



Spolufinancováno  
z programu Evropské unie  
Erasmus+



Erasmus+

# MODUL I

## Zdroje proudu pro svařování elektrickým obloukem

Zdroje energie pro obloukové svařování



## Úvod do svařovacích zdrojů pro obloukové svařování

- Svařování elektrickým obloukem patří mezi technologie tavného svařování, při kterém se využívá teplo elektrického oblouku.
- Velké teplo je koncentrováno v malém prostoru, proto je možné rychle roztavit svarové plochy a natavit přídavný materiál.
- Svařovací zdroje dodávají energii, která je potřebná jak zapálení, tak hoření elektrického oblouku.



# Požadavky na svařovací zdroje

- ▶ Na svařovací zdroje pro obloukové svařování jsou kladeny tyto požadavky:
  - ▶ dobré zapalování oblouku a stabilní oblouk,
  - ▶ plynulá a jemná regulace svařovacího proudu, eventuálně i napětí dle způsobu svařování stálý výkon a vysoká účinnost,
  - ▶ napětí naprázdno musí odpovídat druhu proudu a způsobu svařování a nesmí být vyšší než přípustné hodnoty,
  - ▶ statická charakteristika musí odpovídat způsobu svařování,
  - ▶ musí mít odolnost proti krátkodobým zkratům při zkratovém přenosu kovu z elektrody,
  - ▶ dynamická charakteristika musí zabezpečit po zkratu rychlý nárůst svařovacího napětí,
  - ▶ vysoká provozní spolehlivost, snadná detekce závad a jejich rychlé odstranění,
  - ▶ přiměřené pořizovací a nízké provozní náklady,
  - ▶ konstrukce musí zajistit bezpečnost provozu v souladu s platnými normami a předpisy,
  - ▶ jednoduchá a nenáročná obsluha.

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 42.



## Požadavky na svařovací zdroje

- Obloukové svařovací zdroje musí vyhovovat požadavkům technologie svařování a bezpečnostním předpisům.
- Svařovací zdroje jsou stavěny pro jmenovité napájecí napětí fázové (230 V 50 Hz) nebo napětí sdružené (400 V 50 Hz) případně napětí třífázové (3 x 400 V 50 Hz) elektrorozvodné sítě.



# Svařovací zdroje

- ▶ Napětí naprázdno obloukových svařovacích zdrojů musí pro prostředí bez zvýšeného nebezpečí úrazu elektrickým proudem vyhovovat těmto požadavkům:
  - ▶ u zdrojů stejnosměrného svařovacího proudu může být špičková hodnota napětí naprázdno maximálně 113 V,
  - ▶ u zdrojů střídavého svařovacího proudu může být špičková hodnota napětí naprázdno maximálně 113 V a efektivní hodnota napětí maximálně 80 V.

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 42.



# Rozdělení svařovacích zdrojů

- Svařovací zdroje pro obloukové svařování se dělí dle:
  1. způsobu přeměny energie na:
    - zdroje rotační (svařovací dynamo)
    - zdroje statické, netočivé (svařovací transformátory, usměrňovače, měniče)
  2. druhu dodávaného proudu na:
    - zdroje stejnosměrného proudu (svařovací dynamo)
    - zdroje usměrněného proudu (svařovací usměrňovače, měniče)
    - zdroje střídavého proudu (svařovací transformátory)

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 42.



# Rozdělení svařovacích zdrojů

- Svařovací zdroje statické (netočivé) se dělí na:
  1. zdroje se síťovým transformátorem
    - zdroje střídavého proudu: svařovací transformátory
    - zdroje usměrněného proudu
      - svařovací usměrňovače neřízené
      - svařovací usměrňovače řízené
  2. zdroje bez síťového transformátoru
    - svařovací měniče (invertory)

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 42.





# Základní technické parametry svařovacích zdrojů

- ▶ Statické charakteristiky
  - ▶ Statická charakteristika zdroje svařovacího proudu je křivka závislosti pracovního napětí zdroje na svařovacím proudu při ustáleném stavu a určitém nastavení regulačního stupně zdroje.

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 43.





# Statické charakteristiky

- Hodnoty charakteristiky se získají měřením napětí a proudu v elektrickém obvodu svařovacího proudu, do kterého je zapojené regulační zařízení.
- Stav naprázdno a stav nakrátko – to jsou dva krajní body statické charakteristiky.
- Při stavu naprázdno svařovacím obvodem neprotéká žádný proud a napětí zdroje je obvykle nejvyšší – napětí naprázdno.
- Se stoupajícím proudovým zatížením napětí na zdroji klesá.
- Elektroda je v kontaktu se svařovaným materiálem – stav nakrátko, tzn., že obvodem protéká nejvyšší proud tzv. zkratový.
- Podle průběhu statické charakteristiky v blízkém okolí pracovního bodu, tzn., podle strmosti charakteristiky se určují charakteristické vlastnosti svařovacích zdrojů:

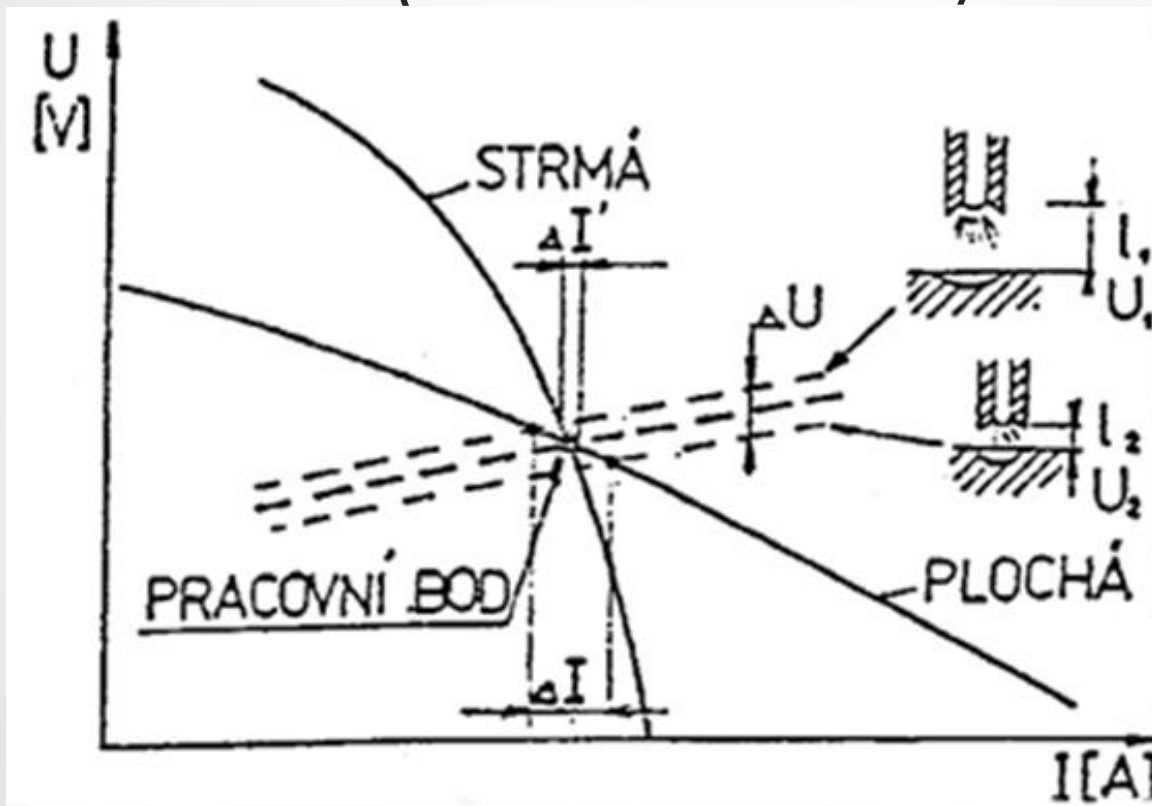


## Vlastnosti svařovacích zdrojů

- zdroje s konstantním napětím (tzv. tvrdé zdroje) – malé změny napětí, plochá charakteristika,
- zdroje s konstantním proudem (tzv. měkké zdroje) – malé změny proudu, strmá charakteristika,
- zdroje s konstantním výkonem, mají při rostoucím svařovacím proudem pokles napětí na zdroji takový, že jejich součin  $U$  krát  $I$  (výkon) je možno považovat za konstantní, mají zatěžovací charakteristiku mírně klesající (polostrmou).



Vliv ploché a strmé charakteristiky na kolísání proudu vyvolané změnou napětí na oblouku (změnou délky oblouku)



AMBROŽ, O. A KOL. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. s. 91.



