



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

202 665

(11)

(B1)

(61)

(23) Výstavní priorita
(22) Přihlášeno 01 10 75
(21) PV 6635-75

(51) Int. Cl.³ G 01 R 27/02

(40) Zveřejněno 30 05 80
(45) Vydáno 01 06 83

(75)

Autor vynálezu

JURČA MILOŠ ing.

PLÍVA JIŘÍ ing.

ČADEK KAREL ing., PRAHA

(54)

Zařízení pro měření specifického odporu vodivých a polovodivých materiálů

1

Předmětem vynálezu je zařízení pro měření specifického odporu vodivých a polovodivých materiálů.

Specifický odpor vodivých a polovodivých materiálů se v současné době měří v podstatě dvěma způsoby: kontaktním a bezkontaktním. Kontaktní způsob umožňuje měření specifického odporu v libovolném místě měřeného vzorku materiálu, zatímco bezkontaktní způsob umožňuje měření v objemu daném tloušťkou vzorku a plochou určenou geometrickým tvarem měřící sondy.

Z kontaktních způsobů měření je nejdůležitější tzv. čtyřbodová metoda. Její princip spočívá v měření úbytku napětí mezi dvěma wolframovými hroty, přiloženými k povrchu měřeného vzorku v určených bodech. Měrný stejnosměrný proud je přiváděn druhou dvojicí hrotů, umístěných vně snímacích hrotů. Tato metoda dává při zachování potřebných podmínek, hlavně přitlačného tlaku, poloměru a vzdálenosti hrotů, vcelku dobré výsledky s přesností, dostačující pro běžnou výrobu měřených materiálů.

Hlavní nevýhodou čtyřbodové metody je její poměrně malá produktivita měření, neboť je potřeba několikanásobného měření na více místech povrchu, a dále malá životnost měřících hlavice, tj. otupování a deformace hrotů o povrch měřených materiálů. Mimoto může i při pečlivé práci dojít k jistému znečištění, případně poškození, povrchu měřeného

materiálu otěrem a vysokým měrným tlakem kovových hrotů a stykem s podložkou.

Bezdotykové způsoby měření specifického odporu jsou založeny na elektromagnetické metodě, přičemž jednotlivá provedení měřičů se odlišují způsobem vyhodnocení měření. Buď se vyhodnocuje změna indukčnosti měřicí cívky, nebo impedance měrného obvodu, změna činitele jakosti měrného obvodu anebo změna útlumu vysokofrekvenčního pole ve vlnovodu apod. Známý je například měřič specifického odporu a tloušťek vrstev, který využívá elektromagnetické metody a vyhodnocuje změnu indukčnosti měřicí cívky, způsobenou měřeným parametrem. Využívá přeměny frekvenčně modulovaného signálu na amplitudově modulovaný jeho průchodem rezonančním obvodem, přičemž měřený vzorek může být vázán induktivně nebo kapacitně.

Společnou nevýhodou stávajících měřících bezdotykových zařízení je nelineární závislost mezi měřeným parametrem, kterým je obvykle stejnosměrné napětí, získané detekcí vysokofrekvenčního napětí a měrným odporem, což v mnoha případech vede k použití ručkových přístrojů s nelineární stupnicí, případně použití různých korekčních grafů apod., což ve svém důsledku vede k nízké a v závislosti na hodnotě měrného odporu proměnné absolutní i relativní přesnosti měření. Rovněž produktivita měření je zvláště v případech použití korekčních grafů nízká.

