



ANALYSIS OF TECHNICAL DATA OF TWO-SPEED MOTORS. COMPARISON OF A MULTI-SPEED MOTOR WITH ONE WINDING AND TWO WINDINGS

Bobozhanov Makhsud Kalandarovich¹

Matkarimova Mahfuza Komiljon qizi²

Tashkent State Technical University, Urgench State University

KEYWORDS

two-speed engine, rotation frequency, electric power, power factor, phase voltage, winding coefficient, number of turn

ABSTRACT

In this article paper analysis of the technical data of two-speed motors. Comparison of a multi-speed motor with one winding and two windings.

2181-2675/© 2022 in XALQARO TADQIQOT LLC.

DOI: 10.5281/zenodo.7214715

This is an open access article under the Attribution 4.0 International(CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

¹ Doctor of technical sciences, Professor, Tashkent State Technical University, Uzbekistan (m.bobojanov@ima.uz)

² Assistant of the Faculty of Engineering, Urgench State University, Uzbekistan (matkarimovamaxfuza528@gmail.com)

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДВУХСКОРОСТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ. СРАВНЕНИЕ МНОГОСКОРОСТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ОДНООБМОТОЧНОМ И ДВУХОБМОТОЧНОМ ИСПОЛНЕНИЯХ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

двухскоростных двигател,,
частота вращения,
электрической энергии,
коэффициент мощности,
фазное напряжение,
обмоточный
коэффициент, число витко

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются анализ технических данных двухскоростных двигателей Сравнение многоскоростного двигателя при однообмоточном и двухобмоточном исполнениях.

Рассмотрим, как изменяется мощность многоскоростного двигателя при однообмоточном и двухобмоточном исполнениях.

Обозначим:

P – мощность на валу;

U – номинальное фазное напряжение;

I – номинальный фазный ток;

η - номинальный к.п.д.;

$\cos\varphi$ - номинальный коэффициент мощности;

Q – сечение провода фазы;

Δ - плотность тока;

E – э.д.с. самоиндукции;

Φ – магнитный поток статора;

B_{δ} - амплитуда индукции в воздушном зазоре, считая поле синусоидальным;

ω - число витков фазы;

k – обмоточный коэффициент основной волны;

F – площадь паза статора;

D – внутренний диаметр статора;

l – длина пакета статора.

$$P = UI \cos\varphi \cdot \eta;$$

принимая

$$U = E \quad \text{и} \quad I = \Delta Q,$$

получим:

$$P = EQ\Delta \cos\varphi \cdot \eta, \quad (1.1)$$

но

$$E \equiv \Phi \omega k \equiv \frac{B_{\delta} D l}{2 p} \omega k, \quad (1.2)$$

Следовательно,

$$P \equiv \frac{B_{\delta} D l}{2 p} \omega k Q \Delta \eta \cos \varphi,$$

откуда

$$P \equiv \frac{B_{\delta} \Delta D l}{2 p} k F \eta \cos \varphi. \quad (1.3)$$

Мощность на валу многоскоростного двигателя прямо пропорциональна площади сечения паза статора и обратно пропорциональна числу полюсов.

При двухобмоточном исполнении площадь паза статора делится между двумя обмотками, из которых каждая занимает лишь часть площади паза. Следовательно, уже заранее можно полагать, что при двухобмоточном исполнении мощность на валу многоскоростного двигателя будет меньше, чем при однообмоточном исполнении.

Предположим, что в пазах двигателя помещены две отдельные обмотки а и б, из которых обмотка а, включаемая при наименьшей скорости двигателя, занимает $H\%$ площади паза.

Тогда обмотка б займет оставшуюся часть площади паз $F(100-H)$ (в процентах).

