Komunikační rozhraní RS-485 MODBUS RTU

Elektromagnetické průtokoměry

FLONET FH30xx a FLONEX FXx11x

Obsah

1. ÚVOD 4
2. POUŽITÉ ZKRATKY, TERMÍNY A DEFINICE 4
3. MODBUS 5
3.1. Obecný popis 5
3.2. Zpráva MODBUS PDU 5
3.3. Zpráva MODBUS ADU 6
3.4. Datový model 6
3.5. Adresovací model 7
3.6. Kódy funkcí 7
3.7. Popis kódových funkcí 7
3.7.1. Funkce 01: Čti cívky (Read Coils) 7
3.7.2. Funkce 02: Čti diskrétní vstupy (Read Discrete Inputs) 9
3.7.3. Funkce 03: Čti uchovávací registry (Read Holding Registers) 10
3.7.4. Funkce 04: Čti vstupní registry (Read Input Registers) 11
3.7.5. Funkce 5: Zapiš jednu cívku (Write Single Coil) 12
3.7.6. Funkce 6: Zapiš jeden registr (Write Single Register) 13
3.7.7. Funkce 15: Zapiš více cívek (Write Multiple Coils) 14
3.7.8. Funkce 16: Zapiš více registrů (Write Multiple Registers) 15
3.7.9. Negativní odpověď (Exception Responses) 16
3.7.9.1. Funkční kód chyby 16
3.7.9.2. Kód chyby 16
4. MODBUS NA SÉRIOVÉ LINCE 17
4.1. Přenosový mód MODBUS RTU 17
5. ROZHRANÍ RS-485 19
5.1. Logické úrovně 19
5.2. Zakončení linky 20
5.3. Topologie 20
5.4. Vyrovnání potenciálu 21
6. KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ RS-485 MODBUS RTU 22
7. MAPOVÁNÍ PROMĚNNÝCH DO ADRESNÍHO PROSTORU 23
8. DOKUMENTACE, NORMY A DOKLADY 23

1. ÚVOD

Elektromagnetické průtokoměry typové řady FLONET FH30xx (do normálního prostředí) a FLONEX FXx11x (do prostředí s nebezpečím výbuchu) jsou měřidla umožňující obousměrné měření objemového průtoku vodivých kapalin v plně zaplaveném potrubí. Rozsah rychlosti proudění 0,025–10 m/s, minimální požadovaná vodivost měřeného média 10 µS/cm, pro demineralizovanou vodu 20 µS/cm.

Průtokoměry jsou pro komunikaci s nadřazenými systémy vybaveny digitálním rozhraním:

- RS-485 MODBUS RTU
- HART®

Tento manuál je zaměřen na problematiku připojení průtokoměrů řady FLONET FH30xx a FLONEX FXx11x k nadřazenému systému prostřednictvím sériové komunikační linky RS-485 MODBUS RTU.

2. POUŽITÉ ZKRATKY, TERMÍNY A DEFINICE

MSB	Most Significant Bit – nejvíce významný bit
LSB	Least Significant Bit – nejméně významný bit
Master	nadřízená stanice
Slave	podřízená stanice
Hi bajt	vyšší část registru xx_H
Lo bajt	nižší část registru xx_H
xx_H	číslo v hexadecimálním formátu
xx_D	číslo v decimálním formátu
xx_B	číslo v binárním formátu

Podle PDU jsou diskrétní vstupy, cívky, vstupní registry a uchovávací registry adresovány od 0.
Např.: Pro cívky označené 1 – 5 se udává adresa od 0 – 4_D … 00_H – 04_H.

Způsob přenosu dat podle specifikace MODBUS

- **Pořadí bajtů v 1 registru** (16 bit):
  Pro přenos dat v registru se používá tzv. **Big Endian**. Nejdříve se přenáší Hi bajt, následuje Lo bajt.
- **Pořadí registrů:**
  Delší datové zprávy (32 a 64 bitů) se přenáší jako po sobě jdoucí 16 bitové registry
  Pro pořadí registrů ve zprávě se při přenosu používá **Little Endian**. Od nejnižšího registru k vyššímu.

3. MODBUS

3.1. Obecný popis

MODBUS je komunikační protokol na úrovni aplikační vrstvy referenčního modelu ISO/OSI (Open Systems Interconnection Reference Model), který umožňuje komunikaci typu master – slave mezi zařízeními na různých typech sítí a sběrnic.

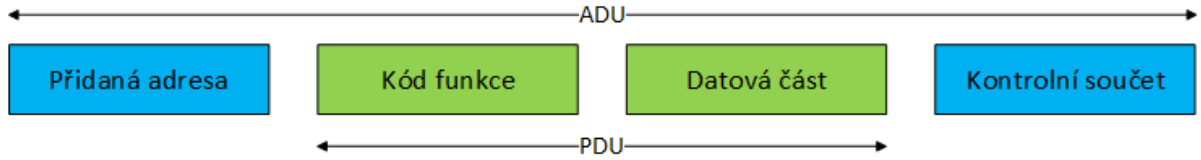
V současné době je podporována řada implementací pro sériovou linku RS-232, RS-422, RS-485 a jiné sítě využívající protokol TCP/IP.

Podrobné informace o komunikaci MODBUS jsou uvedeny na **http://www.modbus.org**.

Zpráva MODBUS na úrovni protokolu **PDU** (Protocol Data Unit) modelu ISO/OSI nezávisí na typu komunikační vrstvy a obsahuje:

- Kód funkce
- Data

V závislosti na typu komunikační sítě, na které je protokol použit, je PDU zpráva rozšířena o další části a tvoří tak zprávu na aplikační úrovni **ADU** (Application Data Unit).



3.2. Zpráva MODBUS PDU

Kód funkce udává, jaký druh operace má pořízená stanice slave provést.
Rozsah kódů: $1–255_D$ … $1–FF_H$
Platné kódy: $1–127_D$ … $1–7F_H$

Kódy 129–255 jsou vyhrazeny pro oznámení chyby. Kód funkce 0 a 128 není platným kódem a je zakázaný.

Data obsažená v datové části zprávy posílaná masterem slouží k uskutečnění operace určené kódem funkce v podřízené stanici slave. Obsah datové části je závislý na požadované funkci.

Protokol MODBUS definuje 3 základní typy zpráv PDU:

1 Požadavek (Request PDU)
1 bajt Kód funkce
n bajtů Datová část požadavku (adresa, proměnné, počet proměnných aj.)

2 Odpověď (Response PDU)
1 bajt Kód funkce (stejný jako v požadavku)
m bajtů Datová část odpovědi (přečtené vstupy, stav zařízení aj.)

