

УДК 621.313.2

## СРАВНЕНИЕ МОТОР - РЕДУКТОРОВ С ВЫСОКОМОМЕНТНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ДЛЯ БЕЗРЕДУКТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

*Наний В.В.*, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Электрические машины» НТУ «ХПИ», Украина, г. Харьков  
[v.naniy@mail.ru](mailto:v.naniy@mail.ru), +38-098-82-46-559.

*Егоров А.В.*, ассистент кафедры «Электрические машины» НТУ «ХПИ», Украина, г. Харьков  
[toe@mail.ru](mailto:toe@mail.ru) +38-063-337-74-27

## THE COMPARISON THE MOTOR REDUCERS WITH THE HIGH-MOMENT ELECTRIC MOTOR

*Naniy V.V.*, cand. of engin. scien., ass. Professor, ass. Professor of Department of electric machines of the NTU «KPI», Kharkov, Ukraine

*Egorov A.V.*, assistant of Department of electric machines of the NTU «KPI», Kharkov

[toe@mail.ru](mailto:toe@mail.ru) +380633377427

Выполнен обзор выпускаемых мотор - редукторов и проведено сравнение его характеристик с характеристиками высокомоментного двигателя. Рассмотрен принцип действия двигателя с катящимся ротором, формирование его потерь и причины низкого значения коэффициента полезного действия.

The review of produced motor is executed - reducing gears and comparison of his descriptions is conducted with descriptions of the engine with a large moment. Principle of action of engine is considered with a rolling rotor, forming of his losses and reason of low value of output-input ratio.

**Ключевые слова:** мотор-редуктор, высокомоментный двигатель, двигатель с катящимся ротором, коэффициент редукции, коэффициент полезного действия.

**Keywords:** motor-reducing gear, the engine with a large moment, engine with a rolling rotor, coefficient of reduction, output-input ratio.

**Введение.** Считалось, что в середине прошлого столетия все конструкции электродвигателей были определены в соответствии с применением в конкретных сферах деятельности человека. Классификация двигателей осуществлялась по виду питающего напряжения (постоянное, переменное, импульсное), по принципу действия, типу конструкции (асин-

хронные, синхронные или постоянного тока) и ряду других признаков. Двигатели являются частью приводов и исполнительных механизмов [1].

Мотор - редуктор (от лат. motor — приводящий в движение и лат. reductor — ведущий обратно) — агрегат, объединяющий в одном корпусе понижающий редуктор и высокоскоростной электродвигатель. Как элемент электропривода, он широко применяется во всех областях промышленности. В качестве электродвигателя обычно используют асинхронный двигатель (АД), который является наиболее надежным среди других типов машин и обладает низкой себестоимостью. Выбор такого вида двигателя также обуславливается высоким коэффициентом полезного действия (КПД), который достигает значений 80 - 90%, (хотя для двигателей малой мощности он обычно равен 55 – 70%), [2].

В зависимости от типа используемой передачи, выделяют планетарные, червячные, цилиндрические, волновые и прочие мотор - редукторы. Основой высокой долговечности и экономичности работы любого редуктора является, прежде всего, работоспособность и надежность работы его зубчатых или червячных передач. У каждого вида передачи и свое значение КПД, которое колеблется в пределах 50 - 98% , [3]

**Цель работы.** Выбор оптимального варианта привода для конкретных установок путем сравнения мотор – редуктора и безредукторного высокомоментного двигателя, определение потерь в двигателе с катящимися ротором (ДКР).

**Материал и результаты исследования.** В данной статье рассмотрены разновидности мотор - редукторов с червячной передачей. Такой выбор основан на том, что данный тип передачи способен обеспечить передаточное число от 4 до 80 в одноступенчатом исполнении и от 63 до 4000 для двухступенчатого исполнения. Т.е. выбранная конструкция мотор - редуктора будет обладать высоким вращающим моментом, низкой частотой вращения выходного вала при малой мощности приводного двигателя.

