

TEMA: REGULACION DEL NUMERO DE REVOLUCIONES DE TURBINAS

BIBLIOGRAFIA: DER TURBINENBAU - Der Siemens-Schuckertwerke, s.23

La evolución de los reguladores de las máquinas motrices fué siempre a la par de las máquinas. James Watt construyó para su máquina de vapor, el regulador clásico que lleva su nombre.

El regulador tiene la función de mantener lo más constante posible el número de revoluciones de máquinas motrices (máquinas y turbinas de vapor, motores de combustión interna, turbinas hidráulicas, etc.) cuando varía la carga.

Las máquinas alternativas (a émbolo) poseen un volante para una mayor acumulación de energía; en cambio las máquinas rotativas, de elevado número de revoluciones y sin volante, tienen, en relación a su potencia, un momento de inercia muy pequeño. Por eso su número de revoluciones es más sensible a las variaciones de carga y el regulador debe ser de gran sensibilidad y actuar de manera rápida y segura.

Un regulador moderno de turbinas ya no tiene nada de parecido con el diseño de los primeros modelos. Las primeras turbinas de vapor usaron el regulador que había dado buen resultado en las máquinas de émbolo, como el de la figura 13: Regulador con acción directa.

El vástago S gira con un número de revoluciones proporcional al de la máquina. La fuerza centrífuga que actúa en las masas G, se transmite mecánicamente y en forma directa a una válvula de doble asiento. La llamada "Fuerza de Regulación" (sobre el manguito M), se determina al mantener fijo el manguito e incrementar el número de revoluciones en 1%. Esta fuerza es normalmente del orden de algunos kiloponds.

Para aumentar esta fuerza se podría aumentar las masas, a costo de un mayor desgaste en las articulaciones y menor sensibilidad; pero nunca se podrá llegar a fuerzas de más de 1000 Kp que requieren los accionamientos de las válvulas de modernas turbinas. Es necesario un mecanismo que con fuerzas ínfimas pueda desarrollar fuerzas muy grandes, lo que se consigue con los sistemas hidráulicos o servomotores. En este caso el regulador ya no mueve una válvula, sino un pequeño émbolo en un cilindro que comanda el flujo de aceite a presión al cilindro de potencia, cuyo émbolo desarrolla fuerzas mayores sobre la válvula. A primera vista podría servir un sistema como el de la fig. 14: Regulador de acción integral sin recolocación. Pero éste no es apropiado para regular satisfactoriamente una máquina motriz, pues el movimiento del servomotor continúa aún después que la válvula alcanza la posición correspondiente al nuevo estado de carga. La acción se invierte con la variación del número de revoluciones y continúa oscilando en forma periódica. Se ve que este sistema no es utilizable, pues el manguito debe retornar a su posición primitiva cuando la válvula alcanza la abertura correspondiente a la carga.

La fig. 15 muestra un regulador con servomotor y recolocación del pistón de la corredera. En las fig. 16 y 17 se ve el funcionamiento del sistema ante una disminución de la carga. El pistoncito de la corredera de distribución de aceite,

retorna a su posición neutral, pero el manguito cambia de la posición M a M' y la turbina gira con una velocidad algo mayor.

La figura 18 indica las posiciones límites del manguito (M',M'') y del servomotor (K',K'') correspondientes a los estados de marcha en vacío y carga máxima. A cada carga corresponde una determinada velocidad de la turbina. O sea que la regulación es proporcional (estática). La diferencia entre los números de revoluciones correspondientes a la marcha en vacío y plena carga, referida a la velocidad nominal se denomina banda proporcional del regulador o grado de irregularidad y es definido por la característica del resorte.

En la fig. 19 se representa la línea característica del regulador de una turbina de 3000 r.p.m. que trabaja independiente de otras máquinas, con banda proporcional del 4%; sin carga gira a 3060 r.p.m. y con plena carga a 2940 r.p.m. Esta diferencia se puede corregir dando una mayor tensión al resorte, o sea que para una misma carga es necesaria una mayor fuerza, con velocidad más elevada, para mantener el manguito en la misma posición (línea de trazos).

