

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 935 581**

51 Int. Cl.:

F01K 3/00 (2006.01)

F01K 7/22 (2006.01)

F01K 13/02 (2006.01)

F01K 23/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.09.2014** **PCT/EP2014/069257**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.04.2015** **WO15043949**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.09.2014** **E 14771224 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.10.2022** **EP 3025031**

54 Título: **Procedimiento para la operación de una unidad de turbina a vapor**

30 Prioridad:

24.09.2013 DE 102013219189

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

08.03.2023

73 Titular/es:

SIEMENS ENERGY GLOBAL GMBH & CO. KG
(100.0%)

Otto-Hahn-Ring 6
81739 München, DE

72 Inventor/es:

LENK, UWE y
TREMEL, ALEXANDER

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 935 581 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la operación de una unidad de turbina a vapor

La invención se refiere a un procedimiento para la operación de una unidad de turbina a vapor con una turbina a vapor y un generador de vapor.

5 Las unidades de turbina a vapor de la técnica mencionadas al principio son conocidas en el estado de la técnica y son usadas para la generación de corriente en la red de interconexión eléctrica. Para mantener la frecuencia de red en el caso de perturbaciones no previstas, se mantiene disponible reserva operativa. Para ello, cada operador de la red tiene que poner a disposición 2 % de su potencia momentánea de generación, como reserva de control primario. Típicamente, esta reserva de control primario de estaciones grandes de potencia es suministrada con potencias
10 mayores que 100 MW. Esta comprende unidades de turbina a vapor, como también unidades de turbina a gas y vapor combinadas (unidades GuD).

Para suministrar rápidamente la reserva operativa (en menos de 30 s), normalmente en la operación normal se estrangulan ligeramente estaciones de potencia con turbinas a vapor, es decir, antes de la turbina a vapor se incorporan válvulas regulares para turbinas a vapor. Cuando tiene que suministrarse ahora reserva operativa, se abre
15 completamente la válvula de restricción y está disponible una reserva de potencia. Esta potencia de control primario es mantenida entonces durante hasta 15 min.

Puesto que el factor de eficiencia máximo de la turbina a vapor es alcanzado sin embargo sólo con la potencia completa, las estaciones de potencia son operadas, debido a la restricción en la operación normal necesaria para el suministro de la reserva de potencia, con un factor de eficiencia ligeramente degradado, en comparación con su factor
20 de eficiencia máximo posible.

Por ello, es un requerimiento técnico indicar un procedimiento para la operación de una unidad de turbina a vapor, que haga posible el suministro de una reserva de potencia durante la operación normal, simultáneamente con un factor de eficiencia tan elevado como sea posible.

Para ello, una aproximación de solución puede ser dada por el documento DE048596, el cual describe que debería tomarse vapor de un acumulador de vapor mediante repentina elevación de carga y para la rápida elevación de potencia, para suministrar éste a una turbina a vapor que ya se encuentra en operación. A partir del documento US 2247595 A, del documento US 1925078 A, del documento EP0976914 A1 o del documento US 3398534 A se conocen aproximaciones comparables de solución. A partir del documento EP 0 439 754 A1 se conoce además una aplicación correspondiente en el inicio de una turbina a vapor, en donde se toma vapor de un acumulador de vapor para soportar
30 la turbina a vapor de generador de vapor de calor de escape operado de modo simultáneo.

Al respecto, sin embargo el estado de la técnica no considera que la liberación de potencia de una unidad de turbina a vapor durante la carga del acumulador de vapor, es perjudicada por este procedimiento de carga. Es decir, por la desviación de vapor para el acumulador de vapor está a disposición menos vapor para la operación bajo condiciones de carga de la turbina a vapor. Puesto que una unidad de turbina a vapor es sin embargo operada sobre todo de acuerdo con la demanda existente de potencia, con ello el objetivo de la invención pretende proponer una unidad de
35 turbina a vapor con acumulador de vapor, que haga posible una operación mejorada respecto a los costes de operación. En particular, el procedimiento de carga del acumulador de vapor debería ocurrir de manera eficiente de energía y costes.

Este objetivo es logrado de acuerdo con la invención mediante el procedimiento de la reivindicación 1.

40 La invención parte al respecto - de modo comparable al estado de la técnica - de la consideración según la cual para el mejoramiento del factor de eficiencia y la flexibilización de la unidad de turbina a vapor, la turbina a vapor debería ser alimentada con vapor de un acumulador térmico. Para ello, son adecuados acumuladores de vapor, en los cuales se acumula y se tiene disponible calor para la demanda futura. Éste puede ser retirado entonces del acumulador por ejemplo en forma de vapor caliente y transformado en potencia mecánica en la turbina a vapor. Un acumulador de
45 vapor puede estar configurado por ejemplo también sin embargo como acumulador de vapor sensible o también como acumulador de calor PCM, cuyo calor puede ser liberado para la evaporación de agua, con lo cual el vapor así formado es alimentado a continuación a la turbina a vapor.

De acuerdo con la invención, el vapor es alimentado a la turbina a vapor, mientras el generador de vapor está fuera de operación. Para ello, con un acumulador de vapor suficientemente grande es posible mantener la operación de las
50 turbinas a vapor con vapor de un acumulador, sin y/o con suministro de potencia. Por consiguiente, el acumulador de vapor es usado para mantener en la red la turbina a vapor también sin suministro de calor al generador de vapor (por ejemplo turbina a gas desconectada en la planta generadora GuD). Para ello, se suministra a la turbina a vapor una pequeña cantidad de vapor desde el acumulador, para mantener en la red la masa rotativa. Al respecto, la cantidad de vapor es elegida de modo que se compensan las pérdidas por fricción y otras de la turbina a vapor, mediante la
55 alimentación de vapor.

