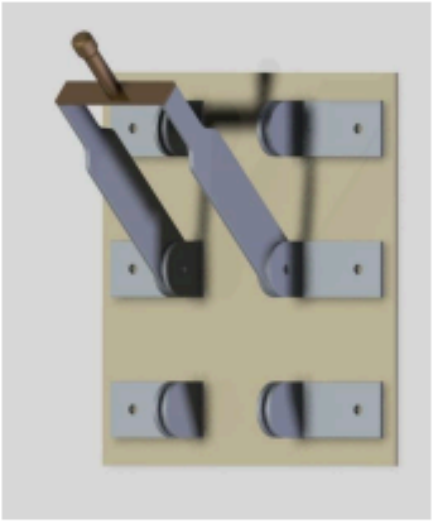
Reverzory - přepínače polarity

Ing. Vlastimil Vrátný, Ing. Lukáš Krahulík, DEHOR-elspec. Litvínov s.r.o., Ing. Ján Rehuš NES Nová Dubnica s.r.o.

Reverzory jsou zařízení, které řídícím signálem umí změnit polaritu napětí na svém výstupu. V nejjednodušším případě se jedná o ručně ovládaný mechanický přepínač. V galvanotechnice slouží reverzory jako součást napájecích zdrojů ke změně polarity napájecího napětí pro galvanické vany. Změnou polarity dochází ke změně funkce elektrod v elektrochemickém procesu a z anody se stává katoda a naopak. Změny polarity napájecího napětí se tak používá ke změně směru elektrochemického vylučování materiálu rozpuštěného v roztoku (leptání x nanášení). V praxi lze použití napájecích zdrojů se změnou polarity vidět např. u procesů elektrochemického odmaštění, kyanidového mědění nebo tvrdochromování.

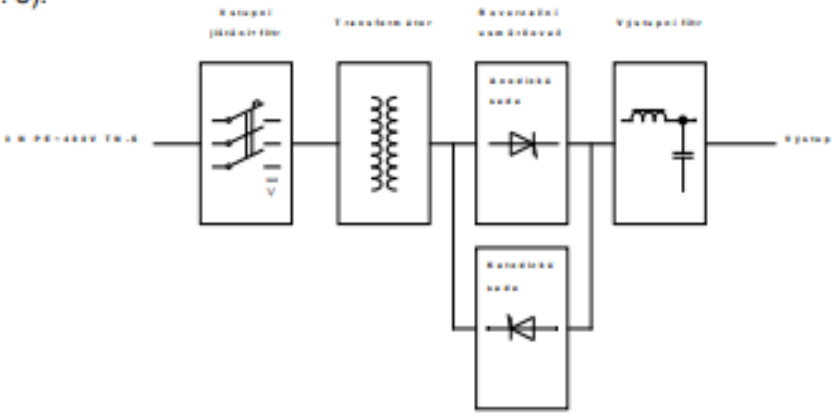
Historicky nejstarší možností reverzování bylo použití ručně ovládaného mechanického přepínače (viz obr. 1). Počátkem minulého století bylo možné pro napájení galvanizačních van stejnosměrným napětím se změnou polarity použít také rotační soustrojí motor-dynamo, přičemž polaritu lze měnit změnou směru otáčení motoru. Dále je možno použít mechanického přepínače ovládaného elektromotorkem s vačkou popřípadě elektromagnetický přepínač – stykač (obr.2).



Obr. 1 Mechanický reverzační přepínač

Obr. 2 Elektromagnetický spínač - stykač

Od 60. let minulého století se začaly masivně prosazovat pro napájení galvanizačních van tyristorové napájecí zdroje. Ty pro usměrnění a řízení výstupního napětí (proudu) používají polovodičový spínací prvek tyristor. Tím lze výstupní napětí nejen usměrnit, ale díky řídící elektrodě i spínat. Tato možnost umožnila osadit vlastní usměrňovač napájecího zdroje dvěma sadami tyristorů (zpravidla 2x6ks) a podle zapnutí zvolené sady lze volit výstupní polaritu napájecího zdroje (obr. 3).

