

سلسلة مؤتمرات اللغة العربية
عن المجلس الأعلى للغة العربية

ر.م. أوهابيه

الكهرومغناطيسية

الجزء الثالث

المجلس الأعلى للغة العربية

الهندسة الكهربائية

ر.م. أوهائية

الكهرومغناطيسية

الجزء الثالث

المجلس الأعلى للغة العربية

قيدل بـ 1121 قسنها

قيدل بـ 1121 قسنها

قيدل بـ 1121 قسنها

قيدل بـ 1121 قسنها

© جميع الحقوق محفوظة للمجلس الأعلى للغة العربية - الجزائر.

الإيداع القانوني : 1121 / 2002 قسنها بـ 1121 قسنها

ملحوظة

نظراً لكون الجزء الثالث من موضوع "الكهرومغناطيسية" الذي نال جائزة المجلس الأعلى للغة العربية في سنة 2000 مترابط مع بقية الأجزاء الأخرى، خاصة وأن الموضوع يتعلق بالبرامج المدرسية والجامعية، فقد أخذ المجلس الأعلى للغة العربية على عاتقه نشر الجزئين الأول والثاني، وسيصدران لاحقاً.

المجلس الأعلى للغة العربية.

مقدمة

الحمد لله وحده والصلاة والسلام على من لا نبي بعده :

الرسالة الحضارية

لقد ظهرت في المكتبة العربية عدة مؤلفات وترجمات تمس ميدان الهندسة الكهربائية تمكن المختصين العرب التزود من هذا العلم الواسع والإبحار فيه بلغتهم الأم. وتعتبر هذه السلسلة المتواضعة جواب إلى كل من تكلم عن اللغة العربية ورمائها بالعجز والقصر عن إقامة أبحاث علمية، فأقول لهم أن لسان العرب أوسع الألسنة مذهبا وأكثرها ألفاظا. كما تعتبر هذه السلسلة تمة لجهد السادة الزملاء الذين سبقونا بالتأليف والترجمة لإثراء المكتبة العربية.

إن عجز العرب عن التقدم في الميدان العلمي والتكنولوجي لا يمكن بحال من الأحوال أن نجعل من سببه ضعف اللغة العربية كما يعتقد البعض، وإنما يرجع أساسا إلى ضعف إرادة العرب الذي أوصلهم إلى الاعتقاد بعدم جدوى لغتهم وعدم قدرتها على مواكبة العلوم. إن العربي يتشوق بلغة فانية

ولا يتحمس للغة العربية الخالدة بل وصل به الأمر أن يستحي بالنطق بها ويهزأ ممن استعمل المصطلحات العربية، مدعياً عدم جدواها وقدرتها على مواكبة العلوم. لذا حق لنا أن نسأل هذا السؤال : هل العيب في اللغة العربية أم في أهلها الذين ناموا حتى تعدتهم عجلة الزمن من جهة، ومن جهة أخرى تفاني الغرب واستماتتهم في التقدم العلمي ؟

وللإجابة عن هذا السؤال نقول وبالله التوفيق : إن موقع الناس من العلم بقدر درجاتهم في الإمام به وكلما كانت إرادة أمة قوية في بحوثها واكتشافاتها، أعطت لنفسها فرصة التقدم العلمي من جهة وفرصة تبليغ لغتها من جهة أخرى. وهذا ما أدركه الغرب تمام الإدراك فراح يتوغل في البحث والاكتشاف حتى جعل من حضارته ولغاته المتعددة تراثاً لا يمكن الاستغناء عنه، وبالمقابل غفل عنه العرب فتخلفوا وتقهقروا وعجزوا عن استرجاع أمجاد أجدادهم الذين كانوا السباقين في الميدان العلمي والمعرفي وجعلوا من اللغة العربية أداة معرفة لا يمكن الاستغناء عنها.

هو نداء أبعثه إلى كل غيور على هذه الأمة أن يسهم بأفكاره ونتاج قلمه لإثراء المكتبة العربية بكل ما تحتاج إليه من علوم ومعرفة، كل في اختصاصه. عل الله إن غيرنا ما بأنفسنا من كسل وخمول وإجحاف في حق لغتنا الأم، غير الله سبحانه وتعالى واقعنا لنستعيد ما كان عليه أسلافنا الأولون، وإنها لمسؤولية أمام الله وأمام التاريخ وأمام الأمة العربية... رسالة أبعث بها لأجيال المستقبل، الشباب العربي، عله يرفع التحدي فيحظى بما لم نحظ به نحن، وينهض بما عجزنا عنه نحن ويشيد ما كان من حضارة مدنية.

فصول الكتاب

رتبت فصول الكتاب بحيث يتدرج الطالب في ميدان الهندسة الكهربائية ابتداء من المفاهيم الأولية إلى غاية أن يتمكن من استيعاب بعض المفاهيم الأساسية لهذا العلم، مع إمكانية اكتسابه لخبرة تجعله يحيط ببعض الشيء بالدارات الإلكترونية، وقد أرفقت مواضيع الكتاب بأمثلة وتطبيقات عملية تعين الطالب على التعامل السهل مع مضمون الكتاب، بالإضافة إلى وضوح الصورة أمامه فيما يخص تطبيقات الكهرباء والإلكترونيات في الحياة اليومية. عموما فإن الكتاب مقسم إلى خمسة أجزاء، كل جزء منها يتناول ميدانا محددا من علم الكهرباء، إلا الجزء الأول فهو يحتوي على باين :

الجزء الأول : الكهروستاتيك + الكهروسينيتيك.

الجزء الثاني : الدارة الكهربائية.

الجزء الثالث : الكهرومغناطيسية.

الجزء الرابع : القياس الكهربائي (مبادئ تصميم وصناعة أجهزة القياس).

الجزء الخامس : الإلكترونيات (النوابط الإلكترونية الفعالة).

كل جزء يحتوي على عدة فصول، وكل فصل يعالج مفهوما معينا. يبدأ الجزء الأول بالحديث عن الكهرباء الساكنة والكهرباء المتحركة حيث فصول الباب الأول تدور حول دراسة الشحنات الكهربائية ومدى تأثيرها في

المحيط، وأما مواضيع الباب الثاني فتعالج حالة تحرك هذه الشحنات عبر محيط معين وقد تناولنا على وجه الخصوص الحركة عبر الأسلاك الناقلة. وحين يغطي القارئ الكريم هذا الجزء يمكنه أن يباشر فصول الجزء الثاني بحيث يستطيع مع نهاية هذا الباب أن يتحكم في الدارات الكهربائية.

ويشتمل الجزء الثالث على دراسة مدى تأثير الشحنات الكهربائية على المحيط بين قوى الجذب والنفر لتكون دراسة تمهيدية للكهرومغناطيسية لتكون بدورها مدخلا مبسطا لمواضيع الجزء الرابع الذي يتناول تصميم وكيفية صنع بعض أجهزة القياس الشائعة الاستعمال. وأما الجزء الخامس فهو خاص ببعض النوابط الإلكترونية القاعدية لتكون دراسة تمهيدية للدارات الإلكترونية، التي ستبعض فيما بعد بتوفيق الله عز وجل.

بنية البحث

يتناول الكتاب المواضيع بأسلوب بسيط يختلف عن المؤلف — وما نحسبه إلا كذلك — من عدة نواحي نختصرها في النقاط الموضحة أدناه.

تعتمد بنية الكتاب على تناول المواضيع مستقلة عن بعضها البعض من بدايتها بحيث حاولنا ألا نستعمل مفاهيم في موضوع معين تبقى مبهمه، يكون الطالب لم يتطرق لها بعد. فالمواضيع تعالج عن طريق سؤال وجواب، بالإضافة إلى أسلوب المخاطبة في بعض الأحيان لشد انتباه القارئ الكريم ليولي المفهوم المتناول أهمية خاصة.

فالكتاب لا يتطلب لقارئه سوى بعض المفاهيم الرياضية البسيطة ليتدرج لما هو أعقد وأصعب. فالانطلاقة تكون فكرة بسيطة تخلو من الرياضيات المحضة، حيث يعتمد على شرح المفاهيم الفيزيائية الهامة.

بالإضافة إلى اصطحاب مفاهيم الكهرباء والإلكترونيات بأمثلة عملية من الحياة اليومية للطالب، مع الإشارة إلى النقاط الهامة من الموضوع ليتسنى للطالب أن يلخصه ويخرج بأكبر قسط ممكن من المعرفة، ولن يكون ذلك إلا بالتخلي عن البراهين الرياضية كخطوة أولى لتوضيح المفاهيم مع التركيز على الجانب الفيزيائي لشرحها، فعند طرح فكرة معينة نقوم بمعالجتها من خلال الشرح الفيزيائي للأشياء لتتقدم تدريجياً في الموضوع نحو البراهين الرياضية التي يتم توضيح كيفية الوصول إليها.

والهدف المنشود من وراء هذا الأسلوب أن تنشأ للطالب استقلالية نسبية عن الأستاذ قصد بعث نزعة البحث والتنقيب لديه ليتمكن من تشخيص وتحليل المواضيع لوحده، وهو السبب المقصود من وراء التكرار الملاحظ في الكتاب. وللتأكد من أن المفاهيم الهامة قد استوعبها القارئ دون عناء، فقد أدرجت خلال كل فصل خمسة أسئلة ضمن المسائل المقترحة تشكل خلاصة الموضوع المتطرق له، وجب على الطالب أن يجيب عنها قبل التطرق لمواضيع أخرى. ونظراً لأن المهارة والخبرة في التعامل مع الدارات الإلكترونية تحتاج إلى تدريب متنوع وتمرس مكثف، وقصد رفع المستوى فإن هذه السلسلة اشتملت -بالإضافة إلى أمثلة وتمارين محلولة - على مسائل في

نهاية كل فصل، جاءت لتدعيم الدروس يطلب حلها والبرهنة عليها، وسوف يجد القارئ الكريم حلولها في آخر الكتاب.

الخاتمة

لقد اكتملت هذه السلسلة بعد عمل مضني ومتواصل دام خمس سنوات في الإعداد والمراجعة، التقنية منها واللغوية، وأملني كل أمني أن تكون هذه السلسلة مفيدة للطالب والمترجم والمهندس والفني، وكافة الزملاء الذين يؤمنون بلغة الضاد ويعملون في حقل ودعم التعريب.

وما أذكر نفسي فأنا لا أعتبر، بل ولم يخطر على بالي، أن هذا الجهد الذي بين يديك فريد كامل وجب تبنيه جملة وتفصيلاً. بل إني أقف عبر كل سطر وكل كلمة من هذه السلسلة أنصت إلى كل نصيحة مخرصة تنبع من القلب إلى القلب، أو إلى أي نقد بناء من غيور على أمته يشعري بخطئي، أو إلى أي مراجعة تدعم أو تؤاخذ ما جاء في السلسلة إن صدري رحب لكل من يهمس في أذني بنصيحة أو عتاب أو مؤاخظة أو نقد بناء.

وختاماً أتقدم بالشكر الجزيل إلى كل الذين وقفوا وراء إنجاز هذا الجهد من قريب أو من بعيد، وإلى كل الذين لم ييخلوا علي بمساعدتهم العملية ومقترحاتهم المفيدة، وعلى سبيل المثال لا الحصر السادة الباحثين العاملين بالميدان : الدكتور محمد خضراوي، الدكتور عبد الحليم بن بلقاسم، الدكتور إبراهيم بوزوية، الأستاذ كريم لكحل، الأستاذ أحمد جمعي. ولا يفوتني أن

أتوجه بالشكر كذلك إلى عمال وأساتذة المعهد الوطني للكهرباء والإلكترونيات INELEC، جامعة بومرداس، وأخص منهم بالذكر الدكتور العربي رفوفي، الدكتور الحاج بوردوسن، الدكتور كمال مغريش، الدكتور زكي صاري، السيد يوسف بوستة، السيدة فريدة زيراري، السيدة أسيا بري. كما أنني إعجاباً وتقديراً أمام الأنسة وافية أوهاييه للصبر الجميل الذي تحلت به والمجهود الجبار الذي بذلته لتدفعني دوماً نحو إتمام هذا العمل. كما لا يفوتني وأنا أختتم كلمتي هذه، أن أقف وقفة إجلال وعرفان أمام شريكة أحلامي وطموحاتي السيدة نسيم العربية أوهاييه وأشيد بحماسها الفياض فهي لم تدخر أي جهد أو نصح لتوفر لي الجو المناسب للبحث والكتابة مساهمة منها في ترقية اللغة العربية، فشكراً وألف شكر. إلى كل هؤلاء أثني عليهم وأسأل الله لهم خير الجزاء.

وأخيراً أتوجه إلى كل العاملين بالميدان العلمي والمهتمين بالتعريب أن يقومونا إن أخطأنا وأن يوجهونا الوجهة الحق. أسأل الله أن يرزقنا الصديق والإخلاص في القول والعمل، وكما من إتمام هذا الكتاب أن يتم النعمة بقبوله وأن يجعله نافعا لعبده وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين.

ر.م. أوهاييه

عين طاية، في 20 يونيو 2000

الكهر ومغناطيسية

الكهر وسطاٲك + الكهر وسـينٲك + الكهر ومغناطيسية = الكهرباء،
فالكهر ومغناطيسية تعتبر أحد الفروع المعقدة للكهرباء العامة والتي تتناول الآثار
والنتائج المغناطيسية عند عبور التيار الكهربائي.

فالكهر ومغناطيسية هي القسم المخصص لدراسة الظواهر المغناطيسية
للتيار الكهربائي، كما تدرس كذلك قوى الجذب والنفر الناجمة عن حركة
الشحنات الكهربائية داخل النواقل.

المغناطيسية

المغناطيسية هي أول الظواهر الكهربائية التي اكتشفت ولكنها في نفس الوقت — وللأسف — آخرها التي فهمت. وكمثال على مفهوم المغناطيسية، إليك مثال الكرة الأرضية، فالأرض تحتوي على مغناطيسية استعملت منذ عدة قرون غابرة من قبل البحارة لمعرفة التوجه الصحيح.

1. الظواهر المغناطيسية

مثال بسيط : عند حك الشعر بقلم، فإن هذا الأخير يكتسب خاصية تجعله قابلا وقادرا على جذب قصاصات الورق، وهي قطع صغيرة من الورق. فماذا نستنتج ؟

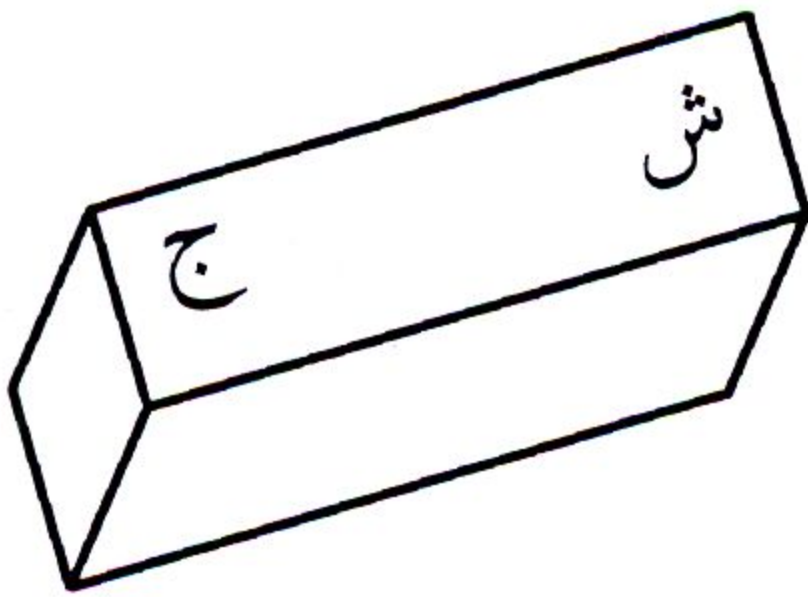
نقول أن هذا القلم اكتسب خاصية المغنطة وهي القابلية لجذب أجسام أخرى : إنها المغناطيسية. فالقلم أصبح مغناطيسا، ولو لحين.

تعرف المغناطيسية على أنها تلك الظواهر التي ترتبط بحركة الشحنات الكهربائية، فلا يمكن إطلاقا إدراك المغناطيسية مباشرة ولكن يمكن تسجيل

مفعولها وملاحظة تأثيرها على المحيط. فلقد رأينا فيما سلف أن الشحنات الكهربائية المتباعدة لها قابلية جذب أو نفر بعضها البعض دون وجود لمادة بينها غير المحيط الذي يعدل بفعل وجود هذه الشحنات.

يُعرف هذا المحيط المعدل باصطلاح «المجال الكهربائي». وبنفس المفهوم، فإن التيار الكهربائي هو الآخر مرتبط بمحيط الشحنات الكهربائية وله كذلك قابلية الجذب والنفر، إلا أنه في هذه الحالة يعدل هذا المحيط بفعل تحرك هذه الشحنات. ويعرف هذا المحيط المعدل باصطلاح «المجال المغناطيسي».

إن المواد، ونخص بالذكر التي تصنع من الحديد (النيكل أو الكوبلـط مثلا) تركز مفعولها المغناطيسي في أطرافها المتقابلة. تسمى هذه الأطراف



بالأقطاب (الشكل 1)، فكل مادة ذات مغناطيسية تحتوي على قطبين، القطب الشمالي والقطب الجنوبي. ومفهوم القطبين في

المغناطيسية يقابل مفهوم القطبين المتعاكسين، الموجب والسالب في الكهرباء.

ومن هذا المنطلق، نستطيع استنتاج نفس المفهوم السائد في الكهرباء : يوضع مغناطيس على مقربة من آخر، فهما يتجاذبان أو يتنافران. كيف ذلك ؟ القطبان المتماثلان يتنافران والقطبان المتعاكسان (قطب شمالي وآخر جنوبي) يتجاذبان.

2. المغناطيس الدائم

2.1. تعريف

يمكن للمغناطيس أن يجذب قطعاً من الحديد أو النيكل وكذلك مواداً ممغنطة أخرى، إذن لأجل هذه الجاذبية نقول أن المغناطيس يمارس مفعوله عن بعد، ومن ذلك فإن وجوده يعدل الوسط الذي يحيط به. يدعى هذا المحيط المعدل بالمجال المغناطيسي.

وإن كان لهذا المغناطيس قابلية الإبقاء على هذا المجال دون انقطاع، حتى ولو أستعمل مراراً وتكراراً، فإنه يلقب بالمغناطيس الدائم. من خلال هذه التسمية، يستنتج أن هناك نوع آخر من المغناطيسات... وهو كذلك، فالمغناطيسات تنقسم أساساً إلى قسمين : مغناطيس دائم وكهرومغناطيس، وفي الفصل 8 تفصيل لهذا الأخير.

إحدى أهم خاصيات المغناطيس الدائم أن مجاله المغناطيسي لا يتغير مع الزمن، بل هو ثابت لكل لحظة من الزمن. كما يمتاز أن مفعول مجاله المغناطيسي لا يحتاج إلى تيار خارجي، أي أن وجود هذا المجال قائم وعلمي دون الحاجة إلى منبع لطاقة خارجية.

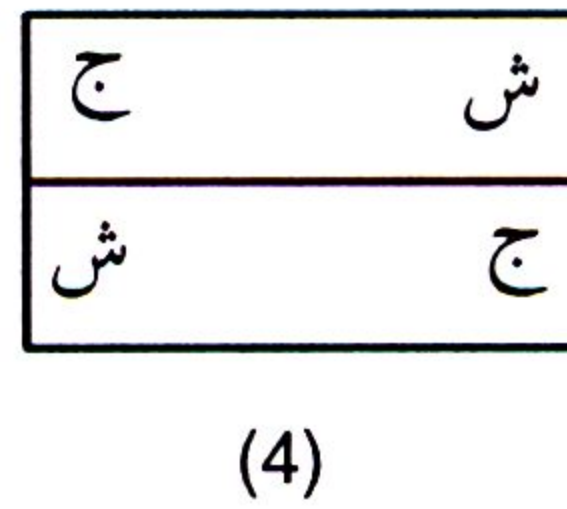
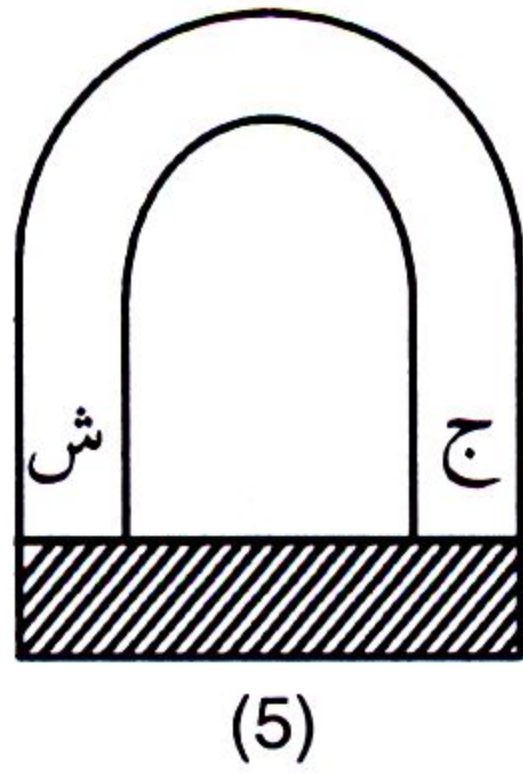
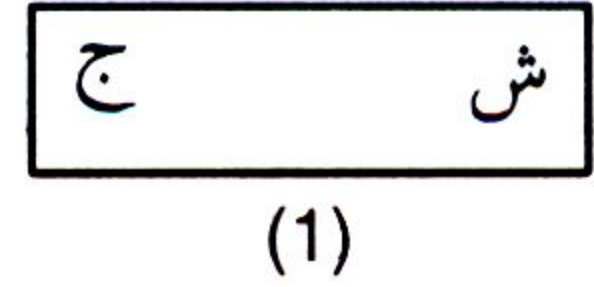
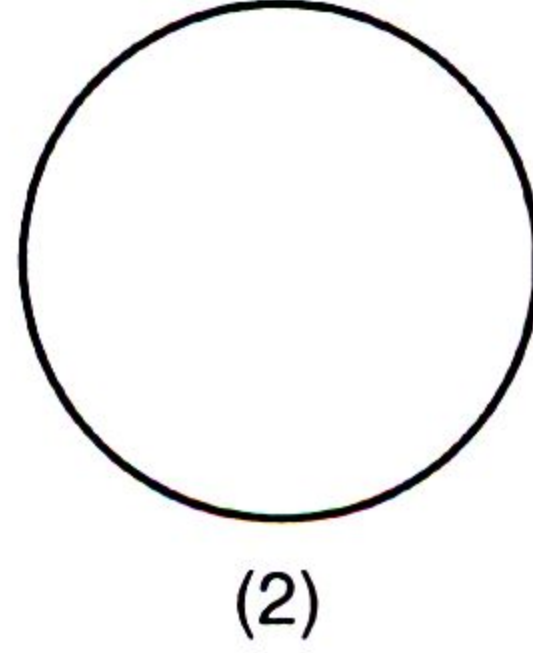
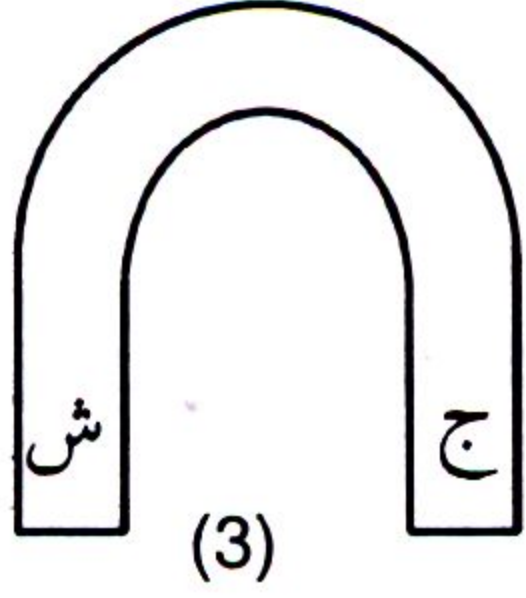
في الشكل 2 تمثيل أهم الأشكال المعطاة للمغناطيس الدائم :

- يمثل الشكل 2.1 مغناطيس دائم على شكل قضيب، ومن ذلك تسميته بالقضيب المغناطيسي.

