



HAL
open science

Commande sans modèle de la température d'un électrolyseur alcalin

Meziane Ait Ziane, Michel Zasadzinski, Hugues Rafaralahy

► **To cite this version:**

Meziane Ait Ziane, Michel Zasadzinski, Hugues Rafaralahy. Commande sans modèle de la température d'un électrolyseur alcalin. Congrès National de la Recherche des IUT, Université de Haute-Alsace (UHA), Mar 2024, Mulhouse, France. hal-04619720

HAL Id: hal-04619720

<https://hal.science/hal-04619720>

Submitted on 21 Jun 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Commande sans modèle de la température d'un électrolyseur alcalin

Meziane Ait Ziane¹

Michel Zasadzinski²

Hugues Rafaralahy²

meziane.ait-ziane@univ-lorraine.fr michel.zasadzinski@univ-lorraine.fr hugues.rafaralahy@univ-lorraine.fr

¹ IUT Henri Poincaré de Longwy, Université de Lorraine
Groupe de Recherche en Energie Electrique de Nancy (GREEN), UR 4366

² IUT Henri Poincaré de Longwy, Université de Lorraine
Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN), CNRS, UMR 7039

THÈMES – *Énergie - Automatique - Environnement*

RÉSUMÉ – *Le contrôle de la température est un facteur clé pour le fonctionnement correct et efficace des systèmes d'électrolyse alcaline. Dans la production d'hydrogène vert, l'électrolyse est couplée à une source d'énergie renouvelable intermittente. Cela signifie que le courant appliqué à l'électrolyseur n'est pas entièrement contrôlé, ce qui entraîne des dépassements et des sous-estimations de la température de la cellule, pouvant entraîner une détérioration des performances et diminuer sa durée de vie. Le contrôleur sans modèle est appliqué à l'électrolyseur alcaline afin de réduire les phénomènes de dépassement. Il permet également d'obtenir un temps de stabilisation suffisamment rapide de la température de sortie d'électrolyseur.*

MOTS-CLÉS – *Hydrogène, électrolyseur, commande sans modèle*

1 Introduction

La production d'hydrogène vert à partir d'énergies renouvelables jouera un rôle important dans la décarbonisation du secteur des transports et la réduction des émissions de gaz à effet de serre. L'électrolyseur alcalin joue un rôle important dans la production d'hydrogène vert. Le bon fonctionnement des électrolyseurs est essentiel pour assurer un approvisionnement stable en hydrogène, préserver leur durée de vie et maintenir leurs meilleures performances [1]. Cependant, la température d'électrolyseur alcalin est souvent influencée par les fluctuations du courant, ce qui affecte l'efficacité et la fiabilité du système. À des températures inférieures à la température de fonctionnement nominale de l'électrolyseur, la réaction d'électrolyse est réduite, ce qui entraîne une baisse des performances. Le fonctionnement de l'électrolyseur à une température supérieure à sa température nominale de fonctionnement réduit sa résistance à la corrosion, ce qui peut entraîner des dommages irréversibles au fil du temps [2]. Pour ces raisons, il est essentiel d'assurer un contrôle adéquat de la température.

Cet article est structuré comme suit. La deuxième section présente la commande sans modèle. Les résultats de la simulation pour les différents scénarios de contrôle étudiés sont donnés dans la troisième section. La conclusion et les perspectives sont présentées dans la dernière section.

2 Commande sans modèle

La philosophie du contrôle sans modèle ou contrôleur *iPID* consiste à remplacer le modèle mathématique précis du système par un modèle ultra-local. Ce dernier est défini par [3, 4] :

$$y^{(v)}(t) = F(t) + \alpha u(t) \quad (1)$$

où

- les variables y et u sont la sortie et la variable de contrôle respectivement,
- (v) est l'ordre de dérivation de la sortie y (dans la pratique, (v) est souvent égal à 1 ; rarement à 2),
- la variable α est un paramètre réglé par l'utilisateur,
- la fonction F contient la partie inconnue du système et la perturbation, et est estimée en fonction de l'entrée et de la sortie du système.

