

SISTEMA MIXTO PARA EL CONTROL DE LA GENERACION EN MICRO CENTRALES HIDROELECTRICAS.

Ing. Kurtz, Victor Hugo - Ing. Anocibar, Héctor Rolando
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES - UNaM
Facultad de Ingeniería – Dpto. de Electrónica
Juan Manuel de Rosas 325 – CP 3360
Tel /Fax (+54) 3755 – 42 2169 / 42 2170 / 42 6023 Int. 117
E-mail: kurtzvh@fiobera.unam.edu.ar E-mail: anocibar@fiobera.unam.edu.ar
Oberá, Misiones - ARGENTINA

RESUMEN

En este trabajo, se presenta un sistema que opera en conjunto con un regulador de frecuencia por variación de caudal, utilizado en aprovechamientos hidráulicos de operación aislada.

El principio de funcionamiento, se basa en incorporar o quitar carga ficticia en función de la corriente demandada por el consumidor. Ante una demanda de carga, se retira igual cantidad de carga ficticia en forma instantánea y a continuación con una pendiente ajustable, se reincorpora lentamente, permitiendo que el mecanismo de control de frecuencia realice la maniobra de regulación del caudal.

De la misma manera; si se libera carga, se incorpora la misma proporción en forma prácticamente instantánea, para luego ser retirada lentamente en función de la respuesta del sistema regulador de caudal.

La principal ventaja del sistema propuesto radica, en la posibilidad de utilizar reguladores de frecuencia por variación de caudal más simples, ya que el tiempo de respuesta de estos, pasa a ser un factor secundario.

INTRODUCCIÓN

Para el control automático de la frecuencia generada, en pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) que operan en forma aislada, se utilizan básicamente dos métodos: Uno por control de carga balasto (*load control* - control de carga) y otro por variación de caudal turbinado (*flow control* - control por flujo), [Casanave et al. 2001] [Coz et al. 1995].

Sistema de Regulación por Carga Balasto

El sistema de regulación por control por carga balasto (o ficticia), consiste en mantener constante la potencia generada. Es decir; la máquina funciona a potencia constante.

$$P_g = P_d + P_c \quad (1)$$

Donde:

P_g : Potencia generada.

P_d : Potencia disipada en la carga balasto.

P_c : Potencia consumida.

La energía no consumida se disipa en forma de calor, en una o más resistencias, denominadas comúnmente

resistencia balasto (carga lastre o *dummy load*), ubicadas generalmente en la casa de maquina.

La porción de energía enviada hacia la resistencia balasto, es función de la frecuencia de la tensión generada. El sistema de control compara permanentemente la frecuencia generada con un valor de referencia.

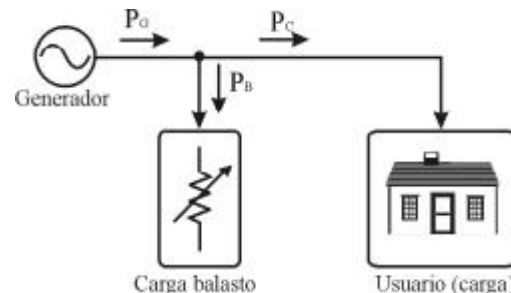


Fig. 01 – Sistema de regulación por carga balasto.

Si la frecuencia generada es mayor que la de referencia, el sistema deriva más energía hacia las resistencias balasto.

De la misma manera, si la frecuencia generada es menor que la de referencia, el regulador deriva menos energía hacia la resistencia balasto.

Para el control de la energía disipada en la resistencia balasto, se utiliza normalmente llaves electrónicas, que pueden ser tiristores, triac, transistores, entre otros.

El método de control por carga balasto, no presenta inconvenientes respecto al tiempo de respuesta de la acción reguladora. Pero solo encuentra aplicación en sistemas donde la cantidad de agua disponible ser turbinada, no constituye un factor crítico.

