



# Uplatnění rezonančního principu ve svařovacím zdroji TP 1100

Bohumil Křivda

*Malý, lehký, přenosný zdroj, zároveň výkonný, zaručující kvalitní svary – takové bylo ještě donedávna přání svářečů, kteří pracovali především na staveništích, montážích, v dílnách nebo údržbě. Vývojoví pracovníci firmy FRONIUS toto přání realizovali zcela novou koncepcí výkonové části svařovacího zdroje TransPocket 1100.*

## Základní princip invertorových svářeček

Funkce svařovacího přístroje TransPocket 1100 je založena na invertorovém principu. Základním znakem těchto zdrojů je zařazení svařovacího transformátoru v energetickém řetězci až za spínací tranzistor. V důsledku toho může být tento transformátor navržen na vysokou pracovní frekvenci, která je zcela nezávislá na kmitočtu napájecí sítě (50 Hz). V důsledku působení elektrotechnických fyzikálních zákonů jsou pak váha i objem transformátoru závislé na jeho pracovní frekvenci: Čím vyšší je tato frekvence, tím menší je jeho objem.

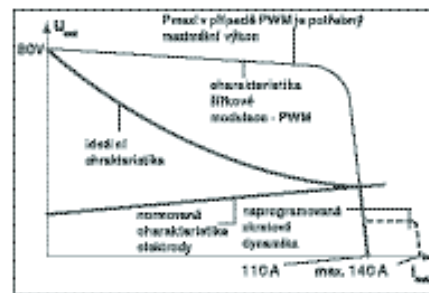
A právě tuto souvislost mezi objemem a frekvencí využívají svařovací invertory. Z toho důvodu mají invertorové svářečky nízkou váhu a malé rozměry, aniž by se přitom muselo slevit z požadavků na jejich výkon. Snadno se tak přepravují na staveništích, v dílnách, kde mohou být často stísněné prostorové podmínky, zabírají invertory při svém malém objemu rovněž i malou půdorysnou plochu.

Jejich další výhodou spočívá ve vysokém stupni energetické účinnosti (až 90 %). Aby bylo možno využít vysokou pracovní (taktovací) frekvenci, musí se síťové napětí nejprve usměrnit v primárním usměrňovači. Stejněsměrné napětí získané na výstupu primárního usměrňovače se pomocí tranzistorového spínače přemění na vysokofrekvenční napětí. Z tohoto principu je také odvozen název invertorových svářeček (invertovat = přeměnit). Poté se takto získané vysokofrekvenční napětí přivede na transformátor. V jeho sekundárním usměrňovači (sekundární dioda) se výstupní napětí transformátoru opětovně usměrní.

U invertorových svářeček nejsou svařovací vlastnosti závislé na typu transformátoru a výstupní tlumivky. To umožňuje snadno přizpůsobit jejich charakteristiku aktuálnímu svařovacímu procesu.

## Rezonanční konvertor

Při vývoji invertorového principu přístroje TP 1100 kráčeli vývojoví pracovníci firmy FRONIUS zcela novými cestami. Pro získání vysokofrekvenčního primárního napětí



Výstupní charakteristika rezonančního konvertoru v porovnání s širkovou modulací (PWM)

zde byl namísto jednoduchého tranzistorového spínače, příp. širkové modulace (Puls-Width-Modulation – PWM), použit princip rezonančního konvertoru. Tento princip si klade větší nároky na regulační obvody, avšak pro vlastní svařovací provoz nabízí řadu předností. Pomocí rezonanční struktury lze realizovat téměř ideální výstupní charakteristiku, snížené spínací ztráty dovolují zvýšit spínací frekvenci, při zachování optimální účinnosti. Charakteristika, která má v oblasti pracovního bodu plochý průběh, zabraňuje nadměrnému vzrůstu výstupního výkonu a značné snížení příkonu (11 W při běhu naprázdno) umožňuje teplotní řízení ventilátoru.

## Sériový rezonanční konvertor

Sériový rezonanční konvertor se skládá ze sériového rezonančního obvodu (cívky a kondenzátoru), zatěžovacího odporu a tranzistorů pro buzení kmitavého obvodu. Tranzistory T1 a T2 jsou střídavě spínány. V případě, že vede tranzistor T1, vytváří sériový rezonanční obvod (cívka a kondenzátor) kladnou sinusovou půlvlnu, která se uzavírá přes odpor  $R_L$ . Záporná půlvlna, která vzniká v důsledku kmitavého chování sériového rezonančního obvodu, protéká přes odpor  $R_L$ , kondenzátor C, cívku  $L_S$  a tranzistor T2, pokud se tento nachází ve vodivém stavu.

