

Wzmacniacz tranzystorowy

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie właściwości jednostopniowego, tranzystorowego wzmacniacza napięcia. Wyniki pomiarów parametrów samego tranzystora jak i całego układu wzmacniacza będą porównane z parametrami obliczonymi. Na podstawie porównania parametrów rzeczywistych i wyznaczonych teoretycznie możliwa będzie ocena dokładności stosowanej metody projektowania wzmacniacza.;

2. Opis układu badanego.

Schemat i płytkę badanego układu przedstawiono w Dodatku (Rys. 1 i 2). Układ jest wzmacniaczem w konfiguracji wspólnego emitera, a przy braku kondensatora C3, w konfiguracji ze sprzężeniem emiterowym. Opornik R_g modeluje oporność wyjściową generatora.

Dodatkowe oporniki R11 i R22 tworzą dzielnik (10 krotny) napięcia wejściowego pozwalający na pomiary z większymi amplitudami sygnałów generatora pomiarowego. Dzielnik ten nie stanowi części wzmacniacza, co należy uwzględnić w pomiarach poprzez założenie, że napięcie wejściowe wzmacniacza jest około 10 razy mniejsze niż generatora pomiarowego.

3. Przygotowanie.

Szacowany czas przygotowania do zajęć wynosi 2 do 6 godzin.

3.1. Literatura

- [1] Materiały Laboratorium i Wykładów Zespołu Układów Elektronicznych.
- [2] U. Tietze, Ch. Schenk, Układy półprzewodnikowe, WNT, Warszawa, 2009, s. 38-169.
- [3] J. Boksa, Analogowe układy elektroniczne, BTC, s. 56-79
- [4] S. Kuta, Elementy i układy elektroniczne, AGH, 2000, s. 203-210.

3.2. Pytania kontrolne

1. Jak oszacować punktu pracy tranzystora (I_{CQ} , U_{CEQ}) przy zadanych wartościach rezystorów polaryzujących oraz znanych parametrach tranzystora (β , U_{BEQ}) i danym napięciu zasilania ?
2. Jak oszacować parametry małosygnałowe wzmacniacza tranzystorowego w konfiguracji wspólnego emitera (wzmocnienie napięciowe, skuteczna wzmocnienie napięciowe, oporność wejściowa i wyjściowa, częstotliwości przenoszenia górną i dolną) przy zadanym punkcie pracy i znanych elementach układu ?
3. Jak zmieni się punkt pracy tranzystora w zadanym układzie przy zmianie jednego wybranego rezystora polaryzacyjnego / przy zmianie temperatury / przy zmianie współczynnika wzmocnienia prądowego tranzystora ?
4. Jak zmienią się parametry wzmacniacza (wzmocnienie, rezystancja wejściowa i wyjściowa) w zadanym układzie przy zmianie jednego wybranego rezystora polaryzacyjnego / przy zmianie temperatury / przy zmianie współczynnika wzmocnienia prądowego tranzystora ?
5. Jak jest różnica między wzmocnieniem napięciowym, a wzmocnieniem napięciowym skutecznym ?
6. Jak zmierzyć częstotliwości graniczne górną i dolną wzmacniacza?

7. Jak zmierzyć rezystancje wejściową i wyjściową wzmacniacza ?
8. Co to jest decybel ?
9. Co oznacz spadek lub wzrost sygnału napięciowego o 3, 6, 10, 20 dB ?
10. Jakie wyróżniamy układy polaryzacji tranzystora bipolarnego.
11. Charakterystyki tranzystora bipolarnego, punkt pracy tranzystora, prosta pracy: statyczna i dynamiczna.
12. Modele tranzystora bipolarnego do analizy stało- i zmiennoprądowej dla różnych zakresów częstotliwości.
13. Jak ujemne sprzężenie zwrotne zastosowane we wzmacniaczu o wspólnym emiterze zmienia parametry wzmacniacza (gdy nie ma C_E na schemacie z Rys.1) ?
14. Twierdzenia: Millera.

