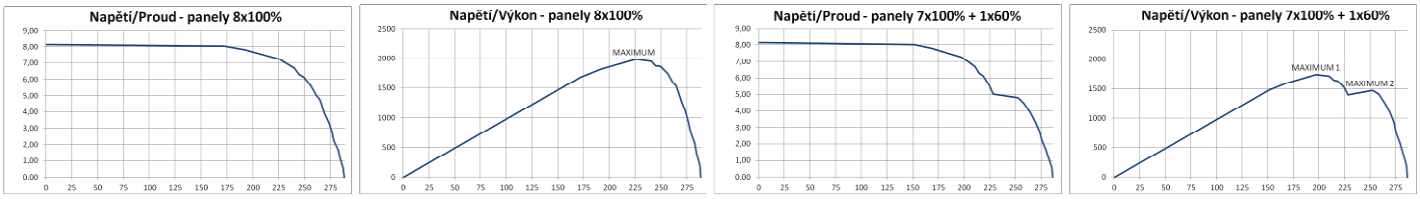
MPPS regulátor pro napájení boileru z fotovoltaických panelů

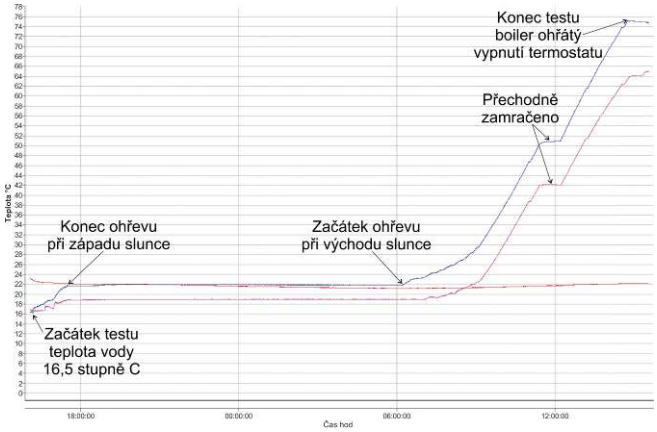
Firmwarová verze 11

Fotovoltaické panely jsou stále dostupnější, tak už se jejich instalace na střechách rodinných domů vyplatí. Problém nastane v okamžiku, kdy nelze vyrobenou energii spotřebovat ihned a bylo by užitečné ji uložit na později. Baterie jsou ještě příliš drahé, takže si je nemůže dovolit instalovat každý. Jiným způsobem, jak energii uložit, je něco ohřívat. Může to být přímotop, podlahové topení, akumulační kamna anebo voda. Zatímco první tři způsoby jsou využitelné především v zimě, teplá voda najde uplatnění v domácnosti každý den. Spotřebič ale nelze připojit k panelům jen tak, aniž by nedocházelo ke ztrátě energie kvůli výkonovému nepřizpůsobení. Proto vznikl tento regulátor, který se připojuje mezi fotovoltaické panely a spotřebič s odporovou charakteristikou (např. topná spirála v boileru) a neustále přizpůsobuje zátěž aktuálnímu výkonu panelů. Pomocí střídače navíc regulátor přeměňuje vstupní stejnosměrné napětí na střídavé výstupní. Nemůže tak dojít ke zničení termostatu v důsledku oblouku mezi kontakty, který by jinak stejnosměrný proud vytvořil. Může pracovat ve čtyřech režimech, které jsou popsány v dalším textu. Nepotřebuje ke své funkci žádný další zdroj (až na čtvrtý režim) a pracuje v širokém rozsahu napětí. Regulátor ale nemůže napětí zvyšovat, jen ho snižuje, takže je nutné zapojit do série dostatečný počet panelů přiměřeně jmenovitému napětí zátěže. Vhodné napětí panelů je popsáno v odstavci Optimální napájení regulátoru. Na výstup lze připojit spotřebič s příkonem do 2,5 kW (s aktivním chlazením až 4 kW). K indikaci napájení a aktuálního výkonu slouží 6 LED diod. Regulátor má i DC výstup, na který je automaticky přesměrováno napětí panelů v případě, že je spotřebič na AC výstupu odpojený.

Nejprve trochu teorie. Výkon zdroje a příkon spotřebiče musí být přizpůsoben, aby byl přenos energie vždy co nejvyšší. Tato technika se běžně nazývá MPPT (Maximum power point tracking). Popisovaný regulátor ještě vylepšuje tuto techniku pravidelným vyhledáváním optimálního pracovního bodu pomocí prohledání celé výkonové charakteristiky fotovoltaických panelů a nalezení největšího maxima. Někdy se totiž může stát, že při poruše jednoho z panelů, jeho znečištění nebo zastínění se MPPT regulátor zavěsí na nesprávném maximu a nevyužije všechnu energii, kterou jsou panely schopny dodávat. Tato technika se nazývá MPPS (Maximum power point searching). Důsledky nerovnoměrného výkonu jednotlivých panelů jsou zřejmé z grafů.



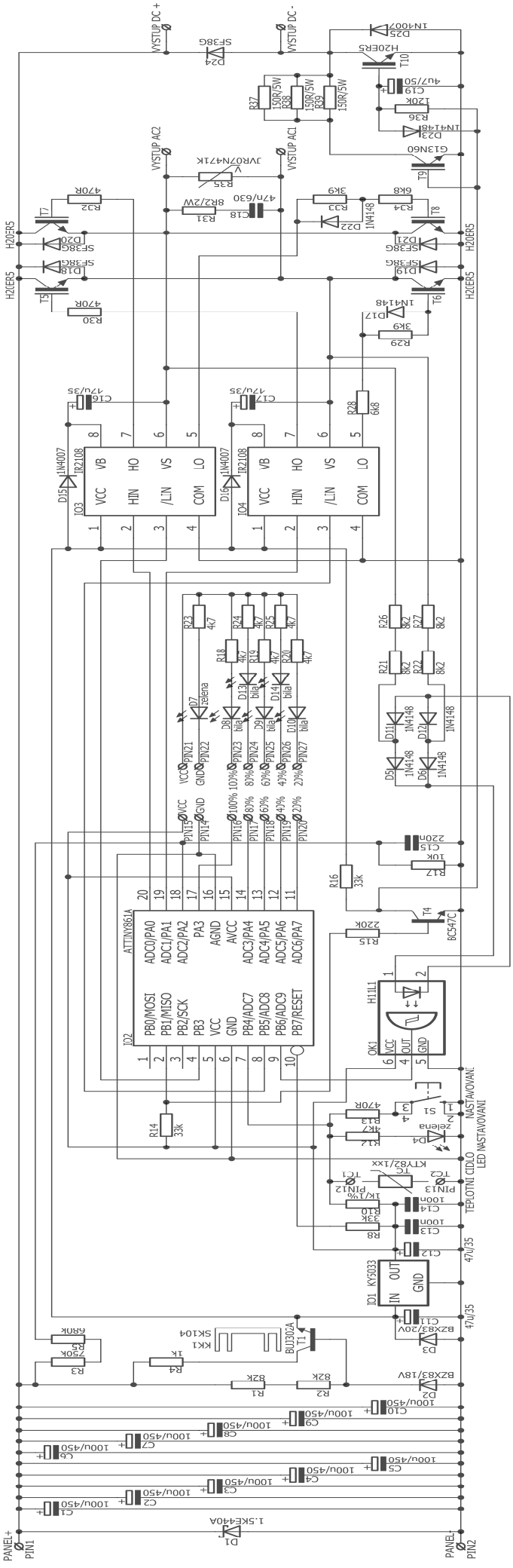
Vlevo je voltampérová a výkonová charakteristika fotovoltaických panelů, které mají všechny stejný výkon. Na výkonové charakteristice je jen jedno maximum. Vpravo jsou ty samé charakteristiky, ale v případě, že výkon jednoho z osmi panelů v sérii poklesne na 60 %. Na výkonové charakteristice se objeví dvě maxima. Běžný MPPT regulátor se zavěsí na maximum o očekávané poloze a momentálně vyšší maximum vedle ignoruje. MPPS regulátor pravidelně prohledá celou výkonovou charakteristiku, vždy najde největší maximum a na to se zavěsí. Výsledkem je víc získané energie z panelů, zvláště v případě obtížnějších světelných podmínek.