- يمثل الشكل 2.2 مغناطيس قرصي.

- يمثل الشكل 3.2 مغناطيس دائري في شكل حدوة الحصان (مغناطيس

هلالى).



الشكل 2. مغناطيس دائري وكيفية حفظه

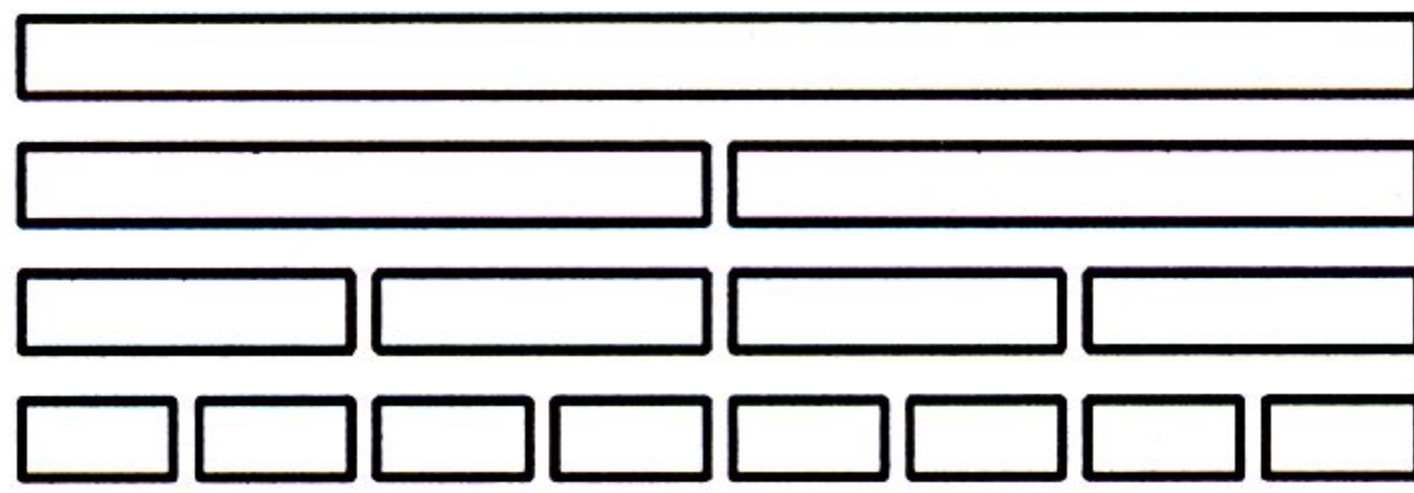
- في الشكل 4.2، وضع قضيبان مغناطيسيان في تماس مباشر حيث وصل كل قطبين متعاكسين معا. هذه طريقة لحفظ المغناطيس الدائم في المخازن لمدة قد تطول.

- في الشكل 5.2، طريقة ثانية لحفظ المغناطيس الدائم في شكل حدوة الحصان، حيث توضع صفيحة حديدية بين القطبين تدعى اللبوس. واللبوس، يصنع من الحديد الناعم ولمزيد من الفهم طالع الفصل 10.

2.2. خصائص المغناطيس

عند هذا المستوى من المعلومات، يتبادر لذهنك سؤال محير... يعتبر المغناطيس مولداً لمجال مغناطيسي نابع عن قطبيه المغناطيسيين المتعاكسين، فهو بذلك يقابل مفهوم البطارية التي تعتبر منبع المجال الكهربائي الناجم عن تحرك الشحنات الكهربائية بين القطبين، السالب والموجب. فهل يمكن أن نحصل على قطب مغناطيسي لوحده كما هو الحال بالنسبة للقطب الكهربائي عند دراسة "المجال الكهربائي"؟

لو تمكنت من كسر القضيب المغناطيسي للشكل 1 فإنك لا تحصل على قطب شمالي لوحده وآخر جنوبي، بل كل قطعة مكسورة تحتوي على قطب جنوبي وآخر شمالي. وإذا ما أعدت عملية الكسر عدة مرات فالنتيجة واحدة (الشكل 3) ... فكل قطعة مكسورة تحتوي على قطب شمالي وآخر جنوبي.



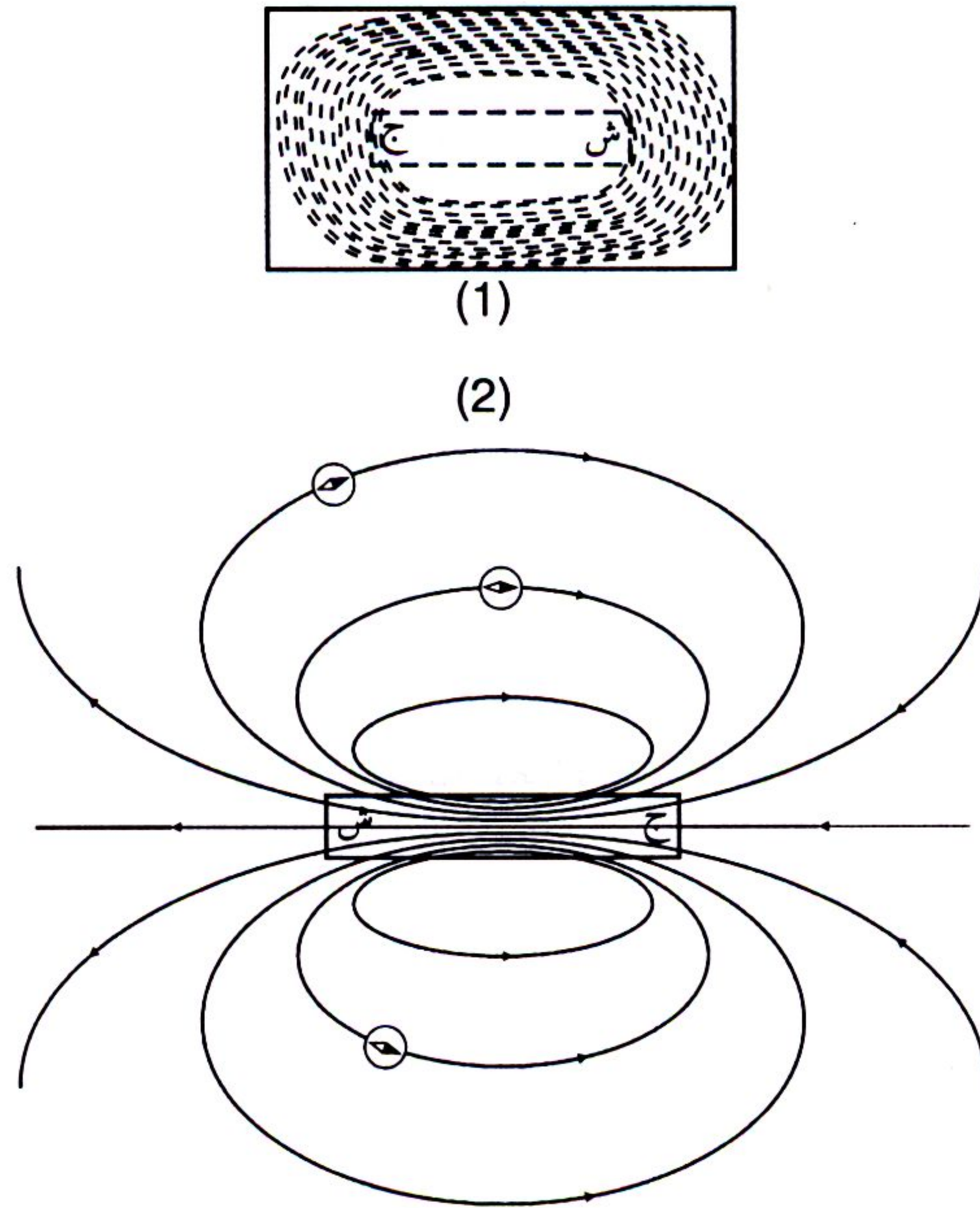
الشكل 3. تجربة المغناطيس المكسور

لو حاولت أن تطابق القطع المكسورة من جديد، فسوف تلاحظ اختفاء كل الأقطاب لتحصل في الأخير على المغناطيس الأصلي بقطبيه الشمالي والجنوبي... تلك خاصية تضاف للخصائص السابقة التي يتميز بها المغناطيس الدائم.

3. المجال المغناطيسي

1.3. تعريف

يجذب المغناطيس قطعة حديدية بفعل المحيط الجذاب الذي يحيط به. أطلق على هذا المحيط اسم المجال المغناطيسي. في حقيقة الأمر، المجال المغناطيسي لا يُرى بل يختفي عن الأنظار. لكن يمكننا مشاهدة الوجود الفعلي لقوته الجذابة، وهذا عندما نقوم بذر ورش ورقة ببرادة الحديد، وهي مسحوق دقيق على شكل حبات الرمل مصنوع من مادة الحديد، ثم نضع قضيبا مغناطيسيا تحت الورقة (الشكل 1.4)، فنلاحظ بعض الظواهر وهي :



الشكل 4. خطوط القوة لمجال مغناطيسي

- تجمع عدد كبير لحبات البرادة على مستوى طرفي القضيب المغناطيسي، مما يدل على أن المجال المغناطيسي ذا قيمة عظمى في القطبين.
- المجال موجود في كل الاتجاهات لكن يضعف كلما ابتعدنا عن القطبين، أي أنه في جوار القطب يسجل أكبر مفعول مغناطيسي.
- انتشار حبات البرادة على شكل خطوط شبه دائرية تحيط بالمغناطيس تعرف بخطوط المجال وهي عبارة عن منحنيات مغلقة تكون موجهة، إذ كل خط موجه خارج المغناطيس من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي.
- هناك عدد لا متناهي من خطوط القوة، وما تجسده البرادة هو البعض منها فقط، ورغم ذلك لن يمر من نقطة معينة في هذا المجال سوى خط قوة واحد ووحيد.

2.3. خطوط القوة المغناطيسية

- تلاحظ من خلال الشكل 4. 2، أن اتجاه الخطوط خارج المغناطيس تكون وكأنها مدفوعة من القطب الشمالي ومجذوبة نحو القطب الجنوبي، هذه الخطوط هي التي تميز مفهوم المجال المغناطيسي.
- فالمجال المغناطيسي ما هو إلا مجال خطوط القوة، وليس خطوط القوة ذاتها، إذ يستعان بخطوط القوة لتقريب مفهوم المجال المغناطيسي فقط، وتمثل هذه الخطوط مسار الإلكترونات داخل هذا المجال المغناطيسي.

إن خطوط القوة المغناطيسية لا تتأثر بالمواد غير المغناطيسية مثل الهواء، الورق، الخشب، والزجاج، إذ لا وجود لعازل يمنع عبور خطوط

القوة بل إنها تعبر كل الأجسام، إلا أنها تتمكن بسهولة عبور المعادن المغناطيسية أكثر من غيرها.

عند وضع المواد العازلة داخل مجال مغناطيسي لمغناطيس معين، فإن خطوط القوة لا تتغير تماما وكأن هذه المواد غير موجودة أصلا، بل إن المغناطيس يمارس مفعوله عبر مثل هذه المواد (الورقة) كما أكدته هذه التجربة السالفة.

أما عند وضع مادة قابلة للتمغنط كالحديد مثلا فإن خطوط القوة تتركز وتتكدس حول المادة القابلة للتمغنط، لتصبح هي بدورها مغناطيسا يجذب إليه كل المواد القابلة للتمغنط. لكن بعزلها عن المجال المغناطيسي، تفقد هذه المادة قابليتها للجذب : إنها خاصية المغناطيس المؤقت.

4. الفيض المغناطيسي

الفيض المغناطيسي هو تسمية ثانية لخطوط القوة المغناطيسية، فالفيض المغناطيسي هو مجموع خطوط القوة المغناطيسية المحيطة بالمغناطيس والتي تنطلق من القطب الشمالي لتجذب نحو القطب الجنوبي، ويطلق على وحدة الفيض المغناطيسي اصطلاح ويبار¹ حيث :

1. ويبار (Wilhelm Eduard WEBER : 1804-1890) فيزيائي ألماني أنصبت أبحاثه على المغناطيسية والكهرومغناطيسية، فعمل ضمن عدة فرق للبحث العلمي. ففي عام 1834، صمم برفقة مواطنه جاوس (GAUSS) أول تلغراف كهربائي. أما عام 1871، توصل إلى شرح ظاهرة التسامطة المغناطيسية والمجانبية المغناطيسية.

$$1 \text{ Weber} = 10^8 \text{ Lines}$$

$$1 \text{ وبيار} = 10^8 \text{ خط}$$

وتلاحظ أن وحدة وبيار كمية كبيرة جداً، لذلك يلجأ لاستعمال الوحدات الفرعية الصغرى :

$$1 \text{ ميلي وبيار} = 1 \text{ مبر} = 10^{-3} \text{ بر}$$

$$1 \text{ ميكرو وبيار} = 1 \mu\text{بر} = 10^{-6} \text{ بر}$$

ويرمز للفيض المغناطيسي بالحرف الإغريقي Φ (ويقرأ فاي) ووحدته العالمية وبيار، أي Φ [بر]. وعليه لا يكون مجال مغناطيسي أكبر من آخر إلا عندما تكون خطوط القوة أكثر وفيضه أكبر.

إن المجال المغناطيسي مختلف عن الأنظار، وما وجود خطوط الفيض ورسمها لتمثيل هذه الكمية إلا وليد الخيال، أي أنه لا وجود لهذه الخطوط في الواقع بل ترسم لتقريب المفاهيم فقط... وما وجودها إلا كوجود خطوط الطول والعرض على الخريطة الجغرافية، أي أن وجودها وهمي وخيالي، بل ترسم بغرض تبسيط وتوضيح المقصود من ذلك.

لو حاولت مقارنة الدارة الكهربائية بالدارة المغناطيسية، فحتماً سوف تنتبه إلى أن الفيض يكافئ التيار. فتدفق التيار عبر الدارة الكهربائية تعارضه مقاومة هذه الدارة... وكذلك الحال بالنسبة للدارة المغناطيسية، فإن تدفق الفيض سوف يلاقي معارضة عبر هذه الدارة تعرف باصطلاح الممانعة.

5. الحث المغناطيسي

الحث المغناطيسي، أو اختصاراً الحث ويدعى كذلك بكثافة الفيض المغناطيسي، وهو مدى توفر خطوط القوة المغناطيسية في مساحة معينة تكون وحدة مساحة مرجعية. إن خطوط القوة المغناطيسية مركزة ومكثفة في قطبي المغناطيس، أي أن كثافة الفيض المغناطيسي في جوار القطبين تكون أكبر منها في أي مساحة أخرى. ويزداد تركيز وكثافة خطوط القوة المغناطيسية في القطبين وضوحاً، كلما زاد طول القضيب المغناطيسي ببضع عشرات المرات مقارنة بعرض أو سمك القضيب.

يرمز للحث بالحرف الإغريقي β (ويقرأ بيتا) وأما وحدته فهي تسلا¹، وتختصر فتكتب β [تس]. وعبر ما تقدم من تعريف، فإن 1 تسلا تطابق 1 وبيار على المتر المربع الواحد من مساحة المقطع العرضي، والتي تكون عمودية بالنسبة لاتجاه الفيض.

ومنه نحصل على العلاقة التالية :

$$\beta = \frac{\Phi}{S}$$

$$\frac{\Phi}{\epsilon} = \beta$$

حيث :

– Φ هو فيض الخطوط ووحدته وبيار : Φ [بر]

1. تسلا (Nikola TESLA : 1857-1943) عالم أمريكي انصبّت أبحاثه على الكهرباء والمغناطيسية كما أنه درس الإشعاعية.

- ع هي المساحة التي يبحث داخلها عن الكثافة ووحدتها المتر المربع : ع [م²].

- β هي كثافة الفيض ووحدتها تسلا : β [تس].

وفي هذا المستوى، سؤال يطرح نفسه بإلحاح : ما الفرق بين الفيض وكثافة الفيض ؟

بساطة، الفيض هو تغطية كل المساحة الموجود فيها المغناطيس، في حين أن كثافة الفيض — وهي الحث المغناطيسي — مرتبطة بوحدة مساحة معينة تكون مرجعية.

مسائل

1. ما الفرق بين المغناطيسية والكهرباء ؟
2. ما المقصود باصطلاح «المغناطيس الدائم» ؟ بما يمتاز عن غيره ؟ اشرح.
3. أذكر قانون التجاذب والتنافر بين قطبين مغناطيسيين. قارنه مع مفعول شحنتين كهربائيتين.
4. اجتهد في ذكر خاصيات المغناطيس الدائم.
5. ما الفرق بين المواد قابلة التمغنط والمواد العازلة ؟ اشرح.
6. كيف تمتد خطوط القوة المغناطيسية بين القطبين المغناطيسيين ؟ اشرح.
7. ما تمثل خطوط القوة المغناطيسية ؟ كيف تنتشر حول المغناطيس ؟
8. ما المقصود باصطلاح الفيض ؟ ما يمثل في دائرة مغناطيسية ؟ اشرح.
9. ما الفرق بين الفيض وكثافة الفيض ؟
10. كيف يفصل القطب المغناطيسي الشمالي عن القطب المغناطيسي الجنوبي ؟ اشرح.
11. تعتبر الكرة الأرضية مغناطيسا مستقيما يحتوي على قطبين متعاكسين، إلا أن محوره ينحرف عن المحور الممتد بين الشمال الجغرافي والجنوب الجغرافي بزاوية معينة. ما هو قطب هذا المغناطيس المكافئ في جوار الشمال الجغرافي ؟
12. عند دراسة مغناطيس (أو وشيعة)، ما يشد الانتباه هو أن خطوط القوى المغناطيسية لا تتقاطع. لماذا ؟

13. قضيب من الصلب يعرض للكسر، فنحصل على قضيبين مغناطيسيين كل واحد منهما بقطبين متعاكسين، والتجربة متماثلة مهما كان عدد مرات الكسر. تخيل لو أننا تمكنا من الاستمرار في عملية الكسر، فإلى أي مغناطيس ابتدائي بسيط يمكننا الوصول إليه ؟

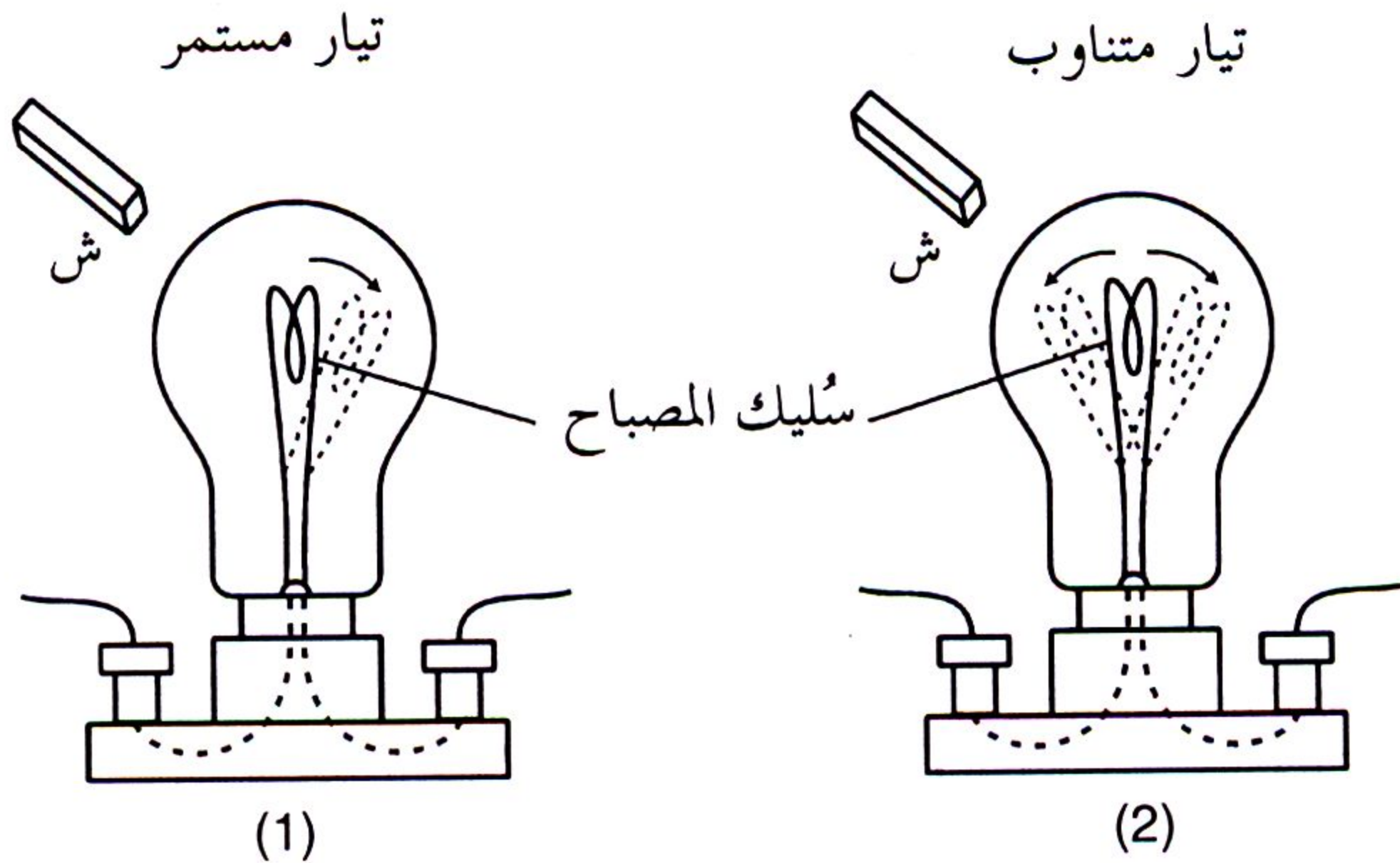
14. يصدر عن قطب مغناطيسي 5 000 خط قوة على مساحة 5 سم². كم هي قيمة الفيض ؟ استنبط كثافة الفيض.