3.3. Przygotowanie do zajęć

1. Przy zadanych parametrach tranzystora (U_{BEQ} , U_{CEsat} , β , $r_{bb'}$, f_T) oraz danych R_L , R_g , V_{cc} zaprojektować wzmacniacz o zadanych parametrach (jeden z przypadków):
 - a) zadanej amplitudzie napięcia wyjściowego U_{wymax} , (V_{cc} może nie być zadane),
 - b) zadaniem wzmocnienia małosygnalowym i paśmie przenoszenia (k_u , k_{usk} , f_d , f_g),
 - c) zadaniem punkcie pracy (I_{CQ} , U_{CEQ}),
2. Oszacować pozostałe parametry wzmacniacza (te, które nie były zadane jako projektowe) oraz wypełnić Tabelę 1 (zacięniowane pola) oraz nanieść obliczone wartości elementów na schemat układu z Rys. 1.
3. Zasymulować zaprojektowany układ programem typu SPICE i wydrukować wyniki, a w szczególności charakterystykę częstotliwościową (w dB i logarytmicznej skali częstotliwości) i fazową.
4. **Nie wykonanie powyższych trzech punktów może być powodem niedopuszczenia do wynania ćwiczenia.**

Uwaga:

Parametry dynamiczne należy wyznaczyć dla dwóch przypadków: gdy rezystor R_E jest zrównoleglony kondensatorem C_E oraz przy barku C_E . W drugim przypadku wzmacniacz jest objęty pętlą sprzężenia zwrotnego prądowo – szeregowego.

Jeżeli w zadaniu projektowym nie ma zadanej wartości częstotliwości dolnej wzmacniacza f_a to do obliczeń przyjąć następujące wartości pojemności: $C_1 = 100nF$, $C_2 = 100nF$, $C_E = 100\mu F$.

W układzie przewidziano możliwość ograniczenia pasma wzmacniacza poprzez dołączenie pomiędzy bazę i kolektor tranzystora dodatkowej pojemności C_d . Zabieg taki jest powszechnie nazywany kompensacją częstotliwościową pasma wzmacniacza tzw. biegunem dominującym. Dlatego, jeżeli zadana jest częstotliwość górna wzmacniacza, należy dodatkowo wyznaczyć wartość C_d .

4. Przebieg ćwiczenia

1. Wszystkie elementy bierne wzmacniacza należy zmierzyć, a wartości nanieść na schemat (Rys.1). Zmierzyć należy również wartość wzmocnienia prądowego β_0 (h_{21} , h_{FE}) tranzystora multimetrem dostępnym na stanowisku.
2. Zmontować układ wzmacniacza zgodnie z Rys.1 i 2. Po zmontowaniu układu należy dołączyć do płytki przewody zasilające, zwracając uwagę na biegunowość napięcia

zasilającego. Następnie dołączyć do wejścia wzmacniacza przewód koncentryczny zakończony jednostronnie wtykiem typu BNC. Wyjście układu poprzez sondę należy połączyć z jednym z wejść oscyloskopu. W celu kontroli napięcie sterującego układ drugie wejście oscyloskopu należy podłączyć z wejściem wzmacniacza.

3. Zmierzyć punkt pracy tranzystora:
 - napięcie U_{CEQ} ,
 - napięcie U_{BEQ} ,
 - prąd kolektora I_{CQ} (mierząc spadek napięcia na rezystorze kolektorowym i korzystając z prawa Ohma). Wyniki umieścić na schemacie (Rys.1) i w Tabeli 1

Sprawdzić, czy wlutowany jest kondensator C_E – pomiary wykonujemy dla wzmacniacza bez sprzężenia zwrotnego. Wszystkie wyniki zapisujemy w Tabeli 1

4. Podłączyć wejście układu do generatora, a wyjście do oscyloskopu (użyć sondy z podziałem 1:10). Ustawić częstotliwość pomiarową na ok. 10kHz i amplitudę tak, aby sygnał wyjściowy był nieznkształcony (czysta sinusoida).
5. Regulując amplitudę sygnału wejściowego określić wartość maksymalnej nieznkształconej amplitudy napięcia na wyjściu układ.

Wszystkie następne pomiary wykonać dla napięć, gdy nie występują zniekształcenia.

