



POLSKIEJ RZECZYPOSPOLITEJ LUDOWEJ

OPIS PATENTOWY

Nr 37198

Kl. 42 h, 1/04

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
(Katedra Górnictwo II)*)

Kraków, Polska

Siłomierz elektryczny

Udzielono patentu z mocą od dnia 24 stycznia 1953 r.

Szybki, szczególnie w ostatnich latach, postęp techniki wyłonił potrzebę coraz bardziej dokładnych metod pomiarów sił i odkształceń. Klasyczne teorie okazały się niewystarczające, a do opracowania nowych stały się niezbędne eksperymenty przy wykorzystaniu właściwej aparatury pomiarowej. Obecnie pomiar służy nie tylko celom naukowym, lecz również odgrywa poważną rolę w kontroli procesów produkcyjnych. Do najbardziej codziennych zjawisk należy przynajmniej w skutkach wszystkim znana siła. Powszechne występowanie spowodowało potrzebę określenia jej wielkości, czyli potrzebę mierzenia już w czasach bardzo dawnych. Zastosowano do tego celu proste urządzenie, do dzisiaj aktualne, wagę, która umożliwiała porównywanie ze sobą ciężarów. Z biegiem czasu wprowadzono do użytku cały szereg przyrządów do wyznaczania wielkości siły lub ciężaru, które zależnie od przeznaczenia mają różną konstrukcję, kształt i wymiary. Systemy dźwigniowe przy urządzeniach wagowych nie nadają się

na przykład do mierzenia naciągu lin, czy cechowania maszyn i odwrotnie. Do pomiarów ostatnich rozpowszechniły się dynamometry, oparte na sprężystych właściwościach niektórych materiałów, zwykle stali w postaci sprężyn lub innego lecz w podobny sposób działającego elementu, który odkształcając się pod działaniem siły określa jej wielkość na wyskalowanym wskaźniku. Gdy pierwotne odkształcenia są małe, stosuje się mechaniczną przekładnię w postaci dźwigni lub zębatek w celu zwiększenia dokładności. Ostatnio stosowane są już bardziej nowoczesne urządzenia, pracujące na zasadach elektrycznych przy wykorzystaniu zmian indukcji lub oporu. Zjawisko piezoelektryczności kwarcu umożliwiło również zbudowanie bardzo dokładnego siłomierza. Trudności jednak w otrzymaniu dużych i właściwie zorientowanych płytek kwarcu lub turmalinu ograniczają jego użytkowanie tylko do celów specjalnych.

Siłomierz elektryczny według wynalazku posiada dużą dokładność pomiaru, praktycznie nieograniczoną nośność, możliwość odczytania wskazań w znacznej nawet odległości od miej-

*) Właściciel patentu oświadczył, że twórcami wynalazku są Józef Miksa i Romuald Miksa.

sca pomiaru, możliwość zastosowania jednego miernika do kilku nadajników, możliwość wykorzystania tej samej skali miernika w różnych obszarach mierniczych przez włączenie i wyłączenie wyskalowanych oporów elektrycznych, łatwą i bezpośrednią korektę wpływu temperatury, prostą konstrukcję nadajnika i niską jego cenę oraz możliwość wykonania w warunkach krajowych.

Na rysunku fig. 1 przedstawia schemat nadajnika do siłomierza w przekroju podłużnym, fig. 2 — ten sam nadajnik w połowie w widoku i w połowie w przekroju uwidaczniającym konstrukcję, fig. 3 — schemat elektrycznego urządzenia pomiarowego.

Materiały sprężyste, pod działaniem dwóch przeciwnie skierowanych sił leżących na wspólnej prostej, ulegają odkształceniu między innymi również w kierunku działania tych sił o ΔL . Wielkość tych odkształceń jest odpowiednikiem siły P , czyli $\Delta L = F(P)$. Znając właściwości rozpatrywanego materiału, można na podstawie pomiaru odkształcenia powiedzieć, jak wielką wywołała je siła. Wypowiedziana zasada jest podstawą budowy siłomierza, którego nadajnik pokazano schematycznie na fig. 1. Sprężyste odkształcenia pierścienia 7 oraz częściowo korpusu 11, spowodowane siłami P działającymi na przeguby 14, powodują zmianę odstępów wzajemnego metalowych okładek kondensatora 4 i tym samym zmieniają jego elektrostatyczną pojemność. Każdorazowy pomiar pojemności kondensatora określa zatem na wycechowanej podziałce wielkość siły powodującej odkształcenie sprężyste.

