

S NÍMÁNÍ DEFORMACÍ Z ROTUJÍCÍ
ČÁSTI ODPOROVÝMI TENZOMETRY
POMOCÍ TELEMETRICKÉHO TENZO-
METRICKÉHO MOSTU

Jaroslav CHOCHOLA

VUT - strojní fakulta, katedra technické mechaniky,
pružnosti a pevnosti

Požadavek snímání deformací z rotující části je v současné měřící technice zcela běžný.

Problémem, který je nutno uspokojivě zvládnout v každém případě, je otázka převodu elektrických signálů ze snímače na rotující části do měřicí, resp. registrační aparatury, stojící v klidu na pracovním stole.

Konstrukce převodů el. signálů se řeší pomocí třecích kontaktů (kroužky např. fy Höttinger), kroužků se rtutí jako media zprostředkující vodivé spojení mezi části rotující a pevnou. Tyto způsoby přenosu jsou v praxi nejběžnější.

Značný pokrok v současné elektronice (stabilní operační zesilovače, integrované obvody atd.) umožňuje sestrojit miniaturní telemetrický tenzometrický most, který je možno umístit přímo na rotující součást a měřený signál přenášet bezdrátově. Tohoto způsobu také používá firma Höttinger u známé telemetrické soupravy typu BLM, která však je především určená pro měření kroutících momentů.

Na podobném principu pracuje i naše aparatura, která umožňuje měření také s půlmostným či mostným zapojením snímačů a je zhověna z čistě tuzemských součástek. Pouze integrovaný stabilizátor můstkového napětí byl osazen americkým obvodem $\mu A723$ firmy TEXAS Instruments, protože v době zkoušek ještě nebyl k dispozici náš ekvivalentní obvod MAA 723, který v současné době již n.p. TESLA Rožnov vyrábí a dodává.

POPIS APARATURY

Princip

Změna odporu tenzometrického snímače (snímačů) způsobí rozvážení Wheastonova mostu (napájený je stejnosměrným napětím z přesného stabilizátoru napěti) a vzniklé napětí $U_{měr}$ se zesílí ve stejnosměrném zesilovači s přesně definovatelným zesílením a s minimálním proudovým, napěťovým a teplotním driftem.

Zesílené napětí $U_{měr}$ je přiváděno na lineární převodník napětí - kmitočet. Vzniklé střídavé napětí o proměnném kmitočtu (závisí na měřené deformaci) je zesíleno v jednostupňovém tranzistorovém zesilovači, který je navázán na indukční smyčku, která pracuje jako vysílací anténa.

Na přijímací straně je umístěna podélná indukční smyčka, která je navázána na střídavý zesilovač a tvarovací obvod. Na toto zařízení je připojen číslicový měřič kmitočtu, na kterém se odečítá již přímo měřená deformace.

V případě, že je žádán analogový zápis, je v zásadě možno za střídavý zesilovač a tvarovací obvod vložit lineární převodník kmitočet - napětí a pomocí vhodného zapisovače měřit i dynamické deformace. Tento způsob však nebyl ještě vyzkoušen.

MĚŘICÍ MOST

Vzniklé měřené napětí $U_{měr}$ je možno vypočítat z rovnice

$$U_{měr} = \frac{U_n}{4} \cdot n \cdot K \cdot \xi \cdot A_u$$

$U_{měr}$ vzniklé elektrické napětí způsobené rozvážením Wheastonova mostu

U_n napájecí napětí mostu

K konstanta snímače

ξ poměrné prodloužení

A_u napěťové zesílení zesilovače
n pro jeden snímač = 1
	pro dva snímače = 2
	pro 4 snímače = 4
	pro dva snímače tah - tlak = 1,3
	pro 4 snímače tah - tlak = 2,6

Abychom mohli na měřiči kmitočtu odečíst přímo velikost měřené deformace za předpokladu použití 1 aktivního snímače, tzn. ze $n = 1$, a konstanty snímače $K = 2,0$ je nutno zvolit napájecí napětí mostu $U_n = 4 \text{ V}$ a zesílení napěťového stejnosměrného zesilovače $A_u = 5 \cdot 10^2$. Velikost napájecího napětí $U_n = 4 \text{ V}$ je pro nejběžnější tenzometrické snímače o odporu $R = 120 \Omega$ zcela bezpečná, protože procházející proud je v dovolených mezích pro drátkové snímače nalepených na kovových částech. Pro foliové snímače a snímače vyšších ohmických hodnot je situace ještě příznivější.

