

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036846**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.12.28

(51) Int. Cl. **H02P 9/10** (2006.01)
H02J 3/16 (2006.01)

(21) Номер заявки
201991401

(22) Дата подачи заявки
2018.04.23

(54) СПОСОБ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В РЕЖИМЕ ПЕРЕВОЗБУЖДЕНИЯ ДЛЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

(31) 201710130467.1

(56) CN-A-106788019

(32) 2017.03.07

CN-A-103580569

(33) CN

CN-A-106160607

(43) 2019.10.31

CN-A-105871269

(86) PCT/CN2018/084026

US-A1-2008052059

(87) WO 2018/161974 2018.09.13

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЭнАР ЭЛЕКТРИК КО., ЛТД; ЭнАР
ЭНЖИНИРИНГ КО., ЛТД (CN)

(72) Изобретатель:
У Лун, Лю Вэйцюнь, Ши Сянцзянь
(CN)

(74) Представитель:
Носырева Е.Л. (RU)

(57) Согласно изобретению представлен новый способ регулирования реактивной мощности в режиме перевозбуждения для синхронного генератора. Способ включает измерение напряжения статора, тока статора, активной мощности и реактивной мощности синхронного генератора; расчет допустимого верхнего предельного значения реактивной мощности генератора на основании допустимого тока статора и нагревания статора генератора и расчет значения реактивной мощности, допустимого при минимальном токе статора генератора, на основании реактивного сопротивления контакта между генератором и сетью; последующее сравнение тока статора с его допустимым значением; расчет избыточного количества тепла статора генератора, если рассчитанный фактический ток статора больше, чем его допустимое значение; вход в режим регулирования ограничения реактивной мощности в режиме перевозбуждения, если избыточное количество тепла генератора достигает верхнего предела допустимой нормы нагревания генератора; наконец, использование большего значения допустимого верхнего предельного значения реактивной мощности или допустимого значения реактивной мощности в качестве целевого значения регулирования реактивной мощности и поддержание выходной реактивной мощности генератора на уровне целевого значения. Настоящее изобретение может обеспечить безопасность генератора и способствует поддержанию напряжения сети для улучшения стабильности эксплуатационных характеристик системы питания.

036846 B1

036846 B1

Область техники

Настоящее изобретение относится к области возбуждения генератора и, в частности, к новому способу регулирования реактивной мощности в режиме перевозбуждения для синхронного генератора.

Предпосылки изобретения

Синхронный генератор содержит две обмотки, которыми являются обмотка якоря и обмотка магнитного поля. Обмотка якоря обычно представляет собой трехфазную статическую обмотку переменного тока, поэтому ее также называют обмоткой статора, и обмотка магнитного поля обычно представляет собой вращающуюся обмотку постоянного тока, которая также известна как обмотка ротора. Постоянный ток, протекающий через обмотку ротора, также называют током ротора; ток ротора создает магнитное поле, которое вращается с ротором в обмотке ротора; вращающееся магнитное поле пересекает обмотку статора для индуцирования напряжения статора; после подключения к сети генератор посылает активную мощность в сеть через статор и в то же время обменивается реактивной мощностью с сетью, при этом через обмотку статора протекает ток, который также называют током статора. При работе синхронного генератора активная мощность определяется механической мощностью, подводимой первичным двигателем, и реактивная мощность регулируется выходом тока ротора из системы возбуждения, при этом реактивная мощность приводит к увеличению тока статора и вызывает увеличение внутренних потерь генератора, что вызывает повышение внутренней температуры статора. Так как тепло находится в сильной обратной временной зависимости от тока статора, то чем больше ток статора, тем быстрее повышается температура обмотки статора и тем короче может быть допустимая продолжительность тока статора. Если уровень перегрузки по току обмотки статора генератора невозможно точно контролировать в реальном времени, то, когда температура статора превысит допустимый верхний предел температуры статора, произойдет перегрев и повреждение статора генератора, что приведет к большим прямым экономическим потерям и косвенным экономическим потерям.

