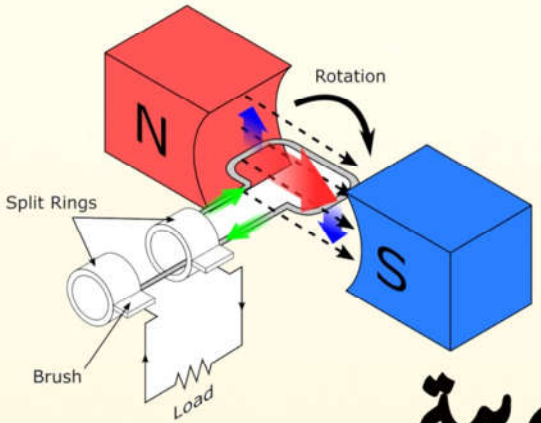
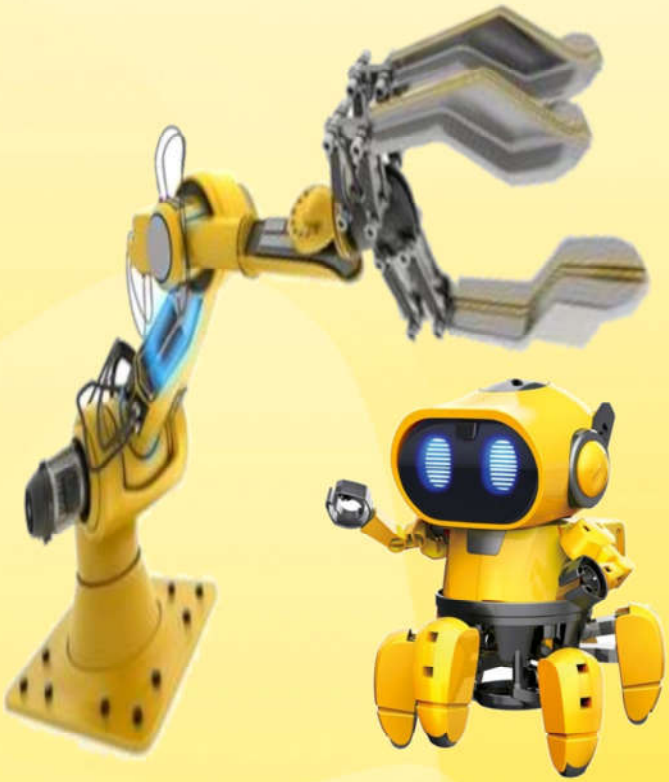
سلسلة قوة المعرفة

الجزء الثاني



الطريق نحو ....

السيارة الدينامو الكهربية



إعداد:

د/ أندرو عاقله جرجس

سلسلة قوة المعرفة

الجزء الثاني:

الطريق نحو .... السيارة الدينامو الكهربية

مهداة إلى: طلبة شعبة العلوم بالمدرسة الثانوية

مقدمة:

هي فكرة مبتكرة للجمع بين الموتور والدينامو في جهاز واحد بحيث نستغل القوة الدافعة الكهربية الناتجة عن الدينامو في شحن بطارية السيارة الكهربية بشكل شبه مستمر أو دائم وبالتالي يكون هناك دائرة كهربية مكتملة ذاتية الشحن داخل جسم السيارة لا تحتاج إلى مصدر خارجي لإعادة شحنها مع الاعتماد على بعض الحلول البرمجية لأنظمة السيارات الذكية الحديثة مثل: أندرويد أوتو أو أبل كار بلاي أو غيرها.

التعريف بالكاتب: د/ أندرو عاقوله جرجس

الاسم: أندرو عاقوله جرجس

تخرج من كلية الطب

ويدرس الآن تخصص الأنف والأذن والحنجرة

مولع جداً بالعلوم والتكنولوجيا

يحب قراءة الأشعار وممارسة كرة القدم

الرياضيات والفيزياء من المواد المفضلة

يهوى التنزه وسط المساحات الخضراء والمناظر الطبيعية

محتويات الكتيب:

الفصل الأول: التيار الكهربي ..... صفحة ٥

الفصل الثاني: الحقل المغناطيسي ..... صفحة ١٠

الفصل الثالث: إسهامات بعض العلماء في الكهربية ... صفحة ١٥

الفصل الرابع: المجال المغناطيسي وقانون لورنتز ..... صفحة ٢٢

الفصل الخامس: الدينامو (المولد الكهربائي) ..... صفحة ٣٣

الفصل السادس: الموتور (المحرك الكهربائي) ..... صفحة ٤٠

الفصل السابع: شحن السيارة الكهربية ..... صفحة ٤٨

الفصل الأول: التيار الكهربي

التيار الكهربائي: تدفق من الشحنات الكهربائية كالإلكترونات أو الأيونات. طبقاً للنظام الدولي للوحدات فإن شدة التيار الكهربي تقاس بالأمبير. بينما يقاس التيار الكهربي بجهاز الأميتر، ويمكن أن يقاس بأحد أجهزة القياس ذات المحرك. يرمز للتيار الكهربائي بالحرف I وليس C، والسبب يرجع لقانون أمبير الذي وضعه العالم الفرنسي أمبير الذي ربط المجال المغناطيسي المتولد حول ملف مغلق بالشحنة الكهربائية التي تتدفق في الملف، وقرر أمبير تسمية معدل تدفق الشحنة بـ "التيار - Current"، و كمية التيار بـ"شدة التيار - current intensity" أو كما هو أصلها بالفرنسية intensité de courant لذلك اتخذ حرف I رمزاً لكثافة التيار، وانتقل الرمز من فرنسا إلى بريطانيا حيث أصبح رمزاً قياسياً. لكن بعد ذلك كان يتم في الكتب اختصار "شدة التيار- current intensity" إلى "التيار-Current" على الرغم من أن بعض الكتب القديمة لازالت تكتبها كاملة، وذلك ما أدى إلى أرباك وحيرة البعض أن يكون رمز التيار هو I و ليس C، وقد طالب البعض في بريطانيا تعديل الرمز إلى C لكن لم يتم ذلك، ربما لأنه قد تم التعود على الرمز I أو حتى لا يحدث خلط مع رمز "السعة الكهربائية- capacitance" وهو C والذي كان يستخدم في نفس الوقت.

يحتوي الفلز الصلب الموصِل للكهرباء على مجموعة كبيرة من الإلكترونات المتحركة أو الحرة، وترتبط هذه الإلكترونات بـ شبكة من الأسلاك الفلزية ولكنها لا ترتبط بأية ذرة مفردة. وحتى في حالة انعدام المجال الكهربي الخارجي، تتحرك هذه الإلكترونات بصورة عشوائية لحدٍ ما بفعل الطاقة الحرارية، وعند توصيل سلك من الفلز بطرفي مصدر جهد

كهربي ذي تيار مستمر مثل البطارية، سيعمل المصدر على توليد مجال كهربي عبر الموصِل. وبمجرد توصيل السلك الفلزي، تندفع الإلكترونات الحرة نحو الطرف الموجب في الموصل بفعل هذا المجال الكهربي. وبالتالي، تمثل الإلكترونات الحرة ناقل التيار الكهربي في الموصِل الصلب النموذجي. ففي تيار كهربي شدته ١ أمبير، يندفع ١ كولوم من الشحنة الكهربية (التي تتألف من نحو ٦.٢٤٢ إلكترون تقريبًا مضروبًا في ١٠ مرفوعة للأس ١٨) كل ثانية عبر أي سطح مستوٍ يمر من خلاله الموصِل.

في أي تدفق ثابت، يمكن حساب التيار I المُقاس بـ الأمبير باستخدام المعادلة التالية: $\mathbf{I = Q / t}$

حيث:

Q هو الشحنة الكهربية السارية مقاسةً بـ الكولوم

t هو الزمن محسوبًا بـ الثواني

وبشكل أكثر تعميمًا، يمكن تعريف التيار الكهربي بأنه المعدَّل الزمني لتغير الشحنة الكهربية، أو $\mathbf{I = dQ / dt}$

في الفلزات الصلبة، تتدفق الكهرباء بفعل حركة الإلكترونات، من الجهد الكهربائي الأدنى إلى الجهد الكهربي الأعلى (لاحظ أن التيار الكهربائي معرف عكسيا، أي أن الإلكترونات تتجه من الأعلى للأدنى ولكن ينظر مهندسو الكهرباء إلى التيار الموجب أنه من الأدنى للأعلى أي أن التيار في الحقيقة يسير من القطب السالب وهو الأدنى إلى القطب الموجب وهو الأعلي) أما في أي وسط آخر، فإن أي تدفق لأجسامٍ ذات شحنة كهربية يمكن أن يؤدي إلى توليد تيار كهربي: على سبيل المثال، تكون التيارات الكهربية في الإلكتروليتات عبارة عن تدفقات من ذرات ذات شحنات كهربية (أيونات)، موجبة أو سالبة. وفي أي من الخلايا الكهروكيميائية المعروفة المحتوية على حمض الرصاص، تتكون التيارات الكهربية من أيونات هيدروجينية موجبة (بروتونات) تسري في اتجاه معين، وأيونات سلفات سالبة تسري في الاتجاه الآخر.

قانون أوم: هو مبدأ أساسي في الكهرباء، أطلق عليه هذا الاسم نسبة إلى واضعه الفيزيائي الألماني "جورج سيمون أوم".

فقد أجرى أوم تجارب لقياس فرق الجهد الكهربائي المطبق على دوائر كهربائية بسيطة وشدة التيار الكهربائي المار فيها، مع تغيير طول السلك المستخدم فيها. واستنتج بعض المعادلات المعقدة والتي جرى تعديلها حتى وصلت لصورتها البسيطة المبينة لاحقا.

وينص هذا القانون على أن فرق الجهد الكهربائي بين طرفي ناقل معدني يتناسب طرديا مع شدة التيار الكهربائي المار فيه.

$$V \alpha I$$

يتم تعريف النسبة الثابتة بين فرق الجهد وشدة التيار بالمقاومة الكهربائية ويرمز إليها بالحرف اللاتيني **R**. ويلاحظ أن المقاومة **R** لناقل ما هي إلا قيمة ثابتة ولا تتغير بتغير فرق الجهد بين طرفيه، ويعبر عن هذا المبدأ من خلال المعادلة التالية: $R = V / I$

كما يمكن التعبير عن نفس المعادلة بصيغة أخرى: $V = I . R$

حيث:

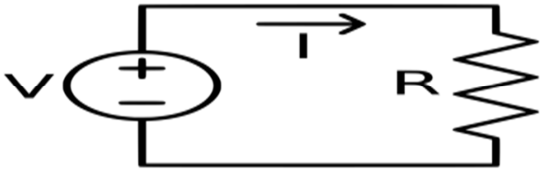
V: هي فرق الجهد الكهربائي بين طرفي الناقل المعدني (المقاومة) ويقاس بوحدة تسمى بالفولت، ويرمز له بالرمز **(V)**.

I: هي شدة التيار الكهربائي المار في الناقل ويقاس بوحدة تسمى بالأمبير، ويرمز له بالرمز **(A)**.

R: هي مقاومة الناقل للتيار وتقاس بوحدة تسمى بالأوم، ويرمز لها بالرمز **(Ω)**.

ويمكن صياغة القانون السابق حسب الوحدات الكهربائية كالتالي:

$$1\Omega = 1V / 1A$$



القدرة الكهربائية أو الاستطاعة الكهربائية (P): هي المعدل الزمني لتدفق الطاقة الكهربائية في دائرة كهربائية، والقدرة كمية وحدة قياسها حسب النظام الدولي للوحدات هي واط.

تحسب القدرة المفقودة بسبب المقاومة الكهربائية حسب قانون جول:

حيث: $\mathbf{P = V \times I}$

P هي القدرة واط

V هي فرق الجهد على طرفي المقاومة فولت

I هي التيار المار بالمقاومة أمبير

القدرة الكهربائية حسب قانون أوم: $\mathbf{P = I^2 \cdot R = V^2 / R}$

R هي قيمة المقاومة أوم **Ω**

الواط أو الوات (بالإنجليزية: Watt) (الرمز: W): هي وحدة مشتقة لقياس القدرة في نظام الوحدات الدولي، سميت بهذا الاسم نسبة للمهندس الإسكتلندي جيمس واط (١٧٣٦-١٨١٩). الواحد واط يُعَرَّف بأنه ١ جول لكل ثانية، وهو وحدة قياس لمعدل نقل الطاقة أو تحويلها من صورة لأخرى.

تستخدم وحدة الواط بكثرة في حساب القدرة الكهربائية، في التيار المستمر (بالإنجليزية: DC) هي القدرة التي يبذلها تيار ثابت قيمته واحد أمبير بتأثير جهد كهربائي قيمته واحد فولت تعادل واحد واط.

١ واط = ١ فولت × ١ أمبير = ١ جول /ثانية

في التيار المتردد (بالإنجليزية: AC) عندها يكون حاصل ضرب القيمة اللحظية بالأمبير بالقيمة اللحظية للجهد بالفولت ينتج القيمة اللحظية بالواط. والمتوسط الجبري للقدرات اللحظية في دورة كاملة (متوسط القدرة) يساوي القدرة بالواط.

من ناحية الكهرومغناطيسية: الواحد واط هو معدل بذل العمل عندما يسرى تيار شدته واحد أمبير **(A)** خلال فرق جهد كهربائي يساوي واحد فولت **(V)**.

$$\mathbf{W = V \cdot A}$$

يمكن استنتاج تحويلتين وحداتيّن إضافيتين للواط باستخدام المعادلة أعلاه وقانون أوم.

$$\mathbf{W = V^2 / \Omega = A^2 \cdot \Omega}$$

حيث إن الأوم **(Ω)** هي وحدة مشتقة في النظام الدولي لقياس المقاومة الكهربائية.

الفصل الثاني: الحقل المغناطيسي

المجال المغناطيسي أو الحقل المغناطيسي ويسمى أحيانًا بالحث المغناطيسي (بالإنجليزية: Magnetic Field): وهي قوة مغناطيسية تنشأ في الحيز المحيط بالجسم المغناطيسي أو الموصل الذي يمر به تيار كهربائي، أو بتعبير أبسط يمكن وصفها بأنها المنطقة المحيطة بالمغناطيس ويظهر فيها أثره (على مواد معينة). إذا وضعت إبرة بوصلة في المجال المغناطيسي ذو قوة ما فإنها توجه نفسها في اتجاه معين في كل جزء من المجال والخطوط المرسومة في اتجاه الإبرة عند النقط المختلفة تحدد الوضع العام للخطوط التي هي عليها القوة المغناطيسية في المجال.

