ГДЕ ОШИБАЮТСЯ ПРОИЗВОДИТЕЛИ LORAWAN-УСТРОЙСТВ И ЧТО МЕНЯЕТ ТЕХНОЛОГИЯ BATTERYCARE
1–2 ГОДА ПРОТИВ 10–15 ЛЕТ

OrionM2M

Парадокс автономного LoRaWAN

LoRaWAN изначально создавался как технология для устройств с ультранизким энергопотреблением.
В официальных спецификациях и маркетинговых материалах производителей радио-чипов подчёркивается: 10–15 лет автономной работы - это нормальный, ожидаемый срок эксплуатации одного узла при использовании литиевой батареи.
В идеальных условиях это действительно так:

- длительный сон (sleep mode),
- редкие передачи,
- энергоэффективная модуляция,
- отсутствие активного приёма,
- минимальные утечки.

С инженерной точки зрения LoRaWAN полностью способен работать десятилетиями.

Но реальность рынка выглядит иначе

Множество коммерческих LoRaWAN-устройств:

- выходят из строя через 12–24 месяца,
- требуют регулярной замены батарей,
- работают нестабильно зимой,
- создают массивные Join-штормы,
- снижают качество сети,
- приводят к росту эксплуатационных затрат.

Пользователи, муниципалитеты и предприятия, которые разворачивают сети на сотни и тысячи устройств, сталкиваются с тем, что оборудование фактически не соответствует ожиданиям стандарта.

Где же скрыта причина?

Парадокс в том, что проблема не в LoRaWAN как технологии. И не в батареях.
Проблема в том, как большинство производителей проектируют питание своих устройств.
Автономность 10–15 лет возможна только при соблюдении концепции:

- малые токи → батарея,
- импульсные нагрузки → буфер,
- высокое КПД → DC/DC,
- стабильное напряжение → отсутствие перезагрузок.

Но подавляющее большинство устройств на рынке построены по другой логике:

- радио питается напрямую от батареи,
- используется LDO с теплопотерями,
- отсутствует энергетический буфер,
- пассивация интерпретируется как «ошибка»,
- батарея работает в режиме, для которого она не предназначена.

В результате устройства, которые должны жить десятилетие, едва доживают до второго года.

Энергетический парадокс LoRaWAN в одном предложении

> Технология позволяет работать 15 лет, но схемотехника большинства устройств делает даже 2 года недостижимыми.

Ошибки производителей LoRaWAN-устройств
Прямое питание радио от батареи

Большинство LoRaWAN-устройств питают радиомодуль напрямую от Li-$SOCl_2$ батареи, хотя её химия рассчитана на малые токи 1–3 мА.
Передача LoRaWAN на 14 dBm требует пиков до 50–58 мА, что в 15–20 раз превышает номинал батареи.
В результате:

- происходит мгновенная просадка напряжения
- MCU уходит в brownout
- устройство перезагружается
- ухудшается автономность
- увеличивается риск Join-штормов

Такая архитектура гарантированно сокращает срок службы устройства до 1–2 лет.

Использование LDO и отсутствие энергетического буфера

Производители часто применяют линейные стабилизаторы (LDO), потому что они простые и дешёвые. Но у LDO есть два критичных недостатка:

- Низкое КПД при падении напряжения

Разница 3.6 → 3.0 В уходит в тепло.
Потери достигают 30–40%, что ускоряет разряд батареи.

- Отсутствие буфера пиковых нагрузок

Все импульсы радио проходят через батарею.
Это вызывает:

- рост пассивации,
- снижение доступной мощности,
- невозможность обеспечить стабильный uplink,
- деградацию химии батареи.

Устройство работает «на грани» практически с первого дня.

Неправильное понимание пассивации и условий работы батареи

Li-$SOCl_2$ батареи имеют защитный пассивирующий слой, который обеспечивает сверхнизкий саморазряд. Это фича, а не баг.
Но производители:

- пытаются «пробить» пассивацию
- используют депассивацию как костыль
- проектируют схемы, требующие высокие токи от батареи
- не закладывают буфер EDLC
- не учитывают рост ESR зимой

В результате батарея работает не в своей зоне оптимума, а в режиме, для которого она не предназначена.
Это приводит к:

- стремительной деградации,
- отказам зимой,
- перезагрузкам,
- Join-штормам,
- преждевременной смерти устройства.

