

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Radka R a d a č o v s k é h o
obor 23-21-8, zaměření balicí a polygrafické stroje

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: Dynamické poměry otočné kotvy relé ER5

Zásady pro vypracování:

Dynamické vlastnosti otočné kotvy relé ovlivňují podstatným způsobem vlastnosti celého relé. Cílem řešení je dynamické naladění systému. Proveďte:

1. Rozbor základních vlivů na dynamické poměry otočné kotvy
2. Návrh dynamického výpočtového modelu systému
3. Určení vstupních parametrů a orientační dyn. řešení
4. Návrh dynamického naladění systému
5. Návrh experimentálního ověření řešení
6. Ekonomické zhodnocení řešení

Do 20.12.1985 proveďte body 1 až 3.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEŘEC 1, STUDENTSKÁ 5
PSC 461 17

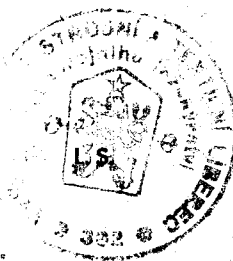
V74 / 86 S

Rozsah grafických prací: 2 x A3
Rozsah průvodní zprávy: 35 stran
Seznam odborné literatury:

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Štěpán Beneš, CSc.**

Datum zadání diplomové práce: 20.9.1985

Termín odevzdání diplomové práce: 23.5.1986




Doc. Ing. O. Krejčíř, CSc.
Vedoucí katedry


Doc. Ing. Ján Alaxin, CSc.
Děkan

v Liberci dne 25.9. 1985

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI
NOSITELKA ŘÁDU PRÁCE

FAKULTA STROJNÍ

Obor 23-21-08

Stroje a zařízení pro chemický, potravinářský
a spotřební průmysl

Zaměření

BALÍČÍ A POLYGRAFICKÉ STROJE
KATEDRA ČÁSTÍ STROJŮ A MECHANISMŮ

DYNAMICKE POMĚRY OTOČNÉ KOTVY RELÉ ER-5

RADEK RADAČOVSKÝ

Vedoucí práce: Doc. Ing. Štěpán Beneš, CSc. (VŠST Liberec)

Rozsah práce a příloh

Počet stran	44
Počet příloh a tabulek	3
Počet obrázků	12

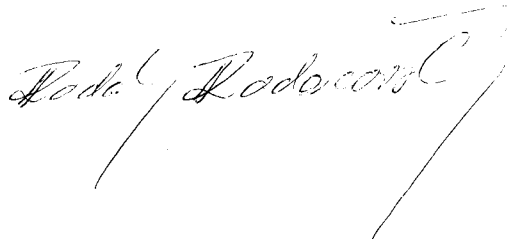
23. květen 1986

P r o h l á š e n í

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

V Liberci dne 23.5.1986

Radek R a d a č o v s k ý

A handwritten signature in cursive script, reading "Radek Radačovský", written over a horizontal line.

Děkuji vedoucímu diplomové práce s. Doc. Ing. Štěpánu Benešovi, CSc.
a svému konzultantovi z k.p. ZPA TRUTNOV s. Ing. Vladimíru Han-
čovi za rady, připomínky a pomoc, kterou mi s ochotou poskytl
v průběhu vypracování diplomové práce.

Úvod	7
2. Popis základních vlivů na dynamické poměry otočné kotvy relé ER-5	9
2.1. Všeobecný popis relé ER-5	9
2.2. Schéma a názvosloví relé ER-5	10
2.3. Konstrukční a provozní vlivy působící na dynamické vlastnosti kotvy	11
2.3.1. Vyšetřování vlivu elektromagnetické síly na dynamické vlastnosti otočné kotvy	11
2.3.2. Vyšetřování průběhu tangenciální složky elektromagnetické síly v závislosti na budí- cím proudu	14
2.3.3. Vyšetřování průběhu tangenciální složky elektromagnetické síly v závislosti na změně vzduchových mezer	15
2.3.4. Vyšetřování průběhu tangenciální složky elektromagnetické síly v závislosti na úhlu pootočení kotvy	15
2.3.5. Vyšetřování průběhu tangenciální složky elektromagnetické síly v závislosti na změně frekvence budícího proudu	16
2.4. Vliv direktivní pružiny	18
2.5. Vliv tlumícího bubínku	18
2.6. Vliv pevného klidového dorazu	22
2.7. Vliv pevného pracovního dorazu	22
3. Návrh dynamického výpočtového modelu	22
3.1. Předpoklady pro teoretický výpočet tlumení dynamického modelu	23

4. Orientační dynamické řešení a určení vstupních parametrů	26
4.1. Odvození pohybových rovnic při	27
4.2. Určení vstupních parametrů pohybových rovnic	30
5. Naladění systému a výpočet třecí síly	31
5.1. Obecný výpočet třecí síly	32
5.2. Výpočet třecí síly a hmotnosti třecího kroužku v závislosti na vypínacím čase t	33
5.3. Výpočet třecí síly a hmotnosti třecího kroužku v závislosti na frekvenci budícího proudu	34
5.4. Výpočet hmotnosti třecího kroužku v závislosti na součiniteli smykového tření	35
6. Návrh experimentálního ověření řešení	36
6.1. Návrh zapojení relé ER-5	37
6.2. Návrh zapojení měřicí aparatury SCHENK	39
6.3. Postup měření	43
7. Zhodnocení	44

1. Úvod

Hlavní směry hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR na léta 1986-1990 a výhled do roku 2000 vytýčené XVII. sjezdem KSČ trvale sledují zvyšování životní úrovně lidu, uspokojování hmotných a duchovních potřeb obyvatelstva na kvalitativně vyšším stupni a upevnění jeho životních a sociálních jistot. Zabezpečení tohoto cíle je základním článkem a úkolem dlouhodobé strategie, založené na urychlení sociálně ekonomického rozvoje cestou intenzifikace a efektivnosti společenské výroby.

Vytýčené směry úzce souvisí se základními cíli hospodářské a sociální politiky KSČ pro osmý pětiletý plán, k jehož splnění je nezbytné. Urychlit zavádění nejnovějších výsledků vědeckotechnického rozvoje do výrobní a společenské praxe. Snižovat energetickou náročnost národního hospodářství. Na všech úsecích národního hospodářství podstatně zlepšit hospodaření s kovy. Hlubším zapojením ČSSR do mezinárodní dělby práce, především do socialistické ekonomické integrace, dosáhnout rychlejšího růstu obrátu zahraničního obchodu než vytvořeného národního důchodu. Racionálně využívat zkušeností a dovedností pracujících s cílem zvýšení kvalifikace dle požadavků při zavádění nejnovějších poznatků vědy a techniky do praxe. Podstatně zlepšit využívání kapacit a základních prostředků. V závislosti na výsledcích dosažených v rozvoji ekonomiky pro upevnění socialistického způsobu života zabezpečit růst reálných příjmů obyvatelstva, rozšiřování a zkvalitnění nabídky zboží a služeb. Trvale zdokonalovat soustavu plánování a řízení národního hospodářství.

Rozhodujícím činitelem intenzifikace ekonomiky v osmém pětiletém plánu je vědeckotechnický rozvoj vycházející ze státních vědeckotechnických cílových programů, daných Komplexním programem vědeckotechnického pokroku členských zemí RVHP do roku 2000, a roz-

voj průmyslové výroby, která se má do roku 1990 zvýšit o 15 až 18 procent. Prvořadou pozornost v rozvoji průmyslové výroby je třeba věnovat struktuře výroby a jejímu efektivnímu využití, zejména k plnějšímu uspokojování požadavků vnitřního trhu, rozšíření efektivních dodávek pro vývoz a modernizaci výrobní základny při podstatném zvýšení kvality a technické úrovně výrobků a zabezpečení potřeb náhradních dílů. Využitím elektroniky v automatizovaných systémech řízení technologických procesů, zaváděním výroby vysoce automatizovaných obráběcích a tvářecích strojů s číslicovým programovým řízením, automatizovaných strojů a zařízení pro lehký a textilní průmysl, unifikovaných modulů průmyslových robotů a manipulátorů realizovat významné inovační programy.

Závody průmyslové automatizace (ZPA) Trutnov se snaží dosáhnout inovací svých výrobků lepších provozních vlastností svých výrobků a z toho plynoucích hospodářských výsledků. Jedním z mnoha inovačních programů je i inovace nadproudového relé ER-5, která je předmětem této diplomové práce.

Tato diplomová práce se zabývá teoretickým návrhem tlumení otočné kotvy relé ER-5 tak, aby vyhovovalo daným dynamickým a technickým požadavkům.

2. POPIS ZÁKLADNÍCH VLIVŮ NA DYNAMICKE POMĚRY OTOČNÉ KOTVY

RELÉ ER-5

2.1. VŠEOBECNÝ POPIS RELÉ ER-5

Relé ER-5 jsou speciální modifikace normálních nadproudových elektromagnetických relé pro střídavý proud. Připojuje se na měřicí transformátor proudu. Velikost rozběhového proudu je nařiditelná.

Vlastní článek je upevněn v izolačním krytu s průhledným průčelím. Kryt je určen k montáži na panel. Víko krytu i kryt svorkovnice jsou plombované. Svorky pro připojení vnějších vodičů jsou zdířkového typu s příložkou. Elektromagnetický článek se skládá z magnet. obvodu budící cívky, otočné kotvy s tlumícím bubínkem, kontaktního svazku s inverzně ovládaným rozpínacím kontaktem, direktivní pružiny a kozlíku se štítkem a knoflíku k nastavení žádané hodnoty budícího proudu. Cívka je dvouvinutová. Vinutí se přepíná do série nebo paralelně spojovacími můstky na svorkovnici, která je součástí článku. Na štítku je udán celkový rozsah proudové nařiditelnosti.

RELÉ PRACUJE TAKTO:

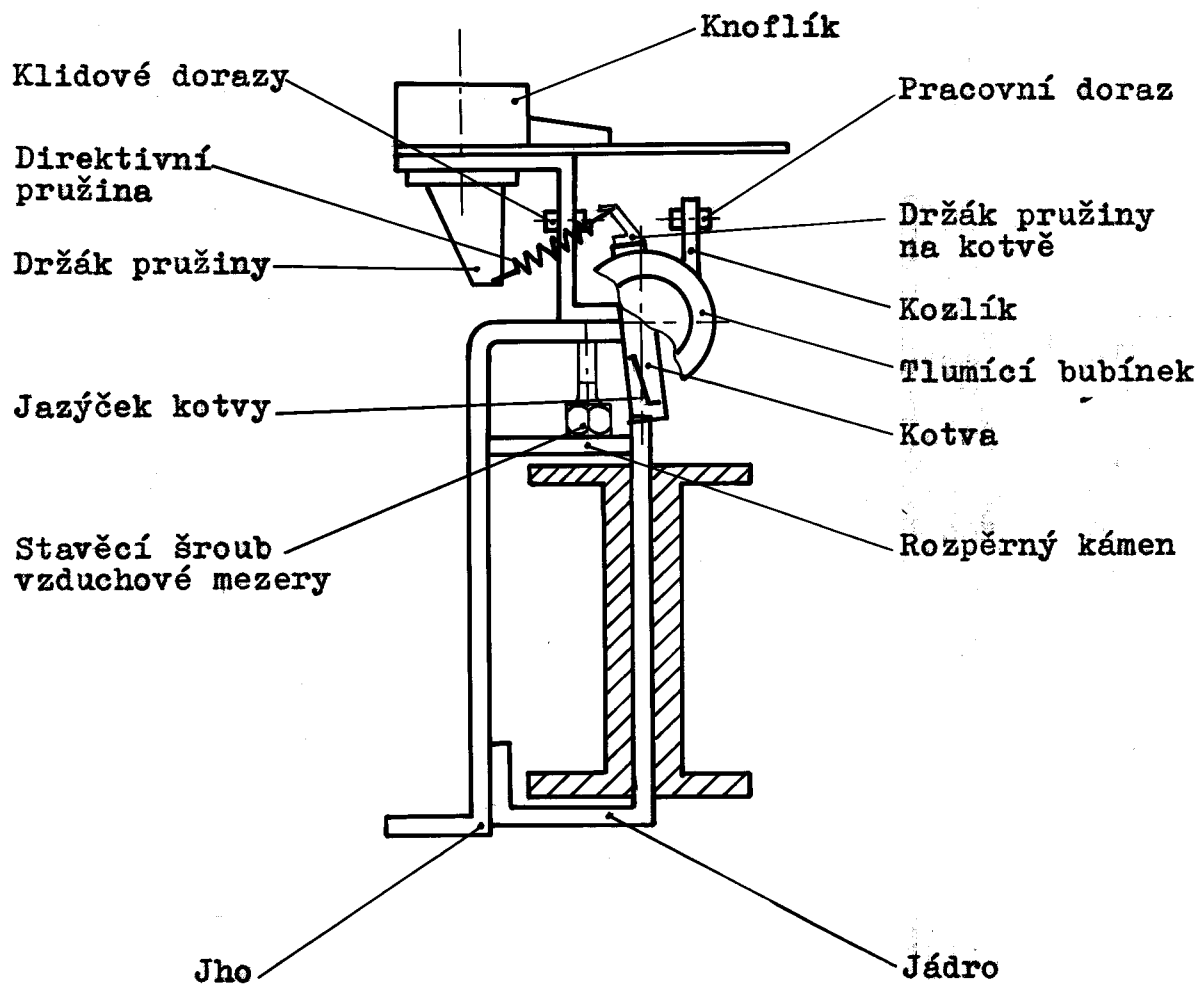
Zvyšuje-li se budící proud, elektromagnetická síla působící na otočnou kotvu se zvyšuje, až překoná sílu direktivní pružiny a kotva přejde z klidové polohy do pracovní. Jazyček připevněný na otočné kotvě rozepne kontakt, čímž zajistil pracovní obvod proti přetížení. Sníží-li se budící proud, elektromagnetická síla poklesne až na hodnotu, kdy je překonána silou direktivní pružiny a kotva přejde z pracovní polohy do klidové, přičemž dojde k sepnutí rozepnutého kontaktu. Poměr proudu odpadu ku proudu náběhu je přídržný poměr.

