

**(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

(22) Data de pedido: <b>2011.10.05</b>	(73) Titular(es): <b>SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT WITTELSBACHERPLATZ 2 80333 MÜNCHEN DE</b>
(30) Prioridade(s): <b>2010.10.14 DE 102010042458</b>	(72) Inventor(es): <b>JAN BRÜCKNER DE FRANK THOMAS DE ANTJE BURGEMEISTER DE</b>
(43) Data de publicação do pedido: <b>2013.07.17</b>	(74) Mandatário: <b>NUNO MIGUEL OLIVEIRA LOURENÇO PT RUA CASTILHO, Nº 50 - 9º 1269-163 LISBOA</b>
(45) Data e BPI da concessão: <b>2015.04.29 173/2015</b>	

(54) Epigrafe: **PROCESSO PARA A OPERAÇÃO DE UMA INSTALAÇÃO COMBINADA DE TURBINAS A GÁS E A VAPOR ASSIM COMO SISTEMA DE TURBINAS A GÁS E A VAPOR CONCEBIDO PARA A REALIZAÇÃO DO PROCESSO E DISPOSITIVO DE REGULAÇÃO CORRESPONDENTE**

(57) Resumo:

A INVENÇÃO REFERE-SE A UM PROCESSO PARA A OPERAÇÃO DE UMA INSTALAÇÃO COMBINADA DE TURBINAS A GÁS E A VAPOR QUE COMPREENDE UMA TURBINA A GÁS (GT); UM GERADOR DE VAPOR POR RECUPERAÇÃO DE CALOR RESIDUAL CONECTADO A JUSANTE DO LADO DO GÁS DE ESCAPE OU DO LADO DO GÁS COMBUSTÍVEL DA TURBINA A GÁS (GT), QUE APRESENTA PELO MENOS UMA SUPERFÍCIE DE AQUECIMENTO DE GERADOR DE VAPOR (6) QUE PODE SER ATRAVESSADA POR UM MEIO DE CIRCULAÇÃO, E; UMA TURBINA A VAPOR (DT) CONECTADA A JUSANTE DO LADO DO MEIO DE CIRCULAÇÃO DO GERADOR DE VAPOR POR RECUPERAÇÃO DE CALOR RESIDUAL, EM QUE O MEIO DE CIRCULAÇÃO É ALIMENTADO NO GERADOR DE VAPOR DE CALOR RESIDUAL SOB A FORMA DE ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO, EM QUE ESTÁ PREVISTO UM CIRCUITO DE REGULAÇÃO PRIMÁRIO PARA UMA REGULAÇÃO PREDITIVA DO FLUXO MÁSSICO DE ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO E EM QUE COM BASE NUM VALOR DE REFERÊNCIA DE SOBREAQUECIMENTO, QUE É CARACTERÍSTICO DO SOBREAUMENTO DE TEMPERATURA DO MEIO DE CIRCULAÇÃO EXISTENTE À SAÍDA DA SUPERFÍCIE DE AQUECIMENTO DE GERADOR DE VAPOR (6) EM RELAÇÃO À RESPECTIVA TEMPERATURA DE EBULIÇÃO E COM BASE NUM VALOR CARACTERÍSTICO DO FLUXO DE CALOR, QUE É CARACTERÍSTICO DO FLUXO DE CALOR TRANSFERIDO DO GÁS COMBUSTÍVEL PARA O MEIO DE CIRCULAÇÃO ATRAVÉS DA SUPERFÍCIE DE AQUECIMENTO DE GERADOR DE VAPOR (6), SOB CONSIDERAÇÃO DO CALOR ARMazenado NOS COMPONENTES DA SUPERFÍCIE DE AQUECIMENTO DE GERADOR DE VAPOR É DETERMINADO UM VALOR DE REFERÊNCIA PRIMÁRIO PARA O FLUXO MÁSSICO DE ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO E CORRESPONDENTEMENTE REAJUSTADO O FLUXO MÁSSICO DE ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO. O PROCESSO É CARACTERIZADO POR PARA A ATIVAÇÃO DA RESERVA IMEDIATA DE POTÊNCIA DISPONÍVEL A CURTO PRAZO, O VALOR DE REFERÊNCIA DE SOBREAQUECIMENTO SER REDUZIDO DE UM

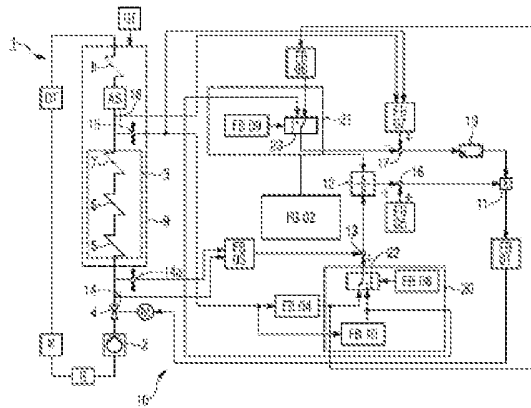
VALOR NORMAL, DEFINIDO PARA A OPERAÇÃO ESTACIONÁRIA DA INSTALAÇÃO DE TURBINAS A GÁS E A VAPOR COM UM GRAU DE EFICIÊNCIA RELATIVAMENTE ELEVADO, PARA UM VALOR DE ATIVAÇÃO MAIS REDUZIDO.

