



1. Általános leírás

1.1 Biztonsági figyelmeztetések

FIGYELEM, ÉLETVESZÉLY !

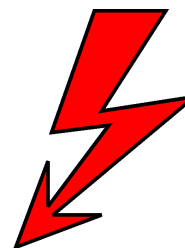
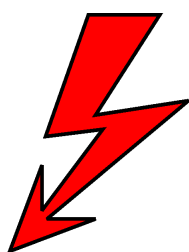
Hálózatra kapcsolt készülék fedelét eltávolítani TILOS és ÉLETVESZÉLYES!

A készülékben bizonyos nyomtatott áramköri kártyák galvanikusan össze vannak kapcsolva hálózati feszültséggel. Emiatt a készülék fedelét szigorúan csak feszültségmentes állapotban szabad eltávolítani!

A készülék telepítésekor a mérendő hálózatot szigorúan feszültségmentesíteni kell, a telepítést csak szakképzett végezheti!

A készülék csak illetéktelen személyek által nem hozzáférhető helyre telepíthető!

A telepített készülék kezelését csak feszültség alatti munkavégzésre kioktatott személy végezheti!



1.2 A készülék rendeltetése

A TITxxP készülékek kitesztelt hálózatokon áram- vagy feszültségjelek valódi effektív értékének mérésére, és a mért jelek analóg (áramgenerátor), és digitális (RS485) távadására alkalmasak.

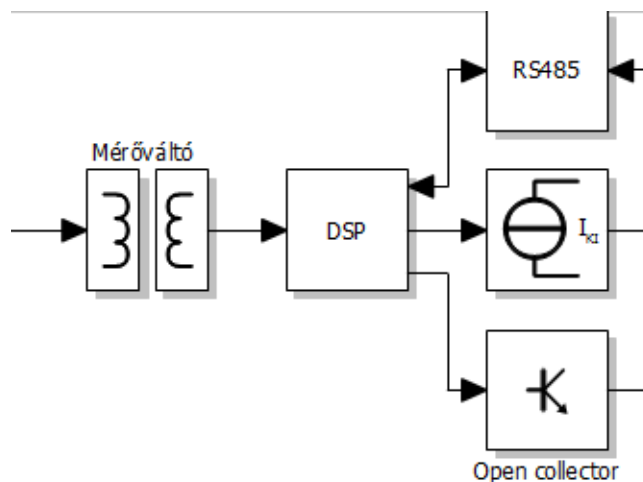
A készülék a mérendő jel és a készülék többi része között galvanikus leválasztást biztosít.

A készülékek rendelkezik egy open-collector kimenettel, mely határérték kapcsolóként működik.

2. Működési leírás

2.1 Hardver felépítés

A készülék hardver elvi felépítése az 2.1. ábrán látható. A következő pontokban az ábrán látható részegységek leírása található.



2.1. ábra: Hardver elvi felépítés

2.1.1 Mérőváltó

A mérőváltó feladata a mérendő jel átalakítása a mikrokontrolleres egységben található A/D átalakító részére. A mérőváltó típusa határozza meg, hogy a készülék milyen jelet, milyen méréshatárral méri. A következő típusok léteznek:

1. táblázat: TITxxP készülékekbe építhető mérőváltó típusok

Feszültségmérés	Árammérés
400V	1A/5A
230,94V	50A
200V	100A
115,47V	500A
100V	1000A
57,735V	

A fenti táblázatban az 1A/5A megjelölés egy olyan típusra utal, mellyel 1A és 5A névleges bemenő áram is mérhető. Ez az áramváltó egy megcsapolt primer tekercessel rendelkezik. Az

ilyen áramváltóval gyártott készülékeknek az áram bemenetein három villamos kapocs van: egy közös és egy-egy az 1A és 5A mérésére (pont). A helyes méréshez azonban a készülék paramétertáblájába be kell állítani, hogy aktuálisan melyik méréshatárban működik a készülék (pont).

Mérőváltó a jelátalakítás mellett 4kV átütési szilárdságú galvanikus leválasztást biztosít a mérendő hálózat és a készülék többi részegysége között.

Az 50A és annál nagyobb árammérések külső bővítőmodul használatával lehetségesek.

Az 100A és 1000A egységek csak akkor képesek helyesen mérni a jel effektív értékét, hogyha annak csúcstényezője 1,41 körüli.

FONTOS! A külső árammérők nem csatlakoztathatók a feszültséges vagy 1A/5A konstrukciókhoz.

2.1.2 DSP egység

A DSP egység fő elemei a DSP (*Digital Signal Processor*) vezérlő, EEPROM memória, és a ki-/bemeneteket kezelő analóg és digitális illesztő áramkörök. A készülék működtetését a DSP vezérlőn futó készülékszoftver végzi. A készülékszoftver logikai egységeinek leírása a pontban található.

2.1.3 Áramgenerátor

Az áramgenerátorok 0...24mA tartományban képesek áramot áthajtani maximum $R_T=500\Omega$ terhelésen.

Az áramgenerátor a készülék által mért mennyiséggel függvényében ad jelet. A kimenő karakterisztika lineáris, tetszőleges meredekség (>0), ofszet, alsó- és felső telítési szint beállítható. Így 0-20, 4-24... stb. kimeneti karakterisztikát is be lehet állítani. (Részletek a és a pontban olvashatóak.)

2.1.4 RS485 illesztő

A készülék szabványos RS485 vonalon ModBus protokoll szerint *slave* módú kommunikációra képes. Az RS485 vonalon készülék adattábla, mérési eredmény, a mérés, kommunikációs beállítások, áramgenerátor, digitális kimenet paraméterei olvashatóak ki és állíthatók be. A kommunikáció részletei **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** és **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** fejezetben találhatóak.

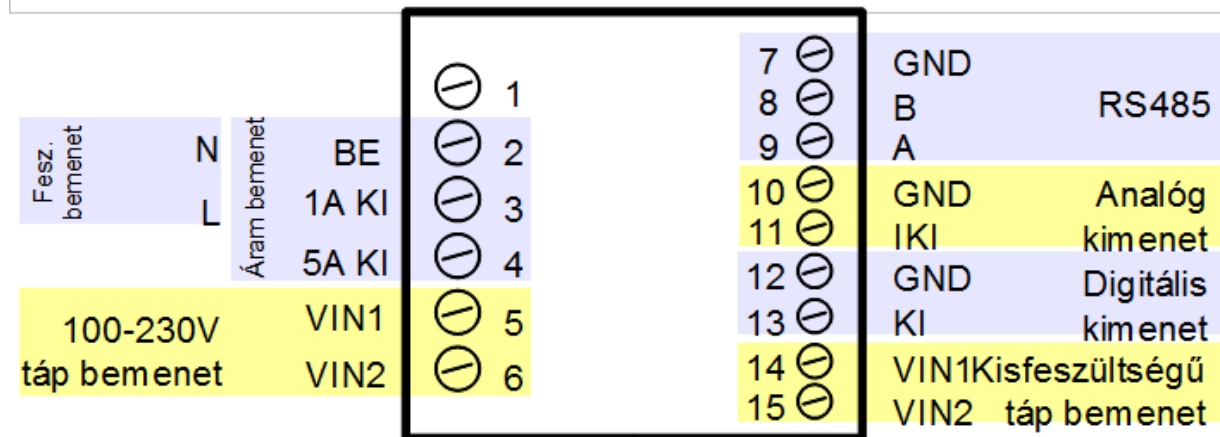
2.1.5 Igitális kimeneteit

A készülék egy open-collectoros digitális kimenettel rendelkezik, mely határérték kapcsolóként működik. A kimenet a készülék elektronikától galvanikusan el van választva (opto-csatoló).