Regulador de Frecuencia por Variación de Caudal

En el sistema regulador de frecuencia por variación de caudal, un servomecanismo controlado para la frecuencia generada, actúa sobre el órgano regulador de caudal, modificando la cantidad de agua turbinada.

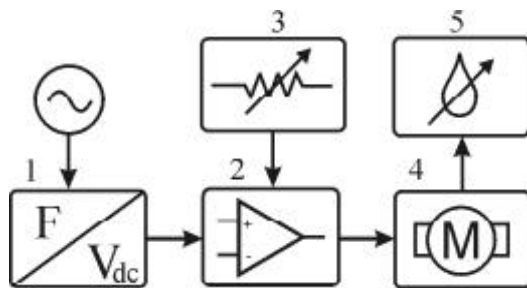


Fig. 02: Regulador de frecuencia por variación de

1. Conversor frecuencia tensión.
2. Circuito comparador.
3. Valor de referencia.
4. Servomotor de regulación.
5. Organo regulador de caudal.

La velocidad máxima de operación del órgano regulador de caudal, está limitada por las condiciones hidrodinámicas del aprovechamiento. En PCH suele ser lenta respecto a la variación de la carga demandada.

En el caso particular de las PCH, donde están involucradas maquinas de pequeño tamaño, los momentos de inercia de rotación son reducidos, con lo que resultan importantes cambios de velocidad frente a mínimas modificaciones del par resistente. Este problema se agudiza cuando menor sea la potencia instalada, ya que, ante una disminución de la potencia,

se incrementan las variaciones relativas de carga [Muñoz et al. 1996].

En general, el tiempo de respuesta de los sistemas de regulación de frecuencia por variación de caudal, es bastante mayor que los sistemas de control por carga balasto. La ventaja se encuentra en la posibilidad de almacenar agua.

Situación Particular en la Provincia de Misiones

Por la característica hidrológica de la provincia de Misiones (Argentina), donde no se presentan períodos de abundante caudal a turbinar. Hace inconveniente el uso de sistemas de regulación de frecuencia del tipo, carga constante o regulación con carga balasto, ya que es más productivo almacenar agua en la presa, que disipar esa energía en forma de calor [Kurtz 2003].

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, la UNaM (Universidad Nacional de Misiones), ha encarado el estudio del sistema que se presentan en esta oportunidad.

SISTEMA MIXTO

Los inconvenientes antes mencionados, respecto de los tiempos de respuesta y las variaciones relativas de carga, hacen que se deba recurrir a métodos alternativos para el control de la frecuencia generada.

Una alternativa para el control, puede estar en un sistema que combine las ventajas del sistema de regulación por carga ficticia con las ventajas del método de regulación por caudal.

El sistema mixto de control de generación (SMCG) propuesto, combina la acción del sistema de control por caudal con el control por carga constante.

Principio de Funcionamiento

El principio de funcionamiento SMCG, se basa en incorporar o quitar carga ficticia en función de la corriente demandada por el consumidor.

Ante un aumento de la carga consumida (demanda), se retira practicante en forma instantánea, igual proporción de carga ficticia. A continuación, se reincorpora lentamente la carga ficticia, al valor que tenía antes de la perturbación. Permitiendo con esto que el mecanismo de control de frecuencia, efectúe la maniobra de regulación del caudal.

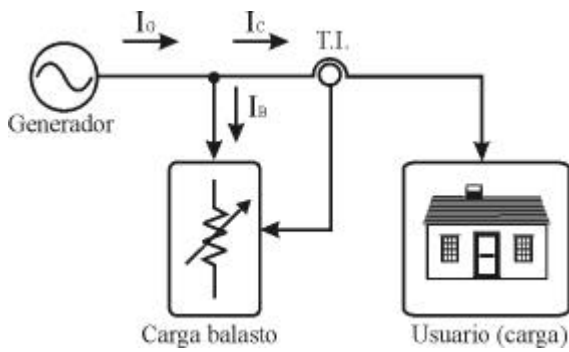


Fig. 04, Control de la carga balasto en el sistema

De la misma manera; si el usuario libera carga, se incorpora instantáneamente la misma proporción en carga ficticia, para luego ser retirada lentamente en función de la respuesta del sistema regulador de caudal.

