



Próżniomierz jonizacyjny

W lampach elektronowych zmiana prądu płynącego przez lampę zależy nie tylko od zmiany napięcia na siatce, ale również od „jakości” próżni. Zatem można lampę zastosować jako czujnik przyrządu do pomiaru próżni, chociaż lampy dzisiaj kojarzą się głównie ze wzmacniaczami audio. O tym jak to wykonać opowiada znany „lampowy guru”...

Rekomendacje:
miernik wartości próżni nadający się do pomiarów w procesach technologicznych oraz w badaniach laboratoryjnych.



Podczas prowadzenia wielu procesów przemysłowych oraz pracach naukowo-badawczych zachodzi konieczność stosowania wysokich próżni. Z bardziej znanych procesów tego typu należy wymienić:

- metalizację próżniową (np. metalizację reflektorów samochodowych),
- spawanie wiązką elektronową,
- pompowanie lamp i kineskopów.

Wymienione procesy wymagają próżni co najmniej 10^{-4} ... 10^{-5} Tr (dla porównania ciśnienie atmosferyczne to około 760 Tr). Do prawidłowego prowadzenia procesu konieczna jest kontrola stanu próżni. Do pomiaru ciśnień 10^{-3} Tr i niższych stosuje się kilka próżniomierzy, z których szerzej używa się dwóch typów: próżniomierza jarzeniowego (Penninga) oraz próżniomierza jonizacyjnego (z sondą triodową lub sondą Bayarda-Alperta). W niniejszym artykule jest opisany układ próżniomierza jonizacyjnego.

Sonda jonizacyjna

Szerszego omówienia wymaga zasada działania i właściwości sondy jonizacyjnej. W charakterze takiej sondy może pracować trioda

(najczęściej z katodą wolframową), przy czym sondę taką można włączyć na dwa sposoby (rys. 1).

Pierwszy sposób polega na włączeniu miernika prądu jonowego w obwód siatki, zaś źródła napięcia przyspieszającego elektrony do anody. Jest to więc typowy układ pracy triody. Elektrony emitowane przez katodę dążą w kierunku dodatnio naładowanej anody. W sondzie znajdują się także cząsteczki gazów (dla gazów szlachetnych to atomy), i jest ich tym mniej, im niższe jest ciśnienie (im wyższa próżnia). Elektrony zderzają się z cząsteczkami gazów, powodując ich jonizację. Dodatnie jony gazów dążą w kierunku ujemnie naładowanej siatki. Gdy ją osiągną, oddają swój ładunek, przechodząc znów w obojętne atomy lub cząsteczki. Wskutek tego w obwodzie siatki pojawia się prąd jonowy, którego wartość zależy od ciśnienia. Im mniej cząstek gazów, tym mniej jonów może zostać wytworzonych i w efekcie mniejsza wartość prądu jonowego, który jest miarą wielkości próżni.

Drugi sposób włączenia sondy polega na podaniu napięcia przyspieszającego do siatki, zaś prąd jonowy mierzy się w obwodzie anody, która wówczas nazywana jest kolektorem.

Przy takim włączeniu elektrony płyną do siatki, przy czym mogą wykonywać między jej oczkami szereg ruchów oscylacyjnych. Dzieje się tak, ponieważ elektrony, które przejdą przez oczka siatki trafiają w obszar ujemnie naładowanego kolektora i zostają zawrócone w kierunku siatki. Jeśli tak zawrócony elektron minie znów siatkę, płynąc w kierunku katody, zostanie skierowany do siatki – tym razem z powodu hamującego

PODSTAWOWE PARAMETRY

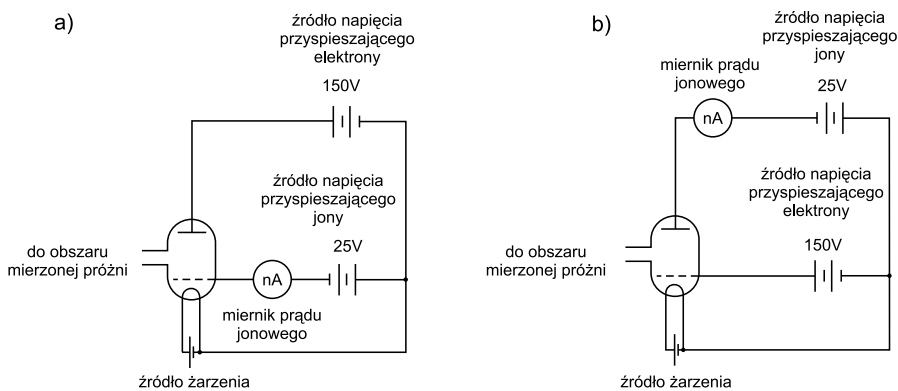
- Zakres mierzonych ciśnień $9,9 \times 10^{-3}$... $0,1 \times 10^{-8}$ Tr
- Automatyczna zmiana zakresów pomiarowych
- Sonda jonizacyjna Bayarda-Alperta typu SJW2M/S lub SJW3
- Sygnalizacja uszkodzenia katody
- Trzy poziomy mocy odgazowania sondy