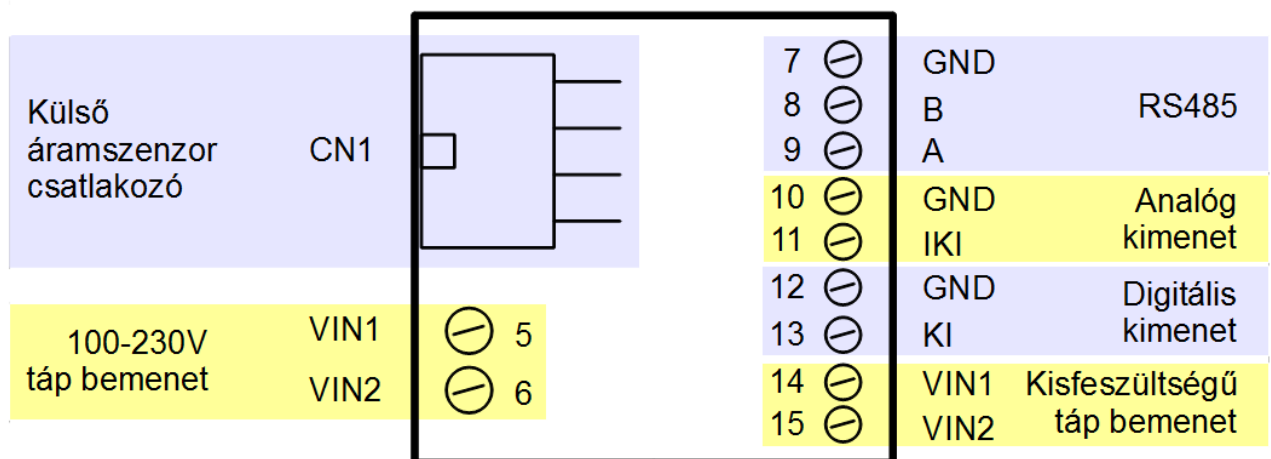
FIGYELEM! Ez az optocsatoló a készülék többi részétől csak olyan mértékű leválasztást biztosít ($U_{ISO}<500V$), hogy a több elemet tartalmazó rendszerekben a galvanikus csatolásból eredő zavarok (pl. földhurok) elkerülhetőek legyenek. Életvédelmi szigetelésnek NEM felel meg!

2.2 A készülék bekötése

készülék sorkapocs kiosztása a 2.2. illetve 2.3 ábrán látható. A kisfeszültségű és a 100V-230V tápbemenetek közül a a készülék típusától függően csak az egyik van kiépítve értelemszerűen. A külső áramszennorral ellátott készülékek esetén azt a CN1 jelölésű csatlakozóra kell csatlakoztatni.



22. ábra TITxxP2 sorkapocs kiosztás feszültség és direkt árammérő konstrukció esetén



3. ábra TITxxP2 sorkapocs kiosztás külső áramszennor esetén

2.3 Logikai felépítés

A DSP vezérlőn futó készülékszoftver feladata a mérések, adatregisztráció elvégzése, a digitális ki- és bemenetek kezelése, és a kommunikáció az RS485 vonalon. A szoftver logikai felépítése a 2.3. ábrán látható. A következő pontokban az ábrán látható logikai egységek elvi leírása olvasható. További részletek a ModBus regiszterek leírásánál a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található..** fejezetben találhatóak. Ez az alfejezet és a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található..** fejezet együttesen ad teljes információt az egyes egységek működéséről.

2.3.1 Paramétertábla

Amint a következő pontokban olvasható, az egyes logikai egységek többféle lehetséges beállítással működhetnek. Ezeket a beállításokat a különböző kalibrációs konstansokkal együtt a paramétertáblában tárolja a készülék. A paramétertábla adatai az EEPROM memóriában tárolódnak, így a készülék kikapcsolása után sem vesznek el. A paramétertáblában tárolt beállítások tételes felsorolása a ModBus regiszterek leírásánál a . pontban található.

2.3.2 Analóg bemenetek, kalibráció

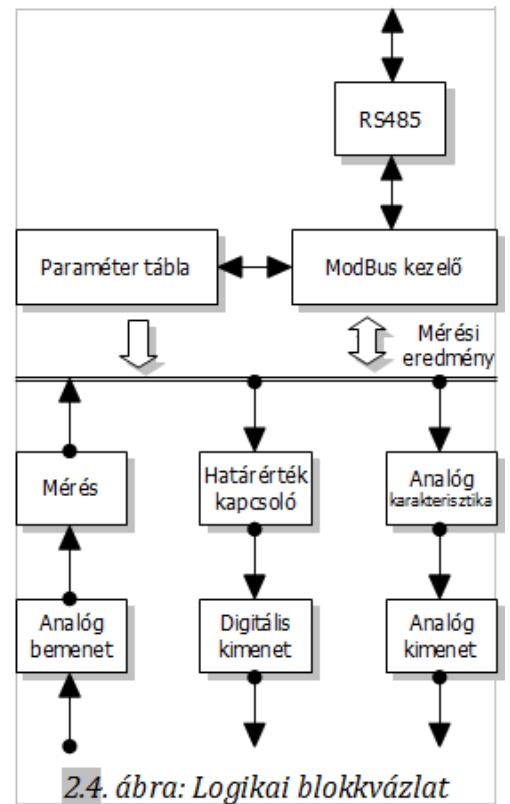
A készülék $F_S=12,8\text{kHz}$ frekvenciával mintavételezi a mérőváltó által szolgáltatott jelet. A hardverben található negyedfokú átlapolódás-gátló (anti-aliasing) szűrőt a szoftver egy digitális FIR szűrővel egészíti ki. Ezzel a szűrővel a bemenő mintákból egy $F_{SM}=3,2\text{kHz}$ mintavételi frekvenciájú jelsorozatot állít elő (decimálás). További leírás a mellékletben olvasható.

A bemenő mérőváltó áramköreinek és az AD átalakító áttételének állandó hibáját a paramétertáblába mentett kalibrációs szorzó kompenzálja. 1A/5A típusú készülékek esetén mind a két bemenethez tartozik egy-egy szorzó. A kalibrációs szorzók a gyártás-bemérés során kerülnek a készülékbe, a felhasználó azokat módosítani nem tudja. Az analóg bemenetet kezelő logikai blokk az AD átalakító mintáit ezekkel a kalibrációs értékekkel való szorzás után bocsátja a mérő modul rendelkezésére.

A nagy áramok méréséhez szükséges bővítmódulok kalibrációs konstansai szintén a beméréskor kerülnek a modulokba.