POUŽITÍ RELÉ:

Relé ER-5 je nadproudové měřicí relé určené k jištění elektrických

žaráženi při přetížení nebo při zkratu. Používá se zejména jako relé sekundární připojené na měřicí transformátory proudu. Pro správnou funkci relé jsou důležité pracovní podmínky (vlhkost, poloha relé, teplota atd.).

2.2. SCHEMA A NÁZVOSLOVÍ RELÉ ER-5



2.3. KONSTRUKČNÍ A PROVOZNÍ VLIVY PŮSOBÍCÍ NA DYNAMICKÉ VLASTNOSTI KOTVY

Na dynamické vlastnosti otočné kotvy má vliv mnoho činitelů, ať už konstrukčních, či provozních. Vliv provozních činitelů můžeme vyloučit, neboť předpokládáme správnou montáž relé a předepsané pracovní podmínky.

Z hlediska konstrukčního lze také některé činitele vyloučit, a to z důvodu jejich nepatrného vlivu na dynamiku otočné kotvy (např. vůle a tření osičky otočné kotvy, odpor pružného kontaktu při rozeptnutí, váha jazýčku, tření padáčku při otáčení kotvy).

Za těchto předpokladů mezi činitele zásadně ovlivňující dynam. poměry kotvy patří:

- 1) elektromagnetická síla cívky přitahující kotvu F_I
- 2) síla direktivní pružiny F_1
- 3) třecí moment v tlum. bubínku M_T
- 4) pevný klidový a pracovní doraz.

2.3.1. Vyšetření vlivu elektromagnetické síly (F_I) na dynamické vlastnosti otočné kotvy relé

Elektromagnetická síla cívky (F_I) je jeden z nejvíce ovlivňujících činitelů, majících vliv na dynamické poměry otočné kotvy relé. Překonává sílu direktivní pružiny a přitahuje otočnou kotvu do pracovní polohy. Velikost síly při přitažení kotvy do polohy proti pólu cívky můžeme vyjádřit vztahem:

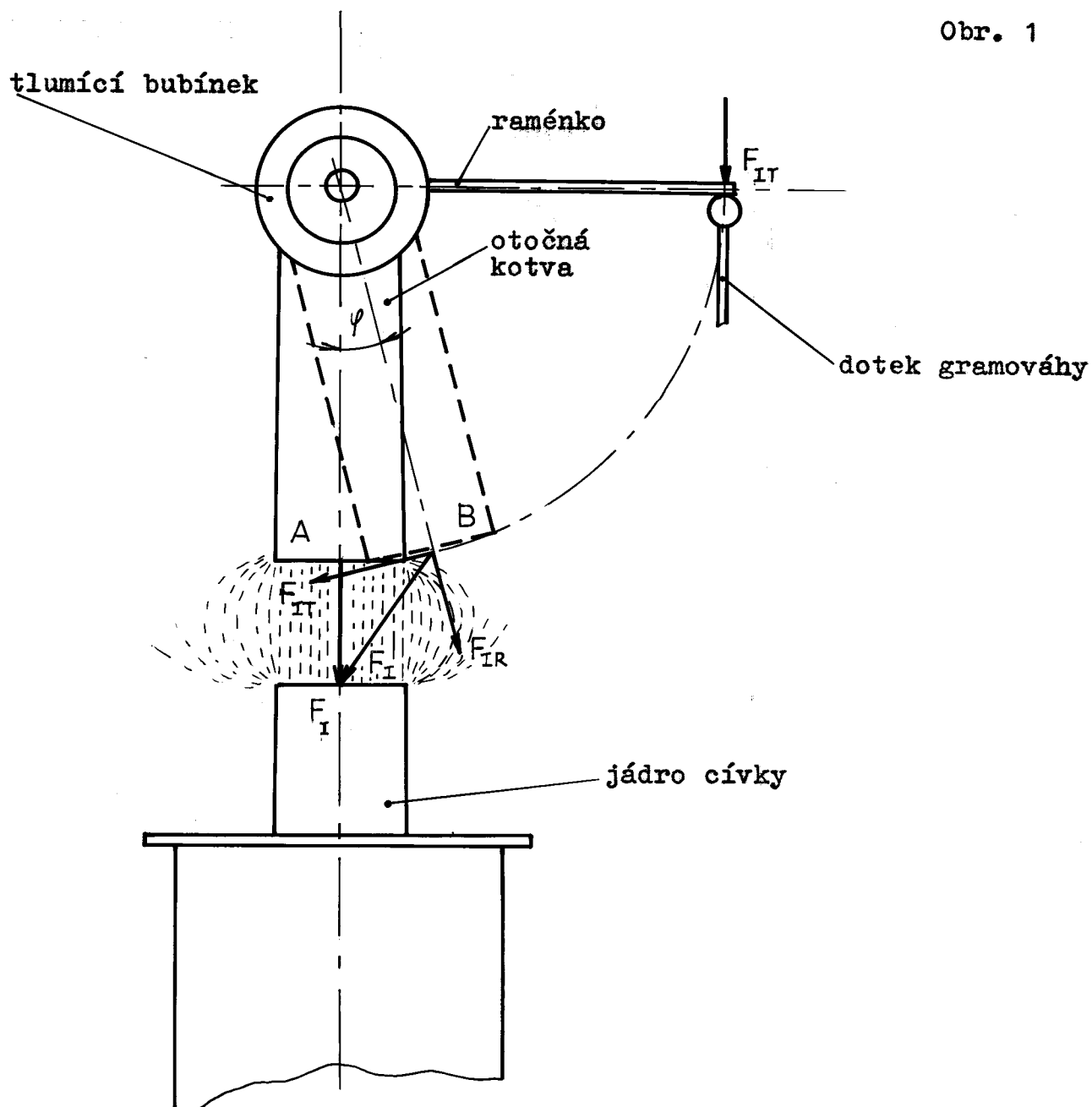
$$F_I = \frac{1}{2} \frac{B^2 \cdot S}{\mu_0 \cdot \mu_r} \quad /N/ \quad (1)$$

B..... magnetická indukce /T/

S..... plocha pólů /m²/

μ_0 permeabilita vakua /Hm⁻¹/

μ_r poměrná permeabilita



Vyjádření magnetické indukce cívky:

$$B = \frac{\Phi}{S_1} \quad /T/$$

(2)

Φ indukční tok /Wb/

S_1 průřez jádra cívky /m²/

Vyjádření indukčního toku:

$$\Phi = \frac{L \cdot I}{N} \quad /Wb/ \quad (3)$$

L indukčnost cívky /H/

I proud protékající cívkou /A/

N Počet závitů cívky

Vyjádření indukčnosti cívky:

$$L = \frac{N^2}{R_m} \quad /H/ \quad (4)$$

R_m celkový magnetický odpor obvodu $/H^{-1}/$

Dosazením těchto vztahů do vztahu (1) pro výpočet elektromagnetické síly a jeho upravením dostaneme:

$$F_I = \frac{1}{2} \frac{N^2 \cdot I^2}{R_m^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot S} \quad (5)$$

Hodnoty některých členů tohoto vztahu jsou během provozu neměnné a velikost elektromagnetické síly neovlivňují (N, μ_0, μ_r, S). Z toho plyne, že velikost elmag. síly je závislá na proudu protékajícím cívkou (I) a velikostí mag. odporu (R_m).

Celkový mag. odpor obvodu lze vyjádřit vztahem $R_m = R_{mF} + R_{mV}$, kde R_{mF} = magnetický odpor železa a R_{mV} = mag. odpor vzduchové mezery.

R_{mF} je konstantní a R_{mV} lze vyjádřit vztahem $R_{mV} = \frac{1}{\mu_0} \frac{l}{S}$,

kde δ představuje velikost vzduchové mezery mezi kotvou a póly cívky, která se mění v závislosti na úhlu pootočení kotvy (φ) nebo přímo jejím nastavením pomocí podložek.

Velikost elmg. síly a tím dynamické vlastnosti kotvy lze tedy ovlivnit

- 1) velikostí budícího proudu
- 2) velikostí vzduchových mezer
- 3) velikostí úhlu pootočení kotvy
- 4) velikostí frekvence budícího proudu

2.3.2. Vyšetření průběhu tangenciální složky elektromagnetické síly (F_I) v závislosti na budícím proudu (I)

Přímé změření elmag. síly je velice obtížné, proto bylo využito toho, že elmag. síla se při vychýlení z polohy A do B, viz obr. 1, rozkládá na složku radiální F_{IR} a tangenciální F_{IT} . Jejich vzájemný poměr se při změně úhlu φ mění.

Všechna měření síly byla provedena pomocí gramováhy, která měřila sílu kolmou na raménko, viz obr. 1, tzn. tangenciální složku elmag. síly.

Měření bylo provedeno na relé ER-5, které bylo bez dorazů a direkční pružiny, velikost přední mezery - p.m. = 0,45 mm, zadní mezery - z.m. = 0,35 mm.

K měření byla použita gramováha s raménkem $l = 22$ mm. V prvním případě bylo relé buzeno proudem $I = 1$ A, ve druhém případě $I = 2$ A. Při zvětšení budícího proudu došlo k zestržení průběhu elmg. síly a zvětšení hodnoty náběhu i odpadu. Velikost síly se zvětšila přibližně 3 x a její průběh byl zanesen do grafu č. 1.

2.3.3. Vyšetření průběhu tangenciální složky elektromagnetické síly v závislosti na změně vzduchových mezer

Magnetický obvod Relé ER-5 se uzavírá přes dvě vzduchové mezery (přední a zadní). Celkový magnetický odpor (R_m) se skládá z mag. odporů vzduchových mezer (R_{mV}) a mag. odporu cívky (R_{mF}), tj. $R_m = 2R_{mV} + R_{mF}$. Magnetický odpor vzduchové mezery se vypočte dle vzorce $R_{mV} = \frac{1}{\mu_0} \frac{l}{S}$ (l - velikost vzduchové mezery), z něhož je patrné, že při zmenšení vzdálenosti jádra cívky od kotvy klesne mag. odpor vzduchové mezery a tím celkový mag. odpor. To se projevilo zvýšením a zestrmením průběhu elmg. síly, snížením hodnoty náběhu a odpadu a změnou přídržného poměru směrem od 1. Měření bylo provedeno stejným způsobem jako v předchozím případě a zaneseno do grafu č. 1. Při měření byla přední mezera relé z předchozího měření (p.m.) zmenšena na 0,2 mm.

2.3.4. Vyšetření tangenciální složky elektromagnetické síly v závislosti na úhlu pootočení kotvy

Matematické vyjádření síly F_{IT} v závislosti na úhlu natočení nelze přesně určit, protože není možné přesně postihnout všechny veličiny, které se při pohybu mění. Proto byly průběhy tangenciálních složek nejdříve zjištěny měřením a potom nalezeny příslušné funkce síly v závislosti na úhlu pootočení kotvy (φ).

