



LOCAL INTERCONNECT NETWORK

LIN

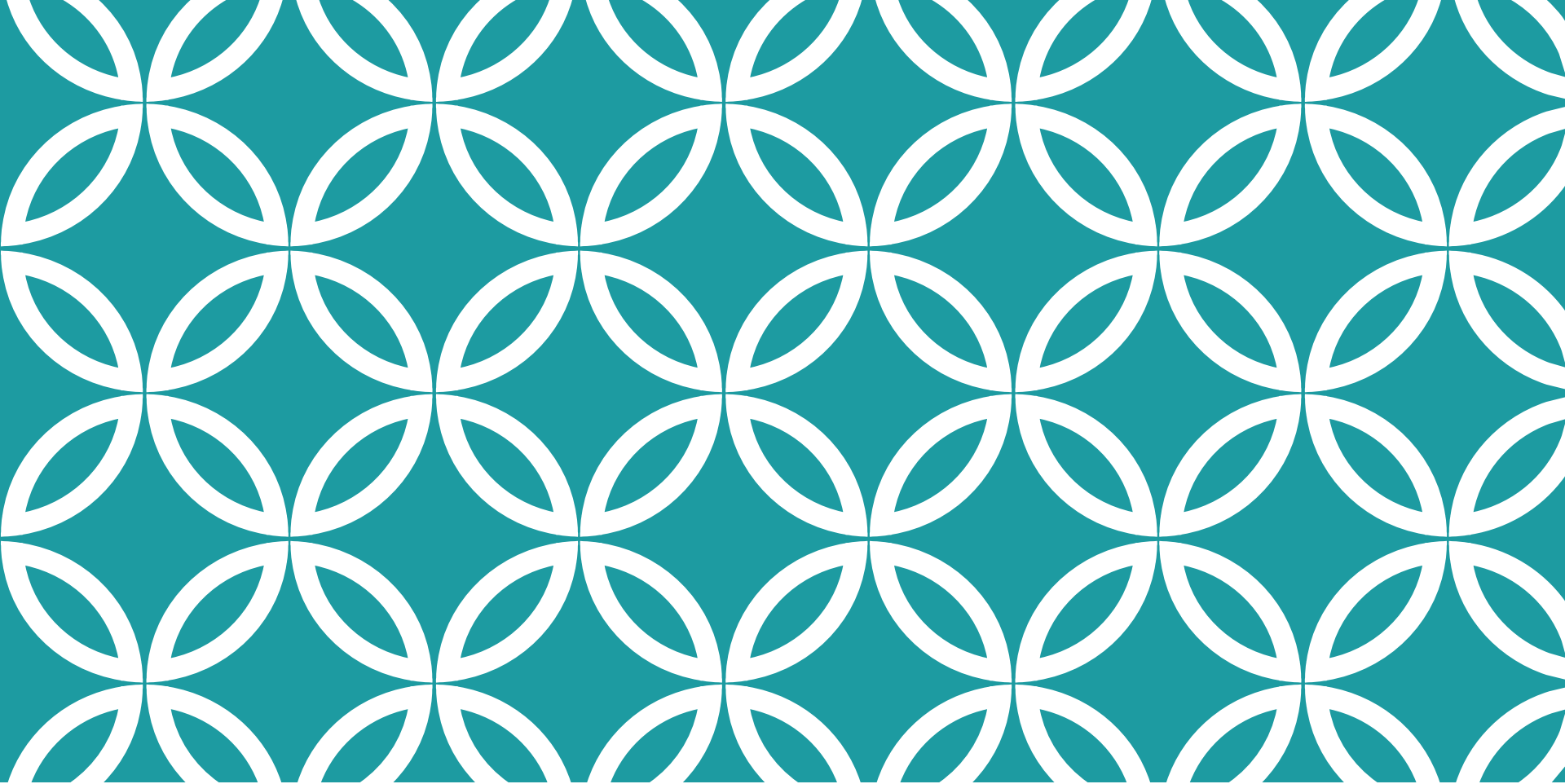
Детаљан преглед

ЦИЉЕВИ

- Након завршетка овог предавања имаћете:
 - Боље разумевање LIN магистрала:
 - Историјат и разлог развоја
 - Градивни елементи: од физичког преко транспортног до апликативног
 - Начини подешавања, оптимизације
 - Преглед практичних ствари које ћете на вежбама пробати

ПРЕГЛЕД СТРУКТУРЕ ПРЕДАВАЊА

- Шта смо радили:
 - Преглед комуникационих принципа
 - Увод општи и специфични о (ауто) магистралама
 - Серијске магистрале: UART, I2C, SPI
- Овај час: LIN
 - Преглед
 - Употреба и могућности
 - Ожичење и физички слој
 - Мрежа, Слање/пријем, формати порука
 - Такт и усклађивање
 - Подешавања и дијагностика
- Рекапитулација за крај - закључци за понети



LIN

Преглед

LIN

ГЛАВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ

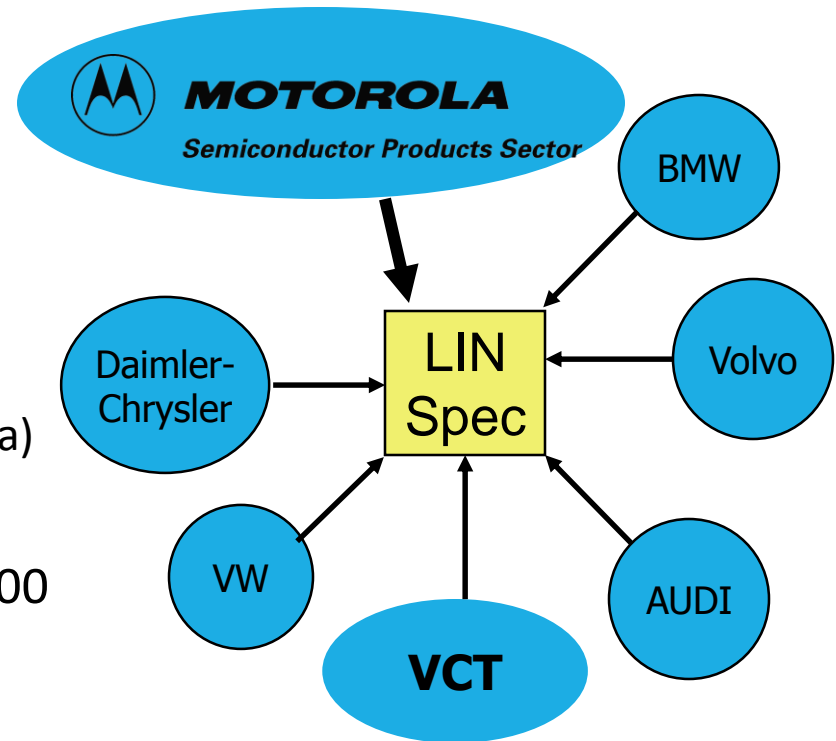


- *Local Interconnect Network*
- Развијено до 2002 од стране *LIN* конзорцијума
- Примене
 - Аутомобили, медицинска опрема, бела техника – сензори и актуатори
- Иницијално развијено као *CAN* подмрежа : смањење оптерећења

LIN

КОНЗОРЦИЈУМ

- Удружење оформљено 1998
- Структура:
 - 5 ауто произвођача
 - 1 добављач полупроводника (Motorola)
 - 1 добављач алата (VCT)
- Завршетак спецификација: 02.02.2000
- Отворен стандард
- Припремљена подршка за уређаје већ у спецификацији
- Прве *LIN* компоненте доступне у јесен 2000



LIN

ИСТОРИЈАТ

- *LIN* конзорцијум од почетка циља на једноставан, јефтин, свеобухватан и стандардизован начин да се аутоматизују сензори и актуатори
- *LIN* спецификација 2.2A
 - Physical Layer Specification
 - Protocol Specification
 - API Specification
 - Transport Layer Specification
 - Node Configuration and Identification
 - Diagnostics Specification
 - Configuration Language Specification
 - Node Capability Language Specification
 - SAE J2602 as the “US variant” of LIN is based on LIN 2.0

LIN

ПРЕГЛЕД

- Мрежа за спајање сензора и актуатора
- Физички слој: само једна линија
- Архитектура: руководицац-подређени
- Карактеристике: детерминизам и посвећеност
- Груписање: сваки подсистем засебно

LIN (LOCAL INTERCONNECT NETWORK)

ПРЕГЛЕД



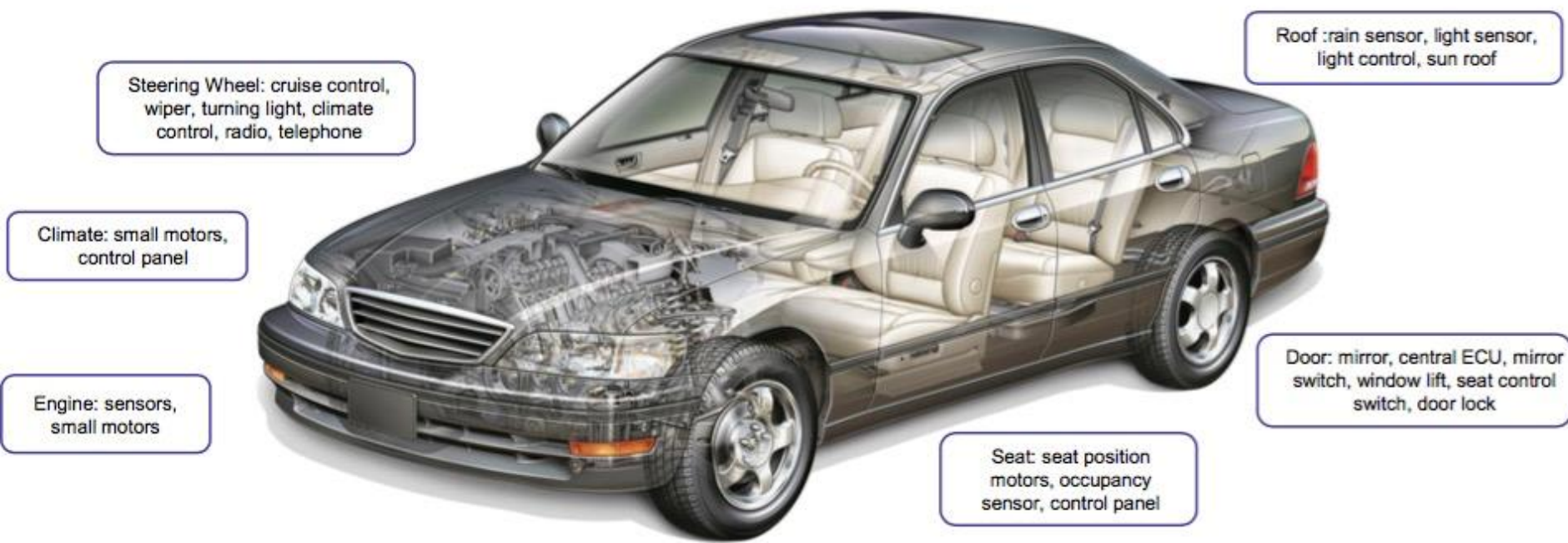
- Као у учионици: учитељ тражи одговор од осталих учесника
- Серијска комуникација: једна линија (12 V), засновано на UART
- Брзина: до 20 kbs уз ЕМК
- Руководилац контролише медијум: нема судара + гаранција кашњења
- Усклађивање такта: одговорност зависних уређаји (енг. *slave*)
(нема потребе за кварцним или керамичким резонаторима)
- Динамичка топологија: додавање у лету без HW/SW промена
- Величина мреже: типично до 12 чворова (макс 64 уз низак проток)

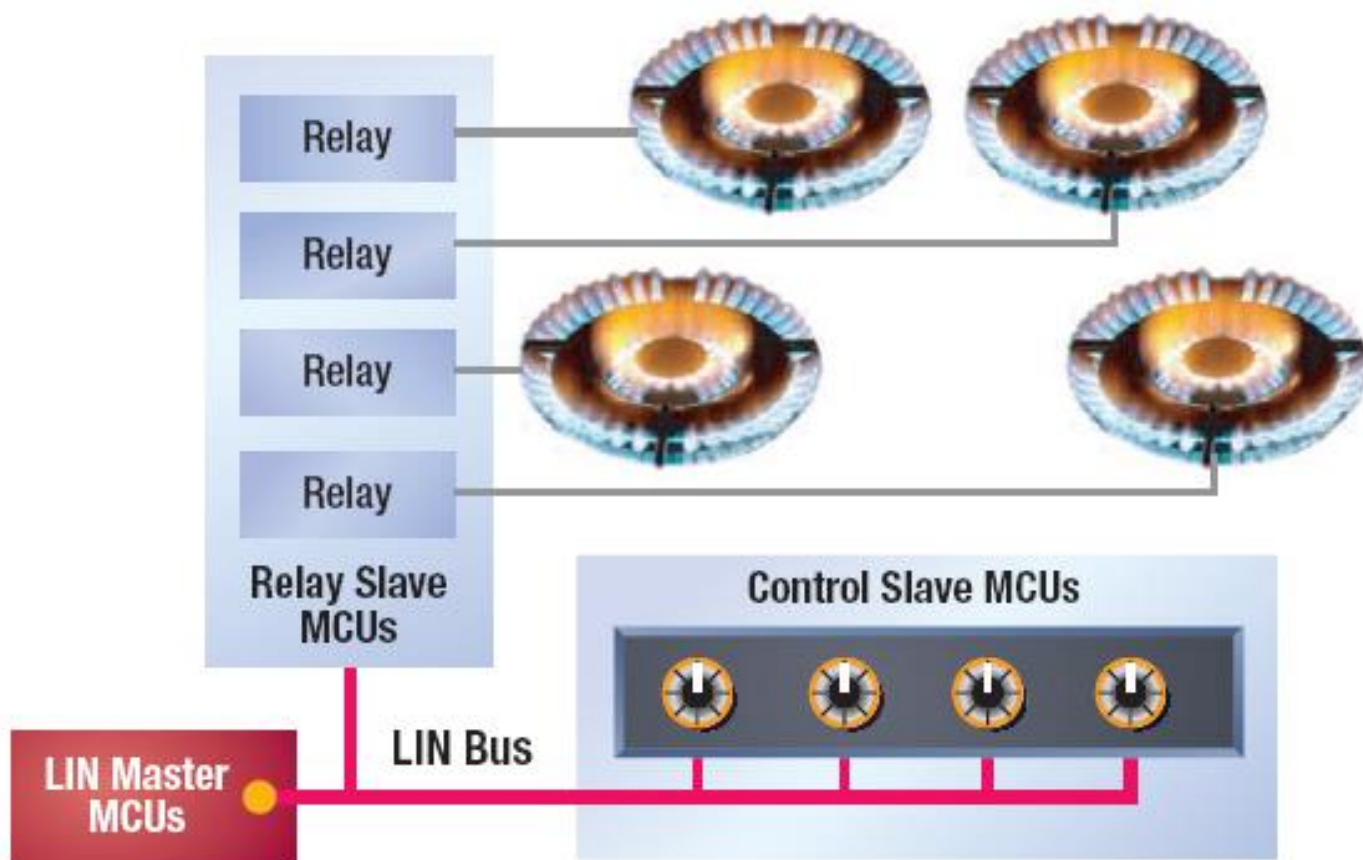
LIN

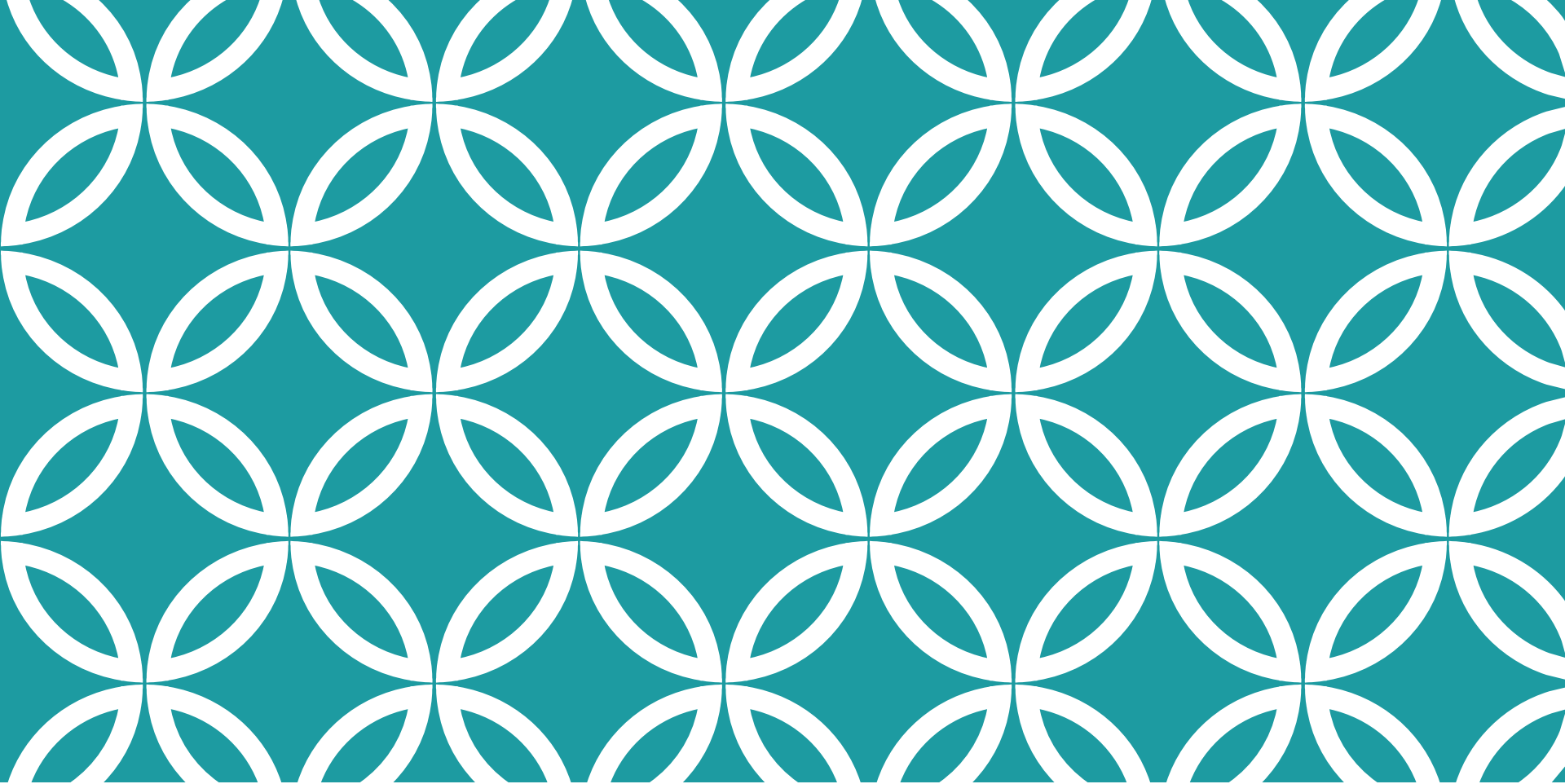
ПРИМЕНА



- Ретровизори, подизачи прозора, закључавање врата, клима, контролна табла, седишта, брисачи, светла, прекидач радија, сензори







ПОДМРЕЖЕ

Мотивација

Генеза

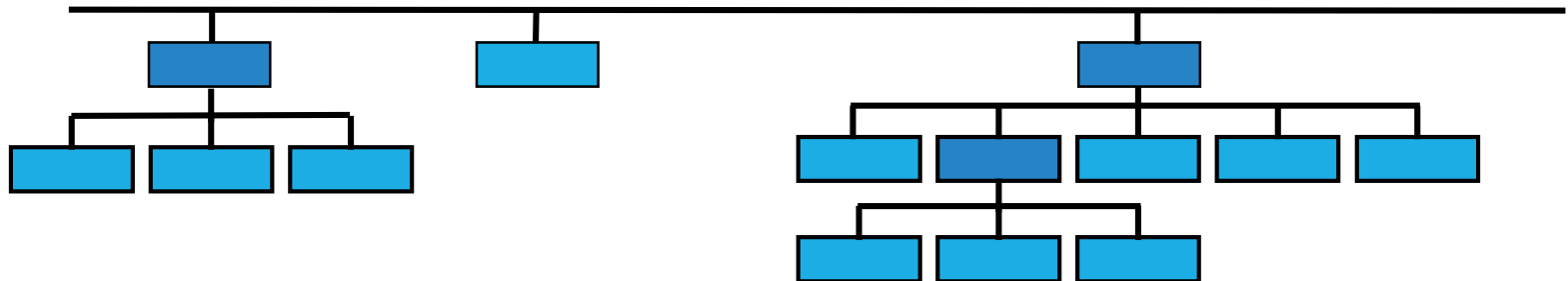
LIN реализација

ТОПОЛОГИЈЕ ХИЈЕРАРХИЈА И РАВНА

Flat Network



Hierarchical Network



ПОДМРЕЖЕ

МОТИВАЦИЈА И ПРИМЕРИ

- Потреба за смањењем гужве на главној магистрали
- Примери решења:
 - CAN
 - + Аутомобилски стандард
 - + Усклађено са главном магистралом
 - Релативно скупо:
 - Величина
 - Број линија
 - Serial Sub Bus
 - нестандаризовано
 - неусклађено
 - + јефтино
 - + Засновано на једној линији: доступно свуда
 - + Могуће реализовати само у софтверу

ПОДМРЕЖЕ

ОСНОВНИ ЗАХТЕВИ

- Стандардизована магистрала: дугорочно решење
- Цена као императив: мора да буде јефтиније од *CAN*
 - Подређени уређаји ниске цене:
 - Без осцилатора
 - Једноставна имплементација
 - Једноставне аутомати (машине стања енг. State Machines)
- Поузданост: сличан ниво као и *CAN*
- Усклађеност и проширење *CAN*
- Прошириво: додавање уређаја у лету
- Мала кашњења и реакција: максимално 100 ms
- Детерминизам: предвидива горња граница кашњења