2.3.3 Mérés

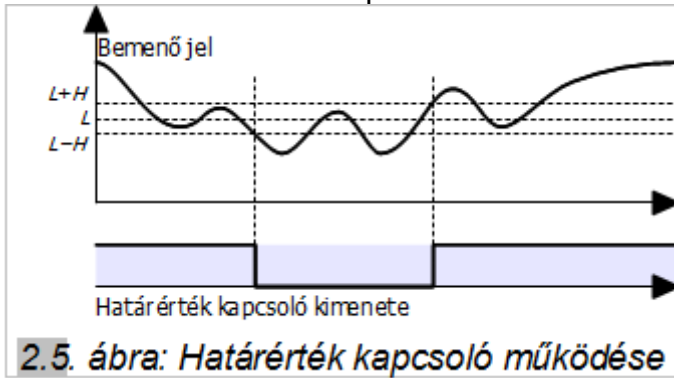
Az AD átalakítóból származó kalibrált mintákkal leírt jelalakokból a mérő modul $T_{MEAS}=20\text{ms}$ időközönként az utolsó kétperiódusnyi (40ms) mintákból kiszámítja az RMS értéket, az alapharmonikus RMS értékét, illetve a THD értéket. A mérő



modulhoz tartozik egy státuszszó, melyben a bemenet esetleges túlvezérlését jelzi a készülék.

2.3.4 Határérték kapcsoló

A határérték kapcsoló bemenete a mért RMS érték. Az L kapcsolási küszöb és a H hiszterézis a paramétertáblában beállítható (2.5 ábra).



2.3.5 Digitális kimenet

A digitális kimenet vezérelhető az RS485 vonalon, vagy a határérték kapcsolóval.

2.3.6 RS485 és ModBus vezérlő

A kommunikáció részletes leírása a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található..** és a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található..** fejezetben olvashatóak.

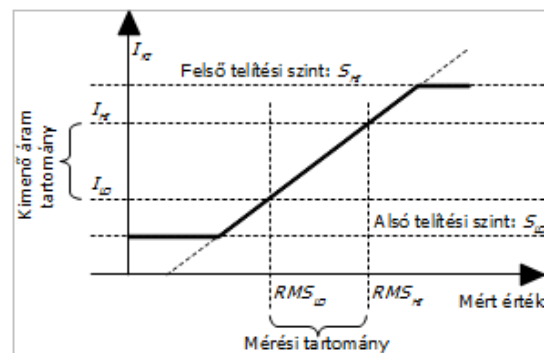
2.3.7 Analóg karakterisztika

Az analóg karakterisztika képző bemenete a mért RMS érték. A mért mennyiség és a kimenő áram közötti összerendelést az analóg karakterisztika képző végzi. Lineáris karakterisztika definiálható alsó és felső telítési szinttel (2.6 ábra).

Az ábrán látható értékek egyenként beállíthatóak a paramétertáblában, de van néhány előre beállított konfiguráció is.

2.3.8 Analóg kimenet

Az analóg kimenet vezérelhető az RS485 vonalon keresztül vagy a karakterisztika képző által meghatározott áram értéket adja ki a kimeneten. Az analóg áramkörök állandó hibáit $A \cdot x + B$ alakú kifejezéssel korrigálja (A és B kalibrációs konstansok).



2.4 Műszaki adatok

A megadott adatok $T=0...50^{\circ}\text{C}$ tartományban érvényesek

Paraméter	Min.	Tip.	Max.	Feltétel/megjegyzés
Tápellátás kisfeszültségű típus esetén				
▪ AC tápfeszültség [V]	70		265	
▪ DC tápfeszültség [V]	100		265	
▪ Áramfelvétel [mA] ▪ Teljesítményfelvétel [mW]		110 2,6		$U_{TAP}=24\text{VAC}$ Folyamatos RS485 kommunikáció $I_{KI}=0$ az analóg kimeneten
▪ Áramfelvétel [mA] ▪ Teljesítményfelvétel [mW]		120 2,9		$U_{TAP}=24\text{VAC}$ Folyamatos RS485 kommunikáció $I_{KI}=24\text{mA}$ az analóg kimeneten
Tápellátás 100...230V típus esetén				
▪ AC tápfeszültség [V]	70		265	EN61000-4-5 szerinti surge védelemmel ellátva
▪ DC tápfeszültség [V]	100		265	A DC táplálásnak induktív kapcsolási tranzienstől mentesnek kell lennie!
▪ Áramfelvétel [mA] ▪ Teljesítményfelvétel [mW]		20 2,2		$U_{TAP}=230\text{VAC}$ Folyamatos RS485 kommunikáció $I_{KI}=0$ az analóg kimeneten
▪ Áramfelvétel [mA] ▪ Teljesítményfelvétel [mW]		22 2,5		$U_{TAP}=230\text{VAC}$ Folyamatos RS485 kommunikáció $I_{KI}=24\text{mA}$ az analóg kimeneten
Feszültség bemenet				
▪ Feszültség	0		$1,2 \cdot U_N$	Lásd még pont
▪ Túlterhelhetőség			$2 \cdot U_N$	1 perc
▪ Terhelőáram [mA]		0,5		$U_{BE} = U_N$
▪ Jelalak		Periodikus		
▪ Frekvencia [Hz]	47,5		52,5	
Áram bemenet				
▪ Áram	0		$1,2 \cdot I_N$	Lásd még pont
▪ Túlterhelhetőség			$20 \cdot I_N$	
▪ Feszültség 1A bemeneten [mV]				
▪ Feszültség 5A bemeneten [mV]		15		$I_{BE} = 1\text{A}$, készülék bekapcsolva
▪ Jelalak		25		$I_{BE} = 5\text{A}$, készülék bekapcsolva
▪ Frekvencia [Hz]	47,5		52,5	

Paraméter	Min.	Tip.	Max.	Feltétel/megjegyzés
Mérési hiba (névleges értékre vonatkoztatva)				
▪ Feszültség [%]			0,1	0,005...1,2U _N
▪ Áram [%]			0,1	0,005..1,2U _N
▪ 1A/5A esetén			0,1	
▪ 50A/100A esetén			XXX	
▪ 500A/1000A esetén				
▪ Beállási idő [ms]			60	
▪ THD [%]		XXX		f = 50 Hz 0% ≤ THD ≤ XXX%
Leválasztás				
▪ Kimenetek és a többi részegység között [V _{RMS}]			4000	50Hz, 1 percig
▪ Tápegység és bemenetek között [V _{RMS}]			2500	
Analóg kimenet				
▪ Áram [mA]	0		24	
▪ Terhelő ellenállás [Ω]			500	
▪ Hiba [mA]			0,1	Mérési hiba nélkül
Digitális kimenet				
▪ Megengedhető feszültség [V]	-5		60	
▪ Kimenő áram [mA]			300	
Egyéb jellemzők				
▪ Méret [mm ³]	53x90x60			
▪ Védettség	IP20			
▪ Működési hőmérséklet [°C]	-20		50	
▪ Szabvány megfelelés	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EN61000-4-2 ▪ EN61000-4-4 ▪ EN61000-4-5 ▪ EN61000-4-6 ▪ IEC255-22-3 ▪ EN60255-5 			

3. Kommunikációs vonal

3.1 Soros vonal

A készülék RS485 aszinkron soros kommunikációs vonallal rendelkezik. A kommunikációs paraméterek:

- ◆ Paramétertáblában állítható kommunikációs sebesség:
 - 9,6 kbaud
 - 19,2 kbaud
 - 28,8 kbaud
 - 38,4 kbaud
 - 57,6 kbaud
 - 115,2 kbaud
- ◆ 8 adatbit
- ◆ 1 stopbit
- ◆ Páros paritás

3.2 Protokoll

3.2.1 Implementált parancsok

Kommunikációs protokollként a ModBus RTU szabvány Holding Regiszterek olvasása (0x03) és Holding regiszterek írása (0x10) parancsokat implementálja. A készülék slave üzemmódban működik. A címe 1...249 tartományban lehet (Paramétertáblában beállítható). A készülék 0x00 (broadcast) címre küldött táviratokat is végrehajtja, de ekkor választ nem küld.

