

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ НЕСИММЕТРИЧНОГО ТИРИСТОРНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С КОНДЕНСАТОРОМ В СТАТОРНОЙ ЦЕПИ

**Н.А.Саматов**

*Андижанского института сельского хозяйства и агротехнологий*

*Кандидат технических наук, доцент*

*Андижан, Узбекистан*

**А.И.Исмаилов**

*Андижанского института сельского хозяйства и агротехнологий*

*Кандидат технических наук, доцент*

*Андижан, Узбекистан*

# COMPARATIVE ANALYSIS OF SYSTEMS OF AN ASYMMETRIC THYRISTOR ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH A CAPACITOR IN A STATOR CIRCUIT

**N.A.Samatov**

*Andijan Institute of Agriculture and Agrotechnologies*

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

*Andijan, Uzbekistan*

**A.I.Ismailov**

*Andijan Institute of Agriculture and Agrotechnologies*

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

*Andijan, Uzbekistan*

**Аннотация.** В статье рассматривается методика расчета механических характеристик и регулирование частоты вращения конденсаторного асинхронного электропривода.

**Ключевые слова.** Регулируемый электропривод, асинхронный двигатель, механических характеристик, регулирование частоты вращения, момент, сопротивления, тиристор.

**Annotation.** The article discusses the method of calculating the mechanical characteristics and speed control of a capacitor asynchronous electric drive.

**Keywords.** Adjustable electric drive, asynchronous motor, mechanical characteristics, speed control, torque, resistance, thyristor.

Простейшей из известных систем асинхронного электропривода, использующих для регулирования скорости двигателя встречно-параллельные тиристоры, управляемые симметрично, является схема, где они включаются последовательно с одной из форм статорной цепи машины. Такая

система подробно рассмотрена в работах /1;2;3;4;9;10/. Там же указана рекомендуемая область применения такого несимметричного асинхронного электропривода. Некоторые результаты экспериментальных исследований такой системы приведены в работе /5;6;7;8/. Однако эта система обладает существенным недостатком - она может быть применена только в тех случаях, когда момент сопротивления изменяется в пределах  $M_c (0,4 \div 1,0) M_n$ . Последнее объясняется тем, что запирающие тиристоры приводят к характеристике однофазного включения, большая часть которой проходит через 1 квадрат, а положительный момент в зависимости от величины сопротивления цепи ротора может достигать значения приблизительно  $0,35 M_n$ .

Для улучшения технических показателей несимметричной системы асинхронного электропривода (для возможности применения её и в тех случаях, когда момент сопротивления не только снижается до нуля, но принимает даже некоторое отрицательное значение) в цепь статора двигателя целесообразно включать вспомогательный конденсатор. При этом включение конденсатора должно быть таким, чтобы запирающие управляемые вентили, включенных только в одну фазу машины, приводило к изменению знака развиваемого двигателем момента. Известны три системы несимметричного асинхронного электропривода с парой встречно-параллельных тиристоров и различными схемами включения конденсатора в статорную цепь двигателя. Принципиальные схемы их силовых цепей показаны на рис. 1. В схеме I (рис.1 а.) конденсатор С шунтирует встречно-параллельные тиристоры T1, T2; в схеме II (рис.1 б) конденсатор включается между двумя фазами статорной цепи асинхронной машины; в схеме III (рис. 1 в) конденсатор включается между нулевой точкой сети и концом одной из статорных обмоток двигателя; в схеме III (рис.1г) конденсатор включается между нулевой точкой сети и концом одной из статорных обмоток двигателя.

Так как при полностью открытых тиристорах все три системы обеспечивают обычный симметричный режим работы двигателя на

реостатной характеристике, то особый интерес представляет работа при закрытых вентилях, т.е. при наибольшей несимметрии приложенного к двигателю напряжения. Очевидно, при промежуточных значениях угла, отпирания тиристоры характеристики систем будут принимать также промежуточные значения. Целесообразно выяснить влияние на механические характеристики параметров машины и величины емкостного сопротивления при закрытых тиристорах. Очень важно знать величину напряжений, прикладываемых к конденсатору и к вентилям при работе двигателя на разных скоростях.

