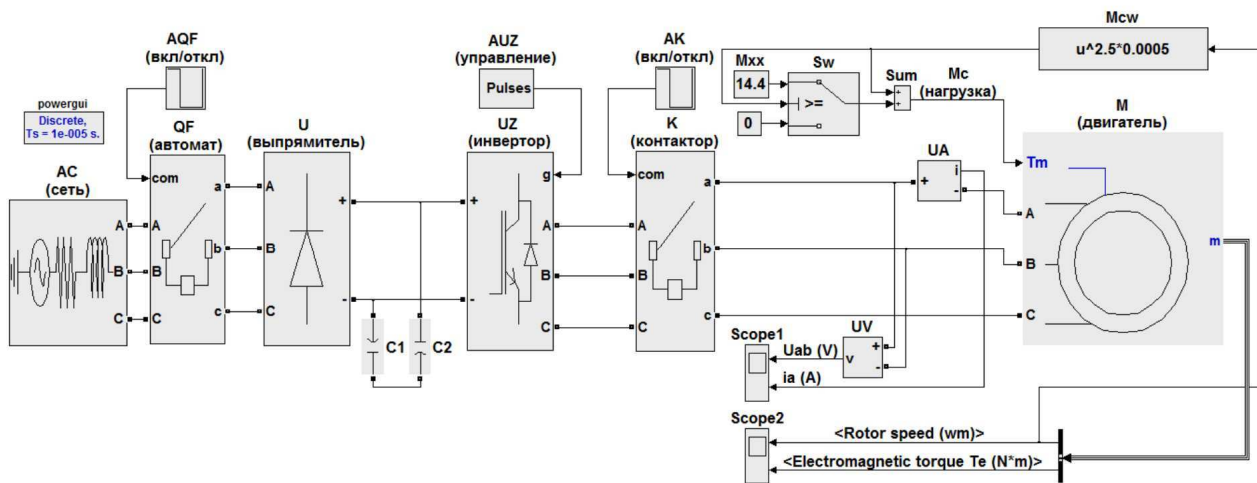


Рисунок 2 – Функционально-виртуальная модель системы ПЧ-АД насосной установки

Значения параметров, вводимых в поля настроек для всех элементов модели соответствуют реальным параметрам электротехнической продукции фирмы *LENZE*, эксклюзивным представителем которой в Украине является компания «СВ Альтера». Это касается величин сопротивлений, индуктивностей, емкостей, падений напряжений на вентилях в открытом состоянии и т.п.

В модели использованы следующие блоки:

M – асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором *LENZE* MDXMA-180-22 (мощность 22 кВт, скорость 1456 об/мин, напряжение 400 В, частота 50 Гц);

UZ – силовой модуль FP75R12KE3 инвертора преобразователя частоты на вентилях IGBT/Diodes;

AUZ – система управления вентилями инвертора с ШИМ-модуляцией, частота коммутации 8000 Гц;

U – неуправляемый выпрямитель на диодах, создающий звено постоянного тока;

C1, C2 – емкостной фильтр в звене постоянного тока, состоящий из двух последовательно включенных конденсаторов, каждый емкостью 4500 мкФ;

АС – сеть переменного тока 380 В, 50 Гц;

QF – входной автоматический выключатель с системой управления *AQF*, которая имитирует пропадание напряжения в сети и восстановление питания;

K – силовой контактор между преобразователем частоты и электродвигателем с системой управления *AK*;

Mcw – блок формирования составляющей момента нагрузки насосной установки, зависящей от его скорости согласно выражению $M_{CW} = \omega^{2.5} \times k_M$, где $k_M = M_{НОМ} / \omega_{НОМ}^{2.5}$, а $\omega_{НОМ} = 153 \text{ с}^{-1}$ и $M_{НОМ} = 144 \text{ Н}\cdot\text{м}$;

Mxx – блок задания момента холостого хода $M_{XX} = 0,1 M_{НОМ}$;

