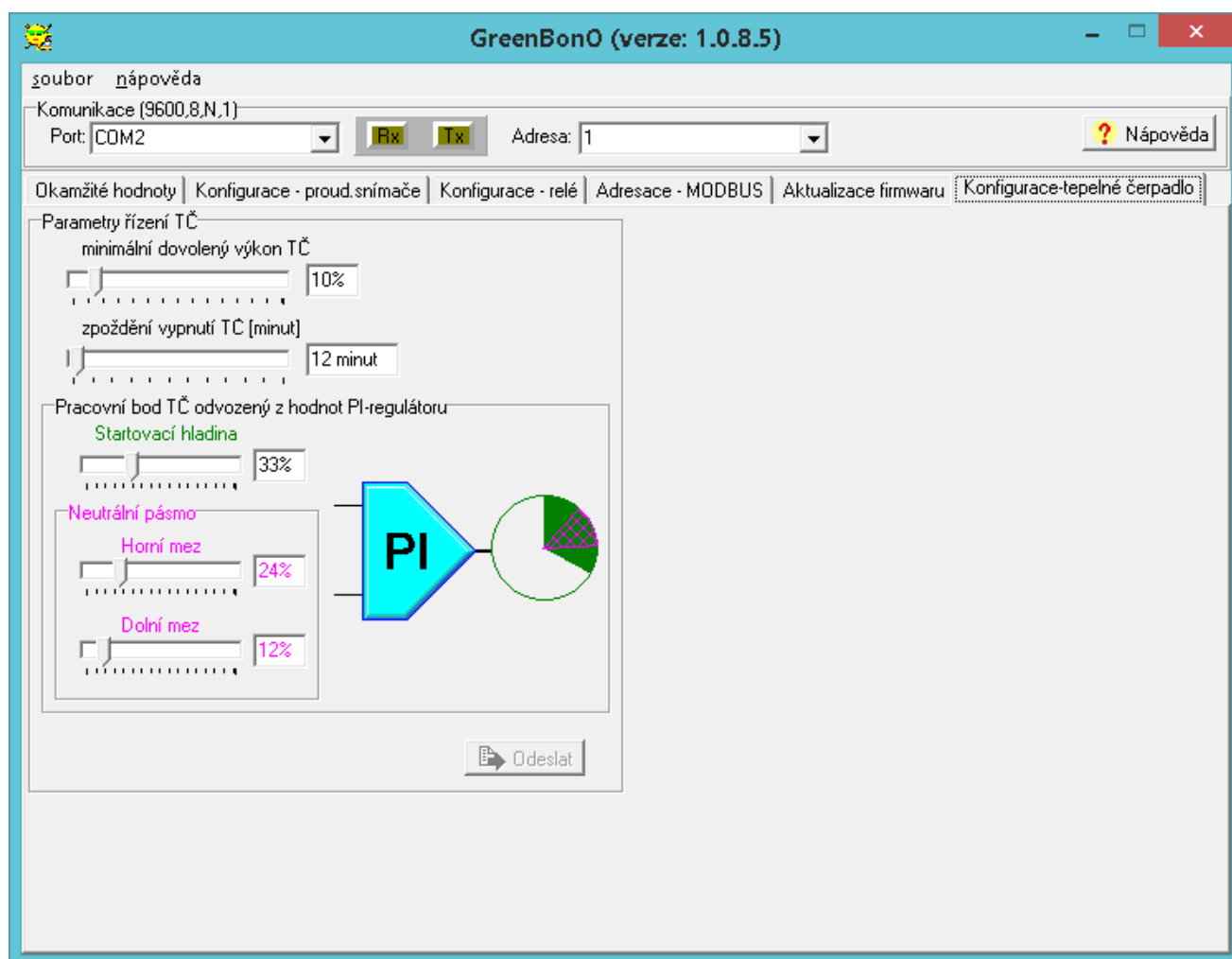


GreenBonO

Regulace přebytků FVE

s řízením výkonu
tepelného čerpadla s invertorem



Tento dokument popisuje vlastnosti a způsob použití dalšího ze zveřejněných firmwarů regulátoru GreenBonO, který rozšiřuje standardní regulaci přebytků jednofázové FVE o možnost řídit výkon tepelného čerpadla vybaveného invertorovou jednotkou. GreenBonO přitom poskytuje řídicí jednotce TČ jediný signál nesoucí informaci typu „horní mez výkonu pro tuto chvíli“, aby TČ umělo využít pouze elektrinu z vlastní FVE. Veškerou ostatní funkcionalitu TČ zajišťuje řídicí jednotka tepelného čerpadla.