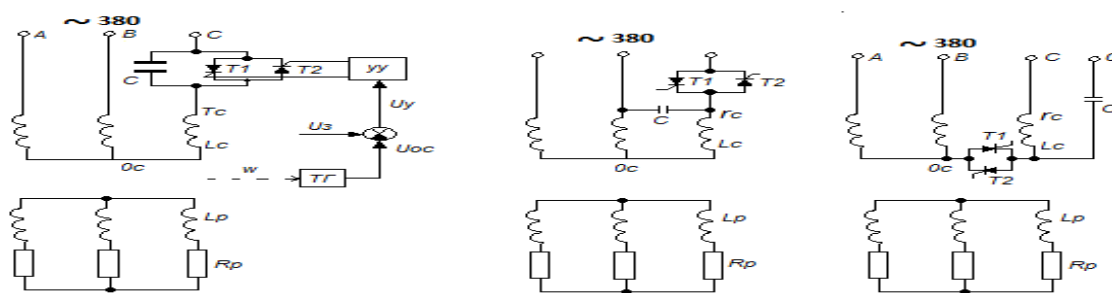


Рис. 1

Для получения ответа на эти вопросы в первую очередь были определены фазные напряжения прямой  $U_1$  и обратной  $U_2$  последовательностей. Так как подобные схемы асинхронного привода чаще всего используются для получения ползучих скоростей, когда  $s \approx 1$  (например, механизмы подъёма крана), целесообразно выяснить основные соотношения для случая неподвижного двигателя, когда сопротивления токам прямой и обратной последовательностей равны между собой. При этом моменты, развиваемые неподвижным двигателям, определяются следующими выражениями:

система I

$$M = \frac{9Z_{\phi}^2 + 6X_{\phi}X}{9Z_{\phi}^2 + 12X_{\phi}X + 4X^2} M_n$$

система II

$$M = \frac{2\sqrt{3} X R_{\phi}}{9Z_{\phi}^2 + 12X_{\phi}X + 4X^2} M_n$$

система III

$$M = \frac{2Z_{\phi}^2 + 2X_{\phi}X}{3Z_{\phi}^2 + 6X_{\phi}X + 3X^2} M_n$$

где  $M_n$  - пусковой момент двигателя в симметричной схеме при той же величине сопротивления цепи ротора;

$X$ - величина реактивного сопротивления (в наших случаях  $X=X_c$ );

$R_\phi, X_\phi$  - эквивалентные активное и реактивное сопротивления, которые определяются из схемы замещения машины.

В работе исследовались зависимости как момента неподвижного двигателя, работающего в режиме крайней несимметрии, так и напряжений, приложенных к конденсатору и запертым вентилям, от величины ёмкостного сопротивления. Оказывается, что при определенном  $X_c=X_{\text{опт}}$  двигатель развивает максимальный отрицательный момент. Выражения, позволяющие определить величины максимального отрицательного момента  $M_{\text{max}}$  и требуемого емкостного сопротивления  $X_c=X_{\text{опт}}$ , сведены в табл. 1. Там же приведены формулы для расчёта величины напряжений, приложенных к конденсатору  $U_x$  и запертым тиристорам  $U_T$

Таблица 1

$N$	<i>система I</i>	<i>система II</i>	<i>система III</i>
$X_{\text{опт}}$	$-1,5 \frac{Z_\phi}{X_\phi} (Z_\phi + X_\phi)$	$-1,5Z_\phi$	$-\frac{Z_\phi}{X_\phi} (Z_\phi + X_\phi)$
$\frac{M}{M_n}$	$-0,5 \left( \frac{Z_\phi}{R_\phi} - 1 \right)$	$-2,9 \frac{R_\phi}{Z_\phi - X_\phi}$	$-0,33 \left( \frac{Z_\phi}{R_\phi} - 1 \right)$
$U_x^D$	$\frac{1,06}{R_\phi} \sqrt{Z_\phi(Z_\phi + R_\phi)}$	$0,613 \sqrt{\frac{Z_\phi}{Z_\phi - X_\phi}}$	$\frac{0,708}{R_\phi} \sqrt{Z_\phi(Z_\phi + R_\phi)}$
$U_T^D$	$\frac{1,06}{R_\phi} \sqrt{Z_\phi(Z_\phi + R_\phi)}$	$0,613 \sqrt{\frac{7Z_\phi - (6X_\phi - 2\sqrt{3R_\phi})}{Z_\phi - X_\phi}}$	$\frac{0,708}{R_\phi} \sqrt{(Z_\phi + R_\phi)^2 + 0,5R_\phi^2}$

Так как рассматриваемые системы несимметричного асинхронного электропривода с парой встречно-параллельных тиристоров, управляемых симметрично, и вспомогательным конденсатором могут найти применение в одних и тех же случаях (с отрицательной обратной связью по скорости они обеспечивают приблизительно одинаковые механические характеристики), то большой интерес представляет сравнение этих систем. Сравнение следует проводить по величине напряжения на запертых вентилях и конденсаторе,

величине емкостного сопротивления, по значению тока в двигателе и конденсаторе. Существенное значение имеет сравнение схем по качеству механических характеристик при закрытых тиристорах.

