

УДК 621.313.32

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА КИНЕМАТИКИ АВИАЦИОННОГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОД-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА

С.В. МИШИН¹

¹*Иркутский филиал Московского государственного
технического университета гражданской авиации, г. Иркутск, Россия*

Материалы статьи являются продолжением исследования структуры электромеханического привод-генераторного агрегата авиационного назначения и имеют целью формирование рекомендаций для получения максимально оптимального сочетания рабочих характеристик такого агрегата. Использование двигательного режима работы асинхронной машины на первой ступени и связанная с этим циркуляция активной мощности в контуре агрегата требуют превышения расчетной мощности синхронного генератора пропорционально потребной частоте докрутки вала генератора. В связи со сложностью обеспечения потребной величины момента асинхронной машины при возбуждении ее переменным или постоянным током следует отдать предпочтение режиму асинхронного тормоза (в этом случае отпадает необходимость в источнике постоянного тока и упрощается схемная реализация режима). Разработка дифференциального асинхронно-синхронного привод-генераторного агрегата с тремя генераторными ступенями асинхронной машины позволяет снизить величину расчетной электромагнитной мощности синхронного генератора, обеспечить высокое среднее значение коэффициента полезного действия агрегата. Применительно к современным газотурбинным двигателям, длительная работа которых возможна только при определенных фиксированных частотах вращения, число ступеней работы генераторного агрегата и режимы работы асинхронной машины нужно выбирать такими, чтобы обеспечить наилучшие показатели именно при этих частотах, допуская относительно большие величины потерь при кратковременных переходных режимах работы авиадвигателя. В статье представлены результаты серии расчетов энергетических характеристик электромеханического асинхронно-синхронного привод-генераторного агрегата авиационного назначения. На основе этих результатов выработаны рекомендации по оптимизации структуры агрегата и выбора режимов работы асинхронной машины. Разработка привод-генераторного агрегата с тремя генераторными ступенями асинхронной машины позволяет снизить его удельную массу за счет величины расчетной электромагнитной мощности синхронного генератора.

Ключевые слова: привод-генераторный агрегат, электромеханическая система генерирования, переменный ток постоянной частоты, режим работы асинхронной машины.

ВВЕДЕНИЕ

Представленные в статье материалы являются продолжением исследования структуры электромеханического привод-генераторного агрегата авиационного назначения [1, 2, 3] и имеют целью формирование рекомендаций для получения максимально оптимального сочетания рабочих характеристик такого агрегата.

Электромеханические системы генерирования переменного тока постоянной частоты остаются актуальными и в настоящее время. Это обусловлено недостатками современных гидромеханических систем при потребности в существенном увеличении единичной установленной мощности бортовых источников электрической энергии воздушных судов до 200–300 кВт на канал. Особую актуальность приобретает данное направление при реализации концепции полностью электрического самолета [4–8].

Оценка эффективности применения той или иной кинематической структуры дифференциального асинхронно-синхронного привод-генераторного агрегата выполнена по результатам серии расчетов для различных наборов режимов работы и числа полюсов асинхронной машины на каждой ступени функционирования агрегата. Оптимальным считается такой комплекс параметров, при котором обеспечивается наиболее благоприятное сочетание массогабаритных показателей машин агрегата и среднего значения его коэффициента полезного действия во всем диапазоне рабочих частот вращения приводного авиадвигателя [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сравнение различных вариантов генераторного агрегата по их массогабаритным показателям в первом приближении может быть осуществлено по расчетным мощностям и частотам вращения машин агрегата, которые однозначно определяют массы активных материалов машин и позволяют с достаточной точностью судить об их общей массе и габаритах агрегата в целом.

Выполним сравнительный анализ при условии, что для различных вариантов исполнения привод-генераторного агрегата приняты одинаковыми: частота вращения синхронного генератора – 12000 об/мин, максимальная частота вращения асинхронной машины – 16000 об/мин. Коэффициенты полезного действия дифференциального редуктора, синхронного генератора и асинхронной машины составляют соответственно 0,97; 0,82 и 0,75. Коэффициент мощности нагрузки составляет 0,8. В качестве расчетного принят типовой диапазон изменения частоты вращения приводного вала генераторного агрегата 8900–16000 об/мин.

Диаграммы, соответствующие возможным расчетным вариантам, изображены на рис. 1.

