

Изобретение относится к области электромашиностроения, преимущественно к конструкции турбогенераторов продольно-поперечного возбуждения.

Ротора подобных машин снабжаются двумя и более обмотками для реализации принципа асинхронизации. При этом в синхронном режиме, в котором машина работает более 99% общего время эксплуатации, используются только две обмотки.

В настоящее время достаточно отработанным вариантом двухфазной обмотки является симметричная система, примененная в серийных турбогенераторах типа АСТГ-200 мощностью 200 МВт (1. Кабанов П.С., Мамиконянц Л.Г., Шакарян Ю.Г. и др.; Режимы работы, статические и динамические характеристики асинхронизированных турбогенераторов. - Электрические станции, 1983, № 10, с. 41-45. 2. Постников И.М., Асанбаев В.И., Финк А.Ф. и др. Исследование параметров и характеристик мощных асинхронизированных турбогенераторов в асинхронном режиме) ИЭД АН УССР, Препринт-339, Киев, 1984, с. 4-11). Такая система, основанная на использовании двух однослойных концентрических катушечных обмоток, показала себя достаточно надежной в эксплуатации, ибо в ней использованы решения, отработанные на катушечных обмотках обычных турбогенераторов.

Недостатком двухфазной симметричной обмотки является низкое использование обмоточной меди и плохая форма кривой магнитодвижущей силы (м.д.с.) при работе генератора в синхронных режимах.

Известны варианты несимметричных двухфазных систем с углом сдвига между фазными зонами обмотки (фазами) порядка 60° (3. Финк А.Ф. Исследование основных характеристик асинхронизированного турбогенератора с двухфазной однослойной обмоткой ротора (Техническая электродинамика, № 3. 1985, с.61-63). Однако в этом случае обмотка с хорошей формой кривой м.д.с. не может быть реализована в отработанном классе катушечных концентрических обмоток: приходится применять более сложную и менее надежную систему петлевых обмоток.

Известен также ротор турбогенератора АСТГ-200(4. Авторское свидетельство СССР № 1042133. кл. Н 02 К 1/26, 1983), в котором часть проводников нижней фазы обмоток, размещенных в пазах в один слой, выполняют поднятыми в верхнюю часть пазов. При этом лучше используется сечение зубцовой зоны ротора и облегчаются условия для прохождения магнитного потока по ротору, однако основные показатели асинхронизированного турбогенератора существенно не улучшаются.

Конструкцией, наиболее близкой к заявляемой, является ротор турбогенератора продольно-поперечного возбуждения (2), в котором двухфазная двухслойная концентрическая обмотка уложена одной фазой обмотки в нижний, а второй - в верхние слои пазов. Оси фаз обмоток сдвинуты на 90° . Существенным недостатком прототипа является снижение экономичности генератора при работе в синхронном режиме, связанное с насыщением зубцовой зоны ротора, а также низким обмоточным коэффициентом такой двухфазной системы.

В основу изобретения поставлена задача создания ротора турбогенератора продольно-поперечного возбуждения, в котором путем улучшения электромагнитных характеристик ротора обеспечивается резкое повышение экономичности турбогенератора в синхронном режиме.

Поставленная задача решается тем, что в роторе турбогенератора продольно-поперечного возбуждения, содержащем магнитопровод с пазами, в котором двухфазная двухслойная концентрическая обмотка уложена одной фазой, в основном, в нижний, а второй фазой - в верхний слои проводников, и оси фаз сдвинуты с образованием части пазов, в которых уложена только одна фаза обмотки, согласно изобретения, угол между осями пазов, содержащих проводники катушек с минимальной длиной витков в фазе, составляет $30-50^\circ$ для пазов с катушками одиночных фаз и $20-35^\circ$ для пазов с катушками, соответственно одной и двух фаз обмотки одновременно.

