

ZPŮSOBY NAPÁJENÍ A AUTOMATICKÁ REGULACE CELOELEKTRICKÝCH SKLÁŘSKÝCH TAVICÍCH PECÍ

STANISLAV KASA, ANTONÍN LISÝ

Katedra technologie silikátů, Vysoká škola chemicko-technologická, Suchbátarova 5, 166 28 Praha 6

Došlo 23. 5. 1988

Řešení problematiky úspory energie ve sklářských tavicích pecích vyžaduje používání nových způsobů napájení a automatické regulace příkonu. V článku jsou ukázány možnosti uspořádání napájecích zdrojů a regulací s použitím polovodičových prvků a také ve spojení s výpočetní technikou, zajišťující sběr procesních dat a jejich vyhodnocení pro potřeby regulace. Jsou ukázány výhody regulace elektrického příkonu do pece podle konstantního elektrického odporu mezi elektrodami, zvláště pak u pecí, kde jsou instalovány dva a více topných okruhů.

ÚVOD

Spotřeba elektrické energie a možnosti její úspory patří mezi významně sledované ukazatele současných výrobních procesů. Stejně je tomu i v průmyslu sklářském. I když jde pouze o dílčího ukazatele, neboť rozhodující je celková ekonomická efektivnost procesu, jsou ve většině případů podle něho procesy hodnoceny. Ve sklářském průmyslu je největším spotřebičem energie tavicí pec, a proto právě jí věnují výrobci skla patřičnou pozornost a snaží se různými technologickými nebo konstrukčními úpravami spotřebu energie co nejvíce snížit. Jedním ze způsobů je také zavádění vhodných napájecích zdrojů a regulací energie dodávané do pece.

Regulování dodané energie pro tavení skloviny v celoelektrické sklářské tavicí peci je zpravidla prováděno odbočkovými transformátory [1]. Tyto výkonové zdroje mají však omezené regulační možnosti, a jsou proto hledány stabilnější regulátory. U typové řady transformátorů je rozdíl napětí na odbočkách 6 až 9 V, což se projevuje podle velikosti elektrického příkonu poměrně velkými výkonovými rozdíly. Taková skoková regulace není vhodná pro ohřev skloviny, která vykazuje větší deregulační vlastnosti [2]. Regulovatelný zdroj pro celoelektrickou sklářskou tavicí pec by měl zajistit stabilní provoz s minimálním kolísáním regulované veličiny. Je proto důležité vhodně zvolit regulační veličinu.

Elektrický ohřev sklářské tavicí pece je charakterizován parametry jako elektrický výkon, odpor, napětí a proud. Napájíme-li tavicí pec ze zdroje konstantního napětí a změní-li se teplota v peci, změní se i elektrický odpor. Např. při poklesu teploty dojde ke vzrůstu elektrického odporu a vyvolá se tím pokles vyhovovaného elektrického výkonu. Dále se tak snižuje teplota tavené skloviny, a to způsobuje další pokles elektrického výkonu. Napájíme-li tavicí pec ze zdroje konstantního proudu a klesne-li přitom teplota skloviny, stoupne její odpor, a tudíž vzroste i dodávaný elektrický příkon.

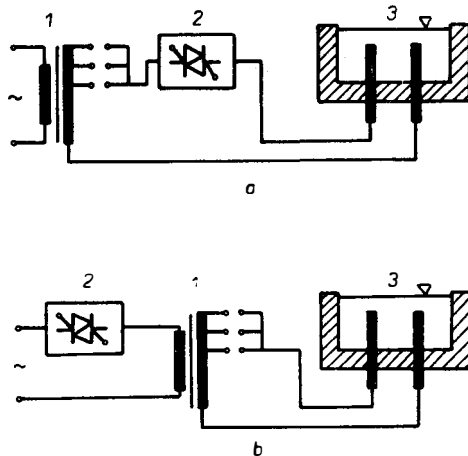
K regulaci elektrického příkonu do tavicího prostoru pece se může využívat jako regulační veličina elektrický odpor skloviny mezi elektrodami. Elektrický odpor charakterizuje teplotně prostor vyplněný sklovinou, který je vyhříváný systémem elektrod. Elektrický odpor jako signál pro automaticky regulovatelný zdroj elektrického příkonu do tavicí pece lze získat výpočtem z naměřeného proudu a napětí. Jako regulační veličina je dostatečně citlivý, má poměrně velkou

změnu hodnoty při změně teploty skloviny o 1 °C a v porovnání s teplotou má nepatrné dopravní zpoždění.

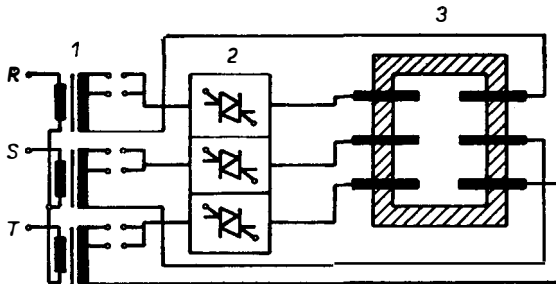
Navrhované regulátory vycházejí z těchto poznatků, a proto jsou odbočkové transformátory doplňkovými tyristorovými akčními členy. Ze skokových regulátorů tak vznikají regulace s plynule nastavitelnou hodnotou elektrického příkonu. S takovými zdroji je potom možné dosáhnout vyšší kvality a spolehlivosti regulace elektrického příkonu do tavicích pecí. Tento stav také poskytuje možnost optimalizovat tavicí proces.

