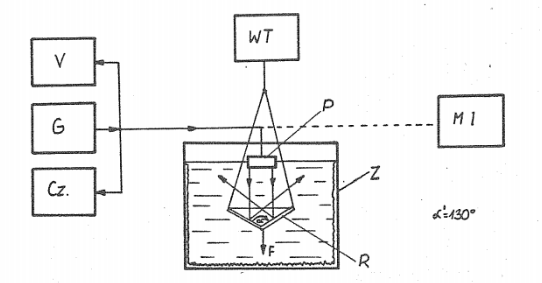
|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| LABORATORIUM Podstawy zastosowań ultradźwięków | | | | | |
| *Ćwiczenie 3 : Wyznaczenie mocy akustycznej przetwornika piezoelektrycznego poprzez pomiar ciśnienia promieniowania ultradźwięków w wodzie.* | | | | | |
| Grupa: środa 11.15 | | Data wykonania: 07.11.2018 | | Data oddania: 14.11.2018 | |
| *Grupa IV* | *Emilia Burnecka,*  *Hanna Dyła,*  *Weronika Fajter* | | *Sprawozdanie oddaje:* | | *Weronika Fajter* |

1. **Cel**

Celem wykonania ćwiczenia było poznanie sposobu wyznaczania mocy akustycznej przetwornika piezoelektrycznego oraz wyznaczenie tego parametru dla przetwornika znajdującego się w laboratorium.

1. **Układ pomiarowy**



Rysunek 1 Schemat układu pomiarowego [1]

1. **Wykonanie ćwiczenia**
   1. **Wyznaczenie stałych użytych w obliczeniach**

Pierwszym etapem wykonania ćwiczenia było wyznaczenie zakresu pola bliskiego. Obliczone zostało to ze wzoru:

Gdzie:

d=0,038 m

fr=340 kHz

cwoda =1489,515 wyznaczone za pomocą wielomianu Marczaka dla temperatury wody równej T=22,4°C.

Zatem pole bliskie kończy się w odległości 0,082 m i w okolicach tej wartości odległości przeprowadzone zostaną pomiary masy. Wybrano taką odległość, ponieważ na początku pola bliskiego mamy za dużo zniekształceń a w polu dalekim fala nie jest już równoległa, co ma wpływ na kąt odbicia fali.

Następnie wyznaczono wzór na moc akustyczną:

Gdzie współczynnik k wyznaczono:

Kąt α=25° wyznaczono na podstawie znajomości kształtu powierzchni odbicia oraz podobieństw trójkątów.

* 1. **Pomiar zależności mocy akustycznej od częstotliwości**

Po wyznaczeniu podstawowych wartości można było przejść do pomiarów ciśnienia promieniowania. W tym celu mierzono zmianę masy zależnie od częstotliwości fali ultradźwiękowej. Ustalono U=15 V. zmieniano częstotliwość od około 300 kHz do około 370 kHz tak aby uzyskiwać zmianę o około 5 mg na wadze. Odczytywano także moc elektryczną przetwornika. Wyniki przedstawione są w tabeli 1 z obliczoną mocą akustyczną ze wzoru przedstawionego powyżej.

Tabela 1 Wyniki pomiarów zależności mocy akustycznej od częstotliwości fali ultradźwiękowej