3 Chybová odpověď (Exception Response PDU)
1 bajt Kód funkce + 80_H (indikace chyby)
1 bajt Kód chyby (identifikace chyby)

3.3. Zpráva MODBUS ADU

Zprávu MODBUS ADU sestavuje master, který začíná MODBUS komunikaci. Slave na každou zprávu, která je určena pro něj, odpoví. Po příjmu odpovědi MODBUS transakce končí.

Adresa slave
Adresové pole udává, který slave připojený na sběrnici je dotazován jednotkou master.

Adresové pole:	**1 bajt**	
Adresa:	0	**Broadcast zpráva** je určena všem zařízením, žádné na ní neodpovídá.
Adresa :	1–247	**Unicast zpráva** je určena pouze jedné stanici slave, po přijetí a zpracování požadavku vyšle slave odpověď.
Adresa:	248–255	rezerva

MODBUS transakce
Jakmile slave přijme zprávu, zpracuje ji a odešle odpověď. Odpověď může být dvojího typu:

- **Pozitivní odpověď** (Response) v případě úspěšného zpracování zprávy a vykonání dané operace
  Kód funkce v odpovědi = kód funkce v požadavku
- **Negativní odpověď** (Exception Response) pokud:
  - obsah zprávy neodpovídá specifikaci podle MODBUS
  - při zpracování zprávy se vyskytne chyba
    Kód funkce v odpovědi = kód funkce v požadavku + 80_H

V datovém poli odpovědi je uveden kód chyby (Exception Code), který určuje její příčinu.

Pokud slave přijme neplatnou nebo neúplnou žádost vlivem komunikační chyby, chybného CRC nebo parity, neodesílá žádnou odpověď. Master v tomto případě, po vypršení časového limitu pro příjem odpovědi, indikuje chybu.

Maximální velikost PDU: **253 bajtů** (256 bajtů PDU − 1 bajt adresa slave − 2 bajty CRC)
Maximální velikost ADU: **256 bajtů** (PDU_{max} + 1 bajt adresa slave + 2 bajty CRC)

Kontrolní součet
Kontrolní součet CRC odesílá master společně s vysílanými daty. Po přijetí dat je CRC znovu stejným způsobem vypočten ve slave. Pokud je tento kontrolní součet odlišný od přijatého kontrolního součtu, je přenos dat vyhodnocen jako chybný. Pokud jsou oba kontrolní součty správné, je s vysokou pravděpodobností jisté, že k žádné chybě při přenosu dat nedošlo. Míra pravděpodobnosti závisí na zvoleném algoritmu pro výpočet CRC. Standardně se používá CRC16.

3.4. Datový model

Datový model MODBUS definuje čtyři základní tabulky:

Tabulka	Typ položky	Přístup	Popis	
Diskrétní vstupy (Discrete Inputs)	1 bit	Pouze čtení	Data poskytovaná I/O systémem	Např.: Binární vstup
Cívky (Coils)	1 bit	Čtení/zápis	Data modifikovatelná aplikačním programem	Např.: Cívka relé. Lze ji ovládat i zjišťovat její stav
Vstupní registry (Input Registers)	16 bitové slovo	Pouze čtení	Data poskytovaná I/O systémem	Např.: Analogový vstup
Uchovávací registry (Holding Registers)	16 bitové slovo	Čtení/zápis	Data modifikovatelná aplikačním programem	Např.: Čítač. Lze nastavit i číst jeho hodnotu.

3.5. Adresovací model

Protokol MODBUS přesně definuje adresovací pravidla ve zprávách PDU:

- V MODBUS zprávách jsou datové položky adresovány od 0–65535$_D$ (0–FFFF$_H$).
- Položky v datových blocích jsou číslovány od 1 do n.

Mapování tabulek do adresního prostoru slave definuje výrobce zařízení.

3.6. Kódy funkcí

Kódy funkcí MODBUS mají tři kategorie:

- Veřejné kódy funkcí:
  - jednoznačně definované
  - veřejně zdokumentované
  - garantována unikátnost funkcí
  - schválené společností MODBUS-IDA.org
- Uživatelsky definované kódy funkcí:
  - dva rozsahy: 65–72 a 100–110
  - určené pro implementaci funkcí, které nejsou součástí specifikace
  - není garantována unikátnost funkcí
- Rezervované kódy funkcí:
  Kódy funkcí používané některými společnostmi. Nejsou určené pro veřejné použití.

Kódy funkcí použité v průtokoměrech FLONET FH30xx a FLONEX FXx11x

Kód funkce		Modbus funkce	Popis
1	01$_H$	Read Coils	Čtení stavu cívek
2	02$_H$	Read Discrete Inputs	Čtení jednoho nebo více vstupů
3	03$_H$	Read Holding Registers	Čtení uchovávacích registrů
4	04$_H$	Read Input Registers	Čtení vstupních registrů
5	05$_H$	Write Single Coil	Zápis jedné cívky
6	06$_H$	Write Single Register	Zápis jednoho registru
15	0F$_H$	Write Multiple Coils	Zápis více cívek
16	10$_H$	Write Multiple Registers	Zápis více registrů

Kompletní sada kódových funkcí je uvedena v dokumentech na **www.modbus.org.**

3.7. Popis kódových funkcí

3.7.1. Funkce 01: Čti cívky (Read Coils)

Funkce 01 čte stav ON/OFF 1 až 2000 cívek v podřízené stanici slave.
V požadavku je specifikována adresa 1. cívky a počet cívek. V odpovědi je v jednom bajtu přenášen stav celkem 8 cívek. Nejnižší bit prvního bajtu je stav 1. cívky.

Dotaz

Adresa:	1 bajt
Kód funkce:	1 bajt 01$_H$
Počáteční adresa cívky:	2 bajty 0–65535$_D$ … 0000–FFFF$_H$
Počet cívek:	2 bajty 1–2000$_D$ … 0000–7D0$_H$
Kontrolní součet:	2 bajty CRC16

Odpověď

Adresa:	1 bajt
Kód funkce:	1 bajt 01_H
Počet bajtů:	1 bajt N
Stav cívek:	N bajtů (v 1 bajtu se přenáší stav 8 cívek)
Kontrolní součet:	2 bajty CRC16
Počet bajtů N:	Počet cívek/8; je-li zbytek po dělení nenulový N = N+1

Pokud požadavek nelze realizovat, vyšle slave odpověď s kódem chyby.

Kód funkce (1 bajt)	81_H
Chybový kód (1 bajt)	01, 02, 03 nebo 04_H

Příklad

Načíst stav cívek na adrese 20–56.

