

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

23-21-8

Strojní zařízení pro chemický, potravinářský

a spotřební průmysl

zaměření

textilní stroje

Katedra textilních a oděvních strojů

BEZDOTYKOVÉ MĚŘENÍ RYCHLOSTI VYSOKOBRÁTKOVÝCH ROTORŮ

Miroslav Novák

KTS - 006

Vedoucí práce : Ing. František Kadlec, CSc

VŠST Liberec

Konzultant : Ing. Milan Slavík, CSc

VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh

Počet stran 47

Počet obrázků 26

Počet tabulek 4

Počet příloh 6

Počet výkresů 6

1. 6. 1981

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro

Miroslava Nováka

obor

**23-21-8 Strojní zařízení pro chemický, potravinářský
a spotřební průmysl**

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

Název tématu:

**Bezdotykové měření rychlosti vysokoobrátkových
rotorů**

Pokyny pro vypracování:

Uveďte možné způsoby měření rychlosti vysokých otáček:

- a) bezdotykovou metodou, zejména s ohledem na snímače
- b) navrhnout konkrétní přenosný měřicí přístroj pro měření rychlosti otáček s vhodnými rozsahy do 100 000 ot/min. a možností odečtu měřené hodnoty na ručkovém měřicím přístroji
- c) realizovat měření rychlosti otáček pomocí navrženého přístroje a stanovit přesnost měření

V 277/1981 S

Autorské právo se řídí směrnicemi
MŠK pro státní záv. zkoušky č.j. 31
727/1028/1 ze dne 13. července
1962-Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze
dne 31.8.1962 § 19 aut. z. č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
PSČ 461 17

Rozsah grafických laboratorních prací: **10 výkresů**

Rozsah průvodní zprávy: **40 stran**

Seznam odborné literatury:

Taraba, V.: Elektronické měření v průmyslu. Práce 1961

Turičin, A.M.: Elektrická měření neelektrických vličin, SNTL 1956

Vysoký, V.: Měření elektrických vličin, SNTL 1963

Horna, O.A.: Zajímavá zapojení s transistory, SNTL 1963

Vedoucí diplomové práce: **Ing. František Kadlec, CSc**

Konsultanti: **Ing. Milan Slavík, CSc**

Datum zahájení diplomové práce: **15. září 1980**

Datum odevzdání diplomové práce: **12.6.1981**

L. S.



Charvat

Doc. Ing. Jaroslav Charvát, CSc
Vedoucí katedry

Stráž

Doc. RNDr. Bohuslav Stráž, CSc
Děkan

V

Liberci

dne

12. září

19

80

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

V Liberci, dne 1. 6. 1981

Novák Václav

O B S A H

1.	ÚVOD	6
2.	MOŽNÉ ZPŮSOBY MĚŘENÍ VYSOKÝCH OTÁČEK	8
2.1.	Indukční otáčkoměry	8
2.2.	Impulsní otáčkoměry využívající proudové impulsy	9
2.3.	Impulsní otáčkoměry s fotoelektrickým měničem	11
2.4.	Otáčkoměry stroboskopické	13
3.	POUŽITÝ SYSTÉM BEZDOTYKOVÉHO MĚŘIČE OTÁČEK ..	15
4.	NÁVRH ELEKTRONICKÉ ČÁSTI ZAŘÍZENÍ	18
4.1.	Měřicí sonda	18
4.2.	Operační zesilovač	19
4.3.	Schmittův klopný obvod	25
4.4.	Derivační člen a obvod měřidla	26
4.5.	Napájecí zdroje	26
4.6.	Číslicové měření otáček	27
5.	KONSTRUKČNÍ PRÁCE	32
6.	MĚŘENÍ VLASTNÍM PŘÍSTROJEM	35
6.1.	Ověřovací a měřicí pracoviště	35
6.2.	Měření vlastním přístrojem a stanovení jeho přesnosti	36
6.2.1.	Rozsah /0 až 10/ tisíc ot/min	37

6.2.2.	Rozsah /10 až 100/ tisíc ot/min	38
6.2.3.	Vyhodnocení měření	40
6.3.	Možnost využití přístroje v praxi	41
7.	ZÁVĚR	43
8.	SEZNAM ELEKTROSOUČÁSTEK BEZDOTYKOVÉHO MĚŘIČE OTÁČEK	44
9.	SEZNAM PŘÍLOH	46
10.	POUŽITÁ LITERATURA	47

1. Ú V O D

Odvětví strojírenství a elektroniky je a bude i nadále základem rozvoje československé ekonomiky. Musí se proto výrazněji podílet na technickém pokroku ve všech odvětvích národního hospodářství.

Jak bylo předneseno na XVI. sjezdu KSČ a jak je zakotveno v Hlavních směrech hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR na léta 1981 - 1985, je nutné v elektrotechnickém průmyslu usilovat o urychlení rozvoje výrobních kapacit s maximálním využitím výzkumně vývojového potenciálu i spolupráce se socialistickými zeměmi. Zvýšením výroby o 40 - 50% vytvořit podmínky pro elektronizaci národního hospodářství. Závažným úkolem elektrotechnického průmyslu je vytvářet podmínky pro zvyšování exportní schopnosti strojírenských a dalších výrobků a omezovat jejich dovozní náročnost. K tomu je nutno využívat mezinárodní dělby práce, zejména spolupráce v rámci socialistické ekonomické integrace.

Otázkou prvořadé důležitosti je rozvoj elektroniky a mikroelektroniky. Počítá se s jejich předstihem před ostatními strojírenskými obory, neboť důsledná elektronizace a automatizace uplatněna v rozhodujících odvětvích přináší značné zvýšení společenské produktivity práce, snížení spotřeby surovin, paliv a energie. K tomu je nutno zabezpečit téměř trojnásobný růst součástkové základny elektrotechniky, elektroniky, optoelektroniky a zejména mikroelektroniky. Musí se zvládnout a rozšířit výroba bipolárních a unipolárních integrovaných obvodů, mikroprocesorů s využitím moderních technologických zařízení. Vytvářet podmínky pro zavádění automatizovaných

systémů řízení, zejména v oblasti obráběcích, tvářecích a textilních strojů.

V automatizační technice rozvinout výrobu čidel, snímačů, servopohonů, signalizačních prvků a zařízení pro měření tepla, výrobu řídící, regulační, měřicí a kontrolní techniky pro jadernou energetiku, hutnictví a chemii. Rozvíjet investiční elektroniku, měřicí, testovací, laboratorní a zdravotní techniku. Zabezpečovat dodávky moderních výpočetních systémů a potřebným periferním a programovým vybavením zvláště pro řízení technologických procesů. Výrobu elektronických počítačů a telekomunikační techniky rozvíjet v souladu s jednotlivými systémy zemí RVHP.

V silnoproudé elektrotechnice zabezpečovat dodávky pro investiční výstavbu, zvláště pro jaderný a palivoenergetický program a výrobu moderních pohonů pro strojírenství.

Tyto vytyčené cíle jsou jen malou částí náročného programu dalšího hospodářského rozvoje. Jejich úspěšné splnění je však nezbytné nejen pro vzestup národního hospodářství, ale i pro všestranný rozvoj společnosti a k upevnění celé světové socialistické soustavy.

2. MOŽNÉ ZPŮSOBY MĚŘENÍ VYSOKÝCH OTÁČEK

Rychlosti rotačních pohybů částí strojů jsou jedním z hlavních technických parametrů. Obvykle se měří počtem otáček za minutu. Úhlové rychlosti je možno měřit buď absolutní metodou, založenou na zjištění počtu otáček hřídele během daného časového intervalu, nebo nepřímou metodou, srovnáváním počtu otáček proměřovaného rotujícího elementu se známým kmitočtem libovolného nezávislého periodického průběhu.

Elektrické přístroje používané k měření rychlosti otáčení nazýváme tachometry. Typy a konstrukce těchto přístrojů jsou různé. V této kapitole je popisují ve čtyřech skupinách :

1. otáčkoměry založené na indukčním zákonu
2. impulsní otáčkoměry využívající proudové impulsy
3. fotoelektrické nebo fotoimpulsní tachometry využívající světelné impulsy
4. otáčkoměry stroboskopické

Dále jsou popsány pouze nejrozšířenější typy tachometrů z každé skupiny.

2.1. Indukční otáčkoměry

Podle druhu dělíme tyto otáčkoměry do dvou základních skupin :

- a/ stejnosměrné /tachodynamy/
- b/ střídavé /tachogenerátor/

Indukční tachometry se stejnosměrným generátorem jako snímačem jsou v podstatě dynamem jehož kotva je poháněna zkoušeným hřídelem. Měřidlem je zde magnetoelektrický voltmetr připojený ke kartáčům generátoru a cejchovaný přímo v ot/min. Dynamo se obvykle budí permanentním magnetem nebo elektromagneticky /nezávisle/.

Základním nedostatkem těchto tachometrů se stejnosměrným dynamem je komutátor, který působí v provozu obtíže jako je jiskření uhlíků, změna přechodového odporu mezi uhlíky a komutátorem, vyvolaná znečištěním nebo zaolejováním lamel, ap.

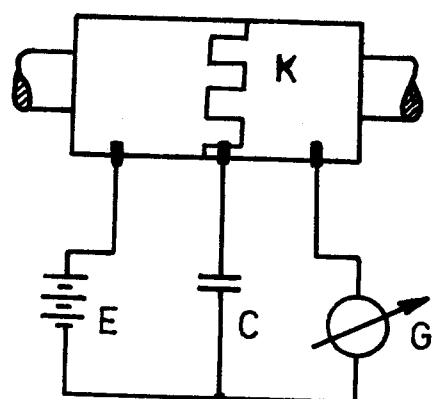
Indukční tachometry se střídavým generátorem jako snímačem tyto uvedené nedostatky nemají, protože proud k měřidlu se v nich vede od pevných vinutí. Jako měřidel se obvykle používá ferrodynamických nebo usměrňovačových voltmetrů, nebo kmitoměrů. Tyto tachometry mají tu výhodu, že kmitočet elektromotorické síly vyvíjené střídavým generátorem je jen funkcí rychlosti otáčení rotoru a nezávisí na takových činitelích, jako je teplota, časová stálost magnetických charakteristik ap.

Přesnost tachometru s kmitoměrem jako měřidlem lze hodnotit těmito údaji. Při měření rychlosti otáčení od 2000 do 4000 ot/min bývá hlavní chyba v mezích $\pm 10\%$; přídatná chyba při změně teploty měřidla a změně teploty snímače je zanedbatelná.

2.2. Impulsní otáčkoměry využívající proudové impulsy

Tyto tachometry jsou složeny ze snímače, který umožňuje dodávat do obvodu měřidla stejné proudové impulsy, jejichž kmitočet je funkcí jen počtu otáček zkoušeného rotujícího elementu. Výchylka ručičky měřidla úměrná průměrné hodnotě proudu, bude tedy funkčně spojena s počtem otáček zkoušeného rotoru.

Na obr. 1 je schematicky znázorněn impulsní otáčkoměr s mechanickým přepínačem.



C ... kondenzátor
K ... komutátor
E ... zdroj proudu
G ... měřidlo

Obr. 1 Impulsní otáčkoměr s mechanickým přepínačem

Je složen z kondenzátoru, který je komutátorem, poháněným zkoušeným hřídelem, spojen se zdrojem proudu a s měřidlem. Komutátor je v podstatě buben složený z dvojice vzájemně izolovaných kovových válců s ozubením. Dva krajní kartáče neustále kloužou po válcích, jeden po pravém a druhý po levém, kdežto prostřední kartáč spojuje kondenzátor buď s pravým válcem /kondenzátor se nabíjí/, nebo s levým válcem /kondenzátor se vybíjí do měřidla/.

Množství náboje, které se na kondenzátoru nahromadí při nabíjení je dáno vztahem :

$$Q = C \cdot U \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau_n}}) \quad /1/$$

C kapacita kondenzátoru

U napětí zdroje proudu

t čas

τ_n čas. konst. obvodu do něhož je kondenz. zapojen

$$\tau_n = R_1 \cdot C$$

/2/

kde R_1 je činný odpor v obvodu kondenzátoru při nabíjení.

Kondenzátor se vybíjí podle zákona :

$$q_2 = q_1 \cdot e^{-\frac{t}{\tau_v}}$$

/3/

q_1 náboj kondenzátoru v okamžiku počínajícího vybíjení

τ_v časová konst. obvodu, podle které se kondenzátor vybíjí

Přestože teoreticky probíhá nabíjení i vybíjení nekonečně dlouho, lze prakticky tyto děje považovat za zakončené.

Je-li doba T nabíjení /vybíjení/ 6x větší než časová konst., tj. když :

$$6\tau_n < T < 6\tau_v$$

/4/

pak

$$Q_2 = C \cdot U$$

/5/

a

$$I_s = \frac{z}{2} \cdot \frac{n}{60} \cdot C \cdot U$$

/6/

kde $\frac{z}{2}$ počet dvojic zubů na bubnu

$\frac{n}{60}$ počet ot/s

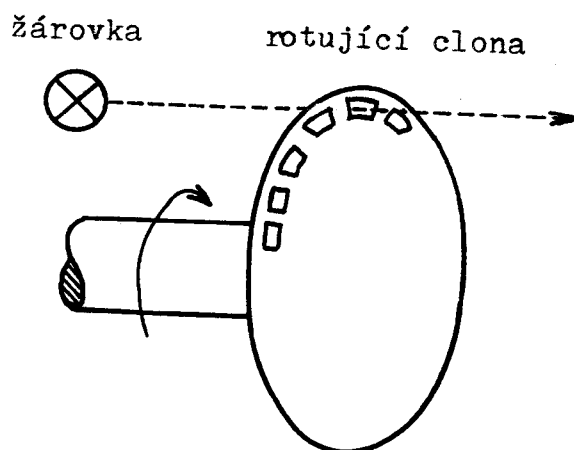
Hlavním zdrojem chyb impulsních otáčkoměrů s kondenzátory je závislost údajů přístroje na stálosti napětí proudového zdroje a vliv teploty na kapacitu kondenzátoru.

2.3. Impulsní otáčkoměry s fotoelektrickým měničem

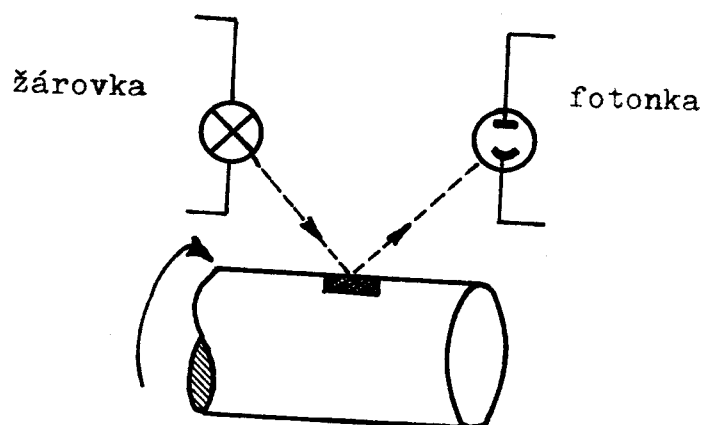
Fotoelektrické otáčkoměry pracují se světelnými impulsy. Jejich podstatou je, že se světlo žárovky mění podle počtu otáček na světelné impulsy, které dopadají na fotonku a mění

se v proudové impulsy.

Světelné impulsy nám dávají otáčející se clony /obr. 2/, jež jsou spojeny buď přímo nebo přes převody se zařízením, jehož počet otáček měříme. Světelné impulsy lze také získat otáčejícími se reflexními značkami, připevněnými na otáčejícím se rotoru /obr. 3/.



