

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI
NOSITELKA ŘÁDU PRÁCE

FAKULTA STROJNÍ

OBOR 23-40-8
ASŘ VP VE STROJÍRENSTVÍ

KATEDRA TECHNICKÉ KRESLENÍ

ALGORITMUS OPTIMIZACE

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI
NOSITELKA ŘÁDU PRÁCE

FAKULTA STROJNÍ

OBOR 23-40-8
ASŘ VP VE STROJÍRENSTVÍ

KATEDRA TECHNICKÉ KYBERNETIKY

ALGORITMUS OPTIMÁLNÍHO SEŘÍZENÍ STÁVAJÍCÍ ČÍSLICOVÉ
REGULACE VE DVOJICÍCH REGENERÁTORŮ

ALEXANDRA DRHOLCOVÁ

VEDOUcí PRÁCE: ING. JIŘÍ SVOBODA - VŠST LIBEREC
KTK ASŘ 044

ROZSAH PRÁCE A PŘÍLOH:

POČET STRAN	53
POČET OBRÁZKŮ	13
POČET TABULEK	3
POČET PŘÍLOH	-

LIBEREC, 27. 5. 1983

Vysoká škola: VŠST Liberec..... Fakulta: strojní.....
Katedra: technické kybernetiky..... Školní rok: 1982/83.....

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro s. Alexandru Drholicovou
obor 23-40-8 Automatizované systémy řízení výrobních procesů
ve strojírenství

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Algoritmus optimálního seřazení stávající číslicové
regulace ve dvojicích regenerátorů

Zásady pro vypracování:

- 1) Seznamte se s principem činnosti regenerátoru, se způsobem měření důležitých veličin a se způsobem ovládání těchto veličin.
- 2) Popište regenerátor vhodným modelem.
- 3) Navrhněte číslicový regulátor pro řízení regenerátoru metodou minimalizace kvadratického kritéria.
- 4) Podle možností ověřte navržený regulátor simulací na číslic. počítači.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 8
PČ 461 17

Autorské právo se řídí směrnicí
MŠK pro státní záv. zkoušky č.j. 31
727/62-III/2 ze dne 13. července
1962-Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze
dne 31. 8. 1962-19 aut. z. č. 115/53 Sb.

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: 50 stran

Seznam odborné literatury:

1. Svoboda J.: Číslicové řízení spojitých technologických procesů;
Výzkumná zpráva KTK-0063, VŠST Liberec

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jiří Svoboda

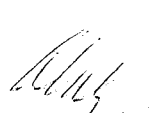
Datum zadání diplomové práce:

7.10.1982

Termín odevzdání diplomové práce:

27.5.1983

L.S.


Doc. Ing. Ján Alaxin, CSc.

Vedoucí katedry


Doc. RNDr. Bohuslav Stríž, CSc.

Děkan

v Liberci dne 5.10.1982 19

Místopřisekně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, dne 27. 5. 1983

Alexandra Dušková

Obsah

	strana
1. Zadání	3
2. Úvod	6
3. Stav zařízení na dělení vzduchu	8
4. Popis číslicové regulace regenerátorů na zaří- zeních na dělení vzduchu N-35/91,92	10
4.1 Spojení řídicích počítačů s měřicím a regu- lačním systémem zařízení na dělení vzduchu N-35/91,92	10
4.2 SS2 - Subsystem regulace teplotního režimu regenerátorů	13
4.2.1 Detailní popis práce se sub- systemem SS2 - řízení teploty regenerátorů včetně návaznosti na řízení načí stroj	
4.2.2 Spojení	

Obsah

	strana
1. Zadání	3
2. Úvod	6
3. Stav zařízení na dělení vzduchu	8
4. Popis číslíkové regulace regenerátorů na zaří- zeních na dělení vzduchu K-35/91,92	10
4.1 Spojení řídicích počítačů s měřícím a regu- lačním systémem zařízení na dělení vzduchu K-35/91,92	10
4.2 Subsystem regenerátorů teplotního režimu	13
4.2.1 Detailní popis práce se subsystémem SS2 - řízení teplotního režimu rege- nerátorů včetně návaznosti na přepí- nací stroj	13
4.2.2 Spolupráce regenerátorů, přepínacího stroje a řídicího počítače	15
4.2.3 Teplotové průběhy v regenerátorech	17
4.3 Princip činnosti	23
4.4 Řídicí algoritmus	28
5. Vytvoření matematického modelu	34
5.1 Matematický model bez dopravního spoždění a bez nedorekuperace	34
5.1.1. Výpočet k_S , k_T	37
5.2 Matematický model s dopravním spožděním	40
5.2.1 Výpočet k_S , k_T s přihlédnutím k dopravnímu spoždění	41

	strana
5.3 Matematický model s nedorekuperací	43
6. Návrh číslicového regulátoru pro řízení regenerátoru metodou minimalizace kvadratického kritéria	45
6.1 Obecná část	45
6.2 Výpočet číslicového regulátoru	49
7. Ověření navrženého regulátoru simulací na číslicové počítači	51
8. Závěr	52
Seznam použité literatury	53

2. Úvod

Vývoj moderních počítačů související s rozvojem výpočetní techniky je jedním z nejmladších vědecko-technických oborů. U nás se začalo s výzkumem v letech 1948-49, ale k využívání výpočetní techniky v praxi došlo až v druhé polovině padesátých let. Od té doby počet počítačů a jejich uživatelů rychle rostl. Na vysokých školách byly zřízeny samostatné studijní obory, v nichž se vychovávají odborníci zaměřeni na navrhování, konstrukci, údržbu a využívání výpočetních prostředků.

V závěrech XVI. sjezdu Komunistické strany Československa byl rozvoj elektroniky a mikroelektroniky označen pro další období za otázku prvořadé důležitosti. S rozvojem elektroniky a mikroelektroniky souvisí totiž technický vzestup všech dalších odvětví národního hospodářství a celé společnosti, všech oblastí lidské činnosti od průmyslu až po zdravotnictví, školství a kulturu. Již v uplynulém období bylo dosaženo výrazného pokroku ve výrobě výpočetní techniky a i nadále se při rozvoji všeobecného strojírenství má zvyšovat podíl výroby automatizovaných a automatických strojů a strojních systémů a v praxi vytvářet podmínky pro zavádění automatizovaných systémů řízení do výrobního procesu. Pro plnění rozhodujících úkolů v 7. pětiletce je nezbytný rychlý rozvoj elektrotechnického průmyslu, zejména mikroelektroniky a prostředků auto-

matizace. Tím se má soustavně zvyšovat užitná hodnota výrobků a technologií v rozhodujících odvětvích a oborech národního hospodářství, urychlovat růst produktivity práce a snižovat spotřebu energie a materiálů.

3. Stav zařízení na dělení vzduchu

Automatizovaný systém řízení technologických procesů /ASŘTP/ Centrální kyslíkárny Ostrava /CKO/ byl ve své původní podobě pouze souhrnem číslicových regulátorů pro řízení chodu regenerativních výměníků tepla /regenerátorů/. Zajištění číslicové regulace regenerátorů bylo nutné z důvodů, že v době návrhu a projektování zařízení na dělení vzduchu N-35/91,92 nebylo dostupné jiné zařízení a tato číslicová regulace byla ověřena nasazením řídicího počítače Hewlett-Packard HP 2116C na zařízení na dělení vzduchu N-10/77 v Třineckých železárnách VHSR. Protože však je snaha co nejekonomičtěji využít pořízovanou techniku - řídicí počítače, byly navrženy další funkce zvyšující účinnost systému, při poměrně malém zvýšení ceny.

Zahrnutím dalších funkcí ASŘTP a jejich propojením vzniká první ASŘTP kyslíkárny. Celý systém ASŘTP vzniká na základě iniciativy výrobce zařízení na dělení vzduchu národního podniku Perox Děčín, závod maršála Rybalka, kde byl celý systém navržen.

Základním prvkem CKO jsou dvě nízkotlaká zařízení na dělení vzduchu N-35/91,92 pracující metodou hlubokých teplot. Princip činnosti těchto zařízení spočívá v tom, že tlakový vzduch se postupně ochladí až na teplotu bodu varu a dvojnásobnou rektifikací v kolonách se rozdělí na komponenty. Tyto komponenty, tzv. produkty dělení, na

cestě se zařízení na dělení vzduchu odebírají teplo proti-
proudě proudícímu vzduchu, který tím ochlazuje a o tlaku
cca 1 kPa vystupují ze zařízení. Veškeré teplozní ztráty
jsou kryty prací expanzních turbin.

Expanzní turbíny rovněž slouží k prechlazení celého
zařízení. Jelikož zařízení pracuje za hluboké nízkých tep-
lot /okolo -180°C / jsou všechny funkční nádoby, potrubí
i armatury vestavěny v izolačním krytu a izolovány izo-
lační hmotou - perlitem.

Zařízení na dělení vzduchu typu M-35/91,92 je zaříze-
ní o výkonu 1170 t/d /35 000 Nm³/h/ kyslíku o čistotě
85% O₂. Zařízení je venkovního provedení, tan., že není
vestavěno do budovy. Expanzní turbíny a převodníky měření
a regulace jsou umístěny v budově v blízkosti dělicího za-
řízení. Vlastní měřicí panel s ovládacím stolem a perife-
riemi počítačů pro styk s obsluhou /vždy 2 obrazovkové sta-
nice HP 2645A a 1 mozaiková tiskárna HP 12987A/ jsou umís-
těny v centrální dosorně vzdálené asi 40 a 60 metrů od dě-
licích zařízení. Pod centrální dosornou jsou umístěny dva
počítače Hewlett-Packard HP 1000/31 a dvě průmyslové měří-
cí a regulační stanice HP 9611R zajišťující svým technickým
vybavením AS&TP OKO. Každý počítač se svojí měřicí a regu-
lační stanicí zajišťuje chod svého dělicího zařízení včet-
ně vzduchového turbokompresoru pro požadovanou produkci.
V případě výpadku kterýkoliv z počítačů může zajistit chod
celé Centrální kyslíkárny Ostrava.

4. Popis číslíkové regulace regenerátorů na zařízeních na dělení vzduchu N-35/91,92

4.1 Spojení řídicích počítačů s měřicím a regulačním sys- témem zařízení na dělení vzduchu N-35/91,92

Zařízení na dělení vzduchu N-35/91,92 jsou vybavené počítačovým řídicím systémem řady Hewlett-Packard HP 1000/31 a HP 9611R-015. Řídicí počítačový systém je ovládaný uživatelským softwarem OXY 2, který má zabezpečovat následující funkce:

- a/ regulaci teplotního režimu regenerativních výměníků tepla s jejich přepínáním
 - ve dvojitých změnou přepínací doby regenerátorů
 - mezi dvojitými směnou průtoku vzduchu do jednotlivých dvojice regenerátorů /změna natočení vstupních klapek vzduchu/;
- b/ řízení chromatografu a signalizace mezních stavů koncentrací uhlovodíků, což zajišťuje bezpečnost provozu zařízení s hlediska koncentrací uhlovodíků;
- c/ sběr dat a výpis provozního protokolu v závislosti na reversacích regenerátorů;
- d/ vyhodnocení provozních protokolů za směny a den včetně bilancí a statistických veličin;
- e/ výpis okamžitých hodnot všech měřených analogových veličin;
- f/ v konverzačním režimu sledování na obrazovce obrazovkového terminálu některé nebo některých veličin procesu;

- g/ ukazování /respektive výpis/ reverzací regenerátorů
s teplotami středů všech regenerátorů;
- h/ zpracování výkazu směnového /resp. denního/ odběru
kyslíku do BHKO a do VŽK s Centrální kyslíkárny Ostra-
va;

- i/ statistické vyhodnocení základních veličin chodu zaří-
zení ve volitelných obdobích /dekády, měsíce, čtvrtletí,
až do ročního vyhodnocení/.