Na obrázku je srovnání MPPT a MPPS regulátoru v reálném provozu. Dolní křivka odpovídá teplotě vody v boileru napájeným MPPT regulátorem, horní křivka je při napájení MPPS regulátorem. Oba boilery byly stejného typu i objemu, panely (8 + 8 ks) byly umístěny na stejné střeše a byly v řetězcích propojeny šachovnicově, aby se co nejvíce potlačil vliv rozmístění panelů na množství energie, které byly schopny poskytnout (a regulátory získat). Měření začalo v podvečer a skončilo odpoledne druhý den přibližně ve 14 hodin, když vypnul termostat jednoho z boilerů.

Základní technické údaje

Napájecí napětí a proud:	od 60 do 430 V
Napájecí proud:	do 16 A
Výstupy:	AC (pouze boiler, reguluje přizpůsobení k panelům)
	DC (měnič, nabíječ …, pouze přenáší vstupní napětí na výstup)
Maximální výstupní napětí AC:	nastavitelné od 10 do 320 V (nepřekročitelné maximum), kmitočet 121 Hz
Výstupní napětí DC:	od 60 do 430 V (podle aktuálního vstupního napětí)
Max. kapacita na DC výstupu:	2000 µF při 160 V, 1000 µF při 300 V, 500 µF při 430 V
Perioda testování panelu:	nastavitelná od 15 s do 34 minut
Perioda testování termostatu:	nastavitelná od 3 do 34 minut
Indikátor výkonu:	pět bílých LED, rozsah od 0 do 100 %
Rozsah pracovních teplot:	od -20 °C do +35 °C
Rozměry:	180 x 120 x 45 mm
Průřez přívodních vodičů:	od 1,5 do 2,5 mm^2



Popis zapojení

Schéma lze ho rozdělit na několik funkčních částí: baterie kondenzátorů pro akumulaci energie na vstupu, stabilizátor pro napájení procesoru a budičů, řídicí procesor, střídač, obvod kontroly napětí na AC výstupu, spínač DC výstupu a indikátor výkonu.

K akumulaci energie (vyhlazení proudu odebíraného z panelů) slouží deset kondenzátorů C1 až C10 s velkou kapacitou na vysoké napětí. Na vstupu je i transil D1, který eliminuje napěťové špičky, které by se na regulátor mohly dostat od panelů při atmosférických poruchách.

Regulátor nepotřebuje ke své funkci žádný další zdroj, takže bylo nutné vyřešit napájení procesoru. Vzhledem k vysokému vstupnímu napětí a ceně jsem zavrhl spínaný zdroj a použil lineální stabilizátor. Aby jeho tepelná ztráta byla přijatelná, musel jsem snížit odebíraný proud na co nejnižší úroveň. Pomohlo zpomalení taktu procesoru na 1 MHz, snížení napájecího napětí na 3,3 V a použití supersvítivých LED, napájených velmi malým proudem. Celková spotřeba tak klesla pod 10 mA.

Stabilizátor je dvoustupňový, první stabilizuje napětí pro napájení budičů ve střídači na asi 17 V. Je použit klasický stabilizátorem s NPN tranzistorem (T1), ovšem s vysokým dovoleným napětím UCE. Napětí báze T1 určuje Zenerova dioda D2, napájená přes rezistory R1 a R2. Rezistory jsou dva, aby se na nich rozložilo napětí i ztrátový výkon. V sérii s kolektorem T1 je rezistor R4, který omezí proud (sebedestrukcí) v případě, že by došlo k průrazu T1. K tomu by pomohla Zenerova dioda D3, která je zapojena na vstupu druhého stabilizátoru IO1. Ten vyrábí napětí 3,3 V pro napájení mikroprocesoru. Kondenzátory C11 až C14 filtrují vstupní a výstupní napětí stabilizátoru.

Činnost regulátoru řídí mikroprocesor IO2. Měří napětí panelů, snížené na vhodnou úroveň děličem, složeným z rezistorů R3, R5 a R17. Kondenzátor C15 napětí na děliči vyhlazuje. Pomocí této změřené hodnoty řídí regulaci vstupního napětí. Výstupní napětí je střídavé, takže mikroprocesor řídí dva horní (výstupy PA0 a PA1) a dva dolní (PB3 a PB5) tranzistory v můstku. Napětí na výstupu můstku je kontrolováno obvodem složeným z rezistorů R21, R22, R26 a R27, můstkového usměrňovače (D5, D6, D11 a D12) a optočlenu OK1. Výstup optočlenu se spíná a rozpíná v rytmu pulzování výstupního napětí a mikroprocesor si během každé periody čtyřikrát zkontroluje, zda je na výstupu můstku napětí v době, kdy tam má být (výstup optočlenu je sepnut) a není, když má být výstup bez napětí (výstup optočlenu je rozepnut). V případě poruchy některého tranzistoru v můstku mikroprocesor poruchu zjistí a celý můstek vypne.

Další výstupy mikroprocesoru spínají bílé LED diody D8, D9, D10, D13 a D14, které indikují výstupní výkon. Způsob indikace bude popsán později. LED diody jsou napájeny přes rezistory R18, R19, R20, R24 a R25. Zelená LED dioda (D7), napájená přes rezistor R23, indikuje přítomnost napájecího napětí (napětí panelů).

Na vstupu PB4 mikroprocesoru jsou sdruženy tři funkce. První je měření napětí na děliči R10 a teplotního čidla TC. Teplotní čidlo mění svůj odpor podle teploty a procesor z napětí vypočítá teplotu. Teplotní čidlo se dotýká chladiče a mikroprocesor při mezní teploty sníží výstupní výkon. Dalším úkolem vstupu PB4 je sledovat stav tlačítka S1, které slouží k nastavování parametrů regulace uživatelem. Rezistor R13 omezuje proud tekoucí z výstupu PB4 v době, kdy je nastaven jako výstup pro napájení LED diody D4. Ta je k výstupu připojena přes rezistor R12 a mikroprocesor pomocí ní signalizuje svou reakci na nastavování parametrů (bližší informace naleznete v sekci Nastavování).