С целью улучшения энергетических показателей асинхронно-синхронного привод-генераторного агрегата необходимо стремиться к примерному равенству максимальных значений скольжения ротора асинхронной машины относительно поля на отдельных ступенях. В случае простейшего агрегата этого можно добиться применением односкоростной асинхронной машины с числом пар полюсов $p_{ам} = 3$ (рис. 1, а) и выбором соответствующих передаточных чисел дифференциального редуктора. Результаты расчета рабочих характеристик приведены на рис. 2. Здесь и в дальнейшем мощности машин агрегата выражены в относительных единицах, причем за базовую единицу принята активная мощность генераторного агрегата P_c при номинальной нагрузке в сети. Такой подход позволяет сравнивать результаты расчетов, получаемых для агрегатов разной мощности.

Максимальные значений мощностей генератора в первом варианте получаются при работе на первой ступени: $S_{сг1} = 1,95 P_c$ и $P_{сг1} = 1,43 P_c$. Асинхронная машина, работающая в двигательном режиме, потребляет полную мощность $S_{ам1} = 0,7 P_c$ и активную $P_{ам1} = 0,49 P_c$, а мощность потерь скольжения и коэффициент полезного действия изменяются соответственно от 0,02 до 0,39 P_c и от 0,67 до 0,53 при изменении частоты вращения авиадвигателя от 8900 до 11330 об/мин.

На второй ступени асинхронная машина переходит в режим электродинамического торможения и возбуждается постоянным током, потребляя активную мощность, которая не превышает 0,02 P_c . Полная и активная мощности генератора на этой ступени практически равны соответствующим значениям мощностей, отдаваемых агрегатом в сеть. При изменении частоты вращения авиадвигателя от 11330 до 13730 об/мин изменение потерь скольжения составит 0,02–0,25 P_c , а коэффициента полезного действия от 0,78 до 0,66.

На третьей ступени асинхронная машина переводится в генераторный режим и отдает в сеть активную мощность, продолжая потреблять реактивную. Ее доля в генерировании активной мощности составляет 0,18 P_c , а генератора 0,82 P_c . Полные мощности соответственно: $S_{сг3} = 1,18 P_c$ и $S_{ам3} = 0,25 P_c$. Изменение частоты вращения авиадвигателя от 13730 до 16000 об/мин обуславливает изменение мощности потерь скольжения асинхронной машины и коэффициента полезного действия агрегата от 0,01 до 0,18 P_c и от 0,81 до 0,71.

Сумма расчетных мощностей данного варианта определяется максимальными величинами полных электрических мощностей машин, соответствующими первой ступени работы, и составляет 2,65 P_c ($S_{сг1} = 1,95 P_c$, $S_{ам1} = 0,7 P_c$) при частоте вращения генератора и асинхронной машины соответственно 12000 и 8000 об/мин. Средние значения коэффициента полезного действия по ступеням составляют: 0,6; 0,71; 0,75.