- Paralelamente o también de modo alternativo, de manera ventajosa puede también mantenerse el calor del generador de vapor. Esto es alcanzado mediante la alimentación continua de una pequeña cantidad vapor al generador de vapor. La cantidad de vapor es elegida de modo que la energía térmica del vapor compensa las pérdidas de calor del generador de vapor. El generador de vapor permanece de ese modo a una temperatura relativamente alta y puede ser transformado rápidamente de nuevo en la operación con carga completa, por ejemplo cuando la turbina a gas es iniciada con una planta generadora GuD. Este concepto operativo ofrece la posibilidad de mantener el calor de la turbina a vapor y eventualmente del generador de vapor, de modo que se acorta el tiempo requerido para el arranque de la planta generadora y la unidad puede ser usada para propósitos regulares (por ejemplo compensación de fluctuaciones de potencia en la red).
- 5
- 10 Básicamente, es posible la carga del acumulador de vapor, de muchas formas. Por ejemplo, es posible un calentamiento eléctrico (con electrocalentadores o bombas de calor) del acumulador, con lo cual podría absorberse de la red también el exceso de corriente de fuentes fluctuantes de energía (viento, sol). Sin embargo, resulta una solución particularmente ventajosa cuando el acumulador es cargado con agua caliente o vapor de la misma planta generadora.
- 15 De acuerdo con la invención, el acumulador de vapor es cargado mientras una demanda de potencia para la unidad de turbina a vapor de una red eléctrica está por debajo de un valor límite preestablecido. La carga ocurre por consiguiente en un momento de baja demanda de potencia en la red. Es decir, por el proceso de carga disminuye fácilmente de modo rápido la potencia de la turbina a vapor y con ello de la planta generadora. Si el acumulador está cargado, la planta generadora es manejada en la operación bajo condiciones de carga conducida en la red.
- 20 De acuerdo con la invención, el acumulador de vapor es cargado con agua saturada de un tambor de vapor del generador de vapor. Alternativa o adicionalmente a ello, el acumulador de vapor es cargado ventajosamente con vapor saturado de un tambor de vapor del generador de vapor. Para ello, en el acumulador de vapor se encuentra un recipiente de agua fría y el calor es almacenado en forma de vapor. Para ello se retira vapor saturado del tambor de vapor del generador de vapor hasta un nivel adecuado de presión y se alimenta directamente al acumulador de vapor.
- 25 En el acumulador ocurre una condensación y con ello la elevación asociada de presión y temperatura. El acumulador es cargado cuando el nivel de temperatura o nivel de presión en el acumulador alcanza el nivel del vapor de carga.
- En otro acondicionamiento ventajoso del procedimiento, se carga el acumulador de vapor con vapor sobrecalentado del generador de vapor o de la turbina a vapor. Éste tiene un elevado nivel de energía y hace posible de ese modo una carga aún más rápida del acumulador de vapor. Para ello se retira vapor sobrecalentado, por ejemplo después de la turbina de vapor de alta presión y sobrecalentamiento intermedio y se alimenta al acumulador de vapor.
- 30 Si se usa vapor sobrecalentado en elevado nivel de presión (por ejemplo vapor fresco), el vapor sobrecalentado puede ser conducido directamente al acumulador. Sin embargo, si el nivel de presión del vapor sobrecalentado está por debajo de la presión necesaria del acumulador de vapor, se indica un sobrecalentamiento indirecto. Para ello, se carga de manera ventajosa el acumulador de vapor mediante un intercambiador de calor o aparato de transferencia de calor.
- 35 Para la carga del acumulador de vapor puede usarse vapor de alta presión. La unidad de turbina a vapor comprende por consiguiente de manera ventajosa una parte de alta presión, una parte de presión media y una parte de presión baja, en donde el acumulador de vapor es cargado de manera ventajosa desde la parte de alta presión del generador de vapor. El vapor es alimentado al respecto de manera ventajosa a la parte de presión media de la turbina a vapor. Mediante ello se tiene como resultado en el acumulador de vapor un contenido de energía particularmente elevado, de modo que éste puede tener un diseño más pequeño o, sin embargo también para el mismo diseño, puede suministrar una elevación de potencia más larga o más elevada para la turbina a vapor. No obstante, el acumulador de vapor tiene que ser diseñado al respecto para presiones de vapor particularmente elevadas.
- 40 Si esto no se desea, el acumulador de vapor debería ser diseñado por consiguiente para presiones más bajas, el acumulador de vapor es cargado ventajosamente desde la parte de presión media del generador de vapor. El vapor es entonces alimentado ventajosamente a la parte de presión baja de la turbina a vapor. Incluso, mediante ello no se alcanza la misma densidad de energía en el acumulador de vapor, entonces este puede tener un diseño más simple, puesto que predominan presiones más bajas.
- 45 En la reivindicación 7 se describe una unidad de turbina a vapor de acuerdo con la invención.
- Al respecto, el acumulador de vapor es diseñado ventajosamente como acumulador de Ruth. Éste es esencialmente un acumulador de tambor de presión fija, que está lleno en su mayor parte (por ejemplo hasta 90 %) con agua en ebullición. El espacio restante sobre el agua está lleno con vapor de agua a la misma temperatura. Si se retira vapor, comienza una evaporación posterior. El calor necesario proviene del agua en ebullición. El intervalo de trabajo del acumulador de vapor está definido al respecto por los parámetros de partida y finales (presión y temperatura) así como el grado de llenado inicial con agua en ebullición.
- 50 Una unidad de turbina a gas y a vapor comprende ventajosamente una unidad de turbina a vapor descrita. Ésta comprende una turbina a gas, cuyos gases de escape son usados para la operación del generador de vapor.
- 55

Las ventajas alcanzadas con la invención consisten en particular en que la parte de turbina a vapor de una planta generadora puede ser mantenida caliente por más tiempo, de modo que también se mantiene disponible reserva operativa sin consumo de combustible.

- 5 Para ello es necesaria sólo una mezcla de cantidades pequeñas de vapor adicional como vapor saturado del acumulador. Por ello ocurre una ligera disminución de temperatura en la entrada de la turbina a vapor. La turbina a vapor es operada sin embargo además con vapor sobrecalentado y es menor la tendencia a la condensación dentro de las turbinas.

- 10 La implementación de la invención descrita puede ocurrir mediante el uso de componentes disponibles, convenientes en costes, pasivos (acumulador de tambor, tuberías de agua caliente y de vapor). Mediante ello se alcanza también de manera técnicamente simple una ampliación del intervalo de operación de la planta generadora, por ejemplo, disminución de la potencia por retiro de calor (agua caliente/vapor) del generador de vapor o elevación de potencia por alimentación adicional de vapor a la turbina a vapor (del acumulador).

- 15 Además, la integración de un acumulador de vapor ofrece la posibilidad de acumulación de energía para el mantenimiento del calor del circuito de agua/vapor (generador de vapor) o de la turbina a vapor. Además es posible una estabilización de la red mediante el acoplamiento de la turbina a vapor como masa rotativa en la red con suministro de vapor del acumulador (por ejemplo posibilidad para la operación con modificador de fase con el kit turbogenerador de vapor). El concepto puede ser reequipado también (modernizado).

La invención es ilustrada en más detalle mediante un dibujo. Al respecto, muestra:

- 20 FIG 1 una gráfica de la frecuencia de red, la potencia y la reserva operativa en una red compuesta, graficadas contra el tiempo,

FIG 2 esquemáticamente una unidad de turbina a vapor con acumulador de vapor con alimentación de agua saturada,

FIG 3 esquemáticamente una unidad de turbina a vapor con acumulador de vapor con alimentación de vapor saturado,

FIG 4 esquemáticamente una unidad de turbina a vapor con acumulador de vapor con alimentación de vapor fresco a través de un intercambiador de calor,

- 25 FIG 5 una gráfica del nivel de agua y presión en el acumulador en el intercambiador de calor durante el retiro de vapor en la parte de presión media de la turbina a vapor, graficadas contra el tiempo,

FIG 6 una gráfica del nivel de agua y presión en el acumulador en el intercambiador de calor durante el retiro de vapor en la parte de presión baja de la turbina a vapor, graficadas contra el tiempo,

- 30 FIG 7 una gráfica de la potencia relativa de la turbina a vapor graficadas contra la adición relativa de vapor en la parte de presión media, y

FIG 8 una gráfica de disminución de temperatura en la entrada de la parte de presión media de la turbina a vapor graficadas contra la adición relativa de vapor en la parte de presión media.

En todas las figuras, las mismas partes están dotadas con los mismos signos de referencia.

- 35 La FIG 1 muestra una gráfica con un total de tres sistemas de coordenadas separados, dispuestos uno sobre otro. Desde arriba hacia abajo, éstos muestran la frecuencia f de red en una red compuesta, graficada contra el tiempo, potencia el consumo y potencia de generación P en la red compuesta graficadas contra el tiempo, y los diferentes tipos de la reserva PRL operativa en la red compuesta, graficados contra el tiempo. Las escalas de tiempo son idénticas y están ubicadas en segundos, mientras las escalas de frecuencia f , potencia P y reserva PRL operativa no están indicadas, puesto que las escalas absolutas son insignificantes para la siguiente descripción.