يمكن مشاهدة توزيع المجال المغناطيسي بنثر برادة الحديد على ورقة موضوعة على قضيب مغناطيسي أو ورقة يمر خلالها سلك يمر به تيار كهربائي. التيارات الخارجية تتجه من الشمال إلى الجنوب والتيارات الداخلية تتجه من الجنوب إلى الشمال. ويمكن إنشاء حقل مغناطيسي بتمرير تيار كهربائي بسلك ما حيث تتشكل دوائر مغناطيسية حول السلك ومركزها السلك نفسه. حيث أن التيار الكهربائي يولّد مجالاً مغناطيسياً والعكس صحيح. نستطيع معرفة اتجاهه باستخدام قاعدة اليد اليمنى حيث يشير الإبهام إلى جهة التيار وبقية الأصابع تشير باتجاه الحقل المغناطيسي. ويمكن تكبير مجال الحقل المغناطيسي بواسطة تكبير الذبذبات الخارجة من المادة عن طريق إمرار تيار كهربائي من الشمال إلى الجنوب.

الحقل المغناطيسي والتيار الكهربائي: كل الجسيمات المشحونة المتحركة تُنتج حقلاً مغناطيسياً حولها. وتنتج بعض الجسيمات، مثل

الإلكترونات، حقولاً مغناطيسية معقدة لكن معروفة جيداً، حيث تعتمد على شحنة وسرعة وتسارع الجسيمات.

تتشكل الخطوط المغناطيسية في "دوائر متحدة المركز" حول سلك يمر فيه تيّار كهربائي. ويُمكن تحديد اتجاه حقل مغناطيسي كهذا باستخدام "قاعدة قبضة اليد اليمنى". وتتناقص قوة المجال المغناطيسي في تناسب عكسي مع مربع المسافة من السلك.

انحناء السلك الحامل للتيّار إلى حلقة يركّز المجال المغناطيسي داخلها، وتتجه خطوط المجال المغناطيسي الناشئ إلى خارج الحلقة وتلف وتعود من الجهة الإخرى للحلقة المار فيها التيار، حيث تكمل خطوط المجال المغناطيسي دورتها . وتقل قوتها خارج حلقة السلك.

عندما نلف السلك إلى عدة حلقات لتشكيل ملفاً فإن ذلك يتسبب في زيادة شدة المجال المغناطيسي الناشئ رغم ثبات شدة التيار الكهربائي المار في الملف. وتزداد شدة المجال المغناطيسي الناشيء بزيادة عدد اللفات.

وعندما توضع قطعة من الحديد داخل ملف يمر فيه تيار يشتد المجال نظراً لخاصية الحديد المغناطيسية (يتكون الحديد العادي من حبيبات صغيرة لها مغناطيسية ذاتية ولكنها متفرقة الاتجاه). و يتولّد مجالاً مغناطيسياً قوياً وقابلاً للتحكم. الحديد من المواد ذات مغناطيسية حديدية حيث تكمن مغناطيسيته في حبيبات صغيرة ولكن اتجاهات المغناطيسية في الحبيبات تكون موزعة عشوائيا بحيث تكون المحصلة المغناطيسية لقطعة الحديد مساوية للصفر. وعندما توضع قطعة الحديد في مجال مغناطيسي داخل ملف فيه تيار كهربائي يؤثر هذا المجال المغناطيسي للملف على قطعة الحديد وتنتصب " معظم" اتجاهات مغناطيسية الحبيبات في اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي مما يزيد من شدة المجال المغناطيسي كثيراً. وعندما ينقطع ينقطع التيار تختفي القوة المؤثرة على مغناطيسية الحبيبات وتعود اتجهات مغناطيسية الحبيبات إلى اتجاهاتها العشوائية، وتختفي مغناطيسية قطعة الحديد. لهذا نقول أن قطعة الحديد لها مغناطيسية "كامنة" فيها .

تظهر خاصية المغناطيسية الحديدية في الحديد و الكوبلت و النيكل و سبائكها.

وترجع خاصية المغناطيسية الحديدية للحديد والكوبلت والنيكل إلى بنيتها الذرية، فكل ذرة منهم لها مغناطيسية ذاتية.

يملك مغناطيس كهربائي لا نهائي الطول مجالاً مغناطيسياً منتظماً داخله، ولا يملك واحداً خارجه. أما المغناطيس الكهربائي محدود الطول فيولّد نفس المجال المغناطيسي لـ"مغناطيس دائم" منتظم من نفس الحجم والشكل، وتعتمد قوّته وقطبيّته على التيار الكهربائي المار في الملف واتجاهه.

الأقطاب المتماثلة والأقطاب المختلفة: ويؤثر المجال المغناطيسي على المغناطيسات والمواد القابلة للمغنطة (مثل فريمغناطيسية بعض المواد الغير فلزية، تسمى فريت و مواد المغناطيسية الحديدية مثل الحديد و النيكل). المغناطيسات المستطيلة والعينات الحديدية المستطيلة توجه نفسها لاتخاذ اتجاه خطوط المجال المغناطيسي الخارجي أو تكون في اتجاه عكسي، أي أن في القطب الجنوبي لمغناطيس يأخذ اتجاه خطوط المجال إلى القطب الشمالي للمغناطيسي المؤثر. ويستغل هذا التأثير مثلا في البوصلة حيث يتكون مؤشر البوصلة من مغناطيس ذو قطبين، ويتجه القطب الجنوبي للإبرة إلى اتجاه الشمال للمجال المغناطيسي للأرض. كما تُستخدم المغناطيسات كثيرا للشد والنقل وتستخدم المغناطيسات الكهربائية لرفع الأثقال في الرافعات.

ونظرا لتجاذب الأقطاب المختلفة وتنافر الأقطاب المتماثلة يقترب القطبين المختلفين لمغناطيسين من بعضهما البعض. و في حالة مغناطيسين ذوي مجالين "غير متجانسين" ، أي تختلف شدة مجالهما من مكان إلى مكان بشدة، ففي تلك الحالة يتجاذب المغناطيسان. وسبب تلك الظاهرتين يكمن في أن المغناطيسان يحاولان اتخاذ وضع تقل فيه الطاقة - إذ تتفاعل القوى دائما بطريقة بحيث تنخفض معها الطاقة الكلية للمجال عندما تتبعها المغناطيسات. وعند وصف تلك القوة بالصيغة الرياضية فإننا نحسب التدرج للمجال المغناطيسي.

عند توجه المغناطيسات والأجسام المغناطيسية في اتجاه مجال مغناطيسي تتبادل معه طاقة - عندما يتبع الجسم القوة المؤثرة تقل مجموع طاقات المجال وينشأ شغل ميكانيكي. ولإبعاد مغناطيسان عن بعضها فلابد من أن نؤدي شغلا ميكانيكيا، وبذلك تزداد طاقة المجال للمجال الكلي الناشئ. وتبقى مغناطيسية المغناطيسين ولا تُفقد. وإذا كان جسمان ممغنطان عن طريق ملفين فيمكن أيضا تبادل طاقة كهربائية بينهما.

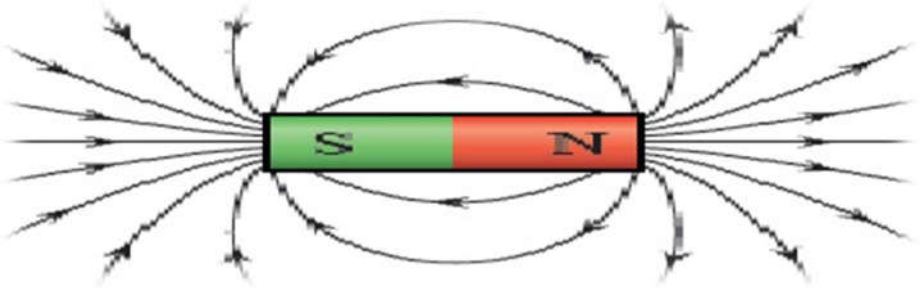
المجال المغناطيسي الأرضي: الأرض وعطارد هما الكوكبان الصخريان الوحيدان اللذان يمتلكان مجالاً مغناطيسياً ناشئ عن حركة المعادن المنصهرة في باطنهما بينما تمتلك الكواكب الأخرى في مجموعتنا الشمسية صيغاً اخرى للجاذبية قد يتمثل البعض منها فيما يسمى بحقول القشرة المغناطيسية القوية كما هي الحال على سطح كوكب المريخ.

الأرض هي الوحيدة من الكواكب الصخرية في النظام الشمسي التي تملك مجالاً مغناطيسياً. وهو يتشكل بفعل الصهارة المشحونة كهربائياً التي تتحرك داخل الأرض في طبقة الدثار (وذلك طبقاً لقاعدة أن التيار الكهربائي يولّد مجالاً مغناطيسياً). ولهذا المجال المغناطيسي أهمية كبيرة للحياة على الأرض، وذلك لأن الرياح الشمسية تسبب تآكل الغلاف الجوي (وهذا ما يحدث في بقية الكواكب الصخرية في النظام الشمسي، حيث تآكل جزء كبير من أغلفتها الجوية). بينما يعمل المجال المغناطيسي للأرض على حمايتها من الرياح الشمسية ويمنع وصولها إلى الغلاف الجوي. إضافة إلى ذلك، لولا المجال المغناطيسي لما وُجد اختراع البوصلة (لأن البوصلة تتجه نحو القطب الشمالي المغناطيسي للأرض)، والتي كانت لها أهمية كبيرة عبر العصور في معرفة الاتجاهات أثناء السفر والترحال.

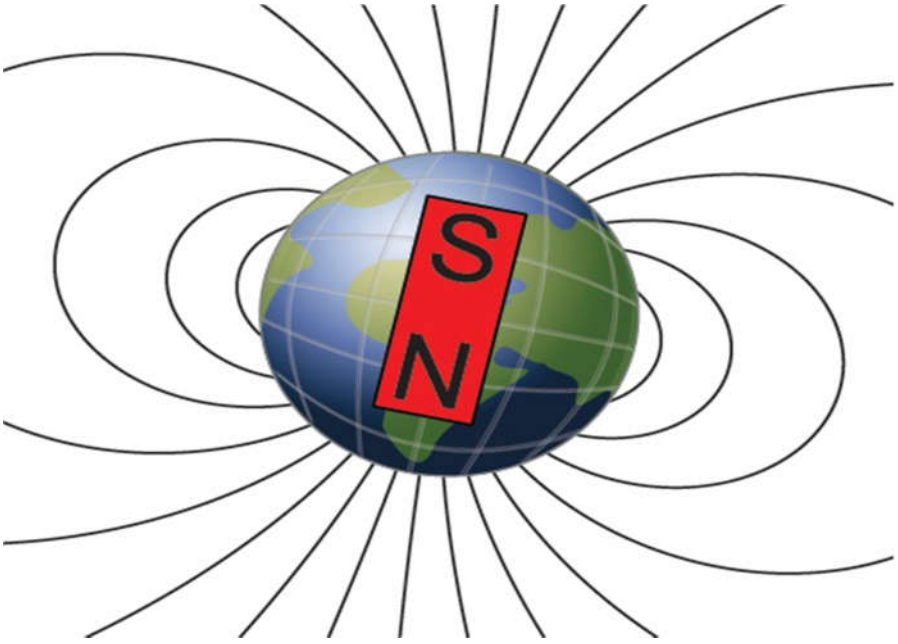
خصائص المغناطيس:

١- له قطبان شمالي وجنوبي عند تعليقه تعليقاً حراً فانه يتجه شمالاً وجنوباً.
٢- تتركز قوة الجذب المغناطيسي في قطبيه وتقل في المناطق الأخرى.
٣- الأقطاب المختلفة في النوع تتجاذب والمتشابهة في النوع تتنافر.

٤- إذا قُطع المغناطيس من أي منطقة فيه فانه يتكون له قطبان ولا يمكن أن يكون له قطب منفرد عملياً.



المجال المغناطيسي لقضيب مغناطيس. خطوط المجال المغناطيسي تشير إلى إتجاه المجال عند نقاط مختلفة.



توضيح المجال المغناطيسي للأرض.

الفصل الثالث: إسهامات بعض العلماء في الكهربية

١ هانز كريستيان أورستد

(بالدنماركية: Hans Christian Ørsted)

من ١٤ أغسطس ١٧٧٧- ٩ مارس ١٨٥١ هو عالم فيزيائي وكيميائي دنماركي توقع وجود علاقة بين الكهرباء المغناطيسية وهو ما قاده إلى اكتشاف التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي عام ١٨٢٠ حيث قام بتجربة بينت أن مجالاً مغناطيسياً يمكنه أن يؤثر في البوصلة يتولد حول السلك إذا ما مرر في هذا السلك تيار كهربائي.

وفي مجال الكيمياء يعتبر أورستد هو من أنتج الألومنيوم وهو مؤسس شركة البا لأول مرة في التاريخ وذلك عام ١٨٢٥. وكتب كتاب روح الطبيعة (١٨٥٠م). وُلد أورستد في رودكوبنغ بالدنمارك.

درس العلوم الطبية والفيزيائية في جامعة كوبنهاغن ونال درجة الدكتوراه في عام ١٧٩٩، وفي عام ١٨٠٦ صار استاذاً للكيمياء والفيزياء في الجامعة نفسها.

اهتم أورستد في أبحاثه الأولى بالتيارات الكهربائية وعلم الصوت. وفي عام ١٨١٩ اكتشف في إحدى تجاربه، حين قرّب بوصلة من سلك ناقل للكهرباء، أن إبرة البوصلة المغنطيسية تنحرف عمودياً نحو السلك. وكانت هذه التجربة بينة مخبرية واضحة للعلاقة بين المغنطيسية والكهرباء.

وفي أثناء تكريمه عن هذا الاكتشاف، ذكر أن اكتشافه تمّ بمحض الصدفة الأمر الذي جعل أحد الحاضرين من زملائه يقول له: "إن الصدفة لا تأتي إلا لمن يستحقها".

كما بيّن فيما بعد أن الأثر الكهرمغنطيسي لا يتغير بوضع حاجز من الزجاج أو المعادن غير المغنطيسية الأخرى بين إبرة البوصلة والسلك الناقل للكهرباء. وقد عمل علماء آخرون على تحري أهم نتائج أورستد بدقة، ومنهم أمبير وفراداي اللذان أدركا أهمية هذا الاكتشاف فأهملا الاستقصاءات المتعلقة بالظواهر الأخرى وتفرغا لدراسة الكهرمغنطيسية. وأدار أورستد تجارب أخرى تتعلق بالكهرباء مثل الأعمدة الفُلطائية (البطاريات) والكهرباء الحرارية (الطاقة المولدة من تسخين الأسلاك المعدنية).

وفي حقل الكيمياء توصل أورستد إلى اكتشافات أخرى، ففي عام ١٨٢٠ اكتشف مادة الفلفلين (الببرين) piperine (أحد عناصر الفلفل الفعالة)، ويُعدّ اكتشاف هذه المادة أحد الإسهامات المهمة في علم الكيمياء بوصفها مادة مساعدة في تحضير الألمنيوم، ففي عام ١٨٢٥ استطاع أورستد عزل الألمنيوم على هيئة مسحوق. ثم حوّل أورستد اهتمامه نحو خواص الموائع وأثبت أن الغازات ليست قابلة للانضغاط بالتساوي.