Třífázová verze:

Tento firmware je použitelný i pro 3f. verzi, ale je nezbytné zvolit v konfiguraci třífázový způsob měření a regulace proudu. GreenBonO v 3f.módu reguluje vždy podle fáze s nejmenším přetokem a umožní dosažení slušných výsledků i s elektroměry, měřícími každou fázi zvlášť.

Od zapojení 3f. regulace se očekává, že výstupy GreenBona budou řídit symetricky všechny tři fáze (že budou použity třífázové symetrické spotřebiče), a protože reguluje podle nejslabší fáze, spotřebuje v každé fázi shodně velké přebytky-odpovídající velikosti nejslabší fáze. Nejslabší fáze je tedy vyregulována na nulu, zatímco zbývajících dvěma fázemi odejde zbytkový přetok do sítě (o složku převyšují nejslabší fázi). Optimálního využití přebytků se zde tedy dosáhne při symetrické výrobě (běžná vlastnost 3f. měničů) a současně i symetrické spotřebě.

Rampy výstupního signálu :

Tepelné čerpadlo vyžaduje z důvodu zachování očekávané životnosti velmi přísné dodržování předepsaného pracovního režimu. Nutné je minimalizovat četnost startů, změna otáček smí být jen velmi pomalá. Náběžná rampa (doba přeběhu z 0 na 100%) signálu GreenBona z výstupu DO6 pro tepelné čerpadlo proto trvá 510 sec (8min 30sec), stejně tak i sestupná rampa.

Popis zapojení a funkce:

1. **signál pro řízení výkonu TČ** je vyveden z výstupu DO6 GreenBona jako PWM výstup osmibitové slabiky (0...255) s frekvencí 300Hz, a napětím 0/5V. (viz. [oscilogram na str.8](#))
Signál v tomto tvaru - pulsně šířková modulace (PWM-pulse width modulation) zpravidla není přímo použitelný pro řídicí jednotky tepelných čerpadel a je nutno ho nejprve převést na analogový signál 0...5V, tj. vyfiltrovat pomocí RC členu typu dolní propust. (viz. [schéma na str.6](#)), nebo
pokud řídicí jednotka TČ vyžaduje analogové řídicí napětí 0...10V, pak je nutno použít složitější mezičlánek, a to převodník PWM na napětí 0...10V. - viz [schéma na str.7](#)
2. **Start TČ:** logickou podmínkou pro start TČ je dostatečné množství přebytků (větší, než minimální dovolený příkon TČ). Než k tomu dojde, budou přebytky spotřebovávány topným tělesem, které bude plynule řízeno pomocí SSR1 z výstupu DO0 GreenBona. Startovací hladina pro start TČ je vyjádřena v procentech výkonu zmíněného topného tělesa a nastavuje se v záložce „konfigurace TČ“ programu GreenBono_HMI.

Příklad:

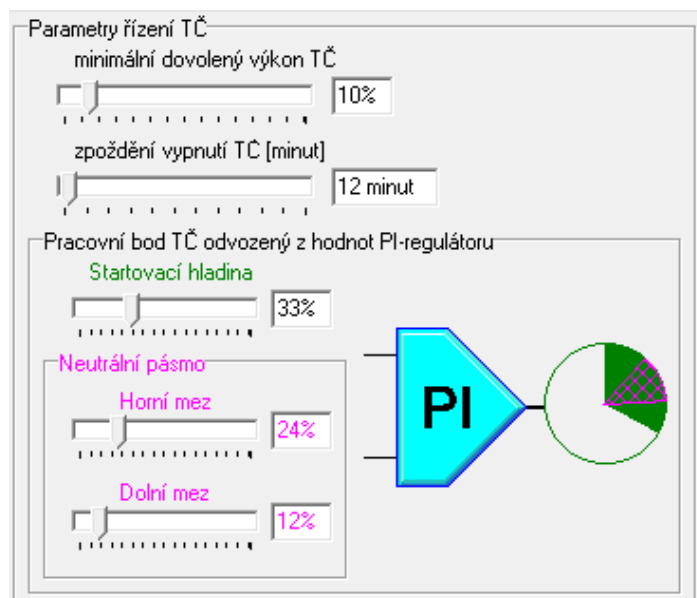
Topné těleso má jmenovitý příkon 1,5kW, minimální příkon TČ je 300W, jeden regulační krok TČ je cca 100W. Start TČ má smysl poté, co přebytky překročily s rezervou 300W, tj. cca 27% příkonu topného tělesa. Smysluplná startovací hladina proto bude nejméně na 27% výstupu PI-regulátoru.

