

Ć W I C Z E N I E 7

WZMACNIACZ Z GENERATOREM FALI NOŚNEJ

7.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie zasady działania, sposobów badań własności metrologicznych oraz możliwości zastosowań wzmacniacza z generatorem fali nośnej.

7.2. Wprowadzenie

W technice pomiarów wielkości elektrycznych oraz nieelektrycznych wzmacniacze są stosowane w procesie przetwarzania sygnału pomiarowego, w trakcie którego następuje również wzmocnienie mocy skojarzonej z tym sygnałem.

Najczęściej są stosowane dwa następujące rodzaje wzmacniaczy pomiarowych:

- wzmacniacze szerokopasmowe wykonane w technologii scalonej,
- wzmacniacze z generatorem fali nośnej.

Właściwości wymienionych wzmacniaczy zestawiono w tab. 7.1.

Z tabeli 7.1 wynika, że cechą charakterystyczną wzmacniaczy z generatorem fali nośnej jest brak wrażliwości na zakłócające sygnały w postaci napięcia stałego oraz napięcia przemiennego o częstotliwości różniącej się od częstotliwości fali nośnej f_n . Cecha ta stanowi istotną zaletę wzmacniaczy z generatorem fali nośnej, umożliwiającą wykorzystanie tych urządzeń w układach pomiarowych, w których występują źródła zakłócających napięć stałych, np. siły termoelektryczne wykluczające stosowanie wzmacniaczy szerokopasmowych. Układami takimi są niezrównoważone mostki z czujnikami parametrycznymi, stosowane powszechnie w technice pomiarów wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi. Wzmacniacze z generatorem fali nośnej zostały opracowane na potrzeby mostków niezrównoważonych i ich zastosowania metrologiczne ograniczają się do tej grupy układów pomiarowych.

T a b e l a 7.1.

Porównanie właściwości wzmacniaczy stosowanych w technice pomiarów wielkości elektrycznych i nieelektrycznych

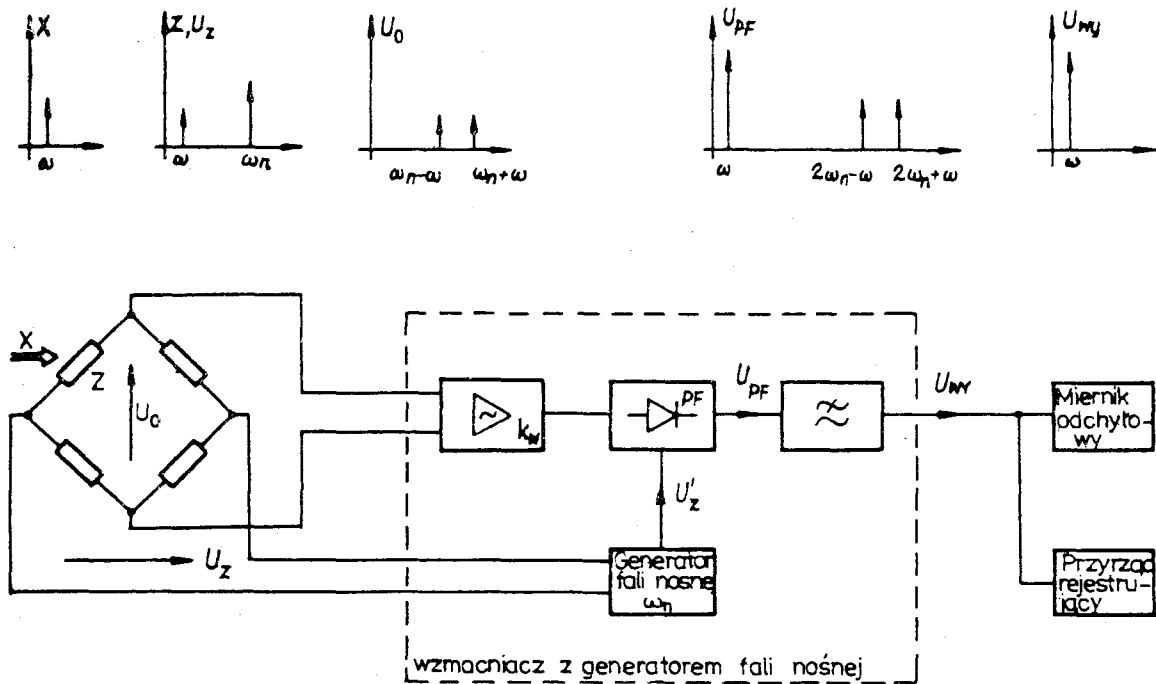
Właściwości i parametry \ Klasa wzmacniacza	Wzmacniacz szerokopasmowy	Wzmacniacz z generatorem fali nośnej
Technologia wytwarzania	scalona	dyskretna, hybrydowa, scalona
Struktura układu	prosta	złożona
Zastosowanie	szerokie	ograniczone do układów mostkowych z czujnikami parametrycznymi
Pasmo przenoszenia	0...100 kHz	0...0,1 f_n f_n - częstotliwość fali nośnej $f_n = 200 \text{ Hz} \dots 50 \text{ kHz}$
Pełzanie zera	charakterystyczne dla wzmacniaczy scalonych	charakterystyczne jak dla wzmacniacza z przetwarzaniem
Wrażliwość na zakłócające sygnały - napięcia stałego - napięcia przemienicznego	wrażliwy wrażliwy	niewrażliwy tłumi sygnały o $f \neq f_n$
Zasilanie czujnika	napięcie stałe	napięcie o częstotliwości f_n

