

Losses during charging and discharging of an electrical energy storage device and their solutions

Karshiev K. T., Kutbidinov O. M.
Tashkent state transport university
Tashkent, Uzbekistan

Along with the growing share of renewable energy sources in electricity, the demand for electricity storage devices is also growing [1–2]. Their reliable and long-term service is inextricably linked with the technical conditions of their charging and discharging. Problems with charging and discharging affect electricity storage devices differently depending on the developed material, as well as lead to electricity losses and a decrease in energy efficiency.

The development of a new mathematical model for reducing the efficiency of battery systems and energy losses is a very important task [3; 4]. This model helps to determine optimal control strategies, taking into account the processes of energy storage, transmission, and loss in various operating modes of the accumulator [5; 6].

1. Increasing energy efficiency during battery charging/discharging processes.
 2. Minimizing energy losses.
 3. Extending the battery life and optimizing its operating parameters.
- Based on the energy balance equation, we can write:

$$SOC(t + \Delta t) = SOC(t) + \frac{\Delta t}{Q_{\max}} \left(\eta_{\text{charge}} P_{\text{in}}(t) - \frac{P_{\text{out}}(t)}{\eta_{\text{discharge}}} \right),$$

where Δt – time interval, s; $Q_{\max}$ – maximum battery capacity, Wh; $SOC(t)$ – accumulator charging state at a given time (state of charge) $0 \leq SOC(t) \leq 1$; $P_{\text{in}}(t)$ – input power of the accumulator at a given time, W; $P_{\text{out}}(t)$ – accumulator power at a given time, W; η_{charge} – charging efficiency; $\eta_{\text{discharge}}$ – discharge efficiency; R_{int} – internal resistance of the battery; T – battery operating temperature.

Energy losses occur in 2 ways:

1. Energy lost in the form of heat through internal resistance

$$P_{\text{loss}}(t) = I(t)^2 R_{\text{int}},$$

where $I(t)$ – current flowing through the battery, A.

2. Efficiency losses in charging/discharging processes

$$P_{\text{efficiency loss}}(t) = P_{\text{in}}(t)(1 - \eta_{\text{charge}}) + P_{\text{out}}(t) \left(\frac{1}{\eta_{\text{discharge}}} - 1 \right).$$

Total energy losses:

$$P_{\text{total loss}}(t) = P_{\text{loss}}(t) + P_{\text{efficiency loss}}(t).$$

To maximize battery efficiency and minimize energy losses, we will solve the following optimization problem:

$$\min \int_{t_0}^{t_f} P_{\text{total loss}}(t) dt.$$

Boundary conditions:

1. $SOC_{\min} \leq SOC(t) \leq SOC_{\max}$ – charging limits.
2. $P_{\text{in}} \geq 0$, $P_{\text{out}}(t) \geq 0$ – positive powers.
3. $SOC(t_0) = SOC_{\text{initial}}$, $SOC(t_f) = SOC_{\text{final}}$ – initial and final charge states.

Temperature impact

$$\eta_{\text{charge}}(T) = \eta_{\text{charge}}^0 \cdot (1 - k_{\text{temp}} |T - T_{\text{opt}}|),$$

where T_{opt} – optimal temperature; k_{temp} – temperature coefficient.

The mathematical model described above was developed to enhance the efficiency of battery systems and reduce energy losses. The developed mathematical model enables accurate calculation of efficiency and losses, takes into account crucial factors such as temperature and internal resistance, and aids in determining optimal control strategies.

References

1. A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles / L. Lu, X. Han, J. Li [et al.] // Journal of power sources. – 2013. – Vol. 226. – P. 272–288.
2. Yi-Hwa, L. Search for an optimal rapid charging pattern for lithium-ion batteries using ant colony system algorithm / L. Yi-Hwa, T. Jen-Hao, L. Yu-Chung // Industrial Electronics, IEEE Transactions on. – 2005. – Vol. 52. – P. 1328–1336.
3. Akhmedov, A. P. Using solar panels to recharge car battery / A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov, N. P. Yurkevich // Инновационные

технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: материалы II Республиканской научно-технической конференции, 28–29 апреля 2022 г. / Белорус. Национальный технический университет [и др.] ; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2022. – С. 433–437.

4. Контроль знаний студентов при изучении курса общей физики в рамках образовательной программы ТИПСЭАД-БНТУ / Н. П. Юркевич, Г. К. Савчук, А. П. Ахмедов [и др.] // Высшая школа. – 2020. – № 3. – С. 26–28.

5. Fotouhi, A. A review on electric vehicle battery modelling: From lithium toward lithium–sulphur / A. Fotouhi, D. J. Auger, K. Propp [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – Vol. 56. – P. 1008–1021. – <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.009>.

6. Nguyen, T. A. Stochastic Optimization of RenewableBased Microgrid Operation Incorporating Battery Operating Cost / T. A. Nguyen, M. L. Crow // IEEE Transactions on Power Systems. – 2016. – Vol. 31, №. 3. – P. 2289–2296.

УДК 621.3.011

Математическое моделирование вторичных источников питания тягового электропривода постоянного тока

Колесников И. К., Хахимов С. Х.

Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Республика Узбекистан

В статье рассматриваются вопросы математического моделирования вторичных источников питания для тягового электропривода постоянного тока. Разработана математическая модель, учитывающая особенности работы преобразовательных устройств, режимов зарядки накопителей энергии и характеристик нагрузки электропривода. Проведено моделирование переходных процессов при различных режимах функционирования системы с использованием современных методов численного анализа. Особое внимание уделено влиянию параметров вторичных источников на устойчивость и энергетическую эффективность тягового электропривода. Результаты моделирования могут быть использованы для оптимизации схемных решений и алгоритмов управления в системах электротранспорта. Представленные выводы подтверждают перспективность применения разработанных моделей для повышения надежности и эффективности вторичных источников питания в тяговых установках.

Разработана методика моделирования и исследованы электромагнитные процессы во вторичном источнике питания электропривода постоянного