LIN

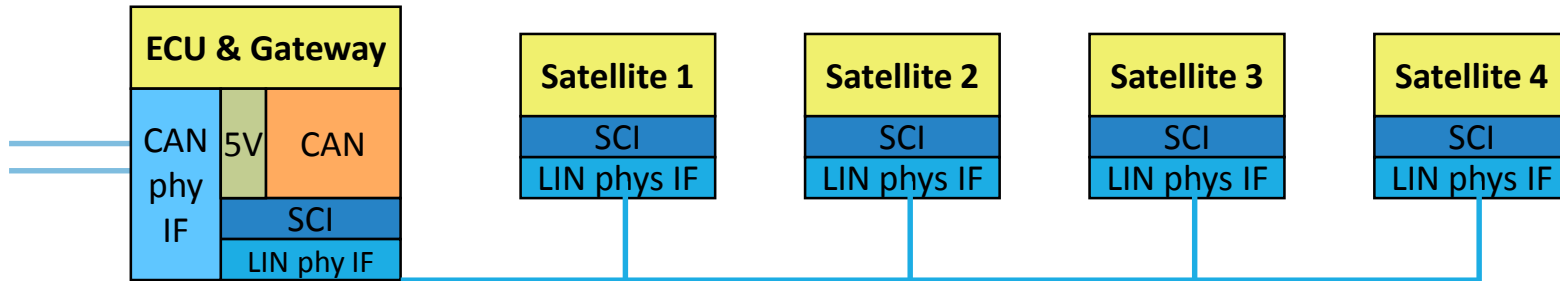
СВОЈСТВА

ПРЕДНОСТИ

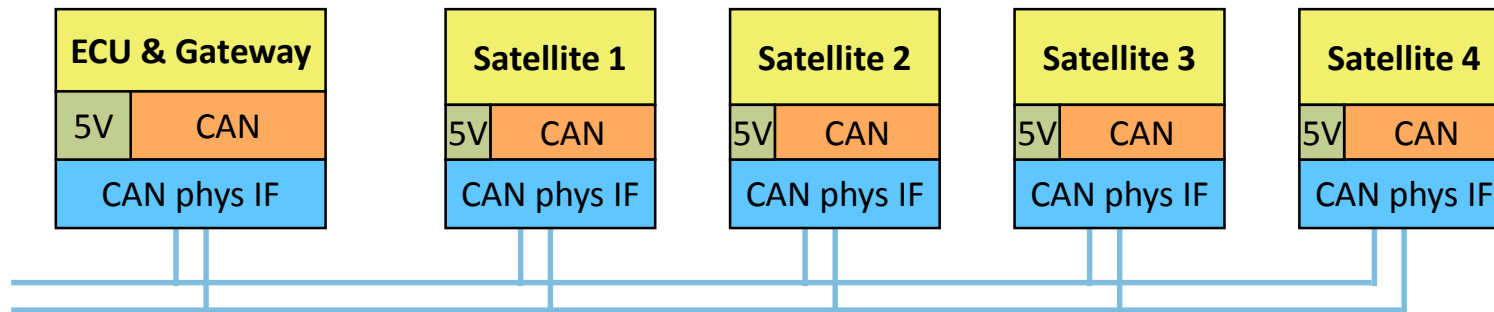
- Комплементарно *CAN*
- Изведено преко једне линије
- Брзине до 20 kbs
- Руководилац и више подређених
- Засновано на *UART/SCI*
- Само усклађивање
- Гаранција: горња граница кашњења
- Проширење *CAN*: подмреже
- Смањење цене ожичења
- Побољшава ЕМК
- Нема потребе за арбитражом
- Смањује ризик од доступности
- Без спољњег кристала
- Детерминизам и предвидљивост

ПОДПРЕЖЕ

LIN VS. CAN



LIN



Dual Wire CAN

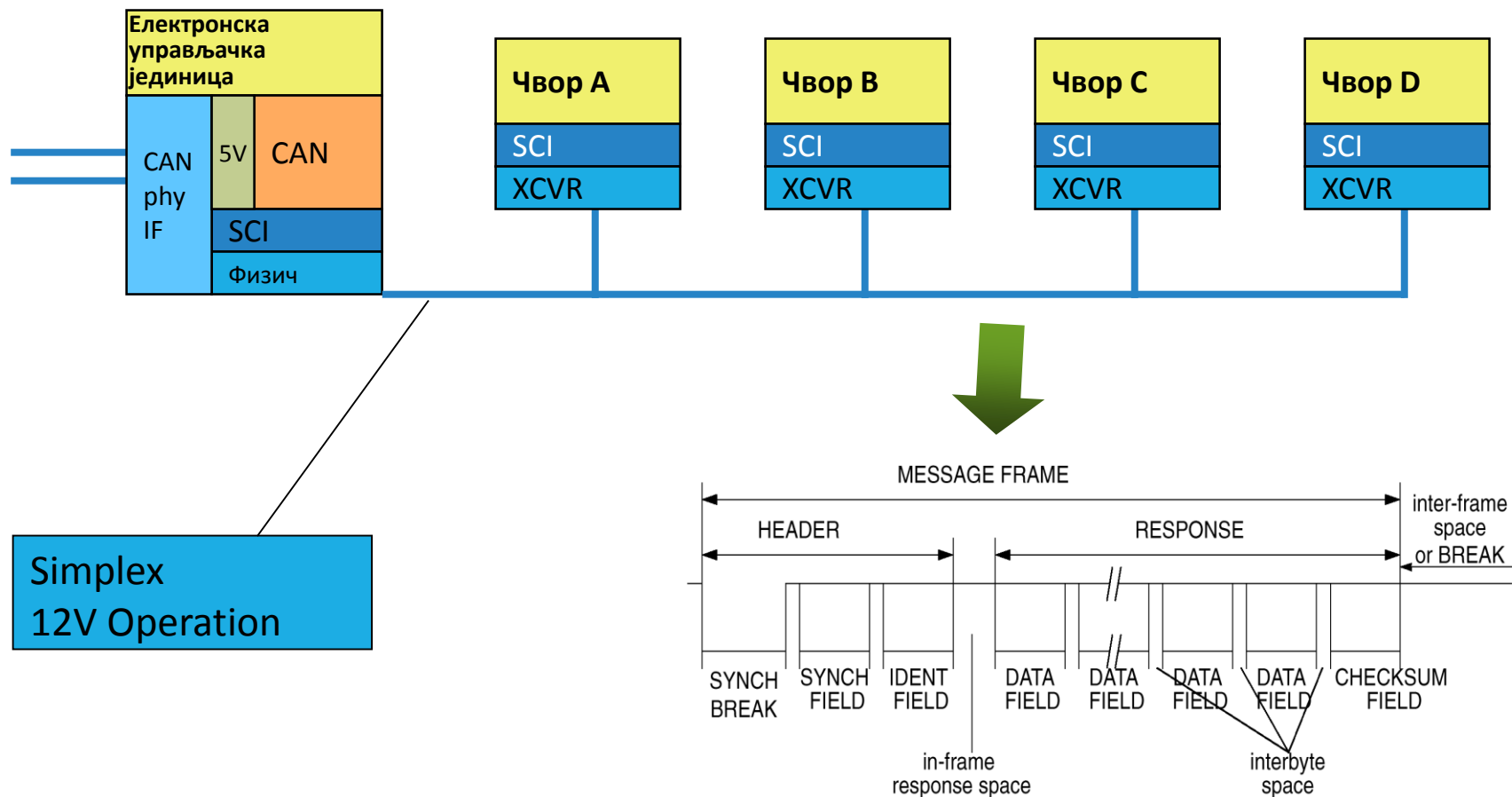
Cost Factors:

CAN Module
Crystal
2nd Wire / Connector

Dual Wire Interface
5V supply for bus

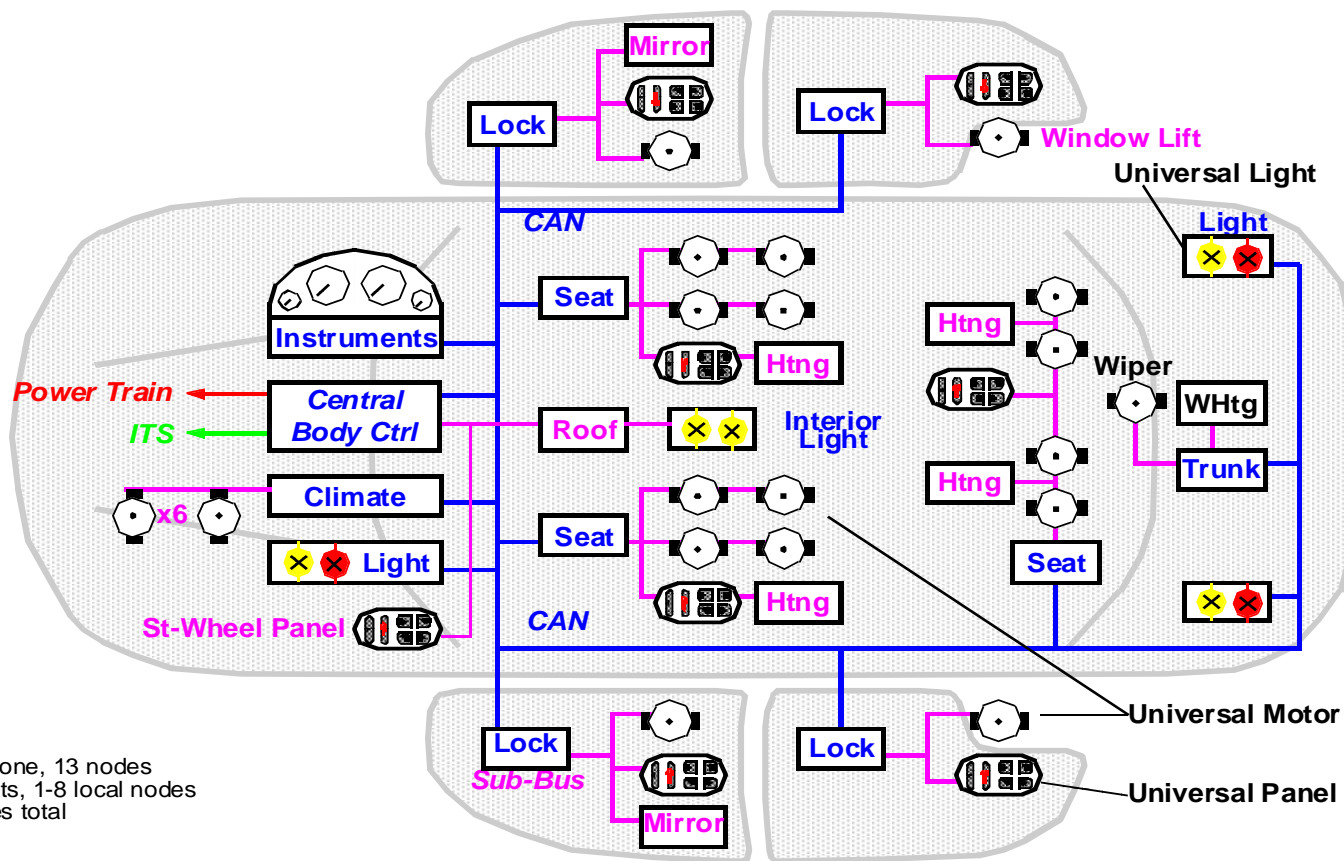
LIN

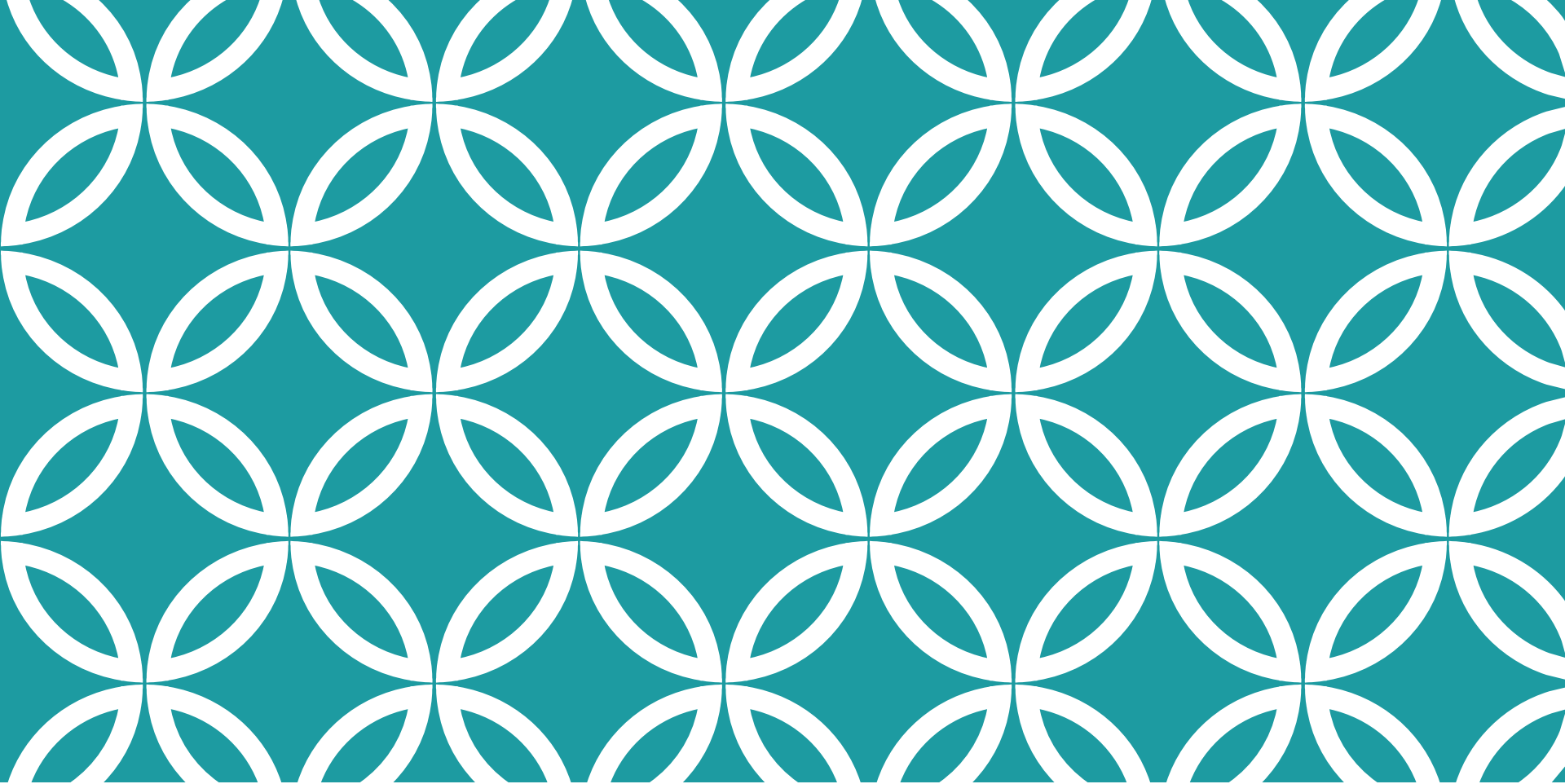
ТИПИЧНА МРЕЖА



МРЕЖА ТЕЛА АУТОМОБИЛА

ПРИМЕР



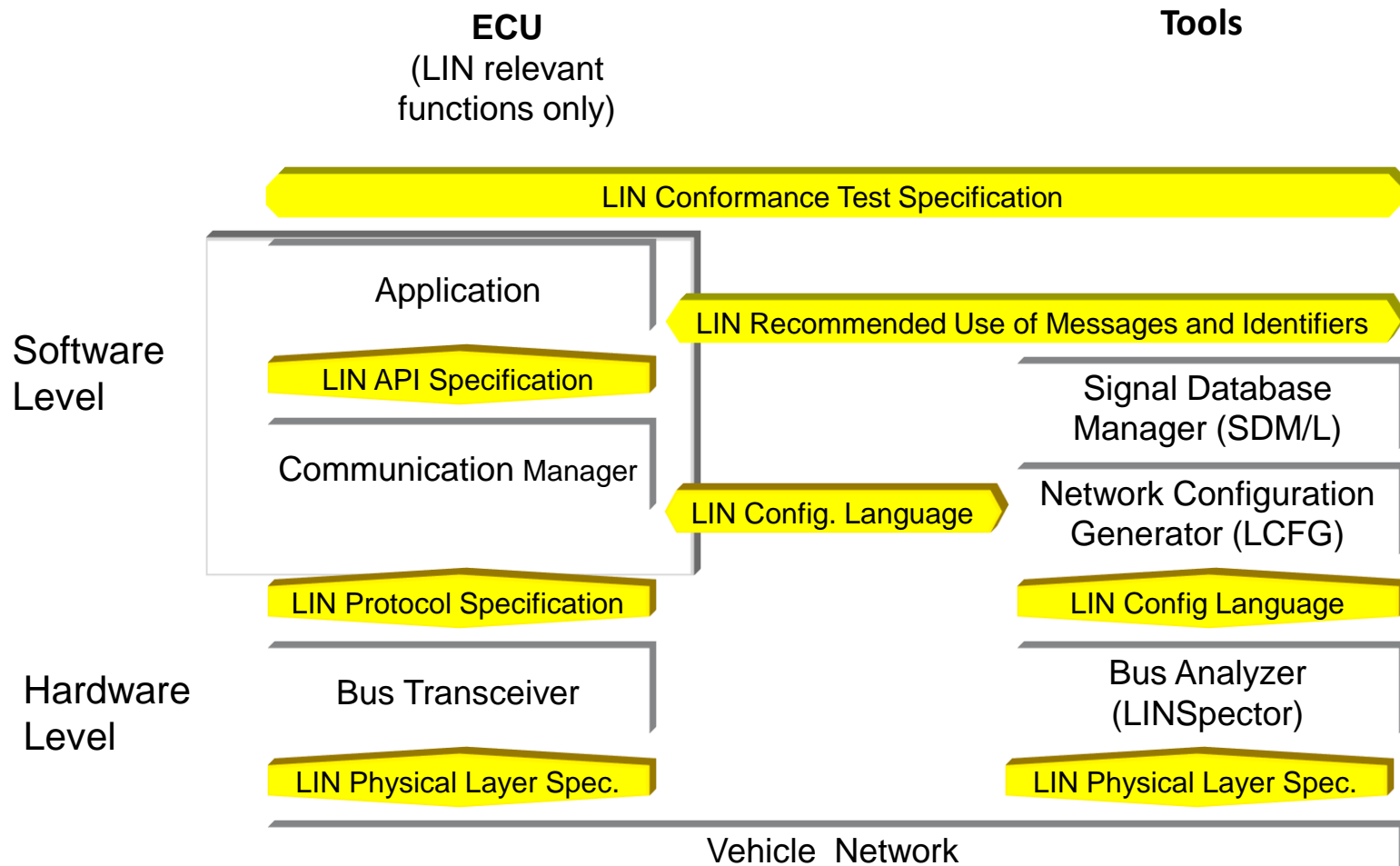


LIN

Стандард
Слојеви
Функционални детаљи

LIN СТАНДАРД

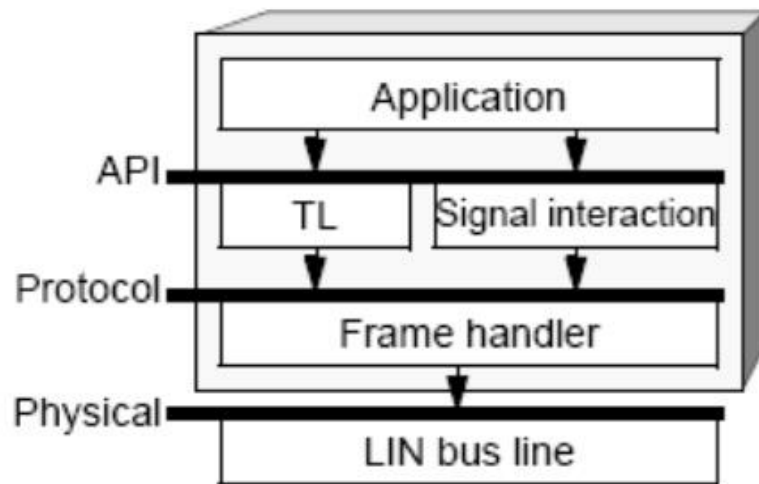
ПРЕГЛЕД



LIN

УВОДНИ ДЕТАЉИ

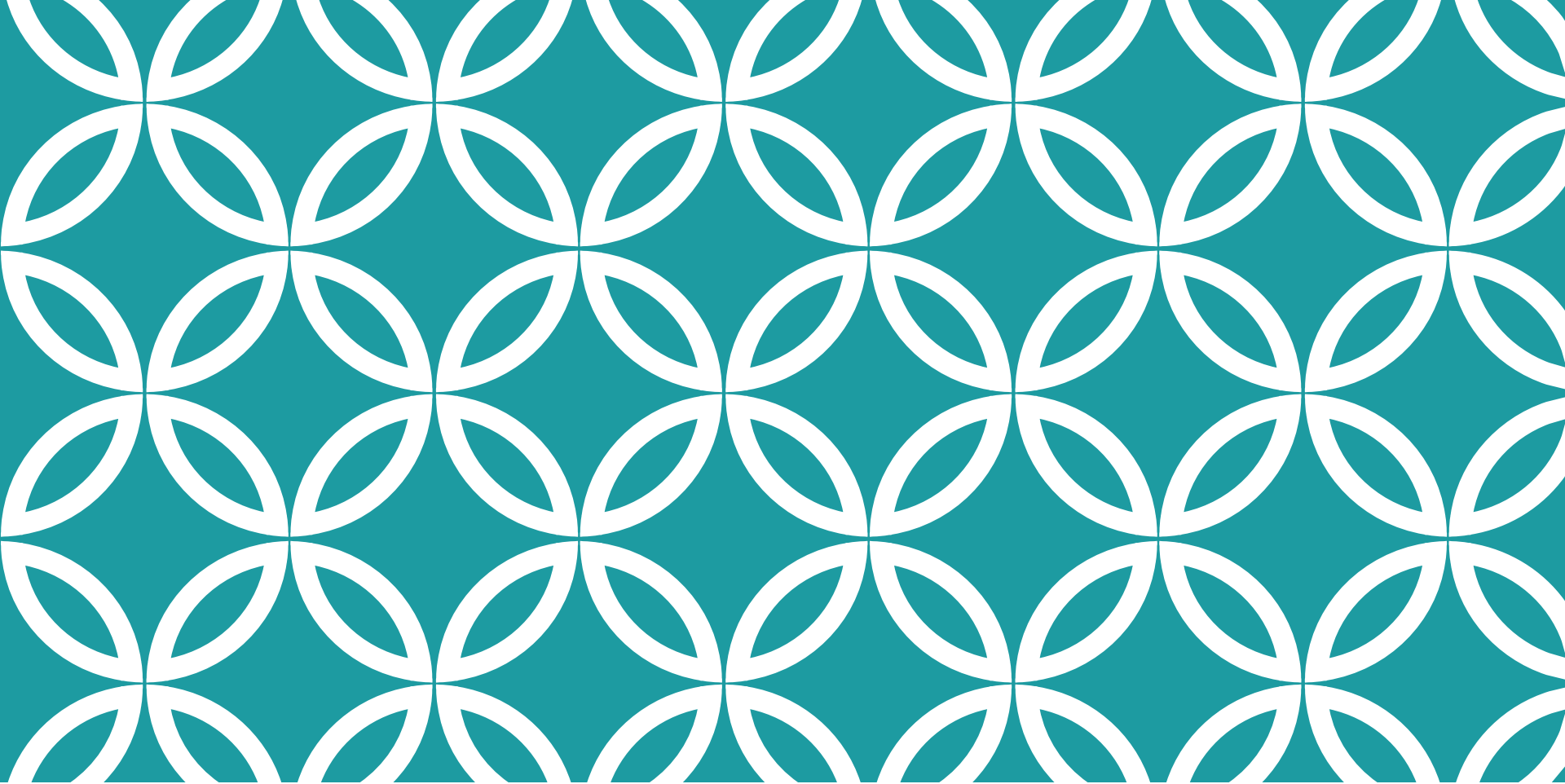
- Слојеви: физички, протоколарни, апликативни
- Апликација не приступа директно линији него се преко сигнала обавља размена команди и формира пакет који се прослеђује на линију