На основании выражения (4.3) можно считать, что полезная мощность двигателя при включенной обмотке (а):

$$P_a \equiv \frac{B_a \Delta_a}{2 p_a} \cdot \frac{H F}{100} k_a \eta_a \cos \varphi_a, \quad (1.4)$$

а мощность двигателя при включенной обмотке (б):

$$P_b \equiv \frac{B_b \Delta_b}{2 p_b} \cdot \frac{F(100-H)}{100} k_b \eta_b \cos \varphi_b, \quad (1.5)$$

Обозначим N коэффициент распределения площади паза между обмотками а и б. Для двухобмоточного двигателя N будет представлять собой отношение площади паза, занятой обмоткой для низшей скорости вращения, к площади паза, занятой обмоткой для более высокой скорости,

$$N = \frac{H}{100-H}. \quad (1.6)$$

Тогда

$$\frac{P_a}{P_b} = N \frac{B_a \Delta_a B_a k_a \eta_a \cos \varphi_a p_b}{B_b \Delta_b B_b k_b \eta_b \cos \varphi_b p_a} \quad (1.7)$$

или

$$N = \frac{P_a p_a \Delta_b B_b k_b \eta_b \cos \varphi_b}{P_b p_b B_a \Delta_a k_a \eta_a \cos \varphi_a}. \quad (1.8)$$

Следовательно, в многоскоростных двигателях с двумя обмотками

коэффициент N распределения площади паза между обмотками будет определяться соотношениями между соответствующими каждой скорости вращения:

- а) полезными мощностями (P);
- б) числами полюсов (p);
- в) обмоточными коэффициентами (k);
- г) электрическими и магнитными нагрузками (B, Δ);
- д) энергетическими показателями ($\eta, \cos\varphi$).

Соотношения между полезными мощностями и между числами полюсов при каждой скорости бывают известны из задания на проектирование многоскоростного двигателя. Поэтому для определения N следует знать соотношения между электромагнитными нагрузками и энергетическими показателями на каждой скорости.

Зная N , можно, не производя подробного электрического расчета двухобмоточного многоскоростного двигателя, определить возможность получения на данном сердечнике при заданных числах полюсов требуемой мощности, а также установить соотношения между полезными мощностями однообмоточного ($N=100\%$) и двухобмоточного двигателей, выполненных на одном и том же сердечнике.

Поэтому представляет практический интерес хотя бы приблизительное определение коэффициента распределения площади паза между обмотками N в зависимости от режима работы и соотношения между скоростями двухобмоточного двигателя, для некоторых наиболее часто встречающихся соотношений между числами полюсов двухобмоточных многоскоростных двигателей.

В двухобмоточных двигателях, как и в любых двигателях вообще, всегда стремятся к максимальному использованию обмотки, поэтому каждую обмотку выполняют с наибольшим возможным обмоточным коэффициентом k .

Для двухскоростных двухобмоточных двигателей, когда обе обмотки выполняются, как правило, однослойными с распределением обмотки на $1/3$ полюсного деления (например, $1000/1500$ об/мин или $750/1000$ об/мин), и для четырехскоростных двухобмоточных двигателей, когда каждая обмотка выполняется двухслойной, переключаемой на две скорости вращения. Относящиеся, как 1:2, с распределением обмотки на $2/3 \tau$:

$$\frac{k_a}{k_b} \approx 1.$$

Для двухобмоточного трехскоростного двигателя, у которого одна обмотка выполняется однослойной на одну скорость, а другая обмотка выполняется двухслойной на две скорости, соотношение между обмоточными коэффициентами будет примерно

$$\frac{k_{\text{односкор}}}{k_{\text{двухскор}}} \approx 1,1.$$

Учитывая приведенные выше соотношения между обмоточными коэффициентами, для наиболее часто встречающихся режимов работы многоскоростного двигателя $P=const$ и $M=const$ формулу (1.8) можно упростить.