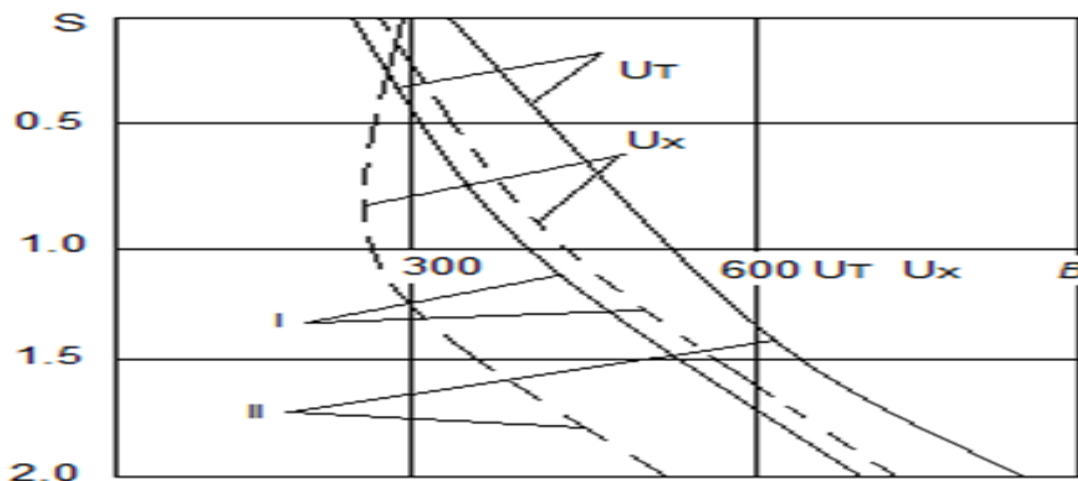
Сравнение выражений табл. 1 (для неподвижного двигателя) показывает, что схема III значительно уступает схеме I. Хотя напряжение на конденсаторе для системы III в 1,5 раза меньше напряжения конденсатора системы I, оптимальная емкость конденсатора в 1,5 раза больше, а максимальный отрицательный момент, обеспечиваемый при этом системой III, в 1,5 раза меньше момента, создаваемого двигателем, включенным согласно схеме I. Если учесть, что в этой системе используется нулевой провод сети, то очевидно, что она является наихудшей из всех трех схем несимметричного асинхронного электропривода с тиристорами и конденсатором в статорной цепи двигателя.

Сравнение же систем I и II проводилось на примере двигателей МТ-III-6 и МТВ-512-8. При этом для обеих систем рассчитывались зависимости момента, развиваемого неподвижным двигателем, тока через конденсатор  $J_x$ , напряжения на тиристорах  $U_T$  и конденсаторе  $U_x$  в функции величины реактивного сопротивления конденсатора при разных величинах сопротивлений цепи ротора  $R_p$ .

Как показали расчеты, при отсутствии добавочных сопротивлений цепи ротора ток фазы, куда включена оптимальная емкость, принимает значение, превышающее номинальный ток двигателя в 2,3-3 раза; токи в других фазах могут стать даже четырёхкратными. Поэтому подобные системы с короткозамкнутыми двигателями [10] следует использовать только в тех случаях, когда требуется работа на пониженных скоростях в течение весьма ограниченного времени.

Введение дополнительных сопротивлений в цепь ротора двигателя снижает фазные токи до допустимых величин. При оптимальных емкостных сопротивлениях двигатель по схеме II развивает момент, который превышает момент, создаваемый двигателем при включении его по схеме I, в 3-4 раза.

Однако требуемая емкость конденсатора в несколько раз, а напряжение на закрытых тиристорах на 30% превышают соответствующие показатели системы I.



