

DIPLOMOVÝ ÚKOL

s. Ctimíra K a l u

pro

obor **automatizované systémy řízení výrobních procesů ve strojírenství**

Protože jste splnil..... požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství ~~XXXXXX~~ o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu: Návrh optimálního seřízení stávající číslicové regulace
vstupních klapek vzduchu pro tři pásy regenerativních
výměníků tepla

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s literaturou týkající se dané problematiky.
2. Vypracujte návrh optimálního seřízení stávající číslicové regulace.
3. Vypočtete a vypracujte projekční náčrt klapek vzduchu pro zařízení na dělení vzduchu N-35/91,92.

Autorské právo se řídí směrnicemi
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. 3. 1962 § 19 aut. z. č. 115/53 Sb.

V 928/1987 S
VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
FSC 461 17

Rozsah grafických laboratorních prací:

Rozsah průvodní zprávy:

50 - 60 stran

Seznam odborné literatury:

1. Kotva, J.: Zařízení na dělení vzduchu s řídicím počítačem; Tvorba algoritmů, číslo zprávy KT-2059a s přílohami, Ferox Děčín 1978
2. Nevřiva, P., a kol.: Programová dokumentace ASŘTP Centrální kyslíkárny Ostrava - Minimální verze. VÚHŽ Dobruška 1979
3. Bína, L., Kotva, J., Kranich, J.: Automatická regulace teplotního režimu regenerátorů s minimálním odporem regulačních klapek. Patentová přihláška PV 4430-79, Praha 1979

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Josef J a n e č e k

Konsultanti:

Ing. L. B í n a, CSc. - Ferox Děčín

Ing. J. K r a n i c h - Ferox Děčín

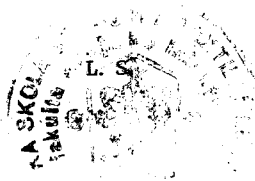
Ing. V l. K r a c í k, CSc. - VŠST Liberec

Datum zahájení diplomové práce:

15.9.1980

Datum odevzdání diplomové práce:

12.6.1981



Alax

Doc. Ing. J. Alaxin, CSc.

Vedoucí katedry

Stříž

Doc. RNDr B. Stříž, CSc.

Děkan

Liberci

15.9.

80

v

dne

19

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI
NOSITELKA ŘÁDU PRÁCE

FAKULTA STROJNÍ

OBOR 23-40-8
ASŘ VP VE STROJÍRENSTVÍ

KATEDRA TECHNICKÉ KYBERNETIKY

NÁVRH OPTIMÁLNÍHO SEŘÍZENÍ STÁVAJÍCÍ ČÍSLICOVÉ REGULACE
VSTUPNÍCH KLAPEK VZDUCHU PRO TŘI PÁRY REGENERATIVNÍCH
VÝMĚNÍKŮ TEPLA

CTIMÍR KALA

VEDOUcí PRÁCE: ING. JOSEF JANEČEK - VŠST LIBEREC
KONZULTANTI: ING. L. BÍNA, CSc. - FEROX DĚČÍN
ING. J. KRANNICH - FEROX DĚČÍN
ING. VL. KRACÍK, CSc. - VŠST LIBEREC

KTK - ASŘ SF - 005

ROZSAH PRÁCE A PŘÍLOH:

POČET STRAN	67
POČET PŘÍLOH A TABULEK	6
POČET OBRÁZKŮ	32
POČET VÝKRESŮ	-
POČET MODELŮ NEBO JINÝCH PŘÍLOH	-

K7 K/A.R.-2

LIBEREC, 12.6.1981

Místopřisežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, dne 12.6.1981

O B S A H

	strana
1. Úvod	6
2. Průzkum současného stavu	7
3. Teoretická část	9
3.1 Stručný popis technologického schématu zařízení na dělení vzduchu	9
3.2 Řídící algoritmus	12
3.3 Návrh číslicového řízení	17
3.3.1 Obecný popis metody pro vícepara- metrovou regulaci	17
3.3.2 Metoda návrhu číslicového řízení pro determinované poruchy	19
3.3.3 Program pro výpočet algoritmu řízení a simulaci regulačního pochodu	22
4. Výsledková část	25
4.1 Výpočet a ověření algoritmu řízení pro determinovanou poruchu W	28
4.2 Výpočet a ověření algoritmu řízení pro determinovanou poruchu Z	30
5. Návrh klapky vzduchu pro zařízení na dělení vzduchu N-35/91,92	56
5.1 Průtoková rovnice pro samostatnou klapku	56
5.2 Výpočet charakteristik klapek a dimenzování klapek	60

strana

5.3 Příklad návrhu klapky pro regulaci toku vzduchu do regenerátorů	63
6. Závěr	64
Seznam použité literatury	65
Seznam příloh	67

1. Ú v o d

Ve zprávě o Hlavních směrech hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR na léta 1981 - 1985 se klade velký důraz na urychlení rozvoje elektroniky a mikroelektroniky, jejíž široká aplikace v kombinaci s dalšími progresivními kompletačními prvky povede k rozvoji automatizace v průmyslu i v ostatních oblastech. To umožní rozvinout výrobu průmyslových robotů a nasazovat je do ucelených výrobních procesů a linek.

Nedílnou součástí automatizace průmyslu je i optimální řízení technologických procesů, kde se v současné době začínají nahrazovat spojitě regulátory regulací číslicovou. Tato výměna je vyvolána nutností řídit rozsáhlé soustavy, kde je zapotřebí uskutečnit přenos velkého množství informací, jejich ukládání a zpracování náročným způsobem. Příčinou vyřazování spojitých regulátorů však není jen úroveň techniky (jakost, velikost, cena), ale využití samotného principu impulsních systémů pro centralizaci sběru informací a řízení.

Tuto centralizaci umožňuje zvláště číslicová technika, zastoupená samočinným číslicovým počítačem. Nasazení číslicového počítače pro řízení představuje dnes nejdokonalejší způsob řízení procesů, neboť dovoluje díky centralizaci velmi pružně měnit algoritmy řízení i strukturu řídicích obvodů v souvislosti se změnami kritérií řízení, vyvolanými vnějšími okolnostmi.

2. Průzkum současného stavu

Velkokapacitní zařízení na dělení vzduchu metodou hlubokých teplot a na výrobu kyslíku, dusíku a vzácných plynů, vyrábí v současné době nad 3 000 Nm³/hod kyslíku. Jsou to tedy velké jednotky a je proto nutné zabývat se úplnou automatizací a optimalizací technologického procesu.

Tuto automatizaci zajišťuje Automatizovaný systém řízení technologických procesů Centrální kyslíkárny Ostrava, který vznikl na základě iniciativy výrobce zařízení na dělení vzduchu - Feroxu Děčín, závod maršála Rybalka, kde byl celý systém navržen.

Automatizovaný systém řízení technologických procesů Centrální kyslíkárny Ostrava zabezpečuje následující funkce/1/:

- a) regulaci teplotního režimu regenerativních výměníků tepla (regenerátorů) s jejich přepínáním
 - ve dvojicích změnou přepínací doby regenerátoru,
 - mezi dvojicemi regenerátoru změnou průtoku vzduchu do jednotlivých dvojic regenerátorů (t.j. změnou natočení vstupních klapek vzduchu);
- b) řízení chromatografu a signalizaci mezních stavů koncentrací uhlovodíků, což zajišťuje bezpečnost provozu zařízení;
- c) sběr dat a výpis provozního protokolu v závislosti na reverzacích 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 některých veličin procesu na obrazovce obrazovkového terminálu;

- g) výpis reverzací regenerativních výměníků tepla s teplotami středů všech regenerátorů;
- h) zpracování výkazu směnového a denního odběru kyslíku do NHKG a VŽKG z Centrální kyslíkárny Ostrava;
- i) statistické vyhodnocení základních veličin chodu zařízení ve volitelných obdobích.

Úkolem diplomové práce je regulace teplotního režimu regenerátorů přepínáním mezi dvojicemi regenerátorů změnou průtoku vzduchu do jednotlivých dvojic regenerátorů.

Současný stav u této automatické regulace je takový, že obvykle jedna regulační klapka na jednu dvojici regenerátorů není zapojena do obvodu automatické regulace. Ruční dálkové nastavení této klapky se provádí tak, aby se odpory regenerativních výměníků tepla vyrovnaly a alespoň jedna klapka byla v poloze blízké otevřené.

Mimo to existují pro dvě dvojice regenerátorů různé mechanické vazební prvky mezi dvěma klapkami, které zabezpečují, že vždy jedna klapka ze dvou je v otevřené poloze. Toto řešení se nedá aplikovat pro více dvojic regenerátorů. Dále existuje i u automatických regulací rozdělování vzduchu na jednotlivé dvojice ruční nastavování žádaných hodnot.

Z uvedeného vyplývá, že není dosud vyřešena otázka zcela automatického provozu (není automatické nastavování žádaných hodnot regulátorů) a také nelze docílit minimálního odporu regulačních klapek rozdělování vzduchu na jednotlivé dvojice regenerátorů /2/.

3. Teoretická část

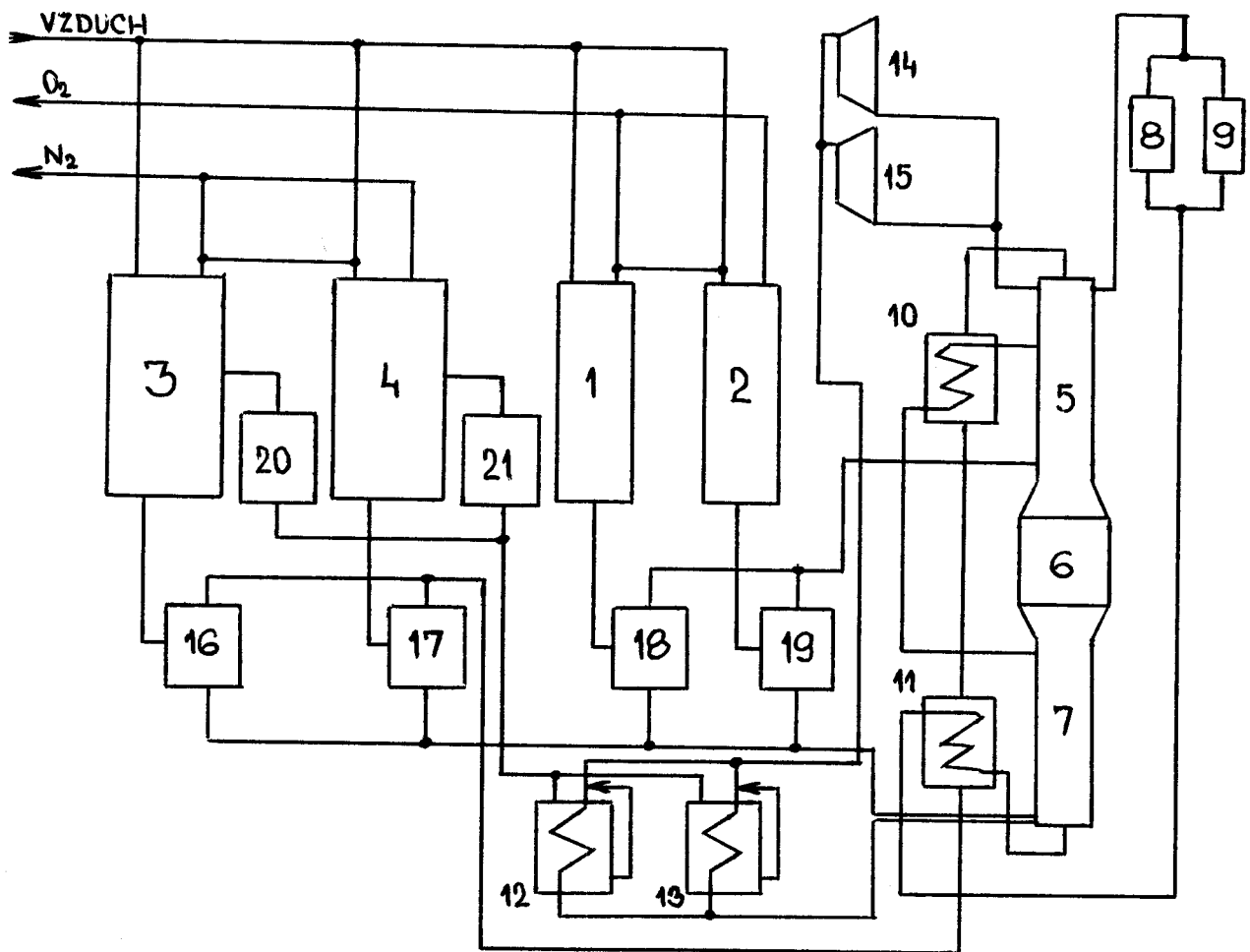
3.1 Stručný popis technologického schématu zařízení na dělení vzduchu

Zjednodušené schema zařízení na dělení vzduchu je na obrázku 1.

Vzduch vstupuje do kyslíkových 1,2 a dusíkových 3,4 regenerátorů. Zde přestupuje teplo náplní, která v časovém období, nazývaném teplá perioda, akumuluje teplo vstupujícího vzduchu a v období druhém, nazývaném studenou periodou, toto teplo předává produktu dělení vzduchu. V takovémto seskupení proudí tedy střídavě vždy jedním regenerátorem vstupní vzduch, který se stykem s náplní ochlazuje a druhým regenerátorem vystupující produkt dělení (kyslík nebo dusík), který se stykem s náplní ohřívá. Studená a teplá perioda tvoří přepínací cyklus dvojice regenerátorů. Regenerátory se přepínají obvykle přepínacími ventily, reverzace jsou řízeny programovým přepínacím strojem.

Z regenerátorů vystupuje vzduch ochlazený na teplotu - 170 °C a vede se do tlakové komory 7, kde probíhá částečná rektifikace. V horní části je získán čistý kapalný dusík a v dolní části je bohatá kapalina s obsahem asi 38 % kyslíku. Obě kapaliny se vedou přes absorbery 8,9 a výměníky 10,11 do nízkotlaké kolony 5, kde probíhá rektifikace. Plynný kyslík získávaný v dolní části se vede do kyslíkových regenerátorů 1,2 a plynný dusík z horní části do dusíkových regenerátorů 3,4. Všechny ztráty chladu jsou kryty expanzí vzduchu v ex -

Obrázek 1: Zjednodušené schéma zařízení na dělení vzduchu



1,2 kyslíkové regenerátory

3,4 dusíkové regenerátory

5 nízkotlaká kolona

6 hlavní kondenzátor

7 tlaková kolona

8,9 absorbery bohaté kapaliny

10 výměník kapalného dusíku

11 výměník bohaté kapaliny

12,13 přepínací výměníky

14,15 expanzní turbíny

16 až 21 ventilové komory

panzních turbinách 14,15.

Správná činnost regenerátorů je možná pouze tehdy, nedosahuje-li příliš velkých hodnot teplotní rozdíl mezi vstupním vzduchem a výstupním produktem dělení, měřený ve dvou po sobě následujících periodách na teplém konci.

Provozní režim regenerátorů v zařízení na dělení vzduchu s jednou dvojicí regenerátorů dusíkových a s jednou dvojicí regenerátorů kyslíkových určují (za předpokladu konstantní délky periody) tyto veličiny:

- průtok a teplota vzduchu vstupujícího do jednotlivých regenerátorů
- průtok a teplota vystupujícího kyslíku na studeném konci regenerátorů
- průtok a teplota vystupujícího dusíku na studeném konci regenerátorů.

Z těchto veličin jsou při ustáleném technologickém režimu konstatní tyto:

- teplota vstupního vzduchu
- průtok a teplota kyslíku
- průtok a teplota dusíku.

Z toho tedy vyplývá, že lze ovlivňovat pouze jednu veličinu -

- průtok vzduchu k jednotlivým regenerátorům, který se mění změnou natočení klapky vstupního vzduchu.

3.2 Řídící algoritmus

Regulace mezi dvojicemi regenerátorů se provádí na základě porovnání rozdílu součtu teplot středů regenerátorů regulované dvojice minus součet teplot středů regenerátorů neregulované dvojice s žádanou hodnotou rozdílu. Na základě konverzace se subsystémem SS2 nemusí být žádaná hodnota rozdílu zadávána, ale je určována subsystémem SS2 tak, aby maximální teplotní diference na studených koncích na všech třech dvojicích regenerátorů byly stejné.

