

***Sestava generátorů
s rozhraním LAN
(ZAT)***

Technická dokumentace

historie dokumentu:

[illegible]

OBSAH

1. Obecné informace

- 1.1 Úvod
- 1.2 Výchozí požadavky
- 1.3 Terminologie

2. Popis funkce desky generátoru

- 2.1 Úvod
- 2.2 Blokové schéma
- 2.3 Popis funkce

3. Popis komunikace na sériové lince

- 3.1 Úvod
- 3.2 Zápis do "Modbus holding" registrů
- 3.3 Čtení "Modbus holding" registrů
- 3.4 Čtení "Modbus input" registrů
- 3.5 Verifikace dat zapsaných do "holding" registrů
- 3.6 Defaultní hodnoty registrů
- 3.7 Obsah dataFlash, tvary generovaných signálů

4. Stavový diagram

- 4.1 Úvod
- 4.2 Stavový diagram
- 4.3 Základní pravidla pro ochranu pacienta
- 4.4 Přejechody mezi stavy
- 4.5 Příklady korektních přechodů mezi stavy

5. Deska LAN převodníku, protokol na LAN rozhraní

- 5.1 Úvod
- 5.2 Popis protokolu
- 5.3 Popis paketu ve směru z PC do přístroje (tzn. dotaz)
- 5.4 Popis paketu ve směru z přístroje do PC (tzn. odpověď)
- 5.5 Podrobný popis parametrů
- 5.6 Systémový watchdog

6. Použité součástky, technické parametry

- 6.1 Úvod
- 6.2 Deska generátoru - technické parametry
- 6.3 Deska generátoru - použité komponenty
- 6.4 Deska LAN převodníku - technické parametry
- 6.5 Deska LAN převodníku - použité komponenty
- 6.6 Požadavky na mechanické provedení
- 6.7 Firmware mikropočítačů

7. Realizace - deska generátoru

- 7.1 Úvod
- 7.2 Významné body na desce
- 7.3 Význam segmentů DIP spínače
- 7.4 Obsah paměti dataFlash
- 7.5 Obsah paměti EEPROM
- 7.6 Servisní data mapovaná do Modbus input registrů

8. Realizace - deska LAN převodníku

- 8.1 Úvod
- 8.2 Významné body na desce
- 8.3 Význam segmentů DIP spínače
- 8.4 Obsah paměti dataFlash
- 8.5 Obsah paměti EEPROM

9. DataFlash a EEPROM

- 9.1 Úvod
- 9.2 Obsluha dataFlash a EEPROM ze strany RS-485 (tzn. Modbus)
- 9.3 Datový obsah dataFlash desky generátoru
- 9.4 Datový obsah EEPROM desky generátoru
- 9.5 Datový obsah dataFlash desky generátoru
- 9.6 Datový obsah EEPROM desky LAN převodníku

1. Obecné informace

1.1 Úvod

Dokument je věnován převážně popisu desky generátoru (klíčová část sestavy generátorů, viz terminologie níže), poslední kapitola pak desce LAN převodníku.

1.2 Výchozí požadavky

Požadavky vyplývají z dokumentů ZAT (zejména "Podklad pro inovaci přístroje ev.č. LP-1-2012-I") a následné e-mailové korespondence.

1.3 Terminologie

Pojmy použité v popisu hardware/firmware přístroje...

přístroj	část elektroterapeutického zařízení, tzn. samostatná jednotka... <ul style="list-style-type: none">• napájená ze zdroje 12 V,• řízená LAN rozhraním z počítače,• na svých výstupech generující signály pro pacienta,• LED diodami signalizující stav výstupů.
deska generátoru	deska generující signály pro pacienta řízení řešeno sériovou linkou RS-485 protokolem Modbus přístroj bude obsahovat více desek generátoru
deska LAN převodníku	slouží jako interface mezi PC (+ vnějším napájecím zdroje) a deskami generátorů, tzn. do desek generátorů rozvádí napájecí napětí a sériovou linkou; navíc řeší řízení signalizačních LED
interní watchdog	je watchdog mikropočítače, který vyvolá jeho reset při fatální chybě běhu firmware
systémový watchdog	je softwarový dohled mikropočítače na probíhající komunikaci ze strany PC
Modbus RTU	protokol použitý na interní lince přístroje, vně bude "zabalen" ethernet rozhraním
povel	je příkaz vyslaný z počítače do desky generátoru

Pojmy použité v popisu funkce celého elektroterapeutického zařízení...

procedura	celé "půlhodinové" sezení pacienta skládající se z více segmentů
segment	je "párminutová" část procedury definovaná jedním generovaným průběhem, periodou opakování a útlumovým koeficientem
generovaný signál	má proudový charakter v rozsahu 0÷8 mA s výstupním napětím max. 80 V (odpovídá impedanci do 10 kOhm) V jednotlivých segmentech je generovaný signál definován třemi parametry: <ul style="list-style-type: none">• tvar signálu (tzn. kódy podle obrázků v dokumentu) s možností upravit délku "pulzu" v rozsahu 3÷4,6 ms• perioda opakování v rozsahu 10÷20 ms (tzn. definuje dobu trvání ustálené stejnosměrné složky)• perioda rozmítání představuje rychlost změny periody opakování při automatickém rozmítání• útlumový koeficient zajišťující proporcionální pokles proudu v celém průběhu (pro koeficient 1x proud kolísá v rozsahu 0÷8 mA a ustálená složka je nastavena na 4 mA; pro koeficient 0,5x pak proud kolísá v rozsahu 0÷4 mA a ustálená složka je nastavena na 2 mA)
autotest	slouží k ověření funkčnosti přístroje (resp. jednoho kanálu) a provádí se před zahájením procedury, při zapnutí přístroje nebo jiné vhodné příležitosti; autotest je plně řízen počítačem v režimu klid, přístroj pouze umožňuje generovat vhodné signály a zpětně měřit odezvu
test pacienta	slouží k změření "vodivosti" pacienta (a tedy k ověření, že výstupní signál nebude při nastaveném útlumovém koeficientu limitován; tzn. i k volbě vhodného útlumového koeficientu) a provádí se kdykoliv mezi segmenty; je řízen z PC v režimu klid
bezpečný stav	je stav, při kterém je především odpojen výstup generátoru od pacienta pomocí relé; navíc jsou všechny registry vynulovány jako po zapnutí, resetu nebo watchdogu

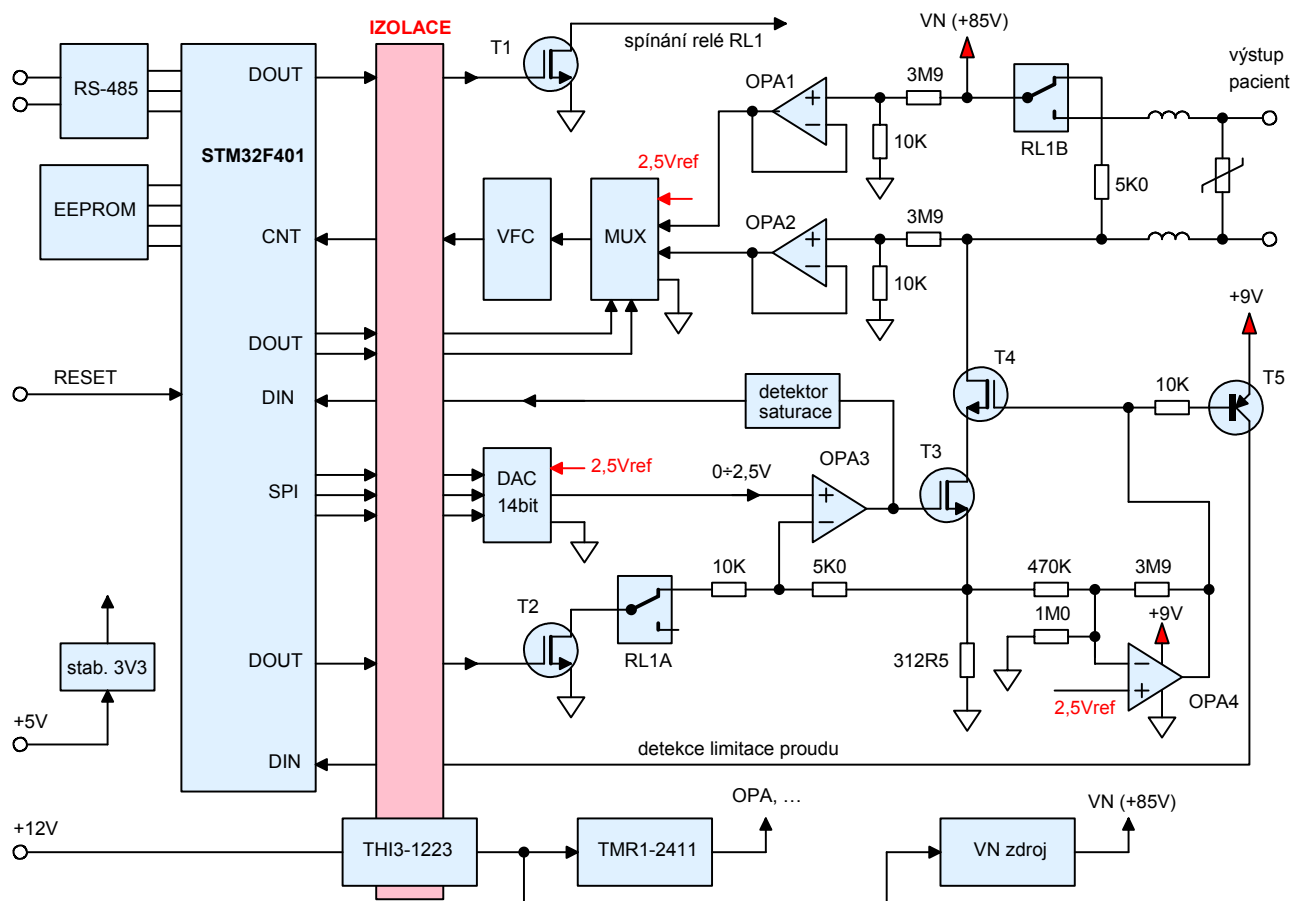
2. Popis funkce desky generátoru

2.1 Úvod

Následující odstavce stručně popisují hardwarovou strukturu a funkci desky generátoru.

2.2 Blokové schéma

Na obrázku níže je zakresleno zjednodušené blokové schéma desky generátoru.



Jako řídicí mikropočítač byl zvolen STM32F401, tzn. středně výkonný mikropočítač s jádrem Cortex M4.

Mikropočítač má k dispozici...

- sériovou linku RS-485
- paměť dataFlash pro uložení generovaných průběhů (tzn. tabulek tvarů signálů)
- izolovaný interface k analogové části včetně DC/DC měničů
- signál reset desky generátoru z desky LAN převodníku

Analogová část obsahuje...