- 40 En una red compuesta, por medio de la gestión de planta generadoras se busca mantener en equilibrio la potencia obtenida en estaciones de potencia y la potencia retirada por los usuarios junto con las pérdidas por transporte. Si la demanda esperada de potencia no corresponde a la oferta esperada de potencia, tiene que compensarse la desviación. Esto es el resultado de la necesidad física de que las redes de corriente eléctrica no pueden acumular energía y por ello en cada momento la potencia alimentada tiene que corresponder a la suma de la potencia retirada y la potencia perdida como consecuencia del transporte. Las desviaciones de ello dan como resultado en redes de tensión alterna, un cambio en la frecuencia f de la red, que en la totalidad de la red de tensión alterna es consistente (sincrónica): por una sobreoferta de potencia ocurre una desviación de la frecuencia f de red sobre la frecuencia nominal, por un déficit de oferta ocurre una denominada baja frecuencia. La reserva operativa PRL es entonces necesaria para la compensación, cuando la verdadera demanda de potencia momentánea no corresponde a la oferta esperada de potencia.
- 45
- 50

El objetivo del mantenimiento de la frecuencia está dividido en diferentes pasos regulares, que son comprensibles en la FIG 1 mediante datos de tiempo en la escala de tiempo: la regulación primaria sirve para compensar desequilibrios entre la oferta y la demanda de potencia física, con el objetivo de recuperar una frecuencia de red estable. Es

irrelevante en cual zona de la red compuesta ocurre una fluctuación, puesto que la frecuencia momentánea de red se cambia en la totalidad de la zona de red debido a las fluctuaciones de carga. Esto es comparado con la frecuencia objetivo para el regulador proporcional primario, de las estaciones de potencia que toman parte en la regulación primaria, como se muestra en la FIG 1:

- 5 En el momento 0 s la potencia 1 de usuario está por encima de la potencia 2 de generación. Por consiguiente ocurre un déficit 4 de potencia. Debido a esta desviación, se activa la potencia 6 de control primario en cada planta generadora involucrada (usualmente todas las estaciones de potencia por encima de 100 MW de potencia nominal) de acuerdo con la característica de control y soporta así la frecuencia f de red.

- 10 Para una desviación de frecuencia cuasiestacionaria de ± 200 mHz, las estaciones de potencia que toman parte en la regulación primaria tienen que poder aportar, en un periodo de 30 segundos, la totalidad de la potencia 6 de control primario, es decir, elevar o disminuir linealmente la liberación de potencia y mantener esta potencia hasta por 15 minutos. Al respecto, la potencia de control primario disponible, la denominada banda de control primario, tiene que al respecto corresponder en por lo menos 2 % de la potencia nominal de la unidad.

- 15 La FIG 1 muestra también las etapas de control corriente abajo, primero la potencia de 10 de control secundario con un control secundario proporcional e integral. Este tiene el objetivo de restaurar el equilibrio entre la oferta y la demanda de corriente física después de la ocurrencia de una diferencia. El exceso 12 de potencia representado en la FIG 1 por la potencia 6 de control primario en aproximadamente 10 s y aproximadamente 180 s son compensados de ese modo. Además, en la FIG 1 se muestra aún la regulación terciaria o reserva 14 de minutos, sirve primariamente para la optimización económica. La reserva 14 de minutos es requerida telefónicamente al proveedor por el operador de red
20 de transferencia. La potencia disponible de reserva de minutos tiene que poder ser aportada por completo en un periodo de 15 minutos. Además, ocurre de modo completamente manual la reserva 16 operativa.

- A continuación se considera la potencia de control primario y parcialmente también la potencia 6, 10 de control secundario. Como se describe, cada operador de la red tiene que poder poner a disposición dentro de la red compuesta, en un periodo de 30 segundos, 2 % de su generación momentánea durante 15 minutos como reserva de control primario. En una unidad 18 de planta generadora representada esquemáticamente la FIG 2, con una unidad
25 20 de turbina a vapor, esto conduce en el estado de la técnica que esta sea operada con ligera estrangulación, de modo que esté disponible aún una reserva de potencia. Esto tiene un impacto negativo en el factor de eficiencia de la unidad 18 de planta generadora. La unidad 18 de planta generadora en la FIG 2 puede suministrar sin embargo también una reserva de potencia sin la estrangulación, de modo que el factor de eficiencia en la operación de carga
30 básica está por encima del factor de eficiencia en el estado de la técnica.

- La unidad 20 de turbina a vapor en la FIG 2 es parte de una unidad 18 de planta generadora diseñada como planta generadora de turbinas a vapor y gas. Una planta generadora de combinación de gas y vapor o planta generadora de turbinas a vapor y gas (brevemente planta generadora GuD) es una unidad 18 de planta generadora, en la cual se combinan los principios de una estación de potencia de turbina a gas y una estación de potencia a vapor. Una turbina
35 a gas (no mostrada) sirve al respecto como fuente de calor para un recipiente 22 de calor de escape conectado en serie, que a su vez actúa como generador de vapor para la turbina 24 a vapor. Con este modo de operar combinado en el proceso circular termodinámico se alcanza un factor de eficiencia más alto en comparación con turbinas a gas en la operación abierta o en estaciones de potencia calentadas a vapor convencionales. Las estaciones de potencia combinadas pertenecen, con factores de eficiencia eléctrica de hasta 60 %, a las estaciones de potencia
40 convencionales más eficientes en la red eléctrica actual. No obstante, la estructura descrita a continuación también es realizable en todas las otras unidades 18 de planta generadora con unidad 20 de turbina a vapor.

- Como ya se explicó, el gas de escape de la turbina a gas no representada es conducido al recipiente 22 de calor de escape. El recipiente 22 de calor de escape comprende, en dirección del flujo del gas A de escape secuencialmente un sobrecalentador 26 intermedio, un sobrecalentador 28, un evaporador 30 y un economizador 32. El vapor generado
45 en el recipiente 22 de calor de escape es combinado y usado para la propulsión de la turbina 24 a vapor. La turbina 24 a vapor está dispuesta en la unidad 20 de turbina a vapor de la FIG 2 en un eje 34 separado, con un generador 36.

- La unidad 20 de turbina a vapor está diseñada como unidad de tres presiones, es decir, la turbina 24 a vapor exhibe una turbina 38 de presión alta, una turbina 40 de presión media y una turbina 42 de presión baja. Sin embargo, la estructura descrita a continuación es realizable también en estructuras más complejas. Cada turbina 38, 40, 42 de la
50 turbina 24 a vapor exhibe en una carcasa en dirección axial de manera alternante cuchillas guía y cuchillas de rotor, no mostradas en detalle. Las cuchillas guía están dispuestas a lo largo del alcance del eje 34 formando un círculo. Un círculo tal de cuchillas guía es denominado también como rueda de cuchillas guía. Así mismo, las cuchillas de rotor están dispuestas girando en forma de corona como rueda de cuchillas de rotor en el respectivo eje 34. Una rueda de cuchilla guía, junto con la rueda de cuchilla de rotor sucesiva lateral al flujo, es denominada como etapa de turbinas.

- 55 El vapor descomprimido de la turbina 24 a vapor es conducido a un condensador 44, el medio licuado es conducido mediante una bomba 46 de condensado a través de varios precalentadores 48 a baja presión en un recipiente 50 de agua de alimentación con desaireador. De aquí, el medio es conducido a través de una bomba 52 de alimentación a través de varios precalentadores 54 al recipiente 22 de calor de escape. Aquí alcanza primero al economizador 32 y entra a un tambor 56 de vapor. El tambor 56 de vapor forma en el recipiente 22 de calor de escape un circuito con el

evaporador 30, de modo que se alimenta continuamente medio líquido precalentado al evaporador 26. Al respecto, el medio evaporado sale por el extremo inferior del tambor 56 de vapor y entra al sobrecalentador 28 y es conducido finalmente a la turbina 38 de presión alta.