Uvedené nevýhody odstraňuje zařízení pro měření specifického odporu podle vynálezu, jehož podstata spočívá v tom, že je tvořeno měrným obvodem, obsahujícím cívku paralelně spojenou se sériovou kombinací prvního a druhého kondenzátoru, tvořících kapacitní dělič, kde k odbočce cívky je připojen generátor vysokofrekvenčního napětí a paralelně ke druhému kondenzátoru kapacitního děliče je připojena sériová kombinace první a druhé kompenzační impedance, přičemž ke druhé kompenzační impedanci je paralelně připojena měrná sonda, dále k cívce a prvnímu kondenzátoru kapacitního děliče je připojen detekční obvod, k jehož výstupu je připojen proměnný odpor, spojený se vstupem linearizačního obvodu, jehož výstup je připojen ke korekčnímu obvodu, spojenému s digitálním voltmetrem.

Zařízení pro měření specifického odporu podle vynálezu je charakterizováno následujícími výhodami. Patří mezi ně mimo jiné, snadná obsluha, několikanásobně větší rychlost měření než u známých zařízení, eliminace používání korekčních grafů, vyjádření hodnoty specifického odporu v digitální formě, snadná údržba bez použití speciálních měřících přístrojů, vysoká přesnost měření. Měřený vzorek materiálu není při tom ve styku s žádnou kovovou částí přístroje, není mechanicky namáhán a u destiček měřeného materiálu, například křemíku, vyniká necitlivost měření na průhyb.

Příklady zařízení pro měření specifického odporu podle vynálezu jsou znázorněny na výkresech, kde na obr. 1 je zapojení měrného obvodu, na obr. 2 jedna z variant jeho konkrétního provedení. Na obr. 3 je zjednodušené provedení zapojení zařízení pro měření specifického odporu podle vynálezu, na obr. 4 zapojení detekčního obvodu, na obr. 5 linearizačního obvodu, na obr. 6 a 7 korekčního obvodu. Na obr. 8 a 9 je vyobrazení měrné sondy

a soustavy měrná sonda - měřená destička materiálu, na obr. 10 náhradní zapojení soustavy měrná sonda - měřená destička.

Příklad provedení měrné sondy koaxiálního uspořádání je zobrazen na obr. 9. Průměry D_1 , D_2 , D_3 , jakož i volba materiálu, konstrukce a technologie jsou voleny tak, aby sonda vykazovala následující vlastnosti. Pro jejich popis je zapotřebí ještě náhradního zapojení soustavy měrná sonda - měřená destička, zobrazené na obr. 8, kde MV představuje měřený vzorek o průměru $\varnothing_D$ a MS je měrná sonda s průměry D_1 , D_2 , D_3 podle obr. 9. Náhradní zapojení soustavy měrná sonda - měřená destička, zobrazené na obr. 10, je tvořeno vlastní kapacitou elektrod sondy C_0 , paralelně připojenou k sériové kombinaci náhradní kapacity soustavy C_S a náhradního ztrátového odporu R_S toho objemu destičky, kterým prochází kvazistacionární elektrické pole. Měrná sonda MS má následující vlastnosti:

- náhradní kapacita soustavy, respektive vazební kapacita C_S , mezi měrnou sondou a měřenou destičkou vykazuje hodnotu přibližně 6 pF;
- vlastní kapacita elektrod sondy C_0 je přibližně 2 pF;
- měřená destička MV se nedotýká kovového povrchu elektrod měrné sondy MS ;
- aktivní plocha měrné sondy, tj. plocha zúčastněná měření, je přibližně 30 % celkové plochy destičky.

Náhradní ztrátový odpor R_S a kapacita C_S jsou dány vztahy:

$$R_S = \alpha \cdot \rho \cdot \frac{1}{t_D} \quad (\Omega; \Omega \cdot \text{cm}; \text{cm}) \quad (1)$$

$$C_S = \beta \cdot \frac{1}{t_M} \quad (\text{F}; \text{m}) , \quad (2)$$

kde α a β jsou konstanty závislé na provedení měrné sondy a t_M , t_D tloušťky sondy a destičky. Pro sondu podle obr. 9 platí

$$\alpha = \frac{1}{2\pi} \cdot \ln \frac{D_2}{D_1} \quad (3)$$

$$\beta = 6,95 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{1}{\frac{1}{D_1^2} + \frac{1}{D_3^2 - D_2^2}} \quad (\text{F} \cdot \text{m}; \text{m}^2) \quad (4)$$