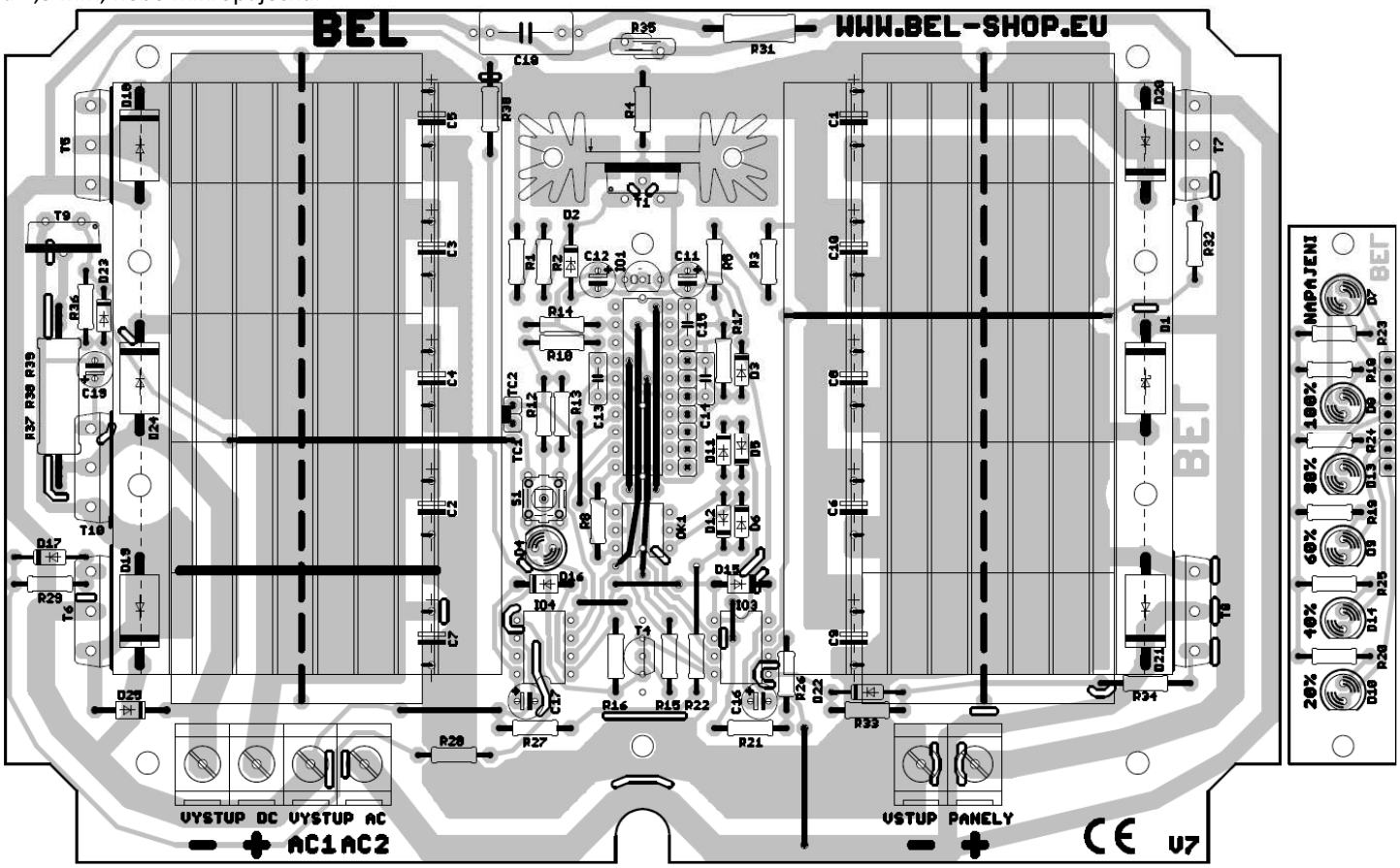
Můstek, přeměňující stejnosměrné napětí na střídavé, je v obvyklém zapojení. Frekvence výstupního napětí je 121 Hz a výstupní napětí je obdélníkové s měnící se šířkou (PWM). Frekvence byla zvolena kompromisně s ohledem na velikost kapacity vstupních kondenzátorů a rušení, které by mohl regulátor generovat. O buzení IGBT tranzistorů T5 až T8 se starají budiče IO3 a IO4. IGBT

tranzistory byly zvoleny proto, že mají na vysokém napětí lepší výkonové parametry (sdružují výhody MOSFET a NPN tranzistorů) než tranzistory MOSFET. Diody D15 a D16 a kondenzátory C16 a C17 uchovávají energii pro buzení horních tranzistorů T5 a T7. Rychlé diody D18 až D21 zajišťují rychlý odvod proudu při komutaci můstku. Horní tranzistory jsou buzeny přes rezistory R30 a R32. Dolní tranzistory mají budicí obvod trochu složitější. Je složen ze dvou rezistorů R28 a R29 (R33 a R34) a diody D17 (D22). Mají za úkol zpomalit otvírání a zavírání IGBT tranzistorů. Protože tranzistory IGBT se otvírají rychleji, než zavírají, jsou otvírány přes oba rezistory R28 a R29 (R33 a R34), ale zavírány pouze přes rezistor R28 (R34), protože druhý rezistor vyzkratuje dioda D17 (D22). Hodnoty rezistorů jsou poměrně vysoké, protože bylo nutné ještě zpomalit spínání a rozpínání IGBT tranzistorů (omezit strmost hran napětí), aby můstek vyhověl normě, která povoluje maximální úroveň vyšších harmonických výstupního napětí. Na to je potřeba dát pozor, jinak by takový regulátor produkoval rušení, které by mohlo ochromit činnost některých jiných elektronických zařízení. Na potlačení rušení je na výstupu můstku i RC člen R31, C18. Na výstupu je také varistor R35, který omezuje případné přepětí, která by mohla vzniknout při komutaci nebo při rozpojení termostatu.

Poslední částí regulátoru je obvod, který přepne napětí panelů na výstup DC. Z praktických testů vyplynulo, že řešení není tak jednoduché, jak by se na první pohled zdálo. Při připojení dalšího zařízení na DC výstup (měnič, regulátor) se ukázalo, že IGBT tranzistor při vysokém napětí nezvládne nabíjecí proudy kondenzátorů, které mohou být na vstupu připojeného zařízení. Proto jsem musel sepnutí DC vstupu rozdělit do dvou fází. Jakmile mikroprocesor vypne tranzistor T4 (buzený přes rezistor R15) dostane se na řídicí elektrodu tranzistoru T9 budicí napětí a přes rezistory R37 až R39 se na DC výstup připojí napětí panelů. To umožní, aby se vstupní kondenzátory propojeného zařízení dostatečně nabily dřív, než sepne hlavní tranzistor T10, jehož zapnutí je zpožděno RC článkem R36 a C19. Dovolená velikost kapacity vstupních kondenzátorů záleží na napětí panelů a je specifikováno v sekci Základní technické údaje. Dioda D23 rychle vybije kondenzátor C19 při vypnutí a tím připraví DC výstup k opětnému zapnutí. Dioda D25 chrání tranzistor T10 před napětím v opačné polaritě v případě, že by došlo k odpojení panelů, ale spotřebič s kondenzátory na vstupu by zůstal připojen. Dioda D24 chrání tranzistory T9 a T10 před přepětím při vypnutí v případě, že by spotřebič měl indukční charakter.