Так как активная мощность не имеет никакого отношения к регулированию возбуждения, то при работе генератора система возбуждения главным образом управляет током статора генератора путем регулирования реактивной мощности генератора для обеспечения надежной работы статора генератора. Система возбуждения генератора является общим термином для всего оборудования, которое подает и регулирует ток магнитного поля. В настоящее время систему возбуждения генератора обычно снабжают функциями ограничения перегрузки по току статора и ограничения реактивной мощности в режиме перевозбуждения, при этом процесс ограничения перегрузки по току статора заключается в том, что регулятор возбуждения сравнивает ток статора, измеренный в реальном времени, с предварительно определенным заданным значением ограничения перегрузки по току статора; когда фактический ток статора и выработка тепла больше, чем заданное значение ограничения, функция ограничения перегрузки по току статора активируется; если реактивная мощность генератора больше чем 0, то снижается ток магнитного поля, или если реактивная мощность генератора меньше чем 0, то повышается ток магнитного поля синхронного генератора для достижения цели регулирования тока статора генератора; процесс ограничения реактивной мощности в режиме перевозбуждения заключается в том, что регулятор возбуждения сравнивает реактивную мощность генератора, измеренную в реальном времени с предварительно определенным заданным значением ограничения реактивной мощности в режиме перевозбуждения; когда реактивная мощность больше, чем заданное значение ограничения, функция ограничения реактивной мощности в режиме перевозбуждения активируется после фиксированной задержки (обычно 20 с), реактивная мощность регулируется снова до заданного значения ограничения для обеспечения того, что генератор работает в предварительно определенном диапазоне реактивной мощности.

Функция ограничения реактивной мощности в режиме перевозбуждения, предусмотренная в вышеуказанной системе возбуждения, была упрощена тем, что установка значения ограничения реактивной мощности в режиме перевозбуждения является сравнительно простой, что главным образом определяется на основании диапазона реактивной мощности генератора во время работы, и тем, что когда реактивная мощность превышает заданное значение ограничения, регулирование просто активируется после задержки для регулирования реактивной мощности генератора снова до заданного значения ограничения. Регулирование возбуждения генератора очень важно для стабилизации эксплуатационных характеристик сети, когда генератор подключен к сети, поэтому необходимо максимально использовать способность генератора стабильно поддерживать электрическую сеть путем обеспечения безопасности генератора. Диапазон реактивной мощности и время генератора связаны с нагреванием обмотки якоря генератора, а также связаны с работой сети; в дополнение к этому выход за границы предельного значения реактивной мощности и допустимого времени действия также должен быть связан с реактивной мощностью. В настоящее время ограничение реактивной мощности служит только для информирования обслуживающего персонала об избыточной реактивной мощности.

Функция ограничения перегрузки по току статора может работать нормально в нормальных условиях эксплуатации генератора и сети (напряжение находится в номинальном значении, и активная мощность не превышает номинальное значение); причиной увеличения тока статора главным образом является выход за границы предельного значения тока магнитного поля (слишком большой или слишком маленький), при этом цель регулирования тока статора до заданного значения ограничения может быть до-

стигнута путем регулирования тока магнитного поля. Однако в некоторых особых условиях эксплуатации, таких как низкое напряжение, вызванное сбоями в сети, или большая активная мощность, вызванная сбоями регулятора генератора, после активации функции ограничения перегрузки по току статора ток статора не может быть отрегулирован до предварительно определенного целевого значения, и ток магнитного поля, реактивная мощность и напряжение статора в процессе регулирования могут значительно колебаться. На основании своего инженерного опыта некоторые технические специалисты заметили, что это явление происходит, когда реактивная мощность синхронного генератора мала, поэтому в большинстве систем возбуждения генератора реактивную мощность добавляют в качестве условия функции ограничения перегрузки по току статора синхронного генератора; когда реактивная мощность превышает определенный порог, то активируется ограничение перегрузки по току статора синхронного генератора. Однако существует эксплуатационная практика, которая доказывает, что повышение реактивной мощности не может по сути решить вышеуказанную проблему.

Таким образом, авторы изобретения намерены исследовать и улучшить функцию регулирования ограничения реактивной мощности в режиме перевозбуждения с обеспечением достижения цели относительно логики пуска и регулирования функции ограничения реактивной мощности в режиме перевозбуждения и решения в отношении явления и проблемы того, что ток магнитного поля, реактивная мощность и напряжение якоря значительно колеблются, когда ток статора ограничен конкретным условием эксплуатации. Задачи, которые необходимо решить, можно свести к следующим:

(I) исследование проблемы определения допустимого значения реактивной мощности при фактической работе и исследование основной причины явления и проблемы того, что ограничение перегрузки по току статора приводит к тому, что ток магнитного поля, реактивная мощность и напряжение якоря начинают значительно колебаться;