A készülékekben implementált protokoll a következő pontokban tér el a szabványtól:

- ◆ Nincs hibátávirat. A következő esetekben a készülék nem válaszol:
 - CRC hibás táviratot kap
 - Ismeretlen parancskódot tartalmazó táviratot kap
 - Regiszter írás esetén a távirat hossza nem a „regiszterek száma” mezőnek megfelelő.
 - Ha nem létező regiszterre történik hivatkozás:
 - Regiszter olvasás esetén 0xFFFF-et ad vissza a készülék
 - Regiszter írás esetén nem történik semmi.
- ◆ 0x10 parancs esetén csak az írható/olvasható regiszterek íródnak felül, de nincs hibátávirat, ha csak olvasható regiszterre érkezik írás parancs.

Ha a kapott táviratban a regiszter kezdőcím és regiszterszám összege nagyobb, mint 65536, akkor az írás vagy olvasás művelet a 0. című regisztertől folytatódik a 65535. regiszter feldolgozása után. (pl. 65534 címtől kezdődően 4 regiszter olvasása esetén a

- ◆ választávirat a következő sorrendben a 65534, 65535, 0, 1 című regiszterek értékét fogja tartalmazni).
- ◆ Az RS485 vonalon történt bármilyen forgalom után 10ms várakozási időt be kell iktatni a készülék megszólítása előtt.
- ◆ A kapott távirat feldolgozása a beállított kommunikációs sebességtől függetlenül, az utolsó karakter beérkezése utáni 5 ms hosszú adásszünet után kezdődik.

- ♦ Az adás/vételi buffer mérete 37 bájt ezért az ennél hosszabb táviratokat nem kezel a készülék. Emiatt az egy táviratban kiolvasható regiszterek száma maximum 16, az írható regiszterek száma maximum 14.

3.2.2 Táviratok szerkezete

A táviratok szerkezete a következő:

3.2.2.1 Holding regiszterek olvasása

Paraméterként megadott A kezdőcímtől N db holding regiszter aktuális értékét adja vissza.

Kérés:

0	1	2	3	4	5	6	7
Készülék cím	Parancskód: 0x03	Első regiszter címe, MSB(A)	Első regiszter címe, LSB(A)	Regiszterek száma, MSB(N)	Regiszterek száma, LSB(N)	CRC MSB	CRC LCB

Válasz:

0	1	2	3... $2 \cdot N + 2$	$2 \cdot N + 3$	$2 \cdot N + 4$
Készülék cím	Parancskód: 0x03	Paraméter bájtok száma ($=2 \cdot N$)	A kért regiszterek aktuális tartalma MSB,LSB sorrendben	CRC MSB	CRC LCB

3.2.2.2 /Holding regiszterek írása

A paraméterként megadott A kezdőcímtől kezdődően N db holding regiszter értékét felülírja (csak az írható-olvasható regiszterek tartalma változik).

Kérés:

0	1	2	3	4	5	6
Készülék cím	Parancskód: 0x10	Első regiszter címe, MSB(A)	Első regiszter címe, LSB(A)	Regiszterek száma, MSB(N)	Regiszterek száma, LSB(N)	Paraméter bájtok száma ($=2 \cdot N$)
7... $2 \cdot N + 6$		$2 \cdot N + 7$	$2 \cdot N + 8$			
A regiszterek új tartalma MSB,LSB sorrendben		CRC MSB	CRC LCB			

Válasz:

0	1	2	3	4	5	6	7
Készülék cím	Parancskód: 0x10	Első regiszter címe, MSB(A)	Első regiszter címe, LSB(A)	Regiszterek száma, MSB(N)	Regiszterek száma, LSB(N)	CRC MSB	CRC LCB

3.2.2.3 CRC számítása (C nyelvű példa kód)

```
/*=====*/  
  
const unsigned char CRChi[256] =  
{  
    0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1  
,0x81,0x40,  
    0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0  
,0x80,0x41,  
    0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0  
,0x80,0x41,  
    0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1  
,0x81,0x40,  
    0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0  
,0x80,0x41,  
    0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1  
,0x81,0x40,  
    0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1  
,0x81,0x40,  
    0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0  
,0x80,0x41,  
    0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0  
,0x80,0x41,  
    0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1  
,0x81,0x40,  
    0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1  
,0x81,0x40,  
    0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0  
,0x80,0x41,  
    0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0  
,0x80,0x41,  
    0x00,0xC1,0x81,0x40,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x01,0xC0,0x80,0x41,0x00,0xC1  
,0x81,0x40  
};  
  
/*-----*/  
  
const unsigned char CRClo[256] =  
{  
    0x00,0xC0,0xC1,0x01,0xC3,0x03,0x02,0xC2,0xC6,0x06,0x07,0xC7,0x05,0xC5  
,0xC4,0x04,  

