



Zachodniopomorski
Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie



Wydział
Inżynierii Mechanicznej
i Mechatroniki

Instytut Technologii Mechanicznej

Techniki symulacji w budowie maszyn

Ćwiczenie laboratoryjne nr 2: **Symulacja zmian temperatury w pomieszczeniu**

Opracowanie:
Karol Miądlicki, mgr inż.

Część wprowadzająca

1. Systemy ciepłne

Systemy ciepłne to takie, w których następuje przepływ ciepła z jednego obiektu do drugiego. Zjawisko to zachodzi, kiedy obiekty mają różną temperaturę. Ciepło przepływa z obiektu cieplejszego do zimniejszego, zgodnie z zasadą zachowania energii. Przykładami takich systemów są:

- Grzałki
- Klimatyzacje
- Lodówki
- Piecie

Aby ułatwić modelowanie takich systemów przyjmuje się następujące wielkości:

- Pojemność ciepłą
- Przenikalność(rezystancję) ciepłą

2. Praca, ciepło energia

2.1 Praca

Praca jest podstawowym pojęciem w termodynamice. Pracę wykonujemy, gdy przesuwamy ciało pokonując przeciwstawną siłę. Wielkość pracy jest równa iloczynowi przebytej drogi i siły przeciwdziałającej ruchowi. Przykładem wykonywania pracy może być rozprężający się gaz, który przesuwa tłok.

$$praca(W) = droga(s) \times siła(F)$$

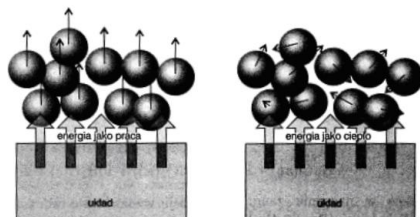
2.2 Energia

W ramach mechaniki Newtona pojęcie energii jest rozumiane bardzo wąsko, mianowicie, jako energia mechaniczna. Jest to istotne, ale nieprawdziwe, jak dzisiaj wiemy, ograniczenie. Przecież młot uderzając w sztabę żelaza nieruchomieje, a po kilku uderzeniach sztaba robi się cieplejsza. Mogłoby się, więc wydawać, że energia mechaniczna młota gdzieś znika niezauważalnie i bezpowrotnie. Podobnie dwa pocierane o siebie pręty drewniane stają się cieplejsze i mogą się nawet zapalić. W obu przypadkach energia mechaniczna nie znika, lecz zamienia się w inną formę zwaną energią ciepłą.

Przez energię układu rozumiemy jego zdolność do wykonywania pracy. Jeśli praca jest wykonana na układzie (np. kompresja gazu, rozciąganie sprężyny) zdolność układu do wykonywania pracy rośnie, a zatem rośnie również jego energia. Natomiast, jeżeli układ wykonuje pracę (np. przesuwanie tłoka przy rozprężaniu gazu, jego energia maleje, ponieważ może on wykonać już mniej pracy niż poprzednio(nakręcane zegarki w końcu się zatrzymują, ponieważ napędzająca je sprężyna traci całą zgromadzoną energię). Energię układu(zamkniętego) można zmieniać na dwa sposoby: przenosząc, jako pracę lub jako ciepło. Jeżeli zmiana energii układu następuje w wyniku różnicy temperatur pomiędzy nim, a otoczeniem mówimy, że energia została przekazana, jako ciepło(np., gdy układ zlewki z wodą umieścimy na grzejniku elektrycznym, energia - zdolność wykonania pracy układu wzrasta. Gorąca woda może posłużyć do wykonania większej pracy niż zimna.

2.3 Energia wewnętrzna – całkowita energia układu

W termodynamice całkowitą energię układu nazywamy energią wewnętrzną U . Energia wewnętrzna - jest sumą wszystkich udziałów energii, zarówno kinetycznej jak i potencjalnej, wszystkich atomów, jonów, czystek czek tworzących układ.



Rysunek 1: a) Praca w ujęciu molekularnym (stanowi przepływ energii, który powoduje uporządkowany ruch atomów w otoczeniu). b) Ciepło (jest przepływem energii, który powoduje chaotyczny ruch atomów w otoczeniu lub jest nim spowodowany).

