

РОЛЬ ЭНЕРГОЕМКИХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ В ГОРНО-РУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

О.Х. ИШНАЗАРОВ, заместитель директора, д.т.н., профессор

А.А. ШАВАЗОВ, заведующий лабораторией, PhD.

Л.И. САЙФУЛЛАЕВА, начальник управления

*Институт проблем энергетики Академии Наук Республики Узбекистана,
Ташкент, Узбекистан*

Аннотация

В данной статье рассматривается роль крупных оросительных насосных станций в горно-рудной промышленности, процессы пуска синхронных двигателей. Кроме этого, в режиме работы синхронных двигателей рассмотрены отклонения напряжения с учетом общих сопротивлений. Рассчитаны энергетические потери и К.П.Д. синхронных машин на насосных станциях на основе конкретных результатов. Подведены итоги по условиям выбора законов управления в пусковых процессах синхронных двигателей. Выявлены принципы оптимизации режимов работы синхронных двигателей насосных станций путем ограничения поставляемой двигателями реактивной мощности

Ключевые слова: синхронный двигатель, мощность, схема замещения, подстанция, сеть, реактивная мощность, насосная станция, напряжение.

Введение. В настоящее время в Республике уделяется большое внимание энерго- и ресурсосбережению во всех отраслях экономики.

В целях внедрения энергосберегающих технологий для энергоэффективного использования и сбережения электрической энергии был принят Указ Президента Республики Узбекистан №ПП-2343 от 5 мая 2015 года «О Программе мер по снижению энергопотребления и внедрение энергоэффективных технологий в секторах экономики и социальной сферы на 2015–2019 годы» [1]. Исходя из принятого постановления в Министерстве водного хозяйства разработана и утверждена программа по внедрению электротехнических установок для энергоэффективного и энергосберегающего использования электрической энергии на 2015-2025 годы [1,2].

Как известно на сегодняшний день на оросительных насосных станциях, широкое применение получили синхронные двигатели для приводов вертикальных одноступенчатых осевых и центробежных насосов.

Существенным достоинством синхронного двигателя является возможность создания рабочего потока путем независимого возбуждения ротора в отличие от асинхронного двигателя, у которого магнитное поле создается только за счет питающего напряжения и управляется только через главную цепь, передающую всю, преобразуемую двигателем мощность [7,9,13]. Поэтому нагрузка СД не оказывает решающего влияния на магнитный поток, как у асинхронного двигателя, и представляется возможность более гибко управлять работой привода, изменяя не только частоту и амплитуду напряжения, но и ток возбуждения.

Основная часть. Надежности электроснабжения потребителей и качества электроэнергии, динамические режимы работ насосных агрегатов с синхронными двигателями. К такому вопросу можно отнести пуск очередного двигателя насосного агрегата при работе соседних. Известно, что значение напряжения при пуске двигателя

должно, во-первых, обеспечивать достаточный для пуска вращающий момент, во-вторых не вызывать нарушений в работе других потребителей. В большинстве случаев наиболее из важных задач такому выгодным для двигателя является пуск при максимальном напряжении. Чем больше напряжение на зажимах двигателя во время пуска под нагрузкой, тем меньше нагреваются его обмотки [11,14]. Для каждого типа двигателя заводы - изготовители указывают максимально допустимый вариант количества повторных пусков. В этом отношении надежность вертикальных синхронных двигателей насосных агрегатов во многом зависит от количества и периодичности пусков и их условий. Известно, что во время пуска сильно нагревается пусковая обмотка ротора, и действуют большие силы на обмотку статора [13,6,15]. Поэтому допускаются два пуска подряд из холодного состояния и последующий третий, если двигатель не вошел в синхронизм через определенное время. Эксплуатационные условия требуют у двигателей насосных станций оросительных систем с автоматическим регулированием их производительности в зависимости от напора воды допуск частых пусков. По этой причине пуск при максимальном значении напряжения сети является самым выгодным, во-первых, длительность пуска и нагрев обмоток будут максимальными, во-вторых отрицательное влияние возможных падений напряжений на другие потребители будет кратковременным. С точки зрения качества напряжения узла нагрузки, прямой пуск с возможно максимальным напряжением за счет значительных пусковых токов может привести к глубокому понижению и раскашке напряжения сети [3]. Известно, что в период асинхронного пуска синхронного двигателя потребляемая им реактивная мощность растет. Напряжение на шинах подстанции при пуске СД может быть определено согласно схеме замещения синхронной машины рис.1[3,4,15].