Urządzenie składa się z nadajnika i przyrządu pomiarowego. Nadajnik reaguje bezpośrednio na zmiany wielkości mierzonej przemieszczeniem okładek kondensatora, którego pojemność jest parametrem siły. Pomiar przeprowadza się przy pomocy jednego ze znanych przyrządów elektrycznych stosowanych przy pomiarach pojemności kondensatorów.

Konstrukcję nadajnika przedstawia fig. 2. Pierścień 7 stanowi stal wysokogatunkowa lub każdy inny materiał sprężysty, np. szkło. Sprężysty pierścień 7, oprócz dokładnego wykonania, musi być doszlifowany i dopasowany do czołowych powierzchni korpusu 11, wykonanych ze stali sprężynowej. W celu wzajemnego ustalenia położenia pierścienia i korpusu zastosowano pierścienie ustalające 8, natomiast oddalanie się tych części od siebie uniemożliwia tuleja 9 z nakrętką 12. Nakrętki 12 ściągają sprężyscie za pomocą podkładek z twardej elastycznej gumy 13, 13' obydwa korpusy 11. Osiowe i równomier-

ne przeniesienie siły zapewniają wahliwe płyty dociskowe 14, 14', posiadające dość znaczną swobodę ruchu wokół środka wyznaczającego kulistą krzywiznę, a znajdującego się na podłużnej osi nadajnika. Płyta jest połączona z korpusem przy pomocy przegubu krzyżakowego (kardana) i sprężyny 1, 1', tak iż stanowi nierozłączną całość nadajnika a mimo tego samoczynnie dostosowuje się do powierzchni ściskających, np. wycechowanej maszyny.

Dalszą częścią składową nadajnika jest kondensator złożony z dwóch metalowych okładek 4, przymocowanych do korpusu za pośrednictwem izolatora 3. Dielektryk 6 może być dowolnym gazem lub cieczą. Ze względu na uzyskanie dużej pojemności przy małych płytach i dużym ich odstępie, stała dielektryczna powinna być możliwie duża. Zmienny w czasie pomiaru odstęp między płytami kondensatora wyklucza zastosowanie dielektryka w postaci stałej, gazy natomiast mają zwykle małą stałą dielektryczną, poza tym za wyjątkiem powietrza otaczającego trudne są do zastosowania. Najpraktyczniej użyć do tego celu cieczy np. gliceryny ($\epsilon = 50$). Przy stosowaniu dielektryka ciekłego kondensator umieszcza się w zbiorniczku o ścianach elastycznych 5, który mieści nadmiar cieczy w czasie ruchów płyt kondensatora. W celu zabezpieczenia dielektryka przed zapowietrzeniem, uszczelnia się zbiorniczek za pomocą uszczelki 20. Należy dbać o to, aby maksymalne zbliżenie płyt kondensatora nie przekraczało 0,2 — 0,5 maksymalnego odstępów w celu uzyskania bardziej równomiernej charakterystyki.

Dużą pojemność kondensatora 4 można uzyskać również, stosując okładki kształtu cylindrycznego lub spiralnego, nasuwające się na siebie, ponieważ pojemność jest funkcją powierzchni ($C = F(s)$). Prostoliniowa zależność pozwala na znaczne przesunięcie okładek. Dielektryk w tym przypadku może być również ciałem stałym. Wadą tego typu są bardzo małe przyrosty, niepożądane przy dużej dokładności pomiaru.

Ogólnie należy dążyć do uzyskania dużej pojemności oraz jej dużych przyrostów. Uboczne wpływy w postaci zmiennych pojemności własnych przewodów i innych części są bowiem tym mniejsze, im większa jest pojemność mierzona. Zwiększenie zatem mierzonej pojemności zezwala na zastosowanie dłuższych przewodów łączących nadajnik z miernikiem.