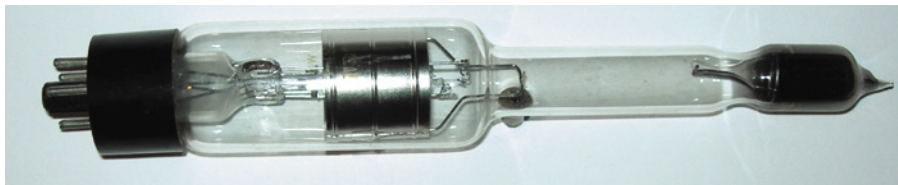
PROJEKTY POKREWNE

wymienione artykuły są w całości dostępne na CD

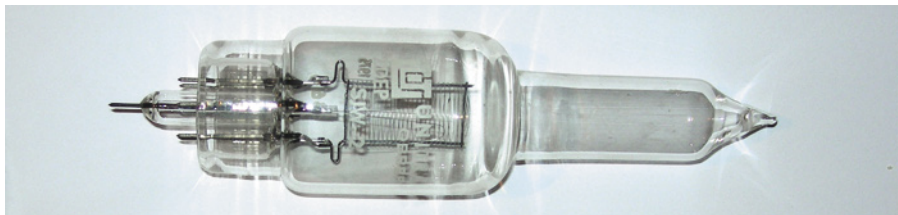
Tytuł artykułu	Nr EP/EdW	Kit
Próżniomierz elektroniczny	EP 6/2005	–
Zrób sobie diodę	EP 1/2007	–



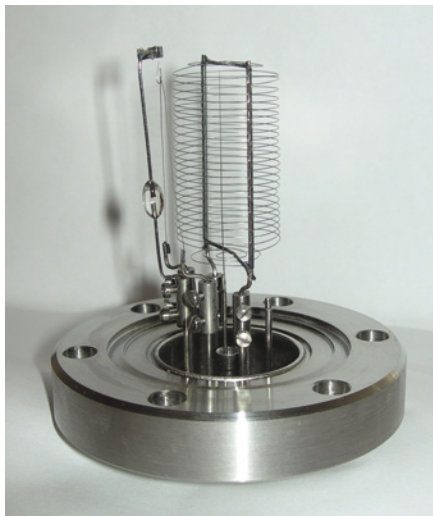
Rys. 1. Metody włączenia triodowej sondy jonizacyjnej: a) pomiar prądu jonowego w obwodzie siatki, b) pomiar prądu jonowego w obwodzie anody



Fot. 2. Sonda jonizacyjna SJ2 (Dolam), długość sondy 220 mm



Fot. 3. Sonda jonizacyjna SJW2 w wykonaniu szklanym



Fot. 4. Sonda jonizacyjna SJW3 w wykonaniu metalowym

działania potencjału katody. Zatem ostatecznie elektrony osiągają siatkę. Wspomniane ruchy oscylacyjne są korzystne, bowiem zwiększają

Tab. 1. Parametry sondy SJ2	
Zakres mierzonych ciśnień	10 ⁻⁴ ...10 ⁻⁸ Tr
Napięcie siatki	200 V
Napięcie kolektora	-25 V
Czułość	16 μA/mAmTr
Prąd żarzenia (dla prądu emisji 5 mA)	1,5 A ±0,1 A

zasnę jonizacji cząsteczek gazów. Wobec tego drugi sposób włączenia zapewnia większą czułość sondy niż sposób pierwszy i jest najczęściej stosowany.

W tym miejscu należy podkreślić, że wartość prądu jonowego, oprócz ciśnienia zależy także od budowy sondy, wartości prądu elektronowego (prądu strumienia elektronów), napięcia kolektora i napięcia przyspieszającego. Zatem prąd jonowy I_j wyraża się wzorem:

$$I_j = SI_e p$$

gdzie: S – czułość sondy, I_e – prąd elektronowy, p – ciśnienie.

Ze wzoru tego wynika, że wartość prądu elektronowego musi być stabilizowana, bowiem prąd jonowy powinien zależeć wyłącznie od ciśnienia. Wymaga to także stabilizacji napięcia przyspieszającego elektrony oraz napięcia przyspieszającego jony.