## RESUMO

### **"PROCESSO PARA A OPERAÇÃO DE UMA INSTALAÇÃO COMBINADA DE TURBINAS A GÁS E A VAPOR ASSIM COMO SISTEMA DE TURBINAS A GÁS E A VAPOR CONCEBIDO PARA A REALIZAÇÃO DO PROCESSO E DISPOSITIVO DE REGULAÇÃO CORRESPONDENTE"**

A invenção refere-se a um processo para a operação de uma instalação combinada de turbinas a gás e a vapor que compreende uma turbina a gás (GT); um gerador de vapor por recuperação de calor residual conectado a jusante do lado do gás de escape ou do lado do gás combustível da turbina a gás (GT), que apresenta pelo menos uma superfície de aquecimento de gerador de vapor (6) que pode ser atravessada por um meio de circulação, e; uma turbina a vapor (DT) conectada a jusante do lado do meio de circulação do gerador de vapor por recuperação de calor residual, em que o meio de circulação é alimentado no gerador de vapor de calor residual sob a forma de água de alimentação, em que está previsto um circuito de regulação primário para uma regulação preditiva do fluxo mássico de água de alimentação e em que com base num valor de referência de sobreaquecimento, que é característico do sobreaquecimento de temperatura do meio de circulação existente à saída da superfície de aquecimento de gerador de vapor (6) em relação à respetiva temperatura de ebulição e com base num valor característico do fluxo de calor, que é característico do fluxo de calor transferido do gás combustível para o meio de circulação através da superfície de aquecimento de gerador de vapor (6), sob consideração do calor armazenado nos componentes da superfície de aquecimento de gerador de vapor é determinado um valor de referência primário para o fluxo mássico de água de alimentação e correspondentemente reajustado o fluxo mássico de água de alimentação. O processo é caracterizado

por para a ativação da reserva imediata de potência disponível a curto prazo, o valor de referência de sobreaquecimento ser reduzido de um valor normal, definido para a operação estacionária da instalação de turbinas a gás e a vapor com um grau de eficiência relativamente elevado, para um valor de ativação mais reduzido.



### DESCRIÇÃO

#### **"PROCESSO PARA A OPERAÇÃO DE UMA INSTALAÇÃO COMBINADA DE TURBINAS A GÁS E A VAPOR ASSIM COMO SISTEMA DE TURBINAS A GÁS E A VAPOR CONCEBIDO PARA A REALIZAÇÃO DO PROCESSO E DISPOSITIVO DE REGULAÇÃO CORRESPONDENTE"**

A presente invenção refere-se a um processo para a operação de uma instalação combinada de turbinas a gás e a vapor que compreende uma turbina a gás e um gerador de vapor por recuperação de calor residual conectado a jusante do lado do gás residual ou do lado do gás combustível da turbina a gás de acordo com o preâmbulo da reivindicação 1. Além disso, a presente invenção refere-se a uma instalação de turbinas a gás e a vapor concebida para a realização do processo assim como a um dispositivo de regulação correspondente.

Um gerador de vapor por recuperação de calor residual é um permutador de calor, que recupera o calor de um fluxo de gás aquecido. Os geradores de vapor por recuperação de calor residual entre outros são utilizados em instalações de turbinas a gás e a vapor (instalações TGCC), que servem sobretudo para a produção de energia. Neste caso geralmente uma instalação TGCC moderna compreende uma a quatro turbinas a gás e pelo menos uma turbina a vapor, sendo que ou cada turbina respetivamente aciona um gerador (instalação de ondas múltiplas) ou uma turbina a gás em conjunto com a turbina a vapor aciona um único gerador numa onda comum (instalação de onda única). Os gases de escape quentes da turbina a gás neste caso são utilizados no gerador de vapor por recuperação de calor residual para a produção de vapor de água. Subsequentemente, o vapor é alimentado na turbina a vapor. Tipicamente aprox. dois

terços da potência elétrica recaem sobre a turbina a gás e um terço sobre a turbina a vapor.

Por questões de exatidão é de salientar que como meio de circulação para o gerador de vapor por recuperação de calor residual assim como para a turbina a vapor geralmente podem ser utilizadas diferentes substâncias. Em seguida é exemplificativamente feita referência à utilização de água ou de vapor de água, considerando que este é de longe o meio de circulação mais utilizado.

Analogamente aos diferentes níveis de pressão de uma turbina a vapor também o gerador de vapor por recuperação de calor residual geralmente compreende uma pluralidade de níveis de pressão com estados termodinâmicos diferenciados no modo operacional normal da mistura vapor - água contida, respetivamente. No circuito de água de alimentação ou de vapor o meio de circulação no respetivo percurso de circulação atravessa um economizador, em que o calor residual no fluxo do gás de escape é utilizado para o pré-aquecimento do meio de circulação. Segue-se o chamado gerador de vapor, que preferencialmente é realizado como gerador de vapor de circulação forçada e particularmente como gerador de vapor BENSON. À saída do gerador de vapor o meio de circulação está presente sob a forma de vapor ou de mistura água - vapor, sendo que eventual humidade residual é separada num dispositivo de separação neste ponto. Em seguida o vapor continua a ser aquecido no sobreaquecedor. Depois o vapor sobreaquecido circula para a parte de alta pressão da turbina a vapor, é relaxado e alimentado no gerador de vapor no nível de pressão subsequente. Aí é novamente sobreaquecido e subsequente encaminhado para o nível de pressão subsequente da turbina a vapor. À saída da turbina a vapor está conectado um condensador, em que o vapor relaxado é condensado e é alimentado num reservatório

como água de alimentação. Finalmente, uma bomba de água de alimentação transporta a água de alimentação do reservatório de volta para o economizador. O fluxo mássico de água de alimentação é controlado através de uma válvula de regulação conectada a jusante da bomba de água de alimentação.