Проведем сравнение мотор - редуктора с высокомоментным безредукторным двигателем для установки одного из них в качестве привода для реальной промышленной установки. В качестве высокомоментного безредукторного двигателя рассмотрим двигатель с катящимся ротором (ДКР). Для этого двигателя характерно большое значение вращающего момента на валу при сверхнизких частотах вращения, которые получают без применения силового редуктора, [4].

Двигатель с катящимся ротором – это синхронная машина, принцип действия которой основан на одностороннем притяжении ротора к статору под действием электромагнитных сил, создаваемых токами в обмотках статора. Исходя из принципа действия и особенностей конструкции, достигается редукция частоты вращения выходного вала в пределах 300...1500. Таким образом, в ДКР сочетаются функции электродвигателя и редуктора, [5].

Для исследования был выбран ДКР с импульсной системой запитывания обмотки статора, со следующими номинальными данными:

- мощность, потребляемая двигателем из сети:  $P_1 = 170 \text{ Вт}$
- напряжение питающей сети  $U_1 = 24 \text{ В}$ ;
- номинальный ток одной катушки  $I_1 = 1,8 \text{ А}$ ;
- вращающий момент  $M_2 = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;
- частота вращения выходного вала  $n_2 = 0,18 \text{ в} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Развитие микропроцессорной техники и силовых электронных ключей позволяют изготовить блок управления, который не будет превышать 1/6 объема самого двигателя. Так же есть возможность подключения ДКР в сеть постоянного или переменного напряжения (через АС-DC преобразователь), что делает его универсальным.

В табл. 1 проведено сравнение параметров мотор - редукторов наиболее близких по выходным параметрам с ДКР, [6].

Таблица 1 - Технические характеристики электропривода (ДРК и мотор - редукторов)

Тип электропривода	Номинальный момент на валу, $M_2, Нм$	Скорость вала $n_2, мин^{-1}$	Потребляемая мощность, $P_1, Вт$	Передаточное отношение, $i$	КПД редуктора, $\eta, \%$	Применяемый двигатель / КПД	Кратность пускового тока	КПД электропривода, $\eta, \%$
ДРК	100	0,18	170	340	–	–	1,0	1
5МЧ2Н-63А	210	0,19	120	4000	–	–	–	28
МЭО-100/25-0,25	100	0,6	240	–	–	ЗДСОР-135-1,6-150	–	–
2МРЧ-40/63М	120	1,7	180	800	50	АИР63А4 68,5%	4,0	34
NMRV 030/040	103	1,9	60	750	52	АИР56В4 60%	5,3	31
МЦЧ-63М	100	6	100	250	61	АИР63А4 68,5%	4,0	42
МЧ-63М	100	15,87	300	63	61	АИР63В6 59%	3,0	36

Как видно из табл. 1, для приводов с относительно одинаковым номинальным моментом  $M_2$ , скорость вращения выходного вала  $n_2$  обратно пропорциональна передаточному отношению  $i$

$$n_2 \sim \frac{1}{i}.$$

Таким образом, для получения сверхнизких частот вращения ( $1 \dots 0,01 \text{ мин}^{-1}$ ), необходим двух-, а то и трехступенчатый червячный мотор

- редуктор. С увеличением ступеней редукции увеличиваются и габариты. Из рассматриваемых электроприводов (таблица 2), наименьшие габаритные размеры имеет ДКР. Его удельный объем в 3 раза меньше, а масса не превышает массу аналогичных приводов. Кроме этого, нельзя не отметить, отсутствие бросков пускового тока у ДКР, что позволяет ему работать с частотой включений до 630 в час.

Таблица 2. Массо - габаритные характеристики электроприводов (ДРК и мотор - редукторов)

Тип электропривода	Габаритные размеры, ШxВxГ, мм	Удельный объем, V, $\times 10^7$ мм <sup>3</sup>	Масса редуктора, кг
ДКР	240x230x200	1,2	28
5МЧ2Н-63А	245x247x520	3,1	25
МЭО-100/25-0,25	465x315x300	4,4	27,5
2МРЧ-40/63М	240x255x540	3,3	26
NMRV 030/040	290x260x510	3,8	28
МЦЧ-63М	310x223x540	3,7	24
МЧ-63М	245x223x560	3,1	30

Однако, из всех проанализированных приводов, наименьшее значение КПД у двигателя с катящимся ротором. Рассмотрим более подробно причину столь низкого КПД с целью проведения работ по его повышению.