6. Obserwując na oscyloskopie sygnał wejściowy i wyjściowy (pomiar nastawić na CycRMS, a nie Peak-Peak) oszacować wzmocnienie napięciowe skuteczne wzmacniacza uwzględniając dzielnik napięciowy R11-R22:

$$K_{USK} = \frac{u_{WY}}{u_{WE}}$$

7. Zwierając rezystor R_g za pomocą zwory określić wzmocnienie napięciowe (nie skuteczne).
8. Oszacować rezystancję wejściową wzmacniacza (pytanie kontrolne 7):

$$r_{we} = \frac{R_g}{\frac{K_U}{K_{USK}} - 1} - r_{wy} \text{ (dzielnika - Rys. 1)}$$

9. Wykonując pomiary napięcia wyjściowego przy załączonym i odłączonym obciążeniu R_L należy oszacować wartość rezystancji wyjściowej wzmacniacza (pytanie kontrolne 7).
10. Zmieniając częstotliwość generatora określić częstotliwości graniczne (-3dB): dolną f_d i górną f_g wzmacniacza.
11. Zmieniając częstotliwość generatora wykonać pomiar charakterystyki częstotliwościowej i fazowej – sporządzić wykres.

12. Pomiary z punktów 4-11 powtórzyć dla wzmacniacza ze sprzężeniem zwrotnym (po wlutowaniu kondensatora C_E)

13. Sprawozdanie zawierać powinno:

- a) Stronę tytułową

- b) Obliczenia projektowe wzmacniacza
- c) Wyniki symulacji komputerowej [punkt pracy oraz charakterystyki amplitudową (dB vs f w skali logarytmicznej) i fazową],
- d) Wypełnioną tabelę pomiarową (Tab.1),
- e) Schemat z naniesionymi wartościami projektowymi i pomiarowymi (Rys.1),
- f) Charakterystyki częstotliwościowe amplitudowe i fazowe [na siatkach dB vs f-w skali logarytmicznej, lub naniesione na wykresy uzyskane z symulacji komputerowej (punkt c)]; *UWAGA: sposób pomiaru fazy za pomocą oscyloskopu podano w DODATKU A.*
- g) Wnioski zawierające dyskusję wyjaśniającą różnicę, jeśli są, między wartościami oczekiwanymi i zmierzonymi.

5. Materiały pomocnicze:

Tabela 1. Tabela wyników pomiarowych.

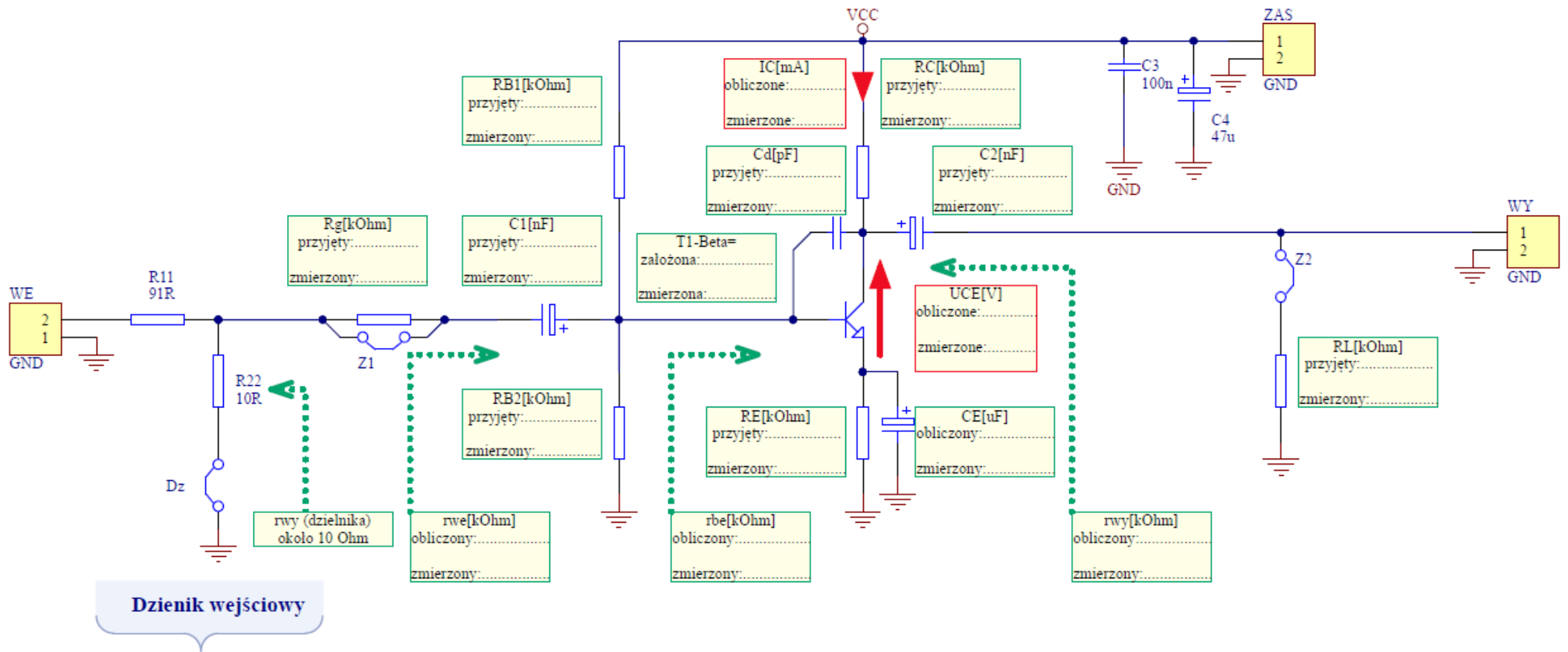
Rys.1. Schemat ideowy wzmacniacza tranzystorowego.