- relé ovládané optronem s topologií "LED/tranzistor" (eliminuje riziko zákrmitu při zapnutí napájení); všechny ostatní signály jsou řízeny rychlými optrony s topologií "LED/hradlo"
- převodník napětí/kmitočet (VFC) s předřazeným multiplexerem pro měření dvou signálů
- 14bitový D/A převodník (DAC) pro generování signálů a navazující převodník napětí/proud s detekcí saturace (tzn. stav, kdy je proudový výstup zatížen příliš vysokou impedancí a nemůže "protlačit" proud)
- samostatný spínač pro možnost zvýšení proudového rozsahu 0÷8 mA na 0÷12 mA (T2 + RL1A)
- oddělovač s omezovačem proudu a signalizací omezení (OPA4 + T4 + T5)
- napájecí zdroj s DC/DC měničem THI 3-1223, navazujícím TMR 1-2411 a VN zdrojem cca 85V

2.3 Popis funkce

Následující odstavce stručně popisují funkci desky generátoru.

Režimy

Mikropočítač (resp. jeho stavový algoritmus) může být v jednom ze tří pracovních stavů; v režimu klid (výchozí stav po zapnutí, resetu nebo watchdogu), generování bez rozmítání a generování s rozmítáním.

V režimu klid lze softwarově řídit signál analogového výstupu, testovat omezovač proudu a generovat signál do výstupních svorek.

V režimu generování bez rozmítání je na výstup generován signál vybraného tvaru s pevnou periodou opakování (tzn. mikropočítač periodu nijak nemění, ale lze ji modifikovat povelům z PC).

V režimu generování s rozmítáním je na výstup generován signál vybraného tvaru s modulovanou periodou opakování.

Přesný popis vazeb mezi stavy je popsán v následujících kapitolách.

Měření napětí

Mikropočítač cyklicky měří výstupní frekvenci VFC převodníku pro GND, referenční napětí 2,5 V a dva vstupní signály; hodnoty dvou vstupních signálů jsou pak numericky stanoveny jako lineární interpolace hodnot GND a referenčního napětí 2,5 V. Navíc je frekvence GND a 2,5 V verifikována (tzn. musí být v definovaném intervalu). Měření napětí probíhá pouze v režimu klid.

Komunikace

Na pozadí generování obsluhuje mikropočítač komunikační linku RS-485 a umožňuje tak počítači činnost generátoru řídit, resp. na ni dohlížet.

Komunikace ze strany počítače je současně využita pro funkci systémového watchdogu; při výpadku komunikace (tzn. podezření na nefunkčnost počítače) generátor přechází od bezpečného stavu.

Kontrola řídicích dat

S ohledem na ochranu pacienta jsou řídicí data vyhodnocována a akceptována pouze v případech, které vyhovují korektnímu řízení generátoru. Přesný popis restrikcí je popsán v následujících kapitolách.

3. Popis komunikace na sériové lince

3.1 Úvod

Sériová linka je řešena rozhraním RS-485 s protokolem **Modbus RTU s big-endian řazením dat**.

Deska využívá tři typy zpráv (povelů)...

- zápis do "Modbus holding" registrů (dále jen holding registry, zápis je následně obsahově verifikován),
- čtení "Modbus holding" registrů a
- čtení "Modbus input" registrů (dále jen input registry)
- uživatelsky definované funkce (obsluha EEPROM/dataFlash; viz popis v posledních kapitolách).

3.2 Zápis do "Modbus holding" registrů

Deska má implementováno osm registrů (0÷7) a je doporučeno zapisovat do všech osmi registrů naráz, tzn. použít povel zapisující přesně do celé skupiny registrů. Nelze zapisovat do registrů s adresou 8 a vyšší; takový požadavek je na úrovni protokolu odmítnut.

adresa	název	popis
0	režim	základní řídicí registr 0: režim "klid + autotest" 1: režim generování bez rozmítání 2: režim generování s rozmítáním (povolené přechody mezi režimy - viz stavový diagram)
1	tvar signálu	režim 0: bez významu režim 1 a 2: číslo bloku s uloženým tvarem signálu v rozsahu 0÷511 (viz poznámka pod tabulkou)
2	T _{3MAX}	režim 0: bez významu režim 1: perioda opakování (v krocích á 12,5 µs) režim 2: maximální perioda opakování (v krocích á 12,5 µs)
3	T _{3MIN}	režim 0: bez významu režim 1: bez významu režim 2: minimální perioda opakování (v krocích á 12,5 µs)
4	T _{3SWEEP}	režim 0: bez významu režim 1: bez významu režim 2: perioda rozmítání (v krocích á 1ms)
5	útlumový koeficient	všechny režimy: hodnota v rozsahu 0÷255 (hodnota 255 nastaví max. proud na 8 mA, resp. 12 mA v testovacím režimu)
6	statická hodnota DAC	režim 0: hodnota v rozsahu 0÷65535 zapisovaná (po pronásobení útlumovým koeficientem) do D/A převodníku režim 1 a 2: bez významu
7	DOUT	D0: hodnotou 1 je aktivováno zvýšení proudu na 150% (tzn. 0÷12 mA) D1: hodnotou 1 je aktivováno relé (tzn. pacient připojen k výstupu) D2÷D15: rezerva (musí být zapisována 0) režim 0: lze aktivovat bity D0 i D1 režim 1 a 2: lze aktivovat pouze bit D1

Poznámka: DataFlash má kapacitu pro uložení 512 průběhů (proto jsou platná data registru "tvar signálu" v rozsahu 0÷511, viz popis aktuálního obsahu dataFlash v samostatném odstavci.

3.3 Čtení "Modbus holding" registrů

Zpětné čtení poskytuje obsah registrů uložený posledním akceptovaným zápisem (tzn. splňující všechny požadavky protokolu), ne však reálnou hodnotu konfiguračních parametrů vytvořenou po úspěšné obsahové verifikaci obsahu holding registrů. Právě jako v případě zápisu nelze číst registry s adresou 8 a vyšší; takový požadavek je na úrovni protokolu odmítnut.

Poznámka: Čtení není nezbytné, protože hodnota holding registrů je mapována i v bloku input registrů; tato funkce proto nebude přístupná z LAN rozhraní.

3.4 Čtení "Modbus input" registrů

Deska má implementováno 32 registrů (0-31) a přestože mohou být čteny v libovolném počtu, je doporučeno číst všechny registry naráz jedním povelem. Právě jako v případě zápisu nelze číst registry s adresou 32 a vyšší; takový požadavek je na úrovni protokolu odmítnut.

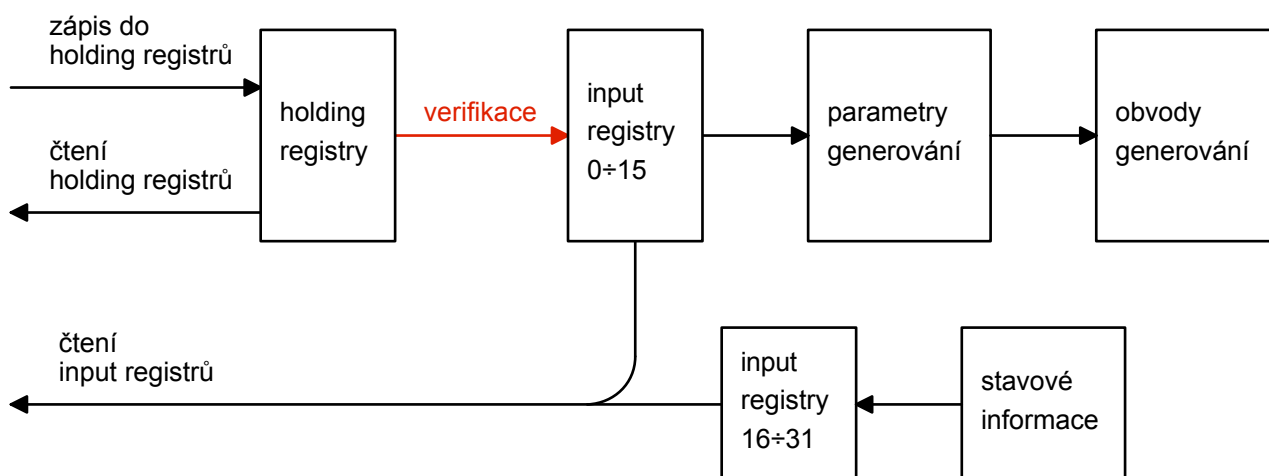
Povel čtení input registrů slouží současně pro systémový watchdog, kdy deska kontroluje funkční dohled ze strany počítače; nedojde-li ke čtení input registrů do 5 sekund o posledního čtení, je deska převedena do klidového režimu (tzn. defaultního bezpečného stavu).

adresa	název	popis
0...7	viz tabulka holding registrů	aktuální hodnota holding registrů, tzn. i v případě, kdy je jejich hodnota při verifikaci vyhodnocena jako neplatná (duplicitní mapování umožňuje vypustit podporu čtení holding registrů)
8...15	význam jako holding registry	data reprezentující reálnou hodnotu konfiguračních parametrů vytvořených verifikací holding registrů po jejich aktualizaci (analogický formát a rozložení jako blok holding registrů s posunem adresy +8)
16	status	D0: úroveň 1 signalizuje bezpečnostní limitaci proudu D1: úroveň 1 signalizuje příliš vysokou impedanci zátěže (tzn. do zátěže nelze generovat požadovaný proud) D2: úroveň 1 signalizuje, že blok v dataFlash paměti neobsahoval platná data D3÷D12: rezerva D13 = 0: poslední zápis do holding registrů obsahoval platná data D13 = 1: poslední zápis do holding registrů obsahoval neplatná data a konfigurační parametry proto nebyly zápisem modifikovány D14 = 0: korektní běh (od okamžiku posledního nulování) D14 = 1: došlo k vyvolání systémového watchdogu D15 = 0: korektní běh (od okamžiku posledního nulování) D15 = 1: došlo k restartu desky (zapnutí napájení nebo interní watchdog) K vynulování příznaků D2 dojde prvním přechodem do režimu klid. K vynulování příznaků D14/D15 dojde prvním verifikovaným zápisem ddo holding registrů.
17	T3 _{AKTUALNI}	režim 0: bez významu režim 1: obsahuje hodnotu T3 _{MAX} režim 2: zobrazuje hodnota kolísající mezi T3 _{MAX} a T3 _{MIN} aktuálně použitou pro generování
18 + 19	TS	aktuální časová značka 32bitová hodnota inkrementovaná každou milisekundu, nulovaná při startu firmware; po dosažení maximální hodnoty přetéká na 0
20 + 21	TS_WR_HoldR	hodnota časové značky zachycená při příjmu poslední zprávy zapisující do holding registrů (rozdíl proti aktuální časové značce lze využít pro určení času, jak dlouho deska setrvává v posledním nastaveném režimu; platí jen za předpokladu, že data zapsaná do holding registrů byla při verifikaci vyhodnocena jako platná)
22 + 23	TS_RD_InpR	hodnota časové značky zachycená při příjmu zprávy předcházejícího čtení input registrů (rozdíl proti aktuální časové značce lze využít pro vyhodnocení rezervy pro obsluhu systémového watchdog obvodu)
24	AIN1	napětí zdroje snižené o napěťový úbytek na bočniku (resp. nižší napětí na pacientovi, viz schéma v 2. kapitole) (hodnota 0÷999 představuje napětí 0-99,9 V)
25	AIN2	napětí zdroje (resp. vyšší napětí na pacientovi, viz schéma v 2. kapitole) (hodnota 0÷999 představuje napětí 0-99,9 V)
26...29	...	rezerva
31	DIP spínač	stav DIP spínače (D0 ~ segment 1; D5 ~ segment 6; ON = 0; D6÷D15 = 0) D0=0 signalizuje EEPROM/dataFlash blokovanou proti přepisu
31	verze	verze firmware

3.5 Verifikace dat zapsaných do "holding" registrů

Verifikace je přesně popsána spolu se stavovým diagramem v následující kapitole.