Výše uvedené funkce budou garantovány. V rámci dalších pra-
cí Ferozu Běšín a VÚHŽ Dobruška budou řešeny další funkce sys-
tému:

- j/ optimalizace vstupního vzduchu pro požadované průtoky
a koncentrace produktů;

- k/ vazba mezi spotřebou a výrobou kyslíku.

Na základě analýzy funkcí, které má ASŘTP OKO zabez-
pečovat a s ohledem na předpokládanou programovou struktu-
ru je celý systém ASŘTP OKO nazvaný OXY 2 dekomponován do
následujících osmi subsystémů SS1-SS8:

SS1 - subsystém supervizora a monitoru řízení

zabezpečuje organizaci práce všech dále navazujících
subsystémů

SS2 - subsystém regulace teplotního režimu regenerátorů

zabezpečuje body a, g

SS3 - subsystém optimalizace vstupního vzduchu v závislos-
ti na potřebě kyslíku

zabezpečuje body j, k

SS4 - subsystém řízení chromatografu

zabespečuje bod b

SS5 - subsystém sběru dat, výpisu provozního protokolu

a okamžitých hodnot

zabespečuje body c, e

SS6 - subsystém časového sledování veličin procesu na

obrazovce

zabespečuje bod f

SS7 - subsystém směnového a denního vyhodnocení

zabespečuje body d, h

SS8 - subsystém dlouhodobého vyhodnocení

zabespečuje bod i

V rámci celého systému OXY 2 nelze chápat jednotlivé subsystémy jako uzavřené programové celky, ale jako celky, které řeší určitou specifickou problematiku ASŘTP OKO s návazností na další subsystémy OXY 2.

4.2 SS2 - Subsystem regulace teplotního režimu regenerátorů

Regulace režimu regenerátorů se provádí těmito způsoby:

- 1/ ve dvojicích - změnou doby reverzace regenerátorů při zachování konstantní doby cyklu
- 2/ mezi dvojicemi - změnou průtoku vzduchu do jednotlivých dvojic dusíkových regenerátorů /ovládání klapky U21 a U22/
- 3/ u všech dvojic - změnou doby periody přepínání a cyklu

4.2.1 Detailní popis práce se subsystemem SS2 - řízení teplotního režimu regenerátorů včetně návaznosti na přepínací stroj

Řízená technologie - regenerativní výměníky tepla - regenerátory.

Při regenerativní výměně tepla se uskutečňuje přestup tepla náplní, která v časovém období, jež nazýváme teplou periodou, akumuluje teplo vstupujícího vzduchu a v druhém období, jež nazýváme studenou periodou, toto teplo předává produktu dělení vzduchu. Aby se dosáhlo nepřetržité funkce výměny tepla je nutno řadit alespoň dva regenerátory vedle sebe. V tomto seskupení vždy střídavě jedním regenerátorem proudí vstupní vzduch, který se stykem s ná-

plní ochlazuje, přičemž zároveň ohřívá náplň a druhým regenerátorem protáhne vystupující produkt dělení, který se stykem s náplní ohřívá, přičemž zároveň náplň ochlazuje. Studená a teplá perioda tvoří přepínací cyklus dvojice regenerátorů.

Z hlediska technologického, regenerátory jednak zabezpečují výměnu tepla a jednak čistí vzduch, neboť vodní pára a kysličník uhličitý obsažené ve vzduchu se usazují na náplni regenerátorů a při studené periodě jsou odváděny produkty dělení z regenerátorů.

Správná činnost regenerátorů je možná pouze tehdy, jestliže na teplém konci regenerátorů nedosahuje teplotní rozdíl /měřený ve dvou po sobě následujících periodách/ mezi vstupním vzduchem a výstupním produktem dělení příliš velkých hodnot. Jinak je pochybné opětné odpaření vody nehlédě ke ztrátě chladu. Podobně jestliže je teplotní rozdíl na studeném konci příliš velký, nemůže při studené periodě úplně sublimovat kysličník uhličitý a způsobuje zanášení regenerátorů. Aby se tedy dodržely správné podmínky chodu regenerátorů, je nutné přesně dodržovat poměr mezi vstupujícím vzduchem a vystupujícími produkty a to nejen mezi jednotlivými dvojicemi regenerátorů, ale i mezi regenerátory jednotlivých dvojic.

Chod regenerátorů je charakterizován jeho teplotním režimem, kterému přímo odpovídá rozdělení průtoku vzduchu na dvojice regenerátorů a na jednotlivé regenerátory.

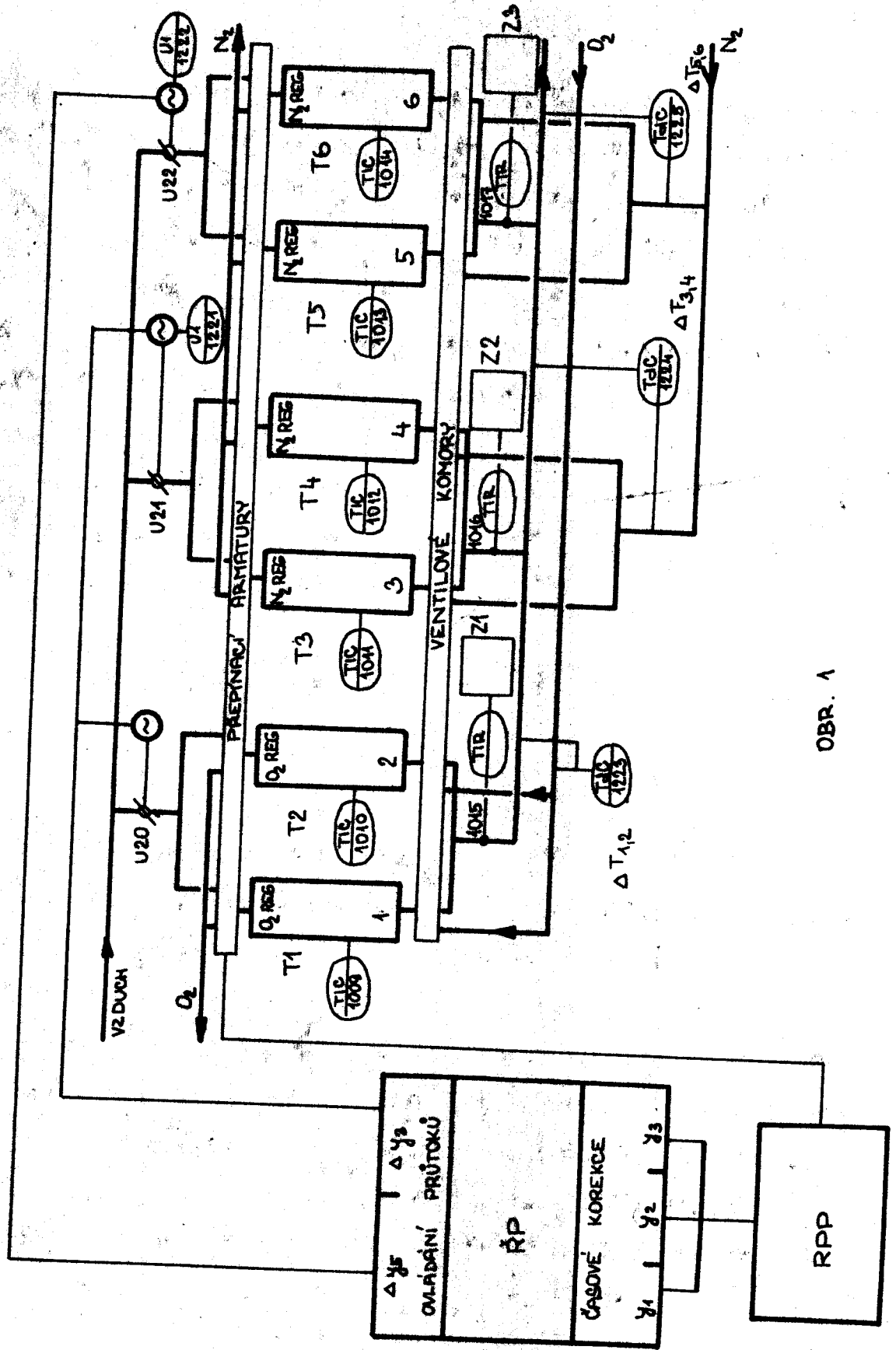
Velmi přesným měřítkem pro rozdělení průtoku vzduchu je teplota na libovolném místě po celé regenerátory, nikoliv však bezprostředně u teplého nebo studeného konce. Nejvýhodnějším měřicím místem je teplotní střed regenerátorů, kde více teplota kolísá během jedné periody o 10°C až 50°C , má však v závislosti na čase přibližně lineární průběh a hodnota v určitém čase během periody je při ustáleném stavu vždy stejná. Jakmile se však peněr mezi průtoky vstupujícího vzduchu a vystupujícího produktu dělení jen nepatrně změní, mění se teplota v určitém místě regenerátorů velmi značně.

4.2.2 Spolupráce regenerátorů, přepínacího stroje a řídicího počítače

Z hlediska řízení spolupracují s regenerátory dva systémy a to přepínací stroj a automatická regulace teplot zajišťovaná řídicím počítačem. Spolupráce všech částí je blokově znázorněna na obr. č. 1.

Pro účely řízení jsou regenerátory průběžně označeny čísly 1 až 6. Střídání toků vzduchu a produktů je uskutečněno prostřednictvím přepínacích armatur na teplém konci regenerátorů, které jsou řízeny reversačním programovým přístrojem - RPP přepínacího stroje. Ventilové komory na studeném konci regenerátorů pracují automaticky. Regulovanou veličinou jsou teploty studených konců regenerátorů,

BLOKOVÉ SCHÉMA ZÁKLADNÍ REGULACE PRO TŘI DVOJICE REGULÁTORŮ A ŘP



OBR. 1

kontrolované na zapisovačích Z1, Z2, Z3. Regulovaná veličina je snímána nepřímě jako teplota středu regenerátorů. Tyto teploty jsou označeny T1 až T6. Základní regulace teplot je provedena dvojím způsobem:

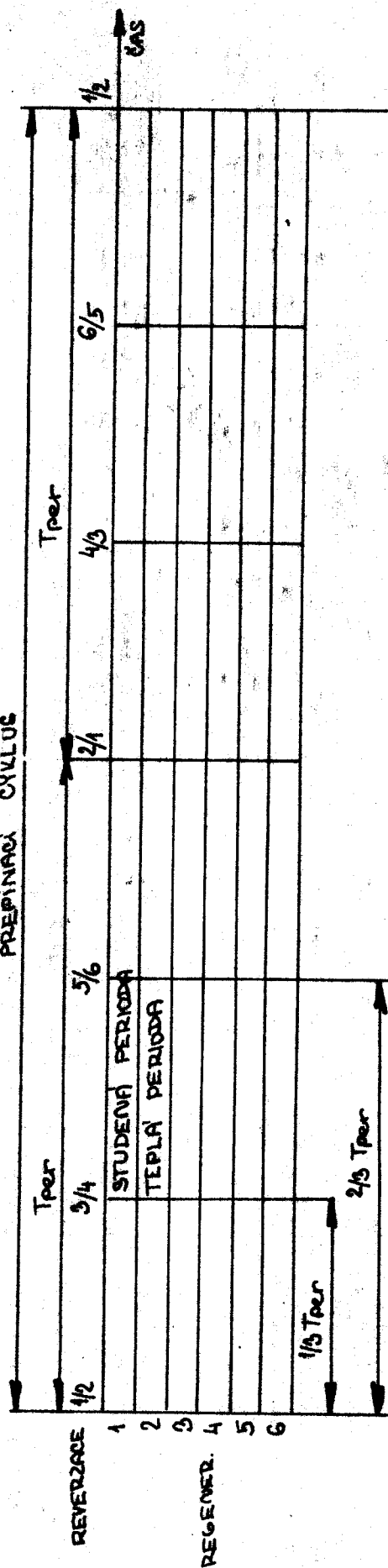
- a/ vyrovnání teplot regenerátorů v jednotlivých dvojicích korekci dob period příslušné dvojice - regulace ve dvojicích
- b/ vyrovnání teplot regenerátorů mezi dvojicemi rozdělením vstupního vzduchu na jednotlivé dvojice regulačními klapkami U21, U22 - regulace mezi dvojicemi.