Změření, převedení na fyzikální jednotky, kontrola mezí a výpočet akčního zásahu s jeho provedením se provádí v přesně určených časových okamžicích

- pro regulaci (3+4) v čase 1/2 TPER po počátku reverzace 1/2
- pro regulaci (5+6) v čase 5/6 TPER po počátku reverzace 1/2.

Není-li vypnuta příslušná regulace mezi dvojicemi a jsou-li čidla v pořádku, provede se výpočet akčního zásahu - t.j. změny natočení klapky - dle rovnice:

$$\Delta y_j = r_{kj} \cdot DYY_j + r_{zj} (DYY_j - DYYM_j) \quad (1)$$

pro $j = 3, 5$.

Regulační odchylka DYY_j je definována rovnicí:

$$DYY_j = W_{j,(j+1)} - [(T_j + T_{j+1}) - (T_1 + T_2)] \quad (2)$$

Další proměnné mají následující význam:

Δy_j [%] změna úhlového natočení klapky vyjádřená v procentech otevření klapky pro regulaci mezi dvojicemi $j+(j+1)$. Kladná změna značí pootevření

klapky (0% - klapka zavřena, 100% - klapka otevřena),

$r_{kj} [\%/^{\circ}\text{C}]$ zesílení proporcionální části regulační odchylky,

$r_{zj} [\%/^{\circ}\text{C}]$ zesílení difference regulační odchylky,

$DYY_j [^{\circ}\text{C}]$ regulační odchylka definovaná rovnicí (2) v čase výpočtu současného akčního zásahu,

$DYYM_j [^{\circ}\text{C}]$... regulační odchylka v minulém cyklu pro minulý výpočet akčního zásahu,

$W_{j,(j+1)} [^{\circ}\text{C}]$. žádaná hodnota rozdílu součtu teplot středů regenerátorů příslušných dvojic. Kladná hodnota značí, že se příslušná dvojice požaduje teplejší,

$T_k [^{\circ}\text{C}]$ $k = 1, 2, \dots, 6$; teplota středu k -tého regenerátoru v čase výpočtu akčního zásahu.

Na základě konverzace se subsystémem SS2 je možné nezadávat žádané hodnoty $W_{j,(j+1)}$, které jsou pak systémem určovány pro každý výpočet Δy_j z hodnot posledních dvou maximálních teplotních diferencí na studených koncích regenerátorových dvojic, měřených při reverzacích regenerátorů tak, aby pro všechny tři regenerátorové dvojice byly tyto maximální teplotní difference stejné. Maximální teplotní diferencí má například dvojice (1+2) při reverzacích 1/2 a 2/1 (čitatel zlomku značí, kterému regenerátoru končí teplá perioda; jmenovatel zlomku udává, kterému regenerátoru končí studená perioda).

Z výše uvedeného vyplývá následující vztah:

$$W_{j,(j+1)} = r_{wj} \left[3(\Delta T_{1j} + \Delta T_{-1j}) - \sum_{i=1,4} \sum_{k=1,2,5} \Delta T_{i,k} \right] \quad (3)$$

pro $j=3,5$.

Význam veličin ve vztahu (3):

$r_{wj}[1]$ konstanta zesílení vazby mezi maximálními teplotními diferencemi a žádanou hodnotou,

$\Delta T_{1j}[^{\circ}\text{C}]$... maximální teplotní difference regenerátorové dvojice $j, (j+1)$ při posledním přepínání této dvojice na studeném konci regenerátorů,

$\Delta T_{-1j}[^{\circ}\text{C}]$.. maximální teplotní difference regenerátorové dvojice $j, (j+1)$ při předposledním přepínání této dvojice na studeném konci regenerátorů.

Vliv vůle v převodech a setrvačnost v doběhu klapky (i když klapky byly přestavěny) je uvažován algoritmu řízení pomocí necitlivosti klapky (označena $\text{dyn}_j[\%]$) a doběhu servopohonu klapky (označen jako $\text{yzd}_j[\%]$).

Klapka příslušné dvojice regenerátorů je tedy natáčena pouze v případě, že platí

$$|\Delta y_j| > 0,5 \cdot \text{dyn}_j \quad (4)$$

Natáčení klapky subsystémem SS2 se provádí tak, že o doběh klapky yzd_j je motor klapky vypínán dříve, aby zbytek natočení se provedl setrvačností. Z toho tedy vyplývá, že k vypnutí motoru klapky dojde tehdy, je-li změna úhlu natočení Δy_m_j dána vztahem:

$$\Delta y_m_j = \Delta y_j - \text{yzd}_j \cdot \text{sign}(\Delta y_j) \quad (5)$$

Z bezpečnostních důvodů je maximální doba natočení klapky omezena vztahem $\text{MAXT} = [10 \text{ sec}]$.

Pro počáteční nastavení systému jsou počáteční hodnoty určeny takto

$$\begin{aligned}
r_{kj} &= 0,3 \text{ [}\%/\text{°C]} \\
r_{zj} &= 0,8 \text{ [}\%/\text{°C]} \\
r_{wj} &= 0,5 \text{ [1]} \\
W_{j,(j+1)} &= 0 \text{ [}\text{°C]} \\
\text{dyn}_j &= 0,2 \text{ [}\%] \\
\text{yzd}_j &= 1,1 \text{ [}\%] \\
\text{MAXT} &= 10 \text{ [sec]}
\end{aligned}$$

Pro běžné použití jsou doporučovány následující rozsahy volitelných hodnot a tyto rozsahy jsou také programově hlídány:

$$\begin{aligned}
r_{kj} &\in \langle 0,01;3 \rangle \\
r_{zj} &\in \langle 0,01;3 \rangle \\
r_{wj} &\in \langle 0,01;10 \rangle \\
W_{j,(j+1)} &\in \langle -40;+40 \rangle \\
\text{dyn}_j &\in \langle 0;5 \rangle \\
\text{yzd}_j &\in \langle 0;5 \rangle \\
\text{MAXT} &\in \langle 0;10 \rangle
\end{aligned}$$

Na základě vyžádání přes konverzační režim subsystému SS2 je možné provádět tisk parametrů příslušné regulace mezi dvojicemi regenerátorů v pořadí /1/:

- název regulované klapky

- v prvním řádku: žádaná hodnota regulace mezi dvojicemi,

hodnota zesílení proporcionální části, hod-

nota zesílení diference regulační odchylky,

hodnota zesílení vazby mezi maximálními te-

plotními diferencemi a žádanou hodnotou,

necitlivost klapky, doběh klapky a maximální

doba natočení klapky

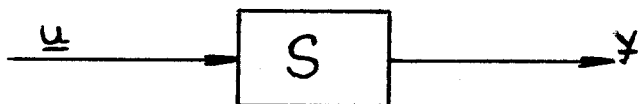
- v druhém řádku se tisknou poslední maximální teplotní difference na studených koncích regenerátorových dvojic a předposlední maximální teplotní difference na studených koncích regenerátorových dvojic
- na třetím řádku se tiskne akční zásah, předchozí regulační odchylka a současná regulační odchylka
- na čtvrtém řádku se tisknou všechny teploty středů regenerativních výměníků tepla
- na posledním řádku jsou tištěny tyto hodnoty: poloha klapky před současným akčním zásahem (t.j. původní poloha klapky), vypočtená nová poloha klapky a skutečná poloha klapky při vypnutí pohonu (t.j. hodnota neuvažující doběh vlivem setrvačnosti).

3.3 Návrh číslicového řízení

Pro návrh optimálního seřízení stávající číslicové regulace vstupních klapků vzduchu pro tři páry regenerativních výměníků tepla byla použita metoda číslicového řízení, která vychází z popisu regulovaných soustav přechodovými charakteristikami /4/.

3.3.1 Obecný popis metody pro víceparametrovou regulaci

Mějme regulovanou soustavu S , znázorněnou na obr.2.



Obr.2

kde \underline{u} je vektor vstupních veličin rozměru $[r,1]$;

\underline{y} je vektor výstupních veličin rozměru $[s,1]$;

předpokládáme $s \geq r$.

Odezvu soustavy S při vstupních veličinách ve tvaru schodových funkcí při nulových počátečních podmínkách v čase $j = 0$ lze vyjádřit konvolutorním součtem

$$\underline{y}(j) = \sum_{i=1}^j \underline{G}(i) \Delta \underline{u}(j-i) = \sum_{i=0}^{j-1} \underline{G}(j-i) \Delta \underline{u}(i), \quad (6)$$

kde $\Delta \underline{u}(i) \dots$ je vektor přírůstků vstupních veličin v čase i ;

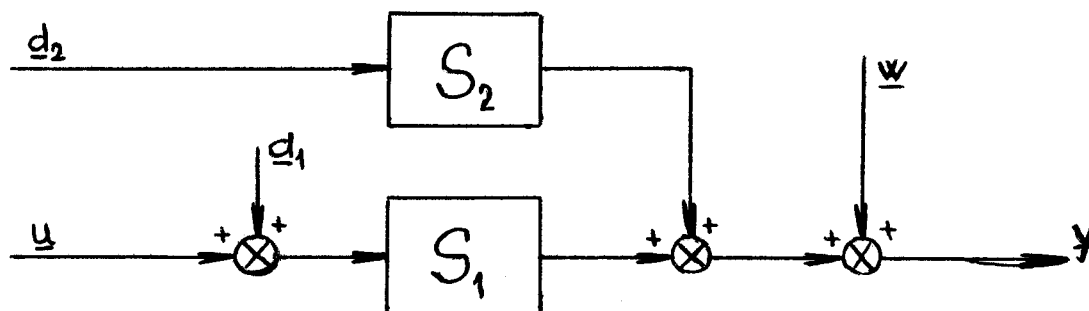
$\underline{G}(i) \dots$ je matice hodnot přechodových charakteristik následujícího tvaru:

$$\underline{G}(i) = \begin{bmatrix} g_{11}(i) & g_{12}(i) & \dots & g_{1r}(i) \\ g_{21}(i) & g_{22}(i) & \dots & g_{2r}(i) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{s1}(i) & g_{s2}(i) & \dots & g_{sr}(i) \end{bmatrix} .$$

kde $g_{mp}(i) \dots$ je hodnota přechodové charakteristiky v čase i m -té výstupní veličiny při provedeném jednotkovém skoku na p -té vstupní veličině.

Předpokládáme, že $\underline{G}(0) = \underline{0}$.

Uvažujme nyní regulovanou soustavu, zobrazenou na obr.3.



$\underline{d}_1, \underline{d}_2, \underline{w}$ jsou vektory poruchových veličin

Obr.3

Pro hodnocení kvality regulace bylo zvoleno následující kritérium

$$J = \sum_{j=1}^N \underline{Y}_k(j) \underline{Q}_y \underline{Y}_k(j) + \Delta \underline{u}^T \underline{Q}_u \Delta \underline{u} . \quad (7)$$

kde význam jednotlivých veličin je následující

$\underline{Q}_y, \underline{Q}_u \dots$ jsou diagonální matice kladných váhových koeficientů

$\underline{y}_k(j)$ je vektor kritériálních výstupních veličin ze soustavy, který je sestaven ze složek vektoru $\underline{y}(j)$. Jako kritériální výstupní veličiny je voleno r výstupních veličin, pro které platí, že $\lim_{i \rightarrow \infty} g_{pk}(i) \neq 0$, pro $p = 1, 2, \dots, r$ a dále libovolné množství výstupních veličin, pro které platí, že $\lim_{i \rightarrow \infty} g_{pk}(i) = 0$, pro $p = 1, 2, \dots, r$

$\Delta \underline{u}$ je vektor přírůstků vstupních veličin do soustavy - akčních veličin; je rozměru $[rv, 1]$;
 $\Delta \underline{u}^T = [\Delta \underline{u}^T(0), \Delta \underline{u}^T(1), \dots, \Delta \underline{u}^T(v-1)]$.

3.3.2 Metoda návrhu číslicového řízení pro determinované poruchy

Na regulované soustavě z obr.3 volíme vektor poruchových veličin \underline{z} rozměru $[r, 1]$, který obsahuje dle volby složky vektorů $\underline{d}_1, \underline{d}_2, \dots, \underline{w}$. O tomto vektoru \underline{z} předpokládáme, že vsoupí do regulované soustavy v čase $j = -1$ a jestliže předpokládáme jednotlivé poruchy ve tvaru skoků, pak odezvu soustavy na vektor poruch \underline{z} vyjádříme rovnicí

$$\underline{y}(j) = \underline{G}(j+1) \cdot \underline{z} + \sum_{i=0}^{j-1} \underline{G}(j-i) \Delta \underline{u}(i), \quad j = 0, 1, \dots, \infty \quad (8)$$

Pro zvolený vektor kritériálních veličin můžeme dále napsat

$$\underline{y}_k(j) = \underline{G}_k(j+1) \cdot \underline{z} + \sum_{i=0}^{j-1} \underline{G}_k(j-i) \Delta \underline{u}(i), \quad j = 0, 1, \dots, \infty \quad (9)$$

Rovnici (9) můžeme pro získání přehlednějších výsledných vztahů zapsat ve zjednodušeném tvaru

$$\underline{y}_k(j) = \underline{G}_k(j+1) \cdot \underline{z} + \underline{F}_k(j) \underline{u}, \quad j = 0, 1, \dots, \infty \quad (10)$$

kde strukturu vektoru $\Delta \underline{u}$ můžeme volit stejnou jako ve vztahu (7).

Matice $\underline{F}_k(j)$ pro $j = 0, 1, \dots, v$ jsou

$$\underline{F}_k(1) = [\underline{G}_k(1), \underline{0}, \underline{0}, \dots, \underline{0}],$$

$$\underline{F}_k(2) = [\underline{G}_k(2), \underline{G}_k(1), \underline{0}, \dots, \underline{0}],$$

.

.

.

$$\underline{F}_k(v) = [\underline{G}_k(v), \underline{G}_k(v-1), \dots, \underline{G}_k(1)].$$

Po dosazení vztahu (10) do vztahu (7) a provedené minimalizaci (t.j. provedení parciální derivace $\frac{\partial J}{\partial \Delta \underline{u}} = 0$) získáme vztah

$$\Delta \underline{u} = - \left[\sum_{j=1}^v \underline{F}_k^T(j) \underline{Q}_y \underline{F}_k(j) + \underline{Q}_u \right]^{-1} \left[\sum_{j=1}^v \underline{F}_k^T(j) \underline{Q}_y \underline{G}_k(j+1) \right] \cdot \underline{z} \quad (11)$$

Volbou r nezávislých vektorů \underline{z} získáme r vektorů $\Delta \underline{u}$ průběhů optimálních vstupů do regulované soustavy. Po dosazení do vztahu (8) získáme r optimálních regulačních pochodů.

Diferenční rovnici regulátoru předpokládejme ve tvaru

$$\Delta \underline{u}(j) = \sum_{i=0}^j \underline{A}_i \underline{y}(j-1) + \sum_{i=1}^j \underline{B}_i \Delta \underline{u}(j-1). \quad (12)$$

Rovnici (12) můžeme zapsat ve tvaru

$$\Delta \underline{u}(j) = \underline{A} \underline{y}_m(j) + \underline{B} \Delta \underline{u}_m(j), \quad (13)$$

kde vektor $\underline{y}_m(j)$ při minimální realizaci regulátoru má rozměr $[n+r, 1]$, kde n je řád regulované soustavy, který je chápán jako minimální počet integrátorů, kterých je zapotřebí k sestavení modelu regulované soustavy - n je minimální počet stavových veličin regulované soustavy. Rovnici (13) můžeme přepsat do tvaru

$$\Delta \underline{u}^T(j) = \underline{y}_m^T(j) \underline{A}^T + \Delta \underline{u}_m^T(j) \underline{B}^T \quad (14)$$

Předpokládejme chybu mezi pravou a levou stranou rovnice (14) ve tvaru

$$\underline{\epsilon}^T(j) = \Delta \underline{u}^T(j) - \underline{Y}_m^T(j) \underline{A}^T - \Delta \underline{u}_m^T(j) \underline{B}^T \quad (15)$$

Do vztahu (15) dosazujeme r optimálních regulačních pochodů a všechny tyto rovnice zapišeme ve tvaru

$$\underline{\epsilon} = \Delta \underline{U} - [\underline{Y}_m, \Delta \underline{U}_m] \begin{bmatrix} \underline{A}^T \\ \underline{B}^T \end{bmatrix}, \quad (16)$$

kde matice $\underline{\epsilon}, \Delta \underline{U}$ mají rozměr $[rv, r]$. Rovnici (16) zapišeme do tvaru

$$\begin{bmatrix} {}^1 \underline{\epsilon}, {}^2 \underline{\epsilon}, \dots, {}^r \underline{\epsilon} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^1 \Delta \underline{u}, \dots, {}^r \Delta \underline{u} \end{bmatrix} - [\underline{Y}_m, \Delta \underline{U}_m] \begin{bmatrix} {}^1 \underline{a}, {}^2 \underline{a}, \dots, {}^r \underline{a} \\ {}^1 \underline{b}, {}^2 \underline{b}, \dots, {}^r \underline{b} \end{bmatrix}, \quad (17)$$

kde ${}^i \underline{\epsilon}, {}^i \Delta \underline{u}$, pro $i = 1, 2, \dots, r$ jsou vektory rozměru $[rv, 1]$,

${}^i \underline{a}$, pro $i = 1, 2, \dots, r$ jsou vektory rozměru $[\nu+1, 1]$,

${}^i \underline{b}$, pro $i = 1, 2, \dots, r$ jsou vektory rozměru $[\nu, 1]$.