Dále uvedený obrázek vysvětluje přenosy dat mezi skupinami registrů.



Zápis do holding registrů je realizován v průběhu provádění zápisového povelu.

Bezprostředně po dokončení zápisového povelu je obsah holding registrů přenesen do input registrů 0÷7. Následně je provedena verifikace celého bloku osmi registrů (bez ohledu na počet registrů modifikovaných zápisovým povelu) a v případě bezchybného obsahu dat je aktualizován obsah registrů 8÷15 (překopírován obsah registrů 0÷7).

Parametry generování jsou aktualizovány vždy při přechodu z posledního generovaného vzorku průběhu na první vzorek, resp. každých 12,5 μ s v režimu klid; firmware zajišťuje konzistenci hodnot input registrů 8÷15 při aktualizaci parametrů generování.

Obvody generování jsou přímo napojeny na parametry generování a přistupují k nim v reálném čase.

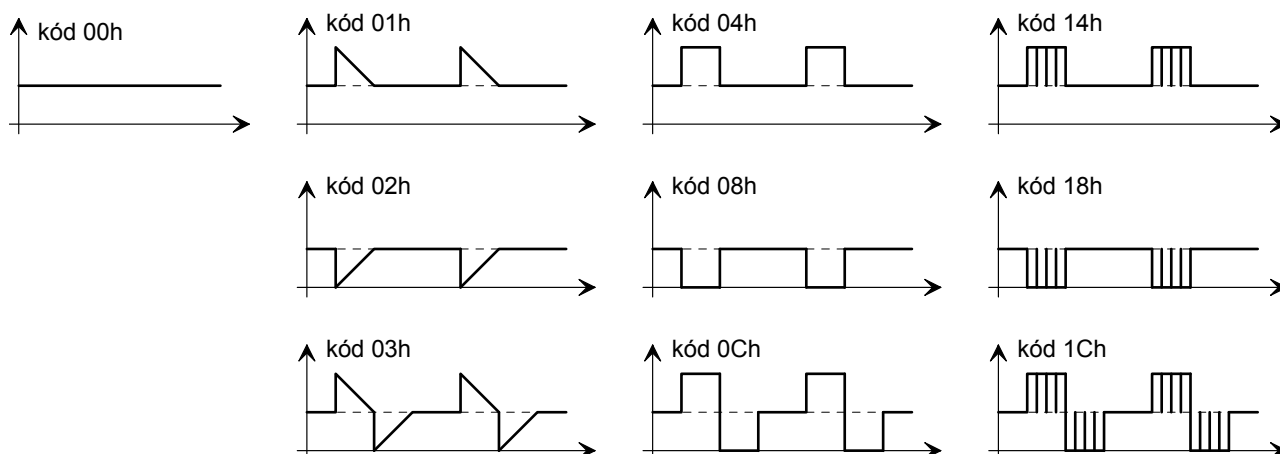
Povel čtení input registrů má k dispozici data vytvořená z obsahu holding registrů (registry 0÷15) a k tomu řadu diagnostických informací (registry 16÷31).

3.6 Defaultní hodnoty registrů

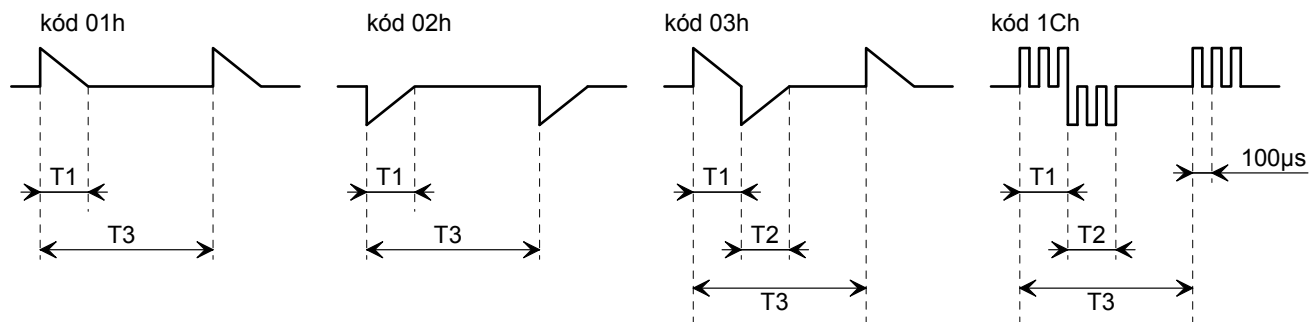
Všechny holding i input registry jsou po startu nebo watchdogu (interním i systémovým) nastaveny na nulovou hodnotu, současně jsou blokovány všechny periferní obvody.

3.7 Obsah dataFlash, tvary generovaných signálů

Průběhy signálů na obrázku níže jsou převzaty z dokumentace ZAT.



Časové poměry jsou zakresleny pro tvary 01h, 02h a 03h.



Tvar signálu pro kódy 01h a 02h je definován dobou pulzu T1 a periodou opakování T3; tvar signálu pro kód 03h je navíc definován dobou druhého pulzu T2 a platí, že $T1=T2$.

Délka tvarového pulzu T1 (resp. T2) je definována přímo v tabulce (tzn. dataFlash obsahuje samostatnou tabulku pro každou kombinaci kód a délka T1).

Analogické definice platí i pro kódy 04h, 08h a 0Ch, resp. také kódy 14h, 18h a 1Ch, u nichž je průběh navíc modulován frekvencí 10 kHz (viz obrázek pro kód 1Ch; dataFlash obsahuje průběh včetně modulace).

Signál s tvarovým kódem 00h je generován v režimu klid (tzn. PC kompletně řídí výstupní signál).

Aktuálně jsou v dataFlash naprogramovány následující tabulky...

číslo tabulky	tvar signálu (kód / T1)	číslo tabulky	tvar signálu (kód / T1)	číslo tabulky	tvar signálu (kód / T1)	číslo tabulky	tvar signálu (kód / T1)
0	01h / 3,00 ms	99	04h / 3,00 ms	198	14h / 3,00 ms	297	rezerva
1	01h / 3,05 ms	100	04h / 3,05 ms	199	14h / 3,05 ms	...	...
...
31	01h / 4,55 ms	130	04h / 4,55 ms	229	14h / 4,55 ms	...	...
32	01h / 4,60 ms	131	04h / 4,60 ms	230	14h / 4,60 ms	...	...
33	02h / 3,00 ms	132	08h / 3,00 ms	231	18h / 3,00 ms	...	...
34	02h / 3,05 ms	133	08h / 3,05 ms	232	18h / 3,05 ms	...	...
...
64	02h / 4,55 ms	163	08h / 4,55 ms	262	18h / 4,55 ms	...	...
65	02h / 4,60 ms	164	08h / 4,60 ms	263	18h / 4,60 ms	...	...
66	03h / 3,00 ms	165	0Ch / 3,00 ms	264	1Ch / 3,00 ms	...	...
67	03h / 3,05 ms	166	0Ch / 3,05 ms	265	1Ch / 3,05 ms	...	...
...
97	03h / 4,55 ms	196	0Ch / 4,55 ms	295	1Ch / 4,55 ms	...	...
98	03h / 4,60 ms	197	0Ch / 4,60 ms	296	1Ch / 4,60 ms	511	rezerva

Poznámka: Jak je patrné z předcházejícího textu, do dataFlash lze naprogramovat jakýchkoliv 512 průběhů.

Každý tvar signálu reprezentovaný jedním číslem tabulky představuje datovou strukturu délky 4kB...

- 1600 vzorků tvořených 16bitovými čísly, kde 0 představuje minimální hodnotu (tzn. proud 0 mA) a 65535 maximální hodnotu (tzn. nominálně proud 8 mA); data jsou uložena v pořadí nižší byte / vyšší byte
- 440 vzorků vyplněných hodnotou 32768 (rezerva pro případné zvýšení limitu T3 na 25,5 ms)
- posledních 16 byte je kontrolní součet určený pro verifikaci obsahu dataFlash; není-li obsah dataFlash korektní, je spuštěno generování stejnosměrné hodnoty 50% rozsahu zvolené útlumovým koeficientem a tento stav je signalizován příznakem ve status registru

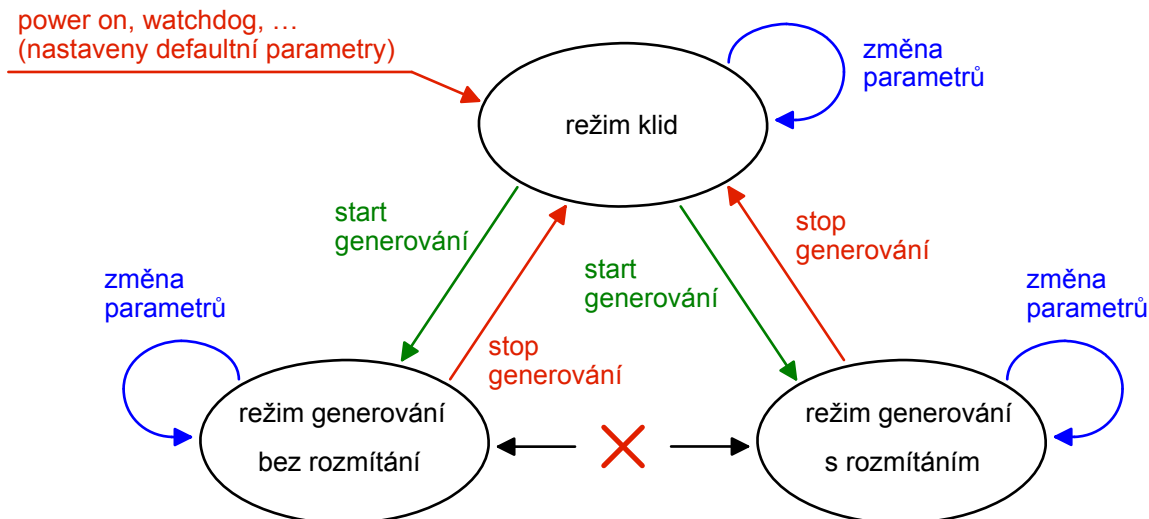
4. Stavový diagram

4.1 Úvod

Kapitola obsahuje popis tří funkčních režimů a popis přechodu mezi nimi.

