

9. WYZNACZANIE SPRAWNOŚCI CAŁKOWITEJ NAGRZEWANIA WSADÓW W RÓŻNYCH URZĄDZENIACH ELEKTROTERMICZNYCH

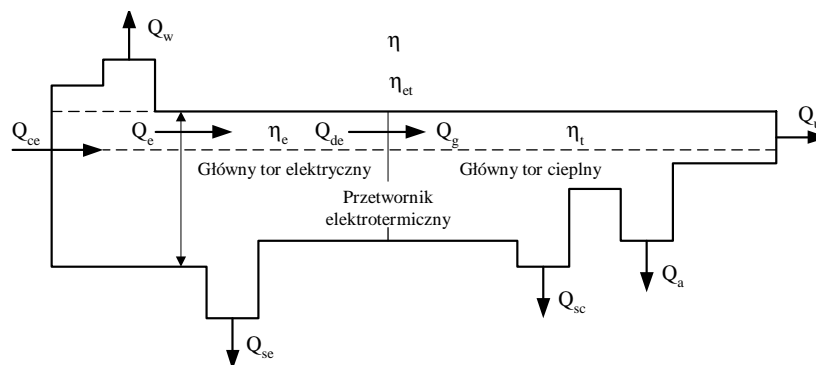
9.1. Cel ćwiczenia:

- zapoznanie się z metodami i urządzeniami elektrotermicznymi stosowanymi w gospodarstwach domowych (w elektrotermii bytowej) do nagrzewania potraw,
- zapoznanie się z parametrami elektromagnetycznymi i cieplnymi wpływającymi na wartość ciepła użytecznego zakumulowanego w wodzie, nagrzewanej z wykorzystaniem różnych metod elektrotermicznych,
- określenie i porównanie wartości sprawności całkowitej nagrzewania wody w urządzeniach oporowych i indukcyjnych nagrzewania pośredniego oraz w urządzeniach elektrodowych i mikrofalowych nagrzewania bezpośredniego.

9.2. Wiadomości podstawowe

W każdym konwersyjnym urządzeniu elektrycznym, przetwarzającym energię elektryczną na jedną z czterech form energii użytecznej, można wyróżnić dwa posobne tory przepływu energii: tor przepływu monochromatycznej energii elektromagnetycznej i tor przepływu energii o wytworzonej formie. Miejsce, w którym łączą się obydwa te tory, nazywa się przetwornikiem energii.

W każdym urządzeniu elektrotermicznym występuje tor przepływu monochromatycznej energii elektromagnetycznej, zwany torem elektromagnetycznym urządzenia, oraz, rozpoczynający się w miejscu przetwornika elektrotermicznego – do którego dopływa energia elektromagnetyczna zawarta w tzw. głównym torze elektromagnetycznym urządzenia – tor przepływu energii cieplnej, nazywany (głównym) torem cieplnym (grzejnym) urządzenia (rys. 9.1). Na tor elektrotermiczny urządzenia składają się dwa główne tory: elektromagnetyczny i cieplny.



Rys. 9.1. Wykres rozplywu energii w urządzeniu (układzie) elektrotermicznym

Energie, których rozplyw przedstawiono na rysunku 9.1, to:

- Q_{cc} – całkowita energia elektromagnetyczna doprowadzona do urządzenia,
- Q_w – energia elektromagnetyczna, występująca poza głównym torem elektromagnetycznym urządzenia, używana przez podające lub dosuwające układy napędowe, układy oświetleniowe oraz układy regulacji, sterowania i sygnalizacji,
- Q_e – energia w głównym torze elektromagnetycznym urządzenia elektrotermicznego, przeznaczona – po ewentualnych dalszych przemianach – na procesy grzejne,
- Q_{sc} – energia strat elektromagnetycznych w głównym torze elektromagnetycznym urządzenia, składająca się z monochromatycznej energii elektromagnetycznej wypromieniowanej z urządzenia i z energii cieplnej strat elektrycznych oddawanych do otoczenia (straty np. w przewodach, transformatorach, półprzewodnikach, lampach, dławikach, kondensatorach itp.),
- $Q_{de} = Q_g$ – energia elektromagnetyczna doprowadzona do przetwornika elektrotermicznego i zamieniona w nim na energię cieplną (grzejną),
- Q_{sc} – energia strat cieplnych – będąca częścią energii cieplnej Q_g – oddawana do otoczenia z różnych części toru cieplnego urządzenia i ze wsadu,
- Q_a – energia cieplna akumulacyjna – będąca częścią energii cieplnej Q_g – zakumulowana w różnych częściach toru cieplnego urządzenia z wyjątkiem wsadu,
- Q_u – energia cieplna użyteczna, powodująca wzrost energii wewnętrznej wsadu (np. nagrzewanie, topienie, parowanie wsadu).