Adresa:	17_D … 11_H
Počet cívek:	(56 − 20 + 1) = 37_D … 25_H
Počáteční adresa cívek:	20_D … 14_H
Počet bajtů N:	5_D … 05_H (37 cívek/8 = 4; zbytek 5; →N = 4+1 =5)

Dotaz

Adresa	Funkce	Data				Kontrolní součet CRC16	
		Start adresa		Počet cívek			
11_H	01_H	Hi bajt 00_H 0_D	Lo bajt 14_H 20_D	Hi bajt 00_H 00_D	Lo bajt 25_H 37_D	Hi bajt xx_H	Lo bajt xx_H

Odpověď

Adresa	Funkce	Data						Kontrolní součet CRC16	
		Počet bajtů	Cívky						
11_H	01_H	05_H 5_D	CD_H 27–20	$6B_H$ 35–28	$B2_H$ 43–36	02_H 51–44	22_H 59–52	Hi bajt xx_H	Lo bajt xx_H

Stavy cívek jsou v odpovědi vyjádřeny ve formě datového bit pole.
ON = 1
OFF = 0

LSB prvního datového bajtu v odpovědi vyjadřuje stav cívky na Počáteční adrese dotazu.
Další cívky směřují k vyšším řádům tohoto bajtu. Stejným způsobem jsou zapsány stavy cívek v následujících bajtech.

Pokud počet cívek v odpovědi není násobkem osmi, zbývající bity v posledním datovém bajtu se doplní nulami. Počet bajtů udává počet celých datových bajtů.

Stav cívek 27–20 je např. vyjádřen jako hodnota CD_H … $1100\ 1101_B$

Data	CD_H … $1100\ 1101_B$							
Číslo cívky	27	26	25	24	23	22	21	20
Stav cívek	1 (MSB)	1	0	0	1	1	0	1 (LSB)

MSB tohoto bajtu je stav cívky na adrese 27, LSB stav cívky na adrese 20.

Stav cívek 28–35 je vyjádřen např. jako hodnota $6B_H$ … $0110\ 1011_B$

Data	$6B_H$ … $0110\ 1011_B$							
Číslo coil	35	34	33	32	31	30	29	28
Stav cívek	0	1	1	0	1	0	1	1

Další bajty obsahují stav cívek 36–43, 44–51 viz **Odpověď**.

Stav posledních cívek 52–59 je vyjádřen např. jako hodnota 22_H … $0010\ 0010_B$
V dotazu na stav cívek je jako poslední uvedena cívka 56.
Zbývající tři bity směrem k vyšším řádům (číslo 57, 58, 59) nejsou předmětem dotazu a jsou doplněny nulami.

Data	22_H … $0010\ 0010_B$							
Číslo coil	59	58	57	56	55	54	53	52
Stav cívek	0	0	0	0	0	0	1	0

3.7.2. Funkce 02: Čti diskrétní vstupy (Read Discrete Inputs)

Funkce 02 čte stav ON/OFF 1 až 2000 diskrétních vstupů v podřízené stanici slave.
V požadavku je specifikována adresa 1. vstupu a počet vstupů. V odpovědi je v 1 bajtu přenášen stav celkem 8 vstupů. Nejnižší bit prvního bajtu je stav vstupu na Počáteční adrese.

Dotaz

Adresa:	1 bajt	
Kód funkce:	1 bajt	02_H
Počáteční adresa vstupu:	2 bajty	$0–65\ 535_D$ … $0000–FFFF_H$
Počet vstupů v 1 dotazu:	2 bajty	$1–2\ 000_D$ … $00000–7D0_H$
Kontrolní součet:	2 bajty	CRC16

Odpověď

Adresa:	1 bajt	
Kód funkce:	1 bajt	02_H
Počet datových bajtů:	1 bajt	N
Stav vstupů:	N bajtů	(v 1 bajtu se přenáší stav 8 diskrétních vstupů)
Kontrolní součet:	2 bajty	CRC16

Počet bajtů N: Počet vstupů/8; je-li zbytek po dělení nenulový N = N+1

Pokud požadavek nelze realizovat, vyšle slave odpověď s kódem chyby.

Kód funkce	1 bajt	82_H
Chybový kód	1 bajt	01, 02, 03 nebo 04

Příklad

Požadavek:	načíst stav diskrétních vstupů na adrese 197–208
Adresa:	17_D … 11_H
Počet vstupů:	$(208 − 197 + 1) = 12_D$ … $0C_H$
Počáteční adresa vstupů:	197_D … $C5_H$
Počet bajtů **N**:	2_D … 2_H (12 vstupů/8 = 1; zbytek 4; →N = 1+1 =2)

Dotaz

Adresa	Funkce	Data				Kontrolní součet CRC16	
		Start adresa		Počet vstupů			
11_H	02_H	Hi bajt 00_H	Lo bajt $C5_H$	Hi bajt 00_H	Lo bajt $0C_H$	Hi bajt xx_H	Lo bajt xx_H

Odpověď

Adresa	Funkce	Data			Kontrolní součet CRC16	
		Počet bajtů	Diskrétní vstup			
11_H	02_H	02_H	204–197 xx_H	212–205 xx_H	Hi bajt xx_H	Lo bajt xx_H

Stavy diskrétních vstupů jsou v odpovědi vyjádřeny ve formě datového bit pole, např:

Stav vstupu	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
Adresa vstupu	204_D							197_D (LSB)	212_D				208_D			205_D

LSB prvního datového bajtu v odpovědi vyjadřuje stav vstupu na startovací adrese dotazu 197_D.
Pokud počet diskrétních vstupů v odpovědi není násobkem osmi, zbývající bity v posledním datovém bajtu se doplní nulami. Počet bajtů udává počet celých datových bajtů.

3.7.3. Funkce 03: Čti uchovávací registry (Read Holding Registers)

Funkce 03 čte binární obsah souvislého bloku 1 až 125 uchovávacích registrů v podřízené stanici slave.
V požadavku je specifikována adresa 1. registru a počet registrů, jejichž obsah se má ze slave načíst.
V odpovědi představuje 1 registr 2 bajty.

Maximální počet registrů v každém požadavku je omezen na 125 registrů, což je možno využít pro čtení:

- 125 čísel typu word (2 bajty)

Dotaz

Adresa:	1 bajt
Kód funkce:	1 bajt 03_H
Počáteční adresa	2 bajty $0–65535_D$ … $0000–FFFF_H$
Počet registrů N:	2 bajty $N = 1–125_D$ … $0000–7D_H$
Kontrolní součet:	2 bajty CRC16

Odpověď

Adresa:	1 bajt
Kód funkce:	1 bajt 03_H
Počet datových bajtů:	1 bajt 2*N
Hodnoty registrů:	2*N bajty
Kontrolní součet:	2 bajty CRC16

Pokud požadavek nelze realizovat, vyšle slave odpověď s kódem chyby.