Start je poté zahájen 3-minutovým intervalem, kdy je z výstupu GreenBona odeslán signál konstantní velikosti, odpovídající minimálnímu dovolenému výkonu TČ, aby TČ s rezervou došlo po rampě z nuly na požadovanou hodnotu. Po uplynutí tohoto intervalu je pak již prováděna korekce výkonu podle disponibilních přebytků.

3. **Vypínání TČ:** Pokud disponibilní přebytky klesnou pod hodnotu minimálního výkonu TČ, začne odpočítávat čítač zpožděného vypnutí a TČ v tomto intervalu částečně až úplně odebírá elektřinu ze sítě
4. **Provoz tepelného čerpadla**
regulační odezva TČ je velmi pomalá, a proto v regulátoru GreenBonO není řízení TČ funkčně začleněno do kaskády ostatních spotřebičů. TČ má svůj samostatný algoritmus, který mu přisuzuje nejvyšší prioritu ze všech spotřebičů.

V GreenBonu tak běží vedle sebe dva odlišné regulační algoritmy:

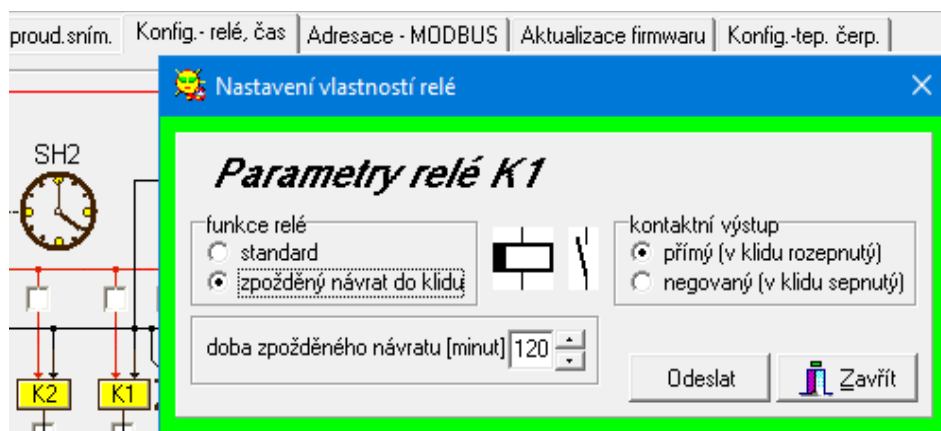
- rychlá regulace výkonu topných těles, která má za cíl udržovat nulový přetok do sítě
- pomalá regulace tepelného čerpadla, která má za cíl postupně (dovolenou rychlostí) získat pro TČ co největší podíl z celkového disponibilního přebytku a to následovně:
 - výkon TČ navyšuje na úkor ostatních spotřebičů přebytků tak dlouho, dokud je kde brát. Tímto postupem buď dosáhne 100%, nebo se růst řídicího napětí pro TČ zastaví ve chvíli, kdy spotřeba přebytků ostatními spotřebiči klesne na přednastavený pracovní bod, který je podobně jako startovací hladina TČ odvozen od procentuální hodnoty výstupu PI-regulátoru a představuje tak výkon, který je ponechán rychlému algoritmu ke kompenzaci rychlých změn regulovaného toku elektřiny. Vyšší hladina pracovního bodu vede k nižšímu výkonu TČ ale garantuje jistou „vatu“ při náhlém poklesu přebytků; pokles je kompenzován snížením výkonu tepelných spotřebičů s podstatně rychlejší odezvou což omezí odběr ze sítě. Pokud je pracovní bod blízko nuly, je maximum přebytků využito k pohonu TČ a na topná tělesa téměř nic nezbyvá. Náhlý pokles přebytků je kompenzován odběrem ze sítě, protože není kde rychle ubrat; odběr TČ lze snižovat jen velmi pomalu.
 - když se pak signál PI regulátoru odchýlí od zvoleného pracovního bodu směrem dolů, začne signál pro TČ klesat po sestupné rampě. Takto buď znovu dosáhne ustáleného stavu, nebo sjede na minimální výkon a pak po vypršení času zpožděného vypnutí zastaví úplně.