Popis konstrukce

Rozměry větší desky jsou 180,34 x 120,65 mm, rozměry menší desky jsou 15,24 x 76,2 mm. Pozor, v desce jsou na některých místech úzké drážky, které vytvářejí izolační můstky v místech, kde jsou vedle sebe blízko spoje v s velkým rozdílem napětí. Tyto izolační drážky je nutné vytvořit i při domácí výrobě desky. K pájení lze použít pistolovou páječku s pájecí smyčkou z drátu o průměru 0,7 mm a 1,5 mm, nebo mikropáječku.

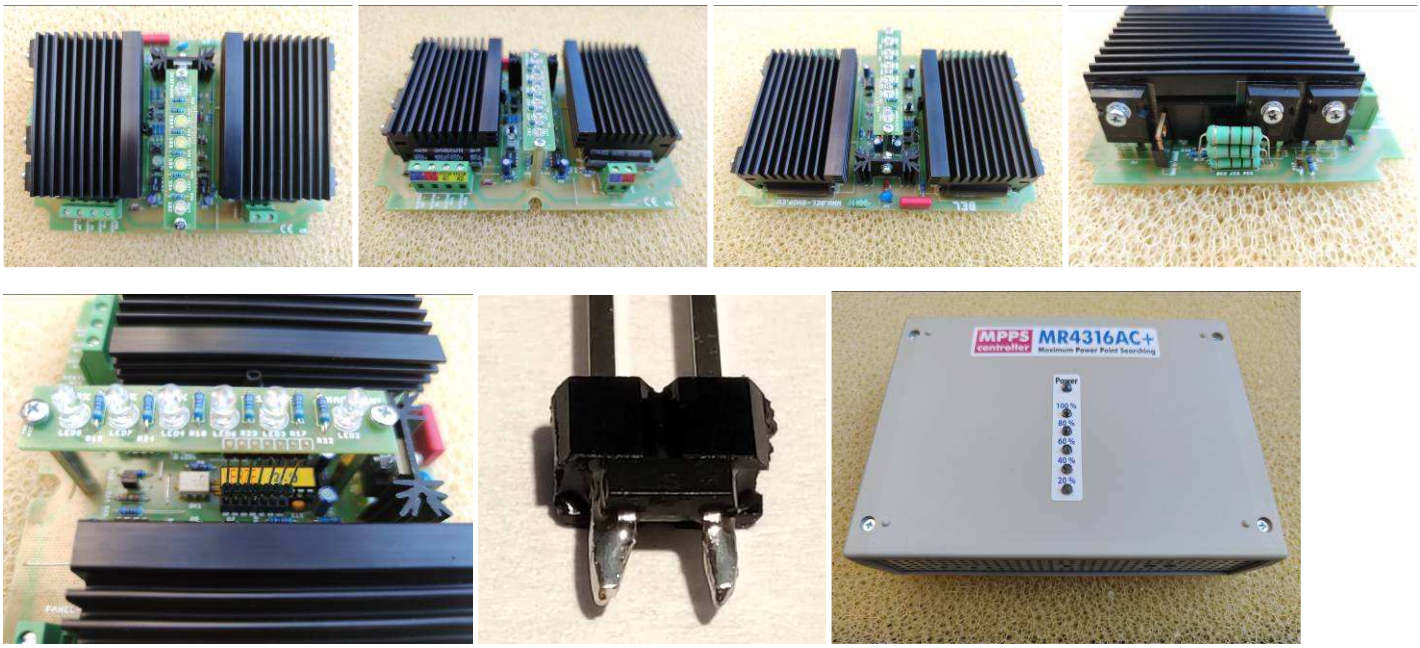


Na montáži není nic záludného. Nejprve zapájejte všechny propojky. Propojka u čtyřdílné svorkovnice je z holého drátu o průřezu 1 mm2, na ostatní stačí slabý izolovaný drátek. Mikroprocesor je umístění v objímce. Pod chladiči jsou umístěny velké kondenzátory, proto je nutné chladiče vypodložit válečky o výšce 5 mm, aby se tam kondenzátory vešly. Zdvihnutí chladičů zároveň umožní pod ně připájet rychlé diody. Chladiče jsou připevněny k desce přes rozpěrné válečky 5 mm šrouby M3x14 (4 ks), tranzistory jsou připevněny na chladiče šrouby M3x12 (5 ks) a sloupky 35 mm jsou připevněny k deskám šrouby M3x6 (4 ks). Pokud bude regulátor používán pro výkon nad 2 kW, je možné kvůli lepšímu chlazení kondenzátory připájet k desce ze strany spojů a ve správné pozici je zafixovat třmeny z kousků vodičů (na obrázku jsou zakresleny čárkovanou čarou), zapájených na obou koncích do desky s plošnými spoji.

Všechny tranzistory umístěné na velkých chladičích musí být od chladičů izolovány slídovými podložkami, natřenými z obou stran tenkou vrstvou **elektricky nevodivé** silokonové teplovodné pasty. Izolaci po zapájení tranzistorů zkontrolujte ohmmetrem. Malý chladič je připájen k plošnému spoji a tranzistor připevněn šroubem M3x12 a maticí M3. Výkonové rezistory R37, R38 a R39 jsou

umístěny nad sebou. Deska s LED diodami je připevněna na rozpěrných sloupcích o délce 35 mm a se základní deskou propojena rozebíratelným spojením. To se skládá z dutinek, připájených do základní desky a dlouhých kolíčků (délku kolíčků upravte), připájených do desky s LED diodami. Kolíky k desce s LED diodami připájejte zespodu až po sešroubování obou desek. Teplotní čidlo TC připájejte na konec pomocné destičky. Destičku připájejte do hlavní desky tak, aby se teplotní čidlo dotýkalo chladiče. Od chladiče ho odizolujte teplem smrštitelnou bužírkou. Pokud chcete využívat regulátor na výkon nad 2500 W, je nutné posílit plošné spoje v místech odkrytého ochranného laku měděným vodičem o průřezu alespoň 1 mm^2 a doplnit chlazení ventilátorem. Po zapájení všech součástek odstraňte špičatým nástrojem zbytky kalafuny, abyste odhalili nedokonalé spoje nebo zkraty (pohledem proti světlu) a desku vyčistěte v isopropylu.

