

Dr inż. Dorota Nowak-Woźny

6. Zamiana energii elektrycznej w ciepło

Cel ćwiczenia:

- Zapoznanie z metodami grzania rezystancyjnego pośredniego i bezpośredniego oraz ich zastosowaniami w przemyśle.
- Wyznaczenie sprawności urządzenia grzewczego podczas grzania pośredniego i bezpośredniego.
- Sprawdzenie prawa *Joule'a-Lentza*.

Zagadnienia:

- Fizyczne podstawy zjawiska zamiany energii elektrycznej w ciepło – prawo *Joule'a-Lentza*.
- Grzanie rezystancyjne, promiennikowe, pojemnościowe, indukcyjne, łukowe, elektrodowe, plazmowe, mikrofalowe, ultradźwiękowe.
- Metodologia badania zjawiska zamiany energii elektrycznej w ciepło.
- Pojęcie ciepła właściwego.
- Dobór metody grzania w zależności od procesu technologicznego.

Uwaga! Przed przystąpieniem do ćwiczenia zapoznać się z dodatkiem pt. "Procedura wyznaczania niepewności pomiarowych".

Wprowadzenie:

Przed przystąpieniem do ćwiczenia należy zapoznać się z zagadnieniami dotyczącymi prądu elektrycznego (natężenie prądu, rezystancja, rezystywność, prawo *Ohma*, praca i moc prądu elektrycznego, prawo *Joule'a-Lentza*) oraz kalorymetrii (ciepło, ciepło właściwe, zasada zachowania ilości ciepła).

Natężenie prądu elektrycznego.

Ruch ładunków elektrycznych pod wpływem różnicy potencjałów nazywamy przepływem prądu elektrycznego. Tradycyjnie przyjmuje się za kierunek przepływu prądu kierunek od potencjału dodatniego (wyższego) do ujemnego (niższego). W metalach nośnikami prądu są ujemnie naładowane elektrony, dlatego rzeczywisty przepływ prądu odbywa się w kierunku przeciwnym do umownie przyjętego. Stosunek ładunku przepływającego przez poprzeczny przekrój przewodnika do czasu tego przepływu nazywamy natężeniem prądu elektrycznego I (zwanym potocznie krótko prądem elektrycznym). Jednostką natężenia prądu elektrycznego jest amper A.

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (1)$$

$$[I] = \frac{C}{s} = A$$

W przypadku gdy ładunek Q nie zależy od czasu równanie (1) przyjmie postać:

$$I = \frac{Q}{t}.$$

Prawo OHMA

Prawo to sformułowano w 1827 roku. Przedstawia ono prostą proporcjonalność pomiędzy natężeniem prądu (I) płynącego przez przewodnik i napięciem (U) przyłożonym na jego końcach:

$$I = \frac{1}{R} \cdot U \quad (2)$$

lub

$$U = R \cdot I.$$

R jest współczynnikiem proporcjonalności pomiędzy napięciem i natężeniem prądu i zwany jest oporem elektrycznym. Zgodnie z zależnością (2), im mniejszy jest opór elektryczny przewodnika, na którego końcach przyłożone jest napięcie U , tym większe jest natężenie prądu przezeń płynącego.

Rezystancja i rezystywność.

Jednostką oporu elektrycznego jest om (Ω) i zgodnie z równaniem (2) opór przewodnika równy jest 1 omowi jeżeli napięcie równe 1 woltowi przyłożone na końcach przewodnika wywołuje w nim prąd elektryczny o natężeniu 1 ampera:

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

$$[R] = \frac{V}{A}$$

Powróćmy do równania (2), zgodnie z którym współczynnik proporcjonalności pomiędzy natężeniem prądu i napięciem równy jest $1/R$. Ten współczynnik nosi nazwę przewodności elektrycznej lub konduktancji. Jej jednostką jest siemens (S):

$$1S = \frac{1A}{1V}$$

Należy wspomnieć także o rezystywności i przewodności elektrycznej właściwej. Obie te wielkości są stałymi materiałowymi.

Dla jednorodnego liniowego przewodnika o przekroju poprzecznym s i długości l (o oporze R) rezystywność (ρ – czytaj *ro*) zwana także oporem właściwym wyraża się następującą zależnością:

$$\rho = R \cdot \frac{s}{l}$$

$$[\rho] = \Omega \cdot m.$$

Przewodność elektryczna właściwa (γ – czytaj *gamma*) zwana także konduktywnością jest odwrotnością rezystywności:

$$\gamma = \frac{1}{\rho}$$

$$[\gamma] = \frac{1}{\Omega \cdot m} = \frac{S}{m}.$$

Praca i moc prądu elektrycznego.