(II) разработка конкретно ориентированных технологий и способов для обеспечения того, что выходная реактивная мощность синхронного генератора не только способствует снижению нагревания статора генератора с обеспечением безопасности генератора, но и способствует поддержанию напряжения сети для улучшения стабильности эксплуатационных характеристик системы питания в любых условиях эксплуатации; и в то же время решение проблемы, заключающейся в том, что ограничение перегрузки по току статора приводит к тому, что ток магнитного поля, реактивная мощность и напряжение якоря начинают значительно колебаться в определенных условиях эксплуатации;

(III) разработка практических технических решений и предложение способа реализации и модели работы нового способа регулирования ограничения реактивной мощности в режиме перевозбуждения для генератора.

Сущность изобретения

Целью настоящего изобретения является обеспечение нового способа регулирования реактивной мощности в режиме перевозбуждения для генератора, который обеспечивает то, что система возбуждения генератора может соответствующим образом активировать функцию ограничения реактивной мощности в любых условиях эксплуатации, что способствует не только регулированию тока якоря в пределах допустимого диапазона нагревания генератора с обеспечением безопасной эксплуатации генератора, но и поддержанию напряжения сети для улучшения стабильности эксплуатационных характеристик системы питания.

Для достижения вышеуказанной цели решение согласно настоящему изобретению представляет собой следующее.

Новый способ ограничения реактивной мощности, в котором сначала рассчитывают верхнее предельное значение реактивной мощности для длительной эксплуатации при нагревании статора генератора и реактивной мощности, возможной при минимальном токе статора, на основании активной мощности, реактивной мощности, напряжения статора, тока статора генератора и реактивного сопротивления контакта между генератором и сетью.

$$\begin{cases} Q_{G1}(U_t, P_e) = \sqrt{U_t^2 i_{lim}^2 - P_e^2} \\ Q_{G2}(U_t, P_e) = \frac{U_t^2}{2X_E} \sqrt{\frac{U_t^4}{4X_E^2} - P_e^2} \end{cases}$$

где i_{lim} - допустимое значение тока статора;

X_E - реактивное сопротивление контакта между генератором и сетью;

P_e - активная мощность;

U_t - напряжение статора;

Q_{G1} - допустимое верхнее предельное значение реактивной мощности, рассчитанное на основании допустимого нагревания статора; и

Q_{G2} - допустимое значение реактивной мощности, рассчитанное на основании минимального тока статора;

сравнивают измеренный ток статора с заданным значением тока статора, допустимым при нагревании статора генератора, при этом если измеренный ток статора превышает заданное значение, то количество тепла генератора рассчитывают следующим образом:

$$\begin{cases} i_t^2 = \frac{P_e^2 + Q_t^2}{U_t^2} \\ i_t > i_{th} \\ C_t = \int (i_t^2 - i_m^2) dt \\ C_t > C_a \end{cases}$$

где i_{tn} - номинальный ток статора;
 i_{th} - начальное значение для расчета нагревания статора;
 C_t - рассчитанное значение тепломкости статора;
 C_a - допустимое заданное значение нагревания статора;
 P_e - активная мощность;
 U_t - напряжение статора и
 I_t - ток статора;

когда количество тепла генератора достигает допустимого верхнего предела, активируют функцию ограничения реактивной мощности генератора в режиме перевозбуждения, и регулирование возбуждения переводят на регулирование реактивной мощности генератора; при измерении регулирования используют реактивную мощность и целевое значение регулирования реактивной мощности представляет собой максимальное значение между допустимым верхним предельным значением реактивной мощности допустимого расчета нагревания статора и допустимым значением реактивной мощности, рассчитанным на основании минимального тока статора, а именно:

$$Q_G(U_t, P_e) = \max\{Q_{G1}(U_t, P_e), Q_{G2}(U_t, P_e)\},$$

где Q_{G1} - допустимое верхнее предельное значение реактивной мощности, рассчитанное на основании допустимого нагревания статора;

Q_{G2} - допустимое значение реактивной мощности, рассчитанное на основании минимального тока статора; и

Q_G - целевое значение регулирования реактивной мощности в режиме перевозбуждения.