Czułość sondy zależy od jej konstrukcji, a także od wartości napięcia przyspieszającego elektrony i wartości napięcia przyspieszającego jony. Dlatego czułość sondy podaje się wraz z jej napięciami zasilającymi. Jednostką czułości sond jonizacyjnych jest μA/mAmTr, czyli 1/Tr.

Czułość typowych sond wynosi od kilkunastu do 20 μA/mAmTr.

Swego czasu szeroko stosowaną sondą triodową polskiej konstrukcji była sonda SJ2

Tab. 2. Parametry sondy SJW2	
Zakres mierzonych ciśnień	10 ⁻³ ...10 ⁻¹⁰ Tr
Napięcie siatki	150 V
Napięcie kolektora	-50 V
Czułość (dla azotu)	20 μA/mAmTr
Parametry żarzenia dla $I_e = 1$ mA	2,7...2,9 A/4,7...5,2 V

(Dolam) – fot. 2. Jest to trioda cylindryczna, w której kolektor otacza siatkę z katodą.

Nie wdając się w przyczynę, należy stwierdzić, że sondy triodowe mogą mierzyć próżnię co najwyżej 10⁻⁸ Tr. Z tego względu do pomiaru wyższych próżni (do 10⁻¹⁰ Tr) stosuje się sondy typu Bayarda-Alperta. Sonda taka ma, podobnie jak sonda triodowa, żarzoną katodę wolframową (stosuje się też niekiedy katody irydowane, z sześcioborku lantanu i inne), siatkę i kolektor. Różnica polega na tym, że kolektor ma postać cienkiego drucika i znajduje się w centrum sondy, natomiast katoda jest umieszczona z boku. Często stosuje się dwie katody, celem zwiększenia trwałości sondy. Jeśli uszkodzi się jedna katoda, sondę można eksploatować dalej bez konieczności rozbierania układu próżniowego.

Sondę Bayarda-Alperta włącza się według schematu na rys. 1b. Popularną sondą Bayarda-Alperta polskiej produkcji jest sonda SJW2 (Instytut Tele- i Radiotechniczny, dawniej Przemysłowy Instytut Elektroniki), która występuje w dwóch wersjach: szklanej (fot. 3) i metalowej.

Bardzo zbliżona do tej sondy jest sonda SJW3 występująca jedynie w wersji metalowej, na normatywnym kołnierzu CF35 i z przepustami ceramicznymi (fot. 4), dostępna w Instytucie Tele- i Radiotechnicznym. Sonda w wykonaniu metalowym jest naprawialna, to znaczy istnieje możliwość łatwej wymiany katody, siatki lub kolektora. Z innych, popularnych typów sond produkcji polskiej należy wymienić sondę typu SBA-3 (Lamina) oraz GW-11 (ZOPAP).

Układ próżniomierza

Schemat elektryczny próżniomierza przedstawiono na rys. 5. W układzie zastosowano sondę SJW2 w wersji szklanej. Ponadto na schemacie można wyróżnić następujące bloki:

- zasilacz,
- przetwornica-zasilacz żarzenia i stabilizator prądu elektronowego,
- wzmacniacz prądu jonowego (nanoamperomierz),
- mikrokontroler wraz z wyświetlaczem.

Zasilacz

Próżniomierz wymaga kilku napięć zasilających:

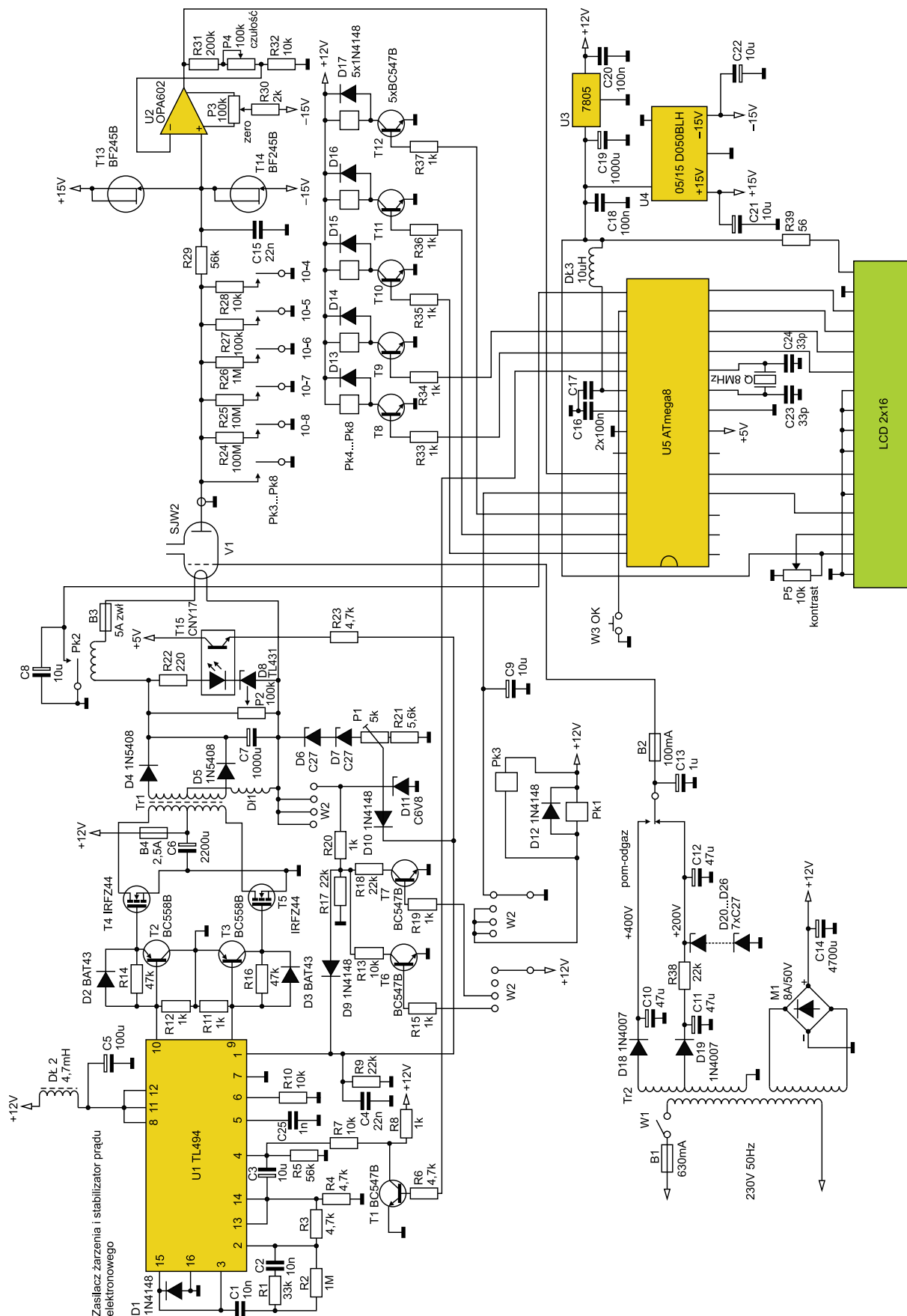
- 12 V do zasilania przetwornicy,
- 200 V do zasilania sondy jonizacyjnej przy pomiarze,
- 400 V dla sondy jonizacyjnej przy odgazowaniu,

- 5 V do zasilania układów cyfrowych,
- ± 15 V dla wzmacniacza prądu jonowego.

Napięcie 12 V jest uzyskiwane z transformatora sieciowego Tr2 poprzez wyprostowanie

w mostku M1 i odfiltrowanie w kondensatorze C14. Napięcia 200 V i 400 V są uzyskiwane z transformatora sieciowego Tr2 poprzez prostowanie jednopółwkowe za pomocą diod D18

i D19. Napięcie 200 V (ściślej około 190 V) jest stabilizowane w układzie stabilizatora parametrycznego z diodami D20...D26 i filtrowane pojemnościami C12 i C13. Napięcie 400 V nie jest



Rys. 5. Schemat elektryczny próżniomierza

stabilizowane, a jedynie wygładzane za pomocą kondensatora C10. Napięcie 5 V jest uzyskiwane za pomocą stabilizatora U3 ze źródła napięcia 12 V, zaś napięcie ± 15 V za pomocą przetwornicy U4 z napięcia 5 V.

Przetwornica-zasilacz żarzenia i stabilizator prądu elektronowego

Jak już wspomniano, celem uzależnienia prądu jonowego jedynie od ciśnienia, należy stabilizować wartość prądu elektronowego płynącego przez sondę. Stabilizację taką można osiągnąć przez pomiar prądu elektronowego sondy i uzależnienie od niego napięcia żarzenia katody sondy. Jeśli prąd elektronowy jest za mały, to katoda powinna się żarzyć silniej, jeśli zaś jest on zbyt duży, katoda powinna być żarzona słabiej.

Drugim warunkiem na to, aby prąd jonowy był zależny jedynie od ciśnienia, jest stabilizacja napięcia przyspieszającego elektrony i jony.