Uwaga. Energia Q_a może mieć charakter energii traconej (np. akumulowanie ciepła w ogniotrwałych i termoizolacyjnych obudowach komór grzewczych) lub – wraz z energią Q_{sc} – charakter energii użytecznej (np. ogrzewanie pomieszczenia za pomocą pieca akumulacyjnego).

Przedstawiony powyżej wykres rozplywu energii w urządzeniu elektrotermicznym pozwala określić poszczególne rodzaje jego sprawności, wśród których wyróżnia się:

– sprawność elektryczną (η_e):

$$\eta_e = \frac{Q_{de}}{Q_e} = 1 - \frac{Q_{se}}{Q_e} \quad (9.1)$$

– sprawność cieplną (η_t):

$$\eta_t = \frac{Q_u}{Q_g} = 1 - \frac{Q_{sc}}{Q_g} - \frac{Q_a}{Q_g} \quad (9.2)$$

– sprawność elektrotermiczną (η_{et}):

$$\eta_{et} = \frac{Q_u}{Q_e} = \frac{Q_u}{Q_g} \cdot \frac{Q_{de}}{Q_e} = \eta_t \cdot \eta_e \quad (9.3)$$

– sprawność całkowitą (η):

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{ce}} \quad (9.4)$$

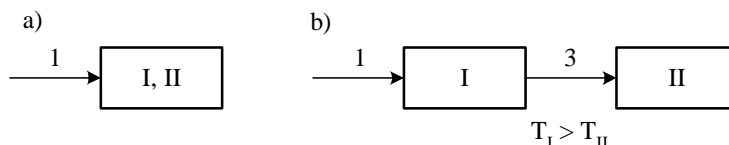
Sprawność elektrotermiczna η_{et} (lub całkowita η) jest jednym z podstawowych parametrów eksploatacyjnych charakteryzujących pracę urządzenia elektrotermicznego. Na wartość η_{et} składa się iloczyn wartości sprawności elektrycznej η_e i cieplnej η_t urządzenia (zob. (9.3)).

Wśród różnych urządzeń elektrotermicznych, o wartościach η_{et} zawierających się w granicach od części procenta do ok. 100%, występują takie, dla których wartości η_e i η_t mogą być albo zbliżone, albo skrajnie różne. Szczegółowa analiza pracy urządzenia elektrotermicznego o skomplikowanej budowie wymaga rozłożenia sprawności elektrycznej η_e i cieplnej η_t na sprawności cząstkowe.

W elektrotermii bytowej, traktującej o wykorzystywaniu energii elektromagnetycznej do nagrzewania różnych obiektów (wsadów) występujących w domach mieszkalnych (w gospodarstwach domowych), jednym z najczęściej nagrzewanych elektrycznie wsadów jest woda (lub substancje o dużej procentowej zawartości wody). Wodę w warunkach domowych można nagrzewać elektrycznie stosując:

- różne urządzenia nagrzewania oporowego pośredniego (np. oporowe czajniki elektryczne, oporowe płyty grzejne różnego typu nagrzewające wodę znajdującą się w naczyniach metalowych),
- urządzenia nagrzewania elektrodowego bezpośredniego, w których jonowy prąd przewodzenia przepływa przez nagrzewaną wodę, wypełniającą naczynia elektrycznie nie przewodzące (dielektryki),
- wnekowe nagrzewnice mikrofalowe do bezpośredniego nagrzewania wody znajdującej się w naczyniach elektrycznie nie przewodzących (w dielektrykach),
- urządzenia nagrzewania indukcyjnego pośredniego (płyty indukcyjne) do nagrzewania wody znajdującej się w naczyniach metalowych lub w naczyniach z metalowym dnem, w których źródłem ciepła są wirowe prądy przewodzenia płynące w metalowych częściach naczyń.