Měrná sonda je připojována k měrnému obvodu, který tvoří s dalšími obvody zařízení pro měření specifického odporu. Celkové schéma tohoto zařízení je znázorněno na obr. 3. Toto zařízení sestává z generátoru vysokofrekvenčního napětí 1 o vnitřním odporu 2, připojeného k měrnému obvodu tvořenému cívkou 3 a kapacitním děličem tvořeným kondenzátory 4, 5. Součástí měrného obvodu jsou dále kompenzační impedance 6, 7, přičemž paralelně k impedanci 7 je připojena měrná sonda 8. Indukčnost impedance 6 zde kompenzuje kapacita soustavy měrný obvod - měřená destička, indukčnost impedance 7 kompenzuje vlastní kapacitu měrné

202 885

obvod. K měrnému obvodu je dále připojen detekční obvod $9'$, sloužící k detekci nakmitaného napětí na měrném obvodu. Součástí zařízení je dále proměnný odpor $10'$, linearizační obvod $11'$, korekční obvod $12'$ a digitální voltmetr $13'$. Proměnný odpor $10'$ slouží k cejchování zařízení, linearizační obvod $11'$ je určen k linearizaci měřeného parametru, korekční obvod $12'$ slouží ke korekci vlivu tloušťky měřených destiček a digitální voltmetr $13'$ je zde za účelem odečítání hodnot měřených specifických odporů.

Měrný obvod je zobrazen na obr. 1 a 2, přičemž na obr. 1 je zdůrazněno jeho blokové zapojení a na obr. 2 příklad konkrétního detailního zapojení s detekčním obvodem. K měrnému obvodu $M0$, tvořenému cívkou 3 , kapacitním děličem 4 , 5 a kompenzačními impedancemi 6 , 7 , jsou připojeny generátor vysokofrekvenčního napětí 1 o vnitřním odporu 2 tvořený blokem 6 , měřená destička MD s měrnou sondou, přičemž náhradní zapojení této soustavy je tvořeno odporem 9 a kondenzátory 8 , 10 (viz obr. 9, 10), a konečně detekční obvod D , sloužící k detekci nakmitaného napětí na měrném obvodu $M0$. Kompenzační impedance 6 , 7 z obr. 1 jsou na obr. 2 tvořeny cívkami 6 , 7 a detekční obvod D je v uspořádání podle obr. 2 tvořen diodou 11 a filtrem, sestávajícím z odporu 13 a kondenzátorů 12 , 14 . Samostatně je tento detekční obvod vyobrazen na obr. 4, kde paralelně k jeho výstupu je připojen odpor 15 .

Pro zapojení měrného obvodu na obr. 1 až 3 platí vztah

$$wL_3 = \frac{1}{wC_0}, \quad (5)$$

kde w je jmenovitý kruhový kmitočet generátoru G , L_3 je kompenzační impedance 7 a C_0 vlastní kapacita 8 elektrod měrné sondy.

Rovněž platí vztah

$$wL_2 = \frac{1}{wC_S}, \quad (5a)$$

kde L_2 je kompenzační impedance 6 a C_S je kapacita 10 soustavy měrná sonda - měřená destička.

Ze vztahů (5) a (5a) vyplývají velikosti kompenzačních impedancí L_2 , L_3

$$L_3 = \frac{1}{w^2 C_0} \quad (6)$$

$$L_2 = \frac{1}{w^2 C_S} \quad (6a)$$

Ztrátový odpor R_S měřené destičky je transformován na svorky cívky 3 měrného obvodu, respektive na její odbočku, přičemž při této transformaci je využívána pouze lineární transformační oblast kapacitního děliče, definovaného vztahem

$$R_0 = R_S \left(\frac{C_1 + C_2}{C_1} \right)^2, \quad (7)$$

kde C_1, C_2 jsou kondenzátory 4, 5, R_S je ztrátový odpor měřené destičky a R_0 přetransformovaný odpor R_S na svorky cívky 3.