Za těchto předpokladů se nám rovnice (1) zjednoduší na tvar

$$U_{\text{měř}} = K \cdot \varepsilon \cdot A_u \quad (2)$$

zvolíme-li např. $\varepsilon = 1 \cdot 10^{-4} = 100 \mu\text{m/m}$, potom $U_{\text{měř}}$ bude

$$U_{\text{měř}} = 2 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 10^2 = 1 \cdot 10^{-1} \text{ V} = 100 \text{ mV}$$

$$\varepsilon = 100 \mu\text{m/m}$$

$$U_{\text{měř}} = 100 \text{ mV}$$

Při použití lineárního převodníku napětí - kmitočet bude převod:

$$U_{\text{měř}} = 100 \text{ mV} ; \quad \varepsilon = 100 \mu\text{m/m} ; \quad f_{\text{měř}} = 100 \text{ Hz}$$

NAPĚТИ ZESILOVAČE

Na základě předchozího rozboru bylo stanoveno napěťové zesílení $A_u = 5 \cdot 10^2$.

Jako napěťový zesilovač byl použit integrovaný operační zesilovač TESLA MAA 502.

Při zkouškách bylo zjištěno, že vyhovující stabilita zesilovače je tehdy, pokud se nepřekročí zesílení $A_u = 10^2$.

Protože požadované zesílení je $A_u = 5 \cdot 10^2$ bylo zvoleno zapojení se dvěma operačními zesilovači MAA 502 a zesílení bylo zvoleno na každý stupeň takto:

$$A_{u1} = 5 \cdot 10^1 \quad A_{u2} = 10^1$$

Výsledné zesílení $A_u = A_{u1} \cdot A_{u2} = 5 \cdot 10^1 \cdot 10^1 = 5 \cdot 10^2$.

Napájecí napětí zesilovače je $\pm 9V$ stabilizovanými dvěma Zenerovými diodami.

Konstrukční provedení napěťového zesilovače je na obr.1 v příloze. Na desce napěťového zesilovače je také umístěn přesný stabilizátor μA 723 napájecího napětí $U_n = 4V$.

LINEÁRNÍ PŘEVODNÍK NAPĚTÍ - KMITOČET

V dostupné literatuře existuje velmi mnoho zapojení těchto převodníků, které mají velmi dobré parametry. Pro náš účel (miniaturizace) tyto převodníky obsahovaly příliš mnoho aktivních i pasivních součástek.

Proto jsme vyvinuli velmi jednoduchý, lineární a spolehlivý převodník s jedním operačním zesilovačem MAA 502. Při proměřování linearity převodu napětí - kmitočet byla v rozsahu 0,1 - 15 V/0,1 kHz - 15 kHz linearita lepší jak 0,05 %, což je více jak vyhovující. K proměřování byl použit číslicový voltmetr fy Metra a universální čítač kmitočtu fy RFT typ 3514.

Za převodníkem je zapojen tranzistorový zesilovač osazený tranzistorem KSY 62 B, v jehož kolektorovém obvodu je zapojena indukční vysílací smyčka.

Konstrukční provedení převodníku je na obr. 2. Na této desce s převodníkem je také tranzistorový zesilovač a dva Zenerovy diody, které stabilizují napětí jak pro převodník,

tak i pro napěťový zesilovač.

Deska napěťového zesilovače a převodníku je spojena spojovacími deskami, které zároveň elektricky propojují příslušné obvody.

Spojovací desky jsou přišroubovány pomocí rozpěrných tyček na ocelové kroužky. Základní díly jsou na obr. 3.

Měření

Napěťový zesilovač osazený operačními zesilovači zasiluje kladná i záporná stejnosměrná napětí, což umožnuje měření tahových i tlakových deformací.