W układzie na rys. 1 występują trzy źródła zasilania sondy. Liczbę źródeł można jednak zmniejszyć, co uczyniono w praktycznym układzie próżniomierza. Zasadę otrzymywania niezbędnych napięć dla sondy przedstawiono na rys. 6. Siatka sondy jest zasilana ze źródła o napięciu 200 V, zaś katoda ma potencjał 50 V, dzięki włączeniu diody Zenera. Zatem napięcie przyspieszające elektrony ma wartość 150 V, zaś napięcie przyspieszające jony 50 V (kolektor ma potencjał -50 V względem katody).

Spadek napięcia na rezystorze jest miarą prądu elektronowego sondy. Jest ono wykorzystane jako napięcie regulujące prąd elektronowy.

Przetwornicą steruje układ U1 (TL494). Układ ten wytwarza impulsy prostokątne, otwierające na przemian tranzystory mocy T4 i T5 (IRFZ44). Transformator impulsowy Tr1 zapewnia separa-

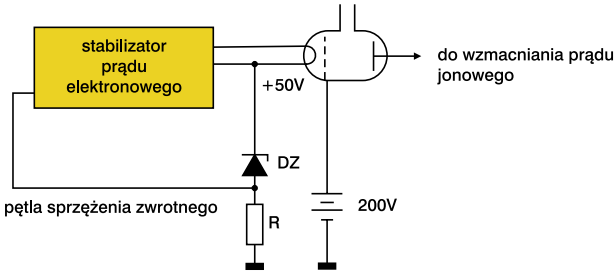
cję galwaniczną, konieczną do podbicia potencjału katody do 50 V.

Napięcie żarzenia sondy zostaje wyprostowane za pomocą diod D4 i D5, i wygładzone za pomocą kondensatora C7. Podbicie potencjału katody do 50 V (około 56 V) zapewniają diody D6 i D7. Spadek napięcia na potencjometrze P1 i rezystorze R21 jest wykorzystywany jako miara prądu elektronowego, i służy do jego regulacji poprzez zmianę współczynnika wypełnienia impulsów z przetwornicy. Potencjometrem P1 można ustawić żądany prąd elektronowy (1 mA).

Potencjometr P2 służy do ustawienia maksymalnej wartości napięcia żarzenia sondy. Takie ograniczenie jest konieczne, ponieważ sonda jest połączona z próżniomierzem za pomocą wiązki przewodów. W razie odłączenia doprowadzenia siatki, spadek napięcia na elementach P1 i R21 nie występuje, wskutek czego przetwornica oddaje pełną moc żarzenia na sondę. Ograniczenie wartości maksymalnego napięcia żarzenia, chroni ją więc przed zniszczeniem.

Gdy maksymalne napięcie żarzenia zostanie przekroczone, zaczyna przewodzić „regulowana dioda Zenera” D8. Otwiera się transoptor T15 i zostaje podane napięcie regulacyjne do pętli sprzężenia zwrotnego przetwornicy.

Na uwagę zasługują jeszcze elementy R5 i C3. Zapewniają one miękki start przetwornicy. Zwiększenie ich wartości powoduje powolniejsze rozżarzanie katody sondy. Ze względu na trwałość katody jest to korzystne, ale w pewnych okolicznościach może być dla niej zabójcze. Jeśli



Rys. 6. Zasada działania stabilizatora prądu elektronowego

bowiem ciśnienie mierzone jest większe od 10^{-3} Tr, sonda nie powinna pracować, gdyż grozi to utlenieniem katody i w efekcie jej spalaniem. Przez pomiar prądu jonowego można stwierdzić oczywiście, że próżnia jest zbyt słaba i wyłączyć sondę, jednak prąd jonowy pojawi się dopiero po rozżarzeniu katody do wystarczająco dużej temperatury. Jeśli rozżarzanie katody będzie trwać zbyt długo, to sonda się spali nim zadziała zabezpieczenie. W praktyce zabezpieczenie działa dobrze dla ciśnień poniżej 10^{-1} Tr.

Powyżej tego ciśnienia maleje bowiem prąd jonowy, wskutek zbyt dużej ilości cząsteczek gazu, i zabezpieczenie przestaje być skuteczne.

Zabezpieczenie przed wyższymi ciśnieniami uzyskuje się z reguły przez sprzężenie próżniomierza jonizacyjnego np. z próżniomierzem Piraniego. Sprzężenie takie uniemożliwia włączenie próżniomierza jonizacyjnego dopóki próżnia wskazywana próżniomierzem Piraniego nie będzie niższa od 10^{-3} Tr. W opisywanym próżniomierzu sprzężenie takie nie zostało przewidziane.