Em função do estado operacional do gerador de vapor por recuperação de calor residual e, por conseguinte, do rendimento atual do gerador de vapor, o fluxo mássico de água de alimentação é regulado no circuito de água de alimentação e particularmente no gerador de vapor. No caso de alterações de carga, o débito do gerador de vapor deve ser alterado tanto quanto possível de forma síncrona com a entrada de calor nas superfícies de aquecimento do gerador de vapor, considerando que, caso contrário, não pode ser evitado um desvio da entalpia específica do meio de circulação de um valor de referência à saída do gerador de vapor. Um desvio da entalpia específica indesejado desta natureza dificulta a regulação da temperatura do vapor fresco que sai do gerador de vapor e, por conseguinte, conduz a cargas de material elevadas e, por conseguinte, a uma vida útil reduzida do gerador de vapor.

Para manter tanto quanto possível reduzidos desvios da entalpia específica do valor de referência desejado desta natureza e as oscilações de temperatura acentuadas indesejadas daí resultantes em todos os modos operacionais do gerador de vapor, quer dizer particularmente igualmente em estados transientes ou no caso de alterações de carga, a regulação do débito de água de alimentação pode ser realizada como uma disposição preditiva ou previsível. Neste caso, mesmo no caso de alterações de carga, devem ser disponibilizados os valores de referência do fluxo mássico de água de alimentação necessários em função do estado

operacional atual ou para os estados operacionais subsequentes. Um sistema de regulação conveniente para este efeito é descrito nos documentos europeus EP 2 065 641 A2 e EP 2 194 320 A1, ambos desta requerente. É feita referência expressa à totalidade da divulgação destes documentos.

Das centrais modernas não se exigem apenas graus de eficiência elevados, mais igualmente um modo operacional tanto quanto possível flexível. Deste, além de tempos de iniciação curtos e de velocidades de alteração de carga elevadas, fazem igualmente parte a possibilidade de compensar interferências de frequência na rede de energia. Para preencher estes requisitos, a central tem de ser capaz de disponibilizar potências adicionais de por exemplo 5% e superiores em poucos segundos.

Até ao momento geralmente em centrais TGCC convencionais isto é realizado através de um aumento de carga da turbina a gás. Em determinadas circunstâncias, particularmente na zona de carga superior, pode ser possível que o aumento de potência desejado não possa ser exclusivamente ou suficientemente rapidamente disponibilizado através da turbina a gás. Por conseguinte, atualmente são igualmente consideradas soluções em que a turbina a vapor pode e deve igualmente contribuir para o apoio da frequência, sobretudo nos primeiros segundos após uma solicitação de potência.

Isto pode ser realizado por exemplo através da abertura de válvulas de turbina parcialmente estranguladas da turbina a vapor ou de uma chamada válvula escalonada, pelo que é reduzida a pressão de vapor da turbina a vapor. Por conseguinte, o vapor do armazenador de vapor do gerador de vapor por recuperação de calor residual conectado a montante é armazenado e alimentado na turbina a vapor. Com

esta medida é alcançado um aumento de potência na central TGCC em poucos segundos.

Esta potência adicional pode ser liberada num período de tempo relativamente curto de modo que pode ser pelo menos parcialmente compensado o aumento de potência devido à turbina a gás (limitado pela respetiva velocidade de alteração de carga máxima condicionada pela respetiva construção e pela respetiva operação). A totalidade do bloco da central devido a esta medida realiza um salto de potência e, devido a um aumento de potência subsequente da turbina a gás, pode manter este nível de potência ou superá-lo de forma duradoura, desde que a instalação no momento das reservas de potência adicionalmente solicitadas se situe na zona de carga parcial.

Contudo, um estrangulamento permanente das válvulas das turbinas para a manutenção de uma reserva conduz sempre a uma perda do grau de eficiência de modo que para um modo operacional económico o grau de estrangulamento deve ser mantido tão reduzido quanto imprescindivelmente necessário. Além disso, algumas formas de construção de geradores de vapor por recuperação de calor residual, tais como por ex. geradores de vapor de circulação forçada, apresentam um volume de armazenamento significativamente mais reduzido do que por ex. geradores de vapor de circulação natural. A diferença na dimensão do armazenador no processo acima descrito tem influência sobre o comportamento no caso de alterações de potência da turbina a vapor da central TGCC.

Por conseguinte, a presente invenção tem por objetivo divulgar um processo para a operação de uma instalação de turbinas a gás e a vapor que compreende um gerador de vapor por recuperação de calor residual da natureza acima referida, em que, em caso de necessidade, pode ser

disponibilizada uma reserva imediata de potência, e, em que o grau de eficiência da instalação no caso do modo operacional normal não é sobrecarregado indevidamente. Simultaneamente deve ser possibilitado um aumento de potência rápido independentemente da forma de construção do gerador de vapor por recuperação de calor residual sem modificações construtivas invasivas significativas no sistema geral. Um outro objetivo da presente invenção é divulgar uma instalação de turbinas a gás e a vapor particularmente adequada para a realização do processo assim como um dispositivo de regulação correspondente.