$$\Delta P \sum_{k=1}^n = \Delta P_{\Sigma SDp} n_n + \Delta P_f + \Delta P_r \quad U = \frac{x_d''}{x_d'' + x_c k_p}$$

где x_d'' -сверхпереходное индуктивное сопротивление запускаемого двигателя; x_c - суммарное приведенное индуктивное сопротивление трансформатора, линии электропередачи;

k_p - сопротивление коэффициент, учитывающий компенсацию падения напряжения на X_c за счет отдаваемого в сеть реактивного тока синхронными двигателями, работающими с опережающим $\cos\varphi$.

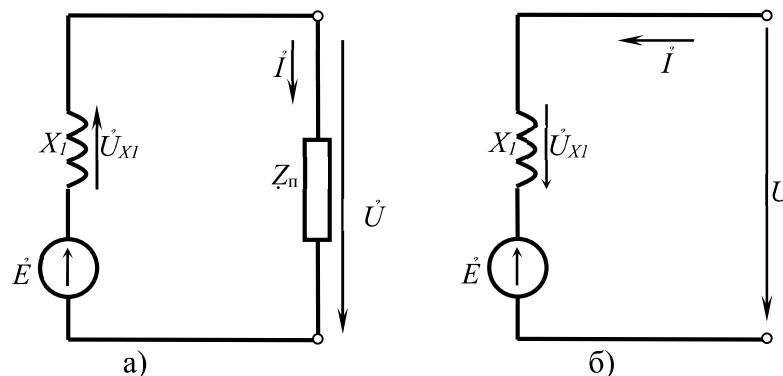


Рис.1. Схемы замещения синхронного генератора(а) и синхронного машины б).

С учетом режимов работы действующих СД падение напряжения на суммарном сопротивлении от реактивного тока будет

$$\Delta U_{xc} = x_c \left(\sum_{k=1}^n I_{pok} - \sum_{k=1}^n \Delta I_{pk} \right)$$

где I_{pok} - начальное значение реактивного тока k -того работающего агрегата в волях номинального тока запускаемого двигателя;

ΔI_{pk} - отклонение реактивного тока k -того работающего агрегата от начального значения в волях номинального тока запускаемого двигателя;

ΔI_{pk} - количество работающих в установившемся режиме агрегатов.

Для результирующего значения падения напряжения на сопротивлении x_c используем сумму составляющих [3].

$$\Delta U_{xc} = x_c I_n + x_c \left(\sum_{k=1}^n I_{pok} - \sum_{k=1}^n \Delta I_{pk} \right) = x_c \left[I_n + \left(\sum_{k=1}^n I_{pok} - \sum_{k=1}^n \Delta I_{pk} \right) \right]$$

Или

$$I_n x_c = x_c \left[I_n + \left(\sum_{k=1}^n I_{pok} - \sum_{k=1}^n \Delta I_{pk} \right) \right]$$

Откуда для коэффициента k_p имеем

$$k_p = 1 + \frac{\left(\sum_{k=1}^n I_{pok} - \sum_{k=1}^n \Delta I_{pk} \right)}{I_n}$$

Следовательно, выражение для напряжения сети на подстанции во время очередного пуска СД равно

$$U = \frac{x_d''}{1 + \frac{\left(\sum_{k=1}^n I_{pok} - \sum_{k=1}^n \Delta I_{pk} \right)}{I_n}}$$

Таким образом, в период пуска очередного СД насосного агрегата необходимо форсировать ток возбуждения действующих СД путем регулирования тока ротора автоматическим регулятором, что обеспечивает поддержание на шинах насосной станции напряжения ближе к номинальному [8,10]. С другой стороны, данный регулятор должен обеспечивать оптимальный режим работы СД с точки зрения энергетических показателей $\cos\varphi$, n_g , U в период регулирования производительности насосного агрегата в зависимости от уровня верхнего или нижнего бьефов воды [17].

