الكلية	التربية للعلوم الصرفة
القسم	الفيزياء
المادة باللغة الانجليزية	Advanced Electricity
المادة باللغة العربية	كهربائية متقدم
المرحلة الدراسية	الثانية
اسم التدريسي	د. مصطفى زعين محمد
عنوان المحاضرة باللغة الانجليزية	Induced Electromotive Force
عنوان المحاضرة باللغة العربية	القوة الدافعة الكهربائية المحتثة
رقم المحاضرة	5
المصادر والمراجع	كتاب الكهربائية والمغناطيسية المتقدم
	Advanced Electricity and Magnetism in English

القوة الدافعة الكهربائية المحتثة

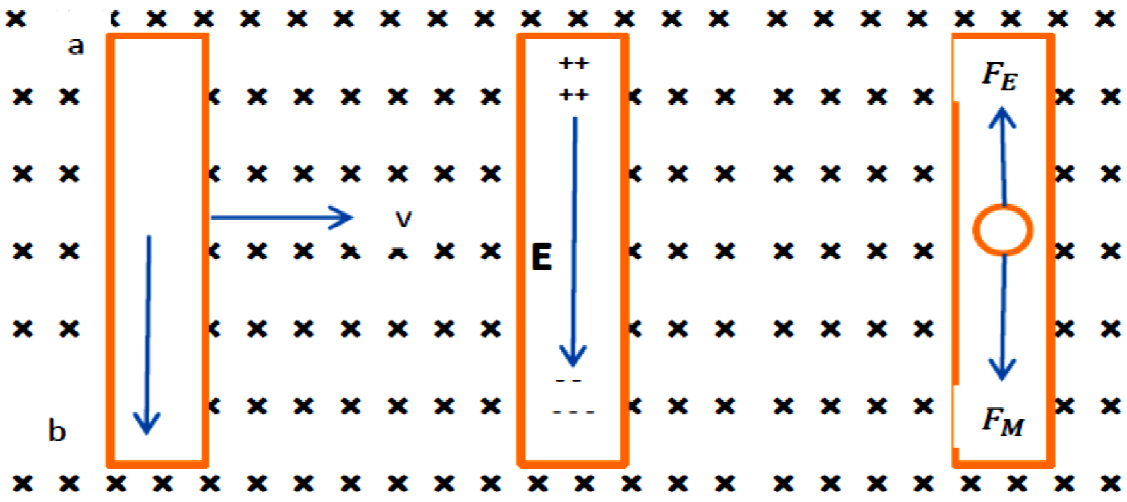
Induced Electromotive Force

القوة الدافعة الكهربائية المحتثة:

تعرف القوة الدافعة الكهربائية بأنها الشغل اللازم لنقل الشحنات الكهربائية وتحريكها أي عملية توليد تيار كهربائي .

عند حركة سلك او قضيب (من مادة موصلة) مثل ab بسرعة v خلال منطقة تحوي مجال مغناطيسي فانه ستتأثر كل شحنة بقوة مغناطيسية (قوة مسلطة من المجال المغناطيسي) تساوي:

$$\overline{F_M} = qvB\ sin\theta = evB$$



وبسبب هذه القوة تتحرك الالكترونات (الشحنات السالبة) الى الاسفل وبالمقابل يزداد تركيز الشحنات الموجبة في الاعلى . ان حركة الشحنات الكهربائية معناها توليد تيار كهربائي وهو موضوعنا هذا.

ان عملية فصل الشحنات الموجبة عن السالبة معناه توليد مجال كهربائي وبالتالي ستتأثر كل شحنة بقوة كهربائية مقدارها $\overline{F_E} = q\overline{E}$ عكس اتجاه المجال $\overline{E}$ أي ان كل الكترون اصبح واقع تحت تأثير قوتين كهربائية ومغناطيسية بحيث تستمر عملية سريان التيار حتى تتساوى القوتين $\overline{F_M}$ و $\overline{F_E}$ وعند ذلك تتوقف حركة الالكترونات(توقف التيار الكهربائي).