Obr. 2 Světelné impulsy získané otáčející se clonou



Obr. 3 Světelné impulsy získané odrazem od rotující reflexní značky

2.4. Otáčkoměry stroboskopické

Stroboskopická metoda je založena na schopnosti oka zachovat během určité doby zrakový vjem předmětu, který již není v zorném poli oka. Rozeznáváme dva typy stroboskopických přístrojů :

- a/ stroboskopy s mechanickým uzávěrem
- b/ stroboskopy zábleskové

U prvních typů stroboskopů je otáčející se rotor sledován úzkým otvorem v pevné cloně. Mezi clonou a zkoušeným rotorem je kotouč s několika otvory, který se uvádí do pohybu malým motorem, jehož rychlost lze plynule nastavit. To znamená, že pozorovatel vidí zkoušený rotor jen v těch okamžicích, kdy se otvor clony kryje s jedním z otvorů kotouče. Budou-li se rychlosti rovnat nebo budou-li násobkem rychlosti otáčení kotouče a rotoru, bude se zdát, že se rotor neotáčí.

U stroboskopů zábleskových je zkoušený rotor periodicky osvětlován zdrojem světla, které nemá setrvačnost /výbojka/. Shoduje-li se kmitočet záblesků s počtem otáček rotoru, bude se zdát, že tento rotor se také nepohybuje.

V každém stroboskopickém otáčkoměru se tedy počet otáček zkoušeného rotoru rovná nebo je násobkem kmitočtu pracovní části stroboskopu, tj. kmitočtu otáčení kotouče nebo kmitočtu záblesků.

Hlavním požadavkem kladeným na jakýkoliv stroboskopický přístroj je přesný obrys " zastaveného " měřeného objektu a dobrá viditelnost. U stroboskopů s mechanickým uzávěrem jsou oba požadavky v rozporu. Abychom získali přesně omezený obrys rotoru, musíme dělat otvor v kotouči co možná nejužší,

avšak přitom se množství světla, které otvorem proniká, přirozeně zmenšuje a viditelnost rotoru se zhoršuje.

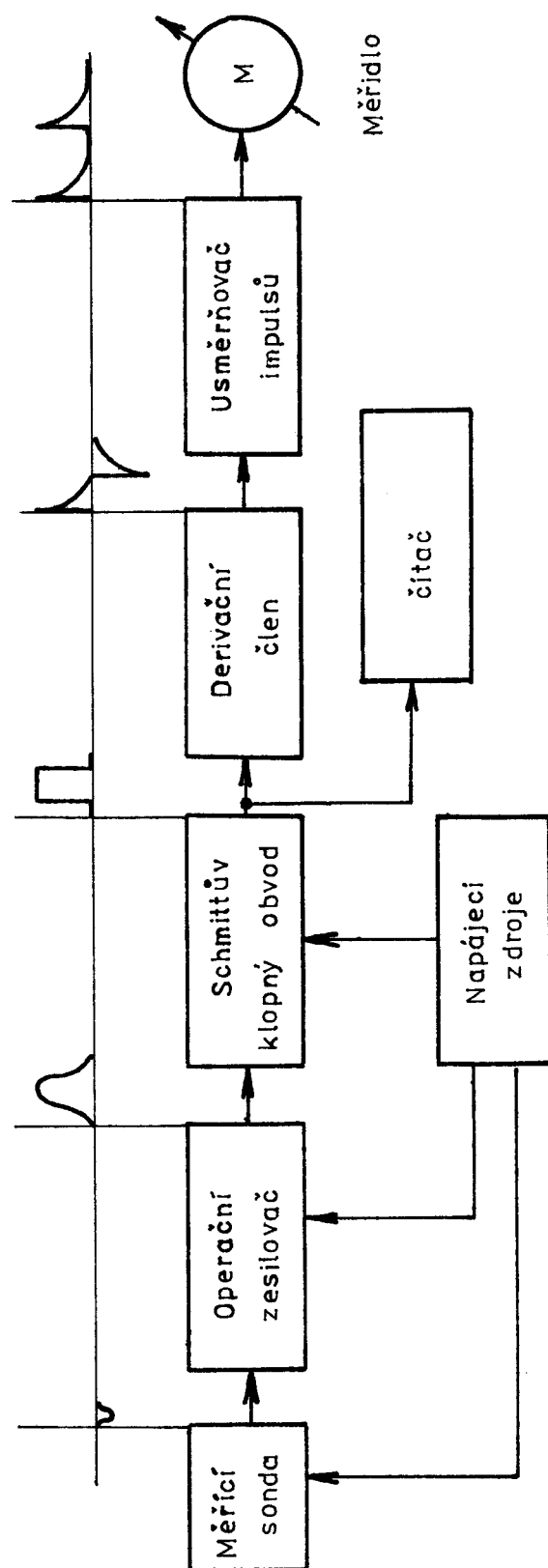
U stroboskopů zábleskových se jasných obrysů dosahuje zkrácením doby záblesku a dobré viditelnosti použitím výkonných výbojek. V moderních stroboskopických otáčkoměrech je doba záblesku světla jen několik mikrosekund. Proto se v poslední době stále více používá stroboskopů zábleskových.

3. P O U Ž I T Ý S Y S T É M B E Z D O T Y K O V É H O M Ě Ř I Č E O T Á Č E K

Předmětem předložené práce je podat ucelený návrh bezdotykového, přenosného, elektronického měřiče otáček, který by byl využit při proměřování parametrů textilních strojů a pomohl k nastavení jejich optimálních parametrů. Při vlastním řešení mne vedla snaha po jed nou účelovém přístroji, který by v cenové relaci byl přijatelný, pohotově umožnil měření otáček s dostatečnou přesností a posloužil i na katedře textilních a oděvních strojů k účelům výuky.

V měřicí technice se často rozhodujeme, jaká metoda měření by pro naše účely byla vhodnější, zda analogová nebo číslicová. Rozhodují zde nej r ť z n ě j š í hlediska, jako požadovaná přesnost měření, způsob dalšího zpracování, hledisko hospodárnosti ap. Snad nejdůležitější je požadavek přesnosti měření. Pro měření analogové leží typická hodnota přesnosti měření v rozsahu 0,5 - 1%. Naproti tomu číslicové měření dosahuje přesnosti 0,1 - 0,001%. Pro úplnost je třeba podotknout, že údaje o přesnosti se vztahují na běžné typy technických měřidel, neboť laboratorní metody analogového měření pomocí různých můstků nebo kompenzátorů mohou v přesnosti s číslicovými přístroji úspěšně soutěžit. Tyto metody jsou však zdlouhavé a oblast využitelnosti je velmi úzká. Jsou tedy z tohoto hlediska pro dílenské měření nevhodné.

Princip navrženého bezdotykového měřiče otáček je uveden na obr. 4. Pro jeho funkci bylo použito analogového měřidla na výstupu zařízení, případně při požadavku vyšší přesnosti je zde možnost připojení čítače impulsů.



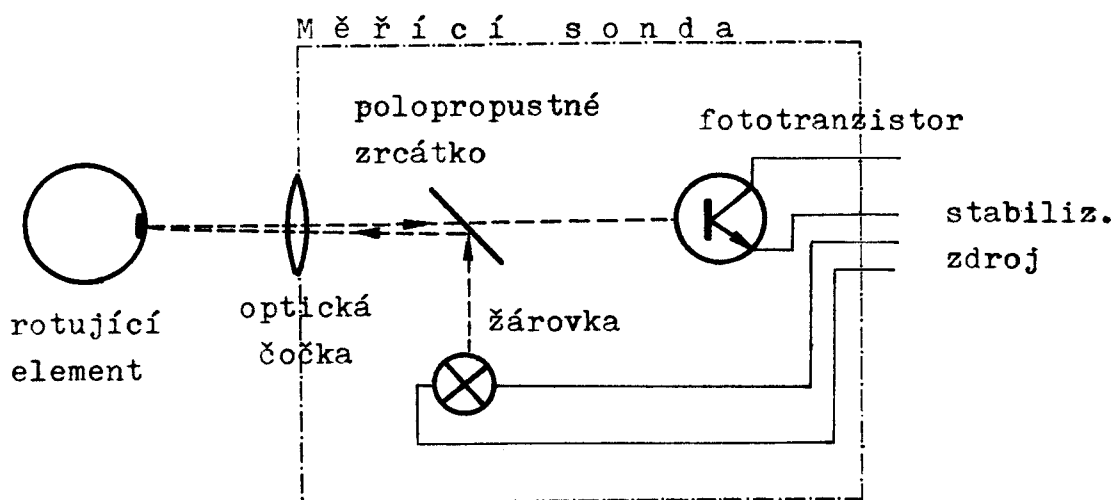
Obr. 4 Blokové schéma bezdotykového měřiče otáček

Sonda představuje fotoelektrický snímač, který při každé otáčce stroje dodá na výstupu elektrický impuls, který je v následujícím bloku zesilovače patřičně zesílen a pomocí Schmittova klopného obvodu tvarován tak, abychom na vstupu derivačního obvodu obdrželi signál s velkou strmostí náběžné hrany. Po provedení derivace signálu zaznamená měřidlo M hodnotu napětí na výstupu usměrňovače, která odpovídá počtu impulsů a tím i hodnotě měřené veličiny - otáček zařízení. Sonda, zesilovač a Schmittův klopný obvod vyžadují napájení z vnějšího napěťového zdroje. Na výstup Schmittova obvodu je možné připojit například čítač TESLA BM 445 E.

4. N Á V R H E L E K T R O N I C K É Č Á S T I Z A Ř Í Z E N Í

4.1. Měřicí sonda

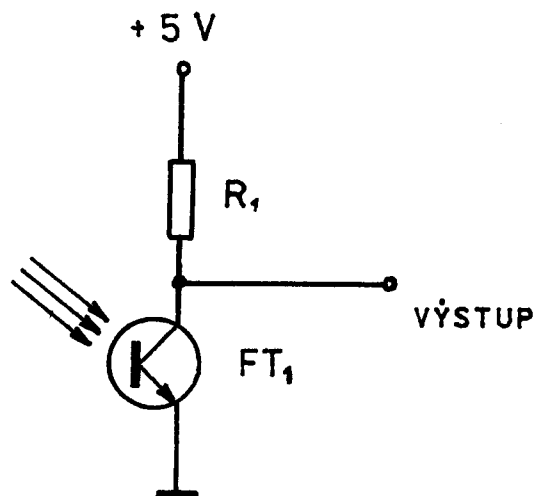
Princip měřicí sondy je zobrazen na obr. 5.



Obr. 5 Princip měřicí sondy bezdotykového měřiče otáček

Světelný tok, vycházející ze světelného zdroje - žárovky, dopadá pod úhlem 45° na polopropustné zrcátko. Část světelné energie je soustředěna optickou čočkou na rotující předmět, na kterém je nalepen reflexní papírek. Odražený světelný tok prochází zpět polopropustným zrcátkem a dopadá na fotoprvek - v našem případě použitý fototranzistor - v zapojení podle obr. 6. Vzniklé elektrické impulsy, odpovídající svou frekvencí otáčkám měřeného předmětu, jsou dále zpracovány ve vyhodnocovacím zařízení. Polovodičový prvek TESLA KP 101 je křemíkový

fototranzistor v provedení n-p-n, v celoskleněném pouzdru, na vrcholu je umístěna čočka, aby paprsky osvítily přechod B - E.



Obr. 6 Zapojení fototranzistoru do obvodu /KP 101/

Optická soustava je volena tak, aby při výkonu žárovky $U = 2,5 \text{ V}$, $I = 0,1 \text{ A}$ i přes ztráty v polopropustném zrcátku byl signál na fototranzistoru dostatečný a způsobil potřebnou změnu fotoelektrického proudu. Optická čočka představuje dvojnásobnou vypuklou spojku s ohniskovou vzdáleností $f = 23,4 \text{ mm}$. Sonda nemusí být v bezprostřední blízkosti rotujícího předmětu, předpokládá se vzdálenost 10 cm .

4.2. Operační zesilovač

Užití operačních zesilovačů v řídicí a měřicí technice je široké. Používá se jich jako zesilovačů signálů, tvarovačů impulsů a v mnoha dalších speciálních zapojeních. Díky použití operačních zesilovačů zvláště v měřicí technice

vznikl kvalitativní skok v třídě přesnosti měřících přístrojů.

Ideální operační zesilovač lze charakterizovat jako zesilovač, který má nekonečnou šířku pásma, nekonečně velký zisk otevřené zpětnovazební smyčky, nulový šum a nulový drift. Poněvadž žádný operační zesilovač tyto ideální podmínky nesplňuje, lze skutečný operační zesilovač všeobecně charakterizovat těmito následujícími vlastnostmi :

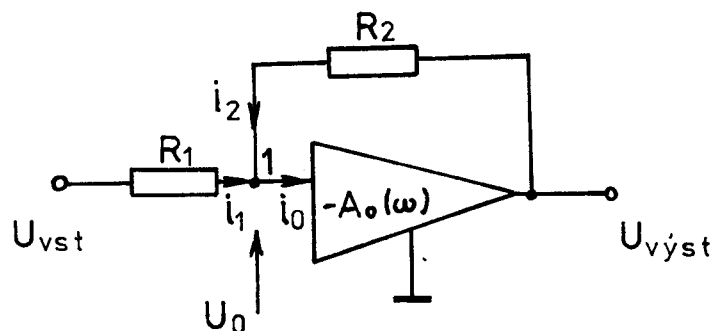
1. značně velkým stejnosměrným napětovým zesílením A_0/ω , /řádově 10^3 až 10^5 /;
2. vysokou tranzitní frekvencí f_T / 10^5 až 10^7 Hz/;
3. konstantním sklonem frekvenční charakteristiky /20 dB/dek/;
4. velmi malým vstupním proudovým a napětovým driftem v závislosti na teplotě, čase a změně napájecího napětí;
5. velkým dynamickým rozsahem výstupního napětí $\pm 10V$ /;
6. velkým vstupním odporem, malým výstupním odporem;
7. fázovým posuvem mezi vstupním a výstupním napětím u invertujících zapojení operačních zesilovačů 180° a u neinvertujících zapojení 0° ;

Stejnoseměrný zesilovač, který má ve vstupním obvodu odpor R_1 , ve zpětné vazbě odpor R_2 a jehož výstupní napětí $U_{výst}$ má opačnou fázi než vstupní napětí U_{vst} , je zobrazen na obr. 7.