Doświadczalnie stwierdzono, że energię wewnętrzną układu można zmieniać przez wykonanie na nim pracy, albo przez jego ogrzanie. Gdy dostarcza się energię do układu przez ogrzanie lub przez wykonanie na nim pracy, energia ta zostaje zmagazynowana w postaci dodatkowej energii kinetycznej i potencjalnej cząsteczek (np. w gazie porusza ją się one szybciej). Podobnie, gdy układ traci energię - cząsteczki zmniejsza ją swoją energię kinetyczną lub potencjalną (np. w gazie porusza ją się wolniej). W praktyce nie znamy i nie możemy zmierzyć wartości energii wewnętrznej, U do której wchodzi też energia kinetyczna i potencjalna wszystkich elektronów i składników jąder atomowych. Jest to jednak bez znaczenia dla rozpatrywania jej zmian ΔU , gdyż zmiany te możemy rejestrować, jako energię dostarczoną lub utraconą przez układ na sposób pracy lub ciepła. Energię wewnętrzną, ciepło i pracę mierzymy w tych samych jednostkach, J (dżulach).

2.4 Pierwsza zasada termodynamiki – zasada zachowania energii

Układ izolowany

Doświadczalnie wykazano, że jeżeli układ jest izolowany (oddzielony zarówno mechanicznie jak i termicznie od otoczenia), to układ taki nie może, ani wykonać pracy, ani przekazać ciepła. Czyli nie następuje zmiana jego energii wewnętrznej. Stąd:

$$U = \text{const}$$

$$\Delta U = 0$$

Dowodem na tę właściwość układu izolowanego jest to, że nie udało się zbudować poruszającej się ciągle maszyny, która nie pobierałaby energii z zewnętrznego źródła, (perpetuum mobile pierwszego rodzaju). Energia wewnętrzna układu izolowanego jest stała. Stwierdzenie to stanowi treść I - zasady termodynamiki dla układu izolowanego.

Układ zamknięty

W układzie zamkniętym, zmiana energii układu jest równa energii, która przepływa przez jego granicę, na sposób ciepła (Q) i pracy (W). Czyli:

$$\Delta E = \Delta U = Q - W = (Q_{in} - Q_{out}) - (W_{out} - W_{in})$$

W układzie zamkniętym zmiana energii wewnętrznej ΔU jest równa ciepłu Q dostarczonemu do tego układu zmniejszonemu o wartość pracy W wykonanej przez układ na swoim otoczeniu.

Gdzie:

$\Delta E, \Delta U$ – zmiana energii

Q – ciepło dostarczone lub oddane

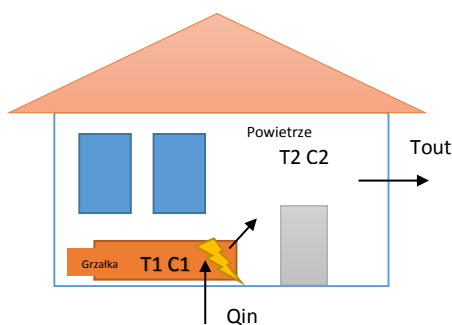
W – praca wykonana przez układ lub nad układem

Stwierdzenie to stanowi treść I zasady termodynamiki dla układu zamkniętego, a powyższe równanie, jest jej matematycznym zapisem. Pierwsza zasada termodynamiki zwana zasadą zachowania energii, ma fundamentalne znaczenie dla chemii, gdyż większości reakcji chemicznych towarzyszy wydzielanie lub pobranie energii. Prawo to uświadamia nam, że w przyrodzie dokonuje się jedynie przemiana jednej formy energii w inną, a nie można jej ani wytworzyć (z niczego) ani zniszczyć (bez śladu).

3. Model matematyczny pomieszczenia z grzejnikiem elektrycznym

Na rysunku przedstawiony został schemat modelowanego pomieszczenia. Ciepło do budynku dostarczane jest przy pomocy ogrzewacza elektrycznego zasilanego dowolnym napięciem. Domek ma otwierane drzwi oraz okna. Ponadto temperatura na zewnątrz może ulegać zmianie. Wymiana ciepła następują pomiędzy:

- Ogrzewaczem, a powietrzem w pomieszczeniu
- Powietrzem w pomieszczeniu, a powietrzem na zewnątrz



Rysunek 1. Schemat modelowanego systemu

oznaczenia:

T_1 – temperatura ogrzewacza

T_2 – temperatura powietrza w pomieszczeniu

T_3 – temperatura na zewnątrz

Q_{in} – strumień ciepła wpływający do ogrzewacza

Q_{gp} – strumień ciepła przekazywany z ogrzewacza do pomieszczenia

Q_{out} – strumień ciepła przekazywany z pomieszczenia na zewnątrz

C_1 – pojemność cieplna ogrzewacza
 C_2 – pojemność cieplna powietrza w pomieszczeniu
 R_1 – rezystancja cieplna ogrzewacza
 R_2 – rezystancja cieplna ścian
 c_{wo} – ciepło właściwe ogrzewanego medium
 m_o – masa ogrzewanego medium
 U – napięcie zasilające ogrzewacz
 R – opór grzałki w ogrzewaczu

Aby stworzyć model matematyczny takiego pomieszczenia należy najpierw skorzystać z pierwszej zasady termodynamiki:

$$\Delta U = |Q_{in}| - Q_{gp}$$

$$\Delta U = \frac{U^2}{R} - \frac{T_1 - T_2}{R_1}$$

Zastępując deltę, pochodną otrzymujemy:

$$\Delta U = \frac{dQ_1}{dt} = C_1 \frac{dT_1}{dt}$$

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} = \frac{U^2}{R} - \frac{T_1 - T_2}{R_1}$$

Równanie opisujące zależność między temperaturą ogrzewaczem, a temperaturą powietrza w pokoju:

$$\frac{dT_1}{dt} = \frac{1}{C_1} \left(\frac{U^2}{R} - \frac{T_1 - T_2}{R_1} \right)$$

Następnie również korzystając z bilansu cieplnego wyznaczamy zależność między temperaturą w pomieszczeniu a temperaturą na zewnątrz:

$$\Delta U = Q_{gp} - Q_{out}$$

$$\Delta U = \frac{T_1 - T_2}{R_1} - \frac{T_2 - T_{out}}{R_2}$$

$$\Delta U = \frac{dQ_2}{dt} = C_2 \frac{dT_2}{dt}$$

$$\frac{dT_2}{dt} = \frac{1}{C_2} \left(\frac{T_1 - T_2}{R_1} - \frac{T_2 - T_{out}}{R_2} \right)$$

Dodatkowo:

$$C_x = m c_w = \rho V c_w = \rho A_{pom} h_{pom} c_w$$

$$R_x = \frac{1}{hA}$$

Commented [KM1]: Moc dostarczana do ogrzewacza $Q_{in} = U^2/R$

Commented [KM2]: Moc dostarczana do ogrzewacza $Q_{in} = U^2/R$

Commented [KM3]: Moc dostarczana do ogrzewacza $Q_{in} = U^2/R$

Commented [KM4]: Gęstość, objętość oraz ciepło właściwe medium

Commented [KM5]: Współczynnik przenikalności cieplnej oraz powierzchnia

Zadania do ćwiczenia laboratoryjnego

1. Zamodelować w środowisku matlab/simulink obiekt przedstawiony w części teoretycznej, Ustawienia: Fixed-step, Fixed-step size: 10^{-3} , Parametry: dowolne
2. Dobrać parametry układu tak, aby odwzorowywał on obiekt rzeczywisty
3. Przeprowadzić symulację dla zmiennej temperatury zewnętrznej oraz zmiennego napięcia zasilania.
4. Przeprowadzić symulację przy wprowadzonych zakłóceniach:
 - Szum pomiarowy(stałe napięcie, stała temperatura zewnętrzna)
 - Losowe otwieranie drzwi/okien(stałe napięcie, zmienna temperatura zewnętrzna)
5. Wprowadzić do systemu układ regulacji dwustanowej(histereza+switch) oraz przeprowadzić testy dla:
 - Układu bez zakłóceń
 - Układu z zakłóceniami
 - Losowe otwieranie drzwi/okien(zakłócenia dowolnie)
 - Zmiennej temperatury zewnętrznej(zakłócenia dowolnie)
6. Wprowadzić do systemu układ regulacji PID oraz przeprowadzić testy dla:
 - Układu bez zakłóceń
 - Układu z zakłóceniami
 - Losowe otwieranie drzwi/okien(zakłócenia dowolnie)
 - Zmiennej temperatury zewnętrznej(zakłócenia dowolnie)

Commented [KM6]: Może być pomocne:

[http://www.mathworks.com/products/simulink/examples.html?file=/products/demos/shipping/simulink/sldemo_houseeat.html](http://www.mathworks.com/products/simulink/examples.html?file=/products/demos/shipping/simulink/sldemo_househeat.html)













