



UN MODELO TÉRMICO ORIENTADO AL CONTROL DE UN ELECTROLIZADOR ALCALINO



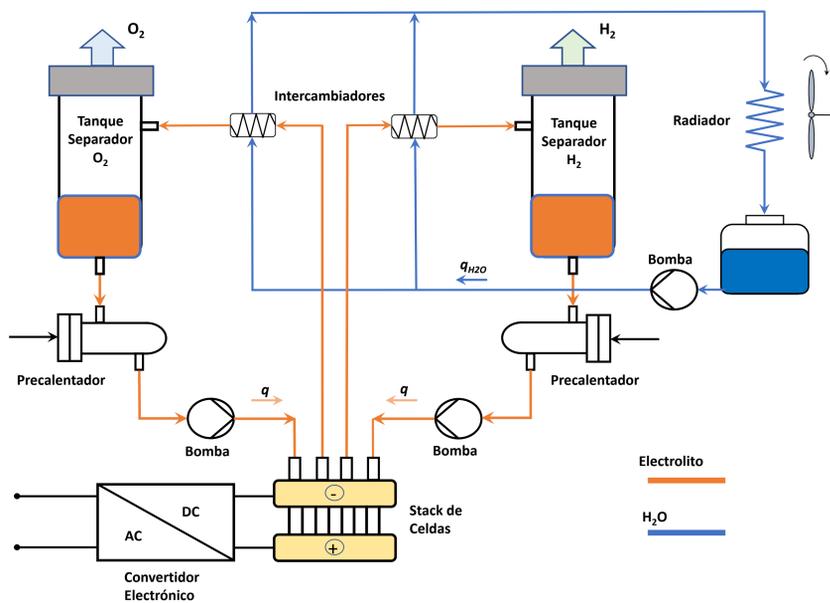
Valenciaga Fernando Inthamoussou Fernando Nuñez Sebastián De Battista Hernán
Grupo de Control Aplicado – LEICI (UNLP-CONICET)
fval@ing.unlp.edu.ar

Resumen

En la generación de hidrógeno a través de electrolizadores alcalinos resulta vital, tanto por cuestiones de seguridad como de pureza y eficiencia, mantener la temperatura de diferentes puntos del sistema en valores estables y acotados. Temperaturas en la celda menores a la nominal conducen a eficiencias pobres, mientras que temperaturas elevadas reducen su vida

útil y hasta pueden provocar su destrucción. Resulta entonces vital poder elaborar un modelo que represente adecuadamente el comportamiento dinámico térmico del sistema para desarrollar y evaluar sobre él controladores avanzados que permitan lograr eficientemente los objetivos operativos.

Representación esquemática de un electrolizador alcalino



Dinámica Térmica del Stack Electrolytíco

$$c_l V_{stack} \frac{dT_{stack}}{dt} = Q_{el} - Q_{disp_{stack}} + 2q\rho c_l (T_{prec}(t - \tau_{stack}) - T_{stack})$$

Remoción de calor por circulación

$$Q_{el} = (N_s U_{th})(N_p i_c) \rightarrow \text{Potencia eléctrica de pérdida en el stack}$$

- N_s : Número de celdas en serie en cada rama del stack
- N_p : Número de strings serie conectados en paralelo dentro del stack
- U_{th} : Tensión inversa en cada una de las celdas (1,48V)
- i_c : Corriente eléctrica circulante en cada rama del stack

$$Q_{disp_{stack}} = h_{stack} A_{stack} (T_{stack} - T_{amb}) + \sigma \epsilon_{stack} A_{stack} (T_{stack}^4 - T_{amb}^4)$$

- c_l : Capacidad térmica del electrolito
- V_{stack} : Volumen de electrolito contenido en la celda
- T_{stack} : Temperatura de electrolito a la salida de la celda
- q : Caudal de cada uno de los circuitos del sistema
- ρ : Densidad del electrolito
- T_{prec} : Temperatura del electrolito a la entrada de la celda
- $\tau_{stack} = V_{stack}/2q$: retardo de transporte de la celda
- T_{amb} : Temperatura ambiente
- h_{stack} : Constante de transmisión térmica de los materiales de la celda
- A_{stack} : Área externa de la celda
- σ : Constante de Stefan-Boltzmann
- ϵ_{stack} : Coeficiente de radiación de la celda

Dinámica Térmica de los Precalentadores

$$c_l V_{prec} \frac{dT_{prec}}{dt} = \gamma_1 P_{el_{prec}} - Q_{disp_{prec}} + q\rho c_l (T_{sep}(t - \tau_{prec}) - T_{prec})$$

$$Q_{disp_{prec}} = h_{prec} A_{prec} (T_{prec} - T_{amb}) + \sigma \epsilon_{prec} A_{prec} (T_{prec}^4 - T_{amb}^4)$$

- T_{prec} : Temperatura de electrolito a la salida del precalentador
- T_{sep} : Temperatura de electrolito a la entrada del precalentador
- V_{prec} : Volumen de electrolito dentro del precalentador
- $P_{el_{prec}}$: Potencia eléctrica sobre el precalentador
- γ_1 : Constante de proporcionalidad por pérdidas de potencia no contributivas a T_{prec}
- h_{prec} : Constante de transmisión térmica de los materiales de los precalentadores
- A_{prec} : Área externa de cada precalentador
- ϵ_{stack} : Coeficiente de radiación de cada precalentador
- $\tau_{prec} = V_{prec}/q$: Retardo de transporte de los precalentadores