Положительный эффект настоящего изобретения заключается в том, что настоящее изобретение по существу объединяет ограничение реактивной мощности в режиме перевозбуждения и ограничение перегрузки по току статора по сравнению с функциями обычного ограничения реактивной мощности в режиме перевозбуждения и ограничения перегрузки по току статора; согласно ему обмотка статора рассматривается в качестве основной причины ограничения реактивной мощности, режим регулирования тока статора при ограничении перегрузки по току статора преобразовывается в регулирование реактивной мощности, и становится очевидным то, что отношение между реактивной мощностью и током статора генератора связано с активной мощностью, напряжением статора генератора и реактивным сопротивлением контакта между генератором и сетью. Настоящее изобретение не только решает проблему допустимого диапазона реактивной мощности, но и решает проблему, заключающуюся в том, что ток статора, реактивная мощность и напряжение статора значительно колеблется из-за того, что ограничение перегрузки по току статора входит в зону неэффективного регулирования, что способствует не только стабилизации тока статора в пределах допустимого диапазона нагревания генератора с обеспечением безопасной эксплуатации генератора, но и поддержанию напряжения сети для улучшения стабильности эксплуатационных характеристик системы питания.

Краткое описание графических материалов

На фиг. 1 представлена принципиальная схема модуля согласно настоящему изобретению;
на фиг. 2 представлена принципиальная схема применения согласно настоящему изобретению;
на фиг. 3 представлена общая схема функции согласно настоящему изобретению;
на фиг. 4 представлен график, на котором показано отношение эксплуатационного времени реактивной мощности в режиме перевозбуждения генератора к току статора;
на фиг. 5 представлен график, на котором показано отношение допустимого верхнего предела реактивной мощности при нагревании генератора к активной мощности;
на фиг. 6 представлен график, на котором показано отношение допустимого значения реактивной мощности минимального тока статора генератора к активной мощности.

Описание вариантов осуществления

После того как генератор подключают к сети, между генератором и сетью происходит переток мощности с генерированием тока статора. Ток статора имеет две функции: с одной стороны, он обеспечивает достаточный крутящий момент между обмоткой статора и обмоткой ротора для поддержания синхронной работы генератора и сети и преобразовывает входную механическую энергию с конца вала генератора в выходную электрическую мощность; с другой стороны, он также посылает реактивную мощность в сеть или поглощает реактивную мощность, что вместе с током ротора обеспечивает внутреннее магнитное поле генератора. Существует два фактора, которые влияют на реактивную мощность генератора: с одной стороны, если амплитуда реактивной мощности, генерируемой генератором, слишком большая, ток статора будет повышаться, что вызовет нагревание обмотки статора генератора, и бу-

дет повышаться температура, при этом температура обмотки статора будет определять границу тока статора и реактивную мощность генератора; с другой стороны, генератор генерирует реактивную мощность, одна часть которой компенсирует потери реактивной мощности реактивного сопротивления контакта между генератором и сетью, тогда как другая часть представляет собой обмен реактивной мощностью между генератором и сетью; так как напряжение сети является постоянным, то, когда активная мощность является постоянной, способность к обмену реактивной мощностью определяет ток генератора и сети; когда генератор находится в нормальном режиме работы, активная мощность обычно является большой; в случае неисправности обмотки статора ток неисправного статора главным образом определяется активной мощностью, при этом ограничение реактивной мощности оказывает ограниченное влияние на ток неисправного статора, и значением тока неисправного статора невозможно управлять путем регулирования возбуждения; когда обмотка статора является неисправной, релейная защита генератора быстро срабатывает с остановкой путем отключения для уменьшения степени повреждения, вызванного неисправностью; поэтому функция ограничения реактивной мощности генератора предусмотрена главным образом для величины реактивной мощности, которая обменивается между генератором и сетью при нормальных условиях. Во время работы генератора и системы возбуждения ток статора и реактивная мощность генератора контролируются в реальном времени, и реактивная мощность генератора регулируется в реальном времени на основании рабочего диапазона тока статора; существует два принципа определения рабочей границы реактивной мощности генератора в режиме перевозбуждения: предел перегрева обмотки статора и предел минимального тока статора.

