

R o z d z i a ł 9

PRĄD ELEKTRYCZNY

9.1. Natężenie prądu elektrycznego

Przez przepływ prądu elektrycznego rozumiemy ruch ładunków elektrycznych. Czynnikiem wywołującym ten ruch jest istnienie napięcia, czyli różnicy potencjałów.

W każdym zamkniętym obwodzie prądu można wyróżnić źródło (czyli tzw. część wewnętrzną obwodu) wytwarzające różnicę potencjałów między dwoma biegunami, dodatnim i ujemnym, oraz odbiorniki prądu (czyli tzw. część zewnętrzną obwodu, utworzoną z przewodników elektryczności).

Zgodnie z tradycją, za kierunki prądu w obwodzie zewnętrznym przyjmuje się kierunek od potencjału wyższego – dodatniego, do niższego – ujemnego, czyli za umowny kierunek prądu przyjmuje się kierunek ruchu ładunków dodatnich.

W czasie przepływu prądu przez przewodniki metalowe mamy do czynienia z ruchem swobodnych elektronów, a więc nośników prądu poruszających się od potencjału niższego do wyższego, czyli w kierunku przeciwnym do umownie przyjętego. W elektrolitach wchodzących w skład zewnętrznej części obwodu mamy do czynienia z ruchem jonów dodatnich (tzw. kationów) do elektrody ujemnej (katody) i jonów ujemnych (tzw. anionów) do elektrody dodatniej (anody). W tym przypadku mówimy o prądzie jonowym. W półprzewodnikach może występować przewodnictwo elektronowe oraz dziurowe. W gazach występuje zarówno przewodnictwo jonowe, jak i elektronowe.

Przez natężenie prądu elektrycznego (zwanego też krótko prądem elektrycznym) rozumiemy stosunek ładunku przepływającego przez poprzeczny przekrój przewodnika do czasu przepływu:

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (9.1)$$

gdzie I oznacza natężenie prądu elektrycznego, Q – ładunek elektryczny, t – czas przepływu. W przypadku prądu stałego, tj. prądu płynącego w jednym kierunku, gdy jego natężenie jest stałe w czasie

$$I = \frac{Q}{t} \quad (9.2)$$

Jednostką natężenia prądu elektrycznego jest amper [A]. Jest to jedna z podstawowych jednostek układu SI, której definicję podaliśmy już dwukrotnie w rozdziałach 1 i 8. Z równania (9.2) wynika pośrednio definicja jednostki ładunku elektrycznego, czyli kulomba [C], o czym mówiliśmy w rozdziale 7. Tutaj dla przypomnienia podamy, że 1 kulomb jest to ładunek elektryczny przenoszony przez prąd o natężeniu 1 ampera w czasie 1 sekundy czyli:

$$[C] = [A] \cdot [s]$$

O źródłach prądu stałego – ogniwach, akumulatorach, prądnicach itp. – nie będziemy tu szerzej mówili, gdyż zasada ich budowy i działania znana jest z kursu szkoły średniej. Podkreślimy tylko, że wielkością fizyczną, charakteryzującą źródło prądu, jest jego siła elektromotoryczna (skrót SEM). SEM jest to różnica potencjałów panująca na biegunach źródła otwartego, tj. takiego, z którego nie czerpiemy prądu. Po zamknięciu obwodu – kosztem SEM powstaje spadek potencjału wzdłuż obwodu zewnętrznego i spadek potencjału wewnątrz źródła między jego biegunami.

9.2. Prawo Ohma

Prawo Ohma, sformułowane w roku 1827 w oparciu o doświadczenia, mówi o prostej proporcjonalności prądu I płynącego przez przewodnik do napięcia U przyłożonego na jego końcach.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{V_1 - V_2}{R} \quad (9.3)$$

a więc

$$R = \frac{U}{I} \quad (9.4)$$

gdzie R oznacza współczynnik proporcjonalności zwany oporem elektrycznym przewodnika. Równanie (9.4) przedstawia matematyczny zapis prawa Ohma.