W ww. sposobach nagrzewania bezpośredniego wsadu (woda) jest zarazem przetwornikiem elektrotermicznym, w którym jednoczęstotliwościowa (50Hz w przypadku nagrzewania elektrodowego i około 2,45GHz w przypadku nagrzewania mikrofalowego) energia elektromagnetyczna jest zamieniana na energię cieplną w całej objętości wsadu (nagrzewania objętościowe) na skutek przepływu jonowych prądów przewodzenia (nagrzewanie elektrodowe) i prądów polaryzacji (przesunięcia) (metoda mikrofalowa) (rys. 9.2a)).



Rys. 9.2. Sposoby nagrzewania wsadów: a) bezpośredni; b) pośredni. 1 – monochromatyczna energia elektromagnetyczna, 3 – ciepło, I – przetwornik elektrotermiczny II – wsad (woda)

Natomiast w ww. sposobach nagrzewania pośredniego jednoczęstotliwościowa (50Hz w przypadku nagrzewania oporowego i około 20kHz w przypadku nagrzewania indukcyjnego) energia elektromagnetyczna jest zamieniana w przetworniku elektrotermicznym (w przewodzie grzejnym w przypadku nagrzewania oporowego i w dnie metalowego naczynia w przypadku nagrzewania indukcyjnego) na energię cieplną na skutek



przepływu (prostoliniowych) elektronowych prądów przewodzenia (nagrzewanie oporowe) i wirowych elektronowych prądów przewodzenia (metoda indukcyjna). Ciepło z przetwornika elektrotermicznego do wsadu (wody) jest transportowane na różnych drogach termokinetycznych (przewodzenie, konwekcja, radiacja), a do wnętrza wsadu jest transportowane poprzez jego powierzchnię (nagrzewanie powierzchniowe) (rys. 9.2b)).

Sprawności elektryczne (η_e) urządzeń oporowych pośrednich i elektrodowych bezpośrednich, zasilanych bezpośrednio z sieci o częstotliwości 50Hz i napięciu 220V lub 380V, są, ze względu na minimalne straty elektromagnetyczne (w tym straty ciepłne) w przewodach łączących sieć z przetwornikiem elektrotermicznym, bardzo wysokie (zbliżone do 1). Natomiast sprawności elektryczne urządzeń mikrofalowych i indukcyjnych – ze względu na stosunkowo duże straty elektromagnetyczne (w tym straty ciepłne) powstające w różnych tych częściach ich toru elektrycznego, które służą do amplitudowo-częstotliwościowej przemiany ww. standardowych elektrycznych wielkości sieciowych – mogą być dużo mniejsze od 1.

W torze grzejnym wszystkich pracujących ww. urządzeń występują, oprócz ciepła użytecznego (Q_u) zakumulowanego we wsadzie (w wodzie), straty ciepłne (Q_{sc}) i straty akumulacyjne (Q_a) (zob. rys. 9.1).

W miarę upływu czasu nagrzewania τ następuje wzrost temperatury początkowej t_p – ponad temperaturę otoczenia t_o – wszystkich części (np.: przetwornika elektrotermicznego, wsadu, materiałów ciepłnie izolujących) znajdujących się w torze grzejnym urządzenia, a więc zaczyna się proces akumulowania w nich ciepła i oddawania ciepła do otoczenia ze wszystkich ich zewnętrznych powierzchni S. Gdyby założyć, że:

– wsad (woda) o masie m_w i ciepłe właściwym c_{ww} (w kJ/kg-deg) nagrzał się w całej objętości od temperatury $t_p=t_{pw}$ do temperatury $t_k=t_{kw}$,

– z wyjątkiem wsadu wszystkie nagrzewane n części toru grzejnego o masach m_i i ciepłach właściwych c_{wi} , a w tym ich zewnętrzne powierzchnie S, nagrzewały się w identyczny sposób i osiągnęły temperaturę końcową równą t_k ,

– odpowiednio uśrednione (dla czasu nagrzewania τ i temperatur t_p i t_k) ich temperatury były równe t_1 ,