Application program Interface
(API) Specification

Protocol Specification

Physical Layer Specification



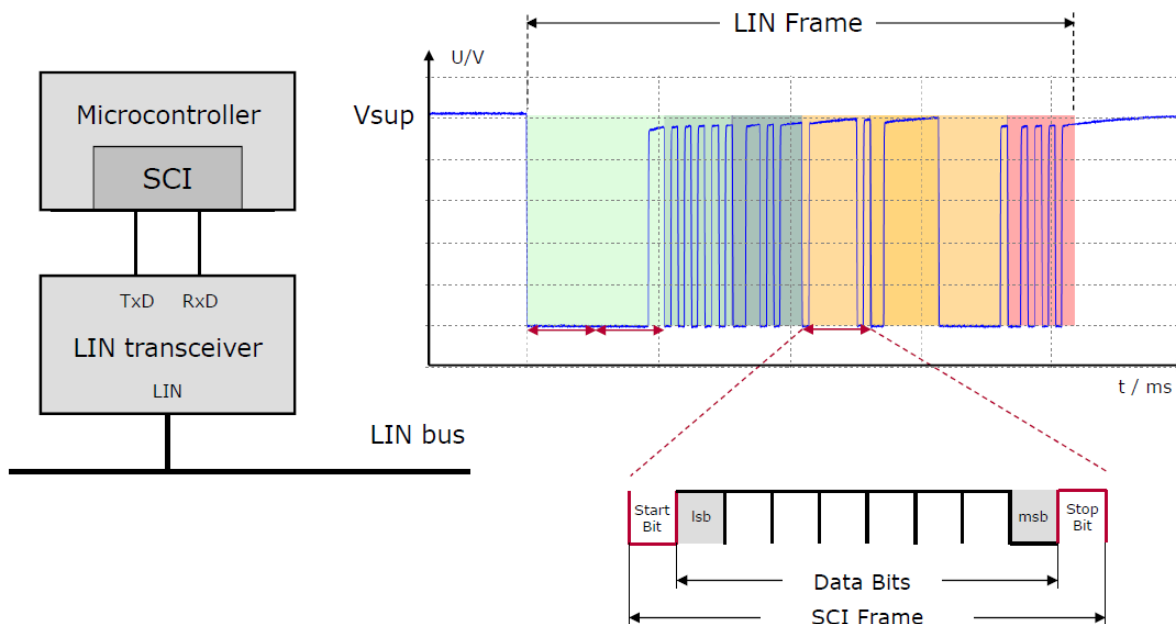
ФИЗИЧКИ СЛОЈ



ФИЗИЧКИ СЛОЈ

УВОД

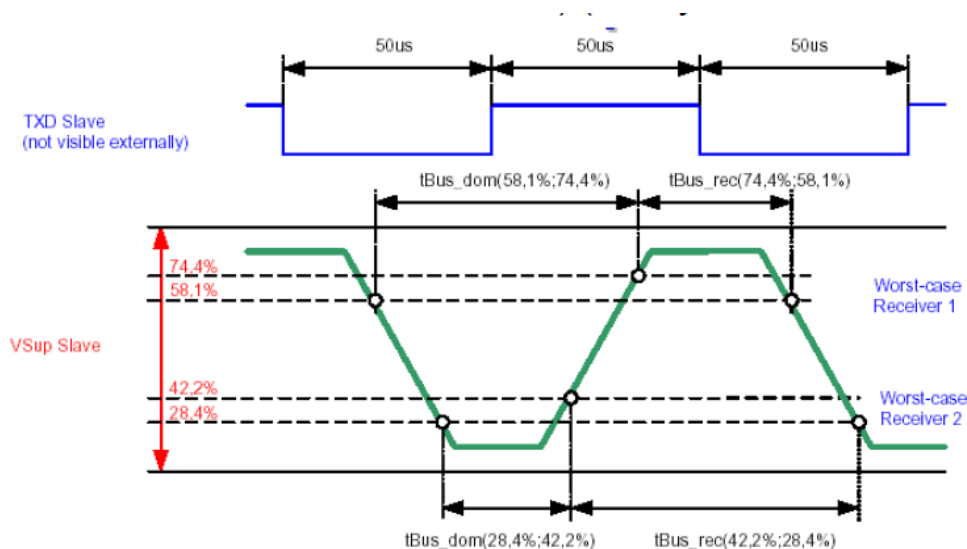
- Коло са отвореним колектором
- Магистрала терминирана *LIN* руководиоцем (1 kOhm)



ФИЗИЧКИ СЛОЈ

ДЕТАЉИ

- Vdd: између 7V и 18V на прикључцима
- Строги захтеви за симетријом и нагибима ивица ($2V/\mu s$)
- Јако осетљиво због велике толеранције осцилатора (14%)
- Радни циклус: мин = 39.6 %, макс = 58.1%



ФИЗИЧКИ СЛОЈ

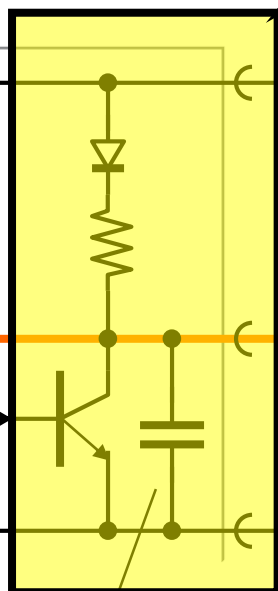
РЕАЛИЗАЦИЈА

LIN Control Unit

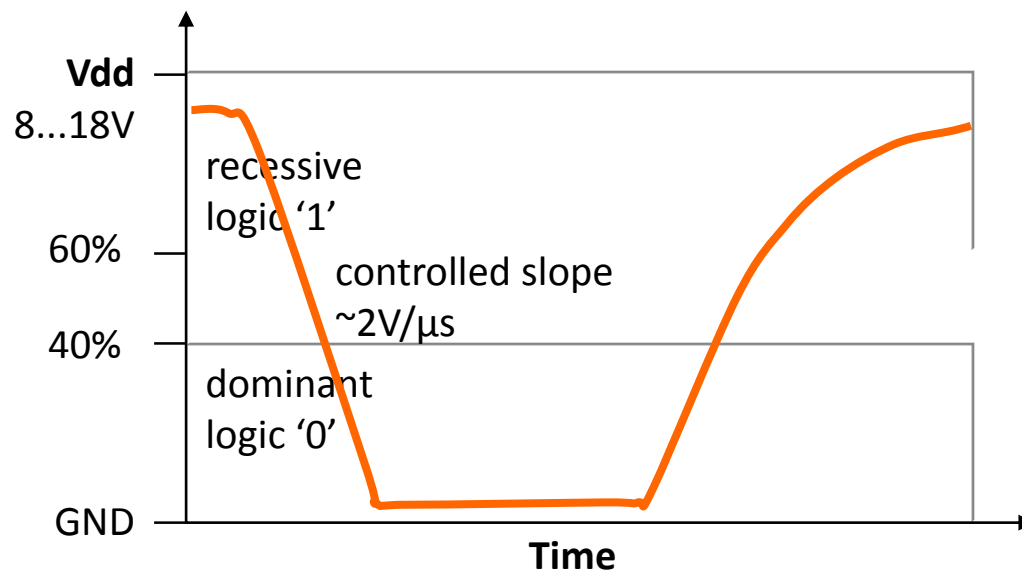
Usually managed by a transceiver

master: $1\text{k}\Omega$
slave: $30\text{k}\Omega$

UART
Rx
Tx



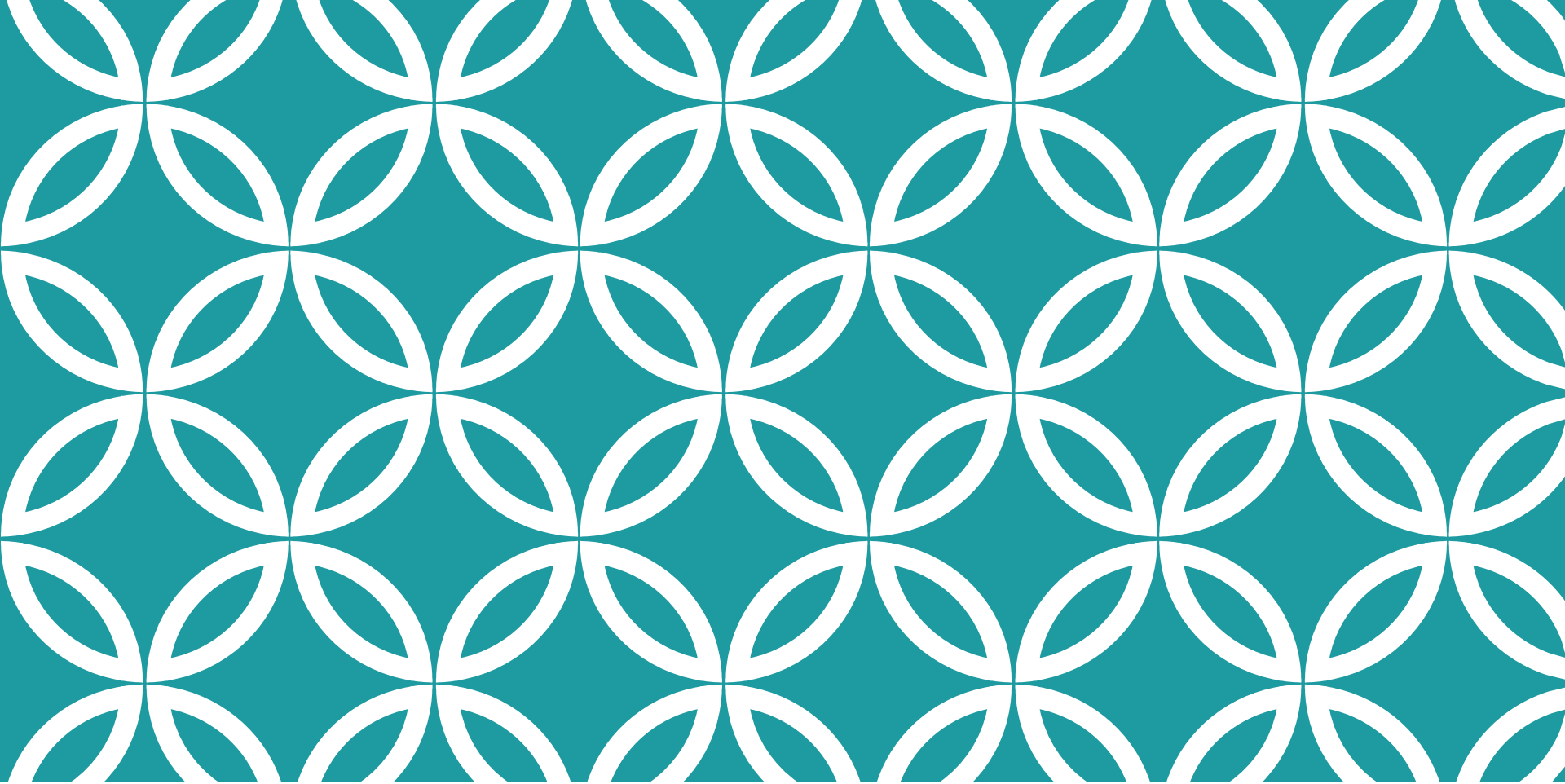
Bus Voltage



Example capacitances

master: 2.2nF

slave: 220pF



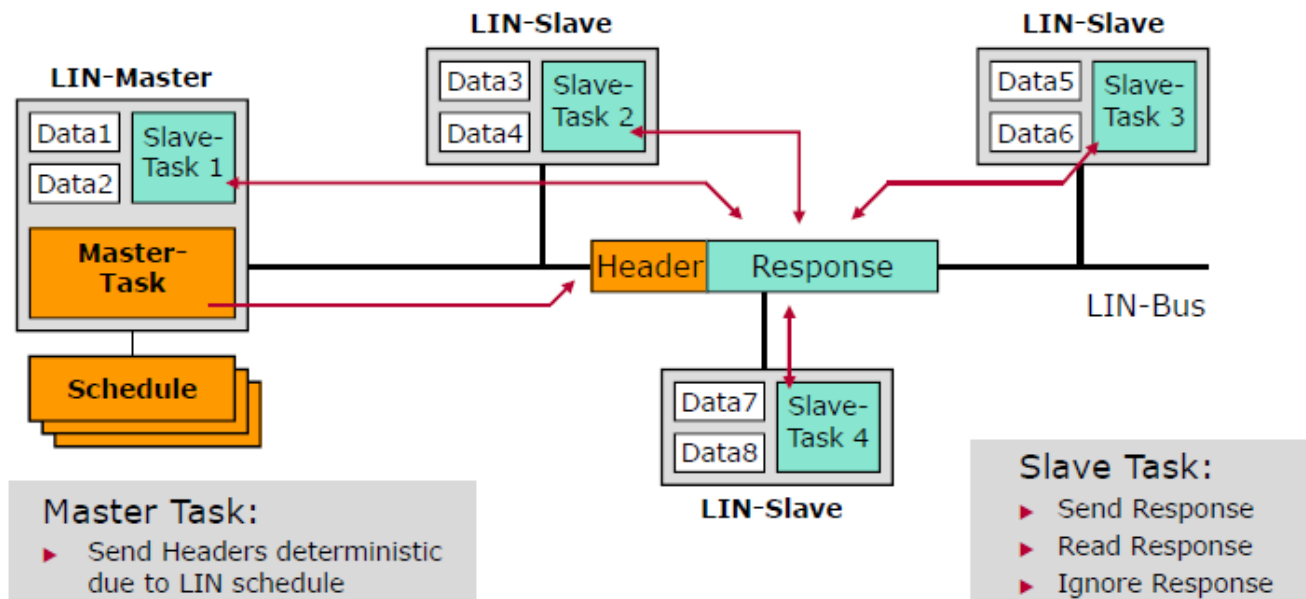
ПРОТОКОЛАРНИ СЛОЈ



LIN

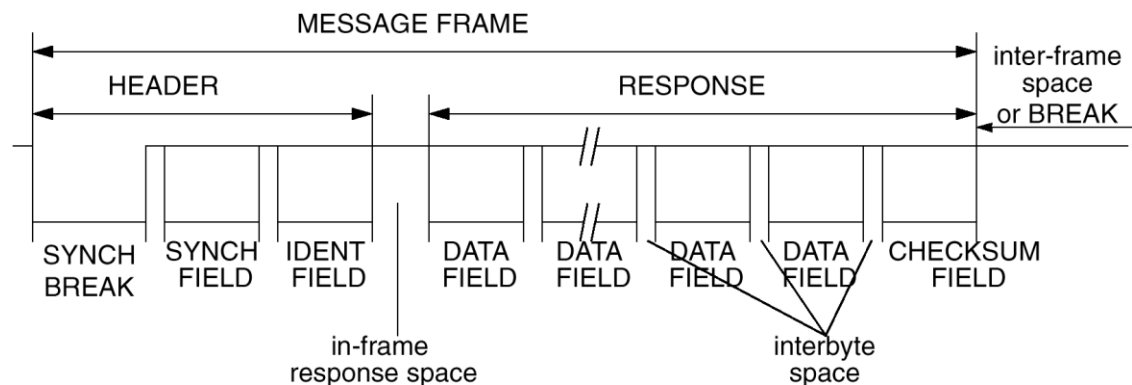
КОМУНИКАЦИОНИ ПРИНЦИПИ

- Архитектура са руководиоцем и подређенима
- Руководилац **делегира** комуникацију (енг. *Delegated Token Principle*)
- Слање засновано на дифузном адресирању



ВРЕМЕНСКИ ДЕТЕРМИНИЗАМ

- Приступ: временско окидање (енг. Time Triggered)
- Такт: стабилан извор
- Порукe:
 - Позната дужина (временско трајање)
 - Минимална и максимална дужина се лако рачуна (1:1.4)
 - Размак између 2 поруке се лако установи



КОМУНИКАЦИОНА ЗАДУЖЕЊА

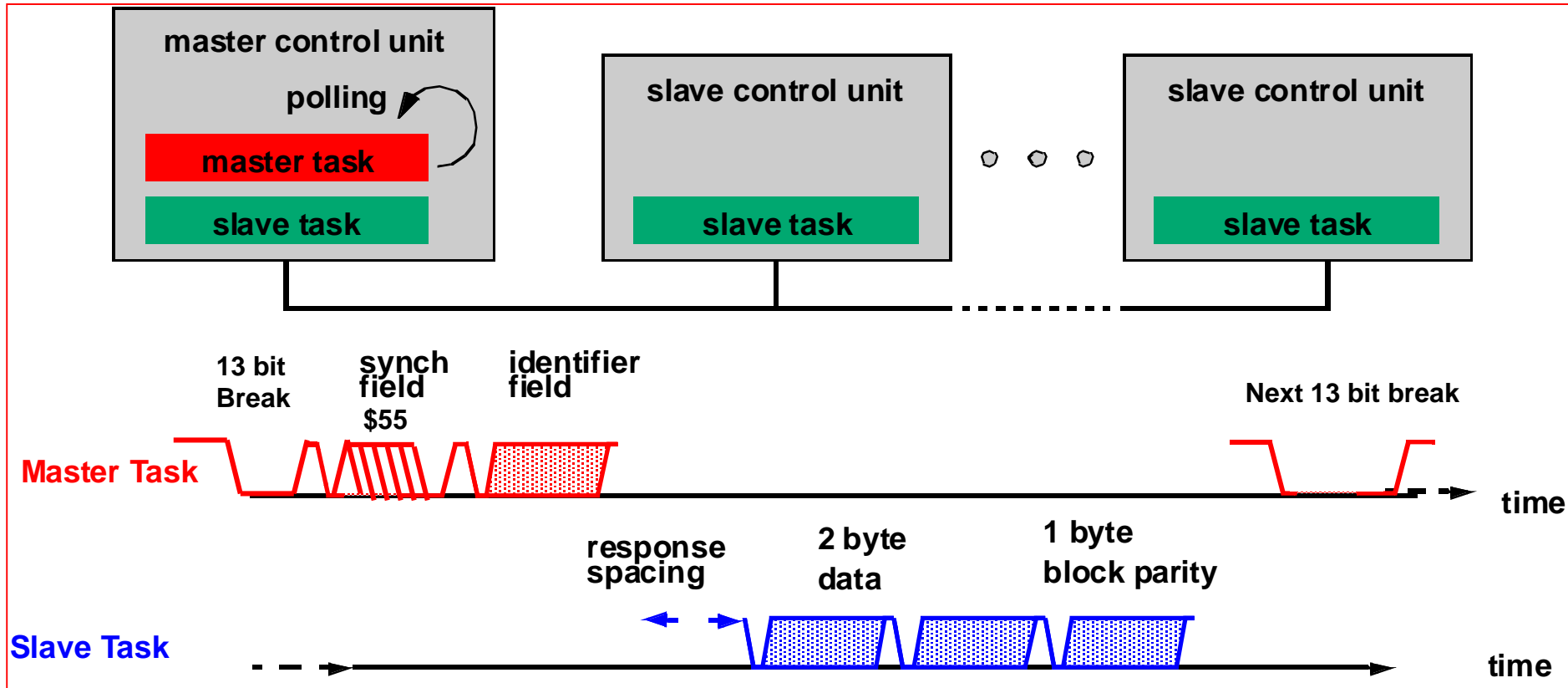
- **Руководилац:**

- Прави распоред: редослед и приоритет порука
- Прегледа податке: проверава сваки октет и препознаје грешке
- Служи као стабилан извор такта
- Прима прекиде за буђење (енг. Wake-Up Break) кад је неактиван

- **Подређени:**

- Припада групи од 2-16 уређаја
- Пријем и слање порука: према одговарајућем ID
- Слање: 1/2/4/8 октета
- Руководилац може да буде подређени

ПРЕНОС ПОДАТАКА



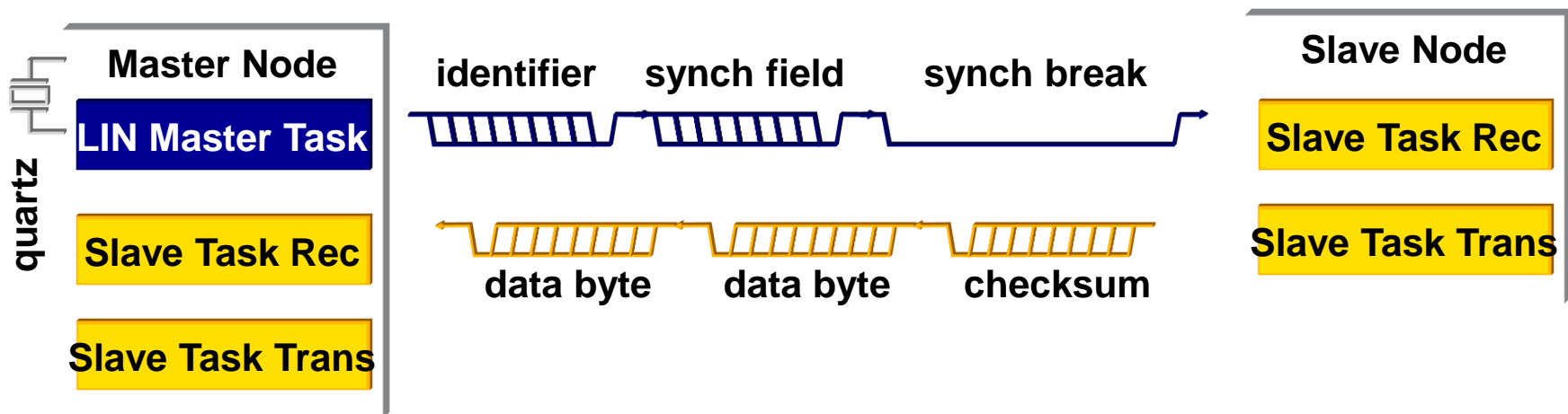
ПРЕНОС

КАРАКТЕРИСТИКЕ

- Један руководицац на више подређених
- Временско окидање: нема арбитраже
- ID означава садржај поруке а не физичку адресу
- Слање на више адреса симултано (енг. Multicast)
- Синхронизација на нивоу бода
- Доступан штедни режим