Pozn.: Pracovním bodem se zde rozumí neutrální pásmo, zobrazené ve screenshotu jako šrafovaná kruhová výseč v koláči výstupu PI-regulátoru. Zatímco osa této výseče definuje pracovní výkon řízeného topného tělesa (velikost „vaty“ jak bylo popsáno výše), šířka (úhel) této výseče určuje pásmo necitlivosti tepelného čerpadla- pokud se výstupní signál PI-regulace drží uvnitř této výseče, TČ drží dosažené otáčky.

- **Řazení spotřebičů přebytků k výstupům GreenBona**

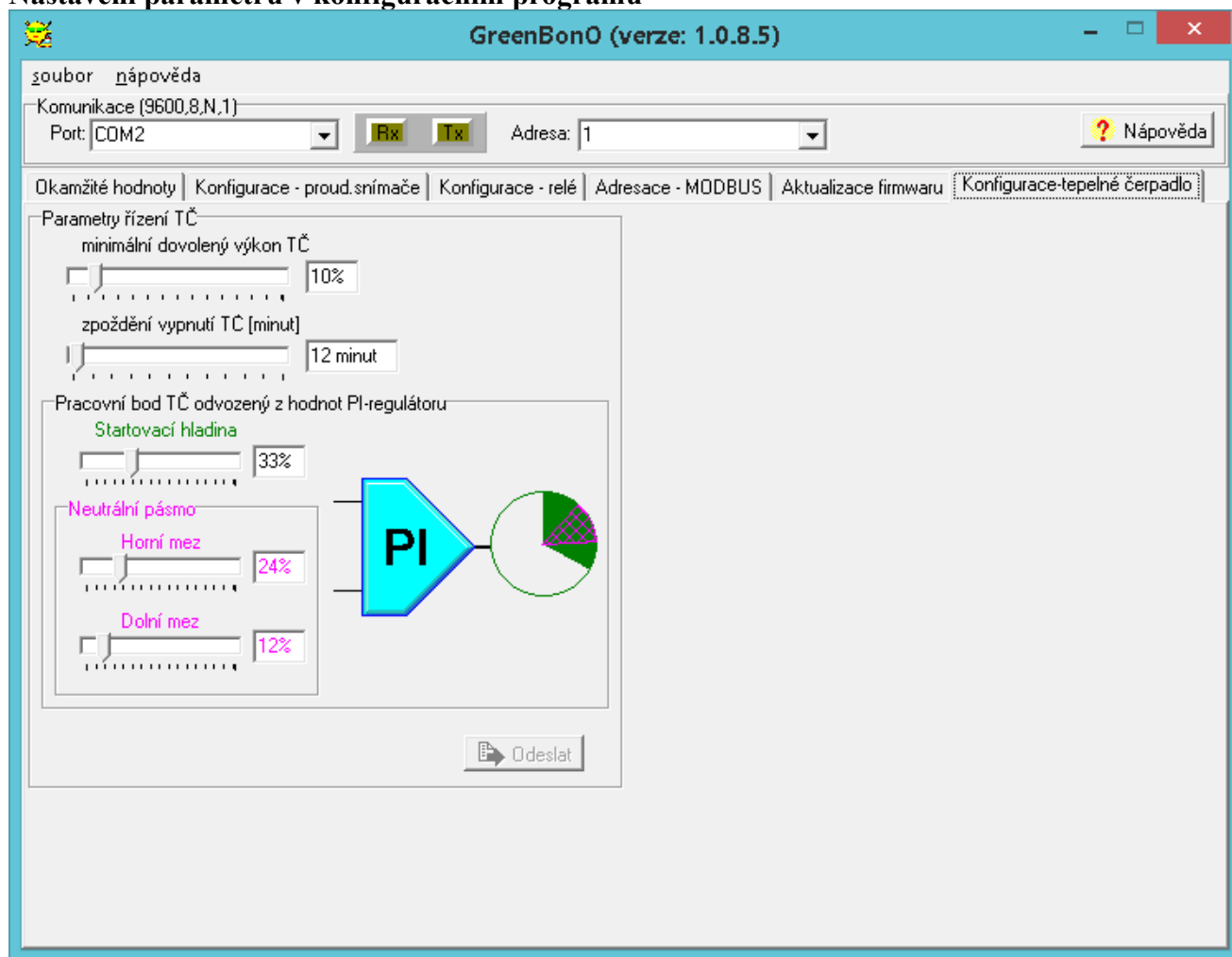
1. první stupeň regulace - SSR1 řídí elektrotepelný spotřebič
(v 3f. provedení jsou dvě SSR (každé v jiné fázi) řízeny společným signálem z výstupu DO0 GreenBona, třetí fáze je připojena přímo ke spotřebiči (v případě spotřebiče zapojeného do hvězdy nesmí být uzel nulován)
2. druhý stupeň regulace - tepelné čerpadlo; výstup DO6 GreenBona je nakonfigurován pro pulsně šířkovou modulaci (PWM) o frekvenci 300Hz a napěťové úrovni TTL (0/5V). Tento signál není přímo použitelný; je nutno ho převést vhodným převodníkem na signál akceptovaný nadřazenou regulací tepelného čerpadla (zpravidla na plynule řízené stejnosměrné napětí - viz. schémata na str 6 a 7)
3. dalších 5 stupňů regulace - pomocí relé K1...K5 GreenBona lze připínat další spotřebiče. Každé relé lze od. fw verze 2.040 samostatně nakonfigurovat jako klasické, nebo relé se zpožděným návratem 1...120 minut, a jeho kontakt jako přímý či negovaný. Relé lze pak použít nejen ke spínání topných těles, ale i tepelných čerpadel bez invertoru, nebo k odpínání měničů, je-li dodávka do sítě zakázána a nastane situace, kdy GreenbonO už nemá kam uložit přebytky (to platí pouze pro 1f. FVE, protože u 3f. FVE se přetokům nevyhneme, leda by regulace běžela na nejsilnější fázi a ze zbývajících dvou by se elektřina dočerpávala ze sítě. Takový požadavek však zatím nikdo nevznese!). Konfigurace relé se spustí v záložce „Konfig.-relé, čas“ rozkliknutím schématické značky příslušného relé.