Protože převodník napětí - kmitočet převádí pouze kladná napětí na kmitočet, bylo by možno měřit pouze buď tahové (tlakové) deformace podle zapojení snímače do příslušné větve Wheastonova mostu či podle polarity napájecího napětí můstku U_n .

Aby bylo možno sledovat jak tahové, tak i tlakové deformace, bylo zapojení druhého operačního zesilovače upraveno tak, aby při vyváženém měřícím mostě a vyváženém prvním operačním zesilovači bylo na výstupu druhého operačního zesilovače kladné napětí 3V, tj. 3000 mV. To odpovídá po převodu tohoto napětí kmitočtu 3000 Hz a tedy odpovídá i nulovému vyvážení mostu. Tento kmitočet můžeme nazvat vyvažovacím kmitočtem f_o . Potom tahové, či tlakové deformace vyvolají od tohoto vyvažovacího kmitočtu f_o zvýšení, či snížení kmitočtu na hodnotu $+f_1$, nebo $-f_1$. Rozdíl kmitočtu Δf se potom rovná

$$\Delta f = f_1 - f_o$$

$$\Delta f = f_1 - f_o$$

Rozdíl kmitočtu Δf potom odpovídá při splnění rovnice (2) přímo poměrnému prodloužení ε , například rozdílu kmitočtu $\Delta f = 10 \text{ Hz}$ odpovídá $\varepsilon = 10 \cdot 10^6 = 10 \mu\text{m/m}$.

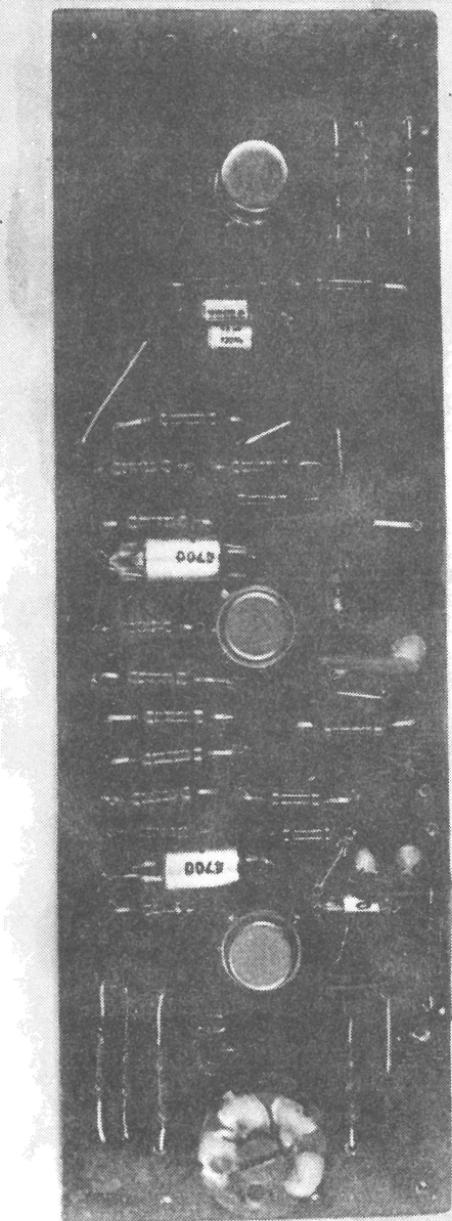
Napájecí napětí pro celý telemetrický tenzometrický most se může přivádět přes třecí 6-ti kroužkovou klavici, např. fy Hottinger apod.