Commented [KM7]: Można użyć bloczku switch lub sumy bloczków step










Commented [KM8]: relay

Commented [KM9]: jako temperaturę podać dowolny sygnał zmienny w czasie

Commented [KM10]: jako temperaturę podać dowolny sygnał zmienny w czasie

Bloczki ze środowiska Matlab/Simulink wykorzystywane na laboratorium

Bloczek	Opis	Uwagi
 Scope	Oscyloskop – wyświetla przebieg sygnału	Po dwukrotnym kliknięciu na bloczek > parameters(trybik)>history>odznaczyć opcję „Limit data points to last”
 Sum	Sumator	
 Integrator Limited	Całkowanie	Upper saturation limit: 500 Lower saturation limit: 0
 Gain	Wzmocnienie sygnału	Można używać do dzielenia
 Product	Mnożenie sygnałów	
 Trigonometric Function	Funkcja sinus	$\sin(x)$ – x podaje się na wejściu bloczku
 Sqrt	Pierwiastek	
 Abs	Wartość bezwzględna	
 Sign	Funkcja signum	
 Sine Wave	Generator funkcji sin	
 Step	Impuls jednostkowy	
 Mux	Multiplekser sygnałów	Do wyświetlania kilku sygnałów na jednym „scope”

 Divide	Dzielenie sygnałów	
 Constant	Stała	
 PID Controller	Regulator PID	
 Math Function	Dowolna funkcja matematyczna	Wykładnik potęgi to dolne wejście
 Switch	Automatyczny switch	Środek – warunek Dół – prawda Góra - fałsz
 Relay	Histereza	Wprowadzić górne i dolne ograniczenia
 Signal Builder	Generowanie dowolnych sygnałów	
 Band-Limited White Noise	Biały szum	Można użyć wraz z bloczkiem realey do losowego otwierania drzwi/okien
 Uniform Random Number	Losowy szum	

Wymagania do sprawozdania

- Opisać układ dwóch równań różniczkowych definiujących model ogrzewanego pomieszczenia:
 - Zaznaczyć, co oznaczają kolejne zmienne
 - Wskazać strumienie ciepła(Q)
 - Wyszczególnić, które zmienne możemy zadawać, jako constans/step, a które nie i z czego to wynika
- Wykonać w środowisku MATLAB/Simulink schemat modelowanego obiektu
 - Zaznaczyć na schemacie, który sygnał to $T_1, T_2, \frac{dT_1}{dt}, \frac{dT_2}{dt}, \frac{T_1-T_2}{R_1}$
- Wykonać zadania od 2 do 3
- Wykonać zadanie 4
 - Wskazać gdzie dodawane są szумы oraz ucieczka CIEPLA przez okna i wyjaśnić, dlaczego właśnie tam
 - Uzupełnić układ równań różniczkowych o strumień ciepła uciekający przez drzwi/okna
- Wykonać zadania 4 oraz 5
- Dla chętnych: Wykonać zadanie 6
- Dla chętnych: Przedstawić zamodelowany układ za pomocą transmitancji
- We wnioskach proszę uwzględnić:
 - Jak zmiana parametrów wpływa na układ
 - Pamiętać o właściwych jednostkach
 - Jak zmiany napięcia na grzejniku i temp zewnętrznej wpływają na układ
 - Co się dzieje w momencie otwarcia drzwi
 - Co daje układ sterowania(histereza)
- Sprawozdania muszą być wykonane samodzielnie!

Commented [KM11]: Zamiast źródła ciepła U^2/R należy wstawić regulator PID

Commented [KM12]: 1. <http://we.pb.edu.pl/~kaie/kaie-md/TREIT/TREITsem4wyk3.pdf>
2. <http://karpik.magma-net.pl/transformata>
3. <http://ulinks.net/9944a>
4.

Commented [KM13]: Naprawdę widać kiedy są przerabiane!

Pytania i uwagi do skryptu proszę kierować na maila lub postawić w komentarzach na stronie www. Oceny i uwagi do otrzymanych sprawozdań będę się starał umieszczać na bieżąco w zakładce „Studenti”.

Prostym sposobem na otrzymanie wykresu ze scopa, który nie jest czarny bez używania painta oraz printscreena/narzędzia_wycinanie jest:

- Wejście w scope>drukarka(Print) i wybrać wydruk do pdfa
- Wejście w scope>trybik(preferences)>History>
 - W varialbe name wpisać np. T1>
 - W command windows w Matalbie wpisać plot(T1.time,T1.signals.values)

Bibliografia

1. <http://home.agh.edu.pl/~stypula/wyk2.pdf>