Sw – ключ подачи и снятия сигнала момента холостого хода;

Sum – сумматор, формирующий полный момент сопротивления электропривода насоса $M_C = M_{XX} + M_{CW}$;

UV – датчик линейного напряжения между фазами *A* и *B*;

UA – датчик тока в фазе *A*;

Scope1 – виртуальный осциллограф, отображающий графики изменения линейного напряжения и фазного тока на обмотке статора электродвигателя;

Scope2 – виртуальный осциллограф, отображающий диаграммы изменения угловой скорости и электромагнитного момента двигателя.

Алгоритм функционирования модели следующий:

$0 < t < 1 \text{ с}$ – работа электропривода в номинальном режиме по скорости и моменту;

$t = 1 \text{ с}$ – пропадание напряжения в сети (отключение автомата и силового контактора);

$1 < t < 3 \text{ с}$ – торможение двигателя под нагрузкой до малой скорости;

$t = 3 \text{ с}$ – возобновление питания (включение автомата и силового контактора);

$3 < t < 4,5 \text{ с}$ – разгон электродвигателя до номинальной скорости;

$4,5 < t < 5 \text{ с}$ – работа электропривода в номинальном режиме;

$t = 5 \text{ с}$ – окончание времени моделирования.

На рисунке 3 представлены диаграммы изменения угловой скорости и электромагнитного момента двигателя насосной установки согласно описанному выше алгоритму.

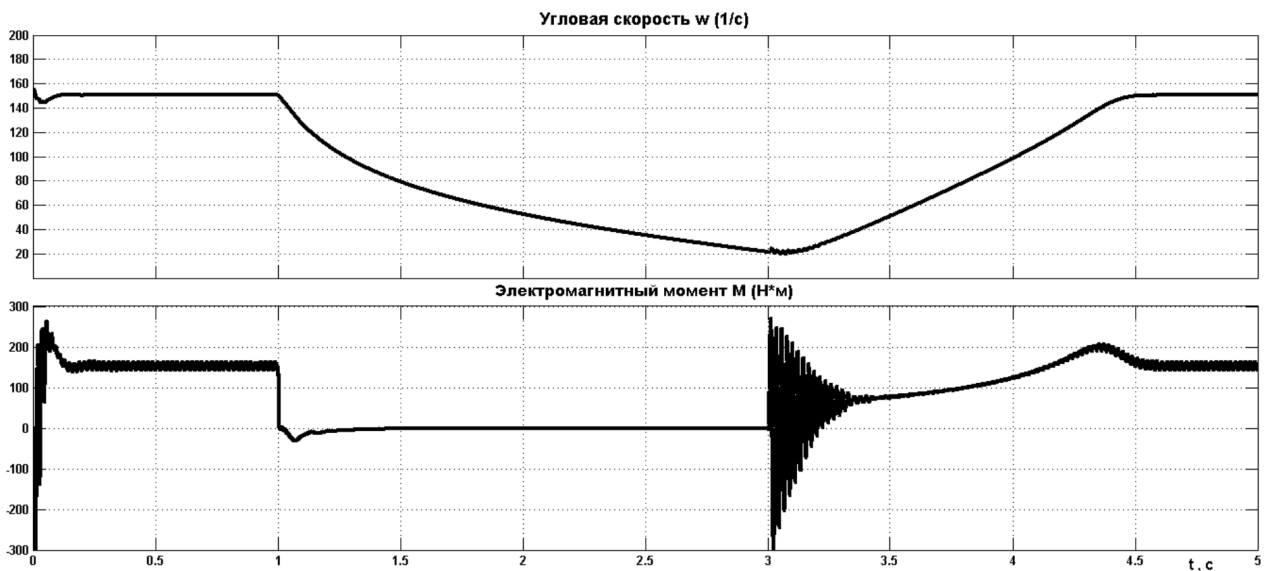


Рисунок 3 – Диаграммы скорости и электромагнитного момента

Из графиков видно, что после исчезновения на две секунды питающего напряжения происходит интенсивное торможение двигателя насоса под нагрузкой при нулевом моменте. После появления напряжения в сети двигатель разгоняется от скорости, которая имела место на момент включения питания, до номинальной величины. При этом параболический характер кривой момента соответствует технологической особенности работы насосной установки.