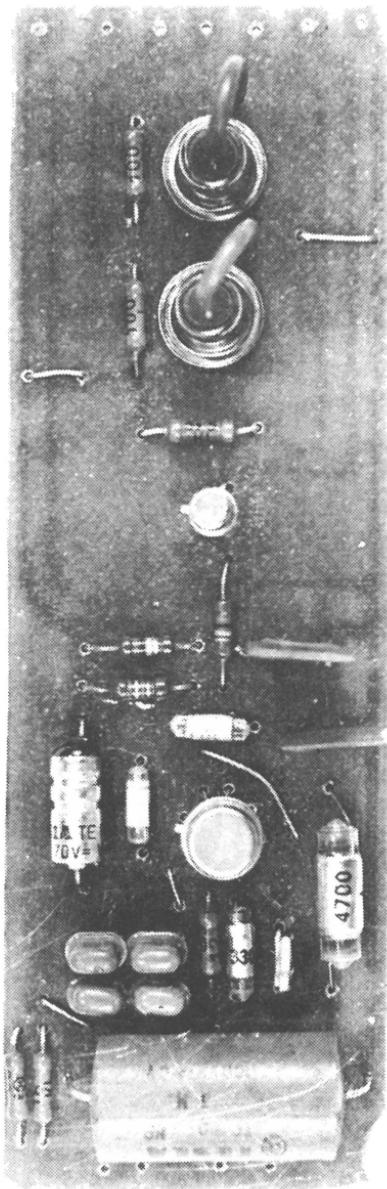
Vzhledem k tomu, že proudový odběr celé aparatury činí cca 50 mA, nejsou na kroužky kladené žádné zvláštní elektrické požadavky. Vliv přechodového odporu a jeho stálost se nemusí brát v úvahu. Vyvažování mostu se děje pomocí přiváděného stejnosměrného napětí přes kroužek na neinvertující vstup prvního operačního zesilovače. Přechodový odpor kroužek-kartáč a jeho změna se prakticky neuplatní, protože tyto odpory leží v serii s odporem R5, který má hodnotu 1,5 M Ω .

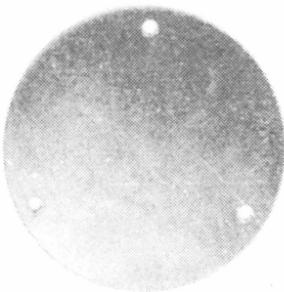
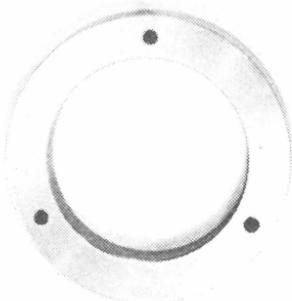
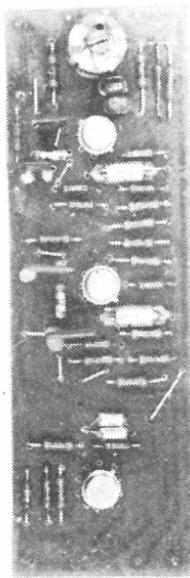
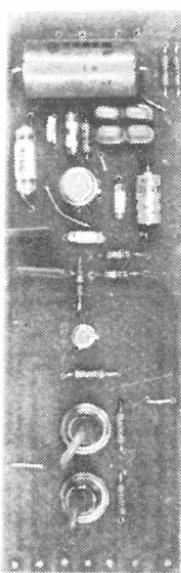
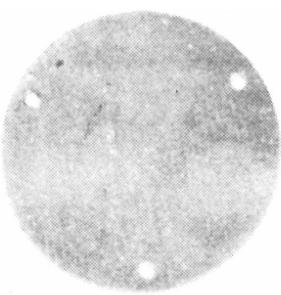
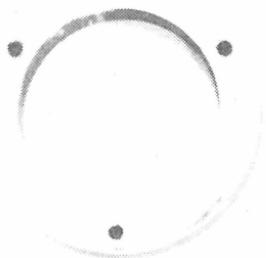
Další možný způsob napájení je pomocí vestavěných stříbro-zinkových akumulátorů. Tento způsob však nebyl vyzkoušen pro jejich nedostupnost. Dále také uvažujeme o indukčním přenosu elektrické energie a z toho plynoucí nutnosti kapacitního přenosu měřených hodnot.

Zapojení měřícího mostu, napěťového zesilovače a převodníku včetně stabilizátorů je na obr.4.