4.2.3 Teplotové průběhy v regenerátorech

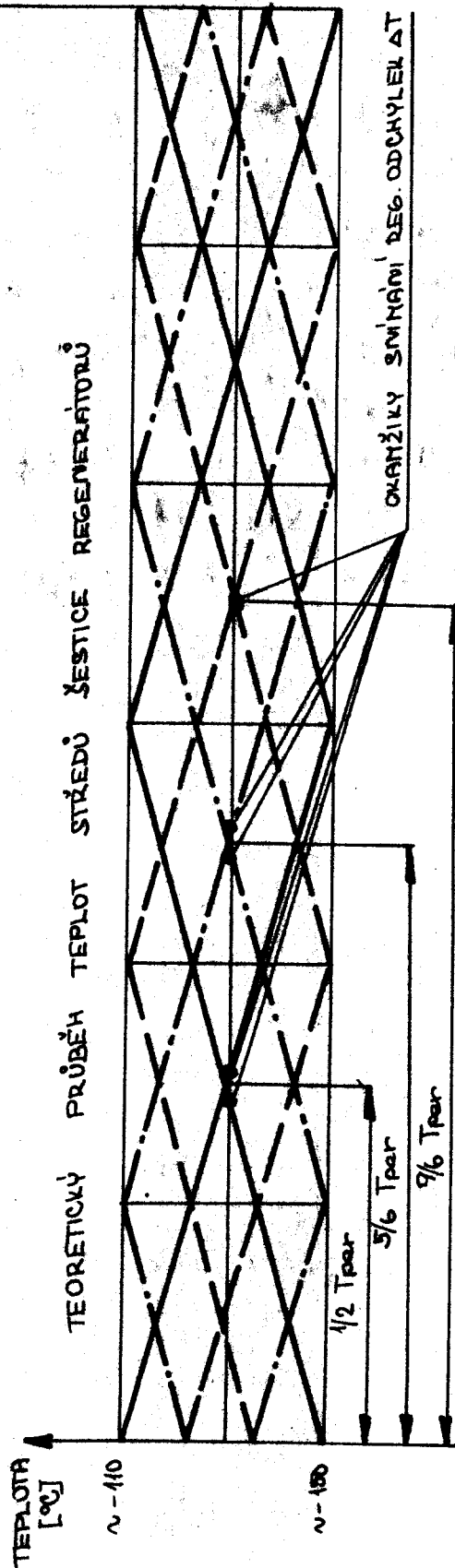
Průběhy teplot v regenerátorech jsou obecně složité funkcí prostoru a času. Výklad regulace je založen na představě ideálních průběhů teplot středu regenerátorů, které jsou pro šest regenerátorů uvedeny na obrázku č. 2, včetně nasazení algoritmů realizovatelných ŘP, pro výpočet korekčního času regulace teplot ve dvojicích a pro výpočet natožení klapky regulace teplot mezi dvojicemi. Praktický příklad možného průběhu teploty středu regenerátoru je uveden na obrázku č. 3 a na obr. č. 4, kde je však zakreslen i krajně deformovaný průběh v důsledku špatné funkce regenerátoru a teploměru. Vývoj možné regulace teplot středu páru regenerátorů je informativně uveden na obr. č. 5. Na obr. 5 a/ je idealizovaný průběh bez

nedorekuperací obvykle užívaný k vyvážení základní problematiky regulace regenerátorů. Na obr. 5 b/ je ideální lineární průběh teplot s nedorekuperací. Na obr. 5 c/ je běžný provozní průběh teplot. Na obr. 5 d/ až 5 f/ je znázorněn postupný průběh deformace průběhu teplot způsobený zanášením a regenerací teplotního čidla. Je zřejmé, že dochází k amplitudovým i fázovým posunům průběhu teploty - příznaku špatné funkce resp. stavu regenerátorů. Regulace regenerátorů má zajistit optimální režim regenerátorů s výsledkem žádaného průběhu teplot na studených koncích regenerátorů a prodloužit co nejdéle provozní kampaň regenerátorů.

TEORETICKÉ PRŮBĚHY TEPLOT STŘEDŮ ŠESTICE REGENERÁTORŮ, SMÍVÁNÍ REGULÁČNÍCH ODCHYLEK PŘEPÍNAČÍ CYKLUS

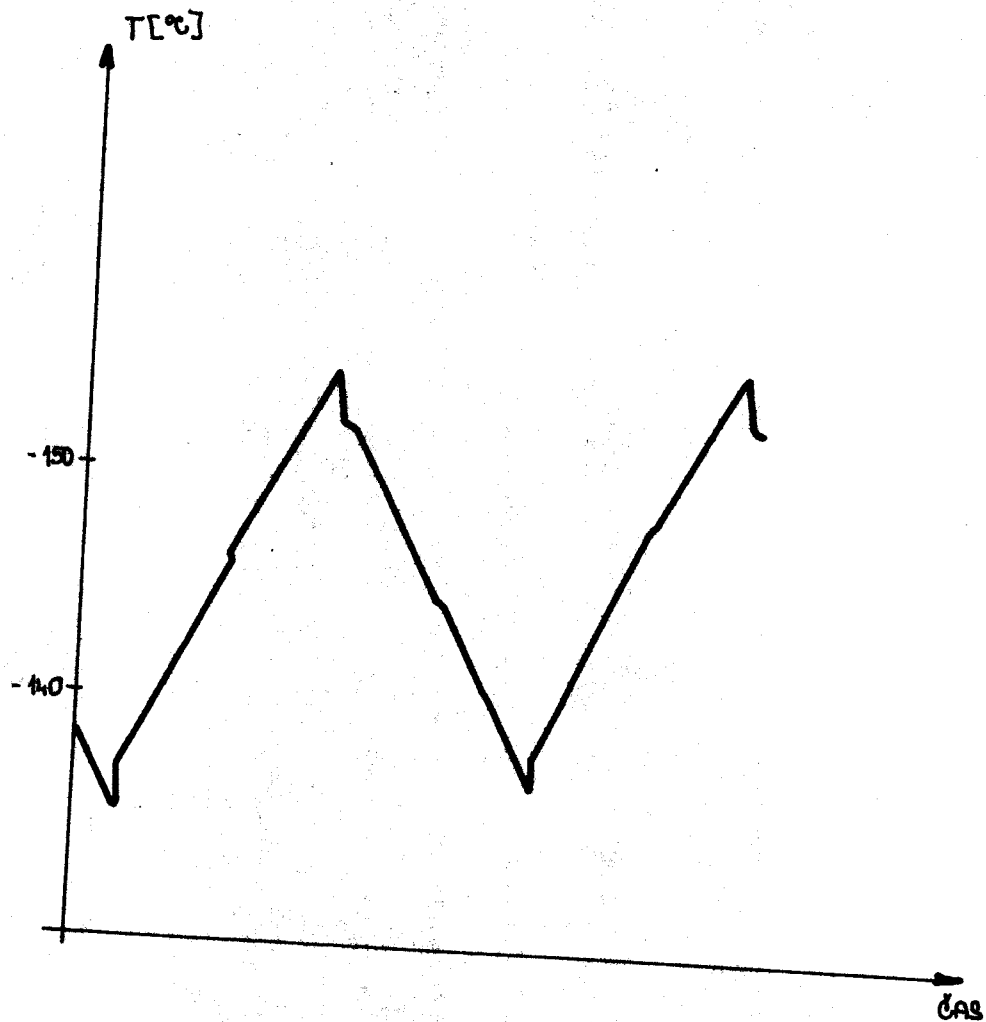


OBR. 2

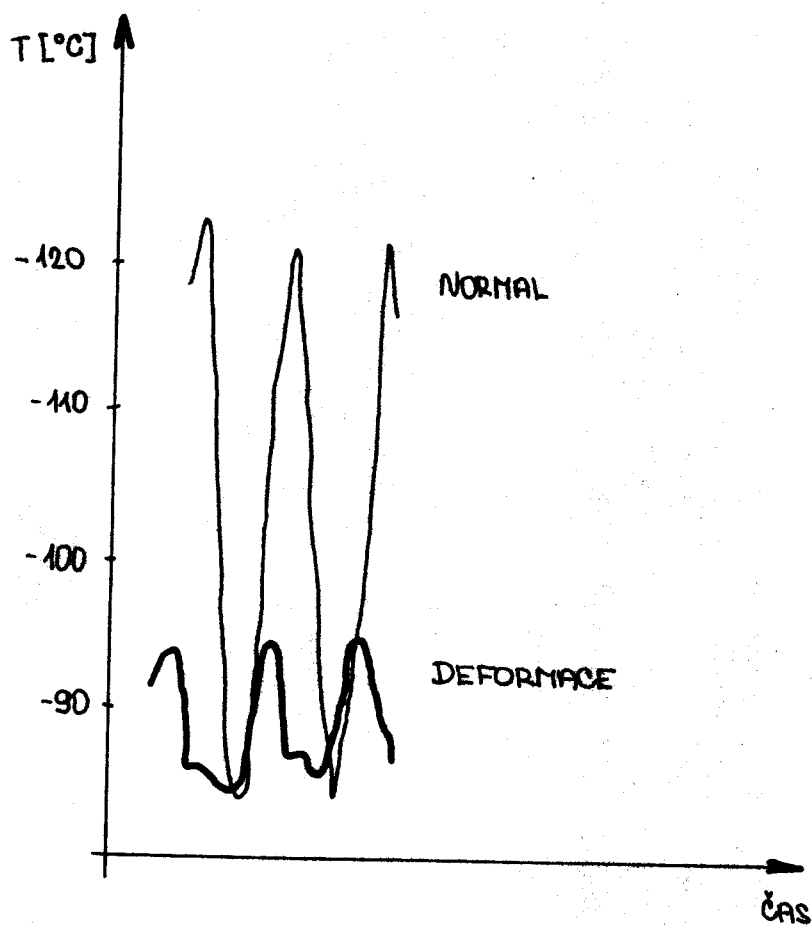


REGULACE VE DVOJICÍCH	REGULACE SE	SEČMUTÍ ΔT V ČASE	ALGORITHMUS VÝPOČTU AKČNÍHO ZÁSAHU	CHARAKTER AKČNÍHO ZÁSAHU	OKAMŽIK AKČNÍHO ZÁSAHU
1:2		$\frac{1}{2} T_{per}$	$y_1 = f(T_1, T_2, \Delta T_{1,2}, w_1, T_{per})$	KOREKCE ČASU DEV. REG. 1,2	PŘÍ REVERZACE 2/1
3:4		$\frac{5}{6} T_{per}$	$y_3 = f(T_3, T_4, \Delta T_{3,4}, w_2, T_{per})$	KOREKCE ČASU DEV. REG. 3,4	PŘÍ REVERZACE 4/3
5:6		$\frac{9}{6} T_{per}$	$y_5 = f(T_5, T_6, \Delta T_{5,6}, w_3, T_{per})$	KOREKCE ČASU DEV. REG. 5,6	PŘÍ REVERZACE 6/5