REGULACE ELEKTRICKÉHO PŘÍKONU DO TAVICÍCH PECÍ

Pro sklářské tavicí pece je možné použít k regulaci velikosti elektrického příkonu tyristorové regulace jak na principu fázového řízení, tak i s pulsním řízením. Tyristorové akční členy lze zapojit do obvodu napájecího transformátoru na jeho primární i sekundární stranu (obr. 1 a 2). Napájecí transformátory jsou odbočkové,



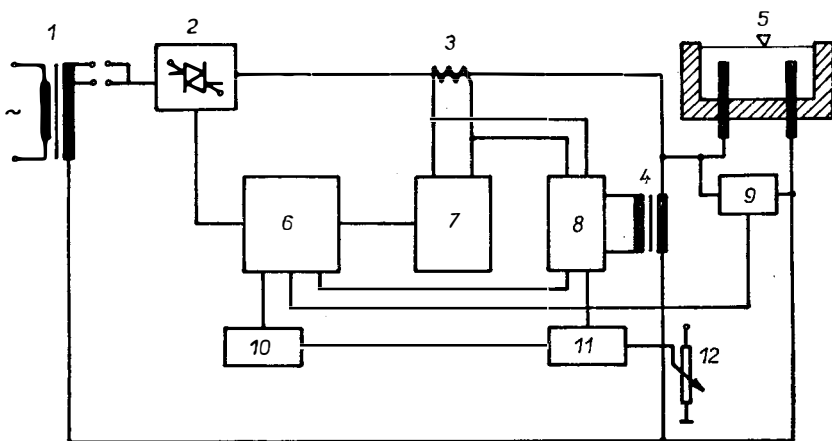
Obr. 1. Zapojení jednofázového tyristorového regulátoru k tavicí peci; a — na sekundární straně napájecího transformátoru, b — na primární straně napájecího transformátoru, 1 — jednofázový odbočkový transformátor, 2 — tyristorový akční člen, 3 — tavicí pec.



Obr. 2. Zapojení třífázového tyristorového regulátoru k tavicí peci na sekundární straně napájecího transformátoru; 1 — třífázový odbočkový transformátor, 2 — tyristorový akční člen, 3 — tavicí pec.

s přepínáním odboček pomocí krokovacího servopohonu nebo tyristorových spínačů. Jako regulační veličina, která je snímána v tavicí peci vhodným čidlem, je opět elektrický odpor mezi elektrodami.

Velice důležitá, z hlediska správné funkce regulační jednotky, je kontrola stejnosměrné složky, vznikající následkem nerovnoměrného chodu antiparalelní dvojice tyristorů, a její následné a průběžné odstraňování pomocí jednoduchého elektrického obvodu. Také se doporučuje zapojit mezi tyristorový regulátor a tavicí pec obvod proudové zpětné vazby pro omezení proudů, neboť tavená sklovina má zápornou charakteristiku teplotní závislosti měrného elektrického odporu, a tudíž sklon k deregulaci. Zapojení jednofázového tyristorového regulátoru je na obr. 3.



Obr. 3. Zapojení jednofázové tyristorové regulační jednotky s fázovým řízením; 1 — jednofázový odbočkový transformátor, 2 — tyristorový akční člen, 3 — proudové čidlo, 4 — napětové čidlo, 5 — tavicí pec, 6 — řídicí obvody, 7 — proudová ochrana, 8 — převodník W/V, 9 — stanovení stejnosměrné složky, 10 — regulátor výkonu, 11 — výkonový komparátor, 12 — nastavení požadovaného výkonu.

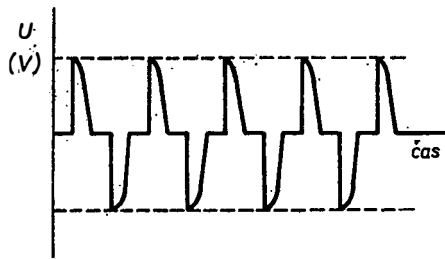
Pro případ, kdyby došlo k větší poruše tyristorové regulace, je účelné vybavit regulační zařízení přepínačem, aby bylo možné připojit záložní odbočkový transformátor nebo pouze přemostit vypínačem antiparalelní tyristory.

Tyristorové napájecí zdroje v porovnání s boostry nebo transduktory umožňují velkou četnost spínání, regulují elektrické i neelektrické veličiny na konstantní hodnotu s velkou přesností, téměř okamžitě reagují (desítky ms), mají malé rozměry a poměrně velkou spolehlivost.