Pro uzel 1 lze psát podle 1. Kirchhoffova zákona :

$$i_1 + i_2 = i_0$$

/7/



Obr. 7 Operační zesilovač s invertujícím vstupem

Dosazením za proudy i_1 a i_2 do vztahu /7/ dostaneme:

$$\frac{U_{vst} - U_0}{R_1} + \frac{U_{vyst} - U_0}{R_2} = i_0 \quad /8/$$

Výstupní napětí U_{vyst} operačního zesilovače na obr. 7 je dáno :

$$U_{vyst} = -A_0(\omega) \cdot U \quad /9/$$

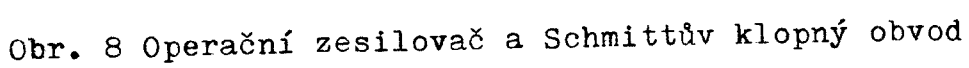
kde $A_0/\omega/$ je napěťový zisk operačního zesilovače a napětí U_0 je napětí v bodě 1. Dosazením vztahu /9/ do vztahu /8/ dostaneme :

$$\frac{U_{vst} + \frac{U_{vyst}}{A_0(\omega)}}{R_1} + \frac{U_{vyst} + \frac{U_{vyst}}{A_0(\omega)}}{R_2} = i_0 \quad /10/$$

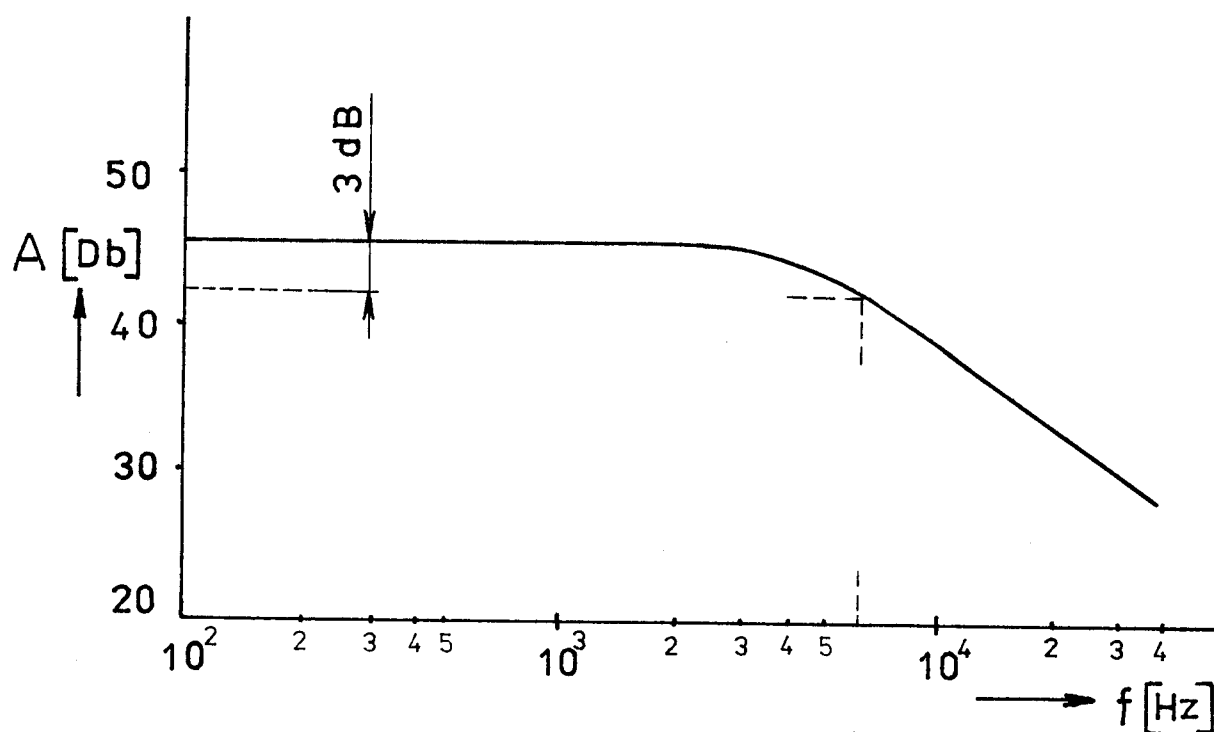
Po úpravě pro výstupní napětí U_{vyst} . platí :

$$U_{vyst} = - \left(\frac{R_2}{R_1} \cdot U_{vst} - R_2 \cdot i_0 \right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{A_0(\omega)} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)} \quad /11/$$

O zesilovači předpokládáme, že jeho zesílení $A_0/\omega/$ je značně velké a vstupní proud i_0 je tak malý, že ho lze zanedbat.



f [Hz]	10^2	10^3	$2 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	10^4	$2 \cdot 10^4$	10^5
U_2 [V]	0,74	0,76	0,74	0,70	0,64	0,58	0,53	0,38	0,20	0,04
A_u	185	190	185	175	160	145	132	95	50	11
A [dB]	45,4	45,6	45,4	44,9	44,1	43,2	42,4	39,6	34,0	20,8
Pozn.	$U_1 = 0,004$ V , $A_u = U_2/U_1$, A dB = $20 \log A_u$									



Obr. 9 Amplitudově frekvenční charakteristika operačního zesilovače MAA 501 získaná měřením

V ideálním případě je $A_o/\omega \rightarrow \infty$ a $i_o = 0$, proto ze vztahu /11/ vyplývá :

$$U_{\text{výst}} = \lim_{\substack{A_o(\omega) \rightarrow \infty \\ i_o \rightarrow 0}} \left[- \left(\frac{R_2}{R_1} \cdot U_{\text{vst}} - R_2 \cdot i_o \right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{A_o(\omega)} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)} \right] \quad /12/$$

nebo

$$U_{\text{výst}} = - \frac{R_2}{R_1} \cdot U_{\text{vst}} \quad /13/$$

Proudová a napěťová nesymetrie vstupů integrovaných operačních zesilovačů způsobuje nenulové napětí na jeho výstupu. Tuto nesymetrii lze částečně minimalizovat tím, že hodnoty odporů připojených ke vstupům jsou stejné. Častěji se však používá ke korekci nesymetrických vstupů pomocného napětí z odporového děliče.

Zapojení invertujícího operačního zesilovače s korekcí, navrženého pro náš účel měření, je na obr. 8. Vhodnou volbou prvků R_2, R_3 , diod D_1, D_2 , a pomocí potenciometru P_1 lze vykompenzovat proudovou a napěťovou nesymetrii vstupů, tzn. nastavit nulové výstupní napětí, případně je možné i potenciometrem P_1 nastavit požadovanou počáteční stejnosměrnou hodnotu výstupního napětí, potřebnou k práci dalšího obvodu - Schmittova obvodu.

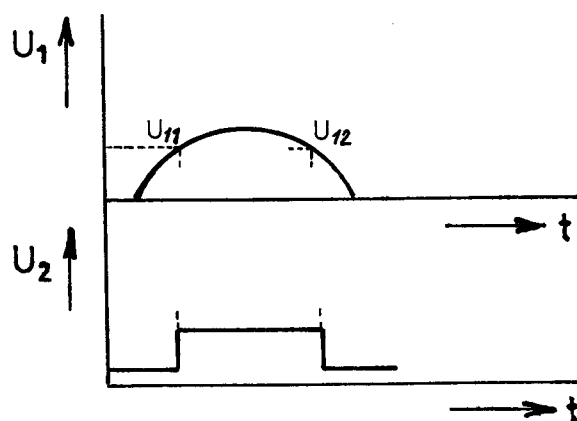
U integrovaných operačních zesilovačů je nutné též počítat s některými omezeními, která vyplývají z vlastností funkčních prvků operačních zesilovačů, aby nenastalo jejich poškození, aby nedošlo k překročení meze vstupního napětí. Používáme proto pár spínacích křemíkových diod D_3 a D_4 zapojených antiparalelně / viz obr. 8/.

Při návrhu operačního zesilovače byl vzat zřetel na předem požadovaný kmitočtový průběh amplitudově frekvenční charakte-

ristiky s ohledem na měřicí rozsah otáček do 100.000 ot/min. Její tvar byl nastaven pomocí obvodových prvků odporu R_6 , kondenzátorů C_2 a C_3 . Zesílení zesilovače je nastaveno odporem ve zpětné vazbě R_5 . Integrovaný obvod je typu TESLA MAA 501 a proměřený tvar frekvenční amplitudové charakteristiky je vyneseno do grafu na obr. 9.

4.3. Schmittův klopný obvod

Na obr. 8 je též znázorněn Schmittův klopný obvod, tvořený tranzistory T_1 a T_2 . K překlopení dochází při určité napěťové úrovni vstupního napětí, přivedeného přes odpor R_7 z operačního zesilovače. Při poklesu tohoto napětí na úroveň U_{12} /podle obr. 10/, se klopný obvod vrací do předchozího stavu. Kladná zpětná vazba mezi dvěma tranzistory se uzavírá přes emitorový odpor R_{10} .



Obr. 10 Vstupní a výstupní průběh ve Schmittově obvodu

Jak je patrné z obr. 10, používá se Schmittův klopný obvod pro tvarování impulsů. Obvod byl navržen pomocí vztahů uvedených v literatuře /1/.

Z kolektoru tranzistoru T_2 je signál dál veden přes kondenzátor C_8 na derivační člen, případně je zde ještě výstup přes kondenzátor C_7 na čítač impulsů.

4.4. Derivační člen a obvod měřidla

Z výstupu Schmittova klopného obvodu je signál derivačním členem zderivován a to pomocí prvků C_9, C_{10} , odporu R_{15} a potenciometru P_4 pro jeden rozsah - do 10.000 ot/min, popřípadě pomocí dvoupolohového přepínače přepojíme na vstup pro rozsah do 100.000 ot/min a derivační člen je pak složen z odporu R_{16} , potenciometru P_5 a kondenzátorů C_{11} a C_{12} . Usměrňovač z diod D_5 a D_6 průběh usměrní a měřidlo M ukáže hodnotu proudu, odpovídající hodnotě měřených otáček. Potenciometrem P_6 nastavíme výchylku měřidla na maximum při cejchování. Odporů můstku R_{17} a R_{18} jsou stejné hodnoty. Uvedený popis odpovídá schématu na obr. 11.

4.5. Napájecí zdroje

Ke splnění funkce daného zařízení je třeba zhotovit stabilizovaný napájecí zdroj pro operační zesilovač +12V, -12V. Přístroj byl vyzkoušen pomocí vnějšího stabilizovaného zdroje ARITMA.

Schmittův klopný obvod a napájení žárovky je řešeno integrovaným výkonovým stabilizátorem napětí TESLA MA 7805, který je umístěn na desce plošného spoje. Pro úplnost je uvedeno jeho blokové a elektrické schéma vnitřního zapojení na obr. 12 a 13.

Jedná se o dokonalý stabilizovaný zdroj výstupního napětí

5V při hodnotě vstupního napětí 12V.

Obvod žárovky je napájen z tohoto zdroje a proud nastaven odporem 27Ω na jmenovitou hodnotu.

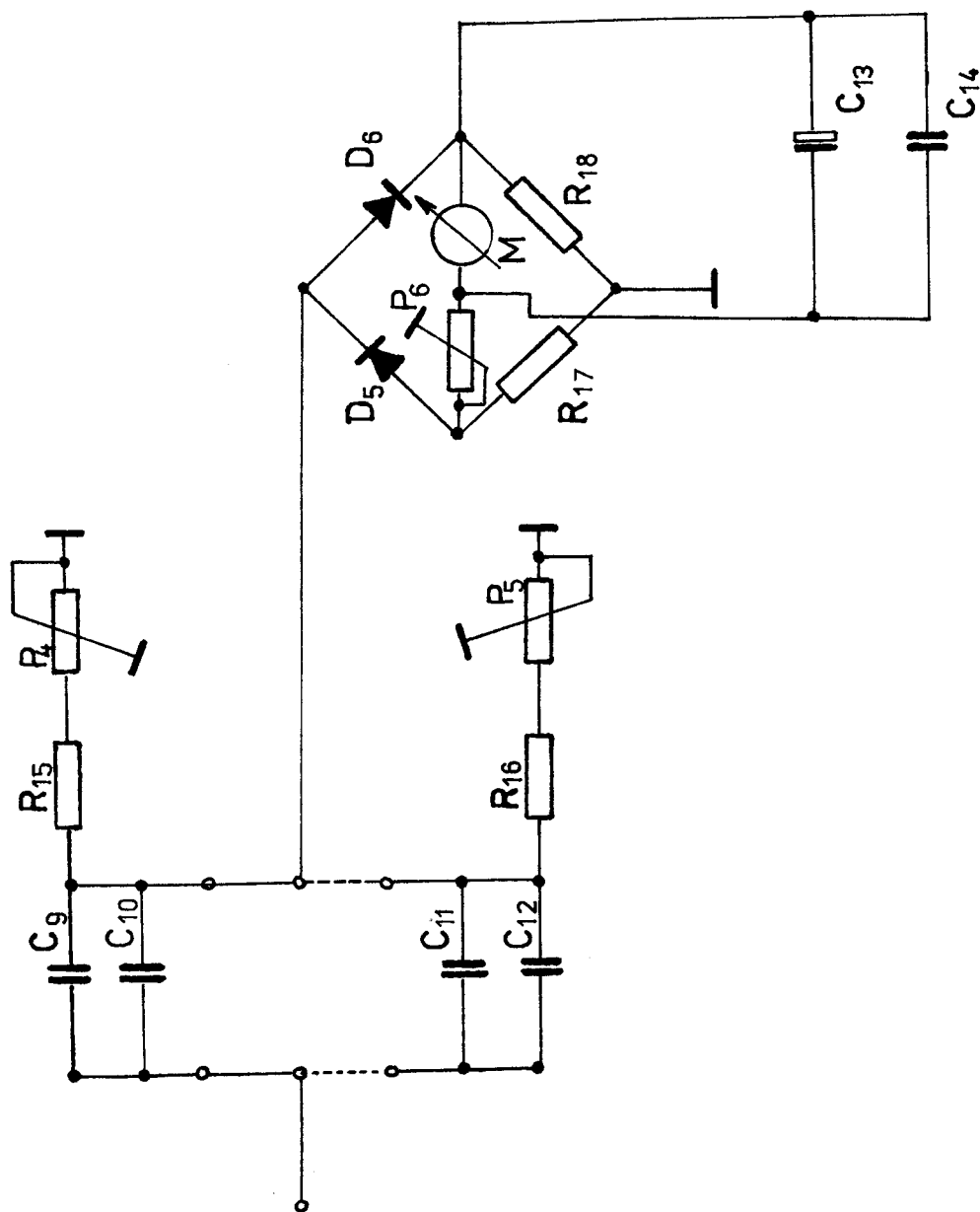
4.6. Číslicové měření otáček

Při měření otáček je velmi častým požadavkem značná přesnost měření. Otáčkoměry s možností odečtu měřené hodnoty na ručkovém měřicím přístroji tento požadavek nesplňují. Proto v teoretické části své práce uvažuji i možnost číslicového měření otáček.

