

Nanoamperomierz z separacją galwaniczną

Pomiaru prądów o natężeniach rzędu nanoamperów nie da się wykonać zwykłym miernikiem uniwersalnym. Do budowy odpowiedniego przyrządu nie jest jednak wymagana kosmiczna technologia, o czym można się przekonać w niniejszym artykule.

Rekomendacje:

nanoamperomierz może być wykorzystywany w laboratoriach instytucji badawczych oraz szkołach i uczelniach.

Niekiedy zdarza się, że konieczny jest pomiar i rejestracja bardzo małych prądów (mniejszych od $1 \mu\text{A}$) w obwodzie, który znajduje się na znacznym potencjale względem ziemi (rys. 1).

Jeśli przyrząd byłby zasilany bateryjnie, wystarczyłoby odizolowanie przyrządu od ziemi. Często jednak zachodzi konieczność nie tylko wizualnej obserwacji natężenia prądu, ale także jego rejestracji (oscyloskop, rejestrator X-Y). W takim przypadku niezbędne jest zastosowanie separacji galwanicznej, gdyż masa dołączanego oscyloskopu lub rejestratora musi znajdować się na potencjale ziemi, zaś wejście nanoamperomierza znajduje się na znacznym potencjale względem ziemi. Sytuację taką przedstawiono na rys. 2. Jest to układ do wyznaczania ostrości wiązki jonów tzw. metodą „ostrza noża”. Nim jednak przejdę do omówienia tej metody, zacznę od sprawy pozornie nie związanej z tematem.

Jedną z metod badań ciała stałego jest spektrometria mas jonów wtórnych (SIMS). Metoda ta polega na bombardowaniu badanej próbki jonami (najczęściej argonu), przy czym strumień jonów (możliwie ostra wiązka) „omiata” powierzchnię próbki, podobnie jak sumień elektronów „omiata” ekran kineskopu (w SIMS zachodzi to po innej trajektorii niż w kineskopie). Strumień jonów wytwarza działło jonowe (atmosfera próżniowa). Padające na próbkę jony o znacznej energii (do kilku kiloelektronowoltów) bombardują ją i powodują wybijanie materiału próbki (trawienie jonowe). Powierzchnię próbki opuszcza więc strumień jonów wtórnych, w którym znajdują się jony pierwiastków, z których zbudowana jest próbka. Jeśli więc zawierała ona np. tytan, to w strumieniu jonów wtórnych będzie znajdował się tytan. Jony wtórne są następnie kierowane do spektrometru mas, który umożliwia rozdzielenie i identyfikację jonów różnych pierwiastków.

Metoda SIMS pozwala nie tylko stwierdzić, z czego jest próbka, ale

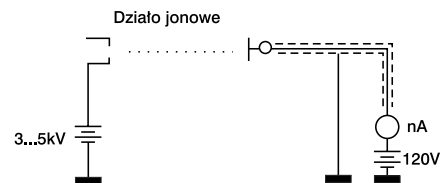
także jak jest zbudowana. Na przykład, jeśli na płytkę naparowalibyśmy glin, a następnie tytan, to podczas trawienia najpierw będziemy obserwować dużą ilość jonów tytanu, aż do wytrawienia tej warstwy, potem zaś jony glinu (aż do wytrawienia tej warstwy). Znaczącą gęstość prądu jonów bombardujących, pole przemiatania i czas trawienia próbki można obliczyć, ile próbki ubyła, innymi słowami – ile nanometrów próbki zostało wytrawione – jaka była grubość warstwy tytanu oraz warstwy glinu.

Gęstość prądu wiązki można wyznaczyć znając jej szerokość przekroju oraz... natężenie prądu. I tu dochodzimy do sprawy pomiaru ostrości wiązki metodą „ostrza noża”.

Wiązka jonów pada na kolektor, umieszczony w tej samej odległości od działła, w jakiej będzie znajdował się próbek. Także potencjał tego kolektora ustala się taki, jaki ma mieć próbek (na rys. 2 jest to $+120 \text{ V}$). Wiązka jonowa może być odchylana za pomocą płytek odchylających i tak samo (co do kształtu przebiegu odchylania) jest odchylana w osi X plamka na ekranie oscyloskopu. Prąd wiązki jonów, padających na kolektor jest doprowadzany do nanoamperomierza i za jego pośrednictwem do oscyloskopu.