Rovnici (17) můžeme rozepsat na r rovnic

$${}^i \underline{\epsilon} = {}^i \Delta \underline{u} - [\underline{Y}_m, \Delta \underline{U}_m] \begin{bmatrix} {}^i \underline{a} \\ {}^i \underline{b} \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, \dots, r \quad (18)$$

přičemž volíme $J_i = {}^i \underline{\epsilon}^T Q_z {}^i \underline{\epsilon}$, Q_z je diagonální matice kladných váhových koeficientů. Provedeme-li minimalizace

$$\frac{\partial J_i}{\partial {}^i \underline{a}} = 0 \quad \frac{\partial J_i}{\partial {}^i \underline{b}} = 0 \quad \text{pro } i = 1, 2, \dots, r,$$

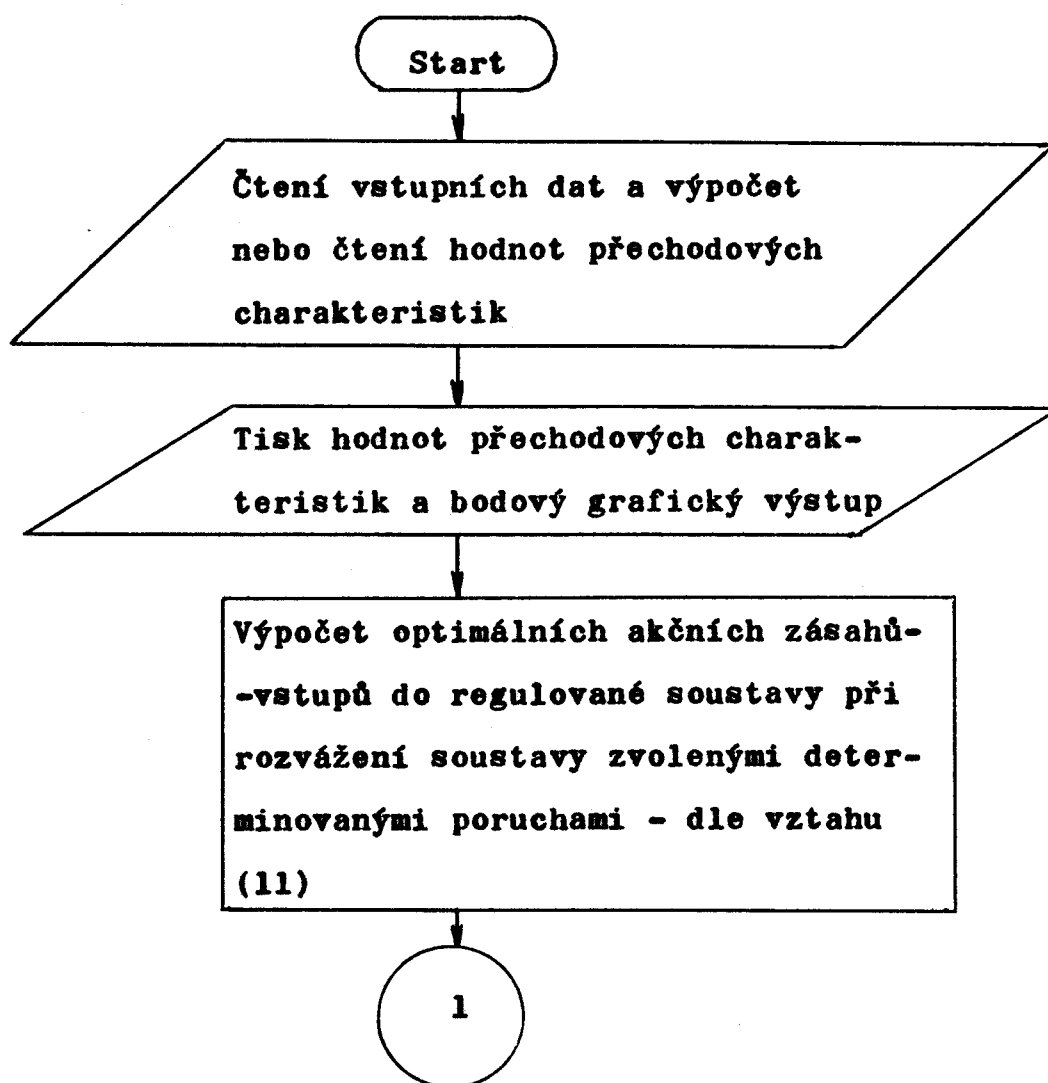
získáme pro výpočet koeficientu diferenční rovnice regulátoru vztah

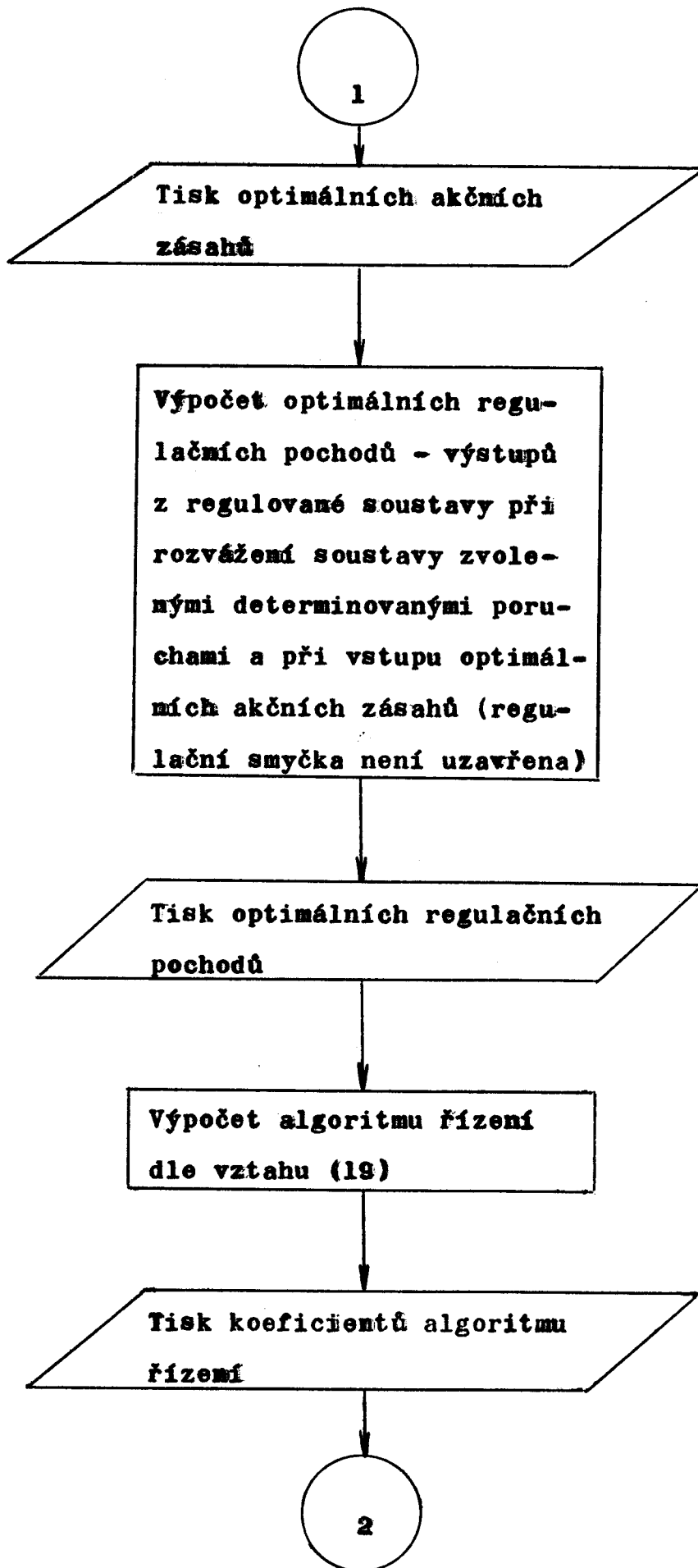
$$\begin{bmatrix} \underline{A}^T \\ \underline{B}^T \end{bmatrix} = \left\{ [\underline{Y}_m, \Delta \underline{U}_m]^T Q_z [\underline{Y}_m, \Delta \underline{U}_m] \right\}^{-1} [\underline{Y}_m, \Delta \underline{U}_m] Q_z \Delta \underline{U} \quad (19)$$

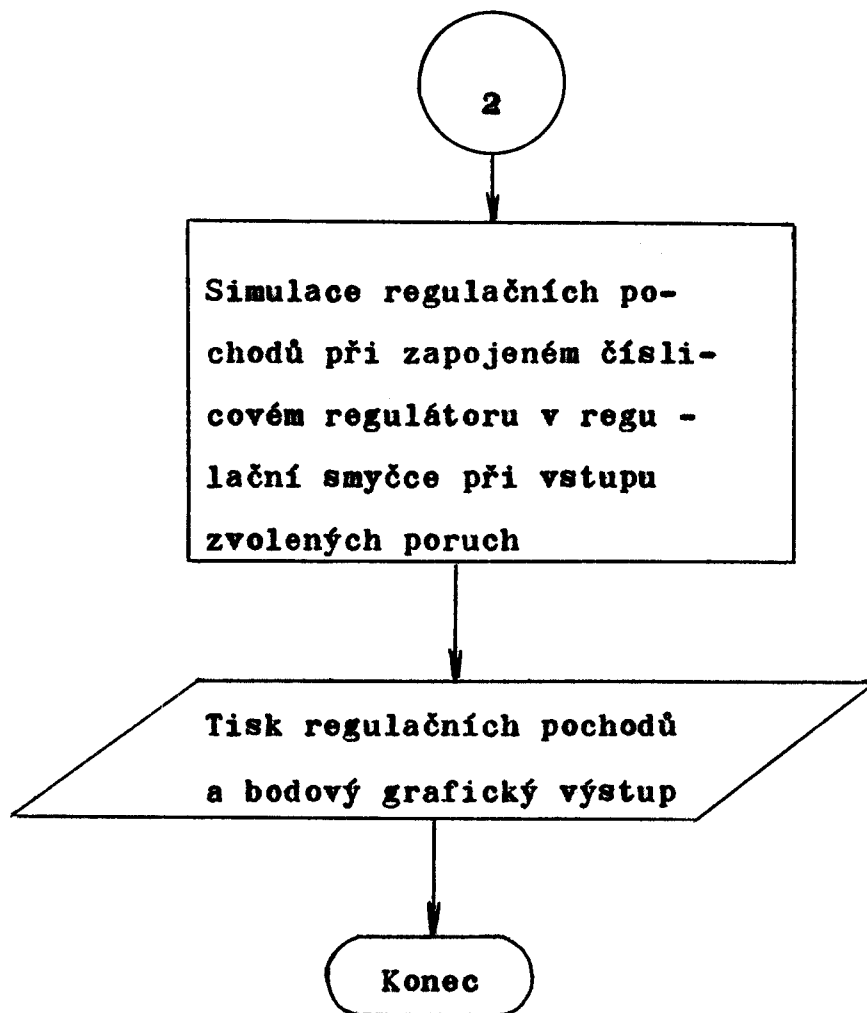
3.3.3 Program pro výpočet algoritmu řízení a simulaci regulačního pochodu

Na VŠST v Liberci byly vypracovány dva funkčně stejné programy pro počítač RPP - 16S v jazyku FORTRAN a pro počítač EC 1033 v jazyku PL/1, které na základě vstupních dat navrhnu algoritmus řízení víceparametrové regulované soustavy. Ověření algoritmu řízení se provádí simulací regulačního pochodu při vstupu zvolených poruch /3/.

Blokové schéma programu:







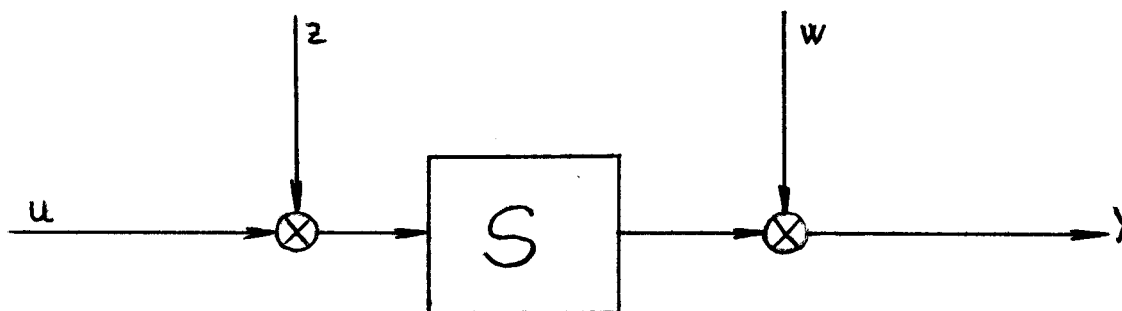
4. Výsledková část

Pro optimální seřízení stávající číslicové regulace bylo použito programu „PROGRAM PRO VÝPOČET ALGORITMU ŘÍZENÍ PRO DETERMINOVANÉ VSTUPNÍ PORUCHY A OVĚŘENÍ ALGORITMU SIMULACÍ REGULAČNÍCH POCHODŮ PŘI ZAPOJENÉM REGULÁTORU“, který vypracoval ing. Bedřich JANEČEK na VŠST v Liberci. Program je vypracován v jazyku RPP FORTRAN pro počítač RPP - 16S.

Jako vstupních přechodových charakteristik bylo použito průběhů regulačních odchylek DYY . Tyto byly naměřeny dne 11.2.1981 v Centrální kyslíkárně Ostrava, kdy byla na počítači vypnuta v 10,31 hod. regulace a nebyl korigován čas. Regulace byla opět zapnuta ve 12,50 hod. téhož dne.

