Шаньгин Е. С.

УПРАВЛЕНИЕ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОСНОВЕ КОМПАУНДНОГО АСИНХРОННОГО БИРОТАТИВНОГО КАСКАДА

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2008/7/81.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2008. № 7 (14). С. 232-236. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2008/7/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

• повышенная защищенность движителя от повреждений, связанная с применением вентиляторных колес диаметрального типа.

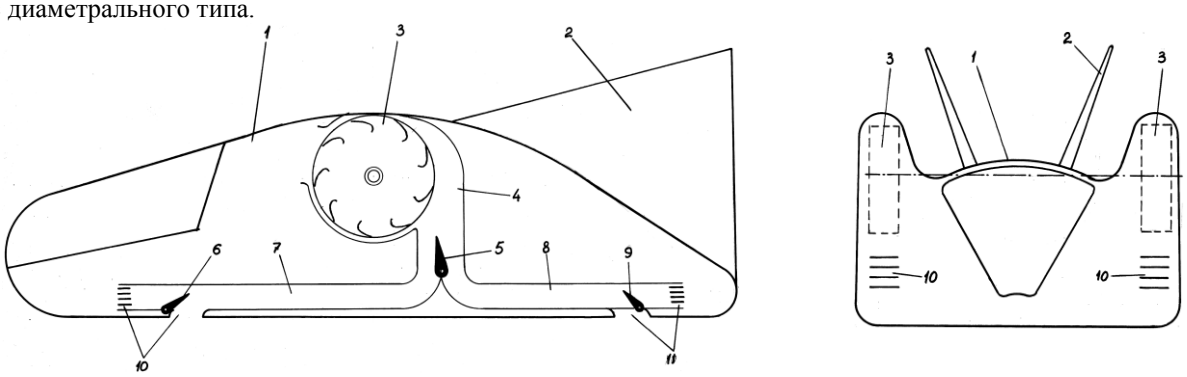

Рис. 2. *Схема летательного аппарата (1-корпус; 2-стабилизатор; 3-диаметральное колесо (движитель); 4-центральный воздуховод; 5, 6, 9-регяторы потока воздуха; 7, 8-горизонтальные воздуховоды; 10-передние сопла; 11-задние сопла)*

Список использованной литературы

1. **Камов Н. И.** Винтовые летательные аппараты. - М.: Оборонгиз, 1948. - 452 с.
2. **Кузнецов Г. И.** ОКБ Н. И. Камова. - М.: «Центр авиации и космонавтики», 1999. - 376 с.
3. **Калинушкин М. П.** Вентиляторные установки. - М.: Машгиз, 1967. – 6-е изд. - 324 с.

УПРАВЛЕНИЕ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОСНОВЕ КОМПАУНДНОГО АСИНХРОННОГО БИРОТАТИВНОГО КАСКАДА

Шаньгин Е. С.

Уфимский государственный авиационный технический университет

Бесступенчатое управление частотой вращения электрических машин всех типов основано практически на одном принципе - изменении величины подводимой электроэнергии. Для различных типов машин этот процесс осуществляется по-разному: в машинах постоянного тока изменяют величину тока в обмотках возбуждения или напряжение на якоре; электропитание машин переменного тока (асинхронных) осуществляют импульсным током с частотно-импульсной (ЧИМ) или широтно-импульсной (ШИМ) модуляцией. Любой из перечисленных методов обладает одним общим недостатком - неполным использованием возможностей электродвигателя как преобразователя электрической энергии в механическую, реальная загрузка которого составляет (25…40) % Это не лучшим образом влияет на характеристики процесса преобразования электроэнергии, таких как КПД и $\cos\varphi$.

Для того чтобы повысить эффективность преобразования электрической энергии в механическую при изменении частоты вращения выходного вала в широком диапазоне, на кафедре технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета разработан способ управления, исключающий диссипативные потери энергии в процессе регулирования частоты вращения выходного вала. Способ основан на использовании эффекта двойного вращения асинхронной машины (биротативного двигателя) с изменением величины скольжения двух роторов, взаимодействующих с одной обмоткой возбуждения (отсюда название «компаундный каскад»).