Lineární závislosti nakmitaného napětí obvodu U_0 na přetransformovaném ztrátovém odporu měřené destičky R_0 je možno dosáhnout tehdy, když rezonanční odpor vlastního nezátíženého obvodu R_r a ztrátový odpor diodového detektoru R_d (detekční obvod) splňují podmínku

$$\left. \begin{array}{l} R_r \rightarrow \infty \\ R_d \rightarrow \infty \end{array} \right\} \quad (8).$$

Vlivem konečných hodnot činitele jakosti nezátíženého obvodu (rezonančního odporu R_r) a ztrátového odporu diodového detektoru R_d je nutno závislost $U_0 = f(R_0)$, a tedy i $U_0 = f(\rho)$ linearizovat (ρ je zde specifický odpor). V každém případě je však nutno zabezpečit proudové napájení měrného obvodu a vhodnou hodnotu činitele vazby mezi vinutími cívky 3.

Tuto linearizaci provádí linearizační obvod, zobrazený na obr. 5, tvořený operačním zesilovačem 8" s odpory 1", 2", 4", 5", 7" a diodami 3", 6", který je velmi jednoduchý a představuje jedno z možných provedení. K výstupu tohoto obvodu je připojen korekční obvod, jehož úkolem je korigovat vliv tloušťky měřených destiček tak, aby nebylo nutno měnit cejchování zařízení, provedené při určité tloušťce destičky. Na obr. 6 a 7 jsou dvě modifikace tohoto korekčního obvodu, tvořeného odporovým děličem, který sestává buďto ze dvou odporů 1⁺, 2⁺, anebo z proměnného odporu 1⁺⁺. Přesnost korekce je dána přesností nastavení odporů děliče.

Zařízení k provádění způsobu měření specifického odporu podle vynálezu slouží k měření specifického odporu vodivých a polovodivých materiálů různých geometrických tvarů, například kruhových destiček různých tloušťek, k měření specifického odporu kapalných a plyných látek a k měření tloušťek vrstev vodivých materiálů. V důsledku provedených linearizací je údaj napětí, odečtený na displeji digitálního voltmetru, číselně roven hodnotě měrného odporu měřeného vzorku, respektive výše uvedených tloušťek vrstev.