> Главная ошибка рынка - попытка питать современный LoRaWAN-радиомодуль напрямую от Li-$SOCl_2$ элемента без буфера и без DC/DC-конвертера. Такая архитектура технически несовместима с требованиями LoRaWAN.

Почему устройства конкурентов живут только 1–2 года

Brownout, перезагрузки и невозможность передать пакет

В устройствах конкурентов радио питается напрямую от батареи.
Когда начинается передача LoRaWAN:

- SX1276/SX1262 требует 50–58 мА,
- батарея может отдать только 1–3 мА,
- возникает резкая просадка напряжения,
- MCU уходит в brownout,
- устройство перезагружается.

После перезагрузки оно снова пытается передать данные - и снова падает по питанию. Такой цикл может повторяться десятки и сотни раз в сутки.
Это приводит к:

- некорректной работе,
- неконтролируемому расходу батареи,
- стремительному износу элемента,
- дальнейшему ухудшению работы радио.

Фактически устройство начинает само себя «убивать».

Join-штормы и загрязнение LoRaWAN-сети

Каждая перезагрузка приводит к попытке повторного присоединения к сети (Join Request).
Но устройство снова уходит в brownout ещё до получения Join Accept.
Получается:
Join-шторм - неконтролируемый поток запросов в эфир.
Это вызывает:

- перегрузку каналов,
- коллизии приёма,
- снижение качества сети для всех устройств вокруг,
- рост пропусков сообщений,
- уменьшение дальности и стабильности.

Join-шторм - это один из самых разрушительных сценариев для LoRaWAN инфраструктуры. И он запускается устройствами с неправильным питанием автоматически, без участия пользователя.

Рост ESR зимой и ускоренная деградация батареи

При падении температуры внутреннее сопротивление Li-$SOCl_2$ растёт:

- x5 при −20 °C
- x10 при −40 °C

Это значит:

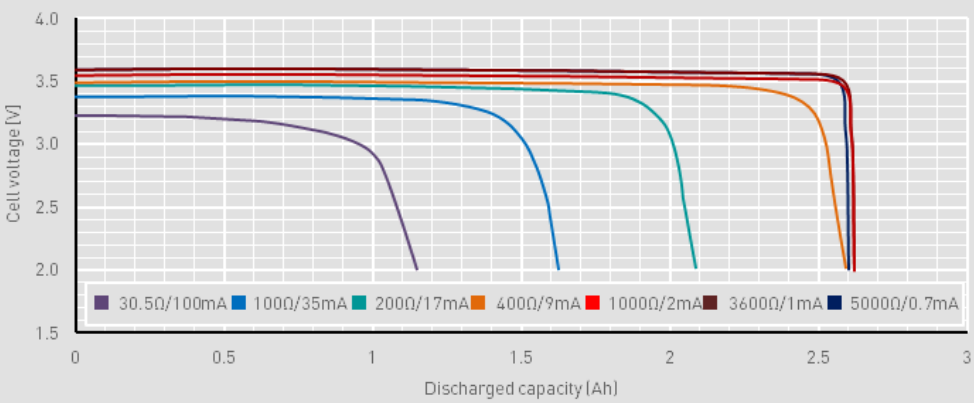
- батарея почти перестаёт отдавать ток,
- передача Radio TX становится невозможной,
- даже приём LoRaWAN иногда невозможен,
- устройство полностью уходит в brownout-циклы.

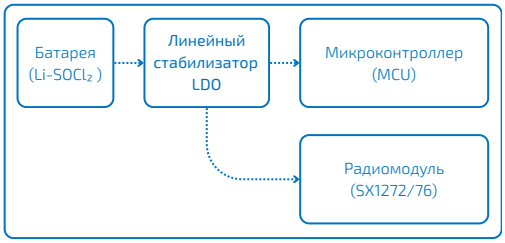
Каждый такой цикл:

- добивает батарею,
- усиливает пассивацию,
- увеличивает ESR ещё больше,
- ускоряет деградацию химии.

В итоге ресурс 2400–2700 мА·ч превращается в 200–400 мА·ч полезного ресурса, то есть устройство выживает 1–2 года, а иногда и меньше.