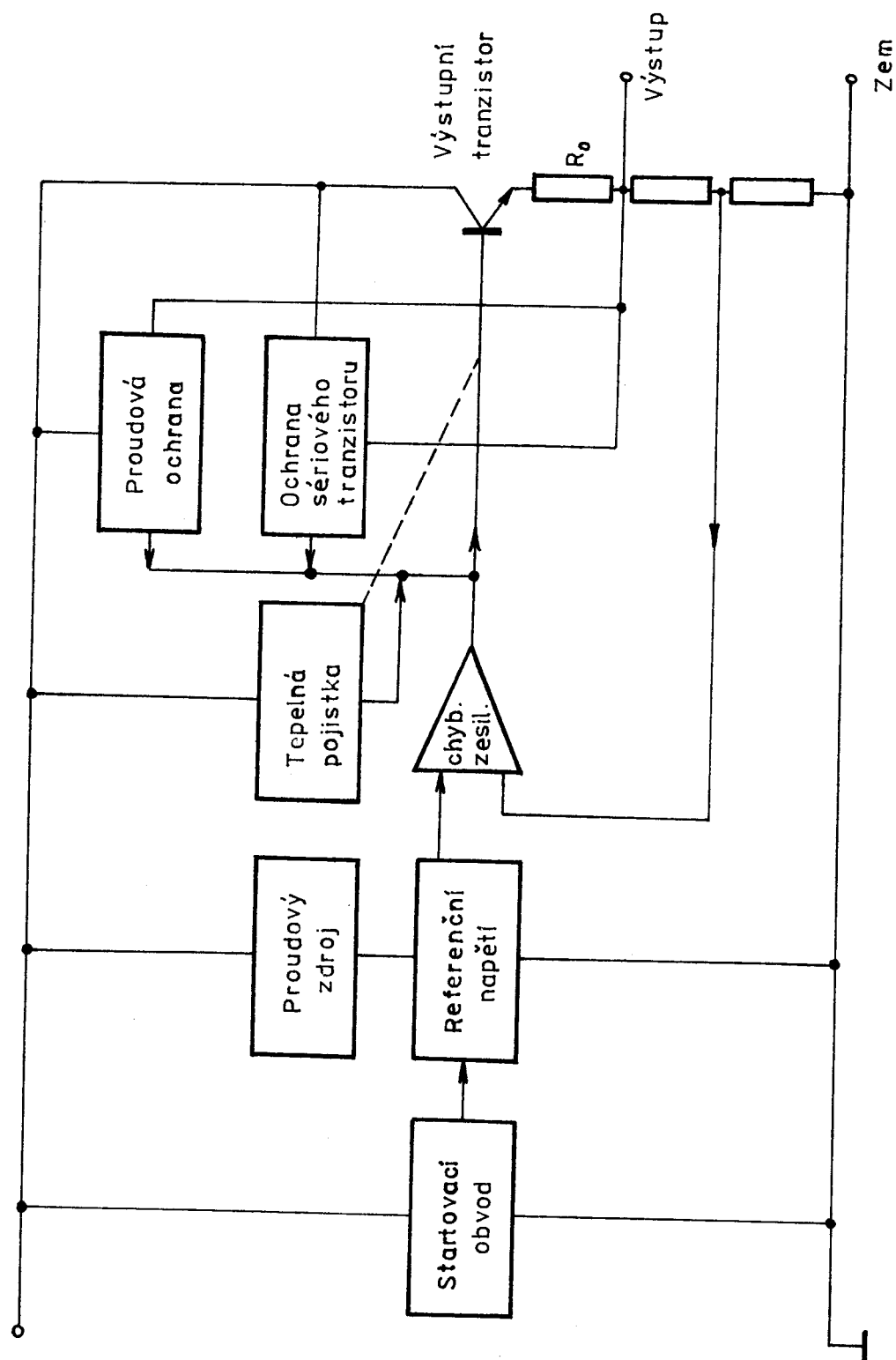
Na obr. 14 značí IO_1 až IO_4 integrované obvody TESLA MH 7490 ve funkci desítkových čítačů. Po přivedení spouštěcích impulsů na vstup IO_1 /výstup z T_2 / o kmitočtu odpovídajícím měřeným otáčkám, jsou výstupy čítačů IO_1 až IO_4 v kódu BCD převedeny pomocí integrovaných obvodů IO_5 až IO_8 , tj. dekodérů TESLA MH 74141, na kód 1 z 10 a zaznamenány digitrony TESLA ZM 1020. Údaj kmitočtu je tedy přímo čten na digitronech.

Jelikož digitrony TESLA ZM 1020 vyžadují poměrně vysoké napájecí napětí /+130V/ na jejich anody, je na obr. 15 naznačena druhá možnost s využitím integrovaných obvodů dekodérů SN 7447.

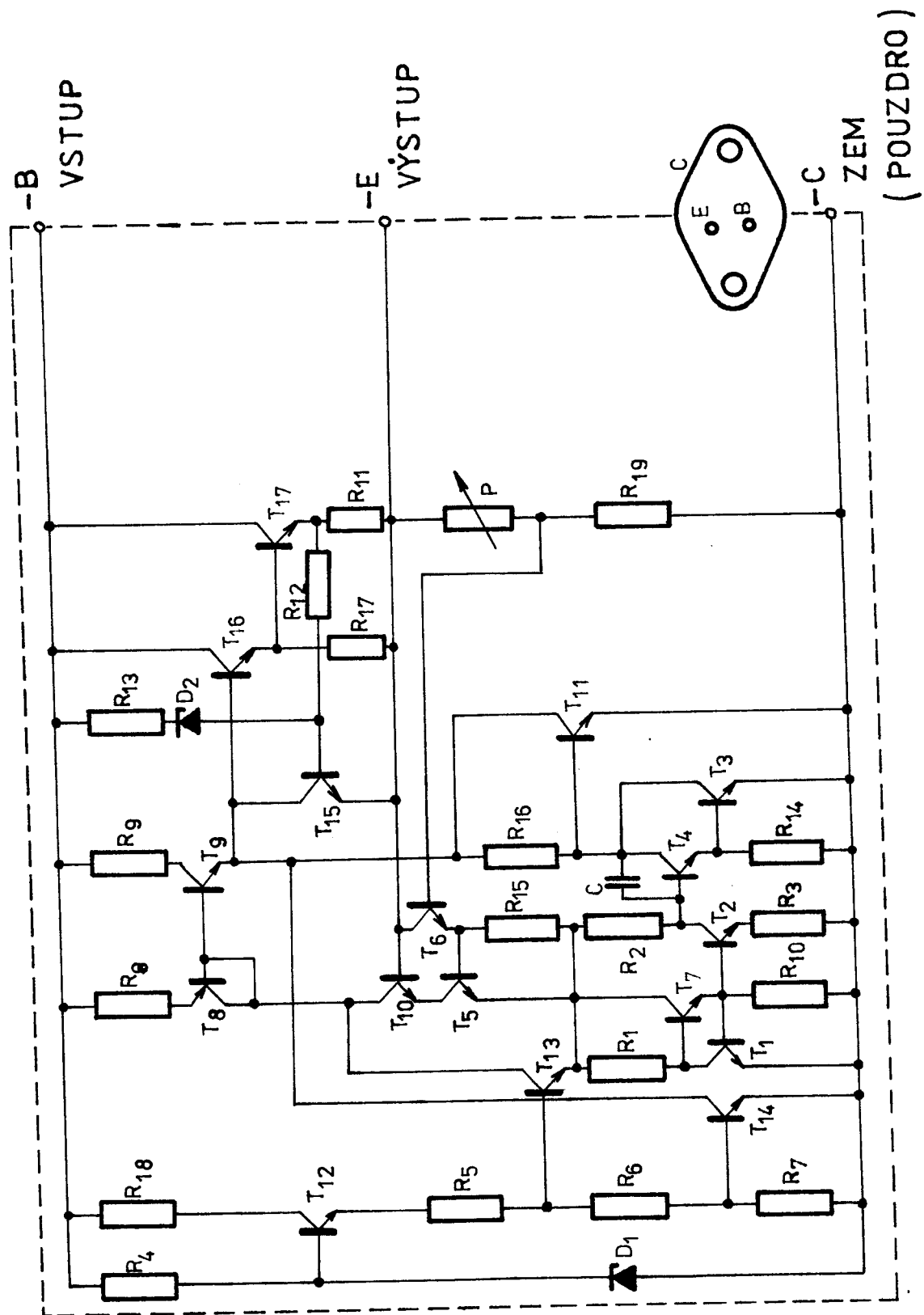
Do ČSSR se z NDR dodávají typy D 147, které jsou uzpůsobeny na 7 segmentový display LED typu LQ 400.



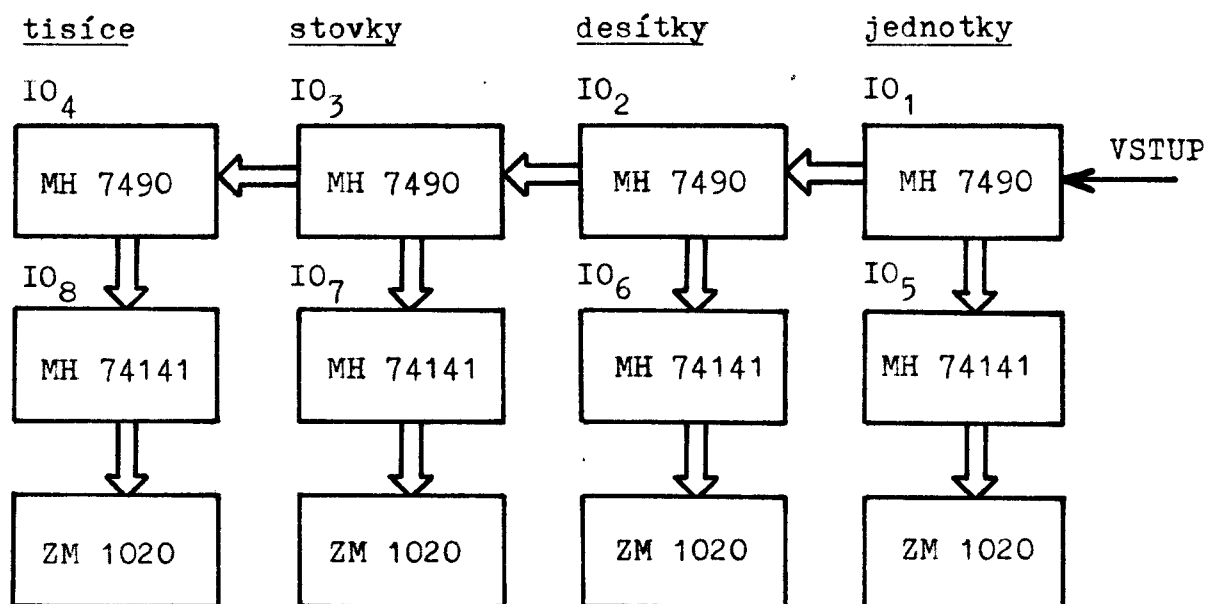
Obr. 11 Derivační obvod a analogový výstup



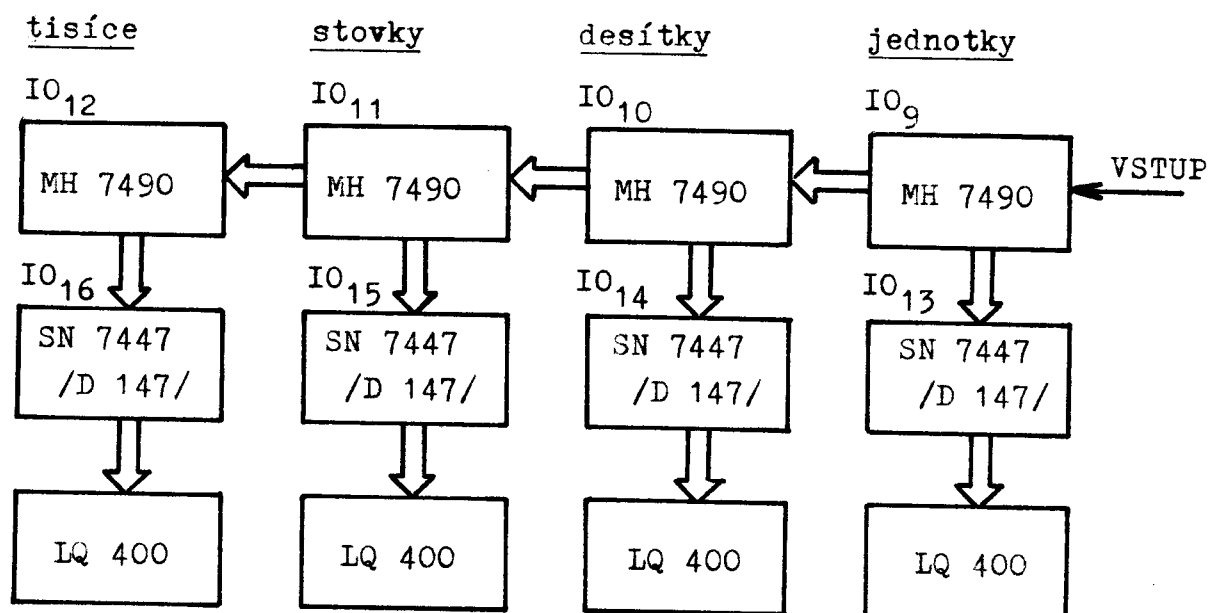
Obr. 12 Blokové schéma obvodů řady MA 78..



Obr. 13 Integrovaný výkonový stabilizátor napětí MA 7805



Obr. 14 Princip číslicového měření otáček



Obr. 15 Princip číslicového měření otáček

5. K O N S T R U K Č N Í P R Á C E

Na základě předchozího návrhu bezdotykového měřiče otáček byla navržena i jeho konstrukční část. Těžištěm a hlavním obsahem této části jsou především přiložené výrobní výkresy.

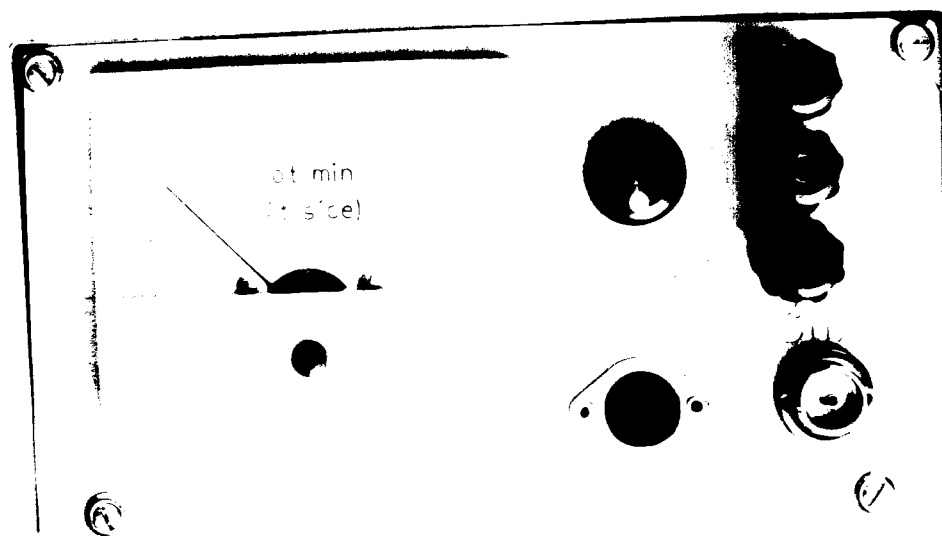
Jedná se o snímací sondu, jejíž dvě hlavní části jsou těleso a plášť. Oba detaily jsou plně dokumentovány přiloženými výrobními výkresy, podle nichž byly i vyrobeny ve školních dílnách. Další prvky snímací sondy - polopropustné zrcátko, optická čočka, žárovka a fototranzistor /fotodioda/ - jsou rozmístěny podle schématu na obr. 5 a připevněny šrouby nebo přitmeleny.

Dále pak vlastní skříňka přístroje, která je sestavena ze tří částí vystřižených z plechu tl. 1,5 mm. Čelní deska i další dvě části, které jsou ohýbány na příslušný tvar, jsou stejně jako plášť či těleso sondy, zpracovány na výrobních výkresech a přiloženy k diplomové práci jako přílohy. Skříňka je sestavena pomocí dvou rozpěrek a šroubů. Estetický vzhled skříňky zajišťuje vrchní čelní panel z vrstveného novoduru s vygravírovanými nápisy. Jeho rozměry jsou shodné s vnitřní čelní deskou /nosnou/, která je také zachycena v příloze jako výrobní výkres. Uspořádání jednotlivých prvků na čelní desce a její celkový vzhled je patrný z celkového pohledu na přístroj, který je zachycen na obr. 16. Povrchová úprava skříňky měřiče otáček je provedena syntetickým tepaným emailem.