4.2 Stavový diagram

Stavový diagram firmware na obrázku níže obsahuje tři stavy odpovídající pracovním režimům.



Režim klid (a současně autotest)

Po zapnutí napájecího napětí, restartu firmware (interní watchdog) nebo systémovém watchdogu (absence komunikace z nadřazeného počítače) přechází firmware do stavu "režim klid" s nastavenými defaultními hodnotami zajišťujícími bezpečný stav.

Do tohoto stavu přechází firmware rovněž ukončením jednoho z režimů generování, v tomto případě jsou však parametry režimu nastaveny podle konfiguračních dat povelu.

V tomto režimu lze kompletně převzít řízení vstupů/výstupů a realizovat autotest.

Režim generování bez rozmítání

Do tohoto stavu přejde firmware výhradně povel (tzn. zápisem korektních konfiguračních dat do bloku holding registrů s režimem nastaveným na hodnotu 1) a opustit jej může povel nebo jedním z watchdogů.

Režim generování s rozmítáním

Do tohoto stavu přejde firmware výhradně povel (tzn. zápisem korektních konfiguračních dat do bloku holding registrů s režimem nastaveným na hodnotu 2) a opustit jej může povel nebo jedním z watchdogů.

4.3 Základní pravidla pro ochranu pacienta

Následující body jsou vybrány z řady verifikačních pravidel jako nejdůležitější s ohledem na pacienta.

1. Relé oddělující pacienta lze aktivovat nebo deaktivovat výhradně za podmínky "útlumový koeficient = 0"; nelze tedy sepnout relé při nastaveném proudu (analogie kontroly gradientu útlumového koeficientu).
2. Ve stavu s aktivovaným relé lze měnit hodnotu útlumového koeficientu maximálně o 32 (odpovídá změně 1 mA pro maximum 8 mA).
3. Ve stavu s aktivovaným relé nelze aktivovat zvýšený proud určený pro test nadproudové ochrany 10 mA.
4. Nevyužité bloky dataFlash paměti by měly být vyplněny hodnotou 32768 (v případě volby nevyužitého bloku tak bude nastavena konstantní 50% hodnota proudu).
5. Každý blok s průběhem bude obsahovat kontrolní součet pro verifikaci obsahu; v případě chyby bude průběh nahrazen konstantním proudem 50% hodnoty a tento stav signalizován.

4.4 Přechody mezi stavy

Dále uvedené tabulky zobrazují požadavky na zápisy do holding registrů.

Terminologie:

verifikovaná hodnota	= hodnota uložená v tabulce holding registrů (input registry 0÷7)
aktuální hodnota	= aktuálně uložená v tabulce konfiguračních parametrů (input registry 8÷15)

Je-li verifikace úspěšná, hodnoty holding registrů se přenesou do tabulky konfiguračních parametrů.

Verifikace při změně parametrů v režimu "klid"

adresa	holding registr	popis verifikace hodnoty holding registru
0	režim	0 (tzn. klid)
1	tvar signálu	hodnota není verifikována
2	T3 _{MAX}	hodnota není verifikována
3	T3 _{MIN}	hodnota není verifikována
4	T3 _{SWEEP}	hodnota není verifikována
5	útlumový koeficient	0÷255 <u>a současně</u> je-li aktivováno relé, hodnota smí být odlišná max. o 32 oproti aktuální
6	statická hodnota DAC	0÷65535
7	DOUT	povolená hodnota musí být v rozsahu 0÷2 bity D0/1 ve vyjádření hodnotou 0÷2 mají povoleny přechody 0 -> 1: povoleno (povel zvýšit proud na 150%, relé neaktivní) 1 -> 0: povoleno (povel ukončit zvýšení proudu na 150%, relé neaktivní) 0 -> 2: povoleno (aktivace relé pacienta, standardní proud) 2 -> 0: povoleno (deaktivace relé pacienta, standardní proud) 1 -> 2: nepovoleno (aktivace relé pacienta ze stavu se zvýšeným proudem) 2 -> 1: nepovoleno (deaktivace relé pacienta a současně zvýšení proudu) <u>a současně</u> přechody 0 -> 2 a 2 -> 0 jsou povoleny pouze pro útlumový koeficient = 0

Poznámka: Výchozí hodnota všech registrů po startu nebo watchdogu je nulová.

Verifikace při přechodu z režimu "klid" do režimu "generování bez rozmítání"

adresa	holding registr	popis verifikace hodnoty holding registru
0	režim	1 (tzn. generování bez rozmítání)
1	tvar signálu	0÷511 (tzn. v rozsahu kapacity dataFlash)
2	T3 _{MAX}	800÷1600 (tzn. T3 od 10ms do 20ms)
3	T3 _{MIN}	hodnota není verifikována
4	T3 _{SWEEP}	hodnota není verifikována
5	útlumový koeficient	0÷255 <u>a současně</u> je-li aktivováno relé, hodnota smí být odlišná max. o 32 oproti aktuální
6	statická hodnota DAC	32768 <u>a současně</u> aktuální hodnota musí být 32768
7	DOUT	0 nebo 2 (tzn. ovládání relé pacienta) <u>a současně</u> hodnota musí být shodná s aktuální hodnotou (tzn. při změně režimu nelze současně měnit stav relé)

Verifikace při změně parametrů v režimu "generování bez rozmítání"

adresa	holding registr	popis verifikace hodnoty holding registru
0	režim	1 (tzn. hodnota shodná s aktuální)
1	tvar signálu	hodnota shodná s aktuální (tzn. v režimu generování nelze měnit tvar signálu)
2	T3 _{MAX}	800÷1600 (tzn. lze změnit periodu T3 v průběhu generování)
3	T3 _{MIN}	hodnota není verifikována
4	T3 _{SWEEP}	hodnota není verifikována
5	útlumový koeficient	0÷255 <u>a současně</u> je-li aktivováno relé, hodnota smí být odlišná max. o 32 oproti aktuální
6	statická hodnota DAC	32768
7	DOUT	0 nebo 2 (tzn. ovládání relé pacienta) <u>a současně</u> hodnota musí být shodná s aktuální hodnotou (tzn. v režimu generování nelze měnit stav relé)

Verifikace při přechodu z režimu "generování bez rozmítání" do režimu "klid"

adresa	název	popis
0	režim	0 (tzn. klid)
1	tvar signálu	hodnota není verifikována
2	T3 _{MAX}	hodnota není verifikována
3	T3 _{MIN}	hodnota není verifikována
4	T3 _{SWEEP}	hodnota není verifikována
5	útlumový koeficient	0÷255 <u>a současně</u> je-li aktivováno relé, hodnota smí být odlišná max. o 32 oproti aktuální
6	statická hodnota DAC	32768
7	DOUT	0 nebo 2 (tzn. ovládání relé pacienta) <u>a současně</u> hodnota musí být shodná s aktuální hodnotou (tzn. při změně režimu nelze současně měnit stav relé)

Verifikace při přechodu z režimu "klid" do režimu "generování s rozmítáním"

adresa	holding registr	popis verifikace hodnoty holding registru
0	režim	2 (tzn. generování s rozmítáním)
1	tvar signálu	0÷511 (tzn. v rozsahu kapacity dataFlash)
2	T3 _{MAX}	800÷1600 (tzn. T3 od 10ms do 20ms)
3	T3 _{MIN}	800÷1600 (tzn. T3 od 10ms do 20ms), avšak menší než T3 _{MAX}
4	T3 _{SWEEP}	10÷1250 (doba v milisekundách, za kterou se aktuální T3 zkrátí o 12,5μs)
5	útlumový koeficient	0÷255 <u>a současně</u> je-li aktivováno relé, hodnota smí být odlišná max. o 32 oproti aktuální
6	statická hodnota DAC	32768 <u>a současně</u> aktuální hodnota musí být 32768
7	DOUT	0 nebo 2 (tzn. ovládání relé pacienta) <u>a současně</u> hodnota musí být shodná s aktuální hodnotou (tzn. při změně režimu nelze současně měnit stav relé)

Verifikace při změně parametrů v režimu "generování s rozmítáním"

adresa	holding registr	popis verifikace hodnoty holding registru
0	režim	2 (tzn. hodnota shodná s aktuální)
1	tvar signálu	hodnota shodná s aktuální (tzn. v režimu generování nelze měnit tvar signálu)
2	T3 _{MAX}	hodnota shodná s aktuální (tzn. nelze měnit periodu v průběhu generování)
3	T3 _{MIN}	hodnota shodná s aktuální (tzn. nelze měnit periodu v průběhu generování)
4	T3 _{SWEEP}	hodnota shodná s aktuální (tzn. nelze měnit periodu v průběhu generování)
5	útlumový koeficient	0÷255 <u>a současně</u> je-li aktivováno relé, hodnota smí být odlišná max. o 32 oproti aktuální
6	statická hodnota DAC	32768
7	DOUT	0 nebo 2 (tzn. ovládání relé pacienta) <u>a současně</u> hodnota musí být shodná s aktuální hodnotou (tzn. v režimu generování nelze měnit stav relé)

Verifikace při přechodu z režimu "generování s rozmítáním" do režimu "klid"

Je identická verifikaci při přechodu z režimu "generování bez rozmítání" do režimu "klid".