– temperatura otoczenia t_o była niezmienna w czasie nagrzewania i jednakowa dla wszystkich rodzajów (gazów, ciał stałych) ciał materialnych otaczających powierzchnie S,

– istnieje pewien uśredniony (dla czasu nagrzewania τ , temperatur t_p i t_k , rodzajów ośrodków i ich usytuowania względem powierzchni S) całkowity współczynnik α wymiany ciepła z otoczeniem,

to ciepło użyteczne (Q_u), straty akumulacyjne (Q_a) i straty ciepłne (Q_{sc}) (oddawane z nagrzewanego wsadu i wszystkich pozostałych nagrzewających się części toru grzejnego) można opisać przybliżonymi wzorami:

$$Q_u = \int_0^{\tau} P_u(\tau) d\tau = P_{usr} \tau = \frac{m_w c_{ww} (t_{kw} - t_{pw})}{\tau} \tau = m_w c_{ww} (t_{kw} - t_{pw}) \quad (9.5)$$

$$Q_a = \sum_{i=1}^n Q_{ai} = \sum_{i=1}^n m_i c_{wi} (t_k - t_p) \quad (9.6)$$

$$Q_{sc} = \alpha S (t_1 - t_o) \tau = \int_0^{\tau} P_{sc}(\tau) d\tau = P_{scsr} \tau \quad (9.7)$$

gdzie $P_{sc}(\tau)$ i P_{scsr} oraz $P_u(\tau)$ i P_{usr} są odpowiednio chwilowymi i uśrednionymi w czasie nagrzewania: mocami strat ciepłnych oraz mocami użytecznymi (akumulowanymi we wsadzie).

W rzeczywistości:

– różne objętości czy powierzchnie każdej z różnych części toru grzejnego nagrzewają się w odmienny sposób (tzn. t_1 jest funkcją czasu i miejsca) osiągając różniące się wartości temperatury końcowej t_k ,

– temperatury t_o różnych części (np. powietrza, ciał stałych) otaczających różne części toru grzejnego są różne i różnie zmienne w czasie nagrzewania,

– całkowity współczynnik α wymiany ciepła z otoczeniem – mogącej odbywać się na różnych drogach wymiany ciepła (konwekcja, kondukcja, radiacja) – jest co do wartości zmienny w czasie i różny dla każdej z części toru grzejnego.

Wartość całkowitej energii elektrycznej Q_{ce} pobranej z sieci w czasie τ nagrzewania wsadu (wody) wyniesie:

$$Q_{ce} = \int_0^{\tau} P_{ce}(\tau) d\tau = P_{cesr} \tau \quad (9.8)$$

gdzie $P_{ce}(\tau)$ i P_{cesr} są odpowiednio chwilową i uśrednioną w czasie nagrzewania czynną mocą elektryczną pobieraną z sieci.

Nagrzanie wody o masie $m_{ww}=\text{const}$ w zakresie temperatury $t_{kw}-t_{pw}=\text{const}$ wymaga zaabsorbowania przez wodę energii użytecznej w ilości $Q_u=\text{const}$, a więc absorbowania w procesie jej nagrzewania w czasie τ mocy użytecznej o średniej wartości $P_{u\text{sr}}$ (zob. (9.5)), pochodzącej w części (określonej przez wartość sprawności η) z pobieranej w czasie τ mocy elektrycznej o średniej wartości $P_{ce\text{sr}}$ (zob. (9.8)). Chęć skrócenia czasu τ nagrzewania wody wymaga więc proporcjonalnego (w przybliżeniu) zwiększenia wartości mocy użytecznej $P_{u\text{sr}}$ jak i wartości pobieranej z sieci czynnej mocy elektrycznej $P_{ce\text{sr}}$. Ze względu na ograniczoną obciążalność prądową domowej instalacji elektrycznej rzadko produkuje się (i eksploatuje) pojedyncze urządzenia odbiorcze o mocy znamionowej wyższej niż około 2kW, co limituje, w zależności zarówno od ilości wody nagrzewanej w danym urządzeniu elektrotermicznym jak i wartości sprawności całkowitej η urządzenia, możliwe do uzyskania minimalne wartości czasów jej nagrzewania.