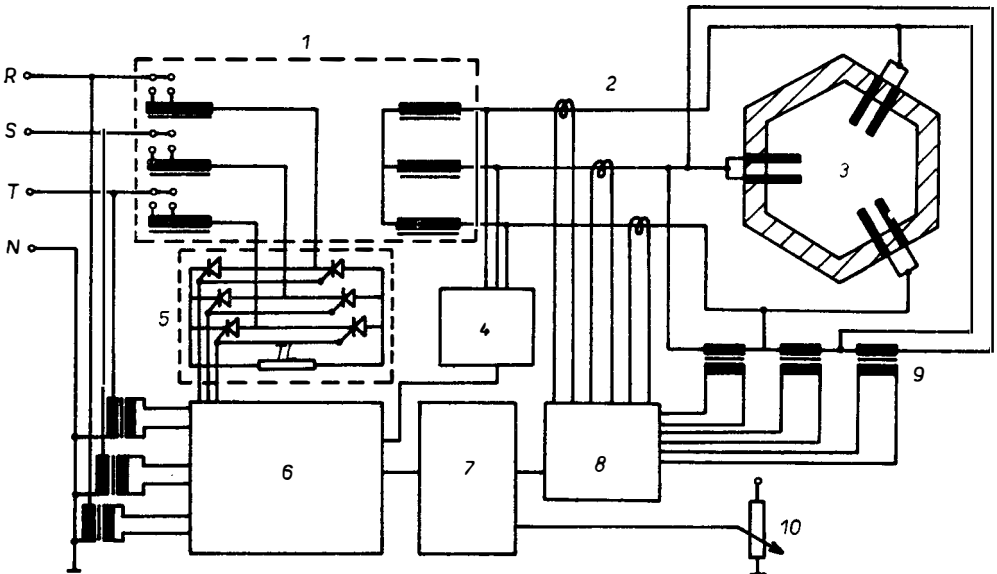
Celoelektrické sklářské tavicí pece nebo elektrické přehřevy pecí otápěných plynnými nebo kapalnými palivy jsou nejčastěji napájeny ze zdrojů třífázového proudu. V takovém případě zapojení tyristorových napájecích zdrojů včetně regulačních obvodů je shodné se zapojením tyristorového regulátoru podle obr. 3, pouze s tím rozdílem, že některé části je nutné sestavit pro každou fázi zvlášť, jak bude ukázáno na obr. 5. Pro sklářské tavicí pece, kde elektrický výkon je dodáván nízkým napětím a velkými proudy, je výhodné zapojit tyristorové akční členy na primární stranu napájecího transformátoru. Využijí se tím lépe napěťové vlastnosti tyristoru jako spínače. V porovnání s řízením elektrického výkonu na sekundární straně transformátoru můžeme tyristory o stejném jmenovitém

proudu (zařazenými na primární straně transformátoru) řídit několikanásobně větší výkon do pece.

Silová část třífázového zdroje je tvořena napájecím třífázovým transformátorem, jehož sekundární vinutí je možno zapojit do hvězdy, trojúhelníka nebo jsou vyvedeny všechny konce vinutí (iii). Převod transformátoru je měněn skokově pomocí odboček na primární straně transformátoru. V uzlu tyristorového spínače je ještě zapojena tlumivka (TL), která způsobuje vyhlazení vstupních a výstupních proudů. Měřicí transformátory proudů jsou umístěny na přívodech k elektrodám tavicí pece. V generátoru zapalovacích impulsů jsou generovány zapalovací impulsy pro spínání tyristorů. V takovém případě mluvíme o regulátorech s fázovým řízením, kde průběh napětí na elektrodách tavicí pece je znázorněn na obr. 4.



Obr. 4. Průběh napětí na elektrodách při fázovém řízení.



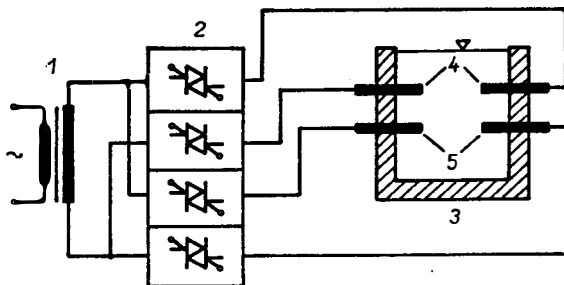
Obr. 5. Zapojení třífázové tyristorové regulační jednotky s fázovým řízením; 1 — třífázový odbočkový transformátor, 2 — proudová čidla, 3 — tavicí pece, 4 — stanovení stejnosměrné složky, 5 — tyristorový akční člen, 6 — řídicí obvody, 7 — regulátor výkonu, 8 — převodník W/V, 9 — napěťová čidla, 10 — nastavení požadovaného výkonu, TL — tlumivka.

Celkové elektrické zapojení třífázové tyristorové regulační jednotky s fázovým řízením, jejíž řízený třífázový spínač je zapojen v uzlu primárního vinutí napájecího transformátoru, je na obr. 5.

REGULACE ELEKTRICKÉHO PŘÍKONU DO TAVICÍCH PECÍ S VÍCE TOPNÝMI OKRUHY

K zajištění vyšších tavicích výkonů sklářských tavicích pecí je nutné používat více zdrojů, obvykle dva nebo tři. Potom jsou na peci uzavřeny dva nebo tři topné okruhy tvořené vždy zdrojem, přívody k elektrodám, elektrodami a zatěžovacím odporem (sklovina). V případě použití tyristorové regulace s fázovým řízením v každém topném okruhu vzniká nepříjemná situace, kdy jednotlivé zdroje jsou přes elektrody a vodivou sklovinu vzájemně propojeny [3], takže se vzájemně ovlivňují. To má za následek, že není možno za provozu nezávisle regulovat příkon v jednotlivých topných okruzích. Druhou nevýhodou tohoto způsobu regulace elektrického příkonu do pece je ovlivňování napájecí sítě a rušení, která vznikají v důsledku spínání velkých proudů. Významnou nevýhodou regulace s fázovým řízením je však skutečnost, že způsobuje jednak fázový posun proudu a napětí, tj. zhoršuje významně $\cos \varphi$ a tedy zvyšuje elektrické ztráty, a jednak vytváří stejnosměrnou složku, jejíž přítomnost zvyšuje korozi elektrod, což je při elektrickém tavení nežádoucí.

