

кутом між ЕРС турбогенератора и вектором напруги мережі 120° . Показано, що навіть у припущенні великого рівня дисипації енергії в механічній системі при такому режимі включення генератора в матеріалі валопроводу накопичується втомне пошкодження, яке треба враховувати при оцінці пошкодженості елементів турбоагрегата. Бібл. 6, рис. 2, таблиця.

Ключові слова: турбогенератор, несинхронне включення, втомна пошкодженість.

A.P. Bovsunovskii, Iu.V. Kuievda

National University of Food Technologies,
Volodymyrska St., 68, Kyiv, 01601, Ukraine

Consideration of turbine-generator unit shaft swings in evaluation of fatigue damage of shaft elements during successful out-of-phase closing

The authors developed an algorithm of calculating of cumulative damage in turbine-generator unit shaft elements during no-load out-of-phase closing. This algorithm includes consideration of electromagnetic processes in generator and shaft mechanical oscillations. Calculation results of closing with phase angle 120° are given. It was shown, that even in assuming of high level energy dissipation in mechanical system, the fatigue damage in shaft material accumulates in that mode of generator closing. That kind of damage needs to be considered in evaluation of overall damage level in turbine-generator unit shaft elements. References 6, figures 2, table.

Key words: turbogenerator, out-of-phase closing, fatigue damage.

Надійшла 2.07.2015

Received 2.07.2015

УДК 621.313.8

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РОТОРА ДЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО МОМЕНТА В ВЫСОКООБОРОТНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

А.Е. Антонов, докт. техн. наук, **Е.М. Михайлик**, вед. инж.

Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина
e-mail: aoe@ied.org.ua

Представлен выбор оптимальной частоты вращения и геометрии ротора, выполняющего функции компенсатора гироскопического момента высокооборотного приводного устройства с большим кинетическим моментом ротора. Выбор произведен исходя из условия минимизации массогабаритных показателей и энергопотребления привода компенсатора. Учтены стоимостные показатели материала для изготовления компенсирующего ротора и возможность его использования в качестве составляющего элемента магнитной системы приводного устройства. Библ. 2, рис. 6.

Ключевые слова: высокооборотный электропривод, гироскопический момент, кинетический момент, компенсация момента.

Режущий инструмент с высокооборотным электроприводом иногда становится причиной травматизма из-за гироскопической реакции, возникающей при изменении углового пространственного положения прибора [1]. Для компенсации гироскопического момента в таких устройствах в корпусе прибора устанавливается носитель кинетического момента противоположного знака, величина которого соответствует кинетическому моменту приводного двигателя инструмента. При этом мощность привода компенсатора должна быть достаточной лишь для обеспечения вращения ротора в режиме холостого хода, при котором действуют только два источника нагрузки: шарикоподшипниковые опоры и вязкое аэродинамическое трение при вращении ротора в воздушной среде. Характер нагрузки на привод со стороны подшипников в различных режимах работы электроинструмента, в том числе при действии гироскопического момента, требует отдельного изучения. В статье рассматривается зависимость величины аэродинамических потерь в компенсирующем устройстве и его массогабаритных показателей от частоты вращения и конфигурации компенсирующего ротора для их минимизации.

Величина кинетического момента ротора определяется двумя составляющими: скоростью его вращения и величиной полярного момента инерции. Поэтому возникает практический вопрос – каким образом выгоднее получить требуемую величину компенсирующего кинетического момента: увеличивая скорость и снижая момент инерции и массу компенсатора или же снижая скорость вращения и соответственно увеличивая массу? Выбор того или иного варианта построения компенсатора будет зависеть, по-видимому, от приоритетности критерия оптимальности принимаемого решения. При повышении оборотов ротора компенсатора и снижении его массы автоматически увеличивается требуемая мощность привода, так как возрастают затраты на преодоление аэродинамического сопротивления. При уменьшении скорости растут масса и габариты устройства, что отрицательно сказывается на эргономических свойствах прибора.

