

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

На правах рукописи

*Эль Кадиуи Эль Идриси Мохаммед*  
(Марокко)

**УЛУЧШЕНИЕ ПУСКОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОННЫХ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ЗА СЧЕТ ВКЛЮЧЕНИЯ ЕМКОСТИ В ЦЕПЬ  
ВОЗБУЖДЕНИЯ**

Специальность

05.09.03.- " Электротехнические комплексы и системы, включая их  
управление и регулирование "

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Донецк - 1997

621.3-1

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00753836 (W)

Диссертация является рукописью

Диссертационная работа выполнена в Донецком государственном техническом университете

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор, академик  
Украинской технологической академии  
**Сивокобыленко Виталий Федорович**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,  
**Макаров Михаил Иванович**  
кандидат технических наук, доцент,  
**Филь Михаил Ионович**

Ведущее предприятие: **НПО " взрывозащищенное электрооборудование**  
(УкрНИИВЭ)), г. Донецк.

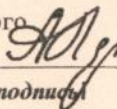
Защита состоится "8" мая 1997г. в 10 ч 00 мин. на заседании специализированного совета К.06.04.04 в Донецком государственном техническом университете по адресу:

г. Донецк, ул. Артема, 58, ауд. 1201.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Донецкого государственного технического университета.

Автореферат разослан " 4 " апреля 1997г.

Ученый секретарь специализированного  
совета, канд. техн. наук, доцент

 **А.М.ЛАРИН**  
Подпись

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Поскольку на долю электропривода приходится большая часть потребляемой электрической энергии, то технический уровень и развитие электропривода в значительной мере определяют темпы роста и эффективность использования электрической энергии в промышленности и сельском хозяйстве.

В последнее время в схемах электроснабжения промышленных предприятий все большее применение находят синхронные двигатели (СД), оказывающие определяющее влияние на выбор схемы электроснабжения, основного оборудования, релейную защиту и автоматику.

Широкое применение СД происходит благодаря их технико-экономическим преимуществам по сравнению с асинхронными. Однако, им присущи недостатки, связанные с трудностями обеспечения и усложнением схемы пуска, а также возможностью выхода из синхронизма при кратковременных нарушениях питания из-за недостаточного вращающего момента.

Успешность же режима самозапуска или пуска под нагрузкой определяются в основном величиной избыточного момента на валу СД, величина которого напрямую зависит от пусковых характеристик СД. Зачастую малая величина избыточного момента является причиной невозможности осуществления режимов пуска под нагрузкой и самозапуска в данной схеме электроснабжения.

Работы по улучшению пусковых характеристик двигателей шли в направлениях применения новых конструкций и материалов, тиристорных возбудителей, частотных преобразователей, совершенствования системы управления возбуждением. Однако, несмотря на это, задача улучшения пусковых характеристик СД сохраняет свою актуальность.

В последние годы для улучшения пусковых характеристик СД были предложены многократная форсировка и управление возбуждением (Соколов Н.И., Сивокобыленко В.Ф), включение емкости в цепь обмотки возбуждения (ОВ) (Низимов В.Б). Однако, последний из отмеченных способов не изучен применительно к высоковольтным СД, отсутствуют исследования о влиянии величины емкости на характер изменения вращающего момента и возможном усилении одноосного эффекта. Кроме того, не рассмотрены вопросы выбора оптимальных значений емкости в зависимости от параметров двигателя, а также влияния величины емкости на ток статора, ротора и напряжения на СД. В этой связи

совершенствование подходов и методов применения конденсаторов с целью улучшения пусковых характеристик СД является **актуальной** задачей.

**Целью диссертационной работы** является совершенствование способов применения конденсаторов в цепи обмотки возбуждения для улучшения пусковых характеристик СД в режимах пуска и самозапуска после кратковременных перерывов питания; проведение исследований и разработка рекомендаций по повышению надежности работы электротехнических комплексов, содержащих синхронные приводы.

**Идея работы** заключается в разработке математической модели синхронного привода с управляемой емкостью в цепи ОВ на основе полных дифференциальных уравнений СД и установление закономерностей его поведения в различных режимах, что позволит определить оптимальные значения емкости для улучшения пусковых характеристик СД.

**Основные задачи исследования:**

1. Разработка математической модели синхронного электропривода с добавочным активным сопротивлением и емкостью в цепи обмотки возбуждения для анализа влияния емкости на статические и динамические пусковые характеристики синхронного привода и облегчения режимов его пуска и самозапуска.

2. Разработка методики выбора оптимальных значений емкости и добавочного активного сопротивления, позволяющие увеличить вращающий момент в заданном диапазоне скольжения.

3. Анализ переходных процессов в системах электроснабжения, содержащих электротехнические комплексы с синхронным электроприводом с емкостью в цепи ОВ и оценка эффективности применения емкостной компенсации.

4. Разработка схемы включения и способа управления цепью возбуждения синхронного электропривода в режимах пуска и самозапуска при наличии добавочной емкости в цепи ОВ.