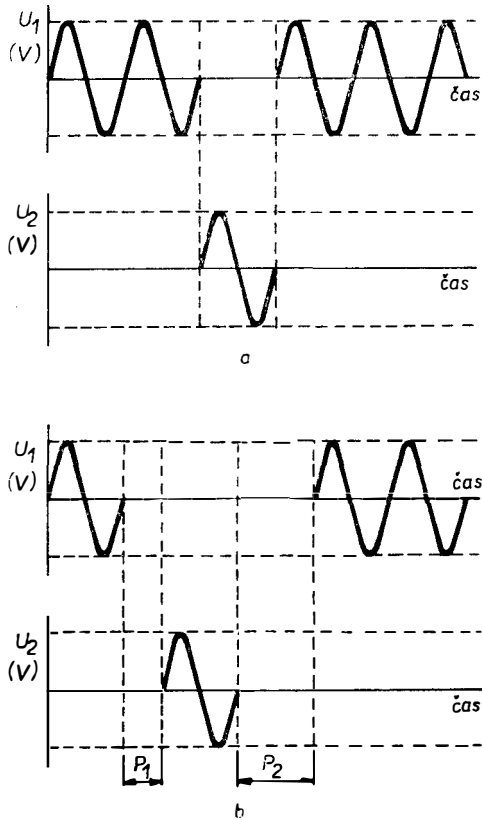
Tyto nevýhody odstraňuje použití regulátoru s pulsním řízením [4], kdy vlastní elektrický ohřev je rozdělen do dvou nebo tří samostatných topných okruhů, které jsou pomocí regulovaného tyristorového spínače střídavě připojovány ke zdroji. Schéma takového zapojení se dvěma samostatnými topnými okruhy je na obr. 6



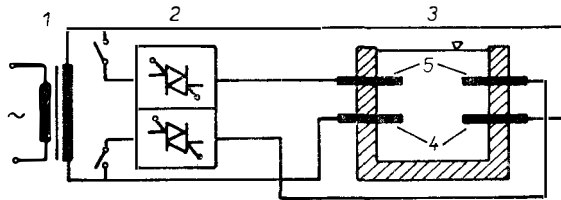
Obr. 6. Zapojení dvouokruhového ohřevu k napájecímu zdroji; 1 — jednofázový transformátor, 2 — tyristorový akční člen, 3 — tavicí pec, 4 — elektrody 1. topného okruhu, 5 — elektrody 2. topného okruhu.

a průběhy napětí na elektrodách při cyklickém spínání dvou topných okruhů jsou na obr. 7. Poměr dob topení v jednotlivých topných okruzích potom určuje poměr vybavovaných elektrických výkonů. Použije-li se rychlého střídání zapojení jednotlivých topných okruhů po několika propouštěných periodách, je výsledek takový, jako by jednotlivé topné okruhy topily současně.

Perspektivní řešení vhodného zdroje se jeví takové, kdy jeden topný okruh bude připojen k napájecímu transformátoru přímo a bude výhodné, jestliže podíl příkonu tohoto topného okruhu bude činit 60–80 % z celkového příkonu. Druhý topný okruh bude připojen přes tyristorový akční člen, tvořený dvojicemi anti-



Obr. 7. Průběhy napětí na elektrodách při cyklickém spínání dvou topných okruhů; a — bez prodlevy b — s prodlevami (P_1 , P_2).



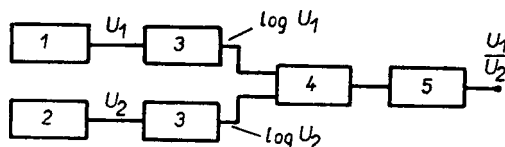
Obr. 8. Připojení tyristorového regulátoru k tavicí peci se dvěma vrstvami elektrod tvořících dva topné okruhy; 1 — jednofázový transformátor, 2 — tyristorový snímač, 3 — tavicí pec, 4 — elektrody připojené přímo na napájecí zdroj (1. okruh), 5 — elektrody připojené na napájecí zdroj přes tyristorový spínač (2. okruh).

paralelních tyristorů, k sekundárnímu vinutí téhož transformátoru, jak je vidět na obr. 8. Zapojení topných okruhů podle obr. 8 vyžaduje, aby elektrody, které jsou připojeny přes tyristorový akční člen, byly připojovány současně k napájecímu zdroji. Nelze připojovat pouze jednu stranu elektrod, neboť by se v tom případě uzavíral topný okruh pouze na této straně pece, což je z technologického hlediska

nežádoucí. Výhody této varianty zapojení více topných okruhů jsou v tom, že elektrodami připojenými přes tyristorový akční člen je přenášeno pouze 20—40 % celkového příkonu, z čehož plynou podstatně menší nároky na proudové zatížení používaných tyristorů. Nižší budou i ztrátové výkony. Takový tyristorový regulátor bude rozměrově menší a finančně méně náročný. Dojde-li k jeho poruše může tavicí proces pokračovat s nižším tavicím výkonem, který zajistí topný okruh tvořený elektrodami přímo připojenými na napájecí zdroj.

V tavicím bazénu pece je nutné udržovat podmínky podle požadavků technologie, především pokud jde o tavicí teplotu. Podle velikosti tavicího výkonu, tj. odběru utavené skloviny, je třeba dodat do pece potřebné množství energie.