Průběhy tangenciálních složek síly F_I v závislosti na úhlu natočení byly měřeny na relé s různě nastavenými parametry pomocí gramováhy s ramenem $l = 22$ mm a zaneseny do grafu č. 1. Relé bylo bez dorazů. Matematické vyjádření funkce závislosti síly F_{IT} na úhlu φ , tj. $F_{IT} = F_{IT}(\varphi)$ bylo nalezeno aproximací naměřených průběhů zanesených do grafu č.1, a to metodou nejmenších čtverců.

Výsledky aproximace:

Pro parametry relé (1A; p.m. = 0,2 mm; z.m. = 0,35 mm)

$$F_{IT}(\varphi) = (0,55835) + (1,62165)\varphi - (0,1009)\varphi^2$$

Pro parametry relé (2A; p.m. = 0,45 mm; z.m. = 0,35 mm)

$$F_{IT}(\varphi) = (-1,37378) + (3,64977)\varphi - (0,204673)\varphi^2$$

Pro parametry relé (2A; p.m. = 0,2 mm; z.m. = 0,35 mm)

$$F_{IT}(\varphi) = (-2,49207) + (5,22229)\varphi - (0,303846)\varphi^2$$

2.3.5. Vyšetření průběhu tangenciální složky elektromagnetické síly v závislosti na změně frekvence budícího proudu

Měření bylo provedeno pomocí gramováhy s ramenem $l = 22$ mm.

Relé bylo bez dorazů. Průběh síly zaznamenán do grafu č. 2.

Z grafu č. 2 je patrné, že při zvyšování frekvence se elmg. síla zmenšuje. Je to způsobeno a) ztrátami vířivých proudů

b) zvyšováním impedance cívky

ad a) ztráty vířivých proudů

- lze vyjádřit vztahem $P = C \frac{1}{\oint} (B_m f a)^2 G$, který dokazuje, že se zvyšující se frekvencí ztráty rostou.

$\oint$ měrný odpor železa / Ω m/

B_m amplituda magnetické indukce /T/

f kmitočet /Hz/

a tloušťka plechů /m/

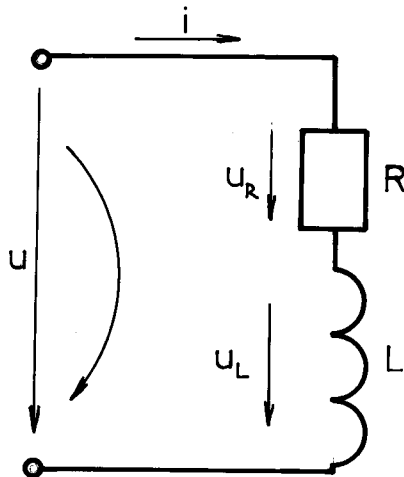
G váha železa magnetického obvodu /kg/

C konstanta materiálu

ad b) zvyšování impedance cívky

- elmg. síla cívky je závislá na proudu, který cívkou prochází.

Se zvyšující se frekvencí se impedance cívky zvětšuje a dle Ohmova zákona snižuje proud protékající cívkou. Podle obr. 2, který představuje model skutečné cívky s vlastním odporem R a indukčností L platí:



Obr. 2

$$u_R + u_L - u = 0$$

(a)

Při použití komplexní metody lze napsat

$$\bar{u} = U_m \cdot e^{j\omega t}$$

$$\bar{i} = I_m \cdot e^{j\omega t}$$

Dosazením do rovnice (a)

$$R\bar{I}_m e^{j\omega t} + j\omega L\bar{I}_m e^{j\omega t} - \bar{U}_m e^{j\omega t} = 0$$

$$R\bar{I}_m + jX_L\bar{I}_m = \bar{U}_m$$

$$R\bar{I} + jX_L\bar{I} = \bar{U}$$

$$\bar{I} = \frac{\bar{U}}{R + jX_L} = \frac{\bar{U}}{R + j\omega L}$$

- vyjádření velikosti protékajícího proudu cívkou komplexně

Efektivní hodnota proudu

$$I = \sqrt{\frac{U^2 (R^2 + X_L^2)}{(R^2 + X_L^2)^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (2\pi f)^2 L^2}}$$

Z výsledku rovnice je patrné, že se zvyšující se frekvencí impedance cívky roste.

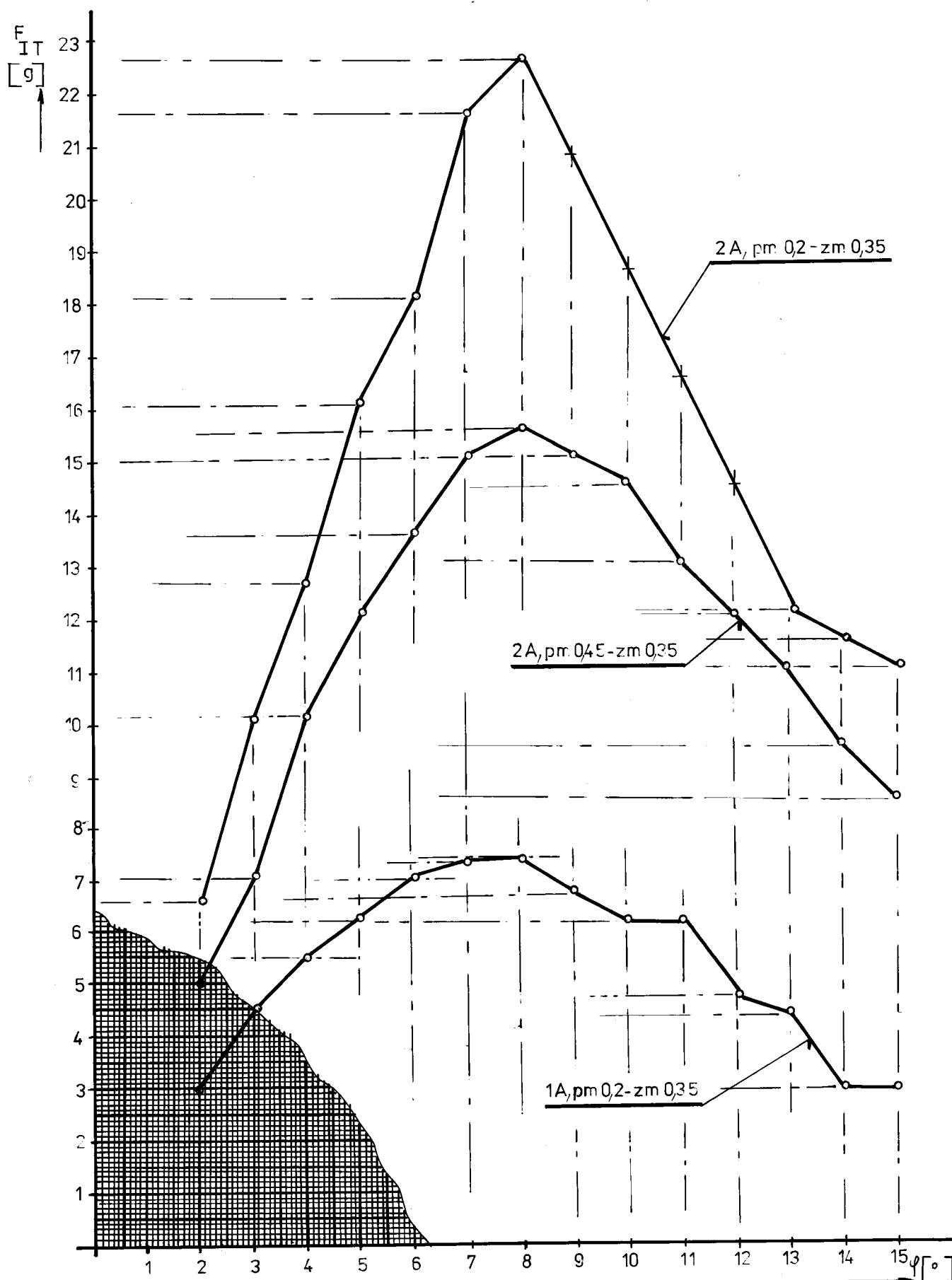
2.4. Vliv direktivní pružiny

Pružina je jedním koncem připevněna na otočné kotvě a druhým na držáku otočného knoflíku. Při otočení knoflíku se změní síla direktivní pružiny a tím se nastaví velikost proudu, který je nutný pro vyvolání tak velké elmg. síly, která překllopí kotvu do pracovní polohy překonáním síly direktivní pružiny. Při zvětšení předepnutí se zvětší direktivní síla a tím dojde ke zvýšení hodnoty náběhu i odpadu na začátku i na konci stupnice. Při zmenšení je tomu naopak. Tyto závislosti lze odečíst z grafu č. 1.

