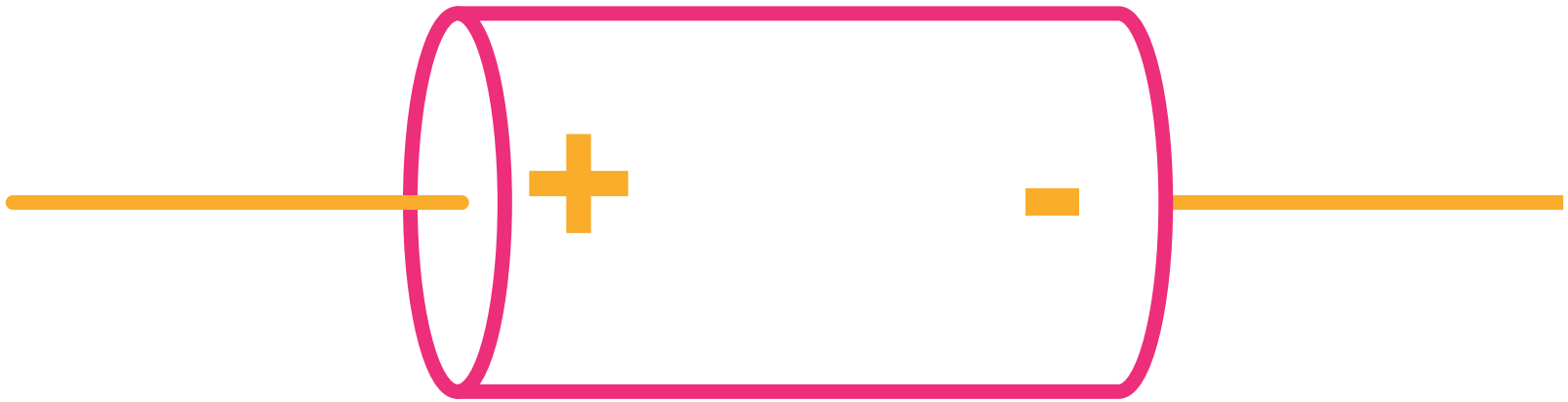
القوة الدافعة الكهربية والمقاومة الداخلية



أهداف الدرس

ستتمكَّن من:

- تعريف مصطلح المقاومة الداخلية
- تعريف مصطلح القوة الدافعة الكهربية
- تعريف مصطلح الجُهد الطرفي
- تعريف مصطلح الجُهد المفقود
- استخدام المعادلة $\varepsilon = V - Ir$ لإيجاد أي مجهول

مقاومة البطاريات

يُعتَقد عادةً أن البطاريات تَمُد المكوِّنات الأخرى في الدائرة بفرق جهد من أجل توليد تيار في هذه المكوِّنات.

هذا صحيح.

لكن صحيح أيضًا أن البطارية تولِّد فرق جهد عبر نفسها لتوليد تيار يمر عبرها.

مقاومة البطاريات (متابعة)

افترض أن هناك بطارية تولِّد فرق الجهد V عبر طرفَيْها.

عندما يتم توصيل طرفَي البطارية الموجب والسالب معًا بواسطة سلك، تكون الدائرة مغلقة، ويتولَّد في الدائرة تيار مستمر شدته I.

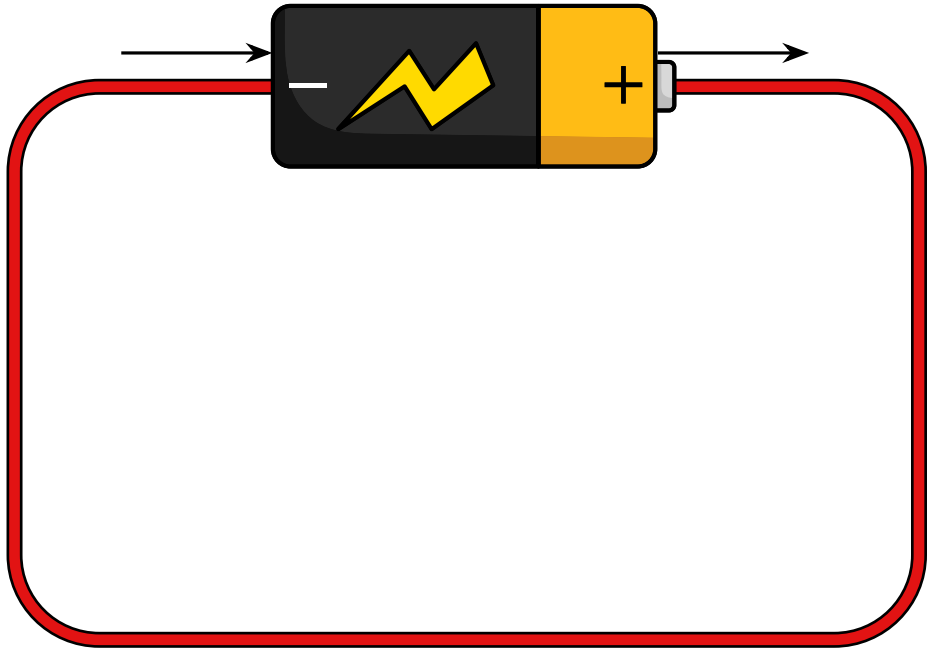
وتُحسَب شدة التيار في السلك بالمعادلة:

$$I = \frac{V}{R},$$

حيث R هو مقاومة الدائرة.

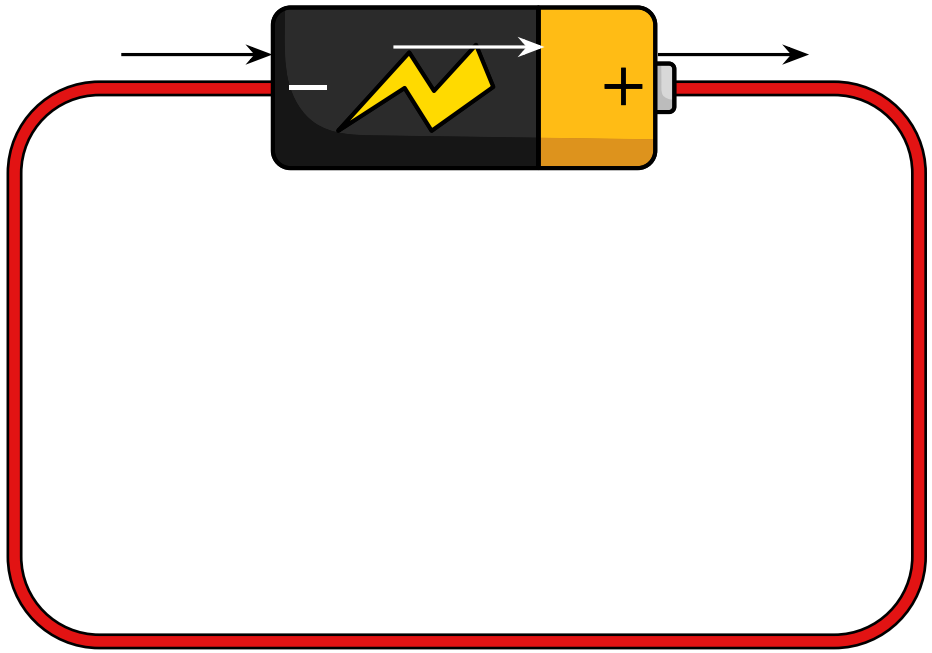
مقاومة البطاريات (متابعة)

اتجاه التيار يكون من الطرف الموجب إلى الطرف السالب. في دائرة موصلة على التوالي، تكون شدة التيار عند جميع نقاط الدائرة متساوية. هذا يعني أنه لا بد أن تكون شدة التيار الخارج من الطرف الموجب والداخل إلى الطرف السالب متساويتين.



مقاومة البطاريات (متابعة)

نلاحِظ أنه لا بد أن يكون هناك أيضًا تيار في البطارية مساوٍ في الشدة للتيار عند طرفَيْها.