15. تخضع مساحة قدرها 5 سم² لفيض عمودي عليها يضم 10 000 خط مغناطيسي. أحسب الحث المغناطيسي الناتج عن ذلك.

16. يصنع سليك المصباح من مادة الكربون : يضاء المصباح ويقرب منه مغناطيس دائم. اشرح :

1. ما يحدث لو كان التيار مستمرا (الشكل 5. 1).

2. ما يحدث لو كان التيار متناوبا (الشكل 5. 2).



الشكل 5. المسألة 16

المفعول المغناطيسي

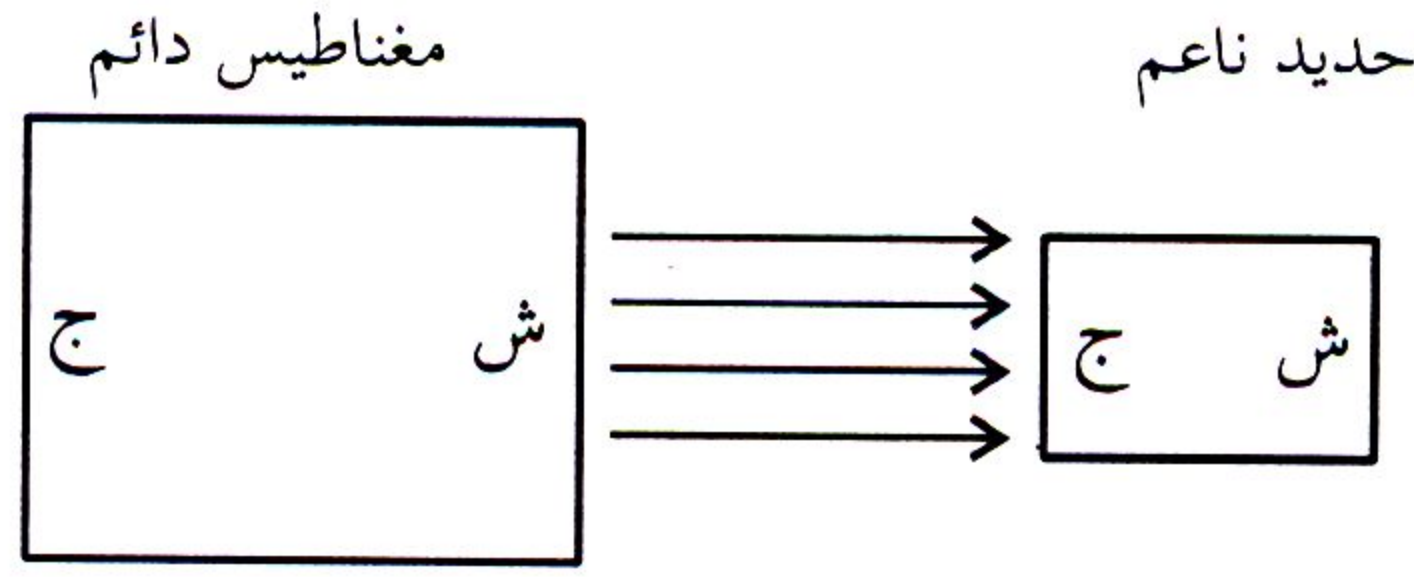
عندما يوضع المغناطيس داخل محيط معين، فإن هذا المحيط يعدل ليكتسب خاصية الجذب والنفر. ويشتد مفعول هذه الخاصية أو يضعف بحسب بنية هذا المغناطيس بالإضافة إلى تأثير تواجد مواد ناقلة أو عازلة داخل هذا المحيط.

1. الحث المغناطيسي

1.1. مفهوم الحث

من خلال الفصل السابق، لاحظت أن كثافة الفيض المغناطيسي سميت بالحث المغناطيسي. فما مدلول مصطلح الحث ؟

عندما يؤثر جسم على آخر تأثيرا كهربائيا دون أن يلمسه، يدعى هذا التأثير حثا. ولمزيد من التوضيح إليك هذا المثال : مغناطيس دائم بجوار قطعة حديدية يؤدي إلى حث هذا الحديد على أن يصبح هو الآخر — دون تلامس أو احتكاك — مغناطيسا (الشكل 1)، يجذب إليه المواد القابلة للتمغنط حيث يكون قطبا القطعة الحديدية معاكسين لقطبي المغناطيس الدائم.

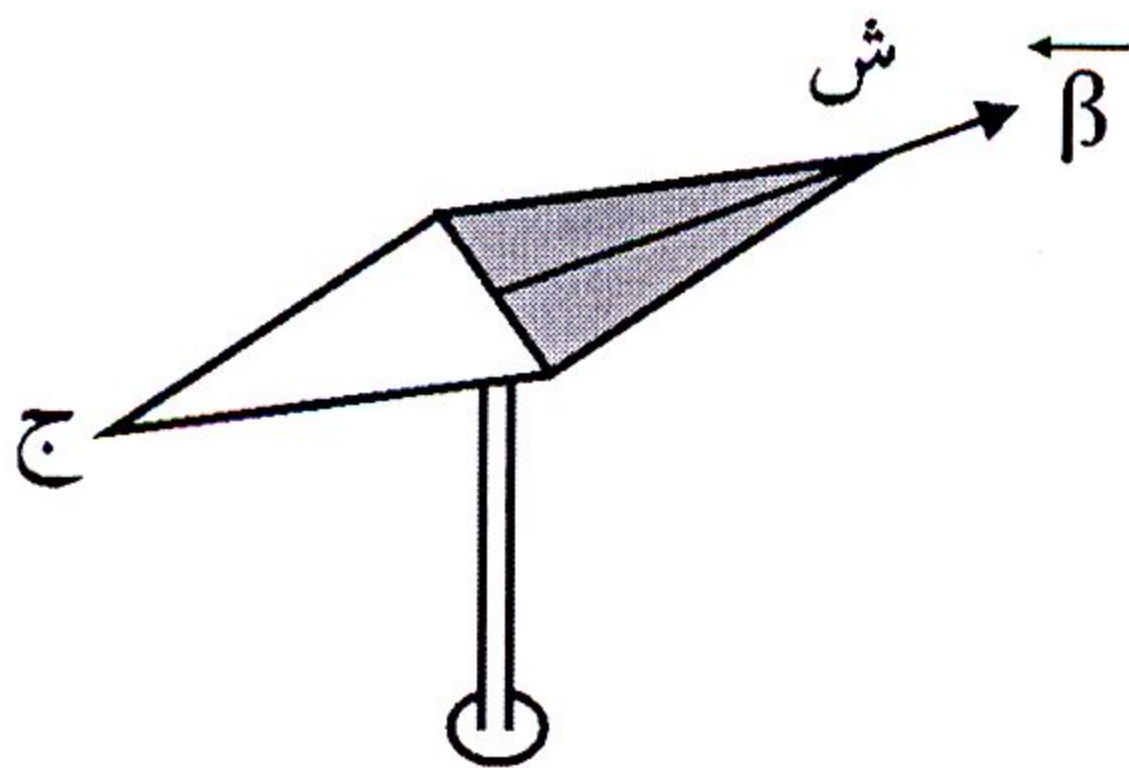


الشكل 1. تمغنط قضيب حديدي بالحث

بفضل الحث المغناطيسي، أصبحت هذه القطعة الحديدية القابلة للتمغنط مغناطيسا مؤقتا، إذ يابعد المغناطيس الدائم تزول مغنطة هذه القطعة الحديدية، ولو بعد حين. والآن، أسألك سؤالا آخر فأقول : لماذا هناك حث بين المغناطيس الدائم والقضيب الحديدي ؟

كلما وجدت مادة قابلة للتمغنط داخل الفيض المغناطيسي لمغناطيس دائم، إلا وأصبحت هذه المادة ممغنطة بفعل المجال المغناطيسي الذي يربط المغناطيسين (الشكل 1)، ومنه يؤثر كل واحد منهما على الآخر. فبوضع المادة القابلة للتمغنط، تتكثف خطوط الفيض للمغناطيس الدائم فتلتف حولها، لتصبح بفعل المجال المغناطيسي "المستلف" مغناطيسا مؤقتا.

2.1. اتجاه الحث



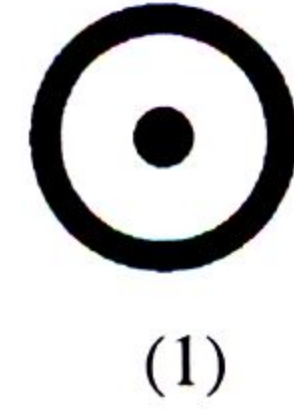
يمثل الحث في نقطة معينة بشعاع $\vec{B}$ اتجاهه يتبع إبرة ممغنطة (البوصلة مثلا)، مركزة في هذه النقطة (الشكل 2) وهو على محور يعبر قطبي هذه الإبرة يتجه من الجنوب نحو الشمال.

الشكل 2. اتجاه شعاع الحث المغناطيسي

عندما يكون شعاع الحث $\vec{B}$ متعامدا على المستوى المدروس أي مستوى الورقة، فإنه يمثل بدائرة والتي تشير إلى السهم $\vec{B}$. فإن كان متوجها نحو المشاهد ففي مركزه توضع نقطة (الشكل 3. 1) مشيرة إلى رأس السهم $\vec{B}$ ، ويوضع صليب إذا كان الشعاع متوجها في الاتجاه المعاكس (أي عمق الورقة) كما يوضحه الشكل 3. 2 ليشير إلى ذيل السهم $\vec{B}$.



(2)



(1)

الشكل 3. اتجاه شعاع الحث B بالنسبة لمستوى الورقة

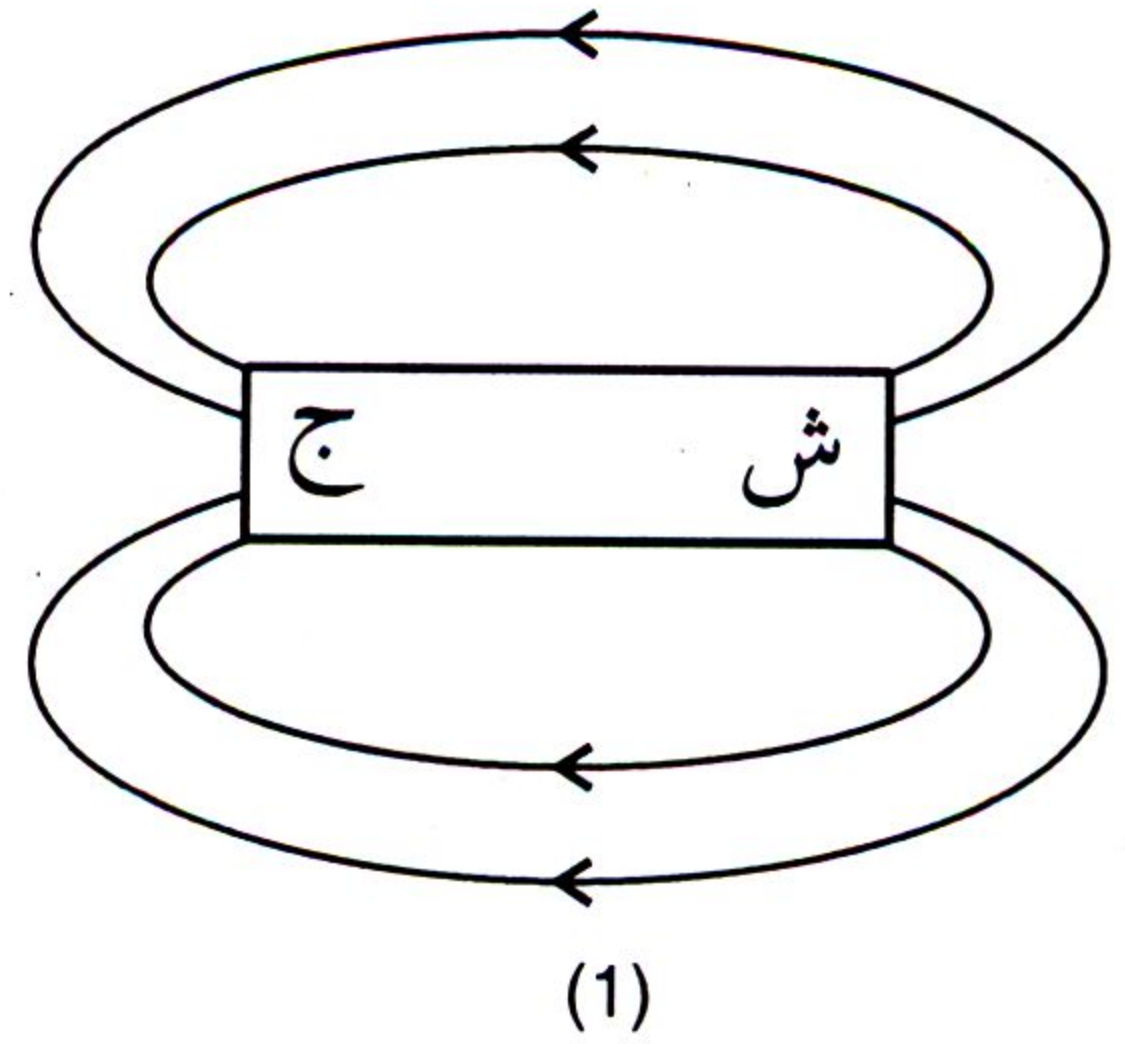
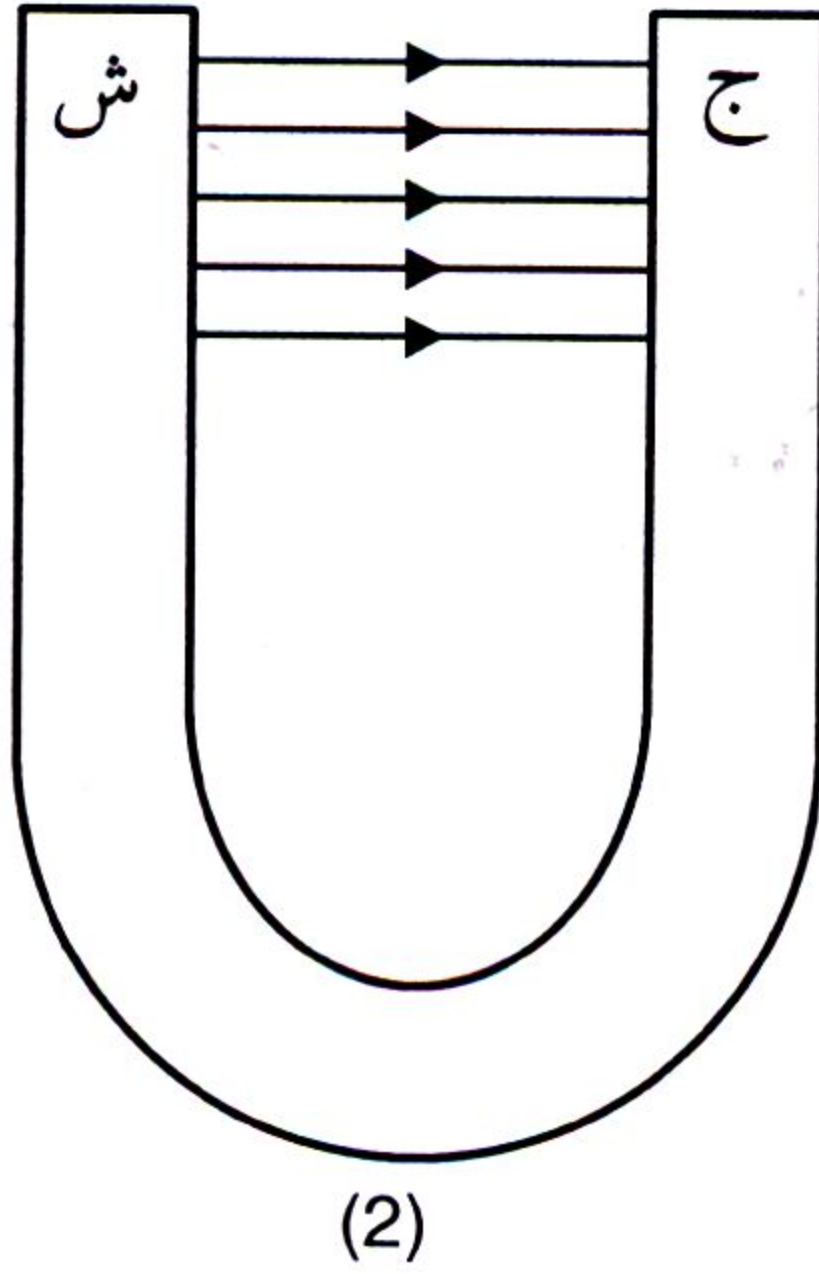
إن طويلة شعاع الحث $\vec{B}$ متناسبة طردا مع شدة الحث B في هذه النقطة، وعليه فمن نقطة معينة من المجال المدروس لن يمر سوى خط قوة واحد وواحد فقط، إذ لو تم مرور خطين اثنين عبر هذه النقطة فهذا يعني أن البوصلة سوف تشير إلى اتجاهين اثنين... وهو الأمر المخالف تماما لما أكدته التجارب السابقة. ومن ذلك فلا يمكن تقاطع خطين اثنين أبدا.

2. المحيط الوسطي للمغناطيس

1.2. فضاء الفولاذ لمغناطيس

فضاء الفولاذ، ويدعى كذلك الفجوة المعدنية، هو الفضاء المحصور بين قطبي المغناطيس كما يوضحه الشكل 4. ونلاحظ أنه كلما ضاق هذا الفضاء

كلما اشتدت قيمة المجال المغناطيسي، وتضعف هذه الشدة كلما ابتعد القطبان عن بعضهما (الشكل 4. 1).



الشكل 4. فضاء الفولاذ لمغناطيس دائم

ويحدث ذلك لأن الفضاء الموجود بين القطبين المغناطيسيين هو عبارة عن هواء، والهواء من خاصياته أنه عازل فلا يركز إذن خطوط المجال المغناطيسية، ومن ذلك تتفرق هذه الخطوط في هذا الفضاء كلما كان القطبان متباعدين ومن ثم تضعف شدة المجال.

أما في الشكل 4. 2، فإن القطبين متقاربين جداً مما يركز المجال المغناطيسي لمغناطيس حدوة الحصان، إذ تتكثف خطوط القوة المغناطيسية فتدعم بعضها البعض، مما ينشئ حثاً ذا شدة قصوى.

ومن هنا، نستنتج أن الهدف من فضاء الفولاذ للمغناطيس هو تركيز المجال المغناطيسي خارج المغناطيس، وبالضبط بين قطبيه للحصول على أقصى

شدة للحث... وفي الجزء الرابع (القياس الكهربائي)، تبين مفصل لتطبيقات فضاء الفولاذ المركز عند تصميم وصناعة أجهزة القياس.

2.2. المجال المغناطيسي المنتظم

إن خطوط القوة تتكثف حول قطبي المغناطيس، في حين تقلص الكثافة وبالتالي تقلص عدد خطوط القوة المغناطيسية كلما ابتعدنا عن القطبين، فنستنتج أن الحث β يتغير حسب الموقع الذي قيس فيه، فهو خاضع للمساحة التي يقاس فيها.