5 En la turbina 38 de presión alta se descomprime el vapor y en su salida se conduce al sobrecalentador 26 intermedio, donde se sobrecalienta una vez más en el flujo de gas de escape. A continuación se conduce el vapor a la turbina 40 de presión media, allí se descomprime nuevamente y se conduce a la turbina 42 de presión baja. Después de la descompresión en la turbina 42 de presión baja se conduce el vapor al condensador 44.

10 El generador 36 de la unidad 20 de turbina a vapor puede estar conectado en paralelo al generador no mostrado de la turbina a gas, o también la planta generadora GuD está diseñada como unidad de un eje, de modo que así mismo la turbina a gas está conectada al eje 34. En todo caso, el generador 36 está conectado mediante un transformador a la red compuesta externa de corriente.

15 Para mantener disponible la reserva de control de dos por ciento, a la unidad 20 de turbina a vapor se asigna un acumulador 58 de vapor. El acumulador 58 de vapor consiste en varios acumuladores de tambor de presión, que están diseñados como acumulador de Ruth. En los acumuladores de Ruth existe medio líquido bajo presión elevada. En el ejemplo de realización de la FIG 2 el acumulador 58 de vapor está cargado con agua saturada. Éste es retirado del tambor 56 de vapor mediante una bomba 60 de alimentación y es alimentado al acumulador 58 de vapor. Si debiera recuperarse la energía acumulada en el acumulador 58 de vapor, se retira vapor del acumulador 58 de vapor y mediante una válvula 62 de restricción es alimentado a la turbina 40 de presión media, por consiguiente se mezcla en el flujo de vapor del sobrecalentador 26 intermedio.

20 Alternativamente, en los acumuladores de tambor de presión del acumulador 58 de vapor puede encontrarse también una carga de agua fría y acumularse calor en forma de vapor. En la FIG 3 se muestra esta forma de realización, que es descrita sólo mediante sus diferencias respecto a la FIG 2. Para ello se retira vapor saturado del tambor 56 de vapor y se alimenta directamente al acumulador 58 de vapor. En el acumulador 58 de vapor ocurre una condensación y con ello la elevación asociada de presión y temperatura.

25 También es posible la carga con vapor sobrecalentado. La correspondiente forma de realización es mostrada en la FIG 4, que a su vez es ilustrada sólo mediante sus diferencias respecto a las FIGs 2 y 3. Para ello se retira vapor sobrecalentado después de la turbina 38 de presión alta y sobrecalentador 26 intermedio y se alimenta al acumulador 58 de vapor. Cuando el nivel de presión del vapor sobrecalentado está por debajo de la presión necesaria del acumulador de tambor, es necesaria la instalación de un intercambiador 64 de calor en el acumulador 58 de vapor, como se muestra en la FIG 4. El vapor es retornado entonces al intercambiador de calor entre la turbina 38 de presión alta y el sobrecalentador 26 intermedio.

30 Si se usa vapor sobrecalentado a elevado nivel de presión (por ejemplo vapor fresco directamente del sobrecalentador 28, no mostrado en las figuras) puede renunciarse a la transferencia indirecta de calor y puede conducirse el vapor sobrecalentado directamente al acumulador 58 de vapor. Así mismo, durante el procedimiento de retiro puede ocurrir también una alimentación del vapor a la turbina 42 de presión baja (igualmente, no mostrado).

40 El acumulador 58 de vapor es cargado cuando el nivel de temperatura o nivel de presión en el acumulador 58 de vapor alcanzan el nivel del vapor de carga. La carga ocurre en un momento de baja demanda de potencia en la red. Mediante el procedimiento de carga, baja rápidamente la potencia de la turbina 24 a vapor y con ello de la unidad 18 de planta generadora fácilmente. Si se carga el acumulador 58 de vapor, se opera nuevamente la unidad 18 de planta generadora en operación bajo condiciones de carga conducida en la red. Ya no es necesaria ahora ninguna restricción de la turbina 24 a vapor y el factor de eficiencia de la unidad 18 de planta generadora está sobre el concepto actual de operación.

45 El acumulador 58 de vapor aumenta considerablemente la flexibilidad de la unidad 20 de turbina a vapor. Aparte de esto, el acumulador 58 de vapor puede ser cargado también de otras formas, ser calentado por ejemplo de modo eléctrico o con bombas de calor. Con ello podría incorporarse el exceso de corriente de fuentes de energía fluctuante (viento, sol) de la red.

Para la acumulación son imaginables diferentes formas de operar que se ilustran a continuación.

50 Primero, es posible la operación de la turbina 24 a vapor en principio exclusivamente con vapor del acumulador 58 de vapor. La turbina 24 a vapor puede ser iniciada con vapor del acumulador 58 de vapor. Mediante ello es posible el suministro de potencia en muy corto tiempo. No obstante, es desventajoso de este concepto que la turbina 24 a vapor tiene que ser iniciada y operada con vapor saturado o vapor sólo ligeramente sobrecalentado, lo cual puede conducir a riesgos técnicos (gotas de agua de la condensación: impacto de gotas y erosión).

55 Sin embargo, es posible el suministro de potencia de control primario, como muestran cálculos conceptuales. Como base para los cálculos se usa una planta generadora GuD con tres procesos de sobrecalentamiento intermedio a presión sobre la base de una turbina Siemens SGT5-4000F a gas. Se asume que se acumula agua caliente al nivel de presión de vapor fresco (aproximadamente 140 bar, 340 °C) en los acumuladores de tambor de presión del

acumulador 58 de vapor. Se asume además que se instalan tambores de presión con un volumen de aproximadamente 20 m³ cada uno, como acumulador 58 de vapor.

La turbina 40 de presión media tiene un flujo másico normal de vapor de aproximadamente 90 kg/s y es operada con vapor con sobrecalentamiento intermedio (aproximadamente 30 bar, 560 °C). Si ahora se alimenta exclusivamente vapor con 90 kg/s de los tambores de presión mencionados anteriormente de la turbina 40 de presión media (aproximadamente 35 bar, 242 °C), puede esperarse una potencia de aproximadamente 75 MW. La caída de presión de la presión 66 del acumulador en el acumulador 58 de vapor y el nivel 68 de llenado del acumulador son representados en la FIG 5. Para ello, el gráfico muestra en la escala de la izquierda la presión 66 del acumulador en bar y a la derecha el estado de llenado en porcentaje, graficados contra el tiempo en minutos. Cuando se retira vapor de presión media con una presión de aproximadamente 35 bar, se calcula con un tiempo en el acumulador de aproximadamente 15 min. Esto es suficiente para ofrecer potencia de control primario.

De modo similar, también es posible una inyección de agua caliente en el nivel de presión media (aproximadamente 35 bar, 242 °C) y la desaccumulación en la turbina 42 de presión baja (aproximadamente 5 bar, 150 °C). La turbina 42 de presión baja tiene un flujo másico normal de vapor de aproximadamente 110 kg/s y es operada con vapor ligeramente sobrecalentado mediante descompresión (aproximadamente 4 bar, 270 °C). Debido a la menor capacidad del acumulador 58 de vapor en el nivel de presión media (diferencia más baja de temperatura entre acumulador lleno y descargado), la reserva operativa alcanzable es al respecto más pequeña. Se muestra que para un retiro con 110 kg/s pueden suministrarse aproximadamente 60 MW durante 12 min., cuando se usan así mismo 30 tambores de presión como acumulador 58 de vapor. La presión 66 de acumulador y el nivel 68 de llenado del acumulador 58 de vapor son mostrados en este caso en la FIG 6, en la misma representación que en la FIG 5. Con un aumento del número de tambores pueden alcanzarse intervalos de tiempo más largos.