Рисунок 4 иллюстрирует характер изменения напряжения и тока в статорной цепи электродвигателя.

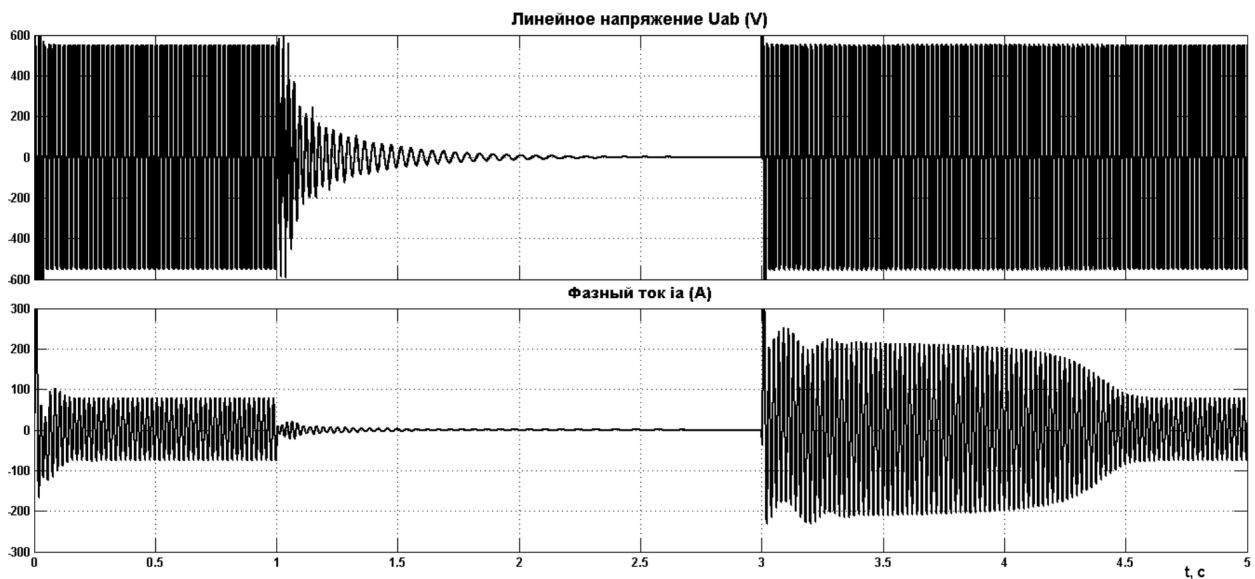


Рисунок 4 – Графики изменения мгновенных значений линейного напряжения и фазного тока

Полученные результаты наглядно показывают существенный бросок тока при возобновлении питания при номинальном значении напряжения.

Следует отметить, что в реальных системах превышение тока относительно номинального значения будет еще больше, чем в результате моделирования. Это связано с тем, что виртуальные блоки автомата и контактора в своих полях настроек обязательно содержат переходное сопротивление (*Snubbers resistans*). И хотя его величина задается достаточно большой, тем не менее, при отключении коммутирующих элементов в модели полного разрыва цепи не происходит. Это и приводит к некоторому ограничению тока по величине.

Фактически рассмотренная ситуация поведения системы при возобновлении электропитания после его кратковременного исчезновения соответствует режиму прямого пуска асинхронного электродвигателя без ограничения ускорения со стороны системы управления. Поэтому и пусковой ток для этого случая очень велик.