> Устройства конкурентов выходят из строя не потому, что «LoRaWAN много потребляет» или «батареи плохие». Они умирают потому, что батарея работает в режиме, для которого она физически не предназначена, а радиомодуль не получает стабильного питания.
> Результат:
> brownout → Join-шторм → деградация батареи → отказ через 12–24 месяца.





Архитектура типичных LoRaWAN-устройств на рынке

LoRaWAN

Почему сменная батарея - ложное решение

Замена батареи стоит дороже, чем само устройство

В реальных условиях замена батареи включает:
- выезд специалиста,
- доступ к объекту,
- демонтаж корпуса,
- установку новой батареи,
- закрытие корпуса,
- проверку связи и повторную пусконаладку.

Стоимость такой операции нередко составляет 40–100% стоимости всего устройства. Для проектов с сотнями и тысячами датчиков это превращается в огромные эксплуатационные расходы.

Смена батареи не устраняет причину быстрого разряда

> «Батарея быстро садится → сделаем сменную батарею».

Но проблема не в батарее, а в том, что:
- радио питается напрямую от Li-$SOCl_2$,
- нет энергетического буфера (EDLC),
- используется LDO с теплопотерями,
- батарея работает в режимах с пиковыми токами в десятки раз выше нормы.

То есть батарея в таких устройствах изначально работает в условиях, несовместимых с её химией. Смена батареи просто перезапускает тот же разрушительный цикл.

Сменные батареи ускоряют деградацию сети

После замены батареи устройство:
- повторно Join'ится,
- может работать нестабильно до калибровки,
- иногда уходит в повторные brownout-перезагрузки,
- создаёт дополнительные Join-пакеты.

На больших сетях это может привести к:
- локальным перегрузкам каналов,
- ухудшению качества сети,
- пропуску сообщений от остальных узлов.

То есть сменная батарея - это ещё и фактор сетевой нестабильности.

Сменная батарея разрушает саму идею IoT

LoRaWAN задумывался как технология:
- без обслуживания,
- без выездов,
- без замен батарей,
- с 10–15 годами автономности.

Если устройство требует регулярного обслуживания - оно фактически не является IoT-устройством, а превращается в терминал, требующий ежегодного сервисного цикла.

Дешёвое решение для производителя → дорогое решение для заказчика

Для производителя сделать сменную батарею:
- легко,
- дёшево,
- быстро.

Но для заказчика это означает:
- ежегодные расходы,
- сложности эксплуатации,
- логистику батарей,
- выезд персонала на объекты,
- риски человеческих ошибок,
- отсутствие предсказуемости.

Это классический случай, когда экономия при производстве превращается в огромные расходы в течение жизненного цикла системы.

> Сменная батарея не решает основную проблему - неправильную архитектуру питания.
> Пока пики тока проходят через батарею, устройство будет выходить из строя через 1-2 года, независимо от того, можно ли заменить элемент или нет.

Технология BatteryCare

Технология BatteryCare - это инженерная архитектура питания, разработанная для того, чтобы устранить корневые причины ранней деградации LoRaWAN-устройств.
Она основана на разделении функций батареи и источника импульсной мощности, применении высокоэффективного DC/DC-конвертера и управлении питанием на уровне микроконтроллера.

Разделение малых и импульсных токов

В устройствах OrionM2M батарея никогда не отдаёт высокие токи. Её единственная задача - обеспечивать устойчивый малый ток в 1–3 мА, что соответствует естественному режиму работы Li-$SOCl_2$ химии.
Энергетическая архитектура выглядит так:
- Батарея → работает в режиме стабильного малотока
- EDLC (суперконденсатор) → обеспечивает все пики от 40 до 150 мА
- Радиомодуль получает питание без просадок даже на морозе

Это полностью исключает просадки напряжения, перезагрузки и преждевременную деградацию батареи.

Высокоэффективный DC/DC-конвертер с контролем тока

В BatteryCare используется импульсный стабилизатор семейства TPS6274x, который:
- имеет КПД до 94%,
- снижает теплопотери почти до нуля по сравнению с LDO,
- ограничивает ток зарядки EDLC до безопасного уровня,
- обеспечивает стабильное напряжение 1.8–3.3 В в зависимости от режима работы.

Главное отличие:
- батарея НЕ участвует в питании радио во время TX
- батарея заряжает EDLC только малым током
- EDLC полностью берёт на себя пик

Это устраняет саму причину brownout-циклов.