Kód funkce	1 bajt	83_H
Chybový kód	1 bajt	01, 02, 03 nebo 04

Příklad

Načíst obsah registrů na adrese 109–111 od stanice slave s adresou 17.

Adresa:	17_D … 11_H
Počet registrů:	$(111 − 109 + 1) = 3_D$ … 03_H
Počáteční adresa vstupů:	109_D … $6D_H$

Dotaz

Adresa	Funkce	Data				Kontrolní součet CRC16	
		Start adresa		Počet registrů			
11_H	03_H	Hi bajt 00_H	Lo bajt $6D_H$	Hi bajt 00_H	Lo bajt 03_H	Hi bajt xx_H	Lo bajt xx_H

Odpověď

Adresa	Funkce	Data							Kontrolní součet CRC16	
		Počet bajtů	Registr							
11_H	03_H	06_H	109 Hi bajt 01_H	109 Lo bajt $5A_H$	110 Hi bajt 00_H	110 Lo bajt $1F_H$	111 Hi bajt 00_H	111 Lo bajt 64_H	Hi bajt xx_H	Lo bajt xx_H

V odpovědi představují data v registru 2 bajty. V každém registru jsou v prvním bajtu MSB, v druhém bajtu LSB.

Např. obsah registru 109 má hodnotu $015A_H$ (346_D … 00000001 01011010$_B$),
obsah registru 110 $001F_H$ (542_D … 00000010 00011110$_B$),
obsah registru 111 0064_H (100_D … 00000000 01100100$_B$).

3.7.4. Funkce 04: Čti vstupní registry (Read Input Registers)

Funkce 04 čte obsah souvislého bloku 1 až 125 vstupních registrů v podřízené stanici slave.
V požadavku je specifikována adresa 1. registru a počet registrů, jejichž obsah se má ze slave načíst.
V odpovědi představuje 1 registr 2 bajty.

Maximální počet registrů v každém požadavku je omezen na 125 registrů, což je možno využít pro čtení:

- 125 čísel typu word (2 bajty)

Dotaz

Adresa:	1 bajt
Kód funkce:	1 bajt 04_H
Počáteční adresa:	2 bajty $0–65535_D$ … $0000–FFFF_H$
Počet registrů N:	2 bajty $1–125_D$ … $7D_H$
Kontrolní součet:	2 bajty CRC16

Odpověď

Adresa:	1 bajt
Kód funkce:	1 bajt 04_H
Počet bajtů:	1 bajt 2*N
Hodnoty vstupních registrů:	2*N bajtů
Kontrolní součet:	2 bajty CRC16

N … počet registrů

Pokud požadavek nelze realizovat, vyšle slave odpověď s kódem chyby.

Kód funkce	1 bajt	84_H
Chybový kód	1 bajt	01, 02, 03 nebo 04

Příklad

Načíst vstupní registry na adrese 30009–30011 v podřízené stanici 17:

Adresa:	17_D … 11_H
Počet registrů:	(30011 − 30009 + 1) = 3_D … 03_H
Počáteční adresa vstupů:	30009_D … 7539_H

Dotaz

Adresa	Funkce	Data				Kontrolní součet CRC16	
		Start adresa		Počet registrů			
11_H	04_H	Hi bajt 75_H	Lo bajt 39_H	Hi bajt 00_H	Lo bajt 03_H	Hi bajt xx_H	Lo bajt xx_H

Odpověď

Adresa	Funkce	Data							Kontrolní součet CRC16	
		Počet bajtů	Registr							
11_H	04_H	06_H	30009 Hi bajt 02_H	30009 Lo bajt $2B_H$	30010 Hi bajt 00_H	30010 Lo bajt 00_H	30011 Hi bajt 00_H	30011 Lo bajt 64_H	Hi bajt xx_H	Lo bajt xx_H

V odpovědi Data představují 3 registry 6 bajtů. V každém registru jsou v prvním bajtu bity vyššího řádu (Hi bajt), v druhém bajtu bity nižšího řádu (Lo bajt).
Např. obsah registru 30009 má hodnotu $022B_H$ (555_D … 00000010 00101011_B),
obsah registru 30010: 0000_H (0_D … 00000000 00000000_B),
obsah registru 30011: 0064_H (100_D …00000000 01100100_B).

3.7.5. Funkce 5: Zapiš jednu cívku (Write Single Coil)

Funkce 5 nastaví 1 cívku do stavu ON nebo OFF. V požadavku je specifikována adresa, na které se cívka nachází a hodnota, na kterou se má nastavit.
Normální odpověď je kopií požadavku.

Dotaz

Adresa:	1 bajt	
Kód funkce:	1 bajt	05_H
Adresa cívky	2 bajty	$0–65535_D$ … $0000–FFFF_H$
Stav cívky:	1 bajt	00_H … OFF, FF_H … ON
Kontrolní součet:	2 bajty	CRC16

Odpověď

Adresa:	1 bajt	
Kód funkce:	1 bajt	05_H
Adresa cívky	2 bajty	$0–65535_D$ … $0000–FFFF_H$
Stav cívky:	1 bajt	00_H … OFF, FF_H … ON
Kontrolní součet:	2 bajty	CRC16

Pokud požadavek nelze realizovat, vyšle slave odpověď s kódem chyby.

Kód funkce	1 bajt	85_H
Chybový kód	1 bajt	01, 02, 03 nebo 04

Příklad
Nastavit v podřízené stanici 17 hodnotu cívky na adrese 20 na hodnotu ON … FF_H
Adresa: 17_D … 11_H
Adresa cívky: 20_D … 14_H

Požadavek

Adresa	Funkce	Data			Kontrolní součet CRC16	
		Adresa cívky		Požadovaná data		
11_H	05_H	Hi bajt 00_H	Lo bajt 14_H	FF	Hi bajt xx_H	Lo bajt xx_H

Odpověď

Adresa	Funkce	Data			Kontrolní součet CRC16	
		Adresa cívky		Požadovaná data		
11_H	05_H	Hi bajt 00_H	Lo bajt 14_H	FF	Hi bajt xx_H	Lo bajt xx_H

3.7.6. Funkce 6: Zapiš jeden registr (Write Single Register)

Funkce 6 zapíše data do 1 uchovávacího registru podřízené stanice slave.
1 registr = 2 bajty
Dotaz určuje adresu registru a hodnoty, které se mají do registru zapsat.
Normální odpověď vrací kopii požadavku.