Różne urządzenia elektrotermiczne, a w tym i urządzenia elektrotermiczne służące przygotowywaniu potraw, użytkuje się zwykle w jednym z trzech następujących cykli pracy:

- w cyklu pracy dorywczej (okresowej), w którym wsad nagrzewa się do temperatury t_{kw} , a czas przerwy pomiędzy nagrzewaniem kolejnych wsadów jest na tyle długi, że wartości temperatury różnych części toru grzejnego maleją znacznie, zbliżając się nawet (przy dostatecznie długim czasie przerwy) do wartości temperatury otoczenia t_o ,
- w cyklu pracy przerywanej, w którym wartości temperatury różnych części toru grzejnego maleją nieznacznie, a kolejne wsady (np. wodę w naczyniach metalowych lub niemetalowych) nagrzewa się raz za razem do temperatury t_{kw} ,
- w cyklu pracy ciągłej, w którym wsad nagrzewa się możliwie szybko (możliwie największą mocą $P_{ce\text{sr}}$ pobieraną z sieci (zob. (9.8)) do temperatury t_{kw} , którą następnie utrzymuje się przez długi czas na niezmiennym poziomie poprzez obniżenie (regulację) wartości mocy $P_{ce\text{sr}}$ do wartości równej (niewiele wyższej od) wartości mocy strat ciepłych $P_{sc\text{sr}}$ (nagrzewnica oporowa i elektrodowa) lub sumy wartości mocy $P_{ce\text{sr}}+P_{se}$ (nagrzewnica mikrofalowa i indukcyjna) (zob. (9.7)).

Uwaga. W cyklu pracy ciągłej, gdy temperatura t_{kw} wsadu (o cieple parowania (wrzenia) równym c_p (w kJ/kg)) jest równa jego temperaturze wrzenia t_{wrz} , stała wartość temperatury $t_{kw}=t_{wrz}$ będzie utrzymywana automatycznie, niezależnie od nadmiaru mocy $P_{ce\text{sr}}$ ponad moc $P_{sc\text{sr}}$ (nagrzewnica oporowa i elektrodowa) lub sumę mocy $P_{ce\text{sr}}+P_{se}$ (nagrzewnica mikrofalowa i indukcyjna). Nadmiar ten będzie równy mocy P_{wrz} zużytej w czasie τ na proces parowania (wrzenia) w ilości $P_{wrz}=P_{ce\text{sr}}-P_{sc\text{sr}}=m_w c_p / \tau$.

Sensowność porównywania wartości sprawności całkowitej nagrzewania wody z wykorzystaniem różnych metod jej elektrotermicznego nagrzewania wymaga, aby nagrzewana każdorazowo woda:

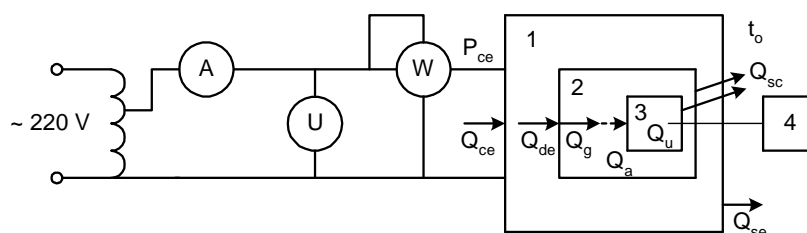
- posiadała podobną masę,
- nagrzewana była w podobnym zakresie wartości temperatury,
- porównywane urządzenia nagrzewające wodę posiadały podobne co do wartości moce znamionowe (równie np. około 1kW).

9.3. Program ćwiczenia

W ćwiczeniu należy zmierzyć moc elektryczną P_{ce} pobieraną z sieci przez urządzenia grzejne i określić jej wartość średnią ($P_{ce\text{sr}}$) w czasie τ nagrzewania, czasy włączenia i wyłączenia urządzeń (czasy τ nagrzewania wody), temperatury t_w wody przed nagrzewaniem (t_{wp}) i po nagrzewaniu (t_{wk}), masę m_w wody. Wodę o masie m_w równej około 0,4kg należy nagrzewać od temperatury (t_{wp}) równej około 20°C do temperatury (t_{wk}) równej około 100°C. W obliczeniach przyjmować wartość ciepła właściwego wody równą $c_{ww}=4,19$ kJ/(kg-deg).