4.5 Příklady korektních přechodů mezi stavy

Dále uvedené tabulky zobrazují požadavky na zápisy do holding registrů.

holding registr	sekvence									
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
režim	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
tvar signálu	0	0	0	0	0	15	15	15	15	0
T3 _{MAX}	0	0	0	0	0	1440	1440	1400	1400	0
T3 _{MIN}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T3 _{SWEEP}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
útlumový koeficient	0	0	32	64	96	110	130	130	140	140
statická hodnota DAC	0	32768	32768	32768	32768	32768	32768	32768	32768	32768
DOUT	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2

1. výchozí stav po startu
2. ponechání nulového útlumového koeficientu (nutné pro přechod do režimu generování)
nastavení statické hodnoty DAC na 32768 (nutné pro přechod do režimu generování)
současné aktivace relé pacienta (vzhledem k nulovému útlumovému koeficientu je proud nulový)
- 3.-5. postupné navýšení útlumovému koeficientu s maximálním gradientem (stejnoseměrný proud narůstá)
6. start generování bez rozmítání (tvar 15, perioda 18ms)
současné poslední krok navýšení útlumového koeficientu na požadovanou hodnotu 110
7. změna útlumového koeficientu při zachovaném generování
8. změna periody generování při zachovaném generování
9. současná změna útlumového koeficientu periody generování při zachovaném generování
10. ukončení generování, výstup zůstane nastaven na proud = 4mA x 140/256

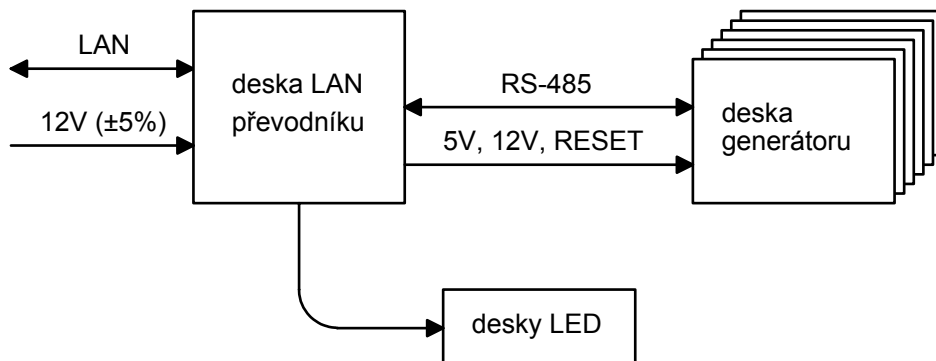
holding registr	sekvence									
	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.
režim	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0
tvar signálu	0	123	123	123	0	0	0	0	0	0
T3 _{MAX}	0	1440	1440	1440	0	0	0	0	0	0
T3 _{MIN}	0	1280	1280	1280	0	0	0	0	0	0
T3 _{SWEEP}	0	500	500	500	0	0	0	0	0	0
útlumový koeficient	150	150	170	145	128	96	64	32	0	0
statická hodnota DAC	32768	32768	32768	32768	32768	32768	32768	32768	32768	32768
DOUT	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0

11. změna útlumového koeficientu v režimu klid
12. start generování s rozmítáním (tvar 123, periody 18ms/16ms/500ms)
útlumový koeficient ponechán na hodnotě 150
- 13., 14. změna útlumového koeficientu při zachovaném generování
změna parametrů generování (tvar a periody T3) není povolena
15. vypnutí generování při současně změně útlumového koeficientu
- 16.-19. postupné snižování útlumovému koeficientu s maximálním gradientem
20. deaktivace relé, statická hodnota DAC může zůstat na 32768, protože útlumový koeficient = 0

5. Deska LAN převodníku, protokol na LAN rozhraní

5.1 Úvod

Struktura sestavy desek generátorů a desky LAN převodníku je zakreslena na obrázku níže.



Deska LAN převodníku je propojena s deskami generátorů (interface umožní připojit až šest desek generátorů) plochými vodiči přenášejícími kromě signálů komunikační linky RS-485 také napájecí napětí (5 V a 12 V) a signál reset připojený na stejnojmenný signál řídicího mikropočítače desky generátoru.

Navíc mohou být k desce LAN převodníku připojeny až dvě desky obsahující tři trojbarevné LED určené k indikaci stavu generátoru ovládané softwarově z nadřazeného PC; výstupy desky LAN převodníku jsou navrženy pro signály s úrovní 5V a proudem do 20 mA.

Jediným rozhraním, kterým sestava desek komunikuje s nadřazeným PC, je standardní 10/100 Mbit LAN (tzn. 10BaseT/100BaseTX, RJ45). Všechny parametry jsou konfigurovány fixně, DHCP protokol není podporován.

5.2 Popis protokolu

Komunikace probíhá metodou "dotaz - odpověď" iniciovanou ze strany PC, tzn. PC vyšle UDP paket s dotazem, LAN konvertor jej zpracuje (buď přímo konvertor nebo jej přesměruje do desky generátoru) a následně do PC odešle UDP paket s odpovědí. PC nesmí vyslat více dotazů, aniž by se vyčkalo na příchod odpovědi; v případě korektní činnosti deska LAN převodníku vysílá odpověď do 50 ms a v případě chyby komunikace na lince RS-485 deska LAN převodníku vysílá odpověď s chybovým příznakem do 200 ms; pro detekci chyby komunikace na LAN je proto na straně PC potřeba nastavit timeout s rezervou větší než 200 ms.

Pro všechny dotazy nezávisle na cílové desce, je použit jediný pár "IP adresa + UDP port".

Dotaz i odpověď mají pevnou délku nezávislou na typu dotazu.

Protokol mapuje výhradně Modbus povely...

zápis do Modbus holding registrů viz popis v odstavci 3.2

čtení Modbus input registrů viz popis v odstavci 3.4

Čtení Modbus holding registrů ani uživatelsky definované funkce nejsou ze strany LAN zpřístupněny.

Vyhodnocení dotazu deskou LAN převodníku

Firmware LAN převodníku vyhodnocuje (viz. následující odstavce) číslo protokolu a počet znaků v dotazu; v případě chyby je dotaz ignorován a není vyslána žádná odpověď. V případě korektních hodnot následuje...

- vyhodnocení adresy; je-li větší než 6, je vyslána odpověď s chybovým příznakem
- vyhodnocení povelu; je-li větší než 1, je vyslána odpověď s chybovým příznakem

Jsou-li splněny podmínky výše, je následně dotaz zpracován přímo deskou LAN převodníku (v případě nulové adresy), resp. vyslán odpovídající Modbus povel na linku RS-485 (v případě adresy 1÷6). Dojde-li v nastaveném čase k přijetí reakce na Modbus povel, je reakce vyhodnocena a v případě korektního vyhodnocení její obsah přenesen do odpovědi, resp. v případě chyby je vyslána odpověď s chybovým příznakem. Není-li v nastaveném čase přijata reakce na Modbus povel, je vyslána odpověď s chybovým příznakem "timeout RS-485".

V průběhu zpracování dotazu jsou rovněž interpretována data pro digitální výstupy.

5.3 Popis paketu ve směru z PC do přístroje (tzn. dotaz)

Paket ve směru z PC do přístroje iniciuje komunikaci, přístroj pouze reaguje na dotazy odpovědí.

paket ve směru z PC do přístroje (tzn. dotaz)		
znak	název	popis
1.	číslo protokolu	22 (konstanta zvolená pro tento protokol)
2.	číslo paketu	hodnota zvolená PC, LAN ji přenese do odpovědi, ale jinak nezpracovává
3.	adresa	0: paket směrován na LAN převodník 1: paket směrován na 1. generátor ... 6: paket směrován na 6. generátor 7÷255: rezervováno
4.	DIO_WR	Pro každou adresu lze principiálně ovládat až 8 výstupů. Viz samostatný popis. Zápis do DIO_WR registru je podmíněn nulovým povel, viz následující řádka.
5.	povel	0: zápis do registrů LAN převodníku (adresa = 0) nebo desky generátoru 1: čtení registrů LAN převodníku (adresa = 0) nebo desky generátoru
6.	rezerva	z důvodu dopředné kompatibility je vhodné zapisovat 0
7. ÷ 22.	registry_WR (16 byte)	adresa = 0 & povel = 0: rezerva pro zápis do registrů LAN převodníku adresa = 0 & povel = 1: nulové byte adresa = 1÷6 & povel = 0: zápis do "Modbus holding" registrů (viz samostatný popis) adresa = 1÷6 & povel = 1: nulové byte

5.4 Popis paketu ve směru z přístroje do PC (tzn. odpověď)

Paket ve směru z PC do přístroje iniciuje komunikaci, přístroj pouze reaguje na dotazy odpovědí.

paket ve směru z přístroje do PC (tzn. odpověď)		
znak	název	popis
1.	číslo protokolu	kopie hodnoty vyslané v dotazu
2.	číslo paketu	kopie hodnoty vyslané v dotazu
3.	adresa	kopie hodnoty vyslané v dotazu
4.	DIO_RD	stav DIO signálů (tzn. zpětné čtení DIO_WR registru)
5.	povel	kopie hodnoty vyslané v dotazu
6.	status	například neplatná adresa, neplatný povel, timeout RS-485
7. ÷ 70.	registry_RD (64 byte)	status > 0: nulové byte nebo upřesnění chyby (rezerva) status = 0 & povel = 0: nulové byte status = 0 & povel = 1... ...& adresa = 0: čtení registrů LAN převodníku (viz samostatný popis) ...& adresa = 1÷6: čtení "Modbus input" registrů (viz samostatný popis)

5.5 Podrobný popis parametrů

V předešlých tabulkách se objevovaly názvy...

adresa

Adresa je formální identifikátor příjemce dotazu; v případě nulové adresy je zbytek paketu interpretován deskou LAN převodníku, v případě nenulové adresy je paket směřován na desku generátoru (v závislosti na počtu instalovaných generátorů), resp. obsah DIO_WR registru je vždy interpretován deskou LAN převodníku.

V odpovědi je přenášena kopie hodnoty dotazu.

DIO_WR

Význam tohoto parametry je odlišný pro paket určený ke zpracování v desce LAN převodníku (tzn. adresa = 0), nebo v desce generátoru (tzn. adresa > 0).

Defaultní stav registru po startu je nulový.

Registr lze ovládat ~~každým dotazem nezávisle na povelu "zápis" nebo "čtení"~~ **výhradně povel "zápis"**.

Význam pro desku LAN převodníku:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
rezerva	rezerva	EN_G6	EN_G5	EN_G4	EN_G3	EN_G2	EN_G1

EN_G1 úrovní L vypíná napájecí napětí 12V do desky 1. generátoru a současně udržuje aktivní signál RESET mikropočítače desky 1. generátoru

úrovní H zapíná napájecí napětí a uvolňuje RESET

EN_G2 totéž pro desku 2. generátoru

EN_G3 totéž pro desku 3. generátoru

EN_G4 totéž pro desku 4. generátoru

EN_G5 totéž pro desku 5. generátoru

EN_G6 totéž pro desku 6. generátoru

Význam pro desku generátoru:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
rezerva	rezerva	rezerva	rezerva	LED_MD	LED_B	LED_G	LED_R

LED_R úrovní H aktivuje červenou LED (v závislosti na LED_MD)

LED_G úrovní H aktivuje zelenou LED (v závislosti na LED_MD)

LED_B úrovní H aktivuje modrou LED (v závislosti na LED_MD)

LED_MD je-li v úrovni L, aktivované LED blikají frekvencí cca 1 Hz

je-li v úrovni H, aktivované LED svítí trvale

DIO_RD

Registr slouží ke zpětnému čtení stavu digitálních výstupů, případně čtení stavu digitálních vstupů.