W zależności od tego, jak ostra jest wiązka, zmieniają się wymiary plamki padającej na kolektor. Jeśli plamka jest szersza, to podczas przesuwania jej poza kolektor prąd kolektora zmienia się stopniowo, bo część wiązki jest jeszcze na kolektorze, a część poza nią.

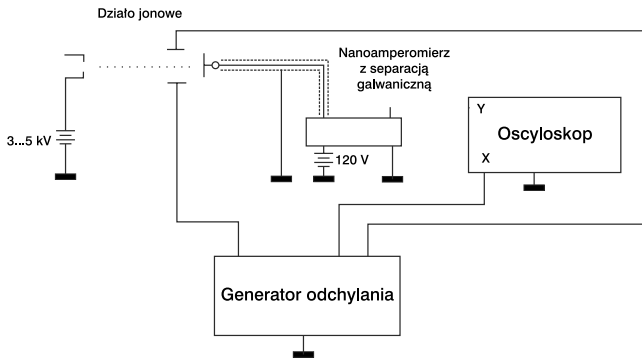
Z kolei dla plamki ostrej prąd zmienia się bardziej stromo – już



Rys. 1. Przykład pomiaru małych prądów elektrody znajdującej się na potencjale różnym od potencjału ziemi

PODSTAWOWE PARAMETRY

- Zasilanie: akumulator żelowy 12 VDC
- Zakresy pomiarowe: 0...10 nA, 0...100 nA, 0...1 μA , 0...10 μA
- Możliwość pomiaru na potencjale innym niż potencjał ziemi
- Wskazanie wyniku na ustroju magnetoelektrycznym



Rys. 2. Układ do regulacji ostrości wiązki jonów metodą „ostrza noża”

niewielkie przesunięcie środka tej wiązki poza kolektor powoduje zupełny zanik prądu. Na oscyloskopie (przy odpowiedniej szybkości przesuwania wiązki) można obserwować kształt krzywej prądu i tak regulować soczewkami działu jonowego, by przebieg zmian był jak najbardziej stromy. Tak w skrócie zarysowuje się metoda pomiaru ostrości metodą „ostrza noża”. W rzeczywistości krzywa prądu jest symetryczna (odchylenie wiązki z rys. 3 w lewo), zaś kolektor ma najczęściej budowę puszkii Faradaya z niewielkim otworkiem. Pomiaru średnicy wiązki dokonuje się przez przesuwanie puszkii Faradaya przy nieodchylanej wiązce.

Zasada działania

Schemat elektryczny układu przedstawiono na rys. 3. Mierzony prąd jest doprowadzany do wzmacniacza operacyjnego U1 typu OPA129, pracującego w układzie

konwertera prąd-napięcie. Wzmacniacz OPA129 charakteryzuje się bardzo małym wejściowym prądem niezrównoważenia i bardzo dużą rezystancją wejściową. Konwerter pracuje w czterech podzakresach: 1 nA/V, 10 nA/V, 100 nA/V i 1 μA/V. Odpowiada to zakre-

som prądu wejściowego 0...10 nA, 0...100 nA, 0...1 μA oraz 0...10 μA.

Odpowiednie rezystory wzorcowe są włączane za pośrednictwem przełączników kontaktronowych Pk1...Pk4. Przełącznik Pk5 pozwala dołączyć miernik do badanego układu.

Napięcie z wyjścia konwertera jest doprowadzane do wzmacniacza izolacyjnego U2 ISO122 oraz za pośrednictwem dzielnika oporowego do miernika magnetoelektrycznego M z zerem pośrodku skali. Dzięki temu można mierzyć prądy obu znaków. Elementy R7, R8 i P1 doбира się w zależności od czułości miernika M.