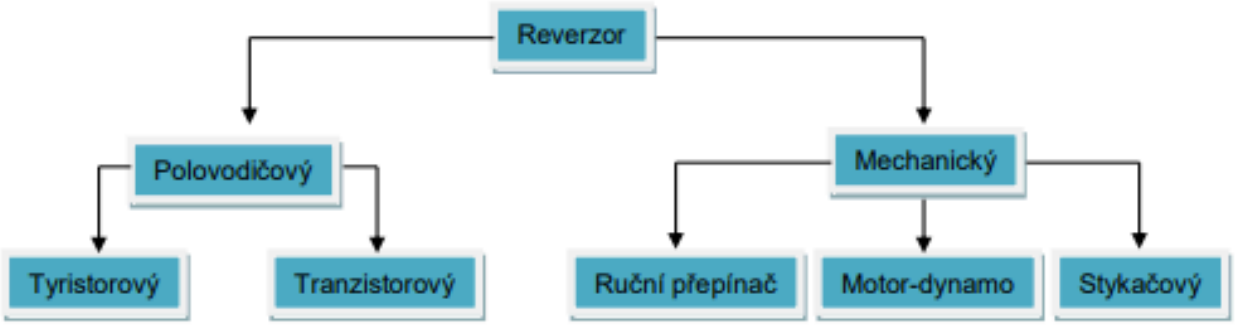


Obr. 3 Blokové schéma tyristorového reverzačního zdroje

Doplníme-li tedy jednopolaritní tyristorový napájecí zdroj pouze o další sadu tyristorů dostaneme poměrně jednoduše a bez dalších komplikací zdroj reverzační. Velkou výhodou je, že při použití tyristorů je počet

přepínacích cyklů neomezený a navíc jsou možné rychlé změny polarity (řádově v sekundách). Tyristorové reverzační usměrňovače se používají i dnes pro svojí robustnost a nižší pořizovací cenu, přestože mají nižší účinnost oproti spínaným stejnosměrným napájecím zdrojům s reverzorem.

Současné typy reverzorů se vyrábí, jak ve variantě mechanické s elektromagnetickými spínači – stykači, tak polovodičové se spínacími prvky typu FET (field effekt tranzistor).



Obr. 4 Rozdělení typů reverzorů

Stykačové reverzory se používají pro jejich robustnost a jednoduchost, avšak jsou vhodné pouze pro jednotky přepnutí za den. Jejich životnost je omezena počtem sepnutí.
Polovodičové, v současnosti nejužívanější jsou menší, lehčí, zvládají prakticky neomezený počet sepnutí a jsou i co do časů rychlejší (přepnutí<1sec). V extrémně krátkých časech se prakticky reverzor změní v měnič DC/AC a dává vznik kategorii oboupolaritních impulsních zdrojů. Nevýhodou polovodičových reverzorů je, že je potřeba výkonové prvky FET chránit proti přepětí, nadproudům a správně je budit. Z toho vyplývá i složitější řídící a obslužné obvody. Nicméně celkově je cena polovodičových reverzorů srovnatelná s cenou reverzorů mechanických.

Obr. 5 Mechanický stykačový reverzor

Obr. 6 Polovodičový reverzor

Chlazení reverzorů je různé a může být od přirozeného chlazení, přes nucené ventilátorem až po chlazení v oleji, nebo pomocí vodního chladiče. Jak u mechanických tak u polovodičových reverzorů je jejich účinnost dána z poměru ztrátového výkonu a výkonu přeneseného, tedy úbytkem na spínacím prvku a vlastní spotřebou řídících obvodů. Z tohoto pohledu jsou na tom nejlépe stykače s paměťovým efektem (magnetickou hysterzí), které potřebují energii pouze ke svému přepnutí a při provozu neodebírají žádnou energii. U nich pak vznikají ztráty pouze na přechodových odporech vlastních kontaktů (povrch kontaktů tvořen Ag či Au). Tento odpor je ale závislý