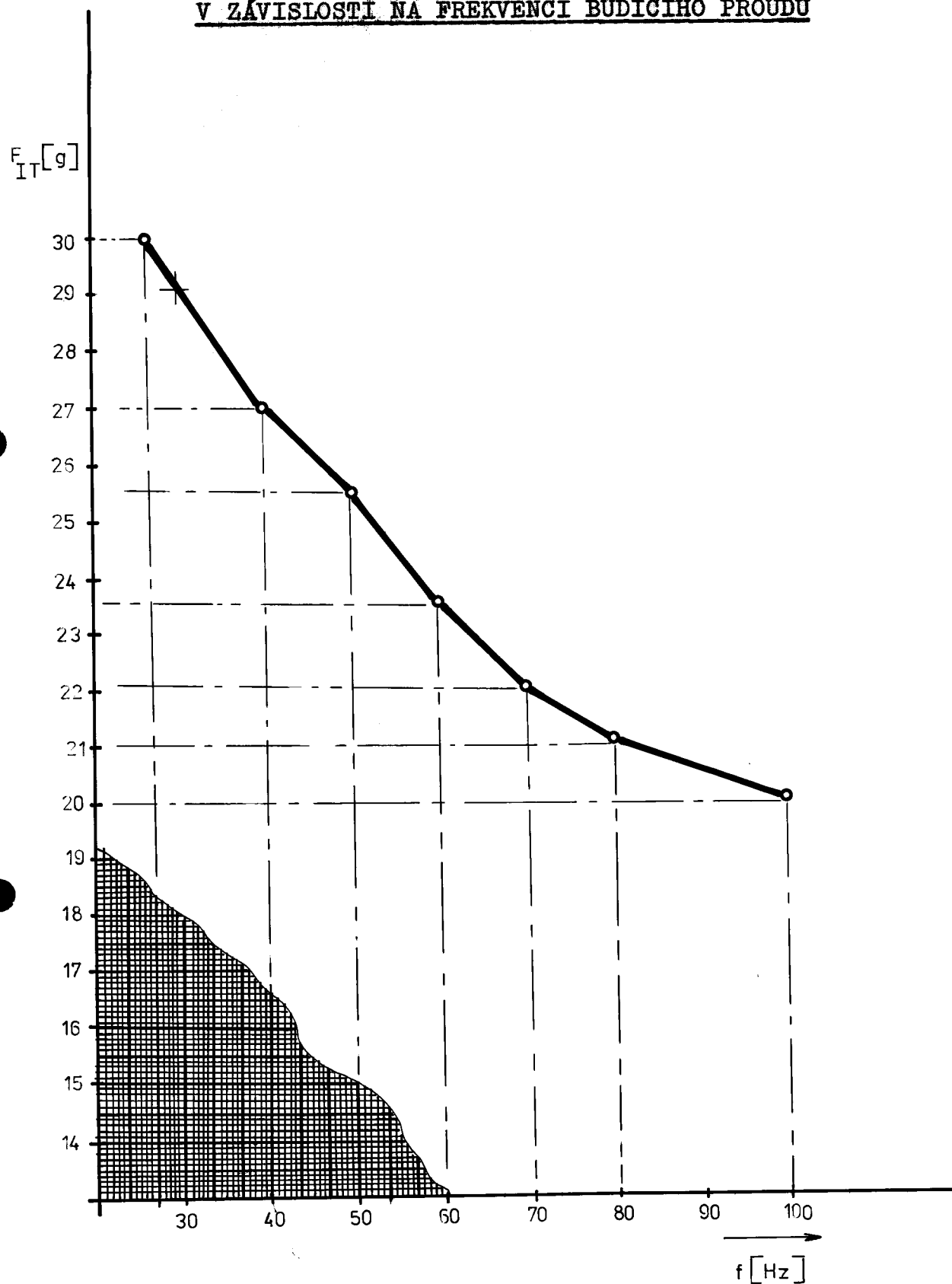
2.5. Vliv tlumícího bubínku

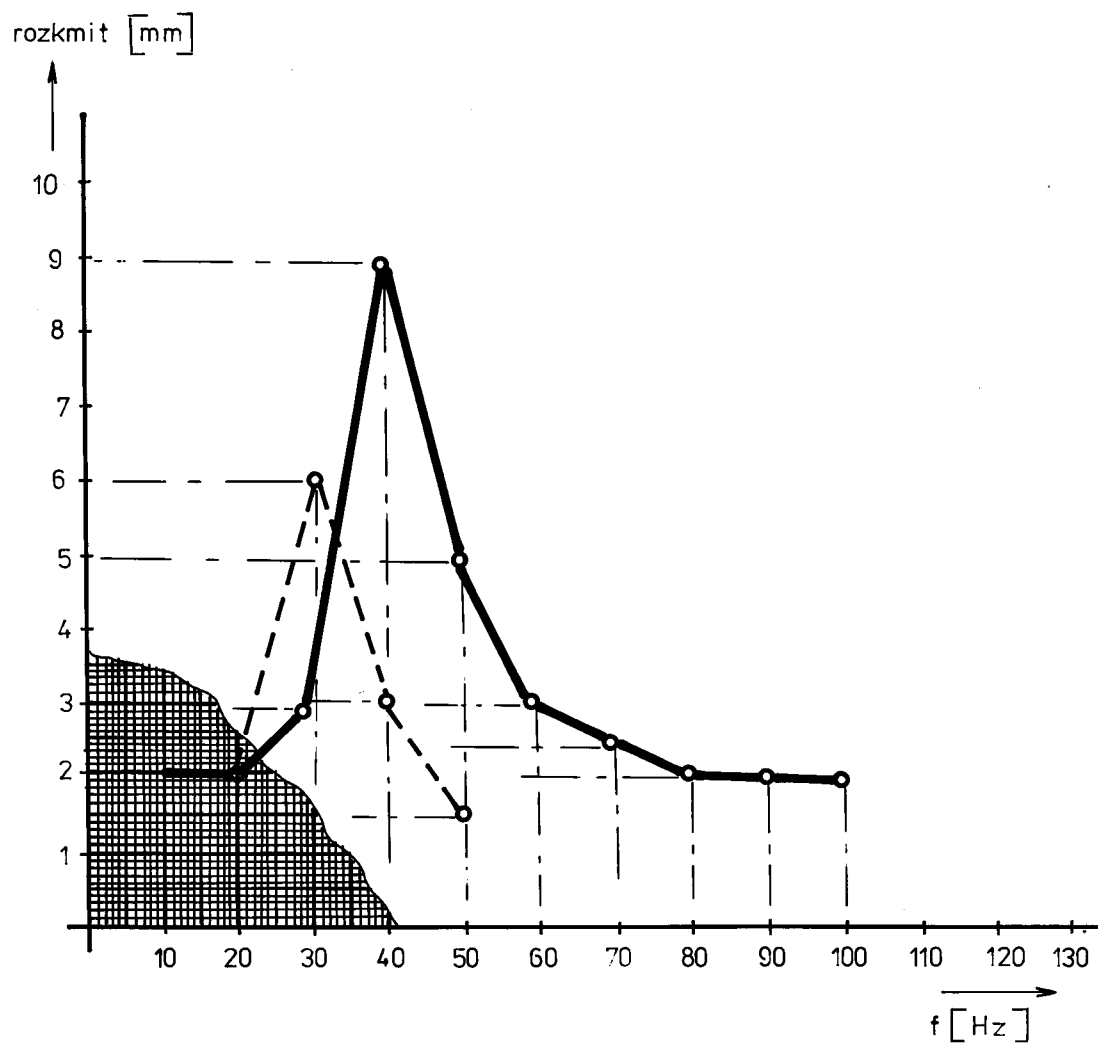
Funkcí tlumícího bubínku je tlumit rozkmit kotvy způsobený skokovou změnou budícího proudu. Při skokové změně budícího proudu je kotva tak rychle přitažena k jádru cívky, že dojde k jejímu překlopení až na pevný provozní doraz, od něhož se odrazí zpět. Je-li odraz příliš silný, tlumící bubínek není schopen ztlumit toto zakmitnutí na takovou hodnotu, aby nedošlo k sepnutí jistícího kontaktu, což je z hlediska jistící funkce relé nežádoucí. Vliv tlumícího bubínku na velikost rozkmitu a polohu rezonanční oblasti relé lze vyčíst z grafu č. 3.

PRŮBĚH TANGENCIÁLNÍ SLOŽKY ELMG SÍLY V ZÁVISLOSTI NA BUDÍCÍM
PROUDU, VELIKOSTI MEZER A POOTOČENÍ KOTVY (ÚHLU)



PRŮBĚH TANGENCIÁLNÍ SLOŽKY F_{IT} ELEKTROMAGNETICKE SÍLY
V ZÁVISLOSTI NA FREKVENCI BUDÍCÍHO PROUDU



ZÁVISLOST ROZKMITU KOTVY NA FREKVENCI BUDÍČÍHO PROUDU

— bez tlumení (buzeno 0,28 A)

--- s tlumícím bubínkem (buzeno 0,3 A)

2.6. Vliv pevného klidového dorazu

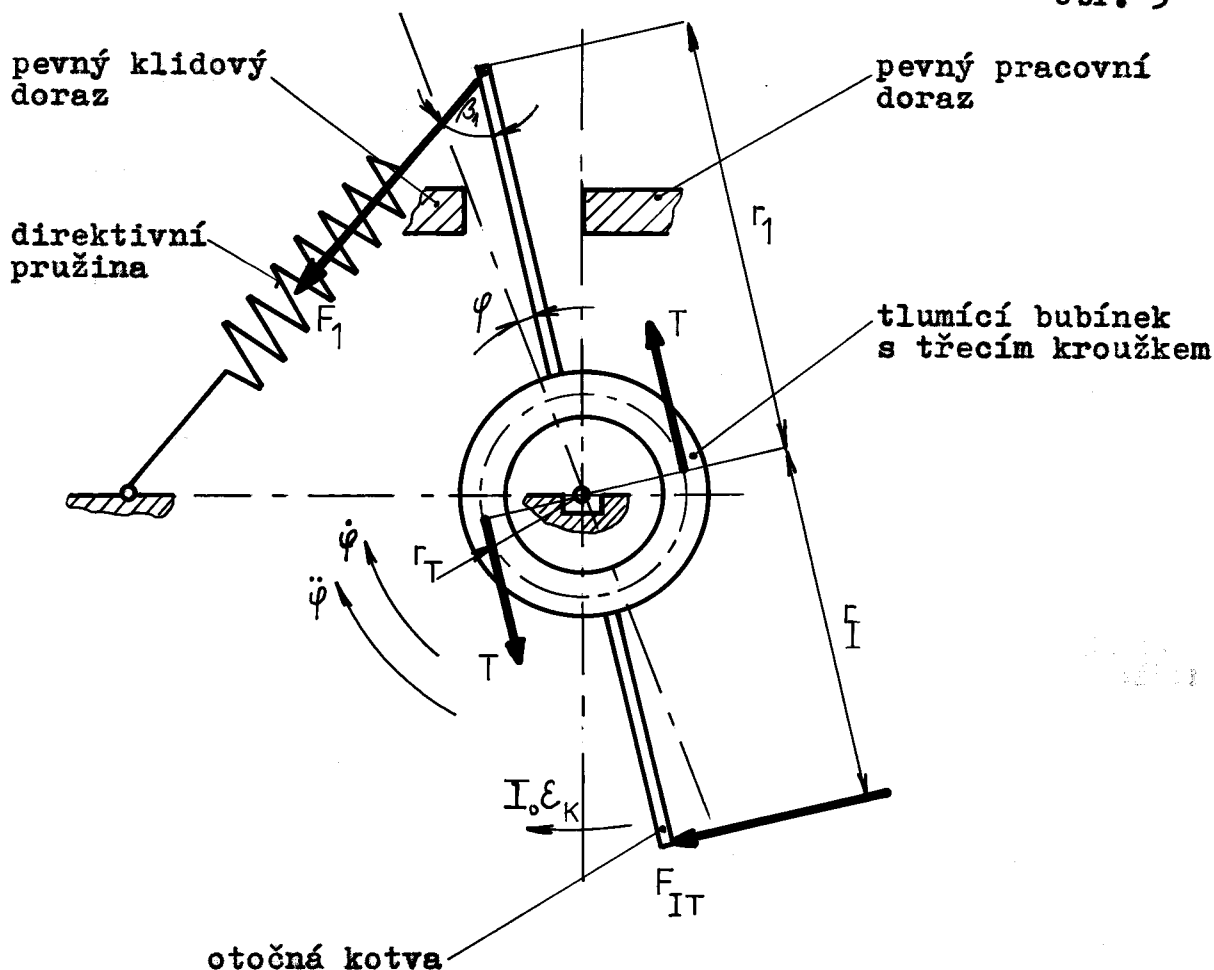
Zašroubováním dorazu se sníží hodnota náběhu a tím se změní i přídržný poměr směrem k 1 (zmenší se rozdíl mezi náběhem a odpadem). Zároveň se zmenší aktivní rozsah kotvy. Při vyšroubování dorazu je tomu naopak.

2.7. Vliv pevného pracovního dorazu

Doraz musí být seřízen tak, aby se při vypnutém kontaktu neobjevovaly vibrace na otočné kotvě. Největší vliv na dynamické poměry kotvy má doraz při skokové změně budícího proudu, kdy se kotva od něho odráží. Jeho materiál a provedení má velký vliv na rychlosti odrazu a velikost dráhy po odrazu.

3. NÁVRH DYNAMICKÉHO VÝPOČTU MODELU

Vlastní pohybové rovnice otočné kotvy relé ER-5 byly sestaveny pro zjednodušený dynamický model relé (obr. 3), kde jsou uvažovány a zakresleny pouze síly zásadně ovlivňující dynamické poměry otočné kotvy. Ostatní činitele nebyly uvažovány pro jejich nepatrný vliv na dynamické poměry kotvy, dále proto, že parametry k jejich určení nejsou přesně známy a jejich určení je experimentálně náročné.



Popis sil a parametrů schematu

F_1 síla od direktivní pružiny /N/

F_{IT} tangenciální složka elmg. síly /N/

T třecí síla /N/

r_T poloměr působení třecí síly /m/

r_1 poloměr působení síly direktivní pružiny /m/

r_I poloměr působení tangenciální složky elmg. síly /m/

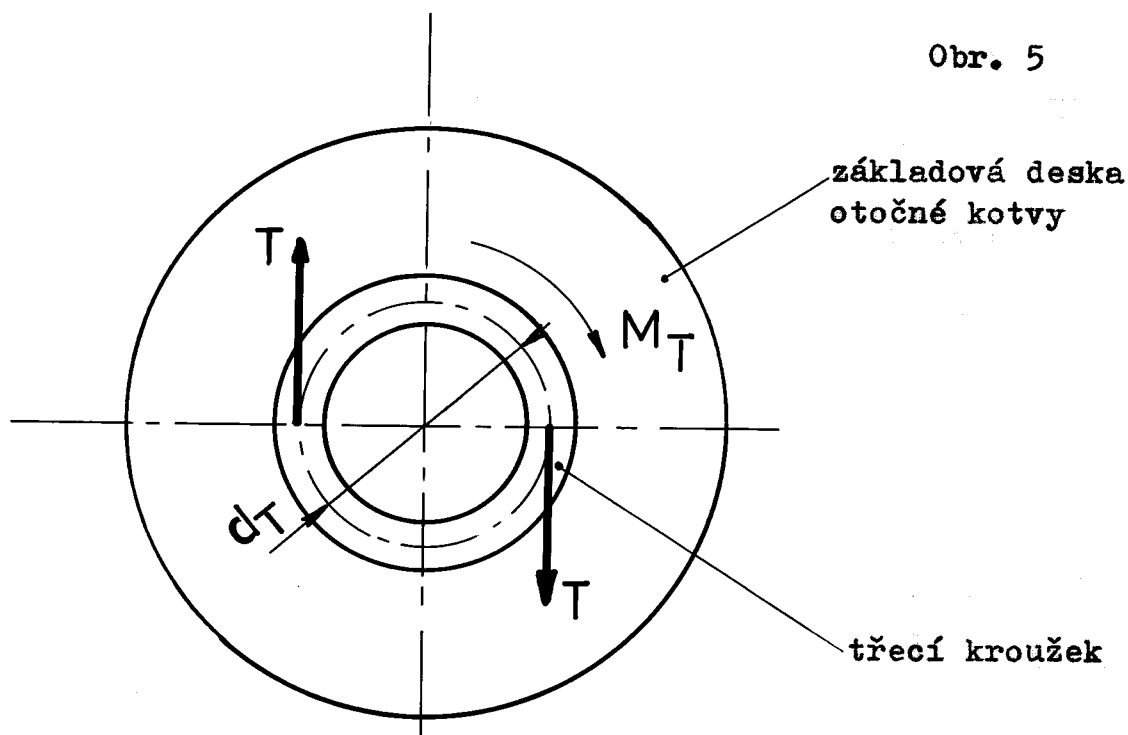
3.1. PŘEDPOKLADY PRO TEORETICKÝ VÝPOČET TLUMENÍ DYNAMICKÉHO MODELU

1) Předpokládáme, že pevný klidový a pracovní doraz je seřizen dle obr. 4

2) Pokud je relé seřizeno dle obr. 4, tak maximální úhel,

o který se může kotva pootočit, je 10° (od klidového dorazu k pracovnímu). Při tak malém pootočení považujeme úhel β_1 (viz obr. 3) za konstantní a roven 45° .