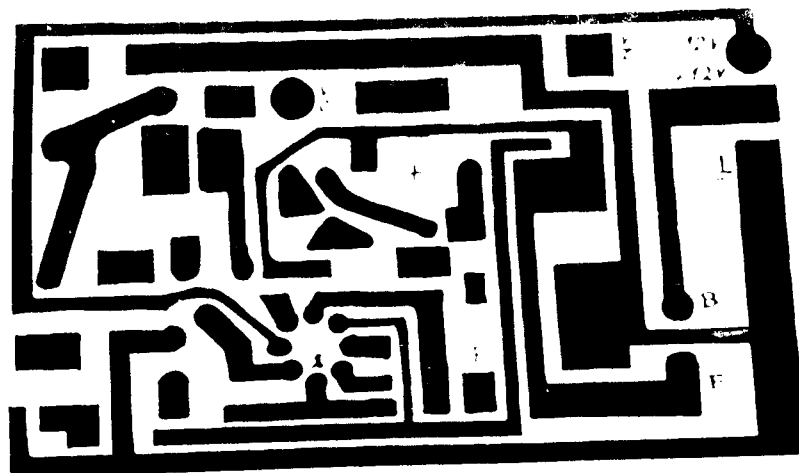
Další fází konstrukčních prací byla výroba plošného spoje, který byl navržen podle elektrických schemat na obr. 8 a 11. Plošný spoj byl vyroben ve spolupráci s katedrou elektrotechniky. Jeho návrh je patrný z obr. 17. Na dalším obrázku /18/ je zachycena destička plošného spoje ze strany součástek a tedy

i jejich rozmístění.

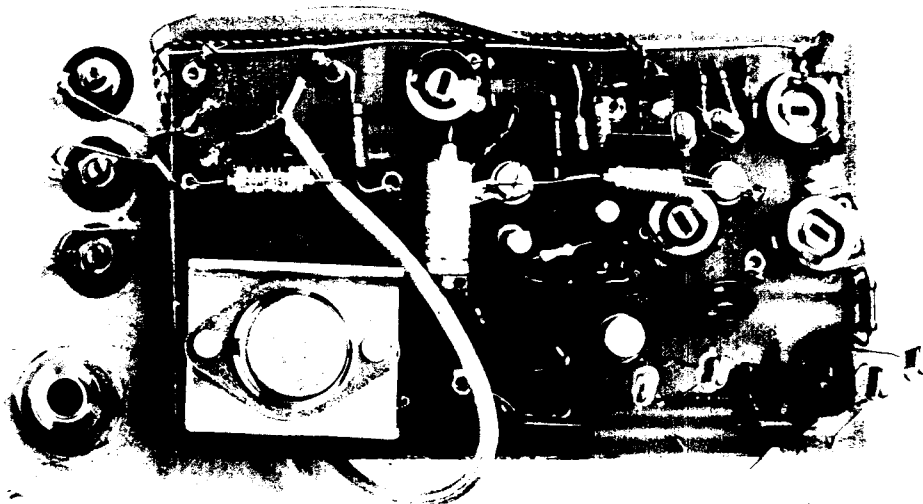
Celý přístroj i s měřicí sondou je zachycen na obr. 19.



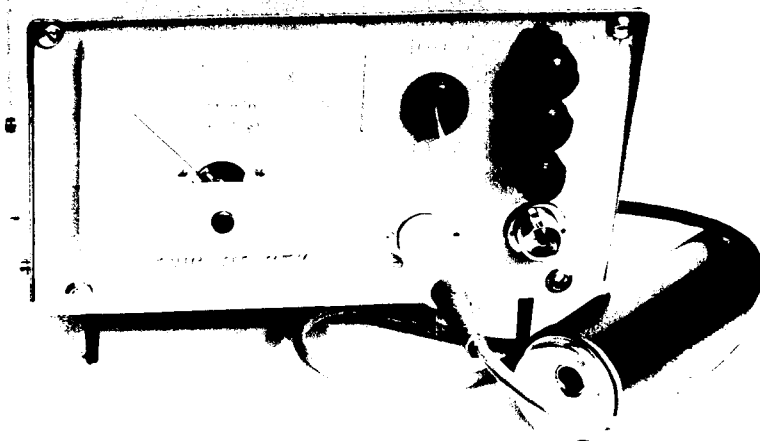
Obr. 16 Čelní pohled na přístroj



Obr. 17 Návrh plošného spoje



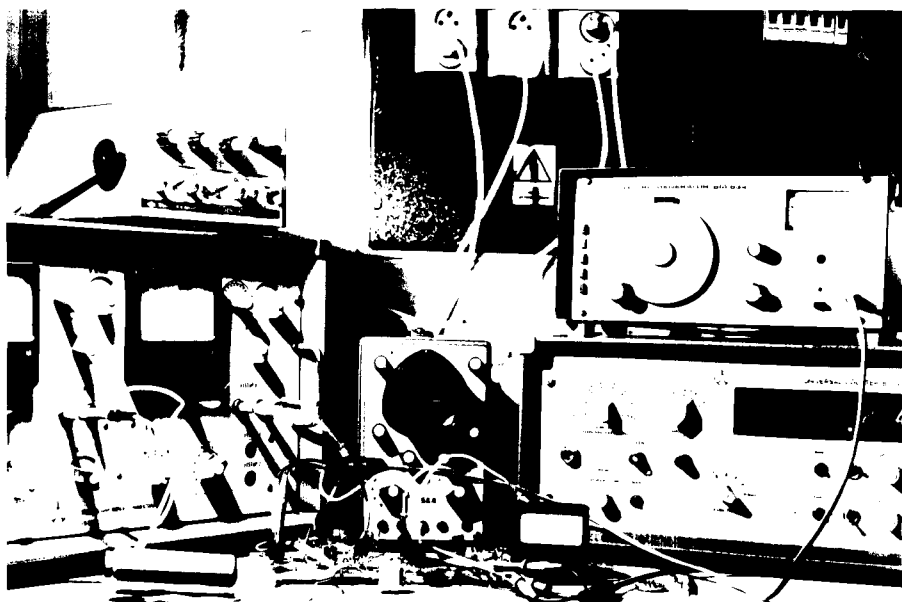
Obr. 18 Pohled na plošný spoj ze strany součástek



Obr. 19 Komplexní pohled na měřič otáček

6. M Ě Ř E N Í V L A S T N Í M P Ř Í S T R O J E M

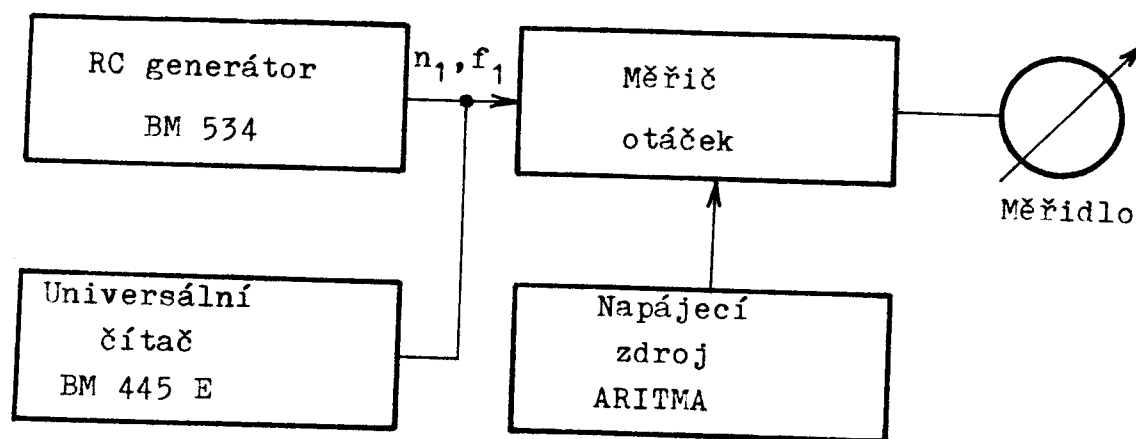
6.1. Ověřovací a měřicí pracoviště



Obr. 20 Pracoviště k ověření funkce přístroje

Obr. 20 dokumentuje pracoviště, kde byla ověřena funkce navrženého zařízení bezdotykového měřiče otáček. Práce se soustředily na ověření činnosti měřicí sondy, operačního zesilovače, Schmittova klopného obvodu a analogového výstupu. Bylo použito vnějších stabilizovaných napájecích zdrojů ARITMA a BM 534. K dispozici byl Universální čítač BM 445 E, RC generátor BM 534, a posléze i osciloskop ke kontrole úprav elektrického impulsu.

Zapojení přístrojů při cejchování měřiče otáček a stanovení jeho přesnosti je blokově zachyceno na obr. 21.



Obr. 21 Cejchování vlastního měřiče otáček s analogovým výstupem

6.2. Měření vlastním přístrojem a stanovení jeho přesnosti

Měření je provedeno zvlášť pro rozsah 0 až 10 000 ot/min a zvlášť pro rozsah 10 000 až 100 000 ot/min. Pro nás má větší význam rozsah /10 až 100/ tisíc ot/min, z hlediska možnosti použití přístroje pro měření parametrů bezvřetenových doprřadacích strojů, tedy z hlediska měření otáček vysokoobrátkových rotorů. Pro úplnost jsou uvedena měření pro oba rozsahy.

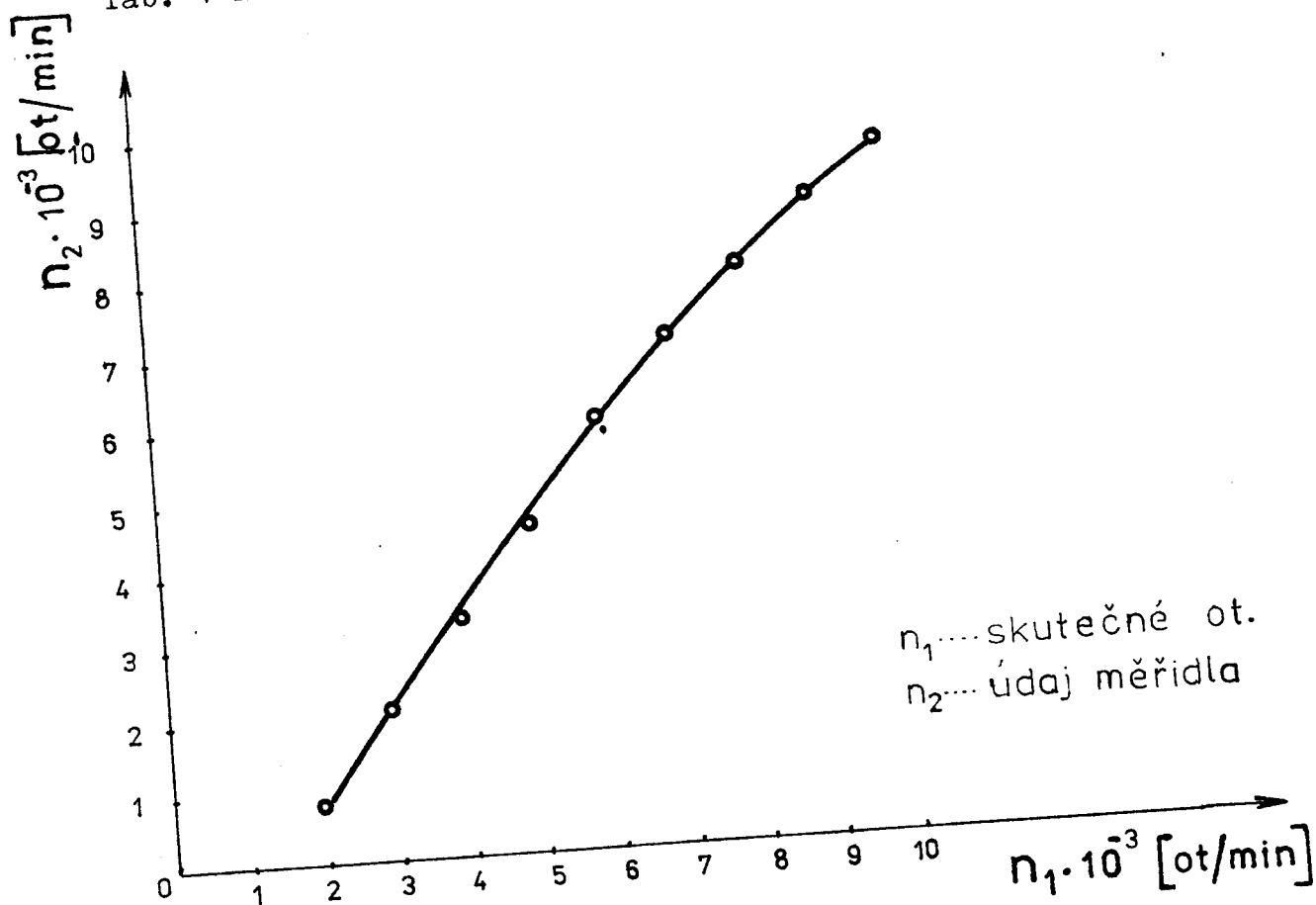
Princip měření a zapojení přístrojů je patrné z obr. 21. Měříme a zaznamenáváme otáčky skutečné a změřené a počítáme odchylku mezi nimi vzniklou. Získané hodnoty jsou zapsány v příslušných tabulkách. Skutečné otáčky $/n_1/$ přivádíme z RC generátoru B 534 a naměřené otáčky $/n_2/$ jsou údajem měřidla našeho otáčkoměru. Měřič otáček napájíme vnějším zdrojem ARITMA. Dále je zapojen do obvodu Universální čítač BM 445 E.

Výsledkem měření je závislost mezi otáčkami změřenými a skutečnými a velikost chyby otáčkoměru v závislosti na daných skutečných otáčkách.