```

```
    0xCC, 0x0C, 0x0D, 0xCD, 0x0F, 0xCF, 0xCE, 0x0E, 0x0A, 0xCA, 0xCB, 0x0B, 0xC9, 0x09
, 0x08, 0xC8,
    0xD8, 0x18, 0x19, 0xD9, 0x1B, 0xDB, 0xDA, 0x1A, 0x1E, 0xDE, 0xDF, 0x1F, 0xDD, 0x1D
, 0x1C, 0xDC,
    0x14, 0xD4, 0xD5, 0x15, 0xD7, 0x17, 0x16, 0xD6, 0xD2, 0x12, 0x13, 0xD3, 0x11, 0xD1
, 0xD0, 0x10,
    0xF0, 0x30, 0x31, 0xF1, 0x33, 0xF3, 0xF2, 0x32, 0x36, 0xF6, 0xF7, 0x37, 0xF5, 0x35
, 0x34, 0xF4,
    0x3C, 0xFC, 0xFD, 0x3D, 0xFF, 0x3F, 0x3E, 0xFE, 0xFA, 0x3A, 0x3B, 0xFB, 0x39, 0xF9
, 0xF8, 0x38,
    0x28, 0xE8, 0xE9, 0x29, 0xEB, 0x2B, 0x2A, 0xEA, 0xEE, 0x2E, 0x2F, 0xEF, 0x2D, 0xED
, 0xEC, 0x2C,
    0xE4, 0x24, 0x25, 0xE5, 0x27, 0xE7, 0xE6, 0x26, 0x22, 0xE2, 0xE3, 0x23, 0xE1, 0x21
, 0x20, 0xE0,
    0xA0, 0x60, 0x61, 0xA1, 0x63, 0xA3, 0xA2, 0x62, 0x66, 0xA6, 0xA7, 0x67, 0xA5, 0x65
, 0x64, 0xA4,
    0x6C, 0xAC, 0xAD, 0x6D, 0xAF, 0x6F, 0x6E, 0xAE, 0xAA, 0x6A, 0x6B, 0xAB, 0x69, 0xA9
, 0xA8, 0x68,
    0x78, 0xB8, 0xB9, 0x79, 0xBB, 0x7B, 0x7A, 0xBA, 0xBE, 0x7E, 0x7F, 0xBF, 0x7D, 0xBD
, 0xBC, 0x7C,
    0xB4, 0x74, 0x75, 0xB5, 0x77, 0xB7, 0xB6, 0x76, 0x72, 0xB2, 0xB3, 0x73, 0xB1, 0x71
, 0x70, 0xB0,
    0x50, 0x90, 0x91, 0x51, 0x93, 0x53, 0x52, 0x92, 0x96, 0x56, 0x57, 0x97, 0x55, 0x95
, 0x94, 0x54,
    0x9C, 0x5C, 0x5D, 0x9D, 0x5F, 0x9F, 0x9E, 0x5E, 0x5A, 0x9A, 0x9B, 0x5B, 0x99, 0x59
, 0x58, 0x98,
    0x88, 0x48, 0x49, 0x89, 0x4B, 0x8B, 0x8A, 0x4A, 0x4E, 0x8E, 0x8F, 0x4F, 0x8D, 0x4D
, 0x4C, 0x8C,
    0x44, 0x84, 0x85, 0x45, 0x87, 0x47, 0x46, 0x86, 0x82, 0x42, 0x43, 0x83, 0x41, 0x81
, 0x80, 0x40
};

/*=====*/

void CRC16(void *Buff, int Len, unsigned char *HI, unsigned char *LO, int
Init)
{
    int i;
    unsigned char index;

    if ( Init )
    {
        *HI = 0xFF;
        *LO = 0xFF;
    };
    for ( i = 0; i < Len; i++ )
```

```
{
    index = *HI ^ ((unsigned char *)Buff)[i];
    *HI = *LO ^ CRChi[index];
    *LO = CRClo[index];
};
};

/*=====*/ModBus,
```

4. ModBus, Holding regiszterek

Ebben a fejezetben a készülék ModBus regisztereinek a listája található. A készülék egyes részegységeinek működéséről a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található..** fejezet ad áttekintő információt. Ez a fejezet és a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található..** fejezet együttesen ad teljes információt.

A táblázatok első oszlopában a regisztercím mellet található (R) jelölés arra utal, hogy a regiszter csak olvasható, az (RW) megjelölés jelentése írható-olvasható.

A regiszterből kiolvasható adatok típusa 16 bites előjel nélküli egész, kivéve abban az esetben, ha eltérő típus van megjelölve. A két regisztert elfoglaló 32 bites típusok (32 bites *integer* és 32 bites *IEEE float*) mindig úgy értelmezendők, hogy az alacsonyabb című regiszter tartalmazza az alsó 16 bites szót (*Least Significant Word*).

4.1 Elektronikus adattábla

Cím/típus	Név	Tartalom
0x0000 (R)	Hardver típus	<ul style="list-style-type: none"> 15...8 bit: Készülék típus 0x0B: TITxxP 2
		<ul style="list-style-type: none"> 7...4 bit: Kimenet típusa ANA_OUT_A: áramkimenet ANA_OUT_V: feszültségkimenet
		<ul style="list-style-type: none"> 3-0 bit: Bemenet típusa: 0x3: 100V/$\sqrt{3}$ 0x4: 100V 0x5: 200V/$\sqrt{3}$ 0x6: 400V/$\sqrt{3}$ 0x7: 400V 0x8: 200V 0xA: 1A/5A 0xB: Nagyáramú bővítőmodul 0xC: Nagyáramú bővítőmodul EEPROM nélkül
0x0001 (R)	Hardver verzió	<ul style="list-style-type: none"> MS bájt: Fő verzió (BCD) LS bájt: Mellék verzió (BCD)
0x0002 (R)	Nem használt	
0x0003 (R)	Szoftver verzió	<ul style="list-style-type: none"> MS bájt: Fő verzió (BCD) LS bájt: Mellék verzió (BCD)
0x0004 (R)	Nem használt	
0x0005... 0x000F (R)	Gyári szám	22 bájt, 0-terminal sztring. A regiszterek LS bájtja tartalmazza a kisebb sorszámú karaktert.

4.2 Mért RMS értékek

Cím/típus	Név	Tartalom
0x0010 (R)	Mérés névleges érték: <i>NOM</i>	32 bites IEEE float érték
0x0011 (R)		A készüléktípustól és a paramétertáblában beállított váltótól függő érték
0x0012 (R)	Mért érték: <i>RMS</i>	32 bites IEEE float érték
0x0013 (R)		Értelemszerűen: <ul style="list-style-type: none"> Árammérő TIT esetén [A] Feszültségmérő TIT esetén [V]
0x0014 (R)	THD érték: <i>RMS</i>	32 bites IEEE float érték
0x0015 (R)		A mért jel teljes harmonikus torzításának (Total Harmonic Distortion) az értékét tartalmazza százalékban megadva

0x0016 (R)	Alapharmonikus érték: <i>RMS</i>	32 bites float érték A mért jel alapharmonikusának effektív értékét tartalmazza Értelemszerűen: <ul style="list-style-type: none"> Árammérő TIT esetén [A] Feszültségmérő TIT esetén [V]
0x0017 (R)		

4.3 Készülék állapotjelző és hibaregiszter

Cím/típus	Név	Tartalom
0x0020 (R)	Készülék állapotregiszter	<ul style="list-style-type: none"> 0. bit: Bemenet túlvezérlés 1...31: bit: Nem használt
0x0021 (R)		
0x0022 (R)	Hibaregiszter	<ul style="list-style-type: none"> 0. bit: A készülék adatlap olvasásakor CRC hiba történt 1. bit: A paramétertábla olvasásakor CRC hiba történt 2. bit: WatchDog működés történt. 3. bit: Processzor túlterhelés következtében a szoftver a vezérlési feladatok egy részét nem tudta a megadott időszíleten belül elvégezni. 4. bit: Processzor túlterhelés következtében a szoftver az AD átalakító ből származó minták egy részét nem tudta feldolgozni, adatvesztés történt 5. bit: EEPROM memória hiba. 6. bit: DA hiba 7. bit: I2C busz hiba 8. bit: Váltó áttétel hiba (hibás paraméter lásd: pont) 9. bit: Határérték kapcsoló hiba (hibás paraméterek, lásd:) 10. bit: Analóg kimeneti karakterisztika hiba (hibás paraméterek, lásd: pont) 11. bit: Kalibrációs érték hiba (hibás paraméterek, lásd: pont) 12. bit: Bővítőmodul EEPROM hiba 13. bit: Bővítőmodul kalibrációs érték hiba 14...31. bit: Nem használt
0x0023 (R)		