مقاومة البطاريات (متابعة)

نعرف أن:

$$I = \frac{V}{R}.$$

عند توصيل مقاومتين R_1 وR_2 على التوالي، فإن مقاومتَيْهما الكلية $R_{\text{الكلية}}$ تُعطى بالمعادلة:

$$R_{\text{الكلية}} = R_1 + R_2.$$

نجد بعد ذلك أن $R_{\text{الكلية}}$ للدائرة التي تتكوَّن من سلك وبطارية لا بد أن تساوي مجموع مقاومة السلك ومقاومة البطارية.

يمكننا أن نسمِّي مقاومة السلك R، ومقاومة البطارية r.

مقاومة البطاريات (متابعة)

يمكن إعادة ترتيب المعادلة:

$$I = \frac{V}{R_{\text{الكلية}}},$$

لجعل V في طرف بمفرده؛ لنحصل على:

$$V = IR_{\text{الكلية}}.$$

يمكن التعبير عن فرق الجهد عبر الدائرة بالمعادلة:

$$V = I\left(R + r\right).$$

يُطلَق على R المقاومة الخارجية (وتُسمَّى أيضًا الحمل)، ويُطلَق على r المقاومة الداخلية.

الشغل المبذول بواسطة الشحنات وعليها في دائرة

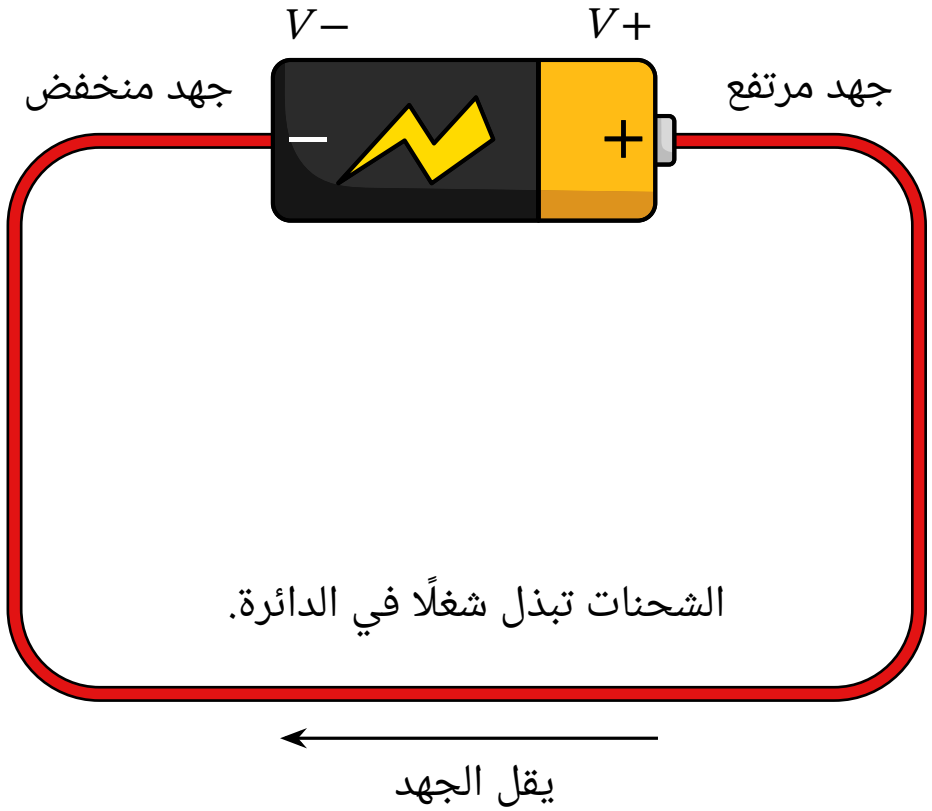
يمكن التعبير عن فرق الجهد V بالمعادلة:

$$V = \frac{W}{Q},$$

حيث W هو الشغل المبذول بواسطة فرق الجهد على الشحنة Q عبر فرق الجهد.

الشغل المبذول بواسطة الشحنات وعليها في دائرة (متابعة)

الفرق في الجهد عبر طرفَي سلك يمثِّل انخفاض الجهد عبر السلك.



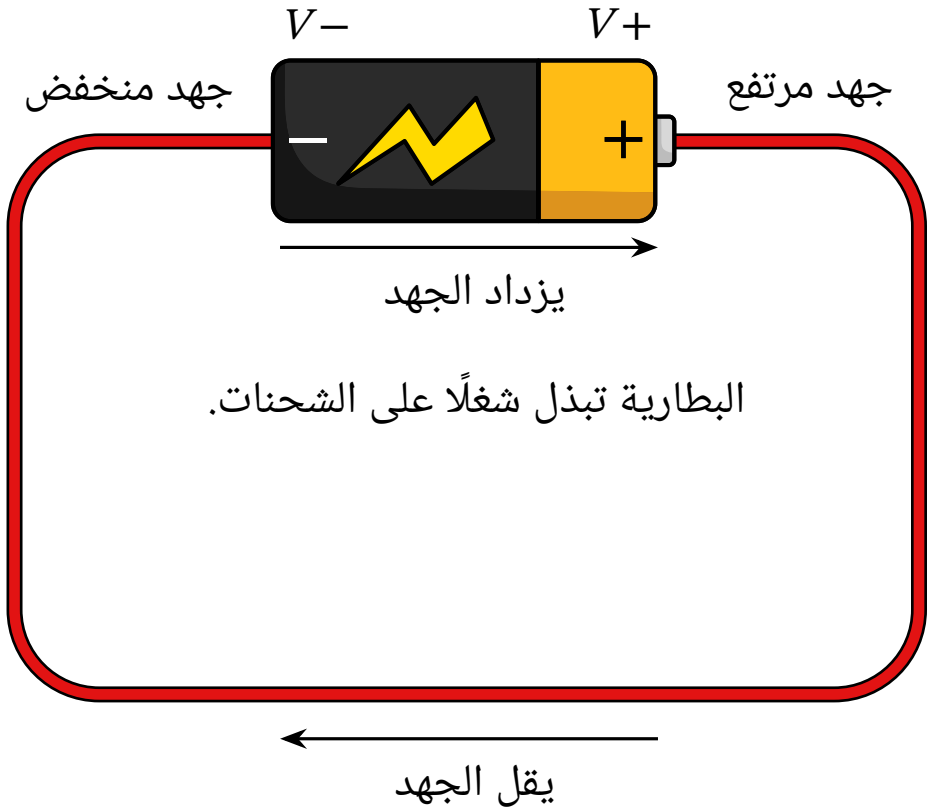
إن فرق الجهد الذي تنتجه بطارية عبر سلك يساوي الشغل المبذول لكل كولوم من الشحنات التي تتحرَّك عبر السلك من أحد طرفَي البطارية إلى الطرف الآخر.

يقل الجهد على طول السلك.

الشغل المبذول بواسطة الشحنات وعليها في دائرة (متابعة)

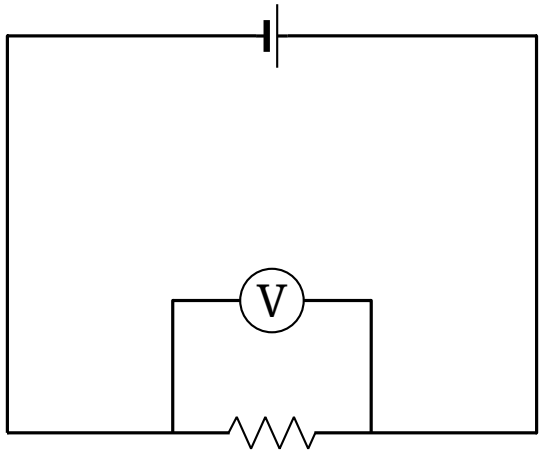
وكذلك عند التحرُّك عبر السلك، لا بد أن تبذل البطارية شغلًا لتحريك الشحنات. وعندما يحدث ذلك، تزداد طاقة وضع الشحنات بدلًا من أن تقل.

في هذه الحالة لا بد أن يزداد الجهد على طول البطارية.