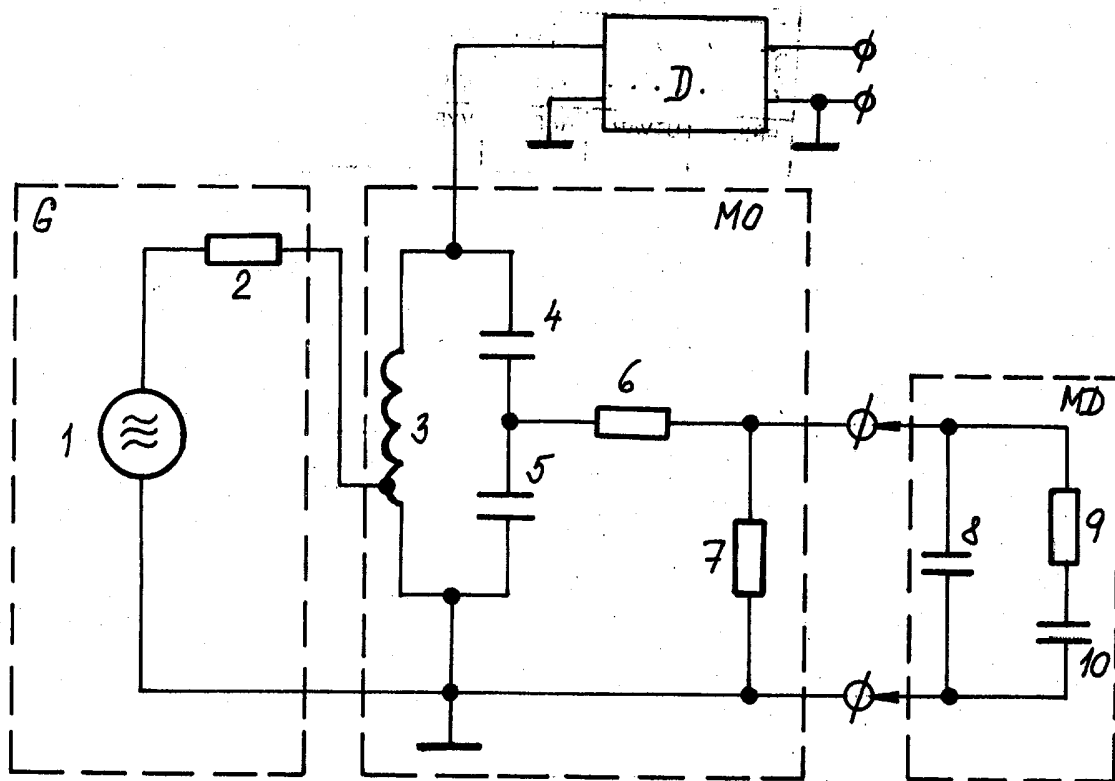
PŘEDMĚT VYNÁLEZU

Zařízení pro měření specifického odporu vodivých a polovodivých materiálů, obsahující generátor vysokofrekvenčního napětí, kapacitní dělič, linearizační obvod, korekční obvod a digitální voltmetr, vyznačené tím, že je tvořeno měrným obvodem (MO), obsahujícím cívku (3) paralelně spojenou se sériovou kombinací prvního a druhého kondenzátoru (4, 5),