El SMCG propuesto, funciona en conjunto con un regulador de frecuencia por caudal.

Diagrama en Bloque del Circuito Utilizado

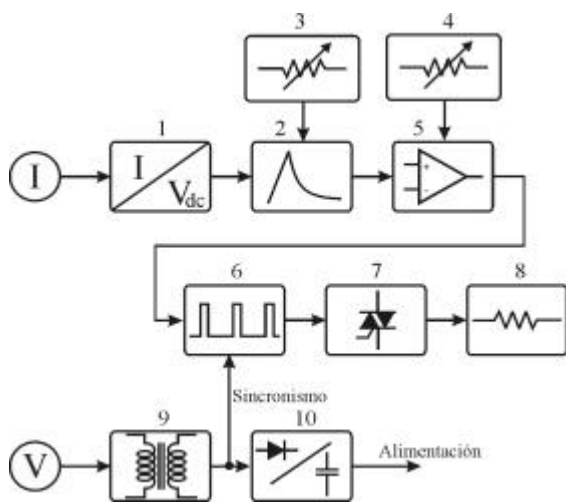


Fig. 05, Diagrama en bloque del SMCG.

Donde:

1. Conversor de intensidad de corriente en alterna en tensión de corriente continua. (Conversor corriente-tensión).
2. Red diferenciadora (tiempo de extinción).
3. Ajuste del tiempo de extinción.
4. Ajuste el valor consigna. Circuito procesador de señal.
5. Generador de disparo sincronizado del tiristor de comando.
6. Tiristor de comando de la carga balasto.
7. Resistor disipador de energía.

8. Transformador de alimentación y sincronismo.
9. Fuente de alimentación.

Conversor Corriente-Tensión

En el bloque conversor corriente-tensión, la corriente alterna I_c que fluye hacia la carga (usuarios), es convertida en una tensión proporcional en corriente continua, para el posterior tratamiento.

Para el sensado de la corriente de carga I_c , se puede utilizar transformadores de intensidad (TI) comerciales de relación $x/5A$ o TI construidos con un núcleo toroidal de ferrite. Bloque 1.1 (Fig. 06)

La corriente secundaria del TI es convertida en tensión alterna proporcional, con la ayuda de un resistor "Shunt", Bloque 1.2 (Fig. 06)

Como la tensión obtenida sobre el resistor "Shunt", es de pequeño valor, hay que utilizar un rectificador de precisión o rectificador activo, para convertir la tensión

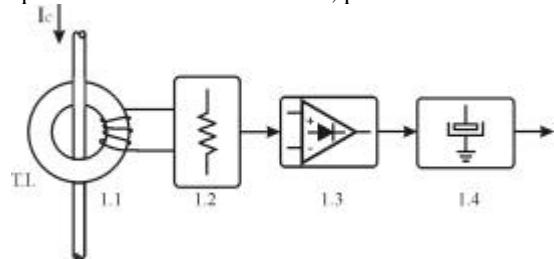


Fig. 06, Diagrama en bloque de conversor corriente-tensión

alterna en continua. En los bloques 1.3 y 1.4 de la figura 06, se muestran el rectificador activo y el filtro, respectivamente.

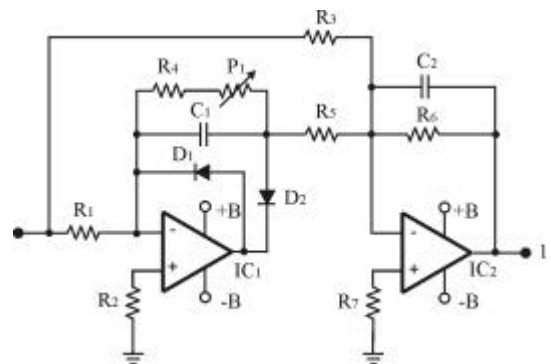


Fig. 07 Circuito rectificador de precisión y filtro.