O objetivo relativo ao processo de acordo com a presente invenção é alcançado através das características da reivindicação 1. As reivindicações dependentes parcialmente contêm aperfeiçoamentos vantajosos e parcialmente aperfeiçoamentos inventivos em si da presente invenção.

O ponto de partida para o desenvolvimento do processo de acordo com a presente invenção é o pensamento de aumentar temporariamente o débito de água de alimentação através do gerador de vapor. Devido a esta medida a energia térmica do gerador de vapor e das superfícies de aquecimento do sobreaquecedor subsequentes é armazenada e alimentada na turbina a vapor sob a forma de potência adicional.

Uma possibilidade de realizar isto em princípio pode ser a simples comutação do chamado "BENSON Control Mode", que é preferido devido a um grau de eficiência elevado no modo de funcionamento normal ou estandardizado, para o chamado "Level Control Mode".

No "Level Control Mode" o gerador de vapor dito de forma simples é permanentemente sobrealimentado com água de alimentação, quer dizer sobrealimentado. A água de

alimentação existente ainda não evaporada tem de ser separada do vapor num dispositivo de separação conectado a jusante. Assim, embora possa ser preenchido o requisito do aumento do fluxo mássico de água de alimentação para a disponibilização de potência adicional, nas condições referidas é igualmente gerada água residual indesejada à saída do gerador de vapor. Além disso, os conceitos de regulação de água de alimentação atuais são concebidos de modo que durante o procedimento de comutação entre os dois modos operacionais não é realizada qualquer correção brusca dos parâmetros. Em vez disso geralmente está prevista uma transição entre os dois estados do sistema dinâmicos gradual e, por conseguinte, relativamente morosa.

Pelo contrário, no "BENSON Control Mode", por meio de uma regulação preditiva, tenta-se conduzir exatamente a quantidade de água de alimentação através do gerador de vapor, de modo que esta tanto quanto possível é totalmente convertida em vapor fresco com um determinado estado termodinâmico. Neste caso é predeterminado o chamado valor de referência de sobreaquecimento à saída do gerador de vapor. A temperatura do vapor na referida saída deve situar-se acima da temperatura de ebulição do meio por um valor diferencial desejado. Em primeiro lugar é determinado um valor característico, que caracteriza o fluxo de calor para o gerador de vapor. Considerando as quantidades de calor armazenadas entre os componentes do gerador de vapor é gerada energia térmica que está disponível para a água de alimentação. A partir daí, por sua vez, pode ser calculada a quantidade de água de alimentação que com o auxílio do calor disponível pode ser convertida em vapor com um sobreaquecimento de temperatura de acordo com a prescrição. Através de um acionamento correspondente da válvula de regulação conectada a jusante da bomba de água de alimentação é ajustado o valor de referência primário para

o fluxo mássico de água de alimentação calculado deste modo.

Para a liberação de uma reserva imediata de potência de acordo com a presente invenção o valor de referência de sobreaquecimento é reduzido de um valor normal, definido para o modo de operação estandardizado da instalação de turbinas a gás e a vapor com um grau de eficiência relativamente elevado, para um valor de ativação mais reduzido. Por conseguinte é realizado um aumento do fluxo mássico de água de alimentação através do sistema de regulação. Isto, no caso da manutenção da oferta de calor do gás de fumo, tem como consequência direta uma redução do sobreaquecimento da temperatura do meio de circulação à saída do gerador de vapor. Finalmente são igualmente reduzidas as temperaturas dos materiais das superfícies de aquecimento em questão, quer dizer do gerador de vapor e do sobreaquecedor disposto a jusante. Como consequência desta redução da temperatura dos materiais finalmente a energia térmica das superfícies de aquecimento do gerador de vapor e do sobreaquecedor, devido ao débito elevado do meio, é armazenada com uma temperatura de meio reduzida e alimentada na turbina a vapor sob a forma de potência adicional.

Neste caso é vantajoso quando entre estes dois valores de referência de sobreaquecimento é realizada uma comutação abrupta e brusca, preferencialmente com um tempo de comutação de no máximo um segundo ou inferior. Deste modo, como reação a interferências de frequência na rede de energia, a reserva imediata de potência deve ser disponibilizada de forma tanto quanto possível rápida.

Considerando que à medida que diminui o valor de ativação, aumenta a altura da reserva imediata de potência é

vantajoso para o sobreamento de temperatura selecionar um valor próximo da temperatura de ebulição do meio. Simultaneamente uma aproximação demasiado próxima da temperatura de ebulição é desvantajosa considerando que neste caso é gerada uma maior quantidade de água residual indesejada à saída do gerador de vapor.

Neste âmbito como valor de ativação é considerado um sobreamento de temperatura em relação à temperatura de ebulição do meio compreendido entre 5 K e 15 K como compromisso conveniente. Como valor normal para o modo operacional estandardizado do gerador de vapor por recuperação de calor residual e da turbina a vapor pelo contrário é considerado um sobreamento de temperatura compreendido entre 30 K e 40 K no mínimo.