Для анализа распределения мощности в ДКР, была построена энергетическая диаграмма ДКР, (рис. 1).

Исходя из диаграммы видно, что значительная часть мощности (34 %) тратится на механические потери в двигатели. Рассмотрим подробнее природу возникновения этих потерь, [7].

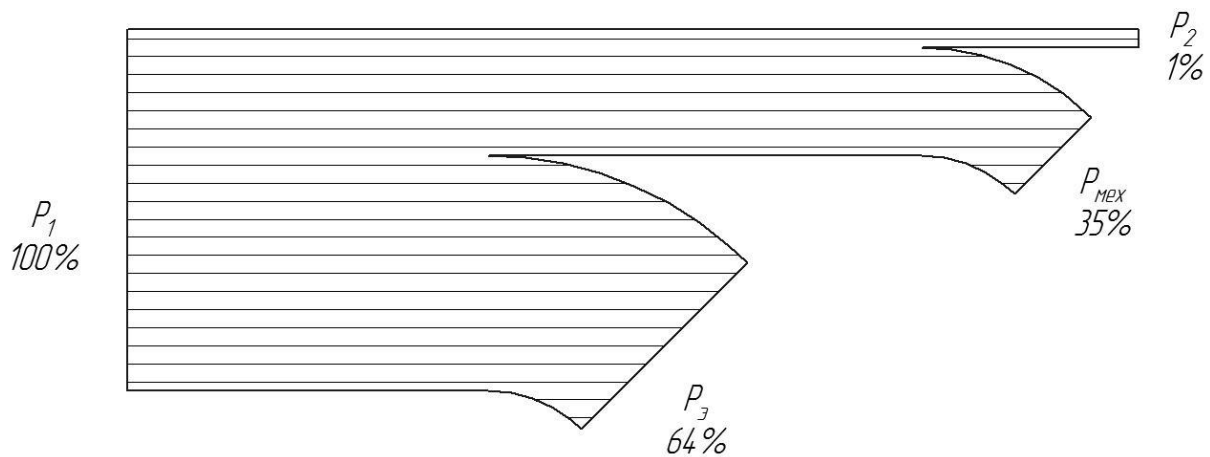


Рисунок 1 - Энергетическая диаграмма ДКР

Механические потери в роторе можно разделить на части на следующих участках:

1. потери на линии контакта непосредственно сердечника ротора и сердечника статора;
2. потери в узле передачи вращающего момента от сердечника ротора на диск ротора;
3. потери в узле передачи вращающего момента с диска ротора на выходной вал;
4. потери в подшипниковых узлах.

Механические потери в подшипниковых узлах ДКР ничтожно малы. Это связано в первую очередь со сверхнизкой частотой вращения выходного вала двигателя, а применение качественных подшипников качения значительно уменьшает коэффициент трения.

В конструкции ДКР предусмотрено жесткое соединение диска ротора с валом. Такой вариант соединения обеспечивает минимальные потери, при передаче вращающего момента. Потери в узле соединения сердечника с диском ротора, при рациональном их выборе, имеют не значительную величину.

На линии контакта сердечника ротора и статора в ДКР происходят потери на трение. Они и составляют основную часть механических потерь. Их можно разделить на две составляющие, [8]:

1. потери на трение качения
2. потери на трение скольжения

Технология изготовления деталей двигателя определяет то, что качество поверхностей всегда неидеально, на них остаются микронеровности при любом способе обработки. Именно эти неровности и определяют величину сил трения, проявляющихся при обкатывании ротора в расточке статора. Потери на трение скольжения возникнут в том случае, если ротор начнет проскальзывать в статоре.

Потери от трения качения сердечника ротора о статор

$$P_{трк} = 0,1047 \cdot n_1 \cdot \mu_k \cdot F_{сomp} ,$$

где,  $n_1$  – частота вращения магнитного поля статора,  $мин^{-1}$ ;

$\mu_k$  – коэффициент трения качения,  $\mu_k = (1 \div 5) \cdot 10^{-5}$  м;

$F_{сomp}$  – сила одностороннего магнитного притяжения (СОМП), Н.