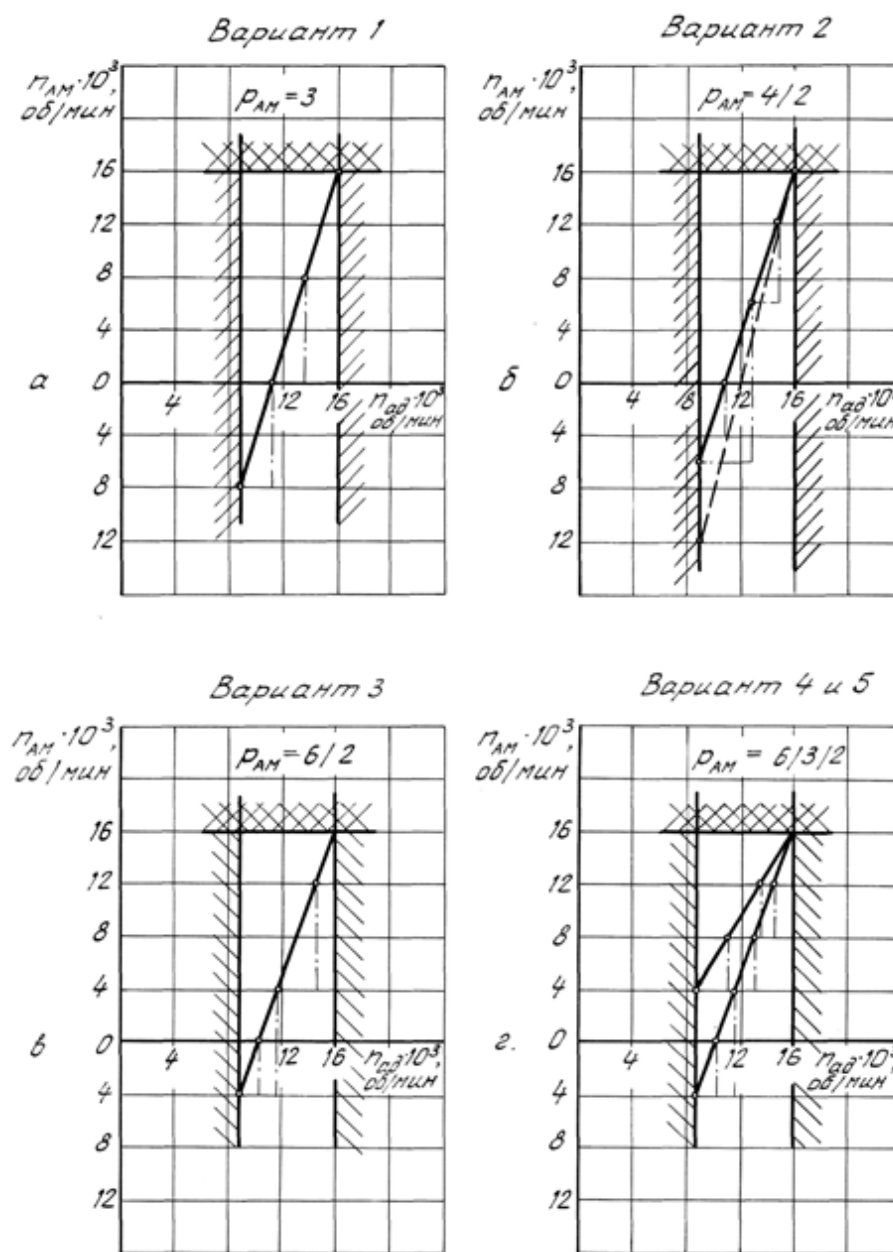


Рис. 1. Диаграммы изменения скорости вращения асинхронной машины в зависимости от скорости вращения авиационного двигателя (точками выделены скорости переключения режимов работы асинхронной машины)

Fig. 1. Rotational speed change diagrams of the asynchronous machine in dependence to rotational speed of the aviation engine (points show speed switch of operation modes of the asynchronous machine)

Использование в генераторном агрегате двухскоростной асинхронной машины ($p_{AM} = 4/2$ и $p_{AM} = 6/2$) и выбор соответствующих передаточных чисел дифференциального редуктора позволяет увеличить возможное количество ступеней работы до пяти (рис. 1, б, в) и улучшить энергетические показатели агрегата. Однако из предварительного расчета, выполненного для первой двигательной ступени при $p_{AM} = 2$, следует, что суммарная расчетная мощность машин такого агрегата составляет 3,16 P_c при частоте вращения 12000 об/мин, что на 20 % выше, чем в первом варианте. Некоторое увеличение расчетных мощностей обусловлено ростом мощности «докрутки» синхронного генератора из-за изменения передаточных чисел дифференциального редуктора. Вместе с тем пропорционального ухудшения массогабаритных показателей не произошло, так как расчетная скорость асинхронной машины возросла на 50 %. Поэтому рассмотрение двухскоростной асинхронной машины в структуре генераторного агрегата сводится к

двум вариантам: $p_{ам} = 4/2$ и $p_{ам} = 6/2$ при одной двигательной ступени, соответствующей большему числу полюсов.