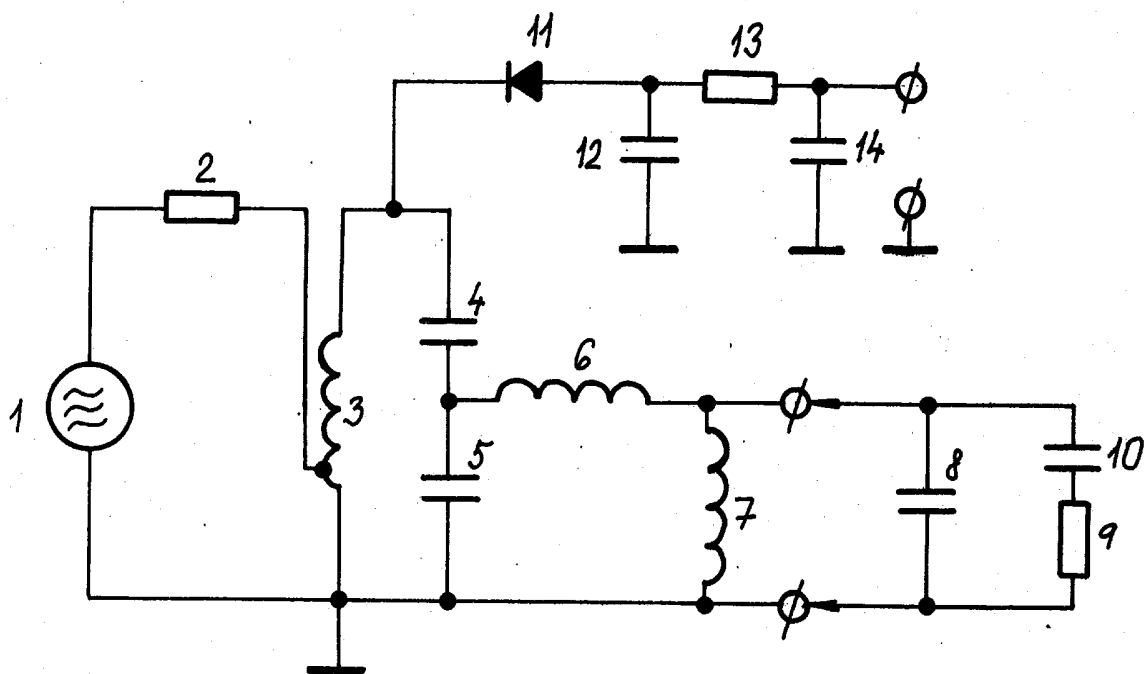
202 885

tvořících kapacitní dělič, kde k odbočce cívky (3) je připojen generátor vysokofrekvenčního napětí (1, 2) a paralelně ke druhému kondenzátoru (5) kapacitního děliče je připojena sériová kombinace první a druhé kompenzační impedance (6, 7), přičemž ke druhé kompenzační impedanci (7) je paralelně připojena měrná sonda (8'), přičemž k cívce (3) a prvnímu kondenzátoru (4) kapacitního děliče je připojen detekční obvod (9'), k jehož výstupu je připojen proměnný odpor (10'), spojený se vstupem linearizačního obvodu (11'), jehož výstup je připojen přes korekční obvod (12') k digitálnímu voltmetru (13').

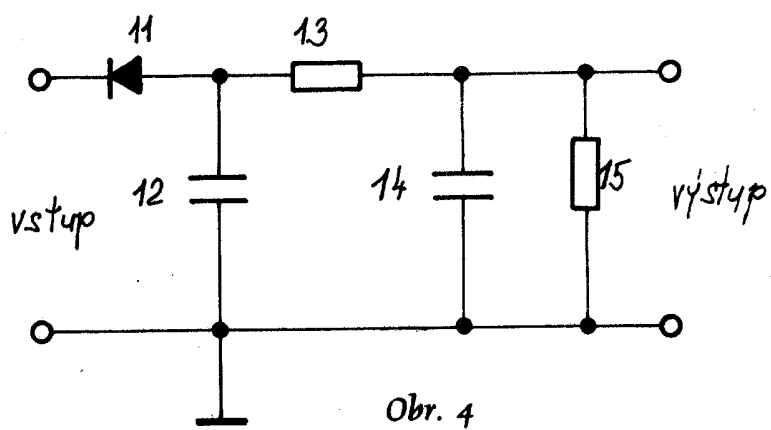
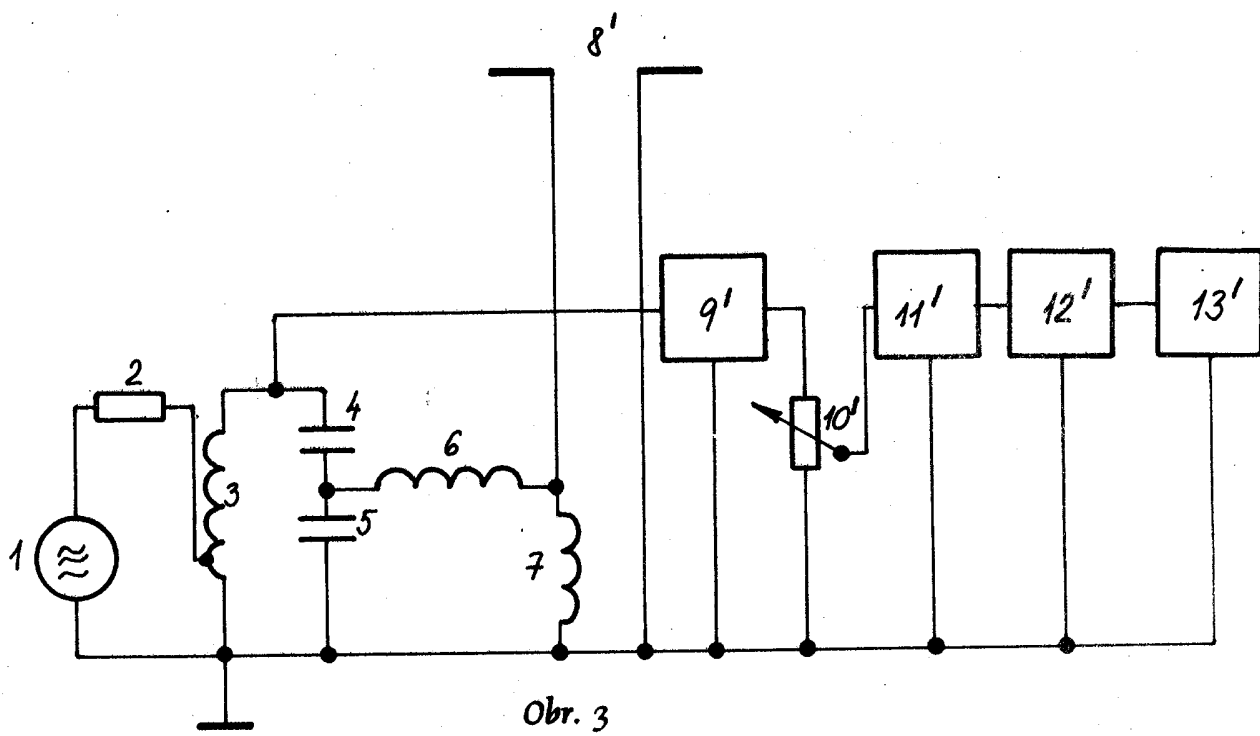
10 výkresů