Regulování elektrického příkonu lze provádět na základě snímané hodnoty charakterizující stav a podmínky v tavicím prostoru, např. teploty, elektrického odporu, viskozity a podobně. Na díle se nejčastěji využívá elektrický odpor skloviny mezi elektrodami, tj. podíl napětí a proudu. To ovšem předpokládá konstantní podmínky prostředí mezi elektrodami, neboť odpor mezi elektrodami nezávisí jen na složení skloviny a její teplotě, ale také výrazně na ploše, resp. velikosti povrchu elektrod. Ten se nemění jen u málo korozivních sklovin, jakými jsou např. skloviny typu SIMAX, Neutrál apod. V těchto případech je regulace na konstantní odpor mezi elektrodami výhodná, dostatečně citlivá, rychlá a jednoduchá. Hodnotu odporu skloviny mezi elektrodami, jako podíl napětí a proudu na elektrodách, lze získat analogově podle schématu na obr. 9. Při tavení sklovin, u kterých do-

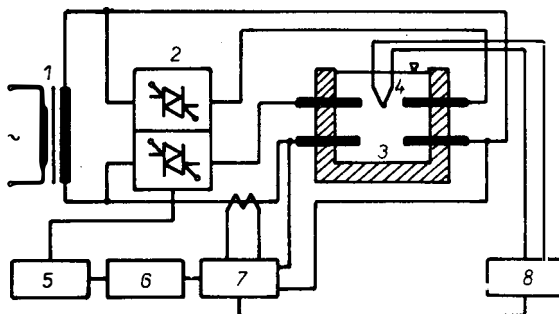


Obr. 9. Schéma zapojení pro získání analogového podílu proudu a napětí na elektrodách; 1 — převodník napětí, 2 — převodník proudu, 3 — logaritmický člen, 4 — odečítací člen, 5 — exponenciální člen.

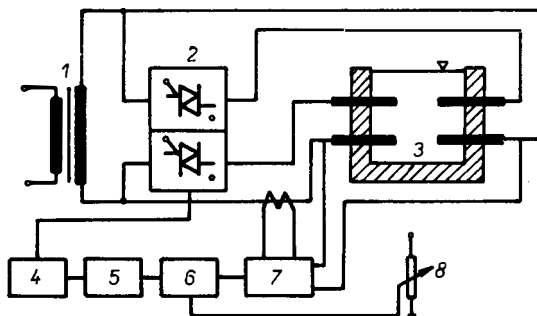
chází ke zvýšené korozi elektrod a kde se tedy následkem častého posouvání elektrod mění velikost povrchu elektrod, je nutné regulovat elektrický příkon do pece podle jiných veličin, např. napětí na elektrodách. Zvláště nevýhodná je u sklářských tavicích pecí regulace elektrického příkonu podle snímaného průběhu teplot v určitém místě bazénu pece, neboť teploty v průběhu tavení kolísají a teplotní údaj je mají následkem stárnutí termočlánků malou spolehlivost.

REGULACE ELEKTRICKÉHO PŘÍKONU S MIKROPOČÍTAČEM

Pro vlastní regulování elektrického příkonu do pece není mikropočítač nutný, ale je perspektivní pro sběr dat a jejich vyhodnocování. Pokud bude počítač použit pro sběr dat, bude vhodné a účelné využít ho také k regulaci elektrického příkonu do pece podle jednoduchého programu. Na našem pracovišti byl sestaven řídicí program a odzkoušen na mikropočítači SAPI 1. Schéma elektrického zapojení regulátoru teploty v tavicí peci na konstantní hodnotu elektrického odporu mezi elektrodami s využitím mikropočítače a schéma regulace teploty v tavicí peci při konstantním elektrickém příkonu jsou na obr. 10 a 11.



Obr. 10. Schéma regulátoru teploty v bazénu tavicí pece na konstantní hodnotu elektrického odporu mezi elektrodami s využitím mikropočítače; 1 — jednofázový zdroj, 2 — tyristorový spínač, 3 — tavicí pec, 4 — termočlánek, 5 — regulátor, 6 — mikropočítač, 7 — jednotka styku s prostředím pro sběr procesních dat, 8 — A/Č převodník.



Obr. 11. Schéma regulátoru teploty v bazénu tavicí pece na konstantní hodnotu elektrického příkonu s využitím mikropočítače; 1 — jednofázový transformátor, 2 — tyristorový spínač, 3 — tavicí pec, 4 — regulátor, 5 — mikropočítač, 6 — komparátor, 7 — jednotka styku s prostředím pro sběr procesních dat, 8 — nastavení požadované teploty.

Z porovnání dvou variant regulace elektrického příkonu do pece se dvěma topnými okruhy je patrné, že regulace na konstantní hodnotu elektrického příkonu s přihlédnutím k teplotnímu chování tavicí pece je vhodná pro systém, u něhož se nemění vnější podmínky, tj. pulsní regulace na konstantní příkon je vhodná pro pec, u níž se udržují okrajové podmínky na konstantní hodnotě a nekolísají. Dobré výsledky lze však docílit s regulací na konstantní hodnotu elektrického odporu mezi elektrodami, neboť elektrický odpor dobře teplotně charakterizuje sklovinu za předpokladu jejího neměnného složení. Výhodu tohoto typu regulace je nutné spatřovat především v okamžitém ovlivnění hodnoty elektrického odporu mezi elektrodami změnou tavicích podmínek, na které tak regulátor okamžitě reaguje. Pro určení hodnoty elektrického odporu mezi elektrodami se s výhodou využívá mikropočítač, který také řídí sběr procesních dat.