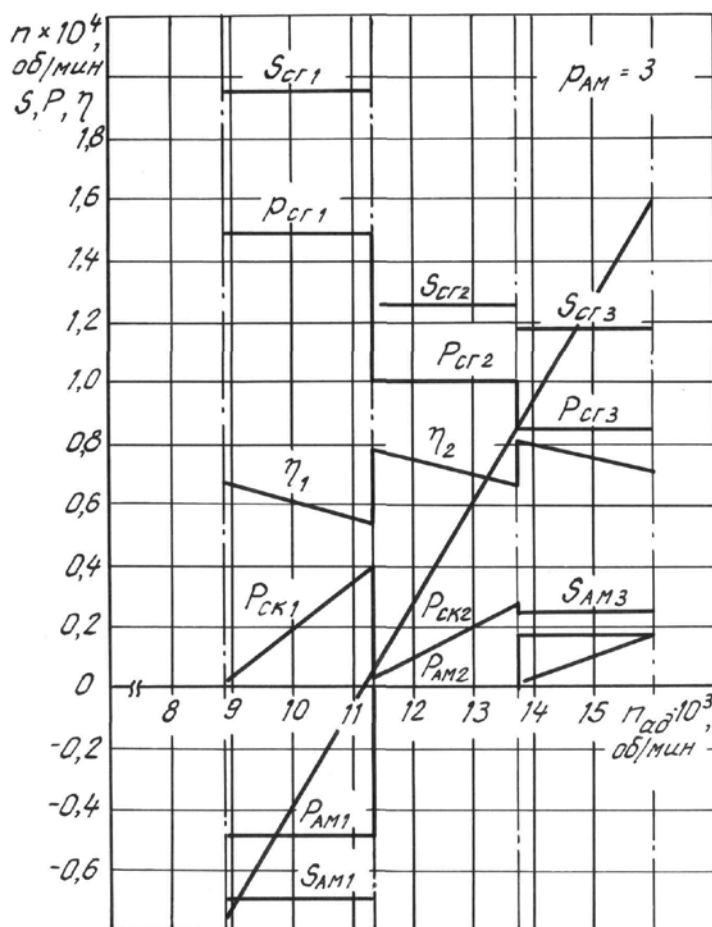


Рис. 2. Расчетные характеристики асинхронно-синхронного генераторного агрегата (вариант 1)
Fig. 2. Design characteristics of the asynchronous-to-synchronous generating aggregate (option 1)

Во втором варианте использована двухскоростная асинхронная машина с $p_{ам} = 4/2$, работающая в двигательном, двух генераторных и режиме электродинамического тормоза. По сравнению с первым вариантом уменьшилось максимальное скольжение на двигательной и тормозной ступенях (6000 об/мин против 8000 об/мин), что вызывает соответствующее снижение потерь скольжения и повышение коэффициента полезного действия на этих ступенях. Рабочие характеристики такого агрегата приведены на рис. 3.

Расчетные мощности машин данного варианта составляют: $S_{сг1} = 1,7 P_c$, $S_{ам1} = 0,55 P_c$ при частотах вращения соответственно 12000 и 6000 об/мин, а суммарная расчетная мощность достигает $2,25 P_c$ при средних значениях коэффициента полезного действия по ступеням: 0,64; 0,73; 0,77; 0,79 и в целом 0,73. Расчеты, выполненные для первого и второго вариантов, указывают на необходимость завышения расчетной мощности синхронного генератора, обусловленную наличием режима «докрутки» на первой ступени.

Если отказаться от режима электродинамического торможения, то упрощается схема управления режимами работы асинхронной машины и отпадает необходимость в дополнительном источнике постоянного тока. Но при этом автоматически возрастает максимальное значение скольжения асинхронной машины и абсолютная величина потерь скольжения, которые снижают среднее значение коэффициента полезного действия агрегата как на указанной ступени, так и в целом (пунктир на рис. 3).

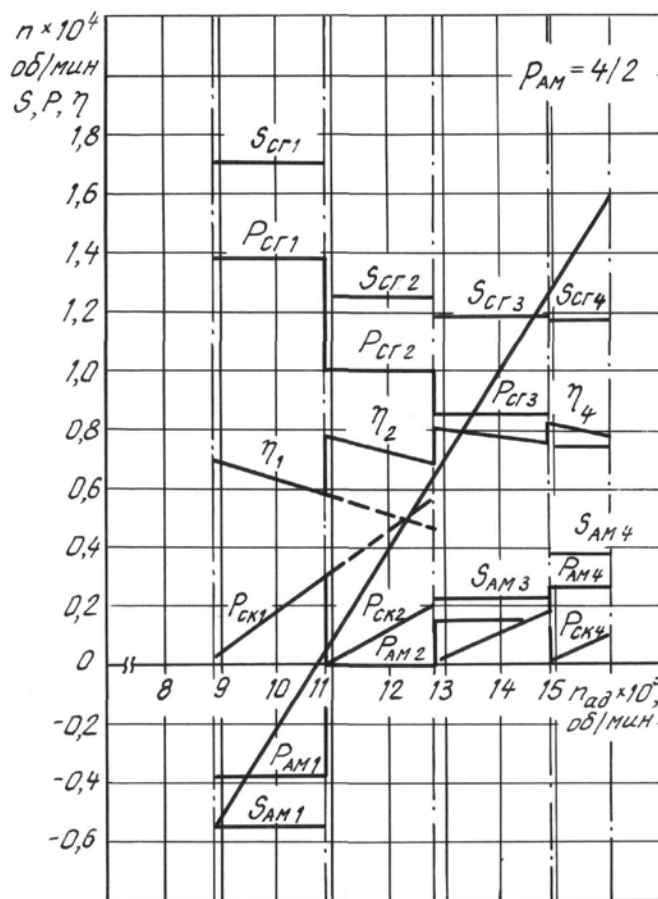


Рис. 3. Расчетные характеристики асинхронно-синхронного генераторного агрегата (вариант 2)
Fig. 3. Design characteristics of the asynchronous-to-synchronous generating aggregate (option 2)

В этом случае для обеспечения одинаковых максимальных значений скольжения ротора асинхронной машины относительно поля на отдельных ступенях необходимо изменять число ее полюсов в отношении 3:1. Расчетные рабочие характеристики такого трехступенчатого агрегата при $p = 6/2$ представлены на рис. 4.