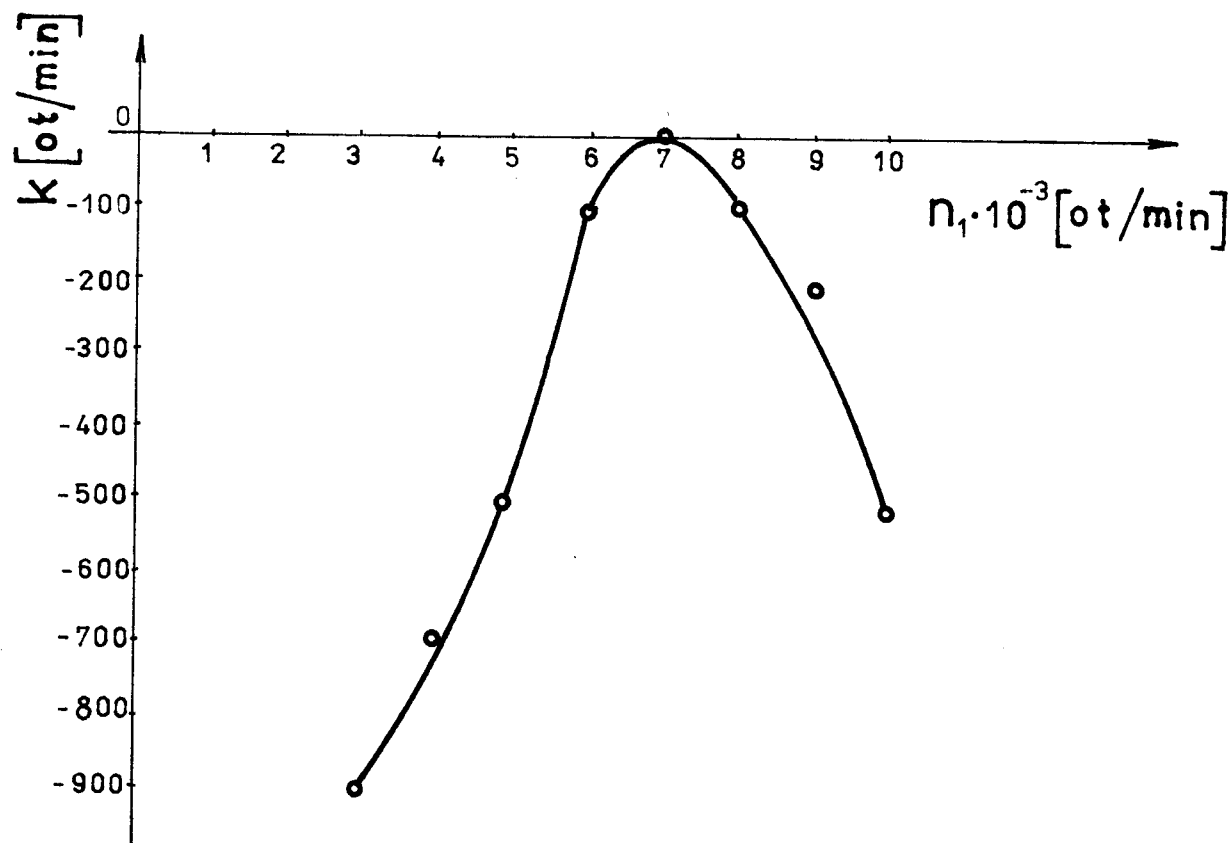
6.2.1. Rozsah 0 až 10 tisíc ot/min

n_1 [ot/min]	f_1 [Hz]	n_2 [ot/min]	$k=n_2-n_1$ [ot/min]
1 000	16,000	-	-
2 000	33,333	800	-1 200
3 000	50,000	2 100	- 900
4 000	66,667	3 300	- 700
5 000	83,333	4 500	- 500
6 000	100,000	5 900	- 100
7 000	116,667	7 000	0
8 000	133,333	7 900	- 100
9 000	150,000	8 800	- 200
10 000	166,667	9 500	- 500

Tab. 1 Naměřené hodnoty



Obr. 22 Závislost skutečných otáček a údaje měřidla

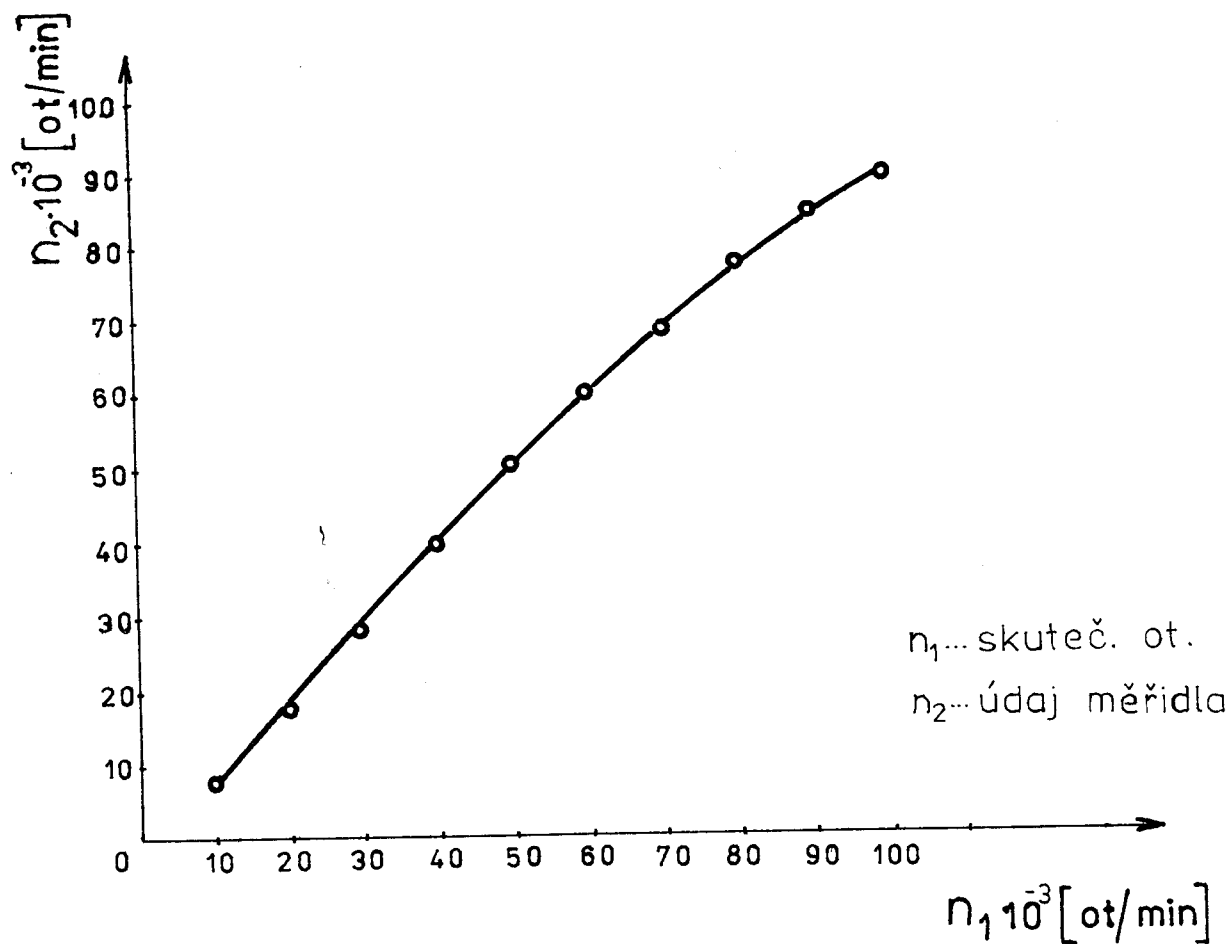


Obr. 23 Korekční křivka

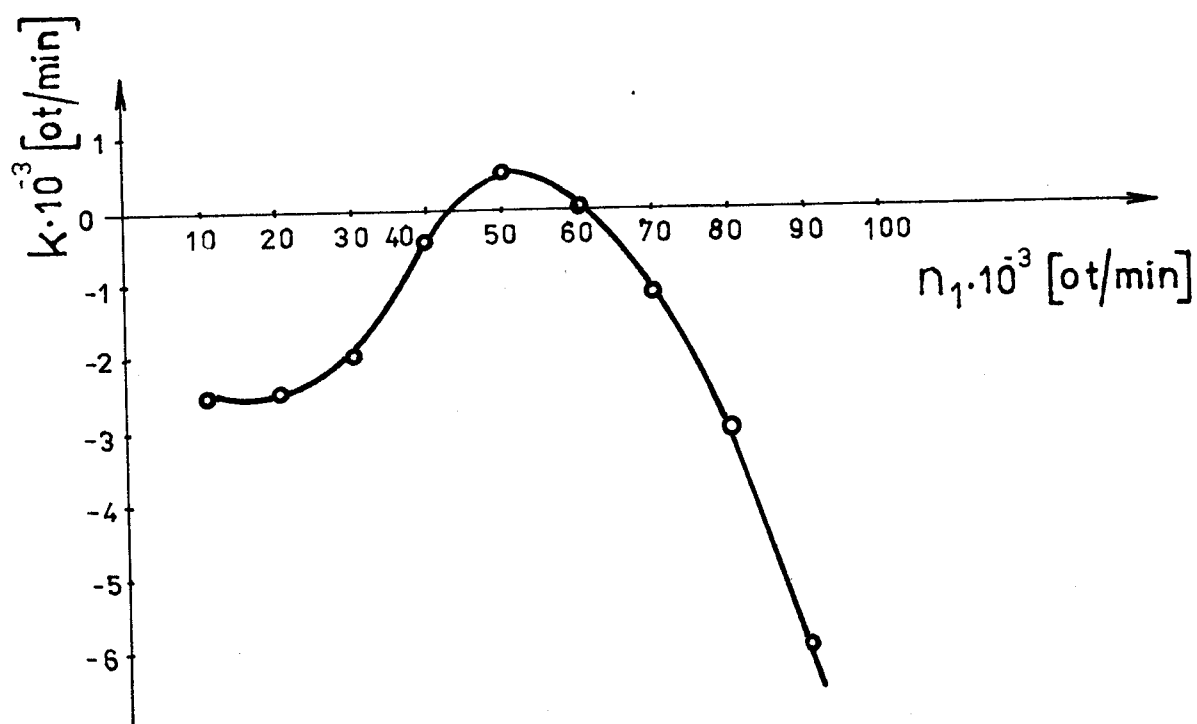
6.2.2. Rozsah /10 až 100/ tisíc ot/min

n_1 [ot/min]	f_1 [Hz]	n_2 [ot/min]	$k=n_2-n_1$ [ot/min]
10 000	166,667	7 500	-2 500
20 000	333,333	17 500	-2 500
30 000	500,000	28 000	-2 000
40 000	666,667	39 500	- 500
50 000	833,333	50 500	+ 500
60 000	1 000,000	60 000	0
70 000	1 166,667	68 800	-1 200
80 000	1 333,333	77 000	-3 000
90 000	1 500,000	84 000	-6 000
100 000	1 666,667	89 000	-11 000

Tab. 2 Naměřené hodnoty



Obr. 24 Závislost skutečných otáček a údaje měřidla



Obr. 25 Korekční křivka

6.2.3. Vyhodnocení měření

Měření ukázalo, že přesnost přístroje se značně mění se změnou frekvence. Pro názornost uvádím v tab. 3 a 4 chyby měření v % pro oba rozsahy. Z těchto hodnot je patrné, že přístroj spolehlivě měří pouze v určitých oblastech daných rozsahů. Pro rozsah /0 až 10/ tisíc ot/min jej lze použít pro měření v oblasti /6 až 9/ tisíc ot/min, pro vyšší frekvence je to 40 tisíc až 70 tisíc ot/min. V obou těchto případech nepřesahuje chyba měření 2%. Přesnost měření pro jiné rozsahy prudce klesá a otáčky pod 5 000 a nad 100 000 za minutu jsou prakticky nezměřitelné.

n_1 [ot/min]	chyba [%]
1 000	-
2 000	60,0
3 000	30,0
4 000	17,5
5 000	10,0
6 000	1,6
7 000	0,0
8 000	1,2
9 000	2,2
10 000	5,0

n_1 [ot/min]	chyba [%]
10 000	25,0
20 000	12,5
30 000	6,6
40 000	1,2
50 000	1,0
60 000	0,0
70 000	1,7
80 000	3,7
90 000	6,6
100 000	11,0

Tab. 3 Chyba přístroje v % pro rozsah /0 až 10/ tis. ot za minutu

Tab. 4 Chyba přístroje v % pro rozsah /10 až 100/ tis. ot/min

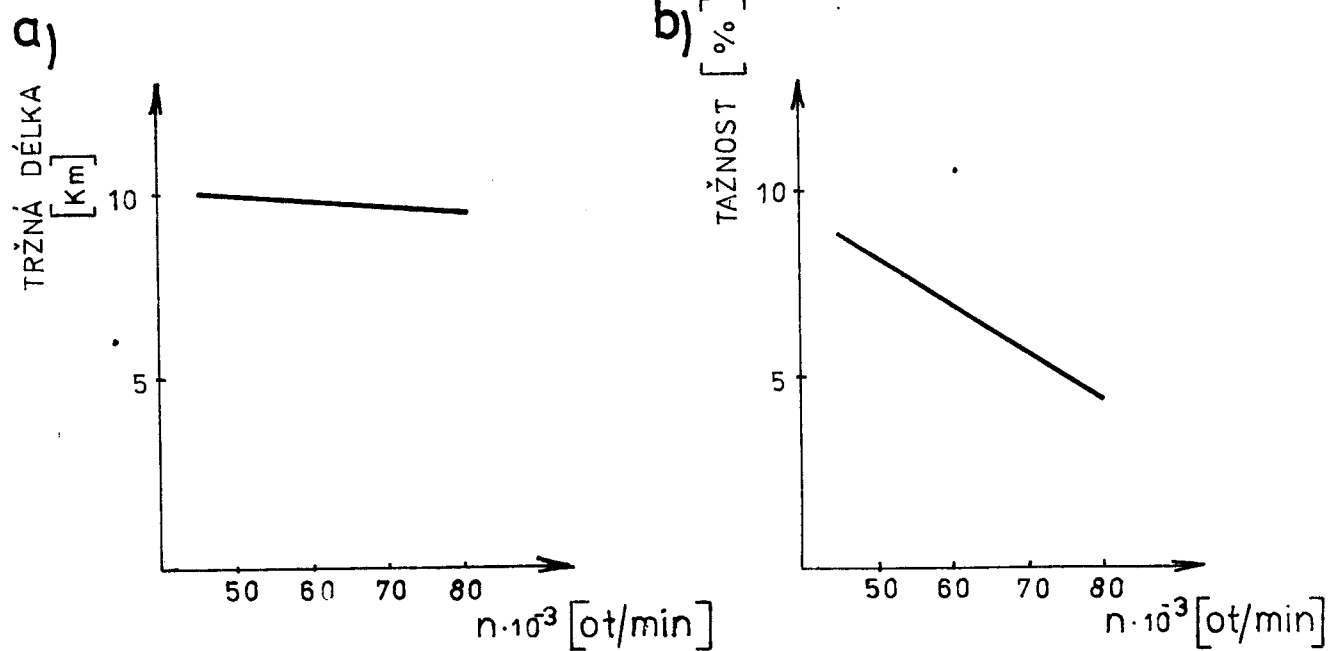
6.3. Možnost využití přístroje v praxi

Jak plyne z předchozího měření a jeho vyhodnocení, lze použít přístroj pro rozsahy otáček /6 až 9/ tisíc za minutu a /40 až 70/ tisíc za minutu s maximální chybou měření 2%.

Potvrzuje se tím předpokládaná možnost využití měřiče otáček pro bezvřetenové dopřádací stroje. Jedná se o měření otáček vyčesávacích válečků v rozsahu /5 až 20/ tis. ot/min a spřádacích rotorů jejichž otáčky se pohybují v rozsahu /40 až 80/ tisíc /min.

Otázka otáček spřádacích rotorů je stále diskutována již od vzniku této technologie. Prvé rotorové stroje pracovaly s 30 000 tis. otáčkama. V současné době dosahují otáčky 60, 80 a v extrémních případech se blíží ke 100 tisícům ot/min. Můžeme si klást otázku, zda trend ve zvyšování otáček rotoru má svou hranici. Je skutečností, že u rotorových strojů existuje jakési technologické maximum, neboť při 100 tisících otáček za minutu se musí také vyrábět příze a musí se vyrábět ekonomicky.

Je nutno proto sledovat technologické aspekty vyráběných přízí v závislosti na otáčkách spřádacích rotorů. Jako příklad uvádím závislost tažnosti a pevnosti příze na otáčkách rotoru. Je patrné, že pevnost, tažnost, ale i ostatní technologické aspekty se s otáčkami podstatně mění. Je proto nutné zachovat určité optimální provozní parametry stroje, především otáčky spřádacích rotorů. A právě k pohotovému měření a nastavení těchto parametrů rotorových strojů má sloužit náš měřič otáček.



Obr. 26 Pokles pevnosti /a/ a tažnosti /b/ příze při zvyšování otáček rotorů pro bavlnu

7. Z Á V Ě R

Přístroj byl navržen a realizován na základě požadavků plynoucích ze zadání diplomové práce. Byl sledován cíl jednoúčelového zařízení s bezdotykovým měřením otáček v rozsahu do 100 tis. ot/min a s analogovým výstupem.