Para uma previsão mais exata do estado termodinâmico do vapor fresco de acordo com uma forma de realização melhorada está previsto não armazenar o ponto de ebulição como valor fixo numa memória, mas determiná-lo indiretamente preferencialmente através de uma medição de pressão constante à entrada do gerador de vapor ou à saída do gerador de vapor.

De acordo com uma forma de realização conveniente o cálculo do valor de referência primário para o fluxo mássico de água de alimentação é realizado pela formação do quociente. Neste caso, como numerador está previsto o valor característico do fluxo de calor, que caracteriza o fluxo de calor transferido do gás de fumo para o gerador de vapor, sob consideração das quantidades de calor armazenadas entre os componentes do gerador de vapor. O denominador, por sua vez, é formado pela diferença entre um valor de referência de entalpia do meio à saída do gerador de vapor, caracterizado pelo valor de referência de

sobreaquecimento correspondente assim como pela pressão medida à saída do gerador de vapor, e a entalpia do meio determinada à entrada do gerador de vapor, que por sua vez pode ser determinada através de uma medição de temperatura e de pressão correspondentes. Por conseguinte é gerado um valor de referência de base do fluxo mássico de água de alimentação, que no estado regulado do sistema no caso mais conveniente gera permanentemente os valores de referência solicitados. Este é considerado, por definição, como estado a 100% ou estado inicial do caso de carga correspondente. Isto é válido independentemente do facto de o sistema constituído pelo gerador de vapor por recuperação de calor residual e pela turbina a vapor se encontrar no modo operacional parcial ou total. O sistema de regulação geral, que tipicamente trabalha de forma particularmente eficaz num intervalo de valores limitado, por conseguinte é continuamente mantido neste intervalo de valores.

De acordo com um sistema de regulação preferido para a conversão do processo de acordo com a presente invenção, além do circuito de regulação preditivo, está previsto um segundo circuito de regulação operado em paralelo. Com o auxílio deste segundo circuito de regulação é determinado um valor de referência secundário para o fluxo mássico de água de alimentação. Para este efeito é realizada uma diferença entre a entalpia do meio determinada à saída do gerador de vapor e o valor de referência de entalpia correspondente. Neste caso, o valor de referência secundário quase serve como valor de correção, que aumenta adicionalmente a exatidão da regulação e nos casos em que o valor de referência primário condicionado pelo sistema apresenta erros ou oscila, intervém de forma corretiva ou estabilizadora.

Particularmente no caso da utilização de um regulador de correção, com o qual o valor de referência secundário é convertido numa variável relativa adaptada, neste contexto é particularmente conveniente interconectar os dois valores de referência para o fluxo mássico de água de alimentação de forma multiplicativa. Deste modo pode ser adicionalmente reduzida a influência de variáveis absolutas sobre o sistema de regulação.

Alternativamente à predeterminação do valor de referência de sobreaquecimento, quer dizer uma temperatura, no sistema de regulação pode igualmente estar predeterminado um valor de referência de entalpia, que ou é determinado através de variáveis características ou atua de determinada forma sobre estas. Em qualquer dos casos a alternância entre o valor normal associado e o valor de ativação associado deve gerar uma distribuição da oferta de calor sobre uma quantidade mais elevada de água de alimentação.

No caso da reposição do sistema no modo operacional estandardizado pode ser vantajoso não comutar de forma brusca do valor de ativação para o valor normal, mas regulá-lo de volta de forma contínua e, por conseguinte, retardada. Isto pode ser realizado por exemplo de forma síncrona com o aumento de potência da turbina a gás, quando é desejada uma potência contínua da central geral durante este período de tempo. Para este efeito, o dispositivo de regulação em pontos adequados pode estar equipado com elementos retardadores correspondentes.

O processo para a operação de um gerador de vapor por recuperação de calor residual assim como de uma turbina a vapor conectada a jusante acima descrito, com a opção de disponibilizar temporariamente uma reserva imediata de potência, preferencialmente é utilizado numa instalação

combinada de turbinas de gás e de vapor. Neste caso, esta reserva imediata de potência serve sobretudo como tampão de potência rapidamente disponível, considerando que a potência adicional é disponibilizada num período de tempo relativamente curto. Com o auxílio do tampão de potência pode ser feita a ponte de um período de tempo limitado, que é suficiente para compensar pelo menos parcialmente o aumento de potência retardado através da turbina a gás (limitado pela respetiva velocidade de alteração de carga máxima condicionada pela construção e pela operação). A totalidade do bloco da central devido a esta medida realizada diretamente um salto de potência e devido ao aumento de potência da turbina de gás iniciado em paralelo pode manter ou até exceder este nível de potência.

Finalmente é de salientar que o processo de acordo com a presente invenção pode igualmente ser realizado sem medidas construtivas invasivas. Pode ser convertido simplesmente pela implementação de componentes adicionais no sistema de regulação. Assim são alcançados uma flexibilidade de instalação mais elevada e uma utilidade de instalação mais abrangente sem custos adicionais.