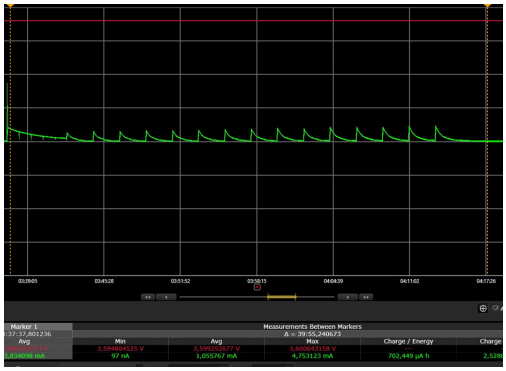
Управляемое питание и защита от пассивации

Микроконтроллер управляет уровнем питания через VSEL:
- 1.8 В - глубокий сон
- 2.3–2.5 В - измерения, датчики
- 3.0–3.3 В - передача LoRaWAN

Что это даёт:
- минимальное среднее потребление,
- отсутствие тепловых потерь,
- предсказуемое поведение при –40 °C,
- батарея всегда работает в зоне оптимума,
- пассивация становится плюсом, а не проблемой.

Благодаря этому устройства:
- стабильно работают годами,
- не требуют депассивации,
- не создают Join-штормов,
- не деградируют преждевременно.

> BatteryCare - это единственная архитектура, которая полностью изолирует батарею от импульсных нагрузок. Именно это делает возможными реальные 10–15 лет автономной работы LoRaWAN-устройств.



> Однократная зарядка буферной емкости при первом включении. Ток в пике 4.75 мА

Почему “EDLC параллельно батарее” - ошибка

Когда на рынке начали понимать, что Li-$SOCl_2$ батарея плохо переносит импульсные токи радиомодуля, логичный шаг был - добавить суперконденсатор (EDLC). Часть производителей действительно пошли в сторону EDLC, но сделали критическую ошибку: подключили его просто параллельно батарее.
В результате такая схема:
- ничего принципиально не решает,
- а в ряде случаев делает ещё хуже.

Батарея всё равно вынуждена заряжать EDLC пиковым током

Если суперконденсатор сидит напрямую на батарее, то:
- при включении устройства или после передачи он разряжен,
- он пытается зарядиться как можно быстрее до напряжения батареи,
- ток заряда ограничен только внутренним сопротивлением батареи и проводников.

Для Li-$SOCl_2$ это означает:
- батарея снова должна отдавать десятки миллиампер,
- возникает тот же импульсный режим, от которого мы и хотели уйти,
- происходят просадки напряжения,
- MCU уходит в brownout,
- устройство перезагружается.

То есть:

> Мы как будто добавили EDLC, но пиковый ток всё равно течёт через батарею, только теперь не в момент TX, а в момент зарядки суперконденсатора.

С точки зрения батареи - стало не легче.

Brownout никуда не делся - он просто сместился по времени

В правильной архитектуре EDLC должен:
- заряжаться медленно, ограниченным током,
- а разряжаться быстро, отдавая пик на радио.

В схеме «EDLC параллельно батарее» происходит наоборот:
- заряд EDLC → быстрый
- ток → высокий
- батарея «проваливается» именно в момент зарядки

Результат:
- устройство может упасть по питанию не во время передачи,
- а сразу после неё или при следующем пробуждении,
- что делает поведение ещё менее предсказуемым.

По факту brownout не устранён, он просто перенесён в другое место сценария работы.

Суперконденсатор добавляет паразитные потери и утечки

EDLC - это не идеальный накопитель энергии. У него есть:
- утечка (leakage current),
- саморазряд,
- температурная зависимость.

Если он висит напрямую на батарее, то:
- батарея постоянно подзаряжает EDLC,
- даже когда радио молчит,
- появляются дополнительные постоянные потери.

То есть:

> Вместо экономии батареи мы добавили постоянный скрытый канал разряда.

Напряжение и режим работы элементов выходят из нормального диапазона

При прямом параллельном включении:
напряжение на EDLC и батарее одинаковое,
при заряде и разряде идут резкие скачки,
радиомодуль и MCU могут видеть нелинейные переходные процессы.
Если нет DC/DC и токового лимитера:
- при заряде EDLC напряжение может качаться,
- это приводит к глюкам логики,
- нестабильной работе радио,
- частично «случайным» отказам.