Este ajuste es necesario en el caso de una turbina que acciona un generador eléctrico que trabaja en paralelo con otros generadores sobre una misma red. En el momento del acoplamiento el generador debe tener la misma frecuencia que las máquinas que ya se encuentran acopladas a la red. Después del acople, el número de revoluciones del turbogruppo es determinado por la frecuencia de la red.

En la fig. 20 se indica la línea característica del regulador con 4% de banda proporcional, de un turbogenerador en servicio solitario. Se ajusta el número de revoluciones en 3000 para 1/4 de carga, según la línea ab. Para 3/4 de carga se debe correr la línea hacia a'b', o sea 60 r.p.m. (2%), desplazando el manguito hacia abajo mediante una mayor tensión del resorte.

Este sistema de regulación del número de revoluciones fué usado durante muchos años en las turbinas de vapor.

La figura 21 muestra un regulador hidráulico: una pequeña bomba centrífuga A, genera una presión de aceite, que varía con el cuadrado del número de revoluciones. Esta presión actúa sobre el pistón de mando K1, en oposición al resorte F1. El resto es similar al regulador anterior.

La construcción de turbinas superpuestas de gran potencia, con altas presiones, requiere siempre altas exigencias en el comando. Los rotores de estas turbinas tienen un momento de inercia relativamente pequeño. Su tiempo de arranque, o sea el tiempo en el cual la turbina, bajo el efecto del momento de plena carga, alcanza la velocidad normal a partir del estado de reposo, es particularmente pequeño. La velocidad aumenta rápidamente si la máquina se descarga y el suministro de vapor no se reduce inmediatamente. A pesar de esta difícil relación, se requiere del sistema de mando, que en caso de desconexión de la carga máxima, detenga la máquina antes de llegar al punto de cierre rápido. Esto significa que el transitorio aumento de velocidad no debe alcanzar dicho punto. Por eso se han provisto las turbinas con reguladores de mayor sensibilidad y velocidad regulable como el regulador hidráulico de la lámina A.

Las turbinas Siemens fueron provistas con este regulador. Se diferencia con el anterior en que se coloca un pistón Q con un circuito secundario de aceite y un fuelle B sin rozamiento. El circuito secundario tiene una curva característica considerablemente más inclinada que la del primario (fig.23), o sea que las diferencias de presión obtenidas, son varias veces mayor que las producidas en el circuito primario, ante variaciones de velocidad aun pequeñas.

El proceso de regulación en el caso de un aumento de la carga:
La presión del aceite del circuito primario A (verde), cae a consecuencia de la disminución de la velocidad;

La palanca C se desplaza hacia abajo por efecto de la fuerza del resorte F1; su extremo está acoplado a la corredera H y se estrangula la descarga del circuito secundario (azul);

La presión en el circuito secundario aumenta y desplaza el pistón Q hacia abajo (contra la fuerza del resorte F2), aumentando la descarga hasta equilibrar la tensión del resorte y la presión;

La corredera S se desplaza contra el resorte F3, dejando libre los pasos de aceite al cilindro K;

El pistón corre hacia abajo, abriendo la válvula de vapor V hasta que el aumento del suministro de vapor permite a la turbina generar una potencia mayor, aunque la igualación de la velocidad no es perfecta, puesto que para una mayor carga, la turbina debe girar a una velocidad algo menor, en correspondencia a la banda proporcional del regulador;

El pistón K presiona sobre el resorte F3, a través de la palanca R y recoloca la corredera S en la posición inicial, con lo que se completa el proceso de regulación.

Para el caso de una disminución de la carga, el proceso se desarrolla en sentido contrario, para cerrar la válvula de vapor.

Girando el cono T (varía el ángulo de conicidad) se ajusta la banda proporcional del regulador entre los límites 4 a 8% de la velocidad nominal, considerando la carrera total de la válvula. Referido a la banda de carga desde marcha en vacío hasta carga nominal, es aproximadamente 3 a 6%. El ajuste de la B.P. se puede hacer también durante el servicio.