В процессе работы сердечник ротора постоянно и непосредственно обкатывается по расточке статора. Под воздействием СОМП, произойдет деформация этих двух сердечников и создастся пятно касания конечных размеров. В случае ДКР с внутренним ротором на площадке касания материал сердечника ротора будет сжат, а материал сердечника статора – растянут. Для ДКР с наружным ротором все произойдет наоборот.

Деформации сердечника ротора и статора, предшествующие смещению ротора под действием вращающего усилия, приводит к предварительному смещению. При достижении вращающего усилия величины, равной силе трения покоя, предварительные смещения достигают максимума и переходят в относительное перемещение сердечника ротора по статору. В

соответствии с этим, в момент трогания ротора, коэффициент сцепления  $\psi$  равен коэффициенту трения покоя в данных условиях.

$$\psi = f = \frac{F_{тр\ покая}}{F_{сомп}},$$

где:  $\psi$  – коэффициент сцепления;

$f$  – коэффициент трения покоя;

$F_{тр\ покая}$  – сила трения покоя,  $H$ ;

$F_{сомп}$  – сила одностороннего магнитного притяжения,  $H$ .

Таким образом, коэффициент сцепления определяет силу тяги ротора, т.е. момент сцепления сердечника ротора со статором.

$$M_{сц} = F_{тр\ покая} \cdot \frac{D_p}{2},$$

где,  $M_{сц}$  – момент сцепления,  $H \cdot м$ ;

$F_{тр\ покая}$  – сила трения покоя,  $H$ ;

$D_p$  – внешний диаметр ротора,  $м$ ;

Коэффициент сцепления зависит от материала и состояния обкатываемых поверхностей.

При обкатывании ротора по внутренней поверхности статора, соприкосновение двух твердых тел происходит в отдельных точках. Этот контакт всегда дискретен и площадь, на которой возникают силы трения, зависит от приложенной СОМП. Для правильного определения сил трения необходимо учитывать реальную площадь касания. При отсутствии сцепления между обкатываемыми поверхностями, ротор постоянно бы скользил по расточке статора и не смог передавать вращающий момент.

Таким образом, наличие сил трения является неотъемлемой частью принципа действия ДКР. И чем выше силы трения сцепления, тем больший момент может создавать двигатель.



**Вывод.** Сравнение ДКР с различными типами редукторных электроприводов по величине КПД – является неверным подходом. При равных значениях потребляемой мощности и развиваемого момента, ДКР имеет гораздо лучшие массо - габаритные показатели. Применение его в качестве электропривода, улучшит общий энергетический показатель предприятия за счет отсутствия пусковых токов. А так же может повысить эффективность привода за счет своего быстрогодействия, точности позиционирования и отсутствия ударов при внезапном отключении/подключении нагрузки.

### Список литературы

1. Вольдек А.И. Электрические машины. Машины переменного тока / А.И. Вольдек, В.В. Попов. – Питер, 2008. – 350 с.: ил.
2. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. – М.: Академия, 2004. – 256 с.: ил.
3. Бойко Л. С. Редукторы и мотор - редукторы общемашиностроительного применения: Справочник / Л. С. Бойко, А.З. Высоцкий, Э.Н. Галиченко и др. – М.: Машиностроение, 1984. – 247 с.: ил.
4. Афанасьев А.Ю. Моментный электропривод – Казань: Изд-во Казан. гос. тех. ун-та, 1997. - 250 с.: ил.
5. Бертинов А.И. Электрические машины с катящимся ротором / А.И. Бертинов, В.В. Варлей. – М.: Энергия, 1969. – 200 с.: ил.
6. Редукторы и мотор - редукторы с червячной передачей производства Италии и России // Рынок приводной техники. 2006, № 3 - С.14-17.
7. Наний В.П. Электрические двигатели с катящимся ротором и многофазным пульсирующим полем – Х., 1967. – 176 с.: ил.
8. Крагельский И.В. Коэффициенты трения / И.В. Крагельский, И.Э. Виноградова. – М.: Машгиз, 1962. – 220 с.: ил.