7.3. Zasada działania wzmacniacza z generatorem fali nośnej

Schemat strukturalny wzmacniacza z generatorem fali nośnej, współpracującego z mostkiem niezrównoważonym, przedstawiono na rys. 7.1. Mostek niezrównoważony jest wyposażony w pomiarowy czujnik parametryczny. Wartość parametru Z tego czujnika zmienia się pod wpływem działania wielkości fizycznej X .

Jeżeli wartość wielkości fizycznej $X = X_0$, to wartość parametru $Z = Z_0$, mostek znajduje się w stanie równowagi, a napięcie w przekątnej mostka $U_0 = 0$. Jeśli wielkość fizyczna X zmienia swą wartość w czasie, przy czym

$$x(t) = X_0 + \Delta x(t), \quad (7.1)$$



Rys. 7.1. Schemat strukturalny mostka niezrównoważonego współpracującego ze wzmacniaczem z generatorem fali nośnej

to zmienia się również w czasie wartość parametru Z czujnika, przy czym

$$z(t) = Z_0 + \Delta z(t). \quad (7.2)$$

Z zasady działania czujnika parametrycznego wynika, że

$$\begin{aligned} \Delta Z &= k \Delta X, \\ \Delta z(t) &= k \Delta x(t), \end{aligned} \quad (7.3)$$

k - stała czujnika.

Wartość chwilowa $\Delta z(t)$ określa odstrojenie mostka od stanu równowagi i powoduje wystąpienie w przekątnej napięciowego sygnału niezrównoważenia $u_0(t)$.

Z analizy mostków niezrównoważonych wykorzystywanych w liniowym zakresie wynika, że przebieg sygnału niezrównoważenia w czasie określa zależność

$$u_0(t) = m \Delta z(t) u_z(t) \quad (7.4)$$

m - stała mostka,

$u_z(t)$ - napięcie zasilania mostka.

Po przyjęciu, że

$$\Delta z(t) = \Delta z \sin \omega t, \quad (7.5)$$

$$u_z(t) = U_z \sin \omega_n t, \quad (7.6)$$

ω - pulsacja wielkości fizycznej X ,

ω_n - pulsacja napięcia U_z zasilającego mostek, zwana "pulsacją nośną",

otrzymuje się:

$$u_o(t) = m \Delta Z U_z \sin \omega t \sin \omega_n t, \quad (7.7)$$

$$u_o(t) = \frac{1}{2} m \Delta Z U_z [\cos (\omega_n - \omega)t - \cos (\omega_n + \omega)t]. \quad (7.8)$$