Другой немаловажный параметр – потери мощности в синхронном двигателе. О потерях в групповом регулировании СД подразумевается минимальное отклонение потерь от из значений в номинальном режиме, так как данный режим является наилучшим с точки зрения электромеханических свойств потерь $\cos\varphi$ и КПД.

Согласно [16], общие потери в СД определяются уравнением:

$$\Delta P \Sigma_{SD} = S + D\beta^2 + A\alpha^2 + B\alpha^2$$

где S составляющая потеря, не зависящая от активной и реактивной мощностей;

$D\beta^2$ - составляющая потеря, пропорциональная квадрату активной мощности;

$A\alpha^2$ - составляющая потеря, пропорциональная квадрату реактивной мощности;

S , D - постоянные величины, определяемые параметрами СД в номинальном режиме;

A , B - величины, зависящие от нагрузки и определяемые параметрами СД в номинальном режиме.

Результаты анализа [20] показывают, что в определенном диапазоне изменения нагрузки двигателя реактивная мощность α линейно изменяется от нагрузки β . Поэтому для

улучшения параметров СД и уменьшения потерь рекомендуется регулирование возбуждения на минимум потерь, который обеспечивается при $\cos\varphi = \text{const.}$ (рис.2).

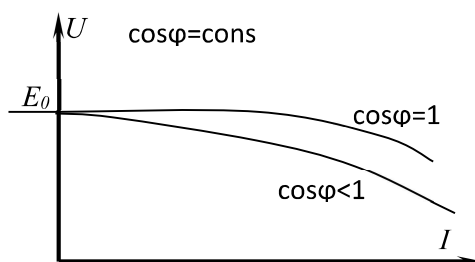


Рис.2. Внешняя характеристика синхронного двигателя

Таким образом, для каждого синхронного двигателя определяется коэффициент мощности при экономичном регулировании возбуждения в соответствии с условиями узла нагрузки электроснабжения

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\alpha}{\beta}$$

Для определения суммарных потерь электроэнергии в групповом регулировании воспользуемся следующим выражением:

$$\Delta P \sum_{k=1}^n = \Delta P_{\Sigma SDP} n_n + \Delta P_f + \Delta P_r$$

где $\Delta \Sigma_{SDP}$ – суммарные потери n-го СД;

ΔP_f – потери в фидере, зависящие от режима реактивной мощности СД, подключенных к узлу;

ΔP_r – потери в разветвленной части энергосистемы.

Следует отметить, что если потребляемая реактивная мощность присоединенной нагрузки больше отдаваемой реактивной мощности СД, то с увеличением тока возбуждения потери в СД возрастают и уменьшаются потери в фидерах и системе электроснабжения. Если система электроснабжения построена таким образом, при котором $\Delta Q_{\text{потреб.}} < \Delta Q_{SD}$, то уменьшение возбуждения СД и его реактивная мощность будут сопровождать уменьшение потерь в синхронном двигателе и системе в целом. Поэтому определите закон регулирования возбуждения на минимум потерь для СД группы насосных агрегатов представляет довольно сложную задачу и здесь не рассматривается [12,18,19].

Вывод. Таким образом, выбираем закон регулирования тока возбуждения группы СД на постоянство $\cos\varphi$, что соответствует режимам работы СД на минимум потерь в сети, в самом двигателе, а также на постоянство реактивной мощности.

Синхронные двигатели насосных станций играют большую роль в линиях электрических сетей. Один из принципов оптимизации режимов работы группы синхронных двигателей насосных станции – ограничение поставляемой двигателями реактивной мощности, путем поддержания тока статора ближе к оптимальной, при изменениях напряжения сети.