Często stosuje się tzw. odgazowywanie sondy. Polega ono na zwiększeniu napięcia siatki oraz prądu elektronowego. Wskutek bombardowania elektronowego następuje podwyższenie

WYKAZ ELEMENTÓW		
Rezystory		
R1: 33 kΩ 0,25W 5%	C3, C8, C9, C21, C22: 10 μF/25 V	D4, D5: 1N5408
R2: 1 MΩ 0,25W 5%	C4: 22 nF/50 V	D6, D7, D20...D26: dioda Zenera C27/0,5 W
R3, R4, R6: 4,7 kΩ 0,25W 5%	C16, C17, C18, C20: 100 nF/50 V	D8: TL431
R7, R10, R13, R32: 10 kΩ 0,25W 5%	C5: 100 μF/25 V	D11: dioda Zenera C6V8/1 W
R8, R11, R12, R15, R19, R20, R33...R37: 1 kΩ 0,25W 5%	C6: 2200 μF/25 V	D18, D19: 1N4007
R9, R17, R18: 22 kΩ 0,25W 5%	C7, C19: 1000 μF/25 V lub 2x470 μF/25 V	M1: mostek prostowniczy 8 A/50 V
R14, R16: 47 kΩ 0,25W 5%	C10: 47 μF/450 V lub 2x100 μF/250...400 V, włączone szeregowo. Kondensatory zbocznikować rezystorami wyrównującymi 1 MΩ/0,6 W.	Lampy
R21: 5,6 kΩ 0,6W 1%	C11, C12: 47 μF/400 V	V1: sonda jonizacyjna typu SJW2M/S
R22: 220 Ω 0,25W 5%	C13: 1 μF/450 V	Inne
R23: 4,7 kΩ 0,25W 5%	C14: 4700 μF/25 V	W1: włącznik dwubiegunowy jednosekcyjny
R24: 100 MΩ 0,6W 1%	C15: 22 nF/100 V foliowy	W2: przełącznik 3-sekcyjny, 4-położeniowy
R25: 10 MΩ 0,6W 1%	C23, C24: 33 pF/50 V	W3: przycisk zwrotny, monostabilny
R26: 1 MΩ 0,6W 1%	C25: 1 nF/50 V	B1: bezpiecznik 630 mA
R27: 100 kΩ 0,6W 1%	Półprzewodniki	B2: bezpiecznik 100 mA
R28: 10 kΩ 0,6W 1%	U1: TL494	B3: bezpiecznik 5 A
R29: 56 kΩ 0,6W 1%	U2: OPA602	B4: 2,5 A
R30: 2 kΩ 0,6W 1%	U3: 7805	Tr1, Tr2: wg opisu
R31: 200 kΩ 0,6W 1%	U4: 05/15D050BLH przetwornica 5 V/±15 V	D11: wg opisu
R38: 22 kΩ 1W 5%	U5: ATMEGA8	D12: 4,7 mH
R39: 56 Ω 0,6W 1%	T1, T6...T12: BC547B	D13: 10 μH
P1: 5 kΩ helitrym	T2, T3: BC558B	Pk1: przełącznik 12 V, obciążalność 1 A/400 V
P2, P3, P4: 100 kΩ helitrym	T4, T5: IRFZ44	zwrotno-rozwrtny
P5: 10 kΩ potencjometr montażowy	T13, T14: BF245B	Pk2: wg opisu
Kondensatory	T15: transoptor CNY17	Pk3...Pk8: przełącznik 12 V, kontaktronowy z jedną parą styków
C1, C2: 10 nF/50 V	D1, D9, D10, D12, D13...D17: 1N4148	Q: rezonator kwarcowy 8 MHz
	D2, D3: BAT43	Wyświetlacz LCD 2x16 znaków

temperatury i desorpcja (uwolnienie gazów) z siatki oraz innych elementów sondy. Dzięki temu zmniejszają się przekłamanie we wskazaniach próżni, powodowane stopniowym uwalnianiem gazów podczas pomiaru (zwłaszcza dla ciśnień niższych od 10^{-6} Tr).

W próżniomierzu przewidziano trzy stopnie regulacji mocy odgazowania, które odpowiadają prądom elektronowym około 10, 35 i 50 mA przy napięciu siatki 400 V. Podczas odgazowania nie jest konieczne podbicie potencjału katody do 50 V (stabilizacja prądu elektronowego przy odgazowaniu następuje dzięki elementom R13, R15, R17...R20, T6, T7, D9 i D11). Zostaje także zabezpieczony przed przeciążeniem wzmacniacz prądu jonowego (zwarte styki przełącznika Pk3). Przelłączanie trybu pracy próżniomierza pomiar/odgazowanie I, II, III odbywa się za pomocą przełącznika W2 (4–pozycyjnego i 3–sekcyjnego). Z tego przełącznika jest podawany do procesora sygnał trybu pracy pomiar/odgazowanie.