V případě, že je budicí frekvence shodná s rezonanční frekvencí sériového rezonančního obvodu, odpovídá výstupní napětí na zatěžovacím odporu  $R_L$  vstupnímu napětí  $U_{DC}$ . Při budicí frekvenci, která je ve vztahu k rezonanční frekvenci vyšší nebo nižší, se výstupní napětí snižuje. Tímto způsobem je možné rezonanční konvertor řídit.

## Sériově-paralelní rezonanční konvertor

Další vývojový stupeň sériového rezonančního konvertoru představuje sériově-paralelní konvertor, který je vybaven přídatným kondenzátorem  $C_P$ , a ten je připojen paralelně k zatěžovacímu odporu  $R_L$ . Kondenzátory  $C_S$  a  $C_P$  představují spolu s odporem  $R_L$  zatížený kapacitní nepřetový dělič. Součástí rezonančního obvodu (cívka a kondenzátor) je z tohoto důvodu kapacita rozdělená na  $C_S$  a  $C_P$ .

Nárůst napětí, vzniklý v oblasti rezonanční frekvence na kapacitní části obvodu, je tudíž zčásti k dispozici na kondenzátoru  $C_p$ , resp. na zatěžovacím odporu  $R_L$ . Na odporu  $R_L$  se vytvoří napětí, které může být vyšší než vstupní napětí. Tento efekt může být zvýrazněn vysokým zatěžovacím odporem, jehož zkratovací vliv na kondenzátoru  $C_p$  se projeví jen v malé míře.

### Zvýšení výstupního napětí sériově – paralelní rezonancí

Princip sériově-paralelního rezonančního konvertoru použitý u svařovacího zdroje TP 1100 umožňuje při zvyšování hodnoty zatěžovacího odporu exponenciální nárůst výstupního napětí, které je v případě běhu naprázdno nutno omezit. Zvýšený zatěžovací odpor odpovídá delšímu oblouku nebo oblouku, který hrozí odtrhnutím. Narůstající napětí působí proti občasné tendenci oblouku odtrhnout se.

### Ohraničení zvýšeného výstupního napětí běhu naprázdno

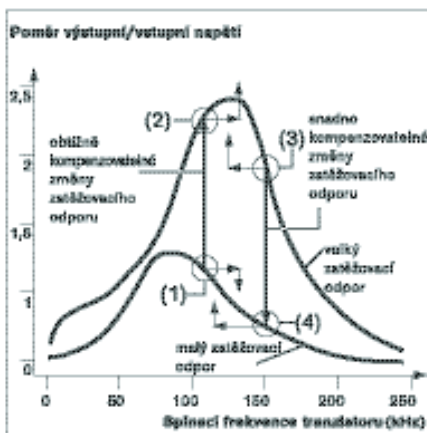
Vzhledem k tomu, že se při běhu naprázdno může vyskytovat prakticky neomezeně vysoké výstupní napětí, provádí se při běhu naprázdno taktování napětí na svařovacích svorkách. Používá se pro ten účel frekvence cca 3,6 Hz. V tomto případě dosahuje pilové výstupní napětí maximální hodnoty 108 V a střední hodnoty cca 82 V. Stejně jako u sériového rezonančního konvertoru, je i zde výstupní napětí závislé na hodnotě budící frekvence spínacích tranzistorů – rozumí se ve vztahu k rezonanční frekvenci. Také při sériově-paralelní rezonanci se maximální nárůst napětí docílí v oblasti rezonanční frekvence.

### Komplexní řízení sériově – paralelního rezonančního konvertoru

Velkým problémem sériově-paralelní rezonance je ta skutečnost, že se rezonanční frekvence mění se zatížením, anebo jinak řečeno, s charakteristikou oblouku. Z toho důvodu patří k parametrům, které mají rozhodující vliv na regulaci sériově-paralelního rezonančního konvertoru nejen zatěžovací odpor, ale též s ním spojená rezonanční frekvence. Závislost požadované budící frekvence spínacích tranzistorů na dvou parametrech proto vyžaduje komplexní regulaci výstupního napětí.