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Lp.** | **f** | **m** | **Pe** | **Pa** |
| **kHz** | **mg** | **mW** | **mW** |
| 1 | 299,222 | 3,3 | 350 | 29,35 |
| 2 | 300,017 | 3,8 | 390 | 33,80 |
| 3 | 301,048 | 4,3 | 400 | 38,25 |
| 4 | 301,640 | 4,9 | 400 | 43,58 |
| 5 | 302,557 | 5,3 | 400 | 47,14 |
| 6 | 306,130 | 5,9 | 420 | 52,48 |
| 7 | 306,084 | 6,3 | 430 | 56,04 |
| 8 | 306,371 | 6,8 | 450 | 60,48 |
| 9 | 308,404 | 10,1 | 500 | 89,84 |
| 10 | 310,984 | 15,2 | 550 | 135,20 |
| 11 | 312,463 | 19,9 | 650 | 177,00 |
| 12 | 313,220 | 24,8 | 700 | 220,59 |
| 13 | 313,766 | 30,3 | 700 | 269,51 |
| 14 | 314,794 | 34,4 | 600 | 305,98 |
| 15 | 315,168 | 30,5 | 550 | 271,29 |
| 16 | 315,591 | 24,6 | 500 | 218,81 |
| 17 | 315,905 | 20,4 | 500 | 181,45 |
| 18 | 316,385 | 15,7 | 480 | 139,65 |
| 19 | 317,993 | 10,7 | 450 | 95,17 |
| 20 | 321,165 | 7,5 | 450 | 66,71 |
| 21 | 328,945 | 11,8 | 550 | 104,96 |
| 22 | 331,839 | 16,4 | 650 | 145,87 |
| 23 | 333,631 | 21,2 | 750 | 188,57 |
| 24 | 334,487 | 26,1 | 900 | 232,15 |
| 25 | 335,164 | 31,2 | 950 | 277,52 |
| 26 | 335,841 | 35,9 | 1050 | 319,32 |
| 27 | 336,436 | 40,7 | 1100 | 362,02 |
| 28 | 337,281 | 45,7 | 1150 | 406,49 |
| 29 | 338,395 | 50,7 | 1250 | 450,96 |
| 30 | 339,158 | 53,1 | 1290 | 472,31 |
| 31 | 340,180 | 49,4 | 1150 | 439,40 |
| 32 | 340,720 | 44,8 | 1000 | 398,48 |
| 33 | 341,238 | 39,2 | 900 | 348,67 |
| 34 | 341,669 | 34,4 | 800 | 305,98 |
| 35 | 342,084 | 30,4 | 700 | 270,40 |
| 36 | 342,714 | 25 | 600 | 222,37 |
| 37 | 343,622 | 19,7 | 500 | 175,23 |
| 38 | 344,907 | 14,6 | 400 | 129,86 |
| 39 | 346,127 | 10,1 | 350 | 89,84 |
| 40 | 349,511 | 4,8 | 300 | 42,69 |
| 41 | 351,448 | 4,2 | 300 | 37,36 |
| 42 | 355,603 | 9,3 | 450 | 82,72 |
| 43 | 357,153 | 15 | 500 | 133,42 |
| 44 | 357,847 | 19,4 | 600 | 172,56 |
| 45 | 358,675 | 25,5 | 700 | 226,82 |
| 46 | 359,370 | 30,2 | 800 | 268,62 |
| 47 | 360,910 | 35,9 | 850 | 319,32 |
| 48 | 361,908 | 39,7 | 890 | 353,12 |
| 49 | 362,729 | 44,6 | 950 | 396,70 |
| 50 | 363,703 | 50,4 | 1000 | 448,29 |
| 51 | 364,208 | 55 | 1010 | 489,21 |
| 52 | 364,819 | 60,3 | 1050 | 536,35 |
| 53 | 365,217 | 65,1 | 1080 | 579,05 |
| 54 | 365,698 | 69,5 | 1100 | 618,18 |
| 55 | 366,702 | 75,5 | 1080 | 671,55 |
| 56 | 368,150 | 80,4 | 1010 | 715,14 |
| 57 | 369,510 | 84,1 | 920 | 748,05 |
| 58 | 370,440 | 80,1 | 850 | 712,47 |
| 59 | 371,228 | 74,6 | 700 | 663,55 |
| 60 | 371,886 | 66 | 600 | 587,05 |
| 61 | 372,032 | 61,5 | 540 | 547,0254 |
| 62 | 373,131 | 56,3 | 480 | 500,7729 |

Na podstawie tej tabeli wykonano wykres aby wyznaczyć częstotliwości rezonansowe badanego przetwornika. Dodatkowo do wykresu dodano skorygowaną względem Pak Pel. Korekcji dokonano poprzez wyznaczenie różnicy w częstotliwości rezonansowej dla mocy elektrycznej i akustycznej, w każdym rezonansie i dodanie tej różnicy do częstotliwości znajdujących się na odpowiednim piku, tak że moc elektryczna otrzymała nową dziedzinę częstotliwości.

Przykładowo pierwszy rezonans dla mocy akustycznej otrzymano w punkcie 14 dla f=314,794 kHz. Dla mocy akustycznej było to w punkcie 13 dla f=313,766 kHz. Zatem różnica to a=1,028 kHz. Tą wartość dodano do częstotliwości w punktach pomiarowych od 1 do 20.