Wyrażenie (7.8) dowodzi, że przebieg czasowy sygnału niezrównoważenia jest przebiegiem modulowanym, w widmie którego nie występuje pulsacja nośna ω_n (rys. 7.1). Z rysunku 7.1 wynika, że sygnał niezrównoważenia $u_o(t)$ zostaje podany na wzmacniacz o wzmacnieniu k_w , a następnie na prostownik fazoczuły (PF), sterowany napięciem $u_z'(t) = U_z' \sin \omega_n t$ proporcjonalnym do napięcia zasilania mostka. Prostownik ten nie reaguje na amplitudę U_z' , a tylko na jego fazę. Prostownik fazoczuły działa jak element przeprowadzający mnożenie sygnałów elektrycznych, w związku z tym sygnał na jego wyjściu określa zależność

$$u_{PF}(t) = u_o(t) k_w p \sin \omega_n t, \quad (7.9)$$

p - staza prostownika.

Po podstawieniu wzoru (7.8) do (7.9) otrzymuje się

$$\begin{aligned} u_{PF}(t) &= \frac{1}{2} m k_w p \Delta Z U_z \sin \omega_n t [\cos (\omega_n - \omega)t - \cos (\omega_n + \omega)t] = \\ &= \frac{1}{2} m k_w p \Delta Z U_z \left\{ \sin \omega t + \frac{1}{2} [\sin (2 \omega_n - \omega)t - \right. \\ &\quad \left. - \sin (2 \omega_n + \omega)t] \right\}. \end{aligned} \quad (7.10)$$

W widmie sygnału $u_{PF}(t)$ widocznym na rys. 7.1 występują pulsacje ω ; $2 \omega_n - \omega$; $2 \omega_n + \omega$.

Po stłumieniu w filtrze dolnoprzepustowym przebiegów o pulsacji $2 \omega_n \pm \omega$ otrzymuje się sygnał zdemodulowany, określony zależnością

$$u_{wy}(t) = \frac{1}{2} m k_w p \Delta Z U_z \sin \omega t. \quad (7.11)$$

Po założeniu, że $\frac{1}{2} m k_w p U_z = c = \text{const}$, oraz

$$\Delta Z = k \Delta X, \quad (7.12)$$

trzymuje się sygnał niezrównoważenia mostka w końcowej postaci

$$u_{wy}(t) = c k \Delta X \sin \omega t. \quad (7.13)$$

Jak wynika z powyższego wyrażenia, sygnał ten reprezentuje przebieg w czasie zmian wartości wielkości mierzonej X .

Pozostaje do wyjaśnienia wpływ na końcową postać sygnału niezrównoważenia, określoną równaniem (7.14), zakłóceń sygnałami napięcia stałego (np. siły termoelektryczne) lub napięcia przemiennego, występujących w obszarze mostka niezrównoważonego.

Właściwości wzmacniacza zastosowanego w układzie na rys. 7.1 (wzmacniacz napięcia zmiennego z wejściem transformatorowym) powodują, że zakłócenia sygnałami napięcia stałego nałożone na sygnał $u_0(t)$ zostaną wyeliminowane z procesu przetwarzania. Zakłócenia sygnałami napięcia zmiennego $u_p(t) = U_p \sin \omega_p t$ zostaną wzmocnione przez opisany wzmacniacz i dotrą na wejście prostownika fazoczułego, powodując zmianę sygnału wyjściowego opisanego wyrażeniem (7.9) do postaci:

$$u_{PF}(t) = [u_0(t) + u_p(t)] k_w p \sin \omega_n t, \quad (7.14)$$

stąd

$$u_{PF}(t) = \frac{1}{2} m k_w p \Delta Z U_z \left\{ \sin \omega t + \frac{1}{2} \left[\sin (2\omega_n - \omega)t - \sin (2\omega_n + \omega)t \right] \right\} + \frac{1}{2} k_w p U_p \left[\cos (\omega_n - \omega)t - \cos (\omega_n + \omega)t \right]. \quad (7.15)$$