### Použití principu rezonančního konvertoru ve výkonovém dílu TP 1100

Výkonové tranzistory T1 a T4 přivádějí do primárního vinutí transformátoru napětí pro kladnou půlvlnu. V této fázi vytvářejí kondenzátor  $C_s$ , primární vinutí P a cívka  $L_s$  sériový rezonanční obvod. Zápornou půl-



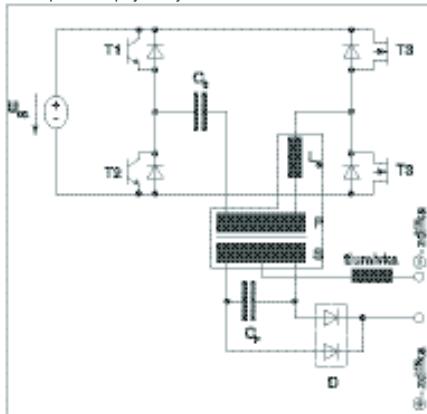
Komplexní řízení výstupního napětí při změnách zátěže

- (1) Výstupní napětí se v důsledku zvětšování zatěžovacího odporu posouvá k bodu (2)
  - V pracovním bodě (1) má zvýšení frekvence za následek snížení výstupního napětí.
  - V pracovním bodě (2) by zvýšení frekvence způsobilo další nárůst výstupního napětí, což působí proti záměru vrátit výstupní napětí na hodnotu odpovídající pracovnímu bodu (1).
  - Je tedy nezbytné zavést komplexní regulační strategii.
- (3) Výstupní napětí směřuje v důsledku snižování zatěžovacího odporu proti pracovnímu bodu
  - V pracovním bodě (3) má snížení frekvence za následek zvýšení výstupního napětí.
  - Také v pracovním bodě (4) má snížení frekvence za následek zvýšení výstupního napětí.
  - Výstupní napětí je v tomto případě možno nasměrovat k pracovnímu bodu (3) snížením frekvence.

vlnu sériového rezonančního obvodu spínají výkonové tranzistory T3 a T2.

Sekundární vinutí S svařovacího transformátoru přenáší kladné a záporné půlvlny jako svařovací proud na sekundární diodu D, která je ve skutečnosti tvořena dvěma diodami. Určitou zvláštnost zde představuje střední vývod sekundárního vinutí, který tvoří zemnicí potenciál svařovacího napětí. Kladné půlvlny se přenášejí na kladnou zdířku z koncových vývodů sekundárního vinutí přes dvě sekundární diody. V soulase se sériově-paralelním rezonančním konvertorem je kondenzátor  $C_p$  připojen paralelně k zatěžovacímu odporu (svařovacímu oblouku). Přírůstek výstupního napětí při zvýšeném zatěžovacím odporu (hrozí odtržení oblouku)

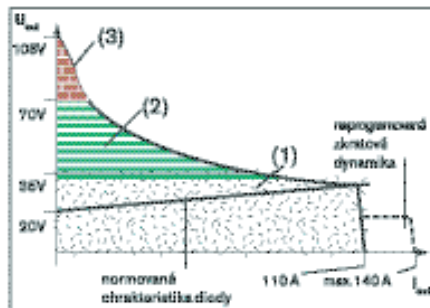
Principiální zapojení výkonového dílu TP 1100



dosažený působením kapacity  $C_p$  představuje významný přínos k optimalizaci svařovacích vlastností. Pro dosažení perfektních pracovních výsledků a mimořádně příznivých vlastností svařovacího přístroje je kromě výše zmíněného opatření nutné ještě neustálé porovnávání hodnot svařovacího proudu a napětí.

### Měření a regulace parametrů svařovacího proudu a svařovacího napětí

Tyto dva parametry, tj. svařovací proud i napětí, se průběžně měří. Mikroprocesor neustále porovnává hodnotu svařovacího proudu nastavenou ovladačem na panelu se skutečnou hodnotou měřenou pomocí bočníku. Tranzistory výkonového dílu jsou buzeny tak, aby se svařovací napětí zvyšovalo nebo snižovalo o hodnotu potřebnou k udržení nastaveného svařovacího proudu



Charakteristika a pracovní rozsah svařovacího zdroje TP 1100

- (1) Trvalý provoz
  - Při překročení dovoleného zatížení:
    - Odpojí se výkonový díl
    - Rozsvítí se signalizace poruchy
    - Po ochlazení se výkonový díl opět zapne
- (2) Provoz po dobu maximálně 10 vteřin
  - Po překročení doby 10 vteřin:
    - Odpojí se výkonový díl
    - Rozsvítí se signalizace poruchy
    - Při provozu naprázdno se výkonový díl opět zapne
- (3) Provoz naprázdno
  - Na výstupní svorky se přivádí pilové napětí naprázdno o hodnotě maximálně 108 V

du na konstantní úrovni. V případě zkratu dojde ke krátkodobému navýšení svařovacího proudu, pro udržení stabilního oblouku se svařovací proud přechodně zvýší, např. z hodnoty 110 A na 140 A. Tím se značně sníží riziko přilepení elektrody k obrobku.

Na stejném principu je postaven i výkonnější svařovací zdroj značky FRONIUS – TP 1500.