Stav DIO registrů je přenášen každou odpovědí nezávisle na povelu "zápis" nebo "čtení".

povel

Povel "zápis" nebo "čtení" slouží k odlišení struktury paketu.

V odpovědi je přenášena kopie hodnoty dotazu.

registry_WR

Každý generátor (tzn. adresa > 0) má definováno osm Modbus holding registrů, viz tabulka v odstavci 3.2.

V případě desky LAN převodníku (tzn. adresa = 0) je datové pole rezervováno a data jsou ignorována; z důvodu dopředné kompatibility je vhodné zapisovat nulové byte.

Pole má význam jen pro povel "zápis", význam pro povel "čtení" je rezervován a data jsou ignorována; z důvodu dopředné kompatibility je vhodné zapisovat nulové byte.

registry_RD

Každý generátor (tzn. adresa > 0) má definováno 32 Modbus input registrů, viz tabulka v odstavci 3.4.

V případě desky LAN převodníku (tzn. adresa = 0) ~~je datové pole rezervováno~~ je přenášén nulový obsah s výjimkou následujících hodnot:

- na pozicích 39. a 40. byte je status (platné bity D14 a D15)
- na pozicích 43. až 46. byte je přenášena časová značka TS
- na pozicích 47. až 50. byte je přenášena časová značka TS_WR_HoldR (paket s povel 1 na adresu 0)
- na pozicích 51. až 54. byte je přenášena časová značka TS_RD_InpR (paket s povel 0 na adresu 0)
- na pozicích 67. a 68. byte je přenášén stav 6 DIP spínačů
- na pozicích 69. a 70. byte je přenášena verze firmware

Význam všech hodnot je analogický jako u desky generátoru.

Pole registry_RD má definován význam pro povel "čtení", význam pro povel "zápis" je rezervován a je přenášén nulový obsah.

status

Tento registr přenáší chybové příznaky související se zpracováváním dotazem. Nulovou hodnotou je přenášena informace o korektním zpracování dotazu, nenulová znamená chybu v průběhu zpracovávání.

~~Uvažovat lze například...~~

neplatná adresa	tzn. hodnota větší než počet instalovaných generátorů
neplatný povel	tzn. hodnota odlišná od 0 nebo 1
timeout RS-485	při komunikaci s deskou generátoru došlo k chybě, resp. v daném čase nepřišla platná odpověď

~~Tabulka chybových kódů bude vytvořena po dokončení vývoje.~~

Tabulka návratových kódů:

- 0 přenos v pořádku
- 1 neplatná adresa (tzn. mimo rozsah 0÷6)
- 2 neplatný povel (tzn. mimo rozsah 0÷1)
- 3 timeout RS-485 (tzn. deska generátoru neodpověděla na dotaz ve stanoveném čase)
- 4 neplatná odpověď (tzn. odpověď desky generátoru požadavky na Modbus zprávu; chyba CRC apod.)
- 5 záporná Modbus odpověď (tzn. Modbus chyba, kód 1; viz specifikace protokolu)
- 6 záporná Modbus odpověď (tzn. Modbus chyba, kód 2; viz specifikace protokolu)
- 7 záporná Modbus odpověď (tzn. Modbus chyba, kód 3; viz specifikace protokolu)

Další kódy jsou rezervovány.

Poznámka: *V přenosech je důsledně použito big-endian řazení; v případě 32bitových hodnot (např. Timestamp) obsahuje nižší Modbus registr bity D31..D16, vyšší registr pak D15..D00. Každý Modbus registr je přenášén v UDP paketu ve dvou byte, a to v pořadí vyšší byte jako první, nižší byte jako druhý. Z toho rovněž plyne, že 32bitové hodnoty jsou v UDP paketu přenášéné čtyřmi byte (bity D31..D24 jako první byte a D07..D00 jako čtvrtý byte)..*

5.6 Systémový watchdog

Analogicky deskám generátorů je v desce LAN převodníku implementována funkce systémového watchdogu.

Pro obsluhu WD je potřeba periodicky číst z adresy nula, tzn. vysílat dotaz s adresou = 0 a povel = 1.

Nedojde-li k obnovení časovače do 5 sekund, přejde deska do stavu jako po startu (tzn. vypnuta napájecí napětí všech desek generátorů všechny RGB LED svítí červeně).

6. Použité součástky, technické parametry

6.1 Úvod

V následujících odstavcích jsou specifikovány zvolené součástky a zásadní technické parametry.

6.2 Deska generátoru - technické parametry

Deska generátoru bude splňovat následující parametry:

Výstupní proud:	0÷8 mA s tolerancí $\pm 2\%$ (měřeno pro ustálenou hodnotu, resp. stejnosměrný signál) bezpečnostní limitace max. 10 mA (nastavena na interval 8,5÷10 mA)
Výstupní napětí:	až 80 V (tzn. max. zatěžovací impedance 10 k Ω m při proudu 8 mA)
Měření napětí:	± 1 V (měřena napětí zdroje a napětí zdroje snižené o úbytek na zátěži)
Napájecí napětí:	12 V $\pm 10\%$ (tato tolerance je vyžadována DC/DC měničem THI 3-1223)
Izolační napětí:	4 kV _{RMS} / 50 Hz (viz poznámka)
Izolační mezera:	8 mm (garantováno součástkami a návrhem desky, viz poznámka)
Řídicí rozhraní:	RS-485
Protokol:	Modbus
Rozměry:	cca 120 x 80 mm (maximálně 130 x 88 mm), výška max. 35 mm

Poznámka: Izolační napětí a izolační mezera jsou garantovány zvolenými a odsouhlasenými součástkami vytvářejícími izolační bariéru, THI 3-1223, ACPL-K24L a TCLT1006).

6.3 Deska generátoru - použité komponenty

Deska generátoru bude obsahovat následující klíčové součástky:

STM32F401RCT6	řídící mikropočítač
AT45DB161E	dataFlash paměť pro uložení průběhů (= tvarů signálu)
AT25640B	EEPROM paměť pro konfigurační parametry (rezerva)
ACPL-K24L	optron s topologií "LED/hradlo" pro rychlé signály (5000 V _{RMS})
TCLT1006	optron s topologií "LED/tranzistor" pro řízení relé (5000 V _{RMS})
THI 3-1223	DC/DC pro napájení analogové části (4000 V _{RMS})
TMR 1-2411	pomocný zdroj pro analogovou část (5 V)
LM2665M6/NOPB	pomocný zdroj pro analogovou část (9 V)
NDD02N40T4G	NFET pro výstupní signál generátoru
MAX5214GUA+	D/A převodník pro generování průběhů
AD7740YRMZ	V/F převodník pro měření
FTR-B3GA4.5Z-B	relé spínající výstupní signál
obecné polovodiče	ADA4665-2ARZ, OPA2172IDR, ADR391BUJZ-R2, CD4051, ADM4853ARZ, LM1117IMP-3.3/NOPB, obvody 74HC**, 2N7002, BAV99, SMAJ90A, ...
kondenzátory	prioritně keramické, na nezbytných místech elektrolytické (20 tisíc hodin při 105°C)
rezistory	s výjimkou simulačního odporu 5k Ω m vše SMD 0603/1%, na nezbytných pozicích 0,5%

Poznámka: Konektory, DC/DC měniče, elyty, varistory, zatěžovací rezistory a spínače budou vývodové, vše ostatní SMD, prioritně typy vyhovující RoHS směrnici.

6.4 Deska LAN převodníku - technické parametry

Deska LAN převodníku bude splňovat následující parametry:

Napájecí napětí:	12V \pm 10% (tato tolerance je vyžadována DC/DC měničem THI 3-1223)
LAN rozhraní:	10BaseT/100BaseTX, RJ45 (ethernet, ARP, IPv4, ICMP, UDP)
Protokol:	nestandardní s využitím UDP
Rozměry:	cca 170 x 130 mm, výška max. 35 mm

6.5 Deska LAN převodníku - použité komponenty

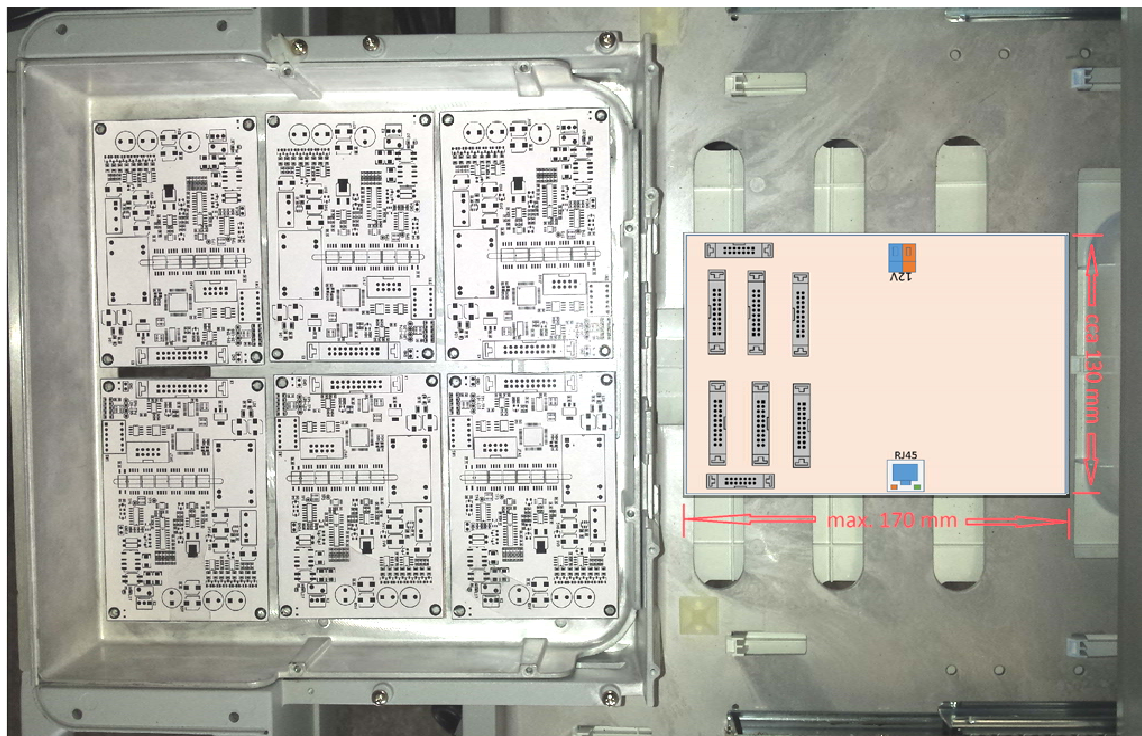
Deska LAN převodníku generátoru bude obsahovat následující klíčové součástky:

STM32F401RCT6	řídící mikroprocesor
AT45DB161E	dataFlash paměť pro uložení průběhů (rezerva)
AT25640B	EEPROM paměť pro konfigurační parametry LAN
W5500	LAN radič
TSR1-2450	zdroj 5V pro digitální část desky LAN převodníku a všech šesti desek generátorů
obecné polovodiče	ADM4853ARZ, LM1117IMP-3.3/NOPB, obvody 74HC**, IRLML6344, ...
kondenzátory	prioritně keramické, na nezbytných místech elektrolytické (20 tisíc hodin při 105°C)
rezistory	vše SMD 0603/1%

Poznámka: Konektory, svorky, DC/DC měniče, pojistky, elyty a spínače budou vývodové, vše ostatní SMD, prioritně typy vyhovující RoHS směrnici.