Wynika stąd, że wymieniona zmiana sygnału opisanego równaniem (7.15) polega w rozważanym przypadku na wystąpieniu dwu dodatkowych wstępów o pulsacji $\omega_n - \omega_p$ i $\omega_n + \omega_p$. Jeżeli $\omega_n \pm \omega_p \gg \omega$, to filtr dolnoprzepustowy występujący w układzie na rys. 7.1 stłumi również te dwie dodatkowe wstęgi i końcowa postać sygnału niezrównoważenia mostka (7.13) nie ulegnie zmianie pod wpływem zakłóceń sygnałami napięcia zmiennego.

7.4. Analiza metrologiczna procesu przetwarzania

Na podstawie wyrażen (7.11) i (7.12) wyjściowy sygnał układu na rys. 7.1 można przedstawić w postaci zależności

$$u_{wy}(t) = \frac{1}{2} m k_w p U_z k \Delta X \sin \omega t. \quad (7.16)$$

Na tej podstawie określa się względny błąd graniczny systematyczny procesu przetwarzania sygnału niezrównoważenia U_0 , reprezentującego wartość wielkości X

$$\delta U_o = \delta X = \delta m + \delta k_w + \delta p + \delta U_z + \delta k; \quad (7.17)$$

wartości m , k_w , p , U_z , k występują w wyrażeniu (7.16) jako stałe, w związku z tym składowe błędy względnego δX należy rozumieć jako ich względne zmiany w stosunku do wartości znamionowych.

Parametry metrologiczne typowego wzmacniacza fali nośnej typu KWS 3070 firmy Hottinger Baldwin Messtechnik, przeznaczonego do współpracy z czujnikami rezystancyjnymi, podano w tab. 7.2.

7.5. Program ćwiczenia

Program ćwiczenia obejmuje badania, których celem jest wyznaczenie właściwości metrologicznych wzmacniacza z generatorem fali nośnej, wykonanego w Instytucie Metrologii Elektrycznej. Badania te dotyczą:

- generatora fali nośnej,
- wzmacniacza z generatorem fali nośnej.

7.5.1. Pomiar parametrów generatora fali nośnej

1. Pomiar wartości stałości częstotliwości generatora w zależności od czasu, temperatury otoczenia i napięcia zasilania.

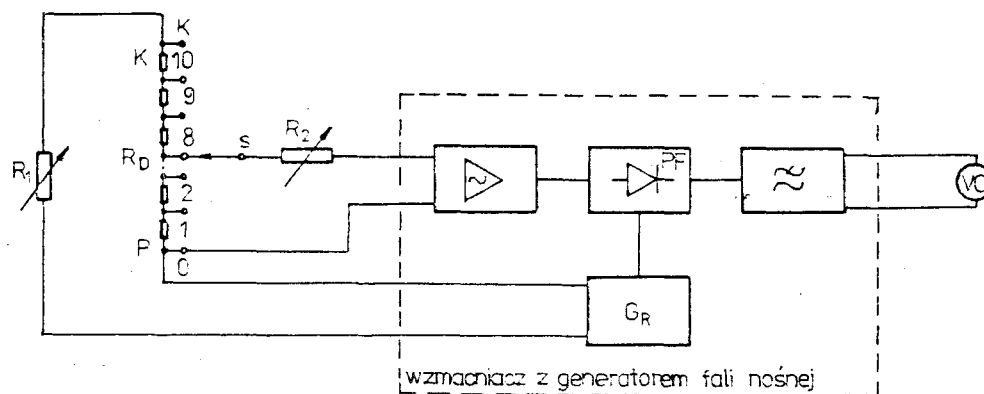
2. Pomiar wartości i stałości napięcia generatora w zależności od czasu, temperatury, napięcia zasilania i obciążenia.

7.5.2. Pomiar parametrów wzmacniacza z generatorem fali nośnej

7.5.2.1. Pomiar własności statycznych

1. Pomiar błędów przetwarzania i nieliniowości

Pomiary błędów przetwarzania i nieliniowości wykonać dla dowolnego zakresu wzmacniacza obejmującego obszar pomiarowy 0,1; 0,3; ..., 1000 mV. Badania przeprowadzić w układzie pokazanym na rys. 7.2.