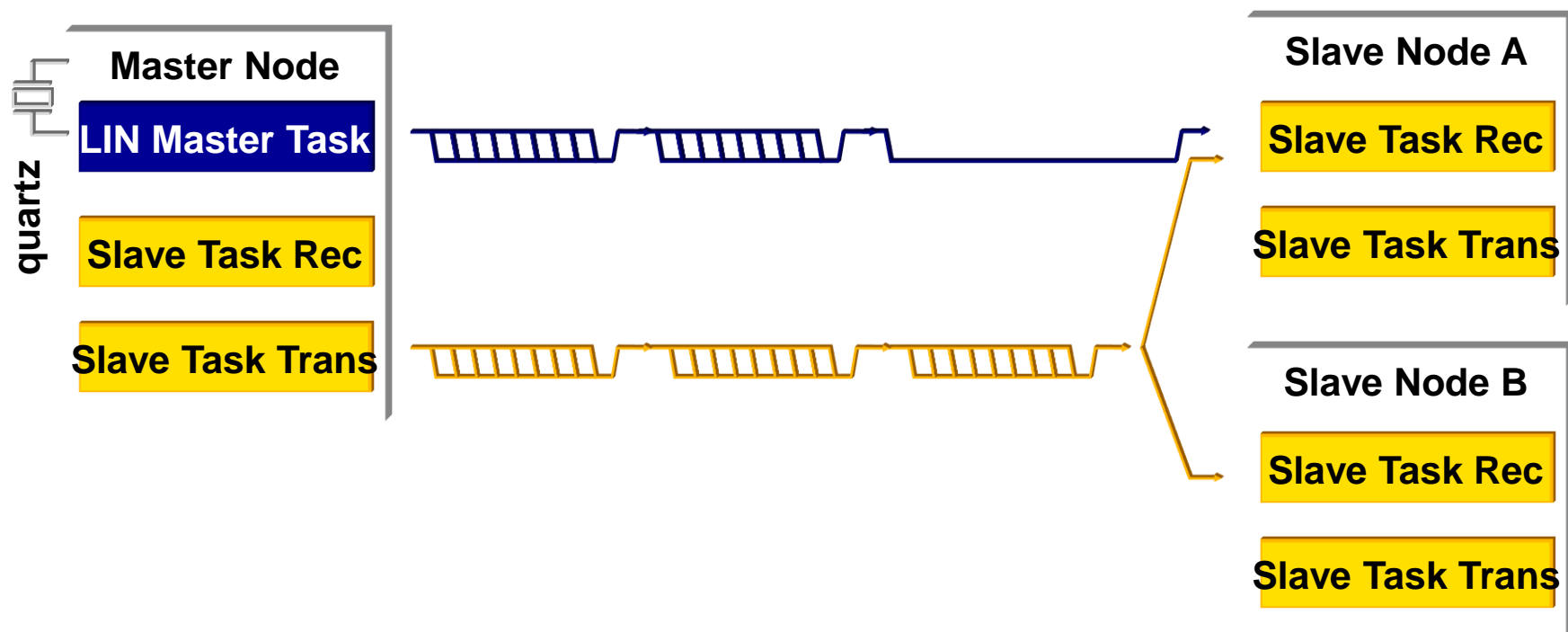
ПРЕНОС

ПОДРЕЂЕНИ КА РУКОВОДИОЦУ



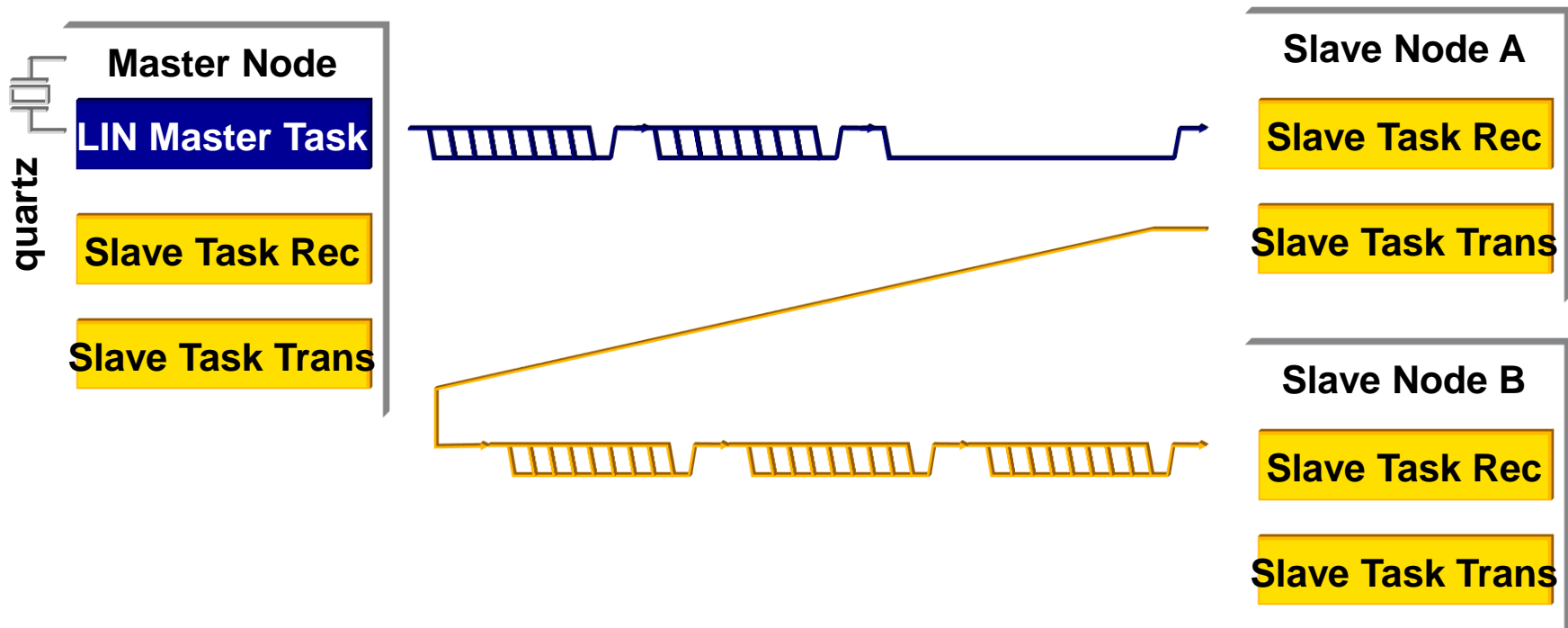
ПРЕНОС

РУКОВОДИЛАЦ КА ПОДРЕЂЕНИМА

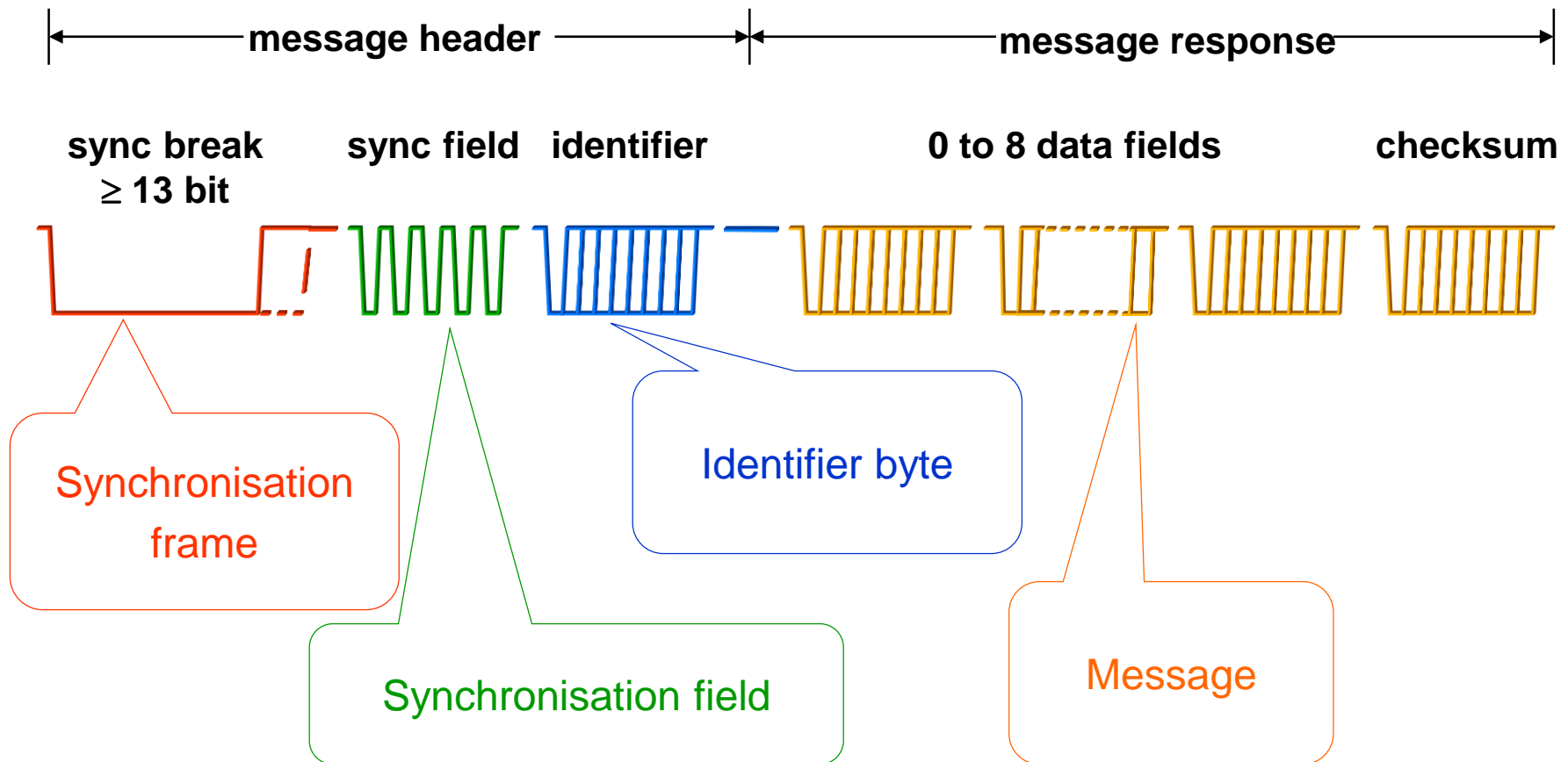


ПРЕНОС

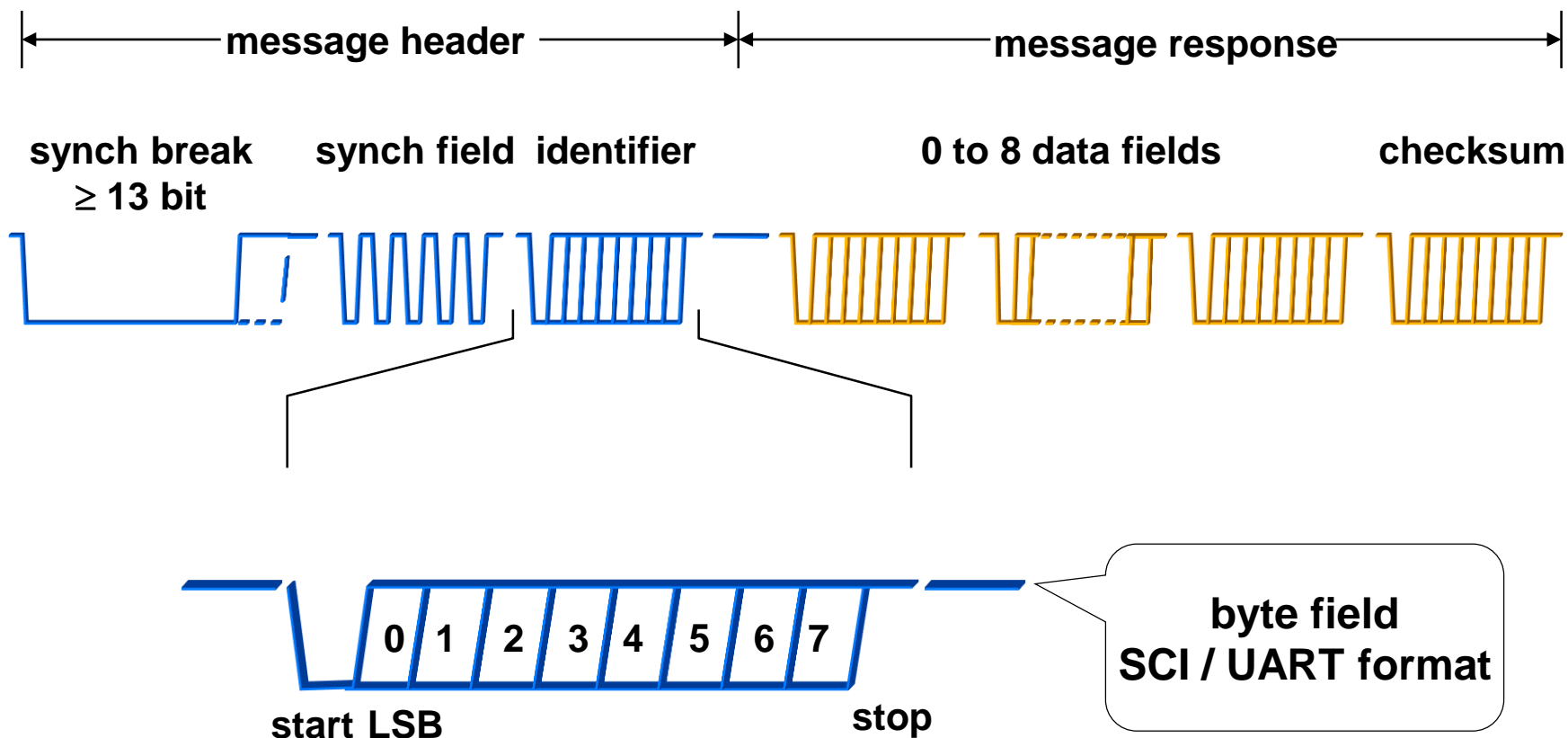
ПОДРЕЂЕНИ КА ПОДРЕЂЕНОМ



ФОРМАТ ОКВИРА ЗАХТЕВА

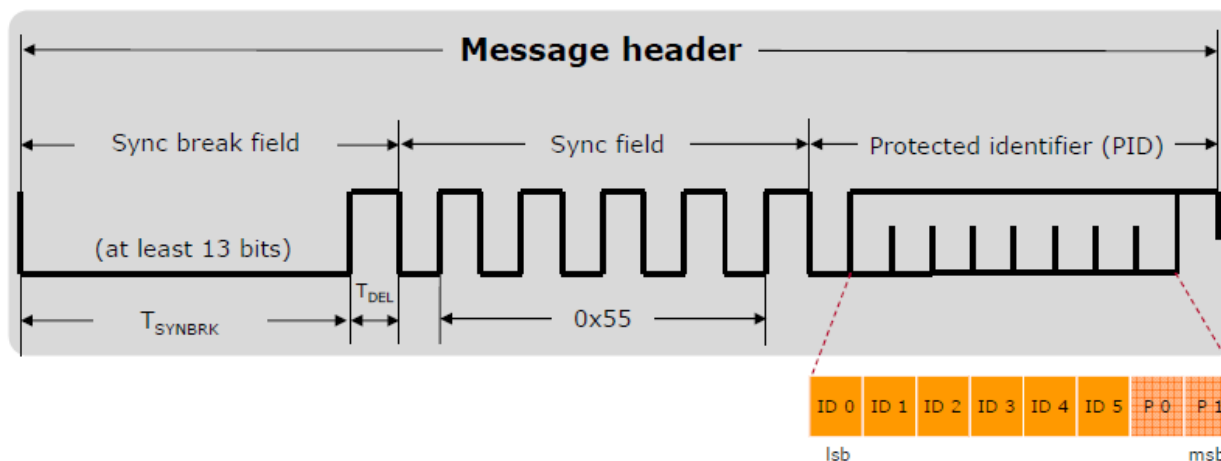


РЕДОСЛЕД ОКТЕТА



ЗАХТЕВ (ЗАГЛАВЉЕ)

- Увек га шаље руководицац
- Користи се за усклађивање и размену контролних информација
- Садржи идентификационо поље: јако битно за наставак



Address range: 0-63

- ▶ 60, 61: Diagnostics
- ▶ 62, 63: Reserved

Parity:

- ▶ P0 = XOR with ID0, ID1, ID2, ID4 (even parity)
- ▶ P1 = XOR with ID1, ID3, ID4, ID5 (odd parity)

ПОЉА У ЗАГЛАВЉУ

ВРЕМЕНСКО УСКЛАЂИВАЊЕ

- Поље за предах од усклађивања(енг. Sync Break Field)
 - Претходи усклађивању
 - Период мировања
 - Одвајање 2 оквира
- Октет за усклађивање времена(енг. Sync Byte):
 - Служи за успостављање временске основе
 - Претходи свим оквирима
 - Мери се време између 2 растуће ивице

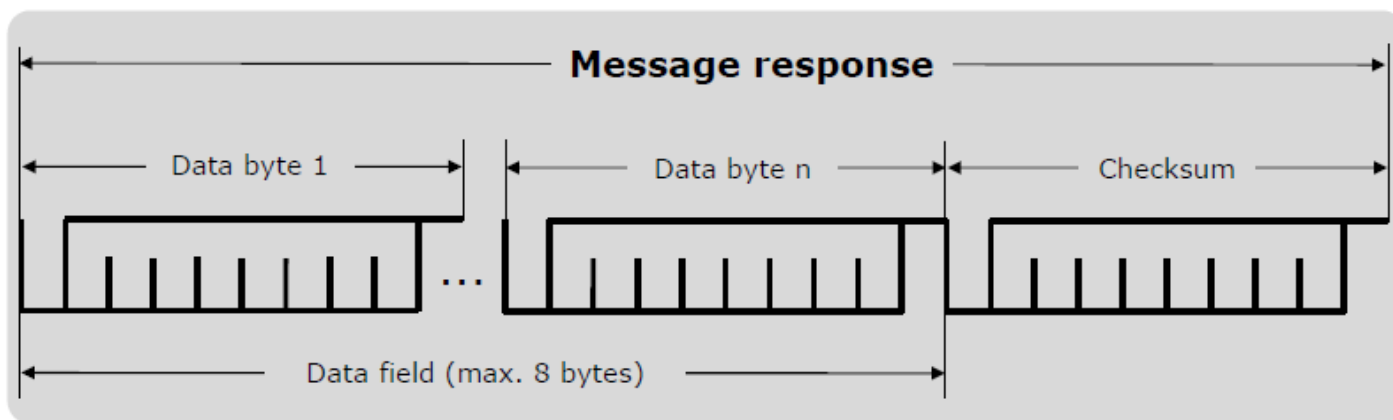
ПОЉА У ЗАГЛАВЉУ

ЗАШТИЋЕНО ИДЕНТИФИКАЦИОНО ПОЉЕ

- енг. *Protected ID*
- Индиректно описује поруку:
 - Пошиљаоца
 - Примаоца
 - Намена
 - Дужину
- Дужина 8 бита
 - Доња 2 бита: **дужина** у 4 класе: 1/2/4/8 октета.
 - Средња 4 бита: **идентификатор** - 16 по класи – укупно 64
 - Горња 2 бита: **паритет** – заштита осетљивог ID поља
- Специјалан случај: може да иницира спавање магистрале

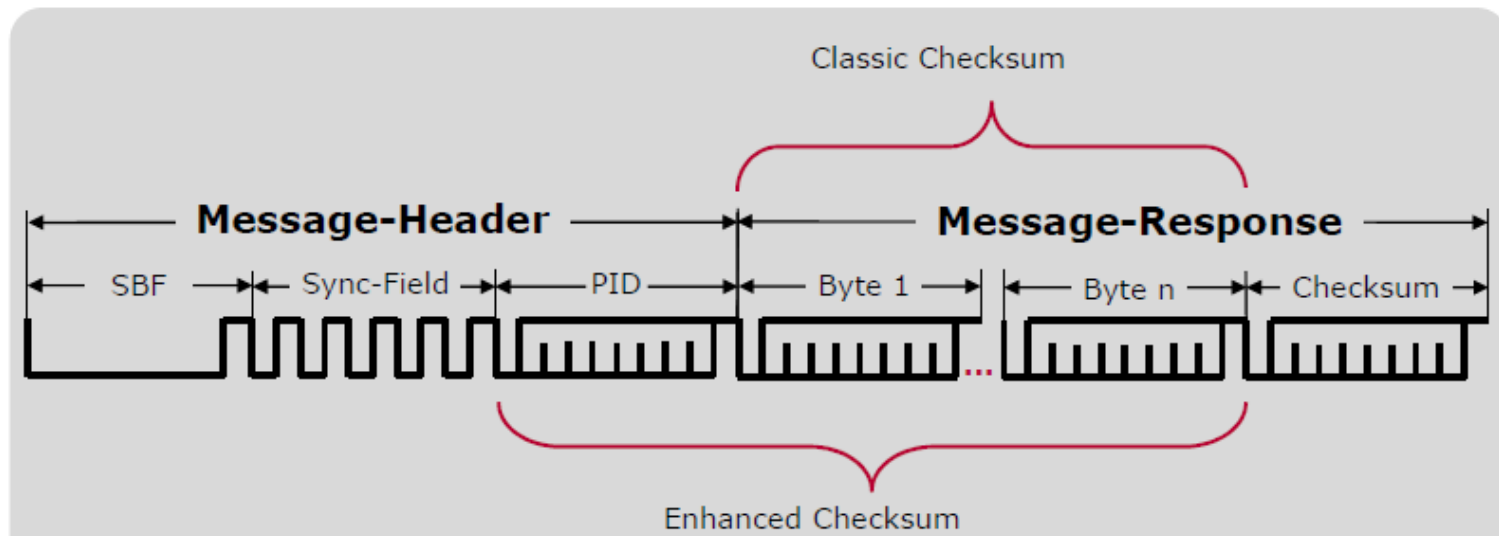
ОКВИР ОДГОВОРА

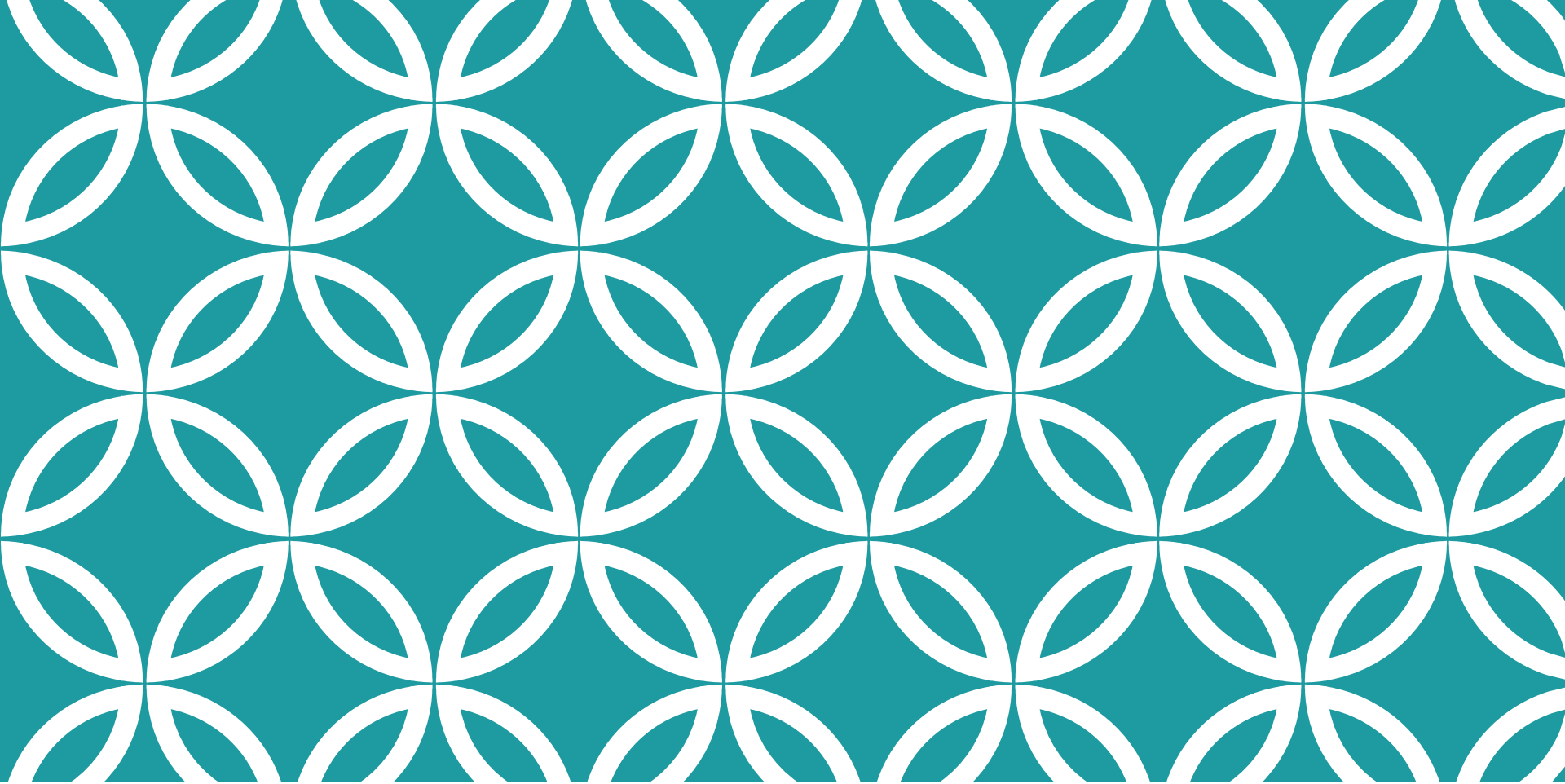
- Шаље рутина на подређеном уређају
- Садржи: податке и контролни збир (енг. checksum)
- Величина: 1-8 октета за податке + 1 за контролни збир
- Рачунање контролног збира: зависи од верзије протокола