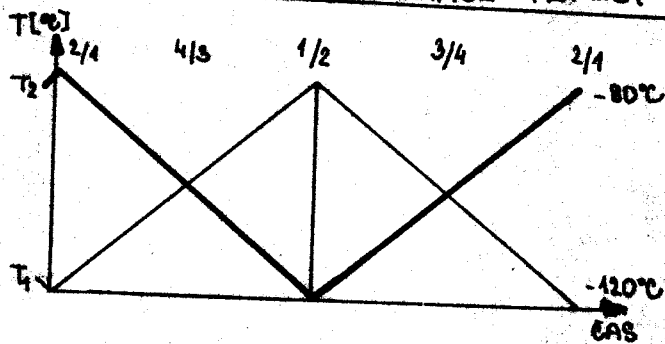
PŘÍKLAD SKUTEČNÉHO PRŮBĚHU TEPLoty
STŘEDU REGENERATORŮ
(RÝCHLÝ TEPLOMĚR)



PŘÍKLAD SKUTEČNÉHO NORMÁLNÍHO
A DEFORMOVANÉHO PRŮBĚHU TEPLoty
STŘEDU REGENERÁTORU
(RÝCHLÝ TEPLOMĚŘ)

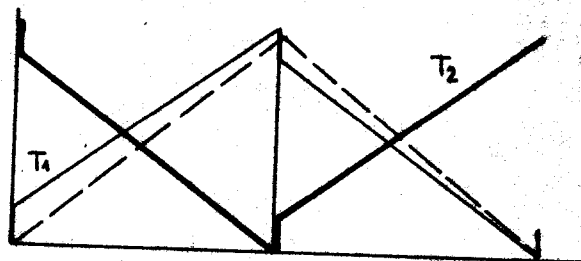


VÝVOJ MOŽNÉ DEFORMACE TEPLOT STŘEDŮ REGENERÁTORU



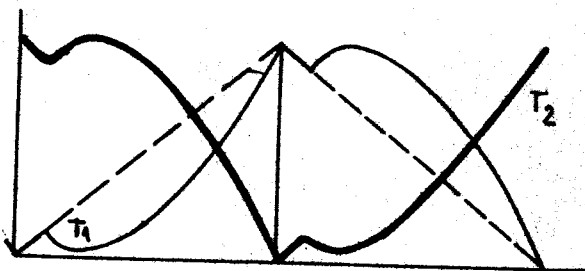
(a)

IDEALIZOVANÝ PRŮBĚH
BEZ NEDOREKUPERACÍ



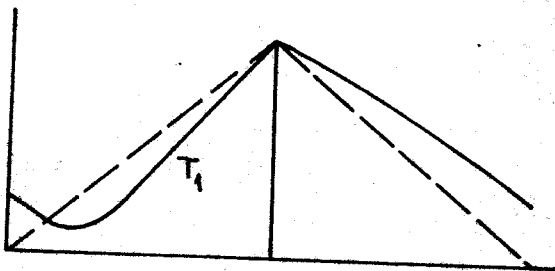
(b)

IDEÁLNÍ LINEÁRNÍ
PRŮBĚH S NEDOREKU-
PERACEMI



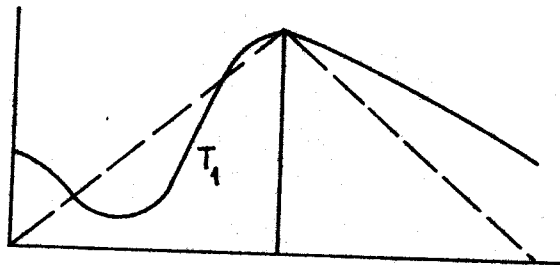
(c)

BĚŽNÝ PROVOZVNÍ
PRŮBĚH

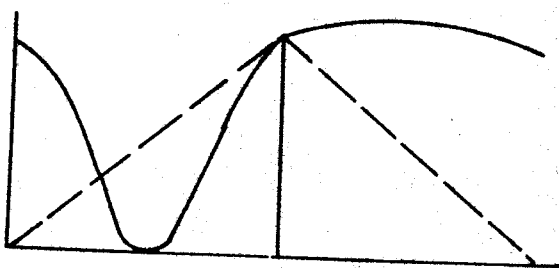


(d)

$d \neq f$
POSTUPNÝ PRŮBĚH
DEFORMACE



(e)



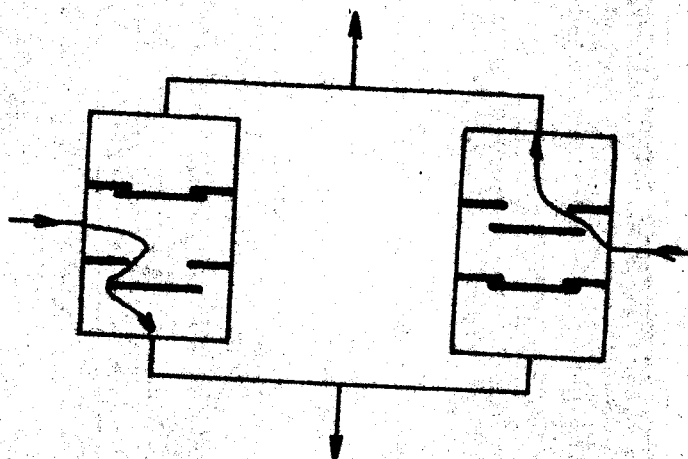
(f)

— T_1 def.
--- T_1 id.

4.3 Princip činnosti

Zařízení se skládá ze šesti dělicích bloků, které jsou uspořádány do tří dvojic. První a druhý výměník se nazývají kyslíkové, zbývající jsou dusíkové. Ve dvojici vždy střídavě proudí jedním výměníkem vstupní vzduch, který se stykem s náplní ochlazuje, a druhým výměníkem vystupující produkt dělení /kyslík nebo dusík/, který se stykem s náplní ohřívá, a podle toho má výměník teplou nebo studenou periodu. Tyto periody tvoří přepínací cykly dvojice regenerátorů.

Vzduch vstupuje potrubím A_2 např. do výměníku ③ přes regulovatelnou klapku U_{21} tak, že ventily RV 8, RV 11, RV 12, RV 32 a klapka RV 9 jsou zavřeny a otevřen je pouze ventil RV 7. Ve výměníku vzduch odavzdává teplo náplni a sám se ochlazuje, tzn. výměník ③ má v této době teplou periodu. Z výměníku vzduch proudí do ventilevých komer,



OBR. 6

kteře pracují na základě rozdílu tlaků. To způsobí uzavření některých záklopek ve ventilové komoře a vzduch proudí dále výstupním potrubím do dělicí části.

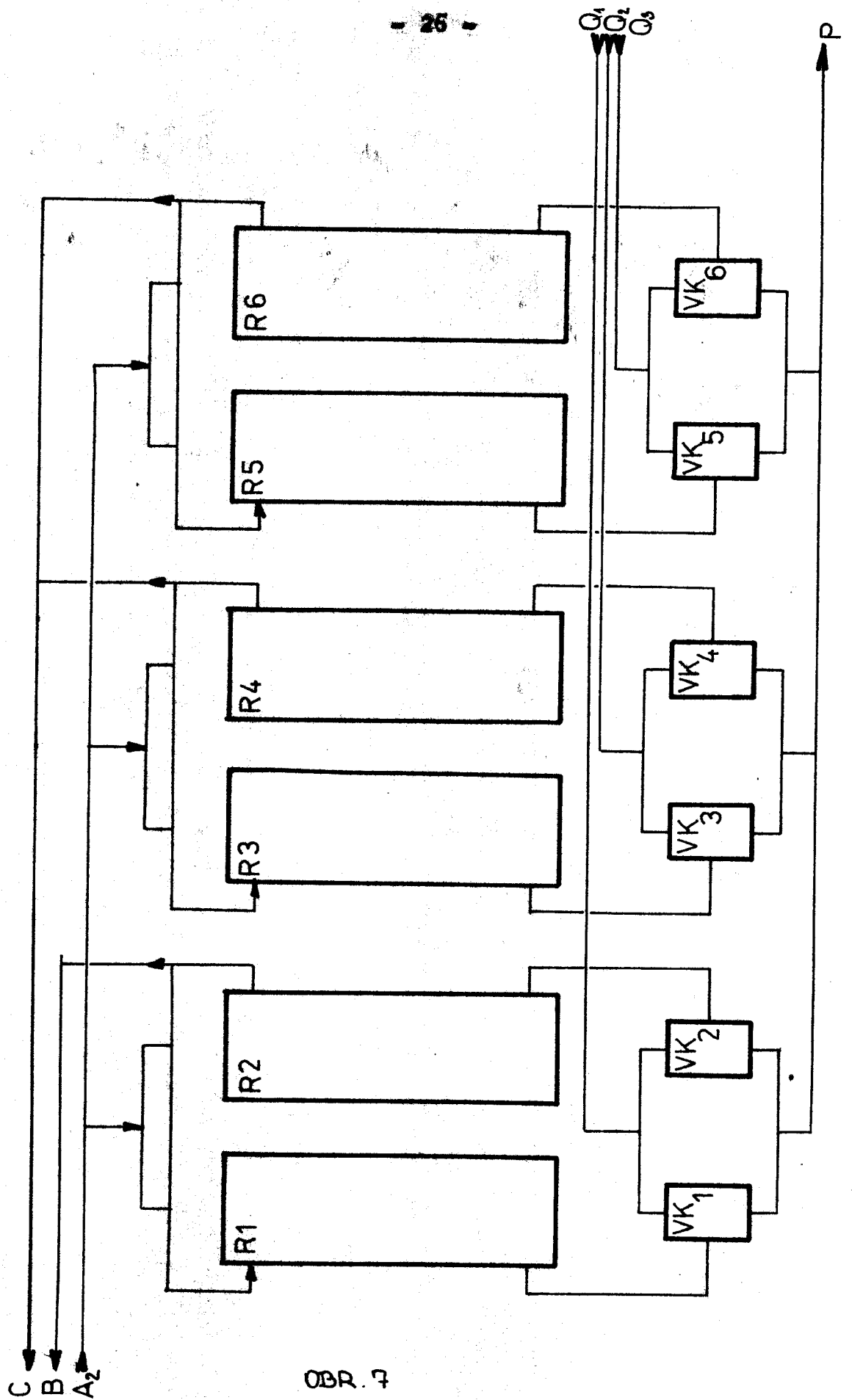
Z dělicí části vychází produkt dělení, v tomto případě N_2 , a vstupuje do druhé ventilové komory a odtud do výměníku tepla ④. Zde produkt dělení odebírá teplo náplně a otepluje se, tzn. výměník tepla ④ je ve studené periodě. Je otevřena klapka RV 10 a produkt dělení odchází výstupním potrubím surového dusíku.

Délka periody je asi 12 - 15 minut a po této době dojde k přepnutí dvojice regenerátorů. Toto přepnutí trvá 10 - 15 sekund a probíhá tak, že nejprve se uzavřou všechny ventily a klapky. Nyní je tlak ve výměníku ③ asi 0,6 MPa a ve výměníku ④ 0,12 MPa. To je příliš velký rozdíl, který by způsoboval nadkritickou rychlost, a proto musí nejprve dojít k vyrovnání tlaků. Na dobu 2 - 3 sekund se otevře přepouštěcí ventil RV 11 a tím se tlaky vyrovnají na 0,35 MPa. Tím se ale smíchá produkt dělení se vzduchem a znečistí se tím. Po dobu 30 sekund odchází znečištěný produkt dělení potrubím E_1 , které slouží pro odfuk do atmosféry.