Puesto que, como se describió anteriormente, puede ser técnicamente problemático el arranque de la turbina 24 a vapor con vapor saturado o vapor sólo ligeramente sobrecalentado, es imaginable como concepto de operación que el acumulador 58 de vapor sea usado para mantener en la red la turbina 24 a vapor también sin suministro de calor en el generador 22 de vapor (por ejemplo turbina a gas desconectada en la planta generadora GuD). Para ello se suministra a la turbina 24 a vapor una pequeña cantidad de vapor del acumulador 58 de vapor, para mantener la masa rotativa en la red. Al respecto, la cantidad de vapor es elegida de modo que se compensan las pérdidas por fricción y otras de la turbina 24 a vapor mediante la alimentación de vapor.

En un cálculo conceptual se asume a su vez que están disponibles 30 tambores de alta presión con en cada caso aproximadamente 20 m³ como acumulador 58 de vapor. Además, se asume que aproximadamente 5 % del flujo másico de vapor normal en el nivel de presión media es suficiente como vapor saturado para compensar las pérdidas por fricción y mantener en la red la turbina 24 a vapor. Bajo estas suposiciones se mantiene en la red la turbina 24 a vapor entonces durante aproximadamente 5 a 8 horas, sin que ocurra un consumo de combustible en la unidad 18 de planta generadora.

Adicionalmente, también es posible la elevación rápida del flujo másico de vapor del acumulador de vapor, con lo cual puede suministrarse potencia de control primario. Sin embargo, dependiendo del consumo de vapor y el tamaño del acumulador, esto puede conducir al acortamiento del tiempo de operación posible. De modo paralelo a la turbina 24 a vapor puede mantenerse caliente también el recipiente 22 de calor de escape. Esto es alcanzado mediante la alimentación continua de una pequeña cantidad de vapor al recipiente 22 de calor de escape desde el acumulador 58 de vapor. La cantidad de vapor es elegida de modo que la energía térmica del vapor compensa las pérdidas de calor del recipiente 22 de calor de escape. El recipiente 22 de calor de escape permanece así a una temperatura relativamente elevada y puede ser convertido rápidamente de nuevo en la operación con carga completa, por ejemplo cuando la turbina a gas es iniciada en una planta generadora GuD.

Finalmente, también es posible la adición de vapor del acumulador 58 de vapor durante la operación completa bajo condiciones de carga de la turbina 24 a vapor. Para ello, se usa la oferta adicional de vapor del acumulador 58 de vapor para suministrar rápidamente eficiencia incrementada o potencia de control primaria y secundaria. En la operación normal puede renunciarse con ello a la restricción de la turbina 24 a vapor, puesto que puede suministrarse el control primario mediante el acumulador 58 de vapor. Con ello, es más alto el factor de eficiencia de la unidad 18 de planta generadora en la operación de carga base.

Para ello se mezclan sólo pequeñas cantidades de vapor adicional como vapor saturado del acumulador. Mediante ello ocurre una ligera disminución de la temperatura a la entrada de la turbina 24 a vapor. La turbina a vapor es operada además con vapor sobrecalentado y es menor la tendencia a la condensación dentro de las turbinas 38, 40, 42.

Además, se muestran los resultados de un cálculo conceptual para una planta generadora GuD con tres procesos de sobrecalentamiento intermedio a presión. La influencia de la adición de vapor adicional a la turbina 40 de presión media es representada en la FIG 7, que muestra la potencia relativa referida a la carga total en función de la adición relativa de vapor a nivel de presión media, tanto para la potencia 70 de turbinas a vapor, como también para la potencia 72 total de GuD.

5 También con este concepto puede satisfacerse el suministro de potencia de control primario. Como muestra la FIG 7, se eleva la potencia de GuD en aproximadamente 2 %, cuando la cantidad de vapor (nivel de presión media) en la turbina 40 de presión media se eleva en aproximadamente 12 %. Los efectos sobre la temperatura 74 de entrada a las turbinas a vapor son pequeños, como se muestra en la FIG 8. En este caso se muestra la disminución de la temperatura 74 de entrada a las turbinas a vapor en °C, frente a la adición relativa de vapor al nivel de presión media. De este modo, por ejemplo la reducción en la temperatura es de aproximadamente 35 K, es decir, la turbina 24 a vapor es operada además con vapor fuertemente sobrecalentado.

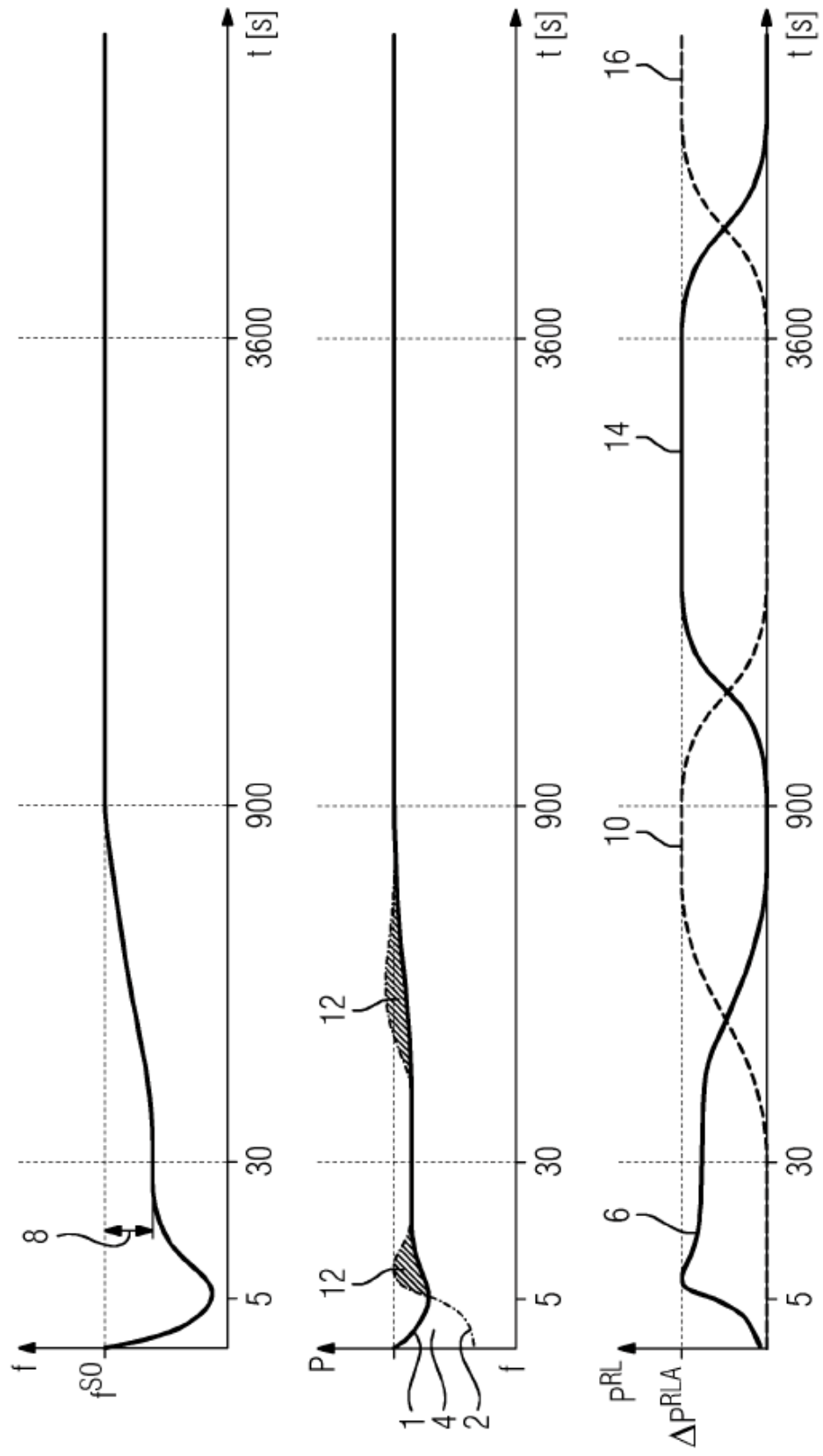
10 Para ello, las cantidades requeridas de vapor son pequeñas, lo cual disminuye la necesidad de volumen del acumulador. Para el suministro de potencia de control primario en una planta generadora GuD a base de una turbina Siemens SGT5-4000F a gas, se requieren sólo cuatro tambores de alta presión como acumulador 58 de vapor con un volumen de aproximadamente 20 m³ en cada caso. Estos cuatro tambores permiten el suministro de una reserva de energía de control de 2 % de la potencia de la planta generadora durante aproximadamente 15 min. La instalación de un número mayor de tambores permite ya el suministro de energía de control en la zona de reserva de minutos.