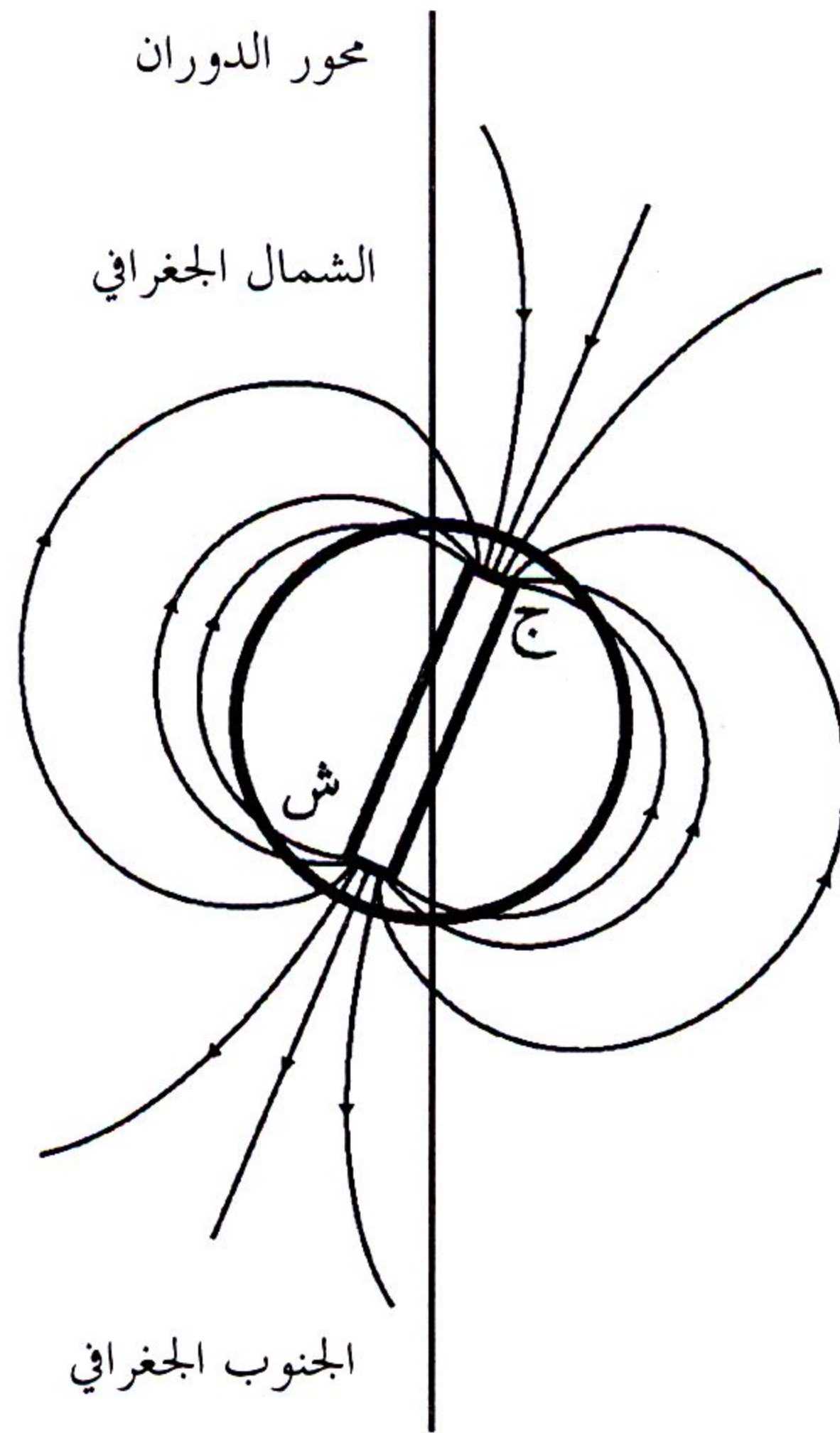
في محيط محدد، يكون المجال المغناطيسي منتظما عندما يكون شعاع الحث $\vec{\beta}$ متساويا في جميع نقاط هذا المحيط. بعبارة أخرى، يكون المجال المغناطيسي منتظما في مساحة معينة من الفضاء عندما تكون كل الأشعة $\vec{\beta}$ متساوية ومتوازية، أي أن خطوط القوة المغناطيسية لهذا المجال المدروس تكون مستقيمات متوازية.

والعكس صحيح، فعندما تكون خطوط القوة المغناطيسية مستقيمات متوازية فإن الحث المغناطيسي β متساوي في كل نقاط الفضاء، وعليه يكون المجال المغناطيسي متماثلا في كل نقطة، أي موحدًا ومنتظما.

وكمثال على ما تقدم، يدرس المجال السائد بين قطبي مغناطيس حدود الحصان الممثل في الشكل 4. 2، فالحث β يكون متساويا في جميع النقاط المحصورة داخل فضاء الفولاذ لحدوة الحصان. ويحصل ذلك نتيجة إلى أن خطوط القوة داخل هذا الفضاء عبارة عن مستقيمات متماثلة ومتوازية.

3.2. المجال المغناطيسي للأرض

عندما يعلق مغناطيس — والذي يمكنه الدوران بحرية — فإنه يشير إلى الاتجاه شمال جنوب، مما يدل على أن الكرة الأرضية يحيطها مجال مغناطيسي هائل، ومن ثم فإن الكرة الأرضية تتصرف وكأنها مغناطيس ضخم جدا، تمتاز بأن القطبين الجغرافيين — المعروفان بمحور الدوران للأرض — لا يطابقان القطبين المغناطيسيين (الشكل 5). كيف ذلك ؟



الشكل 5. المجال المغناطيسي للأرض

يستعان بالبوصلية للدلالة على القطب الشمالي الجغرافي، وذلك لتسهيل تحركات المسافرين والعسكريين على حد سواء، وحين تشير البوصلية لذلك،

تسجل انحرافا محددًا بالنسبة لمحور دوران الأرض مما يدل دلالة قاطعة على أن القطبين المغناطيسيين لا يطابقان القطبين الجغرافيين. فما هو القطب المغناطيسي المجاور للشمال الجغرافي ؟

باعتبار أن البوصلة مغناطيس، فهي تحتوي على قطبين مغناطيسيين ولتمييزهما يصبغ القطب الشمالي الذي يشير دوماً إلى القطب الشمالي الجغرافي. وبما أن قطبين متعاكسين يتجاذبان، فحين يشير شمال البوصلة إلى الشمال الجغرافي يكون قد جذب نحو القطب الجنوبي المغناطيسي... ومن ذلك نستنتج أن الشمال الجغرافي يجاوره القطب الجنوبي المغناطيسي. من خلال الشكل 5، يظهر جلياً أنه في جوار الخط الإستوائي، يكون المجال المغناطيسي موازياً لمساحة الكرة الأرضية، وأما في جوار القطبين الجغرافيين فإن المجال المغناطيسي عمودي على الأرض.

3. العزم المغناطيسي

1.3. تعريف

في مجال مغناطيسي منتظم، كأن يكون داخل وشيعة يعبرها تيار كهربائي أو في فضاء الفولاذ لمغناطيس حدوة الحصان، حيث كل نقطة منه تمتاز بنفس الحث β ، يوضع داخل فضاءه قضيب مغناطيسي.

يقع هذا الأخير تحت تأثير العزم عـز (الشكل 1.6)، أي أن قطبي المغناطيس يخضعان لقوتين هما :

$$F_A = + m \vec{\beta}$$

$$F_B = - m \vec{\beta}$$

ق_أ = + ك $\vec{\beta}$ للقطب الشمالي

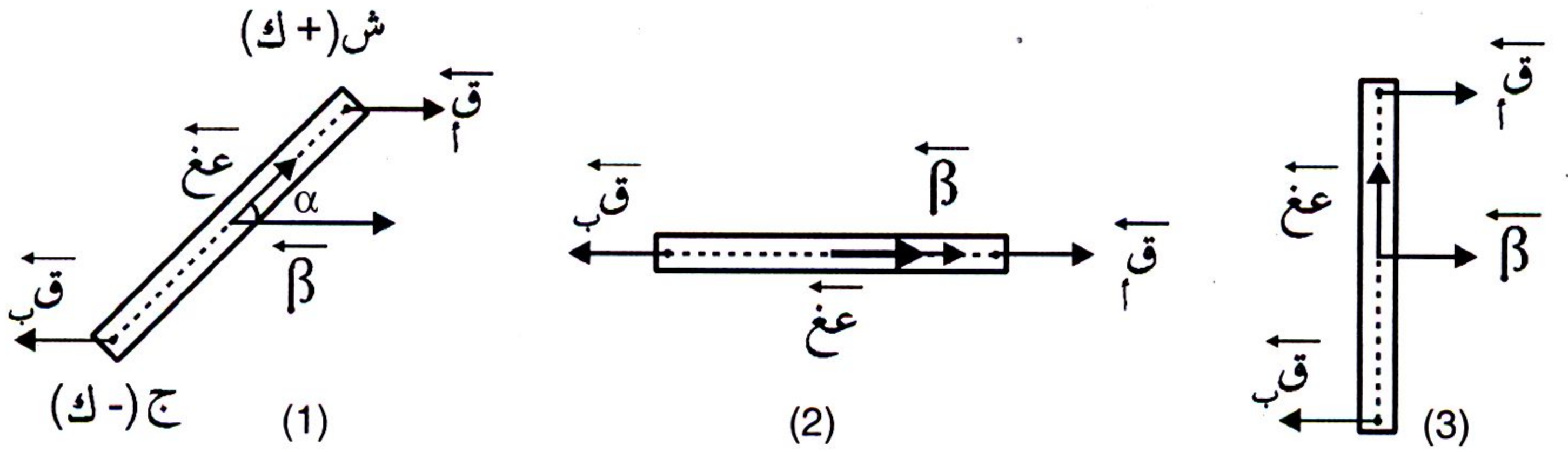
ق_ب = - ك $\vec{\beta}$ للقطب الجنوبي

حيث :

- ق_أ هي القوة المؤثرة في النقطة أ

- ق_ب هي القوة المؤثرة في النقطة ب

- ك هي معامل النسبية ويدعى الكتلة المغناطيسية.



الشكل 6. تفاعل قضيب مغناطيسي داخل مجال مغناطيسي منتظم

فالقوتان بنفس الشدة لكن في اتجاهين متعاكسين، فلو كان ل هو المسافة

الفاصلة بين نقطتي تطبيقهما، فإن العزم عز يكتب وفق المعادلة التالية :

$$M = m \cdot \beta \cdot l \cdot \sin \alpha$$

$$\text{عز} = ك \cdot \beta \cdot ل \cdot \sin \alpha$$

$$M = (m \cdot l) \cdot \beta \sin \alpha$$

$$\text{عز} = (ك \cdot ل) \cdot \beta \cdot \sin \alpha$$

حيث :

- عز هو عزم يتولد عن وجود القوتين ق_أ وق_ب.

- β هو المجال المغناطيسي المنتظم المحيط بالقضيب المغناطيسي.

- ل هو طول القضيب المغناطيسي.

- α هي الزاوية المحصورة بين محور القضيب المغناطيسي وخطوط الحث المنتظمة.

يمكن إعادة صياغة العبارة السابقة بإدخال كمية شعاعية تدعى العزم المغناطيسي، والذي يرمز إلى معامل خاصية القضيب المغناطيسي.

2.3. التفاعل المغناطيسي

يمثل العزم المغناطيسي بواسطة الشعاع $\vec{m}$ ، حيث تكتب طويلته وفق الصيغة التالية :

$$\vec{m} = m \cdot \vec{l}$$

$$\vec{m} = k \cdot \vec{l}$$

واتجاه شعاع العزم المغناطيسي هو من القطب الجنوبي نحو القطب الشمالي (الشكل 6. 1). ومن ذلك فإن العزم المطبق على القضيب المغناطيسي يستخرج بواسطة العلاقة التالية :

$$M = \vec{m} \cdot \beta \sin \alpha$$

$$\text{عز} = \vec{m} \cdot \beta \cdot \sin \alpha$$

حيث عز هو العزم المغناطيسي للقضيب المغناطيسي، وهو لا يعرف بوحدة عالمية خاصة، ومن ذلك استخرجت له من المعادلة السابقة الوحدة العالمية "متر في نيوتن على تسلا"، أي عز [م.تن/تس]، إلا أنه تفضل الوحدة "أمبير متر مربع" أي عز [آ.م²].

تحت تأثير هذا العزم، يدور القضيب المغناطيسي حول محوره (بطبيعة الحال يشترط ألا يعارض العزم أي شيء) إلى أن تُعَدَم الزاوية α ، بمعنى إلى أن يصبح الشعاعان $\vec{B}$ و $\vec{CG}$ متطابقان وفي نفس الاتجاه (الشكل 6. 2)، فينعدم العزم عز. أما إذا كانت الزاوية $\alpha = 90^\circ$ (القضيب عموديا على المحور الأفقي) فإن جب $\alpha = 1$ ، ومنه عز = عغ . β ، وهي القيمة القصوى التي يمكن تسجيلها (الشكل 6. 3).

تلاحظ جيدا — من خلال العبارة السابقة — أن العزم المغناطيسي لمغناطيس معين، يسمح بتمييز هذا الأخير دون الحاجة لمعرفة الكتلة المغناطيسية لكل قطب مغناطيسي أو المسافة الفاصلة بينهما. بل إن العزم المغناطيسي عغ يرتبط خاصة بحجم المغناطيس المدروس، أي شكله الهندسي.

3.3. المغنطة

يمكن الحكم على مواد قابلة للتمغنط داخل نفس المجال المغناطيسي وذلك بقولنا مادة أكثر مغنطة من أخرى، إذن فالمقارنة ممكنة بواسطة هذه الكمية المغناطيسية : المغنطة.

تمثل هذه الكمية حاصل قسمة العزم المغناطيسي على حجم المغناطيس المدروس، ورياضيا هي وفق المعادلة التالية :

$$\vec{J} = \frac{\vec{M}}{V}$$

$$\vec{J} = \frac{\vec{CG}}{C}$$

المغنطة أو شدة المغنطة $\overleftarrow{\text{شغ}}$ في نقطة معينة هي العزم المغناطيسي لوحدة حجم مرجعية، ووحدتها أمبير على متر، أي $\overleftarrow{\text{شغ}} [A/m]$.

ترتبط المغنطة بكل جزء من المغناطيس... والمثال السابق يبين أن المغنطة منتظمة مما يجعل العزم المغناطيسي لكل قطعة صغيرة في نفس الاتجاه ومتناسبا مع حجم هذه القطع الصغيرة، ويكون مجموع عزوم كل هذه القطع هو العزم المغناطيسي الكلي المعروف آنفا.

4. مقارنة بين المجال المغناطيسي والمجال الكهربائي

في الوهلة الأولى، يتبادر لذهنك ذلك العنصر المشترك بينهما وهو المجال... ذلك الفضاء المشحون الذي يحيط بمصدره : الشحنة الكهربائية أو القطب المغناطيسي.

يشترك المجالان في أن التجاذب يتم بين قطبيتين متعاكستين، والتنافر يحدث بين قطبيتين متماثلتين. ومن ذلك تمتد خطوط القوة وتتصل بين قطبيتين متعاكستين، والتي تمثل مسار الإلكترونات داخل المجال.

إن عملية التجاذب أو التنافر تخضع للقوة المغنومحركة في حالة المجال المغناطيسي، وإلى القوة الكهرومحركة في حالة المجال الكهربائي.

عادة يرتبط المجال المغناطيسي بحركة الشحنات الكهربائية أو التيار الكهربائي، في حين يرتبط المجال الكهربائي بفرق الكمون المتأمل بين الشحنتين. أما فيما يخص كيفية تركيز المجال المغناطيسي وبالتالي تركيز

خطوط القوة المغناطيسية، فتوضع مادة قابلة للتمغنط كالحديد مثلاً داخل المجال المغناطيسي، أو أن يلف سلك ناقل معزول حول أسطوانة توضع بداخلها نواة حديدية.

وأما بالنسبة لكيفية تركيز المجال الكهربائي، فبين الشحنتين - لبوسبي مكثفة مثلاً - يوضع عازل كهربائي يتم بواسطة تضخيم سعة المكثفة لينتج عن ذلك تكثيف وتركيز المجال الكهربائي.

يمتاز المجال المغناطيسي أنه يولد ويحث جهداً بتغيرات الفيض، الشيء الذي يسمح بتطبيقات شاسعة وكثيرة : حث تيار، حث جهد أو حث فيض. كما يمكن مقارنة الدارة الكهربائية بالدارة المغناطيسية، لنستخلص الكميات المكافئة الموضحة في الجدول 1.

المجال المغناطيسي		المجال الكهربائي	
Φ	الفيض Φ	I	التيار ش
F	القوة المغنوحركة ق	V	الجهد (القوة الكهرومحرركة) ف
R	الممانعة مع	R	المقاومة م
β	كثافة الفيض β	J	كثافة التيار فش
H	شدة المجال غ	E	شدة المجال ح

الجدول 1. التكافؤ الكهرومغناطيسي

تمرين

يمتاز مغناطيس دائم، مساحة المقطع العرضي لقطبه تعادل 15,4 سم²، بفيض إجمالي يعادل 2000 μ بر، أحسب كثافة فيض هذا المغناطيس.

الجواب

تحويلاً إلى الوحدة العالمية لقياس المساحة، فإن المقطع العرضي للقطب الواحد $10 \times 15,4 \text{ م}^2$. باعتبار أن الفيض هو وفق المعادلة الشهيرة :

$$\Phi = \beta \cdot s$$

$$\Phi = \beta \cdot \text{ع}$$

فإن استخراج كثافة الفيض يكون كالتالي :

$$\beta = \frac{10 \times 2000}{10 \times 15,4} = 1,3 \text{ تسلا. ومن ذلك فإن } \beta = 1,3 \text{ تسلا.}$$

مسائل

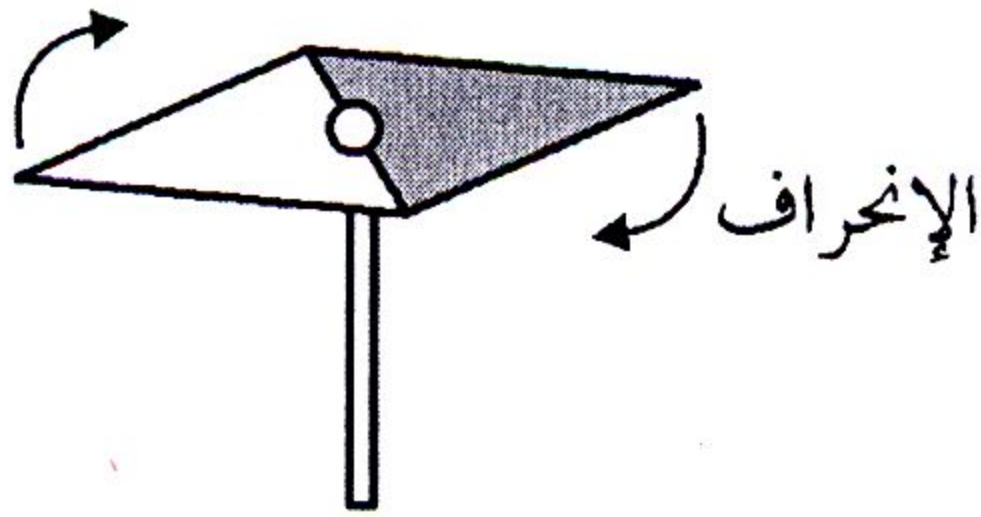
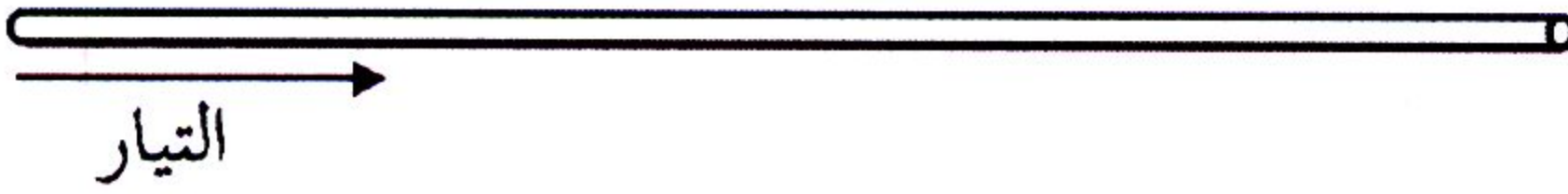
1. إلى ما يرمز اصطلاح الحث المغناطيسي ؟
2. أي نوع من المواد تتفاعل بالمجال المغناطيسي ؟ اشرح.
3. كيف يتم تحديد اتجاه شعاع الحث ؟
4. على أي مستوى من المغناطيس يشتد ويضعف الحث ؟ لماذا ؟

5. عرف المجال المنتظم. هات أمثلة من الكهرباء والمغناطيسية.
6. لم تزداد شدة المجال المغناطيسي عند وجود فضاء الفولاذ؟ اشرح.
7. ما الفرق بين القطب المغناطيسي والقطب الجغرافي؟ أذكر كيفية تقابلها وتفاعلهما.
8. بما يعرف العزم المغناطيسي؟ إلى ما يرمز؟
9. عرف المغنطة وأذكر أهميتها في تحديد مجال مغناطيسي معين.
10. ما وجه الخلاف والتشابه بين المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي؟
11. يحتوي مغناطيس دائم على مساحة القطب قدرها 6,5 سم²، ومجموع فيضيه هو 500 μ وبيار. أحسب كثافة الفيض.
12. ليكن فيض قدره 400 μ بر عبر مساحة تعادل 0,0005 م². ابحث عن كثافة الفيض.
13. يمتاز قطب مغناطيسي، مقطع عرضه 8 سم²، بكثافة فيض تعادل 0,3 تسلا. ابحث عن الفيض الإجمالي.
14. يحتوي مغناطيس دائم، يمتاز بقطب دائري قطره 6,4 سم، على كثافة فيض إجمالية تعادل 0,62 تسلا. أحسب الفيض الكلي للمغناطيس.
15. مغناطيس أسطواني، قطره 7,2 سم، تقاس كثافة فيضيه عند 13,41 x 10² خط/سم². أحسب الفيض الإجمالي لهذا المغناطيس.

مفعول التيار

في سنة 1819، لاحظ العالم الدانماركي أرسند أنه عندما يمر تيار كهربائي عبر سلك ناقل فسينتج عنه انحراف إبرة البوصلة، مما يشير إلى علاقة وطيدة تربط الكهرباء بالمغناطيسية، فظهر علم الكهرومغناطيسية.

1. تجربة أرسند



الشكل 1. تجربة أرسند

من المعلوم أن البوصلة تشير في الحين إلى شمال الكرة الأرضية، بحيث يستعان بها لمعرفة التوجه الجغرافي الصحيح. وهذه التجربة تختصر في مد سلك ناقل أفقياً فوق هذه

البوصلة (الشكل 1)، والتي تبقى دوماً تشير إلى الشمال الجغرافي للأرض.