На Рис. 1 представлена схема компаундного асинхронного биротативного каскада [3].

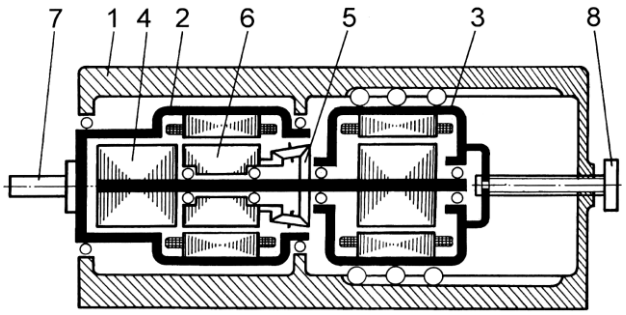

Рис. 1. *Компаундный асинхронный биротативный каскад (1-корпус привода; 2-биротативный двигатель; 3-дополнительный двигатель; 4-ротор противовключения; 5-конический редуктор; 6-генераторный ротор; 7-выходной вал; 8-регулировочный винт)*

В корпусе 1 (Рис. 1) размещены два двигателя - биротативный 2 и дополнительный 3. Статорные обмотки у обоих двигателей одинаковые по мощности и числу пар полюсов. Обмотки всех роторов короткоза-

мкнутые. Вал ротора двигателя 3 соединен с ротором 4 и через конический редуктор 5 - с ротором 6 двигателя 2. Конический редуктор 5 осуществляет реверс ротора 6 и увеличение частоты его вращения до синхронной частоты вращения магнитного поля статорной обмотки биротативного двигателя 2, компенсируя тем самым потери угловой скорости вращения ротора двигателя 3 из-за скольжения.

Статорные обмотки двигателей 2 и 3 включены в общую сеть переменного тока в противофазе (Рис. 2). При включении электропитания на обоих двигателях направление и скорость вращения ротора 6 совпадают с направлением и скоростью вращения магнитного поля статорной обмотки двигателя 2 (Рис. 1). В этом режиме энергетического взаимодействия между вращающимся магнитным полем статора двигателя 2 и ротором 6 не происходит. Одновременно ротор 4 вращается в противоположном направлении по отношению к вращающемуся магнитному полю обмотки статора биротативного двигателя 2. Поскольку ротор 4 находится вне зоны действия магнитного поля статора двигателя 2, вращение на выходной вал 7, связанный с корпусом двигателя 2, не передается. Двигатель 2 работает в режиме холостого тока с величиной скольжения s=0.

Для получения вращения выходного вала 7 необходимо винтом 8 произвести осевое перемещение блока, состоящего из двигателя 3, редуктора 5 и роторов 4 и 6 (на Рис. 1), на расстояние *L*. Тогда ротор 6 частично выходит из зоны действия магнитного поля статорной обмотки двигателя 2. На ее место перемещается ротор 4, причем магнитное поле и ротор 4 вращаются в противоположных направлениях.

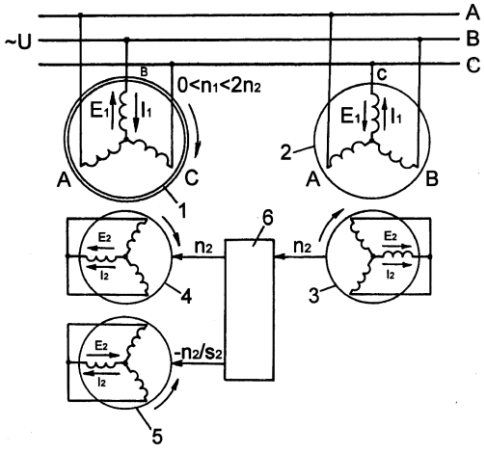

Рис. 2. *Электрическая схема компаундного асинхронного каскада (1-вращающийся статор биротативного двигателя; 2-статор дополнительного двигателя; 3-ротор дополнительного двигателя; 4-ротор биротативного двигателя, работающего в режиме противовключения; 5-генераторный ротор биротативного двигателя; 6-редуктор)*

Активная составляющая тока и ЭДС в проводниках ротора 4 будут направлены так же, как в двигательном режиме, т.е. машина будет получать из сети активную мощность, однако в данном режиме магнитный момент *M* направлен против вращения ротора, т.е. скольжение *s*>1.