ولجعل التيار يستمر لفترة اطول نجعل الموصل يتحرك ذهابا وايابا على سكة مقفلة من مادة موصلة وعند ذلك ستكمل الالكترونات دورتها من الطرف b الى الطرف a وبذلك نحصل على تيار مستمر ما دام الموصل متحركا ويطلق على هذا التيار اسم التيار المحتث.

نفرض ان طول الموصل ab هو l فالقوة المغناطيسية على الموصل :

$$dW = \overline{F_M} \cdot \overline{dx} = (ilB)(vdt) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

$$dW = (Bvl)(idt) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

$$dW = (Bvl)dq \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

$$\therefore \frac{dW}{dq} = Blv \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

ان المقدار $\frac{dW}{dq}$ يمثل مقدار الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنات الكهربائية وهو ما يعرف بالقوة الدافعة الكهربائية ε .

$$\therefore \varepsilon = Blv \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

يمكن ان نكتب المعادلة (6) بالشكل التالي :

$$\varepsilon = (\bar{B} \times \bar{l}) \cdot (\bar{v}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

$$\therefore \varepsilon = Blv \sin\theta \cos\phi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

θ هي الزاوية بين B وبين اتجاه السلك l او اتجاه التيار i . اما ϕ الزاوية بين السرعة v وبين المستقيم العمود على المستوي الذي يضم B و l (حسب خواص الضرب الاتجاهي) . تقاس القوة الدافعة ε بوحدات الفولت.

قانون فاراداي:

ينص قانون فاراداي في الحث الكهربائي على ان القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المتولدة في حلقة مقفلة تساوي عدديا المعدل الزمني لتغير الفيض المغناطيسي المخترق لها . والصيغة الرياضية للقانون :

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt}$$

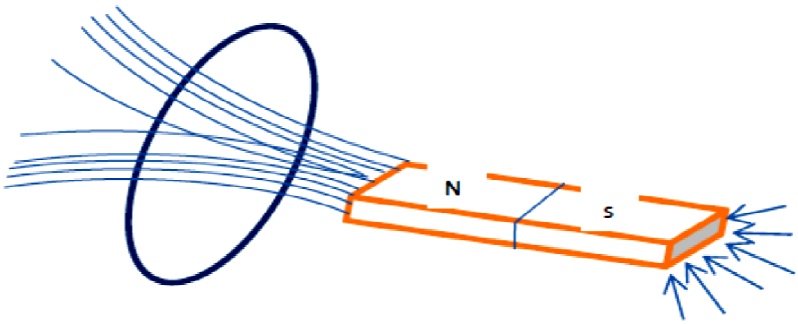
واذا تغير الفيض المغناطيسي في ملف عدد لفاته N ستتولد في الملف قوة دافعة كهربائية محتثة مقدارها:

$$\varepsilon = -N\frac{d\phi}{dt} \qquad ,\phi = ABcos\theta$$

ان تغير الفيض المغناطيسي له اسباب منها تغير المجال المغناطيسي او تغير مساحة السطح او تغير اتجاه السطح بالنسبة للمجال المغناطيسي ، وكذلك فان تغير التيار الكهربائي في ملف من اهم اسباب تغير المجال المغناطيسي .

فلتوليد قوة دافعة كهربائية حسب قانون فاراداي يشترط ان يكون هناك تغير في الفيض الا ان القانون لا يحدد الكيفية التي يجب ان يتم بها ذلك التغيير .

اذا كان لدينا مغناطيس وحلقة من مادة موصلة يخترقها الفيض المغناطيسي كما في الشكل



اذا بقي كل من المغناطيس والحلقة ثابت في موضعه فلا تتكون في الحلقة قوة دافعة كهربائية لان الفيض ثابت المقدار ولا يتغير مع الزمن:

$$\frac{d\phi}{dt} = 0 \quad \rightarrow \therefore \ \varepsilon = 0$$

اما اذا حركنا الحلقة باتجاه المغناطيس او مبتعدين عنه او حركنا المغناطيس باتجاه الحلقة او مبتعدين عنها او ابقينا الحلقة ثابتة وحركنا المغناطيس جانبا ففي جميع هذه الحالات ستتولد في الحلقة قوة دافعة كهربائية وذلك بسبب تغير الفيض المغناطيسي المخترق للحلقة الناتج عن تغير المجال المغناطيسي أي ان :