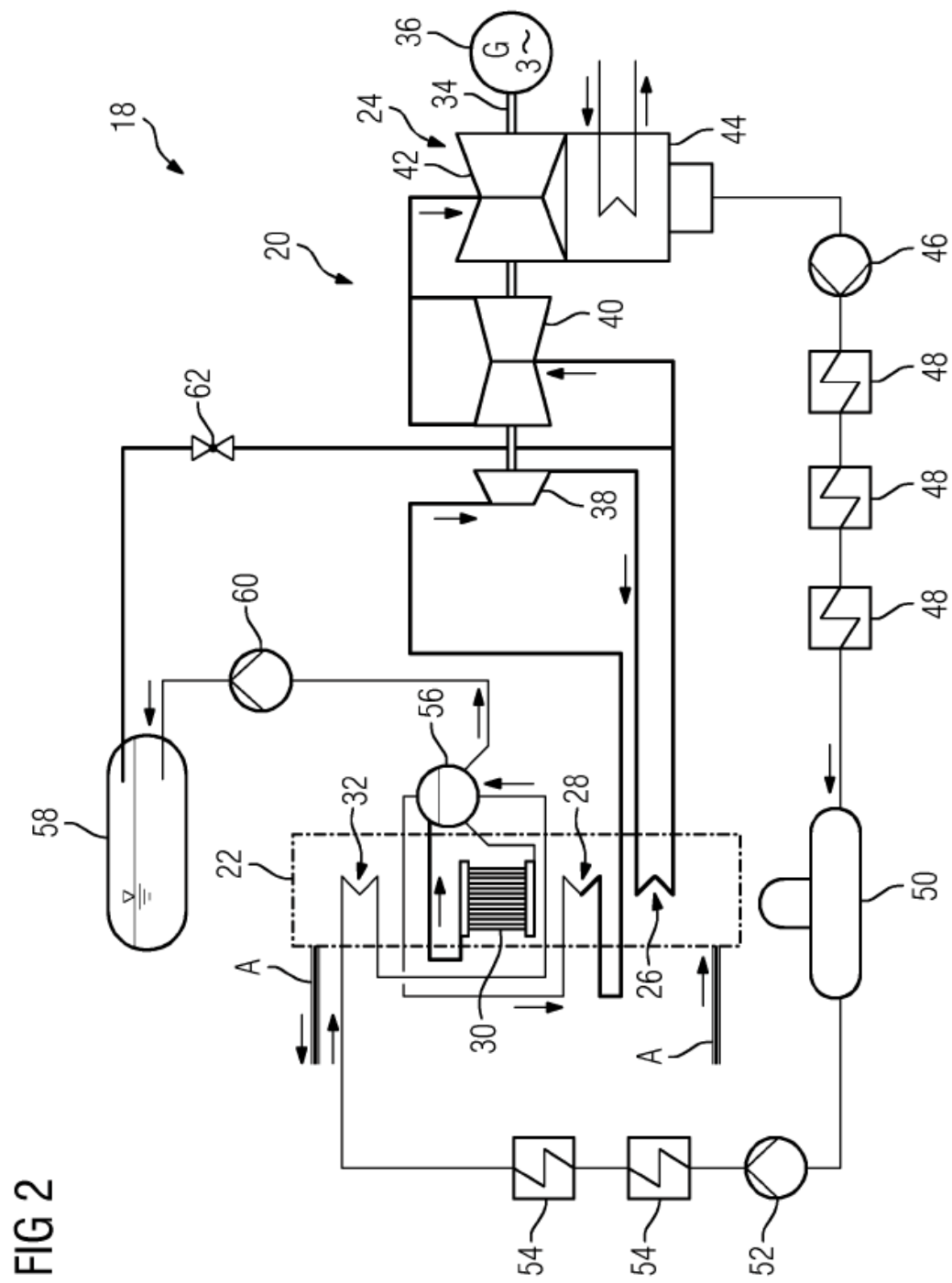
15 Si se parte de la instalación de tambores de presión media como acumulador 58 de vapor para el suministro de vapor para la turbina 42 de presión baja a 5 bar, aumenta el flujo másico necesario de vapor, puesto que sólo se usa la elevación de potencia de la turbina 42 de presión baja. Para una elevación de potencia de dos por ciento así mismo de la unidad 18 de planta generadora, es necesario un aumento de aproximadamente 17 % del flujo másico de vapor para la turbina 42 de presión baja. Son necesarios seis tambores con en cada caso aproximadamente 20 m³, para preservar la elevación de potencia durante aproximadamente 15 min.