Sestavený regulátor



Popis oživení

K oživení budete potřebovat napájecí zdroj s napětím alespoň 40 V, který připojíte na svorky pro připojení panelů. Pokud takový zdroj nemáte, můžete použít zdroj s napětím 20 V, ale musíte dočasně přemostit rezistory R1 a R2 rezistorem s odporem 4,7 kΩ, aby byl tranzistor T1 dostatečně vybuzen i při takto nízkém napětí. Pak zkontrolujte, zda je na vstupu stabilizátoru IO1 napětí asi 14 až 17 V a na jeho výstupu 3,3 V. Pokud ano, můžete do objímky vložit mikroprocesor. Po připojení napětí zkontrolujte odebíraný proud, měl by být do 10 mA. Po připojení napětí se trvale rozsvítí zelená LED na indikátoru výkonu a zelená dioda na základní desce blikne x-krát (x je číslo verze firmware). Na střídavý i stejnosměrný výstup připojte testovací zátěže (např. žárovky na 230 V). Pak nastavovací tlačítko stiskněte desetkrát krátce (po každém stisku blikne LED na základní desce) a jednou dlouze, tím přepnete regulátor do testovacího režimu, ve kterém se na AC výstupu se trvale objeví střídavé napětí se střídou 2 %. Střídu je možné krátkými stisky tlačítka zvyšovat po 2 % až na maximálních 86 %. Na DC výstupu bude přerušovaně připojováno a odpojováno stejnosměrné napětí a budou se rozsvěcet a zhasínat všechny bílé LED diody indikátoru výkonu. Pak plynule zvyšujte napájecí napětí (pozor, to už nesmí být vyřazen stabilizátor s T1!), dokud se nerozblikají bílé LED diody pomaleji, ve stejném rytmu, jako se zapíná a vypíná DC výstup. Mělo by to nastat při 60 V, což je hranice minimálního napájecího napětí. Tímto testem se zkontrolují všechny části regulátoru najednou. Střídavým voltmetrem nebo osciloskopem ověřte, zda je na střídavém výstupu střídavé napětí a že můstek pracuje správně. Pozor, testovací režim smí být použit pouze pro oživování! Testovací režim se zruší dlouhým stisknutím nastavovacího tlačítka, dokud LED dioda D4 několikrát neblikne. Po tomto ověření můžete regulátor připojit na fotovoltaické panely. Mějte stále na paměti, že pracuje s nebezpečným napětím, dodržujte zásady bezpečné práce, abyste předešli úrazu elektrickým proudem. Po připojení na panely regulátor asi 15 s čeká a pak teprve zahájí činnost. Prvních 8 s po zahájení činnosti se postupně začnou rozsvěcovat bílé indikační LED diody a plynule se rozsvítí žárovka na AC výstupu a pak se regulace zachytí v pracovním bodě a zůstane v něm až do dalšího testu (výchozí nastavení je 5 minut). Pokud test se žárovkami proběhne dobře, můžete nastavit všechny parametry regulátoru (viz. odstavec Nastavování), regulátor instalovat do rozvaděče, připojit na AC výstup topnou spirálu boileru a začít využívat sluneční energii k ohřevu vody.

Popis instalace

Deska regulátoru byla navržena pro montáž do plastové skříňky Combiplast CM-2055M, ale může být umístěna i samostatně s dalšími prvky systému (odpojovače, přepěťové ochrany …) v rozvaděči.

Deska má v rozích čtyři upevňovací otvory pro distanční sloupky M3 s roztečí 100 x 140 mm. Rozteče mezi bílými LED diodami je 10,16 mm, mezi bílou a zelenou LED je rozteč 15,24 mm. Průměr otvorů pro LED diody je 5,2 mm. Pro vyvrtání otvorů pro LED diody do panelu lze použít jako šablonu desku s plošnými spoji, ve které jsou vyvrtány malé otvory v odpovídajících roztečích.

Pokud použijete toto skříňku, vyvrtejte do předního i zadního panelu v pravidelných rozestupech větrací otvory o průměru 2,5 mm. Regulátor se montuje do rozvaděče širší stranou vodorovně (aby indikační LED diody byly nad sebou) na nehořlavou podložku.

V jeho blízkém okolí nesmí být umístěny žádné hořlavé předměty. Pod i nad regulátorem musí být volný prostor nejméně 100 mm, aby bylo zajištěno dobré chlazení. Vstupní vodiče mohou být o průřezu až 2,5 mm^2 a musí být zajištěny proti vytržení ze svorkovnice.

Na desce regulátoru je šest svorek pro připojení panelů i spotřebičů:

Svorka VÝSTUP DC-: DC výstup mínus
Svorka VÝSTUP DC+: DC výstup plus
Svorka VÝSTUP AC1: AC výstup pól 1
Svorka VÝSTUP AC2: AC výstup pól 2
Svorka PANEL-: minus fotovoltaického panelu
Svorka PANEL+: plus fotovoltaického panelu

Nastavování:

K nastavování některých parametrů regulace je na desce vpravo dole tlačítko a LED dioda. Tlačítkem se volí a potvrzuje nastavovaný parametr a nastavuje a ukládá jeho velikost do paměti. LED dioda potvrzuje kroky nastavování.

Nastavování probíhá tak, že nejdříve stisknete tlačítko krátce (< 2 s) tolikrát, podle toho, jaký parametr chcete nastavovat (0x až 10x, viz Nastavované parametry). Každé stisknutí LED dioda potvrdí krátkým bliknutím. Pak dlouhým (> 2 s) stisknutím číslo zvoleného parametru potvrdíte. LED dioda potvrdí volbu parametru dlouhým bliknutím.

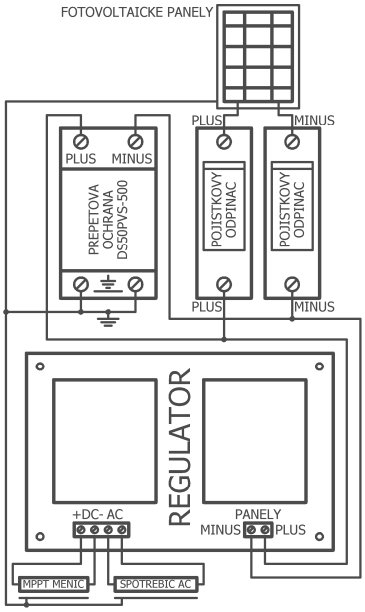
Pak stisknete tlačítko krátce tolikrát, jak velká má být hodnota nastavovaného parametru (viz Nastavované parametry). Každé stisknutí potvrdí LED dioda krátkým bliknutím. Pak dlouhým (> 2 s) stisknutím uložíte nově nastavenou hodnotu parametru do paměti. LED dioda potvrdí uložení hodnoty do paměti pěti krátkými bliknutími. Pak se nastavování vrátí do výchozí polohy a lze nastavovat další parametr.

Výchozí nastavení regulátoru je: jmenovité výstupní napětí 230 V, perioda testování panelu 5 minut a perioda testování termostatu 15 minut, režim 1, prioritní boiler na AC výstupu, příkon boileru 2000 W, denní spotřeba vody 150 litrů, minimální teplota vody 40 °C a minimální napětí panelů 60 V.