3) V tlumícím bubínku uvažujeme pouze jeden tlumící třecí kroužek a jeho celkový třecí účinek nahradíme třecím momentem M_T (viz obr. 5)



Platí: $M_T = 2 T r_T$

$$M_T = T d_T$$

d_T střední průměr tlumícího třecího kroužku /m/

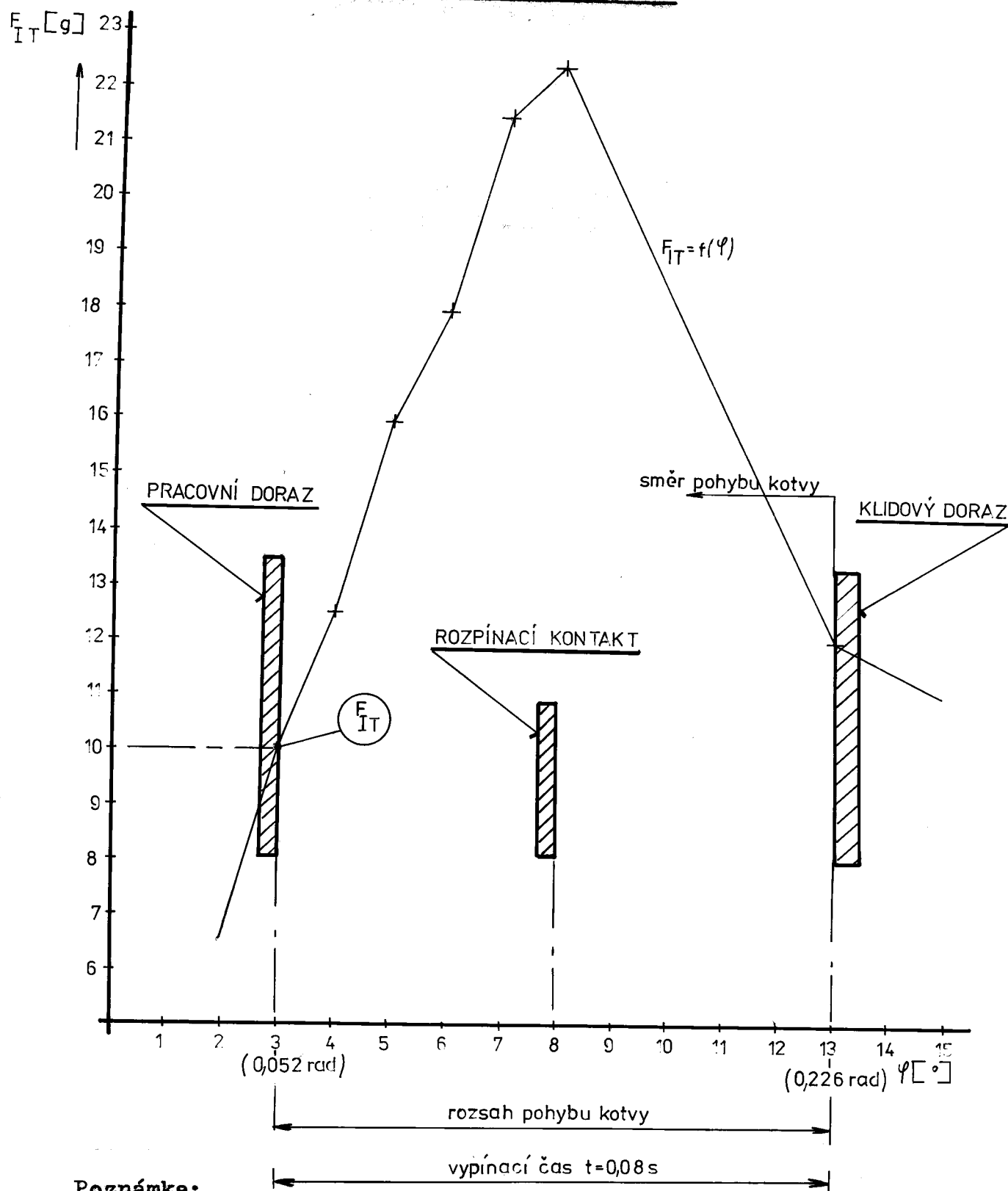
T třecí síla kroužku /N/

Pro třecí sílu T platí: $T = m g f$ /N/

m hmotnost kroužku /kg/

g gravitační zrychlení //m/s²//

f koeficient smykového tření

PŘEDPOKLÁDANÉ SEŘÍZENÍ RELÉ

Poznámka:

Při výpočtu třecí síly z podmínky $\dot{\varphi} = (0)$ na pracovním dorazu dosazujeme sílu $F_{IT} = 0,1$ N a vypínací čas $t = 0,08$ s, viz obr. 4.

4) Předpokládáme, že tangenciální složka elmg. síly F_{IT} je kolmá na kotvu v jakékoliv poloze kotvy.

5) tangenciální složku F_{IT} považujeme jako harmonicky proměnnou budící sílu ve tvaru $F_{IT} = F_I \sin \omega t$.

4. ORIENTAČNÍ DYNAMICKE ŘEŠENÍ A URČENÍ VSTUPNÍCH PARAMETRŮ

Při pohybu otočné kotvy se tlumicí účinek bubínku projeví jen za určitých podmínek.

K prosmyku třecího kotoučku v bubínku a tedy k tlumení dojde tehdy, když zrychlení kotvy při pootáčení bude tak velké, že dojde k překonání kritické třecí síly, která ještě stačila udržet třecí kroužek bez prokluzu s kotvou.

Z obr. 3 musí platit:

$$I_O \varepsilon_K \geq T d_T$$

$$\varepsilon_K \geq \frac{m_K g f d_T}{I_O} \quad / \text{rad s}^{-2} /$$

I_O moment setrvačnosti kotvy /kg m²/

..... zrychlení kotvy /rad s⁻²/

m_K hmotnost kroužku /kg/

f součinitel smykového tření

Při pohybu kotvy mohou nastat dva případy tlumení:

1) zrychlení kotvy je menší než zrychlení kritické $\varepsilon_K < \varepsilon_{\text{krit}}$
a k prosmyknutí třecího kotoučku vůbec nedojde. Kotouček je unášen společně s kotvou (kotva není tlumena)

2) zrychlení kotvy je větší než zrychlení kritické $\varepsilon_K > \varepsilon_{\text{krit}}$
a dojde k prosmyknutí kotoučku (kotva je tlumena)

Protože úkolem diplomové práce je teoretický návrh výpočtu tlumení, uvažujeme, že zrychlení kotvy je větší než zrychlení kritické $\varepsilon_K > \varepsilon_{\text{krit}}$.

4.1. ODVOZENÍ POHYBOVÝCH ROVNIC PŘI $\varepsilon \geq \varepsilon_{krit}$

Podle obr. 3

Pohybová rovnice

$$I_0 \ddot{\varphi} = F_I r_I \sin \omega t - F_1 r_1 \sin \beta_1 - T d_T \quad (1)$$

$$I_0 \ddot{\varphi} + c_1 \sin \beta_1 r_1^2 \varphi = F_I r_I \sin \omega t - T d_T / : I_0$$

$c_1 \dots \dots$ konstanta tuhosti pružiny $/N \cdot m^{-1}/$

$$\text{Zavedením } \frac{c_1 \sin \beta_1 r_1^2}{I_0} = \Omega_1^2$$

$\Omega_1 \dots \dots$ vlastní frekvence kmitů

$$\text{dostaneme } \ddot{\varphi} + \Omega_1^2 \varphi = \frac{F_I r_I \sin \omega t}{I_0} - \frac{T d_T}{I_0} \quad (2)$$

Rovnici řešíme jako diferenciální rovnici 2. řádu s konstantními koeficienty a s pravou stranou. Řešením bude součet homogenního a partikulárního integrálu $\varphi = \varphi_h + \varphi_p$

Řešení homogenního integrálu φ_h

$$\ddot{\varphi} + \Omega_1^2 \varphi = 0$$

$$\lambda^2 + \Omega_1^2 = 0$$

$$\lambda_{1/2} = \pm i \Omega_1$$

Fundamentální systém má tvar

$$\varphi_1 = C_1 \cos \Omega_1 t$$

$C_1; C_2 \dots$ integrační konstanty

$$\varphi_2 = C_2 \sin \Omega_1 t$$

Homogenní integrál má tvar

$$\varphi_h = C_1 \cos \Omega_1 t + C_2 \sin \Omega_1 t$$

Řešení partikulárního integrálu φ_p

Pravá strana má tvar:

$$\frac{F_I r_I \sin \omega t}{I_0} - \frac{T d_T}{I_0}$$

Použijeme princip superpozice

$$\varphi_p = \varphi_{p_1} + \varphi_{p_2}$$

a) pro pravou stranu ve tvaru $\frac{F_I r_I \sin \omega t}{I_o}$ volen partikulární integrál φ_{p_1} ve tvaru:

$$\begin{aligned}\varphi_{p_1} &= B \cos \omega t + C \sin \omega t \\ \dot{\varphi}_{p_1} &= -\omega B \sin \omega t + \omega C \cos \omega t \\ \ddot{\varphi}_{p_1} &= -\omega^2 B \cos \omega t - \omega^2 C \sin \omega t\end{aligned}\quad (3)$$

B, C konstanty

Dosazením do charakteristické rovnice (2) dostaneme:

$$-\omega^2 B \cos \omega t - \omega^2 C \sin \omega t - \Omega_1^2 (B \cos \omega t + C \sin \omega t) =$$

$$= \frac{F_I r_I \sin \omega t}{I_o}, \text{ odkud vypočítáme:}$$

$$B = 0$$

$$C = \frac{F_I r_I}{I_o (\Omega_1^2 - \omega^2)}$$

Dosazením konstant B, C do vztahu (3) dostaneme:

$$\varphi_{p_1} = \frac{F_I r_I \sin \omega t}{I_o (\Omega_1^2 - \omega^2)}$$

b) pro pravou stranu ve tvaru $\frac{T d_m}{I_o}$ volen partikulární integrál φ_{p_2} ve tvaru:

$$\begin{aligned}\varphi_{p_2} &= D \\ \dot{\varphi}_{p_2} &= 0 \\ \ddot{\varphi}_{p_2} &= 0\end{aligned}\quad (4)$$

Dosazením do charakteristických rovnic (2) dostaneme:

$$\Omega_1^2 D = \frac{-T d_T}{I_0}, \text{ odkud } D = \frac{-T d_T}{\Omega_1^2 I_0}$$

Dosazením do vztahu (4)

$$\varphi_{p2} = \frac{-T d_T}{\Omega_1^2 I_0}$$

Partikulární integrál φ_p má tvar:

$$\varphi_p = \varphi_{p1} + \varphi_{p2}$$

$$\varphi_p = \frac{F_I r_I \sin \omega t}{I_0 (\Omega_1^2 - \omega^2)} - \frac{T d_T}{I_0 \Omega_1^2}$$