كان أورستد مدرساً ومحاضراً مجيداً وألف عدداً من المقالات المهمة. وفي عام ١٨٢٤ أسس جمعية هدفها نشر المعرفة العلمية بين العامة. ومنذ عام ١٩٠٨ بدأت هذه الجمعية تمنح وساماً باسم «وسام أورستد» لعلماء الفيزياء الدنماركيين الذين يقدمون إسهاماً ذا شأن في علوم الفيزياء. وفي عام ١٩٣٢ أطلق اسم أورستد على واحدة قياس شدة الحقل المغنطيسي.

٢ مايكل فارادي (بالإنجليزية: Michael Faraday):

(١٧٩١ - ١٨٦٧) هو عالم كيميائي وفيزيائي إنجليزي. وهو من المشاركين في علم المجال الكهرومغناطيسي والكهروكيميائي.

درس فاراداي المجال المغناطيسي على موصل (ملف لولبي) يحمل تيار كهربائي مستمر وبذلك وضع أسس الكهرومغناطيسية. وهو مكتشف نظرية

المحاثة والنفادية المغناطيسية وقوانين التحليل الكهربائي. وهو القائل بأن الموجات المغناطيسية تؤثر على الأشعة الضوئية ووضع أسس الربط بين الظاهرتين. يعد اختراعه للأجهزة الكهرومغناطيسية بداية لتكنولوجيا المواتير الكهربائية. وبذلك يصبح أول من جعل الكهرباء شيء للإستخدام التكنولوجي.

وأما فارادي كعالم كيميائي فهو أول من اكتشف البنزين. ودرس مسألة هيدرات الغاز وأخترع آلة حرق البنزين وهو من أطلق ألفاظ المصعد والمهبط والقطب والأيون.

رغم أن مايكل فارادي لم يدرس الرياضيات في المدارس منها إلا القليل، إلا أنه كان عالمًا فذًا حيث صُنف أنه من أعظم العلماء في التاريخ. ففي نظام الوحدات الدولي نقوم بحساب قيمة المكثف ونقيسه بوحدة الفاراد على اسمه أي مايكل فارادي. وكذلك هناك ثابت فارادي أيضًا سمي على اسمه والذي يساوي ٩٦,٤٨٥ كولومب وهو شحنة المول الواحد من الإلكترونات.

كما سمي باسمه قانون فارادي للحث الذي يقول بأن تغير المغناطيسية في الزمن ينشئ قوى كهربائية محركة. كان فارادي هو أول من نال منصب Fullerian Professor of Chemistry في المؤسسة الملكية الكبرى ببريطانيا. كان فارادي مسيحيًا متدينًا وكان عضواً في كنيسة ساندمنيان.

٣ جيمس كلارك ماكسويل

(بالإنجليزية: James Clerk Maxwell)

(١٣ يونيو ١٨٣١ - ٥ نوفمبر ١٨٧٩) كان عالم فيزياء اسكتلندي شهير لما أسهم به من معادلات هامة التي تفسر ظهور الموجات الكهرومغناطيسية.

كلية الملك بلندن (١٨٦٠ ـ ١٨٦٥):

كانت السنوات التي قضاها ماكسويل في كلية الملك من أكثر سنوات حياته العلمية إنتاجاً؛ ففيها نال ماكسويل وسام رمفورد (بالإنجليزية: Rumford Medal) من الجمعية الملكية سنة ١٨٦٠ عن أبحاثه عن الألوان، ثم انتخب في العام التالي (١٨٦١) عضواً بالجمعية نفسها. وفي تلك الفترة عرض ماكسويل أول صورة فوتوغرافية ملونة في العالم، وطور أفكاره حول لزوجة الغازات، وعرض نظاماً لتوصيف الكميات الفيزيائية، يسمى التحليل البُعدي (بالإنجليزية: dimensional analysis)، وقد دأب ماكسويل على حضور المحاضرات بالمؤسسة الملكية (بالإنجليزية: Royal Institution)، مما أتاح له الفرصة للاقتراب من العالم مايكل فاراداي الذي كان يكبره بأربعين عاماً.

في تلك الفترة أيضاً اكتشف ماكسويل اكتشافاته العظيمة التي أسهمت في تقدم الفهم العلمي للكهرومغناطيسية؛ إذ تناول بالبحث طبيعة المجالات الكهرومغناطيسية في ورقة علمية من جزءين نشرها سنة ١٨٦١ وهو أول من توصل الي معادلة بين المغناطيس والكهرباء ووضح الفعل ورد الفعل ومعدلاته بسيطة وشاملة وأشار إلى عدم محدودية الموجات وأن سرعتها ٢٩٩٧٩٢.٤٥٨ كم/ث وهي سرعة الضوء وأشار الي وجود موجات أخرى وهذا ما توصل إليه هيرتز واستخدمها ماركوني في الراديو ومعادلات ماكسويل هي أساس البصريات ولقد توفي في سنة ١٨٧٩.

وفي سنة ١٨٧١ تولى أستاذية كرسي كافنديش للفيزياء بجامعة كامبردج، وكان أول من شغل هذا الكرسي من الأساتذة، وأسند إليه تطوير مختبر كافنديش.

توفي ماكسويل في كامبردج في ٥ نوفمبر ١٨٧٩ وهو في الثامنة والأربعين من عمره متأثراً بسرطان في الجهاز الهضمي، ودفن في كنيسة بارتون. وقد نشرت سيرة حياته تحت عنوان "حياة جيمس كلارك ماكسويل" (بالإنجليزية: The Life of James Clerk Maxwell) بقلم صديقه البروفيسور لويس كامبل سنة ١٨٨٢، ونشرت دار نشر جامعة

كامبريدج أعماله الكاملة في مجلدين سنة ١٨٩٠ متضمنة سلسلة المقالات التي كتبها عن خصائص المادة مثل "الذرة" و"الجاذبية" و"الخاصية الشعرية" و"الانتشار" و"الأثير" إلخ.

٤ هندريك انطون لورنتز

(بالهولندية: Hendrik Antoon Lorentz)

(١٨ يوليو ١٨٥٣ – ٤ فبراير ١٩٢٨) هو فيزيائي هولندى فاز عام ١٩٠٢ بجائزة نوبل في الفيزياء مناصفة مع بيتر زيمن لاكتشاف وتفسير تأثير زيمان نظريا.كما قام بعد ذلك باستنتاج معادلات التحويل التي استخدمها ألبرت اينشتاين لوصف المكان والزمان.

الحياة العملية:

عام ١٨٧٨،و عمره ٢٤ عام فقط، هندريك انطون لورنتز عين استاذا للفيزياء النظرية بجامعة ليدن.و في ٢٥ يناير ١٨٧٨،ألقى أولى محاضراته في نظريات الجزيئات في الفيزياء. في أول عشرين عامًا في ليدن، لورنتز كان مهتم في المقام الأول بنظرية الكهرومغناطيسية لتفسير العلاقة بين الكهرباء، المغناطيسية، والضوء.بعد ذلك امتدت أبحاثه لمجالات اوسع بكثير بينما ظل مركزا في الفيزياء النظرية. من منشوراته، كانت بارزة اسهاماته في الميكانيكا، الديناميكا الحرارية، علم الموائع، نظريات الحركة، نظرية الحالة الصلبة، الضوء، والانتشار.أهم اسهاماته كانت في مجال الكهرومغناطيسية، نظرية الإلكترون، والنسبية. لورنتز وضع نظرية تقول ان الذرّة قد تحتوى على جسيمات مشحونة واقترح ان تذبذب هذه الجسيمات هو مصدر الضوء.عندما قام زميله، بيتر زيمن،باكتشاف تاثير زيمان عام ١٨٩٦،لورنتز امد ذلك الاكتشاف بالتفسير النظرى.اكتشافاتهما العملية والنظرية فازت بجائزة نوبل عام ١٩٠٢.اسم

لورنتز يرتبط بصيغة لورنتز، قوة لورنتز،توزيع لورنتز،و تحويلات لورينتز.

معهد الفيزياء النظرية أُطلق عليه فيما بعد معهد لورنتز.بجانب جائزة نوبل، فاز لورنتز بالعديد من الجوائز لعمله البارز.عام ١٩٠٥ حصل لورنتز على زمالة الجمعية الملكية بالانتخاب. منحته الجمعية وسام رمفورد عام ١٩٠٨ ووسام كوبلي عام ١٩١٨. توفى لورنتز في هارلم،هولندا. يظهر احترام هولندا له في وصف جنازته:

الجنازة كانت في عصر الجمعة،١٠ فبراير.لقد تم ايقاف خدمات التليفون والتليغراف لمدة ثلاث دقائق حدادا على أعظم رجل انجبته هولندا.حضر الجنازة العديد من زملاؤه وفيزيائيين من بلاد عديدة.الرئيس، ممثلا للجمعية الملكية، ألقى خطابا عن لورنتز مقدرا إنجازاته.

٥ نيكولا تيسلا (بالإنجليزية: Nikola Tesla)

(١٠ يوليو ١٨٥٦ - ٧ يناير ١٩٤٣) مخترع وفيزيائي ومهندس كهربائي ومهندس ميكانيكي ومستقبلي صربي أمريكي، اشتهر بإسهاماته في تصميم نظام التيار المتردد الرئيسي.

اكتسب تسلا خبرة في التهاتف والهندسة الكهربية قبل هجرته إلى الولايات المتحدة سنة ١٨٨٤م للعمل لدى توماس إديسون في مدينة نيويورك. سرعان ما انفصل تسلا عن إديسون وأسس معامله وشركاته لتطوير عدد من الأجهزة الكهربائية. اشترى جورج ويستينغهاوس حقوق استغلال براءة اختراع تسلا للمحرك الحثي والمُحوّل، كما عيّنه ويستينغهاوس لفترة قصيرة مستشارًا له. كان عمل تسلا لسنوات لتطوير الطاقة الكهربائية جزء من «حرب التيارات» بين أنصار التيار المتردد والتيار المستمر، وكذلك حرب البراءات. وفي سنة ١٨٩١م، حصل تسلا على المواطنة الأمريكية.

واصل تسلا العمل على أفكاره حول الإضاءة اللاسلكية والتوزيع الكهربائي في الجهد العالي وتجارب الطاقة عالية التردد، وصرّح في سنة ١٨٩٣ م بإمكانية إجراء اتصال لاسلكي بأجهزته. حاول تسلا تنفيذ أفكاره تلك بمحاولة عمل بث لاسلكي عابر للقارات، في مشروعه غير المكتمل برج واردنكليف. كما أجرى في معمله مجموعة من التجارب على المتذبذبات والمولدات الميكانيكية، وأنابيب التصريف الكهربائية، ومحاولات أوليّة للتصوير بالأشعة السينية. كذلك بنى قارب يتم التحكم فيه لاسلكيًا، وهو الحدث الفريد من نوعه حينها.

اشتهر تسلا بإنجازاته وظهوره الذي أكسبه في نهاية المطاف سمعة في الثقافة الشعبية بصفته «عالم مجنون». أكسبته براءات اختراعاته قدرًا كبيرًا من المال، أنفق جزءً كبيرًا منه لتمويل مشاريعه الخاصة التي تفاوتت نجاحاتها. عاش تسلا معظم حياته في سلسلة من فنادق نيويورك حتى تقاعده. وقد توفي تسلا في ٧ يناير ١٩٤٣م. خبى ذكر أعمال تسلا نسبيًا بعد وفاته، حتى سنة ١٩٦٠م عندما أطلق المؤتمر العام للأوزان والمقاييس اسمه على الوحدة الدولية لقياس كثافة الحقل المغناطيسي تسلا تكريمًا له. ومنذ تسعينيات القرن العشرين، تجدد الاهتمام بتسلا وأعماله.

الفصل الرابع: المجال المغناطيسي وقانون لورنتز

الحقل الكهرومغناطيسي أو المجال الكهرومغناطيسي (بالإنجليزية: Electromagnetic field): هو حقل فيزيائي ينشأ بسبب الجسيمات المشحونة كهربائياً، بحيث أنّ أي شحنة تخترق، أو تمر من هذا المجال فإنها تتأثر بقوة مغناطسية يكون اتجاهها عاموديا على اتجاه سرعتها، وتجاه المجال معاً، بالإضافة إلى قوة كهربائية يكون اتجاهها نفس تجاه المجال، ويمكن تسمية محصلة هاتين القوتين بقوة لورنتز.

والقوة المغناطيسية المؤثرة في الشحنة المارة في المجال تعطى بهذه العلاقة: $\mathbf{F_b = q \cdot v \times B}$

بينما القوة الكهربائية تعطى بالعلاقة التالية: $\mathbf{F_e = q \cdot e}$

فتكون قوة لورنتز مقداراً واتجاهاً عبارة عن الجمع الاتجاهي بين القوتين.

يُعتقد من الناحية الكلاسيكية أن الحقول الكهربائية والمغناطيسية تَنتج عن حركات سلسة للأجسام المشحونة. على سبيل المثال، تُنتج الشحنات المتذبذبة اختلافات في المجالات الكهربائية والمغناطيسية يمكن اعتبارها سلسة ومستمرة وموجية. تُنقل الطاقة في هذه الحالة باستمرار من خلال المجال الكهرومغناطيسي بين أي موقعين. على سبيل المثال، تُظهر ذرات المعدن في جهاز إرسال موجات الراديو نقل الطاقة بشكل مستمر.

النظرية الديناميكية للمجال الكهرومغناطيسي:

كان يُعتقد في الماضي أن الأجسام المشحونة كهربائيًا تُنتج نوعين مختلفين وغير مرتبطين من المجالات حسب نوع الشحنة. يَنتج المجال الكهربائي عندما تكون الشحنة ثابتة بالنسبة لمراقب يقيس خصائص الشحنة، ويَنتج

المجال المغناطيسي والمجال الكهربائي والتيار الكهربائي عندما تتحرك الشحنة بالنسبة للمراقب.

أُدرك بمرور الوقت أن المجالين الكهربائي والمغناطيسي مكوّنان ضمن الدائرة الكبيرة (المجال الكهرومغناطيسي). حتى عام ١٨٢٠ كان يُنظر إلى الكهرباء والمغناطيسية كظواهر غير مرتبطة ببعضها، حتى أظهر الفيزيائي الدنماركي هانز كريستيان أورستد التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي، إذ قام بتجربة بينت أن مجالًا مغناطيسيًا يمكنه أن يؤثر في البوصلة يتولد حول السلك إذا ما مر في هذا السلك تيار كهربائي. لاحظ العالم مايكل فاراداي في عام ١٨٣١ أن الحقول المغناطيسية المتغيرة مع الوقت يمكن أن تولّد التيارات الكهربائية. وبعد ذلك نشر جيمس كليرك ماكسويل في عام ١٨٦٤ ورقته الشهيرة النظرية الديناميكية للمجال الكهرومغناطيسي.

بمجرد إنتاج هذا المجال الكهرومغناطيسي من توزيع شحني معطى؛ قد تواجه جسيمات مشحونة أو ممغنطة أخرى في هذا المجال قوة، فإذا كانت هذه الشحنات والتيارات الأخرى مماثلة في الحجم والقيمة للمصادر المنتجة للمجال الكهرومغناطيسي، فسيتم إنتاج مجال كهرومغناطيسي جديد، وبالتالي يمكن النظر إلى المجال الكهرومغناطيسي ككيان ديناميكي يؤدي إلى تحريك الشحنات والتيارات الأخرى، ويتأثر بها أيضًا. يتم وصف هذه التفاعلات بواسطة معادلات ماكسويل وقانون قوة لورنتز.