فإذا حدث وأن قذف بتيار عبر هذا السلك الناقل، فإن البوصلة تتفاعل لعبوره بحكم الجوار، ومن ثم تنحرف بزاوية معينة وتستقر على وضعية جديدة تختلف عن الأولى. وبمجرد قطع التيار الكهربائي، تستعيد البوصلة وضعيتها الابتدائية. وأما عندما يقذف بتيار في الاتجاه المعاكس للأول، فإن البوصلة تنحرف في الاتجاه المعاكس الذي لوحظ أول التجربة.

يظهر جليا من خلال تجربة أرسند¹ أن مرور تيار عبر دائرة كهربائية يتسبب في تعديل خصائص الفضاء المحيط بالدائرة. والبوصلة تتفاعل مع هذه التعديلات، فتقع تحت تأثير قوى ترغمها على الدوران. واتجاه هذه القوى مرتبط باتجاه التيار العابر للدائرة.

عندما أقدم الفيزيائي أرسند¹ على وضع مبادئ هذه التجربة، قام بسن فرضية هامة وهي أن يتفادى تكوين زاوية قائمة (90°) بين السلك الناقل ومحور البوصلة. فما الدافع إلى وضع هذه الفرضية؟

إن الحث المغناطيسي المتولد عن مرور التيار عبر السلك، هو عمودي على هذا السلك... ومن المعلوم أن البوصلة تصطف في اتجاه الحث المغناطيسي. فإن كانت البوصلة من البداية عمودية على السلك، فإن اتجاهها لا يعدل ولا يسجل أي انحراف.

1. أرسند (Hans Christian OERSTED : 1777-1851) فيزيائي دانماركي توصل إلى صنع أول بطارية كهروحرارية، كما كان وراء اكتشاف علاقة الكهرباء بالمغناطيسية، فظهر علم الكهرومغناطيسية.

والآن جاء دوري لطرح سؤال عليك... قد فرضنا أن الحث عمودي على السلك، فما الذي سمح بهذه الفرضية؟ كيف يتم تحديد اتجاهه بالضبط؟

2. تحديد اتجاه الحث

يقول الله تعالى في الآية 49 من سورة الذاريات: "ومن كل شيء خلقنا زوجين لعلكم تذكرون". فسنة الله تعالى في هذا الكون الفسيح تركز على استمرارية وجود الزوجين، فقد خلق المولى عز وجل الذكر والأنثى، الحق والباطل، الخير والشر، العلم والجهل، الليل والنهار، النور والظلام، الجنة والنار... ومن خلقه كذلك سبحانه وتعالى الكهرباء السالبة والكهرباء الموجبة، القطب المغناطيسي الشمالي والقطب المغناطيسي الجنوبي.

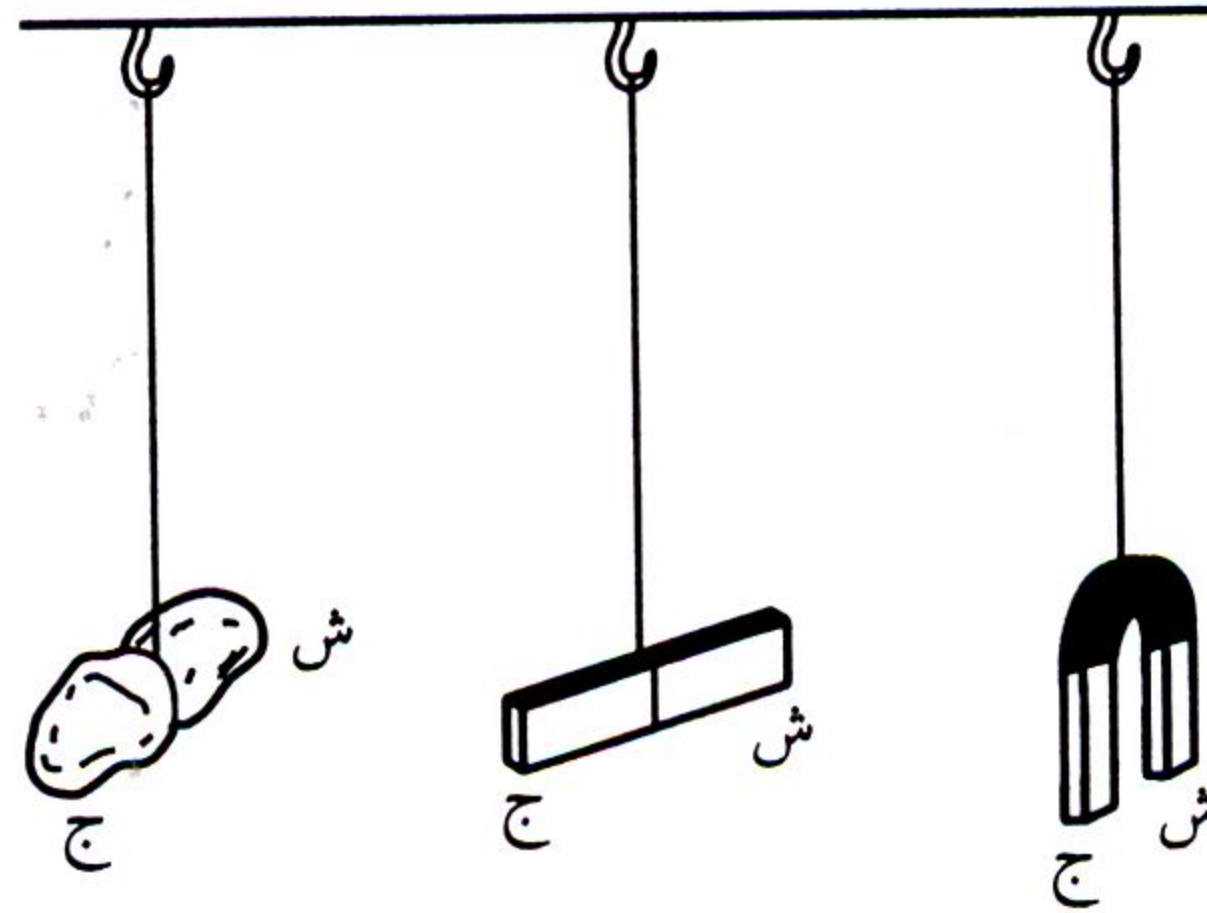
فقد رأينا أن الكهرباء تحتوي على شحنتين، موجبة وسالبة، والتعرف عليهما سهل قد تم بحمد الله. وأما في حالة المغناطيسية فهناك قطبان متعاكسان، شمالي وجنوبي، فيا ترى كيف يتم معرفتهما؟ كيف يحدد اتجاه شعاع الحث $\vec{B}$ ؟

1.2. قطبا المغناطيس

لو علق قضيب مغناطيسي بخيط في الهواء، فسوف تلاحظ أن أحد طرفي المغناطيس يتجه دوماً إلى نفس الاتجاه (الشكل 2)، ولو حاولنا استدارته فإنك تلاحظ أنه يعود دائماً — ولو بعد حين — لنفس الاتجاه بنفس الطرف الأول. ومنه نبرهن على فرضية أن المغناطيس يحتوي على طرفين مختلفين سميا بالقطبين:

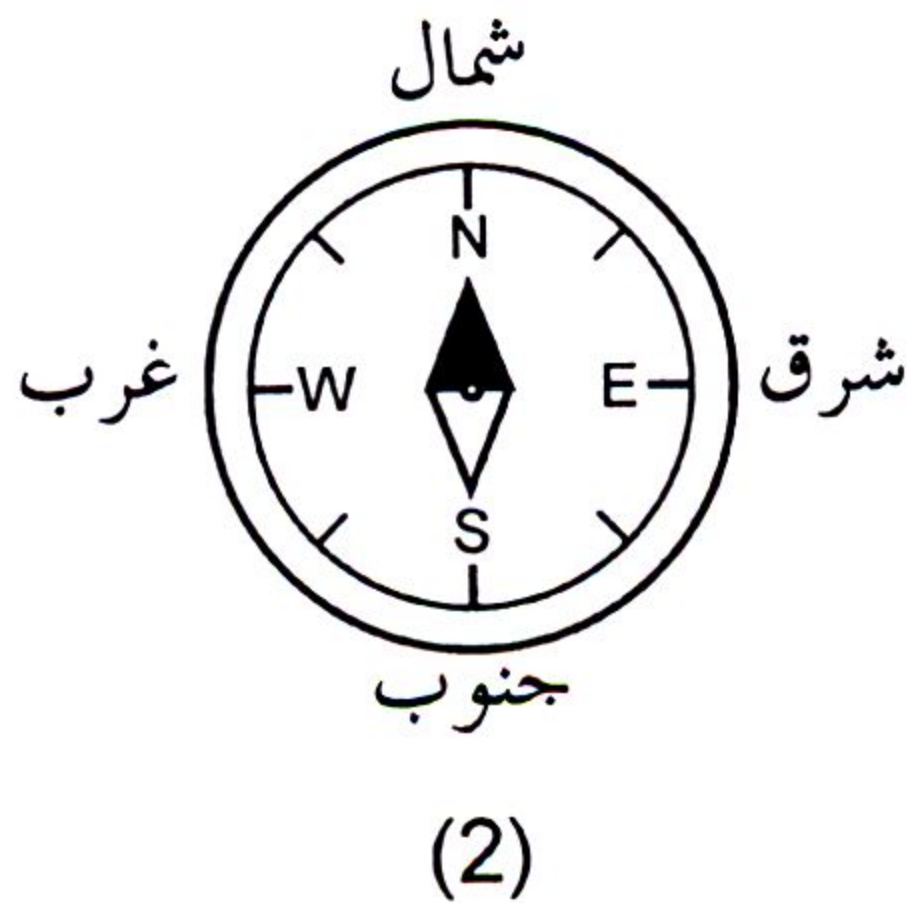
- القطب الشمالي المغناطيسي يتجه دوما نحو الشمال الجغرافي.

- القطب الجنوبي المغناطيسي، يتجه نحو الجنوب الجغرافي.

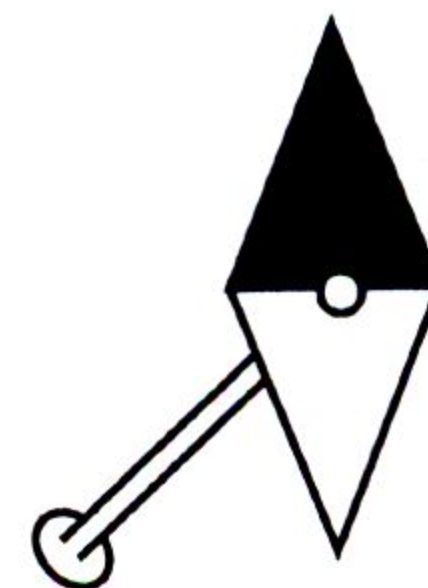


الشكل 2. تجربة تعليق المغناطيس الدائم

إلا أنه بالنظر للثقل المفرط لوزن المغناطيس، يفضل استعمال إبرة ممغنطة تدور حول محور عمودي (الشكل 3. 1). انطلاقاً من هذا المبدأ، ولكي يسهل على المسافرين معرفة الاتجاهات الجغرافية الأربع (الشمال، الجنوب، الشرق والغرب) وخاصة في الليل، صنعت البوصلة (الشكل 3. 2). ومبدأ اشتغالها بسيط بحيث يطلّى القطب الشمالي للبوصلة بالأسود، ليسهل معرفة الشمال الجغرافي على البحارة والعسكريين أثناء تحركاتهم.



(2)



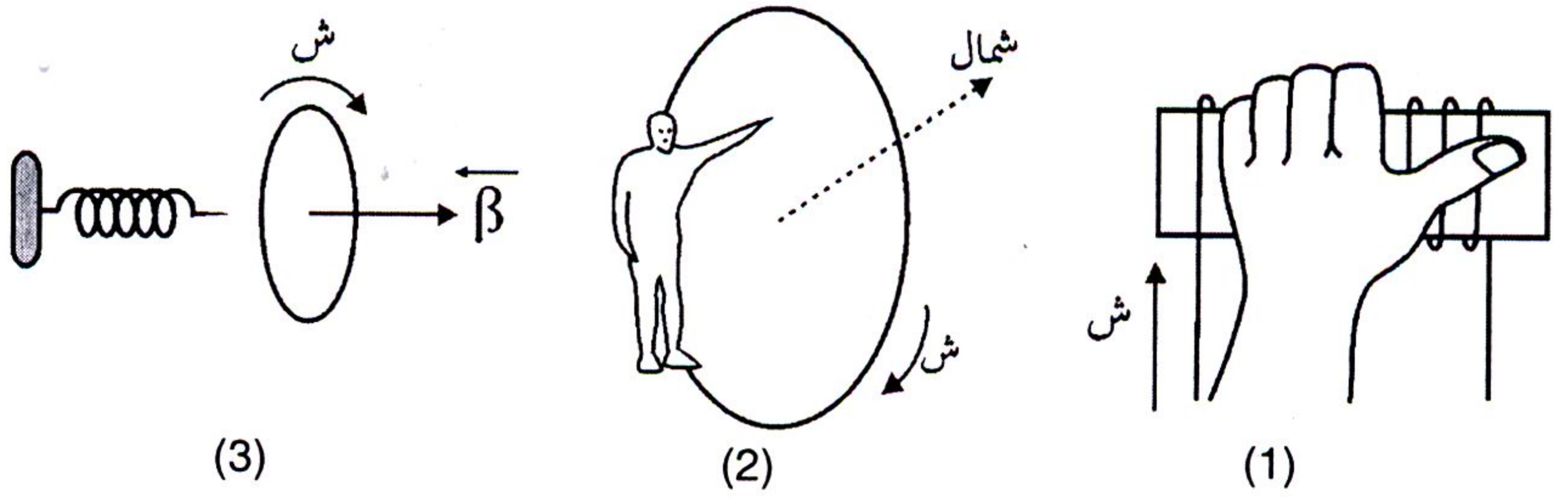
(1)

الشكل 3. البوصلة

2.2. قطبا الوشيعة

لكي تحدد القطبية المغناطيسية للوشيعة، ما عليك إلا أن تقوم بما يلي :

1. تقبض على الوشيعة باليد اليسرى وتغلق أصابعك في اتجاه الإلكترونات، والإبهام سوف يشير إلى القطب الشمالي (الشكل 4. 1).



الشكل 4. تحديد القطبية المغناطيسية واتجاه شعاع الحث $\vec{B}$

2. يقف المشاهد، وغالبا ما يدعى مشاهد أمبير، داخل الوشيعة (ذهنيا فقط) متجها نحو مركز الوشيعة بحيث أن التيار يدخل من قدميه ويخرج من رأسه. وبهذا يكون القطب الشمالي على يساره (الشكل 4. 2)، وهو اتجاه الحث $\vec{B}$.

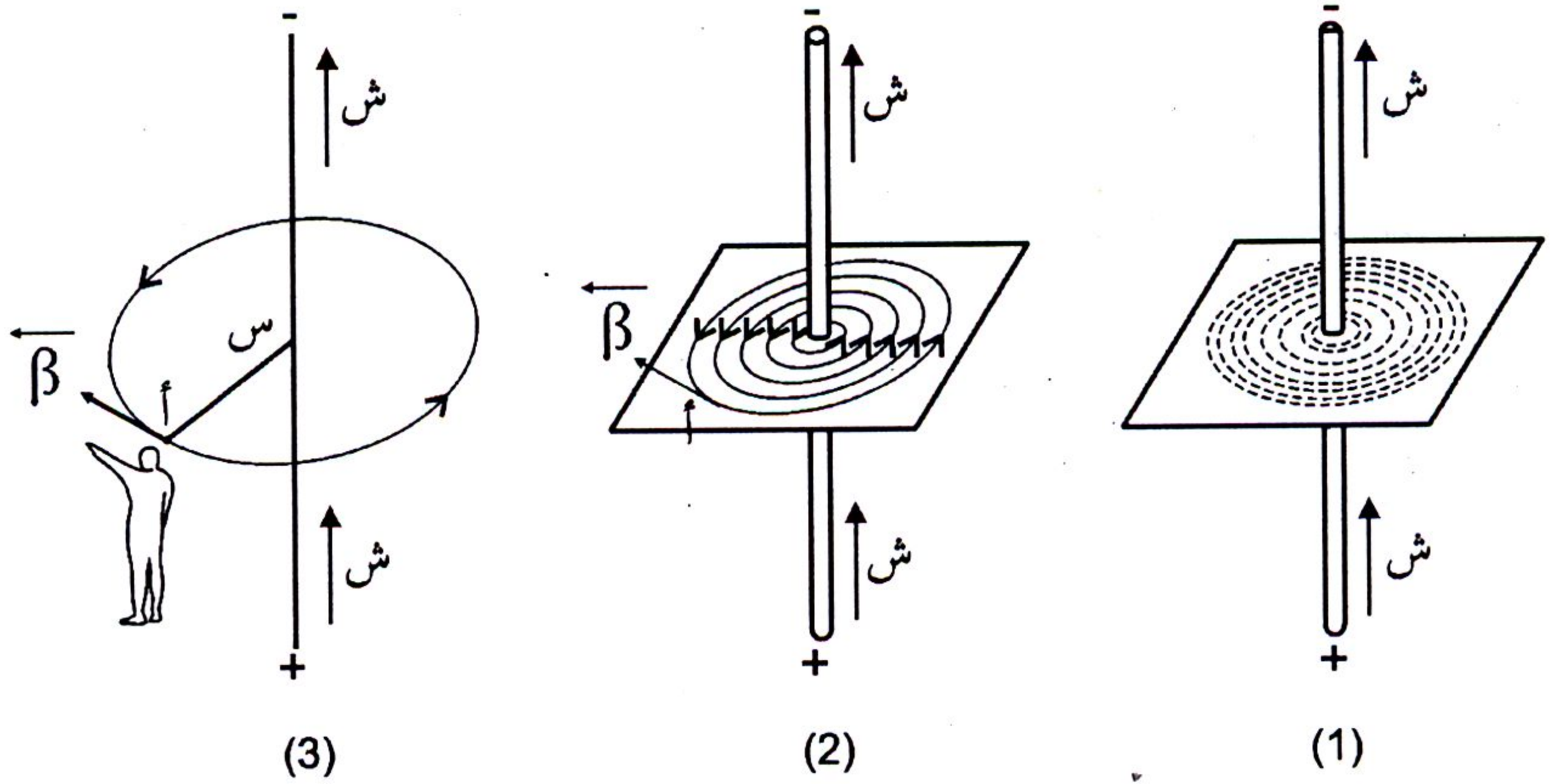
3. نفرض أننا ندير مبزلا (ساحب الفلين) في اتجاه التيار، فإن اتجاه شعاع الحث $\vec{B}$ يكون في اتجاه السن الحاد للمبزل، وهو ما يعرف بقاعدة ماكسوال¹، أو قاعدة مبزل ماكسوال (الشكل 4. 3).

1. ماكسوال (James Clerk MAXWELL : 1831-1879) فيزيائي إسكتلندي تمكن من وضع نظرية الضوء الكهرومغناطيسي، والتي تمثل أساس كل التطبيقات في عالم الهوائيات، وهو يعتبر عميد علم الكهرومغناطيسية.

3. المجال المغناطيسي المتولد عن التيار المستقيم

1.3. التجربة العملية

كل إلكترون سطحي يدور حول نواته متبعا مسارا لا يحيد عنه، إلا تحت تأثير طاقة خارجية تمنح للذرة، فيصبح بعدها إلكترونات حرا. وأثناء دوران الإلكترون السطحي، فإنه يولد مجالا مغناطيسيا من حوله، فهو بذلك وكأنه عبارة عن مغناطيس دقيق وصغير جدا... ومن ذلك، يتجلى واضحا سبب انحراف البوصلة بجوار التيار خلال تجربة أرسطد. للبرهنة عن وجود هذا المجال المغناطيسي حول الإلكترونات السطحية، إليك هذه التجربة والتي ستتبعها تجارب مماثلة خلال الفقرتين القادمتين.



الشكل 5. مجال التيار المستقيم

ورقة تحتوي على برادة الحديد، يعبرها سلك طويل ناقل للتيار الكهربائي شدته ش (الشكل 5. 1). فتلاحظ من خلال هذا الشكل، تكثف

مفعول التيار

برادة الحديد حول السلك الناقل، وكلما ابتعدنا عن السلك تنقص هذه الكثافة. فنستنتج أن هناك مجالا مغناطيسيا حول السلك الناقل، يكون وليد عبور التيار داخل هذا الناقل.

وفي الشكل 5. 2، تمثيل لخطوط القوة المغناطيسية لهذا المجال، وهي على شكل دوائر متمركزة حول السلك الناقل الذي يشكل مركز هذه الدوائر... وهو تعبير مباشر عن وجود المجال المغناطيسي عند عبور التيار. وإنه من الأهمية بمكان أن تتنبه إلى أن :

- خطوط القوة المغناطيسية تكون دائرية، لأن المجال المغناطيسي متناظر بالنسبة للسلك الذي يعبره التيار.

- مستوى المجال المغناطيسي وخطوطه الدائرية عمودي بالنسبة لعبور التيار داخل السلك، أي أن المجال المغناطيسي يكون زاوية قائمة (90°) مع اتجاه التيار.