# Svařovací zdroje

- Některé svařovací zdroje mají možnost přepínat sklon statické zatěžovací charakteristiky.
- Charakteristiky se dají přepínat stupňovitě nebo plynule a zdroje svařovacího proudu mají obvykle celý soubor statických zatěžovacích charakteristik.
- Normalizované napětí na oblouku je dané polohou pracovního bodu nastavené zatěžovací charakteristiky určeného jako průsečík této charakteristiky s přímkou normalizovaných pracovních napětí ( $U_p = f(I_2)$ ).
- Poloha pracovního bodu je tedy dána průsečíkem zvolené statické zatěžovací charakteristiky zdroje s voltampérovou charakteristikou oblouku.



## Svařovací zdroje

- Pro ruční svařování elektrickým obloukem je vhodný svařovací zdroj se strmou statickou charakteristikou, kdy velká strmost zatěžovací charakteristiky zdroje v okolí pracovního bodu zajišťuje při relativně velkém kolísání napětí na oblouku (při měnící se délce elektrického oblouku) nepatrné změny svařovacího proudu.
- V případě, že by strmost dosáhla hodnoty  $90^\circ$  (statická charakteristika v okolí pracovního bodu je kolmá na osu proudu), by se potom při kolísání délky oblouku hodnota svařovacího proudu vůbec neměnila.
- Délka elektrického oblouku, která ovlivňuje přímo napětí na oblouku, se může měnit např. v důsledku neklidného vedení elektrody nebo vinou nerovnosti povrchu materiálu.



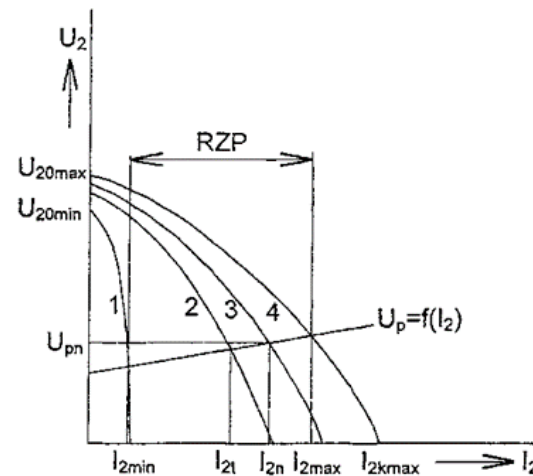
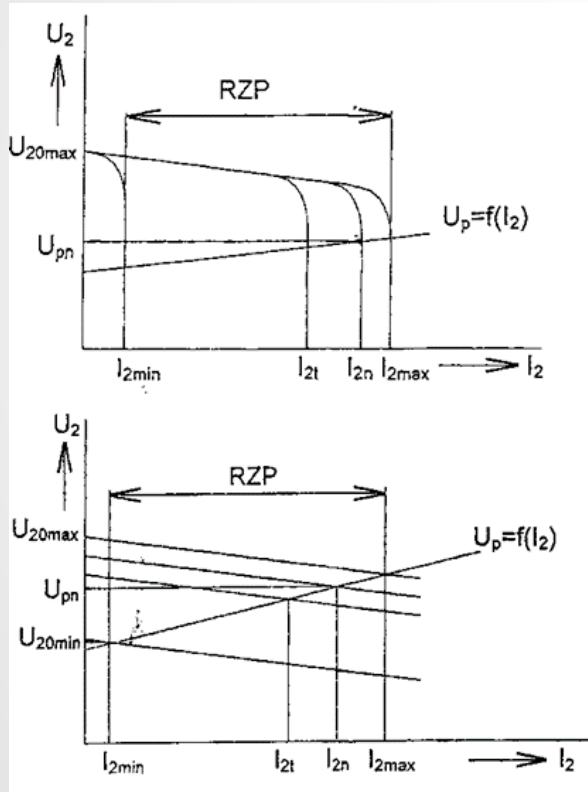
## Svařovací zdroje

- ▶ Plochá charakteristika se používá pro automatické svařování pod tavidlem.
- ▶ Nastavená délka elektrického oblouku zůstává nezměněna v případě, kdy rychlost podávání elektrody (drátu) je stejná jako rychlost jejího odtavování.
- ▶ Rychlost odtavování elektrody je závislá na velikosti svařovacího proudu.
- ▶ Posun drátu do hořáku (rychlost podávání elektrody) je konstantní.
- ▶ V případě, že z nějakého důvodu dojde např. ke zkrácení délky oblouku a v důsledku toho ke snížení napětí na oblouku, potom plochá zatěžovací charakteristika zdroje zajistí zvýšení svařovacího proudu a tím i zvýšení odtavovací rychlosti elektrody.
- ▶ Délka oblouku se tak postupně zvětší na původně nastavenou hodnotu.
- ▶ Tato tzv. samoregulační funkce ploché zatěžovací charakteristiky je účinná i v opačném případě, kdy dojde ke zvětšení délky oblouku.





# Charakteristiky svařovacích zdrojů



Charakteristiky zdroje strmé, polostrmé a ploché

$U_{pn}$  – normalizované pracovní napětí

$I_{2n}$  – normalizovaný pracovní proud

$I_{2t}$  – trvalý pracovní proud

RZP – rozsah zatěžovacích proudů





## Pracovní bod

- Poloha pracovního bodu je dána průsečíkem zvolené statické zatěžovací charakteristiky zdroje s voltampérovou charakteristikou spotřebiče (oblouku).
- Dobrá kvalita svarového spoje je podmíněna stabilitou elektrického oblouku.
- Stabilita hoření oblouku při svařování závisí na technologii svařování stejně jako na vlastnostech svařovacích zdrojů.
- Na základě porovnání strmosti zatěžovací charakteristiky zdroje a voltampérové charakteristiky oblouku se stabilita svařovacího oblouku vyjadřuje jako rozdíl strmosti zatěžovací charakteristiky zdroje a strmosti voltampérové charakteristiky oblouku v průsečíku obou těchto statických charakteristik neboli v pracovním bodě.



## Dynamická charakteristika

- ▶ Dynamická charakteristika zdroje svařovacího proudu udává přechodové hodnoty napětí a proudu při rychlých změnách v průběhu svařování (např. při zapalování oblouku, při zkratu, přerušení zkratu apod.).
- ▶ Pro svařovací zdroje jsou důležité dynamické charakteristiky, které zachycují časové závislosti proudu a napětí při cyklu „naprázdno – zkrat – naprázdno“, popřípadě „zatížení – zkrat – zatížení“, přičemž se posuzuje strmost počátečního proudu a vyjadřuje se v  $\text{kA}\cdot\text{s}^{-1}$ .
- ▶ Pro dosažení optimálního procesu musí být dynamická strmost ve zcela určitém rozsahu, přičemž především zkratový proces je velmi citlivý na dodržení dynamické strmosti.
- ▶ Při zkratovém (kapkovém) přenosu materiálu se zatížení svařovacího zdroje mění velmi rychle v důsledku obloukem přenášených kapek z elektrody do lázně svarového kovu.
- ▶ Každá kapka způsobuje zkrat, kdy napětí klesne skoro na nulu a proud vzroste přes přechodovou hodnotu na ustálenou hodnotu zkratového proudu (proud nakrátko).



## Vstupní a výstupní parametry

- Každý zdroj svařovacího proudu charakterizují tyto základní údaje:
  - Vstupní údaje (podmínky připojení zdroje k elektrorozvodné síti)
  - Výstupní údaje (svařovací vlastnosti zdroje)



## Vstupní údaje

- ▶ Jmenovité vstupní (napájecí) napětí – fázové napětí 230 V nebo sdružené napětí 400 V jednorázové rozvodné sítě nebo napětí 3 x 400 V trojfázové rozvodné sítě
- ▶ Jmenovitý kmitočet – 50 Hz
- ▶ Jmenovitý příkon zdroje – příkon zdroje při jmenovitém vstupním napětí a jmenovitém výstupním svařovacím proudu
- ▶ Maximální příkon zdroje – příkon zdroje při jmenovitém vstupním napětí a maximálním výstupním svařovacím proudu
- ▶ Jištění sítě – hodnota a druh síťových pojistek
- ▶ Účinník  $\cos \varphi$  – fázový posuv mezi napětím a proudem

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 45.