Rys.2 Schemat montażowy wzmacniacza.

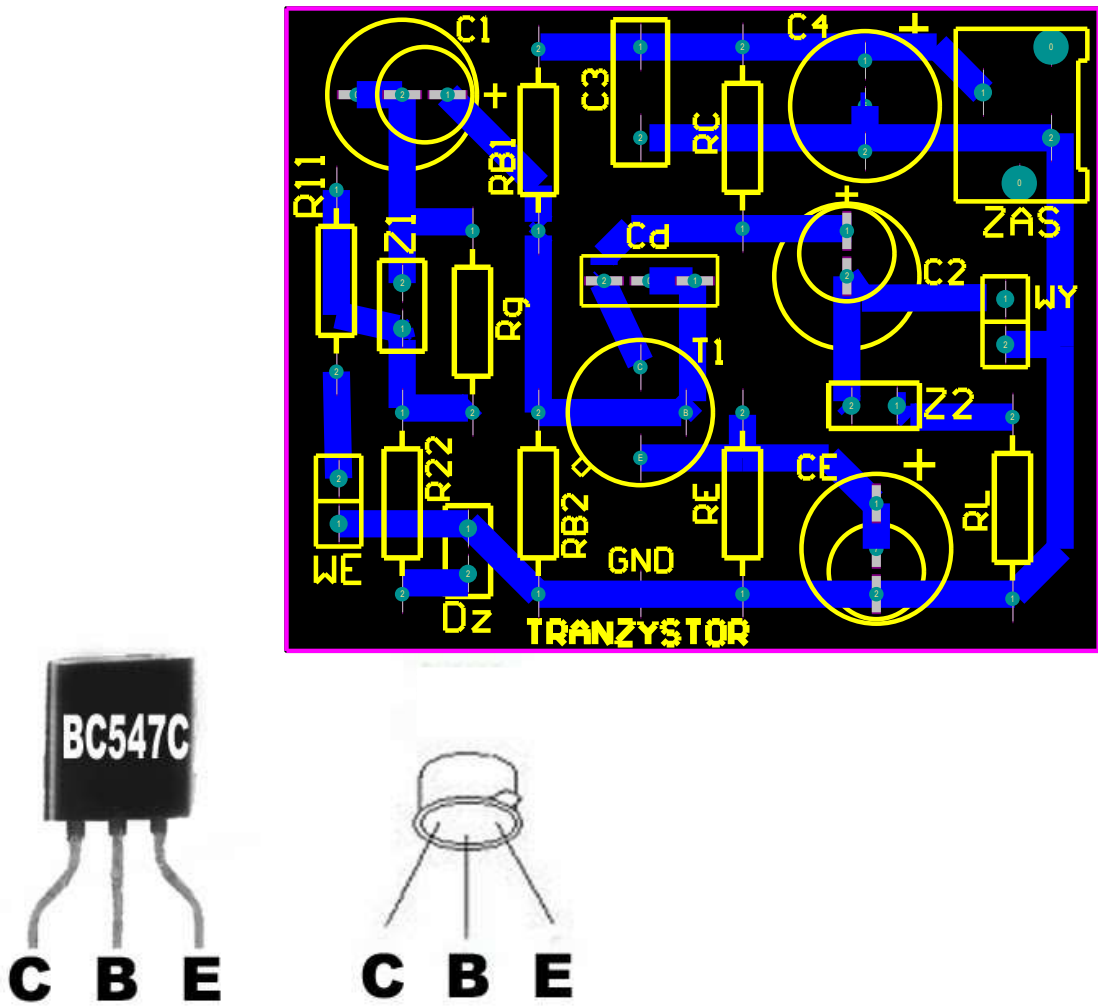
Rys.3 Siatka do wykreślania charakterystyk amplitudowych i fazowych

Tabela 1. Parametry wzmacniacza: obliczone i zmierzonych.