Одним из вариантов решения рассматриваемой проблемы может быть выбор преобразователя частоты на большую мощность, что позволит вентилям пропускать ток при прямом пуске двигателя. Однако при этом существенно увеличиваются ценовые и ухудшаются массогабаритные показатели.

Более перспективным является вариант использования источников бесперебойного электропитания малой мощности для гарантированного электроснабжения катушек силовых контакторов. Узел силовой части схемы, обеспечивающий переключение электродвигателя с преобразователя частоты на сеть приведен на рисунке 5.

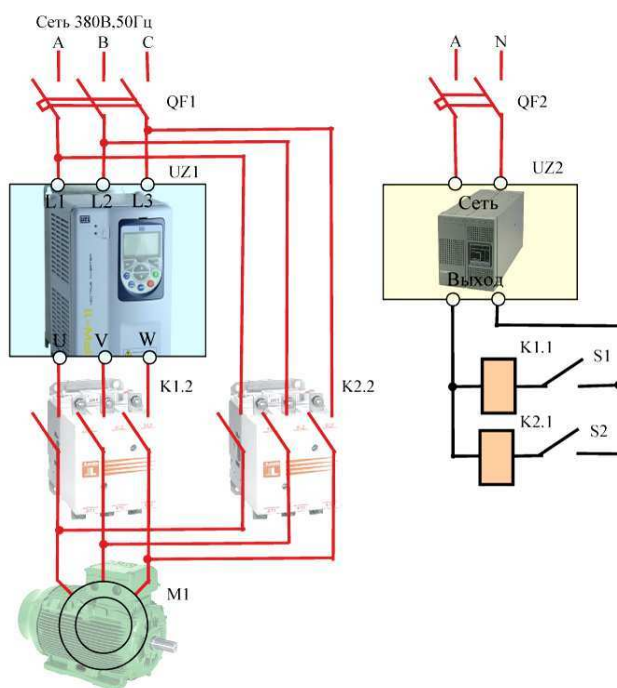


Рисунок 5 – Схема переключения электродвигателя с преобразователя частоты на сеть

Контакты $S1$, $S2$ замыкаются внешней системой управления переключением насосов. При таком подключении и пропадания электропитания контактор $K1$ остается замкнутым при работе двигателя от преобразователя частоты. Двигатель продолжает вращаться и потреблять энергию от конденсаторов звена постоянного тока, существенно ускоряя процесс их разряда. После этого преобразователь частоты определяет снижение напряжения в звене постоянного тока и отключается с индикацией ошибки «Низкое напряжение». Когда электроснабжение восстанавливается, повторный запуск системы управления насосами производится в штатном режиме без разрывов и коммутаций в цепи между преобразователем частоты и двигателем под нагрузкой. При этом следует помнить, что устройство внешнего управления насосами, например, программируемый логический контроллер, необходимо также подключить к источнику бесперебойного питания, чтобы контакт $S1$ оставался замкнутым. В случае реализации системы управления переключением насосов на основе самого преобразователя частоты необходимо использовать гарантированное электроснабжение только для контакторов.

В целом можно отметить, что применение источников бесперебойного электропитания малой мощности, достаточной для питания катушек коммутирующих контакторов, существенно повышает надежность системы электропривода насосов, уменьшая влияние перепадов напряжения в сети на работу насосной станции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аппаратные средства и программное обеспечение систем промышленной автоматизации: Учеб. пособ. / И.А. Данилушкин; Самар. гос. техн. ун-т. Самара, 2005. – 168 с.
2. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.

REFERENCES

1. Apparatusnye sredstva i programmnoe obespechenie sistem promyshlennoy avtomatizacii: Ucheb. posob. / I.A. Danilushkin; samar. gos. tehn. un-t. Samara, 2005. – 168 s.
2. German-Galkin S.G. Matlab & Simulink. Proektirovanie mexatronnyx sistem na pk. – SPB.: KORONA-VEK, 2008. – 368 s.