La insensibilidad o banda muerta del regulador está por debajo del 0,1% de la velocidad nominal.

A la "Regulación de una Turbina" pertenece además del regulador de velocidad, también la corredera de mando, el cilindro de fuerza, la barra de regulación y la válvula. Las turbinas Siemens tienen como órgano de regulación, válvulas con grupos de toberas; o sea que cada válvula conduce un determinado caudal de vapor para el correspondiente grupo de toberas. Las válvulas abren y cierran una tras otra en correspondencia con las variaciones de carga. Sus bandas de regulación se superponen un poco para evitar oscilaciones en los puntos de transición. Con esto mejora el consumo específico de vapor en los casos de cargas parciales, al disminuir la estrangulación que habría en caso de disponer una sola válvula.

La última válvula de regulación trabaja la mayoría de las veces para sobrecarga; abre cuando la carga sobrepasa la potencia nominal de diseño.

Puede suministrar vapor a su propio grupo de toberas o bien directamente a la cámara de la rueda de regulación u otra etapa posterior.

Además de válvulas jaula de doble asiento, se usan válvulas difusor que trabajan con elevadas velocidades de vapor y por lo tanto son de menor diámetro. Gran parte de la energía cinética se transforma nuevamente en energía de presión, reduciendo las pérdidas.

Los dispositivos de seguridad de una turbina de vapor están ligados íntimamente a la función de la regulación. En primer lugar están los dispositivos de protección por sobre elevación de la velocidad y de mantenimiento del suministro de aceite.

En la figura 24 se muestra un dispositivo de cierre rápido, con la corredera inversora U, que en servicio normal permite el paso del aceite a presión, hacia la válvula de cierre rápido y para el comando de la turbina. La fuerza del resorte cierra la válvula ante la falta de presión de aceite. En la I mina A, se observa que la caída de presión de aceite, hace descender la corredera S y tanto la presión de aceite en el servomotor como la fuerza del resorte, cierran la válvula de regulación.

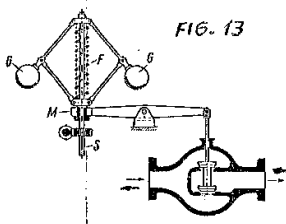
En el caso de turbinas de condensación, un dispositivo de acción similar produce la detención cuando la presión en el condensador llega a valores inadmisibles. Lo mismo ocurre en las turbinas de contrapresión cuando el valor de ésta se aparta mucho del estado normal. La corredera de inversión U, es diseñada con émbolos de diferentes diámetros, de modo que la presión del aceite la mantiene en la posición abierta, pero una separación de apenas una décima de milímetro del asiento superior, permite que la fuerza del resorte F la empuje hacia abajo.

En la fig. 24 se observa la construcción de este dispositivo de seguridad, que actúa debido a la fuerza centrífuga, cuando se supera la velocidad nominal en 10 a 12 %.

En la fig. 25 se muestra el sistema de protección del cojinete axial. Entre dos levas excéntricas N, hay un gatillo C con juego axial de 0,7 a 1 mm, que sube sobre cualquiera de ellas, ante un desplazamiento inadmisibile para el cojinete, accionando el dispositivo de cierre rápido.

Como los dispositivos de seguridad están inactivos durante el servicio normal de la turbina, es indispensable efectuar una prueba cada ciertos intervalos de tiempo.

TURBINAS DE VAPOR - REGULACION DEL NUMERO DE REVOLUCIONES



REGULADOR MECANICO DE ACCION DIRECTA

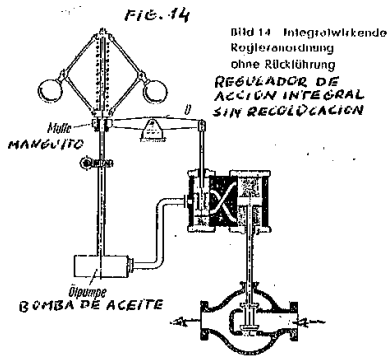


Bild 14 Integralwirkende Regleranordnung ohne Rückführung
 REGULADOR DE ACCION INTEGRAL SIN RECULACION