4.4 Kimenet vezérlő regiszterek

Cím/típus	Név	Tartalom
0x0030 (RW)	Analog kimenet értéke [mA/V]	32 bites IEEE float érték Az analog kimeneten megjelenő áram/feszültség értéke. Amennyiben az analog kimenet jelforrása nem C_NONE (lásd:) az analog kimenet vezérlő folyamatosan frissíti ezt a regisztert, ezért az írása hatástalan. Ha a jelforrás C_NONE, akkor ezen regiszter írásával lehet vezérelni az analog kimenetet.
0x0031 (RW)		
0x0032 (RW)	Open collector kimenet állapota	Kimenet állapota: <ul style="list-style-type: none"> 0x0000: Kimenet lezárva 0x0001: Kimenet nyitva Amennyiben a digitális kimenet jelforrása nem C_NONE (lásd: Hiba! A hivatkozási forrás nem található.) a digitális kimenet vezérlő folyamatosan frissíti ezt a regisztert, ezért az írása hatástalan. Ha a jelforrás C_NONE, akkor ezen regiszter írásával lehet vezérelni a digitális kimenetet.

4.5 Reset regiszter

Cím/típus	Név	Tartalom
0x0038 (RW)	Reset regiszter	Lehetséges parancsok: <ul style="list-style-type: none"> 0x0001: Készülék újraindítása

4.6 Paramétertábla

A készülék induláskor az EEPROM memóriából a RAM-ba tölti a paramétertáblát. Betöltéskor CRC ellenőrzést végez. Hiba esetén alapértelmezett értékre állítja az összes paramétert. A paramétertábla adatregisztereken keresztül a RAM-ba töltött értékek érhetőek el. Az adatok EEPROM-ba mentése a paramétertábla-parancsregiszterbe írt megfelelő paranccsal történik. Az adatregiszterek írása után a változtatás azonnal aktualizálódik. Kivételt képeznek ez alól a kommunikációs beállítások, melyek csak a készülék újraindítása után változnak meg.

4.6.1 Külső modul paramétertáblája

Cím/típus	Név	Tartalom
0x0040(R)	Külső bővítőmodul típusa	16 bites érték <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0000: Nincs külső modul csatlakoztatva, illetve nincs beállítva a szenzor névleges árama ▪ 0x0002: 50A-es modul van csatlakoztatva ▪ 0x0003: 100A-es modul csatlakoztatva ▪ 0x0004: 500A-es modul csatlakoztatva(még fejlesztés alatt) ▪ 0x0005: 1000A-es modul csatlakoztatva(még fejlesztés alatt)
0x0041(R)	A bővítőmodul kalibrációs értéke	32 bites lebegőpontos érték
0x0042(R)		

A bővítőmodul típusát EEPROM-os szenzor esetén a szenzor tartalmazza, azonban ha EEPROM nélküli szenzorral van szerelve a készülék, akkor a szenzorhoz tartozó paramétertáblát a készülék belső EEPROM-ja tárolja. Ennek a kezelése teljesen megegyező a külső EEPROM-mal rendelkezőével (Ugyanúgy a 0x1414 paranccsal lehet írni). A szoftver a készüléktípusnak megfelelően választja ki a mentés helyét. A belső EEPROM-ból azonban az adattáblához hasonlóan csak induláskor történik kiolvasás.

4.6.2 Paramétertábla-parancsregiszter

Cím/típus	Név	Tartalom
0x0060 (RW)	Paramétertábla-parancsregiszter	Értéke 0x0000 vagy 0xFFFF ha a paramétertábla parancs fogadására kész. Az alábbi parancsok végrehajtása után a regiszter értéke 0x0000 lesz. Érvénytelen parancskód esetén értéke 0xFFFF , ami a parancsvégrehajtás elutasítását jelenti. A parancskódok: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0001: Paraméterek mentése az EEPROM memóriába ▪ 0x0313: Írásvédettség tiltása. A parancs kiadása után a csak olvashatóknak megjelölt regiszterek is írhatóakká válnak. Így módosíthatóvá válnak a kalibrációs adatok és a készülék adatlap

		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0909: Írásvédettség engedélyezése. A parancs kiadása után a csak olvashatóknak megjelölt regiszterek ismét csak olvashatóvá válnak. ▪ 0x1212: Készülék adatlap mentése az EEPROM memóriába ▪ 0x1414: A szenzor modul paramétertáblájának mentése belső vagy külső EEPROM memóriába
--	--	---

4.6.3 Paramétertábla adatregiszterek

4.6.3.1 Kommunikációs beállítások

Cím/típus	Név	Tartalom
0x0070 (RW)	ModBus cím és kommunikációs sebesség	<ul style="list-style-type: none"> ▪ MS bájt: Baudrate <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x01: 9 600 ▪ 0x02: 19 200 ▪ 0x03: 28 800 ▪ 0x04: 38 400 ▪ 0x06: 57 600 ▪ 0x0C: 115 200 Alapértelmezett érték: 38 400
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ LS bájt: ModBus cím <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1...249 Alapértelmezett érték: 16

Cím/típus	Név	Tartalom
0x0098 (RW)	UART Timeout (ms)	16 bites érték Az UART kommunikáció timeout paraméterét tartalmazza, az értékét ms-ban kell megadni.
0x0099 (RW)	UART beállítások	16 bites regiszter: <ul style="list-style-type: none"> • 0x0000: 8 bit, nincs paritásbit, 1 stop bit • 0x0001: 2 stop bit • 0x0002: páros paritás • 0x0004: páratlan paritás • 0x0006: 9 bit, nincs paritás

A kommunikációs paraméterek aktualizálásához el kell menteni a paramétertáblát az EEPROM memóriába, majd újra kell indítani a készüléket.

Ha a készülék aktuális kommunikációs beállításai ismeretlenek, azaz nem lehet kommunikálni vele, akkor a készülék fedelének eltávolítása után a processzoros kártyán található J2 csatlakozót rövidre kell zárni, majd a készüléket újra kell indítani. Ennek hatására a készülék újraindul alapértelmezett kommunikációs paraméterekkel (paramétertábla ezután is az aktuális beállításokat tartalmazza).