Чтобы выбрать оптимальные соотношения между скоростью вращения, объемом и массой ротора-компенсатора проведем соответствующее исследование, приняв в качестве базового электропривода разработанный специально для ручного электроинструмента магнитоэлектрический двигатель мощностью 2 кВт, ротор которого при частоте вращения $\omega=2407$ 1/с (23000 об/мин) и внешнем диаметре $D=74$ мм обладает кинетическим моментом $1,814$ кг·м²/с. Варьируя частотой вращения компенсирующего ротора, одновременно изменим его геометрию так, чтобы при любой заданной частоте вращения кинетический момент оставался неизменным и равным кинетическому моменту основного ротора. Для каждого варианта скорости и соответствующей ей геометрии проводился расчет аэродинамических потерь по методике, изложенной в [2]. Исследования проведены для трех вариантов материала компенсирующего ротора: стали Ст.45 с плотностью $7,8$ г/см³, латуни ЛС-59 с плотностью $8,7$ г/см³ и сплава ВНЖ 7-3 с плотностью 17 г/см³. Варьирование частотой вращения и соответствующая ей трансформация геометрии ротора проводились при фиксированном внешнем диаметре компенсирующего ротора, который для сохранения поперечного габарита корпуса инструмента соответствовал диаметру D основного ротора. Был задан также минимально необходимый диаметр центрального отверстия в компенсирующем роторе (25 мм) для размещения в нем элементов приводного магнитоэлектрического двигателя. В результате при фиксированных величинах внешнего и внутреннего диаметров автоматически и обратно пропорционально варьированной частоте вращения изменялись масса и осевая длина ротора.

Частотные зависимости аэродинамических потерь, массы и осевой длины компенсирующего ротора для всех трех материалов при условии постоянства кинетического момента представлены на рис. 1-3 соответственно, где обозначено: кривая 1 – для Ст.45; кривая 2 – для ЛС-59; кривая 3 – для ВНЖ 7-3.

В результате можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение плотности применяемого материала приводит к снижению аэродинамических потерь за счет уменьшения габаритов и площади поверхности ротора, обтекаемого воздушной средой (рис.1).

2. В случае принятой для обоих роторов величине диаметра D при частоте вращения компенсирующего ротора $1,9\omega$ происходит изменение характера обтекания ротора воздухом – из ламинарного он переходит в турбулентный, и аэродинамические потери резко возрастают (рис. 1).

3. Для максимальных частот вращения, при которых характер обтекания компенсирующего ротора воздухом остается ламинарным, величина аэродинамических потерь составляет для рассмотренных материалов 25...40 Вт, что при мощности основного привода 2 кВт приводит к увеличению общего энергопотребления устройства максимум на 2 %. По мнению авторов, при столь незначительном росте дополнительных потерь минимизация энергопотребления не может быть принята в качестве приоритетного критерия оптимальности конструкции компенсирующего устройства. В этих условиях более важными становятся эргономические характеристики устройства – масса и габариты.

4. Для всех типов применяемых материалов при частотах вращения ниже номинальной частоты вращения основного ротора ω масса и габариты компенсирующего ротора

