

УДК 65

UDC 65

**ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ
СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ДВОЙНОЙ
ЯКОРНОЙ ОБМОТКОЙ****FREQUENCY REGULATION OF THE
SYNCHRONOUS MOTOR WITH A DOUBLE
ANCHOR WINDING**Стрижков Игорь Григорьевич
д.т.н., профессорStrizhkov Igor Grigorievich
Dr.Sci.Tech., professorЧеснюк Евгений Николаевич
к.т.н., доцентChesnyuk Evgeniy Nikolaevich
Cand.Tech.Sci., associate professorЧеснюк Нина Евгеньевна
магистрантChesnyuk Nina Evgenievna
undergraduate studentТимохин Вячеслав Валерьевич
студентTimokhin Viacheslav Valerievich
student*Кубанский государственный аграрный университет,
Краснодар, Россия**Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

В статье приведены результаты экспериментального исследования частотного регулирования синхронного двигателя с двойной якорной обмоткой. Определены рациональный закон регулирования преобразователя частоты и возможные диапазоны регулирования частоты и нагрузки двигателя

In this article we show the results of a pilot study of frequency regulation of the synchronous motor with a double anchor winding. The rational law regulating the frequency converter and the possible ranges of the frequency regulation and the engine load are defined

Ключевые слова: СИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ,
ЧАСТОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕKeywords: SYNCHRONOUS MOTOR,
FREQUENCY REGULATION

Синхронный двигатель с двойной якорной обмоткой (СДДЯ) [1] конструкции Кубанского госагроуниверситета и его модификации [2, 3] предназначены для привода турбомеханизмов, прежде всего центробежных мелиоративных насосов, а также для тягового привода сельхозназначения (электротракторов), и может найти применение в электроприводе других механизмов.

Двигатели этого семейства отличают такие качества, как низкая стоимость, отсутствие сложного устройства регулирования возбуждения, свойственного современным серийным двигателям, более высокий КПД, и высокая перегрузочная способность

Для тягового электропривода одним из важнейших качеств является возможность регулирования частоты вращения для регулирования скоро-