В отличие от устройства (2) (прототипа), в предложенной конструкции ротора с катушечными обмотками за счет уменьшенного сдвига осей фаз обмотки образован большой зуб - свободная от обмотки зона в районе продольной оси. снижающий магнитное сопротивление ротора по продольной оси. что в совокупности с повышением значения обмоточного коэффициента позволяет повысить экономичность машины в синхронном режиме. Предлагаемый диапазон угловых параметров зон, занимаемых фазами обмотки в сочетании с указанными угловыми размерами фаз обмотки позволяет резко сократить потери в обмотке возбуждения и на порядок снизить значение коэффициента добавочных потерь на поверхности статора от высших гармонических поля ротора, при этом асинхронные характеристики хотя и несколько снижаются по сравнению с прототипом (2), но все же остаются выше, чем у обычных турбогенераторов с одноосным возбуждением. Таким образом, настоящее изобретение позволяет резко повысить экономичность турбогенераторов продольно-поперечного возбуждения в синхронном режиме.

На чертежах представлены: фиг.1 - схема расположения обмоток в пазовой части ротора; фиг.2 - та же схема в развернутом виде; фиг.3 - вариант схемы расположения обмоток в пазовой части ротора в развернутом виде, в котором часть проводников нижней фазы обмотки поднята в верхний слой; фиг.4 - схематическое обоснование выбора углов расположения фаз обмотки; фиг.5 -угловые параметры обмотки двухфазного ротора турбогенератора продольно-поперечного возбуждения мощностью 220 МВт.

Обмотке ротора предлагаемой конструкции состоит из двух концентрических катушечных фаз обмотки 1 и 2 (фиг.1) и уложена в пазы ротора 3. Каждая фазная зона обмотки в пазовой части занимает сектор с углом γ , а между собой фазные зоны обмотки сдвинуты на угол β . На фиг.2 дана развертка схемы расположения обмоток в пазовой части половины сечения ротора, ограниченная продольной осью α . Из представленной схемы следует, что свободная от обмотки зона 4 в районе продольной оси d (большой зуб) появляется тогда, когда сумма рассматриваемых углов меньше 180° .

$$\gamma + \beta < 180^\circ \quad (1)$$

При этом ширина большого зуба составляет

$$\alpha = 180^\circ - (\gamma + \beta) \quad (2)$$

Указанные соотношения и угловые параметры обмоток не изменяются, если часть проводников 5 нижней фазы обмотки (см.фиг.3) в районе большого зуба поднята в верхний слой.

Выбор оптимальной зоны угловых параметров обмотки продольно-поперечного возбуждения, выполненной в виде двух однослойных катушек, должен производиться с учетом ограничения по углу γ - граничная кривая 6 на фиг.4, и по величине потерь обмотки P_t - сеть кривых 7, приведенных в относительных величинах.

Но в роторе с двумя фазами обмотки имеют место дополнительные существенные параметры, сужающие зону поиска наилучшего варианте.

В первую очередь - это ограничение по углу сдвига β , исходя из условий сохранения эффекта продольно-поперечного возбуждения в отношении требуемого запаса по устойчивости - отрезок прямой 8 (возможно, что в перспективе это ограничение может быть сдвинуто влево до величины $\beta = 20^\circ$).

Снизу зона поиска ограничена кривой 9 - предельным уровнем тепловыделений в пазу и, одновременно, пределом по току ротора, а сверху - отрезком 10, который представляет собой верхнюю границу угла γ по условиям разумного использования меди и по соображениям технологичности обмотки ротора.

Учитывая тенденцию к резкому сокращению величины воздушного зазора в перспективных конструкциях турбогенераторов с продольно-поперечным возбуждением и связанную с этим проблему борьбы с ростом добавочных потерь, одной из существенных компонент которых, зависящей от обмотки ротора, являются потери на поверхности статора от высших гармонических поля ротора $P_{\text{н}}$, пропорциональные коэффициенту $\varphi(\gamma, \beta)$. На фиг.4 в виде сетки замкнутых кривых нанесено поле значений коэффициента φ . Функция потерь достигает минимального значения $\varphi = 0,5$ в точке 13.