Nastavované parametry (platí pouze pro firmwarovou verzi 11):

1) nastavování maximálního výstupního napětí: 0 až 320 V, krok 10 V
   0x krátce, 1x dlouze, 0 až 32x krátce (podle napětí od 0 - 320 V) a 1x dlouze (automaticky se nastaví alespoň 10 V)
2) nastavování periody testu panelu: 15 s a 1 až 34 minut, krok 1 minuta
   1x krátce, 1x dlouze, 0 až 34x krátce (doba od 15 s do 34 minut) a 1x dlouze
3) nastavování periody testu termostatu: 1 až 34 minut, krok 1 minuta
   2x krátce, 1x dlouze, 0 až 34x krátce (doba od 15 s do 34 minut) a 1x dlouze (automaticky se nastaví alespoň 3 minuty)
4) nastavování režimu činnosti: prioritní boiler, prioritní měnič, přepínání dvou boilerů, napájení ze sítě
   3x krátce, 1x dlouze, 0x krátce, je-li prioritní boiler na AC výstupu nebo 1x krátce, je-li prioritní měnič na DC výstupu, 2x krátce, jsou-li na AC výstupu dva boilery přepínané externím relé pomocí napětí na DC výstupu nebo 3x krátce, je-li na AC výstupu boiler, který může být napájen energií z panelů nebo ze sítě přepínané externím přepínačem pomocí napětí na DC výstupu a 1x dlouze
5) nastavování příkonu boileru: 0 až 4800 W, krok 100 W (pouze pro režim 4)
   5x krátce, 1x dlouze, 0 až 48x krátce (příkon od 0 do 4800 W) a 1x dlouze (automaticky se nastaví alespoň 100 W)
6) nastavování předpokládané denní spotřeby vody: 0 až 2500 litrů, krok 10 litrů (pouze pro režim 4)
   6x krátce, 1x dlouze, 0 až 250x krátce (spotřeba od 0 do 2500 litrů) a 1x dlouze (automaticky se nastaví alespoň 10 l)
7) nastavování minimální teploty vody boileru: 30 až 80 °C, krok 1 °C (pouze pro režim 4)
   7x krátce, 1x dlouze, 0 až 60x krátce (teplota od 30 do 80 °C) a 1x dlouze
8) nastavování minimálního dovoleného napětí panelů: 60 až 220 V, krok 10 V
   8x krátce, 1x dlouze, potom 0 až 16x krátce (napětí 60 až 220 V) a 1x dlouze

A) přepnutí do testovacího režimu pro kontrolu činnosti
   10x krátce, 1x dlouze. Po dlouhém stisknutí se na AC výstupu objeví střídavé napětí se střídou 2 %. Střídu lze krátkými stisky tlačítka zvyšovat po 2 % až do maxima 86 %. DC výstup bude automaticky periodicky zapínán a vypínán. Všechny bílé LED diody na indikátoru výkonu budou (při napájecím napětí nad 60 V) blikat pomalu nebo rychle (při napájecím napětí pod 60 V). Testovací režim se zruší dlouhým stiskem tlačítka.
B) zapnutí indikace nastavení regulátoru
   11x krátce, 1x dlouze Po dlouhém stisknutí je regulátor připraven signalizovat aktuální nastavení. Signalizace se spustí dalším dlouhým stiskem tlačítka. Po spuštění bude LED dioda 100 % signalizovat počtem bliknutí číslo parametru 1 až 8 (viz odstavec Nastavované parametry) a poté LED dioda 20 % bude signalizovat počtem bliknutí hodnotu tohoto parametru v paměti regulátoru. 1) maximální výstupní napětí: 1 bliknutí = 10 V, 2) perioda testu panelů: 1 bliknutí = 1 minuta, 3) perioda testu termostatu: 1 bliknutí = 1 minuta, 4) režim činnosti: počet bliknutí = číslo režimu, 5) příkon boileru: 1 bliknutí = 100 W, 6) spotřeba vody: 1 bliknutí = 10 l, 7) minimální teplota vody: 1 bliknutí = 1 °C, 8) minimální napětí panelu: 1 bliknutí = 10 V.

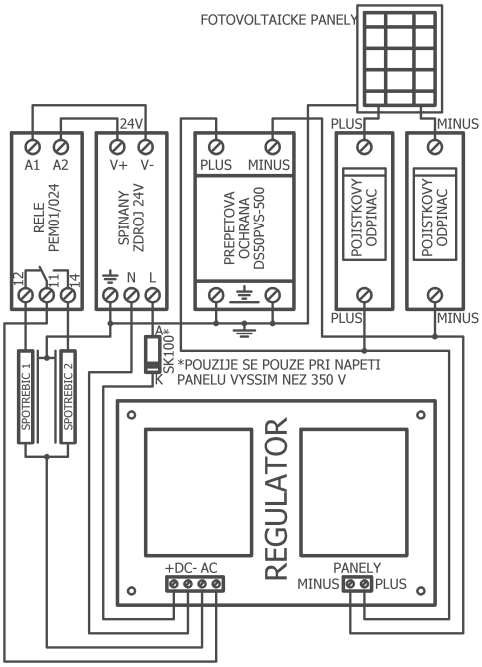


První režim činnosti – prioritní boiler na AC výstupu, podružný je další spotřebič na DC výstupu:

V prvním režimu je prioritní napájení boileru na AC výstupu. Jakmile se boiler odpojí, tak regulátor přesměruje energii panelů na DC výstup, kde je možné ji využít k napájení dalšího spotřebiče (další MPPS regulátor, měnič nebo nabíječ). Regulátor po nastavené době zkontroluje, zda se boiler opět nepřipojil. Pokud ano, tak ho začne napájet a spotřebič na DC výstupu odpojí.

Druhý režim činnosti – prioritní spotřebič na DC výstupu, podružný je boiler na AC výstupu:

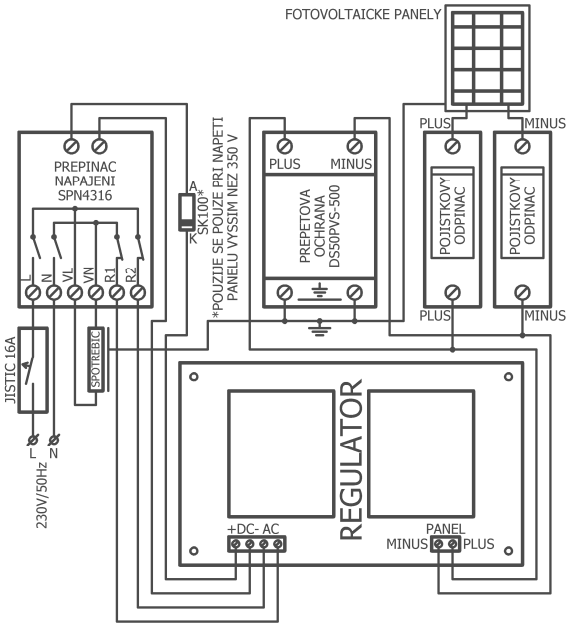
V druhém režimu je prioritní napájení spotřebiče (měnič nebo nabíječ) na DC výstupu. Jakmile se tento spotřebič odpojí, tak regulátor přesměruje napětí panelů na AC výstup, na kterém je připojen boiler. Regulátor po nastavené době zkontroluje, zda se spotřebič na DC výstupu opět nepřipojil. Pokud ano, tak ho začne napájet a boiler na AC výstupu odpojí.



