

Filip Krauz-Damski 267 681
Filip Kubecki 272 655

Grupa: Pon 13:15

Data wykonania ćwiczenia:
15 kwietnia 2024r
Data sporządzenia sprawozdania:
20 kwietnia 2024r

Ćwiczenie 5.

Rejestracja i wyznaczanie parametrów sygnałów okresowo zmiennych

1 Spis przyrządów

Do wykonania ćwiczenia wykorzystano:

- Przenośny multimetr cyfrowy AX-588B
- Przenośny multimetr cyfrowy AX-MS8221A
- Multimetr cyfrowy Agilent 34401A
- Oscyloskop cyfrowy Agilent DSO3062A
- Generator funkcji Agilent 33220A

2 Przebieg i cele doświadczeń

Doświadczenie polegało kolejno na:

- Pomiarze wartości skutecznej napięcia dla sygnałów o różnym kształcie oraz różnej częstotliwości,
- Zestawieniu układu pomiaru napięcia oraz natężenia zmiennego na rezystorze oraz zbadaniu czy dla przebiegów okresowo zmiennych zachodzi prawo Ohma,
- Pomiarze częstotliwości oraz okresów sygnałów okresowo zmiennych,
- Pomiarze przesunięcia fazowego na układzie opóźniającym,

3 Wyniki pomiarów

Część 1 - Pomiar napięć zmiennych

Tabela 1 - AX-MS8221A funkcja Sinus

Częstotliwość[Hz]	U_{opt} [V]	U_{opt+1} [V]	U_{scope} [V]	U_{RMS} [V]
5	11.85	1.4	17	6.010
10	7.25	4.3	19.2	6.859
100	6.96	6.9	20.8	7.354
1000	7.01	6.8	20.2	7.142
100000	overLoad	31.8	20.2	7.142
500000	3.42	22.4	20.2	7.142

Tabela 2 - Agilent 34401A funkcja Sinus

Częstotliwość[Hz]	U_{opt} [V]	U_{opt+1} [V]	U_{scope} [V]	U_{RMS} [V]
5	6.9038	6.908	17	6.010
10	7.031	7.031	19.2	6.788
100	7.0696	7.07	20.8	7.354
1000	7.0722	7.073	20.2	7.142
100000	7.0749	7.42	20.2	7.142
500000	7.1338	6.616	20.2	7.142

Tabela 3 - AX-588V funkcja Sinus

Częstotliwość[Hz]	U_{opt} [V]	U_{opt+1} [V]	U_{scope} [V]	U_{RMS} [V]
5	9.99	7.3	17	6.010
10	7.25	6.7	19.4	6.859
100	7.04	6.9	20.8	7.354
1000	7.03	6.8	20.2	7.142
100000	29.5	0	20.2	7.142
500000	7.3	5.8	20.2	7.142

Tabela 4 - Funkcja: piła - Częstotliwość: 1[kHz]

Miernik	U_{opt} [V]	U_{opt+1} [V]	U_{scope} [V]	U_{RMS} [V]
Agilent 34401A	5.773	5.775	20.2	5.831
AX-588B	5.52	5.3	20.2	5.831
AX-MS8221A	5.5	5.3	20.2	5.831

Tabela 5 - Funkcja: prostokąt - Częstotliwość: 1[kHz]

Miernik	U_{opt} [V]	U_{opt+1} [V]	U_{scope} [V]	U_{RMS} [V]
Agilent 34401A	9.9977	9.995	20.2	10.1
AX-588B	11.19	11	20.2	10.1
AX-MS8221A	10.73	11.2	20.4	10.2

Część 2 - Obwody prądu zmiennego

Tabela 6

Funkcja	Rezystor[Ω]	U[V]	I[mA]	$\frac{U}{I}$ [Ω]	$u_c(\frac{U}{I})$ [Ω]
Sinus	100	2.2767	22.9	99.42	4.2
	1000	3.3246	3.35	992.42	25
Piła	100	1.7717	17.27	102.59	1.4
	1000	4.6876	5.25	892.88	18
Prostokąt	100	3.2206	36	89.46	3.1
	1000	2.7154	2.61	1040.38	31