**Методы исследования:** решение поставленных вопросов осуществлено на базе методов вычислительной математики, математического моделирования, основанного на использовании общей теории переходных процессов машин переменного тока, а также на основе проведения экспериментов.

**Основные научные результаты, их новизна и положения, выносимые на защиту:**

1. Математическая модель для анализа статических и динамических пусковых характеристик синхронного электропривода на основе полных

дифференциальных уравнений Парка-Горева, отличающаяся учетом емкости в цепи ОВ и способом дискретного управления параметрами цепи ОВ по различным законам.

2. Установлено, что при пуске СД можно достичь увеличения вращающего момента во всем диапазоне скольжения при непрерывном изменении емкости и активного сопротивления в цепи ОВ. При фиксированной емкости увеличения вращающего момента можно достичь только в сравнительно небольшом заданном диапазоне скольжения. Для двигателей мощностью свыше 200 кВт применение емкости ограничивается из-за возникновения напряжения на ОВ, превышающего допустимое.

3. Методика выбора емкости и активного сопротивления в цепи ОВ для получения максимального вращающего момента при заданном скольжении, основанная на выборе емкости, исходя из условий равенства входных активного и индуктивного сопротивлений СД при этом скольжении и на выборе добавочного активного сопротивления в цепи ОВ из условия подавления одноосного эффекта.

4. Способ дискретного управления емкостью в ОВ для увеличения вращающего момента синхронного электропривода, отличающийся тем, что с целью ограничения напряжения на ОВ параллельно емкости подключен тиристорный ключ, управляемый пороговым элементом по уровню напряжения.

Научное значение работы заключается в установлении закономерностей поведения синхронного электропривода в режимах пуска и самозапуска при включении управляемой емкости в цепь ОВ и выявлении влияния указанной емкости на пусковые характеристики.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

1. Разработана методика выбора оптимального значения емкости и добавочного активного сопротивления для улучшения пусковых характеристик синхронного электропривода.

2. Разработана схема включения и способ управления емкостью и активным добавочным сопротивлением в цепи ОВ двигателей большой мощности, позволяющие увеличить вращающий момент СД в режимах пуска без превышения допустимого на ОВ напряжения.

3. Предложен способ увеличения эффективности каскадного пуска и самозапуска СД за счет подключения емкости к ОВ.

Реализация результатов работы: результаты работы использованы в научно-исследовательской работе кафедры "Электрические станции"

Донецкого государственного технического университета и в учебном процессе студентов энергетического факультета.

**Достоверность** научных положений диссертационной работы подтверждается корректным использованием классической теории переходных процессов машин переменного тока, обоснованностью принятых допущений и удовлетворительным совпадением результатов расчета с экспериментальными данными.

**Апробация работы:** основные положения диссертационной работы были представлены на всероссийском научном семинаре "Кибернетика электрических систем" по тематике "Диагностика электрооборудования" (Новочеркасск, 1996 г.), на региональной научной конференции "Творческое наследие В.И. Вернадского и современность" (Донецк, 1995 г.), V и VI всеукраинских студенческих научных конференциях "Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов" (Донецк, 1994 г., 1996 г.) и на расширенном заседании кафедры "Электрические станции" (Донецк 1997 г.). Работа выполнялась по плану научно-исследовательских работ Донецкого государственного технического университета.

**Публикации:** по результатам решенных в работе задач опубликовано в печати 7 научных работ.

**Структура и объем работы:** диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и 4 приложений. Работа содержит 130 страниц основного текста, 50 рисунков, 5 таблиц. Библиография состоит из 90 наименований источников.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** показана актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и идея работы, излагаются решаемые задачи, а также основные результаты и положения, выносимые автором на защиту.

**В первой главе** дан анализ существующих методов улучшения пусковых характеристик СД. Большой вклад в решение указанной проблемы внесли следующие ученые: Носов К.Б., Дворак Н.М. Велин Н.В., Соколов Н.И., Сивокобыленко В.Ф. Низимов В.Б., Колычев С.В и др. Анализ существующих методов пуска СД и способов улучшения их пусковых характеристик позволил выявить имеющиеся недостатки, и сформулировать задачи исследований по применению управляемого пуска СД с включением емкости в цепи ОВ.

**Вторая глава** посвящена анализу статических пусковых характеристик синхронного привода при варьировании значений емкости и пускового резистора в цепи ОВ. При подключении емкости последовательно с ОВ происходит компенсация индуктивного сопротивления рассеяния, что приводит к увеличению тока в ней и следовательно, электромагнитного вращающего момента. Расчет пусковых характеристик СД производился с использованием параметров схемы замещения (рис. 1) по зависимостям (в отн. ед. при  $|U_s|=1$ ):

$$M = \left[ \operatorname{Re}(\dot{I}_{np}) - R_s |\dot{I}_{np}|^2 - |\dot{I}_{обп}|^2 \frac{R_s}{1-2S} \right] (\cos \varphi_n \eta_n)^{-1}, \quad (1)$$

где  $\operatorname{Re}(\dot{I}_{np})$  - вещественная часть комплекса тока  $\dot{I}_{np}$ ;  $\dot{I}_{np}$  и  $\dot{I}_{обп}$  - комплексы токов прямой и обратной последовательностей;

