

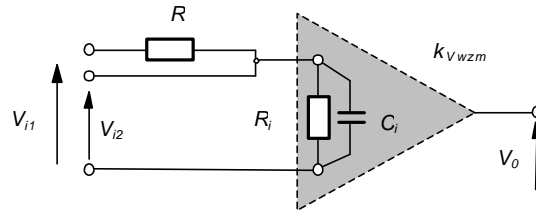
DODATEK H

POMIAR IMPEDANCJI WEJSCIOWEJ WZMACNIACZA

Standardowa metoda pomiaru impedancji wejściowej wzmacniaczy operacyjnych korzysta z zależności (H.1) wiążącej stosunek napięć wejściowych V_{i1} i V_{i2} , podanych odpowiednio za pośrednictwem włączanej na wejściu rezystancji szeregowej R oraz bezpośrednio, dających na wyjściu taką samą wartość napięcia V_o .

$$[V_{i1}/V_{i2}]^2 = 1 + [R(2R_i + R)/R_i^2] + (R^2/X_i^2) \quad (\text{H.1})$$

Dla wykazania jej słuszności skorzystamy z zamieszczonego poniżej schematu układu pomiarowego.



Rys. H1. Schemat układu pomiarowego metoda standardowa

Podstawę obliczeń stanowią równania obwodowe (H.2) i (H.3)

$$V_{o1} = V_{i1} F_{att} k_{V_{wzm}} \quad (\text{H.2})$$

$$V_{o2} = V_{i2} k_{V_{wzm}} \quad (\text{H.3})$$

Z założenia metody pomiaru $V_{o1} \approx V_{o2}$, wobec czego zachodzi równość

$$V_{i1} F_{att} = V_{i2} \quad \text{czyli} \quad \frac{V_{i1}}{V_{i2}} = \frac{1}{F_{att}} \quad (\text{H.4})$$

Dla zadanej konfiguracji dzielnika (attenuatora) jego transmitancja $F_{att}(p)$ wynosi

$$F_{att}(p) = \frac{Z_i(p)}{R + Z_i(p)} = \frac{R_i / (1 + pC_i R_i)}{R + [R_i / (1 + pC_i R_i)]} = \frac{1}{\left[\frac{\chi R + R_i}{\chi R_i} \right] + pRC_i} \quad (\text{H.5})$$

i analogicznie przepustowość widmowa $F_{att}(j\omega)$ opisuje równanie

$$F_{att}(j\omega) = \frac{1}{\left[\frac{\chi R + R_i}{\chi R_i} \right] + j\omega RC_i} = \frac{\left[\frac{\chi R + R_i}{\chi R_i} \right] - j\omega RC_i}{\left[\frac{\chi R + R_i}{\chi R_i} \right]^2 + \omega^2 R^2 C_i^2} \quad (\text{H.6})$$

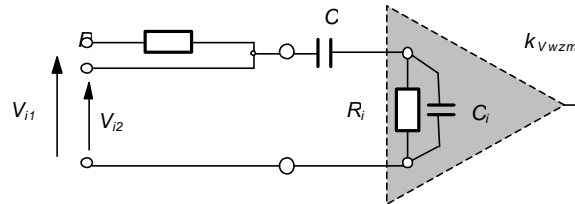
Oznaczając przez X_i reaktancję pojemności wejściowej wzmacniacza ($X_i = 1/\omega C_i$) łatwo dochodzimy do podanej uprzednio formuły (H.1)

$$\left[\frac{V_{i1}}{V_{i2}} \right]_{\omega}^2 = \left[1 + \frac{R}{R_i} \right]_{\chi}^2 + \omega^2 R^2 C_i^2 = 1 + \frac{2R}{R_i} + \frac{R^2}{R_i^2} + \frac{R^2}{X_i^2} = 1 + \frac{R(2R_i + R)}{R_i^2} + \frac{R^2}{X_i^2} \quad (\text{H.7})$$

Praktyczna użyteczność tej metody ograniczona jest kilkoma warunkami. I tak, podstawowym warunkiem jej stosowalności jest wymaganie, aby wprowadzane przez nią elementy „zewnętrzne” modyfikowały wyłącznie stopień podziału sygnału na wejściu badanej struktury nie wpływając na jej własności transmisyjne. Warunku tego nie spełniają układy z zamkniętą na wejściu pętlą sprzężenia zwrotnego. Drugim ważnym warunkiem jest zadanie zgodności potencjałów spoczynkowych obwodu wyjściowego źródła sygnału pomiarowego i obwodu wejściowego badanego wzmacniacza. W układach nie spełniających tego wymogu konieczne jest wprowadzenie separacji pojemnościowej. W konsekwencji formuła (H.7) przestaje być słuszną. Formalnie można ją skorygować uwzględniając w dzielniku napięcia również wprowadzoną pojemność szeregową C , prowadzi to jednak do bardziej złożonej (H.8) postaci nieco kłopotliwej w praktycznym użyciu.

$$\left[\frac{V_{i1}}{V_{i2}} \right]_{\omega}^2 = \frac{(\omega C R_i)^2}{(C R C_i R_i)^2 \omega^4 + \{(C R)^2 + (C_i R_i)^2 + (C R_i)^2 + 2 C_i^2 R R_i + 2 C_i C R_i^2\} \omega^2 + 1} \quad (\text{H.8})$$

Na rysunku H2 przedstawiono schemat układu pomiarowego uwzględniający pojemność separującą C . Formuła (H.8) korzysta z oznaczeń schematowych tego rysunku.