В реальных конструкциях оптимальный набор параметров обмотки следует искать междуточками 11 и 13 в очерченной области, руководствуясь комплексной целевой функцией, например, отысканием максимума коэффициента полезного действия. Но при прочих равных условиях, в машинах с относительно большим зазором точка оптимума будет ближе к точке 11, а в машинах с предельно малым зазором - к точке 13.

В координатах (γ, β) зона оптимальных параметров ротора предлагаемой конструкции дается соотношениями

$$\begin{aligned}\gamma &= 108 \dots 120^\circ \\ \beta &= 20 \dots 35^\circ\end{aligned}\quad (3)$$

На фиг.5 представлена развертка поперечного сечения ротора турбогенератора мощностью 220 МВт, в котором содержится предлагаемое изобретение.

Большая часть пазов имеет одновременно катушки обеих фаз обмотки и верхнего 1 и нижнего 2 слоев (если считать положение слоев по лобовым частям). Эти пазы выполнены с равномерным шагом $8,5^\circ$. Затем с пропуском в 10° в зоне 14 - зона установки балансировочных грузов, располагаются по три паза уменьшенной высоты, содержащие катушки только одной фазы обмотки, и расположенные с шагом $7,5^\circ$.

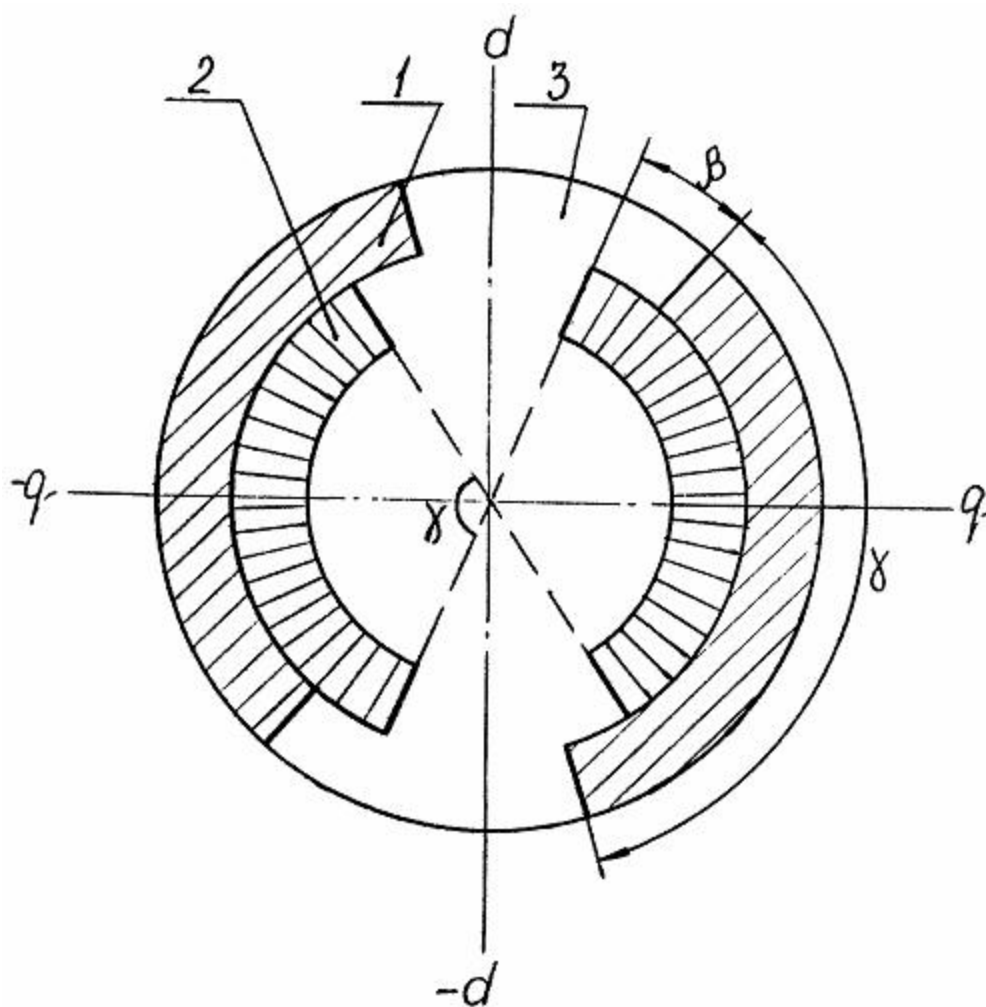
В описанной реальной конструкции угол сдвига фаз β для определенности, будем отсчитывать по осям пазов, содержащих внутренние концентрические катушки различных фаз обмотки, т.е. катушки с минимальной длиной витка в фазе обмотки.