Токи  $\dot{I}_{np}$  и  $\dot{I}_{обп}$  выражаются через параметры схемы замещения следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{np} &= \left[ R_s + jX_{\sigma s} + 0,5(Z_{2d} + Z_{2q}) - 0,25(Z_{2d} - Z_{2q})^2 \times \right. \\ &\quad \left. \times \left( \frac{R_s}{2S-1} + jX_{\sigma s} + 0,5(Z_{2d} + Z_{2q}) \right)^{-1} \right]^{-1}, \\ \dot{I}_{обп} &= \dot{I}_{np} \cdot 0,5(Z_{2d} - Z_{2q}) \left( \frac{R_s}{2S-1} + jX_{\sigma s} + 0,5(Z_{2d} + Z_{2q}) \right)^{-1}, \end{aligned} \right\} (2)$$

где  $Z_{2d}$  и  $Z_{2q}$  - комплексные сопротивления параллельных цепей эквивалентной схемы по продольной и поперечной осям, которые определяются как:

$$Z_{2d} = \left[ (jX_{ad})^{-1} + \left( \frac{R_f + R_{\partial\partial d}}{S} + j\left(X_{\sigma f} - \frac{X_c}{S^2}\right) \right)^{-1} + \left( \frac{R_{rd}}{S} + jX_{\sigma rd} \right)^{-1} \right]^{-1}$$

$$Z_{2q} = \left[ (jX_{aq})^{-1} + \left( \frac{R_{rq}}{S} + jX_{\sigma rq} \right)^{-1} \right]^{-1}$$

Из результатов расчетов следует, что наибольшего вращающего момента можно достичь во всем диапазоне скольжений при непрерывном изменении в функции скольжения добавочной емкости в цепи ОВ, реактивное сопротивление  $X_C$  которой при этом будет равно:

$$X_C(S) = K \cdot X_{\sigma f} \cdot S^2, \quad (4)$$

где  $K$  - коэффициент компенсации индуктивности рассеяния ОВ, величина которого определяет недокомпенсацию ( $K < 1$ ) или перекомпенсацию ( $K > 1$ ) индуктивности рассеяния ОВ.

Характер переходного процесса в режиме пуска СД и увеличение вращающего момента зависят от индуктивностей рассеяния статора, ротора и коэффициента компенсации  $K$ . Из полученных результатов расчетов для ряда двигателей следует, что с увеличением коэффициента  $K$  от 0,2 до 1,3 происходит соответственно увеличение пускового момента. Так например, для двигателя типа СДСЗ-2000-60 ( $P_H=2000$  кВт) при  $S=1$  и подключении емкости 110  $\mu\text{F}$  и  $K=1,3$  пусковой момент увеличивается с 1,19 до 5,2 отн. ед.

Необходимо отметить, что при подключении емкости к ОВ возрастает степень несимметрии по осям  $d$  и  $q$ , что усиливает одноосный эффект, приводящий в некоторых случаях к застреванию двигателя при его пуске. Результаты расчета статических характеристик вращающего момента для того же двигателя в области скольжения от 1 до 0 приведены на рис.2.

В целом приведенные результаты свидетельствуют о существенном увеличении вращающего момента при использовании емкости во всем диапазоне скольжения, однако, для избежания отрицательных значений момента и больших значений тока статора, требуется выполнение условия  $R_{\partial\partial b} > 4R_f$ . Последнее объясняется тем, что значительные возрастания тока статора и момента при уменьшении  $R_{\partial\partial b}$  наблюдаются в области скольжения от 0,2 до 0,5, поэтому в режимах пуска в области скольжений от 0 до 0,5 желательно принимать  $R_{\partial\partial b} \geq 4R_f$ , а в области скольжений от 0,5

до 1,  $R_{\partial o \partial} \leq 4R_f$ . При этом предпочтительным является дискретное изменение  $R_{\partial o \partial}$  в функции скольжения.

Вместе с тем, изменение емкости по (4) усложняет реализацию способа, в связи с чем разработана методика выбора емкости и активного сопротивления в цепи ОБ для получения максимального вращающего момента при заданном скольжении. Методика основана на выборе добавочного активного сопротивления в цепи ОБ из условия подавления одноосного эффекта и на выборе оптимального значения емкости, исходя из условий равенства входных активного и индуктивного сопротивлений СД при этом скольжении, т.к. в этом случае обеспечивается передача максимальной мощности на ротор. Указанное условие сводится к минимизации целевой функции

$$F_{\min} = [\operatorname{Re}(Z_{ex} - R_s) - \operatorname{Im}(Z_{ex})] \rightarrow 0, \quad (5)$$

где входное сопротивление является функцией параметров схемы замещения двигателя по осям  $d$  и  $q$  и добавочных сопротивлений и емкости в цепи ОБ:

$$Z_{ex} = f(R_s, X_{\sigma s}, R_{rd}, X_{\sigma rd}, R_f, X_{\sigma f}, X_c, R_{\partial o \partial}) \quad (6)$$