Do płyt kondensatora są przymocowane przewody elektryczne 2 (fig. 2), wyprowadzone na zewnątrz otworami w korpusie 11 i zakończone gniazdkami 10 osadzonymi na tulei 9. Nadajnik

jest połączony z przyrządem pomiarowym przy pomocy wtyczek i kabla o stałej długości.

Jak już zaznaczono poprzednio, do pomiaru można zużytkować każdy przyrząd służący do pomiaru pojemności kondensatora. Dla przykładu podano jeden z najbardziej praktycznych i dokładnych przyrządów pomiarowych, przedstawiony schematycznie na fig. 3. Zezwala on na pomiar tak dużej, jak i małej pojemności elektrycznej kondensatorów, a w opisanym poniżej przypadku pomiar siły, bowiem siła P jest funkcją pojemności ($P = F(Cx)$). Pojemnościowy mostek oporowy 16 podobny do mostka Wheatstona, składa się z dwóch oporów omowych R_1 , R_2 o znacznych wartościach oraz z dwóch pojemności: stałej C_4 i zmiennej C_3 . Kondensator C_3 jest nadajnikiem przedstawionym na fig. 1, 2. Mostek 16 jest zasilany sinusoidalnie zmienną siłą elektromotoryczną SEM o częstości n z generatora lampowego 15 ze sprzężeniem zwrotnym według Meisnera. Gdy siła $P = 0$, to opory R_1 , R_2 oraz pojemność C_4 są tak dobrane, że różnica potencjału między punktami pomiaru jest równa zeru, co zachodzi, gdy spełniona jest równość:

$$C_4 = C_3 \frac{R_1}{R_2}$$

Najkorzystniej jest, gdy tak opory omowe jak i pozorne kondensatorów są sobie równe.

Każdej zmianie siły odpowiadają odkształcenia nadajnika i zmiana pojemności kondensatora C_3 , co z kolei powoduje zmianę przepływu prądu w mostku. Między punktami pomiaru wystąpi napięcie odpowiadające przyłożonej sile. Wielkość napięcia można w przybliżeniu wyliczyć zgodnie z zasadami rozkładu prądów w przewodach rozgałęzionych, posługując się pozornym oporem elektrycznym kondensatora w omach:

$$R_c = \frac{9 \times 10^{11}}{2 \times \pi \times n \times X}$$

gdzie n jest częstością prądu w cykl/sek, zaś C — pojemnością kondensatora w cm.

Opór R_2 jest złożony z trzech lub większej liczby stałych oporów składowych, które kolejno zerują mierzone napięcie przy odpowiadającej każdemu z nich sile. W ten sposób pomiar siły P , określonej nośnością nadajnika, odbywa się w kilku następujących po sobie etapach. Włączonym oporom odpowiadają poszczególne podziałki przyrządu pomiarowego lub przy jednej podziałce należy stosować tabelę przeliczeń.

Podział na zakresy pomiarowe zwiększa dokładność. Mierzone napięcie o częstości n wzmacnia się układem lampowym 17 i za pomocą suchego prostownika selenowego lub kuprytowego 18 przekazuje do przyrządu wskazującego 19, którym jest zwykle amperomierz.

Przyrząd wskazujący korzystnie jest w pewnych przypadkach zastąpić przyrządem zerowym, to znaczy takim, który wskazuje tylko, że różnica potencjałów jest równa zeru. Zmienny wtedy opór R_1 nastawia się tak, aby przyrząd zerowy nie wykazywał przepływu prądu. Odczyt wykonuje się na wycechowanej podziałce połączonej z regulatorem oporu R_1 . Różnica pomiędzy tym, a poprzednio opisanym sposobem podobna jest, jak różnica wagi zegarowej i nastawnej. Przyrządem zerującym może być zależnie od częstości i nasilenia prądu brzęczyk lub słuchawka nastawiana na minimum tonu, galwanometr wibracyjny, balistyczny lub świetlny używany do pomiaru krótkotrwałych przebiegów lub również lampa elektronowa, popularnie zwana magicznym okiem.