4.6.3.2 Mérés beállításai

Cím/típus	Név	Tartalom
0x0071 (RW)	Váltó áttétele	32 bites IEEE float érték
0x0072 (RW)		Ha az értéke nem értelmezhető valós szám (NaN, inf... stb.) vagy nem esik a $10^{-3} \dots 10^9$ tartományba, akkor a hibaregiszter áttétel hibát jelez, és 1.0 értékkel számol a készülék. Értelemszerűen: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Árammérő TIT esetén [A/A] ▪ Feszültségmérő TIT esetén [V/V]
0x0073 (RW)	Árammérés mód kiválasztás	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0x0000: 1A mód ▪ 0x0001: 5A mód

4.6.3.3 Határérték kapcsoló beállításai

Cím/típus	Név	Tartalom
0x0074 (RW)	Mód	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 15 bit: Invertálás ▪ 0x0: Nem invertált ▪ 0x1: Invertált
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 14...8 bit: Nem használt
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 7...0 bit: Forrásjel ▪ C_NONE: kikapcsolva ▪ C_MS_RMS: RMS érték (konstansokat lásd: Hiba! A hivatkozási forrás nem található.pontban)
0x0075(RW)	Határérték L [%]	<p>32 bites float értékek A névleges érték (váltóáttétellel együtt) százalékában megadva. A következő feltételeknek teljesülnie kell, különben a hibaregiszter (pont) hibát jelez és a határérték kapcsoló nem működik</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mindkettő értelmezhető valós szám (egyik sem NaN, inf... stb.) ▪ $0 \leq L \leq 200$ ▪ $0 \leq H \leq 10$

4.6.3.4 Digitális kimenet beállításai

Cím/típus	Név	Tartalom
0x0079 (RW)	Digitális kimenet beállítások	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 15...4 bit: Nem használt
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 3..0 bit: Forrásjel ▪ C_NONE: Nincs forrás, a kimenet a parancsregiszteren (pont) keresztül vezérelhető ▪ C_DS_LIMITER: Határérték-kapcsoló (konstansokat lásd: Hiba! A hivatkozási forrás nem található.pontban)

4.6.3.5 Analóg karakterisztika beállításai

Cím/típus	Név	Tartalom	
0x007A(RW)	Mód	<ul style="list-style-type: none"> 15...12 bit: Forrásjel 	<ul style="list-style-type: none"> C_NONE: kikapcsolva C_MS_RMS: RMS érték (konstansokat lásd: Hiba! A hivatkozási forrás nem található. pontban)
		<ul style="list-style-type: none"> 11...8 bit: Kimenő jeltartomány 	<ul style="list-style-type: none"> 0x0: 0...5mA 0x1: 0...20mA 0x2: 4...20mA 0x3: 0..10V 0xF: 0x007F...0x0086 regiszterekben megadott tartomány Áramkimenet esetén mA, feszültségkimenet esetén pedig V mértékegységben kell megadni a paramétereket
		<ul style="list-style-type: none"> 7...4 bit: Mért érték tartomány 	<ul style="list-style-type: none"> 0x0: 0...RMS_{NOM} 0x1: 0...1,2·RMS_{NOM} 0xF: A 0x007B...0x007E regiszterben megadott érték
		<ul style="list-style-type: none"> Nem használt 	
0x007B (RW)	Mért érték alsó határa RMS_{LO} [%]	32 bites float értékek A névleges érték (váltóáttétellel együtt) százalékában megadva. Értéküket a készülék csak abban az esetben veszi figyelembe, ha a <i>Mód regiszter</i> 4...7 bitjeinek értéke 0xF. A következő feltételeknek teljesülnie kell, különben a hibaregiszter (pont) hibát jelez és a analóg karakterisztika nem működik <ul style="list-style-type: none"> Mindkettő értelmezhető valós szám (egyik sem NaN, inf... stb.) $0 \leq RMS_{LO} < 200$ $0 < RMS_{HI} < 200$ $RMS_{LO} + 0.1 \leq RMS_{HI}$ 	
0x007C (RW)			
0x007D (RW)	Mért érték felső határa RMS_{HI} [%]		
0x007E (RW)			
0x007F (RW)	Kimenő áram/feszültség a megadott tartomány alsó határán V_{LO} [mA/V]	32 bites float értékek Értéküket a készülék csak abban az esetben veszi figyelembe, ha a <i>Mód regiszter</i> 8...11 bitjeinek értéke 0xF. A következő feltételeknek teljesülnie kell, különben a hibaregiszter hibát jelez és a analóg karakterisztika nem működik <ul style="list-style-type: none"> Mindegyik értelmezhető valós szám (egyik sem NaN, inf... stb.) Kimeneti típustól függően a következő táblázatban felsoroltaknak 	
0x0080 (RW)			
0x0081 (RW)	Kimenő áram/feszültség a megadott tartomány felső határán V_{HI} [mA/V]	Áramkimenet esetén	Feszültségkimenet esetén
0x0082 (RW)		$0\text{mA} \leq I_{LO}$ és $I_{HI} \leq 24\text{mA}$	$0\text{V} \leq V_{LO}$ és $V_{HI} \leq 12\text{V}$
0x0083 (RW)	Minimális kimenő áram/feszültség S_{LO} [mA/V]	$I_{LO} + 1\text{mA} \leq I_{HI}$	$V_{LO} + 1\text{V} \leq V_{HI}$
0x0084 (RW)		$0\text{mA} \leq S_{LO}$ és $S_{HI} \leq 24\text{mA}$	$0\text{V} \leq S_{LO}$ és $S_{HI} \leq 12\text{V}$
0x0085 (RW)	Maximális kimenő áram/feszültség S_{HI} [mA/V]	$S_{LO} + 1\text{mA} \leq S_{HI}$	$S_{LO} + 1\text{V} \leq S_{HI}$

A kimenő áram a fenti értékekből (*RMS*: a mért jel a névleges érték százalékában):

$$I_{LIN} = \frac{RMS - RMS_{LO}}{RMS_{HI} - RMS_{LO}} \cdot I_{HI} - I_{LO} \cdot I_{LO}$$

$$I_{KI} = \begin{cases} S_{LO} & \text{ha } I_{LIN} \leq S_{LO} \\ S_{HI} & \text{ha } S_{HI} \leq I_{LIN} \\ I_{LIN} & \text{egyébként} \end{cases}$$

1. kifejezés

4.6.3.6 Analóg kimenet beállításai

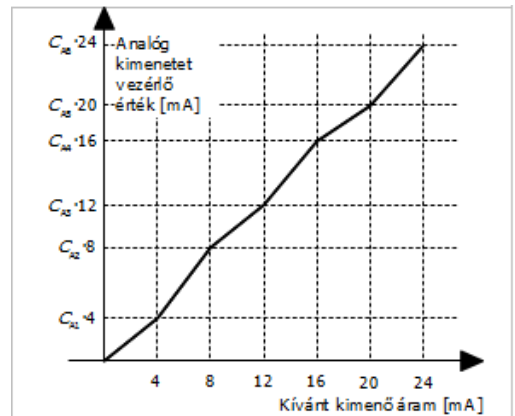
Cím/típus	Név	Tartalom
0x0087 (RW)	Analóg kimenet beállítások	<ul style="list-style-type: none"> 15...4 bit: Nem használt 3...0 bit: Forrásjel
		<ul style="list-style-type: none"> C_NONE: Nincs forrás, a kimenet a parancsregiszteren (pont) keresztül vezérelhető C_AS_ANA_CHAR: Analóg karakterisztika (konstansokat lásd: Hiba! A hivatkozási forrás nem található. pontban)

