

ABSTRACT

Open Circuit Voltage (OCV) can be utilized to represent remaining battery capacity in addition to the State of Charge (SOC). In order to monitor the OCV, OCV estimation is employed since direct measurement of the OCV in real time is not possible when the battery is operating. This study is especially concerned with the implementation of OCV estimation in simple battery charge for applications such as Hybrid Electric Vehicles (HEVs) where SOC range is small and constant charging current is utilized. In this case, OCV estimation becomes a challenging task since the charging current is unfortunately possible to fluctuate around its specified constant value, resulting in different OCV values at a given SOC which is known as undesired hysteresis. Due to the undesired hysteresis, uncertainty exists in the OCV-SOC relationship and OCV estimation error will be produced if the uncertainty is not properly handled. Therefore, robust OCV estimation against uncertainty caused by undesired hysteresis is necessary which becomes the focus of this study.

In this present study, an Unknown Input Observer (UIO) is proposed to solve the problem. The UIO is designed to decouple the uncertainty, caused by undesired hysteresis, from the OCV estimation error. For this purpose, an electric circuit model (ECM) namely Thevenin battery model is utilized to represent the battery dynamics where the OCV source is modelled as a capacitor. The rationale behind modelling the OCV source as a capacitor is to include OCV as a state variable in the state-space model derived from the Thevenin battery model. Since the output of the state-space model contains bypass-input component, therefore a modification of the usual UIO structure is made in this study to adapt to the bypass input.

The UIO design is based on the analysis of state-variable estimation error in which the effect of uncertainty from undesired hysteresis on the state estimation error is eliminated by performing some algebra. Using the UIO, the uncertainty signal does not need to be known which benefits the OCV estimation. In order to demonstrate the effectiveness of the designed UIO in OCV estimation, simulation of battery charge is carried out where undesired fluctuating charging current is generated. Two profiles of fluctuating charging current are utilized namely pulsed charging current and varying charging current. The result shows that the designed UIO yields faithful OCV estimate given initial OCV estimation error, implying that robust OCV estimation against uncertainty caused by undesired hysteresis has been achieved. It should be noted that in real practice, measurement noise is inevitably present which degrades the quality of the OCV estimate resulted from an UIO designed for fast convergence rate. However, the degradation can be reduced by developing a low pass filter in the OCV estimation since OCV signal consists of low frequency components.

Keywords : Unknown Input Observer (UIO), Open Circuit Voltage (OCV), robust estimation, battery modelling, Thevenin battery model, battery charge

INTISARI

Selain *State of Charge* (SOC), *Open Circuit Voltage* (OCV) dapat digunakan untuk merepresentasikan kapasitas baterai yang tersisa. OCV dimonitor dengan melakukan estimasi OCV karena pengukuran OCV secara *real time* tidak dimungkinkan ketika baterai sedang beroperasi. Penerapan estimasi OCV pada pengisian baterai secara sederhana untuk aplikasi seperti *Hybrid Electric Vehicle* (HEV) di mana rentang SOC kecil dan arus pengisian bernilai konstan menjadi perhatian pada penelitian ini. Arus pengisian dapat berfluktuasi di sekitar nilai konstan yang ditentukan sehingga menghasilkan nilai OCV yang berbeda pada suatu nilai SOC. Hal ini dikenal dengan sebutan histeresis yang tidak diinginkan. Karena histeresis yang tidak diinginkan tersebut, ketidakpastian muncul pada hubungan OCV-SOC dan kesalahan estimasi OCV akan dihasilkan apabila ketidakpastian tersebut tidak ditangani dengan tepat.

Pada penelitian ini, *Unknown Input Observer* (UIO) diusulkan untuk menyelesaikan permasalahan tadi. UIO dirancang untuk memisahkan ketidakpastian, yang disebabkan oleh histeresis yang tidak diinginkan, dari kesalahan estimasi OCV. Untuk tujuan ini, model baterai Thevenin digunakan untuk menggambarkan dinamika baterai di mana sumber OCV dimodelkan sebagai kapasitor. Alasan di balik pemodelan sumber OCV sebagai kapasitor adalah untuk mengikutsertakan OCV sebagai *state variable* pada *state-space model* yang diturunkan dari model baterai Thevenin. Karena terdapat *bypass input* pada output *state-space model*, maka dilakukan modifikasi terhadap struktur UIO yang biasa digunakan selama ini untuk mengakomodasi *bypass input* tersebut.

Desain UIO didasarkan pada analisis *state-variable estimation error* di mana efek *uncertainty* dari histeresis yang tidak diinginkan pada *state-variable estimation error* dihilangkan berbasis perhitungan aljabar. Dengan menggunakan UIO, sinyal *uncertainty* tidak perlu diketahui sehingga mempermudah estimasi OCV. Selanjutnya, simulasi pengisian baterai dengan arus pengisian berfluktuasi yang tidak diinginkan dilakukan untuk menunjukkan efektivitas UIO yang telah dirancang dalam melakukan estimasi OCV. Dua profil arus pengisian yang fluktuatif digunakan yaitu *pulsed charging current* dan *varying charging current* untuk simulasi. Hasil menunjukkan bahwa UIO yang dirancang menghasilkan estimasi OCV yang akurat meskipun terdapat inisial kesalahan estimasi sehingga estimasi OCV yang *robust* terhadap *uncertainty* yang disebabkan oleh histeresis yang tidak diinginkan telah dicapai. Perlu dicatat bahwa dalam praktik nyata, *noise* pengukuran tidak dapat dihindari sehingga menurunkan kualitas estimasi OCV yang dihasilkan dari UIO yang dirancang untuk menghasilkan *fast convergence rate*. Namun, degradasi tersebut dapat direduksi dengan menambahkan *low pass filter* pada proses estimasi OCV karena sinyal OCV terdiri dari komponen-komponen berfrekuensi rendah.

Kata kunci - *Unknown Input Observer* (UIO), *Open Circuit Voltage* (OCV), estimasi *robust*, pemodelan baterai, model baterai Thevenin, *battery charging*