Zależnie od wymaganej dokładności i innych okoliczności można stosować również inne systemy pomiarowe, które tu nie są szczegółowo omówione, jako znane w literaturze. Bardzo dokładny jest na przykład sposób Maxwella-Thomsona, polegający na okresowym ładowaniu i rozładowywaniu kondensatora włączonego w mostek elektryczny podobny jak wyżej opisany, lecz zasilany prądem stałym. Kolejne ładowanie i wyładowywanie powoduje kolektor obracany silnikiem elektrycznym o stałej liczbie obrotów, najlepiej synchronicznym. Dokładność pomiaru przy należytym wykonaniu jest bardzo duża i wynosi 10^{-5} mierzonej pojemności. Istnieje szereg uniwersalnych aparatów do pomiaru pojemności, oporu i indukcji o stosunkowo małej dokładności w granicach 10^{-2} do 10^{-3} , które mogą być zastosowane do dokonywania pomiarów nie wymagających dużych dokładności.

Wpływ zmian temperatury na dokładność pomiaru wynika stąd, że dielektryk kondensatora podlega polaryzacji pod wpływem prądu, i dlatego zmienia stałą dielektryczną ϵ zależnie od temperatury, a oprócz tego zmiana temperatury powoduje zmianę długości poszczególnych części nadajnika. Zmianę wartości stałej dielektrycznej ϵ tj. takiej, jaką kondensator C_3 posiada w temperaturze cechowania t_0 , łatwo uzupełnić wstawianiem dodatkowego oporu omowego R_3 o wielkości takiej, aby pozorny opór C_3 i omowy R_3 pozostał w takim samym stosunku do niezmiennego oporu pozornego C_4 , jak to było w temperaturze cechowania. Praktycznie,

śrubą korekcyjną połączoną z oporem R_4 należy przed pomiarem sprowadzić wskazówkę amperomierza na 0.

Łatwo zauważyć, że wpływ temperatury na pojemność kondensatora C_3 wynikający z rozszerzalności liniowej jest mały, zwłaszcza jeżeli dobrać odpowiednio współczynniki tej rozszerzalności dla pierścienia 7 i wewnętrznych części korpusu 11, na których zamocowane są płyty kondensatora 4. Odstęp płyt kondensatora δ pozostaje wtedy prawie bez zmiany. W celu zupełnego wyeliminowania tego wpływu należy włączyć opór R_3 , którym przy założeniu, że stała dielektryczna pozostaje niezmienna, można posługiwać się tak samo jak oporem R_4 . Przy równoczesnym stosowaniu oporów R_3 i R_4 wyregulowanie mostka przed pomiarem wykonuje się przy pomocy dwu niezależnych suwaków nastawianych na temperaturę odpowiadającą nadajnikowi. Takie nastawianie powinno zerować wskazówkę amperomierza, co jest kontrolą. Czujnik winien być w tym przypadku zaopatrzony w termometr. Drugi sposób — to sprzęgnięcie obu oporów wspólnym suwakiem, który musi być tak zbudowany, aby każde jego ustawienie zapewniało wprowadzenie w obwód mostka oporów R_3 i R_4 we właściwym do siebie stosunku. Przed pomiarem wystarczy wtedy ustawić bezpośrednio suwakiem wskazówkę na zero.

Kondensator C_3 nadajnika, w celu wyeliminowania wpływu zmiany stałej dielektrycznej, może również posiadać dwa dielektryki, dzielące jego okładki, o różnych współczynnikach ϵ , których znaczenie jest opisane dalej przy kondensatorze C_4 . Komplikuje to nieco budowę kondensatora, bo wymaga dwu, a nawet dla symetrii czterech zbiorników, czyni jednak zbędnym opór R_4 . W niektórych przypadkach kondensator C_3 i C_4 można wykonać jako jednakowe i w celu wyeliminowania wpływów temperatury umieszczać w czasie pomiaru obok siebie. C_4 jest wtedy kompensatorem temperatury.