Część 3 - Pomiar częstotliwości i okresu

Tabela 7

f [Hz]	f_{agil} [Hz]	T_{agil} [ms]	$u(f_{agil})$ [Hz]	$u(T_{agil})$ [ms]	f_{588B} [Hz]	$u(f_{588B})$ [Hz]
1	1.0032	998.651			1	4
5	4.99992	200.003	0.0025	0.1	5	4.1
10	9.9998	100.001	0.005	0.05	10	4.1
50	49.9991	20.0004	0.003	0.0012	50	4.3
100	99.9983	10.0002	0.006	0.0006	100	4.5
500	499.992	2.00003	0.03	0.00012	498	6.5
1000	999.983	1.00002	0.06	0.00006	995	9
10000	9999.83	0.100002	0.6	0.000006	9960	54
50000	49999.2	0.0200003	3	0.0000012	49800	650
100000	99998.3	0.0100002	6	0.0000006	99700	900
500000	overLoad	overLoad			500000	2900

Część 4 - Pomiar przesunięcia fazowego

Sygnał 1[kHz] - przesunięcie fazowe: 132[μs]

4 Analiza wyników

Część 1 - Pomiar napięć zmiennych

Przy pomocy wszystkich mierników na stanowisku mierzono wartości napięcia RMS (Root Mean Square — średnia kwadratowa/wartość skuteczna), kolejnych przebiegów. Na początku warto zaznaczyć zakresy poprawnego pomiaru wartości RMS napięcia zmiennego dla kolejnych mierników:

- Agilent 34401A - od 3[Hz] do 300[kHz],
- Axiomet AX-588B - od 40[Hz] do 400[Hz],
- Axiomet AX-MS8221A - od 40[Hz] do 1[kHz],

Możemy od razu zauważyć, że dla pomiarów napięcia RMS sygnałów sinusoidalnych z zakresu 5[Hz] do 500[kHz] mierniki nie są w stanie zmierzyć wartości dla wszystkich sygnałów. Najgorzej plasuje się miernik AX-588B, dla którego jedyny pomiar, jaki mieści się w jego zakresie pomiarowym to pomiar przy częstotliwości 100 [Hz]. Najlepiej w tym zestawieniu pokazuje się miernik Agilent 34401A, dla którego jedyny pomiar, który wychodzi poza zakres pomiaru to pomiar przy częstotliwości 500 [kHz]. Miernik ten jednak pozwala na pomiary do częstotliwości nawet 1[MHz] jednak przy tej wartości producent zaleca do przyjąć wartość niepewności na aż 30%. Producent również nie podaje dokładnych niepewności dla pomiarów powyżej 300[kHz].

Wartość mierzona w tym doświadczeniu to wartość skuteczna napięcia RMS. Była ona mierzona dla trzech typów sygnałów: sinusoidalnego, piłokształtnego oraz prostokątnego. Wartości poprawnych napięć zostały wyliczone korzystając z napięcia międzyszczytowego zmierzonego przy pomocy oscyloskopu (oznaczonego w tabelach jako U_{scope}). Wartość ta została podstawiona do wzorów na wartość skuteczną napięcia kolejnych sygnałów. Wzory te zostały podane poniżej:

1. Sygnał Sinusoidalny

$$U_{RMS} = \frac{U_{pp}}{2\sqrt{2}} \approx U_{pp} \cdot 0.35355 \dots$$

Przykładowo dla sygnału sinusoidalnego o wartości międzyszczytowej 20.2[V]:

$$U_{RMS} = 20.2[V] \cdot 0.35355 \dots = 7.142 \dots [V]$$

2. Sygnał Piłokształtny

$$U_{RMS} = \frac{U_{pp}}{2\sqrt{3}} \approx U_{pp} \cdot 0.2886 \dots$$

Przykładowo dla sygnału piłokształtnego o wartości międzyszczytowej 20.2[V]:

$$U_{RMS} = 20.2[V] \cdot 0.2886 \dots = 5.831 \dots [V]$$

3. Sygnał Prostokątny

$$U_{RMS} = U_{pp} \cdot 0.5$$

Przykładowo dla sygnału prostokątnego o wartości międzyszczytowej 20.4[V]:

$$U_{RMS} = 20.4[V] \cdot 0.5 = 10.2[V]$$

Wartości skuteczne zostały umieszczone w ostatniej kolumnie tabel 1 - 5.