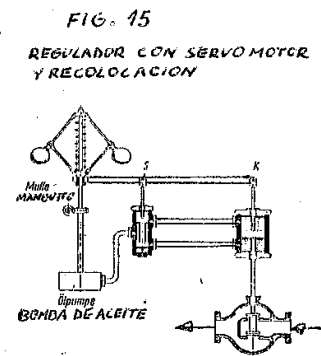


FIG. 15 REGULADOR CON SERVMOTOR Y RELOCALACION

FIG. 16. VARILLAJE DEL REGULADOR DURANTE UNA DESCARGA

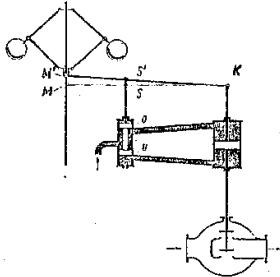


FIG. 17. VARILLAJE AL FINAL DE LA DESCARGA

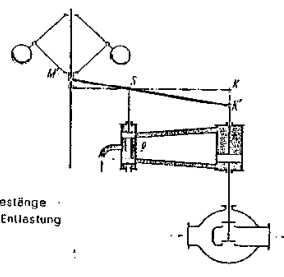


Bild 17 Regelgestänge nach beendeter Entlastung

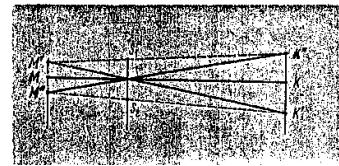


FIG. 18 - LAS POSICIONES LIMITES S1 Y S2 DE LA CORREDERA DE MANDO SON DETERMINADAS POR LAS LINEAS M'K'' Y M''K'

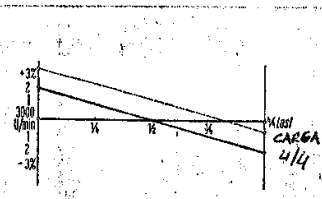


Bild 19 Proportionalbereich eines Drehzahlreglers
 Gestrichelt: Drehzahlkennlinie bei zusätzlicher Belastung der Reglernutze