Třetí režim činnosti – dva boilery na AC výstupu, které si regulátor přepíná externím relé (pomocí DC výstupu):

Ve třetím režimu mohou být napájeny dva boilery na AC výstupu. Jakmile se první boiler odpojí, tak regulátor sepne DC výstup. Externí relé, které je připojeno na tomto výstupu, odpojí od AC výstupu první boiler a připojí druhý. Regulátor po zvolené době vypne napětí na DC výstupu, tím odpadne relé a k AC výstupu se opět připojí první boiler a regulátor zkontroluje, zda se první boiler opět nepřipojil. Pokud ne, regulátor sepne DC výstup a pokračuje regulaci s druhým spotřebičem.

Pozn.: na DC výstup obvykle není možné připojit cívku relé přímo, protože napětí panelů může kolísat v širokém rozmezí. Proto se na DC výstup připojí spínaný zdroj s širokým rozsahem vstupního napětí, který vyrobí napětí 24 V, kterým se sepne běžné relé s cívkou na 24 V. Spínané zdroje mají obvykle maximální vstupní napětí 340 V DC, takže pokud bude napětí panelů vyšší než 340 V, je nutné do série se vstupem spínaného zdroje zapojit Zenerovu diodu, která sníží napájecí napětí zdroje o napětí převyšující 340 V.



Čtvrtý režim činnosti – boiler na AC výstupu, který regulátor připíná externím přepínačem (pomocí DC výstupu) na síťové napětí 230 V, pokud není dost solární energie:

Ve čtvrtém režimu je napájen jeden boiler. Regulátor při každém testu posoudí, zda energie dodávaná z panelů dostačuje k tomu, aby byla voda v boileru ohřáta do večera na zvolenou teplotu. Uživatel si nastaví jmenovitý příkon a objem boileru a minimální požadovanou teplotu vody. Ze zadaných hodnot regulátor vypočítá množství potřebné energie. Pokud při testu panelů regulátor usoudí, že solární energie je málo, sepne DC výstup. Externí přepínač SPN4316, který je napájen spínaným zdrojem na DC výstupu, odpojí spotřebič od AC výstupu regulátoru a po krátké bezpečnostní prodlevě ho připojí na síťové napětí 230 V. Při vypínání přepínač postupuje opačně, nejprve odpojí síťové napětí od boileru a po krátké prodlevě k němu připojí AC výstup regulátoru. Regulátor po zvolené době opět provede test a posoudí, zda je nebo není dost energie k ohřevu z panelů a bude napájet boiler energií z panelů nebo ze sítě. Cílem je, aby večer byla voda ohřáta na minimální zvolenou teplotu i ve dnech, kdy je solární energie málo. Pokud je z boileru v průběhu dne odebírána teplá voda, regulátor to nemá žádnou možnost to zjistit, takže je na uživateli, aby nastavil objem boileru na takovou hodnotu, která by pokryla i objem vody odebrané v průběhu dne.

Pozn.: na DC výstup lze připojit externí přepínač SPN4316 přímo, protože je uvnitř zabudovaný spínaný zdroj, který napájecí napětí přepínače stabilizuje nezávisle na napětí panelů. Vnitřní spínaný zdroj lze napájet maximálním napětím 340 V DC, takže pokud by mohlo být napětí panelů vyšší než 340 V, je nutné do série se vstupem spínaného zdroje zapojit Zenerovu diodu (SK100), která sníží napájecí napětí zdroje o napětí převyšující 340 V.

Indikace výkonu:

Regulátor má celkem šest indikačních LED. První (zelená) indikuje připojení napájecího napětí. Dalších pět (bílých) indikuje aktuální výkon, který je vztažen k maximálnímu možnému příkonu připojeného zařízení při nastaveném jmenovitém napětí. Je-li např. jmenovitý příkon připojeného boileru 1000 W a svítí-li trvale LED diody 20 % a 40 %, je aktuální výkon 400 W. Aby bylo rozlišení výkonu vyšší, indikuje poslední svítící LED blikáním výkon s rozlišením 5 %. Rozsvěcuje-li se LED krátce, indikuje výkon +5 %, bliká-li LED 1:1, indikuje výkon +10 %, zhasíná-li se LED krátce, indikuje výkon +15 %. Indikovaný výkon se aktualizuje jednou za sekundu. Příklad: výkon 50 % je indikován trvale svítícími diodami 20 % a 40 % a blikající (1:1) LED diodou 60 %.

Pozn.: rozsah indikace výkonu je odvozen od nastaveného maximálního výstupního napětí. Pokud je na výstupu regulátoru nastavené maximální výstupní napětí svítí na indikátoru výkonu všechny LED diody. Pokud by bylo napětí panelů nižší, než je nastavené maximální výstupní napětí, LED diody na indikátoru by nikdy nesvítily všechny najednou. Například, bude-li napětí panelů při maximálním výkonu jen 120 V a maximální výstupní napětí bude nastaveno na 230 V, tak indikátor výkonu bude ukazovat v rozsahu pouze od 0 do 30 % jmenovitého příkonu boileru při 230 V. Bude-li při stejné konfiguraci panelů a boileru nastaveno maximální výstupní napětí jen 120 V, bude indikátor ukazovat v rozsahu 0 až 100 %, ale příkonu boileru při napětí 120 V. Příkon se přepočítá podle vzorce P = Pn * (U/Un)^2. Samotný výkon dodávaný do boileru změna nastavení výstupního napětí, není-li nastaveno příliš nízko, neovlivňuje.

Další stavy indikátoru výkonu:

Indikátor výkonu může indikovat i jiné stavy regulátoru než jen aktuální výkon. Pokud blikají LED diody postupně jedna po druhé, tak je sepnut DC výstup (režim 1 nebo 2), případně v režimu 4 je boiler napájen ze sítě. Pokud blikají všechny LED diody najednou, tak došlo k chybě (poruše) na můstku, který vyrábí střídavé napětí, a můstek byl zablokován. Chyba se při každém testu vynuluje, ale pokud se při testu LED diody opět rozblikají všechny najednou, tak je porucha trvalá a regulátor musí být zkontrolován.

Ochrany:

Tepelná ochrana hlídá teplotu chladiče. Pokud je překročena maximální teplota, tak regulátor omezuje výstupní výkon. Po poklesu teploty regulátor obnoví normální činnost.

Podpěťová ochrana hlídá napětí panelů. Pokud jejich napětí klesne pod 60 V, tak mikroprocesor vypne činnost můstku a na střídavém výstupu nebude žádné napětí. Je to ochrana, která zajišťuje, aby bylo k dispozici vždy dostatečné napájecí napětí pro řídicí elektroniku. Po vzrůstu napětí nad 60 V regulátor obnoví normální činnost.

Na desce regulátoru jsou i základní přepěťové ochrany, které blokují přepětí na vstupu a chrání spínací tranzistory před napěťovými špičkami. V případě nebezpečí úderu blesku do soustavy fotovoltaických panelů musí být vstupní přívody ještě chráněny před přepětím správně dimenzovanou přepěťovou ochranou a odpojovačí, které umožní rychle rozpojení obvodu při poruše. Běžné pojistky nelze použít, protože i při zkratu fotovoltaické panely poskytnou jen o něco vyšší proud než v optimálním pracovním bodě.