6.6 Požadavky na mechanické provedení

Pro desky generátoru je vyhrazen prostor 270 x 270 mm, prostor pro desku LAN převodníku pak 170 x 200 mm. Předpokládané rozmístění desek naznačuje obrázek níže, desky jsou upevněny pomocí distančních sloupků.



6.7 Firmware mikropočítačů

Pro vývoj firmware mikropočítačů STM32F401 bude využito...

- vývojové prostředí EmBitz 0.42 (dříve Emblocks; <http://www.emblocks.org/>)
- překladač ARM GCC postavený na GNU GCC v 4.8.
- JTAG adaptér ST-LINK/V2-ISOL
- knihovny pro obsluhu periférií dostupné na st.com (tzn. poskytované STMicroelectronics, viz níže)

Licenční podmínky pro užívání knihoven uvedené v souborech knihoven:

```
* Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification,
* are permitted provided that the following conditions are met:
*   1. Redistributions of source code must retain the above copyright notice,
*     this list of conditions and the following disclaimer.
*   2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice,
*     this list of conditions and the following disclaimer in the documentation
*     and/or other materials provided with the distribution.
*   3. Neither the name of STMicroelectronics nor the names of its contributors
*     may be used to endorse or promote products derived from this software
*     without specific prior written permission.
*
* THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND CONTRIBUTORS "AS IS"
* AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE
* IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE
* DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE COPYRIGHT HOLDER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE
* FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL
* DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR
* SERVICES; LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER
* CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY,
* OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE
* OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.
```

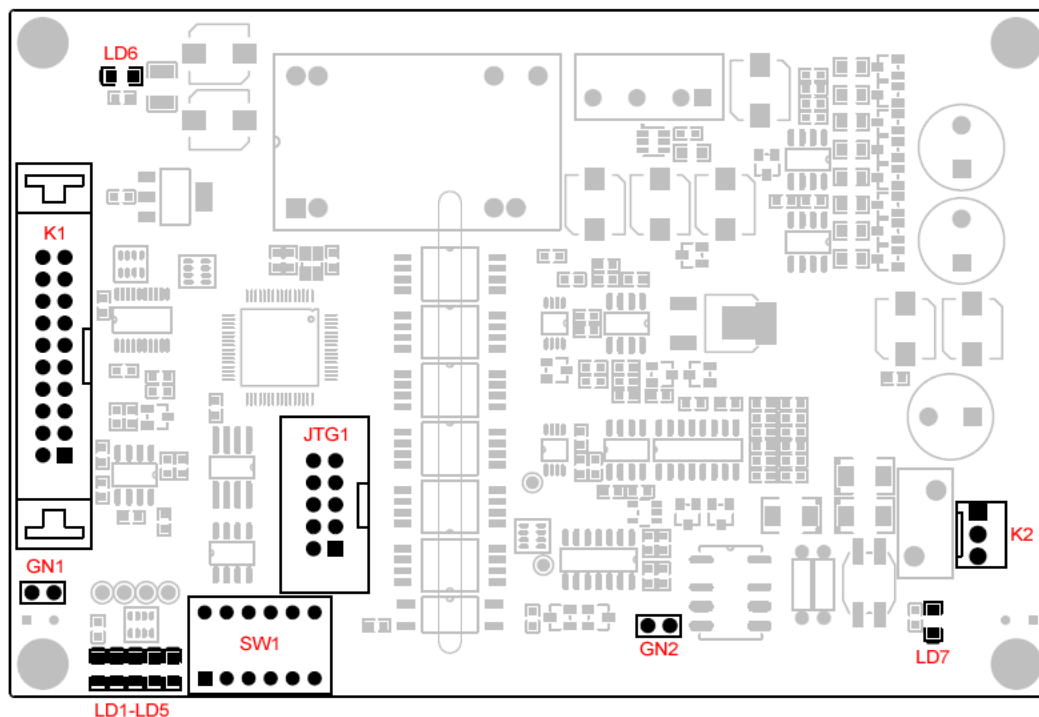
7. Realizace - deska generátoru

7.1 Úvod

V následujících odstavcích jsou popsány vlastnosti desky generátoru.

7.2 Významné body na desce

Na obrázku níže jsou zakresleny a zvýrazněny významné prvky desky generátoru.



Přehled a popis významných prvků:

- LD1 zelená LED signalizující svitem přítomnost napájecího napětí 5 V
- LD2 červená LED signalizující svitem přechod do stavu systémového watchdogu
- LD3 červená LED signalizující svitem, že poslední zápis do Modbus holding registrů neobsahoval platná data (tzn. povel splňoval Modbus konvence, ale nevyhověl verifikaci)
- LD4 žlutá LED signalizující svitem přepnutí rozsahu 0÷8 mA na 0÷12 mA
- LD5 žlutá LED signalizující svitem stav, kdy deska odpovídá na Modbus zprávu
- LD6 zelená LED signalizující svitem přítomnost napájecího napětí 12 V
- LD7 žlutá LED signalizující svitem aktivaci relé (zapojena paralelně k cívice relé)
- K1 konektor pro připojení k desce LAN převodníku (obsahuje signály komunikační linky RS-485, signál RESET a signály obou napájecích zdrojů)
- K2 konektor pro výstupní signál generátoru
- JTG1 programovací konektor mikropočítače
- SW1 konfigurační DIP spínač (viz samostatný popis)
- GN1 servisní pin, GND svorka digitální části
- GN2 servisní pin, GND svorka analogové části

7.3 Význam segmentů DIP spínače

V tabulce níže je popsán význam jednotlivých segmentů DIP spínače.

segment						popis
1	2	3	4	5	6	
ON						EEPROM + dataFlash blokovány proti přepisu
OFF						EEPROM + dataFlash nejsou blokovány proti přepisu
	ON					servisní režim (Modbus input registry mají doplněna servisní data)
	OFF					provozní režim (Modbus input registry podle 3. kapitoly)
		ON				rezerva
		OFF				rezerva
			ON	ON	ON	Modbus adresa desky nastavena na 1
			ON	ON	OFF	Modbus adresa desky nastavena na 2
			ON	OFF	ON	Modbus adresa desky nastavena na 3
			ON	OFF	OFF	Modbus adresa desky nastavena na 4
			OFF	ON	ON	Modbus adresa desky nastavena na 5
			OFF	ON	OFF	Modbus adresa desky nastavena na 6
			OFF	OFF	ON	rezerva
			OFF	OFF	OFF	rezerva

Poznámka: Stav segmentů 4÷6 DIP spínače je načten pouze při startu firmware (tzn. zapnutí napájecího napětí 5 V nebo resetu desky).

7.4 Obsah paměti dataFlash

DataFlash paměť obsahuje data s tvary signálů, podrobně viz kapitola "EEPROM + dataFlash".

7.5 Obsah paměti EEPROM

EEPROM paměť obsahuje konfigurační data desky, podrobně viz kapitola "EEPROM + dataFlash".

7.6 Servisní data mapovaná do Modbus input registrů

V servisním režimu (viz popis DIP spínače) jsou do rezervovaných registrů mapovány čtyři interní veličiny podle tabulky níže.

adresa	název	popis
0...25	---	standardní provozní data
26	CALIB_AIN1	kalibrační konstanta pro AIN1 uložená v EEPROM (typicky 4100)
27	CALIB_AIN2	kalibrační konstanta pro AIN2 uložená v EEPROM (typicky 4100)
28	VFC_GND	hodnota odpovídající frekvenci VFC převodníku pro GND (typicky 800)
28	VFC_VREF	hodnota odpovídající frekvenci VFC převodníku pro VREF (typicky 7000)
30...31	---	standardní provozní data

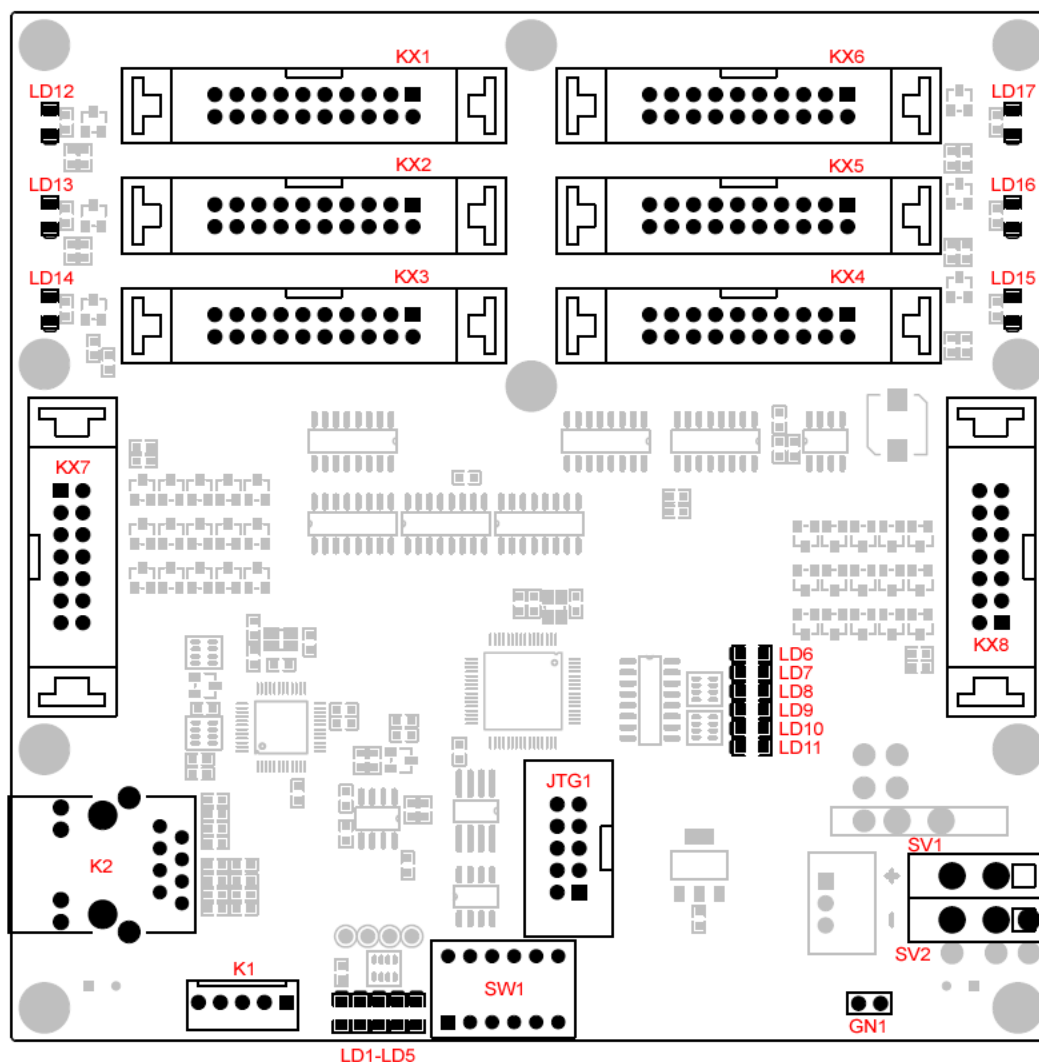
8. Realizace - deska LAN převodníku

8.1 Úvod

V následujících odstavcích jsou popsány vlastnosti desky LAN převodníku.