Além disso, o processo é independente de medidas adicionais de modo que, por exemplo, podem adicionalmente ser abertas válvulas de turbina estranguladas para reforçar adicionalmente o aumento de potência da turbina a vapor. Além disso, simultaneamente pode ser realizada uma regulação dos fluxos mássicos de injeção por dispositivos de arrefecimento por injeção ou similares previstos no gerador de vapor por recuperação de calor residual com o mesmo objetivo de regulação. A eficiência do processo devido a estas medidas permanece em grande medida inalterada.

Em seguida é mais detalhadamente explicado um exemplo de realização da presente invenção com base num diagrama de blocos. A figura sob a forma de um diagrama de blocos apresenta uma representação esquemática de uma instalação de turbinas a gás e a vapor com um sistema de regulação associado.

O processo de acordo com a presente invenção no caso do exemplo de realização é utilizado para a operação de uma instalação combinada de turbinas a gás e a vapor (instalação TGCC). Por questões de clareza neste caso é considerada uma turbina a vapor DT com apenas um nível de pressão. Um aperfeiçoamento para vários níveis de pressão e níveis de sobreaquecimento intermédio pode ser realizado sem problemas pelo perito na técnica.

A turbina a vapor DT da instalação TGCC está integrada num circuito de água de alimentação 1. A partir de um reservatório de água de alimentação R a água de alimentação é transportada para um gerador de vapor de circulação forçada 3 por meio da bomba 2. A jusante deste geralmente está conectado um economizador neste caso não apresentado para o pré-aquecimento da água de alimentação. O fluxo mássico de água de alimentação para o gerador de vapor de circulação forçada 3 pode ser variado através de uma válvula de regulação 4, cuja posição de válvula é ajustada através de um servomotor M associado. No gerador de vapor de circulação forçada 3, em seguida abreviado por gerador de vapor 3, estão previstas várias superfícies de aquecimento. Em função da construção estas podem ser designadas de acordo com a respetiva sequência no circuito de água de alimentação 1 como economizador 5, gerador de vapor 6 e superfícies de aquecimento de sobreaquecedor 7. À saída do gerador de vapor, a água de alimentação está presente na respetiva fase gasosa e é adicionalmente

aquecida como vapor com o auxílio de superfícies de aquecimento de sobreaquecedor 8 conectadas a jusante. Entre o gerador de vapor 3 e as superfícies de aquecimento de sobreaquecedor 8 encontra-se um dispositivo de separação AS, que em caso de necessidade separa água residual indesejada do vapor. O vapor sobreaquecido finalmente serve para a recuperação de energia elétrica numa turbina a vapor DT e é condensado no condensador K conectado a jusante para voltar a formar água de alimentação, a qual é reconduzida para o reservatório de água de alimentação R. Várias superfícies de aquecimento do circuito de água de alimentação 1 estão dispostas num canal de gás quente 9. Neste canal de gás quente 9 são introduzidos os gases de escape de uma turbina a gás GT. Estes inundam as superfícies de aquecimento dos sobreaquecedores 7, 8, depois as superfícies de aquecimento dos geradores de vapor 6 e finalmente as superfícies de aquecimento de economizador 5 assim como, caso existentes, as superfícies de aquecimento de economizador. Deste modo é realizado um gerador de vapor por recuperação de calor residual, com o qual, na sequência da combinação com a turbina a vapor DT, o calor armazenado nos gases de escape da turbina a gás GT pode ser pelo menos parcialmente utilizado para a produção de energia elétrica.

Para assegurar um grau de eficiência relativamente elevado o fluxo mássico de água de alimentação no circuito de água de alimentação 1 tem de ser regulado e adaptado a eventuais oscilações da alimentação de gás quente através da turbina a gás GT. Para este efeito está previsto um sistema de regulação 10, que aciona o servomotor M e, por conseguinte, adapta a posição da válvula de regulação 4.

O sistema de regulação 10 acima referido é constituído essencialmente pelos chamados módulos funcionais FB 01 ... FB

10. Estas unidades podem processar sinais de medição, consultar dados armazenados numa memória e converter estes sinais ou dados em valores funcionais através de conexões lógicas, que subseqüentemente ou são encaminhados para módulos funcionais adicionais FB 01 ... FB 10 ou servem como código de comando para o controlo de dispositivos conectados a jusante, tais como o servomotor M. No exemplo de realização os comandos de controlo para o servomotor M são gerados pelo módulo funcional FB 01. Como base de dados ou sinais de entrada neste caso são considerados dois valores de referência determinados através de dois circuitos de regulação operados em paralelo, conectados um ao outro através de um multiplicador 11.

Um dos dois circuitos de regulação é concebido como circuito de regulação preditivo ou de previsão. Com este circuito de regulação, em seguida designado por circuito primário, sob consideração dos tempos de reacção do sistema deve ser calculado, com que fluxo mássico de água de alimentação num intervalo de tempo subseqüente pode ser alcançado um modo operacional seguro com um grau de eficiência particularmente elevado. A variável associada, que pela dimensão representa um fluxo mássico, é designada por valor de referência primário e no intervalo de tempo subseqüente corresponde ao primeiro dos dois valores de referência, que estão conectados um ao outro através do multiplicador 11.