Обмотка статора генератора размещена в сердечнике статора, и ее рабочая температура не может превышать определенного предела, иначе произойдет перегрев и повреждение обмотки статора. Целесообразно измерять температуру обмотки статора, так как перегрузка по току статора генератора непосредственно определяется температурой обмотки статора генератора, однако в технических применениях на практике из-за большого объема сердечника с обмоткой статора генератора, многочисленных точек измерения температуры и различных температур в различных точках трудно реализовать физическую величину, основанную на температуре обмотки статора в качестве предела тока статора. С другой стороны, повышение температуры обмотки статора генератора главным образом обусловлено теплом, вырабатываемым током, протекающим через статор в обмотке статора, который пропорционален току статора, возведенному в квадрат, и пропорционален сопротивлению обмотки статора и времени работы, и повышение температуры обмотки статора пропорционально теплу; фактически, как показано на фиг. 4, нагревание статора предназначено для расчета времени удерживания тока статора, то есть время действия реактивной мощности в режиме перевозбуждения, при этом время действия и ток статора имеют сильно обратозависимые временные характеристики. В дополнение к этому предел реактивной мощности генератора должен как обеспечивать отсутствие повреждения обмотки статора генератора избыточной температурой, так и поддерживать напряжение сети. Для того чтобы максимально использовать норму нагревания обмотки статора генератора для обеспечения поддержки напряжения сети, необходимо, чтобы генератор поддерживал выходную реактивную мощность после того, как будет активировано ограничение реактивной мощности в режиме перевозбуждения, при этом не произойдет перегрева и повреждения обмотки статора генератора, пока ток статора генератора не ниже, чем допустимый ток статора генератора; реактивную мощность не рекомендуется чрезмерно понижать для поддержания способности генератора поддерживать напряжение сети; реактивная мощность и активная мощность имеют круглую характеристику, показанную на фиг. 5, при этом радиус круглой характеристики связан с заданным значением тока статора, обеспечиваемым нагреванием статора генератора.

При нормальных обстоятельствах генератор аналогичен устройству, подсоединенному к реактивному сопротивлению контакта и шине бесконечной мощности (напряжение остается неизменным); как можно понять из вышеизложенного, активная мощность является независимой от регулирования возбуждения, и ток между генератором и сетью (ток статора) связан только с реактивной мощностью, которая обменивается между генератором и сетью; когда обмениваемая реактивная мощность составляет 0, ток статора является минимальным, при этом генератор должен вырабатывать реактивную мощность, и выработанная реактивная мощность равна реактивной мощности, которую теряет реактивное сопротивление контакта. Как известно, реактивная мощность, которую теряет реактивное сопротивление контакта, является произведением значения реактивного сопротивления и квадрата тока, протекающего через реактивное сопротивление, и можно подтвердить, что значение реактивной мощности генератора определяется минимальным током статора, и, как показано на фиг. 6, эта реактивная мощность связана с активной мощностью, напряжением статора, а также с реактивным сопротивлением контакта и повышается при повышении активной мощности; это является важным отличием от признаваемой прежде идеи о том, что "ток статора является минимальным, когда реактивная мощность генератора составляет 0". При нормальных обстоятельствах минимальный ток статора обычно не меньше, чем допустимый ток статора при нагревании статора генератора, однако, когда неисправность сети напряжения вызывает низкое напряжение или регулятор генератора дает сбой, в результате чего активная мощность превышает номинальное значение, минимальный ток статора больше, чем допустимый ток статора при нагревании статора генератора, при этом независимо от того, как регулировать выходной ток системы возбуждения, ток ста-

тора генератора не может обеспечить допустимый ток статора при нагревании статора, то есть вход в зону неэффективного регулирования предела тока статора, и будет происходить значительное колебание тока статора, тока возбуждения, напряжения статора и реактивной мощности, если не остановить регулирование тока статора. Своевременное определение того, находится ли регулирование тока статора в зоне неэффективного регулирования, и поддержание тока статора на минимальном уровне путем регулирования реактивной мощности не только сводит к минимуму выработку тепла генератора, что является оптимальным для работы генератора, но и поддерживает высокую выходную реактивную мощность, что способствует поддержанию генератором напряжения электрической сети.

Таким образом, новый способ регулирования реактивной мощности в режиме перевозбуждения принимает время, за которое ток статора генератора вызывает нагревание, за основу для начала ограничения в режиме перевозбуждения, решает проблему, связанную с тем, что постоянное значение ограничения реактивной мощности в режиме перевозбуждения является нецелесообразным, органически сочетает ограничение реактивной мощности в режиме перевозбуждения и ограничение перегрузки по току статора и своевременно дает оценку явлению зоны неэффективного регулирования путем расчета минимального значения тока статора, который обменивается между генератором и сетью, и тем самым решается проблема, заключающаяся в том, что ток статора, реактивная мощность и напряжение статора генератора значительно колеблются из-за ограничения тока статора в зоне неэффективного регулирования. Начальное значение ограничения реактивной мощности в режиме перевозбуждения, исследуемое согласно настоящему изобретению, рассчитывают следующим образом:

$$\begin{cases} i_t^2 = \frac{P_e^2 + Q_t^2}{U_t^2} \\ i_t > i_{th} \\ C_t = \int (i_t^2 - i_m^2) dt \\ C_t > C_a \end{cases}$$