Rys. 7.2. Układ do pomiaru własności statycznych wzmacniacza z generatorem fali nośnej

Parametry metrologiczne wzmacniacza
typu KWS 3070 firmy Hottinger Baldwin Messtechnik

Układ	Wielkość charakterystyczna	Wymiar	Wartość
Mos- tek	Rezystancja rezystorów mostka	Ω	40-600
Generator	Częstotliwość fali nośnej	kHz	5
	Niestałość częstotliwości fali nośnej	%	± 5
	Napięcie zasilania mostka	V	3
	Niestałość napięcia zasilania mostka	%	$\pm 0,1$
Wzmacniacz, prostownik fazoczuły, filtr dolnoprzepus- towy	Zakresy pomiarowe (czu- łość)	mV/V	$\pm 0,2$; $\pm 0,5$; ± 1 ; ± 2 ; ± 5 ; ± 10 ; ± 20 ; ± 50
	Błąd dzielnika zmiany za- kresów	%	$\pm 0,25$
	Regulacja wzmocnienia wzmacniacza	%	90-270 zakresu pomiaro- wego
	Nieliniowość przetwarzania wzmacniacza	%	$< 0,15$
	Wpływ zmian napięcia zasilania wzmacniacza od 22 V do 25 V na:		
	- niedokładność przetwa- rzania	%	$< 0,1$
	- pełzanie zera	%	$< 0,1$ odniesione do zakre- su pomiarowego
	Wpływ zmian temperatury na:		
	- niedokładność przetwa- rzania	%/10 °C	$< 1,5$
	- pełzanie zera	%/10 °C	$< 0,0014$ mV/V + $< 0,05\%$ od- niesione do zakresu po- miarowego
	Napięcie wyjściowe	V	± 2
	Rezystancja wyjściowa	Ω	10
	Maksymalny prąd wyjściowy	mA	± 150
Pasma przenoszenia	Hz	0-550 (-1 dB)	
Stała czasowa	ms	ok. 0,4	
Przeregulowanie dla sygna- łu prostokątnego	%	8	
Obciążenie	Rezystancja obciążenia wzmacniacza	Ω	> 100
	Napięcie zasilania	V	od +22 do +25
	Temperatura otoczenia	°C	od -20 do +60

Sumę rezystancji R_1 i R_D należy tak dobrać, aby zmiany napięcia generatora fali nośnej, spowodowane obciążeniem, nie przekraczały 0,1% (patrz p. 7.5.1). Rezystor R_2 służy do oszacowania wartości rezystancji wejściowej wzmacniacza fali nośnej.

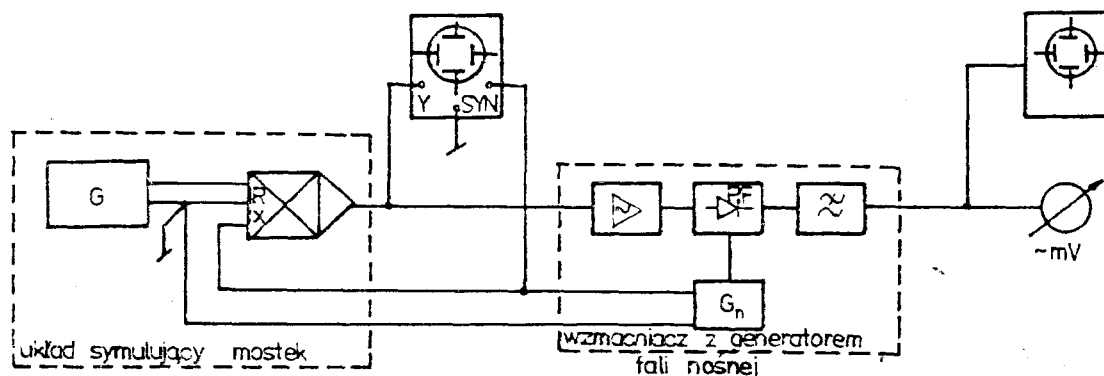
2. Pomiary niedokładności przetwarzania i pełzania zera