Prawo Ohma mówi, że stosunek napięcia U między dwoma punktami przewodnika do natężenia I przepływającego przez prąd jest wielkością stałą (R) i nie zależy ani od napięcia U, ani od natężenia I prądu.

Opór elektryczny R (zwany też rezystancją) wyrażany jest w omach [Ω].

Opór przewodnika R równa się 1 omowi, jeżeli niezmiennie napięcie U równe 1 woltowi istniejące na końcach przewodnika wywołuje w nim prąd I o natężeniu 1 ampera:

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

W praktyce najczęściej stosujemy:

$$\begin{array}{llll} \text{kiloom} & k\Omega = 10^3 \Omega & \text{miliom} & m\Omega = 10^{-3} \Omega \\ \text{megaom} & M\Omega = 10^6 \Omega & \text{mikroom} & \mu\Omega = 10^{-6} \Omega \end{array}$$

Odwrotność oporu elektrycznego przewodnika nosi nazwę przewodności elektrycznej (lub konduktancji). Jednostką przewodności jest siemens $[S]$.

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

Opór właściwy i przewodnictwo właściwe.

Opór danego przewodnika zależy od jego wymiarów; jest on wprost proporcjonalny do jego długości l i odwrotnie proporcjonalny do przekroju poprzecznego S przewodnika

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (9.5)$$

Współczynnik ρ nosi nazwę oporu właściwego; charakteryzuje on elektryczne własności materiału.

Ze wzoru (9.5) wynika, że jednostką oporu właściwego jest $[\Omega \cdot m]$.

W tabelicy 9.1 podano opory właściwe różnych ciał. Z tabelicy tej wynika, że opór właściwy różnych ciał zawiera się w bardzo szerokim przedziale.

Tabela 9.1.

Opory właściwe różnych ciał a temperaturze pokojowej

Ciało	Opór właściwy [$\Omega \cdot m$]	Ciało	Opór właściwy [$\Omega \cdot m$]
Srebro	$1,6 \cdot 10^{-8}$	5% roztwór wodny $CuSO_4$	$5,3 \cdot 10^{-1}$
Miedź	$1,7 \cdot 10^{-8}$	Alkohol etylowy	$3,0 \cdot 10^3$
Wolfram	$5,5 \cdot 10^{-8}$	Woda destylowana	$5,0 \cdot 10^3$
Glin	$2,7 \cdot 10^{-8}$	Cement	$4,5 \cdot 10^5$
Gal	$5,3 \cdot 10^{-7}$	Guma	$3,0 \cdot 10^{10}$
Krzem	$3,8 \cdot 10^{-7}$	Szkło	$2,0 \cdot 10^{11}$
Arsen	$3,5 \cdot 10^{-7}$	Mika	$2,0 \cdot 10^{15}$
Węgiel	$4,1 \cdot 10^{-5}$	Kwarc topiony	$5,0 \cdot 10^{16}$

Ze względu na opór właściwy ciała dzieli się umownie na następujące grupy: metale, będące bardzo dobrymi przewodnikami (opór właściwy ρ rzędu $10^{-8} \Omega \cdot m$), półprzewodniki (ρ rzędu $10^{-6} \Omega \cdot m$), elektrolity (ρ rzędu $10^{-1} \Omega \cdot m$) oraz izolatory (ρ rzędu $10^{10} \Omega \cdot m$).

Odwrotność oporu właściwego przewodnika nosi nazwę przewodności elektrycznej właściwej (lub konduktywności):

$$\sigma = \frac{1}{\rho}.$$

Jednostką konduktywności jest siemens na metr [S/m].

Uwzględniając (9.5), wzór Ohma (9.4) możemy zapisać w postaci:

$$\rho \frac{l}{S} = \frac{U}{I}$$

stąd

$$\frac{I}{S} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{U}{l}$$

Ale na mocy (7.32) $U/l = E$ (natężenie pola elektrycznego wewnątrz przewodnika), zaś $\frac{I}{S}$

(jak pamiętamy – rozdział 8) nazywamy gęstością prądu i oznaczamy symbolem j .

Uwzględniając powyższe otrzymujemy:

$$j = \sigma E \quad (9.6)$$

Wzór (9.6) wyrażający lokalną proporcjonalność gęstości prądu j od natężenia pola elektrycznego E przedstawia różniczkową postać prawa Ohma.