Wzmacniacz izolacyjny umożliwia dołączenie oscyloskopu lub rejestratora do nanoamperomierza, nawet w przypadku, gdy „masa” wejścia nanoamperomierza znajduje się na znacznym potencjale względem „masy” wyjścia nanoamperomierza. Układ ISO122, jakkolwiek

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

- R1: 1 GΩ/0,25 W
- R2: 100 MΩ/0,25 W
- R3: 10 MΩ/0,25 W
- R4: 1 MΩ/0,25 W
- R5: 2 kΩ/0,25 W
- R6: 18 kΩ/0,25 W
- R7, R8, P1: dobrać

Kondensatory

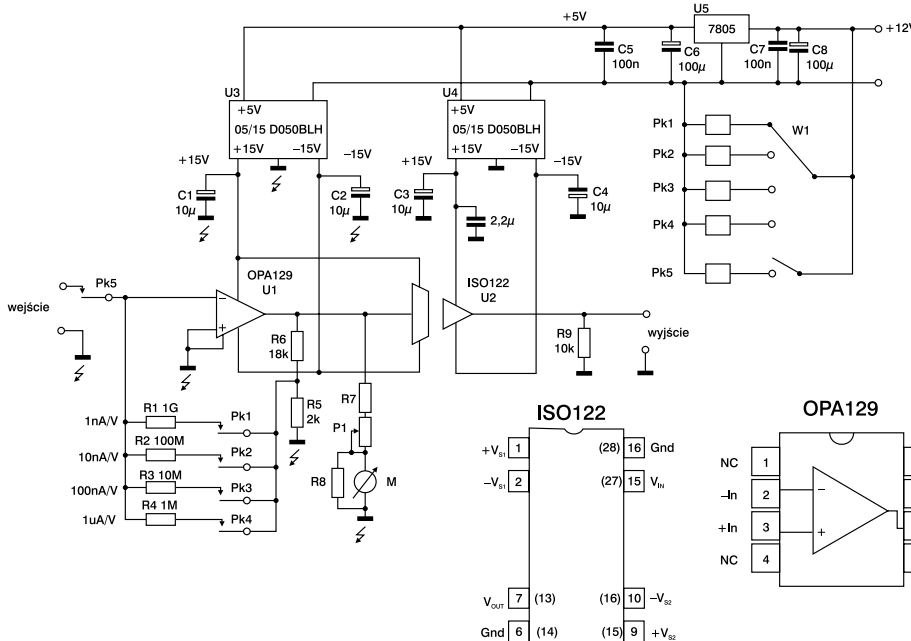
- C1...C4: 10 μF/25 V
- C5, C7: 100 nF/50 V
- C6, C8: 100 μF/25 V

Półprzewodniki

- U1: OPA129
- U2: ISO122
- U3, U4: przetwornice 5 V → ±15 V np. 05/15 D050BLH
- U5: 7805

Inne

- M: ustrój magnetoelektryczny np. -100...0...100 μA
- Pk1...Pk5: przełączniki kontaktronowe 12 V np. telefoniczne
- W1: przełącznik obrotowy 4-położeniowy
- W2: przełącznik dwubiegunowy
- Akumulator żelowy np. 5 Ah/12 V
- 2 gniazda BNC
- 2 krokodyle



Rys. 3. Schemat elektryczny nanoamperomierza

dość kosztowny (ponad 100 zł) jest jednak bardzo prosty w stosowaniu, gdyż nie wymaga żadnych elementów zewnętrznych. Pasmo przeniesienia wzmacniacza izolacyjnego wynosi 50 kHz.

Układ nanoamperomierza jest zasilany z dwóch przetwornic U3 i U4 o napięciach wyjściowych ±15 V (zasilanie symetryczne wzmacniaczy). Jedna przetwornica zasilą część układu znajdującą się na wysokim potencjale względem ziemi, druga zaś zasilą część układu znajdującą się na potencjale ziemi. Całość jest zasilana z akumulatora żelowego 12 V, którego napięcie zostaje obniżone do 5 V za pomocą popularnego stabilizatora U5 typu 7805.

Opisany przyrząd pracuje w Laboratorium Aparatury Próżniowej Przemysłowego Instytutu Elektroniki w Warszawie.

Aleksander Zawada,
Przemysłowy Instytut
Elektroniki
aleksander.zawada@pie.edu.pl