Obecný integrál má tvar $\varphi = \varphi_h + \varphi_p$

$$\varphi = C_1 \cos \Omega_1 t + C_2 \sin \Omega_1 t + \frac{F_I r_I \sin \omega t}{I_0 (\Omega_1^2 - \omega^2)} - \frac{T d_T}{I_0 \Omega_1^2}$$

Určení konstant C_1 a C_2 :

Počáteční podmínky: $t_0 = 0$

$$\varphi_0 = 0,226 \text{ rad}$$

$$\dot{\varphi}_0 = 0$$

Derivací obecného integrálu a dosazením počátečních podmínek se konstanty C_1 a C_2 rovnají:

$$C_1 = \frac{T d_T}{I_0 \Omega_1^2} + 0,226$$

$$C_2 = \frac{-\omega F_I r_I}{\Omega_1 I_0 (\Omega_1^2 - \omega^2)}$$

Vlastní pohybová rovnice má potom tvar:

$$\varphi = \left(\frac{T d_m}{I_o \Omega_1^2} + 0,226 \right) \cos \Omega_1 t - \frac{\omega F_I r_I \sin \Omega_1 t}{\Omega_1 I_o (\Omega_1^2 - \omega^2)} +$$

$$+ \frac{F_I r_I \sin \omega t}{I_o (\Omega_1^2 - \omega^2)} - \frac{T d_m}{I_o \Omega_1^2} \quad (5)$$

a její derivací a úpravou získáme potom vztah pro rychlost

$$\dot{\varphi} = \left(\frac{-T d_m}{I_o \Omega_1} \right) \sin \Omega_1 t + 0,226 \Omega_1 \sin \Omega_1 t$$

$$- \frac{\omega F_I r_I \cos \Omega_1 t}{I_o (\Omega_1^2 - \omega^2)} + \frac{\omega F_I r_I \cos \omega t}{I_o (\Omega_1^2 - \omega^2)} \quad (6)$$

Vztahy (5) a (6) popisují pohyb otočné kotvy při otáčení z pevného klidového dorazu k pracovnímu a budeme z nich vycházet při dalším řešení experimentálního návrhu tlumení otočné kotvy.

4.2. URČENÍ VSTUPNÍCH PARAMETRŮ POHYBOVÝCH ROVNIC

V uvedených pohybových rovnicích se vyskytují parametry, které je potřeba určit. Protože se jedná o teoretický výpočet, byly některé parametry určeny experimentálně, ostatní byly odměřeny ze skutečného měřicího relé ER-5 zapůjčeného závodem ZPA Trutnov.

I_o moment setrvačnosti kotvy, určeno experimentálně s použitím skutečné otočné kotvy dle vzorce:

$$I_o = \frac{m g e T^2}{4 \pi^2} \quad / \text{kg m}^2 /$$

m hmotnost kotvy /kg/

e vzdálenost těžiště od osy otáčení /m/
T doba kmitu /s/

I_0 bylo určeno $0,27 \cdot 10^{-5} \text{ kgm}^2$

c_1 tuhost pružiny $15,5 \text{ N m}^{-1}$

r_I - odměřeno $0,016 \text{ m}$

r_1 - odměřeno $0,019 \text{ m}$

r_T - odměřeno $0,015 \text{ m}$

t - $0,08 \text{ s}$ - určen z požadavku, že vypínací čas otočné kotvy
musí být roven nebo menší než $0,08 \text{ s}$.

F_I v čase $t = 0,08 \text{ s}$, tj. na pracovním doraze, dosazujeme z obr. 4.

F_I $0,1 \text{ N}$.

5. NALADĚNÍ SYSTÉMU A VÝPOČET TŘECÍ SÍLY

Při ladění systému vycházíme z požadavku, že otočná kotva se po vychýlení z klidové do pracovní polohy nesmí odrazit od pevného pracovního dorazu, což by mohlo mít za následek opětovné sepnutí jistícího kontaktu. To znamená, že rychlost otočné kotvy na pevném pracovním doraze musí být nulová $\dot{\varphi} = 0$.

Tento systém je buzen harmonicky proměnnou budící silou, která působí na otočnou kotvu momentem, který předpokládáme ve tvaru $F_I r_I \sin \omega t$. Můžeme tedy říci, že za působení harmonicky proměnné budící síly se kmitavý pohyb skládá ze dvou částí, z nichž první představuje pohyb s kruhovou frekvencí Ω_1 , (vlastní frekvencí), který se při nenulovém tlumení prakticky utlumí. Tato složka představuje přechodovou část kmitání, tzv. vlastní kmity. Druhou složkou je kmitavý pohyb s frekvencí budící síly, jehož amplituda se časem nemění. Představuje tedy stacionární složku kmitání, tzv. vynucené kmity. S ohledem na tuto skutečnost lze po určité době počítat s utlumením vlastních kmitů a můžeme po doznění přechodového jevu uvažovat pouze s kmitáním způsoben-

ným frekvencí budící síly.

U otočné kotvy se toto kmitání projevuje nepatrně a správnou funkci relé neohrožuje. Projevuje se například při ustálení kotvy v určité poloze, kdy kotva vibruje vlivem budící frekvence. Protože toto kmitání má malou amplitudu, na správné funkci relé se příliš neprojeví.

5.1. OBEČNÝ VÝPOČET TŘECÍ SÍLY

Podmínkou pro to, aby se kotva zastavila na pracovním doraze bez nárazu, je správná velikost tlumící síly, která zajistí tento požadavek.

Při určování této tlumící síly vycházíme z rovnice (6). Pro nalezení velikosti třecí síly (a tím hmotnosti třecího kroužku), která zajistí správnou funkci pro dané spínací časy, vycházíme z podmínky $\dot{\varphi} = 0$. Potom rovnici (6) položíme rovnu nule:

$$0 = \frac{-T d_T}{I_0 \Omega_1} \sin \Omega_1 t + 0,226 \Omega_1 \sin \Omega_1 t - \frac{\omega F_I r_I \cos \Omega_1 t}{I_0 (\Omega_1^2 - \omega^2)} + \frac{\omega F_I r_I \cos \omega t}{I_0 (\Omega_1^2 - \omega^2)}, \text{ tj. rychlost na pracovním doraze je nulová}$$

Vyjádřením třecí síly T dostaneme:

$$T = \frac{0,226 - \Omega_1^2 I_0}{d_T} - \frac{\omega \Omega_1 F_I r_I \cotg \Omega_1 t}{r_T (\Omega_1^2 - \omega^2)} + \frac{\omega \Omega_1 F_I r_I \cos \omega t}{r_T (\Omega_1^2 - \omega^2 \sin \Omega_1 t)} \quad (7)$$

5.2. VÝPOČET TŘECÍ SÍLY A HMOTNOSTI TŘECÍHO KROUŽKU V ZÁVISLOSTI NA VYPÍNAČÍM ČASE t

Velikost síly, která zabezpečí, že rychlost kotvy na pracovním doraze bude nulová, tj. $\dot{\varphi} = 0$, určíme ze vztahu (7)

$$T = \frac{0,226 - \Omega_1^2 I_0}{d_T} - \frac{\omega \Omega_1 F_I r_I \cotg \Omega_1 t}{r_T (\Omega_1^2 - \omega^2)} + \frac{\omega \Omega_1 F_I r_I \cos \omega t}{r_T (\Omega_1^2 - \omega^2 \sin \Omega_1 t)}, \quad / N /$$

odkud po dosazení hodnot určených v kapitole 4.2. a frekvence budícího proudu $f = 50$ Hz dostaneme pro různě volené vypínací časy odpovídající velikosti třecích sil T/N . Potom pomocí vztahu $T = m g f$ vypočítáme odpovídající hodnoty třecího kroužku $m = \frac{T}{g f}$ /kg/, kde $f =$ součinitel smykového tření $= 0,1$; $g = 10 \text{ m s}^{-2}$.

tab. 1

t /s/	T /N/	m /kg/
0,03	0,09928	0,09928
0,04	0,09736	0,09736
0,05	0,09906	0,09906
0,06	0,09120	0,09120
0,07	0,07600	0,07600
0,08	0,05680	0,05680
0,09	0,03690	0,03690
0,1	0,01900	0,01900
0,15	0,01100	0,01100
0,2	0,02500	0,02500
0,25	0,00240	0,00240

Z tabulky vyplývá, že čím více se prodlužuje čas na rozepnutí jistícího kontaktu, tím lehčí třecí kroužek lze použít. Je to dáno tím, že při delších vypínacích časech nedosahuje kotva takového zrychlení a setrvačných sil jako při kratších dobách sepnutí. Proto na její ztlumení stačí kroužky o menší hmotnosti.

5.3. VÝPOČET TŘECÍ SÍLY A HMOTNOSTI KROUŽKU V ZÁVISLOSTI NA FREKVENCI BUDÍCIHO PROUDU

Protože relé může pracovat při různých frekvencích budícího proudu, lze dosazováním různých frekvencí budícího proudu do vztahu (7) získat třecí síly odpovídající příslušným frekvencím, které zabezpečují, že rychlost kotvy na pracovním doraze je nulová.

$$T = \frac{0,226 - \Omega_1^2 I_0}{d_T} - \frac{\omega \Omega_1 F_I r_I \cos t g \Omega_1 t}{r_T (\Omega_1^2 - \omega^2)} +$$

$$+ \frac{\omega \Omega_1 F_I r_I \cos \omega t}{r_T (\Omega_1^2 - \omega^2 \sin \Omega_1 t)} \quad / \text{ N } /$$

$$\omega = 2 \pi f \quad f \text{ volená frekvence proudu /Hz/}$$

Za vypínací čas dosazujeme $t = 0,08 \text{ s}$, součinitel smykového tření $f = 0,1 = \text{konstanta}$ a $g = 10 \text{ m s}^{-2}$. Potom hmotnost třecího kroužku se rovná $m = \frac{T}{g f} \quad / \text{ kg } /$ - viz tab. 2.

tab. 2

f /Hz/	10	20	30	40	50	60	70	100
T /N/	0,02393	0,06277	0,06312	0,02448	0,0568	0,02334	0,06241	0,00205
m /kg/	0,02393	0,06277	0,06312	0,02448	0,0568	0,02334	0,06241	0,00205

Z tabulky je patrné, že hmotnost třecího kroužku v závislosti na frekvenci budícího proudu kolísá. Nejlehčí kroužek lze použít u frekvence 100 Hz.

5.4. VÝPOČET HMOTNOSTI TŘECÍHO KROUŽKU V ZÁVISLOSTI NA SOUČINITELI SMYKOVÉHO TŘENÍ

Jedním z dalších faktorů, kterým se dá ovlivnit hmotnost třecího kroužku a jeho funkce, je součinitel smykového tření (f). Součinitel smykového tření se dá ovlivnit buď opracováním povrchu třecího kroužku nebo použitím různých materiálů.

Po dosazení vypínacího času $t = 0,08$ s a frekvence budícího proudu $f = 50$ Hz do vztahu pro výpočet třecí síly (7) dostaneme velikost třecí síly zajišťující podmínku $\dot{\psi} = 0$ na pracovním doraze $T = 0,0568$ N, viz. kap. 5.2. Ze vztahu pro výpočet třecí síly $T = m g f$ se hmotnost kroužku rovná $m = \frac{T}{g f}$, v našem případě $\frac{0,0568}{g f}$ / kg/, odkud pro různé součinitele smykového tření dostaneme odpovídající hmotnost třecího kroužku, viz tab. 3.

Poznámka: $g = 10 \text{ m s}^{-2}$.

f	$m \text{ /kg/}$
0,1	0,05680
0,15	0,03786
0,2	0,02840
0,25	0,02272
0,3	0,01890
0,35	0,01620
0,4	0,01420
0,45	0,012620
0,5	0,01136

tab. 3

Z uvedených výsledků lze pro uvažovaný dynamický model (viz obr. 3) navrhnout konkrétní hmotnost třecího kroužku s ohledem na zvolený vypínací čas jistícího kontaktu, frekvenci budícího proudu, materiál a opracování třecího kroužku.

Pokud pro tento dynamický model uvažujeme podmínky, které se nejvíce blíží provozním podmínkám relé ER-5, tj. - vypínací čas $t = 0,08$ s, - frekvence budícího proudu $F = 50$ Hz, - součinitel smykového tření $f = 0,1$, tak hmotnost třecího kroužku, který zajistí správnou funkci kotvy, odpovídá hodnotě $m = 0,0568$ kg.