Kondensator C_4 musi mieć jak najbardziej stałą pojemność nieczułą na zmiany temperatury. Można to uzyskać, łącząc równolegle dwa jednakowe kondensatory o dielektrykach tak dobranych, aby wzajemnie znosiły wpływ temperatury. Jak widać ze wzoru:

$$\epsilon(t_0 + \Delta t) = \epsilon t_0 \cdot (1 + k \Delta t)$$

(w których $\epsilon(t_0 + \Delta t)$ oznacza stałą dielektryczną w temperaturze różnej o Δt od temperaturze cechowania, a ϵt_0 — stałą dielektryczną w temperaturze cechowania) — zachodzi to, gdy właściwe dielektrykom współczynniki k mają przeciwne znaki. Powierzchnie czynne kondensatora muszą być proporcjonalne do bezwzględnych wartości k . Do znanych takich materiałów, spełniających powyższą zależność, należy frekuenta ($k = +100$) i kerafar V ($k = -100$), calit ($k =$ od $+120$ do $+160$) i condensa N ($k =$ od -340 do -380) oraz inne.

Warunkiem dobrego pomiaru jest ekranowanie poszczególnych części aparatu oraz przewodów, właściwe uziemienie oraz możliwie symetryczna budowa. Uziemiony powinien być również nadajnik. Przewody powinny być bifilarne, a opory tak nawinięte, aby były bezindukcyjne.

Częstotliwość drgań generatora powinna być stała, wpływa bowiem na zmianę stałej dielektrycznej, a zatem i na wynik pomiaru. Jako źródła prądu stałego używa się suchej baterii lub zasilacza sieciowego z filtrem i stabilizatorem napięcia. Stabilizator utrzymuje wyprostowane napięcie w pewnej stałej wartości mimo wahań zmiennego napięcia nasilającego. Do tego celu służą lampy jarzeniowe lub układy lamp elektronowych. Generator umieszcza się możliwie daleko od mostka pomiarowego lub lepiej budować go całkiem oddzielnie. Przy wysokich wymaganiach dokładności pomiarów należy stosować stabilizatory kwarcowe oraz kondensatory o ujemnym współczynniku temperatury, kompensujące dodatni współczynnik temperatury cewki. Poszczególne części przyrządu pomiarowego są umieszczone w przenośnej skrzyneczce wielkości aparatu radiowego.

Dokładność pomiaru siły zależna od wykonania nadajnika i aparatu pomiarowego waha się w dość dużych granicach. Kondensatorowe czujniki, zasilane prądem o częstotliwości 500 cykli/sek, o pojemności 50 — 250 cm i odstępie płyt kondensatora 0,15 mm, używane do mierzenia małych odkształceń, rejestrują przyrosty długości z dokładnością 2×10^{-5} mm. Przy założeniu dokładności tego samego rzędu, pomiar siły opisanym nadajnikiem można wykonać z dokładnością do 6×10^{-5} . Biorąc pod uwagę, że pojemność kondensatora przy zastosowaniu ciekłego dielektryka jest znacznie większa, należy liczyć się z wyższą dokładnością. Wspomniany system pomiarowy Maxwella mierzy bezwzględna pojemność kondensatora z dokładnością do 0,01%, co odpowiada pomiarowi siły 3×10^{-5} . Dokładność zatem w porównaniu do innych znanych i używanych mierników jest wysokiego rzędu. Wystarczy wspomnieć, że obecnie stosowane dynamometry o charakterze kontrolnym posiadają dokładność tylko 5×10^{-3} , a obciążniki do najbardziej precyzyjnego cechowania siło-

mierzy wzorcowych wyznacza się z dokładnością do 2×10^{-4} . Opisany siłomierz ma zatem charakter przyrządu precyzyjnego.

Siłomierz elektryczny, podobnie jak i inne przyrządy tego typu, musi być wycechowany na maszynie obciążnikowej.

Zasadnicza konstrukcja przewidziana jest do pracy na ściskanie. W razie potrzeby mierzenia sił rozciągających należy zastosować rewersor, czyli urządzenie do zmiany sił rozciągających na ściskające.