сти мобильного средства. Мелиоративным насосам часто необходимо регулиро-

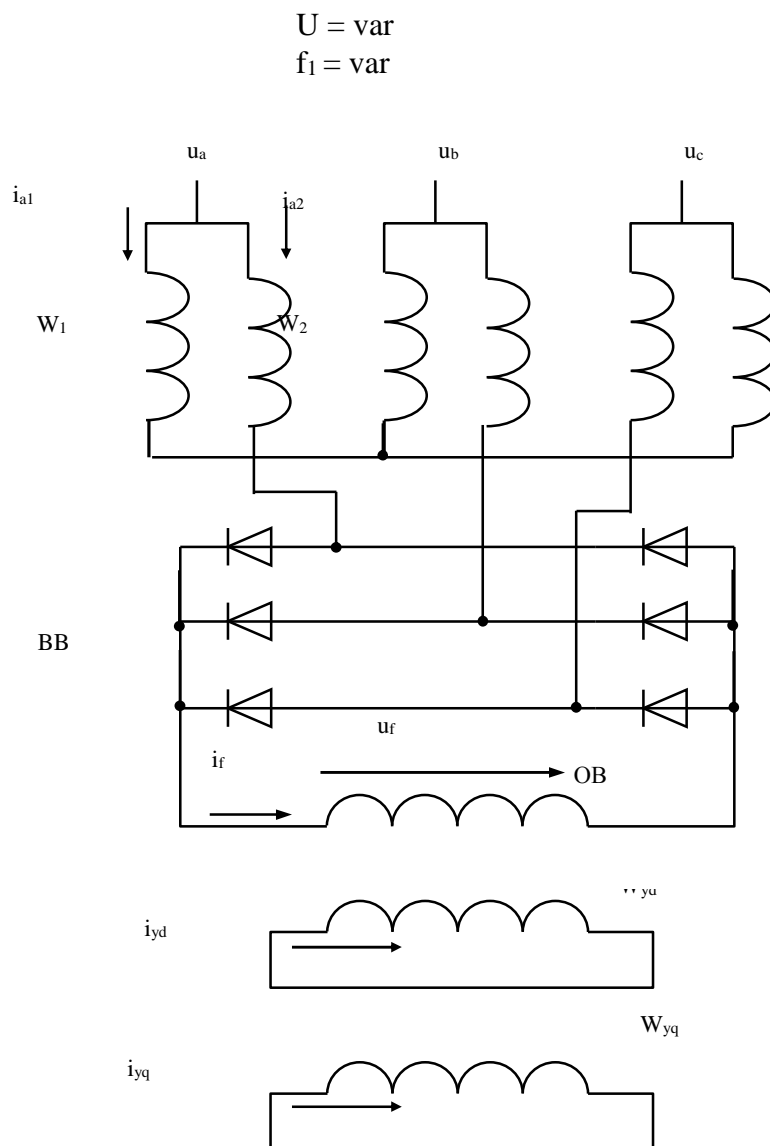


Рисунок 1 – Схема соединения обмоток СДДЯ: W_1 - опорная якорная обмотка, W_2 – проходная якорная обмотка, OB – обмотка возбуждения, W_{yd} , W_{yq} – составляющие демпферной обмотки по продольной (d) и поперечной (q) осям ортогональной системы координат математического описания машины, BB – выпрямитель.

вание частоты вращения для изменения производительности и напора насоса. В настоящее время все более широкое применение в указанных механизмах находит частотное регулирование электродвигателей переменного тока и потому актуальными являются исследования, направленные на определение целесообразности и эффективности этого способа регулирования скорости для СДДЯ. До настоящего времени отдельные результаты исследования частотного регулирования СДДЯ приводились только в региональной технической литературе [4].

Как и у других синхронных двигателей, частота вращения СДДЯ определяется частотой тока якорной обмотки

$$\omega = \frac{2p f_1}{p},$$

где ω – синхронная частота вращения или частота вращения вала СДДЯ в установившемся синхронном режиме, рад/с; f_1 – частота тока источника питания (якорной обмотки), Гц; p – число пар полюсов машины. Таким образом, изменение частоты тока вызывает пропорциональное изменение частоты вращения синхронного двигателя.

Предметом исследования являются закономерности изменения закона автоматического регулирования возбуждения (АРВ) двигателя при регулировании частоты источника питания.

Такие исследования могут быть выполнены методами математического моделирования СДДЯ или экспериментально. Математическая модель СДДЯ для анализа влияния частоты тока на режимные переменные в ортогональной системе d, q координат, жестко связанных с ротором, имеет вид:

$$\begin{aligned}
 U_{d1} &= r_{d1} i_{d1} + p Y_{d1} + Y_{q1} p g; \\
 U_{q1} &= r_{q1} i_{q1} + p Y_{q1} + Y_{d1} p g; \\
 U_{d2} &= (r_2 + r_B) i_{d2} + p Y_{d2} + Y_{q2} p g - x_B i_{q2} + (i_{d2} \cos j_B - i_{q2} \sin j_B) p Y_f / (b_r i_f); \\
 U_{q2} &= (r_2 + r_B) i_{q2} + p Y_{q2} + Y_{d2} p g - x_B i_{d2} + (i_{d2} \sin j_B - i_{q2} \cos j_B) p Y_f / (b_r i_f); \\
 0 &= r_{yd} i_{yd} + p Y_{yd}; \\
 0 &= r_{yq} i_{yq} + p Y_{yq}; \\
 b_r &= b_u / b_1; \\
 p g &= w \\
 Y_{d1} i_{q1} - Y_{q1} i_{d1} + Y_{d2} i_{q2} - Y_{q2} i_{d2} &= H p w + m_c; \\
 U_{d1} &= U_m \sin g; \\
 U_{q1} &= -U_m \cos g; \\
 U_{d2} &= U_m \sin(g - b); \\
 U_{q2} &= -U_m \cos(g - b); \\
 \begin{vmatrix} Y_{d1} \\ Y_{d2} \\ Y_{yd} \\ Y_f \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} x_{d1} & x_{d3} & x_{d1yd} & x_{f1} \\ x_{d3} & x_{d2} & x_{d2yd} & x_{f2} \\ x_{d1yd} & x_{d2yd} & x_{yd} & x_{fyd} \\ x_{d1f} & x_{d2f} & x_{ydf} & x_f \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} i_{d1} \\ i_{d2} \\ i_{yd} \\ i_f \end{vmatrix}; \\
 \begin{vmatrix} Y_{q1} \\ Y_{q2} \\ Y_{yq} \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} x_{q1} & x_{q3} & x_{q1yq} \\ x_{q3} & x_{q2} & x_{q2yq} \\ x_{q1yd} & x_{q2yq} & x_{yd} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} i_{q1} \\ i_{q2} \\ i_{yq} \end{vmatrix}.
 \end{aligned}$$