КОНТРОЛНИ ЗБИР

- Две врсте:
 - Класични (енг. Classic Checksum) (LIN 1.1, LIN 1.2 and LIN 1.3)
 - Побољшани (енг. Enhanced Checksum) (LIN 2.0, LIN 2.1 and LIN 2.2)
- Оквири за дијагностику: увек класични





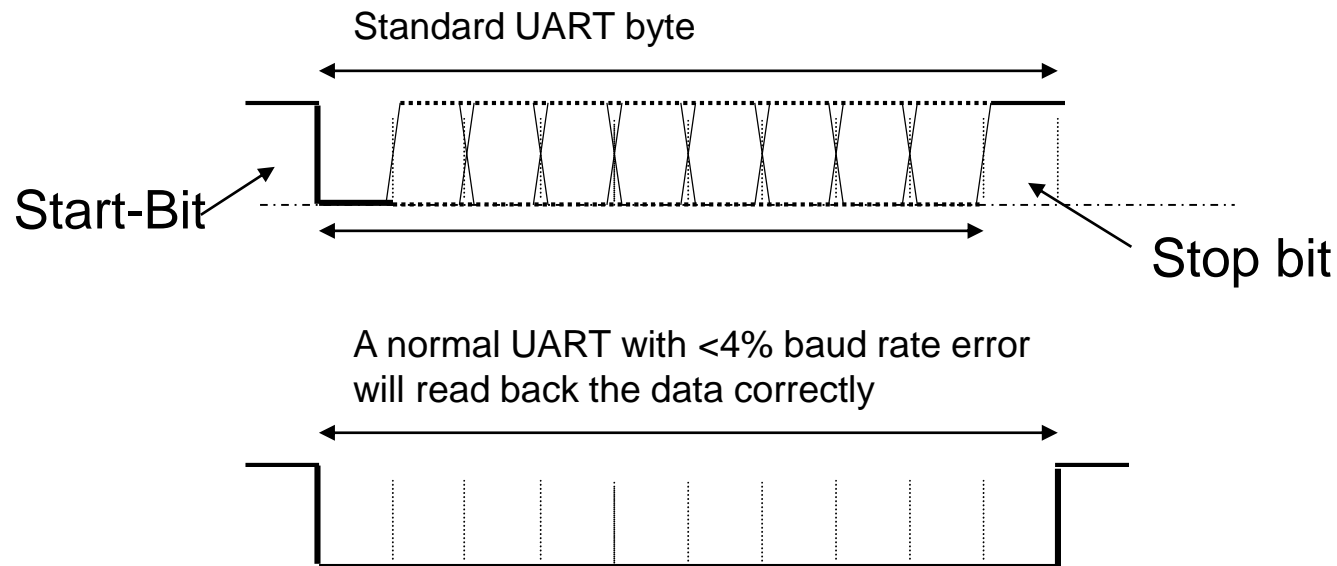
ВРЕМЕНСКО УСКЛАЂИВАЊЕ

Принципи
Утицаји
Захтеви

ВРЕМЕНСКО УСКЛАЂИВАЊЕ

UART

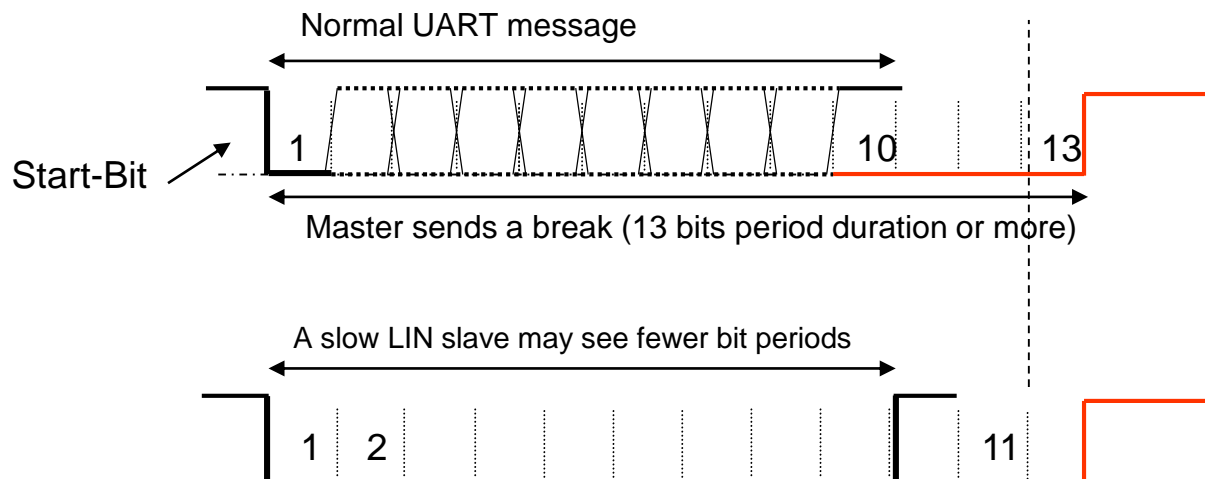
- Почетни услови: прецизност $\pm 4\%$ за бодску брзину
- Референцирамо се на пошилџаоца
- Редовно слање захтева усклађене обе стране



ВРЕМЕНСКО УСКЛАЂИВАЊЕ

LIN

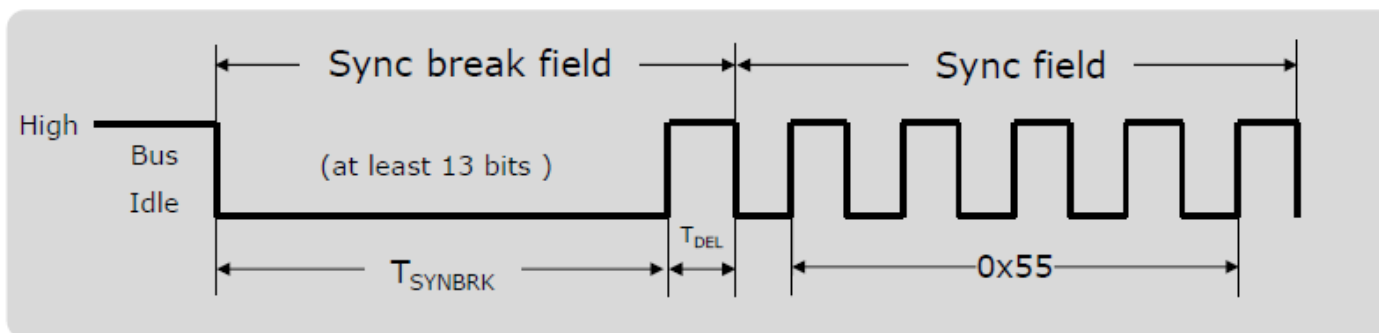
- Почетни услови: прецизност +/- 15% за бодску брзину
- Референцирамо се на пошиљаоца и поље за усклађивање
- Поље за одмор од усклађивања: најмање 13 бита
- Толеранција на почетну раздешеност подређених



ИНИЦИЈАЛНО УСКЛАЂИВАЊЕ

LIN

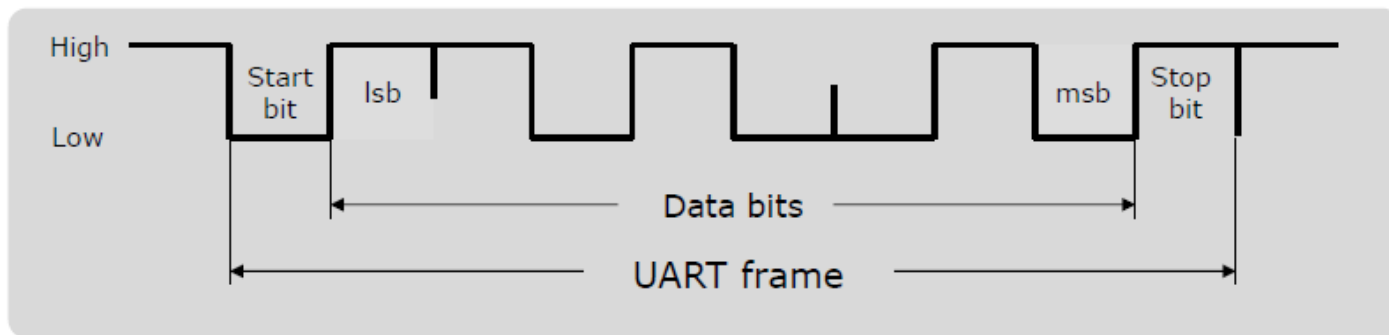
- Раздешеност пре употребе: линија неактивна – цена и потрошња
- Непостојање тактне линије: једноставност
- Отпорно-капацитивни резонатори: прецизност до +/-14 %
- Поље за предак од усклађивања:
 - Минимално: 13 доминантних бита, 1 рецесивни бит
 - Типично: 18 доминантних бита, 2 рецесивни бит (50% такта)



ПОНОВНО УСКЛАЂИВАЊЕ

LIN

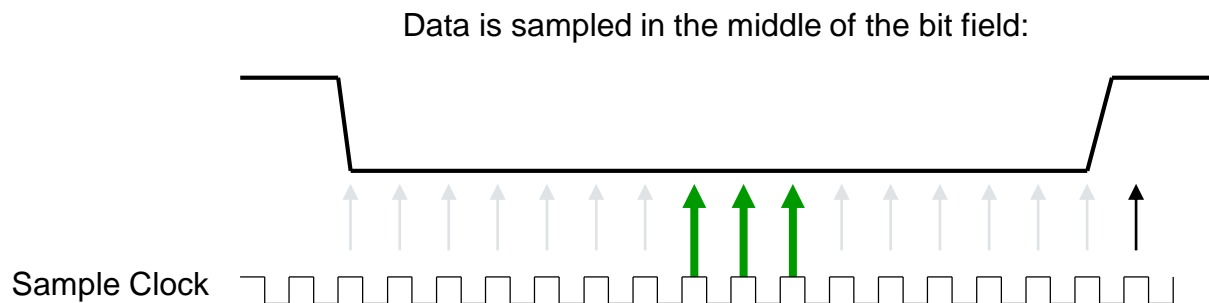
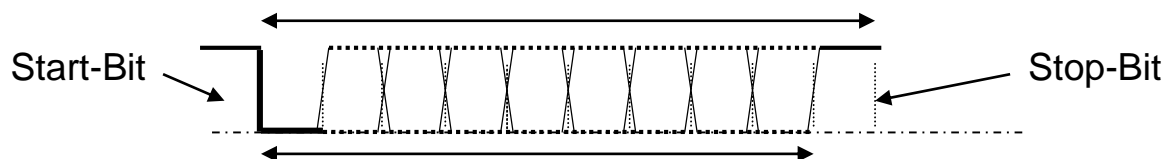
- Асинхрона метода по узору на UART
- Формат оквира: UART
- Параметри: 8N1



ПОНОВНО УСКЛАЂИВАЊЕ

БИТСКИ НИВО

- Препознавање опадајуће и растуће ивице
- Узорковање са 16 пута већом учестаношћу
- Средња 3 узорка морају да се подударају
- Потврда брзине



ВРЕМЕНСКО УСКЛАЂИВАЊЕ

ЗАХТЕВИ

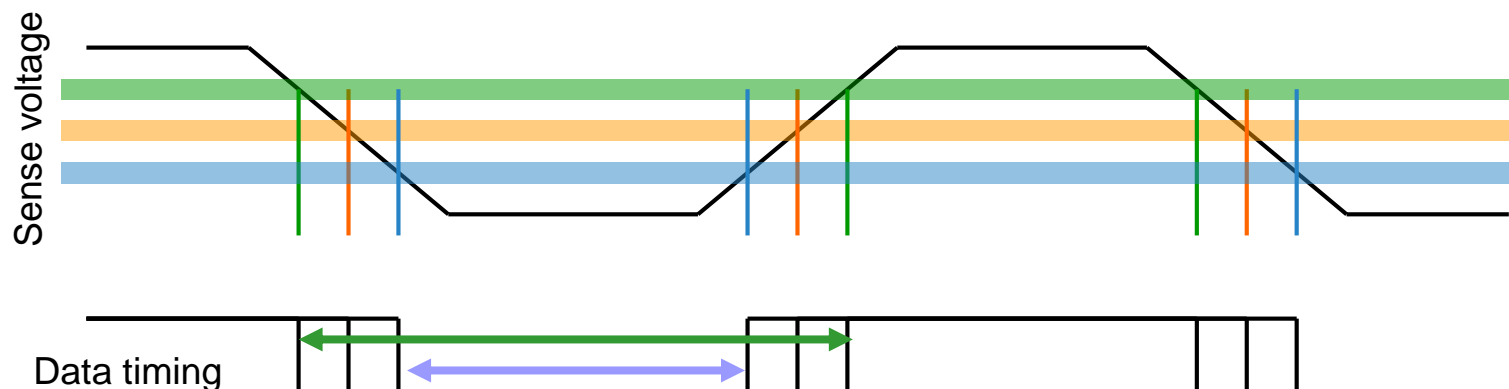
<i>Sync. Status</i>	<i>Requirement</i>	<i>Accuracy</i>	<i>Condition</i>
Before synchronization	Break recognition	$\pm 14\%$ (1)	Master clock accuracy assumed to be within $\pm 0.5\%$ of nominal
After synchronization (master-slave)	LIN messaging with the master	$\pm 2\%$	Relative to the master's clock
After synchronization (inc. slave-slave)	LIN messaging with the master and other slaves	$\pm 1\%$	

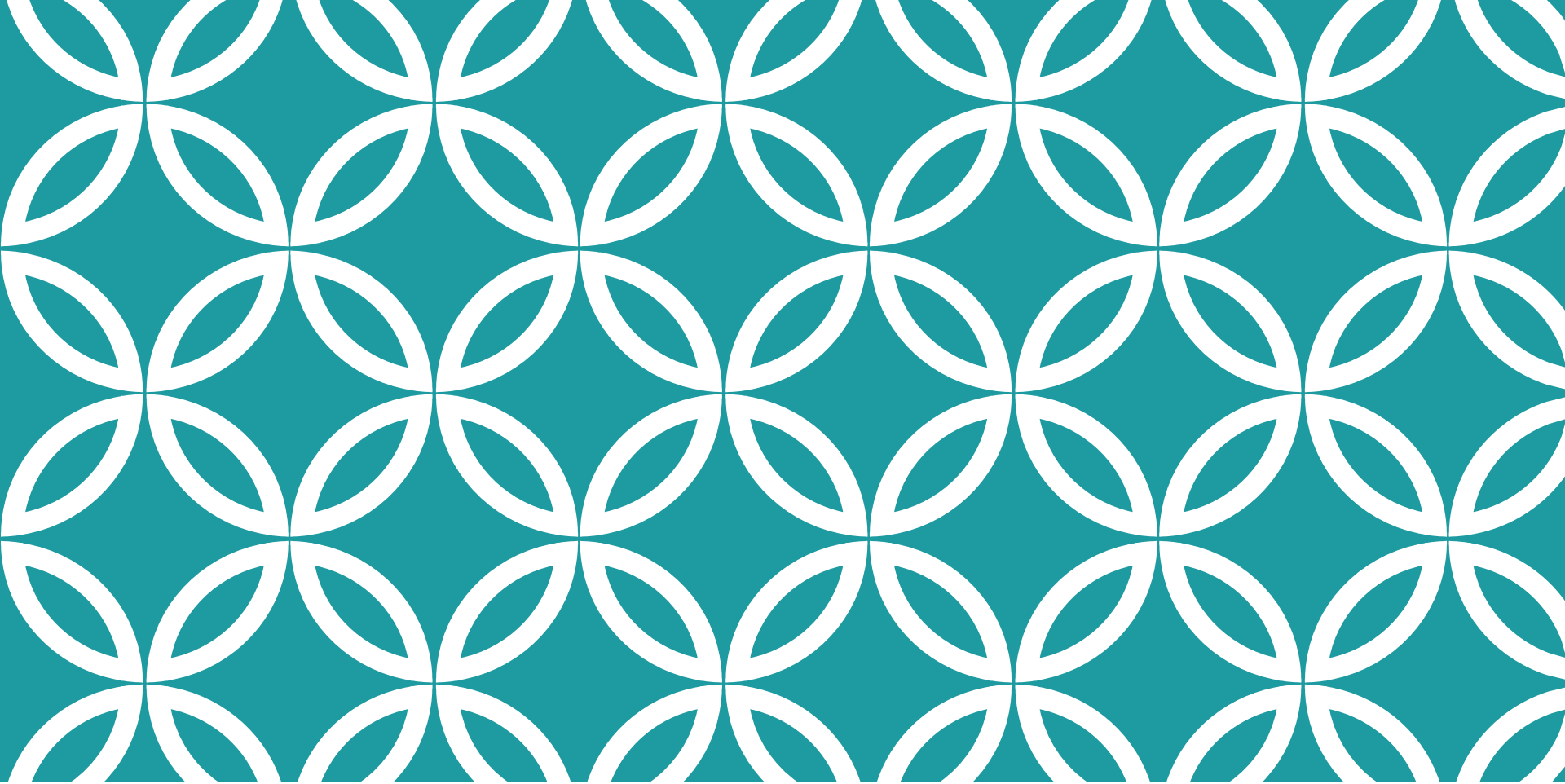
- (1)The pre-synchronization accuracy in rev. 1.3 is $\pm 15\%$, but this is tightened to 14% in LIN 2.0

ВРЕМЕНСКО УСКЛАЂИВАЊЕ

УТИЦАЈ ПОМЕРАЈА УЗЕМЉЕЊА

- Препознавање напонских ивица: осетљиво на апсолутне вредности
- Референтне вредности: у односу на уземљење
- Померај уземљења: велики утицај на
 - тачност мереног времена
 - прагове толеранције (захтеве)
- Доступност битског усклађивања: смањен најгори случај 40us@20k baud





РАСПОРЕД ПРЕНОСА



ПЛАНИРАЊЕ РАСПОРЕДА

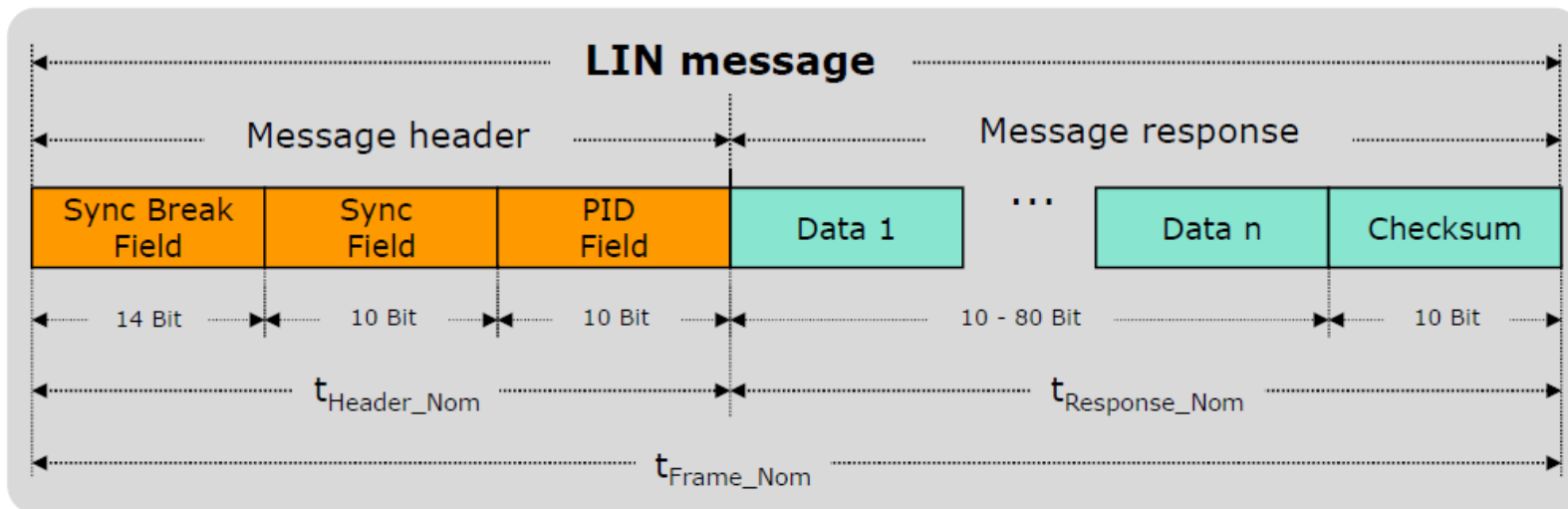
- Руководилац организује распоред у својој групи (кластеру)
- Распоред: детерминизам без преоптерећења и преклапања
- Свако заглавље са тачним идентификатором добија почетно време
- Гаранција за слање сваког заглавља
- Пажљиво рачунање

LIN schedule

t_r	Message Header (ID k)
t_{r+1}	Message Header (ID n)
t_{r+2}	Message Header (ID 0)
⋮	