Para a determinação do valor de referência primário são contrapostas duas variáveis A e B num elemento de divisão 12. A variável A, determinada através de um módulo funcional FB 02, neste caso representa a oferta de calor disponível para o meio água, quer dizer o calor extraído do gás de escape da turbina a gás GT e armazenado no gerador de vapor 3 menos as quantidades armazenadas entre as

superfícies de aquecimento do gerador de vapor 5, 6, 7. Esta oferta de calor é utilizada para gerar uma determinada alteração de entalpia B do meio no gerador de vapor 3. Esta alteração de entalpia B é gerada pela diferença no adicionador 13 entre o valor de entalpia desejado do meio à saída do gerador de vapor e o valor de entalpia do meio à entrada do gerador de vapor. O valor de entalpia do meio à entrada do gerador de vapor neste cálculo é considerado como dado mas variável e através de um módulo funcional FB 03, que recorre aos sinais de medição de um sensor de temperatura 14 e de um sensor de pressão 14a. Ao contrário são predeterminados o estado termodinâmico do meio e, por conseguinte, o valor de entalpia à saída do gerador de vapor. Para este efeito é armazenado um valor de referência de sobreaquecimento no módulo funcional FB 04. A temperatura do vapor à saída do gerador de vapor deve situar-se por um valor predeterminado, o valor normal, acima da temperatura do meio, que por sua vez é determinada com o auxílio dos dados de um sensor de pressão 15 à saída do gerador de vapor. O valor de referência de entalpia daí resultante do meio à saída do gerador de vapor é adicionado ao subtrator 13 pelo módulo funcional FB 04.

No caso do cálculo do valor de referência primário podem igualmente ser consideradas variáveis adicionais, mesmo variáveis representativas para as influências dinâmicas. Um termo de correção correspondente é determinado pelo módulo funcional FB 05 e subseqüentemente adicionado a um adicionador 16 conectado a jusante do divisor 12.

O segundo circuito de regulação, igualmente designado por circuito secundário, é realizado como circuito de regulação reagente e deve aumentar adicionalmente a exatidão da totalidade do sistema de regulação 10 através de um género de ajuste fino. Isto é realizado com o auxílio de uma

compensação valor de referência - valor real num subtrator 17. Como valor de referência ao subtrator 17, através do módulo funcional FB 06, é adicionado o valor de referência de entalpia do meio à saída do gerador de vapor calculado pelo módulo funcional FB 04. O valor de entalpia associado baseia-se em sinais de medição de um sensor de temperatura 18 assim como do sensor de pressão 15 à saída do gerador de vapor e é determinado pelo módulo funcional FB 07. O desvio valor de referência - valor real determinado finalmente é introduzido num regulador PI 19, que no lado de saída disponibiliza o segundo valor de referência ou o valor de referência secundário para o multiplicador 11. No caso deste valor de referência trata-se de uma variável relativa sem dimensão que independentemente do facto de a central combinada se encontrar no modo operacional total ou parcial, se situa próximo do valor 1. Considerado que os componentes de um circuito de regulação apenas trabalham de forma particularmente eficaz em intervalos de valores limitados, através de uma reconsideração de uma variável relativa desta natureza pode ser alcançado que o intervalo de valores esperado independentemente das variáveis absolutas está largamente em conformidade com o intervalo de valores conveniente dos componentes.

Para a liberação de uma reserva imediata de potência de acordo com a presente invenção o valor de referência de sobreaquecimento é reduzido de um valor normal, definido para o modo de funcionamento estacionário da instalação de turbinas a gás e a vapor com um grau de eficiência relativamente elevado, para um valor de ativação mais reduzido. Esta redução do valor de referência tanto se repercute sobre o circuito primário como igualmente sobre o circuito secundário do sistema de regulação 10. As zonas do sistema afetadas por este facto são assinaladas pelos números de referência 20 e 21.

A título de exemplo, no exemplo de realização, a alteração do valor de referência de sobreaquecimento é realizada de forma brusca. Por conseguinte esta alteração pode ser realizada através da comutação de um comutador 22, 23 em cada circuito de regulação. Neste caso, cada comutador é acionado através de um módulo funcional FB 08, FB 09 associado, sendo que a comutação dos dois comutadores 22, 23 é realizada essencialmente em simultâneo. Alternativamente é igualmente possível uma forma de realização sem os comutadores 22, 23. Neste caso, os módulos funcionais FB 08, FB 09 assumem um papel mais complexo. Em vez de apenas comutarem entre dois valores, os módulos funcionais FB 08, FB 09 em função de uma interferência de frequência medida na rede de energia dão um valor de referência de sobreaquecimento adaptado, que se situa num intervalo de valores armazenado.

Com a redução do valor de referência de sobreaquecimento é igualmente realizada uma redução do valor de referência de entalpia do meio à saída do gerador de vapor. Cada valor de referência de entalpia baseado no valor de ativação é calculado através de um módulo funcional FB 10 adicional. Este valor de referência de entalpia durante a fase de ativação da reserva imediata de potência substitui o valor de referência de entalpia associado ao valor normal tanto no subtrator 17 do circuito secundário como igualmente no subtrator 13 do circuito primário.

Como consequência é aumentado o fluxo mássico de água de alimentação para o gerador de vapor 3 e, por conseguinte, o débito de água de alimentação através do mesmo. Com esta medida a energia térmica do gerador de vapor 3 e das superfícies de aquecimento de sobreaquecedor subsequentes devido à passagem mais elevada com temperaturas de meio

mais reduzidas é armazenada e alimentada na turbina a vapor DT sob a forma de potência adicional.