Определить же угол γ непосредственными измерениями невозможно, ибо он измеряется не числом пазов, а числом пазовых шагов. При переменном шаге пазов это может вызвать неоднозначное толкование предмета изобретения, поэтому от системы угловых координат (γ, β) целесообразно перейти к системе (α, β) , связанных между собой простым линейным преобразованием (2). Тогда ограничения (3) с учетом характера границы 6 преобразуются в $\alpha = 30 \dots 50^\circ; \beta = 20 \dots 35^\circ$.

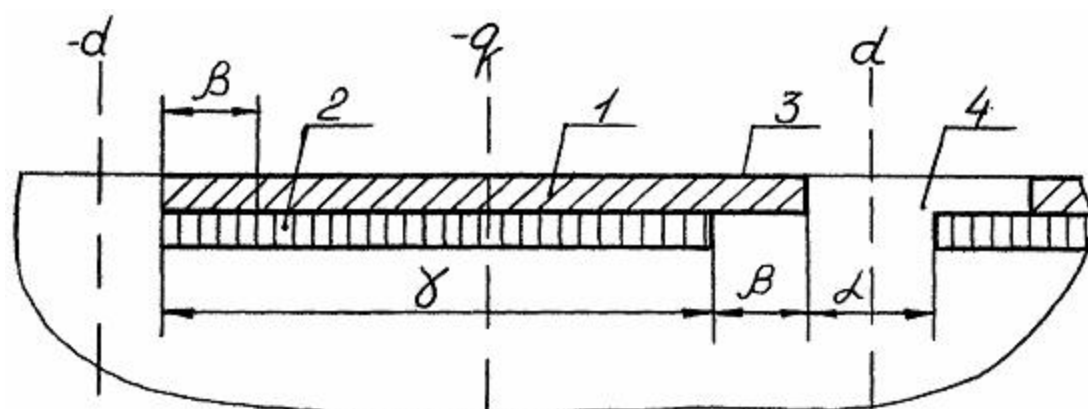
В приложении к схеме, представленной на фиг.5, эти углы составляют $\alpha = 45^\circ; \beta = 25^\circ$, а измерение их может быть осуществлено по осям пазов, 15, 16, 17, содержащих проводники катушек с минимальной длиной витка, т.е. внутренних концентрических катушек каждой фазы обмотки.

При работе турбогенератора с продольно-поперечным возбуждением, содержащего ротор предлагаемой конструкции, в синхронном режиме, при наиболее рациональном варианте возбуждения - одинаковых по величине токах в фазах обмотки 1 и 2, магнитный поток проходит по оси о, т.е. по пути наименьшего сопротивления (см.фиг. 1), что позволяет резко сократить потери в обмотке возбуждения и на порядок снизить значение коэффициента добавочных потерь на поверхности статора от высших гармонических поля ротора, таким образом. удаётся значительно повысить технико-экономические показатели турбогенераторов продольно-поперечного возбуждения (см.таблицу).