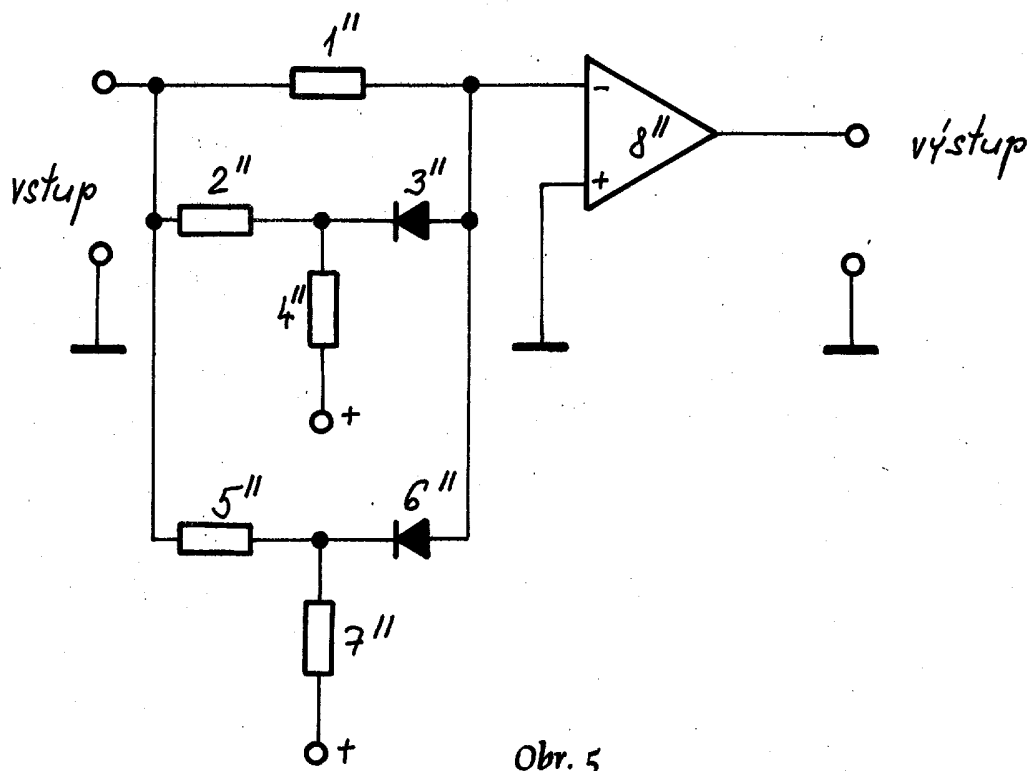


Obr. 1

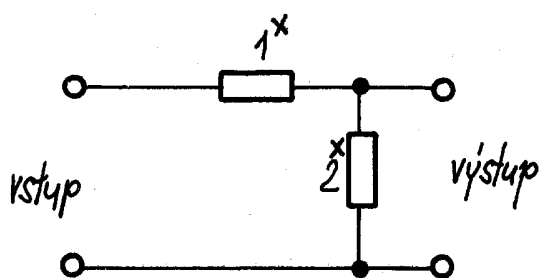


Obr. 2

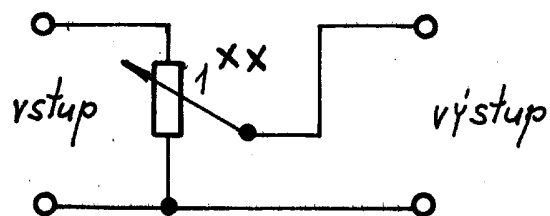




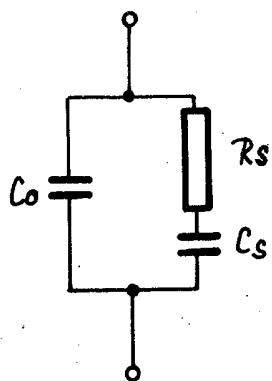
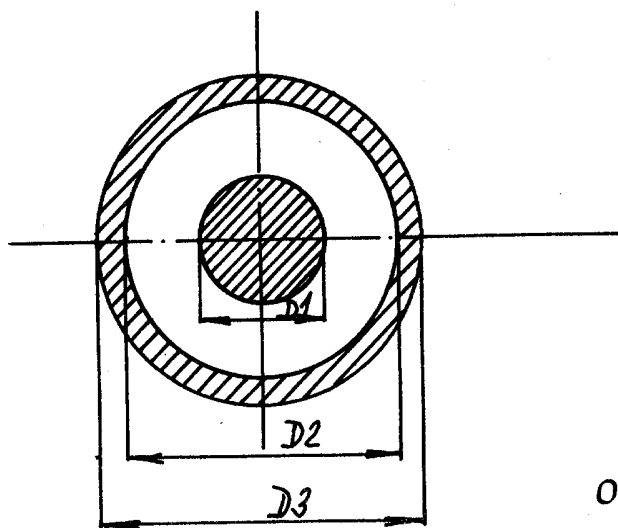
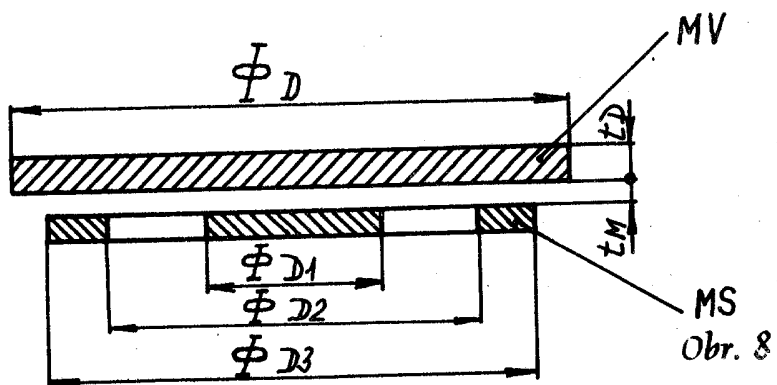
Obr. 5



Obr. 6



Obr. 7



Obr. 10