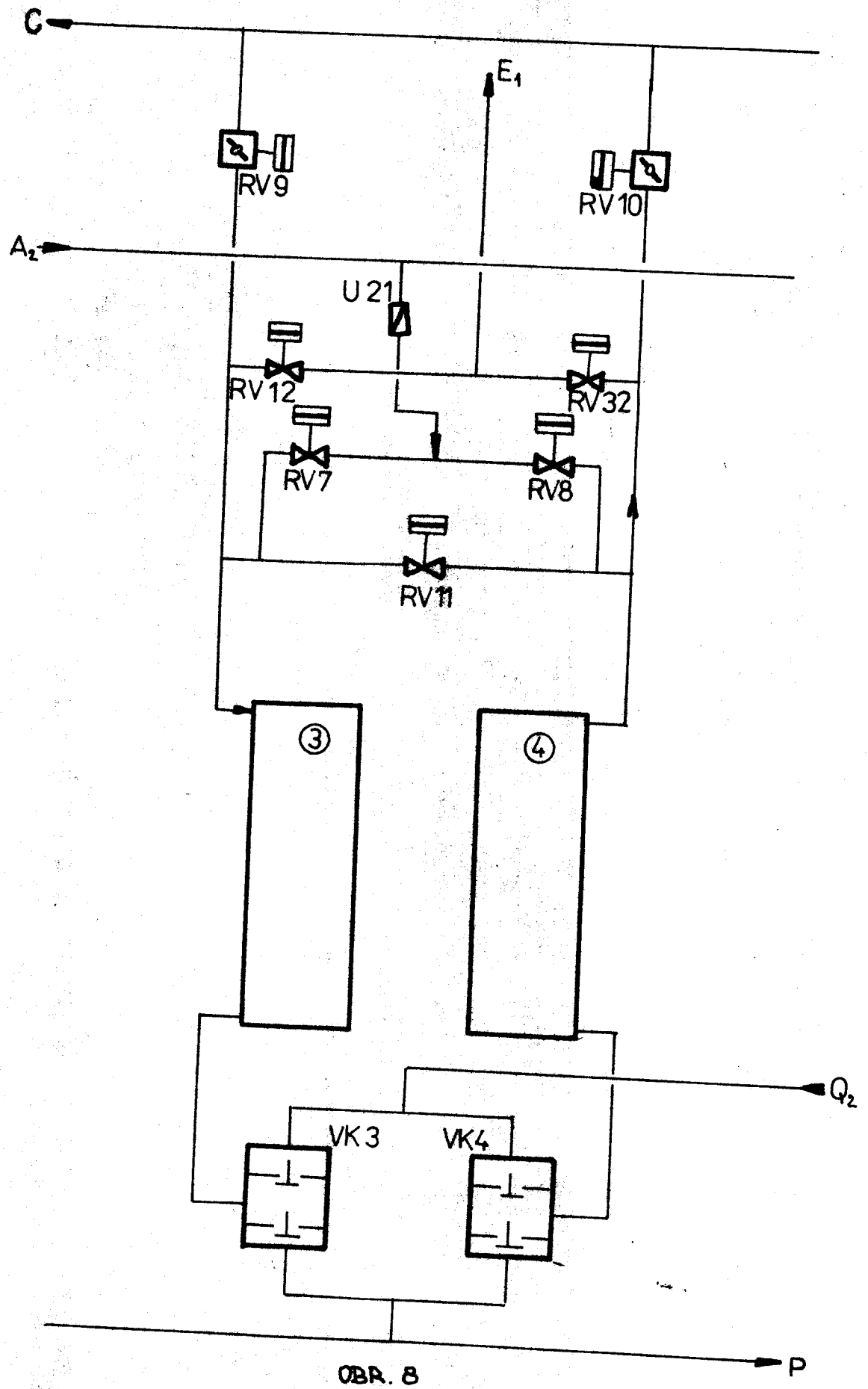
Po ukončení přepínání proudí v další periodě do výměníku ④ vzduch a výměník ④ má teplou periodu, výměník ③ je naopak ve studené periodě.

Princip činnosti regenerátorů je zřejmý z obrázků č. 7 a 8, kde je použito toto označení:
R 1 až R 6 regenerativní výměníky tepla

VK 1 až VK 6 ventilové komory
A₂ vstup vzduchu
B výstup technologického kyslíku
C výstup surového dusíku
P výstup vzduchu do dělicí části
Q₁ až Q₃ vstup produktu dělení z dělicí části



ОБР. 7



4.4 Řídicí algoritmus

Regulace regenerátorů ve dvojicích se provádí na základě porovnání rozdílů teplot ve středech příslušné dvojice regenerátorů s žádanou hodnotou. Na základě porovnání vzniklá regulační odchylka se použije pro výpočet korekčního času. O tento čas se ve smyslu regulační odchylky prodlouží nebo zkrátí korigovaná doba periody příslušné dvojice regenerátorů. Akční veličinou je čas, o který se posune každá druhá reverzace příslušné dvojice regenerátorů / 2/1, 4/3, 6/5 /.

Na základě konverzace se subsystémem SS2 nemusí být žádaná hodnota rozdílu zadávána, ale je určována subsystémem SS2 tak, aby maximální teplotní difference na studených koncích regenerátorů ve dvojicích byly stejné.

Změření, převedení na fyzikální jednotky, kontrola a měření teplot středů regenerátorů a porovnání rozdílů teplot se provádí v přesně časově určených okamžicích. Průběžná měření pro výpočet integrálu regulační odchylky se provádí od předešlého výpočtu korekce času v stejných intervalech vzorkování, které je možno měnit konverzačním systémem. Základní vzorkovací interval musí být takový, aby počet vzorků v cyklu byl dělitelný šestí, tzn., že začátek i konec vzorkování pro daný cyklus musí být shodný s okamžikem výpočtu akčního zásahu.

Vlastní výpočet akčního zásahu se provádí podle rov-

nice (4) a to pro jednotlivé dvojice regenerátorů takto:

- 1/ Pro dvojici regenerátorů 1 - 2 v čase $\frac{T_{per}}{2}$ / T_{per} je doba periody v sec/ po počátku reversace 1/2
- 2/ Pro dvojici regenerátorů 3 - 4 v čase $\frac{5 T_{per}}{6}$ po počátku reversace 1/2
- 3/ Pro dvojici regenerátorů 5 - 6 v čase $\frac{7 T_{per}}{6}$ po počátku reversace 1/2

V případě, že je regulace příslušné dvojice vypnuta nebo je jedna z teplot středu regenerátorů či teplotní difference na studeném konci příslušné dvojice mimo meze je korekční čas nulový.

Bení-li regulace příslušné dvojice vypnuta a teploty jsou v pořádku, provede se výpočet korekčního času podle rovnice:

$$\gamma_i = T_{per} \left\{ r_{oi} \cdot \left[T_i(\tau_c) - T_{i+1}(\tau_c) - w_i \right] + r_{-1i} \int_0^{\tau_c} \left[T_i(\tau) - T_{i+1}(\tau) - w_i \right] \cdot d\tau \right\} \quad (1)$$

$i = 1, 3, 5$ pro výpočet akčního zásahu - korekce reversace
 $(i + 1)/i$ příslušné regenerátorové dvojice
 Další jednotlivé veličiny značí:

γ_i [sec] akční veličina - korekční čas regenerátorové dvojice $i, (i + 1)$

kladná hodnoty γ_i prodlužuje čas příslušné korigované reversace

T_{per} [sec] doba periody

- $r_{0i} [(\text{°C})^{-1}]$ proporcionalní zesílení pro $i, (i+1)$
..... dvojici regenerátorů
- $r_{1i} [(\text{°C})^{-1}]$ zesílení integrační části pro $i, (i+1)$
..... dvojici regenerátorů
- $w_i [^\circ\text{C}]$ žádaná hodnota rozdílu teplot pro $i, (i+1)$ dvojici regenerátorů
kladná hodnota značí, že regenerátor i se žádá teplejší než $(i+1)$ regenerátor
- $\tau [\text{sec}]$ průběžný čas měřený od předchozího výpočtu akčního zásahu
- $\tau_c [\text{sec}]$ čas výpočtu akčního zásahu měřený od předchozího výpočtu, mělo by platit $\tau_c = T_{\text{per}}$
- $T_i(\tau) [^\circ\text{C}]$ teplota středu i -tého regenerátoru v čase τ
- $T_{i+1}(\tau) [^\circ\text{C}]$ teplota středu $(i+1)$ -tého regenerátoru v čase τ

Na základě konverzace se subsystémem SB2 je možné nezávisle žádané hodnoty w_i a pak jsou tyto systémem měřeny pro každý výpočet y_i z hodnot posledních čtyř maximálních teplotních diferencí na studených koncích regenerátorové dvojice, tak aby tyto maximální teplotní difference byly stejné /např. pro regenerátorovou dvojici $(1+2)$ jsou maximální teplotní difference při reverzacích $1/2$ a $2/1$ /.

Z výše uvedeného plyne:

$$\omega_i = r\omega c_i \cdot (\Delta T_{i+1} - \Delta T_i) + r\omega c_{pi} \cdot (\Delta T_{pi+1} - \Delta T_{pi}) \quad (2)$$

pro $i = 1, 3, 5$, kde

$r\omega c_i$ [1] konstanta zesílení vazby mezi max. teplotními differencemi a žádanou hodnotou ω_i pro poslední reverzace

$r\omega c_{pi}$ [1] konstanta zesílení vazby mezi max. teplotními differencemi a žádanou hodnotou ω_i pro předposlední reverzace

ΔT_{i+1} [°C] maximální teplotní difference na studeném konci regenerátorové dvojice i , $(i+1)$ při poslední reverzaci $(i+1)/i$

ΔT_i [°C] max. teplotní difference na studeném konci regenerátorové dvojice i , $(i+1)$ při poslední reverzaci $i/(i+1)$

ΔT_{pi+1} [°C] max. teplotní difference na studeném konci regenerátorové dvojice i , $(i+1)$ při předposlední reverzaci $(i+1)/i$

ΔT_{pi} [°C] max. teplotní difference na studeném konci regenerátorové dvojice i , $(i+1)$ při předposlední reverzaci $i/(i+1)$

Pro počáteční nastavení systému QXY 2 jsou počáteční hodnoty určeny takto:

$$T_{per} = 720 \text{ [K]}$$

$$r_{oi} = 0,025 \text{ [(°C)}^{-1}\text{]}$$

$$r_{-1i} = 0,02 [(^{\circ}\text{C})^{-1}]$$

$$\omega_i = 0 [(^{\circ}\text{C})]$$

$$rWC_i = 0,5 [1]$$

$$rWCp_i = 0,5 [1] \quad \text{pro } i = 1, 2, 3$$

Po výpočtu korekce času korigované periody se kontroluje tato mez, která je $\pm \frac{1}{8} T_{\text{per}}$. V případě korekce v absolutní hodnotě větší než je dovolená mez dosazuje se tato mez s příslušným znaménkem.

Pro běžné užití jsou doporučeny následující rozsahy volitelných hodnot a tyto jsou programově hlídány:

$$T_{\text{per}} \in \langle 360 ; 1000 \rangle$$

$$r_{0i} \in \langle 0,006 ; 0,5 \rangle$$

$$r_{-1i} \in \langle 0,006 ; 1 \rangle$$

$$\omega_i \in \langle 20 ; 20 \rangle$$

$$rWC_i \in \langle 0,01 ; 10 \rangle$$

$$rWCp_i \in \langle 0,01 ; 10 \rangle$$

V případě, že parametr rWC_i je zadán v TODZ záporný, je pro příslušnou dvojici operátorsky přerušena vazba na studené konce regenerátorů.