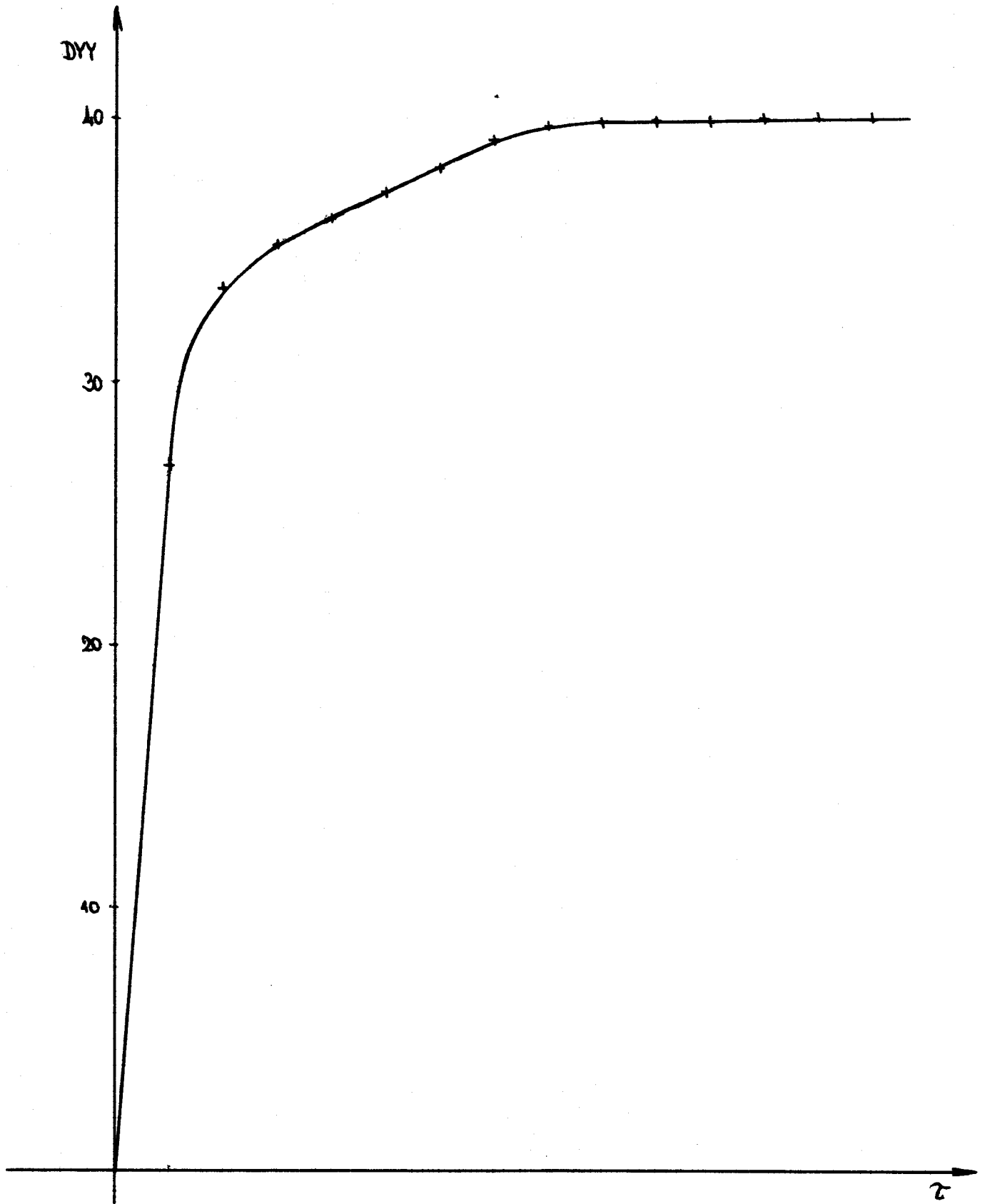
Průběh regulační odchylky pro dvojici (3+4) je na obr.4, pro dvojici (5+6) na obr.5.

Výpočet algoritmu řízení pro determinované vstupní poruchy a ověření algoritmu simulací regulačních pochodů při zapojeném regulátoru bylo prováděno dvojím způsobem. Jednak pro determinovanou poruchu Z na vstupu do soustavy a jednak pro determinovanou poruchu W - viz obr.6.

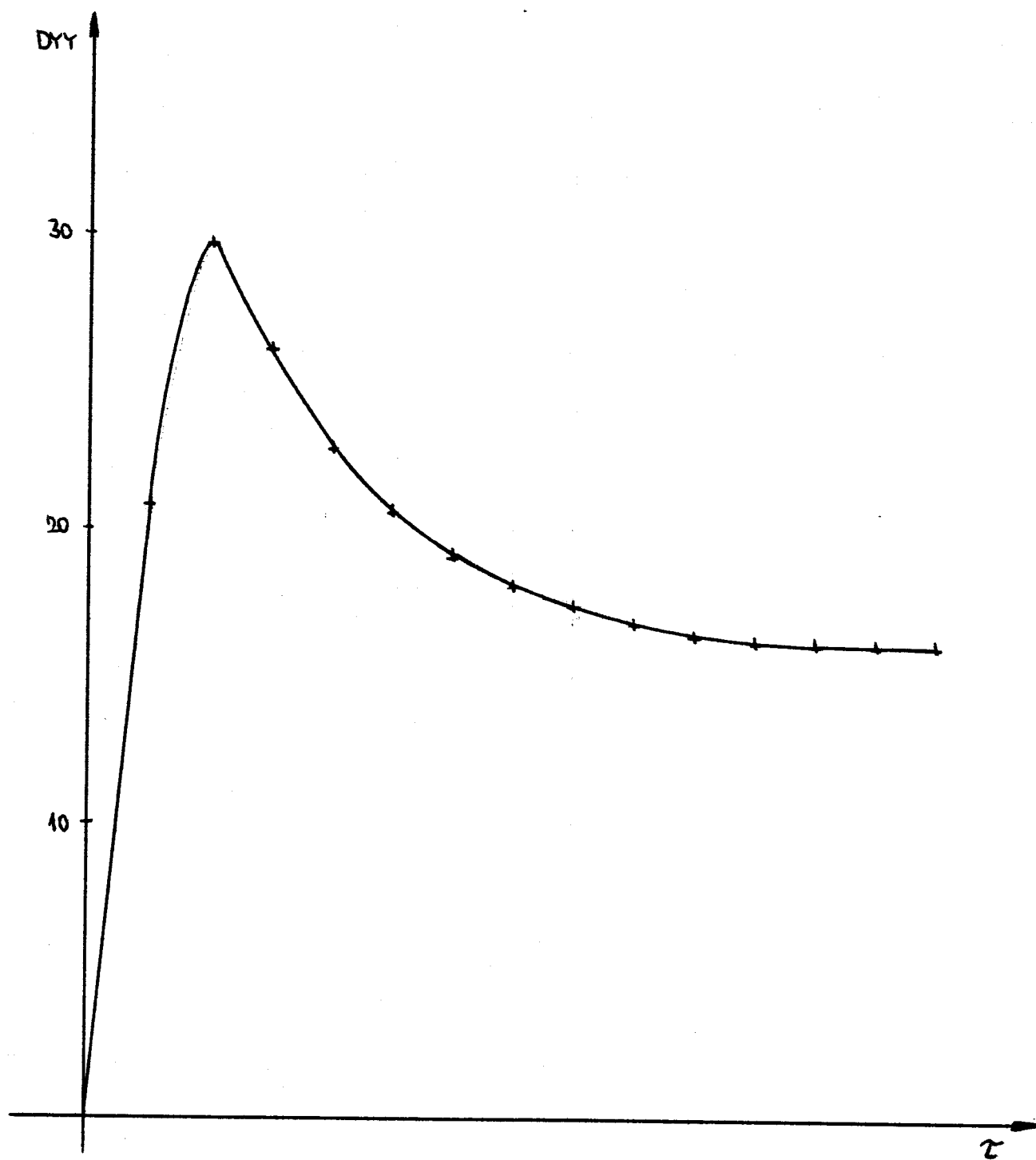


Obr.6

Obř.4 - Průběh regulační odchylky pro dvojici (3+4)



Obr.5 - Průběh regulační odchylky pro dvojici (5+6)



Protože se jedná o jednoparametrovou regulaci (s jedním vstupem a jedním výstupem), byla zadána hodnota váhového koeficientu K_y konstantní a rovna jedné. Hodnota váhového koeficientu K_u byla postupně měněna, čímž se měnila jakost regulace.

4.1 Výpočet a ověření algoritmu řízení pro determinovanou poruchu W

Pro dvojici (3+4) byla hodnota váhového koeficientu zvolena nejprve 80 a pak 0, pro dvojici (5+6) byly zvoleny hodnoty 20 a 0. Získané hodnoty koeficientu řídicího algoritmu jsou uvedeny v tabulce 1.

váhový koeficient	koeficienty řídicího algoritmu	dvojice	
		3 + 4	5 + 6
0	r_k	$3,43 \cdot 10^{-2}$	$3,36 \cdot 10^{-2}$
	r_z	$2,30 \cdot 10^{-3}$	$7,93 \cdot 10^{-3}$
20	r_k	-	$3,31 \cdot 10^{-2}$
	r_z	-	$7,96 \cdot 10^{-3}$
80	r_k	$3,25 \cdot 10^{-2}$	-
	r_z	$2,36 \cdot 10^{-3}$	-

Tabulka 1: Hodnoty koeficientů řídicího algoritmu

Na obrázcích 7 až 22 jsou graficky znázorněny průběhy činnosti regulátoru při uzavřené regulační smyčce pro jednotlivé dvojice a různé hodnoty váhového koeficientu dle následujícího seznamu.

Seznam obrázků:

- obr.7 - Průběh veličiny y pro dvojici (3+4) a váhový koeficient K_u rovná se 0 při poruše w
- obr.8 - Průběh veličiny u pro dvojici (3+4) a váhový koeficient K_u rovná se 0 při poruše w
- obr.9 - Průběh veličiny y pro dvojici (3+4) a váhový koeficient K_u rovná se 0 při poruše z
- obr.10- Průběh veličiny u pro dvojici (3+4) a váhový koeficient K_u rovná se 0 při poruše z
- obr.11- Průběh veličiny y pro dvojici (3+4) a váhový koeficient K_u rovná se 80 při poruše w
- obr.12- Průběh veličiny u pro dvojici (3+4) a váhový koeficient K_u rovná se 80 při poruše w
- obr.13- Průběh veličiny y pro dvojici (3+4) a váhový koeficient K_u rovná se 80 při poruše z
- obr.14- Průběh veličiny u pro dvojici (3+4) a váhový koeficient K_u rovná se 80 při poruše z
- obr.15- Průběh veličiny y pro dvojici (5+6) a váhový koeficient K_u rovná se 0 při poruše w
- obr.16- Průběh veličiny u pro dvojici (5+6) a váhový koeficient K_u rovná se 0 při poruše w
- obr.17- Průběh veličiny y pro dvojici (5+6) a váhový koeficient K_u rovná se 0 při poruše z
- obr.18- Průběh veličiny u pro dvojici (5+6) a váhový koeficient K_u rovná se 0 při poruše z

- obr.19- Průběh veličiny y pro dvojici (5+6) a váhový koeficient K_u rovná se 20 při poruše w
- obr.20- Průběh veličiny u pro dvojici (5+6) a váhový koeficient K_u rovná se 20 při poruše w
- obr.21- Průběh veličiny y pro dvojici (5+6) a váhový koeficient K_u rovná se 20 při poruše z
- obr.22- Průběh veličiny u pro dvojici (5+6) a váhový koeficient K_u rovná se 20 při poruše z

4.2. Výpočet a ověření algoritmu pro determinovanou poruchu Z

Zde byl proveden pouze jeden výpočet pro každou dvojici a sice:

- pro dvojici (3+4) s váhovým koeficientem $K_u = 8$
- pro dvojici (5+6) s váhovým koeficientem $K_u = 10$

Hodnoty koeficientů řídicího algoritmu pak vyšly takto:

- pro dvojici (3+4) s váhovým koeficientem $K_u = 8$
je

$$r_k = 3,26 \cdot 10^{-2}$$

$$r_z = 0,79 \cdot 10^{-3}$$

- pro dvojici (5+6) s váhovým koeficientem $K_u = 10$
je

$$r_k = 2,74 \cdot 10^{-2}$$

$$r_z = 1,99 \cdot 10^{-3}$$

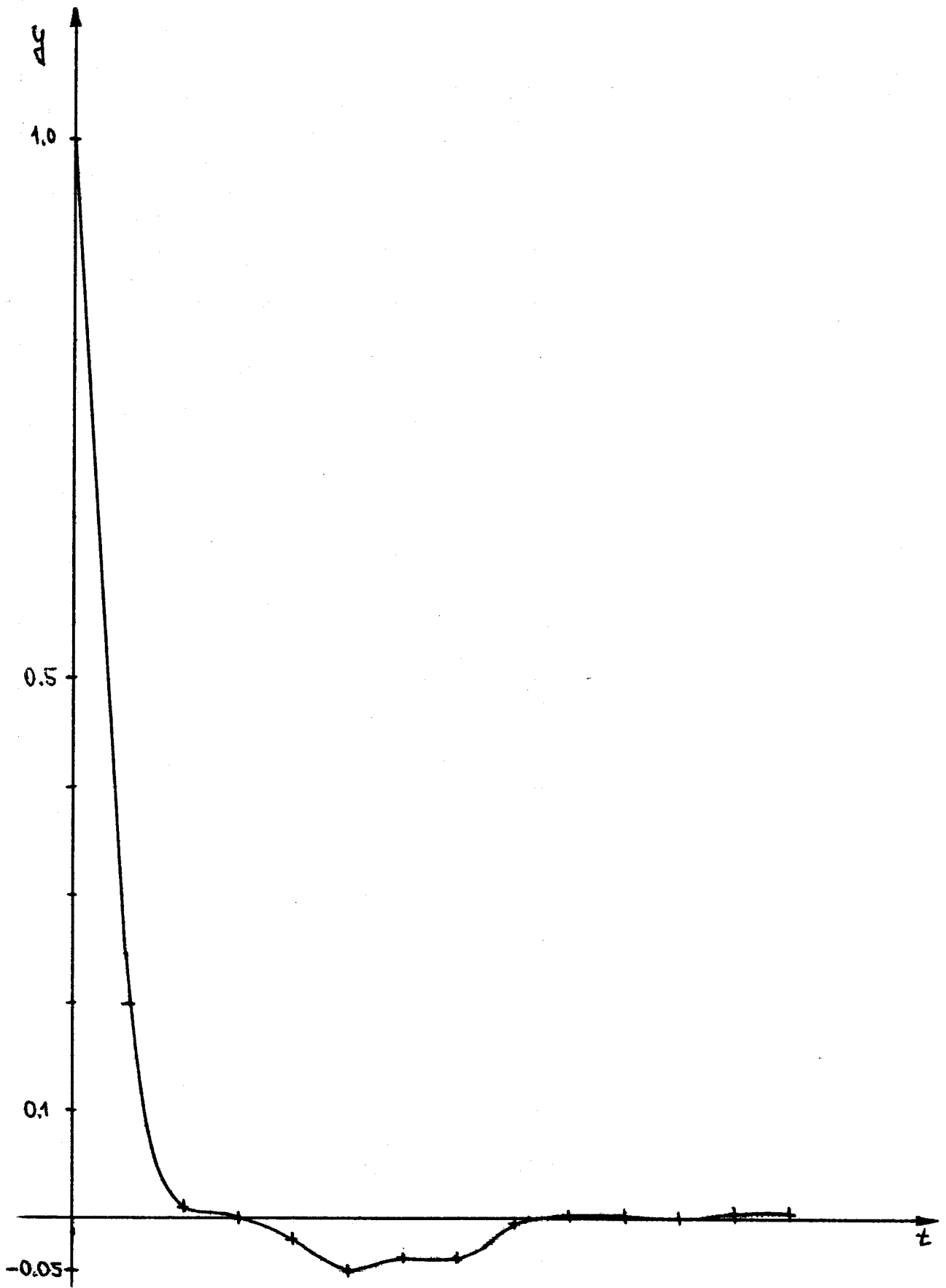
Na obrázcích 23 až 30 jsou opět uvedeny grafické průběhy činnosti regulátoru pro oba výše uvedené pří-

pady dle následujícího seznamu obrázků.