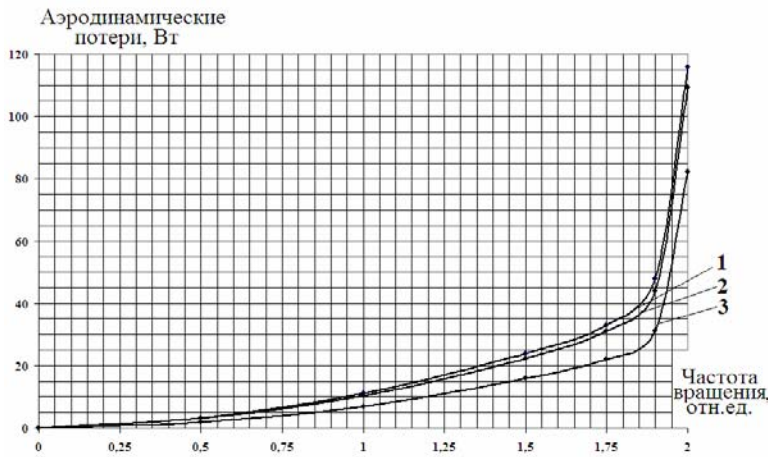


Рис. 1

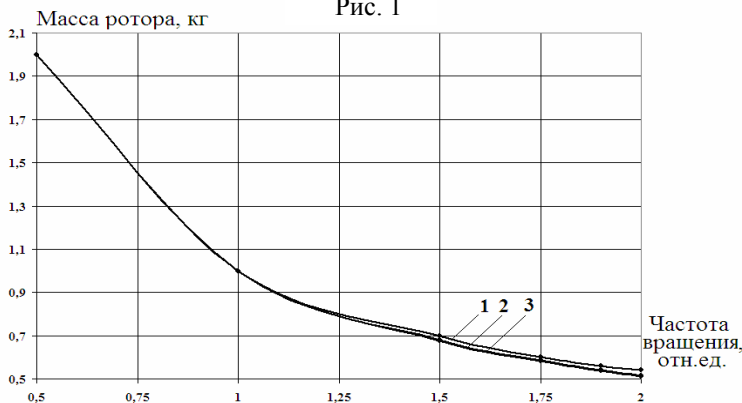


Рис. 2

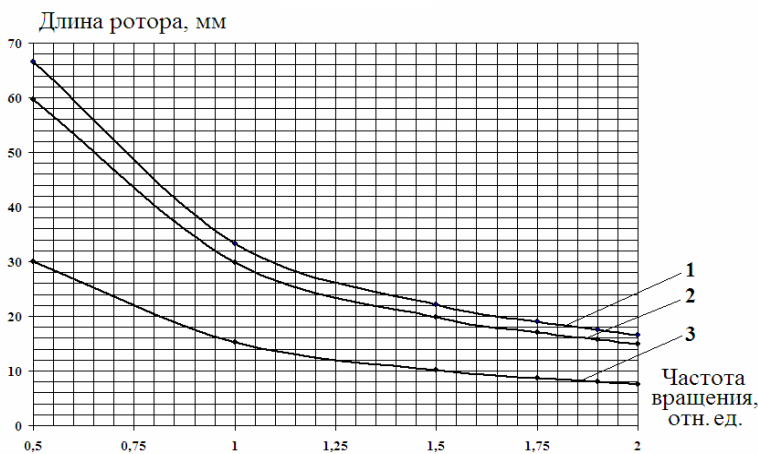


Рис. 3

становляться неприемлемо великими, значительно увеличивая габариты и массу всего устройства. При увеличении частоты вращения в диапазоне $\{\omega \dots 2\omega\}$ происходит практически линейное снижение массы и осевой длины компенсирующего ротора (рис. 2, 3 соответственно). Примечательно, что для всех типов применяемого материала его плотность практически не влияет на величину массы и ее зависимость от частоты вращения (рис. 2). Существенно меняется лишь осевая длина ротора (рис. 3), что в сочетании с различиями в плотностях материала и приводит к слабой зависимости массы ротора от типа материала. Наибольшее снижение осевой длины ротора достигается при использовании вольфрамсодержащего сплава ВНЖ 7-3, однако применение его в электроинструменте общепромышленного назначения нецелесообразно из-за высокой стоимости (удельная цена кольца из сплава ВНЖ 7-3 превышает 300 дол./кг).

С учетом характера зависимостей, приведенных на рис. 1-3, оптимальной частотой вращения ротора-компенсатора следует считать частоту, предшествующую началу перехода ламинарного режима обтекания ротора в турбулентный, которая в рассматриваемом случае соответствует величине $1,85\omega$.

Авторами была предпринята попытка минимизировать внешний

габарит ротора компенсатора путем его уменьшения от исходного диаметра D при том же условии сохранения заданной величины кинетического момента. При этом вариант использования дорогостоящего материала ВНЖ 7-3 больше не рассматривался. Оказалось, что при выбранной частоте вращения $1,85\omega$ и ламинарном характере обтекания ротора зависимость аэродинамических потерь от величины внешнего диаметра имеет абсолютный минимум при диаметре ротора компенсатора около $0,8D$. При дальнейшем снижении диаметра ротора аэродинамические потери и масса ротора компенсатора возрастают. В точке минимума аэродинамические потери снижаются на 10...12% (рис. 4), но одновременно на 44% увеличивается масса компенсирующего ротора (рис. 5), а его осевая длина возрастает в 2,5 раза (рис. 6). При этом графические зависимости для Ст.45 и ЛС-59 на рис. 5 практически совпадают.