BANDA PROPORCIONAL DE UN REGULADOR. LINEA CARACTERISTICA (DETRAZOS) EN EL CASO DE UNA CARGA ADICIONAL DEL MANEJO

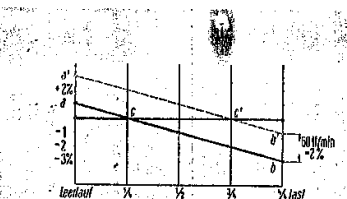


Bild 20 Belastungszunahme durch Beistellen der Drehzahlverstellvorrichtung

AJUSTE DEL DISPOSITIVO DE REGULACION EN EL CASO DE UN AUMENTO DE LA CARGA

FIG. 21 - REGULACION HIDRAULICA

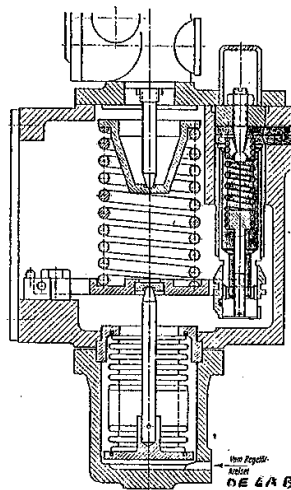
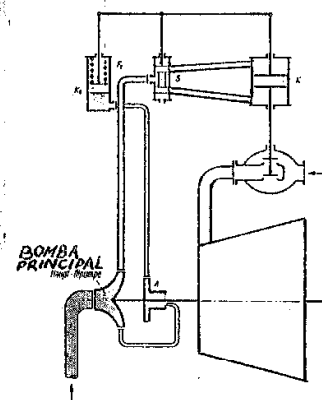
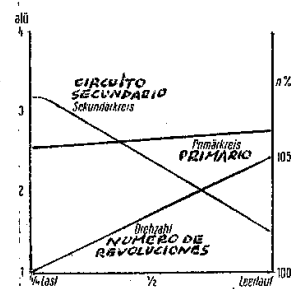
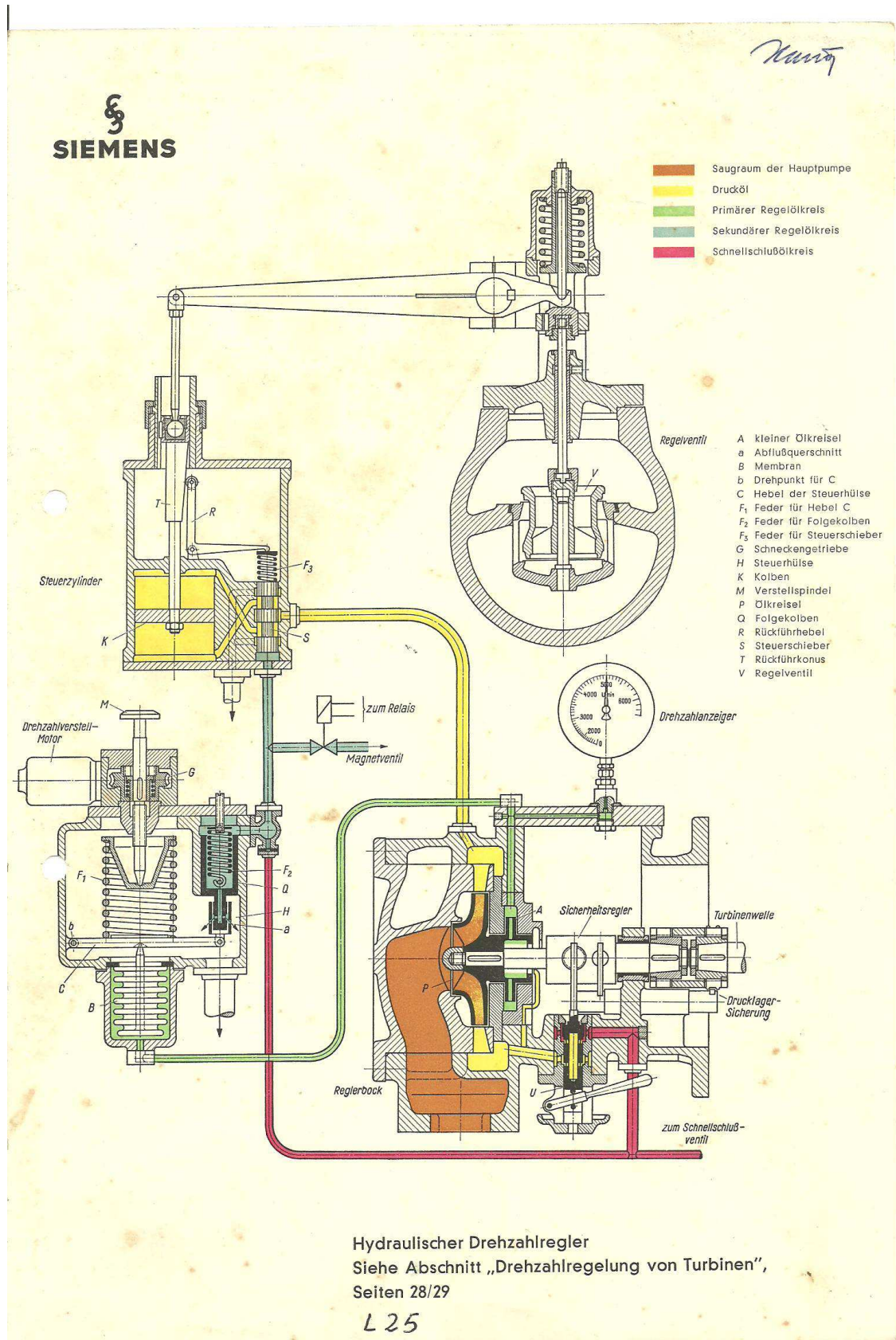