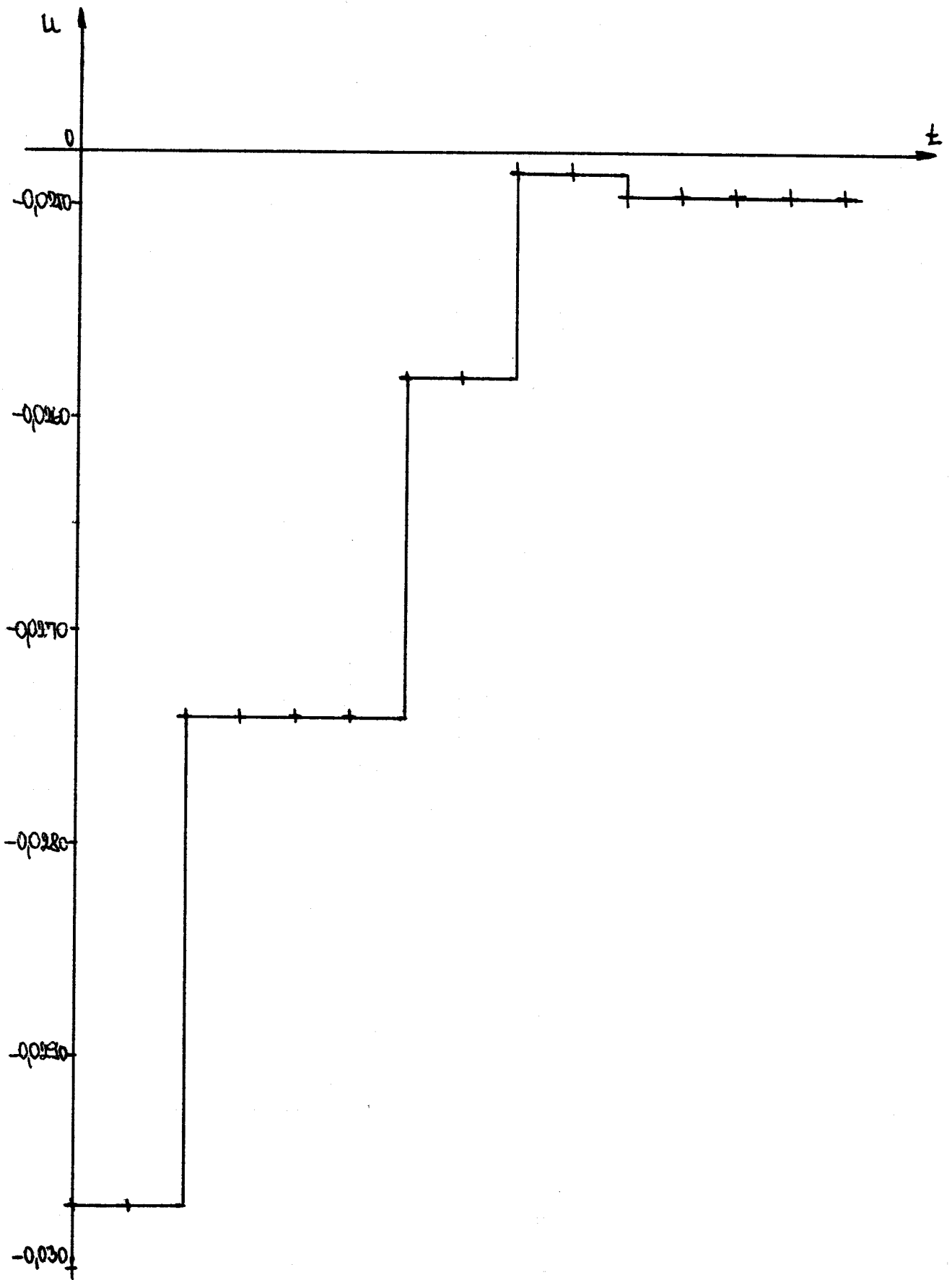
Seznam obrázků:

- obr.23- Průběh veličiny y pro dvojici (3+4) a váhový koeficient $K_u = 8$ při poruše w
- obr.24- Průběh veličiny u pro dvojici (3+4) a váhový koeficient $K_u = 8$ při poruše w
- obr.25- Průběh veličiny y pro dvojici (3+4) a váhový koeficient $K_u = 8$ při poruše z
- obr.26- Průběh veličiny u pro dvojici (3+4) a váhový koeficient $K_u = 8$ při poruše z
- obr.27- Průběh veličiny y pro dvojici (5+6) a váhový koeficient $K_u = 10$ při poruše w
- obr.28- Průběh veličiny u pro dvojici (5+6) a váhový koeficient $K_u = 10$ při poruše w
- obr.29- Průběh veličiny y pro dvojici (5+6) a váhový koeficient $K_u = 10$ při poruše z
- obr.30- Průběh veličiny u pro dvojici (5+6) a váhový koeficient $K_u = 10$ při poruše z