Praca przeniesienia ładunku między punktami o różnicy potencjałów U wyraża się zależnością:

$$dW = U \cdot dQ$$

Zgodnie z zależnością (1):

$$dQ = I \cdot dt.$$

Stąd

$$dW = I \cdot U \cdot dt.$$

Po scałkowaniu otrzymujemy:

$$W = \int I \cdot U \cdot dt.$$

Dla stałych wartości napięcia U i natężenia prądu I :

$$W = \int I \cdot U \cdot dt = I \cdot U \int dt = I \cdot U \cdot t]$$

$$[W] = J$$

Moc prądu elektrycznego P jest to praca prądu wykonana w czasie:

$$P = \frac{dW}{dt} = I \cdot U$$

$$[P] = \frac{J}{s} = W.$$

Prawo Joule'a-Lenza.

Powróćmy do zależności na pracę prądu elektrycznego:

$$W = I \cdot U \cdot t$$

Zgodnie z prawem *Ohma*:

$$U = I \cdot R,$$

stąd

$$W = I^2 \cdot R \cdot t$$

lub

$$W = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

Podczas przepływu prądu elektrycznego przez przewodnik, przewodnik nagrzewa się. Ilość ciepła (Q), jaka wydzieliła się w przewodniku równa jest pracy prądu elektrycznego (W).

$$Q = W = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t \text{ [J]}.$$

Można spotkać się postacią prawa *Joule'a-Lenza*, w której ciepło wyrażone jest w kaloriach:

$$Q = 0.24 \cdot I^2 \cdot R \cdot t \text{ [cal]}$$

Ciepło jest rodzajem energii. Jego jednostką jest jednostka pracy [J].

Ilość ciepła (ΔQ) pobierana lub oddawana przez ciało jednorodne przy niewielkim wzroście temperatur (w przypadku gdy nie zachodzi przemiana fazowa) jest proporcjonalna do masy tego ciała (m) oraz zmiany temperatury (ΔT):

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T .$$

Współczynnik proporcjonalności c zwany jest ciepłem właściwym i jest stałą materiałową.

$$c = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT}$$

$$[c] = \frac{J}{kg \cdot K}$$

Iloczyn masy i ciepła właściwego zwany jest pojemnością cieplną.

Zasada zachowania ilości ciepła – zasada bilansu cieplnego.

Weźmy układ izolowany cieplnie od otoczenia. W takim układzie można wyodrębnić ciała o temperaturze wyższej (oddające ciepło) i ciała o temperaturze niższej (przyjmujące ciepło). W układzie takim całkowite ciepło pobrane przez ciała o temperaturze niższej jest równe całkowitemu ciepłu oddanemu przez ciała o temperaturze wyższej.

Jeżeli ciałem oddającym ciepło jest grzałka rezystancyjna, wtedy zgodnie z prawem *Joule'a-Lenza* i zasadą zachowania ilości ciepła można ułożyć równanie bilansu cieplnego:

$$I^2 \cdot R \cdot t = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Pomiary kalorymetryczne.

Kalorymetria jest działem nauki zajmującym się pomiarem ilości ciepła. Opiera się ona na następujących zasadach:

- ✓ Ilość ciepła oddana przez ciało o wyższej temperaturze jest równa ilości ciepła pobranej przez jego otoczenie o temperaturze niższej – zasada zachowania energii (zasada zachowania ilości ciepła)

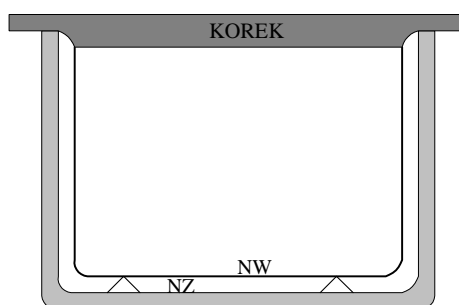
$$|\Delta Q_1| = |\Delta Q_2|.$$

- ✓ Ilość ciepła pobrana przez ciało podczas ogrzewania oraz ilość ciepła oddana podczas stygnięcia tego ciała w tym samym zakresie temperatur są sobie równe. Proces grzania i stygnięcia musi zachodzić przez te same stany pośrednie tylko w przeciwnym kierunku.
- ✓ Ilość ciepła pobrana przez ciało podczas ogrzewania (oddana podczas stygnięcia) jest wprost proporcjonalna do iloczynu masy tego ciała oraz różnicy temperatur pomiędzy stanem początkowym i końcowym

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Metodologia pomiarów.