Методика группового регулирования синхронного двигателя указывает на целесообразность в период пуска очередного агрегата производить форсировку тока возбуждения работающих синхронный двигатель с целью поддержания напряжения сети неизменной.

Библиографический список

1. Мирзиёев Ш.М. Миллий тараққиёт йўлимизни қатъият билан давом эттириб, янги боққичга кўтарамиз. – Тошкент: “Ўзбекистон”, 2017.

2. Аллаев К.Р., Хошимов Ф.А. Энергосбережение на промышленных предприятиях. – Т.: «Фан» АН РУз., 2011. – 208 с.
3. Драчев Г.И. Теория электропривода. – Челябинск: ЮУрГУ, 2002. – 137 с.
4. Дидыч В. А. Повышение эффективности насосных агрегатов в системах мелиорации и орошения / С. В. Оськин, В. А. Дидыч // Механизация и электрификация сельского хозяйства - 2011. - №6. - С. 23—24.
5. Зайцев А.И., Лядов Ю.С. Регулируемый электропривод и его роль в энергосбережении // Электротехнические комплексы и системы управления. 2006. – № 2. – С. 35-37.
6. Ишназаров О.Х. Имитационная модель частотно-регулируемых электроприводов пульпа насосов горнорудной промышленности // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, – 2009. – № 6. –С. 58-65.
7. Камалов Т.С. Частотно регулируемый электропривод насосных станций машинного орошения. – Т.: Фан, 2014. – 368 с.
8. Камалов Т.С., Ташева Х.Т., Шавазов А.А. Математическая модель электромеханического преобразования энергии в системе «двигатель-насос-трубопровод» оросительных насосных станций систем машинного орошения. // Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2013. № 3-4. С 29-34. (05.00.00; №5).
9. Камалов Т.С., Юсупов З.Э. Энергетическая эффективность оросительных насосных станций // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2005. – № 1. – С. 41-44.
10. Терехов В.М. Осипов О.И. Система управления электроприводов. – М.: Академия, 2007. – 301 с.
11. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей. М.: Энергоатомиздат, 1984.
12. Усачев А.П., Карпов Н.В., Повышение эффективности насосных установок в системах водоснабжения и водоотведения Водоснабжения и санитарная техника. 2011, С. 61-66.
13. Хамудханов М.З. Ахраров Х.Н. О регулировании углового положения ротора синхронного двигателя Известия АН РУз СТН, 1972. №6.
14. Фащенко В.Н. Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок горных предприятий. – М.: «Горная книга», 2011. – 260 с.
15. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Регулируемые электроприводы переменного тока. – Мн.: Техноперспектива, 2006. – 363 с.
16. Auinger Herbert Оптимизация потребления энергии при применении электроприводов с регулированием частоты вращения // Automatisierungstechn. Prax.: Praxis der Mess-, Steuerungs-, Regelungs-, und Informationstechnik. 2000. – № 2(42). – P. 33-39.
17. A Isakov, A Shavazov and A Elmuratova. Management efficiency of pumping aggregates through frequency converter. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1076 (2022) 012050 AEGIS-2022.
18. T Kamalov, A Isakov, A Shavazov, A Elmuratova, and B Tukhtamishev. Calculation of specific rates of the electric energy consumption at frequency regulation of electric drives: A case study of pumping stations. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 939 (2021) 012001. ICECAE 2021.
19. <http://www.amkt.ru/>
20. <http://electrolibrary.info/>

THE ROLE OF ENERGY-INTENSIVE PUMPING STATIONS IN THE LINES OF POWER GRIDS

Information about authors

O.X. ISHNAZAROV, Deputy Director, Doctor of Technical Sciences, Professor

A.A. SHAVAZOV, head of laboratory, PhD

L.I. SAYFULLAEVA, Head of Department

Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of
Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

Abstract

In the article considers the role of large irrigation pumping stations in the lines of electrical networks, the processes of starting synchronous motors. In addition, in the mode of operation of synchronous motors, voltage deviations are considered taking into account the overall resistance. Energy losses are calculated and k_p . Synchronous machines on pumping stations based on concrete results. The results were summed up under the conditions for the choice of the laws of management in the starting processes of synchronous motors. The principles of optimizing modes of operation of synchronous motors of pumping stations by restricting the reactive power supplied engines are revealed.