9.4. Przebieg ćwiczenia

9.4.1. Zbudować układ zasilający badane urządzenia zgodnie z rysunkiem 9.3.



Rys. 9.3. . Układ pomiarowy: 1 – tor elektryczny urządzenia, 2 – tor cieplny urządzenia, 3 – wsad (woda), 4 – miernik temperatury wody, Q – energie (zob. rys. 9.1)



9.4.2. Oporowy czajnik bezprzewodowego

Określić masę m_w zimnej wody o objętości 2 szklanek i wlać ją do czajnika. Zmierzyć temperaturę t_{pw} wody. Zasilic czajnik napięciem 220V i nagrzac wodę do temperatury t_{kw} równej temperaturze wrzenia, mierząc czas τ nagrzewania i średnią wartość mocy $P_{ce\dot{s}r}$ pobieranej z sieci. Wylizyć wartość ciepła użytecznego Q_u (zob. (9.5)) i całkowitej energii elektrycznej Q_{ce} (zob. (9.8)) oraz sprawność całkowitą η nagrzewania wody dla cyklu pracy dorywczej (zob. (9.4)).

Określić masę m_w i zmierzyc temperaturę t_{pw} zimnej wody o objętości 2 szklanek. Wodę wlać do uprzednio używanego ciepłego czajnika. Zasilic czajnik napięciem 220V i nagrzac wodę do temperatury t_{kw} równej temperaturze wrzenia, mierząc czas τ nagrzewania i średnią wartość mocy $P_{ce\dot{s}r}$ pobieranej z sieci. Wylizyć wartość ciepła użytecznego Q_u (zob. (9.5)) i całkowitej energii elektrycznej Q_{ce} (zob. (9.8)) oraz sprawność całkowitą η nagrzewania wody dla cyklu pracy przerywanej (zob. (9.4)).

Zasilic czajnik takim napięciem, aby temperatura wody w czajniku utrzymywala się na poziomie zbliżonym do jej temperatury wrzenia t_{wz} . Odczytac wartość mocy $P_{ce\dot{s}r}$ równą – przy założeniu, że $P_{se} \approx 0$ – wartości mocy strat cieplnych $P_{sc\dot{s}r}$ czajnika w stanie cieplnie ustalonym (dla temperatury wody równej t_{wz}).

9.4.3. Oporowa metalowa płyta grzejna

Określić masę m_w zimnej wody o objętości 2 szklanek i wlać ją do zimnego metalowego garnka. Zmierzyć temperaturę t_{pw} wody. Postawic garnek na zimnej metalowej płycie grzejnej – o pokrętle regulacji mocy nastawionym na wartość maksymalną – i regulując wartość napięcia zasilić ją mocą P_{ce} równą około 1kW. Nagrzac wodę do temperatury t_{kw} równej temperaturze wrzenia, mierząc czas τ nagrzewania i wartość mocy $P_{ce\dot{s}r}$ pobieranej z sieci. Wylizyć wartość ciepła użytecznego Q_u (zob. (9.5)) i całkowitej energii elektrycznej Q_{ce} (zob. (9.8)) oraz sprawność całkowitą η nagrzewania wody dla cyklu pracy dorywczej (zob. (9.4)).

Określić masę m_w i zmierzyc temperaturę t_{pw} zimnej wody o objętości 2 szklanek. Wodę wlać do ciepłego garnka postawionego na uprzednio rozgrzanej metalowej płycie grzejnej – o pokrętle regulacji mocy nastawionym na wartość maksymalną – i regulując wartość napięcia zasilić ją mocą P_{ce} równą około 1kW. Nagrzac wodę do temperatury t_{kw} równej temperaturze wrzenia, mierząc czas τ nagrzewania i wartość mocy $P_{ce\dot{s}r}$ pobieranej z sieci. Wylizyć wartość ciepła użytecznego Q_u (zob. (9.5)) i całkowitej energii elektrycznej Q_{ce} (zob. (9.8)) oraz sprawność całkowitą η nagrzewania wody dla cyklu pracy przerywanej (zob. (9.4)).