Rysunek 2 Wykres przedstawiający zmiany mocy akustycznej oraz elektrycznej w zależności od częstotliwości fali ultradźwiękowej

Tabela 2 Wartości mocy dla rezonansów badanego przetwornika piezoelektrycznego

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Pak [mW]** | **Δ Pak**  **[mW]** | **δPak**  **[%]** | **Pel**  **[mW]** | **Δ Pel**  **[mW]** | **δPel**  **[%]** | **fr**  **[kHz]** | **Δ fr**  **[kHz]** | **Δfr**  **[%]** |
| REZONANS 1 | 305,98 | 0,89 | 0,29 | 700 | 0,015 | 0,0021 | 314,794 | 0,001 | 3,18E-04 |
| REZONANS 2 | 472,31 | 0,19 | 1290 | 0,0012 | 339,158 | 2,95E-04 |
| REZONANS 3 | 748,05 | 0,12 | 1100 | 0,0014 | 369,510 | 2,71E-04 |

* 1. **Pomiar zależności mocy akustycznej w rezonansie przy zmianie napięcia.**

W tej części ćwiczenia badano jak zmienia się moc akustyczna podczas zmian napięcia. W tym celu ustawiono częstotliwość przetwornika jak najbliżej częstotliwości rezonansowej i zmieniano napięcie od wartości U=16 V do U=1 V co 1V. dla każdego pomiaru spisywano masę wskazywaną przez wagę oraz moc elektryczną. Z użyciem masy obliczano następnie moc akustyczną tak jak w poprzedniej części ćwiczenia. Przeprowadzono pomiary dla trzech wartości rezonansowych, wyniki przedstawiono w tabeli.

Tabela 3 Pomiary zmian mocy w zależności od napięcia

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | REZONANS 1 | | | REZONANS 2 | | | REZONANS 3 | | |
| f = 314,1 kHz | | | f = 339,150 kHz | | | f = 369,444 kHz | | |
| **U** | **Pe** | **m** | **Pak** | **Pe** | **m** | **Pak** | **Pe** | **m** | **Pak** |
| **V** | **mW** | **mg** | **mW** | **mW** | **mg** | **mW** | **mW** | **mg** | **mW** |
| 16 | 800 | 40,7 | 362,0152 | 1600 | 72,6 | 645,7569 | 1200 | 109,5 | 973,9721 |
| 15 | 700 | 36,2 | 321,989 | 1450 | 65 | 578,157 | 1050 | 97,5 | 867,2355 |
| 14 | 600 | 32,4 | 288,189 | 1250 | 56,8 | 505,2202 | 900 | 84,4 | 750,7146 |
| 13 | 550 | 28,5 | 253,4996 | 1100 | 49,7 | 442,0677 | 800 | 75,4 | 670,6621 |
| 12 | 500 | 24,8 | 220,5891 | 950 | 43 | 382,4731 | 700 | 64,5 | 573,7096 |
| 11 | 400 | 21,6 | 192,126 | 800 | 36,7 | 326,4363 | 600 | 55,3 | 491,8782 |
| 10 | 350 | 18,7 | 166,3313 | 650 | 31,6 | 281,0732 | 500 | 48 | 426,9467 |
| 9 | 300 | 15,7 | 139,6471 | 550 | 26,2 | 233,0417 | 400 | 39,6 | 352,231 |
| 8 | 250 | 13,3 | 118,2998 | 450 | 22,5 | 200,1313 | 320 | 32,5 | 289,0785 |
| 7 | 200 | 11,1 | 98,73142 | 350 | 18,1 | 160,9945 | 290 | 25,9 | 230,3733 |
| 6 | 180 | 9,2 | 81,83145 | 300 | 14,2 | 126,3051 | 200 | 20,2 | 179,6734 |
| 5 | 150 | 7,5 | 66,71042 | 200 | 10,9 | 96,95248 | 180 | 15,2 | 135,1998 |
| 4 | 100 | 6,1 | 54,25781 | 150 | 8,6 | 76,49461 | 120 | 11 | 97,84195 |
| 3 | 90 | 5,2 | 46,25256 | 100 | 6,6 | 58,70517 | 100 | 7,8 | 69,37884 |
| 2 | 80 | 4,4 | 39,13678 | 90 | 5,2 | 46,25256 | 90 | 5,8 | 51,58939 |
| 1 | 70 | 3,9 | 34,68942 | 80 | 4,1 | 36,46836 | 80 | 4,4 | 39,13678 |

Na podstawie wyników zawartych w tabeli wykreślono wykresy zależności mocy akustycznej od napięcia

Rysunek 3 Zależność mocy akustycznej od napięcia przetwornika piezoelektrycznego dla rezonansu pierwszego

Rysunek 4 Zależność mocy akustycznej od napięcia przetwornika piezoelektrycznego dla rezonansu drugiego

Rysunek 5 Zależność mocy akustycznej od napięcia przetwornika piezoelektrycznego dla rezonansu trzeciego

Do wykresów za pomocą funkcji programu Excel dopasowano linię trendu.

Wykonano również wykresy zależności mocy akustycznej od mocy elektrycznej.