Para la implementación del circuito rectificador de precisión y el filtro, se utilizó dos de los cuatro amplificadores operacionales, incluidos en una misma cápsula del circuito integrado RC4136, con la topología indicada en la figura 07.

Circuito Procesador de Señal

Bajo este título, se agrupa el circuito de tiempo de extinción C3, R10 y P2, el circuito amplificador inversor (IC3) y el circuito comparador (IC4), ver fig. 08.

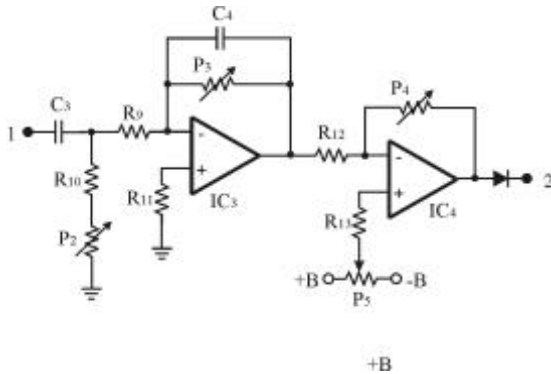


Fig. 08, Circuito procesador de señal.

Cuando la tensión de salida (nodo 1) del rectificador de precisión aumenta, por que la corriente demandada aumenta, el capacitor C3 se carga rápidamente, aumentando la tensión en el nodo 2, provocando la disminución de la energía disipada en la resistencia balasto. Luego, vía R10 y P2, se descarga lentamente capacitor C3, volviendo a disipar la resistencia balasto el valor de energía, ajustado con P5

Generador de Disparo Sincronizado del Tiristor de Comando.

Para el control de la potencia disipada en la resistencia balasto, se utiliza el método de control por ángulo de fase, también denominado control por ángulo de conducción¹, utilizando rectificadores de silicio controlados (RCS – acrónimo ingles), también denominado tiristores.

En el método de control por ángulo de fase, el instante de conexión, es decir, el momento en que se establece el flujo de corriente, puede ajustarse entre ciertos límites de la semionda de tensión. Si se provoca el paso de corriente al comienzo de la semionda de tensión, ésta se habrá aprovechado totalmente. Por el contrario, si se permite el paso de corriente al finalizar la semionda, la energía enviada a la carga comandada tendrá poco efecto (Bergtold 1996).

Para cada semiperíodo útil, El intervalo de conducción se denomina ángulo de conducción.

En la figura 09, se hace referencia a un ángulo de conducción de 135° eléctricos, correspondiente al un control de onda completa. Mientras que en la figura 10,

se indica la forma de onda para un ángulo de conducción de 100°.

Para el caso de la figura 09, mas energía será enviada a la carga balasto, mientras que en el caso de la figura 10, menos energía será enviada a la carga.

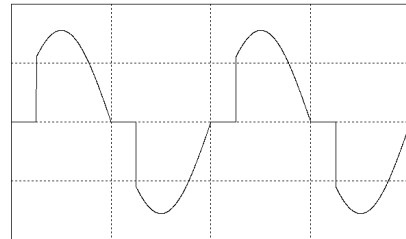


Fig. 09, Angulo de conducción 135°

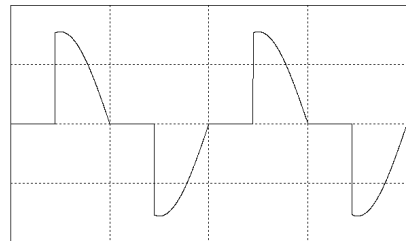


Fig. 10, Angulo de conducción 100°

Para el control del ángulo de fase se utiliza un circuito integrados dedicados, de la firma Siemens, el TCA785. Este integrado controla el ángulo de conducción en función de la tensión de continua, presente en la entrada (pin 11), ver fig. 11).