2.3. صيغة الحث

تطبيقا لنظرية أمبير، فإن اتجاه الحث $\vec{B}$ يكون كما هو موضح على الشكل 5. 2. فالتيار يدخل من القدم ويخرج من الرأس، وعليه فإن اتجاه الحث يكون باتجاه اليد اليسرى لمشاهد أمبير (الشكل 5. 3)، فما هي شدة الحث المغناطيسي B في نقطة أ، تبعد بمسافة s على السلك الناقل ؟

من خلال قانون شهير يعرف بقانون بيوت وسافرت¹ — والذي لن نتطرق لتفاصيله — يمكن استخراج الحث في نقطة أ تبعد بمسافة س عن السلك. الحث في هذه النقطة متناسب طردا مع الشدة ومتناسب عكسا مع المسافة س، الفاصلة بين النقطة أ والسلك الناقل، فهو وفق الصيغة التالية :

$$\beta = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{d} \quad \frac{\text{ش}}{\text{س}} \cdot \frac{\mu_0}{2\pi} = \beta$$

حيث μ_0 هي النفاذية المغناطيسية للفراغ وهي معامل ثابت يعادل $4\pi \times 10^{-7}$ هنري على المتر، وبذلك تصبح العبارة السابقة كالتالي :

$$\beta = 2 \times 10^{-7} \cdot \frac{I}{d} \quad \frac{\text{ش}}{\text{س}} \cdot 10^{-7} \times 2 = \beta$$

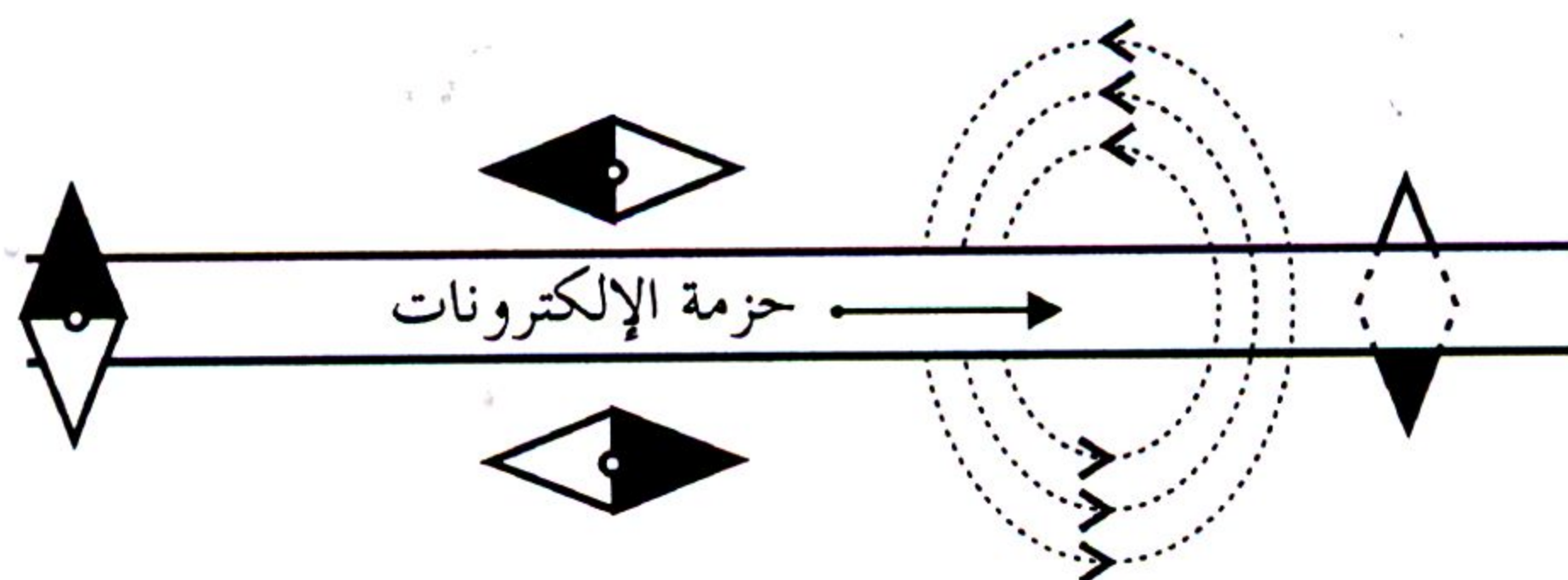
3.3. تحديد اتجاه الحث

في كل نقطة من الفضاء تبعد بمسافة س عن السلك الناقل، فإن شعاع الحث تكون طويلته نفسها عبر كل نقاط الدائرة ذات الشعاع س. إذن عندما يعبر تيار سلكنا ناقلا، تكون خطوط القوة دائرية مركزها السلك الناقل. وبهذا، فإن المجال المغناطيسي يجعل القطب الشمالي يتبع دوما مسارا دائريا.

1. BIOT-SAVART Law

- بيوت (Jean-Baptiste BIOT : 1774-1862) رياضي وفيزيائي فرنسي، اهتم بعلم الفلك والنقل الحراري، وفي أكتوبر 1820 درس بصحبة الخبير سافرت اهتزازات إبرة ممغنطة في جوار سلك ناقل لتيار كهربائي.
- سافرت (Felix SAVART : 1791-1841) متخصص في علم الصوتيات، استطاع تصميم أول جهاز لقياس ترددات الصوت. وفي عام 1820، انضم إلى مواطنه بيوت لدراسة خاصيات المجال المغنوسطاتيكي.

وهذه الخطوط يكون اتجاهها مطابقاً لعقارب الساعة أو عكسها،
ولتحديد اتجاهها يلجأ إلى استعمال البوصلة، وكمثال على ذلك إليك
الشكل 6.



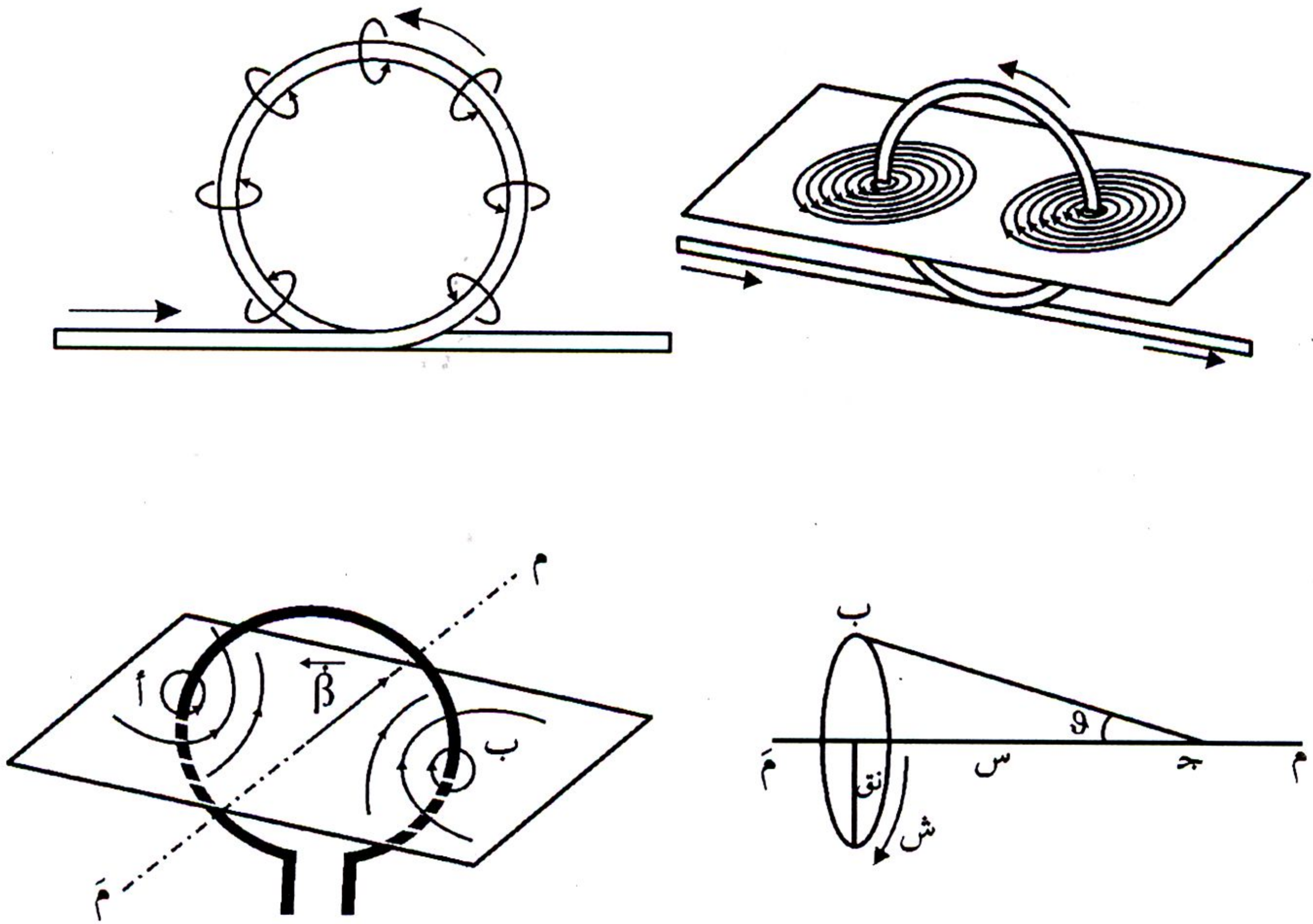
الشكل 6. تحديد اتجاه المجال المغناطيسي

عندما توضع البوصلة فوق السلك، يشير القطب الشمالي للمحور نحو
مؤخرة السلك، وإذا وضعت تحته يشير المحور نحو مقدمته، أما إذا وضعت
أمامه فالمحور يشير نحو الأعلى، وإذا وضعت خلفه يشير المحور نحو الأسفل.
ومن هنا نستنتج اتجاه المجال المغناطيسي، ففي هذه الحالة هو عكس اتجاه
عقارب الساعة.

4. المجال المغناطيسي المتولد عن التيار الدائري

1.4. التجربة العملية

في الشكل 7. 1، تمثيل لسلك ناقل على شكل دائري نصف قطره نق يعبره
تيار شدته ش، ومحور المنظومة كلها هو م م الذي يمر عبر مركز السلك الدائري.



الشكل 7. مجال التيار الدائري

- لكي نتمكن من دراسة المجال المغناطيسي المتولد عن التيار الدائري، فإننا نضع ورقة عبر القطر في النقطتين أ و ب، ثم ترش الورقة ببردادة الحديد (الشكل 7. 2)، والنتيجة هي ما تلاحظه على هذا الشكل، نلخصها فيما يلي :
1. تحيط خطوط القوة بالنقطتين أ و ب وهي متناظرة حول الخط المحوري م م.
 2. تتكثف خطوط القوة داخل الدائرة وتكون بنفس الاتجاه، وتتلاشى هذه الخطوط خارج هذه الدائرة.

3. نحصل على نفس المجال ونفس عدد خطوط القوة، لو أصبح هذا السلك الدائري عبارة عن سلك مستقيم.

2.4. صيغة الحث

من خلال هذه التجربة لمجال التيار الدائري، يعرف الحث في مركز السلك الدائري كما يلي :

$$\beta_0 = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

$$\beta_0 = \frac{\mu_0 \text{ش}}{2 \text{نق}}$$

$$\beta_0 = 2\pi \times 10^{-7} \cdot \frac{I}{R}$$

$$\text{وعليه : } \beta_0 = 2\pi \times 10^{-7} \cdot \frac{\text{ش}}{\text{نق}}$$

وأما شعاع الحث $\vec{\beta}$ في نقطة معينة جـ من المحور م م تبعد بمسافة س عن مركز الدائرة (الشكل 7. 4)، فإن طويلته تكتب وفق المعادلة التالية :

$$\beta = \beta_0 \cdot \sin^3 \theta$$

$$\beta = \beta_0 \cdot \cos^3 \theta$$

حيث θ هي الزاوية المحصورة بين المحور م م والمستقيم جـ ب. وبعد التعويض نحصل على ما يلي :

$$\beta = \beta_0 \frac{R^3}{(R^2 + d^2)^{3/2}}$$

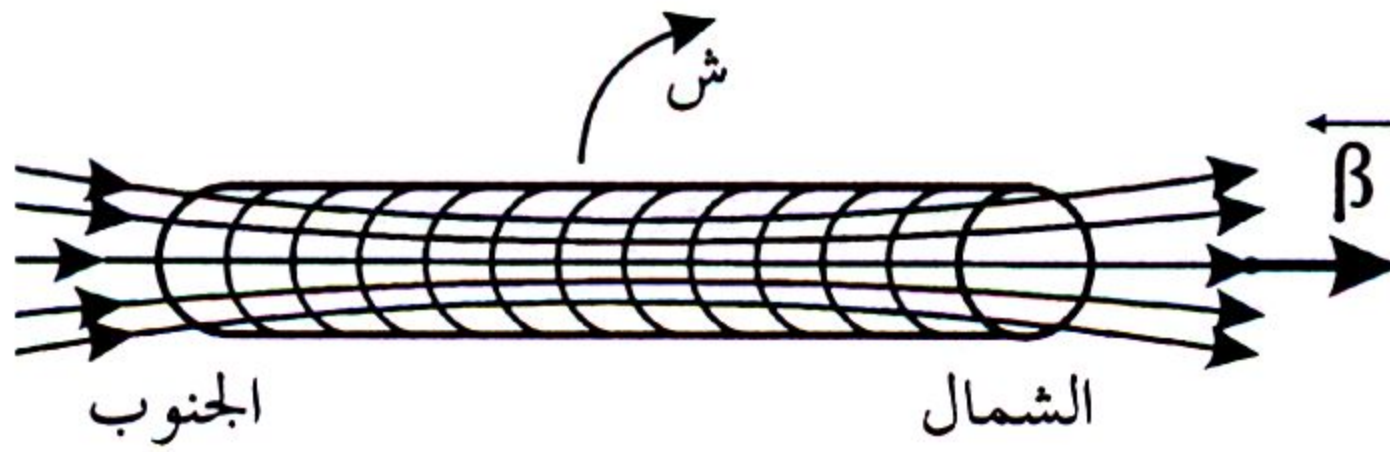
$$\beta = \beta_0 \frac{\text{نق}^3}{(\text{نق}^2 + \text{س}^2)^{3/2}}$$

حيث نق هو نصف قطر المركز، وأما لمعرفة اتجاه الحث $\vec{\beta}$ ، فتطبق نظرية أمبير لنحصل على الشكل 7. 3.

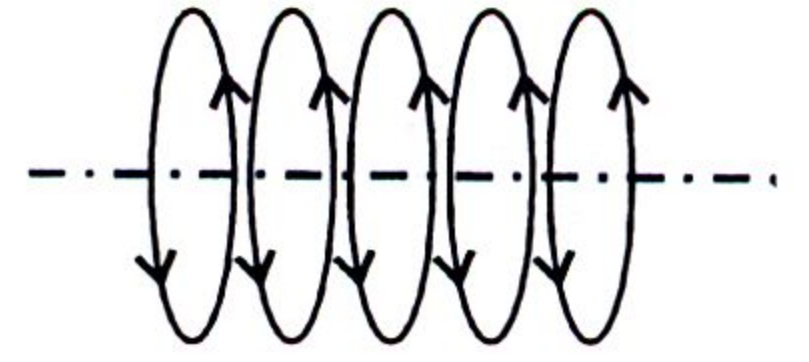
5. المجال المغناطيسي المتولد عن التيار الحلزوني

1.5. التجربة العملية

توضع إلى جانب اللفة السابقة لفات مماثلة عبر نفس المحور (الشكل 8. 1)، ويعبرها نفس التيار ... وهو تصميم يعرف باصطلاح الحلزون. فالحلزون هو أسطوانة ملفوفة بأسلاك دائرية توضع على مقربة من بعضها البعض، أي أنها متلاصقة، يعبرها نفس التيار في نفس الاتجاه.



(2)



(1)

الشكل 8. مجال التيار الحلزوني

عمليا، لصنع الحلزون يلف سلك ناقل — معزول خارجيا — حول أسطوانة (الشكل 8. 2)، حيث اللف يكون متلاصقا ببعضه البعض، كما يمكن لهذه الأسطوانة أن تحتوي على أكثر من طبقة لللفات المتلاصقة، لا يشترط فيها سوى أن تكون كل الطبقات ملفوفة في نفس الاتجاه.

من خلال تجربة الشكل 8، تستنتج الملاحظات التالية :

1. خارج الحلزون، يتطابق مجاله المغناطيسي تماما مع مجال القضيب

المغناطيسي.

2. أما داخل الحلزون، فإن المجال المغناطيسي هو عبارة عن خطوط قوة موازية لمحور الأسطوانة.
3. عندما تكون خطوط القوة داخل الحلزون متوازية وفي نفس الاتجاه، ينشأ مجال مغناطيسي منتظم داخل هذا الحلزون.
4. عندما يتركز المجال المغناطيسي داخل الحلزون، تظهر قطبية معينة فيتميز الحلزون بقطبين متعاكسين في طرفيه.

2.5. صيغة الحث

يحدد اتجاه شعاع الحث $\vec{B}$ حسب قاعدة أمبير، فيما تكون طويلته متناسبة طردا مع شدة التيار I وفق العبارة التالية :

$$\beta = \mu_0 n \cdot I$$

$$\beta = \mu_0 N \cdot I$$

حيث :

- N هو عدد اللفات في المتر الواحد : N [لف/م]

- I هي شدة التيار ووحدها أمبير : I [أ]

- μ_0 هي نفاذية الفراغ : $\mu_0 = 1,26 \mu \text{ هن/م}$.

وهذه الصيغة تمثل الحث β في مركز الحلزون. فالأسطوانة التي طولها l وتحتوي على N لفة، تمكن من كتابة المعادلة السابقة في العبارة التالية :

$$\beta = \mu_0 \frac{N}{l} \cdot I$$

$$\beta = \mu_0 \frac{N}{l} \cdot I$$

وهذه العبارة صحيحة لكل نقطة داخل الحلزون بعيدة بما فيه الكفاية عن طرفيها، ولذلك فهذه الصيغة هي قيمة مقارنة لشدة الحث المغناطيسي. وأعلم أن كل هذه العبارات السابقة، يفترض فيها أن طول الحلزون كبير جداً بالمقارنة مع دورة واحدة (المحيط) للسلك حول الأسطوانة.

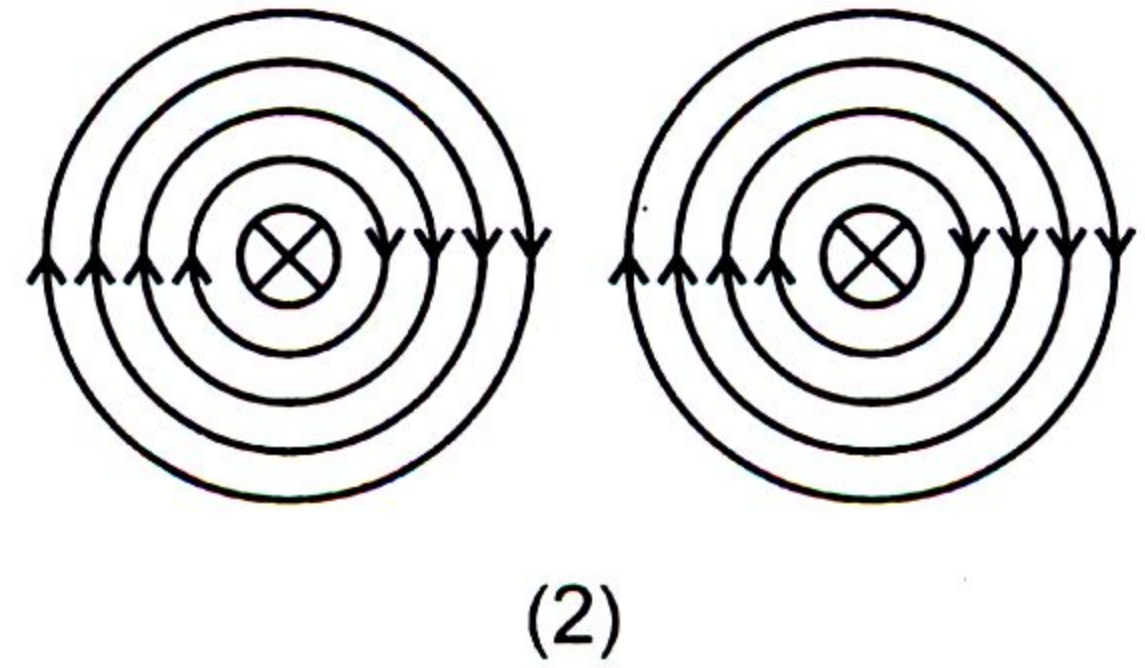
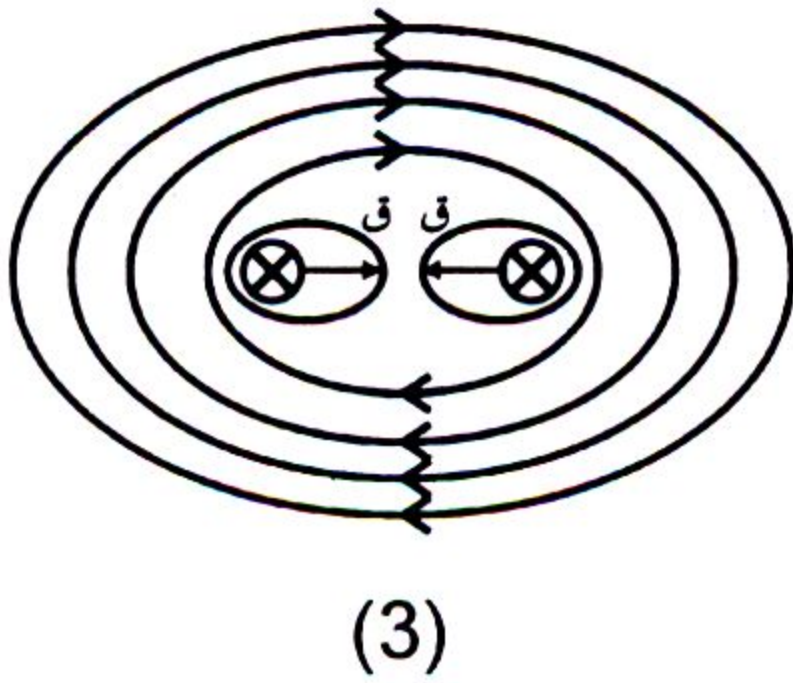
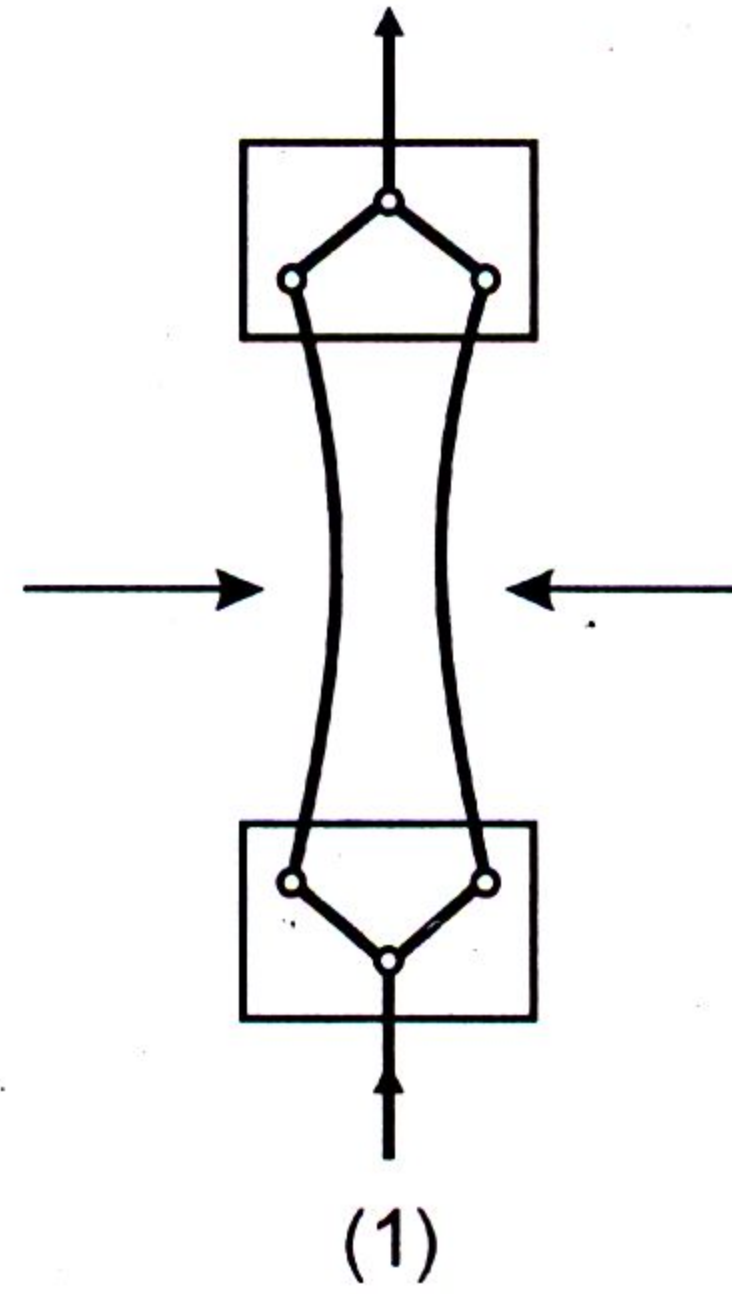
6. المجال المحصل لتيارين متوازيين

لحد الآن درسنا مفعول التيار في توليد المجال المغناطيسي، أما الآن فسوف ندرس بتوفيق المولى عز وجل مفعول تيارين مختلفين يعبران سلكين ناقلين مستقيمين.