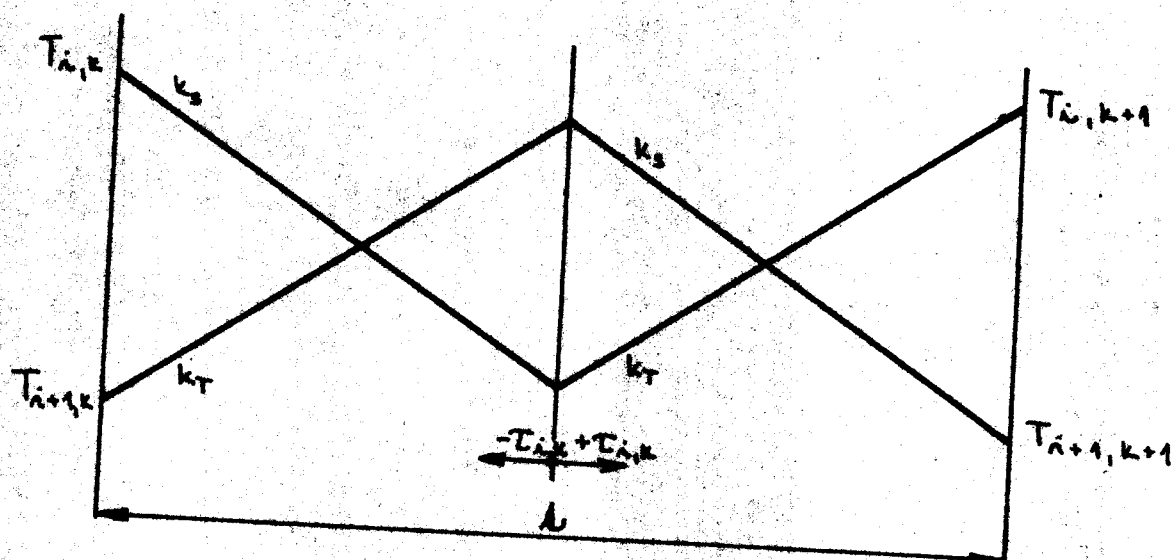
Na základě vyhlášení přes konverzní režim subsystému SS2 je možné provádět tisk parametrů regulace dané dvojice regenerátorů v pořadí: název regulované dvojice, žádaná hodnota, proporcionální zesílení, zesílení integrační části, teploty středů regenerátorů příslušné dvojice v čase T_c , hodnota integrálu rovnice (1), korekční čas v sec, poslední dvě teplotní difference na studených kon-

oček regenerátorové dvojice, konstanty zesílení vazby na
žádanou hodnotu, interval vzorkování v sec, přepínací pe-
rioda v sec.

5. Vytvoření matematického modelu

5.1 Matematický model bez dopravního zpoždění a bez nedo- rekuperace

Pokud provedeme zjednodušení takové, že délku regenerátoru považujeme za nekonečně dlouhou a u náplně předpokládáme, že je v ní minimální vedení tepla po délce, je matematický model následující:



OBR. 10

$\tilde{n} = 1, 3, 5$

- k_s - směrnice pro studenou periodu
 - k_r - směrnice pro teplou periodu
 - L - délka cyklu
 - $T_{n,k}$ - posuv přepínání /kladný ve smyslu prodloužení první části cyklu/
 - $T_{n,k}$ - teplota tekutiny
- Index $\tilde{n}$ označuje číslo regenerátoru a index k označuje

okamžik nekorigovaného přepnutí.

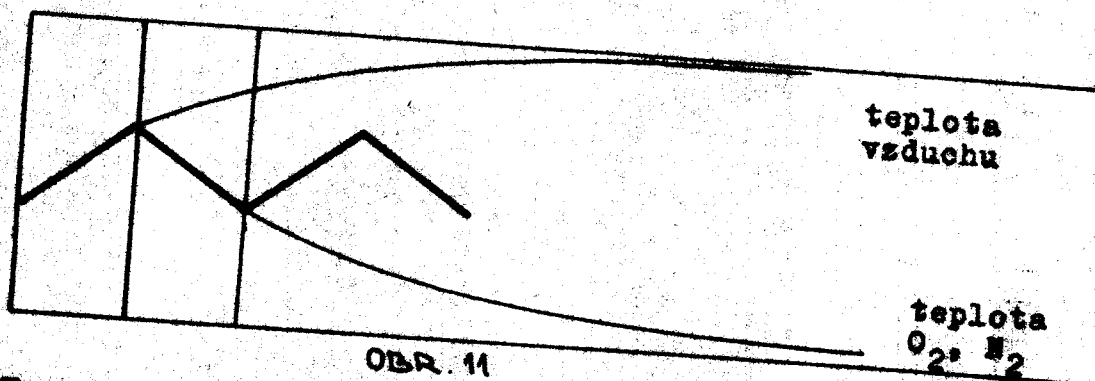
Pracujeme se soustavou s rozloženými parametry, kterou si nahraďujeme soustavou se soustředěnými parametry s náhradním bodem v místě odběru.

Pokud předpokládáme ideální stav, tzn. že výměník tepla je dokonalý a má nekonečně dlouhou dobu přepnutí, pak je nedorekuperace nulová, a proto ji v prvním matematickém modelu neuvažujeme.

Směrnice k_3, k_4 jsou určeny:

1. rozdílem teplot
2. časovou konstantou zařízení

Odeanění přechodového procesu nebereme v úvahu, neboť doba cyklu je relativně malá a bereme jen lineární část přechodové charakteristiky, tzn. provádíme aproximaci lineární funkcí.



Vycházíme z toho, že jak fyzikální parametry náplně všech regenerátorů, tak doba cyklu je stejná. Protože teploty produktů v obou periodách jsou přibližně stejné /liší se jen o 1 - 2°C/, saváme předpoklad, že časová konstanta výměníku je stejná v obou částech cyklu.

Dalším předpokladem je, že směrnice k_s v sobě zahrnuje záporné znaménko, směrnice k_T kladné znaménko.

Jsou dány známé hodnoty teplot plynu $T_{i,k}$, $T_{i+1,k}$ a určujeme teploty plynu $T_{i,k+1}$, $T_{i+1,k+1}$ po uplynutí jedné doby cyklu t .

$$T_{i,k+1} = T_{i,k} + \left(\frac{A}{2} + \tau_{ik}\right) k_s + \left(\frac{A}{2} - \tau_{ik}\right) k_T$$

$$T_{i+1,k+1} = T_{i+1,k} + \left(\frac{A}{2} + \tau_{i+1,k}\right) k_T + \left(\frac{A}{2} - \tau_{i+1,k}\right) k_s$$

$$i = 1, 3, 5$$

Akční veličinou je odchylka T_{ik} od střední polohy cyklu, kdy obě periody jsou shodné.

$$E_{i,k} = T_{i,k} - T_{i+1,k}$$

$$E_{i,k+1} = T_{i,k+1} - T_{i+1,k+1}$$

$$E_{i,k+1} = \underbrace{T_{i,k} - T_{i+1,k}}_{E_{i,k}} + \left(\frac{A}{2} + \tau_{ik}\right) (k_s - k_T) + \left(\frac{A}{2} - \tau_{ik}\right) (k_T - k_s)$$

$$E_{i,k+1} = E_{i,k} + \frac{A}{2} k_s + \tau_{ik} k_s - \frac{A}{2} k_T - \tau_{ik} k_T + \frac{A}{2} k_T - \tau_{ik} k_T - \frac{A}{2} k_s + \tau_{ik} k_s$$

$$E_{i,k+1} = E_{i,k} + 2\tau_{ik} k_s - 2\tau_{ik} k_T$$

$$E_{i,k+1} = E_{i,k} + 2\tau_{ik} (k_s - k_T)$$

První odhad matematického modelu je tedy následující:

$$E_{i,k+1} = E_{i,k} + 2\tau_{ik} (k_s - k_T)$$

5.1.1 Výpočet k_g , k_T

Hodnoty k_g , k_T je možné určovat buď průběžnou identifikací nebo určovat z grafu, který byl sestaven na základě naměřených hodnot. Můžeme předpokládat, že směrnice k_g , k_T se v průběhu nemění. To je stejné a následujících tabulek.

U směrnice k_g bychom měli uvažovat záporné znaménko, neboť přímka je klesající. Při vytvoření matematického modelu, ale na to byl brán ohled úpravou, proto ji můžeme považovat za kladnou.

Výpočet konstant k_g , k_T pro 1. dvojici regenerátorů:

ČAS PŘEPNUTÍ	k_g	k_T
8.42.32	0,4	0,424
8.59.32	0,4	0,42
9.16.10	0,412	0,436
9.32.40	0,42	0,4
9.49.10	0,387	0,42
10.05.40	0,412	0,389
10.22.10	0,36	0,412

TAB. 1

Průměrné hodnoty směrnice k v grafu jim odpovídající úhly stoupání /klesání/ jsou:

$$\bar{k}_g = 0,399985$$

$$\bar{k}_T = 0,414125$$

$$\alpha = 21^\circ 48'$$

$$\beta = 22^\circ 29'$$

Dvojice kyslíkových regenerátorů je rozměrově odlišná od dusíkových regenerátorů, proto hodnota směrnice k_g , k_T a úhel stoupání je u nich také odlišný.

Výpočet směrnice k_g , k_T pro 2. dvojici regenerátorů:

ČAS PŘEPNUTÍ	k_g	k_T
8.48.32	1,259	1,344
9.05.33	1,351	1,309
9.22.02	1,248	1,345
9.38.32	1,254	1,248
9.55.02	1,260	1,345
10.11.32	1,3	1,236
10.28.02	1,27	1,309

$$\bar{k}_g = 1,296963$$

$$\alpha = 52^\circ 22'$$

$$\bar{k}_T = 1,298986$$

$$\beta = 52^\circ 24'$$

TAB. 2

Výpočet směrnice k_g , k_T pro 3. dvojici regenerátorů:

ČAS PŘEPNUTÍ	k_g	k_T
8.53.32	1,259	1,247
9.10.33	1,27	1,359
9.29.02	1,236	1,248
9.43.32	1,236	1,27
10.00.02	1,2	1,27
10.16.32	1,236	1,189

$$\bar{k}_g = 1,23636$$

$$\alpha = 51^\circ 02'$$

$$\bar{k}_T = 1,2436$$

$$\beta = 51^\circ 12'$$

TAB. 3

$$T_{\dot{n}+1,k+1} = T_{\dot{n}+1,k} + \left(\frac{1}{2} - T_D + \tau_{\dot{n}k}\right)k_T + \left(\frac{1}{2} - T_D - \tau_{\dot{n}k}\right)k_S$$

$$\dot{n} = 1, 3, 5$$

$$E_{\dot{n},k} = T_{\dot{n},k} - T_{\dot{n}+1,k}$$

$$E_{\dot{n},k+1} = T_{\dot{n},k+1} - T_{\dot{n}+1,k+1}$$

$$T_{\dot{n},k+1} - T_{\dot{n}+1,k+1} = T_{\dot{n},k} - T_{\dot{n}+1,k} +$$

$$+ k_S \left(\frac{1}{2} - T_D + \tau_{\dot{n}k} - \frac{1}{2} + T_D + \tau_{\dot{n}k}\right) +$$

$$+ k_T \left(\frac{1}{2} - T_D - \tau_{\dot{n}k} - \frac{1}{2} + T_D - \tau_{\dot{n}k}\right)$$

$$E_{\dot{n},k+1} = E_{\dot{n},k} + 2\tau_{\dot{n}k}k_S - 2\tau_{\dot{n}k}k_T$$

$$E_{\dot{n},k+1} = E_{\dot{n},k} + 2\tau_{\dot{n}k}(k_S - k_T)$$

Nyní pracujeme s tímto matematickým modelem:

$$E_{\dot{n},k+1} = E_{\dot{n},k} + 2\tau_{\dot{n}k}(k_S - k_T)$$

Tento model je shodný s modelem odvozeným v části 5.1

a z toho tedy vyplývá, že dopravní spoždění T_D neovlivní hodnoty koncevých teplot.