Pokud bylo v mých možnostech, pokusil jsem se zařízení realizovat na principu elektronické úpravy stejnosměrného signálu. Dále jsem zvolenou metodu experimentálně ověřil a dal zařízení konkrétní podobu.

Při řešení jsem se setkal s určitými problémy, které vyvstaly až po konečné realizaci. Jedná se o předpokládanou přesnost v daném rozsahu měření. Jak vyplývá ze závěru experimentu /obr. 23 a 25/, je dostatečná přesnost zaručena jen v části daného rozsahu, nikoliv v celém.

Jsem si vědom, že k odstranění tohoto nedostatku zařízení by posloužil elektronický monostabilní klopný obvod, dnes vyráběný v integrovaném provedení.

Závěrem děkuji vedoucímu diplomové práce

Ing. F. Kadlecovi, CSc

a konzultantu

Ing. M. Slavíkovi, CSc

za cenné rady a připomínky, které mi poskytli.

Dále děkuji pracovníkům dílen VŠST Liberec za ochotné zhotovení jednotlivých částí přístroje.

SOUPISKA ELEKTROSOUČÁSTEK BEZDO- TYKOVÉHO MĚŘIČE OTÁČEK

Polovodičové prvky

IO	integrováný obvod operačního zesilovače MAA 501	1 ks
T ₁ , T ₂ ..	křemíkový tranzistor KSY 62	2 ks
D ₁₋₆ ...	polovodičová dioda KA 501	6 ks
FT ₁	fototranzistor KP 101	1 ks
F ₁	hradlová fotodioda 1PF75	1 ks
ST	integrováný výkonový stabilizátor MA 7805	1 ks

Odpory

R ₁	vrstvý odpor miniaturní TR 112	10k	1 ks
R ₂ , R ₃ ..	"	27k	2 ks
R ₄	"	1M	1 ks
R ₅	"	2M2	1 ks
R ₆	"	1k5	1 ks
R ₇	"	1k	1 ks
R ₈	"	1k5	1 ks
R ₉	"	560	1 ks
R ₁₀	"	47	1 ks
R ₁₁	"	220	1 ks
R ₁₂ , R ₁₃ ..	"	820	2 ks
R ₁₄	"	220	1 ks
R ₁₅₋₁₈ ..	"	2k5	4 ks
R*	"	10k	1 ks

Kondenzátory

C ₁	keramický plochý kondenzátor	100k	1 ks
C ₂	"	120	1 ks
C ₃	"	15	1 ks
C ₄	"	10	1 ks
C ₅	"	1M	1 ks
C ₆	"	22	1 ks
C ₇	"	1k	1 ks
C ₈	"	1M	1 ks
C ₉	"	33k	1 ks
C ₁₀	"	6k8	1 ks
C ₁₁	"	22M	1 ks
C ₁₂	"	22k	1 ks
C ₁₃	elektrolytický kondenzátor	20M	1 ks
C ₁₄	keramický plochý kondenzátor	100k	1 ks

Potenciometrické trimry

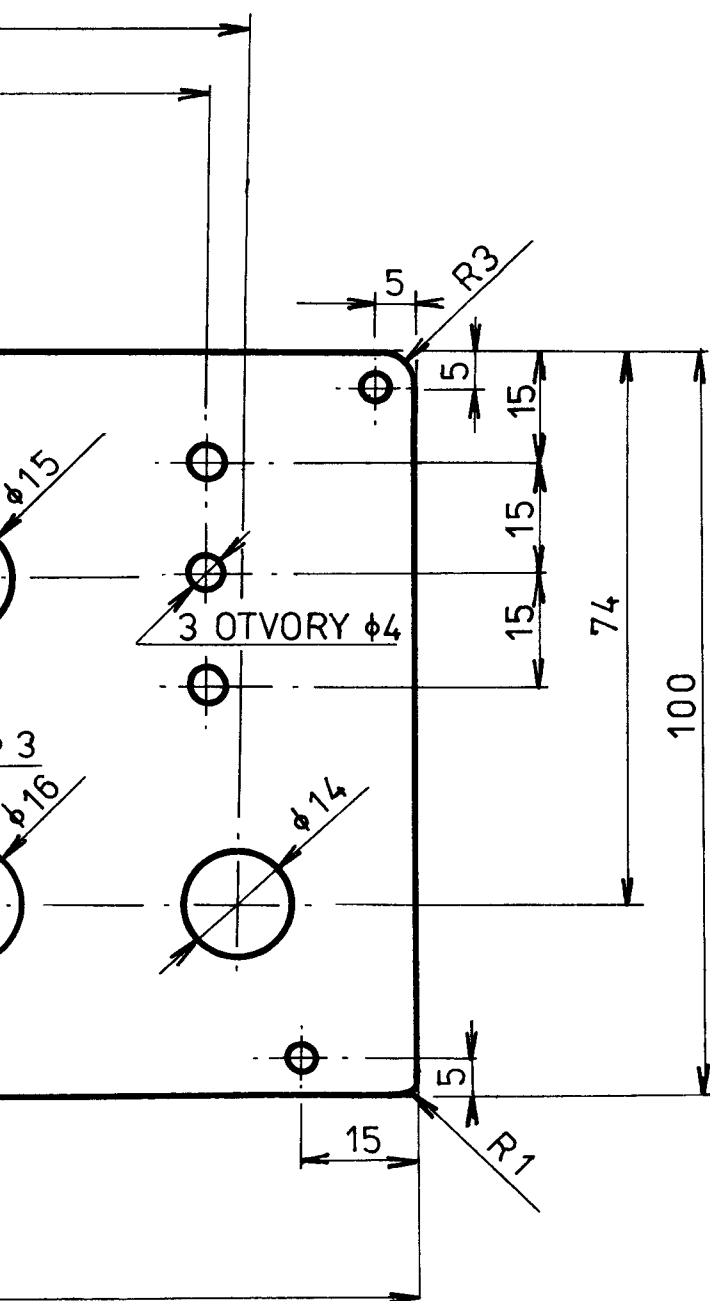
P ₁	potenciometrický trimr	15k	1 ks
P ₂	"	6k8	1 ks
P ₃	"	1k	1 ks
P ₄₋₆ ...	"	3k2	3 ks

9. S E Z N A M P Ř Í L O H

/1/	Výrobní výkres tělesa sondy	KTS-000-01
/2/	Výrobní výkres pláště sondy	KTS-000-02
/3/	Výrobní výkres části skřínky	KTS-000-03
/4/	Výrobní výkres části skřínky	KTS-000-04
/5/	Výrobní výkres části skřínky	KTS-000-05
/6/	Výrobní výkres rozpěrky	KTS-000-06

10. P O U Ž I T Á L I T E R A T U R A

- /1/ Uhlíř, Jan ; Slípka, Jaroslav : Polovodičové impulzové a spínací obvody. SNTL Praha 1975
- /2/ Tietze, U. ; Schenk, Ch. : Halbleiter-Schaltungs-technik. Verlag Berlin, Heidelberg 1971
- /3/ Kuhn, Ludvík ; Jakubcová, Hana : Elektrická měření neelektrických veličin. Skriptum ČVUT fakulty elektrotechnické, Praha 1969
- /4/ Konstrukční katalog polovodičových diod a tranzistorů. TESLA Rožnov, 1978
- /5/ Budínský, Jan : Technika tranzistorových spínacích obvodů. SNTL, Praha 1963
- /6/ Technické podmínky pro měření přístroji TESLA XP 1501 A. TESLA Rožnov, n.p. závod Vrchlabí, 1980
- /7/ Turičín, A.M. : Elektrická měření neelektrických veličin. SNTL 1956



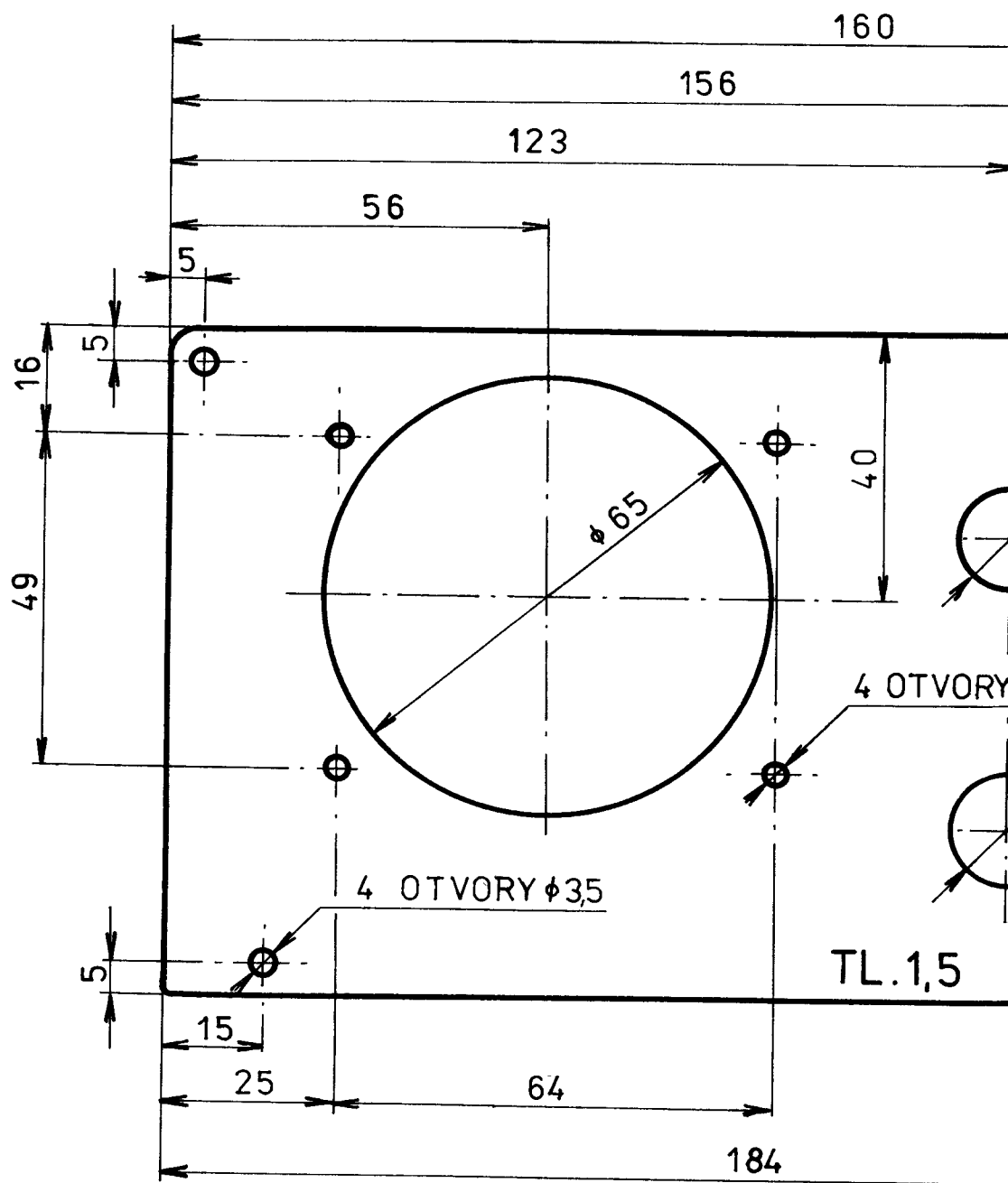
1 184 x 100 x 1,5 ČSN425301 11 373.1

m. novák

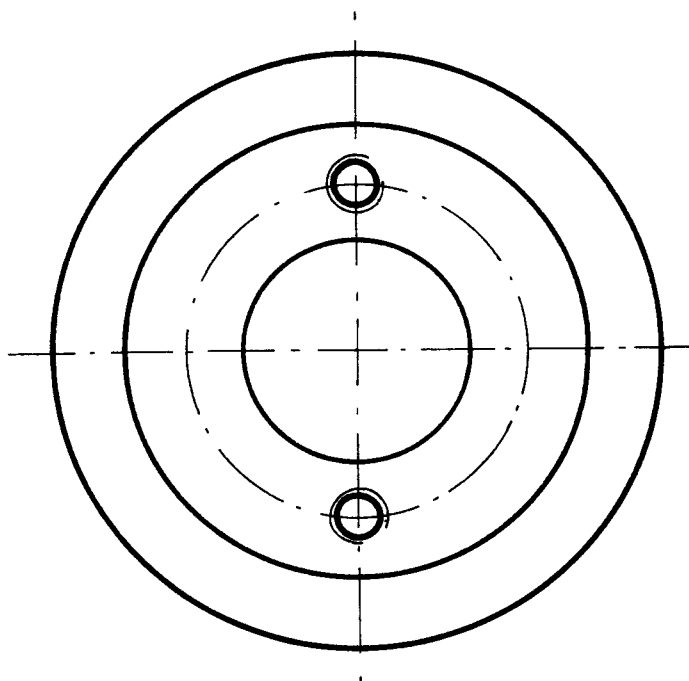
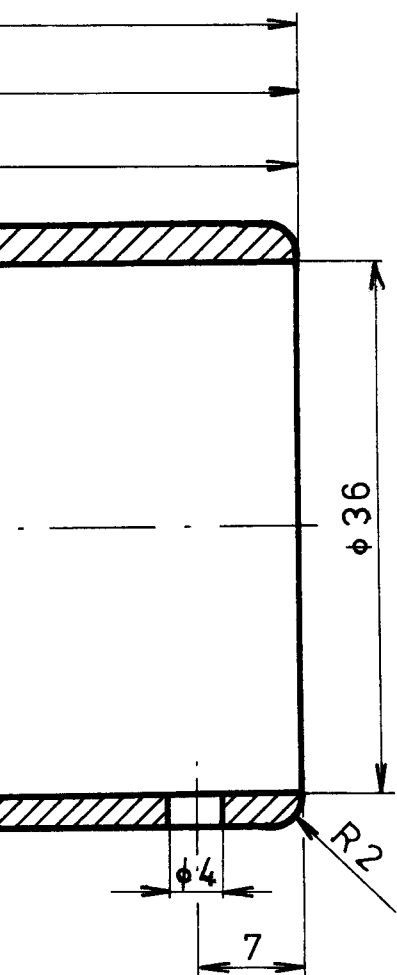
1:1