Для Li-SOCl$_2$ это ещё более разрушительный сценарий

У Li-SOCl$_2$:
- высокая энергия,
- низкий саморазряд,
- но чётко ограниченная зона по току.

Когда параллельно вешают EDLC и не ограничивают ток:
- батарея постоянно «дёргается» импульсами заряда,
- пассивация ведёт себя нестабильно,
- ESR растёт,
- ресурс падает ещё быстрее.

То есть:

> В попытке «улучшить» питание с помощью EDLC, включённого параллельно, такие устройства фактически ускоряют смерть батареи.

Join-шторм никуда не исчезает

Главная наша цель - избавиться от Join-штормов и перезагрузок.
При неправильной работе EDLC:
- устройство всё так же периодически падает по питанию,
- всё так же не может довести процедуру Join до конца,
- всё так же засыпает сеть бесконечными Join Request.

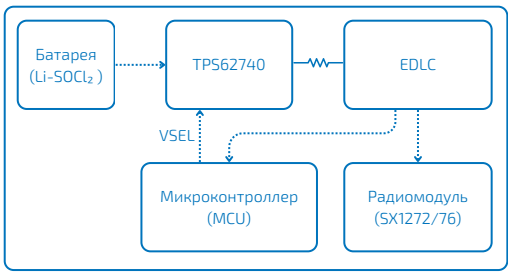
То есть по отношению к LoRaWAN-сети:
- устройство с EDLC параллельно батарее ведёт себя почти так же плохо, как и без EDLC,
- для оператора сети и заказчика разницы нет - сеть загрязнена, устройство нестабильно.

Как должно быть на самом деле

Правильная архитектура:
- батарея → через DC/DC с ограничением тока → заряжает EDLC малыми токами,
- EDLC → локальный буфер, с которого берутся все импульсы TX/RX,
- радио и MCU питаются от стабилизированного напряжения, а не напрямую от батареи.

В этом случае:
- батарея никогда не видит пиков 40–150 мА,
- EDLC не разряжает её напрямую,
- нет резких провалов напряжения,
- нет brownout,
- нет Join-штормов,
- батарея живёт 10–15 лет, как и задумано.

> Просто добавить EDLC - недостаточно.
> Если суперконденсатор включён параллельно батарее без ограничения тока и без DC/DC, он не решает проблему, а лишь переносит её в другую точку и ускоряет деградацию Li-SOCl$_2$.



Архитектура питания OrionM2M с технологией BatteryCare

Реальные 10–15 лет автономности

Технология BatteryCare позволяет LoRaWAN-устройствам OrionM2M работать десятилетиями не благодаря «улучшенным батареям», а благодаря правильно спроектированной энергетической архитектуре, в которой каждая деталь выполняет свою оптимальную роль. Реальная долговечность обеспечивается сочетанием трёх факторов:
- батарея не испытывает импульсных нагрузок,
- радио работает на стабильном питании,
- потери энергии сведены к минимуму.

Никаких просадок, никаких перезагрузок

Устройство не уходит в brownout, потому что:
- пиковые токи всегда идут с EDLC,
- батарея видит только плавные малые токи,
- DC/DC поддерживает стабильное напряжение,
- MCU и радио питаются в контролируемом диапазоне 1.8–3.3 В.

Что это дает:
- стабильный uplink,
- предсказуемую работу во всех температурах,
- отсутствие Join-штормов,
- отсутствие циклических перезапусков.

Если устройство не перезагружается - оно не тратит батарею впустую.

Минимальное среднее потребление благодаря управлению питанием

Среднее энергопотребление - ключ к реальной автономности.
BatteryCare обеспечивает:
- питание 1.8 В в глубоком сне (снижение потребления МК)
- пониженное напряжение для сенсоров (оптимизация без ухудшения точности)
- 3.0–3.3 В только на момент передачи (когда это действительно нужно)
- КПД DC/DC до 94% (минимальные теплопотери и энергия уходит в дело, а не в нагрев корпуса)

Эти эффекты суммируются, давая многократное увеличение срока службы.

Батарея работает в оптимальном режиме 100% времени

Самое важное:
Li-SOCl$_2$ батарея чувствует себя так, будто питают микроконтроллер без радиомодуля - ровным, малым, стабильным током 1-3 мА.
Батарея не:
- отдаёт 50–150 мА,
- разряжается в импульсных режимах,
- проваливает напряжение,
- разрушает свой пассивирующий слой,
- ускоряет рост ESR.