Из зависимостей рис. 2, 5, 6 следует, что масса ротора при принятых условиях и ограничениях слабо зависит от плотности применяемого материала. Поэтому для изготовления компенсирующего ротора наиболее рационально использовать конструкционную сталь, ко-

торая втрое дешевле латуни и обладает ферромагнитными свойствами. Последнее обстоятельство позволяет использовать массив ротора в качестве магнитопровода при построении магнитной системы возбуждения компенсирующего привода.

В результате проведенных исследований определились такие параметры компенсирующего ротора: частота вращения – 4453 Гц; габариты – $\text{Ø}74 \times \text{Ø}25 \times 18$ (мм); масса – 0,56 кг; полезная мощность привода ротора – 35 Вт.

В данном случае выбранный объем внутренней полости ротора оказался достаточным для размещения в нем элементов приводного магнитоэлектрического двигателя и корректировка конфигурации ротора не требуется.

Выводы. На основании полученных результатов можно сформулировать некоторые общие рекомендации для построения системы компенсации гироскопического момента в высокооборотном электроприводе.

1. Определяется расчетная зависимость изменения осевой длины компенсирующего ротора в зависимости от частоты его вращения при выполнении условия равенства моментов инерции рабочего и компенсирующего роторов. При этом наружный диаметр компенсирующего ротора принимается равным диаметру рабочего, а диаметр внутренней полости ротора устанавливается ориентировочно.

2. Строится зависимость потерь на аэродинамическое сопротивление для всех вариаций длины ротора. По ней выбирают максимальную частоту вращения, для которой характер обтекания ротора воздухом остается ламинарным.

3. По величине потерь, соответствующих выбранной частоте вращения, определяется мощность привода и производится его проектирование.

4. Если первоначально заданный объем внутренней полости ротора не соответствует объему, необходимому для размещения приводного двигателя, конфигурация ротора уточняется.

1. Антонов А.Е., Филоменко А.А. Активная компенсация реактивных моментов в электрических машинах магнитоэлектрического типа // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАН України, 2014. – Вип. 39. – С. 20–24.
2. Павлов В.А. Основы проектирования и расчета гироскопических приборов. – Л.: Судостроение, 1967. – С. 146–150.