## Výstupní údaje

- Napětí naprázdno – napětí na svorkách svařovacího zdroje při nezapáleném oblouku. Z důvodu bezpečnosti se omezuje velikost napětí naprázdno.
- Pracovní napětí – napětí mezi elektrodou a svařencem. Velikost pracovního napětí závisí na charakteristice svařovacího zdroje (hodnotě svařovacího proudu), druhu elektrody, délce oblouku a dalších vlivech.
- Svařovací proud – výstupní proud ze svařovacího zdroje.
- Zatěžovatel DZ (poměrná doba zatížení) – poměr doby zatížení zdroje svařovacího proudu ( $t_s$ ) při přerušovaném zatížení k celkové délce pracovního cyklu (doba zatížení  $t_s$  + doba přestávky  $t_o$ ).  $DZ = t_s / (t_s + t_o) \times 100$  [%]
- Jmenovitý svařovací proud – proud, který lze odebírat ze svařovacího zdroje při jmenovitém zatěžovateli, na který je zdroj navržený. Pokud není uvedeno jinak, předpokládá se hodnota jmenovitého zatěžovatele  $DZ = 60$  %.
- Trvalý svařovací proud – nejvyšší proud, který může svařovací zdroj dávat při trvalém zatížení ( $DZ = 100$  %), tzn. nepřerušovaný proud, na který je zdroj navržený.



# Svařovací proudy

- Většina výrobců svařovacích zdrojů udává rozsah svařovacích proudů a rozsah pracovních napětí pro určitý zatěžovatel DZ.
  - Jmenovitý svařovací výkon – výkon svařovacího zdroje při jmenovitém svařovacím proudu a jmenovitém pracovním napětí
  - Účinnost zdroje = jmenovitý svařovací výkon/jmenovitý příkon zdroje x100 [%]
- Normalizovaný cyklus ručního svařování je určen pro přerušované svařování při zatěžovateli DZ = 60 % a celkové délce pracovního cyklu 5 minut (případně 10 minut).
- Při délce pracovního cyklu 5 minut je doba svařování  $t_s = 3$  minuty a doba přestávky  $t_o = 2$  minuty; při délce pracovního cyklu 10 minut je doba svařování  $t_s = 6$  minut a doba přestávky  $t_o = 4$  minuty.



## Charakteristiky jednotlivých typů svařovacích zdrojů

- Rotační svařovací zdroje
- Svařovací transformátory





## Rotační svařovací zdroje

- ▶ Rotační svařovací zdroje generují stejnosměrný proud.
- ▶ Obvykle jsou tvořeny svařovacím dynamem, které je poháněno buď elektromotorem nejčastěji třífázovým asynchronním nebo spalovacím motorem zážehovým nebo vznětovým tam, kde není k dispozici elektrorozvodná síť.



# Rotační svařovací zdroje

- ▶ Svařovací dynamo a motor tvoří dohromady jeden konstrukční celek na společném podvozku – svařovací agregát.
- ▶ Svařovací dynamo má statickou charakteristiku strmou, dává měkký oblouk vhodný pro ruční svařování obalenou elektrodou a také pro metodu WIG případně MIG/MAG.
- ▶ Regulace svařovacího proudu v rámci regulačního rozsahu je plynulá a zajišťuje se změnou buzení magnetického pole statoru dynamu.
- ▶ Regulátor pro nastavování svařovacího proudu může být umístěn buď přímo na svařovacím agregátu, nebo mimo něj při dálkovém ovládní svařovacího zdroje.
- ▶ Elektrický proud se ve svařovacím dynamu vyrábí indukci ve vodičích kotvy (rotoru), otáčející se v elektromagnetickém poli statorového vinutí.

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 47.



## Rotační svařovací zdroje

- Rotační svařovací zdroje nesplňují současná kritéria ekonomické efektivity a požadované jakosti svarového spoje.
- Jsou velmi těžké, jejich hlučnost překračuje povolené limity, mají vysokou spotřebu elektrické energie, další nevýhodou je, že jejich mohutný ventilátor víří prach v okolí svařovacího zdroje.
- U nás se dříve vyráběly a používaly rotační svařovací zdroje pod obchodním označením TRIODYN.



# Svařovací transformátory

- Svařovací transformátor pro obloukové svařování je zdrojem většinou jednorázového střídavého proudu.
- Každý transformátor se skládá ze železného jádra (ve tvaru rámu, prstence apod.) tvořeného tenkými ocelovými plechy (v chem. složení je 8 % až 10 % Si), primární a sekundární cívky, kde vinutí obou cívek je z izolovaných Cu nebo Al vodičů (drátů kruhového, čtvercového nebo obdélníkového průřezu).
- U svařovacích transformátorů se připojuje primární vinutí na síť, kdežto sekundární přímo do svařovacího obvodu. Střídavý proud ze sítě protékající vinutím primární cívky indukuje střídavé elektromagnetické pole procházející převážně železným jádrem (magnetickým obvodem) transformátoru.



# Svařovací transformátory

- ▶ V důsledku toho vzniká na principu elektromagnetické indukce ve vinutí sekundární cívky střídavé napětí, které po zapálení oblouku vyvolá v uzavřeném svařovacím obvodu vznik sekundárního (svařovacího) proudu.
- ▶ Regulace svařovacího proudu může být stupňovitá nebo plynulá.



# Svařovací transformátory

- Statická zatěžovací charakteristika je mírně klesající (polostrmá).
- Svařovací transformátory jsou vhodné většinou pro ruční svařování obalenými elektrodami, případně též pro metodu WIG, u které zvláště ke zlepšení stability hoření oblouku je používán vysokofrekvenční ionizátor jako zdroj vysokonapěťových impulsů zapojený buď paralelně, nebo sériově v sekundárním vinutí transformátoru.
- V porovnání s rotačními zdroji svařovacího proudu mají svařovací transformátory nízkou spotřebu při chodu naprázdno, lepší účinnost (85 % až 97 %), ale účinník je poměrně malý (0,5 až 0,7).
- Napájecí třífázovou elektrorozvodnou síť svařovací transformátory zatěžují nerovnoměrně, protože při svařování zatěžují jednu nebo dvě fáze podle toho, jestli vstupní napájecí napětí je fázové (230 V 50 Hz) nebo sdružené (400 V 50 Hz).