na čistotě dosedacích ploch kontaktů, ploše dotyku, síle stisku, teplotě atd., jeho hodnota je v čase proměnná a kontakty je potřeba udržovat. Protože se v galvanotechnice používají hodnoty proudů ve stovkách až tisících ampér vzniká i na velmi malých odporech (řádově mΩ) výrazná výkonová ztráta (teplo), dle známého vztahu:

$$P = R \cdot I^2$$

Pokud se jedná o reverzory s obyčejnými elektromagnetickými stykači navýší se ztrátový výkon celého reverzoru o energii potřebnou pro držení sepnutých stykačů. Tato ztráta se pohybuje v desítkách watů. U reverzorů polovodičových se pohybuje spotřeba řídících obvodů v řádu jednotek watů a ztráty na spínacích prvcích lze určit z katalogových údajů výrobce spínacího prvku. U tranzistorů se udává hodnota odporu v sepnutém stavu R_{DSon}. Velkou výhodou spínacích prvků FET je možnost je řadit paralelně a dosahovat tak velmi malých hodnot R_{DSon} až na srovnatelnou hranici s přechodovým odporem na kontaktech stykače. Polovodičové spínací prvky FET mají sice také proměnný odpor s teplotou (pozitivní tepelná závislost), ale v čase je odpor stálý. Tranzistory nejsou omezeny počtem sepnutí a jsou bezúdržbové.

Příklad způsobu výpočtu ztrátového výkonu a účinnosti reverzorů:

Chceme přepínat polaritu napájecího zdroje pro galvanotechniku s výstupními parametry 1000A, 15V.
Pro jednoduchost nebudeme uvažovat ztráty na přívodních vodičích a spotřebu chlazení.
Pro mechanický reverzor použijeme např. 4ks stykačů typu SRC1000B, který má spotřebu 7W a max. úbytek napětí 50mV/100A (v praxi naměřená hodnota 200mV/1000A). Vlastní spotřeba (vlastní ztrátový výkon) tedy bude 2x7W a přídavek na blokovací relé, celkem cca 20W. Ztrátový výkon tvořený přechodovým odporem bude:

$$Pz = \Delta U \cdot I = 0{,}2 \cdot 1000 = 200W$$

Protože pro každou polaritu reverzoru musí být aktivní 2 stykače bude ztrátový výkon 400W.
Celkový ztrátový výkon reverzoru tedy bude 420W a to už vyžaduje nucené chlazení.

Pro polovodičový reverzor použijeme např. tranzistor typu hexfet IRFB3006 s parametry R_{DSon} =2,1mΩ /196A.
Pro proud 1000A zvolíme 15ks tranzistorů, jejich R_{DSon} potom bude 0,14mΩ a ztrátový výkon:

$$Pz = R_{DSon} \cdot I^2 = 0{,}00014 \cdot 1000^2 = 140W$$

I zde je potřeba pro každou polaritu reverzoru 2 sad tranzistorů, ztrátový výkon bude 280W.
Vlastní spotřeba (vlastní ztrátový výkon) řídící elektroniky je 10W.
Celkový ztrátový výkon tedy bude 290W i to ale vyžaduje nucené chlazení.

Podíváme-li se na účinnost reverzoru vzhledem k přenesenému výkonu, vychází pro:

Mechanický:

$$\eta = \frac{P - Pz}{P} \cdot 100 = \frac{15000 - 420}{15000} \cdot 100 = 97\%$$

Polovodičový:

$$\eta = \frac{P - Pz}{P} \cdot 100 = \frac{15000 - 290}{15000} \cdot 100 = 98\%$$

Nutno ale podotknout, že takto vypočtená účinnost je závislá na zadaných parametrech spínaného napětí a proudu, tj. pokud bychom snížili zadané napětí účinnost se bude snižovat a pokud bychom při stejném napětí snížili zadaný proud při stejných komponentech bude uvedená účinnost růst. Tento údaj je proto vypovídající jen pro zadané parametry.