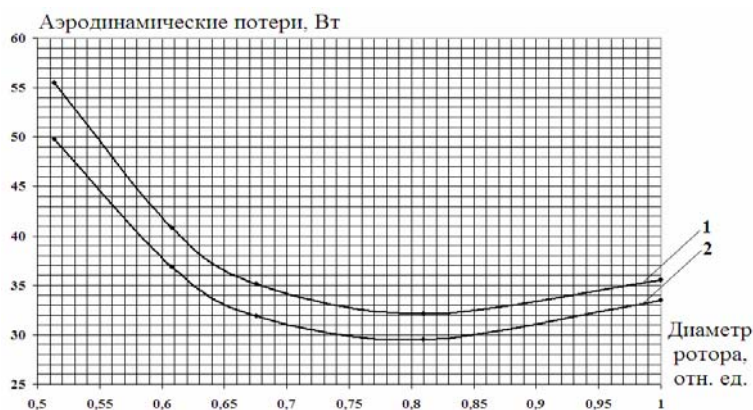


Рис. 4

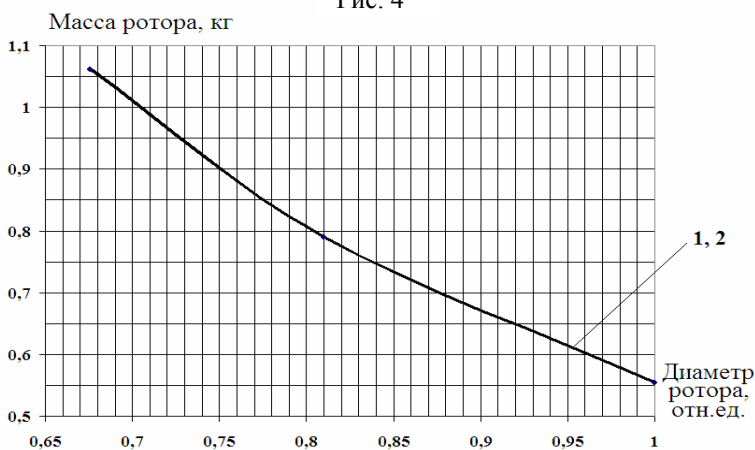


Рис. 5

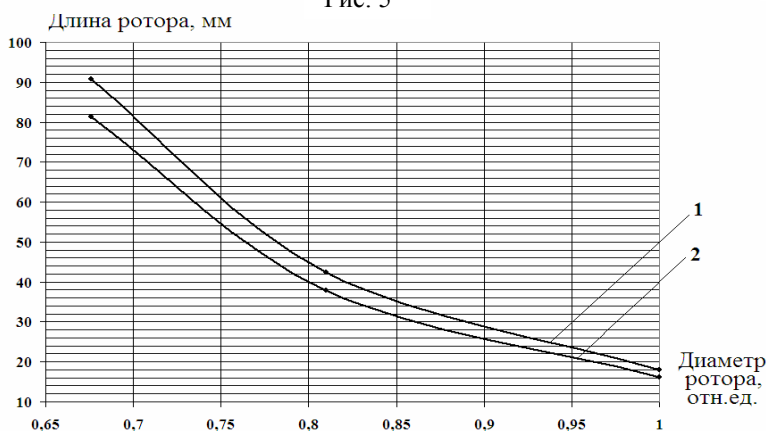


Рис. 6

О.Є. Антонов, докт. техн. наук, **О.М. Михайлик**, пров. інж.

Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

Вибір параметрів ротора для електромеханічної системи компенсації гіроскопічного моменту в високообертовому електроприводі

Розглянуто питання вибору оптимальної частоти обертання і геометрії ротора, що виконує функції компенсатора гіроскопічного моменту високооборотного приводного пристрою з великим кінетичним моментом ротора. Вибір проведено виходячи з умов мінімізації масогабаритних показників і енергоспоживання приводу компенсатора. Враховано вартісні показники матеріалу для виготовлення компенсуючого ротора і можливість його використання як складової магнітної системи приводного пристрою. Бібл 2, рис. 6.

Ключові слова: високообертовий електропривод, гіроскопічний момент, кінетичний момент, компенсація моменту

A. Antonov, E. Michailyk

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

Selection rotor's parameters for electromechanical compensation system of gyroscopic moment in high-speed electric drive

Selection of the optimal speed and rotor geometry for gyroscopic moment compensator in high-speed electric drive with a large kinetic moment of the rotor is considered. Selecting is made on the basis of conditions to minimize weight, size and power of the compensator. Taking into account the cost of material for rotor compensator and the possibility of its use as a constituent element of the magnetic system of the drive unit. References 2, figures 6.

Key words: the high-speed electric drive, the gyroscopic moment, the kinetic moment, compensation of the moment.

Надійшла 7.07.2015

Received 7.07.2015

УДК 621.313.17

СПОСОБ ПЕРЕДАЧИ КОМАНД УПРАВЛЕНИЯ ПО СИЛОВЫМ ПРОВОДНИКАМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ БЕСКОНТАКТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

К.П. Акинин, канд. техн. наук, **В.Г. Киреев**, канд. техн. наук

Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна
e-mail: ak.k.p@yandex.ua, vkireev@ied.org.ua

Предложен способ передачи команд управления по силовым проводникам, соединяющим выход инвертора напряжения и исполнительный бесконтактный двигатель с постоянными магнитами. При воздействии на органы управления на корпусе исполнительного двигателя параллельно к статорной обмотке подключается схема для изменения характера нагрузки инвертора напряжения. При этом формируются импульсы тока, которые регистрируются с помощью датчика тока во входной цепи инвертора напряжения и используются для управления исполнительным двигателем. Предложены схемы для изменения характера нагрузки инвертора напряжения, приведены их математические модели и графики переходных процессов формирования импульсов команд управления. Библ. 5, рис. 12.

Ключевые слова: передача команд управления, связь по силовым проводникам, бесконтактный двигатель с постоянными магнитами, электромеханическая система, электропривод.

Введение. Одной из тенденций совершенствования современной техники является создание разнообразных по конструктивному исполнению и функциональному назначению бесконтактных двигателей с постоянными магнитами (БДПМ), применяемых в качестве исполнительных элементов электромеханических систем. Нередко блок управления системы может находиться на некотором удалении от исполнительного двигателя и органов управления им. Наличие большого количества соединительных проводников существенно снижает надежность системы. Особенно это актуально для ручного инструмента, где соединительные