Key words: synchronous engine, thrum-current, stator current, excitation current, power, substitution scheme, substation, network, reactive power, pumping station, voltage.

Reference

1. Mirziyoev Sh.M. We will resolutely continue our path of national development and raise it to a new level. - Tashkent: "Uzbekistan", 2017.
2. Allaev K.R., Khoshimov F.A. Energy saving at industrial enterprises. - T.: "Fan" AN RUz., 2011. - 208 p.
3. Drachev G.I. Theory of electric drive. - Chelyabinsk: YuUrGU, 2002. - 137 p.
4. Didych V. A. Improving the efficiency of pumping units in melioration and irrigation systems / S. V. Oskin, V. A. Didych // Mechanization and electrification of agriculture - 2011. - No. 6. - S. 23-24.
5. Zaitsev A.I., Lyadov Yu.S. Regulated electric drive and its role in energy saving // Electrotechnical complexes and control systems. 2006. - No. 2. - S. 35-37.
6. Ishnazarov O.Kh. Simulation model of frequency-controlled electric drives for slurry pumps in the mining industry // Uzbek journal "Problems of Informatics and Energy". - Tashkent, - 2009. - No. 6. - S. 58-65.
7. Kamalov T.S. Frequency controlled electric drive of pumping stations for machine irrigation. - T.: Fan, 2014. - 368 p.
8. Kamalov T.S., Tasheva Kh.T., Shavazov A.A. Mathematical model of electromechanical energy conversion in the "engine-pump-pipeline" system of irrigation pumping stations of machine irrigation systems. // Problems of Informatics and Energy. - Tashkent, 2013. No. 3-4. From 29-34. (05.00.00; No. 5).
9. Kamalov T.S., Yusupov Z.E. Energy efficiency of irrigation pumping stations // Uzbek journal "Problems of Informatics and Energy". - Tashkent, 2005. - No. 1. - S. 41-44.
10. Terekhov V.M. Osipov O.I. Electric drive control system. - M.: Academy, 2007. - 301 p.
11. Syromyatnikov I.A. Operating modes of asynchronous and synchronous motors. Moscow: Energoatomizdat, 1984.
12. Usachev A.P., Karpov N.V., Improving the efficiency of pumping units in water supply and sanitation systems Water supply and sanitary engineering. 2011, pp. 61-66.
13. Khamudkhanov M.Z. Akhrarov Kh.N. On the regulation of the angular position of the rotor of a synchronous motor Izvestiya AN RUz STN, 1972. No. 6.
14. Fashilenko V.N. Adjustable electric drive of pumping and fan installations of mining enterprises. - M: "Mining Book", 2011. - 260 p.
15. Firago B.I., Pavlyachik L.B. Adjustable AC drives. - Mn.: Tekhnoperspektiva, 2006. - 363 p.
16. Auinger Herbert Optimization of energy consumption when using electric drives with speed control // Automatisierungstechn. Prax.: Praxis der Mess-, Steuerungs-, Regelungs-, und Informationstechnik. 2000. - № 2(42). - P. 33-39.
17. A Isakov, A Shavazov and A Elmuratova. Management efficiency of pumping aggregates through frequency converter. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1076 (2022) 012050 AEGIS-2022.
18. T Kamalov, A Isakov, A Shavazov, A Elmuratova, and B Tukhtamishev. Calculation of specific rates of the electric energy consumption at frequency regulation of electric drives: A case study of pumping stations. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 939 (2021) 012001. ICECAE 2021.
19. <http://www.amkt.ru/>
20. <http://electrolibrary.info/>