где i_{tn} - номинальный ток статора,
 i_{th} - начальный порог расчета нагревания статора,
 C_t - рассчитанное значение теплоемкости статора,
 C_a - допустимое заданное значение нагревания статора,
 P_e - активная мощность,
 U_t - напряжение статора и
 I_t - ток статора.

Целевое значение регулирования начала ограничения реактивной мощности в режиме перевозбуждения рассчитывают следующим образом:

$$\begin{cases} Q_{G1}(U_t, P_e) = \sqrt{U_t^2 i_{tlim}^2 - P_e^2} \\ Q_{G2}(U_t, P_e) = \frac{U_t^2}{2X_E} \sqrt{\frac{U_t^4}{4X_E^2} - P_e^2} \\ Q_G(U_t, P_e) = \max\{Q_{G1}(U_t, P_e), Q_{G2}(U_t, P_e)\} \end{cases}$$

где i_{tlim} - допустимое значение тока статора,
 X_E - реактивное сопротивление контакта между генератором и сетью,
 P_e - активная мощность,
 U_t - напряжение статора,
 Q_{G1} - допустимое верхнее предельное значение реактивной мощности, рассчитанное на основании допустимого тока статора,
 Q_{G2} - допустимое значение реактивной мощности, рассчитанное на основании минимального тока статора и
 Q_G - целевое значение регулирования реактивной мощности в режиме перевозбуждения.

Техническое решение согласно настоящему изобретению подробно описано ниже со ссылкой на фигуры.

Как показано на фиг. 1, согласно настоящему изобретению предложен способ регулирования реактивной мощности в режиме перевозбуждения для генератора, который содержит модуль электрических измерений, модуль расчета допустимого верхнего предельного значения реактивной мощности, модуль расчета допустимого значения реактивной мощности минимального тока статора и модуль расчета логики начала ограничения, при этом модуль электрических измерений рассчитывает значение напряжения статора, тока статора, активной мощности и реактивной мощности генератора на основании входных сигнала напряжения и сигнала тока генератора и рассчитывает допустимое верхнее предельное значение реактивной мощности на основании активной мощности, напряжения статора и допустимого значения тока статора для длительной эксплуатации генератора.

$$Q_{G1}(U_t, P_e) = \sqrt{U_t^2 i_{tlim}^2 - P_e^2}$$

где i_{lim} - допустимое значение тока статора для длительной эксплуатации,
 P_e - активная мощность,
 U_t - напряжение статора.

Расчет допустимого значения реактивной мощности минимального тока статора на основании активной мощности, напряжения статора генератора и реактивного сопротивления контакта между генератором и сетью.

$$Q_{G2}(U_t, P_e) = \frac{U_t^2}{2X_E} \sqrt{\frac{U_t^4}{4X_E^2} - P_e^2}$$

где X_E - реактивное сопротивление контакта между генератором и сетью,
 P_e - активная мощность,
 U_t - напряжение статора.

Расчет количества тепла статора генератора на основании тока статора, номинального тока статора и начального значения расчета нагревания генератора.

$$\begin{cases} i_t > i_{in} \\ C_t = \int (i_t^2 - i_m^2) dt \end{cases}$$

где i_{in} - номинальный ток статора,
 i_{th} - начальное значение расчета нагревания статора,
 C_t - рассчитанное значение теплоемкости статора.

На фиг. 2 представлена принципиальная схема применения нового ограничения реактивной мощности в режиме перевозбуждения для генератора, раскрытого в настоящем изобретении, где

Q_t - реактивная мощность генератора,

Q_{G1} - допустимое верхнее предельное значение реактивной мощности, рассчитанное на основании длительного допустимого тока статора,

Q_{G2} - допустимое значение реактивной мощности, рассчитанное на основании минимального тока статора,

C_t - рассчитанное значение нагревания статора,

C_a - допустимое значение нагревания статора,

S_{Qoe1} - сигнал ограничения реактивной мощности в режиме перевозбуждения и

K_{La} , T_{ca1} , T_{ba1} , T_{ca2} и T_{ba2} - коэффициент усиления последовательного ПИД-регулятора, постоянные времени интегрирования и постоянные времени дифференцирования соответственно.