ZÁVĚR

Pro celoelektrické sklářské tavicí pece, u kterých je požadováno zvýšení tavicího výkonu, je výhodné použít k napájení více zdrojů, které jsou tak elektrodami a vodivou taveninou propojeny, a tudíž se navzájem ovlivňují. Zamezení vzájem-

ného ovlivnění řeší použití pulsní regulace příkonu, které dociluje požadovaného účinku, je-li na peci realizováno několik samostatných topných okruhů (nejméně 2). Na odzkoušeném dvouokruhovém elektrickém ohřevu ve spojení s tyristorovým regulátorem a s regulační smyčkou jednak na konstantní příkon a jednak na konstantní elektrický odpor mezi elektrodami se ukázalo, že regulace na konstantní elektrický odpor je vhodnější, neboť elektrický odpor lépe a rychleji charakterizuje tavicí proces. Zvláště výhodné je, je-li regulátor doplněn mikropočítačem. Taková sestava představuje moderní, citlivou a spolehlivou regulační jednotku, kterou by měla být vybavena každá celoelektrická sklářská tavicí pec.

Literatura

- [1] Staněk J.: *Elektrické tavení skla*, SNTL, Praha 1976.
- [2] Kasa S.: *Silikátové inženýrství II* (1. a 2. díl), Skripta VŠCHT, Praha 1987.
- [3] Kasa S. at al.: Sborník VŠCHT Praha (časť A L12), s. 7 (1984).
- [4] Lisý A. at al.: Patent ČSSR (AO č. 237 722).

СПОСОБЫ ПИТАНИЯ И АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЦЕЛЬНОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Станислав Каса, Антонин Мисы

*кафедра технологии силикатов Химико-технологического института,
166 28 Прага 6*

В классическом исполнении целноэлектрические стекловаренные печи питаются из ответственных трансформаторов, где изменением ответвлений изменяется напряжение на вторичной стороне трансформатора. В промышленности устанавливаются регулирования как для постоянного напряжения, так и для постоянного тока. С точки зрения регулирования, которое быстро реагирует на технологические изменения в бассейне печи проверялось регулирование на постоянное электрическое сопротивление между электродами, которое достаточно чувствительно, так как резко изменяется при изменении температуры в печи на 1 °C и имеет небольшое транспортное запаздывание.

Чтобы исключить скачкообразные изменения подводимой мощности в печь, вызванные скачкообразными изменениями напряжения на трансформаторе, присоединяются к источникам питания тиристорные исполнительные элементы и таким образом создаются источники с непрерывно регулируемой величиной подводимой мощности в печь.

Особый случай наступает у печей, где устанавливаются две и больше отопительных цепей. Однако при тиристорном регулировании с фазовым управлением отдельные отопительные цепи оказывают друг на друга влияние, так как они связаны с проводимой стекломассой и поэтому их нельзя независимо регулировать. Данный недостаток можно исключить применением регулятора с импульсным управлением, где нагрев подразделяется в две и больше самостоятельные отопительные цепи, которые попеременно подключаются к источнику (см. рис. 6).

Перспективно наиболее пригодным является источник, когда одна отопительная цепь (подводимая мощность 60—80 %) подключается непрерывно и дальнейшие отопительные цепи (мощность 20—40 %) подключаются циклически (рис. 8). Основным преимуществом данного способа подключения заключается в том, что с помощью тиристорного исполнительного элемента переносится только 20—40 % энергии, что предоставляет существенно меньшие требования к токовой нагрузке применяемых тиристоров. Также в случае отказа одной отопительной цепи приводится энергия из остальных отопительных цепей. Весьма удобно к регулированию подводимой электрической мощности в печь присоединить микровычислитель, который проводит отбор данных процесса, проводит их оценку и результаты обрабатывает в программу, с помощью которой проводится регулирование. На нашей кафедре была разработана программа управления и проверена на микровычислителе SAPH, подключение которой в цепь регулирования приводится на рис. 10 и 11.

У целноэлектрических стекловаренных печей, у которых требуется повышение плавильной мощности, оказывается целесообразно применять:

- питание с несколькими отопительными цепями,
- импульсное регулирование подводимой мощности в печь,
- электрическое сопротивление между электродами в качестве величины регулирования,
- микровычислитель как дополнение регулятора.

Таким образом создается современная, чувствительная и надежная единица регулирования, отвечающая предъявляемым параметрам.