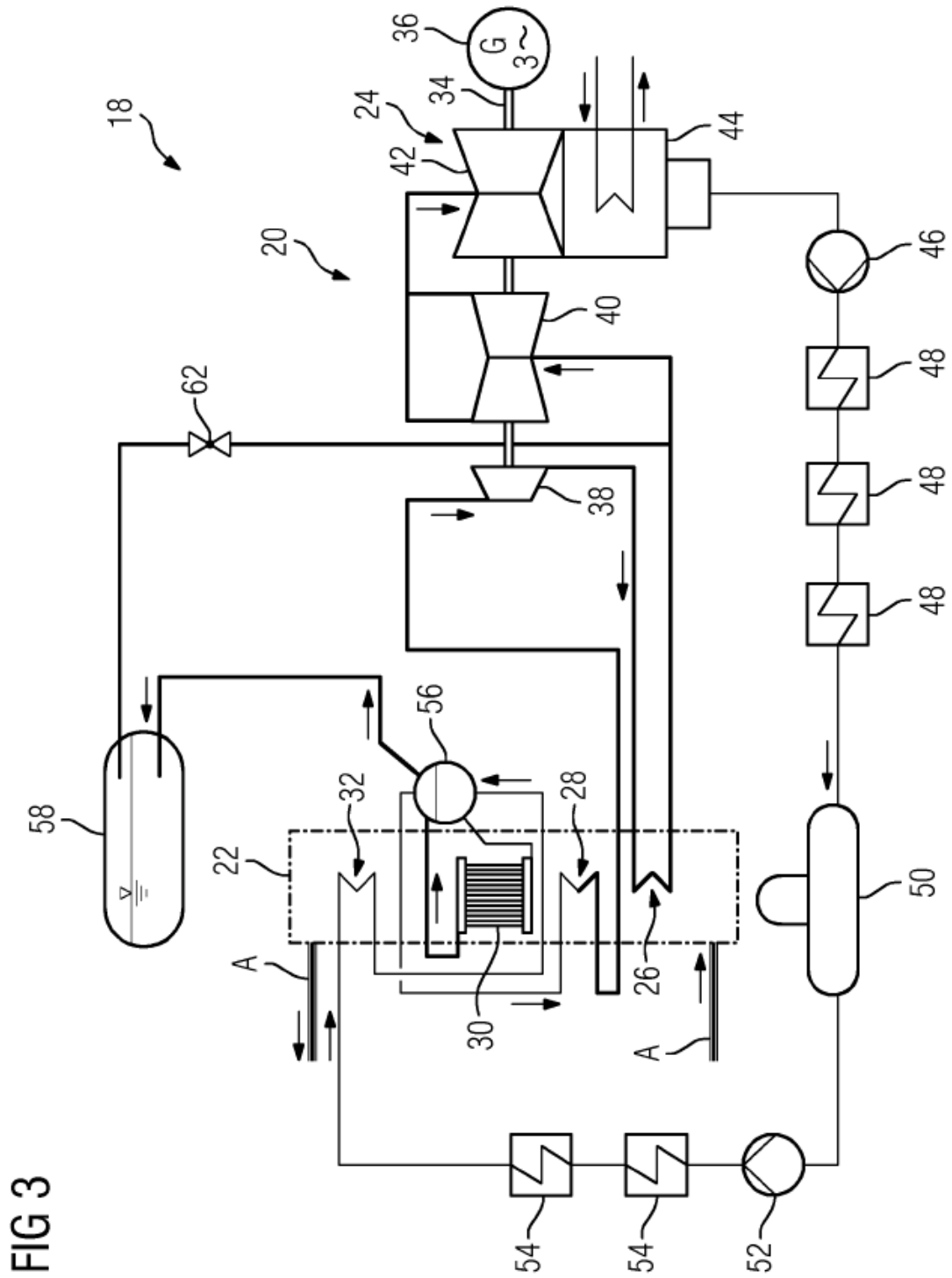
REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la operación de una unidad (20) de turbina a vapor con una turbina (24) a vapor y un generador (22) de vapor, en donde la unidad (20) de turbina a vapor comprende un acumulador (58) de vapor asignado a la turbina (24) a vapor, del cual se toma vapor y es suministrado a la turbina (24) a vapor, en donde el vapor es alimentado a la turbina (24) a vapor mientras el generador (22) de vapor está fuera de operación
- 5 caracterizado porque
- el acumulador (58) de vapor es cargado con agua saturada de un tambor (56) de vapor del generador (22) de vapor, mientras una demanda de potencia para la unidad (20) de turbina a vapor de una red eléctrica está por debajo de un valor límite preestablecido.
- 10 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el acumulador (58) de vapor es cargado con vapor saturado de un tambor (56) de vapor del generador (22) de vapor.
3. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en el cual el acumulador (58) de vapor es cargado con vapor sobrecalentado del generador (22) de vapor o de la turbina (24) a vapor.
- 15 4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, en el cual el acumulador (58) de vapor es cargado mediante un intercambiador (64) de calor.
5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, en el cual la unidad (20) de turbina a vapor comprende una parte de alta presión, una parte de presión media y una parte de presión baja y el acumulador (58) de vapor es cargado desde la parte de alta presión del generador (22) de vapor y se alimenta vapor a la parte de presión media de la turbina (24) a vapor.
- 20 6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, en el cual la unidad (20) de turbina a vapor comprende una parte de alta presión, una parte de presión media y una parte de presión baja y el acumulador (58) de vapor es cargado desde la parte de presión media del generador (22) de vapor y se alimenta vapor a la parte de presión baja de la turbina (24) a vapor.
- 25 7. Unidad (20) de turbina a vapor con una turbina (24) a vapor, un generador (22) de vapor, un acumulador (58) de vapor asignado a la turbina (24) a vapor, el cual está configurado de modo que puede tomarse vapor de ésta y ser alimentado a la turbina (24) a vapor, mientras el generador (22) de vapor está fuera de operación y de modo que el acumulador (58) de vapor puede ser cargado con agua saturada de un tambor (56) de vapor del generador (22) de vapor, mientras una demanda de potencia para la unidad (20) de turbina a vapor de una red eléctrica está por debajo de un valor límite preestablecido.
- 30 8. Unidad (20) de turbina a vapor de acuerdo con la reivindicación 7, en la cual el acumulador (58) de vapor está diseñado como acumulador de Ruth.
9. Unidad (18) de turbina a vapor y a gas (18) con una unidad (20) de turbina a vapor de acuerdo con las reivindicaciones 7 u 8.