الوصف الرياضي:

هناك طرق رياضية مختلفة لوصف المجال الكهرومغناطيسي رياضيًا. أول طريقة هي اعتبار المجالين الكهربائي والمغناطيسي متجهين مجاليّين ثلاثيي الأبعاد. لكل متجه من متجهات المجال هذه قيمة محددة في كل نقطة من الزمان والمكان، وبالتالي غالبًا ما تعتبر توابع بالنسبة للمكان والزمان.
مثال: تتم كتابة المجال الكهربائي ((E (x, y, z, t)) ، والمجال المغناطيسي ((B (x, y, z, t)).

إذا كان المجال الكهربائي **(E)** فقط غير صفري، وكان ثابتًا بالنسبة للزمن؛ يُقال إن المجال هو مجال كهروستاتيكي. وبالمثل، إذا كان المجال المغناطيسي **(B)** فقط غير صفري وكان ثابتًا بالنسبة للزمن؛ يُقال إن المجال مجال مغناطيسي ساكن. إذا كان أي من المجالين الكهربائي أو المغناطيسي تابع للزمن؛ يجب اعتبار كلا المجالين معًا كمجال كهرومغناطيسي باستخدام معادلات ماكسويل.

قوة لورنتز (قانون القوى الكهرومغناطيسية) (بالإنجليزية : Lorentz force):

قوة لورنتز هي القوة المؤثرة على شحنة كهربائية تتحرك في مجال كهربائي أو مجال مغناطيسي. وهي تسمى باسم العالم الهولندي هندريك لورنتز الذي اكتشفها. في المجال المغناطيسي تكون قوة لورنتز أكبر ما يمكن عندما تكون اتجاه حركة الشحنة عمودياً على خطوط المجال المغناطيسي. وإذا تحركت الشحنة في اتجاه موازي لاتجاه خطوط المجال المغناطيسي فلا تنشأ قوة لورنتز. وتعمل قوة لورنتز دائما عمودياً على اتجاه حركة الشحنة وعلى خطوط المجالات المغناطيسية.

في الفيزياء: القوة الكهرومغناطيسية هي القوة التي يفرزها الحقل الكهرومغناطيسي على الجسيمات المشحونة كهربائيا. القوة الكهرومغناطيسية هي المسؤوولة عن انجذاب الإلكترونات والبروتونات في الذرة.

للكشف أو تحقيق القوة الكهرومغناطيسية ندخل قضيب نحاسي داخل دائرة كهربائية وقضيب مغناطيسي في مدرجين عند وضع القضيب النحاسي في الحقل المغناطيسي وغلق الدائرة نلاحظ تدحرج القضيب نستنتج ان القضيب تأثر بالقوة كهرومغناطيسية.

الكتب الحديثة تعتبر قوة لورنتز هي القوة التي يؤثرها مجال كهرومغناطيسي على شحنة نقطية بصفة عامة. فإذا تحرك جسيم مشحون بالشحنة **q** بسرعة **v** في وجود مجال كهربائي **E** ومجال مغناطيسي **B**، فإنه يتأثر بقوة قدرها: $F = q (E + V \times B)$

تلك هي المعادلة الأساسية لقوة لورنتز وهي تجمع بين شقين: قوة لورنتز وهي تأثير مجال مغناطيسي على شحنة تتحرك، وشق كهربائي ناشئ عن تأثير مجال كهربائي على شحنة، وتسمى القوة الكهربائية قوة كولوم.

تعني في المعادلة:

F هي القوة (نيوتن)

E هي المجال الكهربائي (فولت لكل متر)

B هي المجال المغناطيسي (تسلا)

q هي الشحنة الكهربائية للجسيم (كولوم)

v هي السرعة الخطية للجسيم (متر لكل ثانية)

القوة الكهربائية الناشئة من مجال كهربائي تكون في اتجاه حركة الجسيم وتزيد من سرعته ، والقوة الناشئة من المجال المغناطيسي لا تزيد من سرعة الجسيم ولكنها - طبقا لإشارة الضرب - تكون عمودية على خطوط المجال المغناطيسي وعمودية في نفس الوقت مع اتجاه حركة الجسيم.

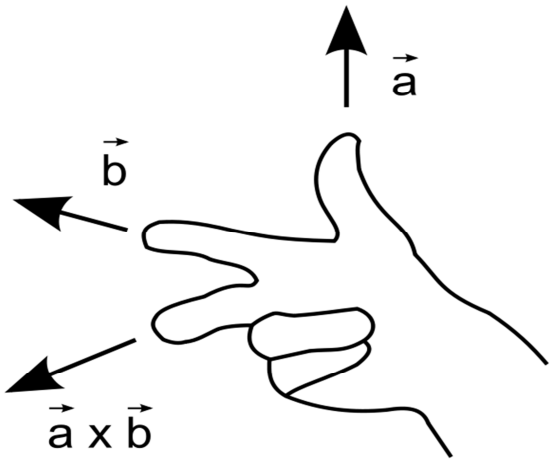
قاعدة اليد اليمنى في الجداء الاتجهاهي:

يسمى الضرب **(v x B)** جداء اتجاهي. مع ملاحظة أن الحروف المكتوبة غليظا هي كميات متجهة . فمثلا الشحنة q ليست كمية متجهة أما الباقي فكلها كميات متجهة : القوة ، وسرعة الجسيم ، والمجال الكهربائي ، والمجال المغناطيسي.

اتجاه قوة لورنتز المغناطيسية تتبع قاعدة الثلاثة أصابع . ونستخدم أصابع اليد اليسري للشحنات السالبة ، ونستخدم اليد اليمنى للشحنات الموجبة ، لتتعيين اتجاه القوة.

القوة المؤثرة على شحنة تتحرك في مجال كهرومغناطيسي واسعة التطبيقات. فهي المسؤولة عن إنتاج الطاقة الكهربائية من طاقة الحركة كما في محطات القوى و المولد الكهربائي، وعن إنتاج الحركة من التيار

الكهربائي مثلما في محرك كهربائي و المترو و ماكينة الحلاقة الكهربائية، وغيرها.



تأثير قوة لورينتز على جسيمات مشحونة متحركة:

الجسيمات المشحونة المستخدمة في الفيزياء هي إلكترونات أو بروتونات أو جسيمات أولية أخرى مشحونة ، مثل جسيمات ألفا تتحرك في الفراغ أو أيضا أيونات في محلول .

نظرا لأن اتجاه قوة لورنتز تعتمد على إشارة الشحنة فهي تكون متعاكسة بحسب نوع الشحنة ، باعتبار أن اتجاه الشحنات الأولي واحد . ويمكن ان يحدث ذلك لأيونات موجبة في سائل معرضة لمجال مغناطيسي خارجي

وتبلغ قوة لورنتز (الشق المغناطيسي) :

$$F_l = q \times v \times B \sin \alpha \quad \text{أو} \quad v \times B = v \cdot B \sin \alpha$$

حيث α هي الزاوية بين اتجاه حركة q واتجاه المجال المغناطيسي ، أو كثافة التدفق المغناطيسي **B**

وإذا كانت حركة الجسيمات المشحونة عمودية على خطوط المجال المغناطيسي ، فيكون **(جيب الزاوي** $\sin \alpha$ **)** = ١ ، وتصبح المعادلة في صورتها المبسطة :

$$F_l = q \cdot v \cdot B$$

بعض الكتب القديمة تفرق بين "قوة لورنتز" $\mathbf{F_l}$ وقوة كولوم $\mathbf{F_c}$ فالأولى هي قوة تأثير "مجال مغناطيسي " على جسيمات مشحونة متحركة ، وقوة كولوم فهي تأثير " مجال كهربائي" على جسيمات مشحونة متحركة . أما الكتب الحديثة فهي تميل إلى وصف القوة بمركبتين : "مركبة مغناطيسية" $\mathbf{F_B}$ و"مركبة كهربائية "$\mathbf{F_E}$ لقوة لورنتز ، أي ترى قوة لورنتز على أنها محصلة $\mathbf{F_B + F_E}$

إذا تحركت شحنة كهربائية q بسرعة v في مجال كهرومغناطيسي تحتسب القوة الكلية (قوة لورنتز) المؤثرة على الشحنة كمحصلة مركبتين كالآتي:

$$\mathbf{F = F_B + F_E = q\,(E + v \times B)}$$

حيث: **E** لتأثير شدة المجال الكهربائي ، و **B** لتأثير كثافة التدفق المغناطيسي

حالات خاصة:

١ **في حالة عدم وجود مجال كهربائي E = 0:** حيث أن القوة **F** تكون عمودية على **v** و **B** وحاصل ضرب $\mathbf{v.\ F = q\ v\ .\ (v \times B) = 0}$ وبعكس انحراف الجسيم عندما يكون تحت تأثير مجال كهربائي فلا ينتج شغل، بمعنى أن طاقة الحركة لجسيم مشحون يتحرك في مجال مغناطيسي "ثابت" لا تتغير، وبالتالي فإن سرعة الجسيم في مسارها الذي أصبح منحنيا لا تتغير.

٢ **إذا كانت حركة الجسيم المشحون في اتجاه خطوط المجال المغناطيسي** (المتجهين **v, B** متوازيان أو متضادان) تصبح **F = 0** أي أنه إذا كانت حركة الجسيم ذو الشحنة **q** موازية للمجال المغناطيسي أو في عكس اتجاهه فإن الجسيم لا ينحرف عن مسارة المستقيم.

تعطي قوة لورنتز الناتجة عن المركبة المغناطيسية بالمعادلة :

$$\mathbf{F_L = q\,(v \times B)}$$

وبالتالي تكون قوة كولوم الناتجة من مجال كهربائي يؤثر على جسيم مشحون متحرك : $\mathbf{Fc = qE}$

تأثير قوة لورنتز على سلك كهربائي:

قوة لورنتز هي السبب الأساسي في تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركة وبالعكس : إذا مر تيار في سلك عموديا على خطوط مجال مغناطيسي حوله فتؤدي ذلك إلى حركة ميكانيكية للسلك. وبالعكس : إذا تحرك سلك عموديا على خطوط مجال مغناطيسي حوله ينشأ عليه جهد كهربائي ، أي يمر فيه فيه تيار كهربائي بالحث.

في تلك العمليات تتحرك إلكترونات التوصيل في السلك المعدني الموصل ونتنتج حولها مجالا معناطيسيا دائريا ، فإذا تفاعلت خطوط مجاله مع مجال مغناطيسي آخر خارجي ، فإن الشحنات تنزاح جانبيا.

وقد يحدث ذلك أيضا في محلول يحمل أيونات وإلكترونات كما يحدث في سلك موصل. كما تؤثر تلك القوة على شحنات تتحرك في الفراغ أو الهواء. فكلها تنزاح جانبا عموديا على خطوط المجال المغناطيسي الخارج وعلى اتجاه حركتها.

١. إذا مر تيار (إلكترونات) في سلك موصل وتحرك عموديا على خطوط مجال مغناطيسي فإن الإلكتروتونات ستنزاح جانبا وبالتالي ينزاح السلك ككل.

٢. إذ تحرك سلك عرضيا بالنسبة لخطوط مجال مغناطيسي خارجي ، تتأثر إلكترونات التوصيل في السلك بقوة لورنتز وتحركت إلى أحد طرفي السلك، فتكثر الإلكترونات في طرف وتقل في الطرف الآخر من السلك، ونتيجة ذلك نشأة جهد كهربائي بين طرفي السلك.هذا الجهد يسمى تاريخيا قوة دافعة كهربائية.

٣. إذا ربطنا الآن طرفي السلك بمقاومة من الخارج غير متحركة بالنسبة للمجال المغناطيسي ، يكتمل الدورة ويمر تيار لمعادلة الجهد الكهربائي المتولد.

في محرك كهربائي وفي مولد كهربائي يكون المجال المغناطيسي فيه مجرد وسيط - حيث لا يحدث معه تبادل للطاقة . فما يستهلكة المحرك من تيار يمر فيه يتحول إلى طاقة حركة (انزياح السلك جانبا) بسبب قوة لورنتز. وبالعكس : في حالة المولد الكهربائي ما نمد به السلك من حركة فتتحول الطاقة الحركية عن طريق قوة لورنتز إلى طاقة كهربائية .

في محطة قوى مائية يحرك الماء توربينا و مولدا كهربائي وتنتج طاقة كهربائية. ويمكن تحويل تلك الطاقة الكهربائية في المصانع والمنازل إلى طاقة حرارية.

كذلك في محطة قوى تعمل بالفحم ، تولد الحرارة الناتجة من احتراق الفحم طاقة حرارية وهي تنتج بخار ماء ذو ضغط عالي، ويوجه بخار الماء بضغطه العالي إلى توربين بخاري ويديره ، ويدير التوربين البخاري مولدا كهربائي منتجا كهرباء.

١ تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركة:

من أجل وصف تلك الخاصيات بمعادلات رياضية بطريقة بسيطة نأخذ قطعة سلك مستقيمة في الاعتبار طولها **L** ونفترض انه يقطع عرضيا خطوط مجال مغناطيسي منتظم له كثافة تدفق مغناطيسي **B**. نمرر الآن تيارا تيارا كهربائيا **I** من الخارج حيث تتحرك في السلك إلكترونات التوصيل بسرعة منتظمة قدرها **v** فإذا مر تيار **I** خلال فترة زمنية **t** تكون كمية شحنة التي تكون قد مررناها خلال هذا الزمن في السلك قدرها:

$q = I\,t$ بالسرعة $v = L / t$ من أحد أطراف السلك إلى الطرف الآخر

ونظرا لأن الشحنة المارة $q \cdot v = I \cdot L$ فيكون مجموع قوى لورنتز المؤثرة على جميع إلكترونات التوصيل في التيار ، وبالتالي في قطعة السلك هي: $F_L = q \times (v \times B) = I \times (L \times B)$

ويبلغ المقدار المطلق لهذه المعادلة :

$F_L = I \cdot L \cdot B \sin \alpha$ حيث α هي الزاوية بين طول السلك ، أي اتجاه التيار **I** ، واتجاه خطوط المجال المغناطيسي - وبالتالي اتجاه كثافة التدفق المغناطيسي **B** فإذا كان السلك عموديا على خطوط المجال المغناطيسي فتختصر المعادلة حيث أن $\sin \alpha = 1$ إلى:

$$F_L = I \cdot L \cdot B$$

إذن تاثير قوة لورنتز على الإلكترونات المارة في السلك تجعل السلك يتحرك. وباختيار شكل أسطواني للنظام المغناطيسي واستبدال السلك المستقيم بملف متكون من عدد كبير من لفات السلك يصبح لدينا محرك كهربائي. يدور المحرك بامداده بتيار كهربائي وينتج حركة نستفيد منها ميكانيكيا. وطبقا للمعادلة الآخيرة فإن قوة لورنتز الناشئة على السلك (أو الملف) تتناسب مع شدة التيار المسلط من الخارج وتتناسب كذلك تناسبا طرديا مع شدة المجال المغناطيسي ومع طول السلك.