ТРАЈАЊЕ ОКВИРА

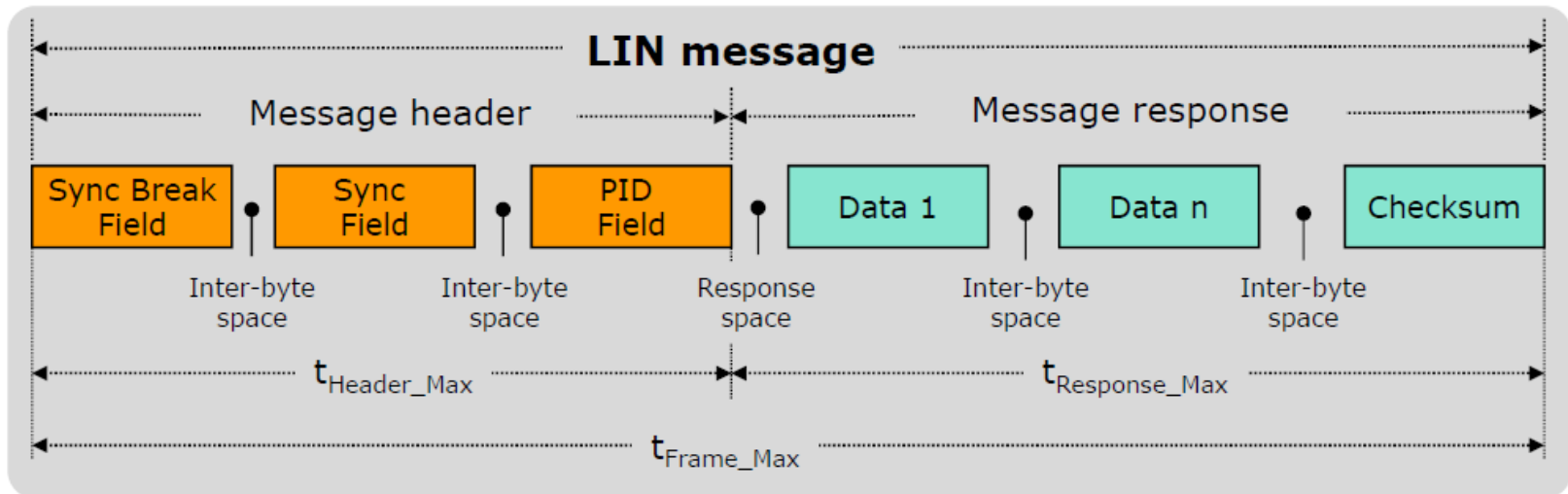
- Номинално: временско трајање свих бита
- n – број декада | | $t_{\text{Bit}} = 1/\text{Baudrate}$ нпр. $1/19.2\text{kbs} = 52.1\mu\text{s}$



$$\triangleright t_{\text{Frame_Nom}} = t_{\text{Header_Nom}} + t_{\text{Response_Nom}} = (n \cdot 10 + 44) \cdot t_{\text{Bit}}$$

МАРГИНЕ ИЗМЕЋУ ПОЉА

- Подређени уређаји су ниског квалитета - кашњења
- Временске маргине: до 40% укупног трајања

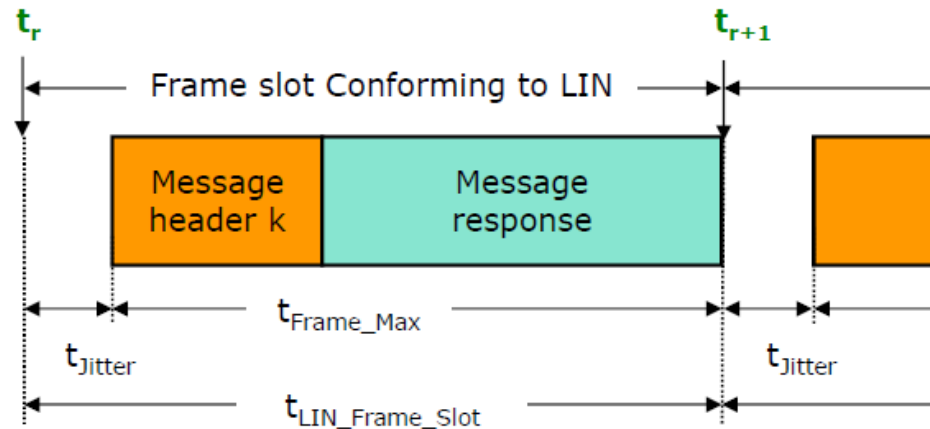


$$\blacktriangleright t_{Frame_Max} = 1.4 \cdot t_{Frame_Nom} = [1.4 \cdot (n \cdot 10 + 44)] \cdot t_{Bit}$$

МАРГИНА ПРЕ ЗАГЛАВЉА

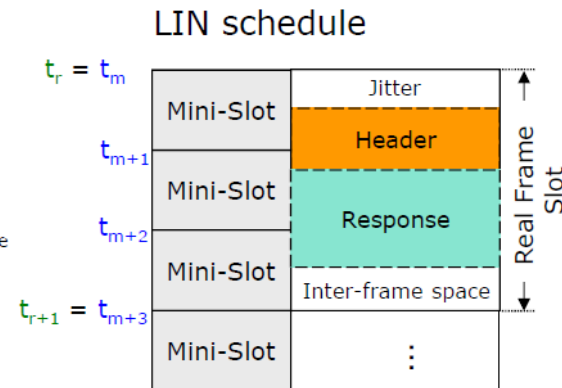
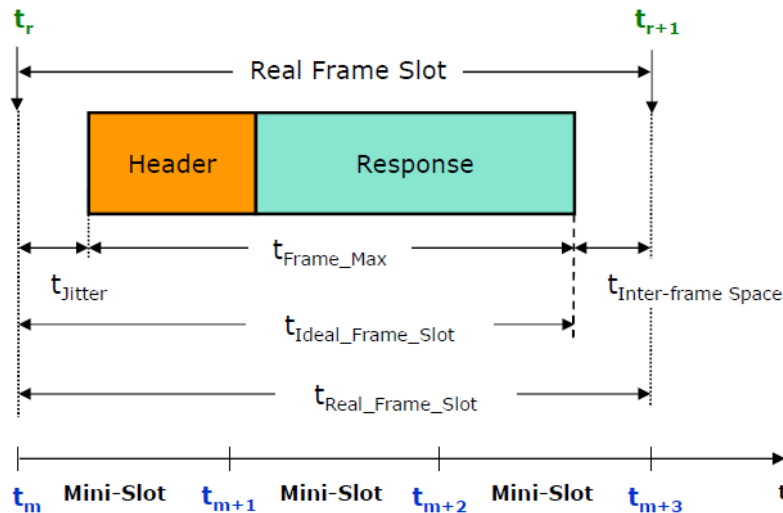
- Осцилатор има треперење (енг. jitter)
- Насумична вредност: није константно
- Потребно на 40% маргине додати и маргину за треперење

$$t_{LIN_Frame_Slot} = 1.4 \cdot t_{Frame_Nom} + t_{Jitter} = t_{Frame_Max} + t_{Jitter}$$



СТВАРНИ РАСПОРЕД

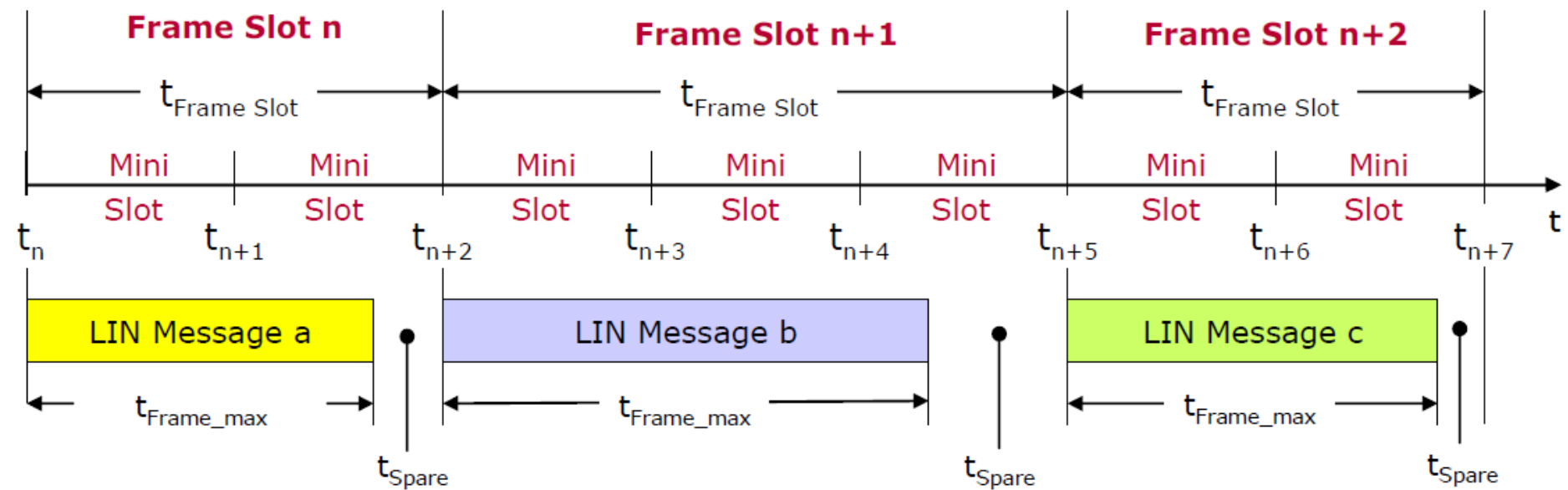
- Времена одзива варирају: различитости подређених
- Оптимална јединица распореда: детерминистички временски **прорез**
- Трајање прореза: могуће подешавати унапред - оптимизовано



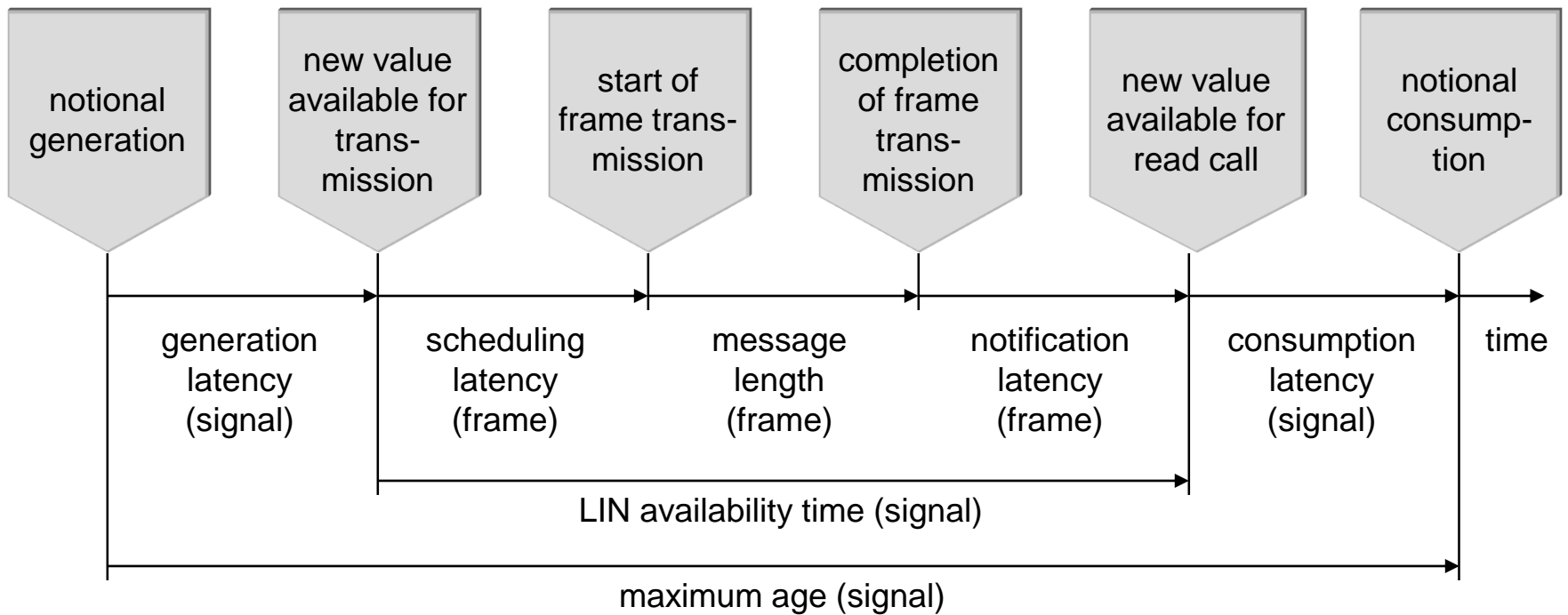
- (1) Ideal frame slot width: $t_{Ideal_Frame_Slot} = 1.4 \cdot t_{Frame_Nom} + t_{Jitter}$
- (2) Integer multiple of mini slot: $t_{Real_Frame_Slot} = n \cdot t_{Time_Base} \geq t_{Ideal_Frame_Slot}$
- (3) Real frame slot width: $t_{Real_Frame_Slot} = t_{Ideal_Frame_Slot} + t_{Inter_Frame_Space}$ (Surplus)

ПРИМЕР РАСПОРЕДА

- Свака порука има прилагођен број прореza

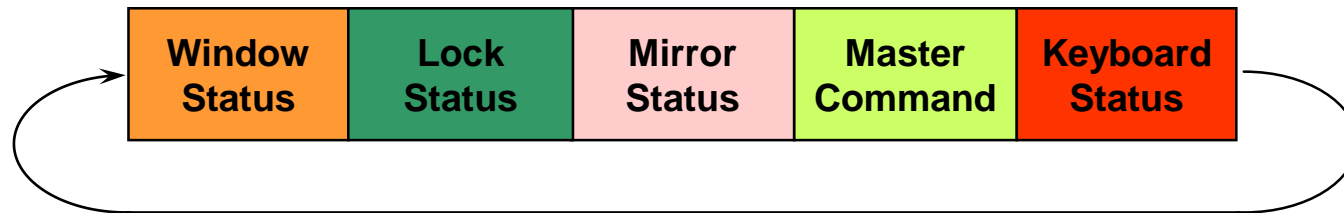


ВРЕМЕ ОБРАДЕ

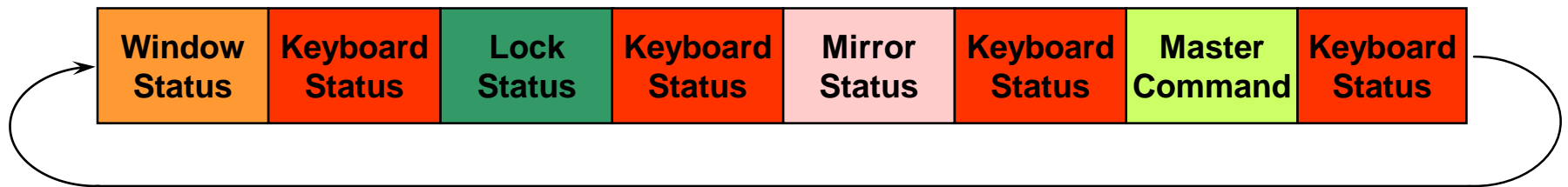


ПОБОЉШАЊЕ КАШЊЕЊА

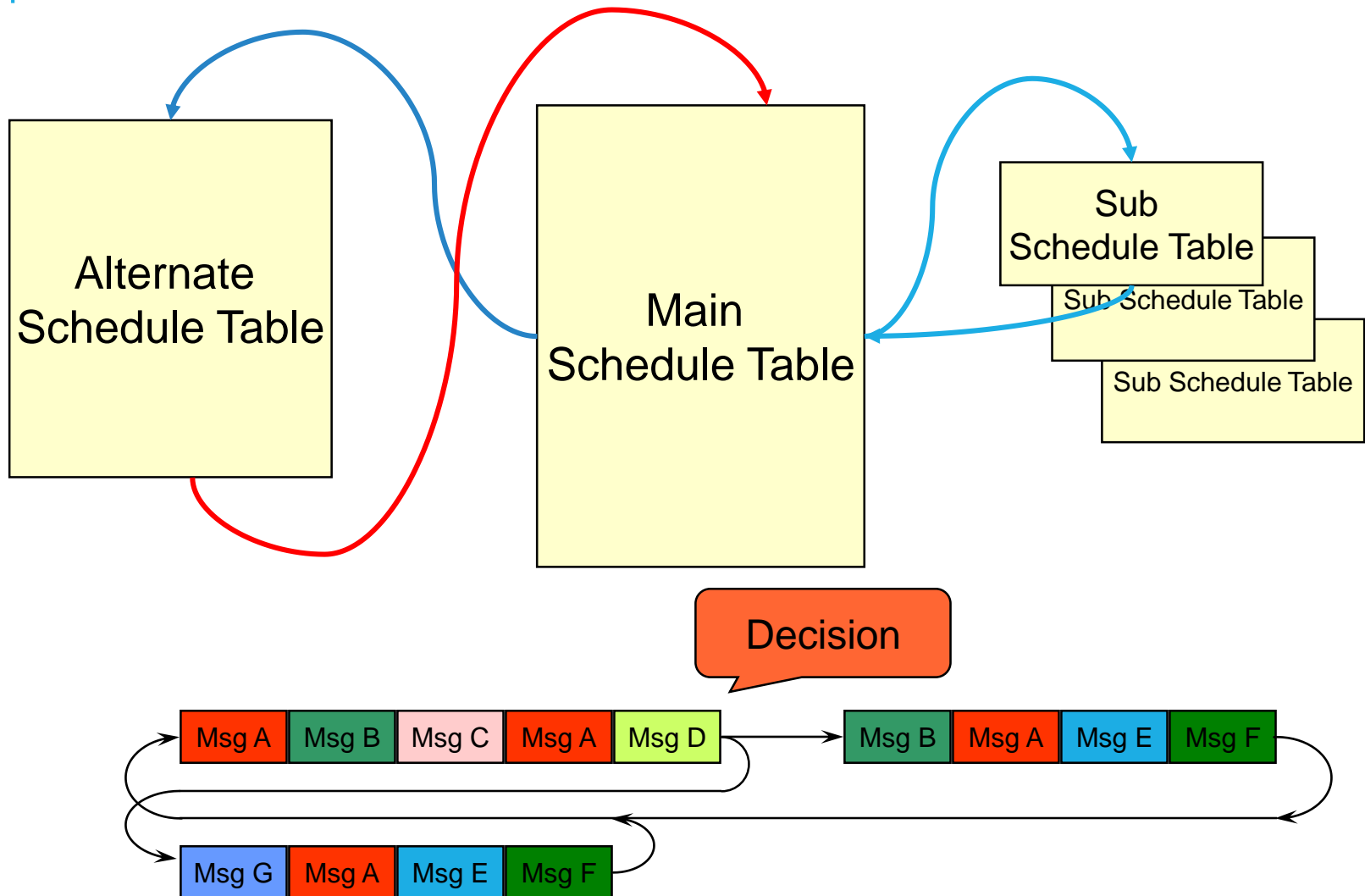
Basic schedule

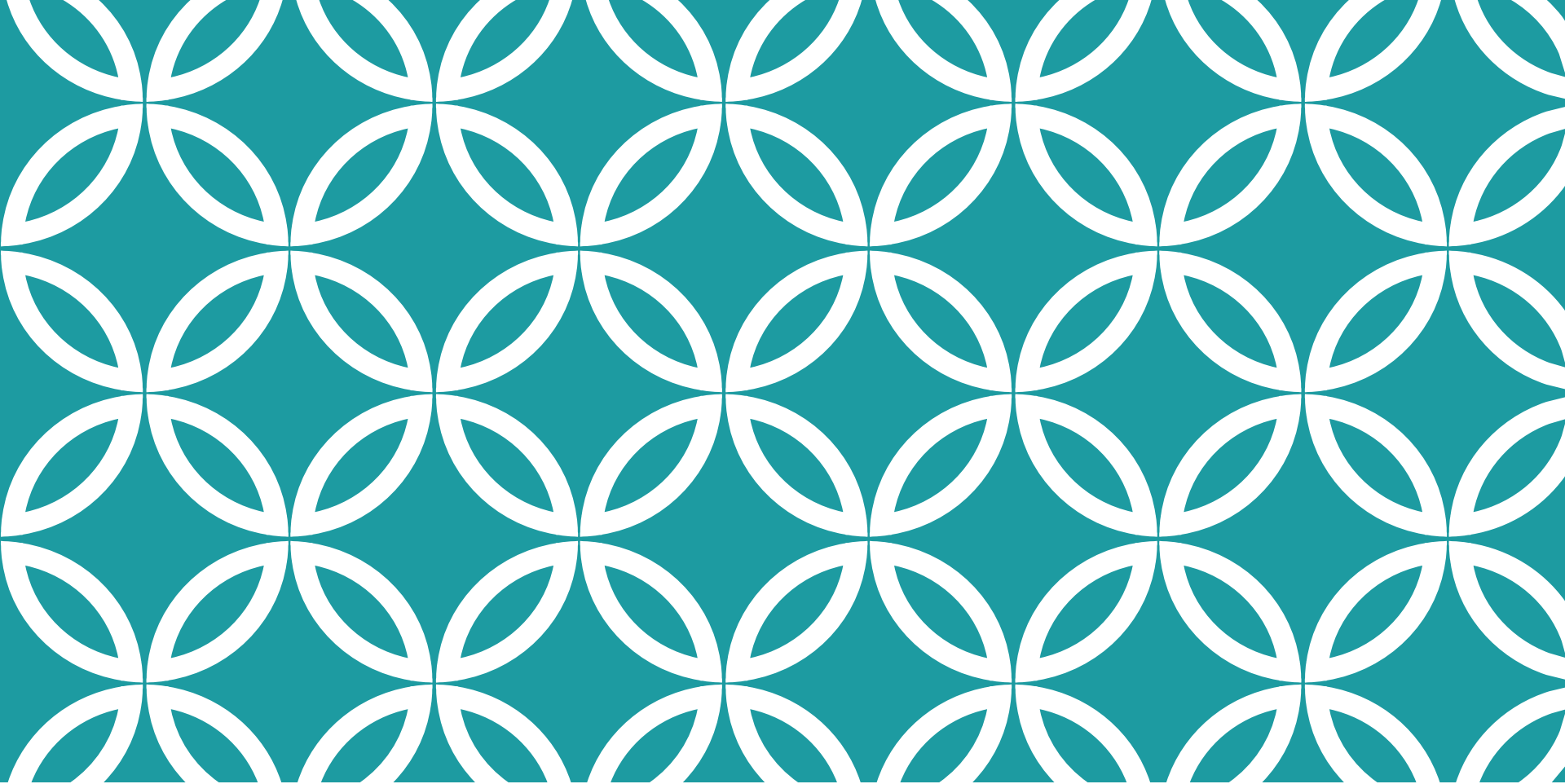


Alternate schedule for low latency signals from a keyboard



ПРОМЕНЛИВО РАСПОРЕЂИВАЊЕ





ВРСТЕ ОДГОВОРА

ВРСТЕ ОДГОВОРА

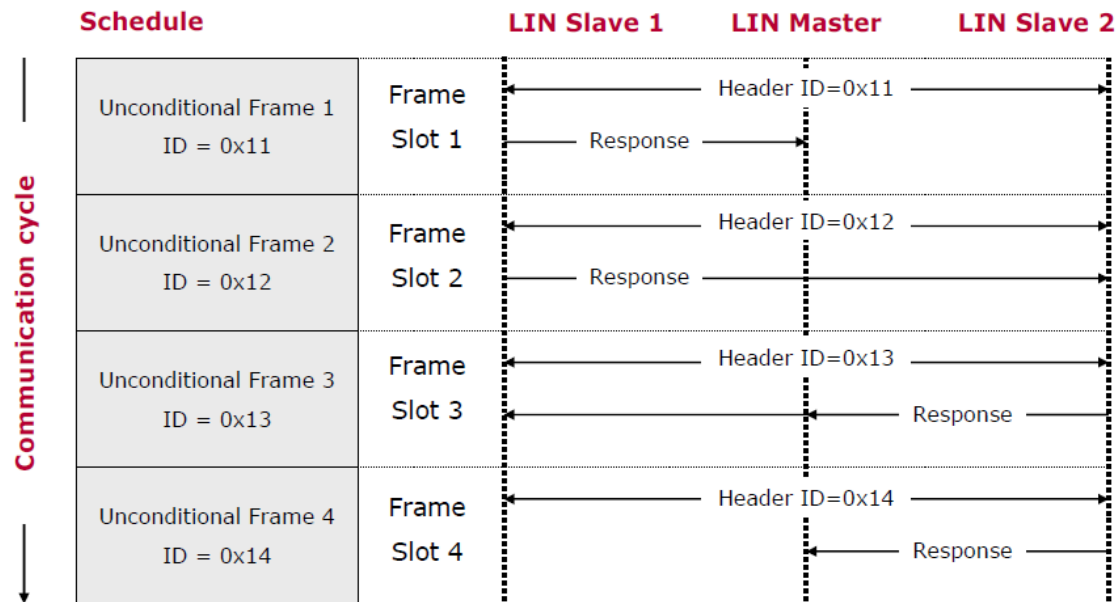
- Одговори носе податке
- Безусловни оквир (енг. Unconditional Frames) (ID 0-59)
- Дијагностички оквир (енг. Diagnostic Frames) (ID 60-61)
- Временски диригован оквир (енг. Event triggered frame) (ID 0-59)
- Спорадични оквир (енг. Sporadic frame) (ID 0-59)
- Остали оквири (енг. Other Frames) (ID 62-63)
 - User-defined (ID=62, ID=0x3E)
 - Future extensions (ID=63, ID=0x3F)