La fonction F peut être estimée comme suit :

$$\hat{F}(t_k) = y^{(v)}(t_k) - \alpha u(t_k - 1) \quad (2)$$

Puisque la sortie du système est souvent bruitée, une technique algébrique est présentée dans [5] afin d'estimer F . Pour l'ordre de dérivation $v = 1$, l'estimation de F est définie par :

$$\hat{F}(t) = \frac{-3!}{T^3} \int_{t-T}^t (T-2t)y(t) + \alpha t(T-t)u(t) dt \quad (3)$$

où $T > 0$ est petit et $[t-T; t]$ fait référence aux fenêtres glissantes de l'intervalle d'intégration. Le contrôle en boucle fermée avec le contrôleur *iP* où $v = 1$ est défini par :

$$u(t) = \frac{1}{\alpha} \left(-\hat{F}(t) + \dot{y}_d(t) + k_p e(t) \right) \quad (4)$$

où

- y_d est la trajectoire désirée,
- $e = y_d - y$ est l'erreur de suivi,
- k_p est le gain du contrôleur proportionnel.

3 Résultats de simulation

Le contrôle de la température de l'empilement d'électrolyseur est effectué en agissant sur la vanne de refroidissement qui affecte le débit de l'eau de refroidissement. Pour l'électrolyse et la pile à combustible, la température de sortie de l'électrolyseur est généralement considérée comme l'image de la température au sein de l'empilement pour cette raison, nous contrôlons la température de sortie T_{stack} .

Il est important de noter que l'électrolyseur doit fonctionner à température constante. Les changements de points de consigne de température sont donc rarement appliqués pendant son fonctionnement. Le point de fonctionnement de la température nominale est une valeur fixe, définie pour assurer une performance optimale de l'électrolyseur en termes de production d'hydrogène et de consommation d'énergie. Cependant, le courant peut varier considérablement, en particulier lorsque l'électrolyseur est alimenté par une source d'énergie renouvelable (souvent intermittente). Pour ces raisons, la synthèse d'une loi de commande *iP* est faite afin de rejeter les perturbations induites par les variations du courant.

Le transfert de chaleur au sein de l'électrolyseur est décrit par la figure suivante 1 où T_{sep} et T_{stack} sont respectivement les températures d'entrée et de sortie de l'empilement, tandis que T_c est la température de refroidissement de l'eau.

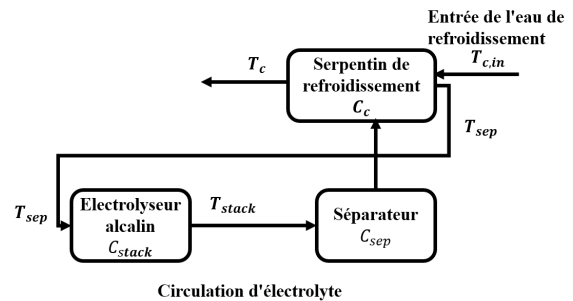


FIGURE 1 – Transfert de chaleur au sein de l'électrolyseur

En utilisant la modélisation d'un électrolyseur alcalin proposée dans [6, 7], une commande sans modèle est ap-

pliquée pour contrôler la température T_{stack} dans les sections 3.1 et 3.2. Les paramètres du contrôleur iP sont : $k_p = 0.63 \times 10^{-3}$ et $\alpha = -850$.

3.1 Suivi de trajectoire pour T_{stack}

La densité de courant appliquée à l'électrolyseur alcaline est fixée à 2000 kA/m^2 pour la durée de l'essai, soit 8h. Le point de consigne est fixé à 80°C au début de l'essai. Un changement de consigne de moins de 10°C est appliqué à 2h45min. La trajectoire souhaitée y_d est paramétrée pour atteindre le point de consigne en 2h15min. La température de sortie de l'empilement T_{stack} prend 2h20min pour se stabiliser autour du point de consigne comme le montre la Fig.2. Le second changement de consigne consiste à aug-

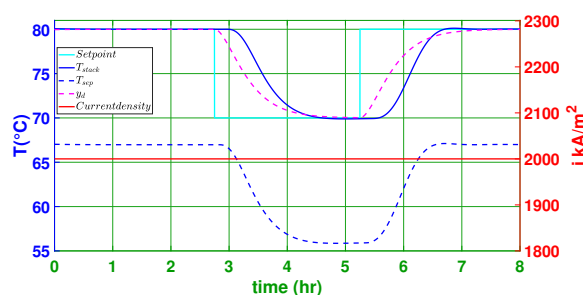


FIGURE 2 – Suivi de trajectoire pour T_{stack}

menter la température de 10°C , c'est-à-dire à revenir à la température initiale à 5h15min. On constate que T_{stack} est à 1°C au-dessus de la trajectoire souhaitée et à moins de $0,1^\circ\text{C}$ de la consigne. Le temps de stabilisation autour de la consigne est de 2h.