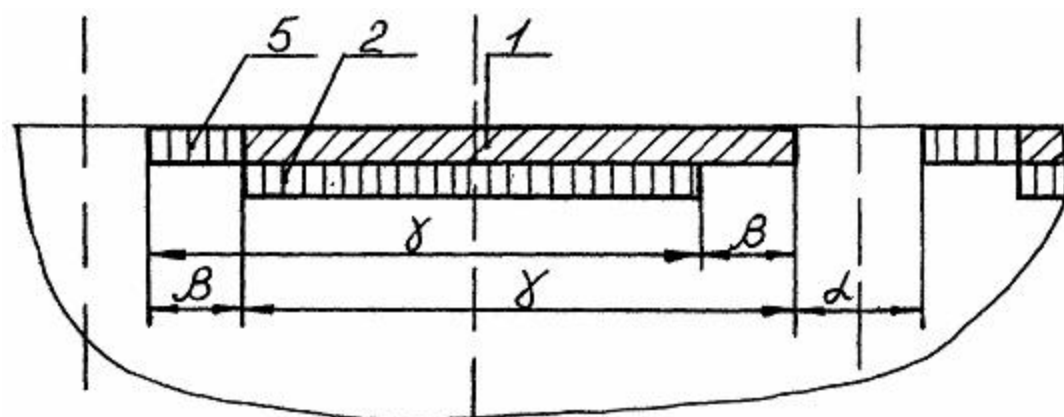
Параметр	Един. измер.	Прототип – серийный турбогенератор типа АСТГ-200	Турбогенератор с ротором предлагаемой конструкции (проект)
Мощность	МВт о.е. о.е.	200 0,9 не ограничен	220 0,85 не ограничен
Потери по возбуждению	кВт	1080	380
Коэффициент добавочных потерь φ	о.е.	21	1
Коэффициент полезного действия	%	98,5	98,8



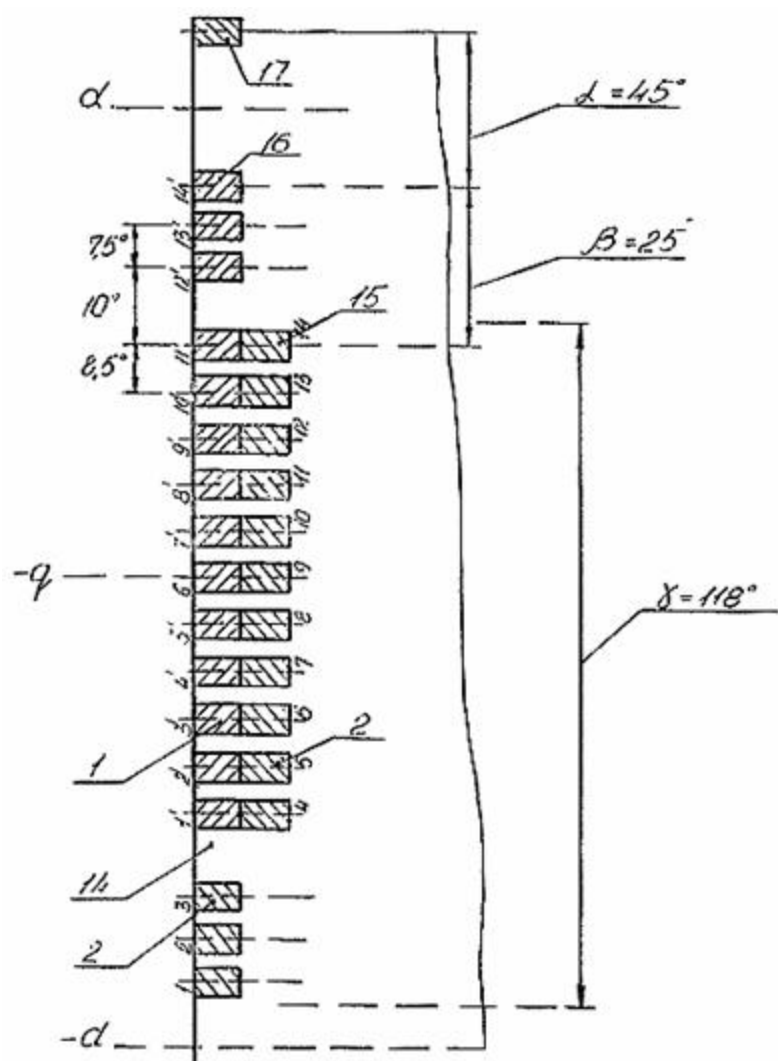
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 5