Для примера в табл.1 приведены результаты расчетов момента  $M^*$  при оптимальных значениях емкости и  $R_{\partial o \partial}$  и для сравнения момента  $M$  при  $C=0$  и  $R_{\partial o \partial} = 10R_f$  при различных значениях скольжения для рассмотренного двигателя (все величины, кроме  $C$ , в отн. ед.):

Таблица 1- Оптимальные значения емкости в цепи ОБ СД

S		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
M при C=Var, $R_{\partial o \partial} =$ Var	M*	5,79	5,37	4,62	3,98	4,57	9,98	9,53	10,12	10,42	10,68
	$X_c$	0,002	0,009	0,028	0,043	0,063	0,086	0,116	0,152	0,192	0,236
	C, $\mu\text{F}$	13000	2888	928	605	412	302	224	171	135	110
	$R_{\partial o \partial}$	0	$1R_f$	$3R_f$	$6R_f$	0	0	0	0	0	0
M при C=0	M	2,25	2,56	2,43	2,19	1,99	1,768	1,58	1,426	1,3	1,187

В третьей главе приведены результаты исследования динамических характеристик двигателя в режимах пуска и самозапуска. Исследования проводились методом математического моделирования с использованием

полных дифференциальных уравнения Парка-Горева, записанных в относительных единицах:

$$\begin{aligned}
 p\Psi_{sd} &= u_d - R_s i_{sd} - \omega \Psi_{sq}, \\
 p\Psi_{sq} &= u_q - R_s i_{sq} + \omega \Psi_{sd}, \\
 p\Psi_f &= u_f - u_c - (R_f + R_{доб}) i_f, \\
 p\Psi_{rd} &= -R_{rd} i_{rd}, \quad p\Psi_{rq} = -R_{rq} i_{rq}, \\
 p\omega &= \frac{1}{J} (M - M_c), \quad pu_c = i_f \frac{1}{C}, \\
 M &= \Psi_{sd} i_{sq} - \Psi_{sq} i_{sd}, \quad p\gamma = \omega.
 \end{aligned} \tag{7}$$

В приведенных уравнениях учтены величины компенсирующей емкости и добавочного резистора в цепи ОБ. Кроме того, в разработанной модели предусмотрено управление по заданному закону величинами емкости и сопротивления в функции частоты вращения ротора:

$$\begin{cases}
 C=C(S) & \text{при } 1 < S < 0,4, \\
 C=0 & \text{при } U_f > U_{foon}, \\
 R_{доб} = K_R(S) R_f & \text{при } 1 < S < 0,06, \\
 R_{доб} = R_f & \text{при } S < 0,06,
 \end{cases} \tag{8}$$

где  $K_R(S)$  - кратность отношения добавочного сопротивления к сопротивлению ОБ, являющаяся функцией от скольжения.

Расчет режимов пуска СД показал, что динамические моменты при  $S=1$  и при повторных включениях в режиме самозапуска могут существенно превосходить номинальные (в 5-7 раз при  $C=0$  и в 10-14 раз при  $C \neq 0$ ) (рис.3,4).

Проведенные исследования показали, что при включении в ОБ емкости, изменяемой в процессе пуска или оптимальной фиксированной величины, теоретически можно получить весьма значительное увеличение вращающего момента. Однако, практически этого достичь затруднительно из-за превышения допустимых величин током статора и напряжением на

емкости и на ОВ. По указанным причинам техническое решение этого способа для двигателей большой мощности применить затруднительно.

Для решения этой проблемы в данной работе предложен способ увеличения вращающего момента СД с использованием емкости в обмотке возбуждения, отличающийся тем, что емкость включается последовательно с добавочным активным сопротивлением в ОВ только на время существования на ней напряжения, не превышающего допустимого, после чего до наступления следующего полупериода она шунтируется тиристорным коммутатором, являющимся ограничителем напряжения.

Работа схемы (рис.5) осуществляется следующим образом: при подключении статора СД к питающей сети наведенная в ОВ ЭДС замыкается через конденсатор С и резисторы  $R_1$  и  $R_2$ . При этом за счет компенсации индуктивности рассеяния ОВ емкостью двигатель будет развивать повышенное значение асинхронного момента. Напряжение на ОВ при этом возрастает и по истечении некоторого промежутка времени его мгновенное значение достигает уставки срабатывания порогового элемента по напряжению АУ, выходной орган которого замыкает свои контакты КУ1, КУ2 в цепи управления тиристоров VS1, VS2. Последние включаются и шунтируют емкость. При этом ток в ОВ будет протекать только через пусковые резисторы  $R_1$  и  $R_2$  до наступления следующего полупериода напряжения на ОВ, после чего тиристорный коммутатор отключается и ток в ОВ будет опять протекать через конденсатор С и пусковые резисторы  $R_1$  и  $R_2$  и т.д. При этом в начальной части каждого из полупериодов напряжения ОВ двигатель развивает повышенный асинхронный момент, что уменьшает общее время пуска и ограничивает величину напряжения на ОВ до допустимой. После достижения ротором скольжения  $S \leq 0,4$  блок скольжения AS замыкает свои выходные контакты KS1 и KS2 в цепях управления тиристоров VS1 и VS2, последние срабатывают и шунтируют емкость С. В дальнейшем в оба полупериода напряжения на ОВ при  $0,4 > S \geq 0,06$  ток в ОВ будет протекать через пусковые резисторы  $R_1$  и  $R_2$ . После достижения ротором скольжения  $S \leq 0,06$  блок скольжения AS замыкает свои выходные контакты KS3 и KS4 в цепях управления тиристоров VS3 и VS4, последние срабатывают и шунтируют резистор  $R_1$ , после чего ток в ОВ будет протекать только через резистор  $R_2$ , величина которого подобрана так, чтобы обеспечить заданный входной момент СД. Тиристорный коммутатор прекратит работу, когда амплитуда наведенной ЭДС в ОВ станет меньше порога включения стабилитронов VD1-VD4, вслед