3.2 Rejet des perturbations de courant pour T_{stack}

La température désirée est fixée à 80°C pendant toute la durée de l'essai. Un changement de courant est effectué à 2h45min comme le montre la Fig.3. Une diminution

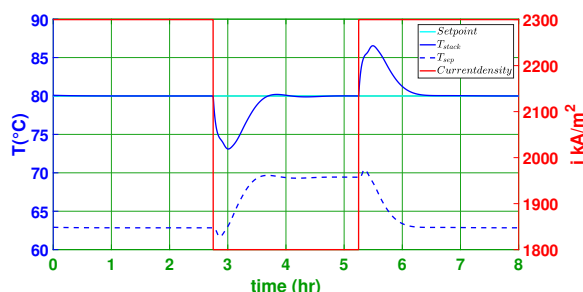


FIGURE 3 – Rejet de la perturbation en courant pour T_{stack}

de courant de 500 A/m^2 est appliquée à 2h45min. Cette diminution de courant est considérée comme une perturbation pour le contrôleur qui a un impact sur la température de l'empilement. Le temps de stabilisation autour du

point de consigne est d'environ 1h30min. Lorsque le courant augmente, il revient à sa valeur de départ. La température de sortie de l'empilement se stabilise autour du point de consigne en 1h20min.

4 Conclusion

Dans cet article, une commande sans modèle est conçue pour contrôler la température de sortie d'un électrolyseur alcalin en prenant en compte les perturbations dues aux variations de courant des sources d'énergies renouvelables. Les résultats de la simulation montrent que le contrôleur iP stabilise la température T_{stack} autour du point de consigne souhaité lorsque le courant est modifié. Les dépassements sont très faibles.

Comme perspectives à ces travaux, nous souhaitons prendre en compte les retards dans l'évolution de la température au sein de l'empilement de l'électrolyseur afin d'appliquer la stratégie de la commande sans modèle.

Références

- [1] Dohyung Jang, Wonjae Choi, Hyun-Seok Cho, Won Chul Cho, Chang Hee Kim, and Sanggyu Kang. Numerical modeling and analysis of the temperature effect on the performance of an alkaline water electrolysis system. *Journal of Power Sources*, 506 :230106, 2021.
- [2] Song Hu, Bin Guo, Shunliang Ding, Fuyuan Yang, Jian Dang, Biao Liu, Junjie Gu, Jugang Ma, and Minggao Ouyang. A comprehensive review of alkaline water electrolysis mathematical modeling. *Applied Energy*, 327 :120099, 2022.
- [3] Michel Fliess and Cédric Join. Model-free control. *International Journal of Control*, 86(12) :2228–2252, 2013.
- [4] Michel Fliess and Cédric Join. Model-free control. *International Journal of Control*, 86(12) :2228–2252, 2013.
- [5] Mamadou Mboup, Cédric Join, and Michel Fliess. Numerical differentiation with annihilators in noisy environment. *Numerical algorithms*, 50 :439–467, 2009.
- [6] Ruomei Qi, Jiarong Li, Jin Lin, Yonghua Song, Jiepeng Wang, Qiangqiang Cui, Yiwei Qiu, Ming Tang, and Jian Wang. Design of the pid temperature controller for an alkaline electrolysis system with time delays. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(50) :19008–19021, 2023.
- [7] Ruomei Qi, Jiarong Li, Jin Lin, Yonghua Song, Jiepeng Wang, Qiangqiang Cui, Yiwei Qiu, Ming Tang, and Jian Wang. Thermal modeling and controller design of an alkaline electrolysis system under dynamic operating conditions. *Applied Energy*, 332 :120551, 2023.