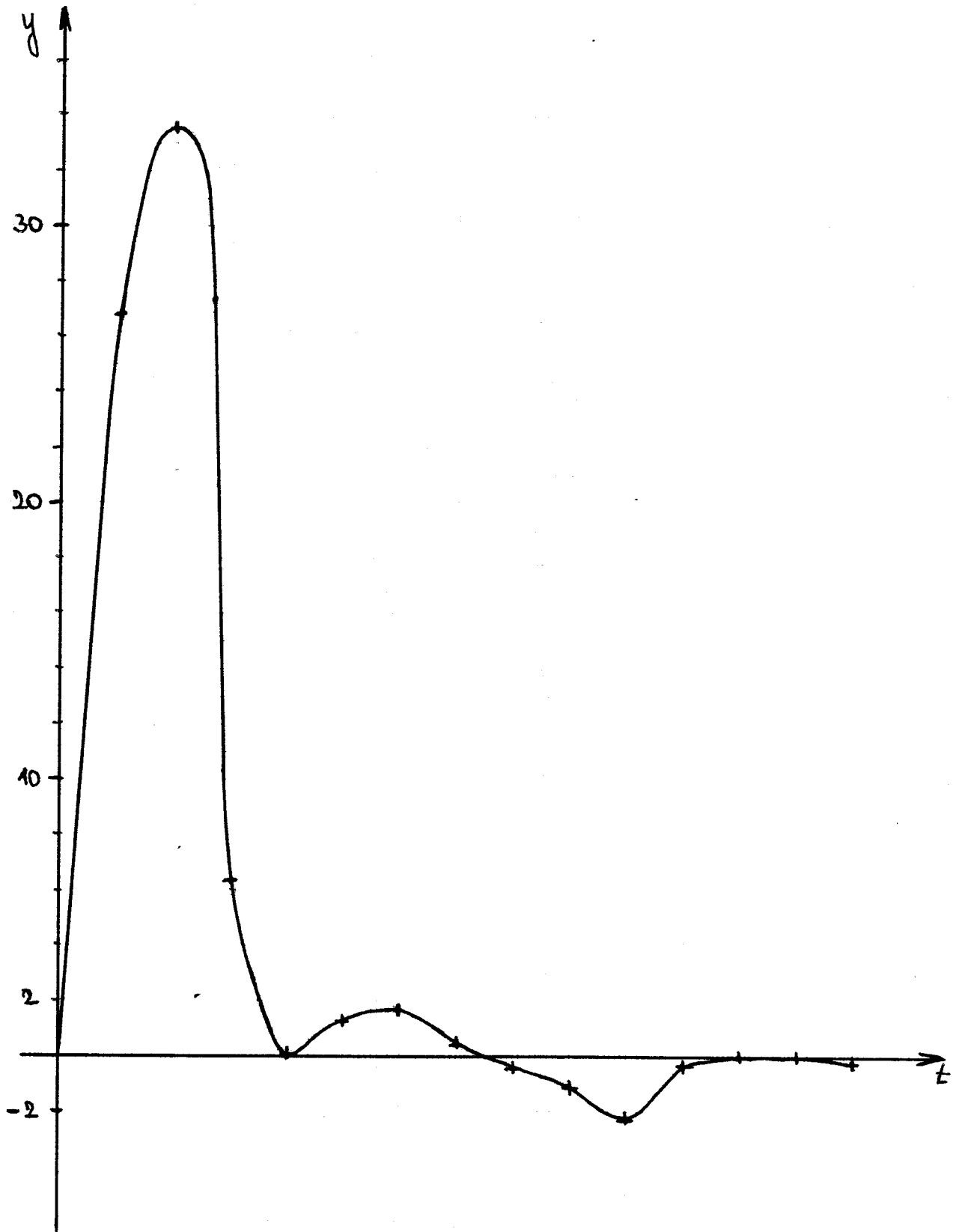
Obr. 7



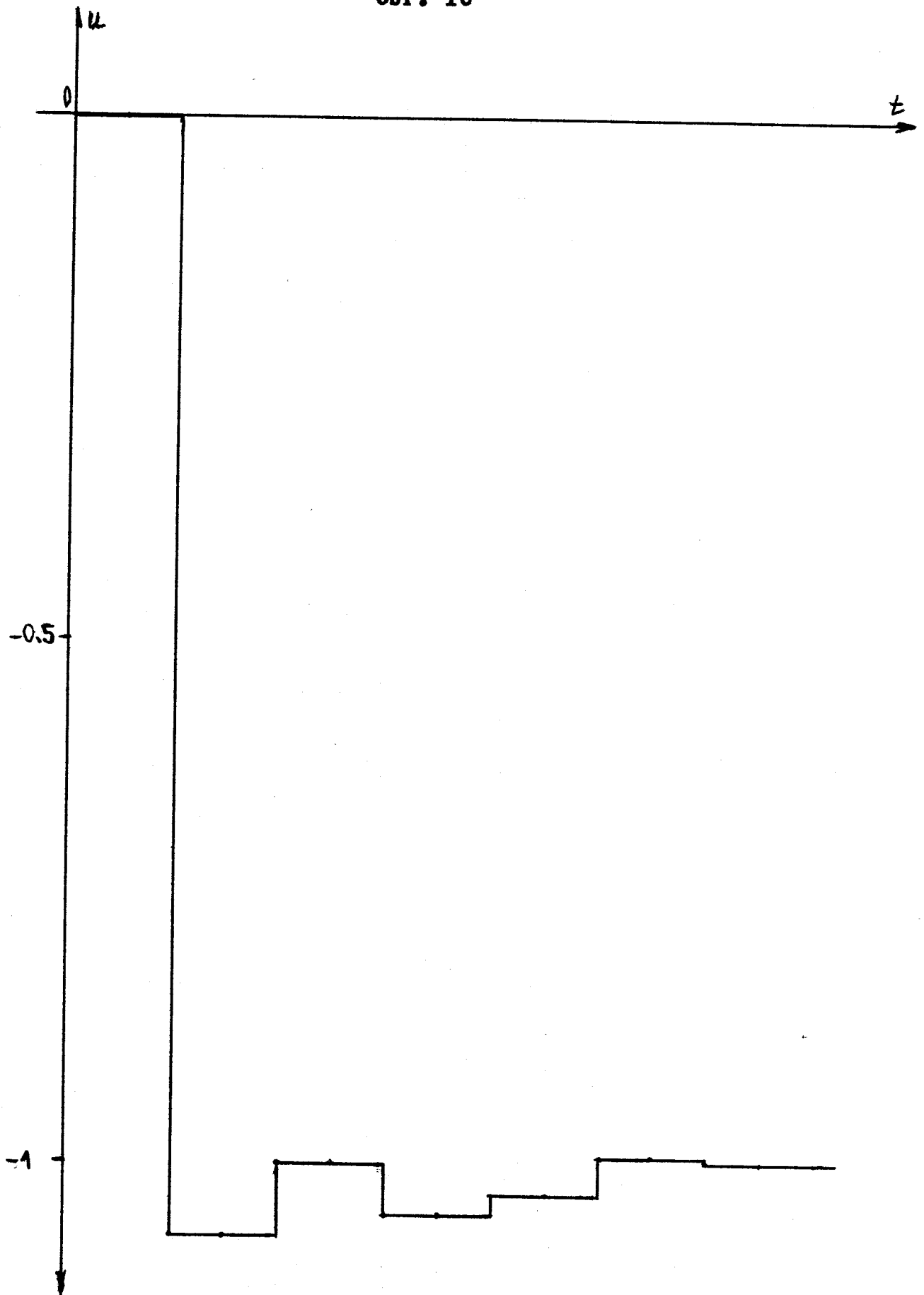
Обр. 8



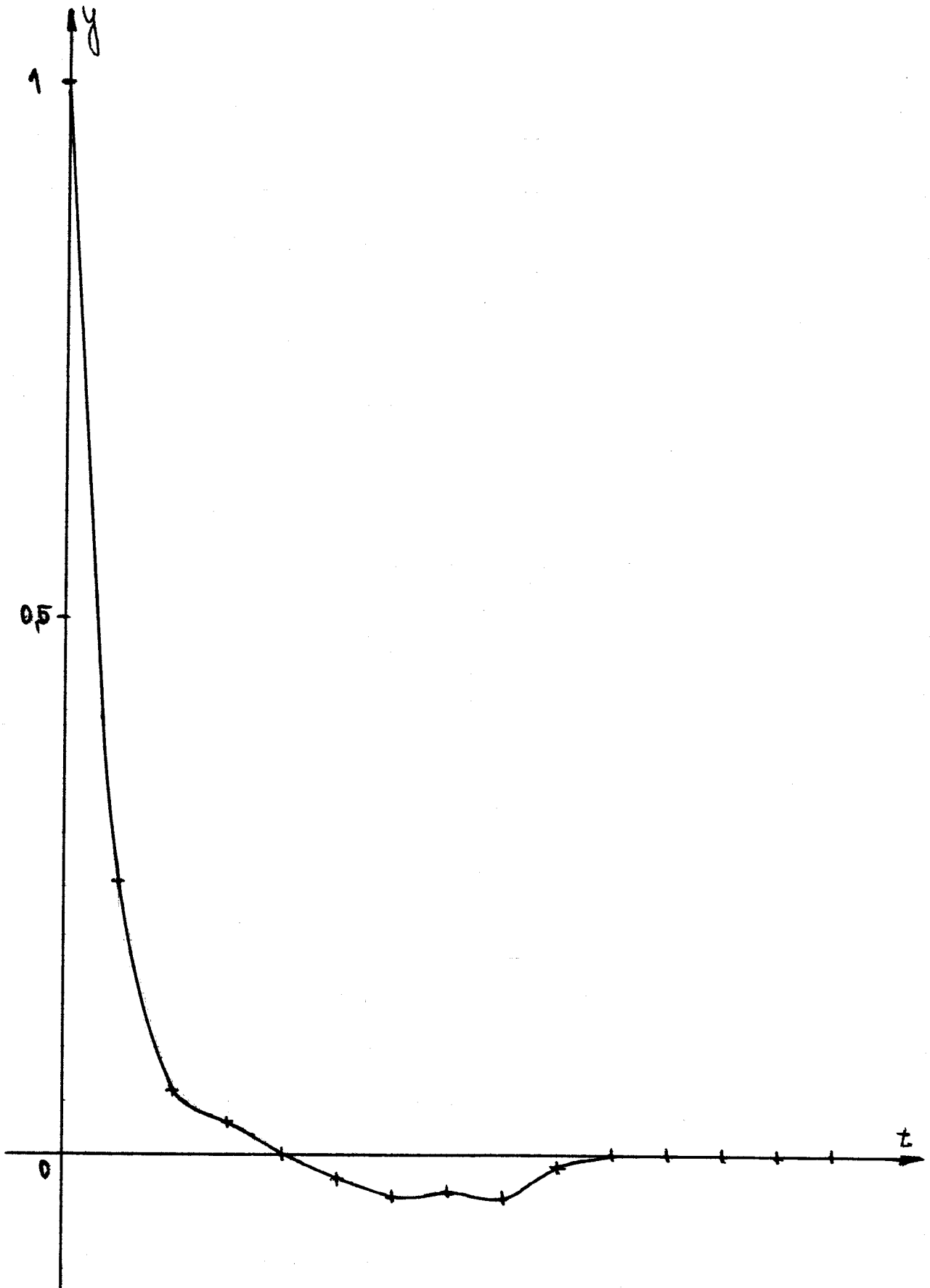
Obr. 9



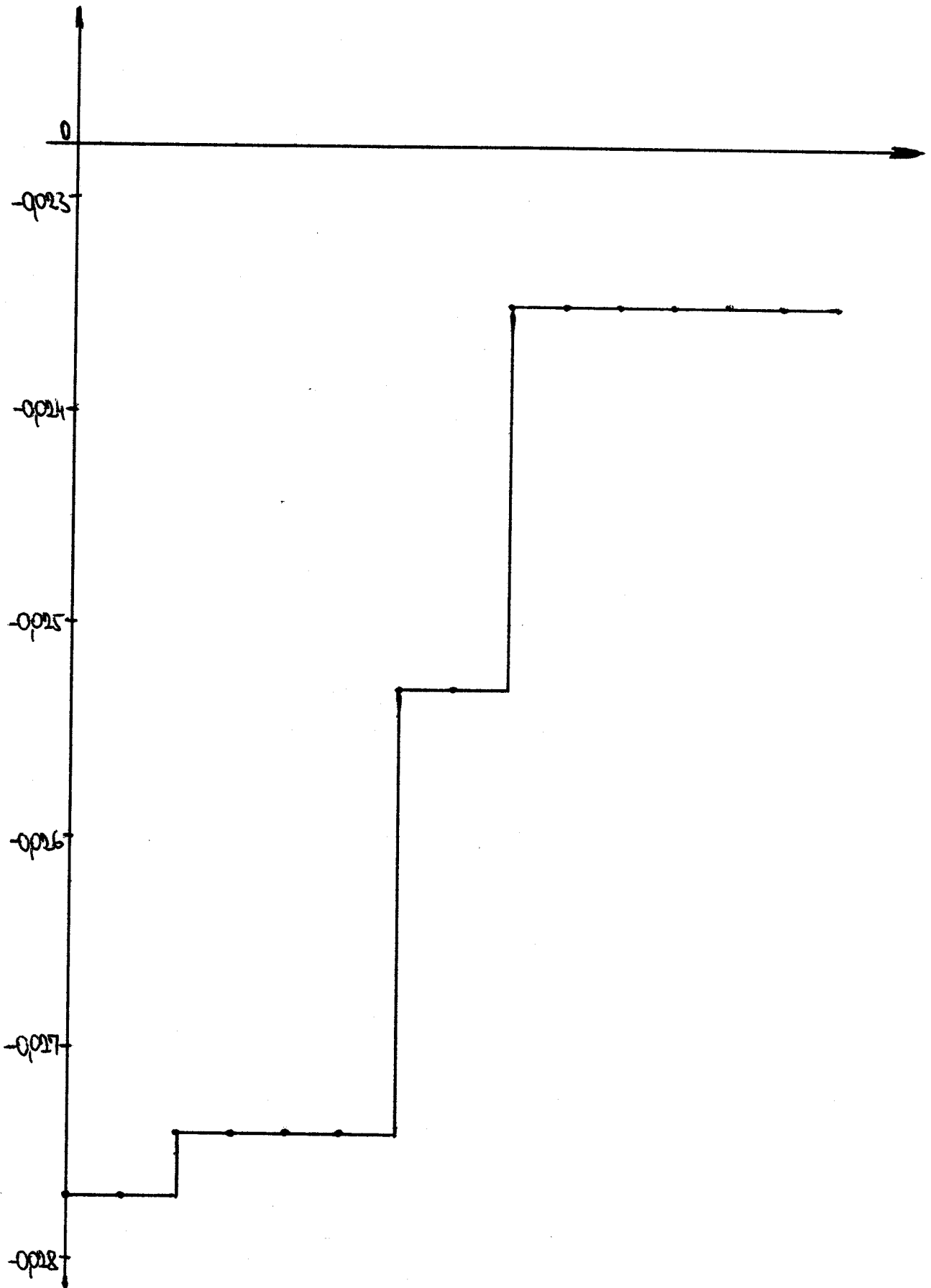
Obr. 10

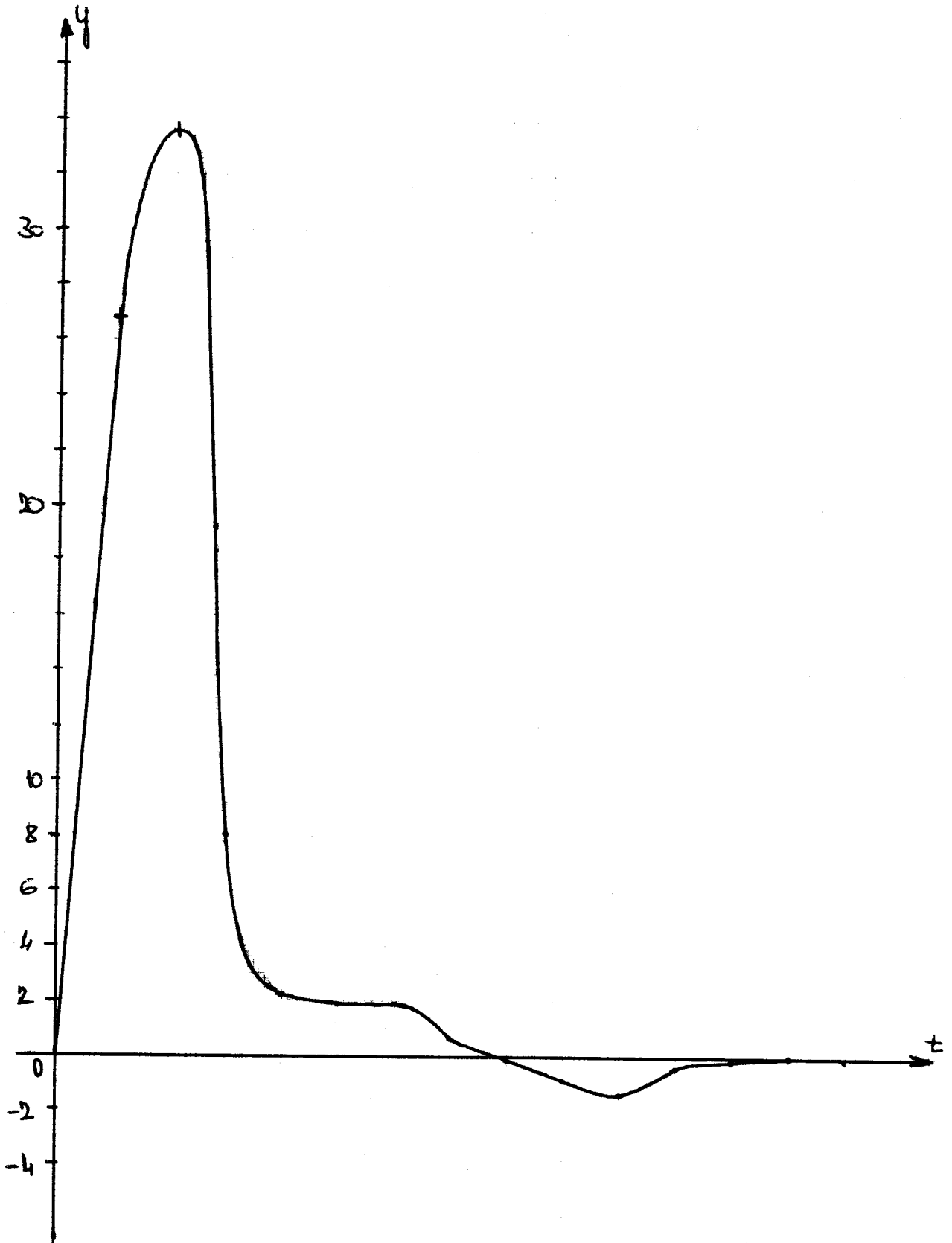


Obr. 11

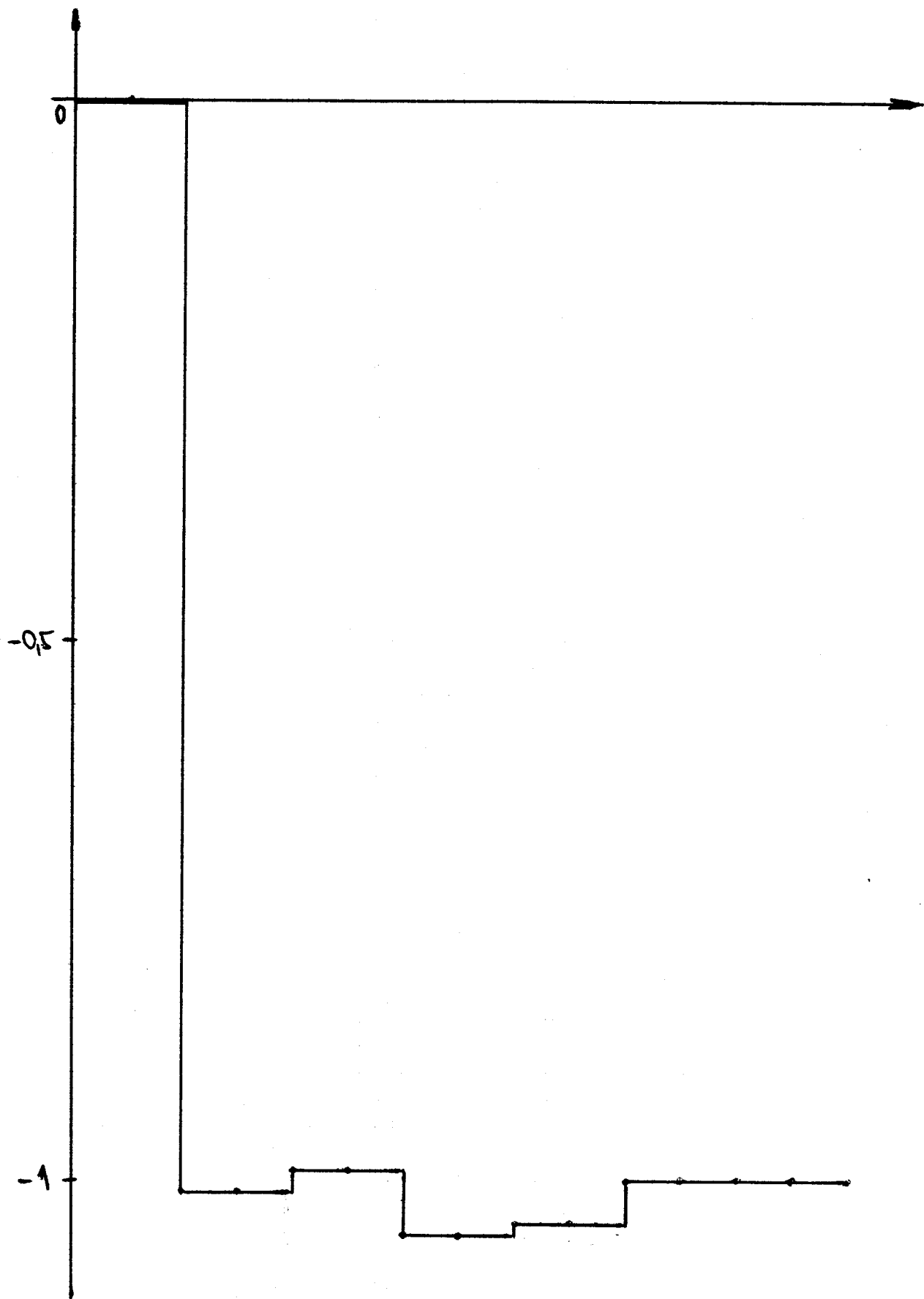