Je zřejmé, že uvedené výsledky se nebudou plně shodovat s výsledky, které odpovídají hodnotám skutečného relé. Je to způsobeno tím, že u navrženého dynamického modelu bylo zanedbáno několik ovlivňujících činitelů, které se sice nepatrně podílí na dynamických vlastnostech kotvy, ale určité změny jednotlivých výsledků by zapříčinily.

6 . NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍHO OVĚŘENÍ ŘEŠENÍ

Úkolem této diplomové práce je návrh experimentálního řešení tlumení dynamického chování otočné kotvy relé ER-5. V této práci je navrženo pouze teoretické řešení měření. Praktická část měření nebyla možná provést, protože měřicí aparatura firmy SCHENK, která je v teoretickém návrhu použita, není běžně dostupná a její zapůjčení ze závodů, které ji vlastní (ČKD Praha, kompresní stanice tranzitního plynovodu), za účelem měření pro tuto diplomovou práci, nebylo možné pro její plné pracovní vytížení.

Závod ZPA Trutnov používal při ověřování dynamického chování otočné kotvy (např. rozkmitu) optického zařízení skládajícího se z optického okuláru a stupnice. Měření bylo prováděno tak, že na tlumící bubínek byla připevněna tyčinka o velmi malé hmotnosti a po nabuzení se na stupnici přes okulár porovnal a odečítal její rozkmit. Tento způsob s sebou musel nést určité nepřesnosti (ne-

přesné odečítání stupnice, změna dynamických poměrů vlivem připevnění tyčinky na otáčecí kotvu atd.) a dosažené výsledky měření neodpovídaly plně skutečnosti.

Proto byla pro ~~návrh~~ experimentálního ověření řešení navrhována nejmodernější měřicí technika firmy SCHENK, která zajistí přesné a rychlé změření a vyhodnocení dynamického chování otočné kotvy relé ER-5.

Měření je aplikováno na relé s proudovou nařiditelností $0,8 + 3,2 \text{ A}$.

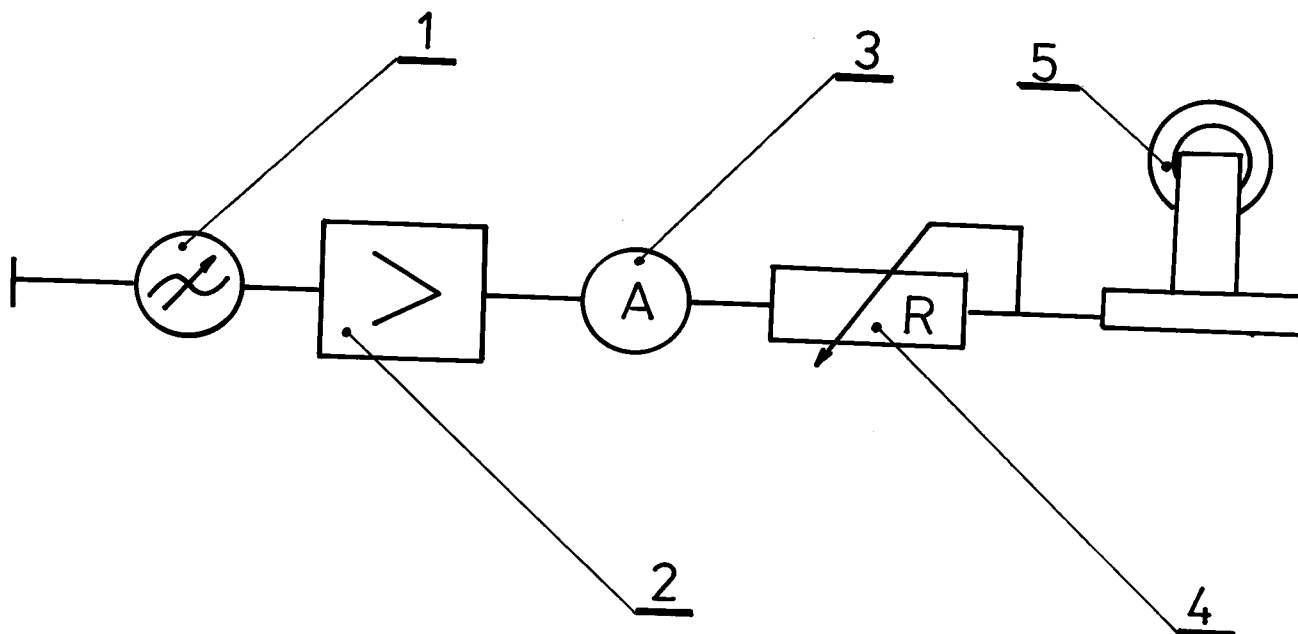
Návrh měření lze rozdělit na dvě části, a to:

- 1) zapojení relé ER-5 tak, aby se dala libovolně měnit velikost budícího proudu a jeho frekvence
- 2) zapojení měřicí aparatury SCHENK

6.1. NÁVRH ZAPOJENÍ RELÉ ER-5

Schéma zapojení relé

Obr. 6



1) laditelný generátor BM 492 (rozsah 10 Hz ÷ 10 MHz)

tímto generátorem lze libovolně měnit frekvenci proudu od 10 Hz až do 10 MHz. Pro měření je dostačující rozsah 10 ÷ 100 Hz.

2) nízkofrekvenční zesilovač s napětovým výstupem LV 102 (NDR) (rozsah zesilovače 3 Hz ÷ 40 KHz).

Výkon zesilovače $P = 50 \text{ W}$, odpor do zátěže 3Ω .

Potom pro výpočet maximálního budícího proudu, kterým můžeme relé budit, platí:

$$P = R I_{\max}^2 = I_{\max} = \sqrt{\frac{P}{R}} = 4,08 \text{ A}$$

To znamená, že relé můžeme budit maximálním proudem 4,08 A, což pro potřeby měření je dostačující.

3) dynamický ampérmetr

4) impedance realizovaná regulovatelným odporem (reostatem) nebo tlumivkou - slouží k zmírnění nelinearity. Relé ER-5 je obecně nelineární obvod. Impedance budící cívky je závislá mimo jiné také na poloze otočné kotvy a dále se tam projevuje přesycování některých dílů magnetického obvodu.

Aby bylo relé měřeno v definovaných podmínkách, je třeba pro proudový systém zajistit napájení vnuceným proudem, tj. z proudového zdroje, který lze realizovat napětovým zdrojem v sérii s impedancí podstatně větší než je impedance budící cívky (alespoň 10x větší).

(Např. systém ER-5 má u provedení 50 Hz přibližně výkon 1 VA na začátku stupnice. Při buzení proudem $I = 1 \text{ A}$ ze vztahu $P = R I^2$ plyne pro impedanci cívky $R = \frac{P}{I^2} = 1 \Omega$.

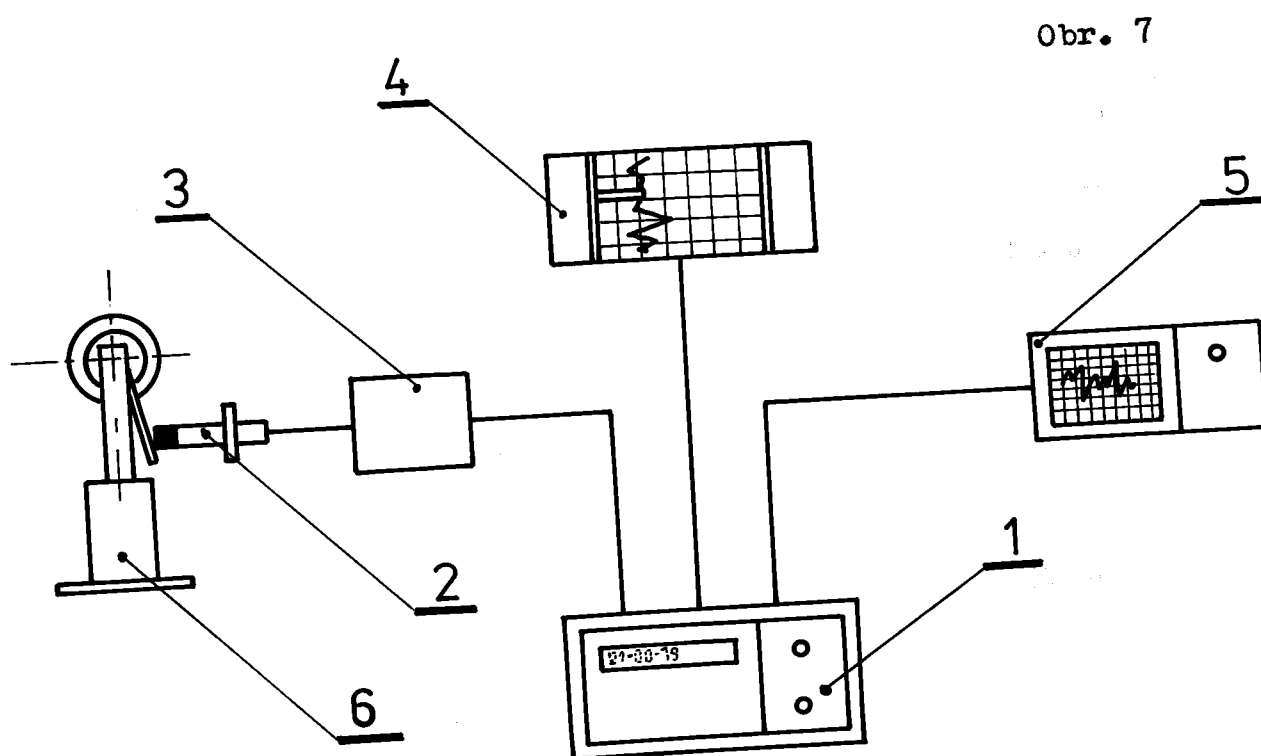
To znamená, že impedance, která má být předřazena, musí být alespoň 10x větší, tzn. 10Ω . Při zařazení takovéto impedance se nelinearita projeví max 10 %).

Proto je nutné pro každou nastavenou velikost budícího proudu na stupnici relé nastavit také odpovídající impedanci na reostatů).

- 5) Relé ER-5 může mít cívku jednovinutovou nebo dvouvinutovou. Vinutí se přepíná do série nebo paralelně spojovacími můstky na svorkovnici, kam se připojují i přívodní vodiče. Pro ustavení relé při měření byl zhotoven měřicí přípravek (viz obr.12), který zároveň slouží k nastavování bezdotykového indukčního snímače.

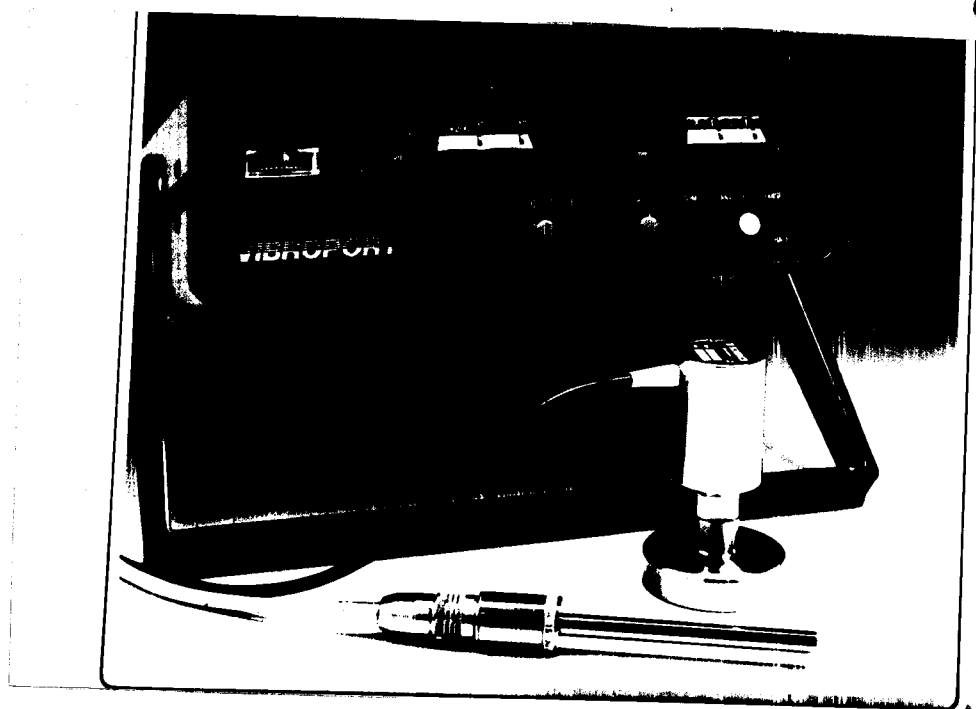
6.2. NÁVRH ZAPOJENÍ MĚŘICÍ APARATURY SCHENK

Pro měření kmitání a dynamických vlastností otočné kotvy relé ER-5 plně vyhovuje měřicí přístroj firmy SCHENK (NSR) vyráběný pod názvem VIBROPORT. Je to příruční lehký přístroj na měření kmitů pro univerzální použití s bateriovým napojením. Firma SCHENK dodává přístroj VIBROPORT s bohatým příslušenstvím, které ulehčují záznam naměřených hodnot a jejich analýzu.