(v 3f. provedení se předpokládá použití 3f. symetrických spotřebičů).

Důležité upozornění: Pokud se nevyužívají některá relé K1... K5, je potřeba úplně zakázat jejich funkci (přerušit černé propojky v blokovém schématu pod značkou relé-viz levý dolní roh obrázku výše), jinak se může výrazně prodloužit interval vypnutí TČ po zániku přebytků.

Nastavení parametrů v konfiguračním programu



Když konfigurační program při komunikaci zaznamená přítomnost firmwaru „TC1f“ v regulátoru GreenBonO, zviditelní záložku „Konfigurace-tepelné čerpadlo“, viz. screenshot výše. (implementováno od verze 1.0.8.5 konfiguračního programu)

Každý z pěti parametrů se nastavuje myší, přetažením jezdce virtuálního tahového potenciometru.

Nastavované parametry:

1. **minimální dovolený výkon TČ** (v procentech jmenovitého výkonu TČ)
2. **zpoždění vypnutí TČ** (v minutách), má omezit četnost startů TČ, slouží k překlenutí dočasných poklesů přebytků, kdy TČ jede na minimální dovolený výkon. Odběr TČ je přitom částečně či úplně pokryt ze sítě.
3. **startovací hladina** (v procentech výstupního signálu PI-regulátoru) Procenta výstupního signálu PI-regulátoru odpovídají procentům jmenovitého výkonu topného tělesa, připojeného na SSR1 (výstup DO0 GreenBona). Je to výkon, právě spotřebováváný topným tělesem, čili výkon přebytků, který lze postupně převést na TČ. Tento výkon by měl být alespoň o jeden výkonový stupeň TČ větší, než minimální dovolený výkon TČ. Když výstup PI-regulátoru dosáhne na tuto hodnotu, startuje TČ a v prvních 3 minutách najede na minimální otáčky. Výkon TČ přitom roste na úkor výkonu řízeného PI-regulátorem, takže signál PI-regulátoru klesá. Další chování TČ pak závisí na velikosti zbývajících přebytků:
4. **Horní mez neutrálního pásma** - pokud výstupní signál PI-regulátoru klesne pod tuto hodnotu (a zároveň není sepnuto žádné relé kaskády (k1...K4, resp. K1...K5), zastaví se proces navyšování řídicího napětí pro TČ- není na to dost přebytků. Pokud výstup PI-

regulátoru zase překročí tuto hladinu, začne výkon TČ růst.

5. **Dolní mez neutrálního pásma** - pokud výstupní signál PI-regulátoru klesne pod tuto hodnotu, začne řídicí napětí pro TČ klesat. Pokud výkon klesne až na minimální povolenou hodnotu, zahájí se odměřování zpožděného vypnutí. Pokud pak dojde k nárůstu přebytků a výstup PI-regulátoru zase překročí dolní neutrální mez, proces ubírání výkonu TČ se zastaví.