В этих условиях батареи:
- работают так же, как в измерительных приборах,
- сохраняют ресурс десятилетиями,
- теряют менее 1% в год,
- не требуют обслуживания.

То есть ресурс, заложенный производителем батареи (10-15 лет), наконец реализуется полностью.

> BatteryCare — это не "оптимизация", а устранение фундаментального конфликта между Li-SOCl$_2$ батареями и LoRaWAN-радио.
> Как только батарея перестаёт видеть импульсные токи, устройства стабильно работают 10–15 лет без обслуживания даже при −40 °C.

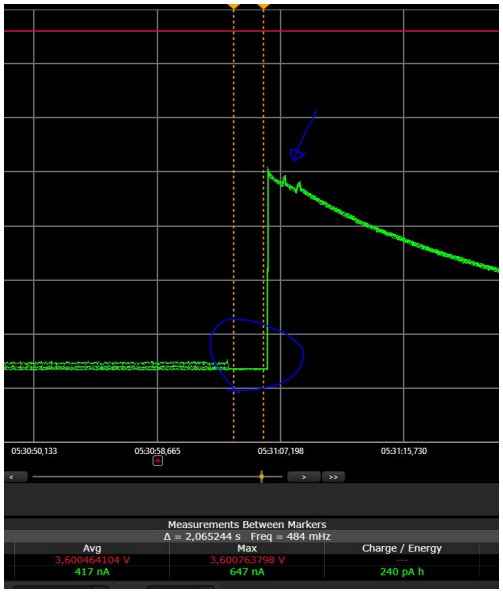
Дополнительный эффект: нулевые эксплуатационные расходы

Долговечность — это не только про энергетику, но и про экономику:
- нет замен батарей,
- нет выездов,
- нет демонтажа,
- нет повторной пусконаладки,
- нет сбоев в сети,
- нет деградации LoRaWAN-инфраструктуры.

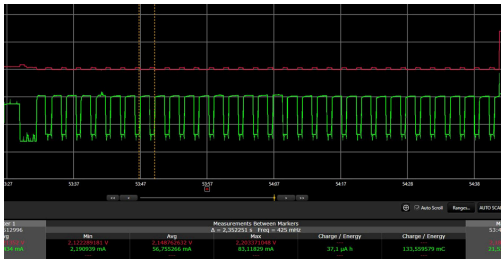
Общий TCO таких устройств в 3–7 раз ниже, чем у конкурентов.

Заключение

Проблема того, что многие LoRaWAN-устройства живут всего 1–2 года, не связана ни с качеством батарей, ни с особенностями стандарта, ни с ошибками эксплуатации.
Корень проблемы — в неправильной архитектуре питания, когда Li-SOCl$_2$ батарея вынуждена работать в импульсных режимах, для которых она физически не предназначена.
Именно это приводит к просадкам напряжения, перезагрузкам, Join-штормам, быстрому росту ESR и преждевременной деградации.
Технология BatteryCare устраняет этот конфликт на уровне схемотехники.
Батарея работает только в зоне малых токов, EDLC берёт на себя все импульсы, а высокоэффективный DC/DC обеспечивает стабильное питание радиомодуля и микроконтроллера.
Такой подход исключает brownout, предотвращает Join-штормы, сохраняет химию батареи и обеспечивает предсказуемую работу устройства даже при −40 °C.
Результат — LoRaWAN-устройство, которое действительно соответствует обещаниям стандарта: 10–15 лет автономной работы без обслуживания, без замен батарей, без сбоев и без скрытых эксплуатационных расходов.
BatteryCare — это не улучшение классической схемы, а новая архитектура питания, которая возвращает LoRaWAN его истинный смысл:
создавать надёжные, стабильные и по-настоящему автономные устройства.



> Увеличенный фрагмент момента работы передатчика. Потребление от батареи 0.647 мкА максимум. Синим кружком указан сам момент передачи, и стрелкой - открытие RX-окон.



> Циклическая перезагрузка раз в 2.35сек при включении передатчика (из-за срабатывания BOR) при снижении напряжения питания до 2.2В условлено наличием линейного регулятора, из-за падения на котором, напряжение МК в моменты передачи падает до порога срабатывания BOR