Podana na fig. 2 zewnętrzna budowa nadajnika może być pod względem kształtu zmieniana i dostosowywana każdorazowo do warunków pomiaru siły.

Zastrzeżenia patentowe

1. Siłomierz elektryczny, znamienny tym, że składa się z nadajnika (fig. 1 i 2), zawierających metalowych, oraz elektrycznego przyrządu pomiarowego połączonego przewodami (2, 2') z nadajnikiem, w którym płyty kondensatora (4) są osadzone na dwóch częściach

korpusu (11), między którymi umieszczony jest pierścień sprężysty (7).

2. Siłomierz według zastrz. 1, znamienny tym, że między płytami kondensatora (4) umieszczony jest dielektryk ciekły (6) o dużej stałej dielektrycznej.
3. Siłomierz według zastrz. 1 i 2, znamienny tym, że płyty dociskowe (14) są zamocowane za pomocą przegubów krzyżakowych (kardan) (1, 1') i sprężyny.
4. Siłomierz według zastrz. 1, znamienny tym, że między płytami kondensatora (4) umieszczone są dwa dielektryki o różnych i właściwie dobranych współczynnikach temperatury.
5. Siłomierz według zastrz. 1—4, znamienny tym, że elektryczny przyrząd pomiarowy posiada kompensatory temperatury w postaci oporów omowych R_3 i R_4 .

Akademia Górniczo-Hutnicza
W Krakowie Katedra Górnictwo II
Zastępca: Kolegium Rzeczników Patentowych