Dotaz

Adresa:	1 bajt	
Kód funkce:	1 bajt	06_H
Adresa registru	2 bajty	$0–65\,535_D$ … $0000–FFFF_H$
Hodnota registru:	2 bajty	$0–65\,535_D$ … $0000–FFFF_H$
Kontrolní součet:	2 bajty	CRC16

Odpověď

Adresa:	1 bajt	
Kód funkce:	1 bajt	06_H
Adresa registru:	2 bajty	$0–65\,535_D$ … $0000–FFFF_H$
Hodnota registru:	2 bajty	$0–65\,535_D$ … $0000–FFFF_H$
Kontrolní součet:	2 bajty	CRC16

Pokud požadavek nelze realizovat, vyšle slave odpověď s kódem chyby.

Kód funkce	1 bajt	86_H
Chybový kód	1 bajt	01, 02, 03 nebo 04

Příklad
Zapiš hodnotu 0102_H … $1\ 00000010_B$ do registru s adresou 40843 v podřízené stanici s adresou 17.
Adresa registru: 40843_D … $9F8B_H$

Dotaz

Adresa	Funkce	Data				Kontrolní součet CRC16	
		Adresa registru		Požadovaná data			
11_H	06_H	Hi bajt $9F_H$	Lo bajt $8B_H$	Hi bajt 01_H	Lo bajt 02_H	Hi bajt xx_H	Lo bajt xx_H

Odpověď

Adresa	Funkce	Data				Kontrolní součet CRC16	
		Adresa registru		Požadovaná data			
11_H	06_H	Hi bajt $9F_H$	Lo bajt $8B_H$	Hi bajt 01_H	Lo bajt 02_H	Hi bajt xx_H	Lo bajt xx_H

3.7.7. Funkce 15: Zapiš více cívek (Write Multiple Coils)

Funkce 15 nastaví 1 až 1968 cívek do stavu ON nebo OFF. V požadavku je specifikována adresa 1. cívky, od které se mají stavy cívek nastavit, počet cívek a hodnoty, na které se mají všechny cívky nastavit.
Normální odpověď vrací Počáteční adresu a počet nastavených cívek.

Dotaz

Adresa:	1 bajt
Kód funkce:	1 bajt $0F_H$
Počáteční adresa	2 bajty $0–65\,535_D$ … $0000–FFFF_H$
Počet cívek:	2 bajty $1–1\,968_D$ … $7B0_H$
Počet bajtů N:	1 bajt N
Hodnota cívek:	N bajt
Kontrolní součet:	2 bajty CRC16

Počet bajtů N: Počet cívek/8; je-li zbytek po dělení nenulový N = N+1

Odpověď

Adresa slave:	1 bajt
Kód funkce:	1 bajt $0F_H$
Počáteční adresa:	2 bajty $0–65\,535_D$ … $0000–FFFF_H$
Hodnota cívek:	2 bajty $1–1\,968_D$ … $7B0_H$
Kontrolní součet:	2 bajty CRC16

Pokud požadavek nelze realizovat, vyšle slave odpověď s kódem chyby.

Kód funkce	1 bajt	$8F_H$
Chybový kód	1 bajt	01, 02, 03 nebo 04

Příklad
V podřízené stanici slave 17 nastavit 10 cívek od cívky na adrese 20 na hodnoty:
CD 03_H … $11001101\ 00000001_B$
Počáteční adresa: 20_D … 014_H
Počet cívek: 10_D … $000A_H$
Počet bajtů N: 2_D … 2_H (10 cívek/8 = 1; zbytek 2; →N = 1+1 =2)

$CD03_H$	CD_H								01_H							
	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Cívka	27	26	25	24	23	22	21	20	x	x	x	x	x	x	29	28
	MSB							LSB	MSB							LSB

X znamená, že na hodnotě nezáleží a zbývající část bajtu 02_H nad pozici cívky 29 je nahrazena bity s hodnotou 0.
Nejnižší bit (LSB) bajtu CD_H představuje hodnotu pro cívku na adrese 20.
Nejnižší bit (LSB) bajtu 03_H představuje hodnotu pro cívku na adrese 28.

Požadavek

Adresa	Funkce	Data								Kontrolní součet CRC16	
		Start adresa		Počet cívek		Počet bajtů N	Požadovaná data				
11_H	$0F_H$	Hi bajt 00_H	Lo bajt 14_H	Hi bajt 00_H	Lo bajt $0A_H$	02_H	Hi bajt CD_H	Lo bajt 01_H		Hi bajt xx_H	Lo bajt xx_H

Odpověď

Adresa	Funkce	Data				Kontrolní součet CRC16	
		Start adresa		Počet cívek			
11_H	$0F_H$	Hi bajt 00_H	Lo bajt 14_H	Hi bajt 00_H	Lo bajt $0A_H$	Hi bajt xx_H	Lo bajt xx_H

3.7.8. Funkce 16: Zapiš více registrů (Write Multiple Registers)

Funkce 16 zapíše souvislý blok dat až do 120 registrů do podřízené jednotky slave.
Dotaz určuje adresu počátečního registru, počet registrů a hodnoty, které se mají zapsat.
Normální odpověď obsahuje Počáteční adresu a počet nastavených registrů.

Maximální počet registrů v každém požadavku je omezen na 120 registrů, což je možno využít pro zápis:

- 120 čísel typu word (2 bajty)

Dotaz

Adresa: 1 bajt
Kód funkce: 1 bajt 10_H
Start adresa 2 bajty $0–65535_D$ … $0000–FFFF_H$
Počet registrů N: 2 bajty $1–120_D$ … 78_H
Počet bajtů: 1 bajt 2*N
Hodnoty registrů: 2*N bajtů
Kontrolní součet: 2 bajty CRC16

Odpověď

Adresa: 1 bajt
Kód funkce: 1 bajt 10_H
Počáteční adresa: 2 bajty $0–65535_D$ … $0000–FFFF_H$
Počet registrů: 2 bajty $1–120_D$ … 78_H
Kontrolní součet: 2 bajty CRC16

Pokud požadavek nelze realizovat, vyšle slave odpověď s kódem chyby.