Przełącznik Pk2 kontroluje, czy w obwodzie katody sondy płynie prąd. Przełącznik Pk1 podaje do siatki sondy napięcie 200 V lub 400 V, w zależności od trybu pracy.

Wzmacniacz prądu jonowego – nanoamperomierz

Czułość sondy SJW2 wynosi około $20 \mu\text{A}/\text{mA}\cdot\text{Tr}$. Oznacza to, że przy prądzie elektronowym 1 mA i ciśnieniu 1 mTr (10^{-3} Tr) popłynie prąd jonowy równy $20 \mu\text{A}$. Przy ciśnieniu 10^{-4} Tr prąd jonowy będzie osiągał około $2 \mu\text{A}$, przy 10^{-5} Tr ma 200 nA, przy 10^{-6} Tr – 20 nA, przy 10^{-7} Tr – 2 nA i przy 10^{-8} Tr około 200 pA.

Pomiaru tak małych prądów dogodnie jest wykonywać przez pomiar spadku napięcia na znanej oporności wzorcowej. Dla przykładu, przy prądzie 200 pA na rezystancji $100 \text{ M}\Omega$ wystąpi spadek napięcia 0,02 V. Napięcie to można jednak wzmocnić i przeliczyć na wartość ciśnienia.

Nanoamperomierz zrealizowano przy użyciu wzmacniacza operacyjnego U2 typu OPA602. Oporniki wzorcowe są przełączane za pomocą przełączników kontaktronowych Pk4...Pk8. Potencjometr P3 służy do ustawiania zera wzmacniacza operacyjnego, P4 reguluje wzmocnienie (można ustawić dla konkretnego egzemplarza sondy). Tranzystory T13 i T14 zabezpieczają wejście wzmacniacza przed przeciążeniem w trybie pomiaru.

Obsługa próżniomierza

Po włączeniu próżniomierza na ekranie LCD pojawia się komunikat powitalny, po nim zaś zapytanie „Włączyć sondę?”. Potwierdzenie przyciskiem „OK” powoduje załączenie przetwornicy poprzez podanie napięcia na bazę tranzystora T1, a następuje rozgrzanie katody sondy. Jeśli przełącznik trybu pracy W2 jest w pozycji „pomiar”, wówczas rozpoczyna się szukanie właściwego zakresu pomiarowego. Najpierw zostaje włączony kontaktron Pk8, odpowiadający za-

kresowi ciśnień 10^{-4} ... $9,9 \times 10^{-4}$ Tr. Jeśli napięcie na wejściu przetwornika ADC jest z przedziału 0,45...4,8 V, to przełącznik Pk8 pozostaje włączony i zostaje wyświetlona wartość ciśnienia, przeliczona z napięcia. Jeśli napięcie przekroczy na tym zakresie 4,8 V oznacza to przekroczenie ciśnienia $9,9 \times 10^{-4}$ Tr, co powoduje wyłączenie katody sondy i komunikat na ekranie „Sonda wyłączona!”. Po naciśnięciu przycisku „OK” pojawi się zapytanie „Włączyć sondę?”, tak jak na początku.

Jeśli zaś napięcie na wejściu ADC będzie niższe od 0,45 V, wówczas nastąpi wyłączenie przełącznika Pk8 i włączenie Pk7. Kolejne przełączniki są przełączane aż do momentu, gdy napięcie na wejściu ADC będzie z przedziału 0,45...4,8 V lub do włączenia przełącznika Pk4.

Jeśli napięcie wzrośnie powyżej 4,8 V, to nastąpi zmiana na zakres o mniejszej czułości. Zmiany zakresów napięciami niższymi od 0,45 V lub wyższymi od 4,8 V wprowadzają niewielką histerezę. Dzięki temu nie występuje częste przełączanie zakresów, gdy ciśnienie zmienia się na granicy sąsiednich zakresów.

Jeśli przełącznik trybu pracy W2 jest w trybie odgazowania, to po włączeniu katody pojawia się komunikat „Odgazowanie”. Istnieje możliwość przełączania w tryb odgazowania w trakcie pomiaru i w tryb pomiaru w trakcie odgazowywania, bez konieczności wyłączania próżniomierza. Ponieważ podczas odgazowywania nie jest mierzona próżnia, ten tryb pracy należy stosować po upewnieniu się, że próżnia w układzie jest wystarczająco wysoka.