5.2.1 Výpočet k_S , k_T s přihlédnutím k dopravnímu spoždění

Hodnoty k_S , k_T jsme určovali z grafu, ze kterého jsme nejprve odhadem získali hodnotu dopravního spoždění T_D / T_D je přibližně 60 sekund/. Směrnice k_S , k_T se tímto výpočtem změní, protože pro jejich výpočet se vychází z jiných hodnot.

Průměrné hodnoty směrnice a jim odpovídající úhly jsou:

1. dvojice

$$k_s = 0,4286$$
$$\alpha = 23^{\circ} 11'$$

$$k_T = 0,4429$$
$$\beta = 23^{\circ} 53'$$

2. dvojice

$$k_s = 1,3343$$
$$\alpha = 53^{\circ} 09'$$

$$k_T = 1,3714$$
$$\beta = 53^{\circ} 54'$$

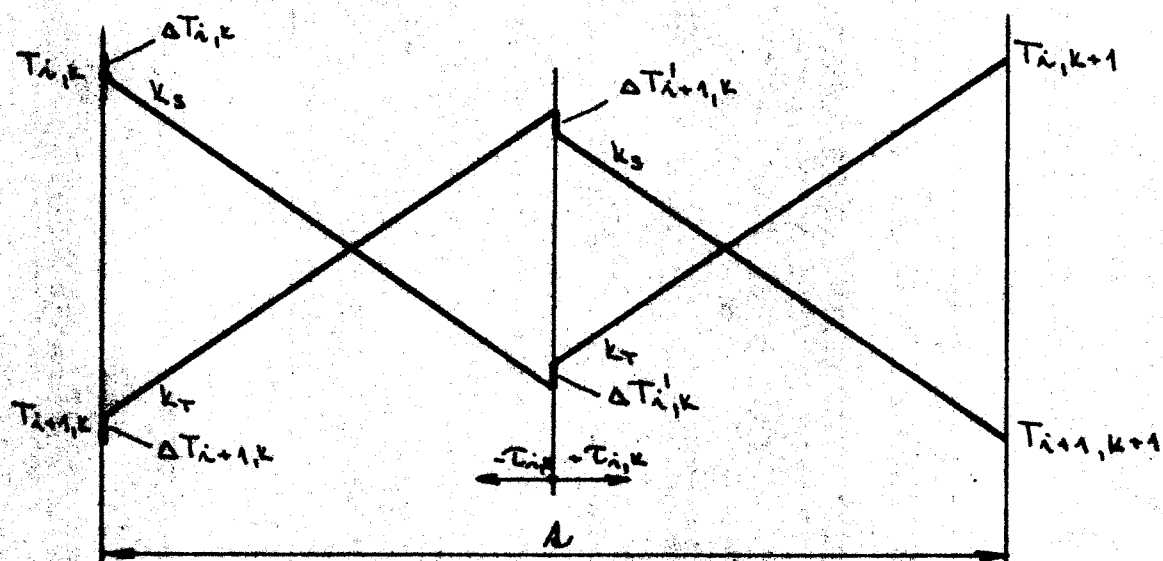
3. dvojice

$$k_s = 1,3$$
$$\alpha = 52^{\circ} 25'$$

$$k_T = 1,3143$$
$$\beta = 52^{\circ} 43'$$

5.3 Matematický model s nedorekuperací

Nedorekuperací se rozumí rozdíl teplot v daném místě regenerátoru mezi průměrnou teplotou s teplé periodě a průměrnou teplotou ve studené periodě. V bodech přepnutí studené a teplé periody se nedorekuperace projevuje tím, že tam není plynulý přechod, ale vždy je tam skok, který plyne z principu výměny tepla.



OBR. 13

Osnažení je analogické osnažení v části 5.1.

$\Delta T_{n,k}$ - rozdíl teploty způsobený nedorekuperací

$$T_{n,k+1} = T_{n,k} + \left(\frac{A}{2} + \tau_{in}\right) k_s + \left(\frac{A}{2} - \tau_{in}\right) k_T - \Delta T_{n,k} + \Delta T'_{n,k}$$

$$T_{n+1,k+1} = T_{n+1,k} + \left(\frac{A}{2} + \tau_{in}\right) k_T + \left(\frac{A}{2} - \tau_{in}\right) k_s + \Delta T_{n+1,k} - \Delta T'_{n+1,k}$$

$$\begin{aligned}
 E_{\dot{u},k} &= T_{\dot{u},k} - T_{\dot{u}+1,k} \\
 E_{\dot{u},k+1} &= T_{\dot{u},k+1} - T_{\dot{u}+1,k+1} \\
 E_{\dot{u},k+1} &= T_{\dot{u},k} - T_{\dot{u}+1,k} + \left(\frac{A}{2} + \tau_{\dot{u},k}\right)(k_s - k_r) + \\
 &+ \left(\frac{A}{2} - \tau_{\dot{u},k}\right)(k_r - k_s) - \Delta T_{\dot{u},k} + \Delta T'_{\dot{u},k} - \Delta T_{\dot{u}+1,k} + \Delta T'_{\dot{u}+1,k} \\
 E_{\dot{u},k+1} &= E_{\dot{u},k} + \frac{A}{2} k_s + \tau_{\dot{u},k} k_s - \frac{A}{2} k_r - \tau_{\dot{u},k} k_r + \\
 &+ \frac{A}{2} k_r - \tau_{\dot{u},k} k_r - \frac{A}{2} k_s + \tau_{\dot{u},k} k_s - \Delta T_{\dot{u},k} + \Delta T'_{\dot{u},k} - \\
 &- \Delta T_{\dot{u}+1,k} + \Delta T'_{\dot{u}+1,k} \\
 E_{\dot{u},k+1} &= E_{\dot{u},k} + 2\tau_{\dot{u},k}(k_s - k_r) - \Delta T_{\dot{u},k} + \Delta T'_{\dot{u},k} - \\
 &- \Delta T_{\dot{u}+1,k} + \Delta T'_{\dot{u}+1,k}
 \end{aligned}$$

Nyní svedeme zjednodušující předpoklad, že $\Delta T_{\dot{u},k}$ a $\Delta T'_{\dot{u}+1,k}$ jsou stejné, jako jsou stejné i $\Delta T_{\dot{u}+1,k}$ a $\Delta T'_{\dot{u},k}$. Potom se hodnoty skoků vyruší a získáme matematický model jako v 5.1. Stejně dojde k vyrušení, když budou shodné hodnoty $\Delta T_{\dot{u},k}$ a $\Delta T'_{\dot{u},k}$ a $\Delta T_{\dot{u}+1,k}$ a $\Delta T'_{\dot{u}+1,k}$.

Pokud uvažujeme, že $\Delta T_{\dot{u},k}$ a $\Delta T_{\dot{u}+1,k}$ a zároveň $\Delta T'_{\dot{u},k}$ a $\Delta T'_{\dot{u}+1,k}$ jsou stejné, můžeme nahradit výraz $-\Delta T_{\dot{u},k} + \Delta T'_{\dot{u},k} - \Delta T_{\dot{u}+1,k} + \Delta T'_{\dot{u}+1,k}$ výrazem $\Delta \dot{u},k = 2(\Delta T_{\text{spodní}} - \Delta T_{\text{horní}})$. Matematický model potom je:

$$E_{\dot{u},k+1} = E_{\dot{u},k} + 2\tau_{\dot{u},k}(k_s - k_r) + \Delta \dot{u},k$$

6. Návrh číslicového regulátoru pro řízení regenerátorů met- odou minimalizace kvadratického kritéria

6.1 Obecná část

Matematický model soustavy, odvozený v předchozí části, je $E_{\dot{u},k+1} = E_{\dot{u},k} + 2\tau_{\dot{u},k}(k_s - k_T)$. Z tohoto matematického modelu se vychází při návrhu číslicového regulátoru. Regulovaná soustava se reguluje tak, aby rozdíl teplot středů dvojice regenerátorů byl na žádané hodnotě, tzn. $E_{\dot{u},k} = T_{\dot{u},k} - T_{\dot{u}+1,k} = w_{\dot{u},k}$.

Diferenční rovnice našeho matematického modelu je

$$E_{\dot{u},k+1} = E_{\dot{u},k} + 2\tau_{\dot{u},k}(k_s - k_T)$$

Vycházíme z metody zpracované Ing. Svobodou ve zprávě "Číslicové řízení spojitých technologických procesů".

Vycházíme z obecné diferenční rovnice popisující proces

$$y(k) = \sum_{i=0}^m A_i y(k-i) + \sum_{j=0}^m B_j u(k-j)$$

Okolom syntézy je nalézt stabilní strategii řízení

$$u(k) = Lx(k)$$

kde $x(k)$ stav řízeného systému

L vektor konstant

$u(k)$ strategie řízení

kteřá minimalizuje kritérium

$$J_N = \sum_{k=1}^N [y^T(k) Q_y y(k) + u^T(k) Q_u u(k)]$$

Jako stabilizační člen použijeme $x^T(N+1)Qx(N+1)$
 Při minimalizaci kritéria J_N získáme J_N^*

$$J_N^* = \min_{u(1) \dots u(N)} J_N$$

a optimální řízení počítáme rekursivně z obecného tvaru
 Belmanovy rovnice

$$J_N^* = \min_{u(k)} [y^T(k)Q_y y(k) + u^T(k)Q_u u(k) + \\ + x^T(k+1)P(k+1)x(k+1)]$$

$P(k)$ se vypočítá z Riccatiho rovnice

$$P(k) = Q_y - A^T P(k+1)B[B^T P(k+1)B + Q_u]^{-1} \cdot \\ \cdot B^T P(k+1)A + A^T P(k+1)A$$

Pomocí této rovnice najdeme hodnotu P , kterou dosadíme do
 výrazu pro hodnotu L a tím je regulátor určen.

$$L = [B^T P B + Q_u]^{-1} B^T P A$$

V našem případě vycházíme tedy z matematického modelu
 $E_{i,k+1} = E_{i,k} + 2\tau_{i,k}(k_s - k_r)$,
 který porovnáváme s obecnou diferenční rovnicí a tím získá-
 me konstanty

$$E_{k+1} = a_0 E_k + b_0 u_k$$

$$a_0 = 1$$

$$b_0 = 2(k_s - k_r)$$

$$u_k = \tau_{i,k}$$

Pravujeme se soustavou 1. řádu, které náleží jeden stav,
 a proto výstup $E(k)$ můžeme volit jako stavovou veličinu.
 Pak rovnicí $u(k) = Lx(k)$

kde $x(k)$ je stavová veličina, přepíšeme na tvar

$$\tau_{\hat{n},k} = L E(k)$$

Dále tedy hledáme stabilní strategii řízení

$$\tau_{\hat{n},k} = L E(k)$$

kde L je hledaný vektor konstant.