فرق الجهد عبر دائرة خارجية

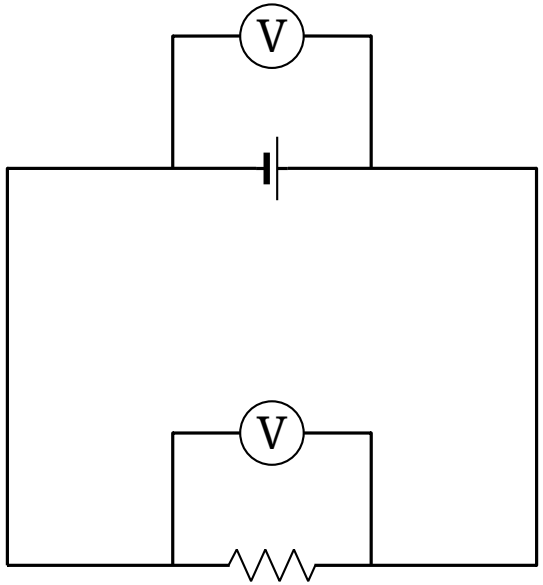
في كثير من التطبيقات يمكن تمثيل الدائرة التي تحتوي على بطارية على أن لها مقاومة خارجية فقط. يمكن قياس فرق الجهد عبر دائرة كهربية خارجية باستخدام فولتميتر متصل على التوازي مع المقاومة في الدائرة الكهربية.



من المهم ملاحظة أن الأسلاك التي تصل بين البطارية، والمقاومة، والفولتميتر تُمثَّل على أن لها مقاومة ضئيلة للغاية في هذا الشكل.

فرق الجهد عبر بطارية

قد يُتوقَّع أن يقيس الفولتميتر فرق الجهد عبر بطارية عن طريق توصيل الفولتميتر بالبطارية.



لكن هذه الدائرة الكهربية لا تقيس فرق الجهد عبر البطارية.

يقيس كلا الفولتميترين في الدائرة القيمة نفسها، وهي فرق الجهد عبر الدائرة الخارجية.

فرق الجهد عبر بطارية (متابعة)

فإذا أردنا قياس فرق الجهد عبر طرفَي البطارية، بالنسبة إلى الشحنات التي تتحرَّك داخل البطارية، فلا بد أن يقيس الفولتميتر الشغل المبذول على الشحنات التي تتحرَّك عبر البطارية وليس عبر الدائرة الخارجية.

نلاحظ هنا أن الفولتميتر في الدائرة لا يمكن أن يقيس فرق الجهد عبر البطارية.

يبدو أن هذا يعني أنه لا تُوجَد طريقة لمعرفة قيمة المقاومة الداخلية للبطارية أو فرق الجهد عبرها.

في الواقع من الممكن تحديد هاتين القيمتين عن طريق إجراء أكثر من قياس.

سنتناول هذه الطريقة لاحقًا في هذا العرض التقديمي.

قبل أن نشرح كيفية إجراء هذه القياسات، يلزم توضيح كيفية تمثيل فرق الجهد عبر البطارية.

تمثيل فرق الجهد عبر البطارية

باعتبار البطارية مكوِّنًا في دائرة لها مقاومة خارجية R، فإننا نلاحظ أنه لا بد من وجود انخفاض في الجهد $V_{\text{البطارية}}$، عبر البطارية.

وهذا مُعطى بالمعادلة:

$$V_{\text{البطارية}} = Ir,$$

حيث I هو شدة التيار في الدائرة.

نتناول الآن المعادلة:

$$V = I(R + r),$$

حيث V هو فرق الجهد عبر المقاومة الخارجية، الذي يمكن قياسه باستخدام الفولتميتر.

تمثيل فرق الجهد عبر البطارية (متابعة)

ويمكن كتابة:

$$V = I(R + r)$$

على الصورة:

$$V = IR + Ir$$

$$V = IR + V_{\text{البطارية}}.$$

لاستخدام الفولتميتر لقياس فرق الجهد الكلي للبطارية، لا بد أن يساوي $V_{\text{البطارية}}$ صفرًا.

تمثيل فرق الجهد عبر البطارية (متابعة)

إذا كان:

$$V_{\text{البطارية}} = 0,$$

فإن هذا يعطينا:

$$V = IR + 0$$
$$V = IR.$$

يُشير V إلى إجمالي فرق جهد البطارية الذي يبذل شغلًا في الدائرة الخارجية.

تمثيل فرق الجهد عبر البطارية (متابعة)

إذا كان $V_{\text{البطارية}} = 0$، فإن $Ir = 0$.

إذا افترضنا أن $r \neq 0$، فإذا كان $V_{\text{البطارية}} = 0$، فإن $I = 0$.

ويبدو أن هذا يُشير إلى أن الطريقة الوحيدة التي يمكن أن يقيس بها الفولتميتر فرق الجهد الكلي للبطارية هي إذا كان فرق الجهد يساوي صفرًا.

يبدو أن هذا أمرٌ لا مفر منه، فالبطارية التي لها فرق جهد لا يساوي صفرًا ستولِّد تيارًا لا يساوي صفرًا، وبهذا فإن قيمة $V_{\text{البطارية}}$ لن تساوي صفرًا.

تمثيل فرق الجهد عبر البطارية (متابعة)

لكن استنتاج أن الطريقة الوحيدة التي يمكن أن يقيس بها الفولتميتر فرق الجهد الكلي للبطارية هي إذا كان فرق الجهد يساوي صفرًا غير صحيح.

وفهم سبب خطأ الاستنتاج يستلزم منا التفكير في المعادلة مرةً أخرى $V = IR + Ir$.

يمكننا أن نقول إن:

$$IR = V_{\text{فولتميتر}}$$

وإن:

$$Ir = V_{\text{البطارية}}.$$

تمثيل فرق الجهد عبر البطارية (متابعة)

وبما أننا نعلم أن مجموع فرق الجهد عبر الدائرة الخارجية وفرق الجهد عبر البطارية يساوي فرق الجهد الكلي، إذن يمكننا كتابة المعادلة الآتية:

$$V_{\text{الكلية}} = V_{\text{فولتميتر}} + V_{\text{البطارية}}.$$

تُوجَد أسماء محدَّدة للكميات في هذه المعادلة.

يُسمَّى $V_{\text{فولتميتر}}$ الجهد الطرفي.

ويُسمَّى $V_{\text{البطارية}}$ الجهد المفقود.

تُقاس هاتان الكميتان بوحدة الفولت.

القوة الدافعة الكهربية لبطارية

في المعادلة:

$$V_{\text{الكلية}} = \text{الجهد المفقود} + \text{الجهد الطرفي},$$

ويُسمَّى $V_{\text{الكلية}}$ القوة الدافعة الكهربية أو (emf).

تُقاس القوة الدافعة الكهربية بوحدة الفولت.

يُرمَز إلى القوة الدافعة الكهربية بالرمز ε.

القوة الدافعة الكهربية ليست قوة، على الرغم من اسمها، بل فرق جهد.

القوة الدافعة الكهربية لبطارية (متابعة)

القوة الدافعة الكهربية ε لبطارية جهدها الطرفي V تُعطى بالمعادلة:

$$\varepsilon = V + Ir,$$

حيث I هو شدة التيار في البطارية، r هو المقاومة الداخلية للبطارية.

لنتناول الآن مثالين.

نتناول، في المثال الأول، كيفية إيجاد القوة الدافعة الكهربية لبطارية.

نتناول، في المثال الثاني، كيفية إيجاد المقاومة الداخلية للبطارية.

مثال ١: تحديد القوة الدافعة الكهربية لبطارية

تُزوَّد دائرة بالقدرة بواسطة بطارية جهدها الطرفي يساوي $2.5\,\text{V}$. تحتوي الدائرة على مقاومة قيمتها $3.5\,\Omega$ والمقاومة الداخلية للبطارية تساوي $0.65\,\Omega$. ما مقدار القوة الدافعة الكهربية للبطارية؟ اكتب إجابتك لأقرب منزلة عشرية.

الحل

القوة الدافعة الكهربية ε لبطارية جهدها الطرفي V، تُعطى بالمعادلة:

$$\varepsilon = V + Ir,$$

حيث I هو شدة التيار في البطارية، r هو المقاومة الداخلية للبطارية.