Kód funkce	1 bajt	90_H
Chybový kód	1 bajt	01, 02, 03 nebo 04

Příklad

Zapiš data do 2 registrů od počáteční adresy 21 v podřízené stanici slave 17.
Počáteční adresa: 21_D … 15_H
Počet registrů: 2_D … 0002_H
Hodnoty registru 1: 10_D … $000A_H$ … 1010_B
Hodnoty registru 2: 258_D … 0102_H … 1 00000010_B

Dotaz

Adresa	Funkce	Data										Kontrolní součet CRC16	
		Start adresa		Počet registrů N		Počet bajtů		Požadovaná data					
11_H	10_H	Hi bajt 00_H	Lo bajt 15_H	Hi bajt 00_H	Lo bajt 02_H	Hi bajt 00_H	Lo bajt 04_H	Hi bajt 00_H	Lo bajt $0A_H$	Hi bajt 01_H	Lo bajt 02_H	Hi bajt xx_H	Lo bajt xx_H

Odpověď

Adresa	Funkce	Data				Kontrolní součet CRC16	
		Start adresa		Počet registrů			
11_H	10_H	Hi bajt 00_H	Lo bajt 015_H	Hi bajt 00_H	Lo bajt 02_H	Hi bajt xx_H	Lo bajt xx_H

3.7.9. Negativní odpověď (Exception Responses)

Nadřízená stanice po vyslání dotazu na podřízenou stanici očekává odpověď.

Po dotazu Master mohou nastat následujících událostí:
1. Slave přijme dotaz bez komunikační chyby, dotaz zpracuje a Master obdrží normální odpověď.
2. Pokud Slave z důvodů komunikační chyby neobdrží dotaz, nevyšle žádnou odpověď. Master uplatní kriterium překročení časového limitu pro dotaz.
3. Pokud Slave přijme dotaz, ale detekuje komunikační chybu (parita, CRC), nevyšle žádnou odpověď. Master uplatní kriterium pro překročení časového limitu pro dotaz.
4. Pokud podřízená stanice přijme dotaz bez komunikační chyby, ale nemůže ho realizovat, obdrží Master negativní odpověď a informaci o povaze chyby.

Struktura negativní odpovědi

Adresa slave	Funkční kód	Data	Kontrolní součet
	Kod + 80_H	Kód chyby	CRC 16

Negativní odpověď má dvě pole, kterými se odlišuje od normální odpovědi:
- Funkční kód chyby
- Data – kód chyby.

3.7.9.1. Funkční kód chyby

V normální odpovědi odpovídá funkční kód v odpovědi slave funkčnímu kódu v dotazu. Všechny funkční kódy mají MSB nastaven na 0.
Ve výjimečné odpovědi nastavuje slave nejvýše platný bit funkčního kódu na 1 (k funkčnímu kódu vyslanému v dotazu master se přičte 80_H).
Master rozpozná negativní odpověď pomocí tohoto bitu.

3.7.9.2. Kód chyby

V negativní odpovědi vrací podřízená stanice v datovém poli kód chyby.

Kódy chyb použité v protokolu MODBUS

Kódy chyb		
Kód	Název	Význam
01_H	Ilegální funkce	Požadovaná funkce není slave podporována
02_H	Ilegální adresa	Zadaná adresa je mimo rozsah podporovaný slave
03_H	Ilegální hodnota	Předávaná data jsou neplatná
04_H	Selhání zařízení	Neodstranitelné chyba při realizaci požadavku

4. MODBUS NA SÉRIOVÉ LINCE

Na fyzické úrovni 1 referenčního modelu ISO/OSI mohou být použita různá sériová rozhraní, například RS-232, RS-485 nebo jejich varianty.

Protokol pro sériové rozhraní
MODBUS Serial Line protokol je typu Master – Slave.
V jeden okamžik může být na sběrnici pouze jeden master a 1–247 slave jednotek. Komunikaci vždy zahajuje master, slave nesmí nikdy vysílat data bez pověření mastera .

Master může posílat požadavky slave jednotkám ve dvou režimech:
- **Unicast** – master adresuje požadavek jedné konkrétní slave jednotce a ta pošle odpověď
- **Broadcast** – master posílá požadavek všem jednotkám, žádná jednotka neodpovídá.

Master nemá žádnou adresu, adresu mají pouze jednotky slave.

Protokol Modbus definuje 2 formáty pro sériové vysílání dat:
- Modbus RTU
- Modbus ASCII

Všechny jednotky na jedné sběrnici musí pracovat ve stejném vysílacím režimu.

V elektromagnetických průtokoměrech řady FLONET FH30xx a FLONET FXx11x je implementován přenosový mód MODBUS RTU.

4.1. Přenosový mód MODBUS RTU

V režimu RTU obsahuje každý bajt zprávy dvě 4 bitová hexadecimální čísla.

8 bitový bajt (doplněný start, stop popř. paritním bitem) se vysílá jako jeden znak.

Formát znaku:
- 1 start bit
- 8 datových bitů
- 1 bit parity nebo žádný
- 1 stop bit

Znak představuje posloupnost 10 nebo11 bitů.
Každá jednotka slave musí podporovat sudou, lichou nebo žádnou paritu.

Start	1	2	3	4	5	6	7	8	Stop

nebo

Start	1	2	3	4	5	6	7	8	Par	Stop

Formát RTU rámce

Začátek	Adresa slave	Funkce MODBUS	Data	CRC	Konec
> 3.5 znaku	1 bajt	1 bajt	n * 1 bajtů	2 bajty	> 3.5 znaku

- Vysílání zprávy musí být souvislé, mezery mezi znaky nesmějí být delší než 1,5 znaku.
- Začátek a konec zprávy je identifikován podle pomlky na sběrnici delší než 3,5 znaku.
- Pokud se mrtvý interval o délce větší než 3,5 znaku vyskytne před dokončením akce, přijímací stanice zruší přicházející zprávu a předpokládá, že následující bajt je adresou pro novou zprávu.
- Hlavní stanice má předem stanovený časový interval prodlevy před zrušením transakce.

Datové pole
Datové pole obsahuje informace, které nadřízené a podřízené stanice použijí pro realizaci požadované MODBUS funkce.

Kontrolní součet:
Integrita zpráv je zajištěna pomocí kontrolního součtu typu CRC (a pomocí paritního bitu, pokud je použit).
V průtokoměrech řady FLONET FH30xx a FLONET FXx11x se využívá ke kontrole CRC16 (polynom 16. stupně). Podrobné informace jsou uvedeny v doporučeních ke komunikaci MODBUS na:
http//: www.modbus.org.

Tento polynom umožňuje odhalit v zápisu dat s vyšším počtem bitů (např. v 16 bitovém zápisu) chyby s přesností lepší než 99,99 %.
Při použití RTU módu je 16 bitová hodnota CRC16 vyjádřena 2 bajty. Bajt s vyšší adresou CRC_Hi se přenáší jako první, následuje bajt s nižší adresou CRC_Lo.
Pole CRC je připojeno ke zprávě jako poslední pole.