Nyní budeme minimalizovat kritérium

$$\begin{aligned} J_N &= \sum_{k=1}^N [\gamma^T(k) Q_\gamma \gamma(k) + u^T(k) Q_u u(k)] = \\ &= \sum_{k=1}^N q_E E_k^2 + q_u u_k^2 \end{aligned}$$

Minimalizujeme-li kritérium J_N dostáváme

$$J_N^* = \min_{u(1) \dots u(N)} J_N = \min_{u_k} (q_E E_k^2 + q_u \tau_{\hat{n},k}^2 + J_{N+1}^*),$$

kde q_u je penalizační člen, jehož vhodnou volbou se při regulačním pochodu kmitů utlumí a to tak, že rozdíl se nevyrovná najednou, ale postupně se utlumí v několika krocích. Nejvhodnější hodnota q_u se zjistí v praxi při odskokování na zařízení.

$$J_N^* = \min_{u_k} (q_E E_k^2 + q_u \tau_{\hat{n},k}^2 + J_{N+1}^*)$$

Člen J_{N+1}^* vyjadřuje v této rovnici stabilizační člen, pro který platí $J_{N+1}^* = E_{k+1} P_{k+1} E_{k+1}$

kde P_{k+1} je číslo, které lze určit z Riccatiho rovnice

$$\begin{aligned} P_{k+1} &= q_E - a_0 P_{k+2} b_0 [b_0 P_{k+2} b_0 + q_u]^{-1} b_0 P_{k+2} a_0 + \\ &+ a_0 P_{k+2} a_0 \end{aligned}$$

Tuto rekurentní rovnici budeme počítat při použití těchto zvolených hodnot: $q_k = 1$

$$P_N = 1$$

$$q_{u_1} = 0 ; q_{u_2} = 1$$

a těchto vypočítaných hodnot: $a_0 = 1$

$$b_0 = 2(k_s - k_r)$$

My počítáme pouze s těmito dvěma hodnotami q_u . Je ale možné, že v praxi by lépe vyhovovaly jiné hodnoty, neboť by lépe tlumily kmity regulačního pochodu. To by se nejlépe určilo odfekčením na zařízení.

Konstantu L určíme ze vztahu $L = (b_0 P b_0 + q_u)^{-1} b_0 P a_0$.
Tuto hodnotu dosadíme do rovnice $u(k) = L E(k)$

kde $u(k) = \tau_{i,k}$

L - vypočtená konstanta

$$E(k) = w_{i,k}$$

Regulátor se tedy řídí podle rovnice:

$$\tau_{i,k} = L w_{i,k}$$

6.2 Výpočet číslicového regulátoru

Cílem tohoto výpočtu je určit konstantu L a tím určit číslicový regulátor. Tuto konstantu L určujeme ze vztahu $L = (b_0 P b_0 + q_k)^{-1} b_0 P a_0$, kde P sjišťujeme z Riccatiho rovnice.

$$P_k = q_k - a_0 P_{k+1} b_0 [b_0 P_{k+1} b_0 + q_k]^{-1} b_0 P_{k+1} a_0 + a_0 P_{k+1} a_0$$

1. Nejprve uvažujeme $q_N = 0$, ostatní hodnoty používané při výpočtu jsou:

$$\begin{aligned} q_k &= 1 \\ a_0 &= 1 \\ k_0 &= 2(k_s - k_r) \\ k_1 &= 1 \end{aligned}$$

Hledáme hodnotu, která konverguje k hodnotě P .

$$P = q_E - a_0 P b_0 (b_0 P b_0 + q_k)^{-1} b_0 P a_0 - a_0^2 P$$

$$P = q_E - \frac{a_0^2 P^2 b_0^2}{P b_0^2} + a_0^2 P$$

$$P = q_E - a_0^2 P + a_0^2 P$$

$$P = q_E$$

$$P = 1$$

$$L = \frac{b_0 P a_0}{b_0^2 P}$$

$$L = \frac{1}{b_0} = \frac{1}{2(k_s - k_r)}$$

Rovnice, podle které se bude řídit regulátor je následující:

$$T_{i,k} = \frac{1}{b_0} \omega_{i,k}$$

2. Druhý výpočet provádíme pro $q_{u_1} = 1$, ostatní hodnoty zůstávají stejné jako v prvním případě.

Opět hledáme hodnotu, k níž konverguje P

$$P = q_E - a_0 P b_0 (b_0^2 P + 1)^{-1} b_0 P a_0 + a_0^2 P$$

$$P = 1 - \frac{P^2 b_0^2}{b_0^2 P + 1} + P$$

$$b_0^2 P^2 - b_0^2 P - 1 = 0$$

$$P_{1,2} = \frac{b_0^2 \pm \sqrt{b_0^4 + 4b_0^2}}{2b_0^2} = \frac{1}{2b_0} (b_0 \pm \sqrt{b_0^2 + 4})$$

$$\text{kde } b_0 = 2(k_s - k_T)$$

P může nabývat jen kladných hodnot, proto zápornou hodnotu výrazu neuvažujeme.

$$P = \frac{1}{2b_0} (b_0 - \sqrt{b_0^2 + 4}) \quad \text{neboť } b_0 < 0$$

$$L = \frac{b_0 (b_0 - \sqrt{b_0^2 + 4})}{b_0^2 (b_0 - \sqrt{b_0^2 + 4}) + 1}$$

Rovnice pro řízení regulátoru je:

$$T_{i,k} = \frac{b_0 (b_0 - \sqrt{b_0^2 + 4})}{b_0^2 (b_0 - \sqrt{b_0^2 + 4}) + 1} \omega_{i,k}$$

7. Ověření navrženého regulátoru simulací na číslicovém počítači

Ověření navrženého regulátoru simulací na číslicovém počítači nebylo možné provést, neboť naměřené hodnoty, které byly k dispozici z Centrální kyslíkárny, nebyly vhodné pro ověření navrženého regulátoru.

8. Závěr

Úkolem této diplomové práce bylo popsat regenerátor matematickým modelem a navrhnout číslicový regulátor pro řízení regenerátoru metodou minimalizace kvadratického kritéria.

Při popisu regenerátoru matematickým modelem jsem navrhla tři jednoduché modely, které se liší tím, zda se bere v úvahu nedorekuprace a dopravní spoždění. Pokud se tyto zjednodušené matematické modely v praxi neosvědčí, je nutné hledat složitější modely. Při návrhu číslicového regulátoru jsem spočítala akční zásah $T_{A,k}$, podle něhož se bude regulovat teplota zkrácením nebo prodloužením jednotlivých částí cyklu. Pokud je třeba, aby rozdíl teplot středů regenerátorů u jednotlivých dvojic byl větší, tzn. aby se zvýšila žádaná hodnota, první část cyklu se zkrátí a druhá prodlouží.

Na závěr bych chtěla poděkovat Ing. Svehodovi z VŠST Liberec a Ing. Kotvovi z Perou Děčín za cenné rady a materiál, který mi poskytli při řešení diplomové práce.

Seznam použité literatury

1. J. Svoboda: Číslicové řízení spojitých technologických procesů
/Výzkumná zpráva KTK-0063, VŠST Liberec/
2. J. Kotva: Zařízení na dělení vzduchu s řídicím počítačem - tvorba algoritmů
/Výzkumná zpráva - KT 2059a, Ferox Děčín, 1978/
3. J. Kotva: Provozní předpis ASŘ TP CKO
/Výzkumná zpráva - KT 2266, Ferox Děčín/
4. J. Blatný a kol.: Číslicové počítače

Diplomovou práci s. Alexandry Drholcové

"Algoritmus optimálního seřazení stávající číslkové regulace
ve dvojicích regenerátorů"

hodnotám známou v o l m i d o b e .

30.5.1993

Mgr. Jitka Svoboda, vsc.

Diplomovou práci s. Alexandry Drnolcové

"Algoritmus optimálního seřazení stávající číslcové regulace
ve dvojicích regenerátorů"
hodnotím známkou v e l m i d o b ř e .


Ing. Jiří Svoboda, Doc.

30.5.1983

Diplomovou práci s. Alexandry Drhelcové

"Algoritmus optimálního seřízení stávající číslíkové regulace
ve dvojicích regenerátorů"

hodnotím známkou v e l m i d o b ř e .

Jiří Svoboda
Ing. Jiří Svoboda, OSc.

30.5.1983

HODNOCENÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE s. Alexandry D r h o l c o v é

"Algoritmus optimálního seřízení stávající číslicové regulace
ve dvojicích regenerátorů"

Diplomová práce se zabývá aktuální problematikou - návrhem číslicového řízení technologického procesu.

Úkolem práce bylo navrhnout číslicový regulátor, který by umožňoval automatickou regulaci přepínacích cyklů regenerátoru. Před vlastním návrhem regulátoru bylo nutno provést analýzu chodu regenerátoru a popsat jej pokud možno jednoduchým matematickým modelem.

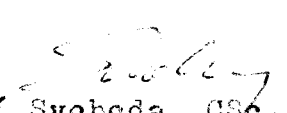
Diplomantka se v počátečních fázích řešení úkolu poněkud hůře orientovala v problematice. Její seznamování s provozem regenerátoru bylo těžkopádné a unikaly jí některé souvislosti mezi matematickým popisem technologického procesu a metodami syntézy číslicového regulátoru.

Po uvedení do problematiky a naznačení směrů řešení popsala diplomantka činnost regenerátoru několika typy modelů a provedla návrh identifikace parametrů modelu regenerátoru. Pro uvedený model navrhla několik variant regulátoru.

Na závěr diplomantka provedla ověření možnosti průběžné identifikace parametrů modelu. Vzhledem ke složitější funkci regenerátorů jako celku nebylo prováděno ověřování řídicích algoritmů.

Diplomantka tedy splnila zadání diplomové práce. Během studia patřila diplomantka k průměrným studentům.

Doporučuji práci k obhajobě.


Ing. Jiří Svoboda, CSc.

Liberec 30.5.1983

Oponentní posudek diplomové práce s. Alexandry

DIPLOMOVÉ pod názvem

"Algoritmus optimálního seřazení stávající číslicové regulace ve dvojicích regenerátorů"

Diplomová práce obsahuje celkem 53 stran.

K práci mám následující připomínky:

1. V úvodu není naznačen úvod do řešené konkrétní problematiky.
2. V kapitole 3. je řada logických i věcných nedostatků. Není v pořádku terminologie, která někdy dělá dojem doslovného překladu bez znalosti věci. Např. "obrazovková stanice", "průmyslová měřicí a regulační stanice HP 9611R".
3. V kap. 4 str. 11 jsou nesprávně uvedeny časové údaje. Akce CKO včetně řešení ASŘTP je ukončena a další práce týmem STROJ-VÚH Dobruška nebudou prováděny.
4. V kap. 4 str. 17. Tvzení o obr. 4 je nesprávné a je převzato z jiné aplikace. Totéž se týká obr. 5. Průběhy šle obr. 4 a 5 se vyskytovaly u regenerátorů s *AL* naplněním, což není případ CKO Ostrava. Není známo, co se myslí pojmem "rychlý toploměr". Není správné používat označení jako "normal" u obr. 4.
5. Grafická úprava popisu obrázků je pro diplomovou práci nedostatečná a neodpovídá ani formátu. Obvykle se používá pod obrázky uspořádání příkladně: obr. 3 Schema zapojení CKO.
6. Kap. 4.3 Začáteční věty nedávají vůbec smysl. Regenerátory jsou zde nejprve označovány jako "dělicí bloky", potom "výměník", potom "regenerátor" a nakonec opět "výměník".
7. Str. 24. Zdůvodnění vyrovnání tlaků při přepínání není správné. Vyrovnání tlaků se provádí z důvodů ekonomických (využití části vzduchu).
8. Seznam veličin a označení má být uspořádán abecedně s uvedením jednotek a na jednom označeném místě. Roztroušení v textu není přehledné.
9. Až do strany 33 se jedná o převzatý a někdy nesprávně uvedený popis skutečného stavu.

Sávěr. Přes uvedené výhrady lze práci přijmout. Je nutno ještě konstatovat, že prvých cca 30 stran textu je téměř identických, včetně obrázků s prací S. Moniky Velšákové, která předkládala práci na téma "Návrh algoritmu optimální číselové regulace vstupních klapků vzduchu pro tři páry regenerativních výměníků tepla".

HODNOCENÍ práce : dobře.

V Děčíně dne 15. 6. 1983

Ing. Bina Ladislav, CSc.