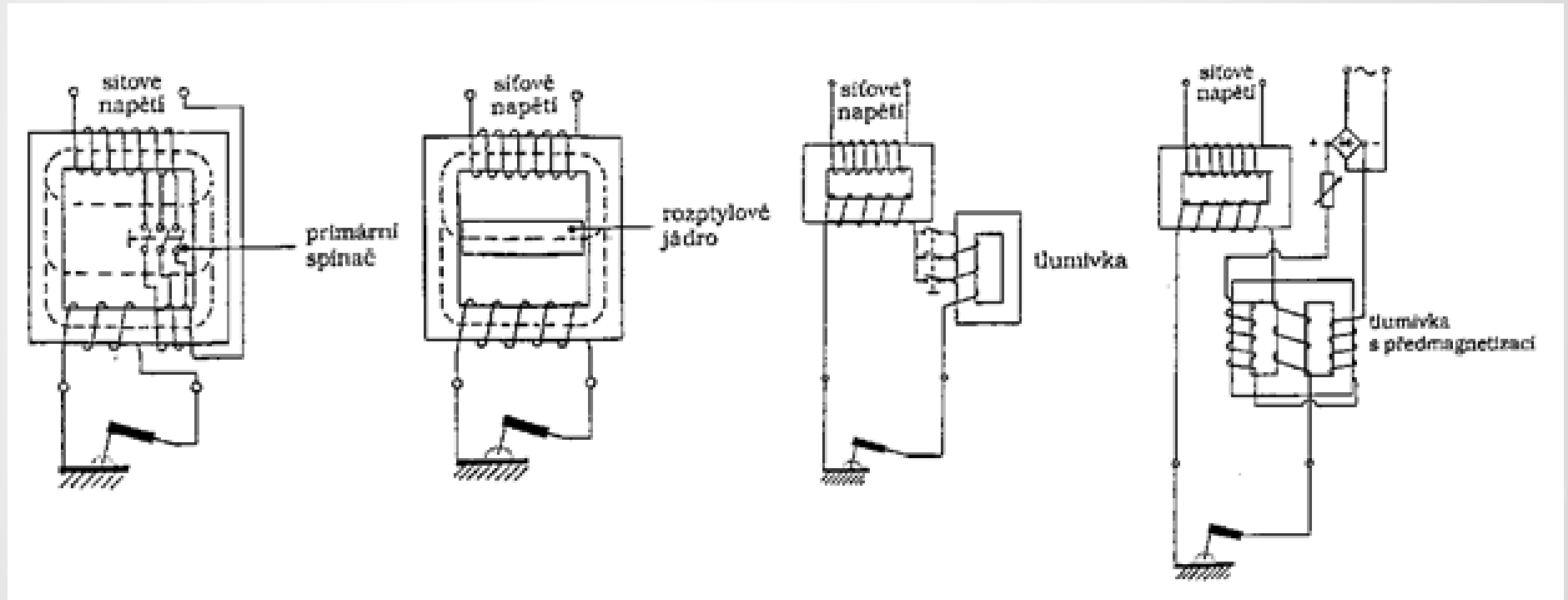
## Regulace svařovacího proudu

- ▶ Regulace svařovacího proudu je závislá na konstrukčním uspořádání transformátoru, provádí se např.:
  - a) Změnou počtu závitů v primárním vinutí
    - ▶ Svařovací proud se mění stupňovitě (a v opačném poměru napětí naprázdno) na základě přepínačem realizované změny počtu závitů na primárním vinutí a tím i změny převodu transformátoru.
  - b) Posuvným nebo otočným rozptylovým jádrem
    - ▶ Svařovací proud se mění plynule podle změny polohy jádra (umístěného mezi primárním a sekundárním vinutím), která určuje podíl magnetického toku uzavíraného jádrem k toku procházejícímu vinutím sekundární cívkou.
  - c) Regulační tlumivkou s přepínačem
    - ▶ Svařovací proud (a také strmost statických charakteristik) se mění stupňovitě podle počtu přepínačem zapojovaných závitů vinutí tlumivky zapojené do série se sekundárním vinutím transformátoru. Pokud má tlumivka malý počet závitů vinutí, statická charakteristika je polostrmá, při zvyšujícím se počtu závitů se stává charakteristikou strmou.
  - d) Regulační tlumivkou s předmagnetizací (transduktorem)
    - ▶ Svařovací proud (a statická charakteristika) se mění plynule změnou reaktance tlumivky v závislosti na změně stejnosměrné předmagnetizace jádra tlumivky. Malá předmagnetizace tlumivky znamená vysokou indukčnost a reaktanci tlumivky a tím i nízký svařovací proud, při velké předmagnetizaci tlumivky je její indukčnost a reaktance nízká a svařovací proud vysoký.
  - e) Vzájemným posunem primárního a sekundárního vinutí proti sobě
    - ▶ Velikost svařovacího proudu a sklon statické charakteristiky jsou ovlivněny stupněm těsnosti vazby na základě vzájemné indukčnosti vinutí obou cívek.





# Svařovací transformátory



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 48.



## Svařovací usměrňovače

- Svařovací usměrňovač je zdroj stejnosměrného (usměrněného) proudu.
- Skládá se ze síťového transformátoru a příslušných usměrňovacích prvků zapojených v sekundárním obvodu transformátoru.
- Transformátor bývá buď jednofázový, nebo třífázový.
- Usměrňovací prvky jsou tvořeny polovodičovými křemíkovými diodami nebo tyristory použitými u jednorázových svařovacích zdrojů v zapojení dvoucestného můstkového usměrňovače (tzv. Graetzovo zapojení) nebo u třífázových svařovacích zdrojů v zapojení šesticestného můstkového usměrňovače.
- Zvlnění výstupního usměrněného napětí u jednorázového usměrňovače je relativně velké, frekvence zvlnění je dvojnásobkem síťové frekvence.

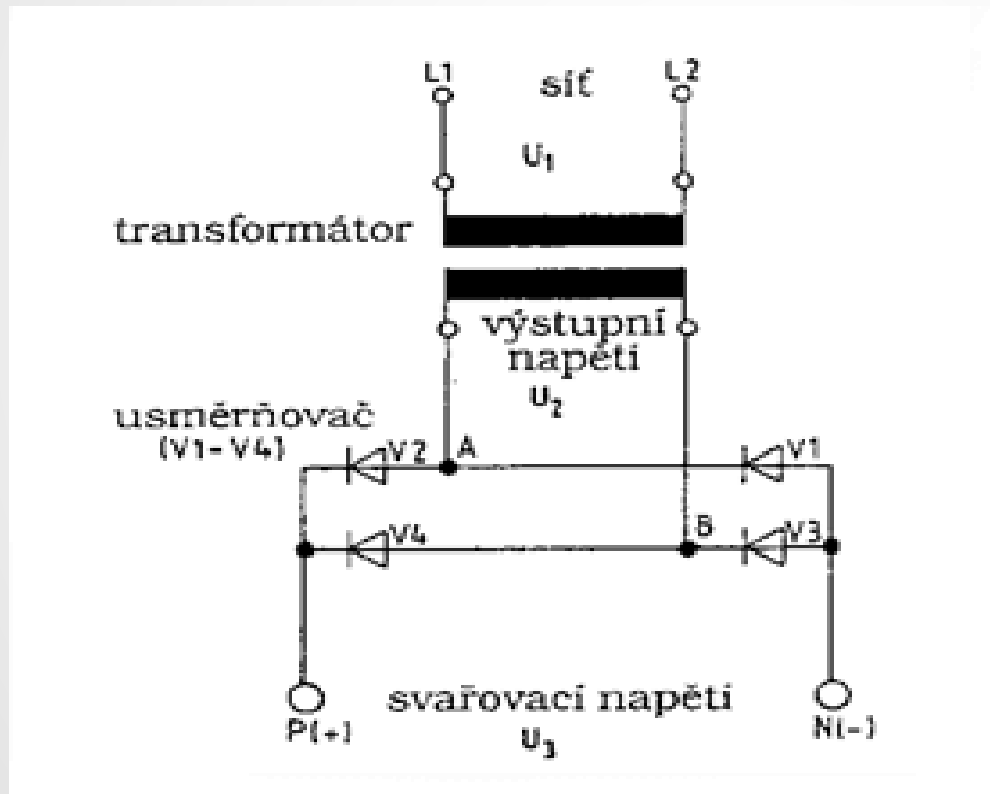


# Svařovací usměrňovače

- ▶ U třífázového usměrňovače je zvlnění výstupního usměrněného napětí nižší.
- ▶ Třífázový svařovací usměrňovač je vhodný pro velké proudové zatížení, má dobré svařovací vlastnosti a ve srovnání s jednorázovým svařovacím usměrňovačem elektrorozvodnou napájecí síť zatěžuje symetricky.
- ▶ Transformátor dává možnost při svařování využít jak stejnosměrný tak střídavý proud.
- ▶ Svařovací usměrňovače ve srovnání s rotačními zdroji svařovacího proudu vykazují menší ztráty při chodu naprázdno, tzn. nižší spotřebu elektrické energie, nehlukný chod, vyšší účinnost (v průměru cca 80 %), relativně menší hmotnost a dobré svařovací vlastnosti. Svařovací usměrňovače mají velmi dobré dynamické vlastnosti, to se projevuje zejména při rychlých změnách napětí a proudu.



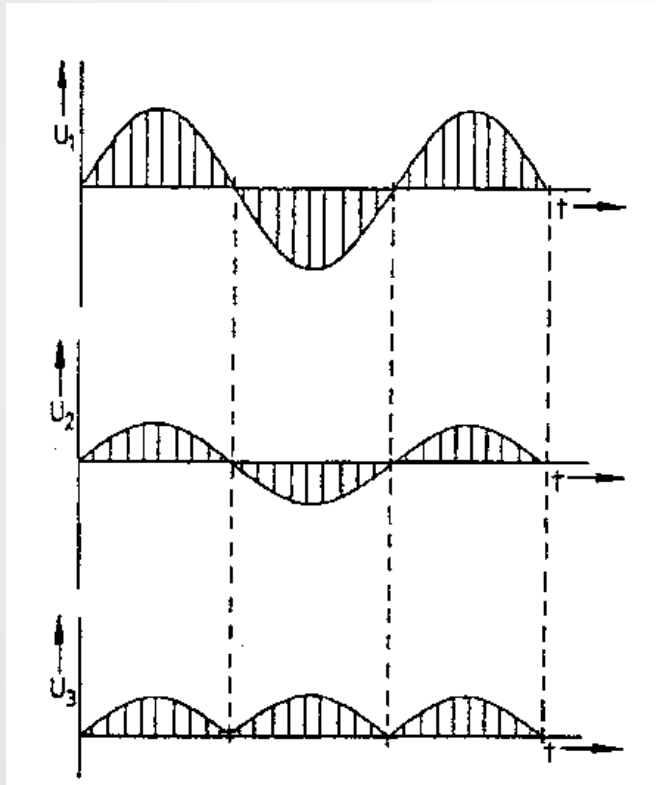
# Jednofázový usměrňovač



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 49.