Условные обозначения параметров и переменных общепринятые в электромеханике: U_{ij} - составляющие напряжения по i -ой оси j -ой обмотки; i_{ij} - то же для токов в обмотках; Y_{ij} - потокосцепления обмоток; ω - угловая частота вращения поля машины; g - угол между осью магнитного поля и осью фазной обмотки W1; b - угловое смещение магнитной оси обмотки W2 по отношению к обмотке W1; b_u - коэффициент выпрямления по

напряжению мостового выпрямителя; b_i – то же по току; b_r – коэффициент, производный от предыдущих.

При использовании математической модели необходимо учитывать изменение реактивных сопротивлений машины при изменении частоты питания, что существенно усложняет использование матмодели при исследовании. Поэтому предпочтительными являются экспериментальные исследования с использованием лабораторной модели СДДЯ.

Экспериментальные исследования выполнены на кафедре электрических машин и электропривода КубГАУ на испытательной установке с СДДЯ 3,8 кВт, 220 В с параметрами обмоток, обеспечивающими закон АРВ на постоянство реактивной мощности при $f_1 = 50$ Гц. В качестве регулятора частоты использовался электромашинный преобразователь частоты с синхронным генератором и двигателем постоянного тока. Опыт заключался в регулировании механической нагрузки двигателя при регулировании частоты питания. Фиксировалось изменение реактивной мощности машины при изменении нагрузки.

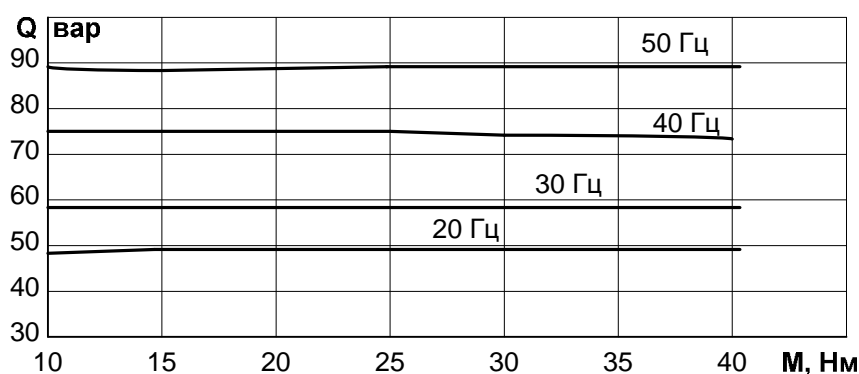


Рисунок 2 – Зависимость реактивной мощности СДДЯ от нагрузки и частоты тока

Зависимость указанных переменных представлена на рис. 2. Видно, что реактивная мощность СДДЯ имеет слабо выраженную зависимость от момента, но изменяется при изменении частоты тока. Причем, уменьшение

частоты сопровождается уменьшением реактивной мощности емкостного характера. В электроприводе насосов изменение частоты источника питания сопровождается пропорциональным изменением частоты вращения насоса и механической мощности, пропорционально частоте в третьей степени [5]. Таким образом, при увеличении или уменьшении частоты источника происходит увеличение или уменьшение активной и реактивной мощности СДДЯ.

Для электротракторов закономерность изменения механической нагрузки при изменении частоты источника и частоты вращения двигателя зависит от изменения тягового усилия, определяемого видом рабочей машины и сопротивлением движению рабочей среды (выполняемой технологической операции).