Lisboa, 16 de Julho de 2015

## **REIVINDICAÇÕES**

1. Processo para a operação de uma instalação combinada de turbinas a gás e a vapor que compreende uma turbina a gás (GT); um gerador de vapor por recuperação de calor residual conectado a jusante do lado do gás de escape ou do lado do gás combustível da turbina a gás (GT), que apresenta pelo menos uma superfície de aquecimento de gerador de vapor (6) que pode ser atravessada por um meio de circulação, e; uma turbina a vapor (DT) conectada a jusante do lado do meio de circulação do gerador de vapor por recuperação de calor residual, em que o meio de circulação é alimentado no gerador de vapor de calor residual sob a forma de água de alimentação, em que está previsto um circuito de regulação primário para uma regulação preditiva do fluxo mássico de água de alimentação e em que com base num valor de referência de sobreaquecimento, que é característico do sobreaquecimento de temperatura do meio de circulação existente à saída da superfície de aquecimento de gerador de vapor (6) em relação à respetiva temperatura de ebulição e com base num valor característico do fluxo de calor, que é característico do fluxo de calor transferido do gás combustível para o meio de circulação através da superfície de aquecimento de gerador de vapor (6), sob consideração do calor armazenado nos componentes da superfície de aquecimento de gerador de vapor é determinado um valor de referência primário para o fluxo mássico de água de alimentação e correspondentemente reajustado o fluxo mássico de água de alimentação, caracterizado por, para a ativação da reserva imediata de potência disponível a curto prazo, o valor de referência de sobreaquecimento ser reduzido de um valor normal, definido para a operação

estacionária do sistema de turbinas a gás e a vapor com um grau de eficiência relativamente elevado, para um valor de ativação mais reduzido.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a comutação ser realizada de modo abrupto e brusco.
3. Processo de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado por o valor de ativação ser selecionado de modo que o sobreaquecimento de temperatura permanece positivo durante a fase de ativação.
4. Processo de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por durante a fase de ativação ser ajustado um sobreaquecimento de temperatura compreendido no intervalo entre 5 K e 15 K, preferencialmente de 10 K.
5. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 4, caracterizado por durante a operação normal que precede a fase de ativação ser ajustado um sobreaquecimento de temperatura de pelo menos 30 K, preferencialmente de pelo menos 40 K.
6. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 5, caracterizado por a temperatura de ebulição do meio de circulação à saída da superfície de aquecimento de gerador de vapor (6) ser determinada com base na pressão medida do meio de circulação e eventualmente com base em variáveis de medição adicionais.
7. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 6, caracterizado por para a determinação do valor de referência primário para o fluxo de água de

alimentação o quociente ser formado a partir do valor característico do fluxo de calor e a partir de um valor característico de diferença de entalpia característico do aumento de entalpia do meio de circulação na superfície de aquecimento de gerador de vapor (6), e, por o valor característico de diferença de entalpia ser determinado com base no valor de referência de sobreaquecimento convertido num valor de referência de entalpia e com base na entalpia medida do meio de circulação à entrada da superfície de aquecimento de gerador de vapor (6).

8. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 7, caracterizado por com o auxílio de um circuito de regulação secundário através da comparação da entalpia medida do meio de circulação à saída da superfície de aquecimento de gerador de calor (6) com um valor de referência de entalpia predeterminado, ser determinado um valor de referência secundário para o fluxo mássico de água de alimentação, e, por o fluxo mássico de água de alimentação ser reajustado com base num valor de referência geral formado a partir do valor de referência primário e a partir do valor de referência secundário.
9. Processo de acordo com a reivindicação 8, caracterizado por o valor de referência primário e o valor de referência secundário para a formação do valor de referência geral serem multiplicados um pelo outro.

10. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 8 a 9, caracterizado por durante a fase de ativação o valor de referência de entalpia ser comutado de um valor inicial, concebido para a operação estacionária da instalação combinada de turbinas a gás e a vapor com um grau de eficiência relativamente elevado, para um valor de ativação mais reduzido.
11. Processo de acordo com a reivindicação 10, caracterizado por o valor de referência de entalpia ser comutado essencialmente simultaneamente com o valor de referência de temperatura.
12. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 11, caracterizado por no final da fase de ativação se voltar, de modo contínuo e de modo retardado, do valor de ativação respetivamente para o valor normal associado.
13. Instalação combinada de turbinas a gás e a vapor que compreende uma turbina a gás (GT); um gerador de vapor por recuperação de calor residual conectado a jusante do lado do gás de escape da turbina a gás (GT), que apresenta pelo menos uma superfície de aquecimento de gerador de vapor (6) que pode ser atravessada por um meio de circulação; uma turbina a vapor (DT) conectada a jusante do lado do meio de circulação do gerador de vapor por recuperação de calor residual, e; uma entrada de água de alimentação ajustável através de uma válvula de regulação (4) para o gerador de vapor por recuperação de calor residual, caracterizada por estar previsto um dispositivo de regulação para o fluxo mássico de água de alimentação,

que apresenta meios para a realização do processo de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 12.

14. Dispositivo de regulação para uma instalação combinada de turbinas a gás e a vapor, que apresenta meios para a realização do processo de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 12.

Lisboa, 16 de Julho de 2015