Фбр. 12

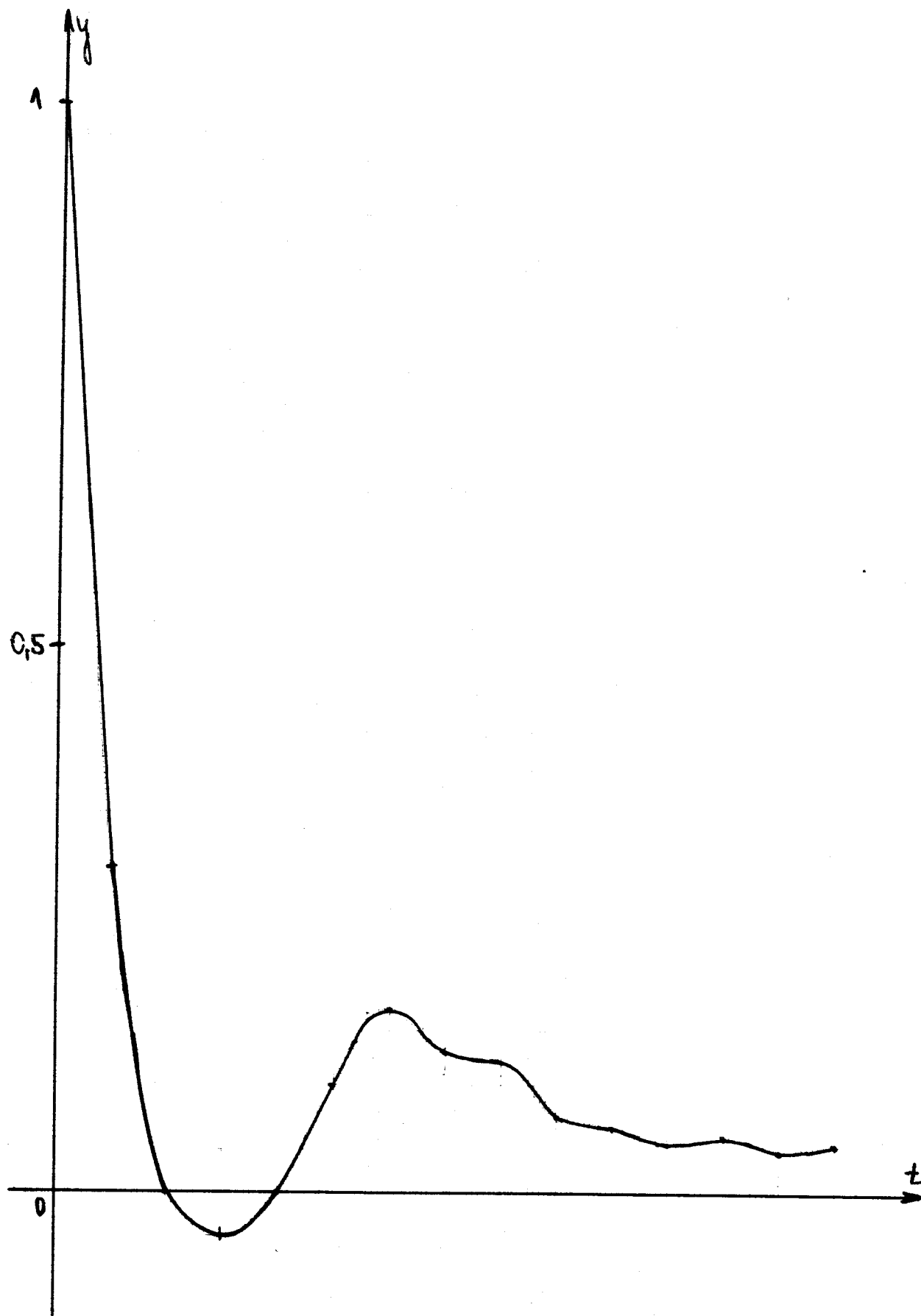


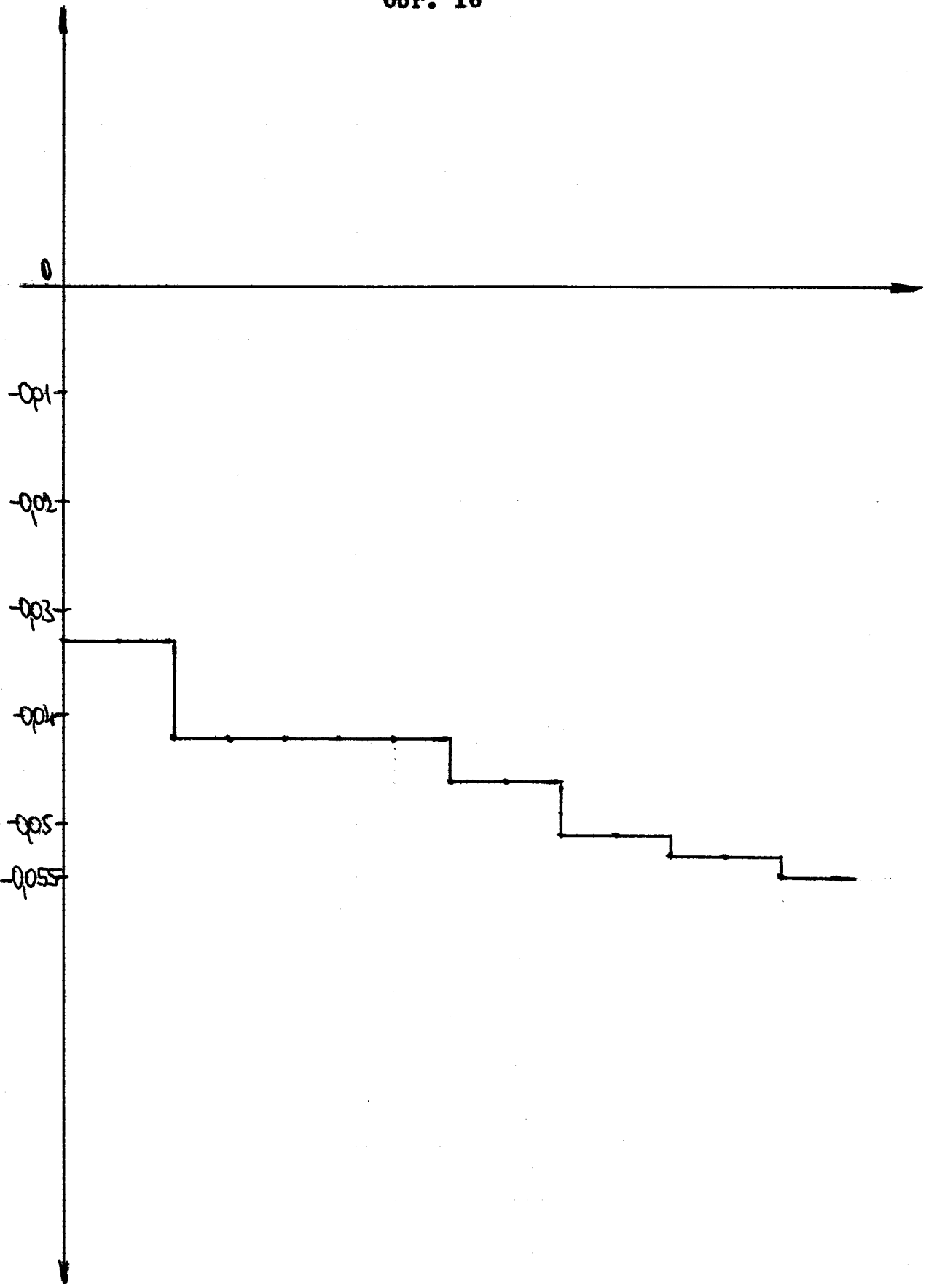


Obr. 14

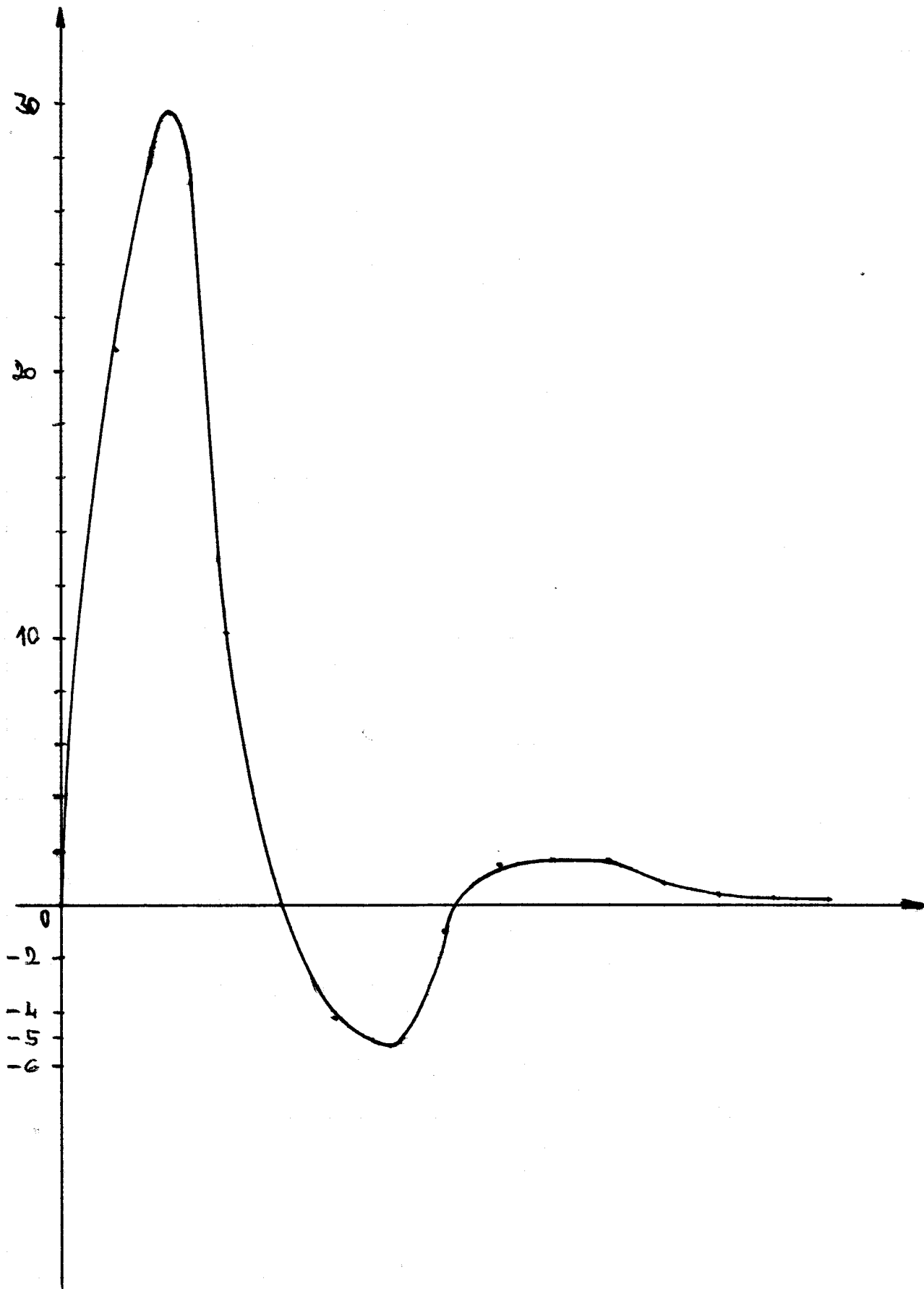


Obr. 15

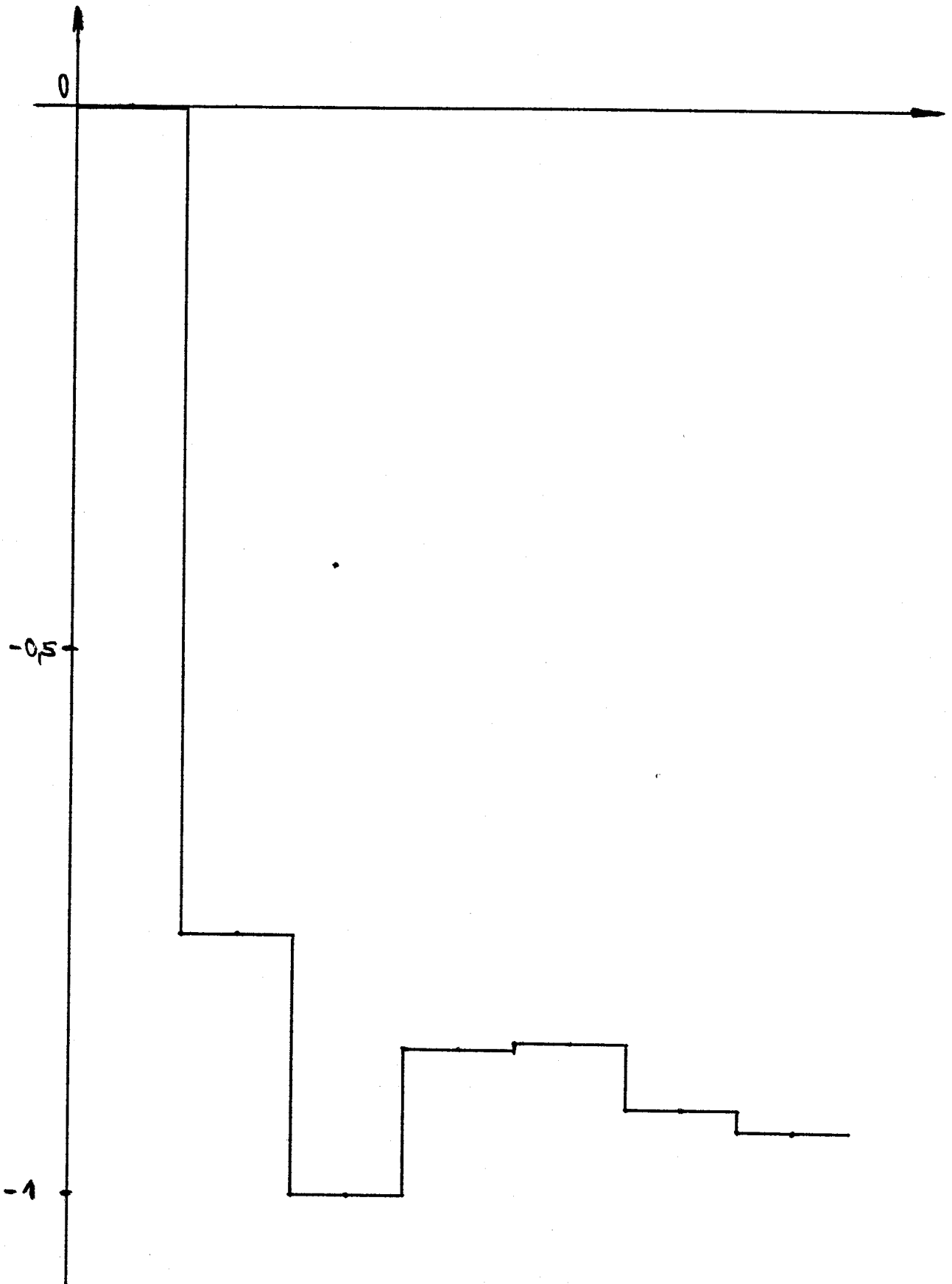




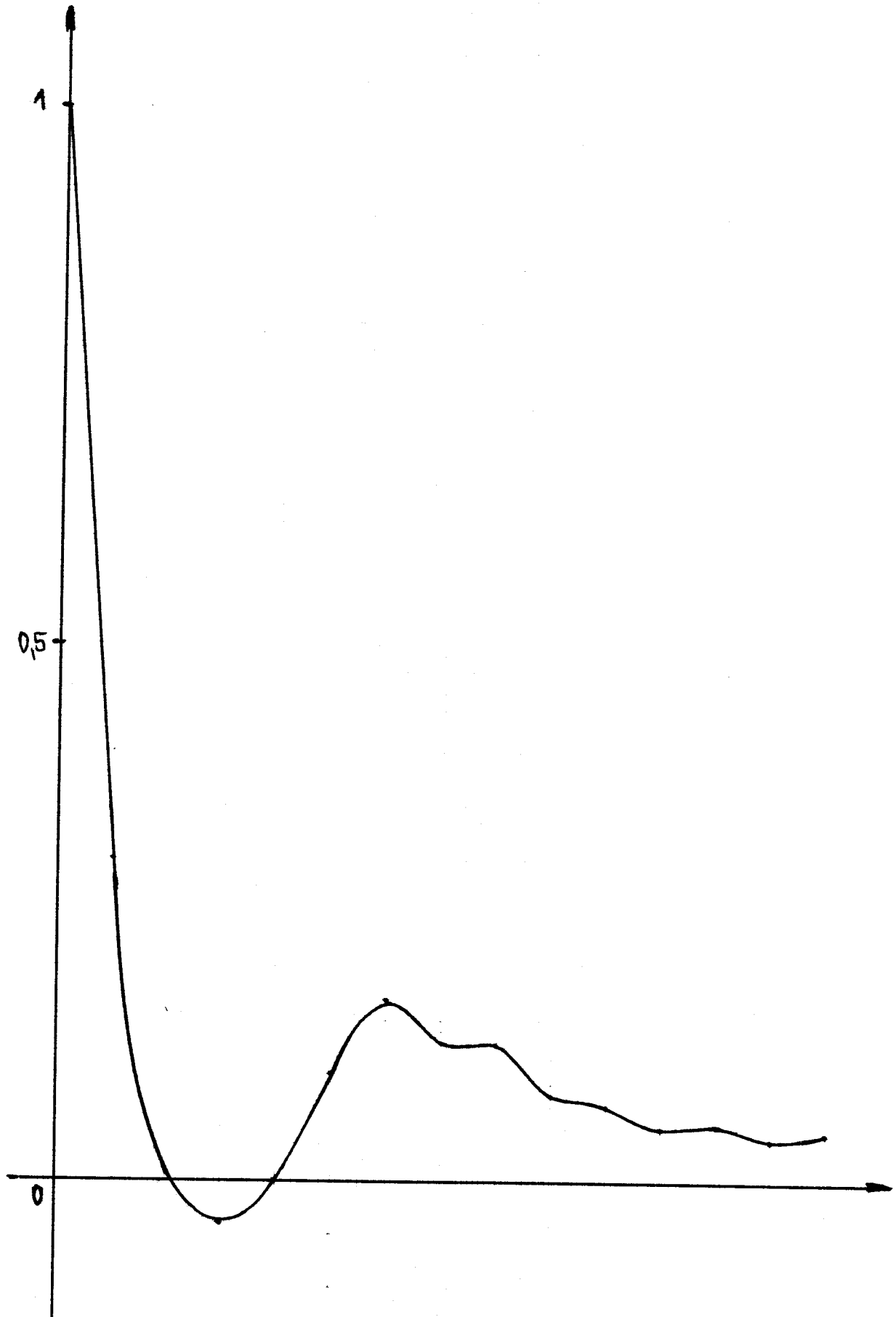
Obr. 17