БЕЗУСЛОВНИ ОКВИР

- енг. Unconditional
- Један тачно дефинисани подређени који шаље одговор
- Сваки захтев (заглавље) се шаље у посебном прорезу
- Потребно обезбедити довољно велик прорез за одговор

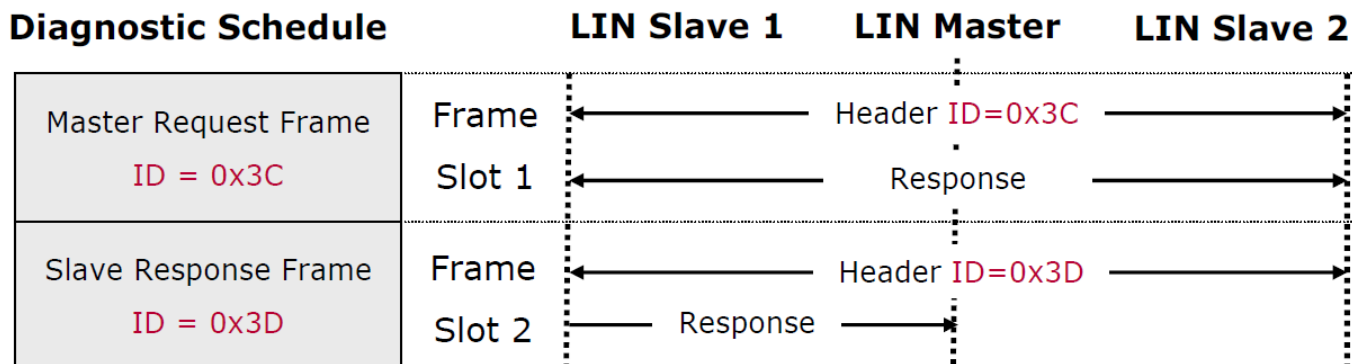
БЕЗУСЛОВНИ ПАКЕТ

- Пакет се углавном шаље сваког циклуса распореда
- Могуће слати више пута у току истог циклуса, зависи од аплик
- Пријем одговора доступан свим подређенима и руководиоцу



ДИЈАГНОСТИЧКИ ОКВИР

- Две подврсте:
 - Захтев (енг. Master Request Frame) (ID=60, ID=0x3C)
 - Заглавље и одговор шаље руководицац
 - Употреба: захтев за дијагностиком и подешавањем
 - Одговор (енг. Slave Response Frame) (ID=61, ID=0x3D)
 - Заглавље шаље руководицац а одговор одговарајући подређени
 - Употреба: одговор на захтев за дијагностиком и подешавањем
 - Могуће слати сегментирано: више заредом без заглавља



ВРЕМЕНСКИ ДИРИГОВАН ОКВИР

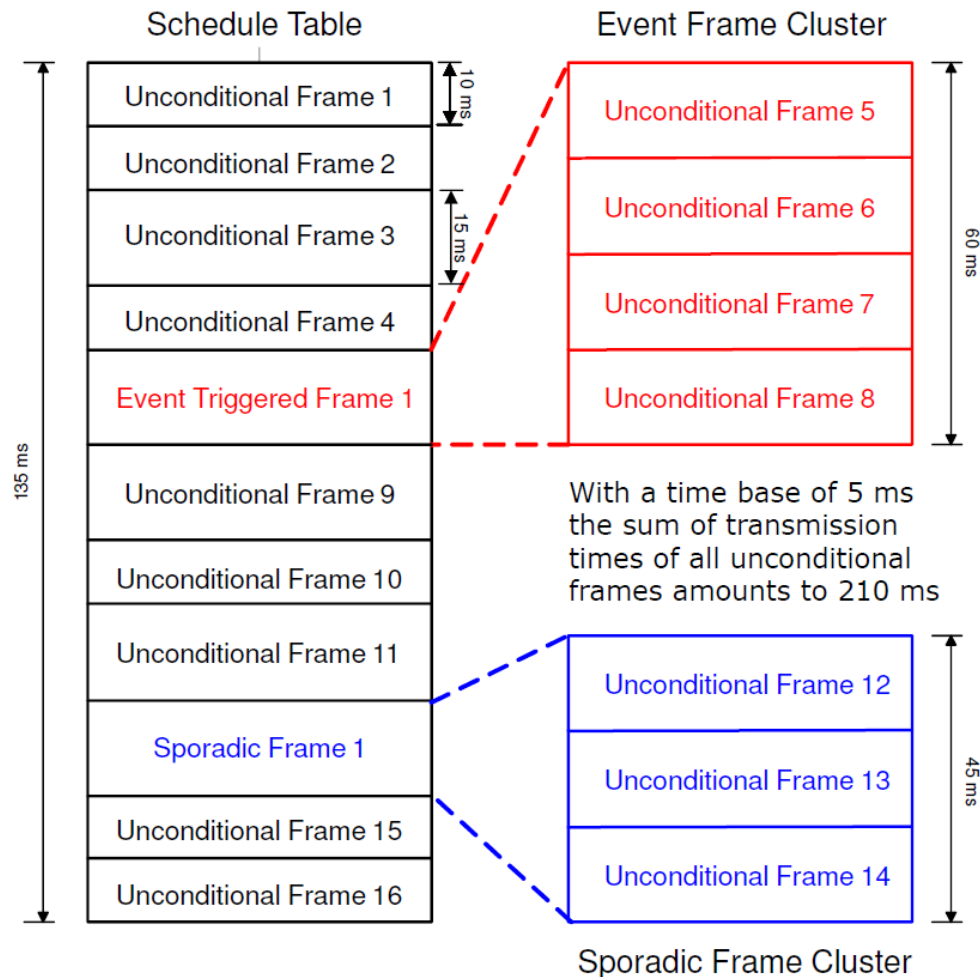
- Служи за груписање више **повремених** безусловних оквира
- Логика: уштеда у циклусу - кратки одговори без заузимања распореда
- Одговори: садрже читавања уколико су се променила
- Последица: више подређених могуће одговара на исто заглавље
 - Велика већина времена: само један одговор
 - Веома ретки случајеви: могућност појаве судара
 - Судари се избегавају паметним осмишљавањем мреже
 - Евентуалне сударе решава руководицац

СПОРАДИЧНИ ОКВИР

- Служи за груписање више *повремених* безусловних оквира
- Логика: уштеда у циклусу - кратки одговори без заузимања распореда
- Руководилац шаље захтев кад претпоставља да се вредост променила
- Уштеда: смањење трајања циклуса
- Предности: реактивније – бржи одговори

ПРИМЕР

ДИРИГОВАНИ И СПОРАДИЧНИ

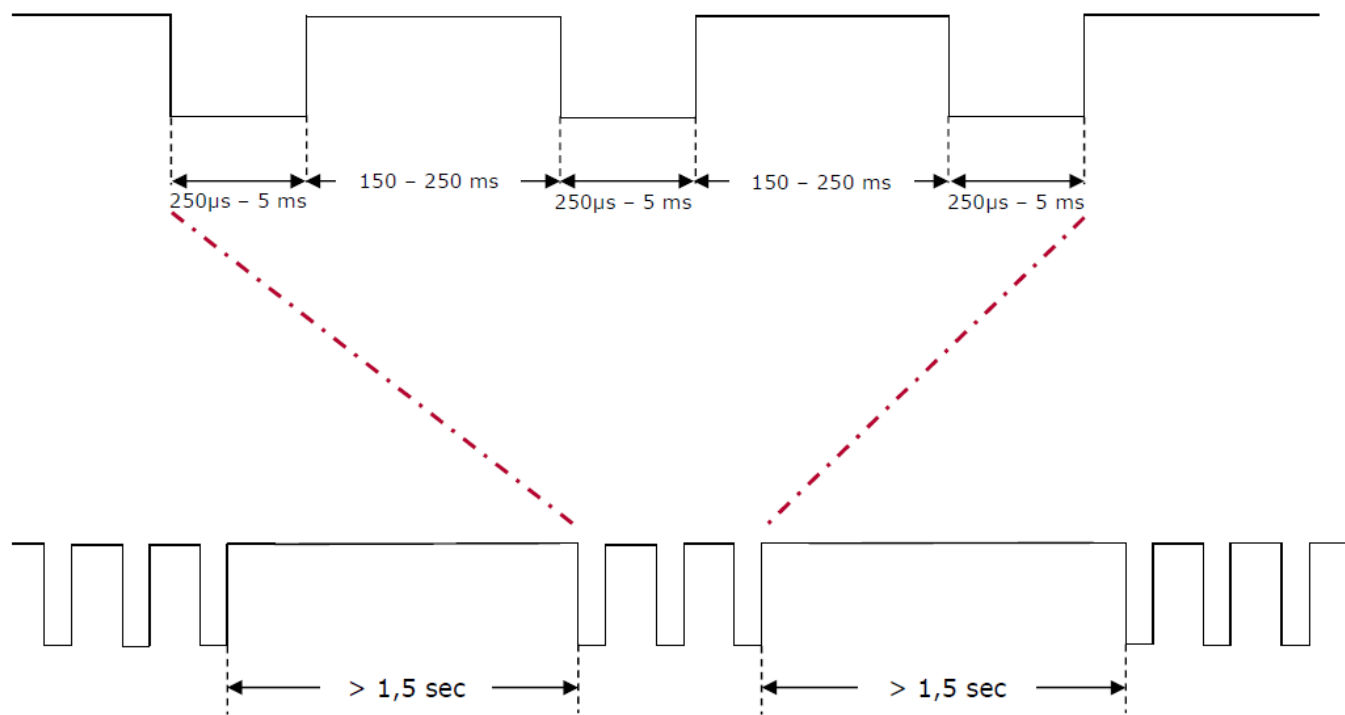


ИЗВЕШТАЈ О ГРЕШКАМА

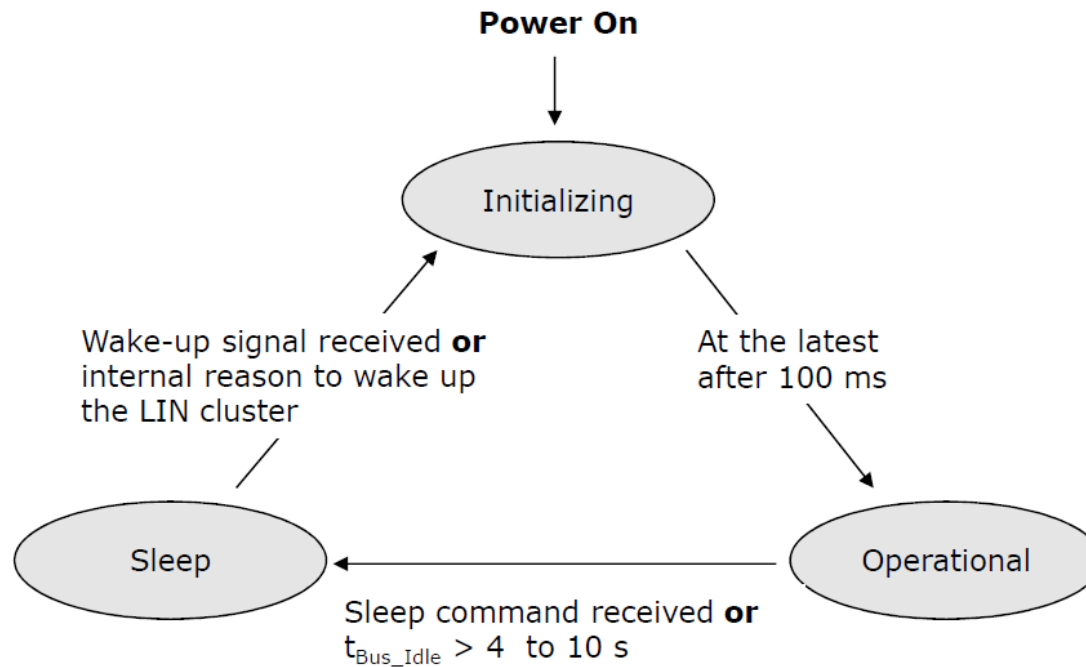
- LIN даје могућност препознавања грешака: паритет и контролна сума
- LIN не пружа решавање грешака
- LIN одбацује поруке са грешком
- Подређени надгледа и евидентира своје стање и грешке у извештај
- Извештај се периодично шаље руководиоцу (LIN 2.0)
- Руководилац захтева, анализира и реагује на извештаје
- Корисник може додатно да дефинише како се решавају грешке

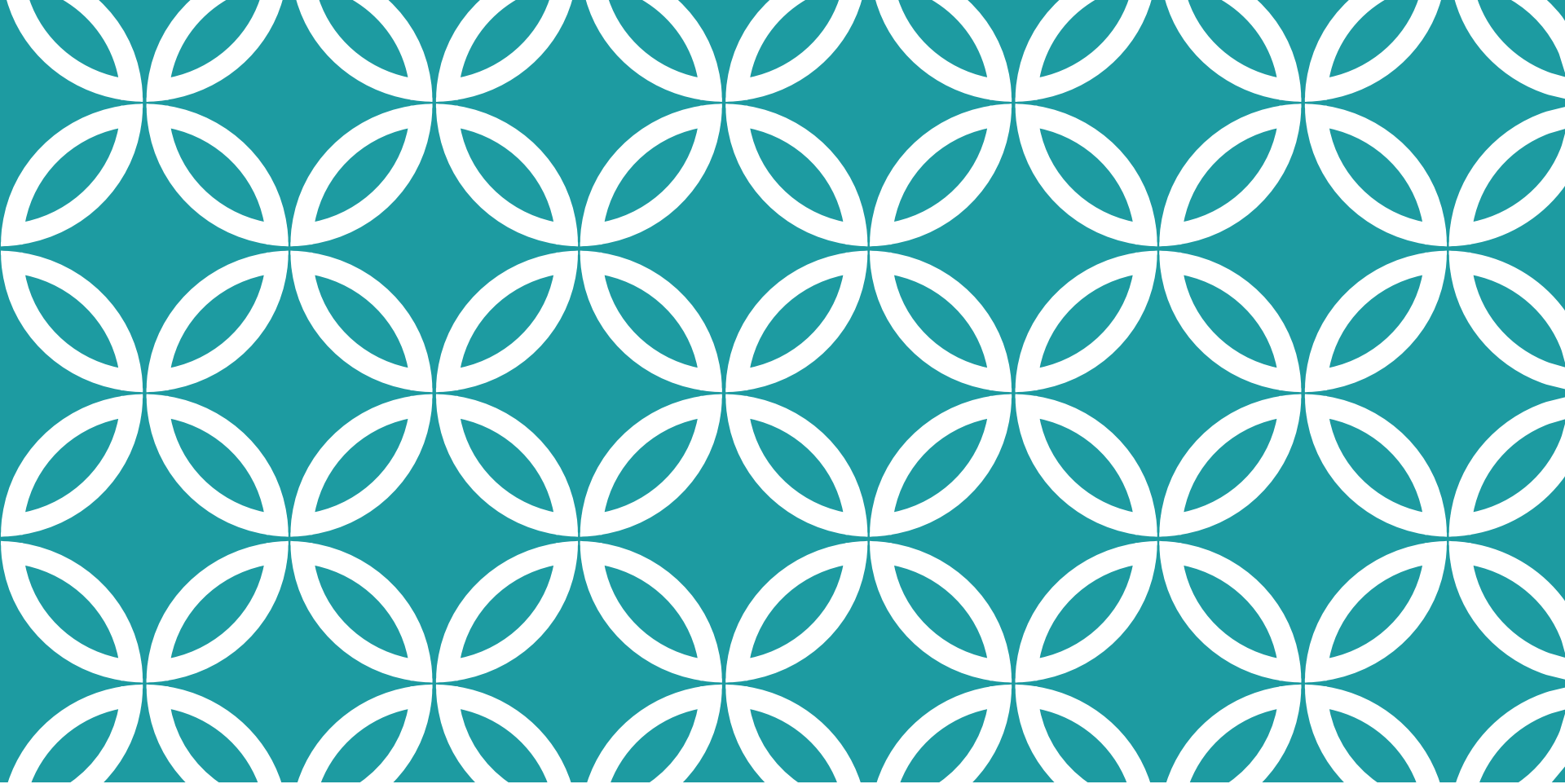
ЗАХТЕВ ЗА БУЂЕЊЕМ

- Шаље се уколико подређени „ухвати“ руководиоца на спавању
- Понавља се уколико није имао ефекта



ЦИКЛУС АКТИВНОСТИ



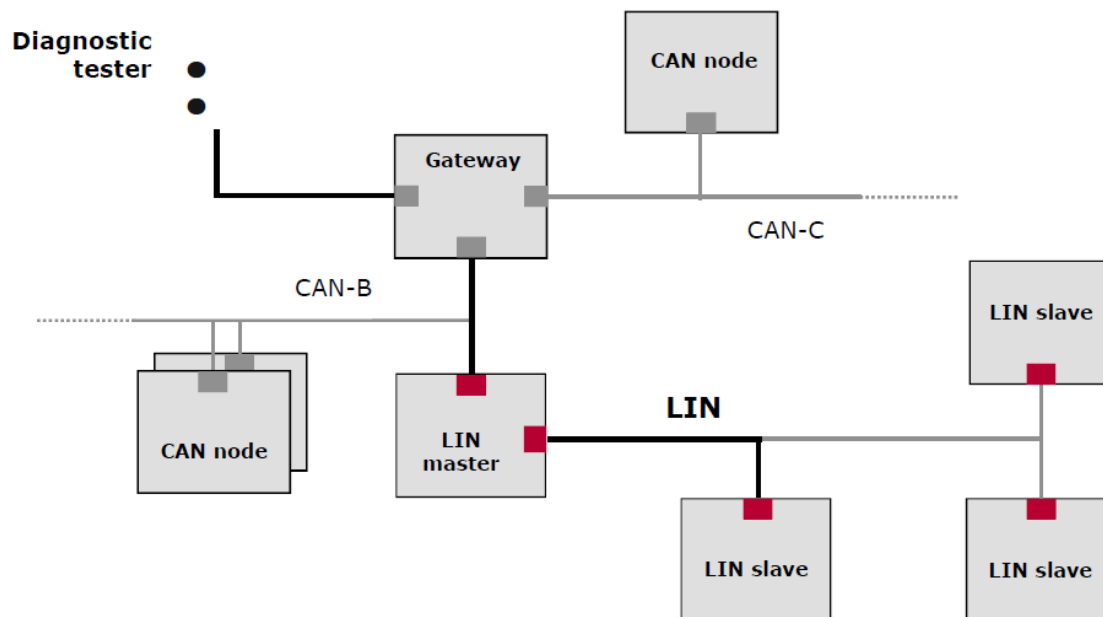


ПОДЕШАВАЊЕ И ДИЈАГНОСТИКА

Подређени

ДИЈАГНОСТИКА

- Постоје 3 начина да се изврши дијагностика:
 - Мерењем сигнала осцилоскопом
 - Анализом размене пакета (базирано на CAN ISO15765-2)
 - Кориснички дефинисан начин