Para el comando de la energía disipada en la resistencia balasto, se utiliza tiristores unidireccionales conectados en antiparalelo (ver fig.12) o directamente tiristores bidireccionales (triac) ver fig.13. Controlando en ambos casos por el circuito integrado TCA785, vía un acoplador óptico con salida a fotodiac MOC3021, para proveer aislación galvánica entre el sistema de potencia y el sistema de control.

En sistemas trifásicos se utilizan tres módulos de SMCG, uno en cada fase, conectados en estrella.

Magnitud de la Carga Balasto

En el sistema de regulación de frecuencia con carga balasto, es de práctica utilizar una carga lastre de unos 10 a 20% mayor de la potencia nominal del aprovechamiento.

$$Pd \approx 1.1a1.2Pg \quad (2)$$

¹ Actualmente se está estudiando otros métodos para el control de la carga balasto, utilizando transistores de efecto de campo.

Para el SMCG, la magnitud de la carga balasto deber ser adoptada teniendo en cuenta la máxima potencia instantánea demandada.

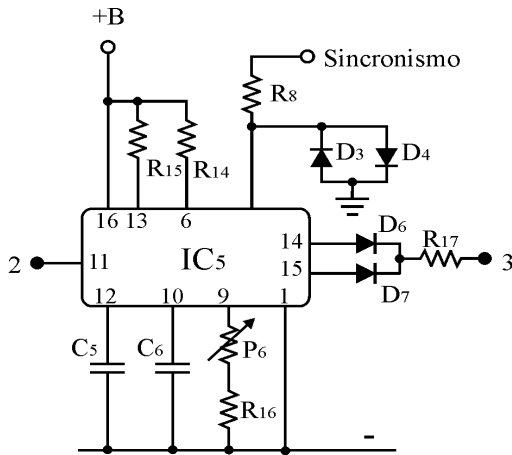


Fig. 11. TCA785, Circuito controlador de disparo.

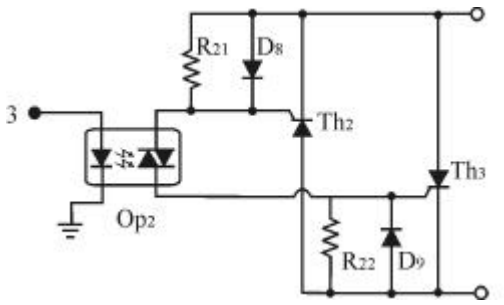


Fig. 12. Circuito de comando de tiristores en antiparalelo.

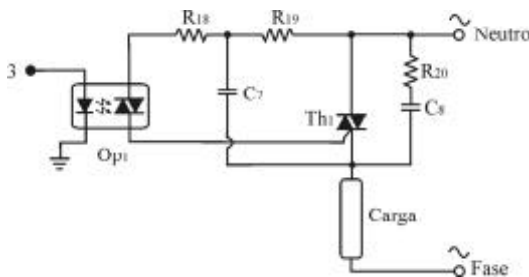


Fig. 13. Circuito de comando con Triac.

La previsión de la máxima demanda instantánea no es tarea sencilla, máxime si se trata de pequeños micro-aprovechamientos hidroeléctricos.

En el estudio de la demanda para PCH, hay que tener en cuenta la situación geográfica y las costumbres de los usuarios.

Si no se dispone de la información de las condiciones de demanda o como orientación preliminar, es posible

utilizar la siguiente regla empíricamente obtenida de las PCH instaladas en Misiones.

Utilizar una carga balasto del orden del 10% de la potencia instalada, pero no menor a 1kW en disipación y otro kilovatio en espera.

$$P'd \approx 0.1P_g \quad \text{para } P_g \approx 20kW \quad (3)$$

$$P'd \approx 2kW \quad \text{para } P_g \approx 20kW \quad (4)$$

Donde: $P'd$ = Potencia de la carga balasto para SMCG

CONCLUSIONES

El sistema mixto de control de la generación (SMCG) propuesto, combina la acción del sistema de control por caudal con el control por carga constante. De manera que el servomecanismo de control del órgano regulador de caudal pueda trabajar a una velocidad baja.