Kontrola znaku i kontrola zprávy se generují v jednotce master i slave a aplikují se na zprávu před přenosem.
Podřízená stanice kontroluje každý znak a celou zprávu během příjmu.

Způsob přenosu podle specifikace MODBUS

- **Pořadí bajtů v 1 registru** (16 bit):
  Pro přenos dat v registru se používá tzv. **Big Endian**. Nejdříve se přenáší Hi bajt, následuje Lo bajt.
- **Pořadí registrů:**
  Delší datové zprávy (32 a 64 bitů) se přenáší jako po sobě jdoucí 16 bitové registry
  Pro pořadí registrů ve zprávě se při přenosu používá **Little Endian**. Od nejnižšího registru k vyššímu.

Přenos dat v registru 32 bit a 64 bit

32 bit

	Registr 16 bit		Registr 16 bit	
	reg_Lo (bit 15...0)		reg_Hi (bit 31...16)	
	Hi Bajt	Lo Bajt	Hi Bajt	Lo Bajt
Pořadí přenosu	1	2	3	4

64 bit

	Registr 16 bit		Registr 16 bit		Registr 16 bit		Registr 16 bit	
	reg_Lo (bit 15...0)		reg_Hi (bit 31...16)		reg_Lo (bit 47...32)		reg_Hi (bit 63...48)	
	Hi Bajt	Lo Bajt	Hi Bajt	Lo Bajt	Hi Bajt	Lo Bajt	Hi Bajt	Lo Bajt
Pořadí přenosu	1	2	3	4	5	6	7	8

5. ROZHRANÍ RS-485

Rozhraní standardu RS-485 je určeno k sériové komunikaci mezi více jednotkami v architektuře se sběrnicovou topologií sítě. Parametry rozhraní jsou definovány dokumenty TIA/EIA-485.
Linka je poloduplexní, v jednom okamžiku může vysílat pouze jedna strana komunikace. Zařízení na lince se ve vysílání střídají.
Nejjednodušší variantou je konfigurace s jedním trvale připnutým vysílačem (master) až 31 přijímači (slave).

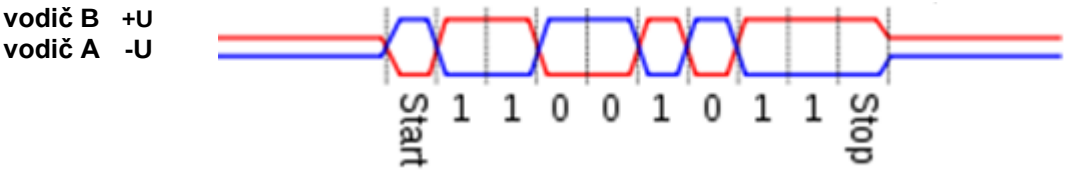
5.1. Logické úrovně

Logické úrovně jsou definovány dle doporučení MODBUS rozdílovým napětím mezi 2 vodiči, obvykle označovanými A a B.
V klidovém stavu je na vodiči A nižší napětí než na vodiči B. Detekce logického stavu založená na rozdílovém napětí mezi vodiči je výhodná zejména kvůli eliminaci rušivého signálu, který se zpravidla indukuje do obou vodičů ve stejné výši.

Rozhodovací úroveň
Logická 1: $U_B - U_A > 200$ mV
Logická 0: $U_B - U_A < -200$ mV

Maxiální délka sběrnice
Maximální délka linky RS-485 je závislá na komunikační rychlosti.
Při komunikačních rychlostech do 19 200 Bd se doporučuje nepoužívat vedení delší než 1200 m. Pro vyšší komunikační rychlosti se délka linky zkracuje.

Příklad přenosu čísla 203_D (CB_H … 11001011_B) bez parity.

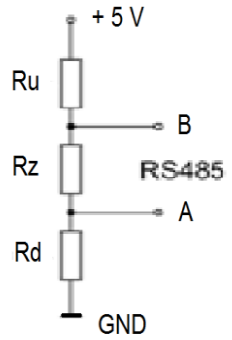


V klidovém stavu linky, kdy žádná stanice nevysílá, jsou obvody odpojeny a nachází se ve stavu vysoké impedance (log 1).
Nejprve je vysílán startbit (log 0), pak 8 bitů dat, bez parity, nakonec 1 stopbit (log1). Celkem 10 bitů.

Klidový stav	1
Startbit	0
Stopbit	1

5.2. Zakončení linky

Podle normy EIA/TIA RS-485 musí být konce vedení komunikační linky RS-485 impedančně přizpůsobeny, aby na sběrnici nedocházelo k odrazům. Proto musí být na koncových jednotkách zařazeny zakončovací rezistory s hodnotou blízkou charakteristické impedanci kabelu (typicky 120 Ω.
Pokud žádné zařízení na komunikační lince není aktivní, všechny obvody RS-485 jsou ve stavu vysoké impedance.
Případné rušení i s nízkou úrovní může způsobit, že v některém místě sběrnice indukované rušivé napětí mezi datovými vodiči může překročit rozhodovací mez a některá stanice zahájí nežádoucí příjem dat.
Z důvodů zajištění jednoznačného potenciálu na sběrnicích A a B v klidovém stavu se používá na sběrnici tzv. aktivní zakončovací člen (zakončovací odpor Rz je doplněn odporem Ru (Pull up) a Rd (Pull down). Zakončovací člen bývá často součásti převodníku RS-485/USB.
Aktivní zakončovací člen může být na komunikační lince instalován pouze 1x.