за этим тиристорный возбудитель УЛМ подает постоянный ток в контур возбуждения, и двигатель втягивается в синхронизм.

Исследования показали, что при выборе оптимальной величины фиксированной емкости (например для упомянутого двигателя 110  $\mu\text{F}$ ) и при предлагаемом способе управления время пуска под нагрузкой уменьшается с 1,7 с до 1,2 с (рис.6., кривая б), а среднее значение вращающего момента увеличивается во всем диапазоне скольжения по сравнению с обычным асинхронным пуском. При этом напряжение на обмотке возбуждения (рис.7), токи статора и ротора не превышают допустимых значений.

**В четвертой главе** рассмотрена математическая модель системы электроснабжения с асинхронными и синхронными двигателями при различных способах использования емкостей (в ОВ СД, в цепи обмотки статора СД, в цепи питающего трансформатора). Выполнены исследования режимов группового и каскадного самозапуска двигателей для типовой схемы электроснабжения компрессорной станции. Показано, что применение продольных емкостей в цепях трансформатора и двигателя требует включения больших емкостей (3000-10000  $\mu\text{F}$ ), что трудно реализовать. Более предпочтительным является применение компенсирующих емкостей, подключенных к сборным шинам, а также в цепи ОВ СД.

Сделано заключение, что для улучшения пусковых характеристик СД в системах электроснабжения электротехнических комплексов целесообразно применять емкости в цепи ОВ, так как в этом случае можно обеспечить успешный самозапуск или сократить время разгона СД.

**В пятой главе** приведены результаты выполненных экспериментальных исследований при включении емкости в цепь обмотки возбуждения СД типа ЕС-52-4У2 (6,25 кВА, 1500 об/мин, 380 В). Показана эффективность использования этого способа. Выполнено сопоставление результатов натуральных экспериментов с расчетами, полученными по разработанной в данной работе программой для ПЭВМ. Погрешность расчетов при этом не превышает 10 %.

**В заключении** приведен общий итог диссертационной работы и выводы по полученным результатам при решении в работе поставленных задач.

**В приложении** приведены алгоритмы расчета на ЭВМ пусковых характеристики СД.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано новое решение актуальной научной задачи улучшения пусковых характеристик синхронного электропривода за счет подключений управляемой емкости к цепи ОВ в сочетании с добавочным активным сопротивлением.

Основными итогами выполненной работы, направленной на решение поставленных в диссертации задач, являются следующие научные и практические результаты:

1. Разработана математическая модель синхронного электропривода на основе полных дифференциальных уравнений Парка-Горева, отличающаяся учетом добавочной емкости в цепи ОВ и способом дискретного управления параметрами ОВ по различным законам, обеспечивающим увеличение вращающего момента.

2. Выполнен анализ статических пусковых характеристик СД с емкостью в цепи ОВ, который показал, что, наряду с увеличением среднего вращающего момента, из-за одноосного эффекта в области скольжений 0,3-0,5 возникают большие отрицательные значения момента, что может приводить к застреванию механизма при пуске. Для ослабления одноосного эффекта, наряду с включением емкости в цепь ОВ, необходимо включать также добавочное активное сопротивление, которое в области скольжений от 0 до 0,5 необходимо принимать  $R_{доб} \geq 4R_f$ , а в области скольжений от 0,5 до 1  $R_{доб} \leq 4R_f$ .

3. Установлено, что при пуске СД можно достичь увеличения вращающего момента во всем диапазоне скольжения при условии непрерывного изменения емкости и активного сопротивления в цепи ОВ. При фиксированной емкости увеличения вращающего момента можно достичь только в сравнительно небольшом диапазоне скольжения. Для двигателей мощностью свыше 200 кВт применение этого способа ограничивается из-за возникновения напряжения на ОВ, превышающего допустимое во всем диапазоне скольжения.

4. Разработана методика выбора емкости и активного сопротивления в цепи ОВ для получения максимального вращающего момента при заданном скольжении, основанная на выборе емкости из условия равенства входных активного и индуктивного сопротивлений СД при этом скольжении и на выборе добавочного активного сопротивления в цепи ОВ из условия подавления одноосного эффекта.