عندما تكون خطوط القوة المغناطيسية لمجالين اثنين بنفس الاتجاه، فإن خطوط المجال الواحد تدعم خطوط الآخر مما يجعل شدة المجال المحصل أعلى وأشد. وأما إن كانت خطوط القوة المغناطيسية في اتجاهين متعاكسين، فإن المجالين يتناقضان وتكون شدتهما أضعف. كيف ذلك ؟

1.6. تعارض المجالين

يوضع سلكان ناقلان على مقربة من بعضهما بحيث أنهما متوازيان تفصل بينهما مسافة معينة، ويعبرهما تياران كهربائيان في نفس الاتجاه كما هو موضح في الشكل 9. 1.



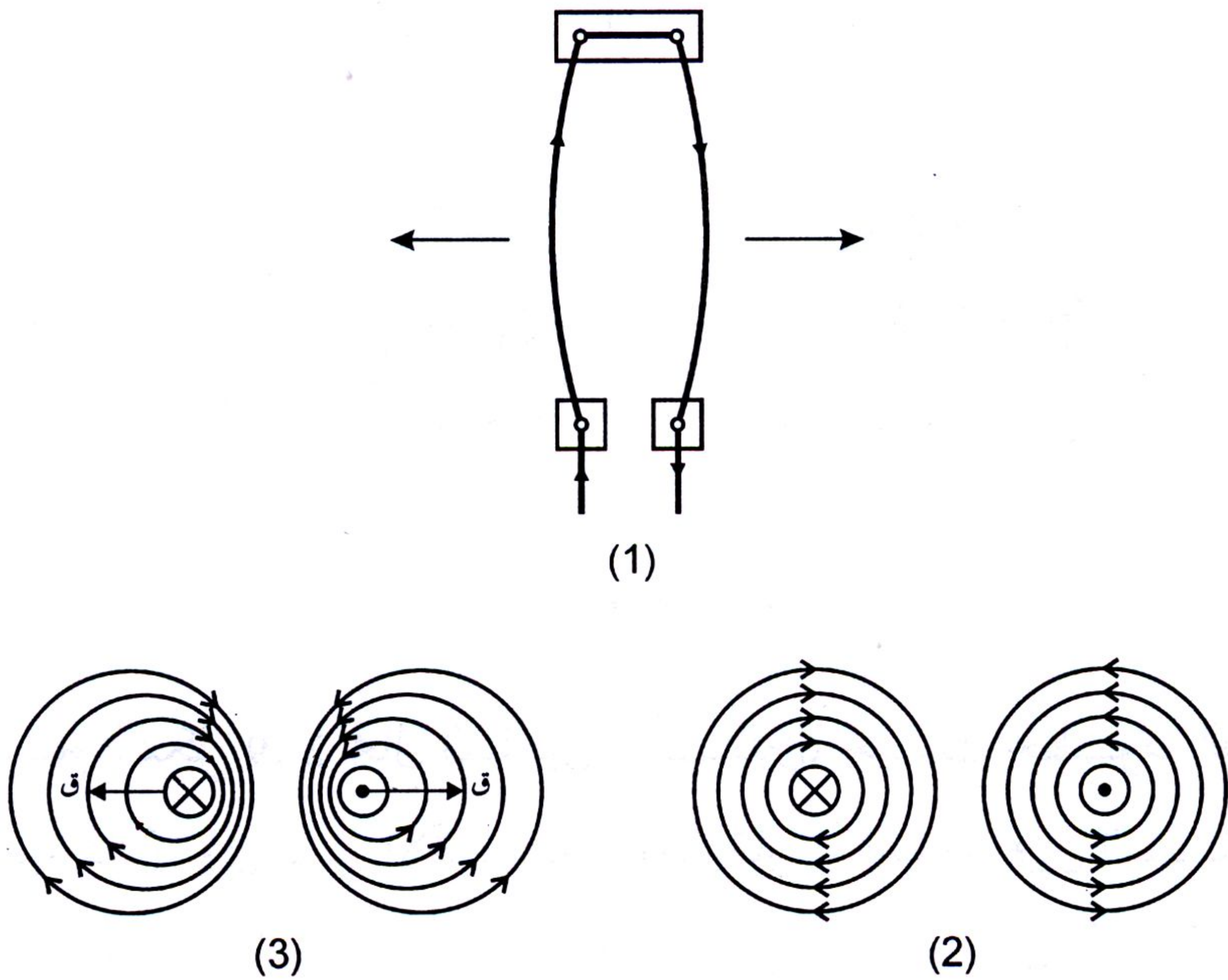
الشكل 9. تعارض مجالين

يوضح الشكل 9. 2 مجال السلكين الناقلين، حيث خطوط القوة المغناطيسية دائرية وفي نفس الاتجاه متبعة اتجاه عقارب الساعة. فبين السلكين، تتعارض خطوط القوة ومن ثم تتناقص، فينتج مجال محصل ضعيف يكون أضعف شدة من المجالين الأصليين.

عندما يتعارض المجالين المغناطيسيين، تقوم قوة بجذب السلكين نحو بعضهما بحيث أن اتجاهها يمتد من المجال الأكبر نحو المجال الأصغر (الشكل 9. 3) ... ومن ذلك، يستنتج أن تيارين متوازيان وفي نفس الاتجاه يتجاذبان بفعل تعارض مجاليهما المغناطيسيين.

2.6. التهام المجالين

يوضع سلكان ناقلان على مقربة من بعضهما بحيث أنهما متوازيان على مسافة معينة تماما كما سبق، إلا أنهما ينقلان تيارين كهربائيين في اتجاهين متعاكسين كما يوضحه الشكل 10. 1.



الشكل 10. التهام مجالين

يوضح الشكل 10. 2 اتجاه خطوط القوة المغناطيسية، حيث اتجاهها بين السلكين هو نفسه... لكن لاحظ جيدا أن المجالين المغناطيسيين أحدهما يتبع عقارب الساعة والآخر يعاكسها.

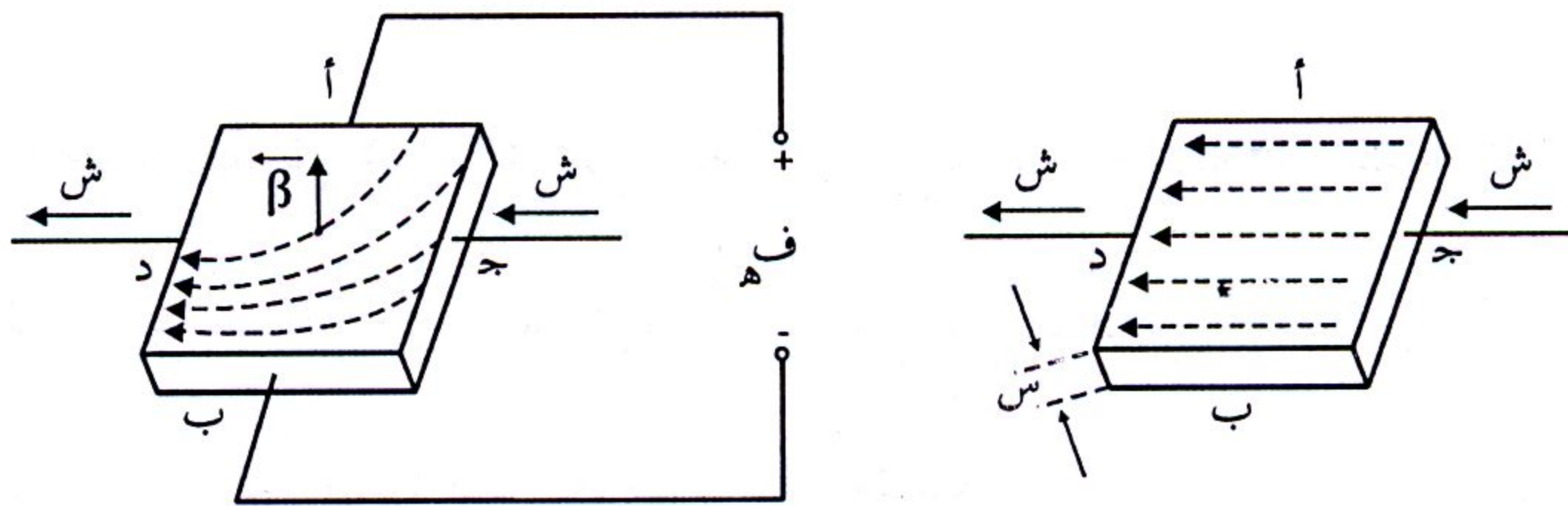
تتزايد الخطوط بين السلكين لأنها تتماثل وتتطابق في نفس الاتجاه. في هذه الحالة، يسجل تكثف المجال المحصل، مما يزيد في شدة الحث β ... وهي الحالة التي تعرف بالتحام المجالين.

وعليه يكون المجال المحصل أكبر من المجالين الأصليين، فتنشأ بذلك قوة تدفع السلكين من المجال الأكبر إلى المجال الأصغر لتفصلهما عن بعضهما (الشكل 10. 3). وعليه يستنتج أن تيارين متوازيين وباتجاهين متعاكسين يتنافران بفعل التحام مجاليهما المغناطيسيين.

7. ظاهرة هال

1.7. التجربة العملية

لاحظ العالم الفيزيائي هال¹ أنه عندما يوضع سلك ناقل لتيار كهربائي داخل مجال مغناطيسي خارجي عنه، يتولد عن هذه العملية جهد ضعيف عبر هذا السلك الناقل، وهذا ما يعرف باصطلاح ظاهرة هال. وإليك التجربة :



الشكل 11. تطبيق ظاهرة هال على شبه النواقل

1. هال (Edwin Herbert HALL : 1855-1938) فيزيائي أمريكي توصل عام 1880 من وضع هذه الظاهرة المعروفة باسمه.

لتكن صفيحة معدنية متوازية السطوح ثابتة غير متحركة، ذات سمك s يقطعها تيار كهربائي شدته J من النقطة a إلى b كما يوضحه الشكل 11.1.

1. لاحظ جيدا على الشكل 11.1، فالتيار J يعبر الصفيحة عموديا على مساحة الواجهة a ، بمعنى موازيا للواجهتين a و b . المساحة الموازية للواجهتين a و b مرورا عبر a و b تحتوي على كمون متساو، يعني لا فرق في الكمون، إذن :

$$V_A - V_B = 0$$

$$V_A - V_B = 0$$

2. ماذا يحصل لو طبق مجال مغناطيسي ذو حث B ، عمودي على أكبر مساحة للصفيحة متوازية السطوح كما هو موضح على الشكل 11.2 ؟

شرط أساسي لقيام ظاهرة هال، هو أن يكون المجال المغناطيسي ذو الحث B عموديا بالنسبة لاتجاه التيار J . فإن عبر التيار J الصفيحة طوليا، فإن الجهد المتولد يكون عبر العرض، ويدعى جهد هال V_H .

أعلم أنه عند تطبيق هذا الفيض المغناطيسي، فإن خطوط التيار داخل الصفيحة تعدل لتتحرف نحو مسار غير مستقيم كما هو موضح في الشكل 11.2. ومن ذلك، فإن الكمون عبر مساحة العرض غير متساو ويظهر فرق كمون بين الواجهتين a و b ، وعليه :

$$V_A - V_B \neq 0$$

$$V_A - V_B \neq 0$$

هذا ما يعرف بظاهرة هال التي أجريت على الصفائح المعدنية، والتي سجل فيها جهد ضعيف جدا.

2.7. التطبيقات العملية

لم تكن تجربة هال ذات أهمية تذكر، إلى غاية اكتشاف شبه النواقل¹ فأعيد النظر والاهتمام بظاهرة هال. فسعى وراء تحسين النتائج المحصل عليها، تستبدل الصفائح المعدنية السابقة فتوضع مكانها صفيحة متوازية السطوح من مادة شبه ناقلة مثل الجرمينيوم، سليكون أو البزموت.

إليك هذه التجربة : عند استعمال مادة شبه ناقلة مثل In As، إذ توضع داخل مجال مغناطيسي ذي حث $\beta = 1$ تسلا، ويعبرها طوليا تيار شدته ش = 0,1 أمبير، فإننا نحصل على جهد هال بين قطبي العرض يعادل $F_- = 0,06$ فولط، أي $F_- = 60$ ميلي فولط... وهي نتيجة قياسية.

أوضحت هذه التجربة أن جهد هال F_- متناسب طردا مع كثافة المجال المغناطيسي β ، وعبارته تكتب وفق الصيغة التالية :

$$V_H = V_A - V_B = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot I}{d} \beta \quad \beta = \frac{\text{ثا}_1 \cdot \text{ثا}_2 \cdot \text{ش}}{\text{س}} = F_- - F_+$$

1. شبه النواقل : مفهوم عولج بإسهاب في الجزء الخامس.

حيث :

- F هو جهد هال يؤخذ عبر عرض الصفيحة شبه الناقلة : F [فولط]
 - θ_1 هو ثابت هال ويرتبط بالمادة المستعملة لصناعة الصفيحة متوازية السطوح.
 - θ_2 هو ثابت يطابق المساحة العمودية للحث β .
 - S هي شدة التيار العابر لطول الصفيحة من الواجهة J إلى الواجهة D : S [آ]
 - β هو الحث أو كثافة المجال المغناطيسي ووحدته تسلا : β [تس]
 - S هو سمك الصفيحة (في اتجاه الحث $\vec{\beta}$) ووحدته المتر : S [م]
- ما زال الباحثون والعلماء يولون ظاهرة هال أهمية كبيرة ويتوسعون في تطبيقاتها، وذلك بتنويع المواد المستعملة، وأهم هذه المواد التي تولد جهد هال بقيمة معقولة جدا هي :

- Arséniure d'indium (In As).
- Antimoniure.
- Phosphure arséniure d'indium.

مسائل

1. كيف تحدد قطبية المغناطيس أو وجهها الوشيعة ؟
2. لم يتولد مجال مغناطيسي حول سلك ناقل عندما يعبره تيار كهربائي ؟
3. كيف يؤثر مسار التيار (مستقيم - دائري - حلزوني) في تحديد شدة الحث المغناطيسي واتجاهه معا ؟
4. متى يحدث تعارض أو التحام مجالين مغناطيسيين ؟
5. ما هي ظاهرة هال ؟ اجتهد في ذكر بعض تطبيقاتها.
6. أحسب الحث المغناطيسي في النقطة أ من الشكل 5. 2 تبعد بمسافة 1 سم عن السلك الناقل لتيار شدته 20 أمبير.
7. أحسب شدة التيار العابر لسلك ناقل دائري، قطره 20 سم، إذا تولد عن التيار في مركز دائرة السلك الناقل حث مغناطيسي شدته $0,2 \times 10^{-4}$ تسلا.
8. تلف أسطوانة متجانسة بسلك ناقل معزول بحيث تكون 20 لفة / سم. احسب الحث المغناطيسي في مركز الأسطوانة عندما يعبر السلك تيار شدته 10 أمبير.
9. لتكن لفة السلك الدائرية للشكل 7. 2.
1. أحسب الحث المغناطيسي في المركز المحاط بلفة السلك إذا كان قطرها 20 سم وناقلة لتيار كهربائي شدته 20 أمبير.

2. لو تضاعفت اللفات وأصبحت N لفة، هل يتضاعف الحث ؟

أكتب الصيغة، ثم استنبط شدته إن كان $N = 50$.

10. أسطوانة من الورق المقوى يفترض طولها كبيرا تماما عن قطرها، تلف بسلك ناقل معزول، قطره الخارجي $L = 0,8$ مم، حيث اللفات متلاصقة وعلى طبقة واحدة. أحسب شدة المجال المغناطيسي $\vec{B}$ داخل الأسطوانة عندما يعبر اللفات تيار شدته $I = 3$ أمبير.

11. قطعة متوازية السطوح من المادة شبه الناقلة In As، تخضع عموديا لمجال مغناطيسي شدة حثه تعادل واحد تسلا، يعبرها طوليا تيار كهربائي فيتسبب في ظهور جهد على مستوى العرض قدره 60 مفو. أحسب شدة التيار إن كان معامل التناسب يعادل 0,6.

12. أنبوب أسطواناني يلف بسلك ناقل معزول قطره 1,2 مم على ثلاث طبقات، مع افتراض أن قطر الأسطوانة مهملة مقارنة بطولها.

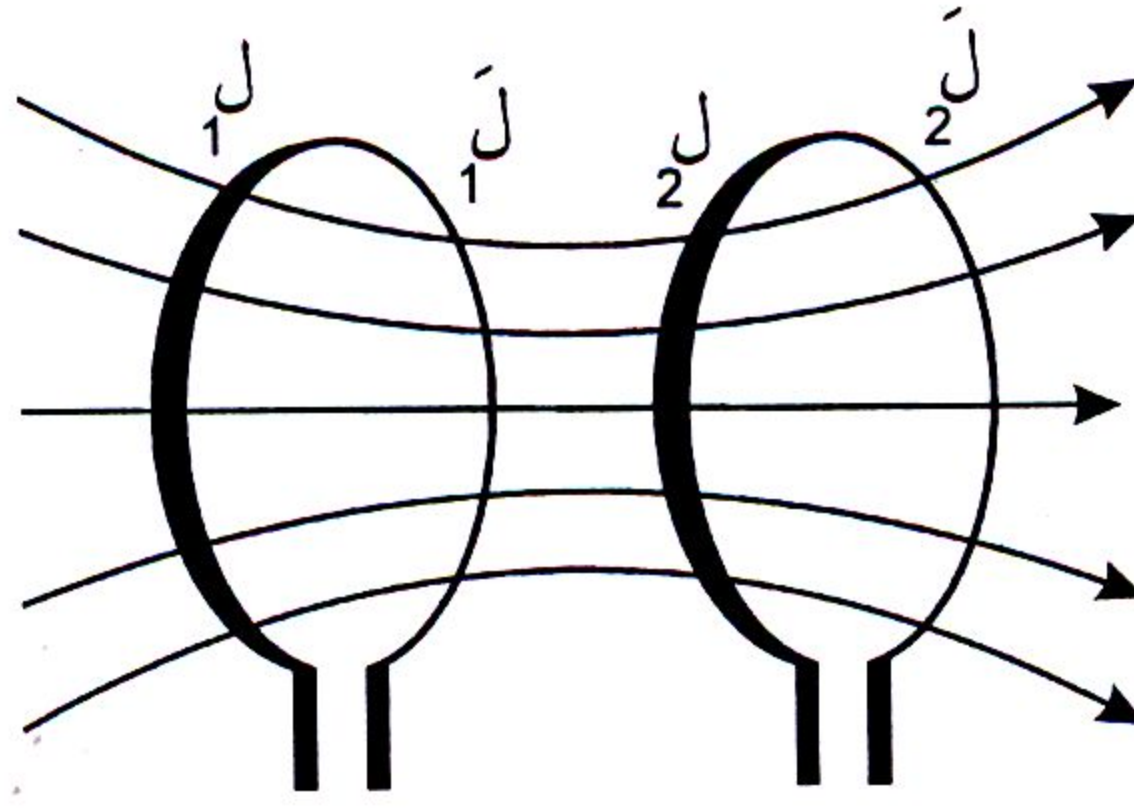
1. جد عدد اللفات في المتر الواحد.

2. كم شدة الحث المغناطيسي في مركز الأسطوانة إذا عبر اللفات

تيار شدته 8 أمبير ؟

13. لفتان دائريتان متقابلتان يعبرهما تياران كهربائيان مستمران، حيث

خطوط المجال المغناطيسي كما هو موضح على الشكل 12.