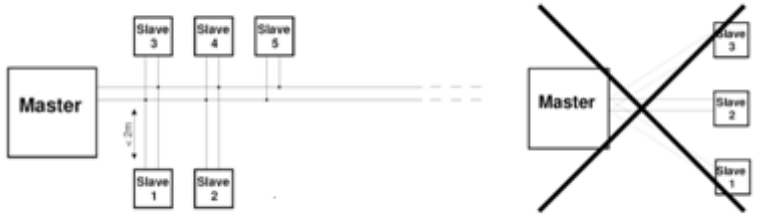


Ru, Rd … cca 390–820 Ω
Rz … cca 120 Ω

5.3. Topologie

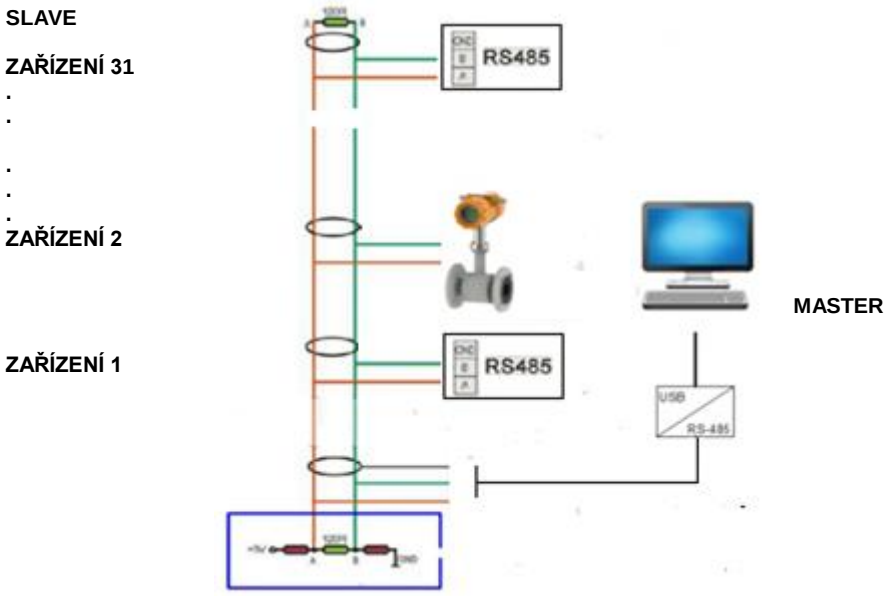
Komunikační sběrnice RS-485 musí mít liniovou strukturu se dvěma koncovými jednotkami.
Jednotky master/slave musí být připojeny k této linii ideálně bez odboček. Případné odbočky z hlavní linie nesmí být delší než 3 m. Každá odbočka smí vést jen k jedné jednotce. Jednotky připojené přes odbočky se nepovažují za koncové.
Nezáleží na tom, v kterém místě sběrnice je master připojen, zda je na konci nebo uprostřed linky.

V případě nutné delší odbočky od hlavní trasy komunikační linky lze odbočku realizovat dvojitým kabelem. Z odbočovacího bodu se vede kabel do master/slave a zpět k místu odbočení. Tím je dodržena liniová topologie sběrnice.



Správně Chybně

Způsob připojení jednotek master/slave k lince RS-485



5.4. Vyrovnání potenciálu

V praktických aplikacích s komunikací RS-485 může potenciál uzemnění v místech instalace jednotlivých zařízení master/slave kolísat a mohl by překročit povolené parametry použitých elektronických komunikačních obvodů.
Pro správnou funkci stanic na sběrnici RS-485 je nutné, aby existovalo kvalitní galvanické spojení mezi GND jednotlivých stanic master/slave. Spojení může být realizováno propojením GND stíněním komunikační linky nebo samostatným vodičem.Vedení sběrnice RS485 se doporučuje realizovat vždy stíněným kabelem. Stínění kabelu se připojuje na potenciál GND pouze v jednom místě a sice v zařízení master.

Doporučený kabel: stíněný kroucený pár, průřez 0,35 … 0,8 mm2 s impedancí blízkou 120 Ω. Ideální jsou speciální kabely navržené přímo pro linku RS-485.

Možné příčiny chyby při přenosu:

- Chybí zakončovací odpor
- Chybí aktivní zakončovací člen
- Opačná polarita vodičů A, B komunikační sběrnice
- Nastavena chybná přenosová rychlost
- Chybné nastavení stopbitu
- Master/slave nejsou nastaveny na stejný mód (RTU)
- Adresa jednotky slave je chybná

6. KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ RS-485 MODBUS RTU

Průtokoměry řady FLONET FH30xx a FLONEX FXx11x jsou vybaveny rozhraním RS-485 MODBUS RTU.
Prostřednictvím tohoto lze průtokoměr připojit k PC nebo jinému nadřazenému systému.

Technická data komunikačního rozhraní

Typ zařízení MODBUS:	Slave
Norma:	Modbus v 1.02, úroveň 7 referenčního ISO/OSI modelu
Protokol:	RS-485 MODBUS RTU podle ČSN EN/IEC 61158
Podporované funkce: MODBUS	01_H Read Coils 02_H Read Discrete Imputs 03_H Read Holding Registers 04_H Read Input Gegisters 05_H Write Single Coil 06_H Write Single Register 15_H Write Multiple Coils 16_H Write Multiple Registers
Rozsah adres slave:	1–247, výchozí nastavení 4
Počet stanic na lince:	max. 32
Fyzické rozhraní:	RS-485 podle EIA/TIA-485, galvanicky oddělené
Formát znaku	Startbit 1 bit Data 8 bit Bez parity Stopbit 1 bit
Rychlost přenosu:	1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600 Bd, výchozí nastavení 9600 Bd
Maximální délka sběrnice:	1200 m do vzdálenosti 19200 Bd
Režim komunikace master/slave	Unicast
Software master:	Počítač s Windows 7 a vyšší (Linux, iOS) s JAVA 8u40 a vyšší s implementovaným protokolem MODBUS RTU dle tohoto manuálu. Komunikační program FLOSET 4.0, Konfigurační soubor *.flo,
Připojení:	2 vodiče + GND

FH30xx/FXxxxx	Vodič sběrnice
1	A
2	B
PE	stínění

Polarita sběrnice:	A -, B +
Kabel	Typ A podle ČSN IEC 61158 – 2 (kroucený pár, stínění s krytím 90%)

7. MAPOVÁNÍ PROMĚNNÝCH DO ADRESNÍHO PROSTORU

Mapování proměnných do adresního prostoru MODBUS pro elektromagnetické průtokoměry FLONET FH30xx a FLONEX FXx11x je uvedeno v samostatném dokumentu Es 90693K.

8. DOKUMENTACE, NORMY A DOKLADY

Normy
ČSN EN/IEC 61158-2

Manuály

Es 90646K	Elektromagnetický průtokoměr FLONET FH30xx
Es 90666K	Ovládání elektromagnetických průtokoměrů FLONEX FXx11x a FLONET FH30xx
Es 90693K	Mapování proměnných do adresního prostoru MODBUS Elektromagnetické průtokoměry FLONET FH30xx a FLONEX FXx11x

Ronešová, A Přehled protokolu MODBUS

http://www.modbus.org.

Adresa výrobce:

ELIS PLZEŇ a. s.
Luční 425/15,
301 00 Plzeň
Česká republika
Tel.: +420/377 517 711
Fax: +420/377 517 722
e-mail: sales@elis.cz
http://www.elis.cz

Vydání č. X
Datum xx.xx.xxxx