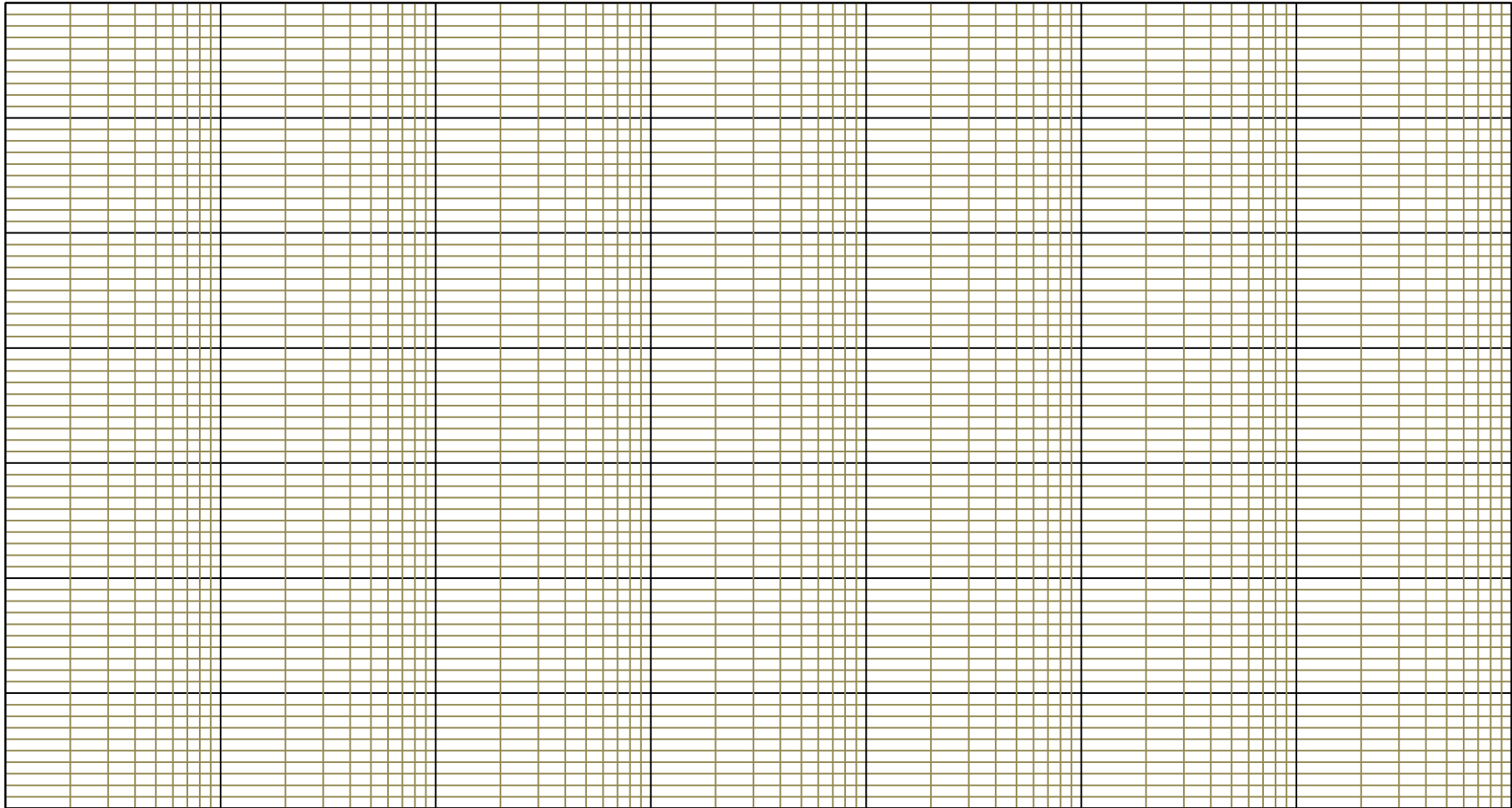
Parametr	Wzmacniacz bez sprzężenia zwrotnego (z CE)		Wzmacniacz ze sprzężeniem zwrotnego (bez CE)	
	Wartość zadana lub obliczona	Wartość zmierzona	Wartość zadana lub obliczona	Wartość zmierzona
U_{CEQ} [V]				
U_{BEQ} [V]				
I_{CQ} [mA]				
$u_{WYmaxP-P}$ [V]				
K_{USK} [V/V]; [dB]				
K_U [V/V]; [dB]				
f_d [Hz]				
f_g [kHz]				
r_{WY} [k Ω]				
r_{WE} [k Ω]				