Bild 22 Hydraulischer Drehzahlregler (ohne Regelkreisel)
 REGULADOR HIDRAULICO

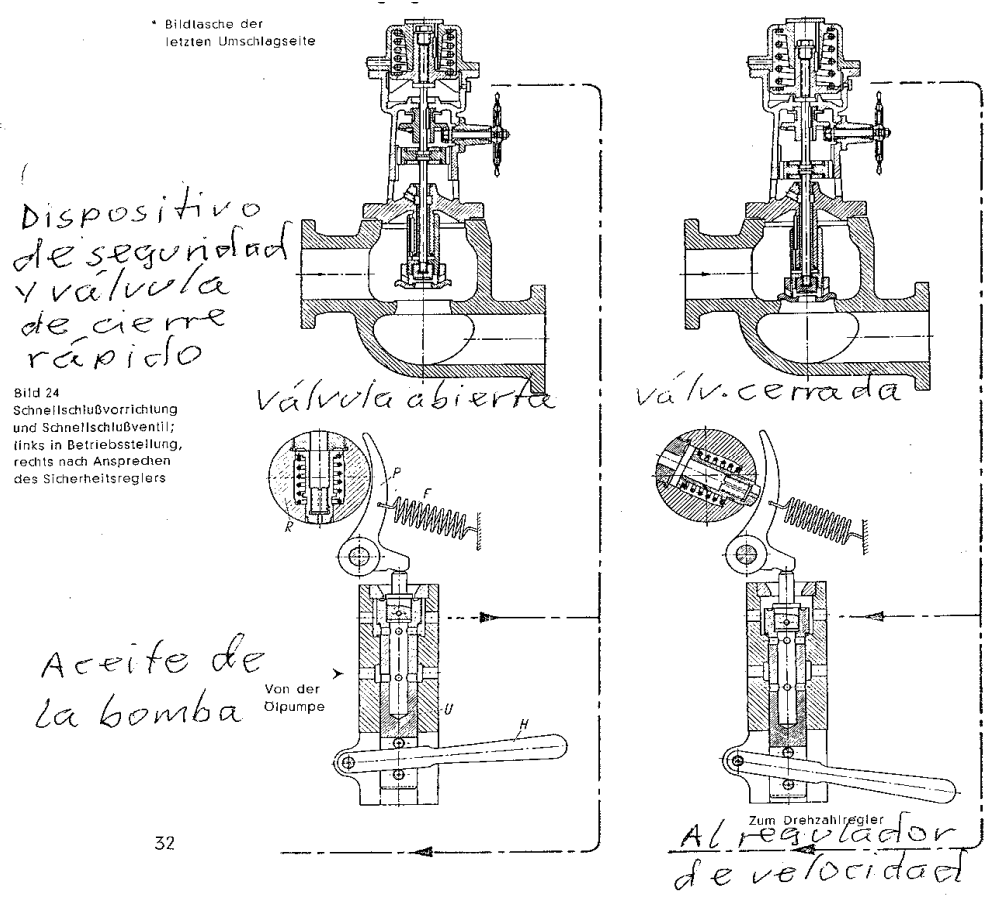
DE LA BOMBA DE REGULACION

FIG. 23 - PRESION DE ACEITE EN UN