بالتعويض بالقيم المعلومة في هذه المعادلة، نحصل على:

$$\varepsilon = 2.5\,\text{V} + I(0.65\,\Omega).$$

نلاحظ أن I غير مُعطاة، ولذلك لم نتمكَّن بعدُ من تحديد ε.

مثال ١ (متابعة)

في المعادلة:

$$\varepsilon = 2.5\,\text{V} + I(0.65\,\Omega),$$

$2.5\,\text{V}$ يشير إلى الجهد الطرفي V، للدائرة.

ويمكن كتابة الجهد الطرفي على الصورة $V = IR$.

ويمكن إعادة ترتيب المعادلة لتصبح $I = \frac{V}{R}$.

وبالتعويض بالقيمتين المعلومتين في المعادلة $I = \frac{V}{R}$، يُصبح لدينا:

$$I = \frac{2.5\,\text{V}}{3.5\,\Omega}$$
$$I = \left(\frac{2.5}{3.5}\right)\,\text{A}.$$

مثال ١ (متابعة)

بالتعويض بقيمة I في هذه المعادلة $\varepsilon = 2.5\,\text{V} + I(0.65\,\Omega)$، نحصل على:

$$\varepsilon = 2.5\,\text{V} + \left(\frac{2.5}{3.5}\right)\,\text{A} \times 0.65\,\Omega.$$

بتقريب قيمة ε لأقرب منزلة عشرية، نحصل على $\varepsilon = 3.0\,\text{V}$.

مثال ٢: إيجاد المقاومة الداخلية للبطارية

بطارية قوتها الدافعة الكهربية تساوي $4.50\,\text{V}$ موصَّلة بدائرة بها مقاومة قيمتها $2.75\,\Omega$. شدة التيار المار في الدائرة $1.36\,\text{A}$. ما المقاومة الداخلية للبطارية؟ أوجد الإجابة لأقرب منزلتين عشريتين.

الحل

القوة الدافعة الكهربية ε للبطارية التي لها جهد طرفي تُعطى بالمعادلة:

$$\varepsilon = V + Ir,$$

حيث I هو شدة التيار في الدائرة، r هو المقاومة الداخلية للبطارية.

مثال ٢ (متابعة)

يمكن إعادة ترتيب المعادلة $\varepsilon = V + Ir$؛ لجعل r في طرف بمفردها، كالآتي:

$$\varepsilon = V + Ir$$
$$\varepsilon - V = Ir$$
$$\frac{\varepsilon - V}{I} = r.$$

بالتعويض بالقيم المعلومة في هذه المعادلة، نحصل على:

$$r = \frac{4.50\,\text{V} - V}{1.36\,\text{A}}.$$

مثال ٢ (متابعة)

في المعادلة:

$$r = \frac{4.50\,\text{V} - V}{1.36\,\text{A}},$$

نلاحظ أن V غير مُعطاة، إذن لن نتمكَّن من إيجاد r بعدُ.

ولكننا نتذكَّر أن الجهد الطرفي يُعطى بالمعادلة $V = IR$.

بالتعويض بالقيم المعلومة في هذه المعادلة، نحصل على:

$$V = 1.36\,\text{A} \times 2.75\,\Omega$$

$$V = 3.74\,\text{V}.$$

مثال ٢ (متابعة)

بالتعويض بقيمة $V = 3.74\,\text{V}$ في المعادلة:

$$r = \frac{4.50\,\text{V} - V}{1.36\,\text{A}},$$

نحصل على:

$$r = \frac{4.50\,\text{V} - 3.74\,\text{V}}{1.36\,\text{A}}$$
$$r = \frac{0.76\,\text{V}}{1.36\,\text{A}}.$$

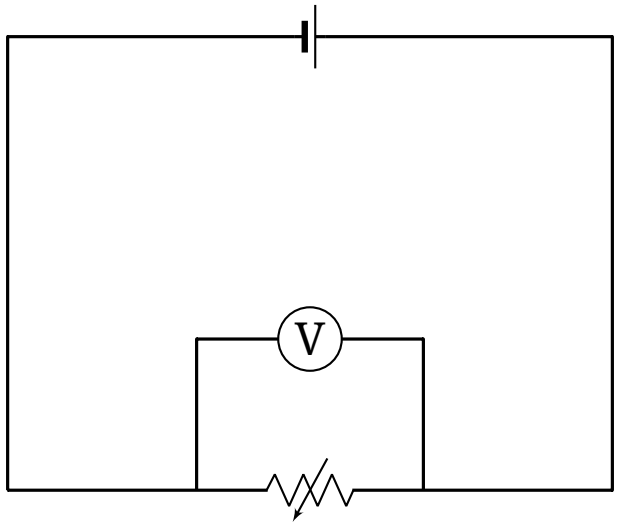
وبتقريب قيمة r لأقرب منزلتين عشريتين، نحصل على $r = 0.56\,\Omega$.

قياس القوة الدافعة الكهربية والمقاومة الداخلية

في الأمثلة السابقة، أُعطيت لنا قيمة القوة الدافعة الكهربية أو المقاومة الداخلية.

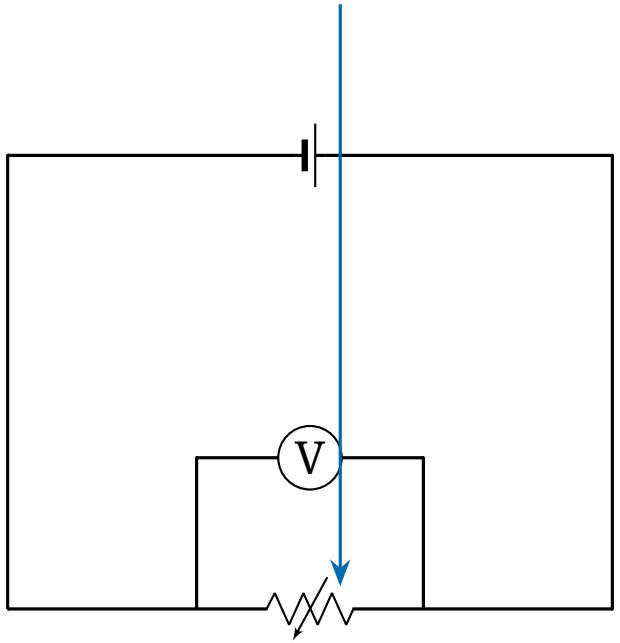
لم يتضح لنا بعد طريقة قياس الكميتين.

يمكن استخدام دائرة مثل الموجودة في الشكل الآتي لإيجاد قيمة القوة الدافعة الكهربية أو المقاومة الداخلية للبطارية.



قياس القوة الدافعة الكهربية والمقاومة الداخلية (متابعة)

الدائرة التي يمكن استخدامها لقياس ε، r لبطارية تكون لها مقاومة متغيرة.



يقيس الفولتميتر في الدائرة الجهد الطرفي للبطارية.

تسمح المقاومة المتغيِّرة في الدائرة بتغيير قيمة المقاومة في الدائرة.