Prawo Ohma jest ściśle słuszne tylko wtedy, jeśli dany przewodnik znajduje się w stałej temperaturze. Ponieważ przepływający prąd wydziela w przewodniku ciepło, temperatura jego wzrasta i opór zmienia się. O fakcie tym należy pamiętać stosując prawo Ohma.

Zależność oporu od temperatury dla przewodnika wyraża się w przybliżeniu wzorem:

$$R = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)] \quad (9.7)$$

gdzie R_0 – opór w temperaturze odniesienia T_0 (zwykle 273 K), zaś α – tzw. temperaturowy współczynnik oporu. W tabeli 9.2 zebrano wartości liczbowe temperaturowych współczynników oporu elektrycznego α dla kilku szerzej stosowanych przewodników elektrycznych.

Tabela 9.2.

Temperaturowe współczynniki oporu elektrycznego

Rodzaj materiału	Współczynnik temperaturowy oporu [1/K]	Rodzaj materiału	Współczynnik temperaturowy oporu [1/K]
Srebro	$3,6 \cdot 10^{-3}$	Manganin	$0,01 \cdot 10^{-3}$
Miedź	$3,9 \cdot 10^{-3}$	Konstantan	$0,005 \cdot 10^{-3}$
Glin	$4,0 \cdot 10^{-3}$	Rtęć	$0,9 \cdot 10^{-3}$
Cynk	$3,8 \cdot 10^{-3}$	Wolfram	$4,1 \cdot 10^{-3}$
Żelazo	$4,5 \cdot 10^{-3}$	Węgiel	$0,8 \cdot 10^{-3}$

Również napięcie może mieć wpływ na opór. Jeżeli napięcie, a właściwie natężenie pola elektrycznego, będzie zbyt duże może spowodować przebicie w izolatorze lub półprzewodniku wskutek czego opór elektryczny gwałtownie maleje. W przewodnikach obserwuje się odstępstwa od prawa Ohma przy bardzo wielkich gęstościach prądu. Wreszcie należy wspomnieć o tym, że współczesna elektronika szeroko wykorzystuje elementy, które nie spełniają prawa Ohma. Należą tu rozmaitego typu diody, tranzystory, termistory, tyrystory itp. Badania oporu elektrycznego różnych ciał prowadzą do wniosku, że:

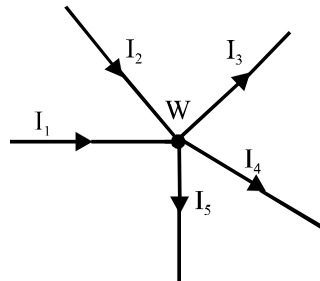
Prawo Ohma stosuje się do wszystkich ciał jednorodnych i izotropowych przy niewielkich napięciach i natężeniach prądu.

9.3. Prawa Kirchhoffa

Prawa Kirchhoffa zostały sformułowane w 1847 roku.

9.3.1. Pierwsze prawo Kirchhoffa.

Pierwsze prawo Kirchhoffa mówi, że w dowolnym punkcie W obwodu (w węźle) suma algebraiczna natężeń prądów stałych dopływających i odpływających do węzła równa się zero.



Rys.9.1. Pierwsze prawo Kirchhoffa dla węzła W ma postać:

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

Natężenie prądów dopływających do węzła uważamy za dodatnie, natężenie prądów odpływających za ujemne. Innymi słowy, w żadnym punkcie obwodu ładunki się nie

gromadzą, nigdzie też nie giną, ani nie powstają (zasada zachowania ładunku). Ile ładunków do węzła dopływa, tyle w tym samym czasie z niego odpływa:

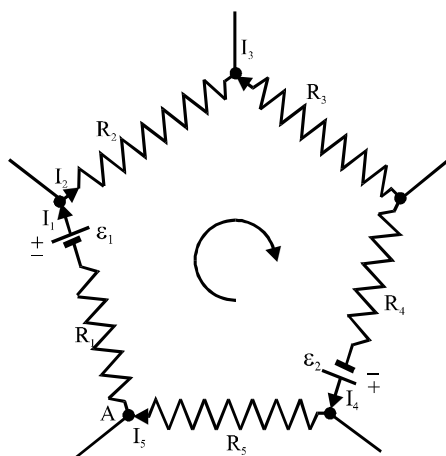
$$\sum_{i=1}^n I = 0 \quad (9.8)$$

9.3.2. Drugie prawo Kirchhoffa

Drugie prawo Kirchhoffa mówi, że w dowolnie wydzielonej zamkniętej części obwodu elektrycznego, w tzw. oczku, suma algebraiczna wszystkich napięć elektrycznych panujących na poszczególnych elementach oczka równa się zeru. Bierzemy tu pod uwagę wszystkie czynne siły elektromotoryczne (SEM) $\mathcal{E}$, jak również wszystkie istniejące w tej części obwodu spadki napięć IR .

$$\sum U = \sum \mathcal{E} + \sum IR \quad (9.9)$$

Przy zastosowaniu wzoru (9.9) trzeba pamiętać o regule znaków, przypisującej znaki plus lub minus iloczynom IR oraz siłom elektromotorycznym źródeł prądu. Dowolny węzeł oczka (np. punkt A na rys.9.2) przyjmujemy za punkt początkowy obiegu i w środku oczka zaznaczamy wybrany dowolnie kierunek obiegu, np. zgodnie z ruchem wskazówki zegara. Na tych odcinkach oczka, gdzie kierunek prądu jest zgodny z wybranym kierunkiem obiegu, iloczyn IR traktujemy jako dodatnie (np. $+I_1R_1$, lecz $-I_3R_3$). Siłom elektromotorycznym przypisujemy znak plus, gdy kierunek od bieguna dodatniego do ujemnego jest zgodny z wybranym kierunkiem obiegu. A zatem w odniesieniu do obwodu z rys.9.2. wartościom $\mathcal{E}_1$ i $\mathcal{E}_2$ przypisujemy znak $(-)$.



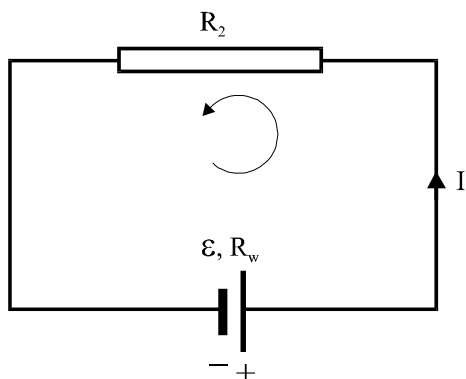
Rys.9.2. Drugie prawo Kirchhoffa dla tego oczka przyjmuje postać

$$I_1R_1 + I_1R_{1W} - \mathcal{E}_1 + I_2R_2 - I_3R_3 + I_4R_4 + I_4R_{W2} - \mathcal{E}_2 + I_5R_5 = 0$$

gdzie

R_{1W} i R_{W2} oznaczają opory wewnętrzne ogniwa.

W odniesieniu do najprostszego obwodu pojedynczego ogniwa o sile elektromotorycznej $\mathcal{E}$ i oporze wewnętrznym R_W zamkniętego oporem zewnętrznym R_Z drugie prawo Kirchhoffa przyjmuje postać (patrz rys.9.3).



Rys.9.3. Obwód zamknięty zawierający źródło siły elektromotorycznej $\mathcal{E}$ o oporze wewnętrznym R_W , oraz opór zewnętrzny R_Z .

$$IR_Z + IR_W - \mathcal{E} = 0$$

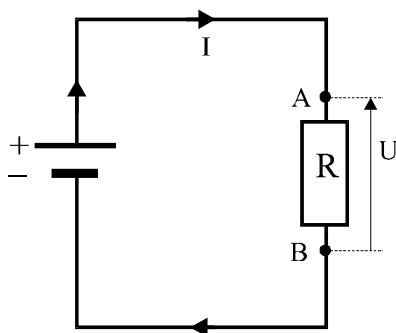
stąd

$$\mathcal{E} = I(R_Z + R_W) \quad (9.10)$$

Wzór (9.10) wyraża prawo Ohma dla obwodu zamkniętego.