Pomiary niedokładności przetwarzania i pełzania zera wykonać w układzie podanym na rys. 7.2, zmieniając odpowiednio napięcie zasilania w przedziale $220\text{ V } \begin{matrix} +10\% \\ -20\% \end{matrix}$, gdy temperatura otoczenia wynosi $20\text{ }^\circ\text{C}$, oraz temperaturę otoczenia od 20 do $60\text{ }^\circ\text{C}$, gdy napięcie zasilania jest równe 220 V .

7.5.2.2. Pomiary własności dynamicznych

1. Pomiary częstotliwości granicznej

Częstotliwość graniczną wzmacniacza z falą nośną określa się na podstawie charakterystyki amplitudowej. Najczęściej przyjmuje się (tab. 7.2), że częstotliwość graniczna wzmacniacza równa się częstotliwości, przy której spadek charakterystyki amplitudowej wynosi 1 dB (ok. 10%). Charakterystykę amplitudową wyznacza się przez podanie na jego wejściu napięcia modulowanego amplitudowo z generatora wzmacniacza fali nośnej. Amplitudę moduluje się za pomocą układów elektromechanicznych lub elektronicznych.



Rys. 7.3. Układ do wyznaczania charakterystyki amplitudowej wzmacniacza z generatorem fali nośnej

Układy elektromechaniczne, ze względu na swoje wady (duże stałe czasowe, kłopotliwą zmianę częstotliwości), są stosowane do badania wzmacniaczy o małej wartości częstotliwości granicznej ($<100\text{ Hz}$). Na rysunku 7.3 pokazano układ symulujący mostek do badania własności dynamicznych wzmacniacza z generatorem fali nośnej, w którym napięcie generatora fali nośnej moduluje się za pomocą układu mnożącego z tranzystorami polowymi. Błąd modulatora (układu mnożącego) w pasmie od 0 do 10 kHz nie przekracza $0,5\%$. Zatem napięcie na wyjściu modulatora będzie

miało wystarczająco stałą wartość, gdy wahania napięć generatorów pomocniczego G i wzmacniacza fali nośnej G_n nie będą przekraczały 0,5%.

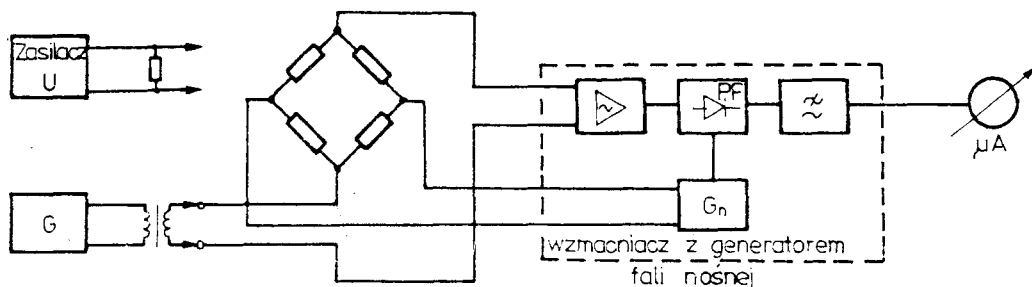
Charakterystykę amplitudową wzmacniacza z generatorem fali nośnej wyznaczyć w przedziale 0-1 kHz. Na podstawie charakterystyki amplitudowej podać częstotliwość graniczną wzmacniacza oraz określić charakterystykę fazową z założeniem, że badany wzmacniacz jest układem minimalnofazowym.

2. Pomiary stałej czasowej i przeregulowania

Pomiary stałej czasowej i przeregulowania wykonać w układzie podanym na rys. 7.3 po nastawieniu generatora G na pracę z sygnałem prostokątnym i dołączeniu do wyjścia wzmacniacza z generatorem fali nośnej oscylografu pętlicowego. Częstotliwość generatora G dobrać eksperymentalnie.