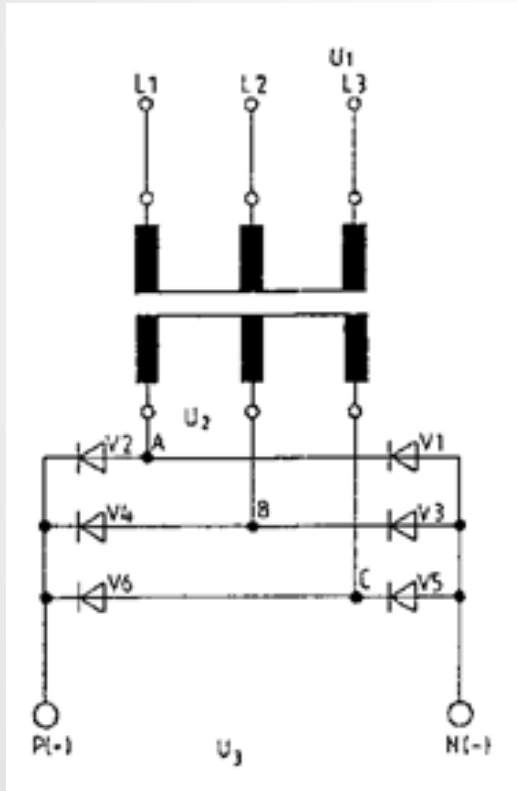
# Jednofázový usměrňovač



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 49.



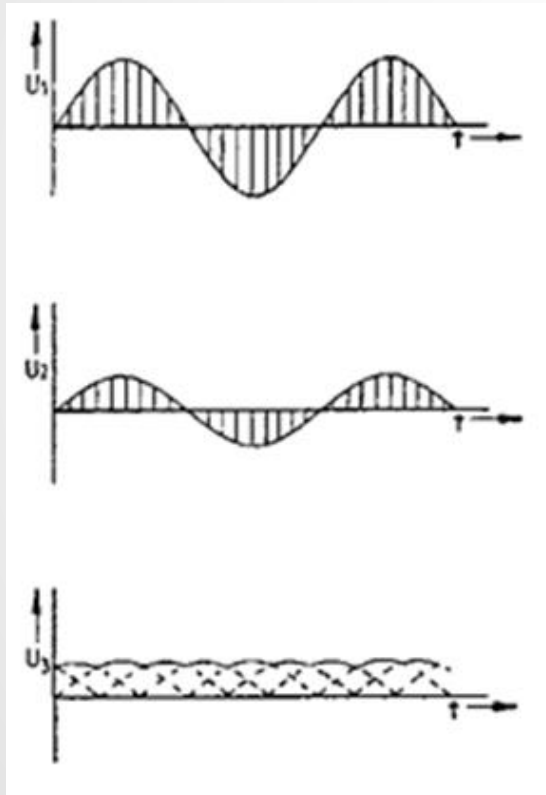
# Třífázový usměrňovač



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 49.



# Třífázový usměrňovač



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 49.





## Jednofázový usměrňovač

- Regulace svařovacího proudu a nastavení vhodné zatěžovací charakteristiky se u svařovacích usměrňovačů provádí např. prostřednictvím regulační tlumivky (transduktoru), tyristorového řízení, analogového tranzistorového řízení nebo taktovaného tranzistorového řízení.



## Svařovací usměrňovač s regulační tlumivkou

- Regulace svařovacího proudu a nastavení zatěžovací statické charakteristiky je na stejném principu jako u svařovacího zdroje, kde na základě změny reaktance tlumivky (transduktoru) stejnosměrnou předmagnetizací feromagnetického jádra.
- Za transduktorem se proud usměrňuje neřízenými usměrňovacími ventily – diodami. Tato regulace se používá jak u jednorázových tak i třífázových svařovacích usměrňovačů.
- Lze dosáhnout požadované statické charakteristiky svařovacího zdroje, potřebné pro různé způsoby svařování od strmé zatěžovací charakteristiky zdroje pro ruční svařování obalenou elektrodou a svařování metodou WIG až po plochou zatěžovací charakteristiku zdroje např. pro automatické svařování technologií MIG, MAG.
- Výhodou tohoto svařovacího zdroje je relativně jednoduchá konstrukce, z toho důvodu i nízká poruchovost a dobrá účinnost (cca 80 %).
- Nevýhodou jsou poměrně velké rozměry a hmotnost, horší dynamické vlastnosti a nepříznivý účinník.

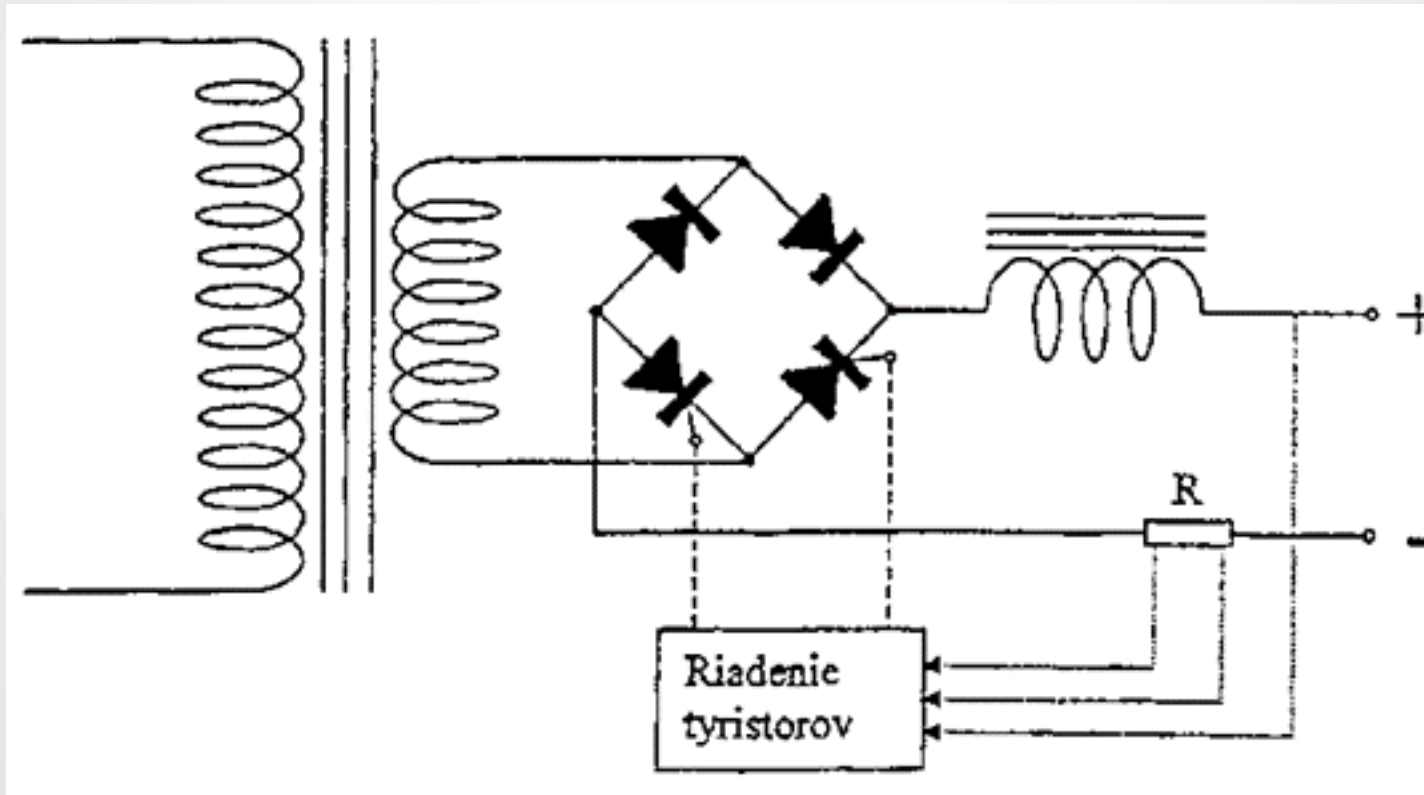


## Svařovací usměrňovač s tyristorovým řízením

- Nastavení intenzity svařovacího proudu se provádí prostřednictvím fázové regulace pomocí tyristorů, kdy svařovací proud je modulovaný síťovým kmitočtem.
- Tyristory většinou v můstkovém zapojení, navazující na sekundární stranu síťového transformátoru, mají funkci řízených usměrňovacích ventilů.
- Okamžik přivedení řídicích impulsů na tyristor ovlivňuje velikost proudu respektive výkonu přenášeného tyristorem.
- Tím je usměrňována jen určitá část proudu, který je dále vyhlazován tlumivkou.
- Svařovací zdroje s tyristorovou regulací umožňují realizovat impulsní proces s frekvencí odpovídající frekvenci sítě.
- Řídící elektronická jednotka regulátoru tyristorů je doplněna zpětnou vazbou, umožňuje programování parametrů svařování a jejich udržování.
- Účinnost těchto svařovacích zdrojů je velmi dobrá (cca 80 % až 90 %).
- Dynamické vlastnosti jsou poněkud horší vlivem použití relativně velké vyhlazovací tlumivky, což se projevuje zvlášť při zkratovém oblouku.