5. Разработан новый способ увеличения вращающего момента СД с использованием емкости в ОВ, отличающийся тем, что емкость включается последовательно с добавочным активным сопротивлением в ОВ только на время существования на ней напряжения, не превышающего допустимого, после чего до наступления следующего полупериода она шунтируется тиристорным коммутатором.

6. На примере типовой схемы электроснабжения электроприводной газокompрессорной станции с синхронными двигателями показана эффективность применения управляемого подключения емкости в цепи ОВ СД, позволяющего осуществить более легкий каскадный пуск и успешный самозапуск двигателей после кратковременных перерывов питания.

7. Результатами экспериментальных исследований пусковых режимов СД подтверждены результаты математического моделирования и эффективность применения управляемой емкости в цепи ОВ, позволяющей увеличить вращающий момент и уменьшить время пуска СД.

**Основные научные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Сивокобыленко В.Ф., Эль Кадиуи Эль Идрисси Мохаммед. Анализ пусковых характеристик синхронных двигателей при подключении емкости к обмотке возбуждения. Электротехника, № 6, 1997.- (принята к печати)

2. Сивокобыленко В.Ф., Эль Кадиуи Эль Идрисси Мохаммед. Улучшение пусковых характеристик синхронных двигателей за счет управления емкостью в обмотке возбуждения. Изв. вузов электромеханика. НГТУ: Новочеркасск, №1-2, 1997.- с 105.

3. Сивокобыленко В.Ф., Эль Кадиуи Эль Идрисси Мохаммед. Повышение вращающего момента синхронного двигателя в режимах пуска. Электрический журнал, 1997, № 2., (принята к печати)

4. Сивокобыленко В.Ф., Эль Кадиуи Эль Идрисси Мохаммед. Совершенствование схемы пуска синхронных двигателей. Сб. тез. докл. V Всеукраинской студенческой научной конференции: "Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов". - Донецк. 1995.- с.80.

5. Сивокобыленко В.Ф., Эль Кадиуи Эль Идрисси Мохаммед. Повышение вращающего момента синхронного двигателя в режимах пуска. Сб. науч. трудов энергетического факультета "Электромеханика и электроэнергетика" Донецк: ДонГТУ, 1996-с. 34-38.

6. Лебедев В.К., Эль Кадиуи Мохаммед. Самозапуск синхронных двигателей, как средство улучшения экологической обстановки в зоне

работы газокompрессорных станций. Сб. докл. VI Всеукраинской студенческой научной конференции " Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов ".- Донецк. 1996 - с. 147-148.

7. Эль Кадииуи Эль Идриси Мохаммед. Математическое моделирование синхронного двигателя с конденсатором в цепи обмотки возбуждения. Сб. докл. Региональной научной конференции "Творческое наследие В.И. Вернадского и современность".- Донецк: ДонГТУ, 1996 - с. 17.

Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве, заключается в следующем: участие в разработке математических моделей [1-3,5,6] разработка программ для ЭВМ и исследование переходных процессов в системах электроснабжения с синхронными приводами с емкостью в цепи обмотки возбуждения [1,3]; анализ поведения синхронного электродвигателя при управлении емкостью в цепи обмотки возбуждения [2-4,5].

#### ANNOTATION

EL Kadioui EL Idrissi Mohammed: "Improvement of starting characteristics of synchronous electric drives by a connection of a capacitor to the excitation windings".

The dissertation is presented for the PHD degree in the speciality 05.09.03 "Electrotechnical complex and systems, including their control and regulation". Donetsk state technical university, Donetsk, 1997.

A mathematical model has been developed and the starting characteristics of a synchronous electric drive, when a combination of capacitor and resistor is connected to the excitation windings, was investigated. It was shown that, under this condition an increase in torque increases the uniaxial effect, reduction of which it is recommended that, within a region of slip  $0 < S < 0,5$ , the series resistance should be more than four times the resistance of the excitation windings. For motors with power more than 200 KW, overvoltages beyond allowed values occur within the excitation windings. A technique to control the capacitance with the help of thyristor switches, which allows an increase in the torque of a synchronous motor during permissible overvoltages in excitation windings, has been developed.

## АНОТАЦІЯ

Ель Кадіюї Ель Ідріссі Мохаммед "Покращення пускових характеристик синхронних електроприводів за рахунок включення ємності в обмотку збудження".

Робота є рукописом на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 "Електротехнічні комплекси і системи, включаючи їх управління та регулювання". Донецький держ. техн. університет, Донецьк, 1997.

Розроблена математична модель і досліджені пускові характеристики синхронного електропривода при підключенні до обмотки збудження ємності сумісно з активним опором. Показано, що при цьому поряд зі збільшенням моменту підсилюється одноосний ефект, для подавлення якого пропонується у області ковзання  $0 < S < 0,5$  приймати додатковий опір більш ніж  $4R_f$ . Для двигунів потужністю більш 200 кВт виникають напруги, які перевищують допустимі значення. Тому розроблено засіб управління ємністю за допомогою тиристорного комутатора, що дозволяє збільшити момент СД при напругах на ОЗ, не більших допустимих.