REGULADOR CON 5% DE BANDA PROPORCIONAL

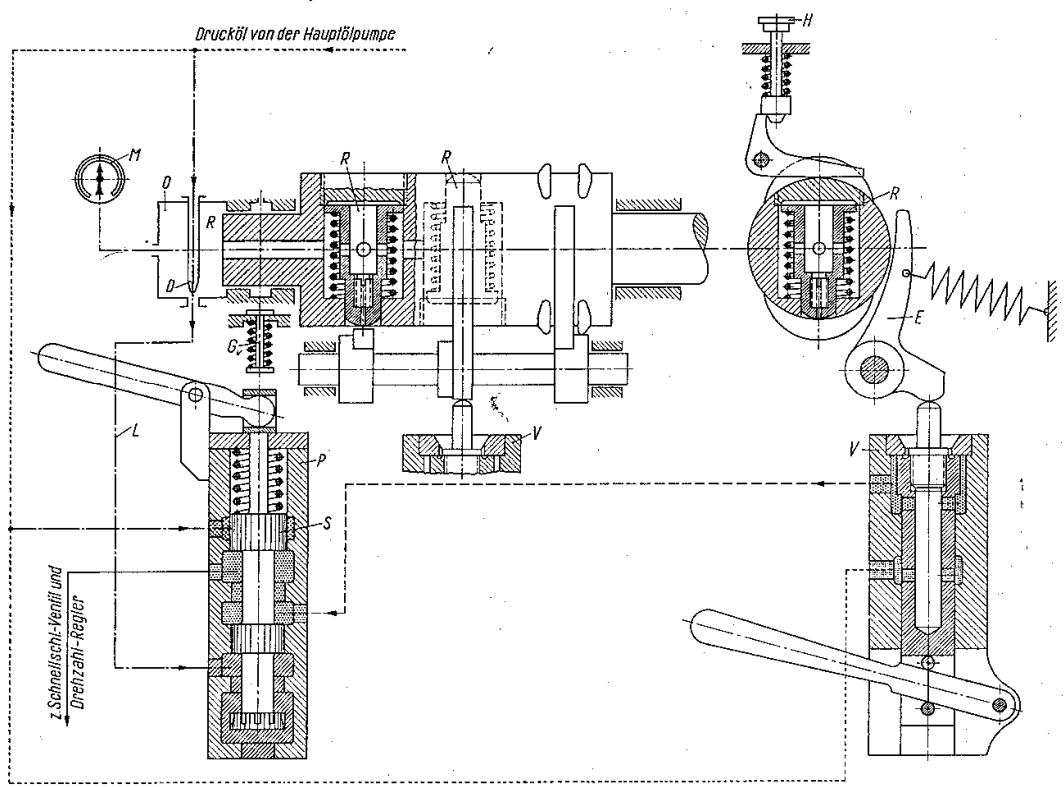




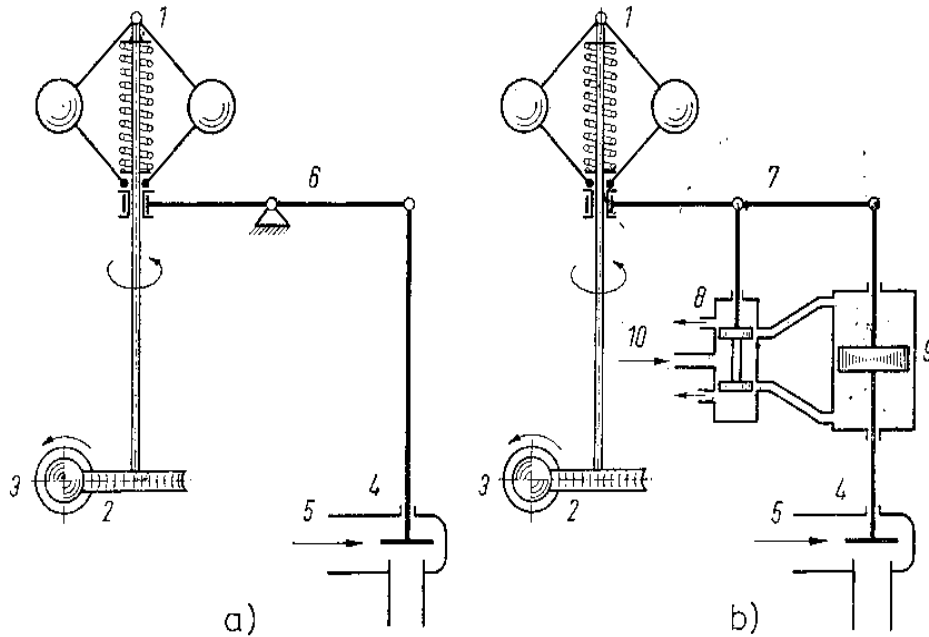
REGULADOR HIDRÁULICO DE VELOCIDAD DE TURBINAS DE VAPOR