Optimální napájení regulátoru:

Napětí panelů nesmí být ani příliš nízké ani příliš vysoké. Při nízkém napětí nebude možné výkon panelů do zátěže protlačit, příliš vysoké napětí nutí pracovat regulátor v nevýhodné pozici nebo by mohlo dokonce poškodit. **Optimální napájecí napětí má být v rozmezí 100 až 115 % jmenovitého napětí zátěže (to je obvykle 230 V). Napájecí napětí se vypočítá jako součin počtu panelů v sérii a jejich napětí v pracovním bodě (nižší hodnota napětí v dokumentaci k panelům). Optimální špičkový výkon panelů (opět viz dokumentace k panelům) by měl být v rozmezí 100 až 125 % příkonu zátěže.** Dodržením těchto podmínek získáte nejvýhodnější poměr mezi náklady a získanou energií. Pokud používáte spotřebič pro vyšší napětí než 230 V, může být napájecí napětí i vyšší (stále platí doporučení, aby napájecí napětí bylo 100 až 115 % jmenovitého napětí zátěže). Ale i v tomto případě může být maximální počet panelů v sérii jen takový, aby jejich napětí bez zatížení nikdy nepřesáhlo 430 V. Kontrola je snadná. V dokumentaci k panelů naleznete napětí naprázdno (je to nejvyšší udávaná hodnota), to vynásobíte koeficientem 1,15, tím vypočítáte napětí panelů při venkovní teplotě -25 st. C. Výsledné napětí vynásobíte počtem panelů v sérii. Vypočítané napětí musí být **vždy** nižší než 430 V! Pokud není, je nutné snížit počet panelů!

Poznámky, rady, zkušenosti:

Regulátor je napájen vysokým napětím, dbejte vždy na bezpečnost práce, abyste předešli úrazu elektrickým proudem. Před manipulací s regulátorem vždy odpojte fotovoltaické panely. Kondenzátory v regulátoru i po odpojení od panelů udržují nějakou dobu napětí, vždy počkejte, až zhasne zelená LED diody na indikátoru výkonu. Přívody, vedoucí od solárních panelů, musí být ošetřeny proti přepětí, vznikající při atmosférických poruchách (blesku), jinak při velkém přepětí hrozí poškození polovodičových součástek regulátoru. Minimální napájecí napětí může být 60 V, při nižším napětí se regulátor vypne. Regulátor nesmí být napájen z jiného zdroje (s výjimkou testovacího režimu), než ze solárních panelů. Regulátor hlídá, aby se na spirálu boileru dostalo maximálně nastavené jmenovité napětí, i kdyby solární panely mohly poskytnout vyšší výkon. Napětí na výstupu pro boiler je střídavé. Regulátor využívá pulzně šířkovou modulaci, při které se od topné spirály v boileru může ozývat slabé bzučení, které by mohlo narušovat klid v prostorách, ve kterých je boiler umístěn. Na AC výstup je zakázáno připojit jinou než odporovou zátěž (boiler). Na DC výstup smí být připojena zátěž (měnič, nabíječ) se vstupní kapacitou menší než dovolenou, jinak hrozí poškození spínacího tranzistoru. Regulátor nezakrývejte, aby se mohl dostatečně chladit. Pravidelně odstraňujte prach, který se dostane dovnitř regulátoru. Nastavování regulátoru provádějte při napájení malým napětím (do 60 V), nebo použijte dodatečnou izolaci při dotyku tlačítka, protože není dostatečně izolováno od napětí solárních panelů.

Seznam součástek ve stavebnici:

IO1	KY5033, TO92
IO2	ATtiny861A-PU, DIP20 (naprogramovaný)
IO3,IO4	IR2108, DIP8, 2 ks
T1	BUJ302A, TO220
T4	BC547C, TO92
T5,T6,T7,T8,T10	IRG4PC50S/H20ER5 apod., TO247, 5 ks
T9	IRG4BC30F/G13N60 apod., TO220
D1	1.5KE440A, DO201
D2	BZX83/18V, DO35
D3	BZX83/20V, DO35
D5,D6,D11,D12,D17,D22,D23	1N4148, DO35, 7 ks
D15,D16,D25	1N4007, DO204, 3ks
D18 až D21,D24	SF38G, DO201, 5 ks
D4,D7	FYL-5014BGC1C, zelená ∅ 5 mm, 2 ks
D8,D9,D10,D13,D14	WW05C3SWQ4-N1, bílá ∅ 5 mm, 5 ks
OK1	H11L1, DIP6
C1 až C10	100 µF/450 V, 18x35 mm, 10 ks
C11,C12,C16,C17	47 µF/35 V, 4x11 mm, 4 ks
C13,C14	100 nF RM5, 2 ks
C15	220 nF, RM5
C18	47 nF/310 VAC, 630 VDC, RM10
C19	4,7 µF/50 V, 4x11 mm
TC	KTY82/1xx SMD
R1,R2	82 kΩ/0,6 W, 2 ks
R3	750 kΩ
R4, R10	1 kΩ/1 %, 2 ks
R5	680 kΩ
R8,R14,R16	33 kΩ, 3 ks
R12,R18 až R20, R23 až R25	4,7 kΩ, 7 ks
R13,R30,R32	470 Ω, 3 ks
R15	150 až 270 kΩ
R17	10 kΩ
R21,R22,R26,R27	8,2 kΩ/0,6 W, 4 ks
R28,R34	6,8 kΩ, 2 ks
R29,R33	3,9 kΩ, 2 ks
R31	8,2 Ω/2 W
R35	JVR07N471K
R36	120 kΩ
R37,R38,R39	150 Ω/5 W, 3 ks
S1	mikrospínač TACT-67N-F

objímka precizní DIL20, RM 7,62 mm
svorkovnice DG128-7,5-02P14, 3 ks
kolíky ASS11038G, 9 dílků
dutinky BL815G, 7 dílků
rozpěrný sloupek DI5M3X35, 2 ks
chladič SK96/84, 2 ks
chladič V7477W
slídová podložka GLI93 pro TO247, 5 ks
rozpěrný váleček DSL-MDR3206, 4 ks
deska s plošnými spoji velká
deska s plošnými spoji malá

Některé součástky ve stavebnici mohou být nahrazeny funkčními ekvivalenty. Pokud si nejste jisti s identifikací některých součástek, nebo by některá ze součástek ze seznamu ve stavebnici chyběla, napište nám na **info@bel-shop.eu**.

Pokud regulátor nepracuje, jak má, pošlete nám na **info@bel-shop.eu** ostré fotografie vyčištěné desky ze strany spojů i ze strany součástek (s odepnutou deskou s LED diodami) a video všech LED diod asi 25 s po zapnutí napájení, pokusíme se poradit.

Plastovou skříňku, panely s větracími otvory nebo sadu spojovacího materiálu (šrouby, matice, podložky) lze přiobjednat.