В биротативном двигателе 2 электромагнитный момент реализуется в виде вращения статора (а вместе с ним и выходного вала 7) в направлении, совпадающем с направлением вращения ротора 4. Вращение статора двигателя 2 приводит к тому, что скорость вращения его магнитного поля будет меньше, чем скорость вращения ротора 6, т.е. скольжение *s*<1 (генераторный режим). Электромагнитный момент *M*, как в роторе 4, так и в роторе 6, пропорционален произведению магнитного потока и активной составляющей тока ротора [1]:

$$M = C_M \cdot \Phi \cdot I_2 \cdot \cos\varphi, \qquad (1)$$

где C_M- постоянная; φ - угол сдвига между током статора и ЭДС; I_2 - намагничивающий ток статора; Φ - магнитный поток.

Величина магнитного потока описывается выражением:

$$\Phi = a_i \cdot \tau \cdot l_i \cdot B_\delta, \qquad (2)$$

где l_i -продольная активная длина воздушного зазора между статором и ротором; B_δ - индукция в воздушном зазоре; a_i - коэффициент полюсного перекрытия; τ - полюсное деление обмотки; δ - величина воздушного зазора между ротором и статором.

Подставив выражение (2) в (1), получим:

$$M = C_M \cdot a_i \cdot \tau \cdot l_i \cdot B_\delta \cdot I_2 \cdot \cos\varphi. \qquad (3)$$

Упростив выражение (3), получим: $M = \pm\beta \cdot l_i$, (4)

где $\beta = C_M \cdot a_i \cdot \tau \cdot B_\delta \cdot I_2 \cdot \cos\varphi$.

Выражение (4) позволяет произвести анализ важнейших свойств компаундного асинхронного биротативного каскада, а именно - установить связь между длиной активной зоны взаимодействия поля статора и

ротора с величиной вращающего момента. Из выражения (4) видно, что электромагнитный момент зависит от величины l_i. Здесь знак «+» относится к режиму противовключения, знак «-» - к генераторному режиму [2].

Из конструктивных особенностей каскада (Рис. 1) видно, что активная длина магнитного зазора, равная длине магнитного сердечника статора $l_{ст}$, определяет зону взаимодействия между статором и двумя роторами, один из которых взаимодействует со статором в режиме генератора (0>s>1), второй - в режиме противовключения (s>1). Степень взаимодействия роторов со статором определяется выражением:

$$s_{рез} \cdot l_{ст} = s_{ген} \cdot l_{ген} + s_{пр} \cdot l_{пр}, \quad (5)$$

где $l_{ген}$ - длина магнитного зазора между статором и ротором, работающем в режиме генератора; $l_{пр}$ - длина магнитного зазора между статором и ротором, работающем в режиме противовключения; $s_{рез}$ - результирующее скольжение; $s_{ген}$ - скольжение в режиме генератора; $s_{пр}$ - скольжение в режиме противовключения.

При таком взаимодействии крутящий момент $M_{БД}$ на выходном валу и статоре биротативного двигателя 2 (Рис. 1) является суммой взаимодействия двух роторов и одного статора:

$$M_{БД} = M_{пр} - M_{ген} = \beta(l_{ст} - l_{ген}). \quad (6)$$

Результирующий крутящий момент на выходном валу каскада с учетом влияния дополнительного двигателя 3 (Рис. 1) можно оценить по формуле:

$$M_{каск} = \frac{M_{БД}}{1 - s_{рез}}. \quad (7)$$

Из выражения (7) видно, что каскад допускает возрастание момента нагрузки на его выходном валу обратно пропорционально скорости вращения. При этом мощность, развиваемая каскадом, на всех скоростях остается практически неизменной, поэтому компаундный асинхронный биротативный каскад можно отнести к приводам с *постоянной мощностью*.