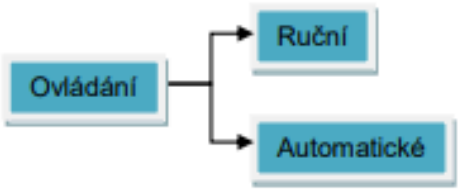
Zajímavé je porovnání ztrát na reverzoru vůči ztrátám na vedení od něho ke galvanizační vaně.
Uvažujme výše počítaný polovodičový reverzor a stejné proudové zatížení tedy 1000A. Vedení s délkou 8m a průřez měděného vodiče 1000mm^2.
Úbytek napětí na reverzoru bude:

$\Delta U_T = R_{DSon} \cdot I = 0{,}00014 \cdot 1000 = 0{,}14V$, pro obě sady tranzistorů potom 0,28V

Úbytek na vedení:

$$\Delta U_V = R_V \cdot I = \frac{\rho \cdot l}{S} \cdot I = \frac{0{,}0175 \cdot 16}{1000} \cdot 1000 = 0{,}28V$$

Jak vidíme úbytek napětí (potažmo ztrátový výkon) na reverzoru a na vedení ke galvanizační vaně jsou stejné a to i při poměrně robustním průřezu s proudovým zatížením jen 1A/mm².



Obr. 7 Rozdělení dle typu řízení

Ovládání reverzoru jakéhokoli typu můžeme provádět buď ručně nebo automaticky (obr. 7). Ruční ovládání je nejjednodušší u mechanického přepínače ovládací pákou. Stykačové a polovodičové reverzory lze ovládat dálkově malým ovládacím prvkem tlačítkem, přepínačem, dotykovou obrazovkou atd.. Reverzor má v podstatě jen tři stavy:

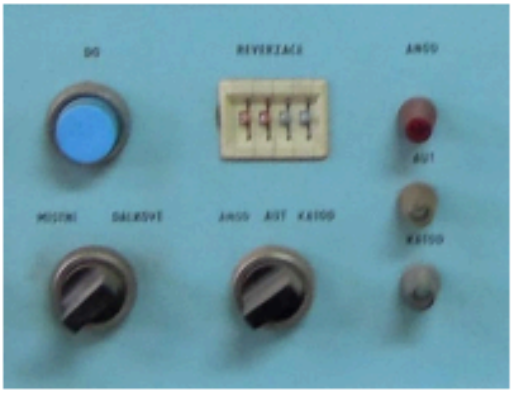
1. Vypnuto – vstup je odpojen od výstupu
2. Anodický režim – nastavena jedna polarita (obvykle stav leptání zboží)
3. Katodický režim – nastavena druhá polarita (obvykle nanášení materiálu)

V případě, že má být reverzor ovládán automaticky rozumí se tím, že jednotlivá přepínání provádí řídící jednotka dle přednastaveného programu, který zpravidla obsahuje tyto parametry:

Požadovaný režim při zapnutí napájecího zdroje
Délka času v Anodickém režimu
Délka času mezi přepnutími
Délka času v Katodickém režimu
Počet opakování režimů v jednom cyklu (délka cyklu)
Požadovaný režim, ve kterém bude ukončeno zapnutí zdroje

Obvykle jsou běžící časy a režimy vizualizovány např. pomocí displeje s klávesnicí (viz Obr. 8)
Na starších zdrojích byly často používány pro nastavení časů časové relé nebo krokové voliče (viz obr.9)

Obr. 8 Displej s klávesnicí



Obr. 9 Krokový volič časů

Závěr:
Reverzory – přepínače polarity jsou nedílnou součástí napájecích zdrojů pro galvanotechniku bez kterých by se i jen tak obyčejné otočení polarity na galvanizační vaně stalo pracným ne-li nemožným úkolem. Nároky, které klademe na jejich kvalitu, a tou je bezesporu spolehlivost, bezúdržbovost, vysoká účinnost, malé rozměry, programovatelnost a další, jsou v dnešní době již velmi dobře zvládnuty a to především díky moderním polovodičovým tranzistorům z oblasti FET. Porovnáním úbytků jsme se přesvědčili, že účinnost polovodičového reverzoru je přibližně shodná s 8m kvalitního měděného vedení.

Obr. 10 Příklad spínaného napájecího zdroje pro galvanotechniku s reverzorem a ovládací skříňkou