Neutrální pásmo (pásmo necitlivosti TČ; šrafovaná oblast [ve screenshotu](#) na předchozí stránce) je interval výkonu řízeného topného tělesa, při němž zůstává řídicí napětí pro TČ beze změny. Protože výkon TČ se mění po skocích, kterých je 14 v celém jeho výkonovém rozsahu, měl by rozsah (šířka) neutrálního pásma odpovídat alespoň jednomu výkonovému skoku TČ, aby kolísání přebytků v tomto rozsahu bylo plně vykryto topným tělesem a zbytečně přitom nekolísaly otáčky TČ.

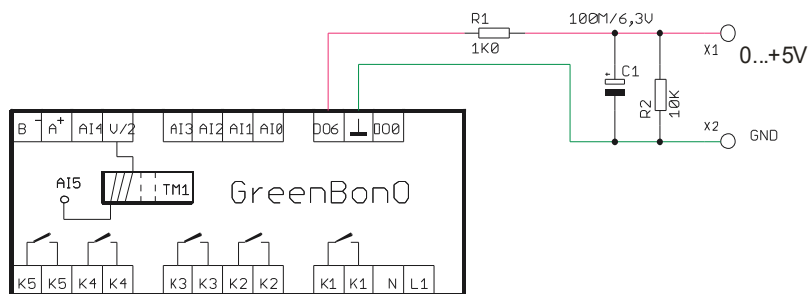
- (a) Pokud by nastala situace, že by neutrální pásmo bylo příliš úzké a neobsáhlo celý jeden výkonový skok TČ (nebo kdyby na SSR1 nebyla žádná zátěž), pak by PI-regulace neměla k dispozici dostatek výkonu k vykrytí celého výkonového skoku TČ. V důsledku toho by výkon TČ cyklicky přebíhal mezi dvěma sousedními hladinami. (kmitání s periodou 75 sec; 37,5 sec přidává, pak 37,5 sec ubírá). Vzhledem k malé strmosti rampy (cca 1% za 5 sec) by to sice nemělo být příliš na závadu, ale moc elegantní to není.
- (b) Pokud by spotřebič řízený SSR1 byl příliš malý na to, aby umožnil nastavení stabilního pracovního bodu TČ, lze přidat další topné těleso na SSR3 (výstup AI1 GreenBona) a konfiguraci nastavit na „kaskádu 3SSR. Pak plný rozsah řízení SSR1 odpovídá první třetině výstupu PI-regulátoru, druhá třetina je bez funkce (původně tam byla vazba na výstup pro SSR2, v tomto firmwaru je ale tento výstup využit pro TČ v samostatné programové smyčce) a třetí třetina slouží řízení SSR3 (SSR1 přitom jede naplno).
- (c) Pokud by nebyly k dispozici žádné elektrotepelné spotřebiče, pak by nešlo smysluplně nastavit startovací hladinu a neutrální pásmo, tj. parametry pro řízení TČ odvozené od pozice výstupu PI-regulátoru (jakékoli procento z nuly je zase jen nula). Startovací hladinu TČ by pak bylo nutno definovat nastavením proudové hodnoty „Start level“ na první záložce konfiguračního programu. Dokud by pak přetoky do sítě nedosáhly této hodnoty, GreenBonO by zůstalo neaktivní, teprve po dosažení hodnoty „Start level“ by se regulace rozběhla, ale v režimu popsaném výše v odstavci (a), čili po celou dobu, kdy přebytky jsou menší než plný výkon TČ, by otáčky cyklicky, pomalu přebíhaly nahoru-dolu mezi dvěma sousedními výkonovými hladinami.

Úprava PWM signálu z DO6 GreenBona pro řídicí jednotku TČ

Převod na analogové napětí 0...5V:

RC člen typu dolnofrekvenční propust je nejjednodušší způsob, jak získat analogový signál, ovšem pouze v rozsahu 0...5V a bez galvanického oddělení.

zapojení:



Převod PWM signálu na analogové napětí 0...10V:

1. Převodník od firmy Solar Controls (doporučený)

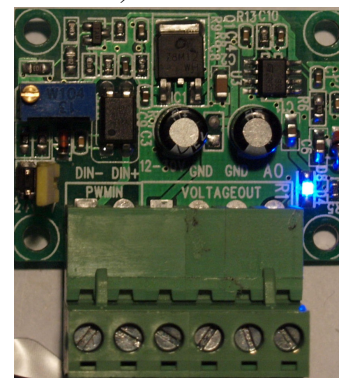
elektrickým rozhraním je velmi podobný níže popsanému převodníku z CNC shopu, ale je zabudován do skříňky Modulbox 1M, což činí jeho montáž snadnou a je vizuálně kompatibilní s Greenbonem.