32

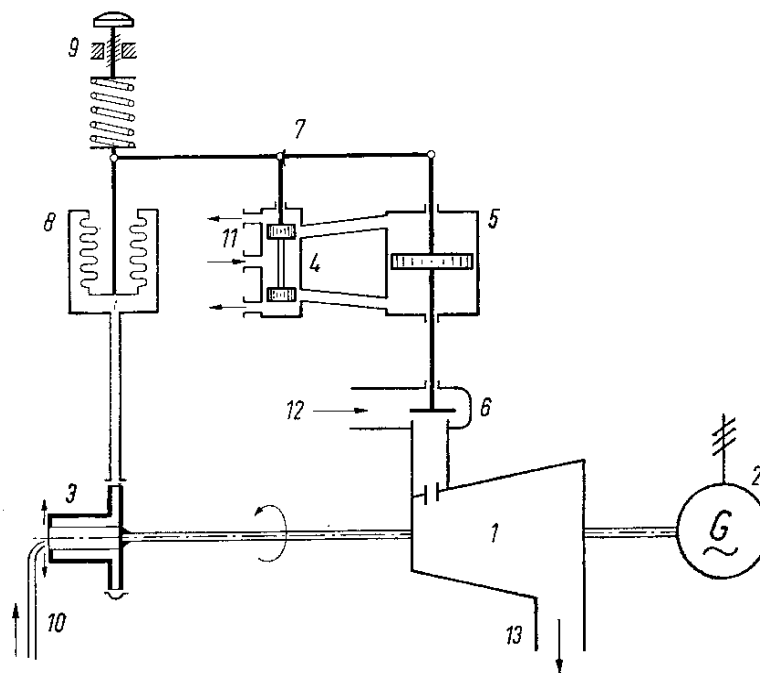


Regulador de seguridad con dispositivos de cierre rápido y de prueba, con entrada de aceite de la bomba principal y salida hacia la válvula de cierre rápido y regulador de velocidad:

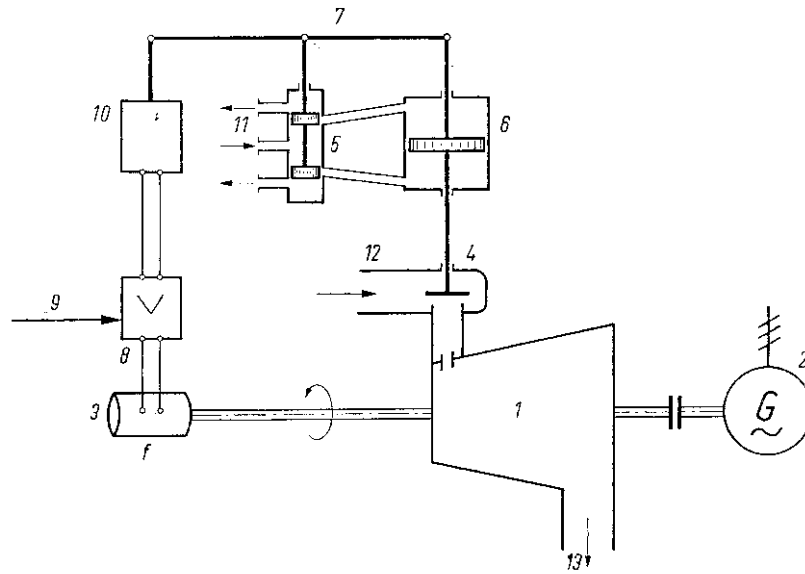


a) Regulador de velocidad mecánico

b) Regulador de velocidad con recolocación (7) y válvula de distribución y servo motor hidráulico (8) y (9)



Regulador de velocidad hidráulico



Regulador de velocidad electrónico con amplificador, convertidor electromecánico, válvula de distribución y servo motor hidráulico.