# Schéma řazení tyristorů



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 50.



# Svařovací usměrňovač s analogovým řízením

- Sestavu tohoto svařovacího zdroje tvoří síťový transformátor, usměrňovač s polovodičovými diodami v můstkovém zapojení a vyhlazovacími kondenzátory a analogově řízený tranzistorový stupeň ve funkci proměnného elektrického odporu v obvodu svařovacího proudu.
- Zpětnovazební regulátor svařovacího proudu řídí plynulé otevírání a uzavírání tranzistorového stupně na základě kontinuálního porovnávání nastavených a skutečných hodnot napětí a proudu během svařování.
- Tento způsob řízení je velice efektivní vzhledem k tomu, že polovodičové prvky na sekundární straně transformátoru tzn. v tranzistorovém stupni, reagují velmi rychle na řídicí signály, a proto lze operativně měnit výstupní výkon podle potřeb svařovacího procesu.
- Vzhledem k vysoké stabilitě oblouku a svařování téměř bez rozstříku jsou tyto svařovací zdroje vhodné pro použití v robotizovaném svařování.
- Určitou nevýhodou zůstává relativně vysoká hmotnost a větší rozměry dané použitím síťového transformátoru.



## Svařovací usměrňovač s digitálním řízením na sekundáru

- Konstrukce tohoto svařovacího zdroje je rovněž tvořena vstupním síťovým transformátorem, neřízeným usměrňovačem můstkového typu a na něj navazujícím digitálně řízeným tranzistorovým stupněm ve funkci polovodičového spínače v obvodu svařovacího proudu.
- Tranzistorový stupeň se periodicky zapíná a vypíná v rytmu taktovací frekvence (např. 20 kHz).
- Toto periodické spínání a vypínání je označováno jako „taktování“.
- Velkou výhodou spínacích tranzistorů je jejich vysoká spínací rychlost až do frekvence cca 200 kHz.





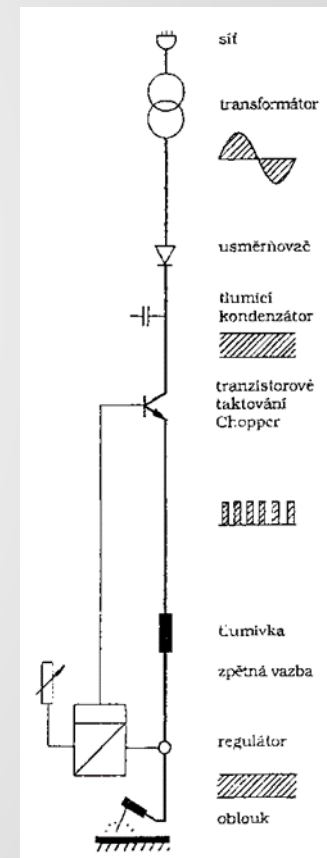
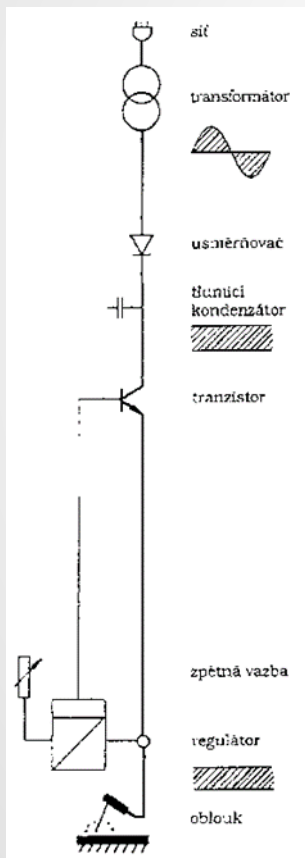
## Svařovací usměrňovač s digitálním řízením na sekundáru

- Mají charakter zesilovačů, zcela nepatrným elektrickým výkonem několika wattů ovládají svařovací zdroj o výkonu např. 20 kW (500 ampér).
- Tlumivka za tranzistorovým stupněm zajišťuje akumulaci energie a vyhlazování impulsního svařovacího proudu.
- Zpětnovazební regulátor přivádí generované taktovací pulsy na tranzistorový stupeň na základě porovnávání nastavených a skutečných parametrů napětí a proudu.
- Výhody a nevýhody stejné jako u analogového řízení.
- Pro zdroj s digitálním řízením je charakteristický impulsní proces svařování.





# Schéma svařovacího usměrňovače s analogovým a digitálním řízením



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 51.



# Svařovací invertorové zdroje

- ▶ Invertorové svařovací zdroje jsou primárně řízené zdroje s výkonovými tranzistory, pracují na principu středofrekvenčních měničů (střídačů) o frekvenci 20 kHz až 100 kHz a v současné době jsou nejprogresivnější koncepcí moderních svařovacích zdrojů.



# Svařovací invertorové zdroje

- Základním rysem invertorových zdrojů je umístění transformátoru v energetickém řetězci až za spínacím tranzistorem.
- Důvodem tohoto uspořádání je závislost hmotnosti a objemu transformátoru na jeho pracovní frekvenci.
- Čím vyšší frekvence, tím menší objem a také hmotnost. Proto mají tyto zdroje malou hmotnost i malé rozměry, aniž by došlo k poklesu jejich výkonnosti.
- Proudová hmotnost prakticky nepřesahuje hodnotu 0,05 kg/A.
- Další předností je vysoká hodnota elektrické účinnosti (cca 90 %).
- Aby bylo možno využít vysokou taktovací frekvenci, je nutno střídavé síťové napětí nejprve usměrnit. Stejnoseměrné napětí, které je k dispozici za primárním usměrňovačem, se prostřednictvím tranzistorového spínače přemění na vysokou frekvenci.
- Výstupní napětí transformátoru se pak následně ještě usměrní.



# Svařovací invertorové zdroje

- Srdcem celého zařízení je řídicí elektronická jednotka, která reguluje vzájemnou součinnost funkčních bloků svařovacího zdroje s jednotkami podávání drátu a dodávky ochranného plynu, kontroluje správnou činnost zařízení, komunikuje s obsluhou prostřednictvím displeje pro nastavování a kontrolu parametrů, zároveň funguje jako knihovna programů.
- U větších zařízení je řídicí systém svařovacího zdroje vybaven také výstupem pro periferní zařízení pořizující trvalý záznam průběžně sledovaných vybraných provozních parametrů (tiskárna, zapisovač, apod.) nebo pro komunikaci s externím počítačem, prostřednictvím kterého lze programovat speciální průběhy jednotlivých parametrů v závislosti na reálném čase.



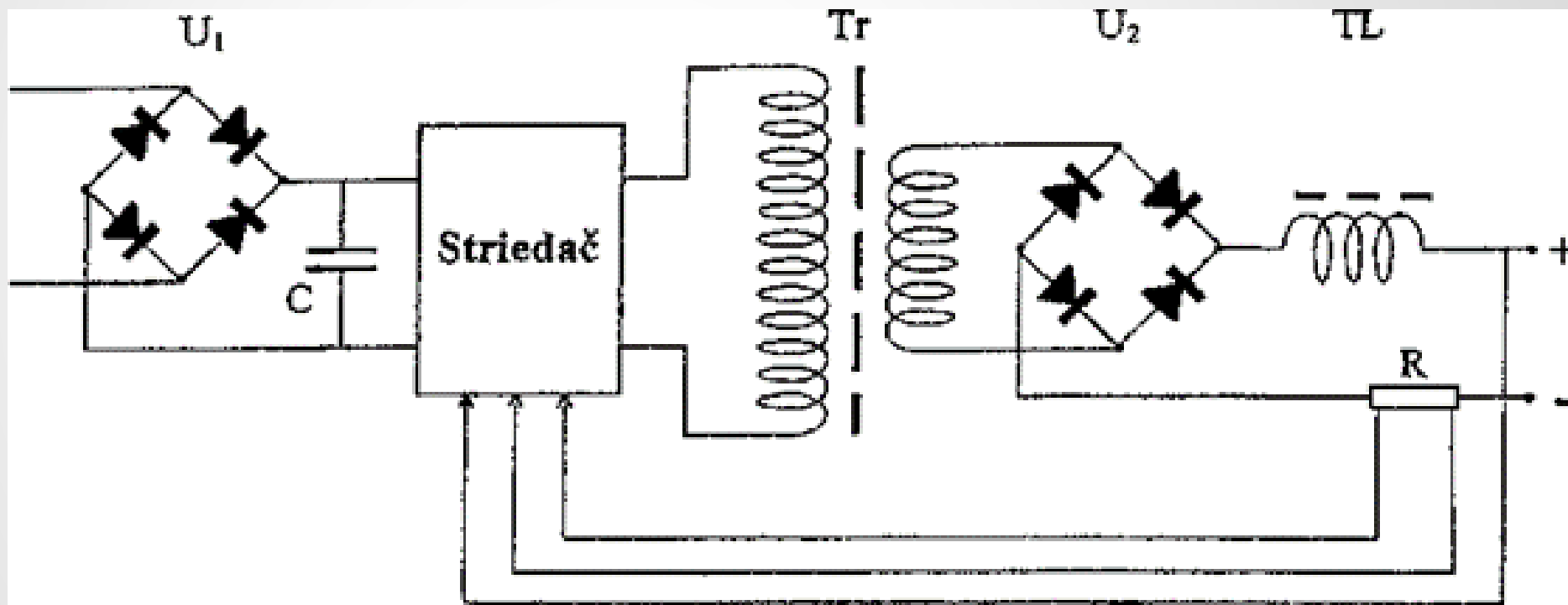
## Konstrukce invertorových svařovacích zdrojů dává předpoklady pro:

- vysoký a stabilní svařovací výkon,
- optimální různě nastavitelné statické charakteristiky v režimech MIG, MAG, WIG a MMA,
- jednoduchou a nenáročnou obsluhu,
- univerzálnost použití,
- možnost výstupu pro počítačové zpracování dat při řízení a kontrole jakosti,
- možnost snadné komunikace s automatizovanými a robotizovanými pracovišti,
- vysokou provozní spolehlivost, popř. snadnou detekci závad a jejich rychlé odstranění.

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů. Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 52.



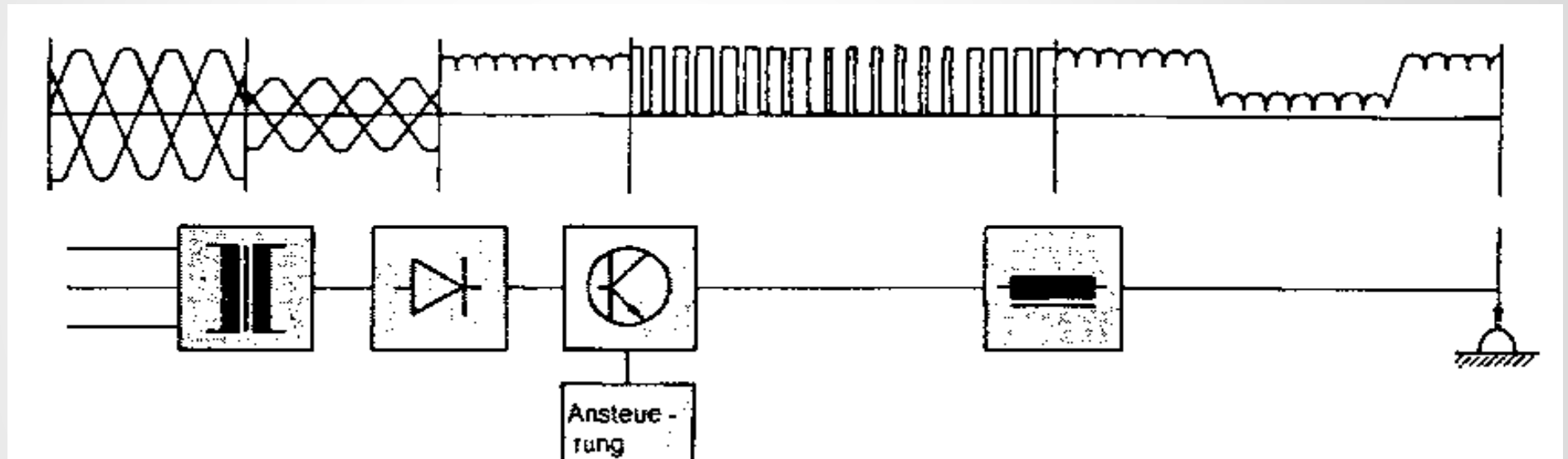
# Schéma zapojení invertorového zdroje



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů. Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 52.



# Blokové schéma a průběhy proudu inverterového zdroje



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů. Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 52.





# Digitální svařovací zdroj

- Řídící elektronická jednotka tohoto zdroje je výsledkem revolučního pokroku ve vývoji svařovacích zdrojů.
- Přináší plnou digitalizaci jejich systémů.
- Použití digitálních signálových procesorů zajišťuje vysokou operační rychlost, která je nezbytná pro rychlé zpracování dat.
- Tím se otevírají netušené možnosti ovlivňování svařovacího procesu prostřednictvím software.
- Mimo to se zvyšuje přesnost a reprodukovatelnost dosažených výsledků svařování, protože se eliminují analogové polovodičové součástky, zatížené teplotním driftem.



# Digitální svařovací zdroj

- Komunikace mezi svařovacím zdrojem a perifériemi (podavač drátu, dálkový regulátor, atd.) se uskutečňuje prostřednictvím datové sběrnice centrálního mikropočítače.
- Všechny informace obousměrně přenášené umožňují odečítat případně měnit provozní data nebo nastavení parametrů nejen na vlastním zdroji, ale též na podavači drátu nebo přímo na hořáku.
- Řídící mikropočítač zpracovává data s nejvyšší přesností a pečlivě kontroluje kritické svařovací parametry.
- Při svařování proběhne až 10 000 řídicích a regulačních kroků za sekundu, kdy se porovnávají skutečné svařovací parametry se zadanými a v případě odchylky jsou okamžitě korigovány podle zadaných hodnot.
- Současně je kontrolováno síťové napětí, proud plynu, posuv svařovacího drátu a další podstatné funkce zařízení.



# Svařování impulzním proudem

- Svařování impulzním proudem je založeno na vhodné modulaci výstupního proudu svařovacího zdroje, kdy amplituda proudu se v rámci dané periody mění z hladiny základního proudu (nižší hodnota) na hladinu impulsního proudu (vyšší hodnota), přičemž taktovací frekvence pulsů je buď odvozena od síťového kmitočtu (násobek kmitočtu 50 Hz) nebo je generována nezávisle na síťovém kmitočtu.
- Poměr impulsního proudu k proudu základnímu může být měněn stupňovitě případně plynule a rovněž tak může být měněn poměr šířky impulsu k šířce mezery dané periody proudu.
- Změna proudu ze základního na impulzní a zpět může být realizována skokem (obdélníkový průběh impulsního proudu) nebo s určitou strmostí náběhové hrany případně sestupné hrany impulsu proudu (lichoběžníkový průběh impulsního proudu).



# Svařování impulzním proudem

- Aby bylo možno u řízených zdrojů libovolně nastavovat svařovací výkon ve velkém rozsahu, je nutno měnit poměr doby zapnutí (šířka impulzu) k době vypnutí (šířka mezery).
- Tato metoda se označuje jako pulsní šířková modulace.
- Potřebný tvar a průběh pulzu je také ovlivněn poměrem amplitudy pulsního a základního proudu.
- Při frekvenci pulsů v rozsahu např. 1 Hz až 1000 Hz existuje pro každý materiál odpovídající tvar pulzu.



# Svařování impulzním proudem

- Impulsním obloukem se zajišťuje optimální nastavení všech parametrů, (automatické nebo manuální) bezzkratový přenos materiálu s minimální úrovní rozstříku.
- Do tavné lázně odkápne z drátové elektrody na každý impuls jedna kapka přídavného materiálu.
- Impulsní technika umožňuje nastavit v celém výkonovém rozsahu konstantní velikost kapek a rychlost jejich odtavování.
- Tím lze přesně definovat rychlost procesu i kvalitu provedených svarů a samozřejmě i tepelnou energii vnesenou do materiálu.



## Ovládání jedním parametrem – Synergický režim svařování

- Ideální průběh celého svařovacího procesu, od přibližovací fáze před zapálením oblouku až po fázi zhasnutí oblouku a současném odtavení poslední kapky drátu, je dosažitelný jenom pomocí velkého počtu plynule nastavitelných parametrů.
- Nastavování tak velkého množství parametrů by obsluhu svařovacího zdroje velmi komplikovalo.
- S pomocí tzv. „synergického režimu“ (ovládání jedním parametrem např. rychlostí podávání přídavného materiálu), kde jsou předprogramované parametry pro libovolnou kombinaci drát/plyn, může uživatel ovládat celé zařízení zcela jednoduchým způsobem.
- Úkol optimalizace parametrů pro celou řadu základních i přídavných materiálů a ochranných plynů zde přebírá výrobce svařovacího zařízení.