Dla pomiarów nie zostały wyznaczone niepewności napięcia skutecznego ponieważ do poprawnej analizy należałoby wziąć pod uwagę wszystkie elementy układu takie jak: niepewność miernika, niepewność odczytu oscyloskopu, impedancje dodane przez urządzenia pomiarowe, niepewności wynikająca z stabilizowania się wyników.

Można zaobserwować że dla pomiarów dokonanych w zakresie operowania multimetrów zauważalna jest tendencja do zaniżania wyniku pomiaru dla zakresu o jeden wyższego niż optymalny. Jedynie w przypadku miernika Agilent 34401A różnica między wynikiem na zakresie optymalnym a zakresem o jeden wyższym nie wykazują tej tendencji. Wynika to prawdopodobnie z o wiele bardziej zaawansowanego układu pomiarowego miernika.

Mierniki wartości skutecznej dzielimy na mierniki True RMS oraz mierniki które wyliczają wartość skuteczną na podstawie wartości maksymalnej przebiegu rejestrowanego. Jedyny miernik który nie jest miernikiem nie będącym miernikiem True RMS był miernik AX-MS8221A. Zgodnie z notą katalogową miernik ten oblicza wartość skuteczną dla sygnału sinusoidalnego. Miernik ten powinien więc pokazywać poprawne wskazania dla sygnału sinusoidalnego jednak dla sygnału piłokształtnego oraz prostokątnego powinien pokazywać błędne wyniki.

Gdy porównamy wartości zmierzone sygnału piłokształtnego oraz prostokątnego do wartości RMS obliczonych na podstawie wartości międzyszczytowej zmierzonej oscyloskopem zauważamy że wszystkie pomiary są zgodne w wartościami oczekiwanymi. Jednak miernik AX-MS8221A powinien wskazywać takie same wyniki jak dla sygnału sinusoidalnego gdyż nie mierzy on rzeczywistej wartości skutecznej napięcia. Nie jesteśmy w stanie wyciągnąć dokładnego wniosku dlaczego miernik ten pokazuje poprawne wyniki mimo iż wykorzystuje uproszczoną metodę. Aby lepiej zrozumieć przyczyny tego zjawiska potrzebne byłyby dane na temat dokładnej metody obliczania wartości RMS przez ten miernik. Danych takich jednak producent nie podaje.

Część 2 - Obwody prądu zmiennego

Wykonano pomiary dwóch rezystancji (100 $[\Omega]$ i 1000 $[\Omega]$) metodą poprawnego pomiaru napięcia przy zasileniu układu napięciem zmiennym o częstotliwości 1 [kHz] i o kształcie funkcji sinoidalnej, piłokształtnej oraz prostokątnej. Mimo zastosowania metody poprawnego pomiaru napięcia w obliczeniach nie uwzględniano prądu bocznikowanego przez woltomierz gdyż rezystancja wewnętrzna woltomierza (wynosząca 10[M Ω]) była tak duża że wpływ na ostateczny wynik był pomijalnie mały.