2. Převodník z CNC shopu

na fotografii CNC e-shopu je vyobrazen starý, dnes již nedodávaný převodník. Současně dodávaný převodník je jeho inovovaná verze. (jiné uspořádání vývodů, SMD technologie, výrazně složitější)

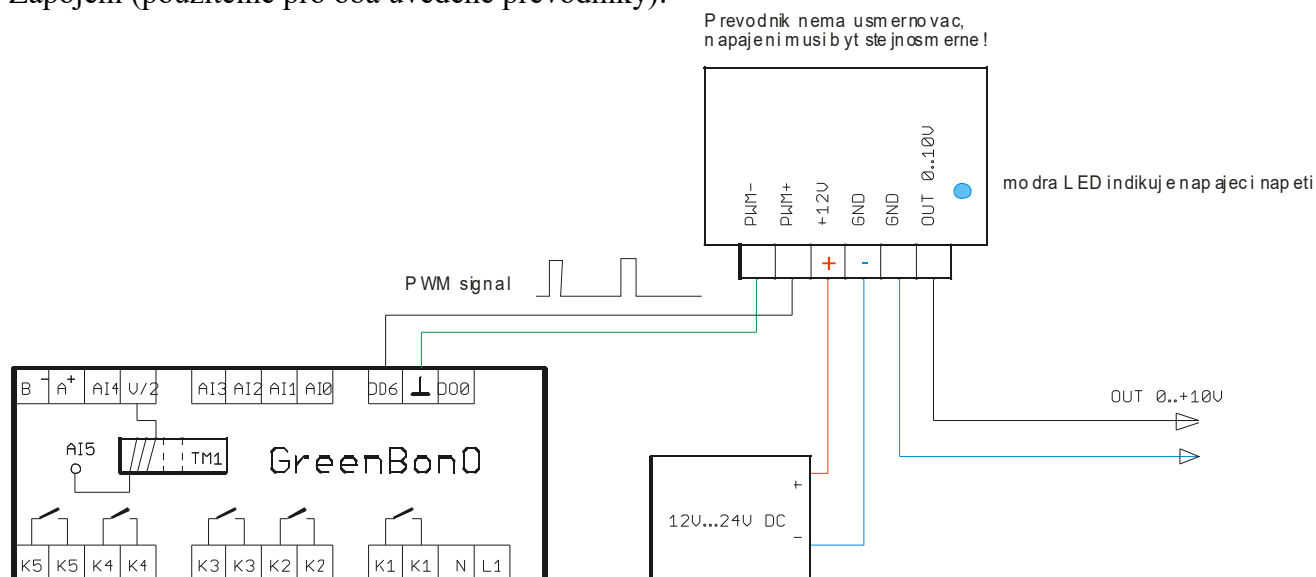
Vlastnosti převodníku:

- nemá vlastní usměrňovač, proto musí být napájen stejnosměrným napětím 12...24V. (má pouze filtraci a stabilizátor /7812/) Odběr je nepatrný, k napájení lze použít jakýkoli síťový adaptér s DC výstupem 12V) (*IO vpravo nahoře je dvojité OZ /LM358/*)
- napájecí napětí je indikováno modrou LED diodou - viz foto:
- svorky PWM jsou galvanicky odděleny od zbytku převodníku (optron)
- vstupní stranu (PWM) lze jumperem nakonfigurovat pro PWM signál s napětím 5V nebo 24V (*jumper volí mezi dvěma předřadnými rezistory (330R pro 5V a 2K7 pro 24V), zapojenými v sérii s vysílací LED diodou vazebního optronu (typ 817C), omezující proud diodou na cca 10mA ; LED dioda vyžaduje dodržet předepsanou polaritu napětí na svorkách PWM)* (volí se tím velikost předřadného odporu pro LED diodu optronu)
- trimrem se nastavuje výstupní analogové napětí, otáčením proti směru hod. ručiček se přidává