ČELO SKŘÍŇKY

KTS-000-05



3,2
✓



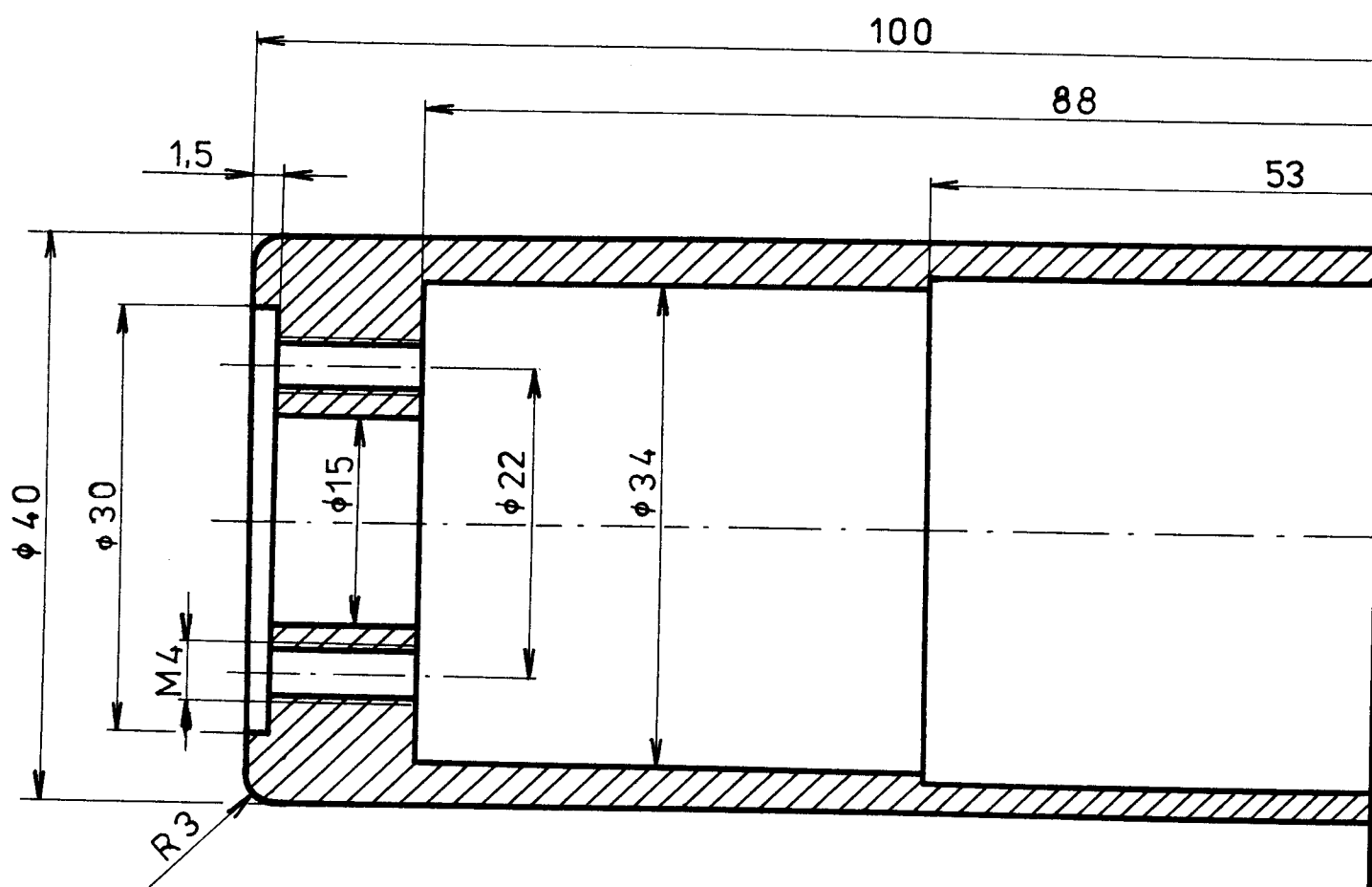
1 $\phi 40-100$ ČSN 426510 11 340.0

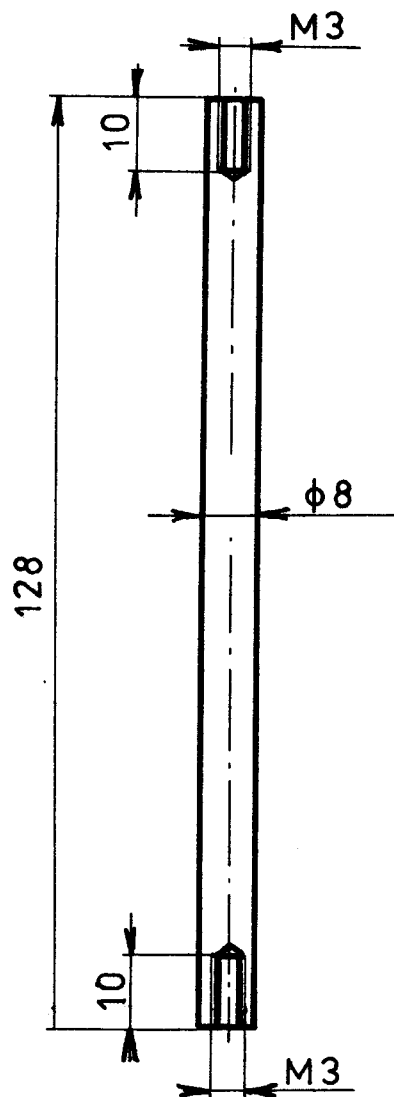
m. novák

2:1

PLÁŠŤ SONDY

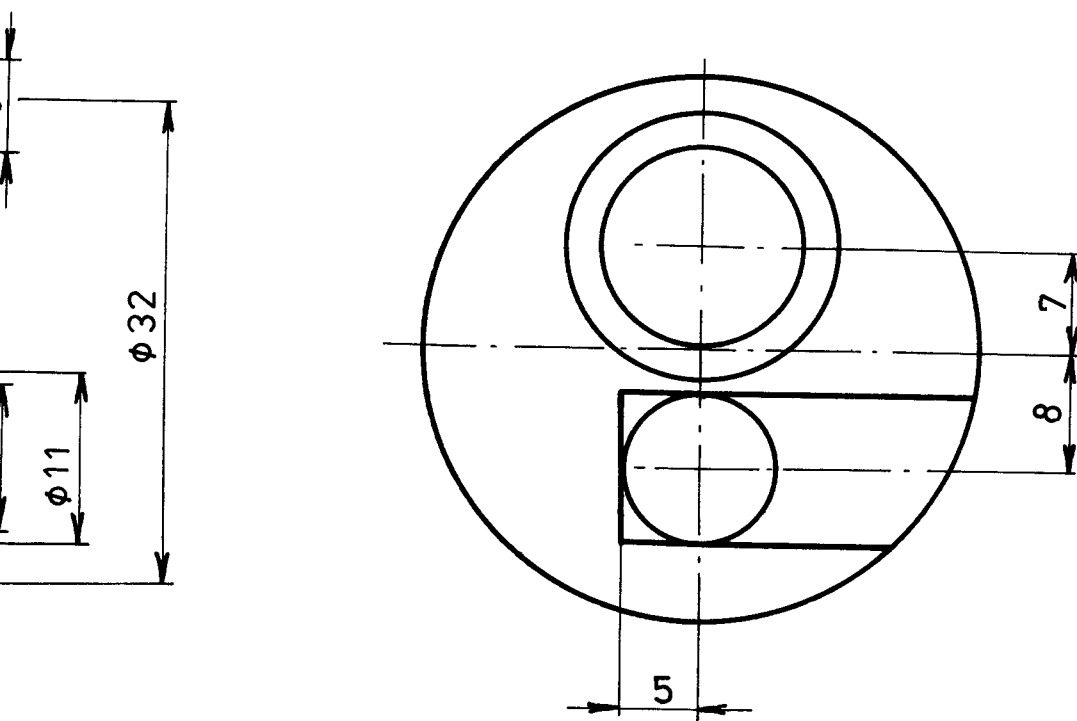
KTS-000-02





2	φ 8 - 128	ČSN 426510	11 340.0						
Počet kusů	Název - Rozměr	Polotovary	Mat. konečný	Mat. výchozí	Třída Odo.	Č. váha	Hr. váha	Číslo výkresu	Pos.
Poznámka				Celková č. váha kg					
Měřítko	Kreslil <i>M. Kovář</i>		Čís. sním.	Změna			Datum	Podpis	Index změny
1:1	Projednatel		Č. transp.	Změna			Datum	Podpis	Index změny
	Norm. ref.			Změna			Datum	Podpis	Index změny
	Vyr. projednatel	Schválil		Změna			Datum	Podpis	Index změny
		Dne		Změna			Datum	Podpis	Index změny
VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ LIBEREC		Typ	Skupina	Starý výkres		Nový výkres			
Vázev		ROZPĚRKA		KTS - 000 - 06					
				Počet listů					
				List					

3,2
✓



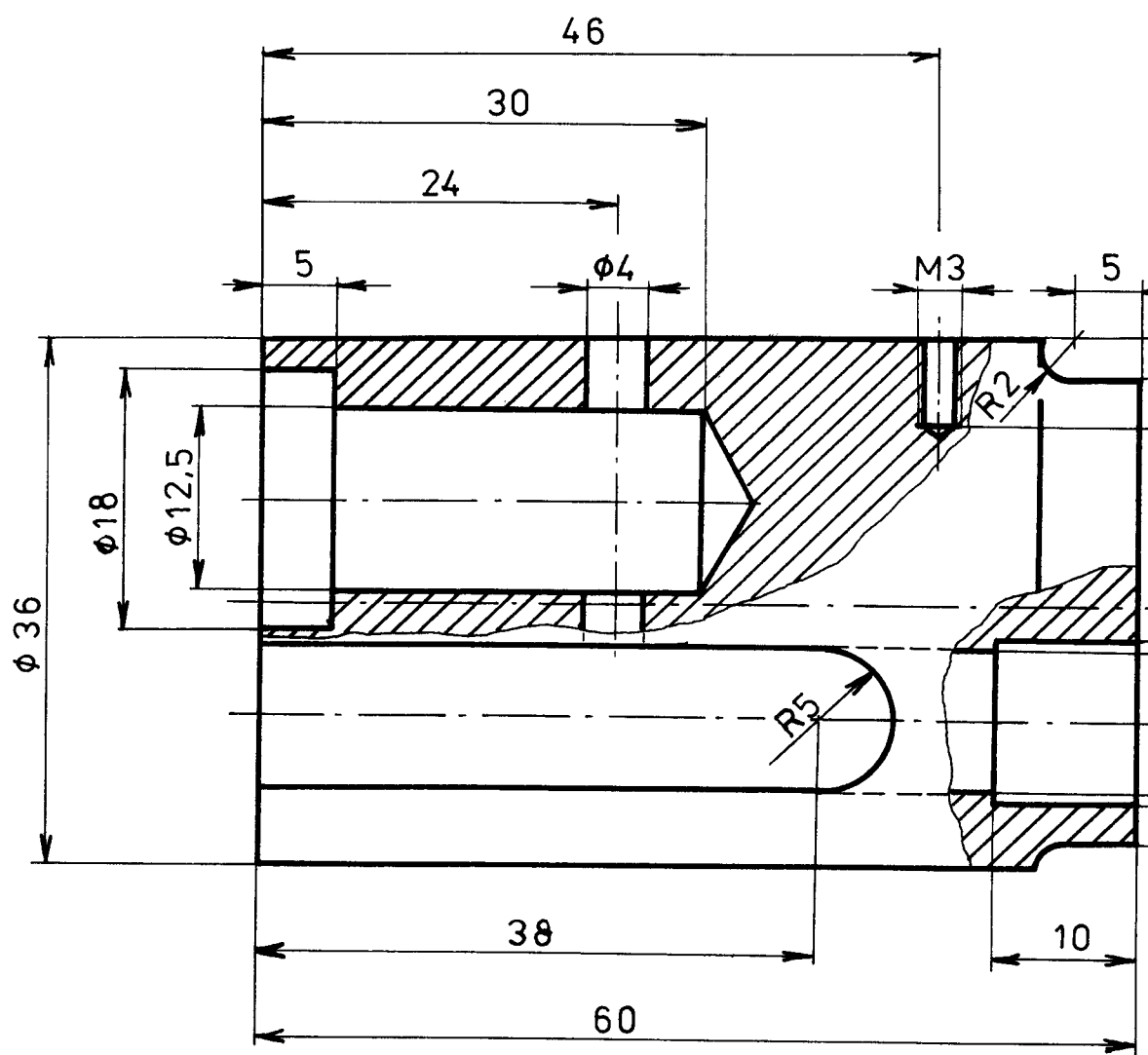
1 36 - 60 ČSN426510 11340.0

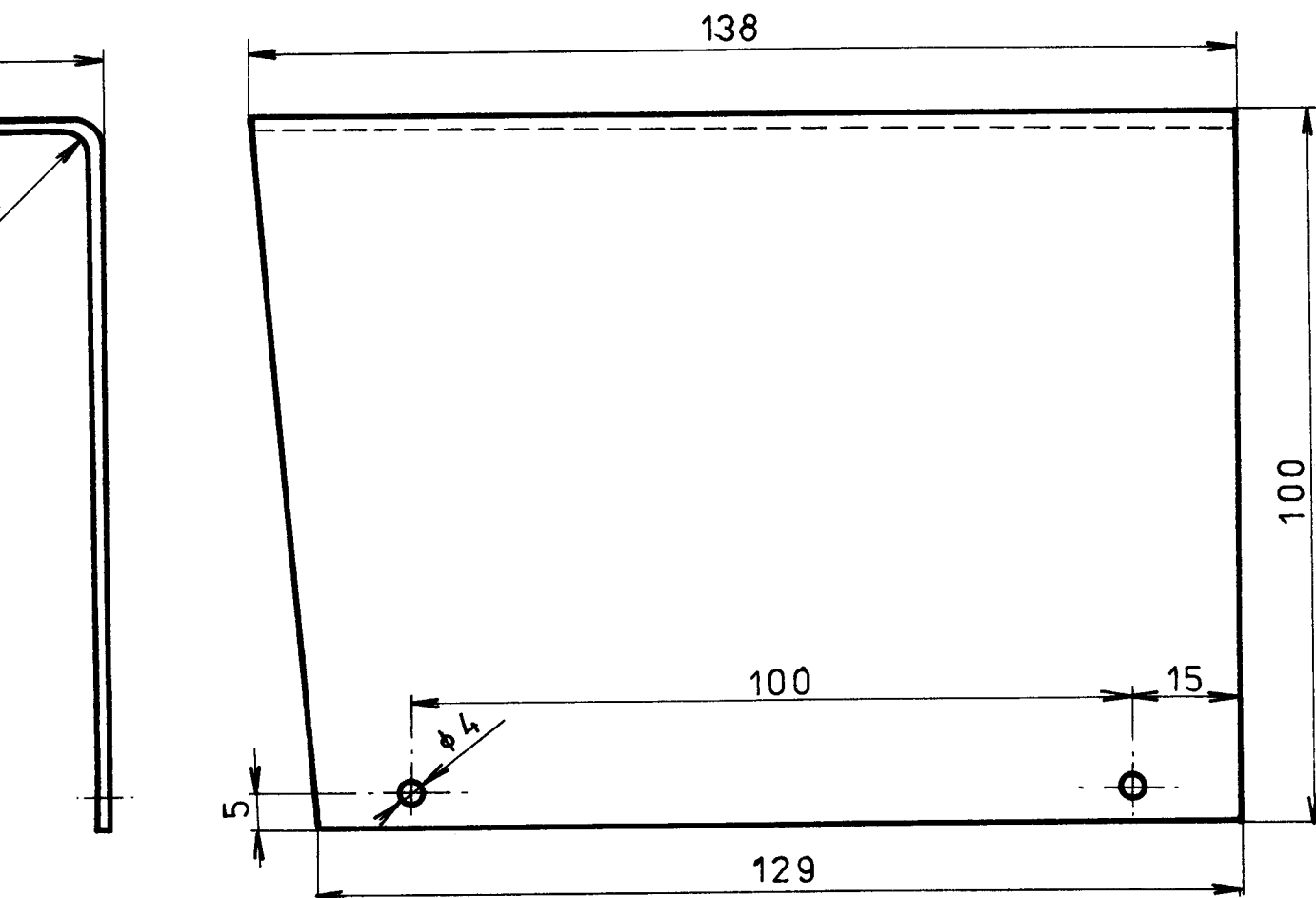
M. Novák

2:1

TĚLESO SONDY

KTS - 000 - 01





1 138 x 390 x 1,5 ČSN 42 5301 11 373.1

M. Moudrý

1:1

VRCHNÍ ČÁST
SKŘÍNKY

KTS-000-04