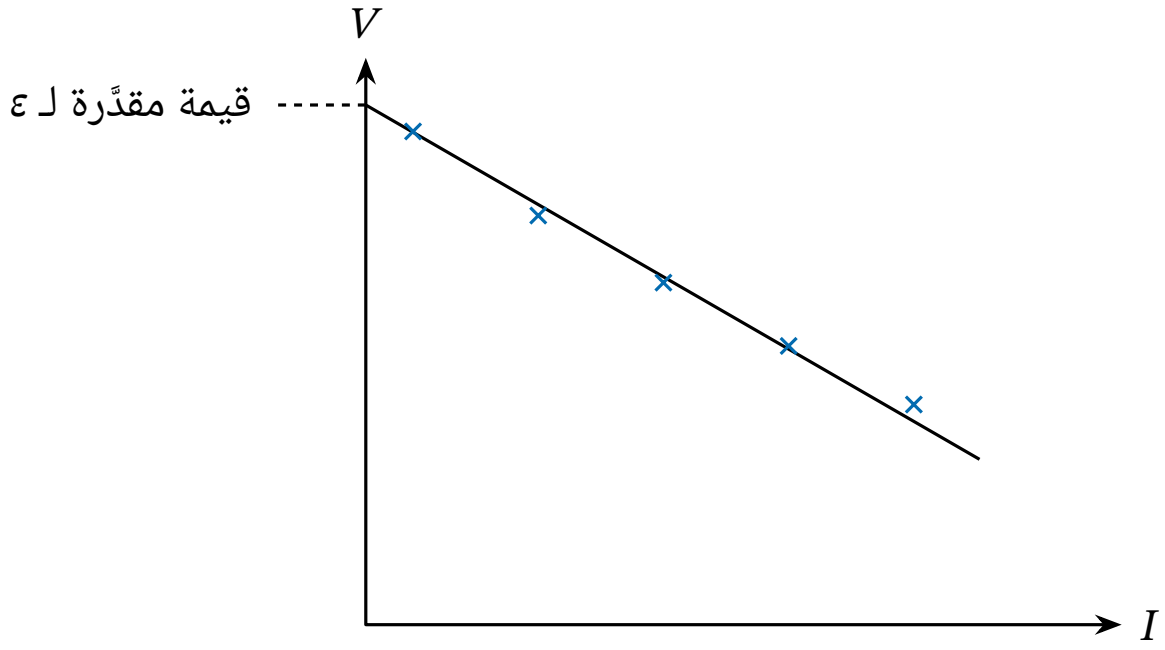
تغيير مقاومة الدائرة يغيِّر شدة التيار في الدائرة.

ومن ثَمَّ يمكن قياس قيمة الجهد الطرفي لقيم مختلفة لشدة التيار.

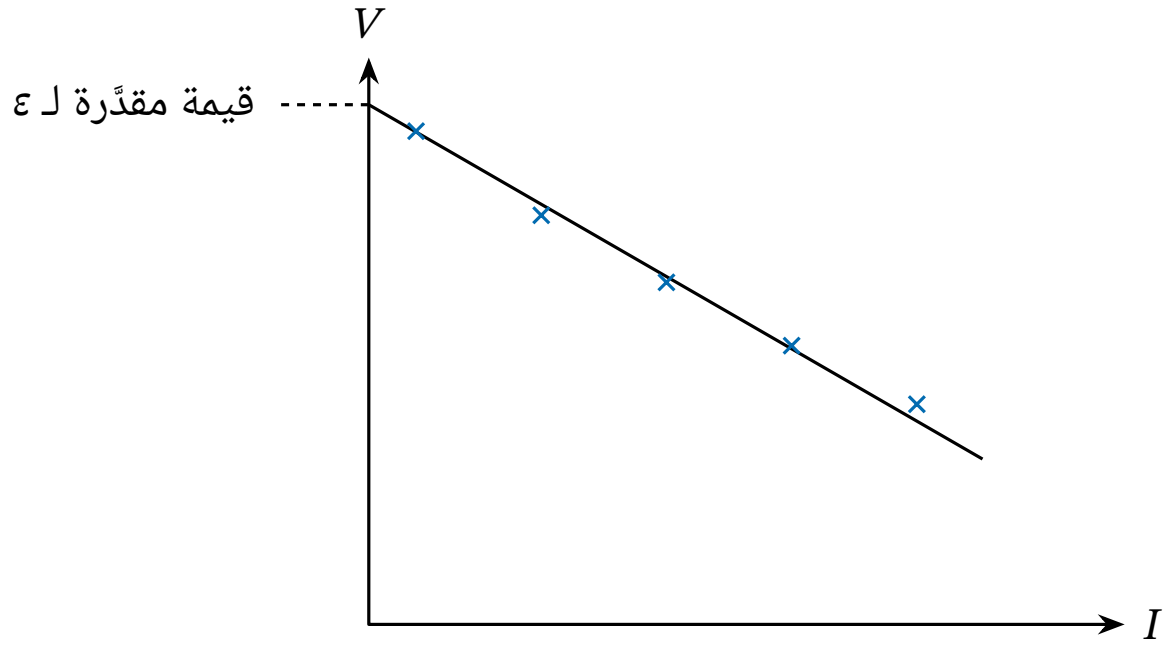
قياس القوة الدافعة الكهربية والمقاومة الداخلية (متابعة)

يمكن رسم القيم المقيسة على تمثيل بياني للجهد الطرفي مقابل شدة التيار.

كلما قلَّت قيمة I، زادت قيمة V. لا يمكن إيجاد قيمة I عند $V = 0$ من قراءة الفولتميتر، ولكن يمكن تقديرها باستخدام قياسات الفولتميتر عند $I > 0$. الجزء المقطوع من المحور y في التمثيل البياني يساوي القيمة المقدرة لـ ε.



قياس القوة الدافعة الكهربية والمقاومة الداخلية (متابعة)



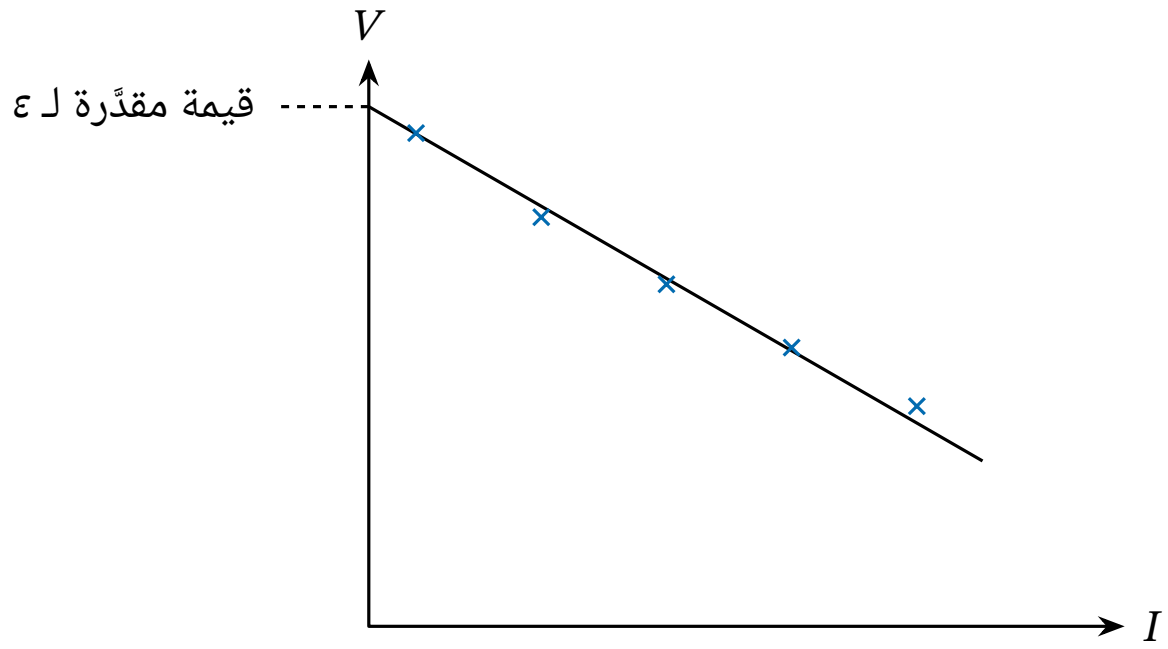
للتمثيل البياني ميل سالب.

يمكن كتابة معادلة الخط المستقيم في التمثيل البياني على الصورة:

$$y = mx + c,$$

حيث m هو ميل المنحنى، وc هو الجزء المقطوع من المحور y.