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d(ABcos\theta)}{dt} = -Acos\theta\frac{dB}{dt}$$

اذا دورنا الحلقة حول محور ما مع بقاء المغناطيس ثابت او دورنا المغناطيس حول محور معين مع بقاء الحلقة ثابتة ستتولد في الحلقة قوة دافعة كهربائية وذلك بسبب تغير الفيض المغناطيسي المخترق للحلقة الناتج عن تغير اتجاه السطح بالنسبة للمجال المغناطيسي أي ان :

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d(ABcos\theta)}{dt} = -AB\frac{d(cos\theta)}{dt}$$

مثال: ملف من اسلاك موصلة عدد لفاته 500 ومساحته $600cm^2$ ومقاومته 50 Ω ، سلط عليه مجال مغناطيسي يميل مع اتجاه السطح بزاوية مقدار ها 60^0 فاذا كان B تتغير بمعدل 10 mT/sec . جد شدة التيار المحتث .

الحل: نحسب اولا القوة الدافعة الكهربائية باستخدام المعادلة :

$$\varepsilon = -N\frac{d\phi}{dt} \qquad ,\phi = ABcos\theta$$

$$\varepsilon = -N\frac{d(ABcos\theta)}{dt} = -NA\,cos\theta\frac{dB}{dt}$$

$$\therefore\ \varepsilon = -500 \times 600 \times 10^{-4} \times cos60 \times 10 \times 10^{-3} = -0.15\ volt$$

$$\therefore i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{-0.15}{50} = -0.003\ amp = -3\ mA$$

مثال: ملف مقاومته 40 Ω وعدد لفاته 200 ويخترقه فيض مغناطيسي يتغير وفق المعادلة:

$$\emptyset = (4t^3 + 2t + 5) \times 10^{-3}W$$

جد مقدار التيار المحتث عندما تكون : ١- t=0 ٢- t=2sec

الحل: نحسب اولا القوة الدافعة باستخدام المعادلة :

$$\varepsilon = -N\frac{d\phi}{dt} \qquad ,\phi = (4t^3 + 2t + 5) \times 10^{-3}W$$

$$\therefore \varepsilon = -200 \times 10^{-3}\frac{d(4t^3 + 2t + 5)}{dt}$$

$$\therefore \varepsilon = -0.2 \times (12t^2 + 2)$$

1- at t=0 $\quad \therefore \varepsilon = -0.2 \times (12 \times 0 + 2) = -0.4\ v$

$$\therefore i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{-0.4}{40} = -0.01\ amp$$

2- at t=2 sec $\quad \therefore \varepsilon = -0.2 \times (12 \times 4 + 2) = -10\ v$

$$\therefore i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{-10}{40} = -0.25\ amp$$

مثال : ملف من اسلاك موصلة مساحته $120\ cm^2$ وعدد لفاته 600 وسطحه بوضع افقي مقاومته $40\ \Omega$ موجود في مجال مغناطيسي منتظم $B=0.4T$ يتجه شاقوليا الى الاعلى ، دور الملف بسرعة وخلال $0.2sec$ اصبح اتجاه السطح يصنع زاوية مقدارها 30^0 مع اتجاه المجال . جد مقدار الشحنة الكهربائية المارة خلال الملف اثناء عملية الدوران .

الحل: ان سبب تغير الفيض هنا هو دوران الملف ، اي تغير الاتجاهات بين الملف والمجال المغناطيسي.

$$\varepsilon = -N\frac{d\phi}{dt}$$

بما ان $i = \frac{\varepsilon}{R}$

$$\therefore i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{-N}{R}\frac{d\phi}{dt}$$

$$\therefore idt = \frac{-N}{R}d\phi$$

وبتكامل الطرفين:

$$\int idt = \frac{-N}{R}\int_{\phi_1}^{\phi_2} d\phi$$

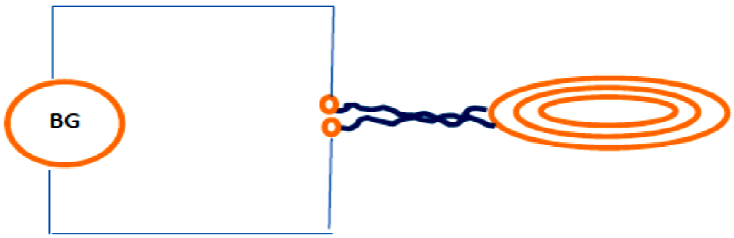
$$\therefore q = \frac{-N}{R}(\phi_2 - \phi_1) = \frac{-N}{R}(ABcos\theta_2 - ABcos\theta_1) = \frac{-NAB}{R}(cos\theta_2 - cos\theta_1)$$

$$\therefore q = \frac{-600 \times 0.4 \times 120 \times 10^{-4}}{40}(cos30 - cos0)$$

$$\therefore q = \frac{-600 \times 0.4 \times 120 \times 10^{-4}}{40}\left(\frac{\sqrt{3}}{2} - 1\right) = 9.65 \times 10^{-3}\ Coul$$

قياس B بإستخدام ملف البحث:

نفرض لدينا ملف مساحته صغيرة ومعروفة وعدد لفاته N ، نربط بين طرفيه كلفانومتر قذفي كما في الشكل



اذا وضعنا الملف في مجال مغناطيسي ودورناه بسرعة حول احد اقطاره بزاوية مقدارها 90^o او سحبناه خارج المجال المغناطيسي فسنلاحظ ان الكلفانومتر سيبدأ بالقراءة (يتحرك مؤشره لقياس التيار الكهربائي) وتفسير ذلك حسب قانون فاراداي ان دوران الملف او سحبه خارج المجال يؤدي الى تغير الفيض المغناطيسي المخترق للملف وبالتالي تتكون قوة دافعة كهربائية في الملف وتولد تيار محتث يسجله مؤشر الكلفانومتر الذي يتناسب مقدار انحرافه مع مقدار الشحنة الكهربائية المارة خلاله الناتجة عن التيار المحتث.

اذا فرضنا ان قراءة الكلفانومتر هي D الناتجة عن مرور الشحنة q حيث ان q تتناسب مع D اي ان :

$q \propto D \rightarrow \therefore q = GD$, G: ثابت الكلفانومتر ..... (1)

$$\varepsilon = -N\frac{d\phi}{dt} \quad \text{..... (2)}$$

بما ان $i = \frac{\varepsilon}{R}$

$$\therefore i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{-N}{R}\frac{d\phi}{dt} \quad \text{..... (3)}$$

$$\therefore idt = \frac{-N}{R}d\phi \quad \text{..... (4)}$$

وبتكامل الطرفين:

$$\int idt = \frac{-N}{R}\int_{\phi_1}^{\phi_2} d\phi \quad \text{..... (5)}$$

$$\therefore q = \frac{-N}{R}(0-\phi_1) = \frac{N\phi}{R} \quad \text{..... (6)}$$

$$\phi = ABcos\theta = ABcos0 = AB$$

$$\therefore q = \frac{NAB}{R} \quad \text{..... (7)}$$

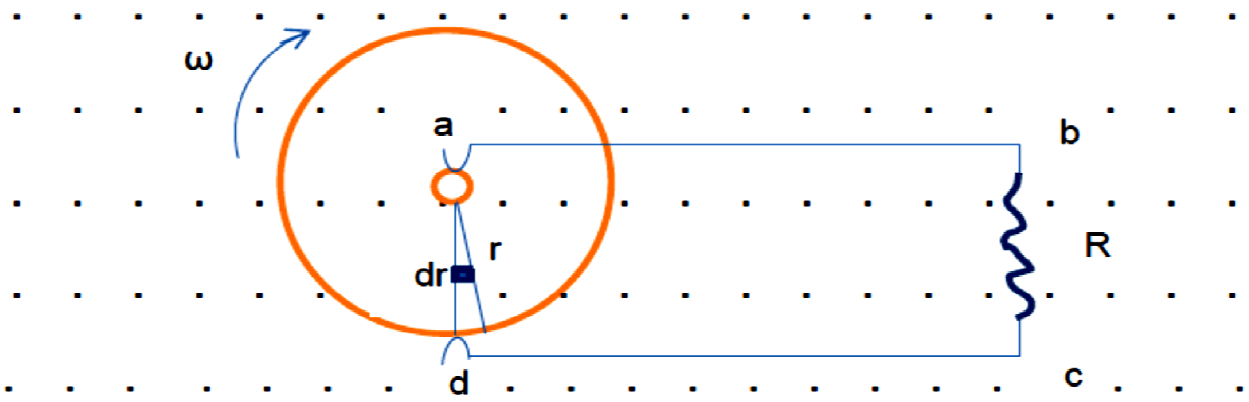
وبمساواة المعادلتين (1) و (7) نحصل على:

$$GD = \frac{NAB}{R} \qquad \ldots\ldots\ldots (8)$$

$$\therefore B = \frac{GDR}{NA} \qquad \ldots\ldots\ldots (9)$$

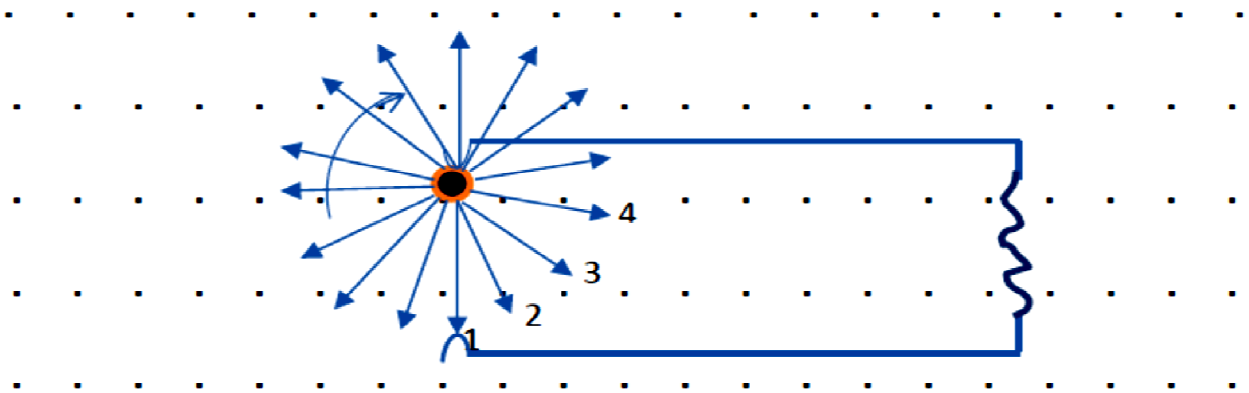
قرص فراداي:

يعتبر هذا الجهاز من اول الاجهزة الميكانيكية التي استخدمت للحصول على طاقة كهربائية بطريقة ميكانيكية.



يتألف الجهاز من قرص معدني يدور حول محور عمود على سطحه ويسلط عليه مجال مغناطيسي عمود على سطحه . تمثل abcd دائرة كهربائية بحيث يكون الطرف a في حالة تماس مع مركز القرص و b مع المحيط ، نلاحظ عند دوران القرص يتولد تيار كهربائي . ان مبدأ عمل الجهاز مبني على انه اذا تحرك موصل في مجال مغناطيسي تولدت فيه قوة دافعة كهربائية محتثة وتيار محتث.

لتوضيح الفكرة نتصور لدينا عجلة دراجة هوائية تتكون من اسلاك موصلة وتتحرك في مجال مغناطيسي كما في الشكل:



فعندما يصل طرف السلك رقم 1 الى الطرف d تكمل الدائرة الكهربائية ويسري خلالها تيار كهربائي ويتوقف التيار فور الانفصال عن الطرف d ولكن سرعان ما يصل السلك رقم 2 فيعود سريان التيار ، وهكذا بقية الاسلاك حيث نحصل على تيار متقطع ، وكلما ازداد عدد الاسلاك قلت فترة انقطاع التيار، ولو استمرينا بزيادة عدد الاسلاك لحصلنا على القرص الذي اشرنا اليه في البداية ويكون التيار مستمرا بلا انقطاع .