Для двухобмоточного двух- или четырехскоростного двигателя при $P=const$

$$N = \frac{p_a \Delta_{\sigma} B_{\sigma} k_{\sigma} \eta_{\sigma} \cos \varphi_{\sigma}}{p_{\sigma} B_a \Delta_a k_a \eta_a \cos \varphi_a}; \quad (1.9)$$

при $M=const$

$$N = \frac{\Delta_{\sigma} B_{\sigma} \eta_{\sigma} \cos \varphi_{\sigma}}{B_a \Delta_a \eta_a \cos \varphi_a}. \quad (1.10)$$

Для двухобмоточного трехскоростного двигателя, у которого обмотка для низшей скорости вращения выполнена двухслойной с переключением полюсов 2:1, а однослойная обмотка соответствует какой-либо из больших скоростей (например, для переключения полюсов $2p=8 \setminus 6 \setminus 4$):

Для режима $P=const$

$$N = \frac{1,1 p_a \Delta_{\sigma} B_{\sigma} \eta_{\sigma} \cos \varphi_{\sigma}}{p_{\sigma} B_a \Delta_a \eta_a \cos \varphi_a}; \quad (1.11)$$

для режима $M=const$

$$N = \frac{1,1 \Delta_{\sigma} B_{\sigma} \eta_{\sigma} \cos \varphi_{\sigma}}{B_a \Delta_a \eta_a \cos \varphi_a}. \quad (1.12)$$

Для двухобмоточного трехскоростного двигателя, у которого обмотка для низшей скорости выполнена однослойной, а обмотка на промежуточную и высшую скорости выполнена двухслойной с переключением полюсов в отношении 2:1 (например, для переключения полюсов $2p=6 \setminus 4 \setminus 2$), распределение площади паза между обмотками для $P=const$ будет:

$$N = \frac{p_a \Delta_{\sigma} B_{\sigma} \eta_{\sigma} \cos \varphi_{\sigma}}{1,1 p_{\sigma} B_a \Delta_a \eta_a \cos \varphi_a}, \quad (1.13)$$

а для $M=const$

$$N = \frac{\Delta_{\sigma} B_{\sigma} \eta_{\sigma} \cos \varphi_{\sigma}}{1,1 B_a \Delta_a \eta_a \cos \varphi_a}. \quad (1.14)$$

Формулы (1.9) и (1.14) позволяют без затруднений при конструировании многоскоростных двигателей с двумя статорными обмотками определить коэффициент распределения площади паза N между отдельными обмотками в зависимости от заданного режима работы двигателя на различных скоростях.

Электромагнитные нагрузки и энергетические показатели, входящие в эти формулы, следует выбирать, руководствуясь аналогичными данными для обычных односкоростных двигателей соответствующей мощности, скорости и исполнения по роду защиты.

Из анализа коэффициентов распределения площади паза двигателя N для

различных многоскоростных двухобмоточных двигателей следует, что n характеризует использование сердечника двигателя на низшей скорости: чем больше N , т.е. чем большую часть площади паза занимает обмотка, предназначенная для низшей скорости вращения, тем лучше использован на низшей скорости двигатель и тем меньше удельные затраты материала (кг\квт).

Сравнивая однообмоточные и двухобмоточные двигатели по полезной мощности, которую они могут развить на низшей скорости, будучи выполнены на одном и том же сердечнике, целесообразно ввести понятие об относительном коэффициенте использования материалов двигателя. Будем называть относительным коэффициентом использования k_u отношение мощности на валу двухобмоточного двигателя при низшей скорости вращения к полезной мощности на валу при низшей скорости однообмоточного двигателя, выполненного на те же числа полюсов, на одном и том же сердечнике.

Подставляя в выражение (1.7) $N = \frac{H}{100}$ и обозначая индексом o все величины, относящиеся к однообмоточному электродвигателю, а индексом δ – к двухобмоточному, получим при $p_a = p_o$:

$$k_u = \frac{P_{\delta e}}{P_o} = \frac{H}{100} \frac{\Delta_{\delta e} B_{\delta e} k_{\delta e} \eta_{\delta e} \cos \varphi_{\delta e \delta}}{\Delta_o B_o k_o \eta_o \cos \varphi_{o \delta a}}. \quad (1.15)$$