Zasilic płytę takim napięciem, aby temperatura wody w czajniku utrzymywala się na poziomie zbliżonym do jej temperatury wrzenia t_{wz} . Odczytac wartość mocy $P_{ce\dot{s}r}$ równą – przy założeniu, że $P_{se} \approx 0$ – wartości mocy strat cieplnych $P_{sc\dot{s}r}$ czajnika w stanie cieplnie ustalonym (dla temperatury wody równej t_{wz}).

Zapoznac się ze sposobami regulacji wartości temperatury wsadu oraz wartości średniej mocy grzejnej dostarczanej do wsadu.

9.4.4. Oporowa ceramiczna płyta grzejna

Określić masę m_w zimnej wody o objętości 2 szklanek i wlać ją do zimnego metalowego garnka. Zmierzyć temperaturę t_{pw} wody. Postawic garnek na zimnej ceramicznej płycie grzejnej – o pokrętle regulacji mocy nastawionym na wartość maksymalną – i regulując wartość napięcia zasilić ją mocą P_{ce} równą około 1kW. Nagrzac wodę do temperatury t_{kw} równej temperaturze wrzenia, mierząc czas τ nagrzewania i wartość mocy $P_{ce\dot{s}r}$ pobieranej z sieci. Wylizyć wartość ciepła użytecznego Q_u (zob. (9.5)) i całkowitej energii elektrycznej Q_{ce} (zob. (9.8)) oraz sprawność całkowitą η nagrzewania wody dla cyklu pracy dorywczej (zob. (9.4)).

Określić masę m_w i zmierzyc temperaturę t_{pw} zimnej wody o objętości 2 szklanek. Wodę wlać do ciepłego garnka postawionego na uprzednio rozgrzanej ceramicznej płycie grzejnej – o pokrętle regulacji mocy nastawionym na wartość maksymalną – i regulując wartość napięcia zasilić ją mocą P_{ce} równą około 1kW. Nagrzac wodę do temperatury t_{kw} równej temperaturze wrzenia, mierząc czas τ nagrzewania i wartość mocy $P_{ce\dot{s}r}$ pobieranej z sieci. Wylizyć wartość ciepła użytecznego Q_u (zob. (9.5)) i całkowitej energii elektrycznej Q_{ce} (zob. (9.8)) oraz sprawność całkowitą η nagrzewania wody dla cyklu pracy przerywanej (zob. (9.4)).

Zasilic płytę takim napięciem, aby temperatura wody w czajniku utrzymywala się na poziomie zbliżonym do jej temperatury wrzenia t_{wz} . Odczytac wartość mocy $P_{ce\dot{s}r}$ równą – przy założeniu, że $P_{se} \approx 0$ – wartości mocy strat cieplnych $P_{sc\dot{s}r}$ czajnika w stanie cieplnie ustalonym (dla temperatury wody równej t_{wz}).

Zapoznac się ze sposobami regulacji wartości temperatury wsadu oraz wartości średniej mocy grzejnej dostarczanej do wsadu.

9.4.5. Czajnik elektrodowy

Określić masę m_w zimnej wody o objętości 2 szklanek i wlać ją do czajnika elektrodowego. Zmierzyć temperaturę t_{pw} wody. Zasilac czajnik ciągle regulowanym napięciem o takiej wartości, aby moc pobierana z sieci wynosiła około 1kW. Nagrzac wodę do temperatury t_{kw} równej temperaturze wrzenia, mierząc czas τ nagrzewania i średnią wartość mocy $P_{ce\dot{s}r}$ pobieranej z sieci. Wylizyć wartość ciepła użytecznego Q_u (zob. (9.5)) i całkowitej energii elektrycznej Q_{ce} (zob. (9.8)) oraz sprawność całkowitą η nagrzewania wody (zob. (9.4)).

Zasilić czajnik takim napięciem, aby temperatura wody w czajniku utrzymywała się na poziomie zbliżonym do jej temperatury wrzenia t_{wrz} . Odczytać wartość mocy $P_{ceśr}$ równą – przy założeniu, że $P_{se} \approx 0$ – wartości mocy strat ciepłych $P_{scśr}$ czajnika w stanie cieplnie ustalonym (dla temperatury wody równej t_{wrz}).