Rys. H2. Schemat układu pomiarowego uwzględniającego separację pojemnościową

Metoda ta okazuje się również mało skuteczna w przypadkach bardzo wysokich oraz bardzo niskich impedancji wejściowych. Wymienione ograniczenia wykluczają praktycznie tę wersję metodyczną z bezpośredniego zastosowania w pomiarach badanych wzmacniaczy.

W przypadku bardzo małych wartości pojemności i rezystancji wejściowych oraz umiarkowanej częstotliwości sygnału pomiarowego człon $\omega^2 R^2 C_i^2$ w równaniu (H.6) staje się pomijalnie mały względem jedności. Wobec relatywnie dużej wartości ($10 \mu\text{F}$) pojemności separującej można ją również zaniedbać w uproszczonym schemacie zastępczym, w rezultacie czego układ równań obwodowych (H.1) i (H.2) sprowadza się do postaci:

$$V_{o1} = V_{i1} \frac{R_i}{R + R_i} k_{vwzm} \quad (\text{H.9})$$

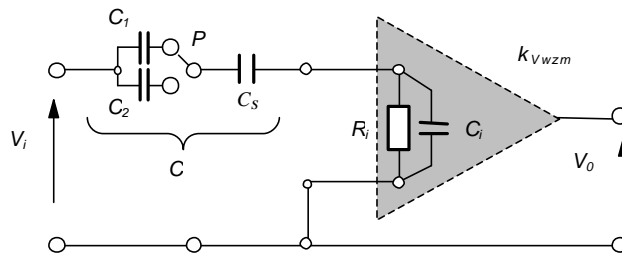
$$V_{o2} = V_{i2} k_{vwzm} \quad (\text{H.10})$$

Jego rozwiązaniem jest przybliżona formuła określająca wartość rezystancji wejściowej

$$R_i \cong R \frac{V_{i2}}{(V_{i1} - V_{i2})} \quad (\text{H.11})$$

Formuła (H.11) można się posłużyć dla wyznaczenia rezystancji wejściowej wzmacniacza prądowego charakteryzującego się niskimi wartościami R_i i C_i .

Bardzo prosta formuła obliczeniowa można uzyskać w alternatywnej metodzie pomiaru wykorzystującej impulsowe własności obwodu wejściowego. W tej wersji w charakterze sygnału pomiarowego stosuje się pobudzenie skokowe, a bezpośrednio mierzona wielkością jest stała czasowa zaniku odpowiedzi. Zasada tej metody, którą określić można mianem *metody impulsowej*, ilustruje rysunek H3.



Rys. H3. Schemat układu do pomiaru impedancji wejściowej *metoda impulsowa*

Dla uproszczenia zapisu oznaczmy symbolem C działająca na wejściu, wypadkowa pojemność szeregową (złożoną z pojemności separującej C_s i „wtracanej” pojemności zewnętrznej C_z)

$$C = \frac{C_z C}{C_z C_s} \xrightarrow{C_z \ll C_s} C_z \quad (\text{H.12})$$

Transmitancja obwodu wejściowego przybiera w tej notacji postać

$$F_{att}(p) = \frac{Z_i}{X_C + Z_i} = \frac{R_i / (1 + pC_i R_i)}{1/pC + [R_i / (1 + pC_i R_i)]} = \frac{p \left[\frac{C}{C + C_i} \right] \uparrow}{p + \left[\frac{1}{(C + C_i) R_i} \right] \uparrow} \quad (\text{H.13})$$

zas odpowiedź na wymuszenie skokowe $E \times H(t)$ w dziedzinie czasu opisuje równanie

$$V_o(t) = E \frac{C}{|C + C_i|} \exp \left[\frac{\chi}{\chi} - \frac{t}{(C + C_i) R_i} \right] \quad (\text{H.14})$$

Dla dwóch różnych wartości C_Z otrzymujemy na tej podstawie układ dwóch równań

$$t_1 = (C_1 + C_i)R_i \quad \text{oraz} \quad t_2 = (C_2 + C_i)R_i \quad (\text{H.15})$$

pozwalających obliczyć wartości wyznaczanych parametrów R_i i C_i .

Metoda powyższa rekomendowana jest dla wzmacniaczy napięciowych, gdy duże wartości R_i dają nawet przy małych wartościach C_i łatwo mierzalne wartości stałych czasowych.

Literatura

- [1] Badzmirowski K., Kolodziejski J., Spiralski L., Stolarski E.: *Miernictwo elementów półprzewodnikowych i układów scalonych*. Warszawa, WKiL 1983
- [2] Spiralski L., Kolodziejski J.: *Mikroelektronika. Miernictwo układów scalonych*. Warszawa, WKiL 1977