8.2 Významné body na desce

Na obrázku níže jsou zakresleny a zvýrazněny významné prvky desky LAN převodníku.



Přehled a popis významných prvků:

- LD1 zelená LED signalizující svitem přítomnost napájecího napětí (tzn. 12 V ze svorek SV1/SV2)
- LD2 červená LED signalizující svitem přechod do stavu systémového watchdogu
- LD3 červená LED, rezerva pro budoucí užití
- LD4 žlutá LED, rezerva pro budoucí užití
- LD5 žlutá LED signalizující svitem stav, kdy deska odpovídá na Modbus zprávu servisního rozhraní
- LD6 žlutá LED signalizující svitem vyslaný Modbus dotaz desce generátoru s adresou 1
- LD7÷11 žluté LED, význam analogický LD6, ale pro desky generátoru s adresami 2÷6
- LD12 zelená LED signalizující svitem aktivaci napájecího napětí desky generátoru s adresou 1
- LD13÷17 zelená LED, význam analogický LD12, ale pro desky generátoru s adresami 2÷6

K1	konektor pro servisní linku RS-485 (piny 1÷3), resp. signál RESET a zdroj 5 V (piny 4 a 5); standardně je osazen třipinový konektor, tedy pouze signály RS-485
K2	konektor pro LAN
KX1	konektor pro připojení desky generátoru s adresou 1
KX2÷6	význam analogický KX1, ale pro desky generátoru s adresami 2÷6
KX7	konektor pro připojení tří RGB LED generátorů 1 až 3
KX8	konektor pro připojení tří RGB LED generátorů 4 až 6
JTG1	programovací konektor mikropočítače
SV1/2	dvě napájecí svorky pro připojení napájecího napětí 12 V s tolerancí max. +10%/-8% (SV1 pro kladný pól je oranžová, SV2 je modrá)
SW1	konfigurační DIP spínač (viz samostatný popis)
GN1	servisní pin, GND svorka

8.3 Význam segmentů DIP spínače

V tabulce níže je popsán význam jednotlivých segmentů DIP spínače.

segment						popis
1	2	3	4	5	6	
ON						EEPROM + dataFlash blokovány proti přepisu
OFF						EEPROM + dataFlash nejsou blokovány proti přepisu
	ON					rezerva
	OFF					rezerva
		ON				rezerva
		OFF				rezerva
			ON	ON	ON	LAN používá tabulku IP/MAC parametrů číslo 1
			ON	ON	OFF	LAN používá tabulku IP/MAC parametrů číslo 2
			ON	OFF	ON	LAN používá tabulku IP/MAC parametrů číslo 3
			ON	OFF	OFF	LAN používá tabulku IP/MAC parametrů číslo 4
			OFF	ON	ON	LAN používá tabulku IP/MAC parametrů číslo 5
			OFF	ON	OFF	LAN používá tabulku IP/MAC parametrů číslo 6
			OFF	OFF	ON	LAN používá tabulku IP/MAC parametrů číslo 7
			OFF	OFF	OFF	LAN používá tabulku IP/MAC parametrů číslo 8

Poznámka: Stav segmentů 4÷6 DIP spínače je načten pouze při startu firmware (tzn. zapnutí napájecího napětí 5 V nebo resetu desky).

8.4 Obsah paměti dataFlash

Paměť dataFlash není osazena.

8.5 Obsah paměti EEPROM

EEPROM paměť obsahuje konfigurační data desky, podrobně viz kapitola "EEPROM + dataFlash".

9. DataFlash a EEPROM

9.1 Úvod

V následujících odstavcích jsou uvedeny informace související s pamětí dataFlash a s pamětí EEPROM.

9.2 Obsluha dataFlash a EEPROM ze strany RS-485 (tzn. Modbus)

Obě paměti jsou dostupné v jednom lineárním prostoru 4 GB pomocí uživatelských Modbus funkcí 67 a 68.

Modbus funkce 67 - read memory

Dotaz: Adresa (1B) - komunikační adresa (tzn. 1 až 6 pro generátory, resp. 1 pro LAN desku)
Kód funkce (1B) - kód Modbus funkce (tzn. 67)
Počáteční adresa paměti (4B) - 32bitová počáteční adresa čtených dat
Počet bytů (1B) - počet čtených dat (platný rozsah 1 až 247)
Kontrolní součet (2B)

Odpověď: Adresa (1B) - komunikační adresa UART (tzn. 1 až 6 pro generátory, resp. 1 pro LAN desku)
Kód funkce (1B) - kód Modbus funkce (tzn. 67)
Počet bytů (1B) - počet přečtených dat (platný rozsah 1 až 247)
Data (n x B) - data přečtená z paměti
Kontrolní součet (2B)

Modbus funkce 68 - write memory

Dotaz: Adresa (1B) - komunikační adresa (tzn. 1 až 6 pro generátory, resp. 1 pro LAN desku)
Kód funkce (1B) - kód Modbus funkce (tzn. 68)
Počáteční adresa paměti (4B) - 32bit. počáteční adresa zapisovaných dat
Počet bytů (1B) - počet zapisovaných dat (platný rozsah 1 až 247)
Data (n x B) - data zapisovaná do paměti
Kontrolní součet (2B)

Odpověď: Adresa desky (1B) - komunikační adresa UART (=1 až 6)
Kód funkce (1B) - kód Modbus funkce (tzn. 68)
Status (1B) - verifikace dat (0 = v pořádku; 1 = chyba verifikace zapsaných dat)
Kontrolní součet (2B)

Paměť dataFlash je u obou desek mapována na adresách 0x00000000 až 0x00200000 (tzn. 2 MB od adresy 0), paměť EEPROM pak na adresách 0x00800000 až 0x00802000 (tzn. 8 kB od adresy 8 MB výše).

9.3 Datový obsah dataFlash desky generátoru

Paměť DataFlash s kapacitou 2 MB je rozdělena na 512 bloků velikosti 4 kB; každý blok umožňuje uložit jeden generovaný tvar signálu.

Posledních 16 B bloku je vyhrazeno pro kontrolní kód (je použit 128bitový MD5 Message-Digest hashovací algoritmus), který zajišťuje korektnost obsahu prvních 4080 B dat.

Data tvarů jsou uložena jako 16bitové hodnoty v rozsah 0÷65535, kde 0 odpovídá nulovému proudu a 65535 maximálnímu proudu; uložena jsou v pořadí nižší byte (tzn. D7÷D0) jako první, vyšší byte (tzn. D15÷D8) jako druhý. Data představují požadovaný tvar signálu vzorkovaný s periodou 12,5 μs (velikost bloku tedy umožňuje uložit až 25,5 ms záznamu, reálně se používá 20 ms).

Poznámka: Postup po vyhodnocení platnosti či neplatnosti dat je popsán v třetí kapitole.

9.4 Datový obsah EEPROM desky generátoru

Z paměti EEPROM s kapacitou 8 kB jsou využity jen první čtyři byte...

0x00800000	kalibrační konstanta AIN1 (dolní byte)
0x00800001	kalibrační konstanta AIN1 (horní byte)
0x00800002	kalibrační konstanta AIN2 (dolní byte)
0x00800003	kalibrační konstanta AIN2 (horní byte)

9.5 Datový obsah dataFlash desky LAN převodníku

Paměť dataFlash není osazena.

9.6 Datový obsah EEPROM desky LAN převodníku

Z paměti EEPROM s kapacitou 8 kB jsou využity jen prvních 102 byte...

0x00800000	konfigurace LAN1 (1. byte IP adresy)
0x00800001	konfigurace LAN1 (2. byte IP adresy)
0x00800002	konfigurace LAN1 (3. byte IP adresy)
0x00800003	konfigurace LAN1 (4. byte IP adresy)
0x00800004	konfigurace LAN1 (1. byte masky)
0x00800005	konfigurace LAN1 (2. byte masky)
0x00800006	konfigurace LAN1 (3. byte masky)
0x00800007	konfigurace LAN1 (4. byte masky)
0x00800008	konfigurace LAN1 (1. byte brány)
0x00800009	konfigurace LAN1 (2. byte brány)
0x0080000A	konfigurace LAN1 (3. byte brány)
0x0080000B	konfigurace LAN1 (4. byte brány)
0x0080000C ÷ 017	konfigurace LAN2, struktura analogická konfiguraci LAN1
0x00800018 ÷ 023	konfigurace LAN3, struktura analogická konfiguraci LAN1
0x00800024 ÷ 02F	konfigurace LAN4, struktura analogická konfiguraci LAN1
0x00800030 ÷ 03B	konfigurace LAN5, struktura analogická konfiguraci LAN1
0x0080003C ÷ 047	konfigurace LAN6, struktura analogická konfiguraci LAN1
0x00800048 ÷ 053	konfigurace LAN7, struktura analogická konfiguraci LAN1
0x00800054 ÷ 05F	konfigurace LAN8, struktura analogická konfiguraci LAN1
0x00800060	MAC adresa (1. byte)
0x00800061	MAC adresa (2. byte)
0x00800062	MAC adresa (3. byte)
0x00800063	MAC adresa (4. byte)
0x00800064	MAC adresa (5. byte)
0x00800065	MAC adresa (6. byte)