Prawo bilansu cieplnego można stosować jedynie w układzie izolowanym termicznie od otoczenia (nie ma ani dopływu ciepła z otoczenia ani odpływu tego ciepła z układu do otoczenia). Taką izolację termiczną można uzyskać umieszczając badany układ w urządzeniu zwanym kalorymetrem. Bardzo dobrym kalorymetrem (nie istnieje kalorymetr doskonale izolujący) jest kalorymetr o płaszczu próżniowym czyli naczynie *Dewara* zwana termosem. Schematyczna budowa kalorymetru pokazana jest na rys. 6.1.



Rys. 6.1. Kalorymetr.

Kalorymetr składa się z metalowego naczynia wewnętrznego (Nw) i zewnętrznego (Nz) o podwójnych ściankach. Pomiedzy podwójnymi ściankami może znajdować się woda (płaszcz wodny) lub rozrzedzone powietrze (płaszcz próżniowy). W pierwszym przypadku mamy kalorymetr wodny, w drugim próżniowy czyli naczynie *Dewara* (termos). Zadaniem płaszcza jest ograniczenie do minimum przekazywanie ciepła pomiędzy badanym układem i otoczeniem. Ponieważ nie istnieje kalorymetr idealny dlatego należy się spodziewać strat cieplnych, które stanowiąc będą istotny składnik niepewności pomiarowej.

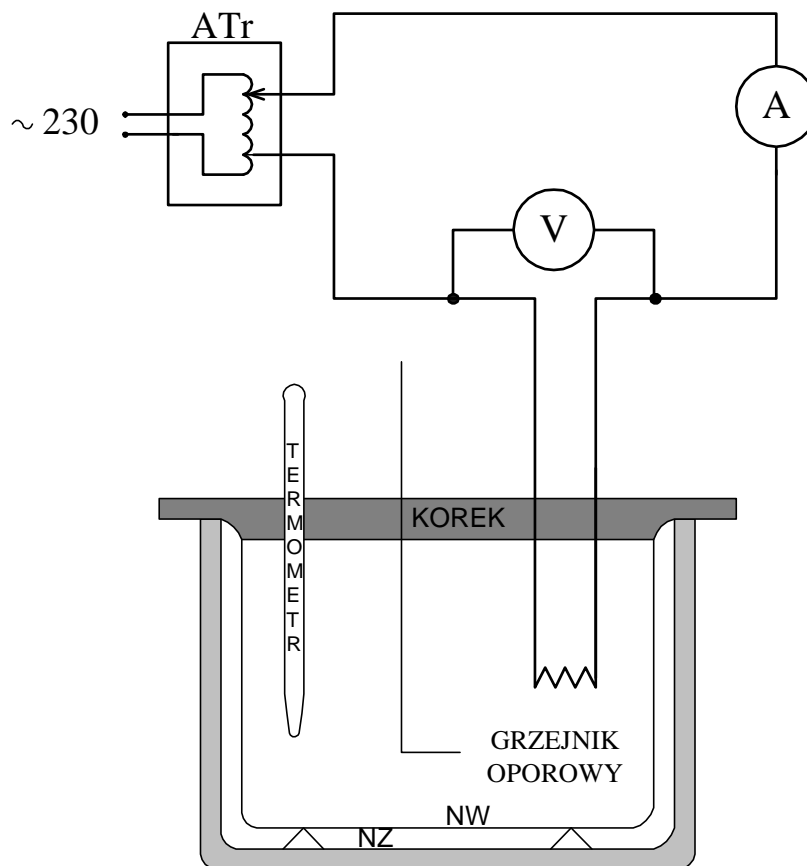
Przebieg ćwiczenia:**Układ pomiarowy.**

Układ pomiarowy składa się z:

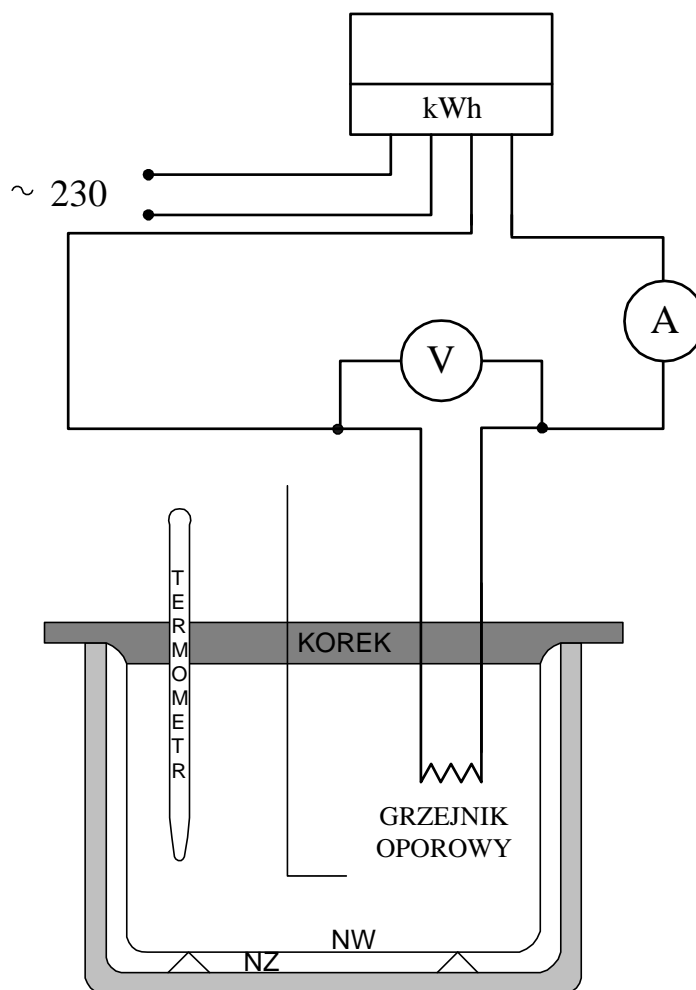
- zasilacza
- amperomierza
- woltomierza
- watomierza
- licznika energii elektrycznej
- kalorymetru (termosu)
- termometru
- elementów grzejnych
- miarki objętości
- stopera

Przebieg ćwiczenia.

1. Zmontować układ pomiarowy zgodnie z załączonym schematem.
2. Napełnić termos wodą.
3. Zanotować objętość nalanej wody.
4. Zanotować temperaturę wody.
5. Podłączyć układ do źródła napięcia.
6. Niezwłocznie rozpocząć odliczanie czasu.
7. Rejestrować moc pobieraną przez grzałkę.
8. Notować temperaturę podczas całego procesu grzania a także po jego ukończeniu.
9. Odłączyć źródło napięcia.
10. Zanotować czas, po którym ukończono proces grzania.
11. Zmierzyć temperaturę po ukończeniu procesu grzania w kilku punktach.
12. Wyznaczyć energię elektryczną w procesie grzania.
13. Wylać ogrzaną wodę.
14. Powtórzyć punkty od 2 do 11.
15. Opracować wyniki pomiarów.
16. Powtórzyć punkty od 2 do 13 stosując zamiast naczynia *Dewara* naczynie metalowe.
17. Porównać otrzymane wyniki z wynikami otrzymanymi z zastosowaniem naczynia *Dewara*.
18. Oszacować sprawność w obu przypadkach.

Schematy układów pomiarowych.

Rys. 6.3. Schemat układu pomiarowego (z autotransformatorem).



Rys. 6.4. Schemat układu pomiarowego (z licznikiem energii).

Opracowanie wyników pomiarów.

1. Sporządzić tabelę, w której znajdą się następujące informacje:
 - objętość wody,
 - gęstość wody (odczytać z tablic),
 - masa wody (masę wyliczyć mając daną objętość i gęstość),
 - czas procesu grzania,
 - temperatury dla poszczególnych czasów procesu grzania,
 - napięcie i natężenie prądu,
 - ciepło wydzielone przez element grzewczy (policzone na podstawie prawa *Joule'a-Lenza*),
 - ciepło przyjęte przez wodę (obliczone z bilansu cieplnego).
2. Sprawdzić prawo *Joule'a-Lenza* (porównać ciepło wyliczone na podstawie prawa *Joule'a-Lenza* z ciepłem wyliczonym z bilansu cieplnego).
3. Przeprowadzić rachunek niepewności.