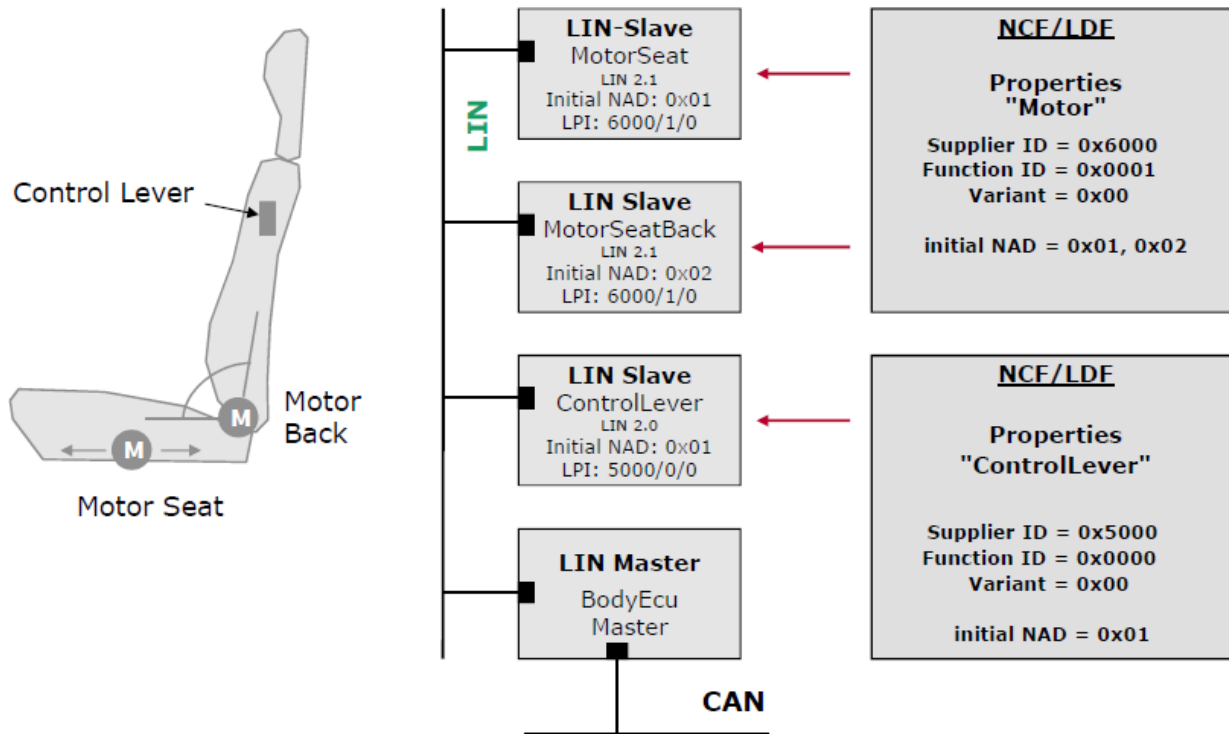


ПОДЕШАВАЊЕ

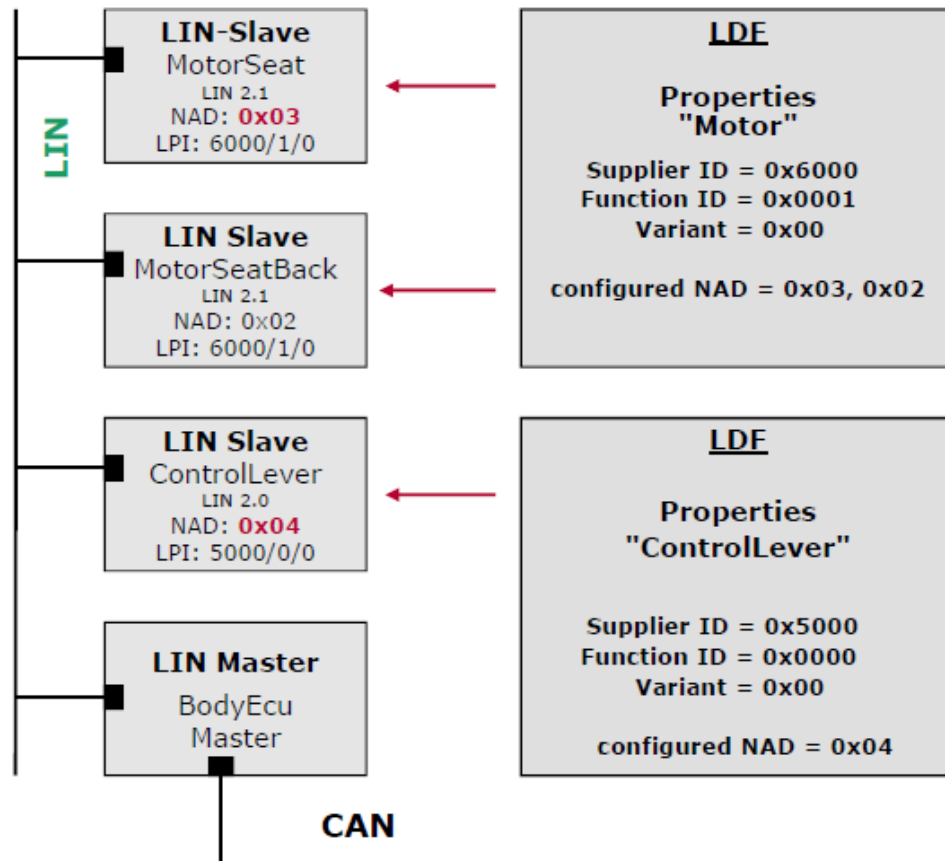
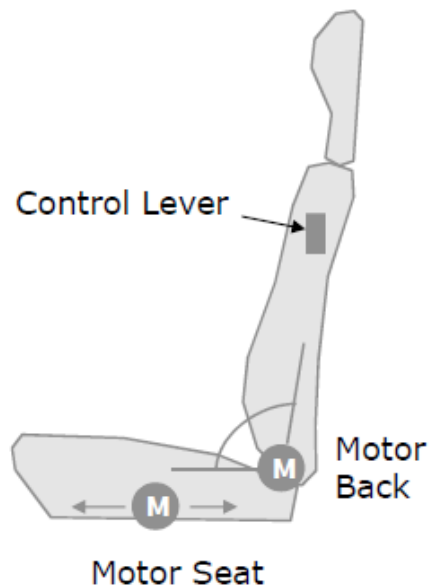
- Доступни алати од произвођача(нпр. Vector)
- Могуће почевши од верзије LIN2.0
- Оквири за подешавање су несегментирани (један за један)
- Следећи сервиси су доступно за подешавање:
 - 0xB0 - Assign NAD (додељивање идентификатора уређаја)
 - 0xB1 - Assign Frame ID (LIN 2.0) (додељивање опсега оквира)
 - 0xB2 – Read by Identifier (читање према идентификатору)
 - 0xB3 – Conditional change NAD (not part of ISO17987 anymore)
 - 0xB4 – Data Dump (извлачење свих подешавања)
 - 0xB5 – Assign NAD via SNPD (Slave Node Position Detection)
 - 0xB6 – Save Configuration (since LIN2.1) (снимање)
 - 0xB7 – Assign Frame ID Range (since LIN2.1)

ПРИМЕР ПОДЕШАВАЊА

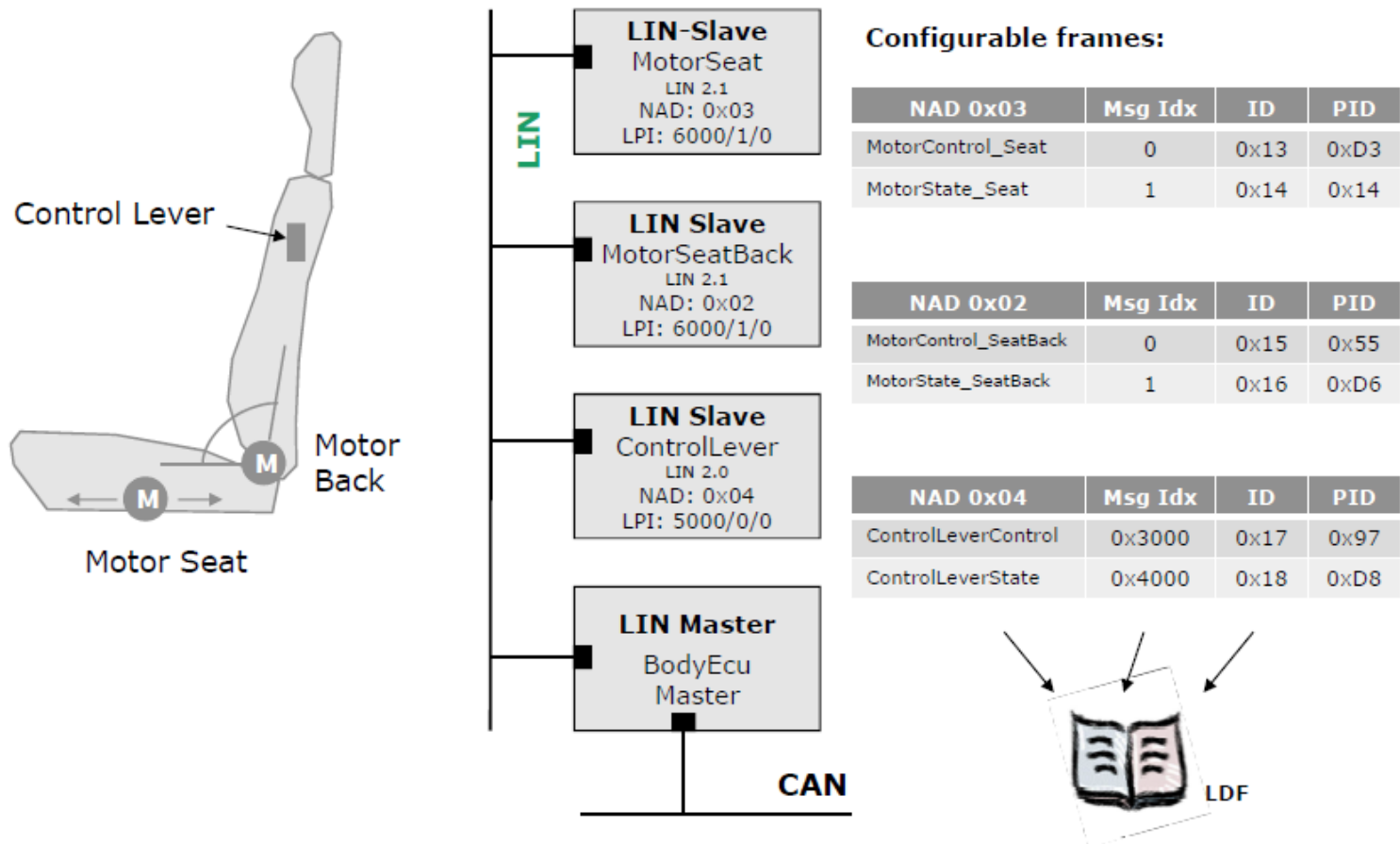
•ca

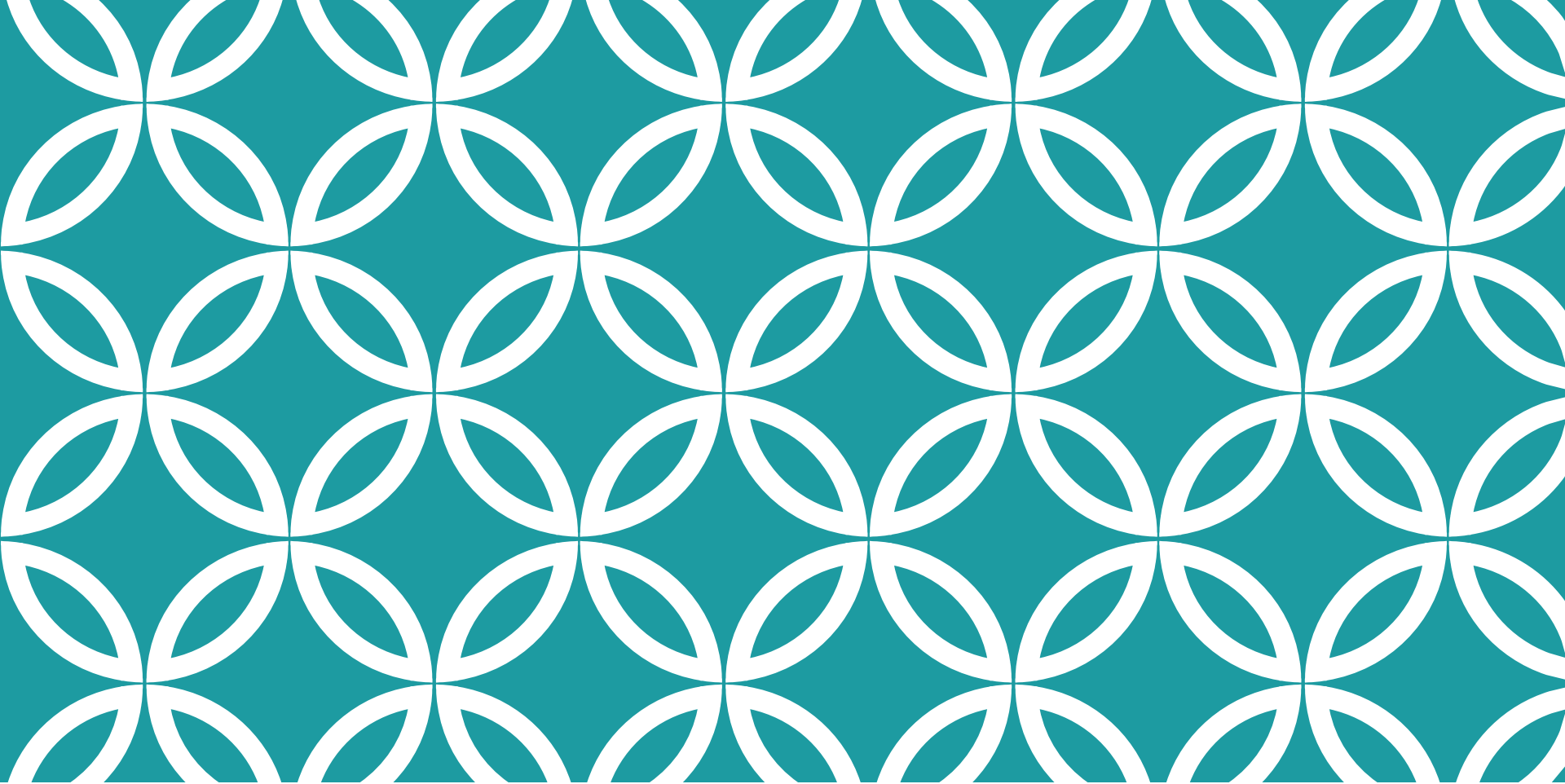


ПРИМЕР ПОДЕШАВАЊА



ПРИМЕР ПОДЕШАВАЊА

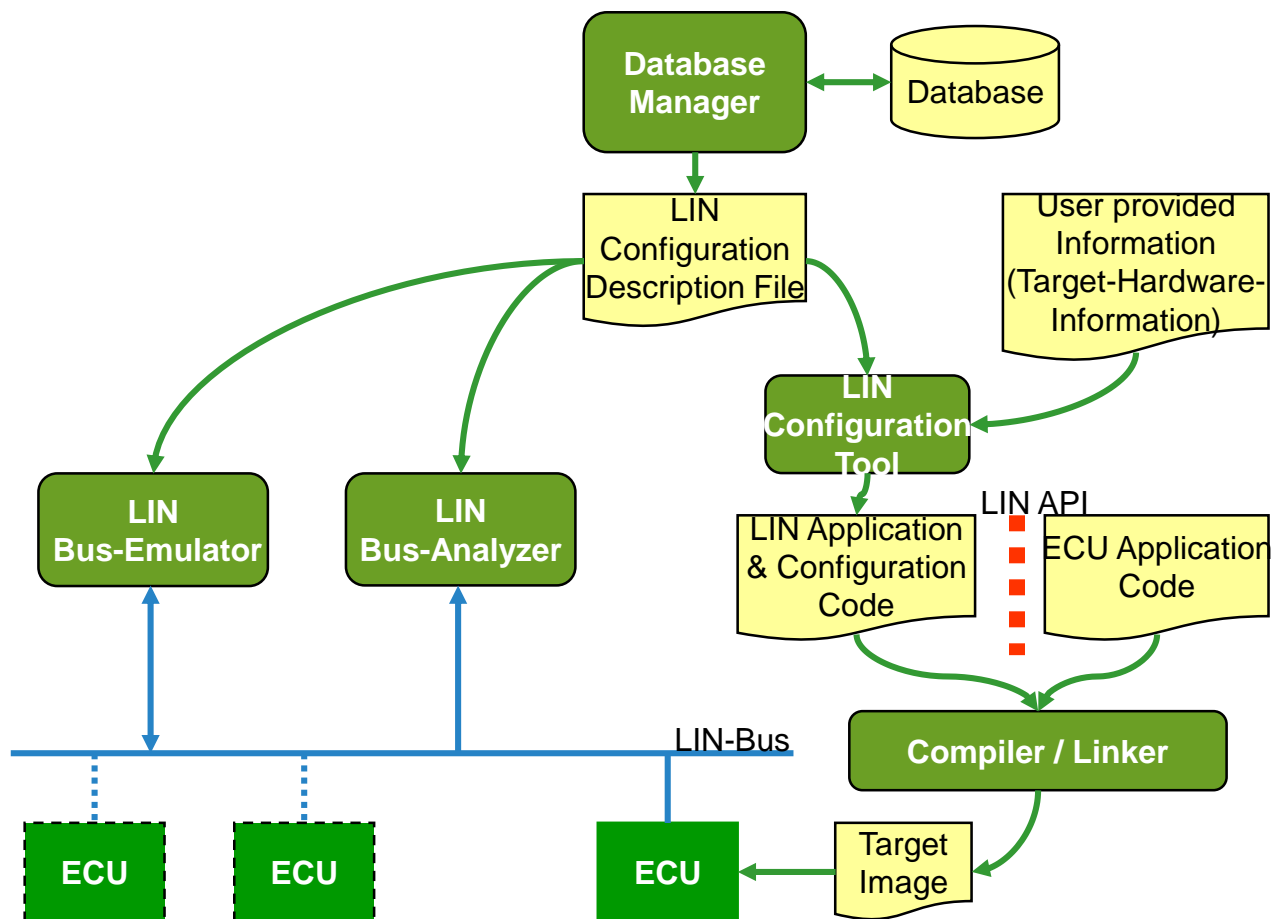




ПОДЕШАВАЊЕ МРЕЖЕ



РАЗВОЈНИ ТОК



КОНИГУРАЦИОНА ДАТОТЕКА

- Садржи информације о:
 - Мрежним сигналама
 - Трајањима циклуса
 - Распореду
 - Мрежним чворовима на које се примењује подешавање
- Сачињава се на основу произвођачких докумената о уређају
 - Подређене уређаје праве добављачи
 - OEM (енг. Original Equipment Manufacturer) саставља кластере и прави подешавања
- Даје улазе за LIN Application Generator
 - LIN-Emulator
 - LIN Analyser

ТОК ПОДЕШАВАЊА

- **Улазни подаци**

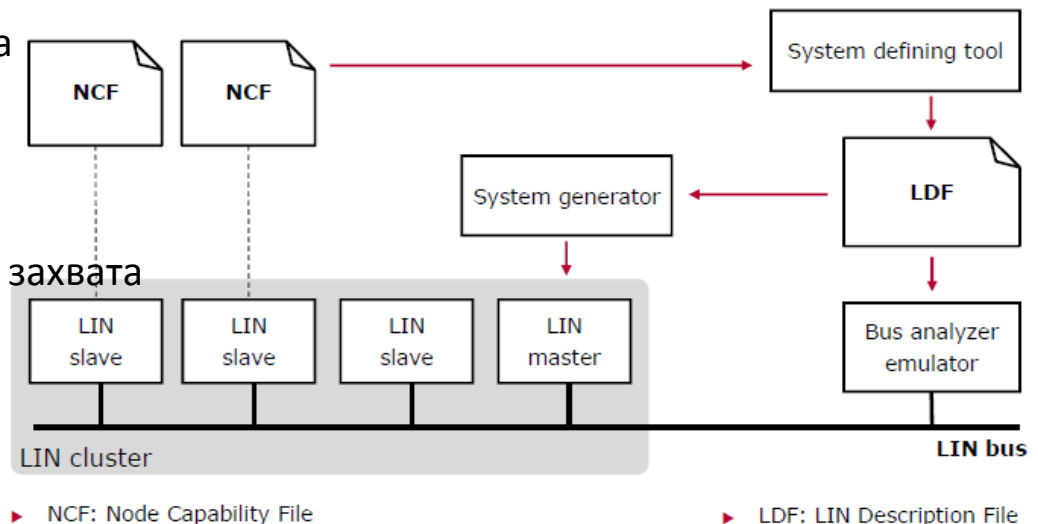
- Описивање уређаја, њихових подешавања и својстава
- Описивање односа између уређаја

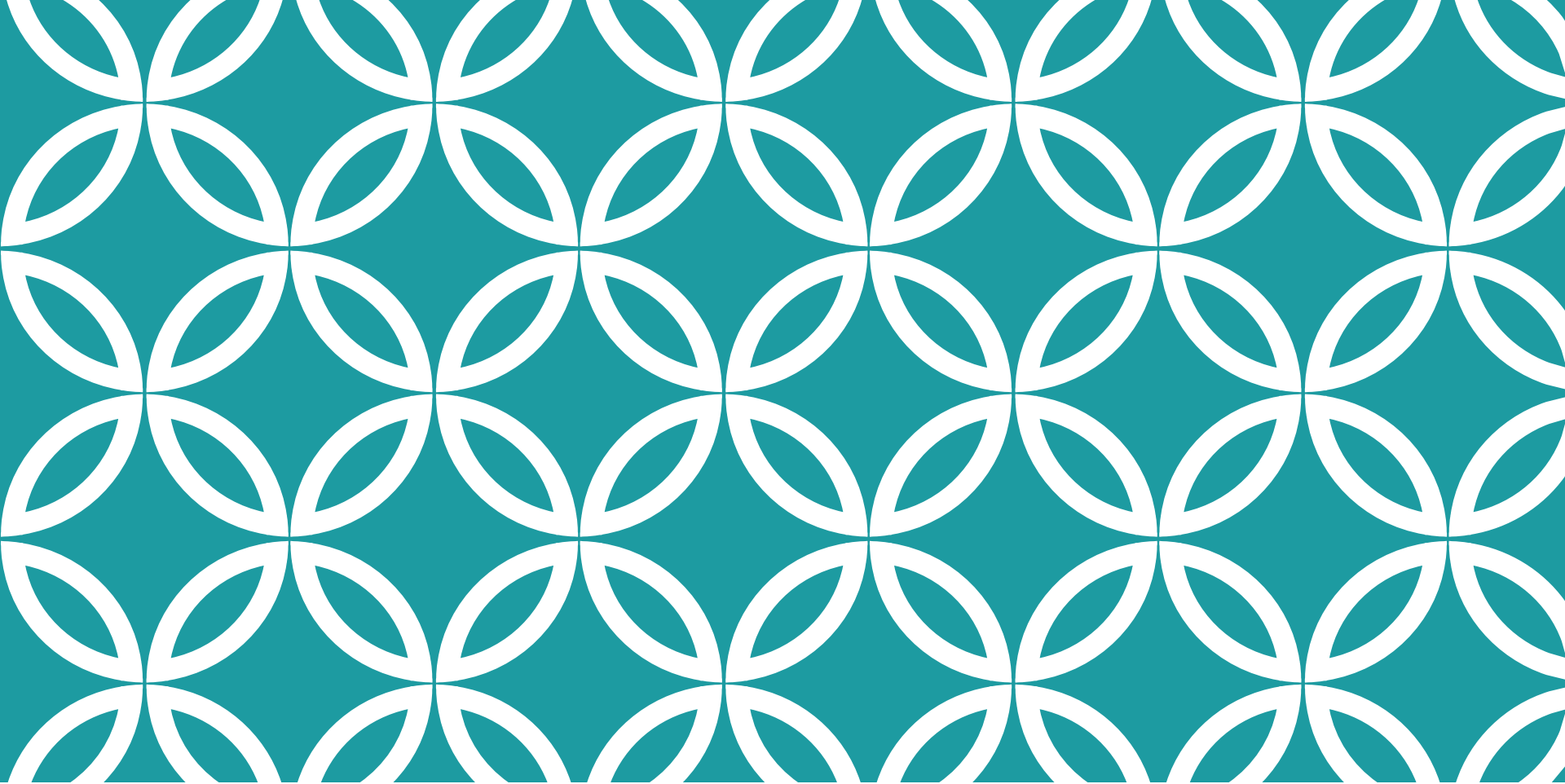
- **Размена података**

- Паковање оквира и сигнала (Frame Editor/Frame Compiler)
- Временска анализа
- Прављење оптималног распореда

- **Излазна подешавања**

- Снимање подешавања
- Могућност додатних користичких захвата





ЗАКЉУЧЦИ ЗА ПОНЕТИ

Шта смо радили

LIN VS CAN

	LIN <i>versus</i> CAN	
Access Control	Single Master	Multiple Master
Max Bus Speed	20 Kbps	1 Mbps
Typical # nodes	2 to 16	4 to 20
Message Routing	6-bit Identifier	11/29-bit Identifier
Data byte/frame	2,4,8 bytes	0-8 bytes
Error detection	8-bit checksum	16-bit CRC
Physical Layer	Single-wire	Twisted-pair

КВИЗ

Који су разлози за стварање LIN?

ЗАКЉУЧЦИ ЗА ПОНЕТИ

- LIN направљен као компатибилна алтернатива CAN
- Покрива подмреже
- Јефтин, једноставан, једна линија
- Смањује тежину ожичења возила
- Робустан и детерминистички
- Мање брзине и кратке поруке:
 - читања сензора, команде за актуаторе
- Препознавање грешака
- Подешавање кроз датотеку