Rysunek 6 Zależność mocy akustycznej od mocy elektrycznej dla przetwornika piezoelektrycznego w rezonansie pierwszym

Rysunek 7 Zależność mocy akustycznej od mocy elektrycznej dla przetwornika piezoelektrycznego w rezonansie drugim

Rysunek 8 Zależność mocy akustycznej od mocy elektrycznej dla przetwornika piezoelektrycznego w rezonansie trzecim

Wykresy aproksymowano funkcją i otrzymano zależność liniową.

1. **Obliczenia**

Dla każdego rezonansu wyznaczono pasmo częstotliwości, dobroć, sprawność oraz natężenie fali. Skorzystano ze wzorów:

**-pasmo częstotliwości**

błąd

Gdzie fn to początek pasma częstotliwości, czyli pierwsza wartość częstotliwości, dla której wartość mocy to P=0.707Pak, czyli spadek o 3 dB, a fm to ostatnia wartość w paśmie częstotliwości, wyznaczana również dla spadku o 3 dB.

**- dobroć**

błąd

**-sprawność**

błąd

**-natężenie fali**

błąd

Gdzie A to pole powierzchni przetwornika, u nas

Tabela 4 Tabela przedstawiająca wyniki obliczeń parametrów przetwornika dla każdego z rezonansów

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **f1 = 314,794** | | | | **f2 = 339,158** | | | | **f3 = 369,510** | | | |
| **[kHz]** | **Q**  **[-]** | **[%]** | **I**  **[** | **[kHz]** | **Q**  **[-]** | **[%]** | **I**  **[** | **[kHz]** | **Q**  **[-]** | **[%]** | **I**  **[** |
| 3,442 | 91,5 | 43,7 | 269,8 | 5,828 | 58,2 | 36,6 | 416,5 | 8,923 | 48,1 | 68,0 | 659,6 |
| ±0,002 | ±0,05 | ±4,59 | ±0,78 | ±0,002 | ±0,02 | ±7,08 | ±0,78 | ±0,002 | ±0,005 | ±11,22 | ±0,78 |
| ±0,05% | ±0,058 | ±10,5% | ±0,29% | ±0,03% | ±0,03 | ±19,3% | ±0,29% | ±0,02% | ±0,01 | ±16,5% | ±0,29% |

Przykładowe obliczenia:

1. **Wnioski oraz analiza otrzymanych wyników.**

Analizując zależności mocy akustycznej od napięcia przy stałej częstotliwości zauważyć można, że wartość ta rośnie proporcjonalnie do kwadratu napięcia. Wynika to z proporcjonalności mocy akustycznej do mocy elektrycznej, ponieważ Pel ~ U2.

* 1. **Zastosowanie w obrazowaniu**

Przetwornik piezoelektryczny w badanym zakresie posiada trzy częstotliwości rezonansowe. W każdej z nich jesteśmy w stanie wygenerować różną moc akustyczną, zatem przetwornik ten może znaleźć wiele zastosowań.

Biorąc pod uwagę zastosowania medyczne warto zwrócić uwagę na rezonans trzeci, gdzie pasmo częstotliwości jest zdecydowanie szersze niż w przypadku poprzednich rezonansów (jest to 9 kHz, przy 3,4 i 6 kHz dla pierwszego i drugiego rezonansu). Szersze pasmo częstotliwości sprawia, że przetwornik jest w stanie dać nam informacje w większym zakresie widma, dzięki czemu podczas obrazowania medycznego otrzymujemy większą rozdzielczość, mamy możliwość dokładniejszego poznania położenia oraz rozmiarów badanych obiektów.

W trzecim rezonansie przetwornik ma też wyższą wartość sprawności, zatem uzyskujemy w nim znacznie mniejsze straty, co również jest istotne w obrazowaniu medycznym.

* 1. **Terapia za pomocą ultradźwięków**

Badany na ćwiczeniach przetwornik wykorzystać można w fizykoterapii, gdzie generowałby natężenia słabe, ponieważ natężenia w rezonansie mieszczą się w przedziale do 0,5 W/cm­­­2.

Bibliografia:

[1] Golanowski J., Gudra T., Podstawy techniki ultradźwięków. Ćwiczenia laboratoryjne, Ofic. Wyd. PWr. Wrocław 1990.

[2] Talarczyk E., Podstawy techniki ultradźwięków, Ofic. Wyd. PWr. Wrocław 1990.

[3] Katarzyna Miłowska, ultradźwięki – mechanizmy działania i zastosowanie w terapii sonodynamiczenej, Postepy Hig Med Dosw. , 2007; 61: 338-349