

Применение комбинированного фильтра Калмана для оценки степени заряда (SoC) аккумуляторов

Чернов М.Б.¹, Голубков А.В.²

1 - Ульяновский государственный педагогический университет имени И.Н. Ульянова, Факультет физико-математического и технологического образования, Ульяновская область, Россия, *E-mail: chernovmb2002@gmail.com*; 2 - Ульяновский государственный педагогический университет имени

И.Н. Ульянова, Факультет физико-математического и технологического образования, Ульяновская область, Россия, *E-mail: kr8589@gmail.com*

Оценка степени заряда (State of Charge, SoC) аккумуляторов является важной задачей в современной науке и технике, учитывая её практическое значение. В данной статье представлен комбинированный фильтр, интегрирующий линейный и расширенный фильтры Калмана.

Среди множества методов моделирования аккумуляторов наиболее распространённым является использование модели Тевенена второго порядка [2]. В соответствии с ней дискретная стохастическая модель в пространстве состояний имеет следующий вид:

$$\begin{bmatrix} SOC_k \\ U_{1k} \\ U_{2k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & e^{-\frac{\Delta t}{R_1 C_1}} & 0 \\ 0 & 0 & e^{-\frac{\Delta t}{R_2 C_2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} SOC_{k-1} \\ U_{1k-1} \\ U_{2k-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{\Delta t}{Q_{cap} \cdot 3600} \\ R_1(1 - e^{-\frac{\Delta t}{R_1 C_1}}) \\ R_2(1 - e^{-\frac{\Delta t}{R_2 C_2}}) \end{bmatrix} I_k + \begin{bmatrix} w_{soc_k} \\ w_{u1k} \\ w_{u2k} \end{bmatrix}$$

$$U_k = U_0 - R_0 I_k - U_1 - U_2 + v_k,$$

В предлагаемом подходе линейный фильтр Калмана применяется в диапазонах степени заряда (SoC), где нелинейность модели незначительна. В участках с преобладанием нелинейной динамики зависимости напряжения от SoC используется расширенный фильтр Калмана.

Для выделения участков, где линейная модель адекватно описывает зависимость между напряжением и SoC, применяется метод линейной регрессии. Оценка качества модели осуществляется с использованием коэффициента детерминации (R^2).

Для сравнения работы фильтров была проведена идентификация SoC на основе экспериментальных данных, полученных в [1]. Ниже представлены графики оценки SoC, а также составлена сравнительная таблица результатов. Шумы в уравнении модели представлены ковариационной матрицей $Q = 0,002I_3$, шум в измерениях $R = 0,2$ В, начальная ковариационная матрица $P = I_3$.

Таблица 1: Результаты сравнения идентификации SoC фильтрами

Фильтр	ME	MAE	RMSE	SDE
Комбинированный	0,122	0,015	0,021	0,020
Линейный	0,122	0,023	0,030	0,030
Расширенный	0,963	0,058	0,164	0,156

Источники и литература

- 1) Чернов М. Б., Голубков А. В. Идентификация параметров модели литий-ионного аккумулятора // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сборник трудов Международной научной конференции, Воронеж, 04–06 декабря 2023 г. – Воронеж: «Научно-исследовательские публикации», 2024. – С. 758–763.

- 2) Melentjev S., Lebedev D. Overview of Simplified Mathematical Models of Batteries // Doctoral School of Energy and Geotechnology: Parnu, Estoni, 2013. P. 231–235.

Иллюстрации

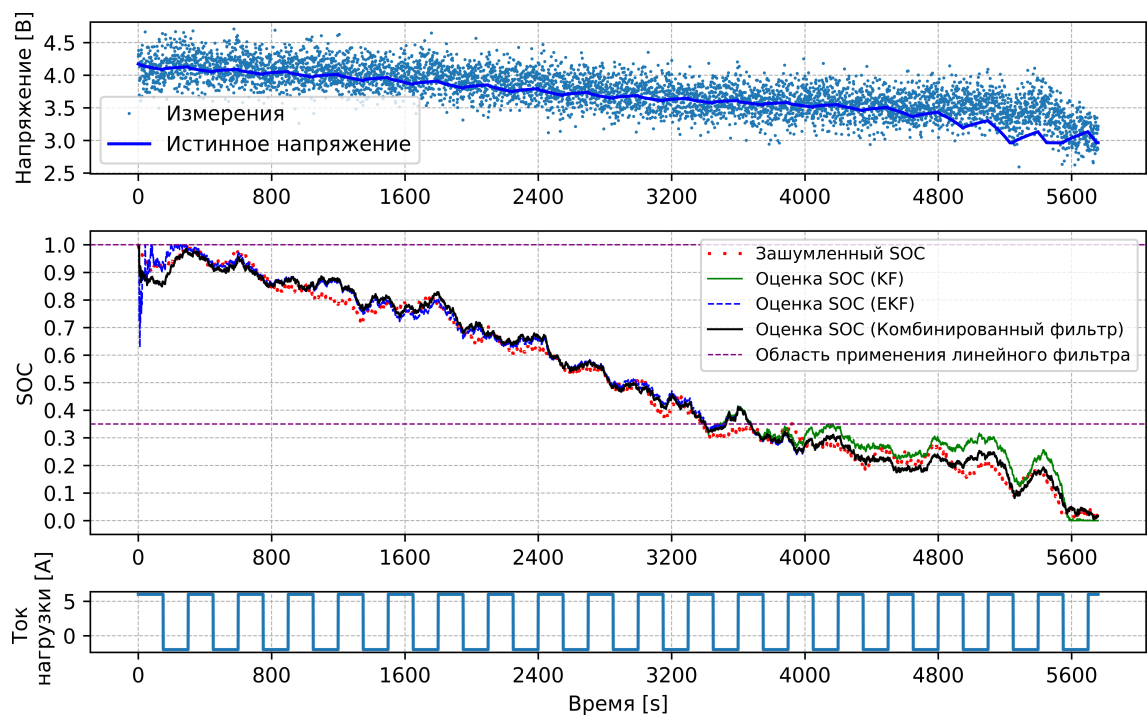


Рис. : Оценка SOC с помощью комбинированного фильтра, KF и EKF