El hecho de que la velocidad de accionamiento del sistema mecánico de regulación de caudal, pueda ser baja, simplifica el circuito de control y el servomecanismo de accionamiento del órgano regulador de caudal.

Con un SMCG, el circuito electrónico de control del servomotor de regulación de caudal, puede ser del tipo "todo o nada" u "on-off" y no proporcional como en otros casos. Un control tipo "on-off" es más sencillo y económico que uno proporcional.

Por otro lado, en un sistema "todo o nada" se puede controlar el servomotor actuador utilizando relevos electromecánicos (relés o relay), que son más resistentes a las sobrecargas y cortocircuitos, que sus pares semiconductores. Por otro lado es posible usar relés del tipo automotor, que son de fácil adquisición y reemplazo.

Incluso; para el servomotor de accionamiento del regulador de caudal, se puede usar un electromotor de corriente continua, del tipo utilizado en los automóviles para accionar los limpia parabrisas.

Si bien estos motores presentan un par motor pequeño. Con la ayuda de una caja reductora, es posible obtener la potencia necesaria para mover cómodamente el mecanismo de regulación del caudal turbinado, pero con una velocidad muy pequeña.

Utilizando un SMCG, la baja velocidad del mecanismo no constituye un problema.

En las PCH implementadas en Misiones, el SMCG ha resultado satisfactorio. Se han utilizado distintas configuraciones electrónicas con igual resultado.

DESARROLLO EN CONJUNTO

En conjunto con la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue (U.N.C.). Se está estudiando la posibilidad de utilizar una válvula comercial, para la regulación de frecuencia por variación de caudal, en combinación con el sistema de control tratado en este trabajo (SMCG), orientado a la aplicación en turbinas que operan sin alabe regulador.

REFERENCIAS

1. ANOCIBAR, HÉCTOR ROLANDO (1997)- **Regulador de Tensión y Frecuencia** - VII Encuentro Hidroenergéticos, Cajamaraca- Perú, 1997. Pag. 148.
2. ANTUNES DE ALMEIDA, J. L. (1996) **Electronica Industrial**. Erica Editora Ltda. Sao Paulo, Brasil.
3. BERGTOLD, F.(1980). **Triac, Thyristoren 1 und 2**. Verlag und Druckerei M Frech, Stuttgart-Botnangf -D
4. CABALLERO, A. L. Y FELTAN, C. M. - **El Problema de la Regulación de Voltaje y Frecuencia en las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas** - IX ELPAH - Encuentro latinoamericano y del Caribe, Sobre Pequeños Aprovechamiento Hidroenergéticos, Neuquen 2001.-
5. CASANAVE, M. L.; FERNANDEZ, P. C. SOLANO, C.V (2001). **Nuevo Sistema de Regulación de Turbogeneradores para Minicentrales Hidroeléctricas**. IX ELPAH - Encuentro Latinoamericano y del Caribe, Sobre Pequeños Aprovechamiento Hidroenergéticos.
6. COZ, F., SANCHEZ, T., RAMIREZ GASTÓN, J. (1995) **Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas. Una guía para el desarrollo de proyectos**. ITDG-Lima Perú.
7. KURTZ,V.H. (2003) **Telemando Para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas**. X ELPAH Encuentro Latinoamericano y del Caribe, Sobre Pequeños Aprovechamiento Hidroenergéticos. Minas Gerais, Brasil.
8. MUÑOZ, H. E., REVERSAT J. H., CABALLERO A. L. (1996). **Regulador de Frecuencia Asincrónico Resonante y su aplicación a las Micro-Centrales Hidroeléctricas**. Revista Imagen N°1 ISSN03289729 U.Na.M