٢ تحويل طاقة الحركة إلى طاقة كهربائية:

عندما يتحرك سلك طوله **L** بسرعة ثابتة **v** موديا على خطوط مجال مغناطيسي **B** تنشأ قوتان : قوة لورنتز تعمل على تسيير إلكترونات في السلك من طرف إلى آخر ، والقوة الأخرى هي قوة كولوم **Fc** التي تؤثر على الإلكترونات بسبب الجهد الكهربائي الناشيء عن انفصال الإلكترونات في طرفي السلك:

$$F_L + F_c = 0 \quad , F_c = - F_L \quad , q E = - q (v \times B)$$

هاتان القوتان تكونان متساويتين ومتضادتين. وباختصار الشحنة الكلية **q** في المعادلة و الجداء الثلاثي لمتجه طول السلك **L** نحصل على **(جهد الحث**

$$U_{ind}) = L \cdot E = - L (v \times B)$$

إذا كانت الثلاثة متجهات عمودية على بعضها البعض:

أي يتناسب جهد الحث تناسبا طرديا مع شدة المجال المغناطيسي ومع طول السلك ومع سرعة السلك في المجال المعناطيسي.

و تعني الإشارة السالبة في المعادلة أن (جهد الحث **U ind**) يكون دائما في اتجاه مرور تيار الحث (قاعدة لورنتز) . وعندما نوصل طرفي السلك بمقاومة R (وهي لا تتحرك في المجال المغناطيسي) تتكون دائرة كهربائية يتعادل فيها جهد الحث. في نفس الوقت يكون حاصل الضرب:

(I ind x R = 0) (طبقا القانون الثاني لكيرشوف) ، فنحصل على :

$$U_{ind} + I_{ind} \times R = 0 \quad , \quad I_{ind} = - U_{ind} / R$$

$$I_{ind} = - L (V \times B) / R$$

أي أن تيار الحث **I ind** الناشيء يناسب طرديا مع شدة المجال المغناطيسي ومع طول السلك ومع سرعة مرور السلك في المجال المغناطيسي، ويتناسب عكسيا مع المقاومة الخارجية.

تطبيقات قوة لورنتز في التكنولوجيا:

١. في المحركات الكهربائية ، و المولدات الكهربائية ، و دينامو الدراجة.

٢. أنظمة توجيه وانحراف الإلكترونات في أنبوب الأشعة المهبطية وفي أجهزة التلفزيون ذات الصمام الإلكتروني الضخم (موديلات حتى عام ٢٠٠٣ قبل ظهور أجهزة التلفاز الرقيقة).

٣. محطات القوى المائية.

٤. في مكبرات الصوت وفي الميكروفونات.

قوة لورنتز في ظواهر طبيعية:

يحدث انحراف ريح شمسية عن طريق المجال المغناطيسي في حزام فان آلن الإشعاعي بعيدا عن الارض بواسطة قوة لورنتز. إذ تتكون الريح

الشمسية من جسيمات مشحونة عالية السرعة (عالية الطاقة) وتبعدها عن الوصول إلى سطح الأرض فتضر بالأحياء عليها. جزء من تلك الجسيمات يتوجه أيضا عن طريق مغناطيسية الأرض ليهبط على الأرض من ناحية القطبين ، وينشأ عنها ظاهرة الشفق القطبي.

الفصل الخامس: الدينامو (المولد الكهربائي)

الدينامو: اسم كان يطلق في الأصل على المولد الكهربائي، إلا أنه أصبح يشير الآن إلى مولدات التيار المستمر التي تعتمد المبادل الكهربائي (العاكس الكهربائي).

كانت الدينامو هات تستعمل في إنتاج الطاقة الكهربائية قبل اختراع مولدات التيار المتناوب التي طغت عليها فيما بعد بسبب عيوب المبادل الكهربائي وسهولة استعمال أشباه الموصلات.

وصفه: يتألف الدينامو من ملفات دوارة من الأسلاك الموصلة للكهرباء وحقل مغناطيسي لتحويل الحركة الدورانية إلى نبضات من التيار المستمر وفقا لما يسمى قانون فارادي.

يدعى الجزء الثابت من آلة الدينامو بالعضو الثابت أو العضو الساكن ووظيفته إنشاء مجال مغنطيسي ثابت، بينما يدعى الجزء المتحرك من الآلة بالعضو الدوار أو الآرميتشر والذي يدور ضمن خطوط الفيض المغناطيسي.

في المولدات الصغيرة يتم الحصول على مجال مغناطيسي ثابت بواسطة مغانط دائمة، بينما يتولد هذا المجال في المولدات الكبيرة بفضل المغانط الكهربائية (تدعى أيضا ملفات الفيض أو ملفات التغذية).

تم اختراع المولد الكهربائي من قِبَل العالم الإنجليزي مايكل فارادي سنة ١٨٣١م.

المباديء الأساسية:

لا يَستحدِث المولد طاقة، ولكنه يحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، ولذا فإن كل مولد يديره توربين أو محرك ديزل أو أي آلة تنتج طاقة ميكانيكية. فمولد السيارة مثلاً، يدار من المحرك نفسه الذي يدفع السيارة.

ويشير المهندسون عادة إلى الأداة الميكانيكية التي تدير المولد بالمحرك الأساسي. ولكي نحصل على طاقة كهربائية إضافية من المولد يلزم للمحرك الأساسي أن يبذل طاقة ميكانيكية إضافية. فإذا كان المحرك الأساسي توربينًا بخاريًا، على سبيل المثال، يلزم زيادة سريان البخار في التوربين للحصول على كهرباء بكمية أكبر.

ويعمل المولد الكهربائي على مبدأ الحث الكهرومغناطيسي والذي هو الأساس في توليد التيار الحثي. وقد تطورت صناعة المولدات الكهربائية كثيراً من حيث إنتاج التيار الحثي المقوُم إلى درجة عالية جدًا، ويُوجه المولد الكهربائي التيار الكهربائي للتدفق خلال دائرة كهربائية خارجية، كما أن مصادر المولد الكهربائي عديدة منها ما هو محرك متردد ومنها التوربينات التي تستخدم المحركات البخارية في عملها، أو عن طريق تساقط المياه في التوربينات والتي تعرف بالطاقة المائية، أو بمحركات الاحتراق الداخلية، أو توربينات الرياح، أو مرفق اليد، أو الهواء المضغوط، أو أي مصدر آخر من مصادر الطاقة الميكانيكية. المولدات الكهربائية تغذي جميع الشبكات الكهربائية تقريبًا.

ويتم التحويل عكسيًا من الطاقة الكهربائية إلى الطاقة الميكانيكية عن طريق المحرك الكهربائي، والمولدات والمحركات الكهربائية لديها العديد من أوجه التشابه، كما أن العديد من المحركات الكهربائية يمكن أن تكون مدفوعة ميكانيكيًا لتوليد الكهرباء، وكثيرًا ما تجعل المحركات المولدات مقبولة عمليًا.

آلية عمل المولد الكهربائي:

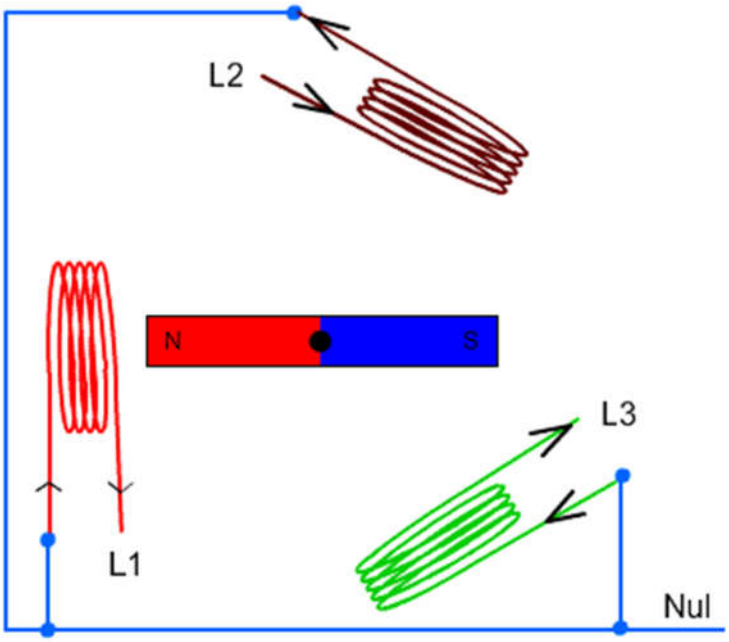
عندما تدور ملف حول مجال مغناطيسي (أو مغناطيس حول ملف) تنتج طاقة كهربائية وهذا ما يعرف بالحث الكهرومغناطيسي وتستخدم في دوران ملف أو المغناطيس طاقة ميكانيكية فمولد الدراجة مثلا يستخدم قوة تدوير العجلة لإنتاج طاقة كهربائية تضيئ مصباح الدراجة. أما في محطات توليد الكهرباء فتستخدم طاقات متجددة كالماء والرياح وغيرهما حيت يتم عمل توربينات كبيرة لتحويل قوة جريان الماء إلى كهرباء.

آلية العمل:

عندما يتم تحريك الجزء الدوار (rotor) عن طريق عمود دوران موصل بالمحرك الأساسي (prime mover) يتولد من ملفات الجزء الدوار مجال كهرومغناطيسي ينتقل إلى ملفات الجزء الثابت (stator) الذي بدوره يستقبل المجال الكهرومغناطيسي ليتحول إلى تيار كهربائي داخل الملفات الموزعة على ثلاثة أوجه بحيث تكون الزاوية بين كل وجه ووجه ١٢٠ درجة وبعد ذلك ينتج تيار كهربائي منتظم على شكل موجات جيبية (sinusoidal waves).

مبدأ الطريقة:

في مولد التيار ثلاثي الأطوار توجد ثلاثة ملفات موزعة على دائرة، وفي وسطها يوجد مجال دوار فينتج في الثلاثة ملفات ثلاثة تيارات منزاحة عن بعضها البعض زاوية ١٢٠° (أي ثلاثة جهود مترددة منزاحة عن بعضها البعض بزاوية ١٢٠°.) في الحالة البسيطة يستخدم مغناطيس ذاتي يدور في وسط الثلاثة ملفات (انظر الشكل). كما يمكن الاستغاضة عن المغناطيس الذاتي بمغناطيسي كهربائي وهذا ما يتم في معظم الأحوال. وتصل الجهود المترددة أقصى قدر لها (مطال) منزاحة عن بعضها البعض بمقدار ١/٣ دورة. وقد جرت العادة على تسمية الثلاثة أسلاك الموصلة لهذة التيارات L1 و L2 و L3.



توضيح عمل مولد للتيار الثلاثي أطوار. ينتج المغناطيسي الذاتي الدوار جهد حث في الثلاثة موصلات المحيطة به، ويرمز لتلك الجهود الكهربائية بالرموز: U_{L1} و U_{L2} و U_{L3}.

هناك جزأين رئيسيين من أي مولد أو محرك كهربائي، وهو جزء ميكانيكي وجزء كهربائي :

الجزء الميكانيكي:

العضو الثابت : وهو الجزء الثابت في الآلة الكهربائية.

العضو الدوار : وهو الجزء الدوّار في الآلة الكهربائية.

الجزء الكهربائي:

الإطار الحامل: وهو المنتج للطاقة في الآلة الكهربائية، ففي المولد الكهربائي، أو مولد التيار المتناوب، أو المحرك الكهربائي، تقوم ملفات الإطار الحامل بتوليد الطاقة الكهربائية، والإطار الحامل أما أن يكون مُركب على العضو الثابت أو على العضو الدوار في الجزء الميكانيكي.

ملفات المجال: وهو المنتج للمجال المغناطيسي في الآلة الكهربائية، ويمكننا إنتاج مجال مغناطيسي للمولد الكهرباء أو لمولد التيار المتناوب عن طريق أي مغناطيسي دائم، وتوضع ملفات المجال أما على العضو الثابت أو على العضو الدوّار في الجزء الميكانيكي.

في مولدات التيار المتردد دائمًا ما تكون ملفات المجال فيه على الجزء الثابت، والإطار الحامل على الجزء المتحرك.

أما مكائن التيار المستمر فتتطلب وجود مبادل كهربائي على محور الجزء المتحرك، وذلك لتحويل التيار المتردد الناتج من الإطار الحامل إلى تيار مستمر.

التيار المتردد الجيبي أو التيار المتناوب الجيبي (بالإنجليزية: sinusoidal Alternating current): هو تيار كهربائي يعكس اتجاهه بشكل دوري ويتذبذب في مكانه ذهابا وإيابا ٥٠ أو ٦٠ مرة في الثانية حسب النظام الكهربائي المستخدم. يمكن توليده فقط حسب قانون فرداي عن طريق مولد كهربائي متردد. وغالبًا ما تستخدم الاختصارات (AC) للتيار المتردد، و(DC) للتيار المستمر، كما يمكن التعبير عنها مع الجهد الكهربائي.

مزاياه:

ربما يتساءل البعض لماذا يستخدم التيار المتردد في نقل الطاقة الكهربائية على الرغم من أنه أكثر تعقيدا من التيار المستمر. ولكن يمتاز التيار المتردد بعدد من الميزات عن التيار المستمر:

١- يمكن نقل القدرة الكهربائية عبر التيار المتردد إلى مسافات بعيدة جدا وهذا ما لا يمكن للتيار المستمر أن يفعله بطريقة اقتصادية أو عملية. حيث يمكن خفض ورفع جهد المولد الكهربائي باستخدام جهاز يدعى المحول لا يمكن تطبيقه على التيار المستمر بسبب عدم وجود تغير في التدفق المغناطيسي. يقوم المحول برفع الجهد الكهربائي الآتي من المولد والذي يتراوح عادة بين ١١-٣٦ كيلو فولت ويقوم برفعه إلى مستويات تبلغ ١١٠-

٧٦٥ كيلو فولت مما يجعل بالإمكان نقله إلى مسافات بعيدة جدا بين الدول أو حتى عبر القارات.

٢- تمتاز التيارات المترددة على المستمرة بقدرتها على نقل المعلومات. فمكبر الصوت مثلا يقوم بتحويل المعلومات المحتواة في كلمة إلى تيار متردد.

٣- التيار المتناوب سهل التوليد من التوربينات حيث أن الوشائع والمغانط الدوارة تنتج تيارا متناوبا وللحصول على التيار المستمر منها يجب إجراء تقويم وترشيح وهذه العملية من الصعب تحقيقها في التوترات العالية.

٤- تنتج الخلايا الكهروكيميائة التيار المستمر مباشرة ولكنها تكون غير عملية لتلبية احتياجات مناطق سكانية كبيرة، بينما يمكن استخدام الطاقة الهائلة للمياه المخزونة خلف السدود على الأنهار، واستغلال طاقة المد والجزر للمحيطات وطاقة الرياح والوقود الاحفوري والتفاعلات النووية الآمنة لتدوير عنفات والتي بدورها تدير مولدات تيار متردد.