Rys.1 Schemat ideowy wzmacniacza tranzystorowego.



Rys 2. Schemat montażowy wzmacniacza.



Rys.3 Siatka do wykreślenia charakterystyk amplitudowych i fazowych

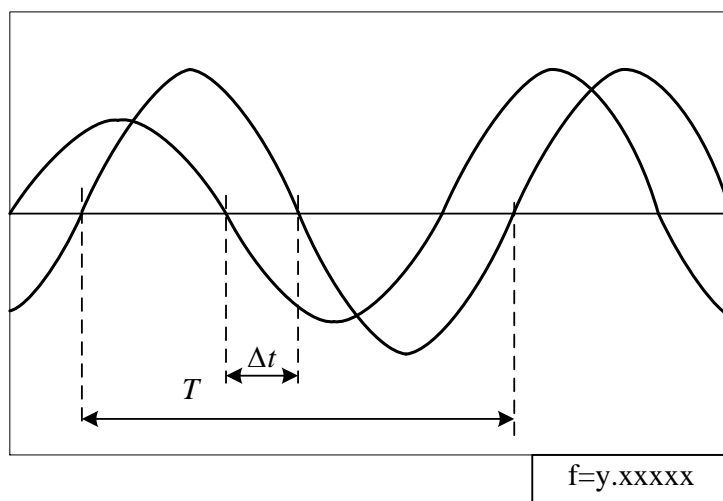
6. DODATEK A

Pomiar przesunięcia fazowego metoda oscyloskopowa

Pomiar przesunięcia fazowego pomiędzy dwoma sygnałami najprościej wykonać na ekranie oscyloskopu. Podczas pomiaru należy pamiętać, że osie zerowe obu przebiegów muszą się pokrywać jak pokazano na rys.A.1. Wówczas przesunięcie pomiędzy przebiegami obliczamy:

$$\varphi = 360^{\circ} \frac{\Delta t}{T} = 360^{\circ} * \Delta t * f \quad , \quad (\text{A.1})$$

gdzie: Δt , $f=1/T$ - wartości odczytywane z oscyloskopu rys.A.1

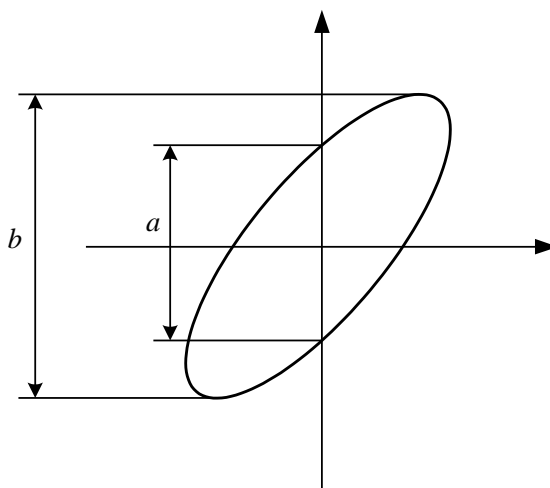


Rys.A.1. Idea pomiaru przesunięcia fazowego w trybie pracy dwukanałowej oscyloskopu

Przesunięcie to można również zmierzyć przy wykorzystaniu krzywej Lissajous uzyskanej na ekranie oscyloskopu pracującego w trybie X-Y (rys.A.2). Przesunięcie fazowe pomiędzy przebiegami obliczamy ze wzoru:

$$\varphi = \arcsin \frac{a}{b} \quad , \quad (\text{A.2})$$

gdzie: a , b - odstępy odczytywane z ekranu oscyloskopu rys.A.2



Rys.A.2. Idea pomiaru przesunięcia fazowego w trybie pracy X-Y oscyloskopu