FIG 1







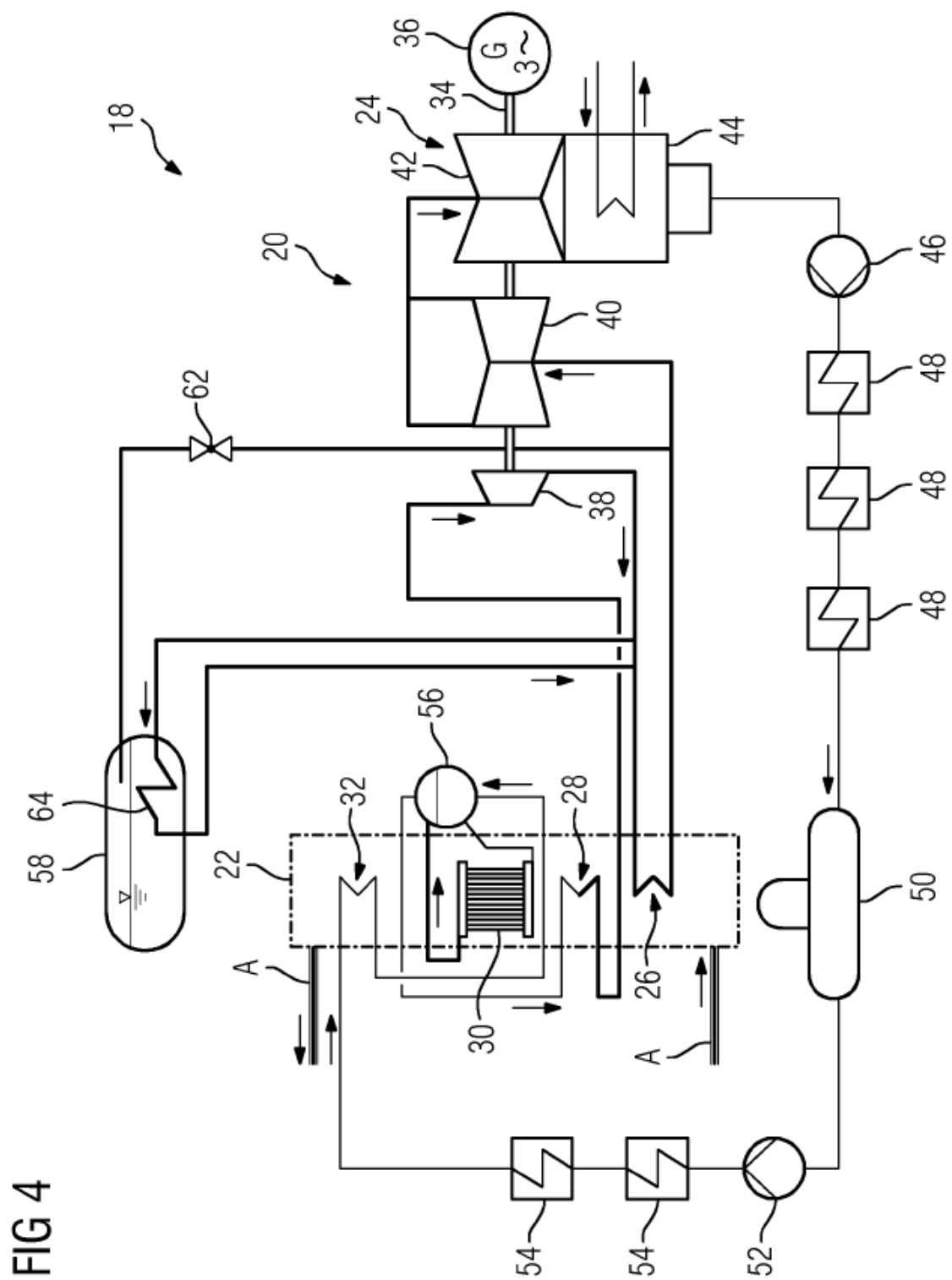


FIG 5

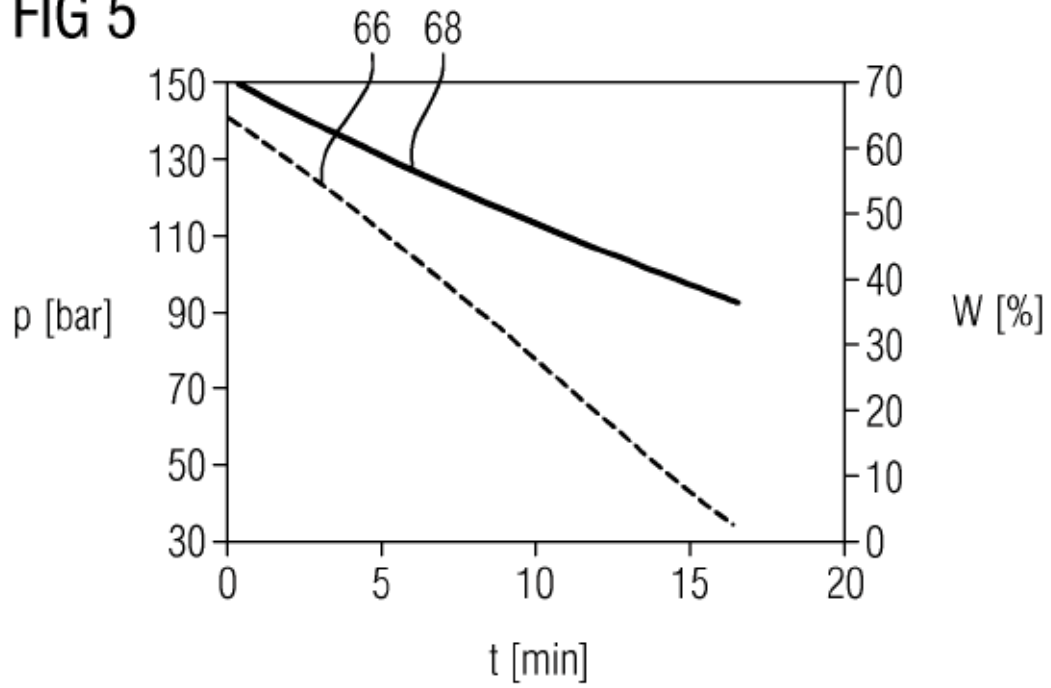


FIG 6

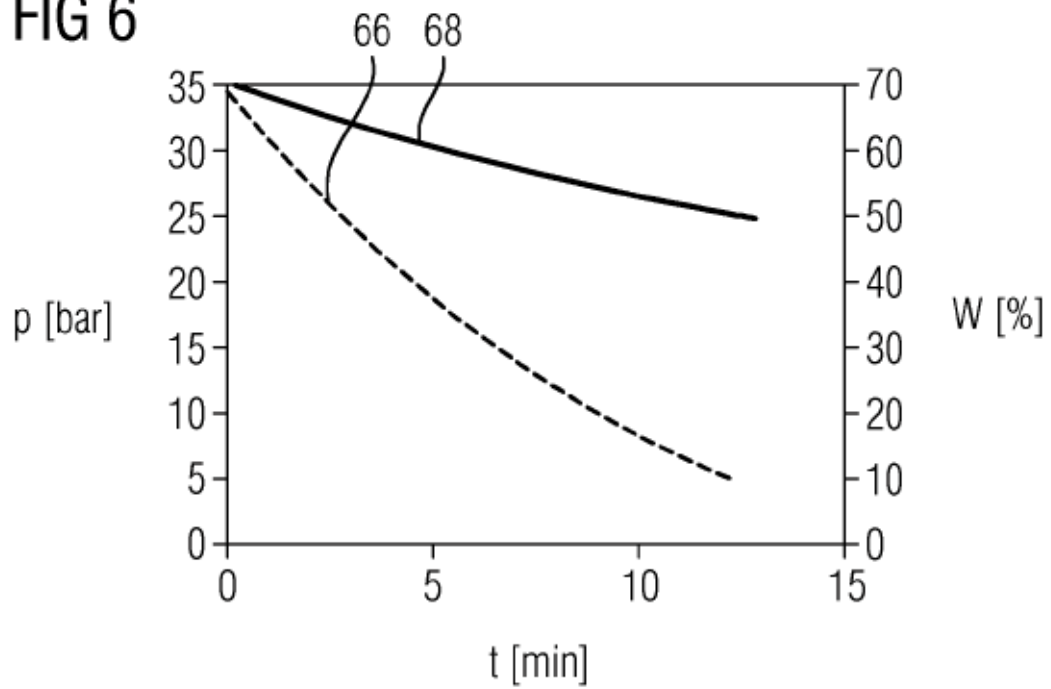


FIG 7

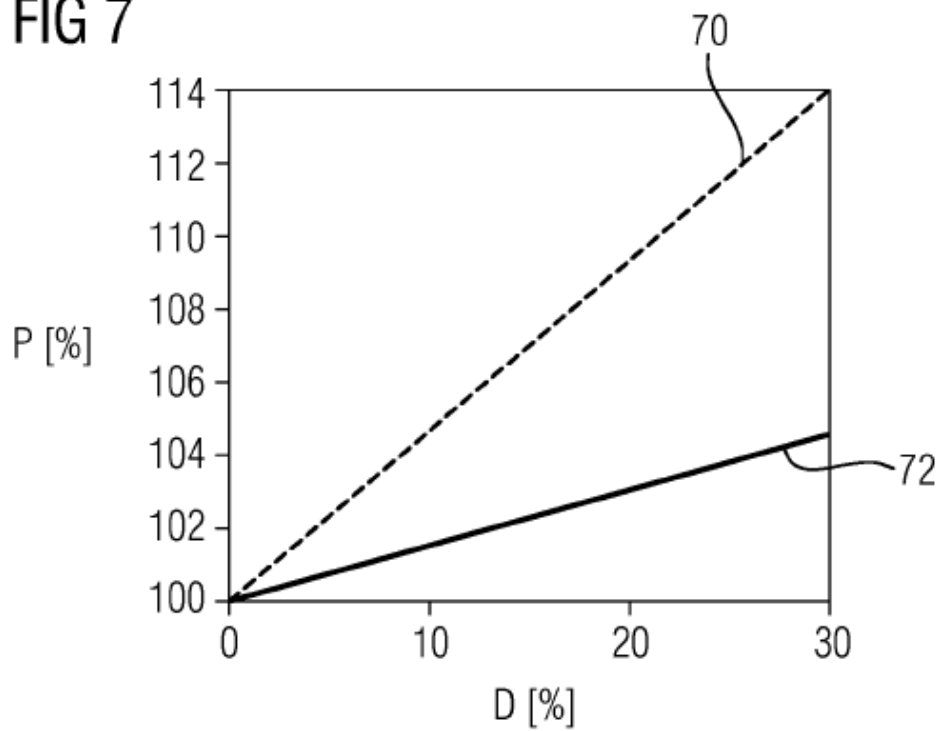


FIG 8