Максимальные значения полной и активной мощностей синхронного генератора на первой, второй и третьей ступенях равны соответственно $1,6 P_c$ и $1,3 P_c$; $1,18 P_c$ и $0,87 P_c$; $1,17 P_c$ и $0,69 P_c$, а активная мощность, потребляемая асинхронной машиной на первой ступени и отдаваемая в сеть на второй и третьей ступенях, равна $0,3 P_c$, $0,13 P_c$, $0,31 P_c$. Максимальные мощности потерь скольжения в асинхронной машине на первой, второй и третьей ступенях равны $0,24 P_c$, $0,28 P_c$, $0,1 P_c$. Среднее значение коэффициента полезного действия по ступеням и в целом составляет $0,66$, $0,73$, $0,8$ и $0,73$. Суммарная расчетная мощность машин данного варианта привод-генераторного агрегата равна $2,025 P_c$ при частоте вращения асинхронной машины 4000 об/мин.

Наилучшие энергетические показатели могут быть достигнуты при использовании трехскоростной асинхронной машины, так как в этом случае одновременно могут быть удовлетворены все требования, вытекающие из особенностей работы генераторного агрегата.

Четвертый вариант (рис. 1, 2 – нижняя линия): пятиступенчатый агрегат с асинхронной машиной, которая в зависимости от частоты вращения авиадвигателя может работать в двигательном режиме при $p_{ам} = 6$, в одном из тормозных режимов и в трех генераторных режимах при $p_{ам} = 6/3/2$. Результаты расчета рабочих характеристик приведены на рисунке 5. Максимальные расчетные значения мощностей генератора в этом варианте получаются на первой ступени: $S_{сг1} = 1,6 P_c$ и $P_{сг1} = 1,3 P_c$. Асинхронная машина, работающая в двигательном режиме,

потребляет полную мощность $0,43 P_c$ и активную $0,3 P_c$, а мощность потерь скольжения и коэффициент полезного действия агрегата изменяются соответственно от $0,02$ до $0,24 P_c$ и от $0,71$ до $0,61$ при изменении частоты вращения авиадвигателя от 8900 до 10000 об/мин.

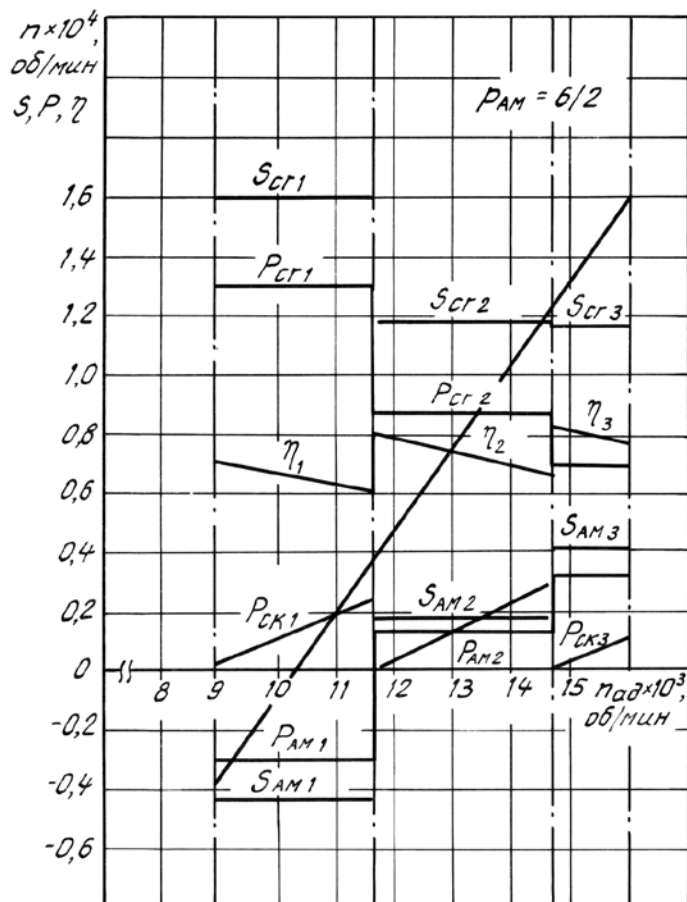


Рис. 4. Расчетные характеристики асинхронно-синхронного генераторного агрегата (вариант 3)
Fig. 4. Design characteristics of the asynchronous-to-synchronous generating aggregate (option 3)

На второй ступени асинхронная машина переходит в режим электродинамического торможения. При изменении частоты вращения авиадвигателя от 10000 до 11600 об/мин изменение потерь скольжения составит от $0,02$ до $0,2 P_c$, а коэффициента полезного действия от $0,78$ до $0,69$ (пунктиром на рис. 5 показаны энергетические характеристики, соответствующие режиму асинхронного тормоза).