Для определения величин токов, потерь мощности и падения напряжения в компаундном асинхронном каскаде обратимся к схеме замещения (Рис. 3). В обмотках вращающихся роторов проходит ток, действующее значение и частота которого зависят от частоты вращения. Из схемы замещения следует, что ток ротора определяется выражением:

$$I_2 = E_{2s} / z_2 = E_{2s} \Big/ \sqrt{R_2^2 + X_{2s}^2}. \quad (8)$$

При вращении каждого из роторов биротативного двигателя ЭДС E_{2s} в обмотке ротора и ее частота пропорциональны скольжению s.

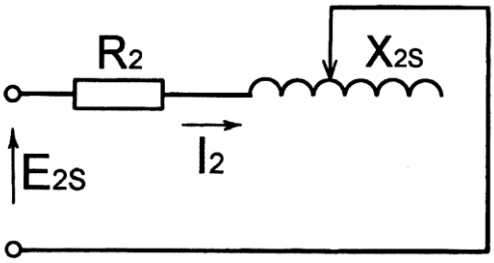

Рис. 3. *Схема замещения роторов биротативной асинхронной машины*

Следовательно, и индуктивные сопротивления обмоток роторов зависят от величины скольжения:

$$X_{2s} = 2\pi\ f_2\ L_2 = 2\pi\ f_1\ L_2 s = X_2 s, \quad (9)$$

где X_2 - индуктивное сопротивление обмотки заторможенного ротора.

Подставляя значение $E_{2s}=E_2 s$ и $X_2 s$ в выражение (8), получим:

$$I_2 = E_2 \Big/ \sqrt{(R_2/s)^2 + X_2^2}. \quad (10)$$

Из выражения (10) видно, что от знака скольжения величина тока в обмотках роторов биротативного двигателя не зависит. Таким образом, при определенном соотношении относительных скоростей магнитного поля статора биротативного двигателя и его роторов наступает режим, при котором энергия, генерируемая ротором, опережающим скорость вращения магнитного поля, становится равной энергии потребления вторым ротором, работающем в режиме противовключения. При этом биротативный двигатель потребляет из сети энергию холостого хода. Такой режим наступает при $l_{ген} \approx 2 l_{пр}$ (экспериментальные данные). Так происходит управление угловой скоростью вращения выходного вала - путем перераспределения энергии магнитного поля статорной обмотки между двумя вращающимися роторами в зависимости от степени их взаимодействия с активной длиной магнитного зазора между ними и статором биротативного двигателя.

Для проверки работоспособности предложенного способа управления была создана экспериментальная установка (Рис. 4), на которой проводились исследования основных характеристик привода [2].

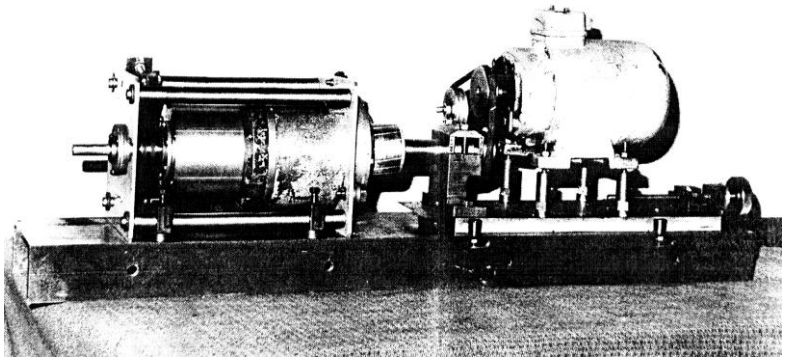

Рис. 4. *Общий вид экспериментальной установки*

В качестве биротативного двигателя 2 и дополнительного двигателя 3 (Рис. 1) использованы одинаковые асинхронные трехфазные двигатели с короткозамкнутой обмоткой ротора типа ДПТ-П-22/2-С1, мощностью 600 *Вт*, номинальная скорость вращения 2800 *об/мин*. Перемещая блок роторов вместе с дополнительным двигателем и редуктором вдоль оси привода с помощью ходового винта на расстояние *L*, можно изменить частоту вращения выходного вала.