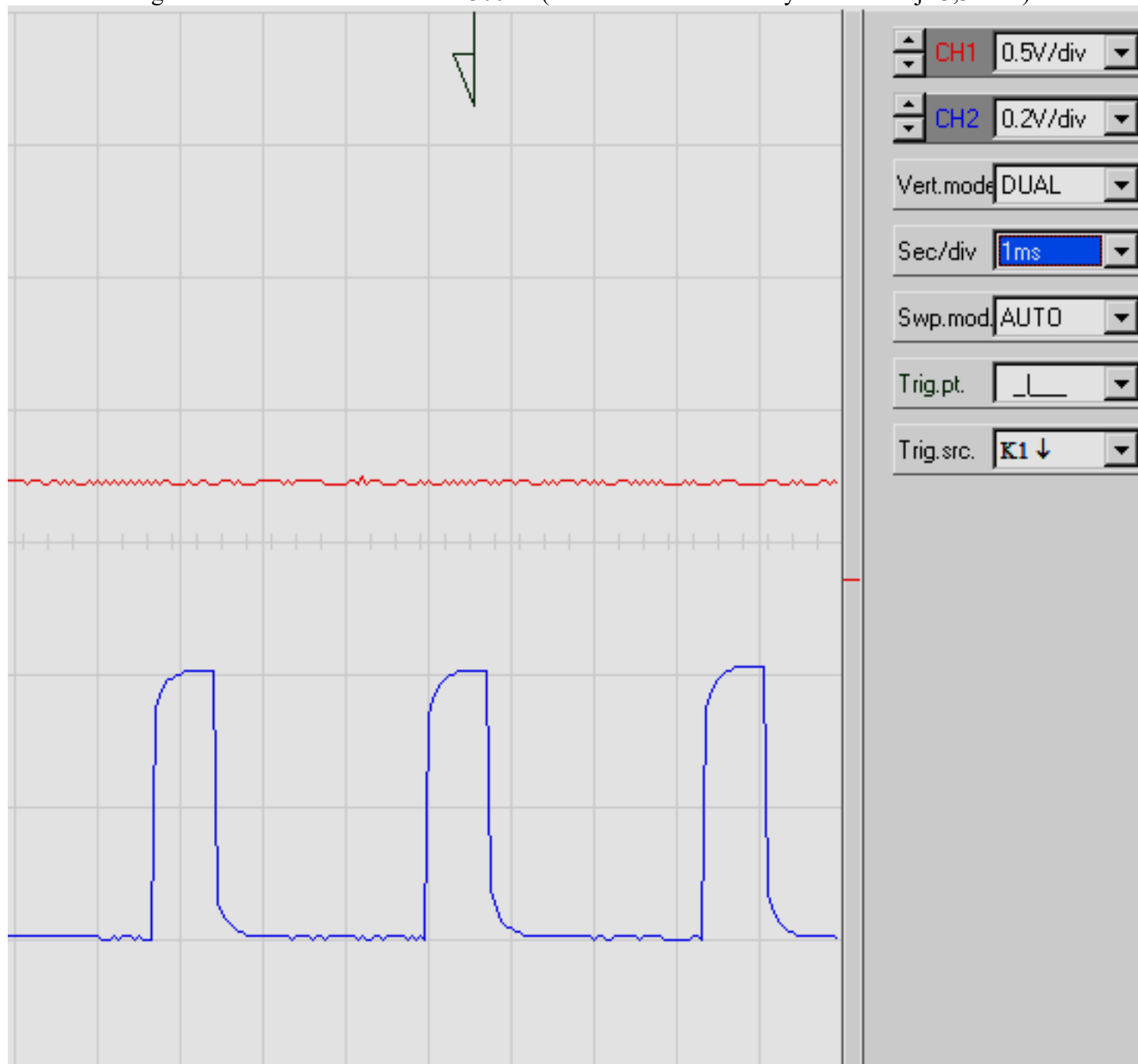


nastavení převodníku: na vstupní svorky přivést stejnosměrné napětí (5 nebo 24V ($\pm 30\%$); podle volby jumperem) a trimrem nastavit výstupní napětí na 10V. (*Informaci PWM nese pouze střída signálu; velikost napětí je irelevantní. Nepřerušované napětí pak představuje plný PWM signál - 100%*)

Zapojení (použitelné pro oba uvedené převodníky):



PWM signál z Greenbona má frekvenci 300Hz (čas mezi dvěma náběžnými hranami je 3,3msec)



Oscilogram (kanál 2-modrý) zobrazuje střidu signálu, když PWM výstup Greenbona je 20% . DC napětí na výstupu převodníku (kanál 1 -červený) v tu chvíli bylo 2,15V. (obě měřící sondy osciloskopu měly napěťovou děličku 1:10)

GreenBonO při testu převodníku obsahoval firmware „**greenbono2041_TC_upg.hex**“