Рабочий принцип эксплуатации нового ограничения реактивной мощности в режиме перевозбуждения следующий. Сравнение рассчитанного фактического количества тепла C_t статора генератора с допустимым количеством тепла C_a статора генератора; отправка сигнала S_{Qoe1} ограничения реактивной мощности в режиме перевозбуждения, если рассчитанное фактическое количество тепла C_t статора генератора больше, чем допустимое количество тепла C_a статора генератора.

Рабочий принцип нового регулирования ограничения реактивной мощности в режиме перевозбуждения следующий. Сравнение допустимого верхнего предельного значения Q_{G1} реактивной мощности, рассчитанного на основании длительного допустимого тока статора, с допустимым значением Q_{G2} реактивной мощности, рассчитанным на основании минимального тока статора; использование большего из двух значений в качестве целевого значения Q_G реактивной мощности; вывод разницы между измеренной реактивной мощностью Q_t и целевым значением Q_G реактивной мощности в последовательный ПИД-регулятор, когда S_{Qoe1} установлен на 1; поддержание реактивной мощности Q_t генератора равной целевому значению Q_G реактивной мощности посредством функции последовательного ПИД-регулятора для поддержания устойчивой эксплуатации реактивной мощности генератора, что способствует не только стабилизации тока статора в пределах допустимого диапазона нагревания генератора для обеспечения безопасной эксплуатации генератора, но и поддержанию напряжения сети для улучшения стабильности эксплуатационных характеристик системы питания.

Представленные выше варианты осуществления лишь иллюстрируют техническую идею настоящего изобретения и объем правовой охраны настоящего изобретения не может быть ими ограничен; любые технические изменения, внесенные согласно настоящему изобретению или на основании указанных технических решений, входят в объем правовой охраны настоящего изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ регулирования реактивной мощности в режиме перевозбуждения для синхронного генератора, отличающийся тем, что включает

измерение напряжения статора, тока статора, активной мощности и реактивной мощности синхронного генератора;

расчет допустимого верхнего предельного значения реактивной мощности генератора на основании допустимого тока статора при нагревании статора генератора и расчет допустимого значения реактивной

мощности минимального тока статора генератора на основании реактивного сопротивления контакта между генератором и сетью;

сравнение рассчитанного фактического тока статора с его допустимым значением; расчет избыточного количества тепла статора генератора, если рассчитанный фактический ток статора больше, чем его допустимое значение; вход в режим регулирования ограничения реактивной мощности в режиме перевозбуждения, если избыточное количество тепла генератора достигает верхнего предела допустимой нормы нагревания генератора;

использование большего значения из допустимого верхнего предельного значения реактивной мощности и допустимого значения реактивной мощности минимального тока статора в качестве целевого значения регулирования реактивной мощности для поддержания выходной реактивной мощности генератора равной целевому значению.

2. Способ регулирования реактивной мощности в режиме перевозбуждения для синхронного генератора по п.1, отличающийся тем, что целевое значение регулирования реактивной мощности рассчитывают следующим образом:

$$\begin{cases} Q_{G1}(U_t, P_e) = \sqrt{U_t^2 i_{lim}^2 - P_e^2} \\ Q_{G2}(U_t, P_e) = \frac{U_t^2}{2X_E} \sqrt{\frac{U_t^4}{4X_E^2} - P_e^2} \\ Q_G(U_t, P_e) = \max\{Q_{G1}(U_t, P_e), Q_{G2}(U_t, P_e)\} \end{cases}$$

где i_{lim} - допустимое значение тока статора;

X_E - реактивное сопротивление контакта между генератором и сетью;

P_e - активная мощность;

U_t - напряжение статора;

Q_{G1} - допустимое верхнее предельное значение реактивной мощности, рассчитанное на основании допустимого нагревания статора;

Q_{G2} - допустимое значение реактивной мощности, рассчитанное на основании минимального тока статора; и

Q_G - целевое значение регулирования реактивной мощности в режиме перевозбуждения.