7.5.3. Wpływ zakłóceń szeregowych na pracę wzmacniacza z generatorem fali nośnej

Oceny wpływu zakłóceń generowanych w przewodach doprowadzających na pracę wzmacniacza z generatorem fali nośnej należy dokonać w układzie przedstawionym na rys. 7.4. Pomiary można wykonać przy zrównoważonym



Rys. 7.4. Układ do badania wpływu zakłóceń szeregowych na pracę wzmacniacza z generatorem fali nośnej

lub rozrównoważonym układzie pomiarowym, po włączeniu w obwód wejściowy wzmacniacza źródła napięcia zakłócającego (rys. 7.4) o wartości nie przekraczającej 10% wartości napięcia zakresu pomiarowego. Częstotliwość zmiennego napięcia zakłócającego regulować w przedziale od 10 Hz do 10 kHz. Zwrócić szczególną uwagę na zachowanie się miernika dołączonego do wyjścia wzmacniacza, gdy częstotliwość sygnałów zakłócających jest krotnością częstotliwości generatora fali nośnej.

Otrzymane wyniki pomiarów podać w formie tabelarycznej i graficznej, określić dokładność wykonanych pomiarów oraz ocenić właściwości metrologiczne zbadanego wzmacniacza z generatorem fali nośnej i porównać je z parametrami wzmacniacza typu KWS 3070.

T a b e l a 7.3

Zależność częstotliwości i napięcia wyjściowego
generatora fali nośnej w funkcji czasu

 $t = \dots \text{ } ^\circ\text{C}$

t	min	1	2	3	4	5	6	7	8	9
f_n	Hz									
U_z	V									

T a b e l a 7.4

Zależność częstotliwości i napięcia wyjściowego
generatora fali nośnej w funkcji temperatury

t	$^\circ\text{C}$	10	15	20	25	30	35	40	45	50
f_n	Hz									
U_z	V									

T a b e l a 7.5

Zależność częstotliwości i napięcia wyjściowego
generatora fali nośnej w funkcji obciążenia

 $t = \dots \text{ } ^\circ\text{C}$

R	Ω	∞	1000	700	500	400	300	200	100	50
f_n	Hz									
U_z	V									

T a b e l a 7.6

Zależność częstotliwości i napięcia wyjściowego
generatora fali nośnej w funkcji napięcia zasilania

 $t = \dots \text{ } ^\circ\text{C}$

U	V	190	200	210	220	230	240	250
f_n	Hz							
U_z	V							

T a b e l a 7.7

Właściwości statyczne wzmacniacza z generatorem fali nośnej
 $t = \dots \text{ } ^\circ\text{C}$

Lp	R_D	δR_D	U_{wy}	δU_{wy}	$\delta n \pm \Delta(\delta n)$	Uwagi
	Ω	%	V	%	%	
1	0					δn - błąd przetwarzania wzmacniacza $\Delta(\delta n)$ - niedokładność wyznaczania błędów przetwarzania wzmacniacza $R_1 = \dots \Omega$
2	10					
3	20					
⋮	⋮					
⋮	⋮					
⋮	⋮					
11	100		1.000			

T a b e l a 7.8

Właściwości dynamiczne wzmacniacza z generatorem fali nośnej

Lp.	U_G	f_G	U_{wy}	$G(\omega)$	$\delta A(\omega)$	Uwagi
	V	Hz	V	—	%	
						$G(\omega)$ - moduł transmitancji widmowej $\delta A(\omega)$ - błąd amplitudowy

LITERATURA

- [1] ROLIŃSKI Z., Tensometria oporowa, WNT, Warszawa 1981.
- [2] STYBURSKI W., Przetworniki tensometryczne, WNT, Warszawa 1976.
- [3] SZUMLEWICZ B., SŁOMSKI B., STYBURSKI W., Pomiarы elektroniczne w technice, WNT, Warszawa 1982.
- [4] Katalog firmy Hottinger Baldwin Messtechnik.