Ключові слова:

Синхронний двигун, обмотка збудження, математична модель, одноосний ефект, ємність, тиристорний комутатор.

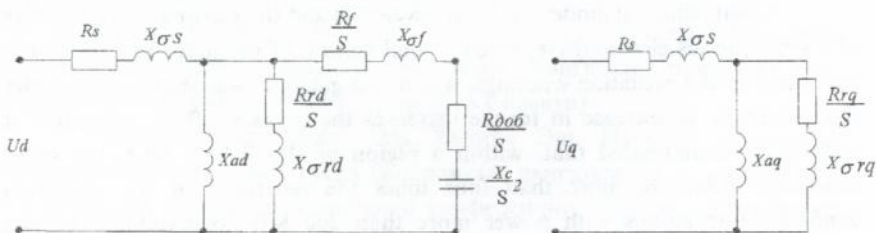


Рисунок 1. Схеми замещення СД по осям d и q при наличии емкости в цепи ОВ.

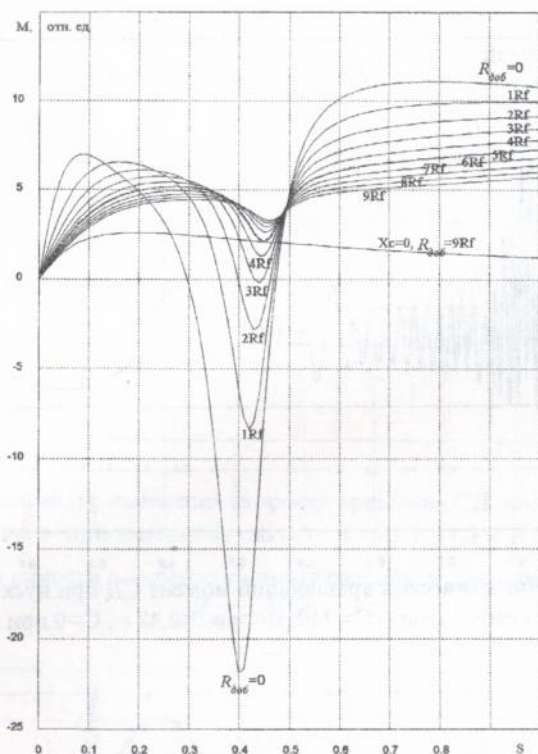


Рисунок 2.- Зависимость вращающего момента от скольжения при различных значениях  $R_{0об}$  в цепи ОВ и изменении  $X_C$  по зависимости (4) при  $K=1,3$ .

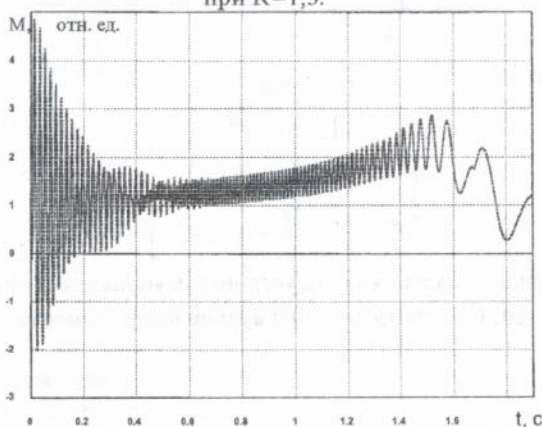


Рисунок 3. - Динамический вращающий момент СД при пуске без емкости в обмотке возбуждения.

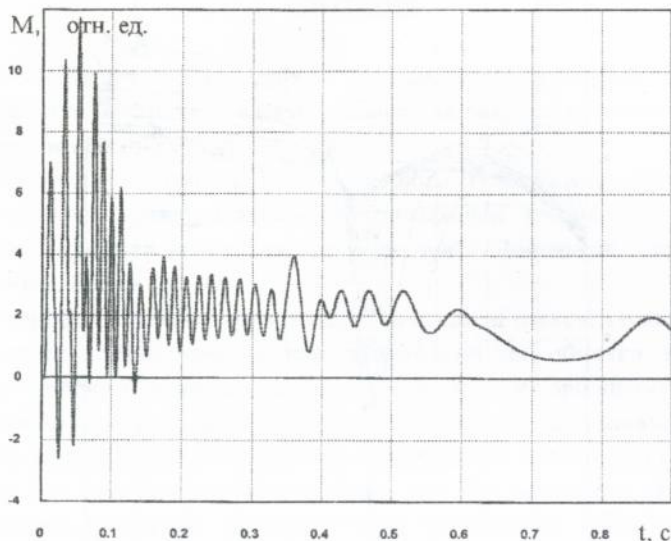


Рисунок 4. - Динамический вращающий момент СД при пуске с емкостью в обмотке возбуждения ( $C = 110 \mu\text{F}$  при  $t < 0,42$  с,  $C = 0$  при  $t > 0,42$  с).