9.4. Moc prądu elektrycznego

Na rys.9.4 przedstawiono obwód elektryczny, zawierający źródło prądu elektrycznego połączone z odbiornikiem energii elektrycznej np. grzejnikiem. Niech przez grzejnik o oporze R przepływa prąd o natężeniu I , a napięcie na zaciskach A i B grzejnika niech wynosi U .



Rys.9.4. Moc P prądu płynącego przez dowolny odbiornik energii elektrycznej wynosi $P = U \cdot I$

Aby określić pracę prądu elektrycznego i jego moc wychodzimy ze wzoru na pracę dW . Wzór ten mówi, że praca dW wykonana podczas przeniesienia ładunku dq od punktu A do punktu B, czyli między punktami pola elektrycznego o różnicy potencjałów U (patrz rys.9.4) wynosi:

$$dW = dqU = I dt U$$

Dzieląc powyższe wyrażenie przez dt , otrzymujemy wzór na moc P prądu elektrycznego

$$P = \frac{dW}{dt} = UI \quad (9.11)$$

Całkując powyższe wyrażenie, otrzymujemy wzór na pracę prądu elektrycznego:

$$W = \int_0^t UI dt \quad (9.12)$$

W przypadku prądu stałego, tj. prądu, którego napięcie i natężenie są stałe, otrzymujemy

$$W = UI t \quad (9.13)$$

Energia potencjalna ładunku przepływającego przez odbiornik maleje. Wynika to z faktu, że potencjał punktu A jest wyższy niż potencjał punktu B. Energia elektryczna ulega przy tym przemianie w inny rodzaj energii, zależnie od typu odbiornika. Jeżeli odbiornik zawiera tylko opór R , jak to ma miejsce w naszym grzejniku przedstawionym na rys.9.4, to energia prądu elektrycznego wydzieli się w postaci ciepła, które nazywamy ciepłem Joule'a.

Moc cieplną prądu P_Q można wyrazić wzorami:

$$P_Q = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (9.14)$$

Pracę wykonaną przez prąd elektryczny wyrażamy w dżulach, przy czym

$$[J] = [C] \cdot [V] = [V] \cdot [A] \cdot [s]$$

Jednostką mocy jest wat:

$$[W] = \left[\frac{J}{s} \right] = [V \cdot A]$$

9.5. Prąd elektryczny w elektrolitach

9.5.1. Elektrolity

Czyste ciecze (z wyjątkiem roztopionych metali) są złymi przewodnikami prądu elektrycznego. Stają się one dobrymi przewodnikami po rozpuszczeniu w nich kwasów, zasad i soli. Takie roztwory nazywamy elektrolitami. Czysta woda np. w temperaturze pokojowej ma opór właściwy $\rho = 2,5 \cdot 10^5 \Omega \cdot m$, po rozpuszczeniu zaś w niej chlorku potasu (KCl) w stężeniu odpowiadającym jednej cząsteczce KCl na pięćset tysięcy cząsteczek wody opór właściwy maleje do $\rho = 7 \Omega \cdot m$, a więc 35 000 razy. Oznacza to, że w roztworze wodnym siły wiązań chemicznych cząsteczek rozpuszczalnych w wodzie ulegają osłabieniu. W takich warunkach cząsteczka AB, składająca się z dwóch różnych pierwiastków A i B, pod wpływem ruchów termicznych cząstek elektrolitu zostaje rozerwana na cząstkę dodatnio naładowaną A^+ - kation i ujemnie naładowaną B^- - anion. Proces taki nazywamy dysocjacją.

Proces odwrotny – łączenie się anionów i kationów w cząstki obojętne – nazywamy rekombinacją. Oba te procesy możemy opisać równaniem



Elektrolity są to zatem roztwory (przede wszystkim wodne) kwasów, zasad i soli.