قياس القوة الدافعة الكهربية والمقاومة الداخلية (متابعة)



بما أن المحور x يمثل شدة التيار، والمحور y يمثل الجهد الطرفي. تكون معادلة خط هذا التمثيل البياني هي:

$$V = mI + \varepsilon.$$

قياس القوة الدافعة الكهربية والمقاومة الداخلية (متابعة)

يمكننا إعادة ترتيب المعادلة:

$$V = mI + \varepsilon$$

لتكون على الصورة:

$$V = \varepsilon + Im.$$

يمكننا إعادة ترتيب المعادلة:

$$\varepsilon = V + Ir$$

لتكون على الصورة:

$$V = \varepsilon - Ir.$$

قياس القوة الدافعة الكهربية والمقاومة الداخلية (متابعة)

بمقارنة المعادلة:

$$V = \varepsilon + Im$$

بمعادلة:

$$V = \varepsilon - Ir,$$

نجد أن:

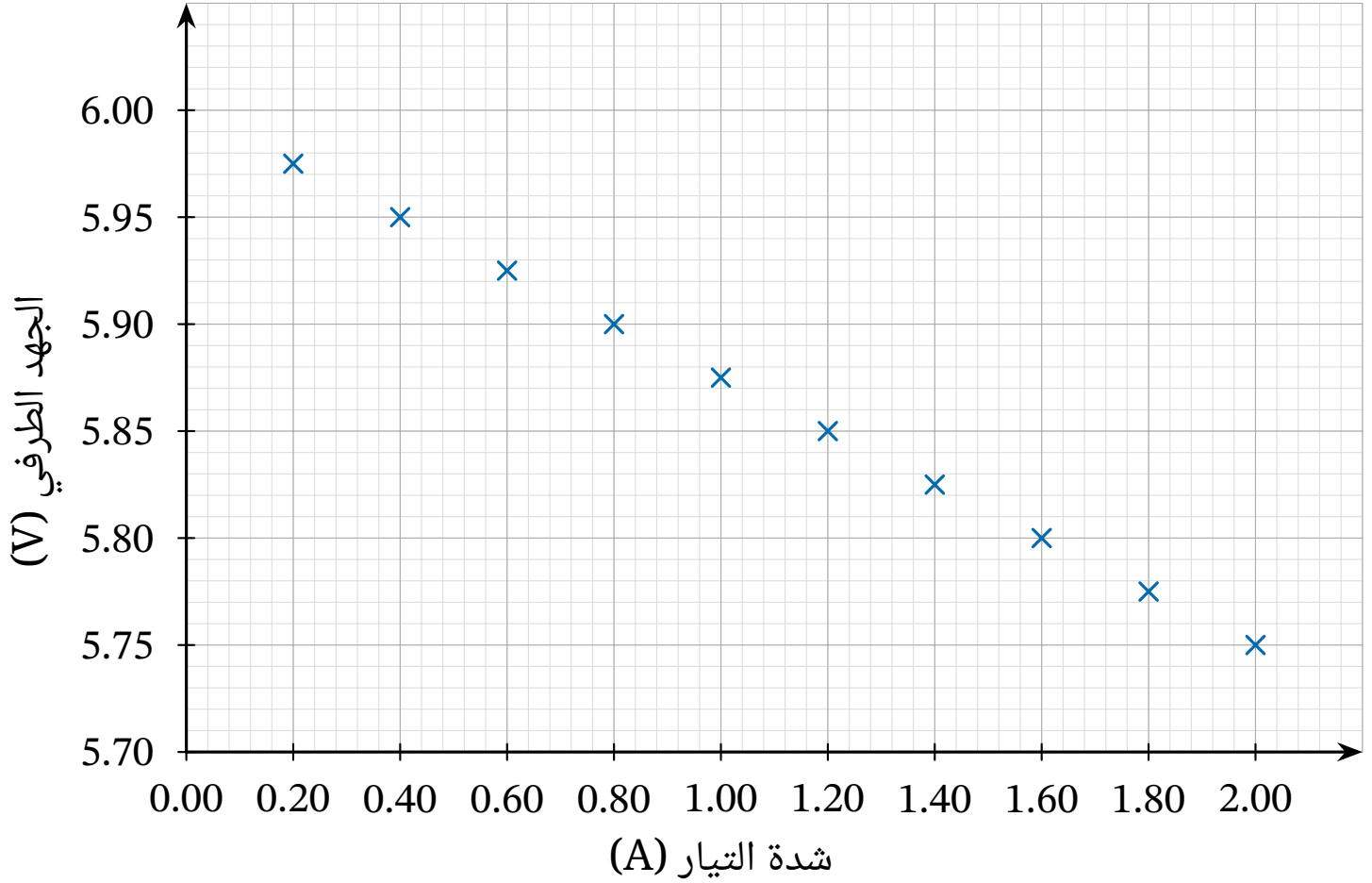
$$-m = r.$$

ويمكننا إذن استخدام التمثيل البياني المستخدم لتحديد قيمة ε في تحديد قيمة r.

لنتناول الآن مثالًا على إيجاد قيمتَي القوة الدافعة الكهربية والمقاومة الداخلية للبطارية من خلال القياسات.

مثال ٣: تحديد القوة الدافعة الكهربية والمقاومة الداخلية للبطارية باستخدام قياسات عديدة

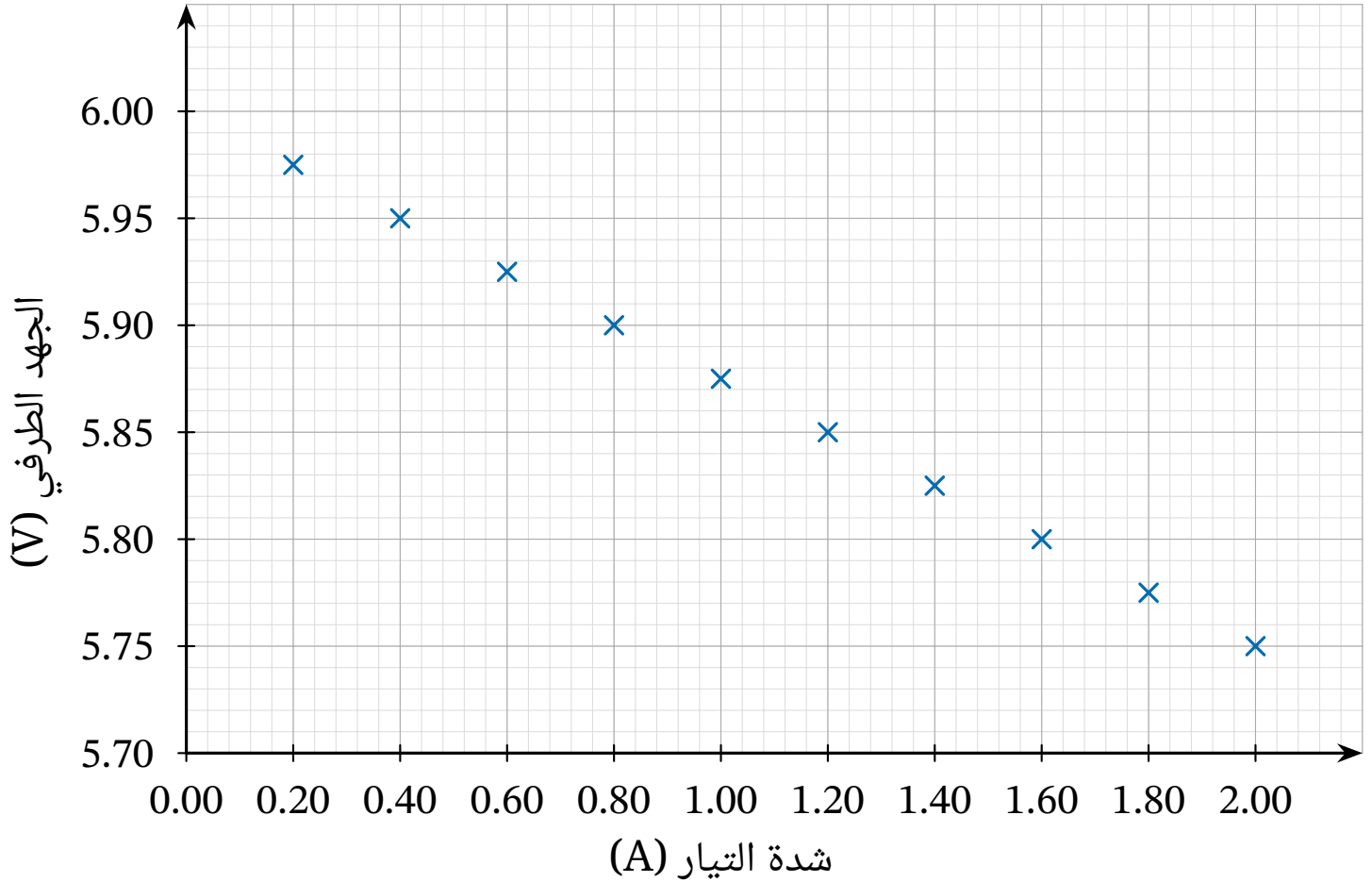
يوضِّح التمثيل البياني التغيُّر في التيار الكهربي في دائرة، مقابل الجهد الطرفي للبطارية التي تُنتج التيار.