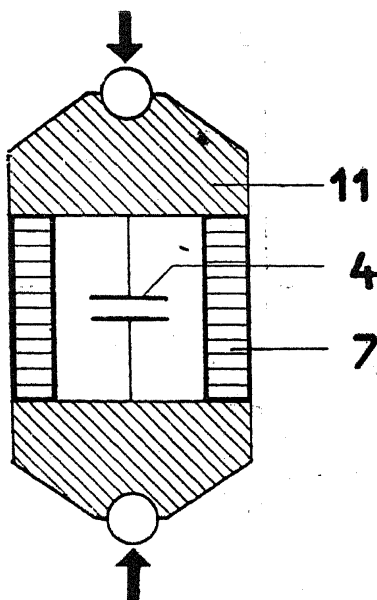


Fig. 1

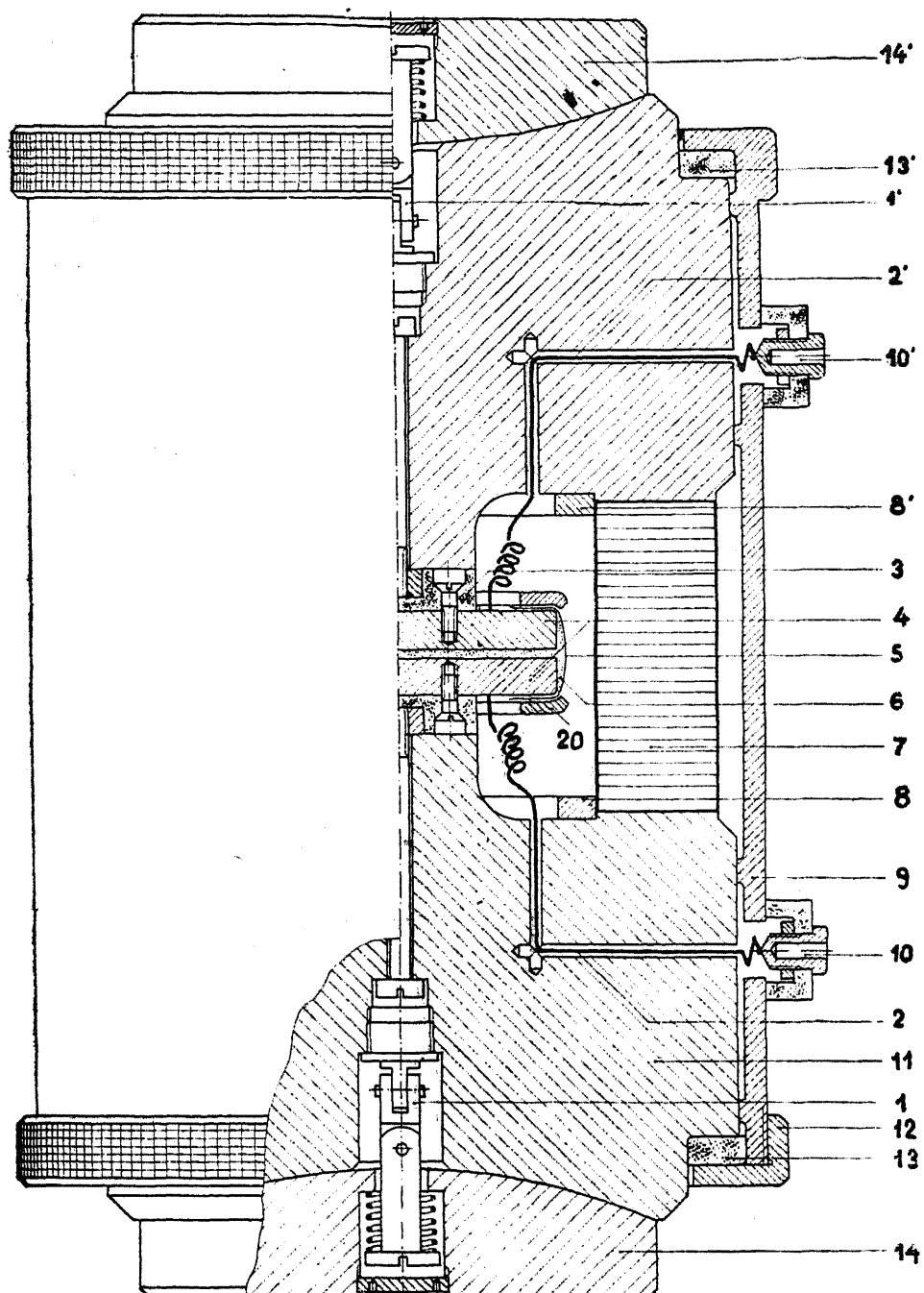


Fig. 2

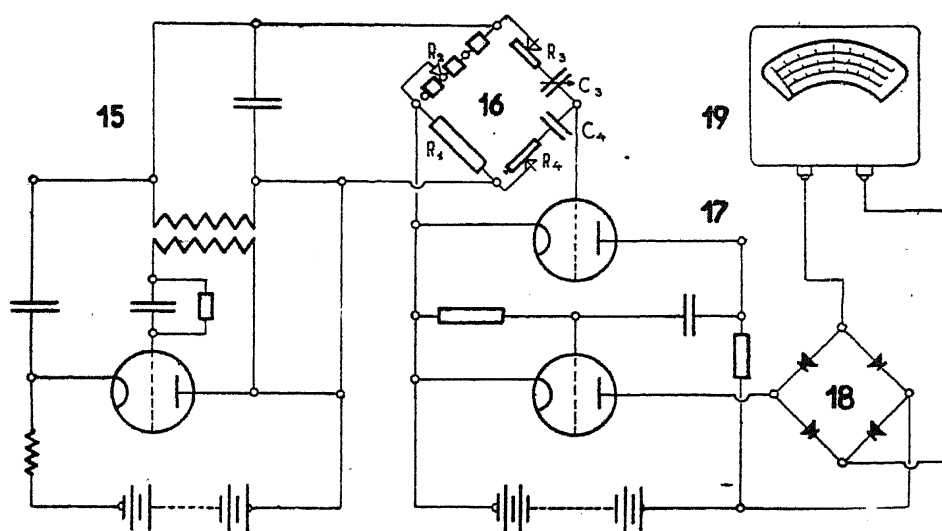


Fig. 3

Nr patentu 37198

Zakł. Graf. Domu Słowa Polskiego. Zam. 3924/A. Pap. druk. sat. kl. III 70 g. 150 egz.