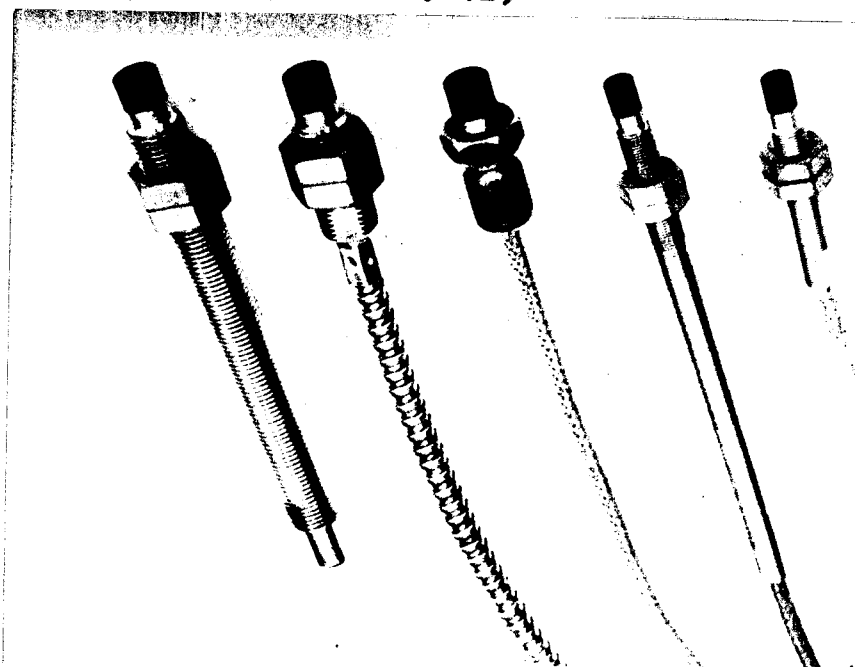
- 1) Indikační přístroj M 497 (viz obr. 8) - má vstupy a výstupy pro připojení doplňkových přístrojů

Obr. 8



- 2) Indukční snímač pracující na principu vířivých proudů - lze použít snímače pro pracovní rozsahy $2 \div 7$ mm. Pro měření kmitání kotvy by vyhovovaly snímače typu SD 052 nebo SD 161. (viz obr. 9) Při měření se snímač upne do oka desky měřícího přípravku (viz obr. 12)

Obr. 9



- 3) Oscilátor OD - 051 nebo OD - 161 - volba typu záleží na použitém typu snímače (viz obr. 10)

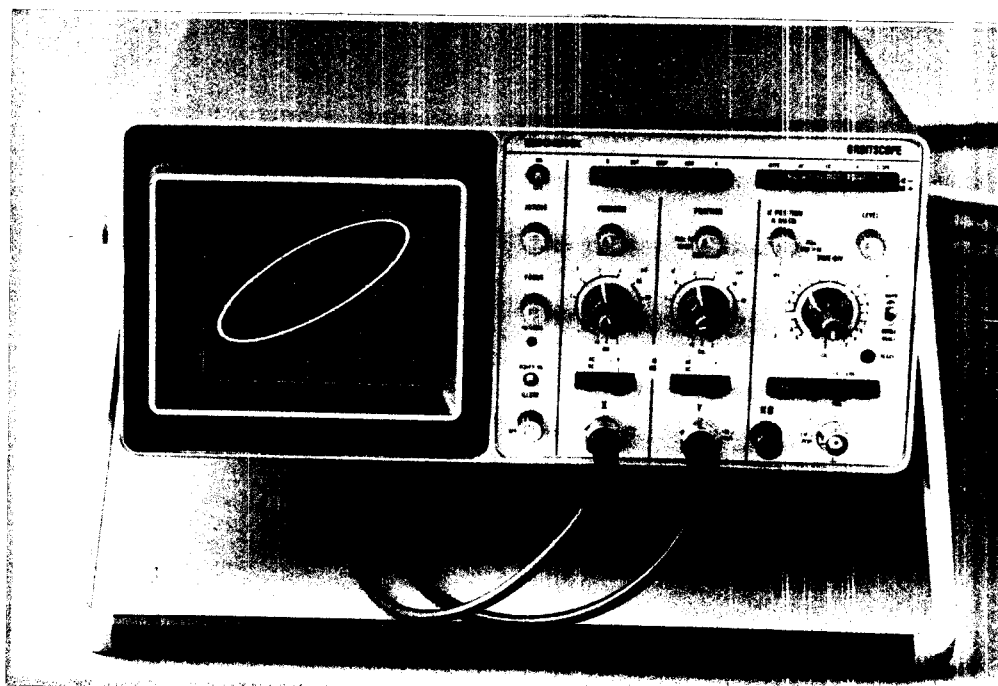
Obr. 10



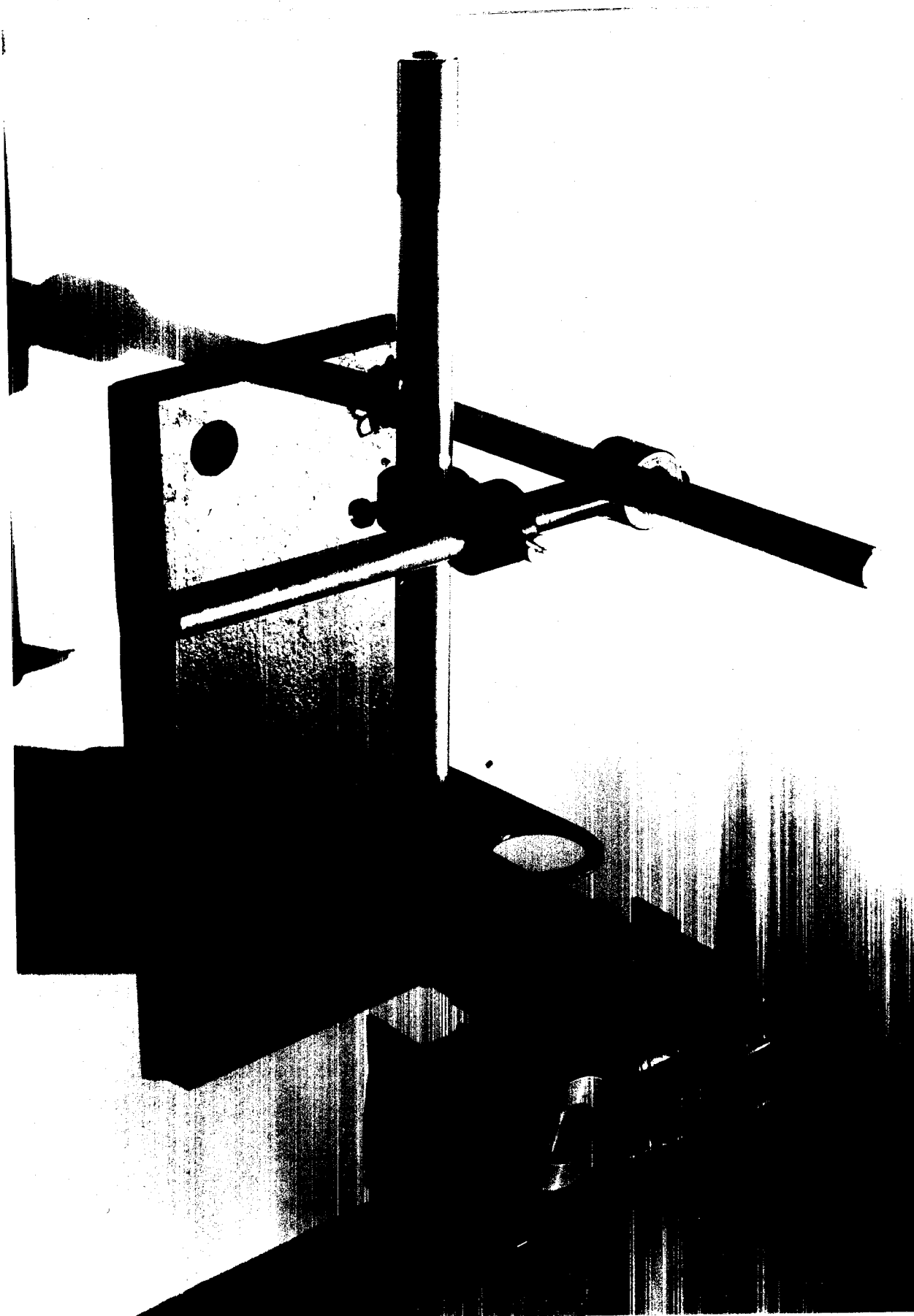
- 4) Souřadnicový zapisovač s elektrostatickým přichycením papíru a elektricky ovládaným pisátkem

- 5) Osciloskop 10 MHz (viz obr. 11)

Obr. 11



MĚŘICÍ PŘÍPRAVEK



6) Relé ER-5 je upevněno v měřicím přípravku (viz obr. 12)

6.3. POSTUP MĚŘENÍ

Pro připojení relé ER-5 a měřicí aparatury SCHENK dle schématu můžeme měřit a zaznamenávat chování otočné kotvy v závislosti na různých parametrech dle teoretického řešení úlohy.

Např. ověření volby hmotnosti kroužku v závislosti na frekvenci budícího proudu

- a) na generátoru BM 492 nastavíme volenou frekvenci proudu /Hz/
- b) na nízkofrekvenčním zesilovači LV 102 nastavíme hodnotu budícího proudu /A/
- c) na reostatu nastavíme odpovídající impedanci / Ω /
- d) do tlumícího bubínku vložíme tlumící kroužek o vypočtené hmotnosti
- e) indukční bezdotykový snímač snímá chování kotvy, jehož průběh můžeme sledovat na osciloskopu nebo na záznamu zapisovače.

Ostatní měření by se prováděla obdobně.

Poznámka: Protože u dynamického modelu relé byly pro zjednodušení výpočtu vynechány vlivy některých činitelů, je pravděpodobné, že se teoretické výpočty nebudou plně shodovat s naměřenými hodnotami. K přesnějšímu naladění systému by sloužila právě tato měřicí aparatura, která by dávala okamžité a skutečnosti odpovídající hodnoty.

7. ZHODNOCENÍ

V této práci se počítá se stejným způsobem tlumení jako má dosavadní typ relé ER-5. To znamená, že práce s sebou nenese změnu technologie práce při výrobě relé, ani změnu součástí a tedy ani výrobních nákladů. Podle rozboru vlivů, který je v práci proveden, lze přibližně určit chování otočné kotvy a volit vhodné hmotnosti třecích kroužků.

Dalším přínosem je rychlé a přesné vyhodnocení chování otočné kotvy pomocí navržené měřicí aparatury.

Jelikož jde o práci pojatou v teoretické rovině, ukázala by až praxe její skutečný ekonomický efekt pro k.p. ZPA Trutnov.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. VLADAR, J.: Elektrotechnika a průmyslová elektronika, ČVUT Praha 1981
2. NOSEK, J.: Příklady z elektrotechniky a průmyslové elektroniky, VŠST Liberec 1984
3. WÁGNER, J.: Fyzika, VŠST Liberec 1978
4. SLAVÍK, J. B. a kol.: Základy fyziky I, ČSAV Praha 1962
5. FUKA, J. - HAVELKA, B.: Elektromagnetické pole, SPN Praha 1958
6. BRÁT, V.: Dynamika, ČVUT Praha 1967
7. BRADSKÝ, Z.: Mechanika - dynamika, VŠST Liberec 1982
8. OLSEN, U.: Katalog firmy SCHENK, C 1316