مثال ٣ (متابعة)

الجزء الأول

ما القوة الدافعة الكهربية للبطارية؟



مثال ٣ (متابعة)

الحل

القوة الدافعة الكهربية ε للبطارية التي لها جهد طرفي V تُعطى بالمعادلة:

$$\varepsilon = V + Ir,$$

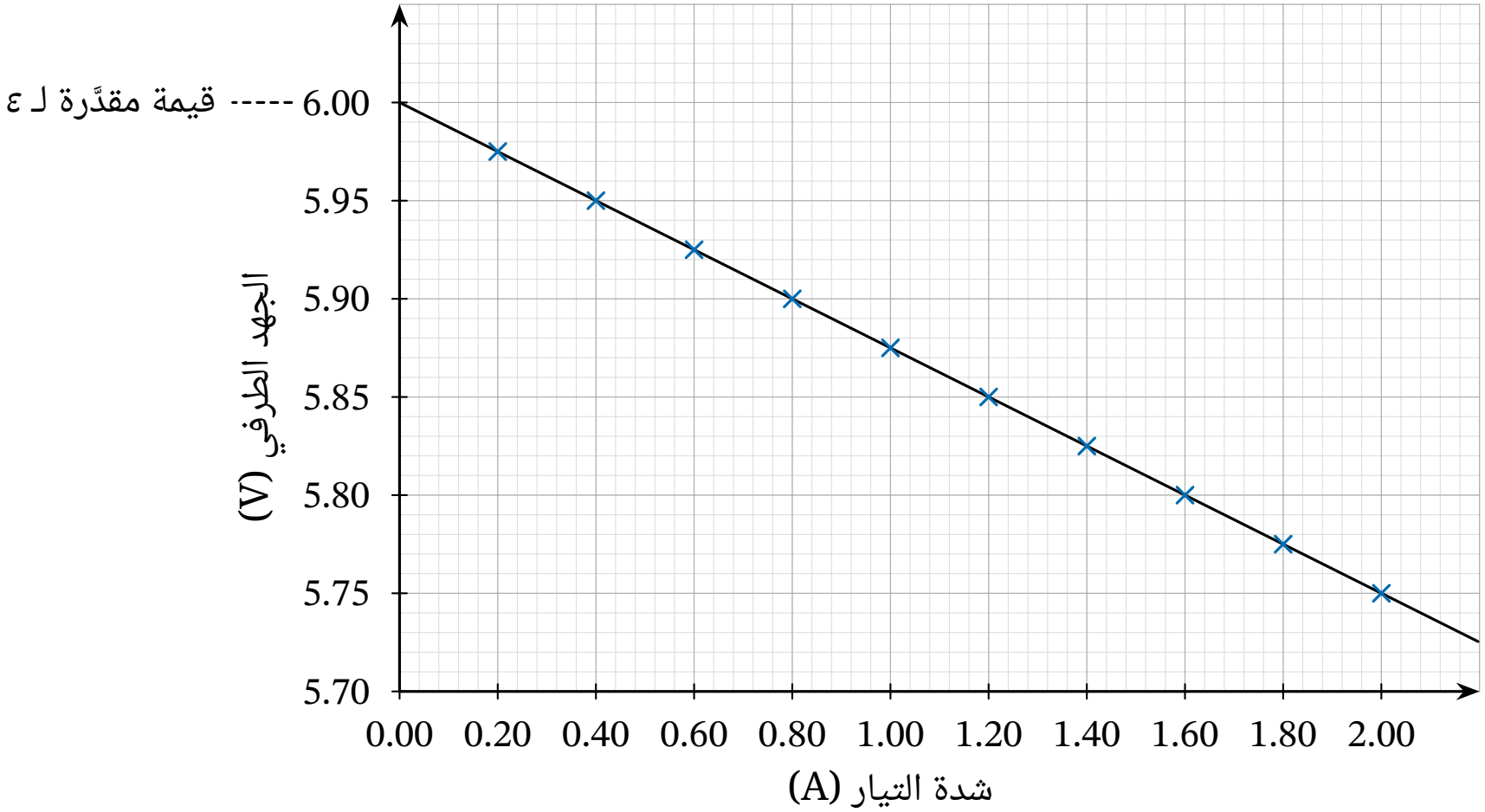
حيث I هو شدة التيار في الدائرة، r هو المقاومة الداخلية للبطارية.

قيمة القوة الدافعة الكهربية ε للبطارية تساوي الجزء المقطوع من المحور y لخط أفضل مطابقة للنقاط المرسومة على التمثيل البياني.

القوة الدافعة الكهربية للبطارية تساوي $6\,\text{V}$.

مثال ٣ (متابعة)

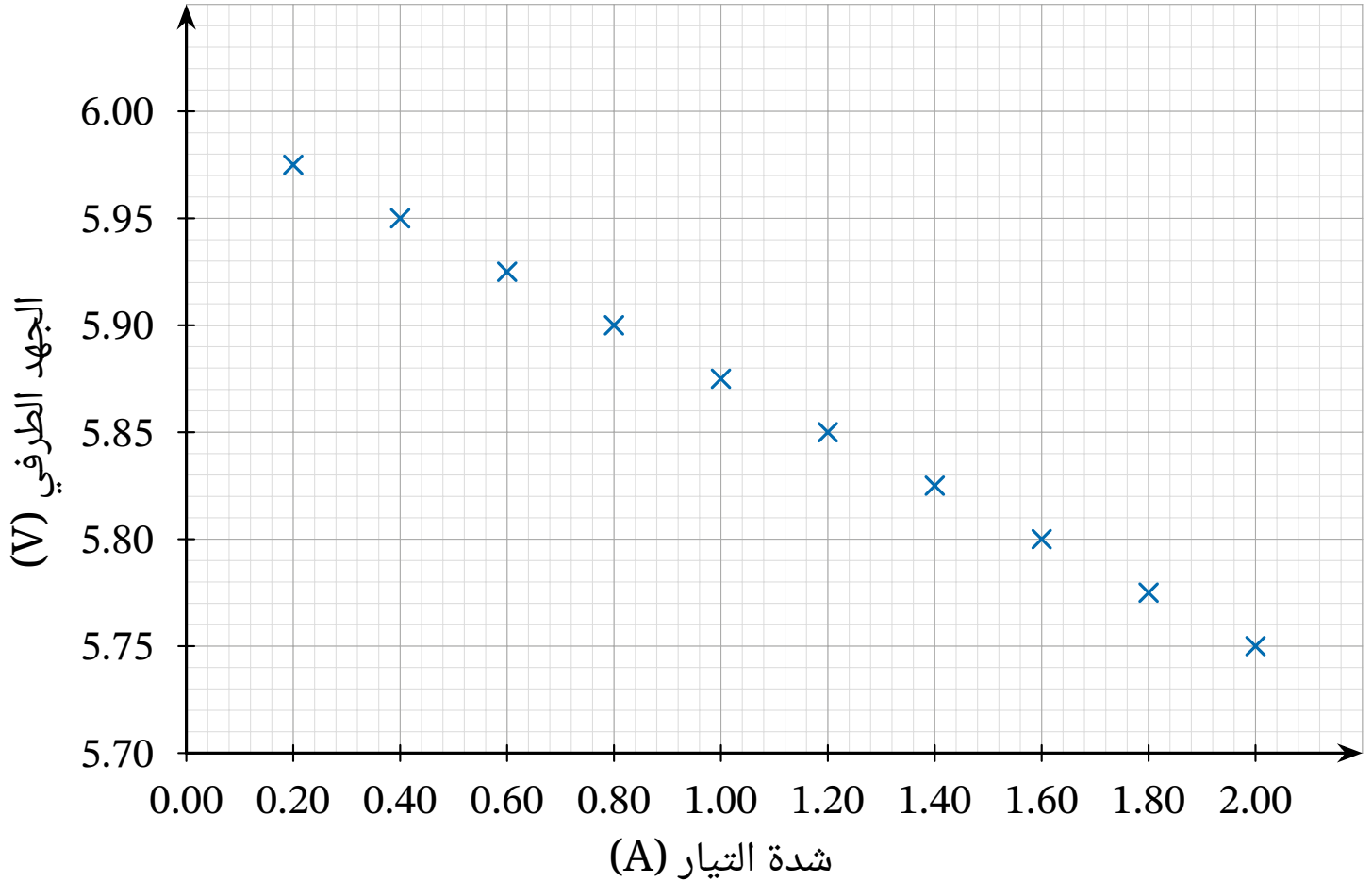
يُبين الشكل الآتي الجزء المقطوع من المحور y لخط أفضل مطابقة للنقاط المرسومة على التمثيل البياني. ويتضح أن قيمة القوة الدافعة الكهربية للبطارية تساوي 6 فولت.