Далее сравнение систем I и II проводилось по расчетным зависимостям момента  $M$ , напряжений  $U_T$ ,  $U_x$  в функции скольжения, полученным для двигателя МТ-III-6 при  $R_p^D=0,7$ . Оказалось, что система II при условии  $X_c=X_{opt}$  обеспечивает достаточно большие отрицательные моменты почти во всем диапазоне изменения скольжения  $s$ , однако амплитудное значение напряжения на закрытых тиристорах может возрасти до величины  $U_{T\max} = \sqrt{2} U_T = 1200$  в. Если емкость конденсатора подобрана так, что обе системы обеспечивают одинаковый пусковой момент, то система II уступает системе I по величине среднего отрицательного момента в диапазоне скольжений  $S = 1 \div 0$ . Однако, как следует из рис. 2

при приблизительно одинаковых величинах на тиристорах (разность в среднем  $30 \div 50$  в в пользу системы I) напряжение на ёмкости для системы II во всем диапазоне изменения скольжения значительно ниже напряжения, приложенного к конденсатору в системе I (при изменении скольжения в пределах  $S = 1 \div 2U_{T\max}$  в системе II в среднем на  $220 \div 300$  в ниже  $U_{T\max}$  в системе I).

### Выводы

1. Использование в системах несимметричного электропривода конденсатора, включенного определенным образом в статорные цепи

асинхронной машины, позволяет получать в режиме крайней несимметрии механические характеристики, проходящие в основном во II и III квадратах, при этом обеспечивается достаточный избыточный тормозной момент в переходных режимах, связанных с увеличением скольжения, даже при малых значениях момента сопротивления.

2. По технико-экономическим показателям наилучшей из рассмотренных является система несимметричного асинхронного электропривода, где конденсатор введен между двумя фазами статора.

3. Несимметричные системы асинхронного электропривода рационально применять для механизмов, статический момент которых меняется от небольшого отрицательного значения до максимального положительного.

### **Литература**

1. Усманходжаев Н.М., Саматов Н.А., Исмаилов А.И., Усманов Б.С. Разработки регулируемого электропривода для механизма пневматической транспортировки хлопка-сырца // хлопковая промышленность, 1989, №6, с. 15-16.

2. Усманходжаев Н.М., Саматов Н.А. Пахтани қайта ишлаш технологиясида пневмотранспортёрларга ўзгарувчан электр юритма татбиқи қилиш // янги техника 1991 № 1, 5 б.

3. Усманходжаев Н.М., Саматов Н.А., Баходиров А., Исмаилов А.И. Тиристорно-реостатное регулирование скорости вращения асинхронных двигателей механизма пневматической ртанспортировки хлопка-сырца. // хлопковая промышленность. 1991, № 4 с. 9-10.

4. Саматов Н.А. Автореферат на соискание ученой степени кандидат технических наук. Разработка и исследование регулируемого асинхронного электропривода с индукционным реостатом для пневмотранспортера хлопководческого комплекса. Ташкент-1993 г.

5. Саматов Н.А., Исмаилов А.И., Назаров О.Қ. Андижон вилояти агросаноат энергетика базасининг ривожланиш йўналишлари //Агро илм журнали, 2014, № 4 , 91-92 б.

6. Саматов Н, Усупов О. Собиров Р. Чорвадор фермерлар: муаммо ва таклифлар // Ўзбекистон қишлоқ хўжалиги, 2015, № 4, 41 б.

7. Саматов Н.А., Тўхтамишев Б.Қ., Исмаилов А.И. Аграр сохада электр энергиясидан самарали фойдаланишнинг истикболлари //Агро илм 2017, № 4 (48), 106-107 б.

8. Саматов Н.А., Исмаилов А.И., Хасанов Ғ.Х., Солнечный Узбекистан-источник нескончаемой энергии //Методы науки. Научно-практический журнал 5/2017 г.(Россия), с.-25-26.

9. Samatov N., Ismailov A., Sattiev Y., Abduvasiev A. Calculation Of Mechanical Characteristics And Methods Of Regulating The Rotation Frequency Of The Electric Actuator Of The Air Conveyor - Palarch's Journal Of Archaeology Of Egypt/Egyptology, PJAEE, 17 (6) (2020). ISSN 1567-214x.

10. Samatov N. Selection Of Flow Diagrams Of The Adjustable Thyristor Asynchronous Electric Actuator With Phase Control - The American Pages: 19-24 Doi:<https://doi.org/10.37547/tajet/Volume02Issue11-03>.