Badanie miało za zadanie sprawdzić czy układy napięcia zmiennego zachowują prawo Ohma. Mierzono więc napięcie RMS na rezystorze oraz prąd wpływający do rezystora. Rezystancja została wyliczona przy użyciu prawa Ohma:

$$R = \frac{U}{I}$$

Przykładowo dla pomiaru na rezystorze 100 $[\Omega]$ dla zasilania funkcją sinus:

$$R = \frac{2.2767[V]}{22.9[mA]} = 99.4192 \dots [\Omega]$$

Na podstawie pomiarów jesteśmy w stanie zauważyć że różnica między pomiarami a rezystancjami podanymi na rezystorach różni się dla niektórych pomiarów poza granicę niepewności pomiarowej. Wynika to z nieuwzględnienia w niepewności tolerancji wykonania rezystorów na których były wykonywane pomiary. Płytki z rezystorami wykorzystane w ćwiczeniu były już używane w innych ćwiczeniach a ich tolerancje wynosiły 5%. Po dodaniu tego założenia widać że rezystancje pokrywają się z przewidywaniami w zakresie niepewności oraz tolerancji. Wynikałoby z tego że prawo Ohma zachodzi również dla sygnałów zmiennych.

Po zapoznaniu się z teorią widzimy że dla napięcia zmiennego prawo Ohma wyraża się wzorem:

$$I = \frac{U}{Z}$$

Możemy zauważyć że jest to praktycznie wzór jak dla prądu stałego jednak rezystancję R zastępuje nam impedancja Z . W przypadku naszego układu impedancja mierzona równa jest rezystancji gdyż nie posiadamy elementów które posiadałyby reakcję.

Część 3 - Pomiar częstotliwości i okresu

W ćwiczeniu zmierzono przy pomocy miernika Agilent 34401A (pomiary przy jego użyciu zaznaczone zostały w tabeli 7 przypisem *agil*) oraz AX-588A (oznaczonego przypisem 588A)) zmierzono częstotliwości sygnału sinusoidalnego o napięciu międzyszczytowym 1 [V]. Pomiary obejmowały częstotliwości od 1 [Hz] do 500 [kHz]. Poniżej przedstawiono zakresy pomiarowe wykorzystanych mierników:

- Agilent 34401A - 3 [Hz] do 300 [kHz] (miernik umożliwia również pomiary poniżej 3 [Hz] jednak producent nie gwarantuje ich dokładności i nie podaje niepewności takich pomiarów),
- AX-588B - 1 [Hz] do 10 [MHz],

W tabeli 7 zawierającej wyniki jesteśmy w stanie zauważyć że w przypadku miernika Agilent 34401A nie udało się zmierzyć najwyższej częstotliwości o wartości 500 [kHz]. Jest to spowodowane przekroczeniem zakresu pomiarowego urządzenia.

Można zauważyć że wszystkie pomiary mieszczą się w niepewnościach pomiarowych mierników. Obrazuje to rzetelność pomiarów wykonywanych miernikami. Dodatkowo można zauważyć że miernik Agilent 34401A oferuje o wiele dokładniejsze pomiary niż miernik AX-588B. Miernik AX-588B jednak wygrywa szerokością zakresu pomiarowego która jest znacznie większa od tego oferowanego przez miernik Agilent 34401A.

Niepewności pomiaru częstotliwości oraz okresu dla miernika Agilent 34401A (obie wartości liczy się analogicznie), wyraża się wzorem:

$$u(f) = \alpha\% \cdot rdg$$

α - współczynnik podany przez producenta,

rdg - wartość odczytana,

Przykładowo dla pomiaru częstotliwości 500 [Hz]:

$$u(f) = 0.006\% \cdot 499.992[Hz] = 0.02999952[Hz] \approx 0.030[Hz]$$

Niepewności pomiaru częstotliwości dla miernika AX-588V:

$$u(f) = \alpha \cdot rdg + c \cdot X_{min}$$

α - współczynnik podany przez producenta,

rdg - wartość odczytana,

c - współczynnik podany przez producenta,

X_{min} - rozdzielczość zakresu,

Przykładowo dla pomiaru częstotliwości 500 [Hz]:

$$u(f) = 0.5\% \cdot 499.992[Hz] + 5 \cdot 1[Hz] = 6.49[Hz] \approx 6.5[Hz]$$

Część 4 - Pomiar przesunięcia fazowego

Przy pomocy oscyloskopu Agilent DSO3062A wyliczono przesunięcie fazowe sygnału sinusoidalnego o częstotliwości 1 [kHz] oraz wartości międzyszczytowej 1 [V]. Sygnał ten został przepuszczony przez ścieżkę o czystej rezystancji oraz przez układ opóźniający składający się dodatkowo z kondensatora. Przesunięcie fazowe zostało wyznaczone na podstawie przesunięcia w czasie punktu przecięcia osi x sygnału przesuniętego oraz nieprzesuniętego (w fazie rośnięcia sygnału sinusoidalnego).

Wyznaczone przesunięcie fazowe wynosi: 132 [μ s]. Przesunięcie fazowe podajemy w jednostkach kątowych, potrzeba więc wyliczyć o jaką część okresu sygnału o częstotliwość 1 [kHz] przesunięto sygnał. Należy najpierw obliczyć okres sygnału. Wyliczymy go z poniżego wzoru:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1[kHz]} = 1[ms] = 1000[\mu s]$$

Następnie wyliczamy przesunięcie fazowe ze wzorów:

$$\varphi = 360^\circ \cdot \frac{\tau}{T} = 360^\circ \cdot \frac{132[\mu s]}{1000[\mu s]} = 47.52[^\circ]$$

lub dla wyniku w radianach:

$$\varphi = 2\pi \cdot \frac{\tau}{T} = 2\pi \cdot \frac{132[\mu s]}{1000[\mu s]} = 0.8293804 \dots [rad]$$

5 Uwagi i wnioski

Z wykonanych ćwiczeń możemy wyciągnąć wiele wniosków przydatnych przy pracy z sygnałami okresowo zmiennymi. Z części 1 możemy wyciągnąć 3 kluczowe wnioski:

1. Należy zawsze dbać o wybranie najbardziej optymalnego zakresu pomiarowego dla pomiaru napięcia skutecznego aby uniknąć zaniżenia wyników,
2. Należy zapoznać się z notą katalogową miernika i sprawdzić dla jakich częstotliwości miernik potrafi wyznaczać wartość napięcia skutecznego,
3. W przypadku pomiarów sygnałów innych niż sygnały sinusoidalne, sprawdzić w nocy katalogowej czy nasz miernik na pewno oferuje pomiar true RMS,

Z części 2 możemy empirycznie zaobserwować że dla sygnałów okresowo zmiennych w układach o czystej rezystancji zostaje zachowane prawo Ohma. W ogólnym przypadku prawo Ohma dla prądu zmiennego prawo Ohma przyjmują postać:

$$I = \frac{U}{Z}$$

Czyli rezystancja zostaje zastąpiona przez moduł impedancji.

Z części 3 ćwiczenia jesteśmy w stanie zauważyć jak różne mierniki oferują różne atuty w przypadku pomiaru sygnałów okresowo zmiennych. Obrazuje nam to że przed przeprowadzeniem doświadczenia należy zastanowić się dokładnie czy w danym pomiarze kluczowa jest dla nas dokładność pomiaru czy elastyczność wynikająca z szerokiego zakresu pomiarowego.

Część 4 ćwiczenia obrazuje nam graficznie jaki wpływ na napięcie układu mają elementy posiadające pojemność. Przesunięcie fazowe może mieć negatywny wpływ na np.: układy analogowe przetwarzające informacje dźwiękowe, może zwiększać straty energii przy przesyłaniu prądu elektrycznego.

References

- [1] <https://wzn.pwr.edu.pl/materialy-dydaktyczne/metrologia-elektroniczna>
- [2] <https://lpf.wppt.pwr.edu.pl/pomoce-dydaktyczne.php>
- [3] <https://www.falstad.com/>
- [4] <https://en.wikipedia.org/wiki/Root-mean-square>
- [5] [https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-\(waves\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-(waves))
- [6] <https://en.wikipedia.org/wiki/Ohm%27s-law>