Przerwa w obwodzie katody powoduje wyświetlenie komunikatu „Katoda uszkodzona!”, niezależnie, czy przyrząd pracuje w trybie pomiaru czy odgazowywania, oczywiście pod warunkiem włączenia przetwornicy–stabilizatora prądu elektronowego. Usunięcie usterki w obwodzie katody powoduje przejście do trybu odgazowywania lub pomiaru, w zależności od ustawienia przełącznika trybu pracy W2.

Ponieważ linie Rxd i Txd procesora nie są wykorzystane, nic nie stoi na przeszkodzie, aby po prostej modyfikacji programu i zastosowaniu układu MAX232, próżniomierz wysyłał wartość ciśnienia poprzez interfejs RS232. Można także dodać funkcję zmiany jednostki ciśnienia Tr<->hPa (ciśnienie w hPa otrzymuje się mnożąc przez 4/3 ciśnienie w Torach).

Uwagi dotyczące montażu i uruchomienia

Tranzystory T4 i T5 powinny być wyposażone w niewielkie radiatory. Można też zastosować niewielki wentylator. Jeśli diody D4 i D5 się grzeją, wówczas wskazane jest zastąpić je diodami o większej mocy. Transformator impulsowy Tr1 można wykonać przy użyciu rdzenia ferrytowego z zasilacza komputerowego. Uzwojenie pierwotne zawiera 2×6 zwojów drutu miedzianego 0,6 mm w emalii, uzwojenie wtórne ma 2×5 zwojów drutu 0,8 mm w ema-

lii. Dławik D11 można nawinąć na koraliku ferrytowym o średnicy 20...25 mm. Uzwojenie liczy 45 zwojów drutu 0,8 mm.

Wydajność prądowa transformatora Tr2 dla napięć 12 V powinna wynosić 6 A, dla 200 V – 10 mA i dla 400 V – 60 mA.

Przełącznik Pk2 można wykonać we własnym zakresie, nawijając na rurce kontaktronu kilkadziesiąt zwojów drutu miedzianego 0,6 mm. Kondensatory C6 i C7 powinny mieć małą zastępczą rezystancję szeregową (Low ESR). Kondensator C7 można „złożyć” z dwóch lub trzech kondensatorów o mniejszej pojemności.

Doprowadzenie kolektora sondy powinno być ekranowane i o małej upływności. Godny polecenia jest ekranowany przewód teflonowy.

Układ nanoamperomierza powinien być ekranowany, celem uniknięcia zakłóceń od pól postronnych.

Uruchomienie najlepiej zacząć od ustawienia ograniczenia napięcia żarzenia. Potencjometr P2 powinien znajdować się w skrajnym górnym położeniu, zaś doprowadzenie siatki powinno być odłączone. Do zacisków katody sondy należy dołączyć woltomierz i uruchomić przetwornicę (podając napięcie na bazę tranzystora T1 za pomocą rezystora R6). Następnie regulować potencjometrem P2 w ten sposób, aby napięcie na zaciskach sondy nie było większe od 8 V. Kolejną czynnością jest ustawienie wartości prądu elektronowego. W tym celu należy podłączyć doprowadzenie siatki i w szereg z nim włączyć miliamperomierz, przełącznik rodzaju pracy ustawić w położeniu „Pomiar” i uruchomić przetwornicę (podając napięcie na bazę tranzystora T1). Regulując potencjometrem P1 ustawić wartość prądu elektronowego równą 1 mA. Następnie należy sprawdzić, czy na kolejnych zakresach mocy odgazowania prąd elektronowy osiąga kolejno około 10, 35 i 50 mA. Jeśli nie, należy dobrać wartości rezystorów R13, R17 i R18.

Kolejną czynnością jest ustawienie „zera” wzmacniacza operacyjnego. W tym celu należy odpiąć doprowadzenie kolektora i włączyć przełącznik Pk4. Potencjometrem P3 należy ustawić wartość 0 V napięcia wyjściowego.

Następnie należy wyregulować wzmocnienie wzmacniacza prądu jonowego. W tym celu najlepiej dysponować układem próżniowym z dwiema sondami jonizacyjnymi, aby móc porównywać wartość mierzonego ciśnienia za pomocą dodatkowego próżniomierza. Można ewentualnie posłużyć się jedną sondą i dwoma próżniomierzami.

Potencjometrem P4 należy wyregulować identyczne wskazanie jak w próżniomierzu wzorcowym.

Aleksander Zawada
Instytut Tele- i Radiotechniczny
Zakład Aparatury Próżniowej
aleksander.zawada@pie.edu.pl