## Ovládání jedním parametrem – Synergický režim svařování

- Tyto poznatky jsou uloženy ve formě databanky (tzv. knihovně programů) v elektronické paměťové jednotce.
- Uživatel nastaví přímo na svařovacím zdroji pouze průměr drátu, druh ochranného plynu a druh materiálu a vestavěný mikroprocesor se již postará o plynulé nastavení výkonu v celém rozsahu.
- Tím je zajištěno dosažení vysoké kvality prováděných svarů, produktivity a rychlosti procesu při výrazném zjednodušení obsluhy a ovládání.
- Chybná obsluha je zde prakticky vyloučena.
- Navíc, díky možnosti počítačového zpracování výsledků svařovacího procesu je dána i možnost sledování a kontroly svařovacích parametrů.





## Ovládání jedním parametrem – Synergický režim svařování

- Řídicí systém svařovacího zdroje umožňuje navíc uživateli vytvořit a nastavit své optimální parametry pro jakýkoliv případ svařování, uložit je do paměti a v případě potřeby takto vytvořený vlastní program jednoduchým způsobem (stisknutím tlačítka) opětovně vyvolat.
- Kromě toho si v některých případech může svářeč během svařovacího procesu dle okamžité potřeby prostřednictvím ovladače na rukojeti hořáku plynule regulovat proud (upravovat oblouk) a tím měnit svařovací výkon např. v rozsahu až o  $\pm 50\%$  od hodnoty nastavené aktuálním svařovacím programem.



## Dálkové ovládání

- Moderní elektronické systémy svařovacích zdrojů umožňují ovládat zdroj při svařovacím procesu dálkově (např. při automatizovaných a robotizovaných aplikacích), kontrolovat a evidovat reálné parametry jednotlivých svarů (s možností archivace i tisků průběhů jednotlivých parametrů) i programovat speciální průběhy jednotlivých parametrů v závislosti na reálném čase.
- Klasické dálkové ovladače pro ruční nebo nožní ovládání v samostatném zakrytí jsou propojeny s vlastním svařovacím zdrojem kabely libovolných délek.
- V některých případech pro zvýšení komfortu práce svářeče je dálkový ovladač zabudován do rukojeti hořáku s možností vyvolávat všechny důležité parametry, nastavovat je a průběžně je sledovat na displeji ovladače.



## Příslušenství svařovacích zdrojů

- ▶ Startovací zařízení
- ▶ Připojení zdroje k elektrorozvodné síti
- ▶ Svařovací kabely
- ▶ Držáky elektrod
- ▶ Svařovací svěrky



## Startovací zařízení

- ▶ V některých případech je vhodné realizovat zapálení elektrického oblouku bez dotyku elektrody se základním materiálem.
- ▶ Např. zapalování oblouku dotykem u technologie WIG může způsobit nalegování svarového kovu materiálem wolframové elektrody.
- ▶ Rovněž při svařování střídavým proudem je žádoucí podpořit opětovný vznik oblouku při změně polarity.
- ▶ Toto je možné zajistit takovým způsobem, že na potřebný čas se zvýší napětí mezi elektrodou a svařencem na tak vysokou hodnotu, aby v plynu nacházejícím se mezi elektrodou a svařencem nastala lavinová ionizace.
- ▶ Takový proces startu zabezpečuje ionizátor, který za běžných podmínek musí poskytnout napěťové impulsy s amplitudou několik tisíc voltů převyšující elektrickou pevnost prostředí mezi elektrodami.
- ▶ Startovací ionizátor musí být po zapálení oblouku elektronicky odpojen.
- ▶ Ionizátor podporující svařování střídavým proudem je zapojen trvale.



## Připojení zdroje k elektrorozvodné síti

- Každý svařovací zdroj je z pohledu obecné elektrotechniky elektrickým strojem.
- Proto musí všechny části jeho konstrukce splňovat požadavky příslušných elektrotechnických norem a předpisů, jednak technických, ale především bezpečnostních.
- K elektrorozvodné síti jednorázového napětí (230 V 50 Hz) nebo třífázového napětí (3 x 230/400 V 50 Hz) se svařovací zdroje připojují obvykle pohyblivým přívodem zakončeným příslušnou vidlicí pro zasunutí do zásuvky pevného rozvodu elektrické energie.



## Připojení zdroje k elektrorozvodné síti

- ▶ V některých výjimečných případech velkých svařovacích zdrojů, které jsou trvale a nepohyblivě umístěny na jednom místě v rámci svářečského pracoviště, mohou tyto být k rozvodu elektrické energie připojeny pevným přívodem.
- ▶ Jak pohyblivý, tak i pevný přívod musí být správně dimenzován (jak po stránce elektrické, tak i mechanické) podle maximálního příkonu zdroje.
- ▶ Pevný rozvod elektrické energie v porovnání s pohyblivým resp. pevným přívodem musí mít stejný nebo větší průřez jader vodičů a musí být jištěn jističem příslušné velikosti s pomalou vypínací charakteristikou.



## Připojení zdroje k elektrorozvodné síti

- Svařovací zdroj je většinou posuzován podle elektrotechnických norem jako elektrický předmět třídy I, a proto musí mít ochranné svorky na připojení ochranného vodiče, kterým je pohyblivý nebo pevný přívod opatřen.
- Ochrana obsluhy před nebezpečným dotykem se živými částmi zdroje (částmi vedoucími proud) je zajištěna krytím, izolací a doplňkovou izolací (při použití ochranných pomůcek) ve smyslu příslušných norem.
- Stupeň krytí u svařovacího zdroje bývá většinou IP 21 až IP 23.
- Ochrana obsluhy při dotyku s neživými částmi je ochrana koster a krytů a nosných kovových konstrukcí.
- Uplatňuje se až při poruše pracovní izolace a většinou je zajištěna jako ochrana nulováním nebo ochrana napěťovým případně proudovým chráničem.





# Svařovací kabely

- Svařovací kabely jsou jednožilové vodiče se složenými jádry a s pryžovou izolací, přivádějící svařovací proud ze svařovacího zdroje k držáku elektrody nebo ke svařovacímu hořáku (pistoli) a také ke svařovací svěrce připevněné na svařovaném materiálu pro uzavření proudového okruhu (obvodu) zdroje.
- Průřez jader se dimenzuje podle maximálního svařovacího proudu.
- Maximální dovolená délka svařovacího vodiče se stanoví tak, aby úbytek napětí při jmenovitém zatížení nepřekročil hodnotu 2 V.
- Je-li nutno použít delšího svařovacího vodiče než je uvedená mezní délka, zvolí se jeho průřez o stupeň vyšší.



# Svařovací kabely





# Připojení svařovacích kabelů





# Držáky elektrod

- ▶ Držák elektrod slouží k upnutí elektrody při svařování.
- ▶ Základní požadavky na ně jsou především malá hmotnost, bezpečnost, dobrá ovladatelnost pro výměnu elektrody a svařování v polohách.
- ▶ Držáky elektrod pro ruční obloukové svařování jsou normovány v ČSN 05 2250 nebo v ČSN EN 60 974-11.
- ▶ Velikost svařovacích držáků se řídí podle velikosti upínacích čelistí a proudovým zatížením.



# Svařovací držák bez elektrody







# Nasazování elektrody do svařovacího držáku





## Svařovací svěrky

- ▶ Slouží spolu s kabelem pro přivedení druhé polarity od svařovacího zdroje na svařovaný materiál.
- ▶ Svěrky je nutno pevně upnout, aby byl co nejmenší přechodový odpor.
- ▶ Svěrku umísťujeme co možná nejbliž k místu svařování.
- ▶ Svěrky mají různou velikost podle velikosti svařovacího proudu.





# Svařovací svěrka





# Otázky k zamyšlení

1. Jaké jsou požadavky na svařovací zdroje?
2. Jaké je rozdělení svařovacích zdrojů podle způsobu přeměny energie?
3. Jaké je rozdělení svařovacích zdrojů podle druhu dodávaného proudu?
4. Jakými způsoby je možné zapálit elektrický oblouk?
5. Co udává dynamická charakteristika svařovacího zdroje?
6. Popište statickou charakteristiku.
7. Jaké jsou vstupní a výstupní parametry svařovacích zdrojů?
8. Charakterizujte rotační svařovací zdroje.
9. Charakterizujte svařovací transformátor.
10. Co to je synergický režim svařování?
11. Charakterizujte svařovací kabely a jejich příslušenství.



## Doporučená literatura a informační zdroje

- ▶ AMBROŽ, O. A KOL. Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
- ▶ BERNASOVÁ, E. A KOL. Svařování. Praha: SNTL, 1987. ISBN 04-221-88.
- ▶ KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů. Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011, 242 s.