Установлено, что частотное регулирование СДДЯ эффективно при использовании в приводе вышеуказанных механизмов. Для повышения эффективности электродвигателя целесообразно применение частотного регулятора с законом регулирования на постоянство магнитного потока машины, предполагающий пропорциональное изменение амплитуды и частоты напряжения двигателя ($U/f_1=const$). Для эффективного функционирования системы передачи электроэнергии (сети) целесообразно применять стандартный закон АРВ на постоянство реактивной мощности двигателя. Закон АРВ СДДЯ на постоянство реактивной мощности выполняется с погрешностью до 4 % от номинальной мощности двигателя. Такое изменение реактивной мощности приемлемо, поскольку не приводит к заметному снижению эффективности функционирования электрической сети сельскохозяйственного назначения.

При необходимости сохранения неизменной реактивной мощности двигателя необходима корректировка напряжения питания в сторону опережающего увеличения амплитуды напряжения по отношению к увеличению частоты. Для указанной модели СДДЯ стабилизация реактивной

мощности при частотном управлении достигается при законе управления, подчиняющемся уравнению

$$U = U_0 + (1 - \frac{U_0}{U_n}) \frac{U_n}{f_n} f \quad (1)$$

Формула (1) получена эмпирически по результатам обработки экспериментальных данных. Экспериментально установлено, что для исследуемой модели напряжение U_0 принимает значение, равное $0,09U_n$. Для других моделей СДДЯ (других мощностей) значение U_0 будет не сложно установить экспериментально. Конструктивное исполнение статорной обмотки и обмотки возбуждения СДДЯ для частотнорегулируемого привода может быть аналогичным нерегулируемому двигателю стандартной частоты 50 Гц.

Установлено также, что при частотном регулировании исследуемый СДДЯ сохраняет статическую устойчивость при изменении момента сопротивления холостого хода до $1,5M_n$ в диапазоне изменения частоты тока 10-70 Гц.

Литература

1. Стрижков И.Г. Математическая модель синхронного привода передвижных оросительных насосных установок/ И.Г.Стрижков, А.Н.Трубин, Р.Р. Бегляров/ Труды Кубанского гос. агр. ун-та. Научный журнал. Выпуск 1(22), 2010, с. 161-164.
2. Патент РФ 2141714, МКИ Н 02 К 17/26, 17/14. Двухскоростной синхронно-асинхронный двигатель/Стрижков И.Г. и др. Опубл. 20.11.99 Б.И. № 32.
3. Патент РФ 2141715, МКИ Н 02 К 19/12, 47/20. Бесконтактный синхронный двигатель/Стрижков И.Г. и др. Опубл. 20.11.99 Б.И. № 32.
4. Стрижков И.Г. Частотное регулирование скорости синхронного двигателя с двойной якорной обмоткой / И.Г.Стрижков, А.Н.Трубин, Е.Н.Чеснюк /В кн.: Энергосберегающие технологии и процессы в АПК (Матер. научн. конф. КГАУ), Краснодар, 2002, с. 83-86.
5. Онищенко Г.Б. Электропривод турбомеханизмов / Г.Б.Онищенко, М.Г. Юньков /М., «Энергия», 1972, 240 с.

References

1. Strizhkov I.G. Matematicheskaja model' sinhronnogo privoda peredvizhnyh orositel'nyh nasosnyh ustanovok/ I.G.Strizhkov, A.N.Trubin, R.R. Begljarov/ Trudy Kubanskogo gos. agr. un-ta. Nauchnyj zhurnal. Vypusk 1(22), 2010, s. 161-164.
2. Patent RF 2141714, MKI N 02 K 17/26, 17/14. Dvuhskorostnoj sinhronno-asinhronnyj dvigatel'/Strizhkov I.G. i dr. Opubl. 20.11.99 B.I. № 32.
3. Patent RF 2141715, MKI N 02 K 19/12, 47/20. Beskontaktnyj sinhronnyj dvigatel'/Strizhkov I.G. i dr. Opubl. 20.11.99 B.I. № 32.
4. Strizhkov I.G. Chastotnoe regulirovanie skorosti sinhronnogo dvigatelja s dvojnoj jakornoj obmotkoj / I.G.Strizhkov, A.N.Trubin, E.N.Chesnjuk /V kn.: Jenergosberegajushhie tehnologii i processy v APK (Mater. nauchn. konf. KGAU), Krasnodar, 2002, s. 83-86.
5. Onishhenko G.B. Jelektroprivod turbomehanizmov / G.B.Onishhenko, M.G. Jun'kov /M., «Jenergija», 1972, 240 s.