Экспериментальные исследования лабораторной установки позволили определить ряд основных характеристик компаундного асинхронного биротативного каскада. На Рис. 5 приведена механическая характеристика привода, из которой видно, что при изменении частоты вращения выходного вала изменяется и вращающий момент, причем параметры электропитания остаются неизменными. Регулировочная характеристика привода приведена на Рис. 6. В зависимости от нагрузки на выходном валу перемещение рабочих роторов относительно статорной обмотки биротативного двигателя на одну и ту же величину *L* приводит к установлению различной частоты вращения выходного вала. Это свидетельствует о влиянии величины скольжения на частоту вращения.

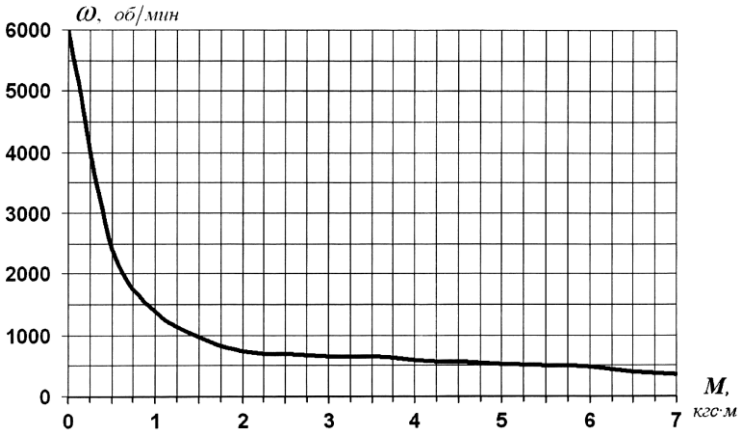

Рис. 5. *Механическая характеристика компаундного асинхронного биротативного каскада*

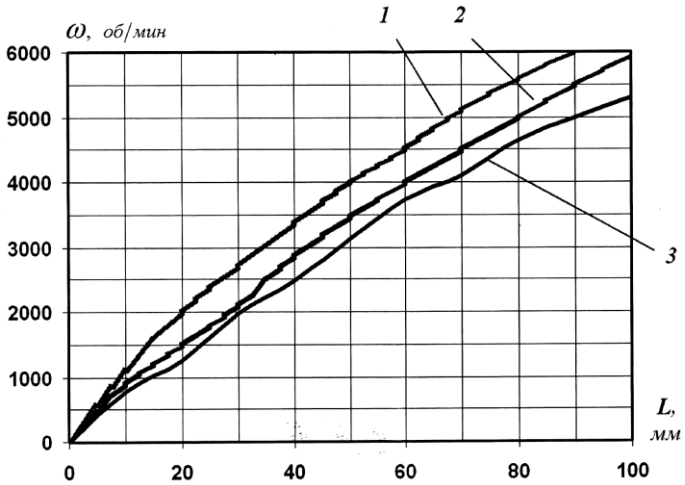

Рис. 6. *Регулировочная характеристика биротативного каскада (1-график холостого хода; 2-50 %-ная загрузка привода; 3-100 %-ная загрузка привода)*