3. Способ регулирования реактивной мощности в режиме перевозбуждения для синхронного генератора по п.2, отличающийся тем, что логику пуска рассчитывают следующим образом:

$$\begin{cases} i_t^2 = \frac{P_e^2 + Q_t^2}{U_t^2} \\ i_t > i_{th} \\ C_t = \int (i_t^2 - i_m^2) dt \\ C_t > C_a \end{cases}$$

где i_{th} - номинальный ток статора;

i_{th} - начальный порог расчета нагревания статора;

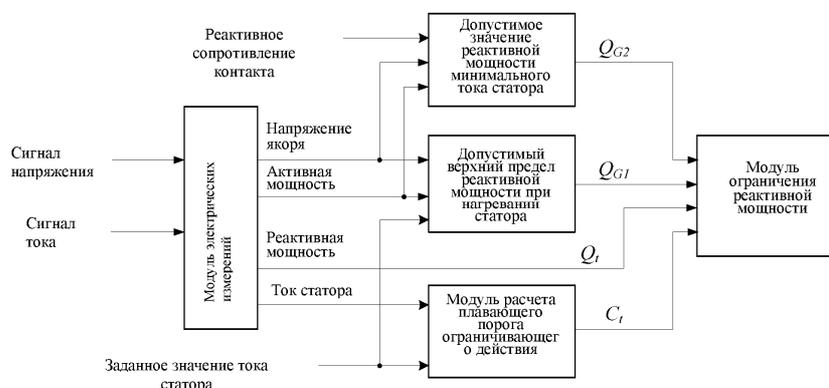
C_t - рассчитанное значение теплоемкости статора;

C_a - допустимое заданное значение нагревания статора;

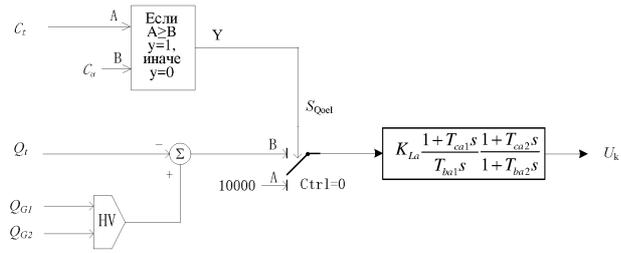
P_e - активная мощность;

U_t - напряжение статора и

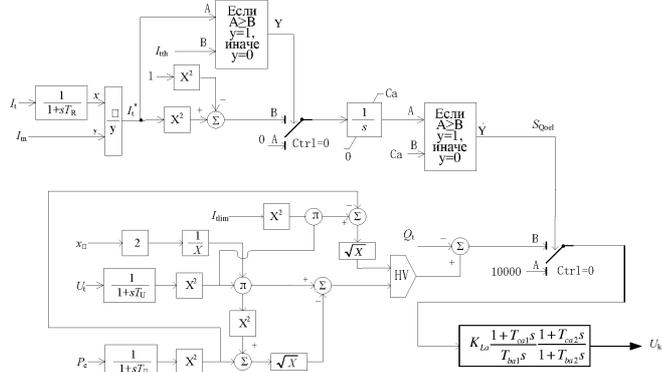
I_t - ток статора.



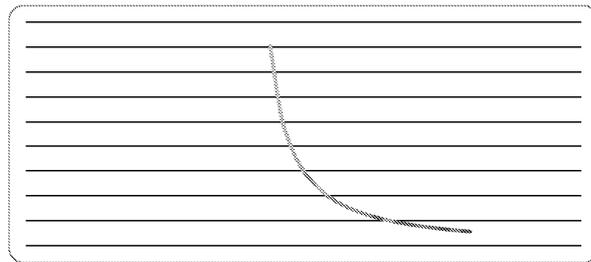
Фиг. 1



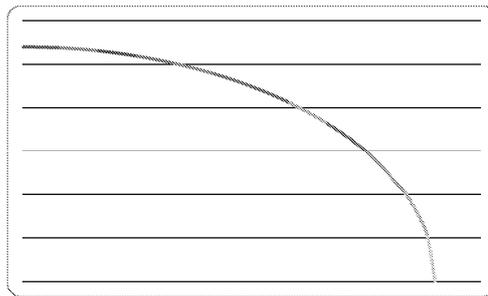
Фиг. 2



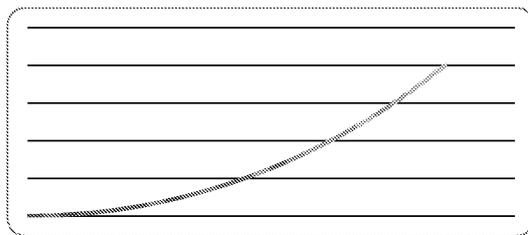
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6