مثال ٣ (متابعة)

الجزء الثاني

ما المقاومة الداخلية للبطارية؟



مثال ٣ (متابعة)

الحل

تُحدَّد المقاومة الداخلية r للبطارية باستخدام المعادلة:

$$\varepsilon = V + Ir.$$

يمكن إعادة ترتيب هذه المعادلة لتكون على الصورة:

$$V = \varepsilon - Ir$$

وكتابتها على الصورة:

$$V = \varepsilon + (-r)\,I.$$

مثال ٣ (متابعة)

المعادلة:

$$V = \varepsilon + (-r)\, I$$

يمكن مقارنتها بمعادلة خط أفضل مطابقة:

$$y = c + mx,$$

حيث y هو الجهد الطرفي، x هو شدة التيار، c هو القوة الدافعة الكهربية، m هو ميل الخط.

نرى بعد ذلك أن:

$$m = -r,$$

وبهذا فإن:

$$r = -m.$$

مثال ٣ (متابعة)

ويُعطى ميل خط أفضل مطابقة بالمعادلة:

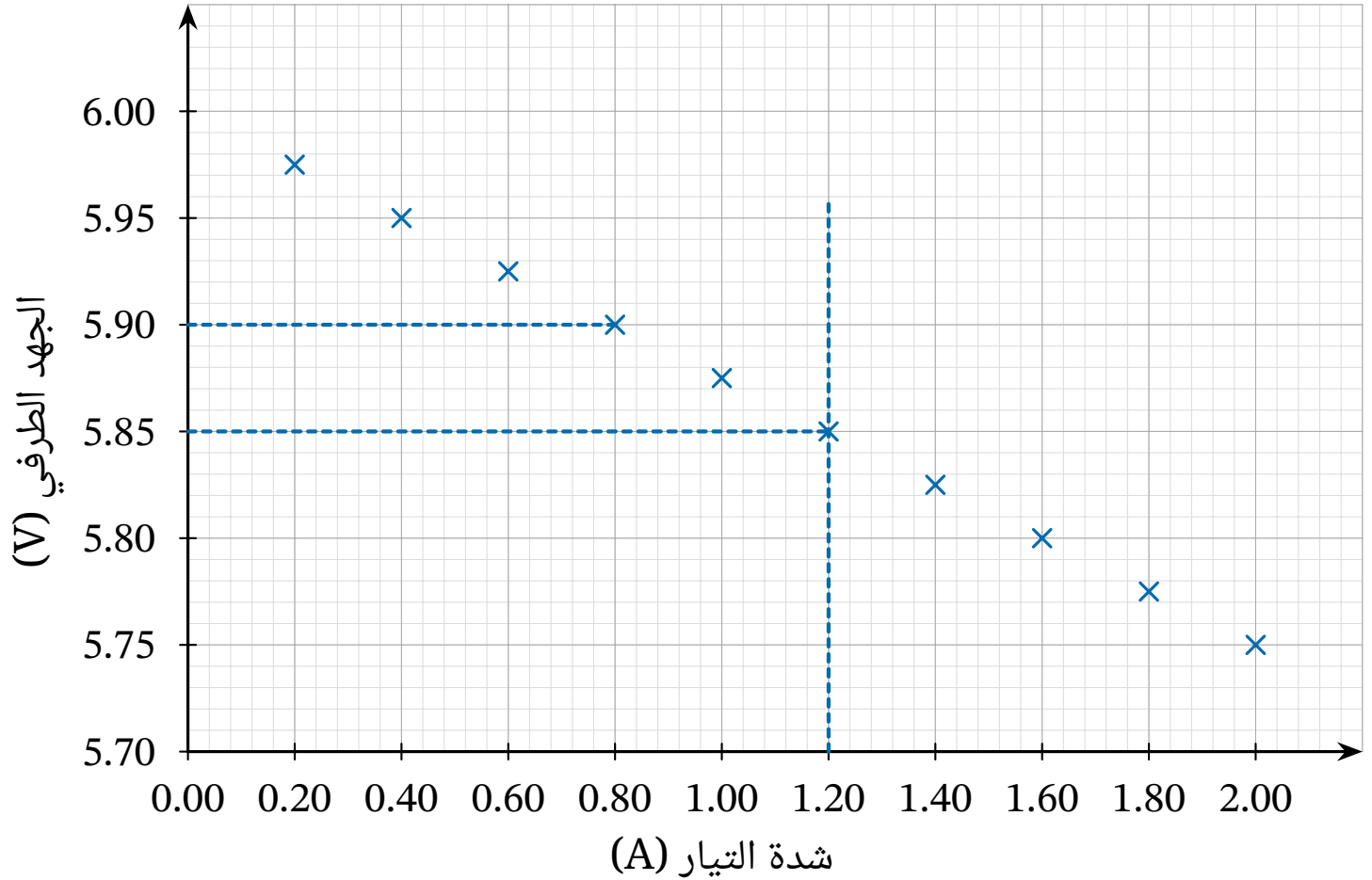
$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$
$$m = \frac{\Delta V}{\Delta I}.$$

مثال ٣ (متابعة)

يمكننا أن نأخذ قيمتين واضحتين لـ V وI من التمثيل البياني:

$$V = 5.90\,\text{V} \qquad I = 0.80\,\text{A},$$

$$V = 5.85\,\text{V} \qquad I = 1.20\,\text{A}.$$



مثال ٣ (متابعة)

هذا يُعطينا قيمة ΔV كالآتي:

$$\Delta V = 5.90\,\text{V} - 5.85\,\text{V}$$
$$\Delta V = 0.05\,\text{V}.$$

ويُعطينا قيمة ΔI كالآتي:

$$\Delta I = 0.80\,\text{A} - 1.20\,\text{A}$$
$$\Delta I = -0.40\,\text{A}.$$

مثال ٣ (متابعة)

وهذا يُعطينا قيمة m كالآتي:

$$m = \frac{0.05\,\text{V}}{-0.40\,\text{A}}$$
$$m = -0.125\,\Omega.$$

ونحن نعرف أن:

$$r = -m,$$

وبهذا، r يساوي $0.125\,\Omega$.

النقاط الرئيسية

- للبطارية مقاومة تُسمَّى المقاومة الداخلية للبطارية.
- جزءٌ من فرق الجهد الذي تنتجه البطارية يبذل شغلًا لتحريك الشحنات عبر البطارية. لا يشارك فرق الجهد هذا في نقل الشحنات عبر الدائرة الكهربية المتصلة بالبطارية.
- يُسمَّى فرق الجهد الكلي الذي تنتجه بطارية ما القوة الدافعة الكهربية للبطارية.
- يُسمَّى فرق الجهد الذي توفِّره البطارية لدائرة متصلة بالبطارية الجهد الطرفي للبطارية.
- تُوجَد علاقة تربط بين القوة الدافعة الكهربية ε، والجهد الطرفي V، والمقاومة الداخلية r، لبطارية متصلة بدائرة كهربية يمر بها تيار شدته I من خلال المعادلة:

$$\varepsilon = V + Ir.$$

- لا يمكن قياس القوة الدافعة الكهربية والمقاومة الداخلية مباشرةً، لكن يمكن تقديرهما بصورة غير مباشرة.