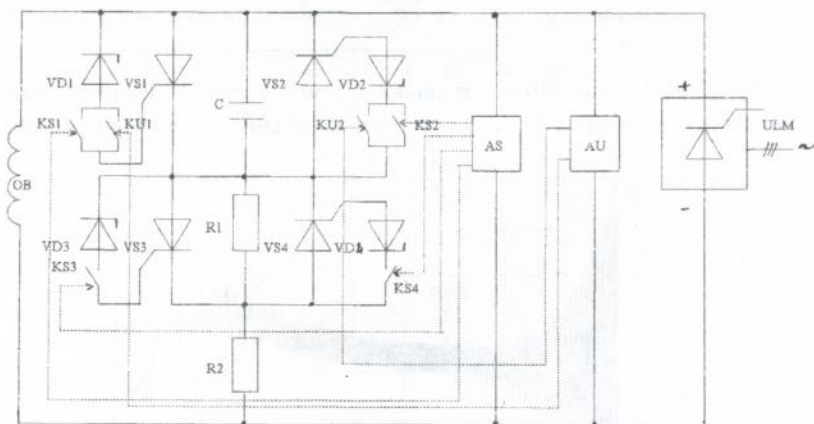


Рисунок 5- Принципиальная схема устройства управления емкостью в цепи ОБ СД для увеличения вращающего момента.

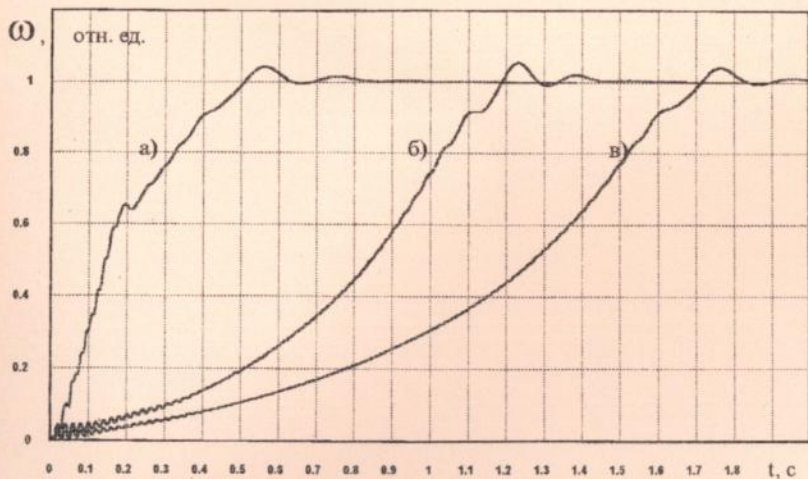


Рисунок 6 - Характер изменения скорости вращения СД при различных способах пуска: а- при изменении емкости по (4),  $K=1,3$  и  $R_{доб} = 5R_f$ ; б- при изменении емкости по предложенному способу; в- при обычном пуске с  $R_{доб} = 10R_f$ .

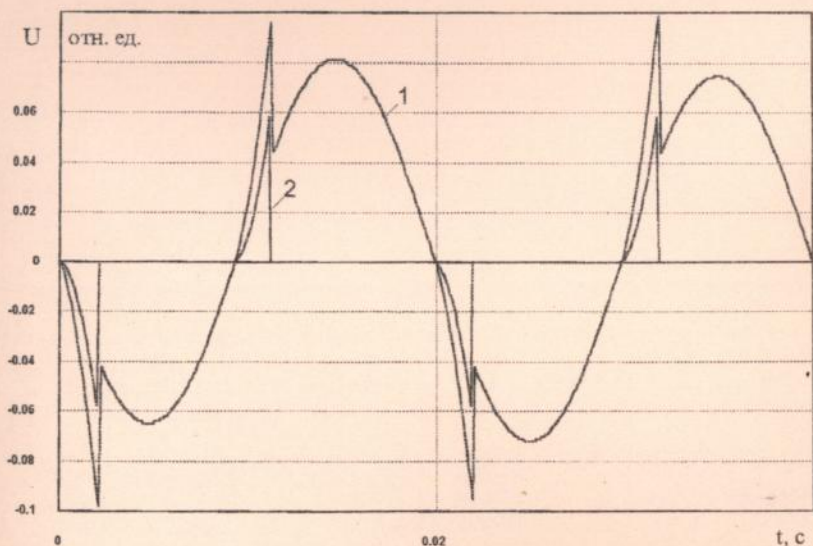
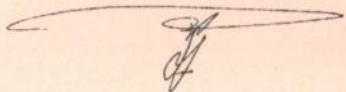


Рисунок 7. Напряжения на обмотке возбуждения(1) и на конденсаторе (2) при пуске СД с использованием разработанного устройства ( $U_{fdon} = 0,1$  отн. ед.).



430007

АВ 37.359  
**АВ 37.359**

---

Подп. в печать 03.04.97 г.  
Ризографическая печать.  
Уч.-изд. л. 1,15.

Формат 60x84  $\frac{1}{16}$ .  
Усл. печ. л. 1,00.  
Тираж 100 экз.

Бумага KymNova.  
Усл. кр.-отг. 1,05.  
Заказ № 113-2/97

---

Донецкий государственный технический университет

МЧП "ЛИК", г. Донецк, 230-й стрелковой дивизии, 16, тел. 93-00-93