4.6.3.7 Kalibrációs értékek

Cím/típus	Név	Tartalom
0x0088 (R)	Feszültségmérés és 1A bemenet kalibrációs szorzó	32 bites float érték A szorzó értékeknek 0,5 és 1,5 között kell lenniük, különben a készülék nem végez kalibrációt és a hibaregiszter (pont) megfelelő bitje 1 lesz.
0x0089 (R)		
0x008A (R)	5A bemenet kalibrációs szorzó	
0x008B (R)		
0x008C (R)	Analóg kimenet szorzó C_{A5}	32 bites float érték A szorzó értékeknek 0,5 és 1,5 között kell lenniük, különben a készülék nem végez kalibrációt és a hibaregiszter (pont) megfelelő bitje 1 lesz.
0x008D (R)		
0x008E (R)	Analóg kimenet szorzó C_{A7}	További információt lásd a szövegben
0x008F (R)		
0x0090 (R)	Analóg kimenet szorzó C_{A8}	4-24A kalibrációs konstansok
0x0091 (R)		
0x0092 (R)	Analóg kimenet szorzó C_{A9}	
0x0093 (R)		
0x0094 (R)	Analóg kimenet szorzó C_{A10}	
0x0095 (R)		
0x0096 (R)	Analóg kimenet szorzó C_{A11}	
0x0097 (R)		
0x009A(R)	Analóg ofszetkompenzációs érték C_{A1}	32 bites float érték, mA-ben tartalmazza a kimeneti karakterisztika azon értékét, ahol az elkezdi lineárisan emelkedni
0x009C(R)	Analóg kimenet szorzó C_{A2}	32 bites float érték A szorzó értékeknek 0,5 és 1,5 között kell lenniük, különben a készülék nem végez kalibrációt és a hibaregiszter (pont) megfelelő bitje 1 lesz.
0x009D(R)		
0x009E(R)	Analóg kimenet szorzó C_{A3}	További információt lásd a szövegben
0x009F(R)		
0x00A0(R)	Analóg kimenet szorzó C_{A4}	Alsó tartománybeli(1-5A) kalibrációs konstansok (kivéve 4A)
0x00A1(R)		
0x00A2(R)	Analóg kimenet szorzó C_{A6}	

0x00A3(R)		
-----------	--	--

Az analóg kimenet kalibrációja a 4.1 ábrán látható módon törtvonalas inverz karakterisztikával történik. A kalibrációs táblázatban az ábrán látható tizenegy pont közül tíz ponthoz (1, 2, 3, 4, 5, 8, 12, 16, 20 és 24mA) tartozó szorzó található. Ezeken a pontokon a DA átalakító regiszterébe kerülő érték a $C_{AX} \cdot I_{KI}$ (I_{KI} a kívánt kimenő áram, C_{AX} a ponthoz tartozó kalibrációs konstans) Köztes pontokon lineáris interpoláció történik. A 0-s ponthoz egy ofszetkompenzációs érték tartozik.



4.1. ábra: Analóg kimenet kalibrációja

A kalibrációs konstansok meghatározásához először az összes értéket $C_{AX}=1.0$ -ra állítani, majd a kimenetekre $I_{TEST_X}=1, 2, 3, \dots, 24$ mA áramot kell kényszeríteni (lásd: pont). Minden pontban meg kell mérni a tényleges áramot (I_{MEAS_X}). Ezekből a kalibrációs konstansokat a következőképpen kell számolni: $C_{AX} = I_{TEST_X} / I_{MEAS_X}$. Így a tesztpontokon a hiba 0,05% alatt, köztes pontokon 0,2% alatt marad azon a hőmérsékleten, melyen a kalibráció történt.

A 0-s pont kalibrációja 0,1 mA áram mellett történik. A kimenetre ezen értéket kényszerítve, mérni kell az áramot, majd az ofszetértéket addig kell növelni/csökkenteni, míg a kívánt érték megegyezik a mért értékkel. Így a 0,1 mA-en 4-5%, 0,1-1mA között pedig 3% alá lehet csökkenteni a hibát. Ezek a hibák már a DA felbontásából következnek.

4.6.4 Paramétertábla konstansok

Konstans	Érték	Megjegyzés
Általánosan használt konstansok		
▪ C_NONE	0x0000	
Mérések		
▪ C_MS_RMS	0x0001	
Analóg jelforrások		
▪ C_AS_ANA_CHAR	0x0001	
Digitális jelforrások		
▪ C_DS_LIMITER	0x0001	
Analóg kimenet típusa		
▪ ANA_OUT_A	0x0000	
▪ ANA_OUT_V	0x0001	

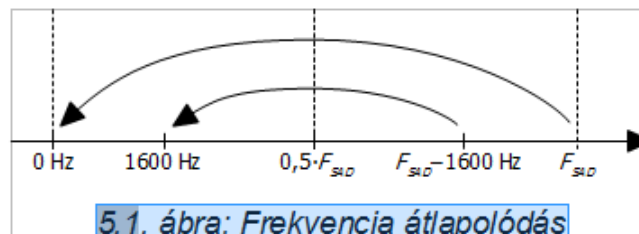
5. Mellékletek

5.1 Mintavétel

Az átlapolás-gátlás \square/\square elvű AD átalakítóval oldható meg legegyszerűbben (működési elvéből adódik). A készülék azonban a DSP-be integrált szukcesszív approximációs AD átalakítót használja, mivel ez jóval olcsóbb megoldás.

Az RMS számításánál a megfelelő pontosság eléréséhez az átlapolódó komponenseket legalább 50dB-el el kell nyomni. Mivel $F_S/2=1600\text{Hz}$, a legnagyobb hasznos komponens frekvenciája 1550 Hz. Erre a frekvenciára mintavételezés során az 1650Hz-es komponens lapolódik. Ez azt jelenti, hogy olyan analóg szűrőre lenne szükség, melynek átvitele 1550 Hz-en legalább majdnem 1, 1650Hz-en legfeljebb -50dB. Belátható, hogy ilyen meredek analóg szűrőt nagyon nehéz készíteni.

A készülék AD átalakítója emiatt $F_{SAD}=12800\text{Hz}$ frekvenciával mintavételezi a bemeneteket. A frekvencia átlapolódás ebben az esetben a 5.1 ábrán látható módon történik. Így a legkisebb frekvencia, mely a 0...1600Hz sávba lapolódik, az



$$F_{SAD} - 1600\text{Hz} = 11200\text{Hz}.$$

Így olyan analóg szűrőre van szükség, melynek átvitele 0...1600Hz tartományt kis hibával viszi át, 11200Hz felett az elnyomása nagyobb mint 50dB. A készülékben emiatt egy negyedfokú Butterworth szűrő van 2500Hz-es törésponttal. Átvitele 1600Hz-en: 0.99, és 11200Hz-en -52dB.

Az AD átalakítóból származó $F_{SAD}=12800\text{Hz}$ frekvenciával mintavételezett jelsorozat így a 0...1600Hz tartományban átlapolódás mentesnek tekinthető. A készülékszoftver egy 64 fokú digitális szűrővel kiszűri az 1600Hz feletti komponenseket (a szűrő átvitele 0...1300Hz tartományban $1 \square 0,002$, elnyomása 1900Hz felett 54dB). Majd a szűrt jel minden negyedik mintáját megtartva előáll a méréshez a $F_S=3200\text{Hz}$ mintavételi frekvenciájú jelsorozat (decimálás). Így ez a jel a 0...1600Hz tartományban tartalmaz információt (50Hz-es hálózati jel alsó 31 harmonikusa).