Для многоскоростных двигателей с одной и двумя обмотками, выполненных на базе обычных двигателей определенной серии или типа, в большинстве случаев будут иметь место следующие соотношения:

$$\frac{B_{\delta e} \Delta_{\delta e}}{B_o \Delta_o} = 0,9 - 1,0; \quad \frac{k_{\delta e}}{k_o} = 1.1 - 1,2; \quad \frac{\eta_{\delta e} \cos \varphi_{\delta e}}{\eta_o \cos \varphi_o} = 0,85 - 0,9. \quad (1.16)$$

В среднем принимаем:

$$\frac{\Delta_{\delta e} B_{\delta e} k_{\delta e} \eta_{\delta e} \cos \varphi_{\delta e \delta}}{\Delta_o B_o k_o \eta_o \cos \varphi_{o \delta a}} = 0,85 - 1,05 \approx 0,95. \quad (1.17)$$

Отсюда находим, что в среднем

$$k_u = \frac{0,95H}{100}. \quad (1.18)$$

В двухобмоточных двигателях, работающих в режиме $P=const$ обмотка для низшей скорости вращения занимает примерно 60% площади паза. Для этого случая $k_u \approx 0,95 \cdot 0,6 \approx 0,57$, т.е. при двухобмоточном исполнении мощность многоскоростного двигателя составит на низшей скорости вращения всего лишь около 60% от мощности однообмоточного.

При сравнении однообмоточных и двухобмоточных двигателей, работающих в режиме $M=const$, расчет показывает, что в среднем $k_u=0,4-0,5$. В этом случае мощность однообмоточного двигателя будет превосходить мощность двухобмоточного, выполненного на этом же сердечнике, в 2-2,5 раза.

При анализе технических данных однообмоточных и двухобмоточных

двигателей основное внимание следует уделять сравнению показателей двигателей на низшей скорости, так как мощности и энергетические показатели на высших скоростях могут в зависимости от схемы переключения обмотки сильно изменяться. Из анализа технических данных однообмоточных и двухобмоточных двигателей можно сделать следующие выводы:

1. Во всех случаях, когда однообмоточные и двухобмоточные двигатели выполняются на одной и той же модели (марке) двигателя, мощность однообмоточного исполнения на низшей скорости вращения примерно в 1,6 раза превышает мощность двухобмоточного. При этом, как правило, однообмоточные двигатели имеют более высокие, в среднем на 10-15%, энергетические показатели (к.п.д. и $\cos \varphi$), повышенные кратности начальных моментов и пониженные кратности пусковых токов.

Удельный расход активных материалов (кг\кВт) при однообмоточном исполнении в 1,6 раза меньше, чем при двухобмоточном, что определяет в 1,6 раза меньшую себестоимость по материалам.

2. Во всех случаях, когда от однообмоточного и двухобмоточного исполнения требуется одинаковая полезная мощность, многоскоростной двигатель с одной полюсопереключаемой обмоткой может быть выполнен на модели меньшего габарита, с меньшими затратами материалов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бобожанов М.К. Электрические машины с полюсопереключаемыми обмотками, используемые в целях энерго- и ресурсосбережения. Под редакцией проф.Х.Г.Каримова. «Фан ва технологиялар марказининг босмахонаси», Ташкент, 2012, 179 с.

2. Каримов Х.Г., Рисмухамедов Д.А. Энергосбережение в двигателях с вентиляторной нагрузкой //Техника фанлари ва XXI аср глобал муаммолари / Республика микёсидаги профессор-укитувчиларининг илмий-амалий анжумани. Маърузалар туплами. 2-кисм, Тошкент, 2001, 9-10 б.

3. Каримов Х.Г., Бобожанов М.К., Рисмухамедов Д.А. и др. Разработка и анализ свойств полюсопереключаемых обмоток и двигателей на их основе // Промеж. отчет по ГНТП – 18.4 «Энерго- и ресурсосбережение посредством двухскоростных полюсопереключаемых асинхронных машин».– Ташкент, 2004.– 73 с.