

ЕНЕРГОКЕРОВАНИЙ БУСТЕРНИЙ МОДУЛЬ 5→6/9/12 В ДЛЯ ІОТ-ВУЗЛІВ, DVS-КЕРУВАННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

Автономні IoT-вузли потребують гібридного підходу до живлення. Типові DC-DC перетворювачі зазвичай оптимізуються під фіксовану напругу, ігноруючи різні стани споживання. Сучасні MCU (наприклад STM32L476) дозволяють керувати живленням на периферії. Мета роботи: розробка моделі Boost-модуля зі змінною напругою (6/9/12 В) для зменшення енергії на цикл передачі повідомлення.

Розроблено схему на базі контролера LT3757 (рис. 1). Ключова особливість цієї моделі, це керування зворотним зв'язком через цифровий потенціометр або комутований дільник, який в свою чергу підключений до GPIO мікроконтролера.

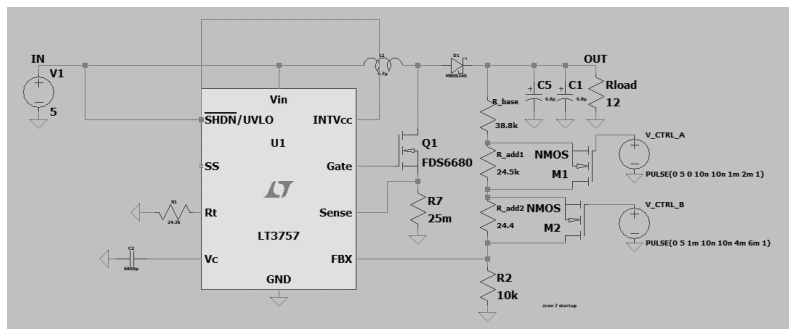


Рисунок 1 – Схема Boost-перетворювача з DVS-керуванням

Система має три статуси:

1. Sleep (6 В): мінімальна напруга для LDO сенсорів, MCU в режимі Stop (300 нА).
2. Radio (9 В): живлення трансивера (LoRa/Rf) під час TX/RX.
3. Actuation (12 В): короткочасне живлення виконавчих механізмів.

Логіка базується на перериваннях. Перед активністю MCU змінює стан ключів у дільнику напруги і чекає завершення перехідного процесу t_{settle} , і потім виконує дію.

Індуктивність дроселя L розрахована для $\Delta I_L \approx 30\% : L \geq \frac{V_{in} \cdot D}{\Delta I_L \cdot f}$.

Для режиму 12 В обрано $L = 47$ мкГн.

Оцінка ефективності проводиться за метрикою енергії на повідомлення: $E_{msg} = \int P(t) dt$.

Моделювання в LTspice (рис. 2) підтвердило стабільність перемикання. Час встановлення при стрибку $6 \rightarrow 12$ В становить ≤ 3 мс, перерегулювання $< 3\%$.

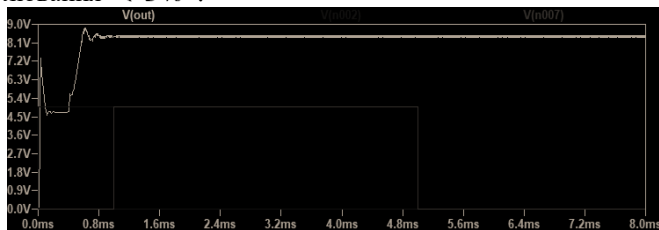


Рисунок 2 – Перехідний процес запуску та стабілізації вихідної напруги

Графік підтверджує відсутність значних перерегулювань ($< 5\%$) та стабільність вихідної напруги при комутації керуючих сигналів (синій/червоний графіки). Це свідчить про стійкість зворотного зв'язку. Розрахунковий аналіз показує, що використання адаптивного режиму (DVS) дозволяє знизити споживання енергії на цикл повідомлення з 87 мДж (при постійних 12 В) до 48 мДж, забезпечуючи економію енергії на рівні 45%.

Список використаних джерел:

1. Analog Devices. LT3757 Datasheet: Boost, Flyback, SEPIC and Inverting Controller. 2025. Режим доступу: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/lt3757-3757a.pdf>.
2. B. Torchani, Adaptive sliding mode control based on maximum power point tracking for boost converter of photovoltaic system under reference voltage optimizer. 2024. Режим доступу: <https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/fenrg.2024.1485470/full>.