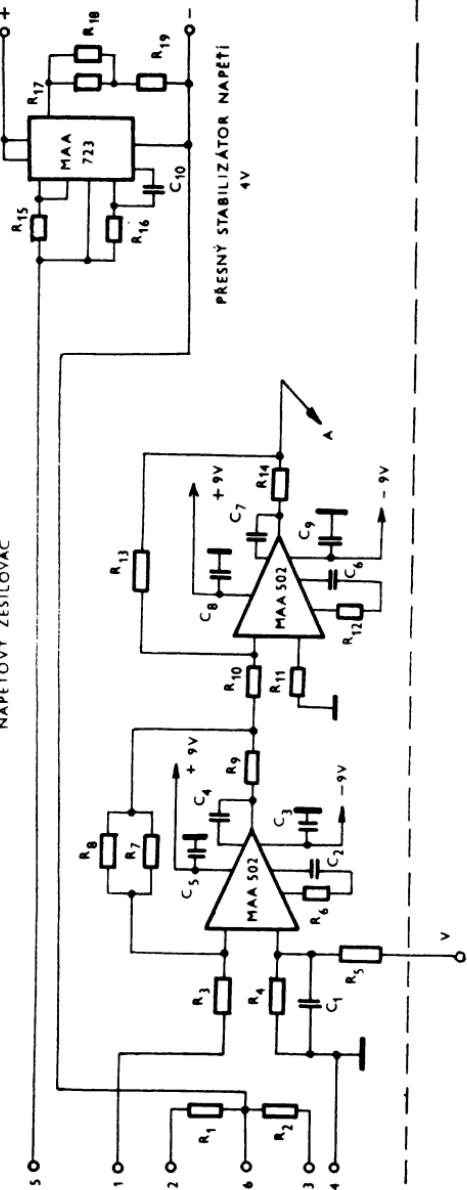
Připojení tenzometrů v půlmostovém či mostovém zapojení a připojení napájecích zdrojů je na obr.5.





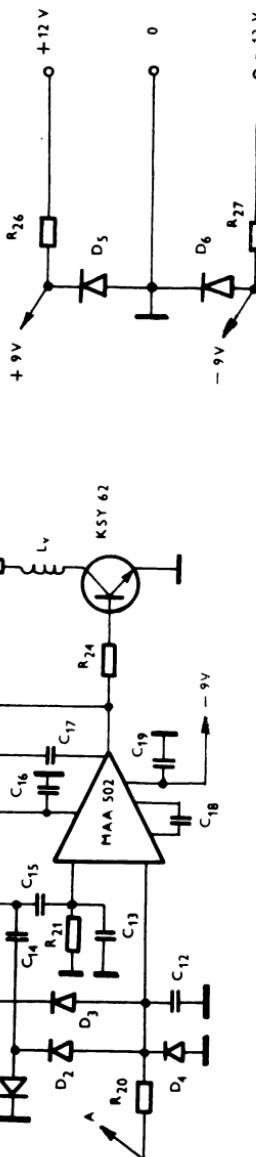


NAPĚŤOVÝ ZEŠILHOVAC



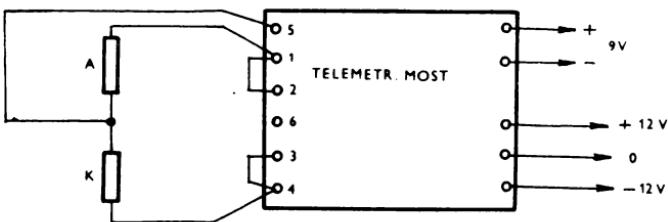
Obr. 4

STABILIZÁTOR NAPĚTI

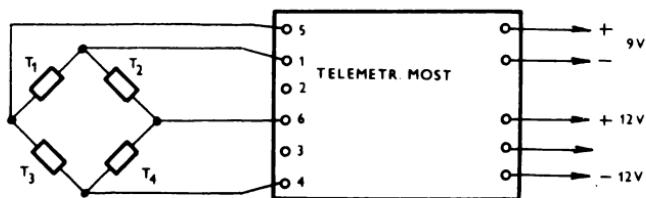


-12V

a/ PŮLMOSTOVÉ ZAPOJENÍ



b/ MOSTOVÉ ZAPOJENÍ



Obr. 5