На третьей ступени асинхронная машина переводится в генераторный режим с большим числом полюсов и отдает в сеть активную мощность, продолжая потреблять реактивную. Ее доля в генерировании активной мощности составляет $0,13 P_c$, а синхронного генератора $0,87 P_c$. Полная мощность генератора на этой ступени равна $1,2 P_c$. Изменение частоты вращения авиадвигателя от 11600 до 13150 об/мин обуславливает изменение мощности потерь скольжения асинхронной машины и коэффициента полезного действия агрегата от $0,01 P_c$ до $0,14 P_c$ и от $0,82$ до $0,72$.

На четвертой ступени асинхронная машина продолжает работать в генераторном режиме, но уже при меньшем числе полюсов, и ее доля в генерировании активной мощности возрастает до $0,23 P_c$, что равносильно снижению доли генератора до $0,77 P_c$. Полные электрические мощности соответственно составляют $S_{AM4} = 0,32 P_c$ и $S_{cr4} = 1,2 P_c$. Потери скольжения изменяются в диапазоне от $0,01 P_c$ до $0,13 P_c$, а коэффициент полезного действия от $0,81$ до $0,74$.

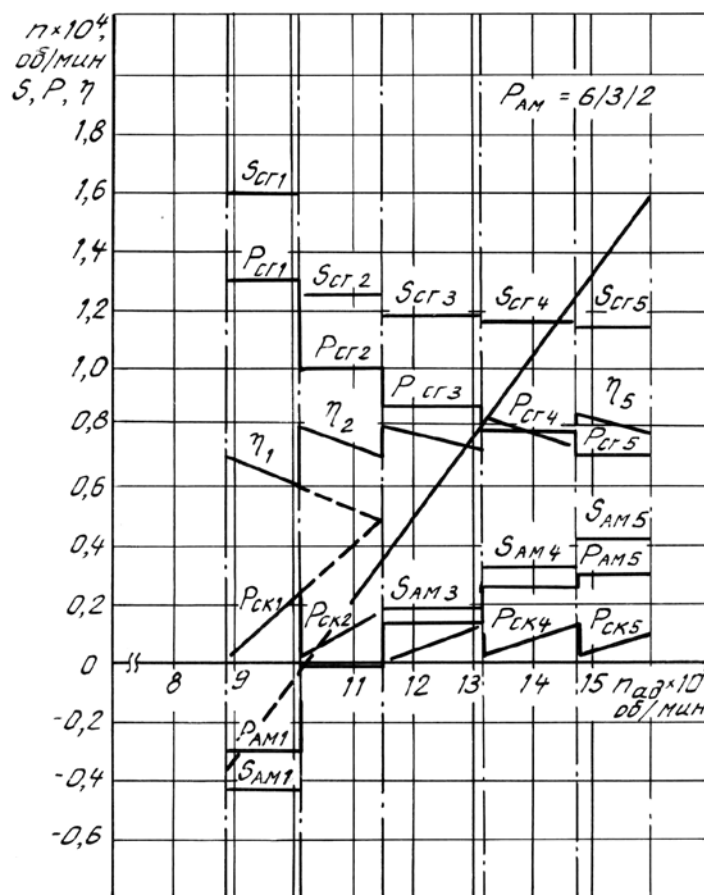


Рис. 5. Расчетные характеристики асинхронно-синхронного генераторного агрегата (вариант 4)
Fig. 5. Design characteristics of the asynchronous-to-synchronous generating aggregate (option 4)

На пятой ступени асинхронная машина работает в генераторном режиме при минимальном числе полюсов, и ее активная мощность достигает $0,31 P_c$. Полные мощности машин составляют $S_{ам5} = 0,42 P_c$ и $S_{сг5} = 1,2 P_c$, а изменению частоты вращения авиадвигателя от 14700 до 16000 об/мин соответствует изменение потерь скольжения от $0,015 P_c$ до $0,1 P_c$. Коэффициент полезного действия при этом изменяется от 0,82 до 0,77.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Использование двигательного режима работы асинхронной машины на первой ступени и связанная с этим циркуляция активной мощности в контуре агрегата требуют завышения расчетной мощности синхронного генератора пропорционально потребной частоте докрутки вала генератора (для вариантов 1, 2 и 3 соответственно на 56 %, 36 % и 28 %) либо соответствующего ограничения отдаваемой в сеть мощности (соответственно до 13, 19, 21 кВ·А при номинальной мощности 30 кВ·А). В связи с тем, что при номинальной нагрузке равновероятна работа авиадвигателя во всем диапазоне частот вращения, последнее ограничение делает использование двигательной ступени нецелесообразным.