В связи с тем, что компаундная структура привода предполагает одновременное взаимодействие статора биротативного двигателя с двумя режимами вращения роторов - генераторным и противовключения, - весьма важным является рассмотрение энергетической характеристики привода (Рис. 7). Энергопотребление биротативного двигателя зависит от суммарного режима работы двух роторов (кривая 1). При определенном соотношении режимов взаимодействия роторов со статорной обмоткой, биротативный двигатель практически перестает потреблять электроэнергию из сети (потребление энергии снижается до уровня холостого хода). Это объясняется тем, что количество энергии, вырабатываемой генераторным ротором, равно количеству энергии, потребляемому вторым ротором, работающим в режиме противовключения. Вращение выходного вала на этом режиме осуществляется только за счет энергии, потребляемой из сети дополнительным двигателем (кривая 2, Рис. 7). Суммарная мощность привода, потребляемая из электросети, складывается из мощностей биротативного и дополнительного двигателей (кривая 3, Рис. 7).

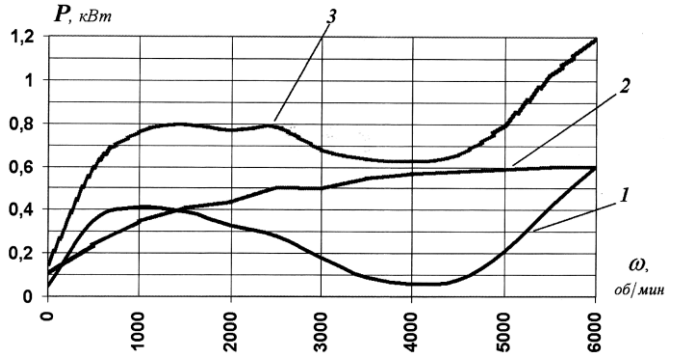

Рис. 7. *График потребления электрической мощности из сети (1-энергопотребление биротативного двигателя; 2-энергопотребление дополнительного двигателя; 3-общее потребление электроэнергии каскадным приводом)*

Таким образом, перераспределяя магнитное поле статора биротативной асинхронной машины между двумя роторами, вращающимися в противоположных направлениях, на выходном валу привода можно получить изменение скорости вращения в широком диапазоне частот.

Выводы:

1. Управление частотой вращения выходного вала электропривода на основе компаундного асинхронного биротативного каскада является реализацией способа регулирования путем перераспределения скоростей вращения между ротором и вращающимся статором асинхронной машины с двумя степенями свободы. При этом режим электропитания не меняется [2].
2. Предложенный способ регулирования угловой скорости вращения выходного вала электропривода позволяет расширить диапазон бесступенчатого изменения частоты вращения от 0 до 6000 об/мин без применения силовой электроники и изменения параметров электропитания, что снижает затраты и повышает КПД и коэффициент мощности привода.
3. В связи с отсутствием необходимости силового преобразования электропитания привода, компаундный асинхронный биротативный каскад легко встраивается в систему автоматического управления технологическими процессами в машиностроении, нефтегазодобывающей и перерабатывающей промышленности, транспорте и т. п.

Список использованной литературы

1. **Брускин Д. Э., Зорохович А. Е., Хвостов В. С.** Электрические машины и микромашины. - М.: «Высшая школа», 1981. - 432 с.
2. **Шаньгин Е. С.** Теория биротативного электропривода. - Уфа: Изд-во УТИС, 1998. - 264 с.
3. **Патент RU № 2130226**, кл. H02K17/30, заявл. 07.05.98, опубл. 10.05.99. - БИ № 13 / Касимов Л. Н., Шаньгин Е. С., Насыров В. З. Асинхронный электродвигатель с бесступенчатым регулированием скорости вращения.

УПРАВЛЕНИЕ ОБМЕНОМ ДАННЫМИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ «ПРОКУРАТУРА-СТАТИСТИКА»

Шибанов С. В., Шевченко О. А.
Пензенский государственный университет

Проблема своевременного получения и объединения данных в информационных системах (ИС) существовала всегда. Современные ИС решают данную проблему по-разному. В самом простом случае ответственность возлагается на оператора или средства автоматического ввода-вывода данных. При отсутствии автоматизации процесс объединения данных сводится к ручному дублированию исполнителями. Большее количество времени уходит на подготовку сводной отчетности крупных организаций и холдингов при ис-