Dinámica Térmica de los Intercambiadores

$$c_l V_{int} \frac{dT_{int_{out}}}{dt} = q\rho c_l (T_{stack}(t - \tau_{int}) - T_{int_{out}}) - kA_{int} \Delta T - Q_{disp_{int}}$$

Calor removido por el intercambiador

$$Q_{disp_{int}} = \frac{\frac{T_{cell} + T_{int_{out}}}{2} - T_{amb}}{R_{int_{eq}}}$$

$$\Delta T = \frac{(T_{stack} - T_{H2O_{int}}) - (T_{int_{out}} - T_{H2O_{tank}})}{\ln((T_{stack} - T_{H2O_{int}})/(T_{int_{out}} - T_{H2O_{tank}}))}$$

- $T_{int_{out}}$: Temperatura de electrolito a la salida del intercambiador
- V_{int} : Volumen de electrolito
- k : Constante de transmisión del intercambiador
- A_{int} : Área interna efectiva de intercambio térmico
- $T_{H2O_{tank}}$ y $T_{H2O_{int}}$: Temperaturas del líquido refrigerante a la entrada y salida del intercambiador
- $\tau_{int} = V_{int}/q$: Retardo de transporte de los precalentadores
- $R_{int_{eq}}$: Resistencia térmica equivalente de cada intercambiador

Dinámica Térmica de los Tanques Separadores

$$c_l V_{sep} \frac{dT_{sep}}{dt} = \frac{1}{2} q\rho c_l (T_{int_{out}} - T_{sep}) - Q_{disp_{sep}}$$

$$Q_{disp_{sep}} = \frac{\frac{T_{int_{out}} + T_{sep}}{2} - T_{amb}}{R_{sep_{eq}}}$$

- V_{sep} : Volumen del tanque separador
- T_{sep} : Temperatura en la salida del tanque separador
- $R_{sep_{eq}}$: Resistencia térmica equivalente de cada tanque separador

Dinámica Térmica del Sistema Refrigerante (H₂O)

Intercambiador (H₂O):

$$c_{H2O} V_{H2O_{int}} \frac{dT_{H2O_{int}}}{dt} = \frac{1}{2} q_{H2O} \rho_{H2O} c_{H2O} (T_{H2O_{tank}}(t - \tau_{H2O_{int}}) - T_{H2O_{int}}) + kA_{int} \Delta T$$

Radiador:

$$c_{H2O} V_{H2O_{tank}} \frac{dT_{H2O_{tank}}}{dt} = q_{H2O} \rho_{H2O} c_{H2O} (T_{H2O_{rad}} - T_{H2O_{tank}}) - Q_{disp_{tank}}$$

$$Q_{disp_{H2O_{rad}}} = \frac{\frac{T_{H2O_{int}} + T_{H2O_{rad}}}{2} - T_{amb}}{R_{rad_{eq}}}$$

Tanque:

$$c_{H2O} V_{H2O_{tank}} \frac{dT_{H2O_{tank}}}{dt} = q_{H2O} \rho_{H2O} c_{H2O} (T_{H2O_{rad}} - T_{H2O_{tank}}) - Q_{disp_{tank}}$$

$$Q_{disp_{tank}} = \frac{T_{H2O_{tank}} - T_{amb}}{R_{H2O_{tank_{eq}}}}$$

- $T_{H2O_{int_{out}}}$: Temperatura del líquido refrigerante a la salida de los intercambiadores
- c_{H2O} : Coeficiente de capacidad térmica del agua
- $V_{H2O_{int}}$: Volumen total de agua dentro de cada intercambiador
- q_{H2O} : Caudal total de circulación de agua refrigerante
- ρ_{H2O} : Densidad del agua
- $\tau_{H2O_{int}} = 2V_{int_{H2O}}/q_{H2O}$: Retardo de transporte de cada circuito refrigerante
- $T_{H2O_{rad}}$: Temperatura del líquido refrigerante a la salida del radiador
- $V_{H2O_{rad}}$: Volumen total de agua dentro del radiador
- $R_{rad_{eq}}$: Resistencia térmica equivalente del radiador
- $V_{H2O_{tank}}$: Volumen de H₂O del tanque almacenador
- $R_{H2O_{tank_{eq}}}$: Resistencia térmica equivalente del tanque de H₂O

Conclusiones

Este trabajo presentó el desarrollo de un modelo dinámico de parámetros concentrados, no lineal, multivariable que describe el comportamiento térmico tanto del electrolito como del líquido refrigerante en diferentes puntos vitales del sistema. El objetivo final del modelo es su uso en el desarrollo de controladores

avanzados que regulen adecuadamente la temperatura de trabajo en un rango amplio de puntos de funcionamiento. Para tener en cuenta este aspecto se incorporan en él diversas entradas entre las que encontramos: el caudal de circulación de electrolito, la potencia con que se alimenta la celda, la potencia

entregada a los precalentadores y el umbral de polarización que representa la temperatura ambiente. El modelo obtenido es suficientemente exhaustivo como plataforma de desarrollo y validación, sin que por ello resulte excesivamente complicado para el diseño de controladores.