2. В связи со сложностью обеспечения потребной величины момента асинхронной машины при возбуждении ее переменным и постоянным током следует отдать предпочтение режиму асинхронного тормоза (в этом случае отпадает необходимость в источнике постоянного тока и упрощается схемная реализация режима). Несмотря на то что в этом случае на 10–11 % снижается среднее значение коэффициента полезного действия на ступени (см. варианты 2 и 4), определяющим фактором остается суммарная величина расчетных мощностей.

3. Разработка дифференциального асинхронно-синхронного привод-генераторного агрегата с тремя генераторными ступенями асинхронной машины позволяет:

– снизить величину расчетной электромагнитной мощности синхронного генератора до 93 % от номинального значения;

– обеспечить высокое среднее значение коэффициента полезного действия (77 %) при среднем значении потерь скольжения, не превышающем 10 % от номинальной мощности, отдаваемой в сеть;

– избежать сложностей, связанных с необходимостью реализовывать тормозные режимы работы асинхронной машины;

– предельно упростить и повысить надежность схемы управления асинхронной машиной.

4. Применительно к современным газотурбинным двигателям, длительная работа которых возможна только при определенных фиксированных частотах вращения, число ступеней работы генераторного агрегата и режимы работы асинхронной машины нужно выбирать такими, чтобы обеспечить наилучшие показатели именно при этих частотах, допуская относительно большие величины потерь при кратковременных переходных режимах работы авиадвигателя. Решить такую задачу можно путем выбора соответствующих передаточных отношений дифференциального редуктора, режимов работы и чисел полюсов асинхронной машины в каждом конкретном случае.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Красношарпа М.М.** Генераторы переменного тока стабильной и регулируемой частоты. Киев: Техника, 1974. 168 с.

2. **Мишин С.В.** Управляемый дроссель-трансформатор в структуре электромеханической системы генерирования переменного тока постоянной частоты // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 213. С. 22–27.

3. **Красношарпа Д.М., Мишин С.В.** Синтез математической модели ДАСПГА с управляемым дроссель-трансформаторным регулятором // Техническая электродинамика. 1992. № 1. С. 57–63.

4. **Мишин С.В., Голованов И.Г.** Проблемы генерирования электрической энергии переменного тока постоянной частоты на современных воздушных судах // Научный Вестник МГТУ ГА. Серия Авионика и электротехника. 2007. № 112. С. 132–135.

5. **Левин А.В., Халютин С.П., Жмуров Б.В.** Тенденции и перспективы развития авиационного электрооборудования // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 213. С. 50–57.

6. **Mechem M., Norris G.** Electric Jet. Aviation Week and Space Technology. November 26. 2007.

7. **Moir I.** Aircraft Systems: Mechanical, electrical, and avionics subsystems integration. Third Edition / I. Moir, A. Seabridge. John Wiley & Sons, Ltd. publ., 2008. 504 p.

8. **Мишин С.В.** Об особенностях аварийных режимов в авиационных электромеханических системах генерирования переменного тока постоянной частоты // Актуальные проблемы современной науки: сборник статей Международной научно-практической конференции 2013 г. Ч. 4. Уфа: РИЦ БашГУ, 2013. С. 194–197.

9. **Мишин С.В., Мишина И.В.** Особенности рабочих процессов в системах генерирования переменного тока постоянной частоты // Научный Вестник МГТУ ГА. 2012. № 185. С. 138–145.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Мишин Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, декан факультета авиационных систем и комплексов Иркутского филиала МГТУ ГА, s.mishin@mstusa.aero.