W wyniku przepływu prądu elektrycznego przez elektrolity na **elektrodzie ujemnej – katodzie** – wydzielają się takie substancje jak wodór, metale oraz grupy takie jak NH_4 . Na **elektrodzie dodatniej – anodzie** – wydzielają się: tlen, reszty kwasowe oraz grupa OH. Wydzielanie się substancji w wyniku przepływu prądu przez elektrolit nazywamy **elektrolizą**.

9.5.2. Elektroliza

Przy przepływie prądu elektrycznego przez elektrolit na elektrodach woltametr (czyli naczynia, w którym odbywa się elektroliza) wydzielają się substancje chemiczne. Oznacza to, że w procesie elektrolizy transportowi ładunku towarzyszy transport masy. Z prawa zachowania ładunku wynika, że: do wydzielenia masy jednego mola dowolnego pierwiastka potrzebny jest przepływ ładunku Q_0 :

$$Q_0 = N_A \cdot w \cdot e \quad (9.15)$$

gdzie: $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} [1/\text{mol}]$ – to liczba Avogadra, w – wartościowość danego pierwiastka, e – ładunek elementarny.

Pamiętamy oczywiście, że w 1 molu substancji czyli w jednej gramocząsteczce (lub w jednym gramoatomie) jest tyle cząstek (lub atomów), ile wynosi liczba Avogadra. Ponadto pamiętamy, że wartościowością pierwiastka nazywamy liczbę atomów wodoru, którą w związku chemicznym zastępuje jeden atom danego pierwiastka.

9.5.3. Prawa elektrolizy Faradaya

Prawa przewodnictwa elektrolitycznego zostały ustalone doświadczalnie przez Faradaya w 1836 r. i podane w postaci dwóch następujących praw:

Pierwsze prawo Faradaya wyraża związek między ilością substancji wydzielającej się na elektrodzie, natężeniem prądu i czasem przepływu prądu przez elektrolit. Prawo to ma następującą prostą treść: masa substancji m wydzielającej się na elektrodzie jest wprost proporcjonalna do natężenia prądu I i do czasu jego przepływu t :

$$m = kIt \quad (9.16)$$

gdzie k oznacza współczynnik proporcjonalności, który zależy tylko od rodzaju wydzielającej się substancji i składu elektrolitu.

Iloczyn natężenia prądu I przez czas t daje ilość ładunku elektrycznego Q , który przepłynął przez elektrolit

$$It = Q \quad (9.17)$$

skąd można pierwsze prawo Faradaya przedstawić w postaci

$$m = kQ \quad (9.18)$$

tj. masa wydzielającej się substancji m jest proporcjonalna do przepływającej przez elektrolit ilości ładunku Q . Współczynnik k nazywa się równoważnikiem elektrochemicznym wydzielanej substancji.

Ponieważ dla $Q = 1$ mamy

$$m = k$$

więc równoważnik elektrochemiczny równa się liczbowo masie substancji wydzielającej się przy przejściu przez elektrolit jednostki ładunku elektrycznego.

W układzie SI równoważnik elektrochemiczny wyraża liczbowo masę produktu elektrolizy wydzieloną na elektrodzie przez prąd o natężeniu 1 ampera w ciągu 1 sekundy, czyli podczas przepływu przez elektrolit ładunku 1 kulomba. W tabeli 9.3 podane są wartości równoważników elektrochemicznych dla kilku substancji.

Tabela 9.3 .

Równoważniki elektrochemiczne kilku substancji

Rodzaj substancji	k
	[kg / A · s]
Cynk	$3,388 \cdot 10^{-7}$
Glin	$0,933 \cdot 10^{-7}$
Miedź	$3,294 \cdot 10^{-7}$
Nikiel	$3,040 \cdot 10^{-7}$
Wodór	$11,18 \cdot 10^{-7}$
Srebro	$0,104 \cdot 10^{-7}$

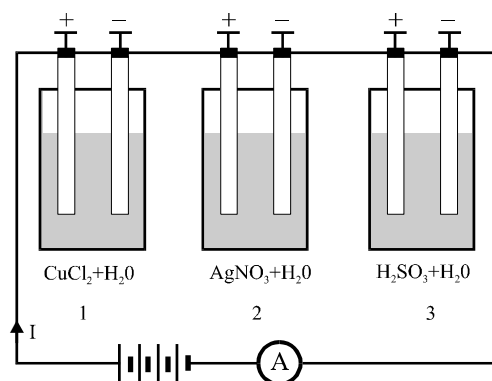
Drugie prawo Faradaya określa wielkość elektrochemicznego równoważnika k .