رؤية مختلفة للعالم (توماس إديسون):

كان توماس إديسون يفضل التيار المستمر على المتردد في نقل الطاقة الكهربائية في الأيام الأولى لإنشاء الشبكات الكهربائية حيث أنه أنشأ أول محطة تجارية لتوليد الكهرباء في العالم في نيويورك سنة ١٨٨٢م لتوليد التيار المستمر حتى أن أولى الأجهزة الكهربية كانت تعمل على التيار المستمر مثل مصباح أديسون ولكن زملاؤه رؤوا أن التيار المتردد يمكن أن يعمل بشكل أفضل وقد أخذ اديسون وقتا حتى اقتنع بخطأ موقفه لكن ربما كان يعلم شيئا لم يكن يعرفه زملاؤه. هناك ميزة زائدة للتيار المستمر في الشبكات الكهربائية عند نقل الطاقة الكهربائية لمسافات بعيدة حيث أنها تنتقل بشكل أكثر فعالية عند التوترات العالية من التيار المتردد لأن الأسلاك لها مقاومة أصغر عند مرور التيار المستمر منها عند مرور التيار المتردد وأيضا تقل الطاقة المغناطيسية الضائعة على شكل حقل مغناطيسي حول الاسلاك. و يعتبر نقل الطاقة باستخدام التيار المستمر ذي التوتر العالي

واعداً جداً في المستقبل ولكن في الوقت الحالي تكمن المشكلة الأساسية في الكلفة لأنه يلزم تجهيزات تحويل للطاقة مدروسة بشكل كبير.

تردد جيبي:

يمكن وصف تغير التيار المتردد مع الزمن بمعادلة جيبية على الصورة :

$$i(t) = i^{\wedge} . \sin wt$$

حيث **i^** هو أقصى حد للتيار المتردد، ويسمى مطال التيار، و **t** الزمن و **w** التردد الزاوي. يلاحظ أن التردد الزاوي له وحدة ١/ **ثانية** مثل التردد **f** أي يقاس التردد أيضا بوحدة **الهرتز** التي هي ١/ **ثانية**.

الجهد المتردد:

$$u(t) = u^{\wedge} . \sin wt$$

حيث **u** هو أقصى حد للجهد ويسمى مطال و **t** الزمن، **w** للتردد الزاوي.

التيار والدورة:

عدد الذبذبات في الثانية يسمى التردد ويقاس بوحدة هرتز واختصارها **Hz**.

الفصل السادس: الموتور (المحرك الكهربائي)

المحرك الكهربائي: اخترعه العالم الأنجليزي مايكل فارادي سنة ١٨٢١. وهو أحد الأجهزة الكثيرة الاستخدام في عصرنا الحديث، فهو يسير الآلات في المصانع ويسير القطارات الكهربائية، كما يشغل آلات الخياطة ويدير الغسالات الكهربائية ويدير طلمبة الثلاجات وغيرها. يوجد منه أنواع متعددة كبيرة وصغيرة بحيث تناسب كل استخدام.

نبذة تاريخية:

بدأ تطوير المحركات الكهربائية في بداية القرن التاسع عشر باكتشاف المغناطيس الكهربائي . ففي عام ١٨٢٠م، اكتشف الفيزيائي الدنماركي هانز كريستيان أورستد أن السلك الذي يمر فيه تيار كهربائي يولّد حوله مجالا مغنطيسيًا (حول التيار). وعند مرور التيار في سلك حلقي (مشكل في هيئة حلقة) فيكون المجال المغناطيسي المتولد أكثر شدة في داخل الحلقة ويكون اتجاه المجال عموديا على مستوى الحلقة . وفي أواخر العشرينيات من القرن التاسع عشر، أوضح الفيزيائي الأمريكي جوزيف هنري أنه يمكن ابتكار مغنطيس كهربائي أكثر قوة بلف عدة لفات من الأسلاك المعزولة حول قطعة من الحديد ، أي تسلك مسلك المغناطيس.

عام ١٨٢١م ، قام الفيزيائي الإنجليزي مايكل فارادي بتعليق سلكا من النحاس وأغطسه في وعاء به زئبق، وكان في الزئبق قضيب مغناطيسي . فلما مرر فاراداي تيارا كهربائيا في السلك فوجد أنه بدأ يدور حول المغناطيسي القائم في الزئبق. وتبين لفاراداي أن التيار الكهربائي تسبب في نشأة مجال مغناطيسي دائري حول السلك . تلك التجربة تستخدم لتوضيح

كيفية عمل المحرك الكهربائي للتلاميذ في المدارس مع استبدال الزئبق بماء مذاب فيه ملح ليكون موصلا، لأن الزئبق مادة سامة وبخاره سام أيضا.

وفي عام ١٨٢٧ اجرى الفيزيائي المجري "أنيوش يدليك" تجربة استخدم فيها الملفات السلكية . وقام بتعديل في التجربة بحيث تكون المحرك من ثلاثة عناصر لمحرك يعمل بالتيار المستمر: عضو ثابت و عضو دوار ، و مبادل كهربائي. هذا الجهاز لا يستخدم مغناطيسا ذاتيا، وإنما ينتج المجالان المغناطسيان من التيارين الكهربيين المارين في لفات العضو الثابت ولفات العضو الدوار.

وفي عام ١٨٧٣م، ظهر أول محرك تيار مستمر ناجح تجاريا، حيث عرضه مهندس كهربائي بلجيكي يُدعى زينوب ثيوفيل جرام في فيينا.وقدم جرام أيضاً حافظة من شأنها تحسين كفاءة المحركات والمولدات الكهربائية البدائية.

وفي عام ١٨٨٨م، اخترع مهندس صربي الأصل يدعى نيقولا تسلا محرك التيار المتناوب. وفي بداية القرن العشرين الميلادي، تم تطوير كثير من المحركات الكهربائية المتقدمة.

وفي العقد الأول من القرن العشرين، أجرى العديد من المهندسين والمخترعين تجارب مع المحركات الكهربائية الخطية. فبدلا من الدوران تنتج مثل هذه المحركات موجة كهرومغنطيسية تستطيع مباشرة تسيير عربة. وأصبح استخدام المحرك الخطي أكثر شيوعاً بفضل العمل الرائد للمهندس الكهربائي إيريك ليثويت في الخمسينيات والستينيات من القرن العشرين.

المُحَرِّك الكهربائي طبقا للتعريف الترموديناميكي:

هو آلة تحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركة دورانية لإنجاز شغل. وتُستَخدم المحركات الكهربائية لتشْغيل عدة آلات كهربائية ومعدات ميكانيكية مثل غسالات الملابس وأجهزة التكييف والمكانس الكهربائية ومجفِّفات الشعر وآلات الخياطة والمثاقب الكهربائية والمناشير. وتشغل

أنواعٍ شتى من المحركات في القطارات والمترو وحافلات النقل العام الكهربائية (ترولي‌باص) ، كما تدير آلات المصانع والروبوتات.

ويتنوع حجم المحركات الكهربائية تنوعًا كبيرًا. فقد يكون جهازاً صغيراً يقوم بوظائفه داخل ساعة يد أو محرّكاً ضخماً يمد قاطرة ثقيلة بالحركة . ففي الوقت الذي تحتاج فيه الخلاطات ومعظم أدوات المطبخ الأخرى لمحركات كهربائية صغيرة لأنها تحتاج فقط لقدرة كهربائية بسيطة، تتطلب القطارات استخدام محركات أكبر وأكثر تعقيدا، ذلك لأن محرك القطار الكهربائي يبذل طاقة كهربائية كبيرة في وقت قصير لانتاج الحركة.

وبناء على نوع الكهرباء المستخدمة، هناك نوعان رئيسيان للمحركات:

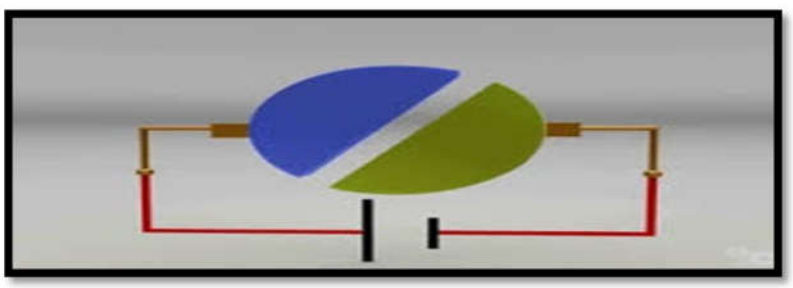
١- محركات تعمل بالتيار المتردد:

ينعكس التيار المتردد اتجاه سريانه خمسين أو ستين مرة في الثانية بين السالب والموجب . وهو التيار المستعمل في المنازل. وتستخدم محركات التيار المتردد شائعاً لتشغيل المعدات الميكانيكية في المصانع. كما أنه يستخدم كباديء تشغيل في محركات الاحتراق الداخلي.

٢- محركات تعمل بالتيار المستمر:

وتستعمل محركات التيار المستمر أيضاً بشكل شائع في أدوات عديدة مثل مقياس ضغط الدم والأجهزة التي تستخدم بطارية. يسير التيار المستمر في اتجاه واحد فقط (لا يتردد)، ومصدره هو بطارية أو مركم.

من الممكن تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر، تسمى تلك العملية "تقويم التيار" وتقوم بها مقومات التيار. وبالعكس يمكن تحويل التيار المستمر إلى تيار متردد عن طريق جهاز مشابه هو المحول الكهربائي ويوجد منه الصغير والكبير. (انظر عاكس "مقوم" التيار بالصورة التالية)



عمل المحرك الكهربائي ذو التيار المستمر:

تقنية الكهرباء والمحركات الكهربائية هي من أساسيات مدنيتنا الحديثة ولا يمكن الاستغناء عنها. ويتكون المحرك الكهربائي الذي يعمل بالتيار المستمر من ثلاثة أجزاء : ١- عضو ثابت كهربائي ينتج مجالا كهربائية، ٢- وعضو دوار يتكون من عدة ملفات سلكية تنتج مجالا مغناطيسيا مضاداً للمجال المغناطيسي الذي ينتجه العضو الثابت فيتسبب في تحريك العنصر الدوار، ٣- والجزء الثالث هو مبادل كهربائي يعمل على تمرير التيار في لفات العنصر الدوار و"تبادل " أو " تناوب" اللفات في تلقي التيار الكهربائي، حيث يتجاذب المجالان المغناطيسيان أو يتنافرا فتحدث حركة العضو الدوار. وإحدى الطرق التي توضح العلاقة بين اتجاه التيار في سلك واتجاه المجال المغناطيسي الناشيء هي قاعدة اليد اليمنى.

أجزاء المحرك الكهربائي ذو التيار المستمر:

يتكون المحرك الكهربائي البسيط من موصل كهربائي دوار (عضو دوار)، موضوع بين قطبين شمالي وجنوبي لمغناطيس ثابت في شكل حدوة الحصان . ويعرف الموصل باسم العضو الدوار (ويسمى أحيانا الحافظة: حافظة (غلاف الأرماتور) ، بينما يعرف المغناطيس الثابت باسم بِنْيَة المجال (العضو الثابت). وهناك أيضًا المبادل الكهربائي المثبت على محور العضو الدوار ويمد لفات العضو الدوار بالتيار.

١ـ العضو الثابت:

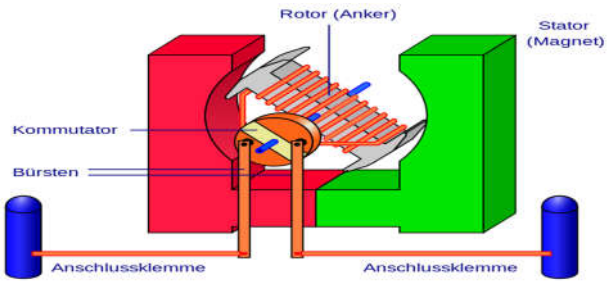
حيث يتكون المجال المغناطيسي من خطوط قوى توجد بين قطبي المغناطيس الثابت. وفي بعض المحركات الأكبر حجماً والأكثر تعقيدا تتركب بنية المجال من أكثر من مغناطيس كهربائي واحد تتغذى بالكهرباء من مصدر خارجي. وتسمى مثل هذه المغانط الكهربائية ملفات المجال الثابت.

٢ـ العضو الدوار أو الحافظة:

العضو الدوار يكون ملفا أسطواني أو عدة ملفات في مجموعها اسطونية الشكل وهي تكوّن مغناطيسا كهربائيًا عندما يمر التيار فيها . ويتصل بالعضو الدوار محور مرتكز على كرسيين تحميل، ويوصل الحمل بهذا المحور فيدور الحمل، حيث يتجاذب قطب الدوار المغناطيسي الشمالي مع القطب الجنوبي للعضو الثابت، والجنوبي في هذا مع الشمالي في ذاك. ثم ينعكس عندها اتجاه التيار لتغيّر قطب الدوار الشمالي ليجعله قطباً جنوبيا، فيتنافر القطبان الجنوبيان، مما يجعل الحافظة تقوم بنصف دورة.

٣ـ المبادل الكهربائي:

ويتكون المبادل في محرك التيار المستمر من حلقة مقسمة إلى جزءين على الأقل، ومثبتة في عمود الإدارة المتصل بالعضو الدوار. يوصل التيار القادم من المصدر الخارجي بالمبادل عن طريق سلكين وقطعتين صغيرتين من الجرافيت تسمى "الفرشتين" وتلامس جزئين متقابلين من تقسيمات المبادل. ويدخل التيار من فرشاة إلى الملف، وتوجد فرشاة أخرى في الجانب الآخر للمبادل يخرج منها التيار من اللفة ويعود التيار إلى مصدر الكهرباء. وعندما تتصل إحدى الحلقات مع الفرشاة الأولى، تلتقط التيار الكهربائي من الفرشاة وترسله عبر الحافظة، وعندما تقع الأقطاب المغناطيسية التي تتكون على الحافظة بعض الأقطاب المتشابهة لمغنطيس المجال، تدور الحافظة نصف دورة مارة بإحدى الفجوات التي تفصل الحلقات . ثم تتصل الحلقة الثانية من المبادل مع الفرشاة الأولى وتصبح حاملة للتيار إلى الحافظة، وبهذا ينعكس اتجاه التيار كما ينعكس موضع الأقطاب في الحافظة. وعندما تتقابل الأقطاب المتشابهة للمجالين المغناطيسيين للعضو الثابت والحافظة تستمر الحافظة في الدوران نظرا لتنافر مجالاهما المغناطيسي. (محرك كهربائي بالتيار المستمر- المبادل جزئين بني اللون)



أ- أنواع محركات التيار المستمر:

وهناك ثلاثة أنواع رئيسية من محركات التيار المستمر وهي: محركات توالي، وتوازي، ومُركبة. والاختلاف الرئيسي فيما بينها هو في ترتيب الدائرة بين العضو الدوار وبين العضو الثابت.