- Рис. 1.** Подключение однофазного тиристорowego регулятора к стекловаренной печи; а — на вторичной стороне питающего трансформатора, б — на первичной стороне питающего трансформатора, 1 — однофазный ответвительный трансформатор, 2 — тиристорый исполнительный элемент, 3 — стекловаренная печь.
- Рис. 2.** Подключение трехфазного тиристорowego регулятора к стекловаренной печи на вторичной стороне питающего трансформатора; 1 — трехфазный ответвительный трансформатор, 2 — тиристорый исполнительный элемент, 3 — стекловаренная печь.
- Рис. 3.** Подключение однофазной тиристоровой единицы регулирования с фазовым управлением; 1 — однофазный ответвительный трансформатор, 2 — тиристорый исполнительный элемент, 3 — датчик тока, 4 — датчик напряжения, 5 — стекловаренная печь, 6 — управляющие цепи, 7 — защита от тока, 8 — преобразователь W/V , 9 — определение компонента тока одного направления, 10 — регулятор мощности, 11 — компаратор мощности, 12 — установка требуемой мощности.
- Рис. 4.** Ход напряжения на электродах при фазовом управлении.
- Рис. 5.** Подключение трехфазной тиристоровой единицы регулирования с фазным управлением; 1 — трехфазный ответвительный трансформатор, 2 — датчики тока, 3 — стекловаренная печь, 4 — определение компонента тока одного направления, 5 — тиристорый исполнительный элемент, 6 — управляющие цепи, 7 — регулятор мощности, 8 — преобразователь W/V , 9 — датчики напряжения, 10 — установка требуемой мощности, TL — дроссель.
- Рис. 6.** Подключение двухцепного нагрева к источнику питания; 1 — однофазный трансформатор, 2 — тиристорый исполнительный элемент, 3 — стекловаренная печь, 4 — электроды первой отопительной цепи, 5 — электроды второй отопительной цепи.
- Рис. 7.** Ходы напряжения на электродах при циклическом переключении двух отопительных цепей; а — без остановки, б — с остановками (P_1, P_2).
- Рис. 8.** Подключение тиристорowego регулятора к стекловаренной печи с двумя слоями электродов, создающих две отопительные цепи; 1 — однофазный трансформатор, 2 — тиристорый выключатель, 3 — стекловаренная печь, 4 — электроды, подключение прямо к источнику питания (первая цепь), 5 — электроды, подключенные к источнику питания через тиристорый выключатель (вторая цепь).
- Рис. 9.** Схема подключения для получения аналоговой доли тока и напряжения на электродах; 1 — преобразователь напряжения, 2 — преобразователь тока, 3 — логарифмический элемент, 4 — вычитательный элемент, 5 — экспоненциальный элемент.
- Рис. 10.** Схема регулятора в бассейне стекловаренной печи на постоянную температуру электрического сопротивления между электродами с применением микровычислителя; 1 — однофазный источник, 2 — тиристорый выключатель, 3 — стекловаренная печь, 4 — термозлемент, 5 — регулятор, 6 — микровычислитель, 7 — единица контакта со средой для сбора данных процесса, 8 — АЧ преобразователь.
- Рис. 11.** Схема регулятора температуры в бассейне стекловаренной печи на постоянную величину электрической мощности с применением микровычислителя; 1 — однофазный трансформатор, 2 — тиристорый выключатель, 3 — стекловаренная печь, 4 — регулятор, 5 — микровычислитель, 6 — компаратор, 7 — единица контакта со средой для сбора данных процесса, 8 — установка требуемой температуры.

POWER SUPPLY AND AUTOMATIC CONTROL OF ALL-ELECTRIC GLASS MELTING FURNACES

Stanislav Kasa, Antonín Lisý

*Department of Silicate Technology, Institute of Chemical Technology,
166 28 Prague 6*

The classical all-electric glass melting furnaces are supplied with power by tap changing transformers where the voltage on the secondary side of the transformer is adjusted by changing the taps. The respective controls allow operation at constant voltage or constant current. As regards control systems reacting readily to technological changes in the furnace tank, satisfactory results were obtained with experimental verification of a control system working at a constant electric current between the electrodes; the system is suitably sensitive, as it undergoes distinct changes as a result of very small variations of furnace temperature (by as little as 1 °C) and exhibits a small transportation lag.

To prevent occurrence of jump changes in furnace input resulting from jump in voltage at the transformer, the feed systems are supplemented with thyristor actuating units which ensure steplessly settable power input into the furnace.

Special problems arise with furnaces where two or more heating circuits are installed. With the use of thyristor regulation and phase control, the individual heating circuits tend to interact, being connected by the conductive glass melt, thus making the independent control impossible. This disadvantage is eliminated by the regulator employing pulse control, where the heating system is divided into two or more separate heating circuits which are then alternately connected to the power supply (cf. Fig. 6).

The best characteristics even in future are expected from such power supply where one heating circuit (input 60—80 %) is connected permanently, and the additional heating circuits (input 20—40 %) are connected cyclically (cf. Fig. 8). This system has the main advantage of transmitting only 20—40 % of the energy through the thyristor actuating unit, thus introducing significantly lower power load on the thyristor employed. In the case of a defect in one of the heating circuits, the furnace is always supplied with energy from the other heating circuits. The control of the electric input can be advantageously supplemented with a microcomputer which collects process data, evaluates them and introduces the results into the program used in the actual control. A control program has actually been suggested at our department and tested on the SAPI 1 microcomputer, whose incorporation into the control circuits is illustrated in Figs. 10 and 11.

The following features appear advantageous if any increase in the melting throughput is demanded from an all-electric glass melting furnace:

- power supply system consisting of several heating circuits
- pulse regulation of furnace power input
- electric resistors between the electrodes as a control quantity
- microcomputer as a supplement of the regulator.

Combination of the features provides an up-to-date, sensitive and reliable control system which satisfies all the requirements.

Fig. 1. Connection of the single-phase thyristor regulator at the melting furnace; a — on the secondary side of the supply transformer, b — on the primary side of the supply transformer, 1 — single-phase tap changing transformer, 2 — thyristor actuating unit, 3 — melting furnace.

Fig. 2. Connection of a three-phase thyristor regulator at the melting furnace on the secondary side of the power supply transformer; 1 — three-phase tap changing transformer, 2 — thyristor actuating unit, 3 — melting furnace.