Zanim sformułujemy drugie prawo Faradaya, przypomnimy definicję gramorównoważnika chemicznego pierwiastka. Oznaczając przez M masę atomową pierwiastka, zaś przez w – jego wartościowość, otrzymamy, że równoważnik chemiczny równa się M/w . Jeżeli weźmiemy M/w gramów tego pierwiastka, to taka ilość pierwiastka nazywa się gramorównoważnikiem R .

$$R = \frac{M}{w} [\text{g}] \quad (9.19)$$

Faraday łącząc różne woltametry w szereg (patrz rys.9.5) zauważył, że masy produktów elektrolizy wydzielone na elektrodach różnych woltametrów podczas przepływu prądu o tym samym natężeniu i w tym samym czasie są proporcjonalne do gramorównoważników danych substancji. Powyższe można zapisać:

$$m_1 : m_2 : m_3 \dots = R_1 : R_2 : R_3 \dots \quad (9.20)$$



Rys.9.5. Wydzielone na elektrodach masy

m_1 – miedzi w woltametrze 1,
 m_2 – srebra w woltametrze 2 i
 m_3 – wodoru w woltametrze 3 są
wprost proporcjonalne do
gramorównoważników R_1 , R_2 i
 R_3 tych substancji

Masy wydzielone w różnych woltametrach w jednakowych czasach t przez jednakowe prądy I można wyrazić jako:

$$\begin{aligned} m_1 &= k_1 It, \\ m_2 &= k_2 It \\ m_3 &= k_3 It \quad \text{itd.} \end{aligned}$$

dzieląc stronami znajdujemy:

$$m_1 : m_2 : m_3 \dots = k_1 : k_2 : k_3 \dots \quad (9.21)$$

Porównując to wyrażenie z (9.20) otrzymamy:

$$R_1 : R_2 : R_3 \dots = k_1 : k_2 : k_3 \dots \quad (9.22)$$

czyli stosunek gramorównoważników równa się stosunkowi równoważników elektrochemicznych danych substancji.

Z ostatniej zależności wynika, że

$$\frac{R_1}{k_1} = \frac{R_2}{k_2} = \frac{R_3}{k_3} = \text{const} = F \quad (9.23)$$

Stąd wartość stosunku gramorównoważnika do równoważnika elektrochemicznego danej substancji nazywamy stałą Faradaya i oznaczamy symbolem F :

$$F = \frac{R}{k} \quad (9.24)$$

Po przekształceniu otrzymujemy:

$$k = \frac{1}{F} \cdot R \quad (9.25)$$

Drugie prawo Faradaya mówi, że współczynniki elektrochemiczne poszczególnych pierwiastków są wprost proporcjonalne do ich równoważników chemicznych.

Jak widzimy z (9.25) współczynnikiem proporcjonalności jest odwrotność stałej Faradaya.

Podstawiając z drugiego prawa Faradaya (9.25) wartość równoważnika elektrochemicznego k do wyrażenia na pierwsze prawo Faradaya (9.18) otrzymamy wzór łączący oba prawa Faradaya

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{w} Q \quad (9.27)$$

Stąd wynika, że jeżeli w procesie elektrolizy, na elektrodzie wydziela się jeden gramorównoważnik substancji (tj. masa m równa liczbowo M/w) to przez elektrolit przepływa ładunek elektryczny Q liczbowo równy stałej F .

Innymi słowy stała **Faradaya F równa się liczbowo ilości ładunku elektrycznego Q , który przepływając przez elektrolit, wydziela na elektrodzie jeden gramorównoważnik substancji.**

Różne pomiary różnych równoważników elektrochemicznych wykazały, że wartość stałej Faradaya F wynosi:

$$F = 96\,494 \frac{\text{kulombów}}{\text{gramorównoważnik}}$$