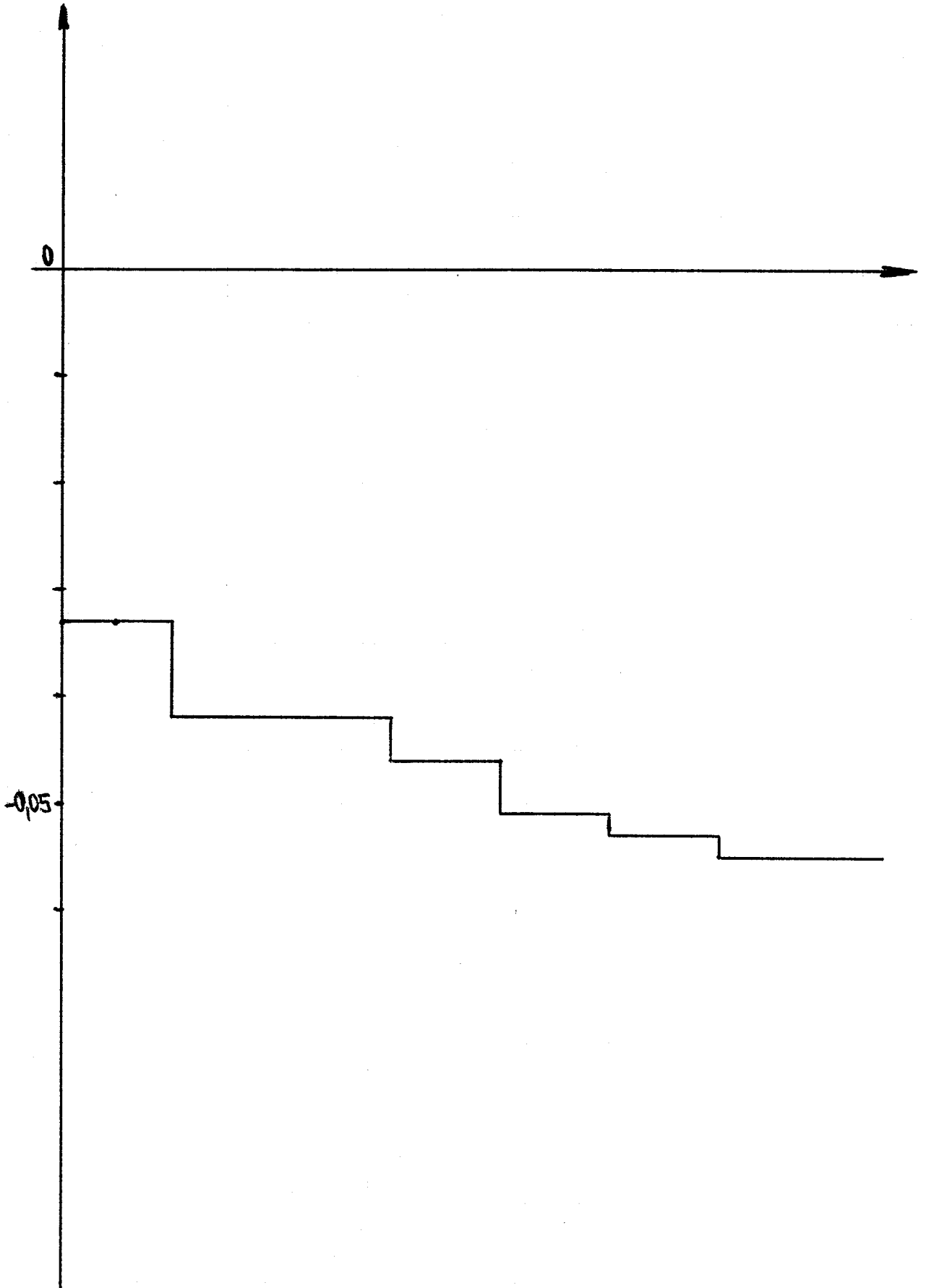
Obr. 18



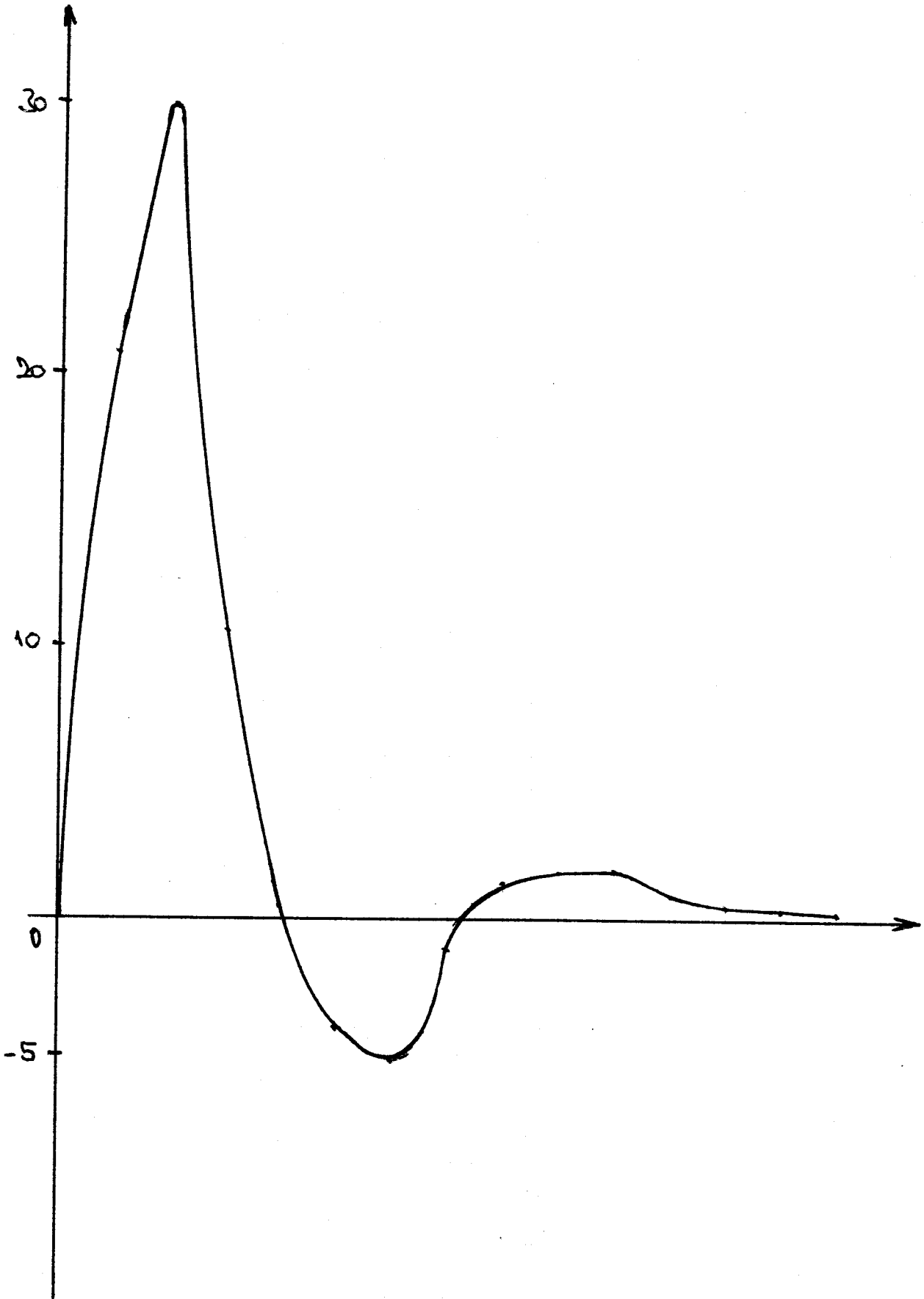
Obr. 19



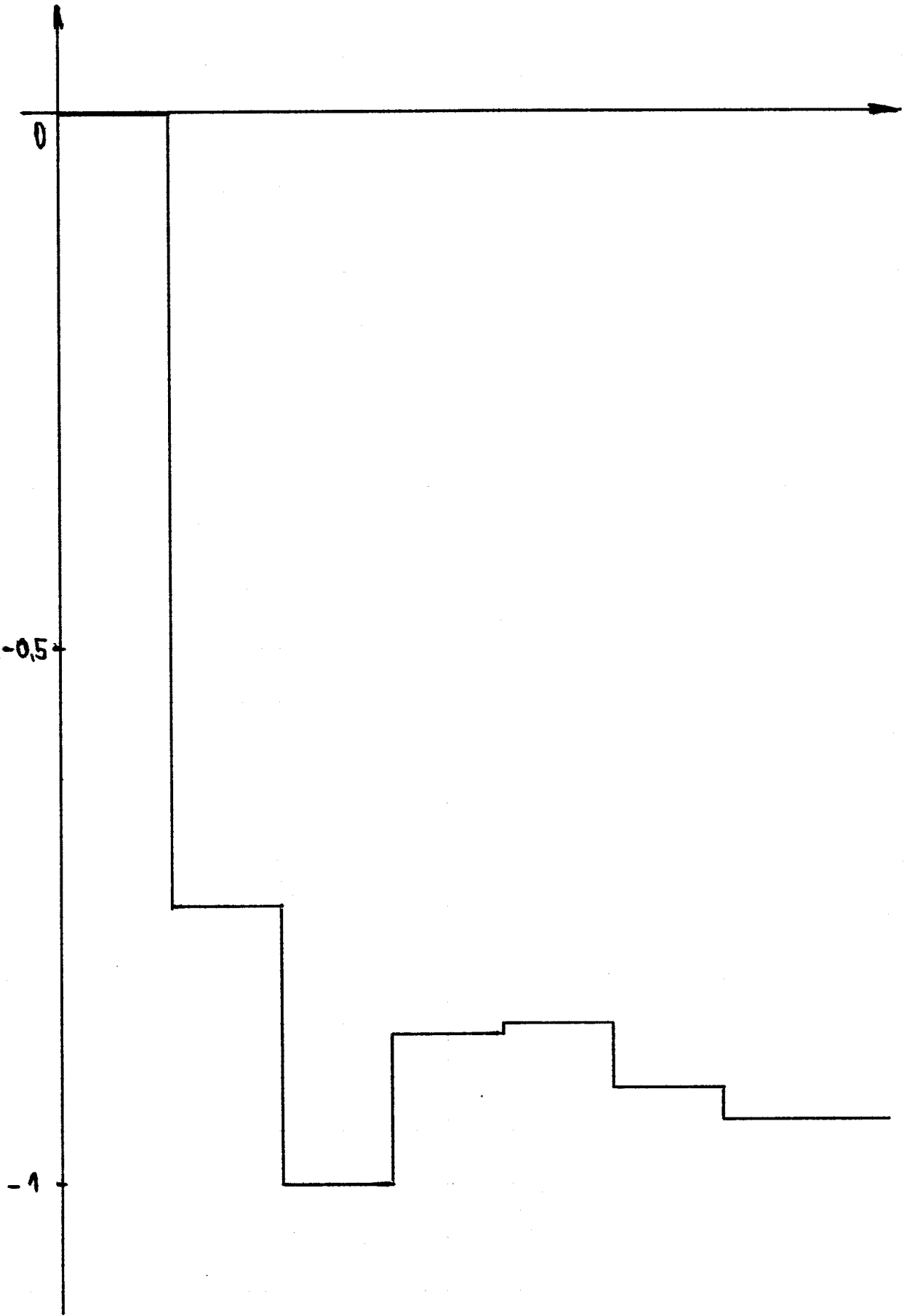
Obr. 20

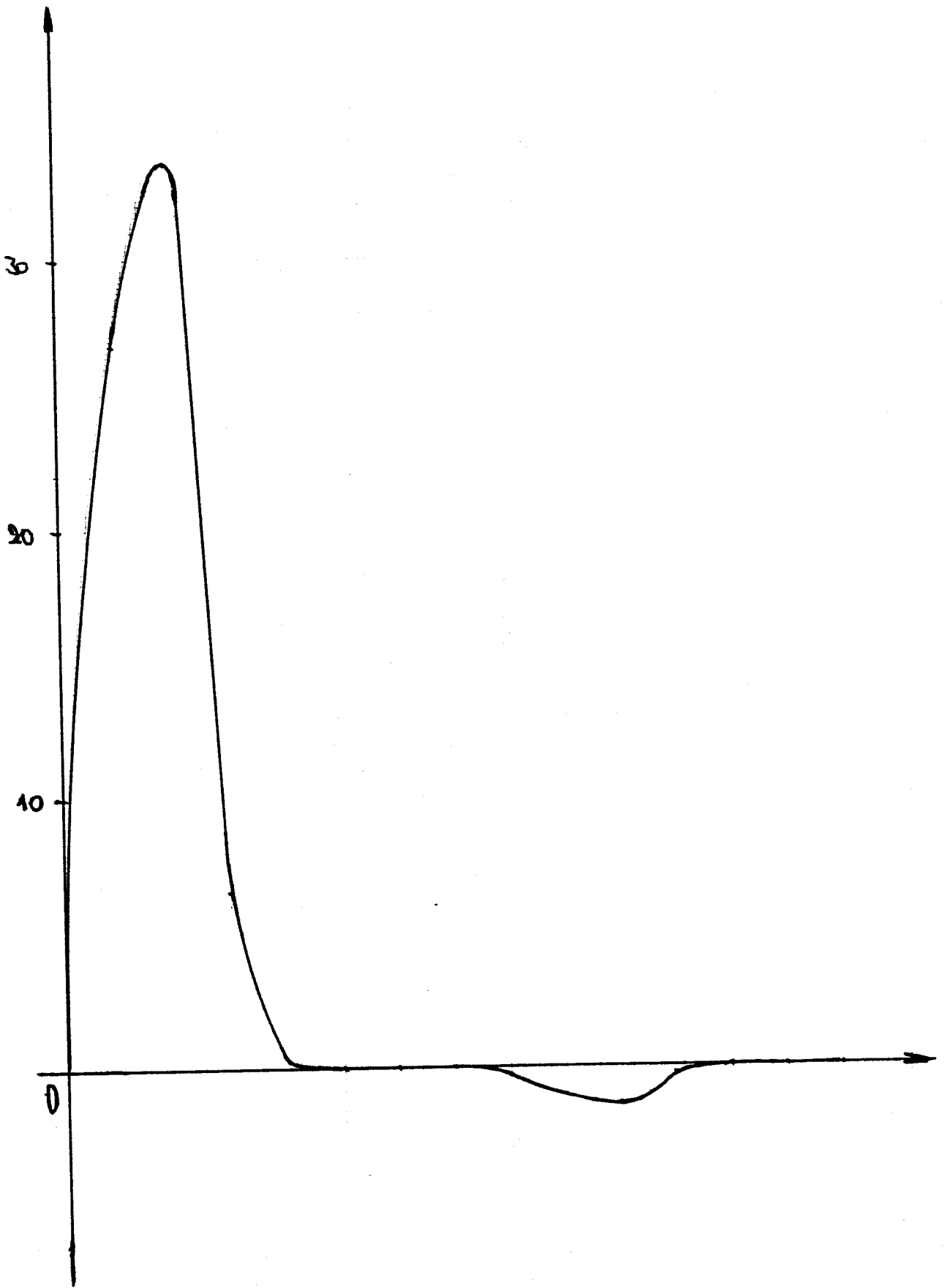


Obr. 21

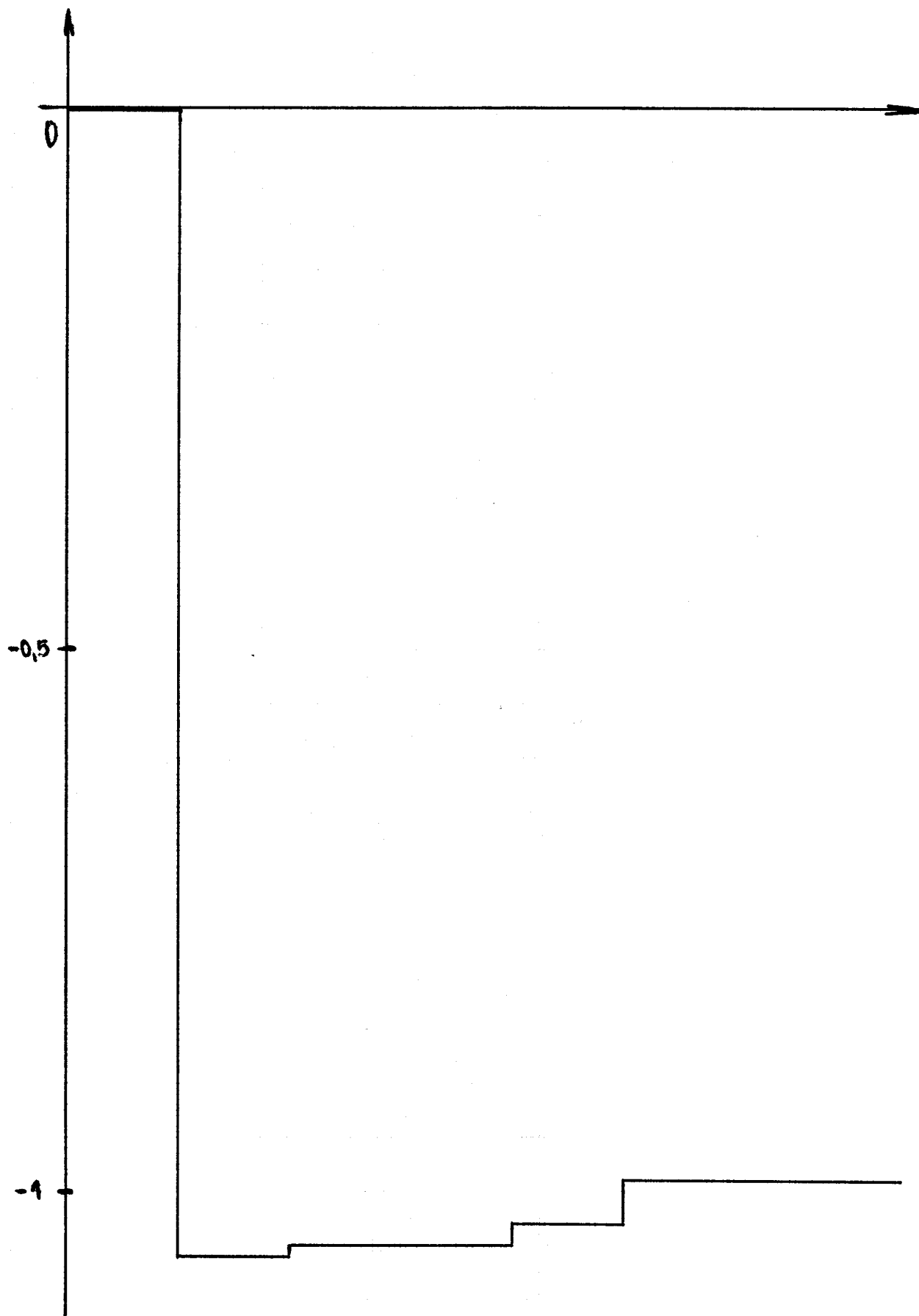


Обр. 22





Obr. 24



Obr. 25