9.4.6. Wnękowa nagrzewnica mikrofalowa

Określić masę m_w i zmierzyć temperaturę t_{pw} zimnej wody o objętości wypełniającej 2 szklanki. Postawić szklanki na talerzu obrotowym znajdującym się we wnęce rezonansowej nagrzewnicy. Nastawić pokrętkę nastawy mocy grzejnej nagrzewnicy na wartość maksymalną. Zasilić nagrzewnicę napięciem 220V i nagrząć wodę do temperatury t_{kw} równej temperaturze wrzenia, mierząc czas τ nagrzewania i średnią wartość mocy $P_{ceśr}$ pobieranej z sieci. Wyliczyć wartość ciepła użytecznego Q_u (zob. (9.5)) i całkowitej energii elektrycznej Q_{ce} (zob. (9.8)) oraz sprawność całkowitą η nagrzewania wody (zob. (9.4)).

Zapoznać się ze sposobem regulacji wartości średniej mocy grzejnej nagrzewnicy mikrofalowej.

9.4.7. Indukcyjna płyta grzejna

Określić masę m_w zimnej wody o objętości 2 szklanek i wlać ją do zimnego metalowego garnka. Zmierzyć temperaturę t_{pw} wody. Postawić garnek na zimnej płycie indukcyjnej i – regulując autotransformatorem wartość napięcia oraz przyciskiem wartość skokowo nastawianej mocy – zasilić ją mocą P_{ce} równą około 1kW. Nagrząć wodę do temperatury t_{kw} równej temperaturze wrzenia, mierząc czas τ nagrzewania i wartość mocy $P_{ceśr}$ pobieranej z sieci. Wyliczyć wartość ciepła użytecznego Q_u (zob. (9.5)) i całkowitej energii elektrycznej Q_{ce} (zob. (9.8)) oraz sprawność całkowitą η nagrzewania wody dla cyklu pracy dorywczej (zob. (9.4)).

Określić masę m_w i zmierzyć temperaturę t_{pw} zimnej wody o objętości 2 szklanek. Wodę wlać do ciepłego garnka postawionego na uprzednio używanej płycie indukcyjnej i – regulując autotransformatorem wartość napięcia oraz przyciskiem wartość skokowo nastawianej mocy – zasilić ją mocą P_{ce} równą około 1kW. Nagrząć wodę do temperatury t_{kw} równej temperaturze wrzenia, mierząc czas τ nagrzewania i wartość mocy $P_{ceśr}$ pobieranej z sieci. Wyliczyć wartość ciepła użytecznego Q_u (zob. (9.5)) i całkowitej energii elektrycznej Q_{ce} (zob. (9.8)) oraz sprawność całkowitą η nagrzewania wody dla cyklu pracy przerywanej (zob. (9.4)).

Zapoznać się ze sposobami regulacji wartości temperatury wsadu oraz wartości średniej mocy grzejnej dostarczanej do wsadu.

9.5. Zawartość sprawozdania

- schemat oraz zwięzły opis badanych układów,
- zestawienie wszystkich pomiarów i obliczeń,
- analiza uzyskanych wyników,
- ocena badanych układów.

9.6. Tablica wyników pomiarów i obliczeń

Urządzenie	Rodzaj pracy	m_w [kg]	t_{pw} [$^{\circ}$ C]	t_{kw} [$^{\circ}$ C]	$P_{ceśr}$ [kW]	τ [s]	Q_u [kJ]	Q_{ce} [kJ]	η	$P_{scśr}$ [kW]
Czajnik bezprzewodowy	Dorywcza									
	Przerywana									
Oporowa metalowa płyta grzejna	Dorywcza									
	Przerywana									
Oporowa ceramiczna płyta grzejna	Dorywcza									
	Przerywana									
Czajnik elektrodowy	Dorywcza									
Nagrzewnica mikrofalowa	Dorywcza									–
Indukcyjna płyta grzejna	Dorywcza									–
	Przerywana									–

Literatura

1. Hauser J.: Elektrotechnika. Podstawy elektrotermii i techniki świetlnej. Wyd. Pol. Poznańskiej, 2006.
2. Hering M.: Podstawy elektrotermii. Cz. 1. WNT, Warszawa 1992.
3. Hering M.: Podstawy elektrotermii. Cz. 2. WNT, Warszawa 1998.