ولغرض الحصول على القوة الدافعة الكهربائية، نفرض ان القرص يدور بسرعة زاوية مقدارها ω وان الشريحة ad تمثل احد الاسلاك ، ان جميع اجزاء ad لها نفس السرعة الزاوية ولكن سرعتها الخطية v غير متساوية، ولنأخذ الجزء dr على بعد r من المركز بحيث تكون السرعة الخطية لهذا الجزء هي

$$v = r\omega \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

ان جزء القوة الدافعة الكهربائية الناتج عن الجزء dr يساوي $d\varepsilon$

$$\varepsilon = Blv \;\rightarrow\; \therefore\; d\varepsilon = Bdr\, v \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

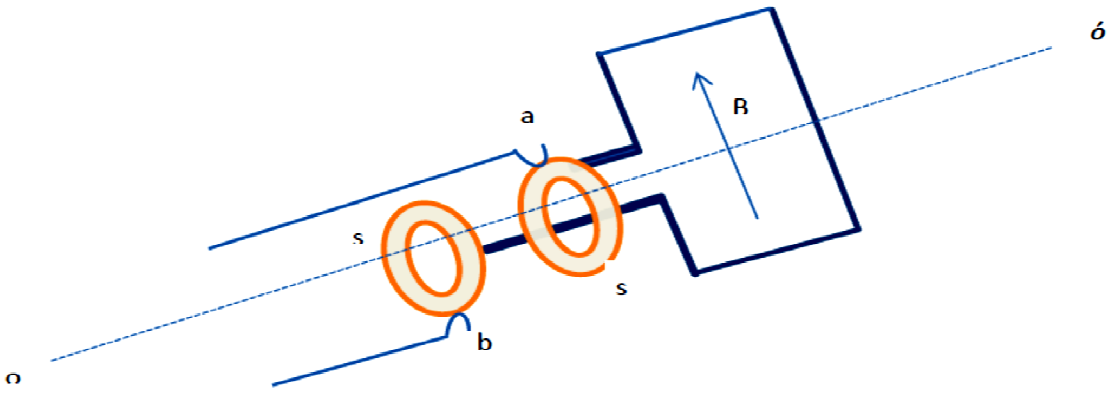
نعوض (1) في (2) ينتج:

$$\therefore\; d\varepsilon = Br\omega\, dr \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

$$\therefore\; \varepsilon = B\omega \int_{o}^{R} r\; dr = \frac{1}{2}\, B\omega R^2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

المولد الكهربائي:

المولد الكهربائي هو عبارة عن ملف من الاسلاك يدور في مجال مغناطيسي فينتج قوة دافعة كهربائية وتيار محتث (قانون فاراداي).



يتصل كل طرف من طرفي الملف بحلقة (S) وتمس كل حلقة فرشاة بحيث تربط الدائرة الكهربائية الى طرفي الفرشتين a,b . فاذا كان عدد لفات الملف N ومساحة اللفة الواحدة A والسرعة الزاوية التي يدور بها الملف في المجال المغناطيسي B هي ω ونتيجة لذلك فان الفيض المغناطيسي المخترق للملف في اية لحظة هو :

$$\phi = AB\cos\theta \qquad , \; \theta = \omega t$$

$$\therefore \phi = AB\cos\omega t$$

$$\varepsilon = -N\frac{d\Phi}{dt} = -N\frac{d(AB\cos\omega t)}{dt} = -NAB\frac{d}{dt}(\cos\omega t)$$

$$\therefore \varepsilon = NAB\omega \sin\omega t$$

نلاحظ من المعادلة الاخيرة ان القوة الدافعة الكهربائية هي دالة جيب اي انها متغيرة المقدار والاتجاه وهي تتراوح خلال الدورة الواحدة بين القيمة العظمى ثم الصفر ثم الى القيمة الصغرى وتدعى بالقوة الدافعة الكهربائية المتناوبة والتيار الناتج يدعى التيار المتناوب ويرمز له بالرمز (A . C) .

وللحصول على قوة دافعة كهربائية ذي وجهة واحدة يجري تحوير الجهاز وذلك باستبدال الحلقتين بحلقة واحدة مقسومة الى نصفين بحيث يرتبط كل طرف من طرفي الملف بواحد من النصفين وبالتالي نحصل على تيار كهربائي ذو وجهة واحدة ويسمى التيار المستمر ويرمز له بالرمز (D . C)