١ - **ففي محركات التوالي:** يتصل كل من العضو الدوار ومغناطيس المجال كهربائيا على التوالي. ويسري التيار خلال مغنطيس المجال ثم في ملفات العضو الدوار. وعندما يسري التيار خلال البنية بهذا الترتيب يزيد قوة المغانط. وتبدأ محركات التوالي العمل سريعاً، حتى وإن كانت تعمل على حِمْل ثقيل، رغم أن هذا الحمل سيقلل من سرعة المحرك.

٢ - **وفي محركات التوازي:** يُوصَّل كل من المغناطيس و العضو الدوار على التوازي. ويسري جزء من التيار خلال المغناطيس الكهربائي بينما يسري الجزء الآخر خلال ملف العضو الدوار . يلف سلك رفيع معزول حول مغناطيس المجال عدة مرات من أجل زيادة مغناطيسيتة. ويتسبب إنشاء المجال المغناطيسي بهذه الطريقة مقاومة للتيار. وتعتمد قوة التيار ودرجة المغناطيسية تبعاً لذلك، على مقاومة السلك بدلا من حِمْل المحرك.

ويعمل محرك التوازي بسرعة ثابتة بغض النظر عن الحِمْل، ولكن إذا كان الحمل كبيرا جداً تحدث مشاكل للمحرك عند بدء التشغيل.

٣ - **وللمحرك المُرَكَّب:** مجالان مغنطيسيان متصلان بالعضو الدوار، أحدهما على التوالي والآخر على التوازي. وللمحركات المركبة مميزات كلً من محرك التوالي ومحرك التوازي، إذ يسهل بدء تشغيلها مع حمل كبير، وتحافظ على سرعة ثابتة نسبياً حتى ولو زاد الحمل فجأة.

ب- أنواع محركات التيار المتردد:

ابتكر من محركات التيار المتردد عدة أنواع تفي الاستخدام البسيط مثلما في الاستخدامات المنزلية كشفاطات الغبار، ومجففات الشعر، ومحركات الغسالات الكهربائية والمراوح وغيرها وهذه تعمل بجهد متردد عادي قدره

١١٠ أو ٢٢٠ فولط. ومنها الكبير الذي يستخدم في تشغيل آلات المصانع، أو تسيير مترو النقل العام والقطارات الكهربائية، التي تصل سرعاتها ٣٥٠ كيلومتر في الساعة. تلك المحركات الكبيرة المستخدمة في المترو والقطارات تسمى محرك جر وهي تعمل بجهود أعلى كثيرا قد تصل إلى ٣٠٠٠ فولط.

الفرق بين :

١ـ محرك تيار متردد عادي:

تيار متردد أحادي الطور - فهو يشتغل بقدرة أقل ويستخدم في الآلات البسيطة مثل محرك طلمبة الثلاجة أو في المراوح والغسالات الكهربائية.

٢ـ محرك تيار ثلاثي الأطوار:

ويتكون عضوه الدوار من دوار قفصي سنجابي. يستخدم كثيراً في الصناعة لمتانته واقتصاديته واستدامته.

الفرق بين :

١ـ المحرك الحثي (غير التزامني):

يتكون العضو الدوار في المحرك الحثي من دوار قفص سنجابي، وهو مكون من قلب حديدي أسطواني به فتحات في جانبه طوليا. وتثبت قضبان من الألمونيوم أو النحاس (أو تصب) في هذه الفتحات وتُربط بحلقتين نحاسيتين سميكتين مثبتتين على قاعدتي الأسطوانة، فيكون شكلها مشابها للقفص. ولا يتصل العضو الدوّار مباشرة بمصدر الكهرباء الخارجي. ويسري التيار المتردد من المصدر في ملفات المجال في العضو الثابت ويولد مجالاً مغناطيسيا دواراً. هذا المجال يولد تيارًا حثيا في العضو الدوار مما ينتج عنه مجالا مغنطيسيا آخر. ويتفاعل المجال المغناطيسي الناشئ من

العضو الدوار مع المجال المغناطيسي المتولد من العضو الساكن، مُسبِّبًا حركة العضو الدوار.

٢ـ المحرك التزامني:

يولِّدُ العضو الساكن في المحرك التزامني مجالاً مغنطيسياً دواراً. ولكن العضو الدوار يستقبل التيار مباشرة من مصدر كهربائي خارجي بدلاً من اعتماده على المجال المغنطيسي الناشئ من العضو الساكن لتوليد تيار كهربائي. ويتحرك العضو الدوار بسرعة ثابتة متزامنة مع المجال الدوار للعضو الساكن. وتتناسب السرعة مع التردد الذي ينعكس به التيار المتناوب الناشئ من العضو الساكن. وحيث أن التردد ثابت دائما فإن المحركات التزامنية، مثلها مثل محركات التيار المركبة، لها سرعة ثابتة حتى في وجود حمل متغير. وتستهلك تلك المحركات أيضاً طاقة أقل، وتعتبر مثالية للساعات والتلسكوبات التي تتطلب توقيتا دقيقاً ودورانًا هادئًا.

الفصل السابع: شحن السيارة الكهربية

هل خطر على بالك من قبل ماذا يحدث لو تمّ توصيل موتور كهربائي بمولد طاقة (دينامو) كهربائي من خلال طرف واحد معزول غير موصل للكهرباء؟ من خلال الإطلاع على الفصول السابقة تبين أن: الدائرة الكهربية دائماً ما تبدأ بمولد طاقة (دينامو) من خلال محطات الكهرباء التجارية وتنتهي بموتور يقوم بتشغيل المراوح وأجهزة التكييف والغسالات الكهربائية بالمنازل وكذلك تشغيل الآلات والمعدات والروبوتات في المصانع تبعاً لأنواع المواتير المستخدمة حسب الحاجة ولكن ماذا لو ربطنا حركة الدينامو بالحركة الدورانية للموتور عن طريق توصيلهما بسير (حزام) دوار من طرف واحد غير موصل للكهرباء؟

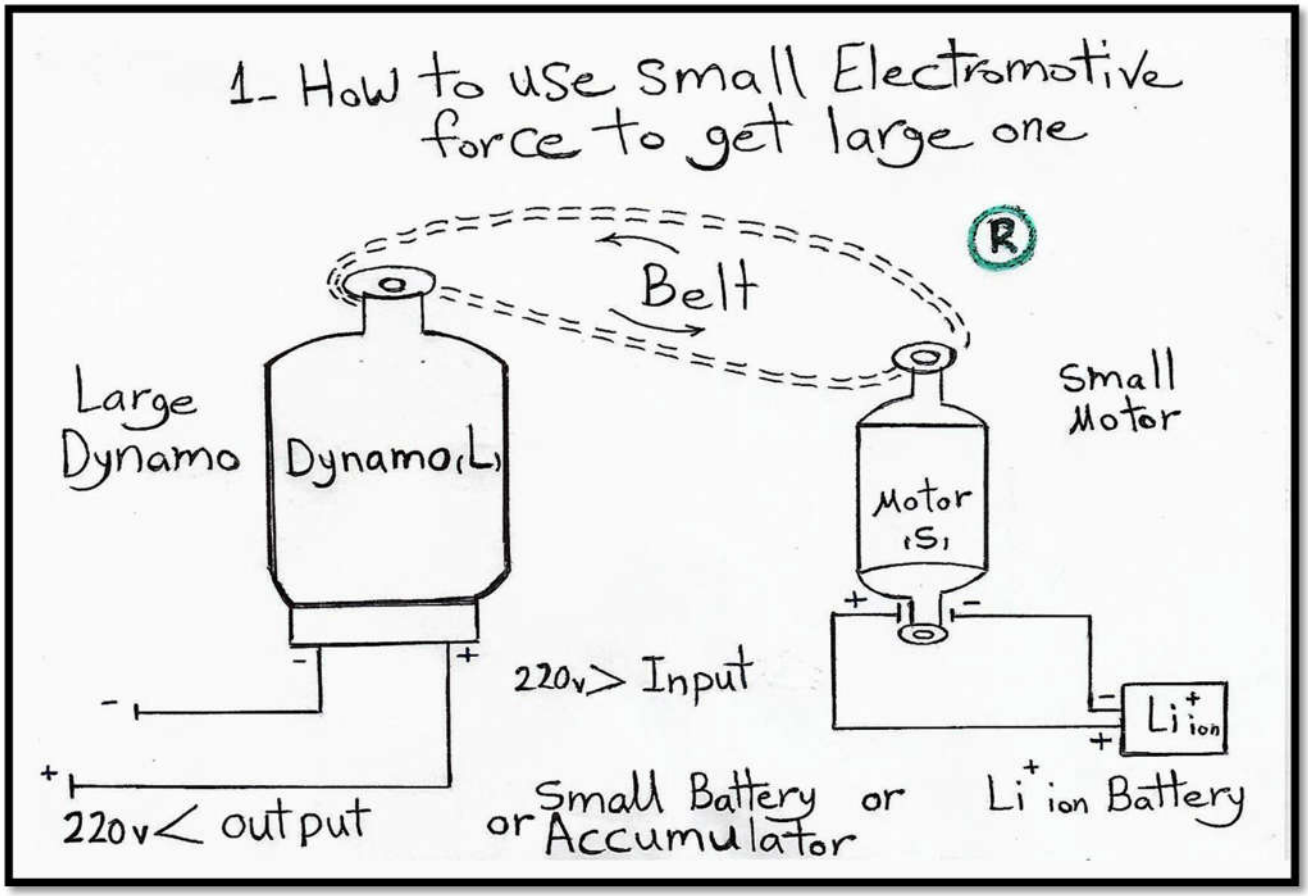
لأمكننا توليد طاقة كهربية جديدة من خلال الدينامو نستفيد منها في تشغيل العديد من الأجهزة الكهربائية دون استهلاك المزيد من الكهرباء والتطبيقات التالية توضح ذلك:

١ الحصول على قوة دافعة كهربية كبيرة من خلال استخدام قوة دافعة صغيرة

– الشكل التالي يوضح كيف استخدمنا بطارية صغيرة أياً كان نوعها أو مركم (كالمركم الرصاصي المستخدم في السيارات التي تُدار بالبنزين) أو بطارية أيونات الليثيوم التي يُعاد شحنها وتوصيلها بموتور صغير نسبياً وتشغيله وعن طريق توصيله بدينامو أكبر حجماً تمكنا من الحصول على قوة دافعة كهربية أكبر من الأولى المستخدمة عند بدء التشغيل، هذه القوة قد يُستفاد منها في تشغيل العديد من الأجهزة المنزلية أو الآلات الزراعية الخفيفة أو الأجهزة البسيطة المستخدمة في ورش السمكرة، اللحام والنجارة وهي تماثل نفس المبدأ الفيزيائي المستخدم في

المكبس الهيدروليكي من خلال استخدام قوة دافعة صغيرة للحصول على قوة دافعة كبيرة تستطيع رفع السيارات والحافلات في محطات التشحيم أو التزييت من خلال المكبس فتكون مثلاً القوة الدافعة الكهربية الداخلة أقل من ٢٢٠ فولت والخارجة من الدينامو أكبر من ٢٢٠ فولت.

(انظر الشكل الأول)



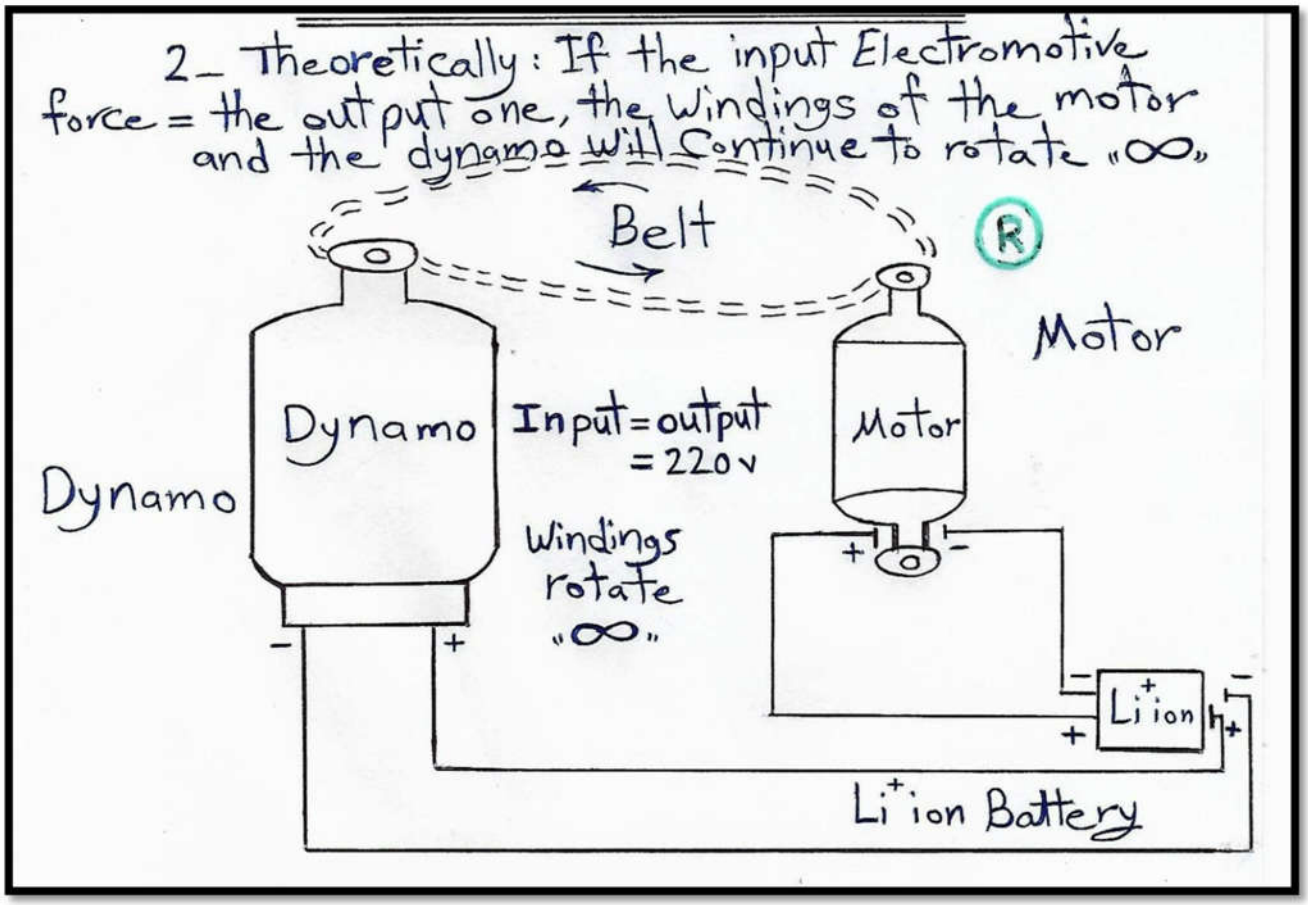
(استخدام قوة دافعة كهربية صغيرة للحصول على أخرى كبيرة منها)

٢ الشكل الثاني يوضح أنه نظرياً:

ستستمر ملفات المجال في كل من الموتور والدينامو في الدوران إن كانت القوة الدافعة الكهربية الداخلة = القوة الدافعة الكهربية الخارجة عند توصيل الموتور بملف الدينامو عن طريق سير (حزام) دوار من طرف واحد وإعادة توصيل مخرج الدينامو بالمدخل الأصلي للتيار – في حالة كان

المصدر الأصلي هي بطارية ليثيوم قابلة للشحن مرة أخرى والطاقة الكهربية الداخلة = الطاقة الكهربية الخارجة = ٢٢٠ فولت.