OPTIMIZING THE AVIATION ELECTROMECHANICAL DRIVE-GENERATING AGGREGATE KINEMATICS CHOICE

Sergey V. Mishin¹

¹*Moscow State Technical University of Civil Aviation, Irkutsk, Russia*

ABSTRACT

The article continues the aviation electro mechanics drive-generating aggregate structure research and aims to form the recommendations for getting the best possible combination of operating performance of such aggregate. Using the motoring of asynchronous machine on the first stage and the circulation of active-power related to it in the aggregate contour require synchronous generator over motoring in proportion to the required shaft speed rotation of the generator. Due to the difficulty to provide the required value of asynchronous machine moment, when starting it with AC or DC, one should give preference to the asynchronous brake (in this case the necessity for the source of direct-current is eliminated and the scheme realization of the mode is simplified). The development of differential asynchronously-synchronous drive-generating aggregate with three generator stages of asynchronous machine allows decreasing the value of synchronous generator electromagnetic power, to provide the high average value of aggregate performance efficiency. Applied to modern turbo-engines which continuous work is only possible at certain fixed rotation speed, the number of generator aggregate operational stages and operation modes of asynchronous machine need to be chosen in order to provide the best possible indexes exactly at these speeds, assuming the relatively large values of losses at brief transient operational modes of aircraft engine. The calculation series results of power performance of aviation electro mechanics asynchronously-synchronous drive-generating aggregate are presented in the article. On the basis of these results the author could give the recommendations for aggregate structure and operational modes choice for asynchronous machine optimization. The development of drive-generating aggregate with three generating steps of the asynchronous machine allows to reduce its specific weight due to the value of estimated electromagnetic power of the synchronous generator.

Key words: drive-generating aggregate, an electromechanical system of generating, alternating current of constant frequency, operating mode of the asynchronous machine.

REFERENCES

1. **Krasnoshapka M.M.** *Generatory peremennogo toka stabil'noy i reguliruemoy chastoty* [Alternating current generators of stable and adjustable frequency]. Kiev, Tekhnika publ., 1974, 168 p. (in Russian)
2. **Mishin S.V.** *Upravlyaemy drossel'-transformator v strukture elektromekhanicheskoy sistemy generirovaniya peremennogo toka postoyannoy chastoty* [The controlled choke transformer in structure of electromechanical system of generation of an alternating current of constant frequency]. *Nauchnyy Vestnik MGTU GA* [Scientific bulletin of the MSTUCA], 2015, no. 213, pp. 22–27. (in Russian)
3. **Krasnoshapka D.M., Mishin S.V.** *Sintez matematicheskoy modeli DASPGA s upravlyayemym drossel transformatornym regulyatorom* [Synthesis of a mathematical model DASDGA with councils given the choke-transformer controller]. *Tekhnicheskaya-ehlektrodinamika* [Technical electrodynamics]. Ed. Academy of Sciences of Ukraine, 1992, no. 1, pp. 57–63. (in Ukraine)
4. **Mishin S.V., Golovanov I.G.** *Problemy generirovaniya elektricheskoy energii peremennogo toka postojannoy chastoty na sovremennykh vozdushnykh sudakh* [Problems of generation of electrical energy of an alternating current of constant frequency on the modern aircrafts]. *Nauchnyy Vestnik MGTU GA* [Scientific bulletin of the MSTUCA]. *Seriya Avionika i elektrotekhnika* [Avionics and electrical equipment series], 2007, no. 112, pp. 132–135. (in Russian)
5. **Levin A.V., Khalyutin S.P., Zhmurov B.V.** *Tendencii i perspektivy razvitiya aviacionnogo ehlektrooborudovaniya* [Trends and prospects of aviation equipment development]. *Nauchnyy Vestnik MGTU GA* [Scientific bulletin of the MSTUCA], 2015, no. 213, pp. 50–57. (in Russian)
6. **Mechem M., Norris G.** Electric Jet. Aviation Week and Space Technology. November 26. 2007.

7. **Moir I.** Aircraft Systems: Mechanical, electrical, and avionics subsystems integration. Third Edition / I. Moir, A. Seabridge. John Wiley & Sons, Ltd. publ., 2008. 504 p.

8. **Mishin S.V.** *Ob osobennostyah avarijnyh rezhimov v aviacionnyh ehlektromekhanicheskikh sistemah generirovaniya peremennogo toka postoyannoj chastoty* [About features of emergency operation in aviation electromechanical systems of generation of an alternating current of constant frequency]. *Aktual'nye problemy sovremennoj nauki: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Actual problems of the modern science: collection of articles of the International scientific and practical conference], 2013. Ch. 4. Ufa, Ed. RITS BashGU, 2013, pp. 194–197. (in Russian)

9. **Mishin S.V., Mishina I.V.** *Osobennosti rabochikh protsessov v sistemakh generirovaniya peremennogo toka postoyannoy chastoty* [Features of worker processes in systems of generation of an alternating current of constant frequency]. *Nauchnyy Vestnik MGTU GA* [Scientific bulletin of the MSTUCA], 2012, no. 185, pp. 138–145. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Mishin Sergey Vladimirovich, PhD, Associate Professor, Dean of the Department of Aviation Systems and Complexes of the Moscow State Technical University of Civil Aviation (Irkutsk Branch), s.mishin@mstuca.aero.