Fig. 3. Connection of the single-phase thyristor regulating unit with phase control; 1 — single-phase tap changing transformer, 2 — thyristor actuating unit, 3 — current sensor, 4 — voltage sensor, 5 — melting furnace, 6 — control circuits, 7 — overcurrent protection, 8 — W/V converter, 9 — determination of the DC component, 10 — power governor, 11 — output comparator, 12 — adjustment of the required output.

Fig. 4. The course of voltage on electrodes during phase control.

Fig. 5. Connection of a three-phase thyristor regulating unit with phase control; 1 — three-phase tap changing transformer, 2 — current sensors, 3 — melting furnaces, 4 — determination of the DC component, 5 — thyristor actuating unit, 6 — control circuits, 7 — output governor, 8 — W/V = converter, 9 — voltage sensors, 10 — adjustment of the required output, TL — choke coil.

- Fig. 6. Connection of two circuit heating to the power supply; 1 — single phase transformer, 2 — thyristor actuating unit, 3 — melting furnace, 4 — electrodes of the 1st heating circuit, 5 — electrodes of the 2nd heating circuit.
- Fig. 7. The voltage courses at the electrodes during cyclic switching of two heating circuits, a — without lags, b — with lags (P_1 , P_2).
- Fig. 8. Connection of the thyristor regulator to the melting furnace with two electrode layers comprising two heating circuits; 1 — single-phase transformer, 2 — thyristor switch, 3 — melting furnace, 4 — electrodes connected directly to the power supply (1st circuit), 5 — electrodes connected to the power supply via the thyristor switch (2nd circuit).
- Fig. 9. Connection diagram for obtaining the analog proportion of current and voltage at the electrodes; 1 — voltage converter, 2 — current converter, 3 — logarithmic element, 4 — subtracting element, 5 — exponential element.
- Fig. 10. Schematic diagram of the temperature controller in the melting tank based on a constant value of electrical resistance between the electrodes and utilizing a microcomputer; 1 — single-phase power supply, 2 — thyristor switch, 3 — melting furnace, 4 — thermocouple, 5 — controller, 6 — microcomputer, 7 — unit for contact with environment for the collection of process data, 8 — A/D converter.
- Fig. 11. Schematic diagram of temperature controller in a melting tank based on constant electric input and application of a microcomputer; 1 — single-phase transformer, 2 — thyristor switch, 3 — melting furnace, 4 — controller, 5 — microcomputer, 6 — comparator, 7 — unit of contact with environment for the collection of process data, 8 — adjustment of the required temperature.

V. BOUŠKA, Z. BOROVEC, A. CIMBÁLNÍKOVÁ, I. KRAUS, A. LAJČÁKOVÁ, M. PAČESOVÁ: PŘÍRODNÍ SKLA. Academia, Praha 1987, 264 str., 76 obr., 75 tab., cena 50 Kčs.

Kniha byla vydána v souvislosti s 2. Mezinárodní konferencí o přírodních sklech, která se konala vloni v září v Praze k 200. výročí první publikace na světě o přírodním skle (vltavínech) od J. Mayera, profesora pražské univerzity (viz Silikáty č. 32/1988, s. 158). Má charakter příručky a jsou v ní přehledně shrnuty dosavadní teoretické a praktické poznatky o přírodních sklech, čerpané z rozsáhlého souboru literatury a vlastních prací autorů.

Úvodní část knihy je věnována obecné fyzikálně chemické charakteristice přírodních skel. Jsou v ní stručně uvedeny elementární zákonitosti tvorby skel, jejich struktura, barevnost, odmísení, devitrifikace, hydratace a jiné jevy, důležité k lepšímu pochopení obsahu střední části knihy, kdy jsou podrobněji rozvedeny současné vědomosti o všech známých druzích přírodních skel.

U skel vulkanických jsou popsány fyzikálně chemické podmínky jejich vzniku, genetické typy, názvosloví a známá ložiska. Podrobněji je vyložen chemismus těchto skel a vliv hydratace a sekundárních přeměn na jejich stabilitu. V kapitole o impakťových sklech, která vznikla nárazem (impaktem) kosmických těles na povrch Země, je popsáno 92 dosud prozkoumaných meteoritových kráterů, jsou probrány hlavní znaky nárazových struktur, chemismus těchto skel a je připojena úvaha o tělesech, které náraz způsobily.

Další z klasifikační řady přírodních skel jsou tektity, mezi které patří i české a moravské vltavíny. Jsou to různě tvarované částice silikátové taveniny vzniklé v okamžiku dopadu, kosmického tělesa, vystříknuté do atmosféry a letící někdy až značně daleko od zdroje. V knize jsou uvedeny charakteristiky hlavních pádových polí, podle kterých se tektity nazývají, tvarové typy, vlastnosti a chemické složení tektitů. U skel mimozemského původu, nalezených ve vzorcích odebraných z Měsíce a z kamenných meteoritů, jsou uvedeny dosud identifikované druhy a jejich chemismus. Dále kniha informuje o druzích a složení fulguritů, vzniklých úderem blesku do pevného zemského povrchu, a o ostatních sklech, která vznikla v přírodě, např. při samovolném vznícení organických látek.

Závěrečnou část knihy tvoří přehled použití přírodních skel v technice (perlyta a pemzy) a ve šperkařství (obsidián a tektity).

Přesto, že je v knize zpracováno velké množství většinou nejnovějších ověřených poznání, je psána svižně a přehledně. Přispívají k tomu pečlivě sestavené tabulky a množství názorných obrázků. V publikaci naleznou zajímavé informace jak profesionální pracovníci a studenti z oboru, tak i amatérští milovníci přírody.

Dvořák