نظرياً سيستمر الملف في الدوران "∞" (انظر الشكل الثاني)



(شكل يوضح دوران ملفات الموتور والدينامو بصفة مستمرة)

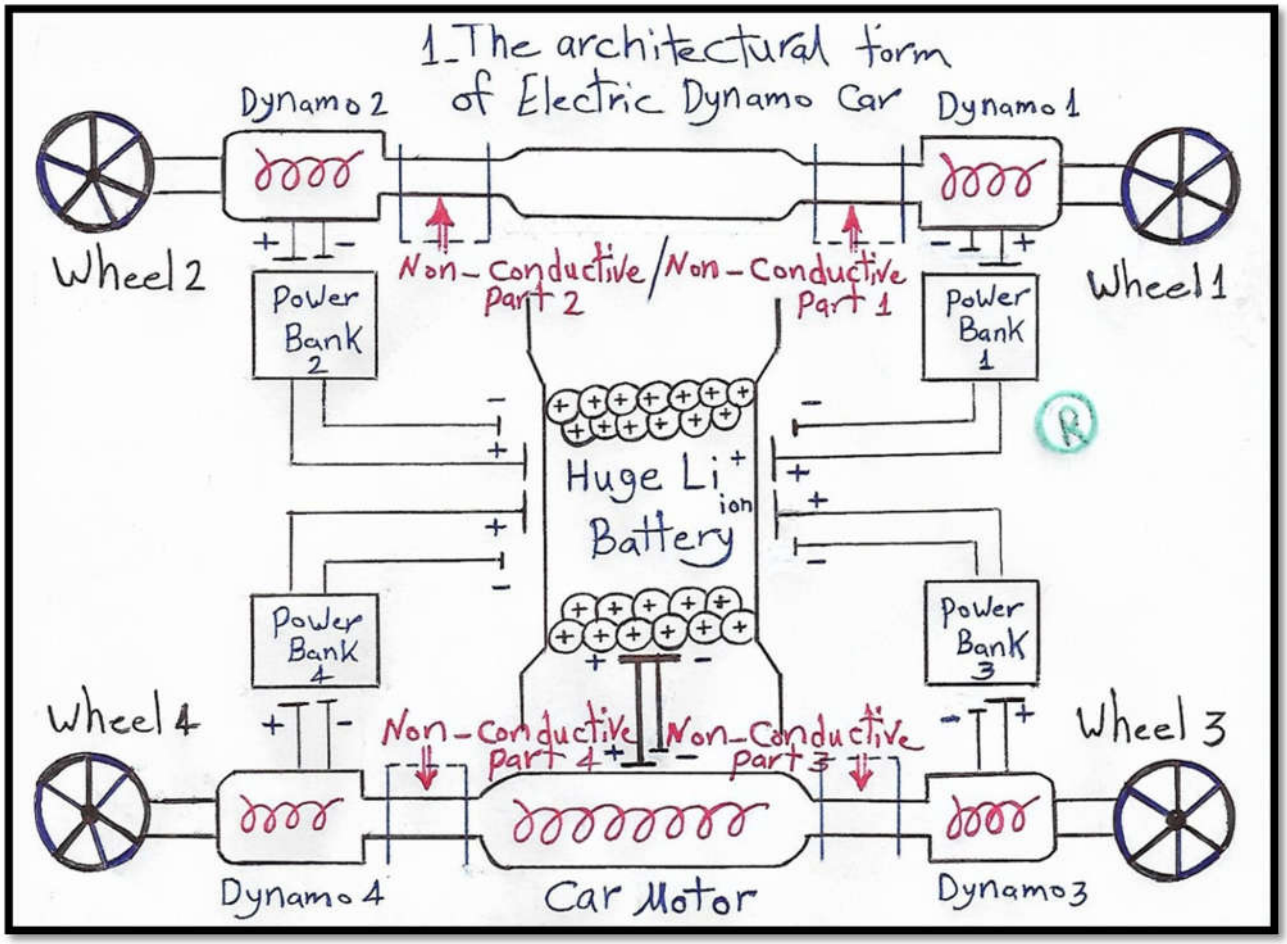
٣ إعادة شحن بطارية السيارة الكهربية:

تحتوي كل سيارة كهربية حديثة على بطارية أيونات ليثيوم عملاقة تمكنها من المسير لعدة مئات من الكيلومترات ولكن بعد مسافة محددة ستنفذ طاقة البطارية من شحنة واحدة وستحتاج إلى إعادة شحنها مرة أخرى من خلال مصدر للكهرباء حيث:

يعتمد زمن الشحن على قدرة السيارة ونوع التيار. فتحتاج سيارة كهربائية قدرتها ٤٠ كيلوات ساعي نحو ١١ ساعة لشحنها بالتيار المنزلي ذو الطور

الواحد (١٦ أمبير و ٧و٣ كيلوواط) في حين أنها تشحن لمدة ٤ ساعات عند توصيلها بتيار ثلاثي الأطوار (١٦ أمبير، ١١ كيلوواط). وتحتاج السيارة الكهربائية ذات القدرة ١٠ كيلوواط ساعي نحو ثلاثة ساعات لشحنها بالمنزل (بتيار أحادي الطور) بينما يتم شحنها بتيار ثلاثي الأطوار خلال ١ ساعة.

ولكن ماذا لو وضعنا في السيارة الكهربية عدداً من مولدات الطاقة (الدينامو) التي تقوم بشحن بطارية السيارة مرات ومرات حتى لا تنفذ الطاقة. الشكل التالي (شكل ٣) يوضح أن موتور السيارة موصولاً بالبطارية العملاقة مباشرة ويستمد منها طاقته وقد تمّ توصيل مولد طاقة (دينامو) عن يمين ويسار ملف الموتور الأصلي ليستفيد من طاقة حركته مع عجلات السيارة لتوليد طاقة كهربية يتمّ تخزينها في بنك للطاقة يعيد شحن البطارية العملاقة مرة أخرى ومع حركة العجلات الأمامية تمّ توصيل مولد طاقة (دينامو) داخلي بجانب كل عجلة أمامية عن اليمين واليسار وكل مولد طاقة يتم تخزين طاقته في بنك للطاقة يعيد شحن بطارية السيارة العملاقة مرة أخرى وبذلك نكون استفدنا من الطاقة الحركية للموتور في تشغيل ٤ دينامو بداخل جسم السيارة للحصول منهم على طاقة كهربية يتم تخزينها في ٤ بنوك للطاقة تمد البطارية الأصلية بالكهرباء مرة أخرى ولكن لاحظ أن هناك جزءاً معزول غير موصل للكهرباء يفصل بين موتور السيارة والدينامو عن اليمين واليسار يعمل نفس عمل السير أو (الحزام) الدوار في الشكل الأول والثاني وبالتالي لا تعكس الطاقة الكهربية الناتجة عن الدينامو الطاقة الكهربية المستخدمة في تشغيل الموتور ونحصل على دائرة كهربية مكتملة ذاتية الشحن لا تحتاج إلى مصدر خارجي لإعادة شحنها. (انظر الشكل الثالث)



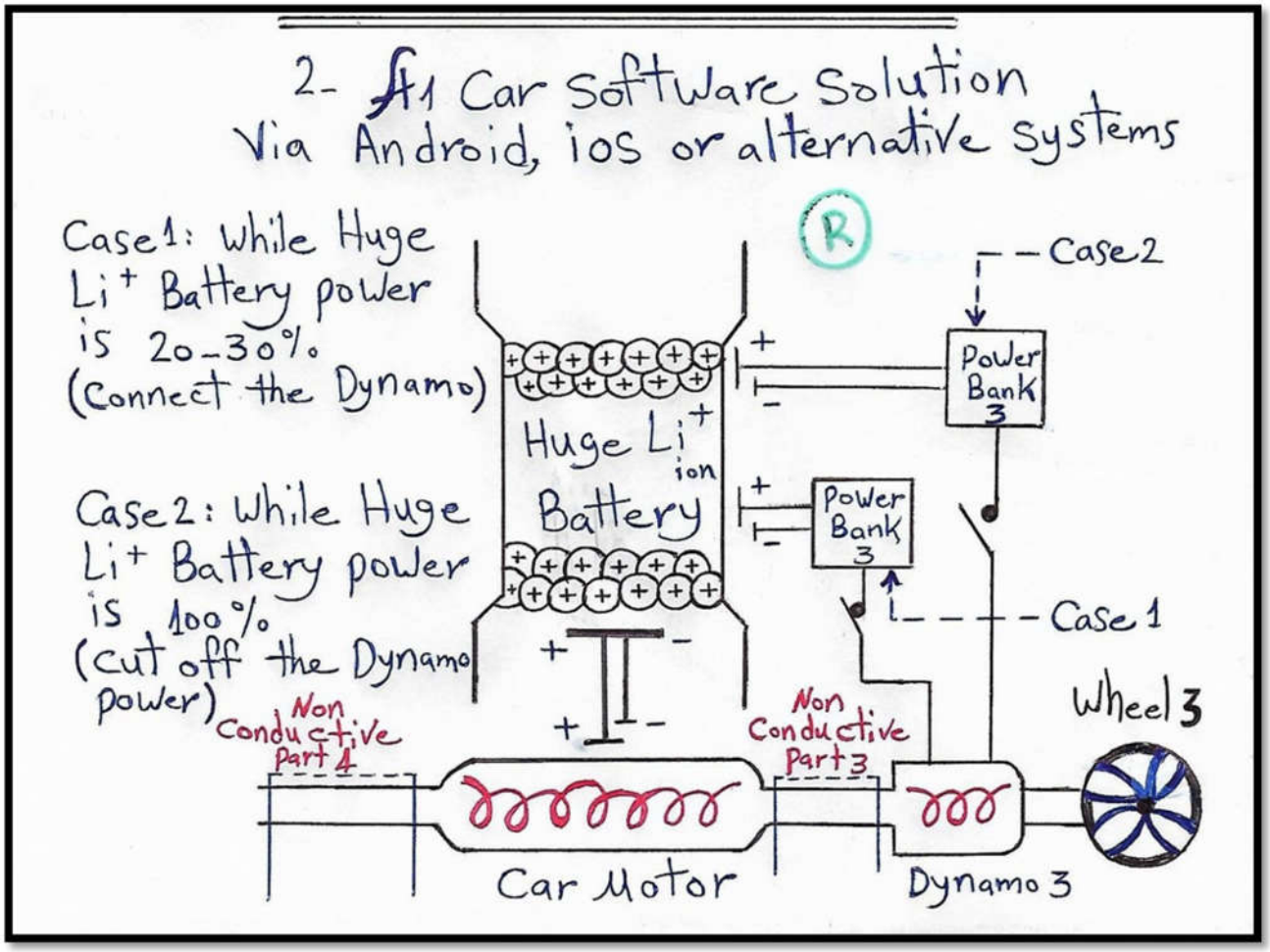
(شكل ٣ – الشكل التشريحي للسيارة الدينامو الكهربية من الداخل)

لاحظ أنه يمكننا جمع الجهود الكهربية الأربعة الناتجة عن ال ٤ (دينامو) على التوالي للحصول على شاحن واحد رئيسي ذو جهد كهربي عالي **(V)** وقدرة كهربية عالية **(P)** لإعادة شحن البطارية العملاقة من مقبس واحد.

ولكن لاتزل هناك مشكلة قائمة وهي أن بطاريات الليثيوم مصممة بحيث يُعاد شحنها مرة بعد أخرى بعد أن تنفذ طاقتها في الشحنة الواحدة وهنا يأتي الاعتماد على السوفت وير للنظام الذكي المحمّل على السيارة مسبقاً لأن السيارات الحديثة أصبحت تعتمد أنظمة تشغيل ذكية لتدويرها مثل: نظام أندرويد أوتو أو أبل كار بلاي أو غيرها ومن خلال ضبط هذه الأنظمة للتحكم إلكترونياً في كل وظائف السيارة يمكننا ضبط برنامجاً إلكترونياً يقوم بتوصيل (غلق) دائرة الدينامو عند وصول طاقة البطارية العملاقة

للسيارة إلى ٢٠ – ٣٠ % ثم يفتح دائرة الدينامو ويفصله عن بنك الطاقة وبالتالي البطارية العملاقة عند وصول طاقة البطارية إلى ١٠٠% وإعادة شحنها بالكامل وبهذه الطريقة تمكننا من شحن بطارية السيارة مرات ومرات عديدة أثناء مسيرها مستفيدين من الطاقة الحركية للموتور لتوليد الكهرباء من مولدات الطاقة الأربعة (٤ دينامو) دون التوقف للتزود بالوقود أو إعادة شحنها مرة أخرى من محطة طاقة كهربية أو مصدر خارجي.

(انظر شكل ٤)



(شكل٤ - يوضح الحل البرمجي لإعادة توصيل أو فصل البطارية العملاقة عن مولدات الطاقة الأربعة "٤ دينامو").

تـــمت ....

كتيب علمي قصير

- ✓ المادة العلمية للكتاب مستعارة من موقع ويكيبديا (الموسوعة الحرة) للفيزياء الكهربية وأهم علمائها.
- ✓ الرسومات التوضيحية المحررة بخط اليد ملكية فكرية للمؤلف ولا توجد في أي موسوعة علمية أو مراجع أو كتب أخرى.

إعداد: د. أندرو عاقله جرجس

تاريخ الإصدار: أكتوبر ٢٠٢٠

سلسلة قوة المعرفة

© الطريق نحو .... السيارة الدينامو الكهربية

حقوق الطبع محفوظة

مؤلفات أخرى للكاتب:

كتب علمية:

١ ماينذ كنترول ماشين (كتيب علمي قصير)

قصص وروايات:

٢ أندرويد وعملاء الظل (قصة قصيرة) الجزء الأول

٣ أندرويد من بعد عملاء الظل (قصة قصيرة) الجزء الثاني

٤ دموع مكبوتة (رواية)

٥ مشتت الموت (رواية)

٦ رواد التلاعب (قصة قصيرة)

كتب مصورة:

٧ كوميكس عربي فصيح (كتيب هزلي مصور)

٨ حواديت جدي المصري الكبير (كتيب قصصي مصور)

كتب أشعار:

٩ مرآة العصر – الإصدار الأول (كتيب أشعار)

١٠ مرآة العصر – الإصدار الثاني (كتيب أشعار)

١١ مرآة العصر – الإصدار الثالث (كتيب أشعار)

E-mail Address: Andrewakoula@gmail.com

Facebook: Andrewakoula@andrew.akoula

Website: https://andrewakoula.weebly.com

© همه حقوق در این مجموعه برای مدرسه محفوظ است