الشكل 12. المسألة 13

1. حدد قطبي اللفتين.
2. هل تتجاذب اللفتان أم تتنافر ؟
3. يترك الفضاء الفاصل بينهما عبارة عن فراغ. هل تعدل خطوط القوى ؟
14. وشيعة أسطوانية طولها $l = 20$ سم، يلفها سلك ناقل معزول يعبره تيار شدته 1,5 أمبير.
1. ما نوع الحث المغناطيسي في مركز الأسطوانة ؟ كم هي شدته إن كان شعاع اللفات حول الأسطوانة يعادل 1 سم ؟
2. توجّل نواة حديدية داخل الوشيعة. هل تعدل خطوط القوى ؟
3. لنفس الشدة $1,5$ أمبير، هل يمكن استخراج الحث β بواسطة العبارة $\mu_0 n \cdot I$ ؟ ما نسبة β مقارنة بالحث β ؟

قانون لابلاس

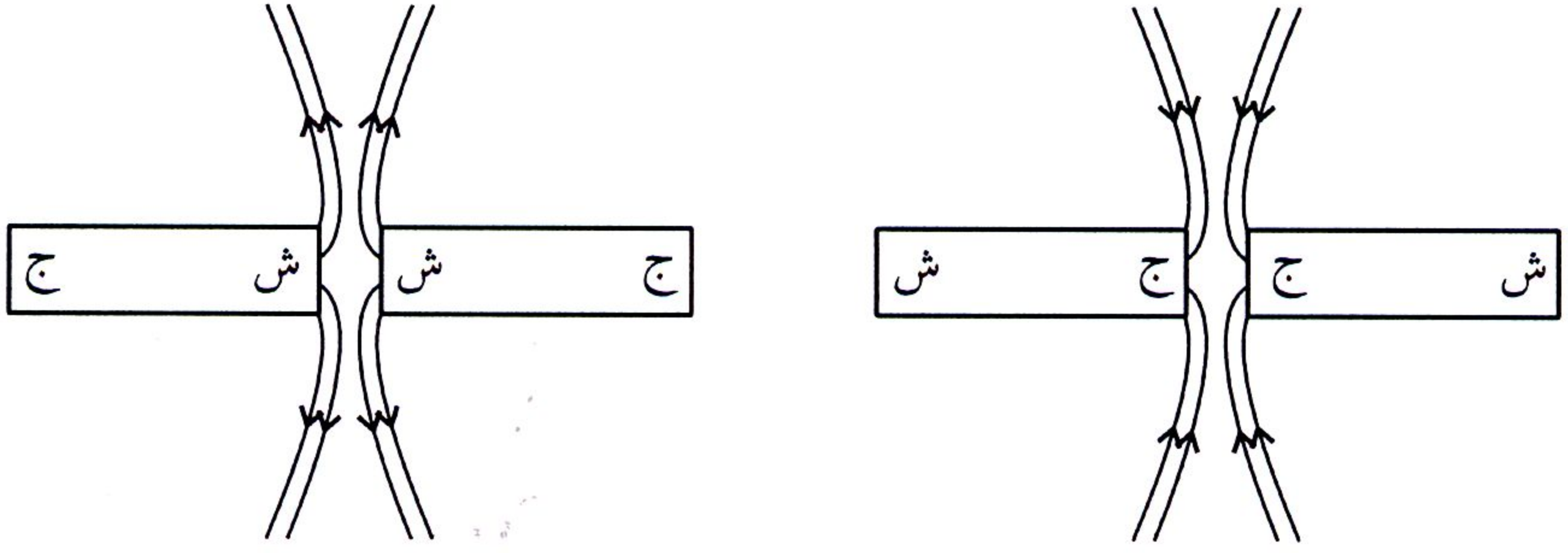
تدرس الكهرومغناطيسية فعل القوى وتأثيرها على الدارات الكهربائية التي تعبرها التيارات وتكون موضوعة داخل مجالات مغناطيسية. تكون هذه الأخيرة وليدة مغناطيسات أو دارات كهربائية أخرى.

1. القوة المحركة بين مجالين مغناطيسيين

تنجم القوة المحركة عن قوة المجالات المغناطيسية التي تكون وراء تحرك المجالات، وكمثال على القوة المحركة هو عملية التجاذب والتنافر التي تتم بين قضيبين مغناطيسيين. فكما أن القطبين المتشابهين يتنافران في حين قطبين متعاكسين يتجاذبان، فإن مجالين مغناطيسيين بنفس الاتجاه يتنافران في حين مجالين مغناطيسيين باتجاه متعاكس يتجاذبان. كيف ذلك؟ هذا ما سندرسه بتوفيق من المولى سبحانه وتعالى.

1.1. تنافر المجالين

عندما يكون القطبان متشابهين (الشكل 1)، تكون خطوط القوة المغناطيسية في نفس الاتجاه ومن ذلك يحدث تنافر بين القطبين. هذا التنافر وليد قوة محركة. كيف ذلك؟



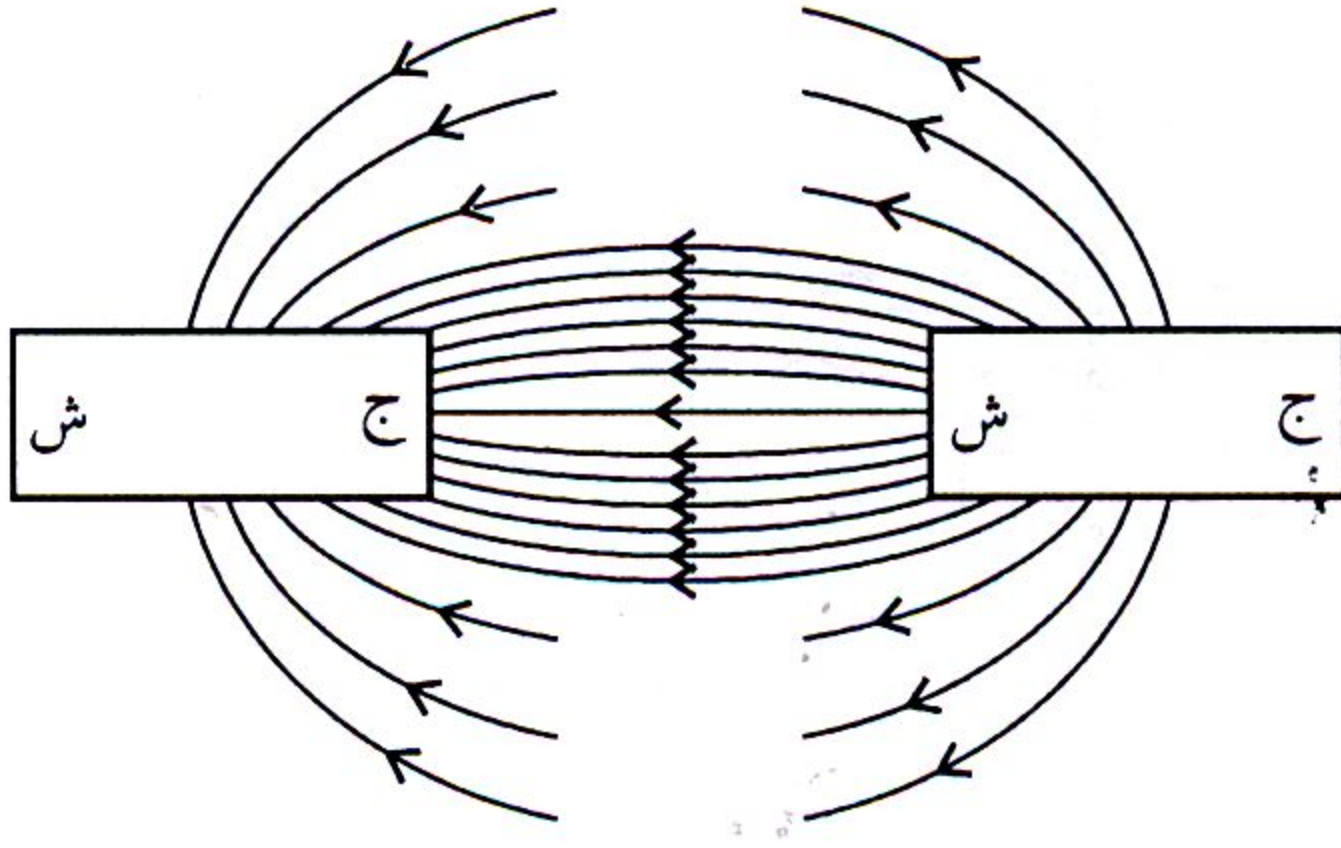
الشكل 1. تنافر قضيبين مغناطيسيين

تهدف القوة المحركة لمجالين مغناطيسيين إلى توليد حركة تكون من مجال شدته أكبر إلى مجال شدته أضعف. فتلاحظ أن شدة المجال في الشكل 1 تكون قصوى ما بين القطبين الشماليين أو ما بين القطبين الجنوبيين، وتضعف تدريجياً في المحيط المستوعب للقضيبين المغناطيسيين.

فخطوط القوة تتوطد وتتدعم في المحيط المحصور بين قطبي القضيبين المغناطيسيين، في حين تضعف شدة المجال تدريجياً بزيادة المسافة، الشيء الذي يجعل هذه الخطوط تطابق خطوط مغناطيس وحيد. إذن هناك فرق في شدة المجال، الشيء الذي يولد قوة تكون سبب الحركة، والتي تكون دوماً نحو المجال الأضعف. وعليه، فتتافر مجالين لا يتم إلا في حالة التحامهما (الفصل 3).

2.1. تجاذب المجالين

لا يحصل تجاذب بين مغناطيسين إلا إذا كان قطباهما متعاكسين، أي أن اتجاه مجاليهما المغناطيسيين متعاكس، أي متعارض... وهي النظرية المطابقة تماماً لما درس في المجالات الكهربائية.



الشكل 2. تجاذب قضيبين مغناطيسيين

يكون التجاذب وليد قوة محركة مؤثرة من المجال الأعظم نحو المجال الأدنى، تساهم في دفع المغناطيسين نحو بعضهما. ومن ذلك، فلا يتم تجاذب مجالين إلا في حالة تعارضهما، وفي الشكل 2 توضيح لهذه الفكرة.

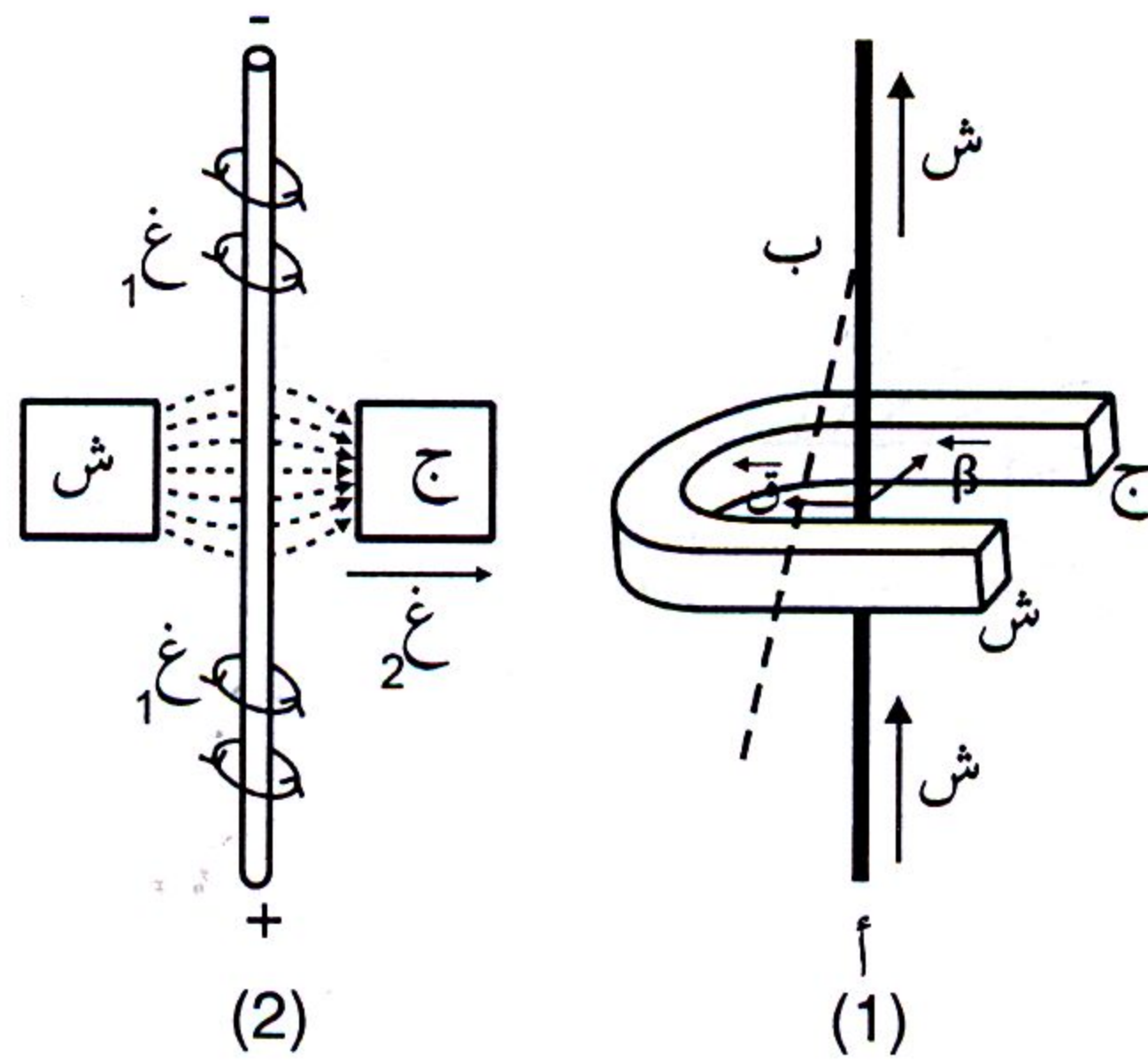
2. سلك ناقل لتيار داخل مجال مغناطيسي

1.2. التفاعل العمودي لخطوط القوة

من خلال ما سبق من دراسة، رأينا أنه يتولد مجال مغناطيسي دائري G_1 حول سلك ناقل للتيار شدته S . فما هو الحديد لو وضع هذا السلك الناقل داخل مجال مغناطيسي خارجي G_2 ¹؟

في هذه الحالة وكما يشير لذلك الشكل 3. 1، فإن السلك الناقل عمودي على المجال المغناطيسي G_2 ، كما أن المجال المغناطيسي G_1 عمودي كذلك على اتجاه التيار S وهو بذلك في نفس المستوى من المجال المغناطيسي G_2 . لماذا؟

1. كلمة "خارجي" تعني أن هذا المجال المغناطيسي متولد عن منبع آخر غير التيار S العابر للسلك، وهو المفهوم السائد في كل كتابنا.



الشكل 3. قوة محركة لمجال مغناطيسي يعبره سلك ناقل لتيار

لن يؤثر أحدهما على الآخر إلا إذا كان المجالان في نفس المستوى، وفي هذه الحالة سوف يتفاعلا لتتولد عنهما قوة محركة تدفع السلك فيتحرك كما يظهر على الشكل 3. 1. فكيف ذلك ؟

عندما يكون المجالان في نفس المستوى وتكون خطوط القوة المغناطيسية لكلا المجالين في نفس الاتجاه، يبعث هذا إلى تدعيم بعضهما البعض فينجم عنها مجال ذو شدة عالية. أما إذا كانت خطوط المجالين في اتجاه متعاكس فستتناقص، مما ينجم عنه مجال ذو شدة ضعيفة. ولاحظ ذلك جيدا على الشكل 3. 2 فهو المنظر الأمامي للشكل 1.3.

2.2. مفعول القوة المحركة

في الفضاء الأمامي الذي يعلو السلك من الشكل 3. 2، الخطوط المغناطيسية للمجال B_1 — والمتولد عن حركة الإلكترونات — هي في نفس اتجاه الخطوط المغناطيسية للمجال B_2 ، مما ينتج عنه تولد مجال ذي شدة

أكبر. وأما في الفضاء الخلفي الموجود وراء السلك، فإن خطوط المجالين متعاكسة مما يضعف شدة المجال المحصل.

وعليه تنتج قوة محركة تمارس دفعا على قطعة السلك الموجودة داخل المجال G_2 ، فإن شد في النقطة الثابتة ب فسوف يسجل انحناء نحو الخلف تبيانا للقوة المحركة الضاغطة من المجال الأكبر نحو المجال الأضعف. فماذا يحدث لو أعدنا التجربة لكن هذه المرة يعكس اتجاه التيار ش ؟

بساطة، تكون الحركة نحو الأمام تحت تأثير القوة المحركة. ونفس الشيء يحدث لو بدل أن يعكس اتجاه التيار، يتم عكس اتجاه المجال الخارجي G_2 . أما إذا عكس اتجاه كلا المجالين G_1 و G_2 ، فسوف نحصل على قوة محركة تدفع السلك في الاتجاه الأول، أي نحو الخلف. وأخيرا : ما هي عبارة هذه القوة المحركة ؟

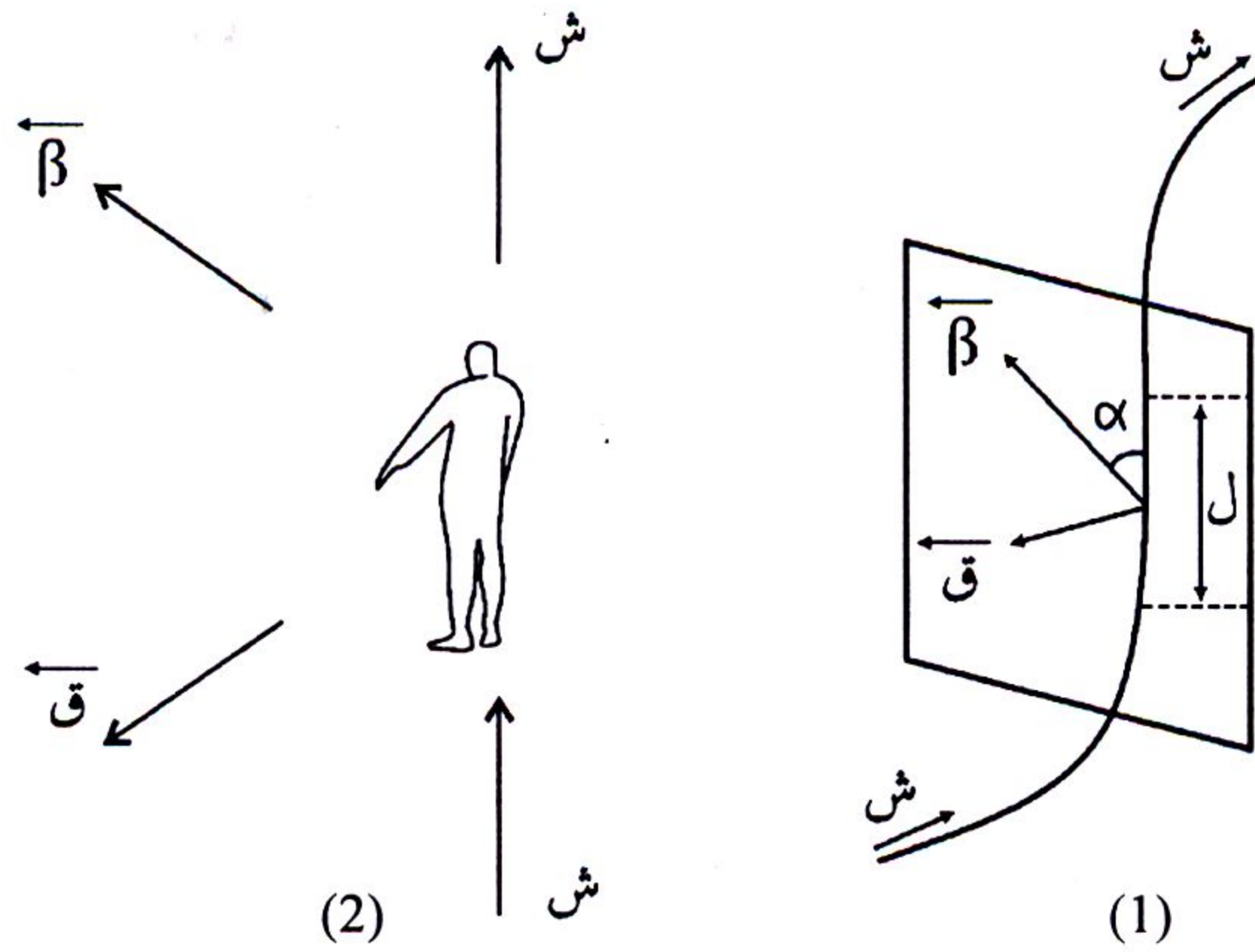
3. القوة الكهرومغناطيسية

1.3. قانون لابلاس

سلك ناقل يعبره تيار شدته ش، موجود داخل مجال مغناطيسي منتظم B . بفعل المجالين واختلاف اتجاههما، تتولد قوة متحركة تدعى القوة الكهرومغناطيسية أو قوة لابلاس¹. تعرف هذه القوة بواسطة قانون لابلاس الذي ينص على أن :

1. لابلاس (Pierre - Simon LAPLACE : 1749-1827) وزير الداخلية للقصر الملكي الفرنسي، استطاع تهذيب عدة نظريات سابقة، كما وضع قواعد صلبة في تطوير بعض النظريات وأهمها قانون بيوت وسافرت.

القوة الكهرومغناطيسية $\vec{F}$ عمودية على المستوى المكون من السلك الناقل والمجال الخارجي $\vec{B}$ (الشكل 4. 1)، حيث يكون اتجاهها نحو يسار المشاهد أمبير الذي ينظر في اتجاه المجال $\vec{B}$ ، مع العلم أن التيار يدخل من رجليه ويخرج من رأسه (الشكل 4. 2).



الشكل 4. قانون لابلاس

إذا درسنا القوة الكهرومغناطيسية للشكل 4. 1 لقطعة سلك طولها l ، فإن قانون لابلاس ينص كالتالي :

$$\vec{F} = \vec{B} \cdot \vec{I} \cdot l \sin \alpha \quad \vec{F} = \vec{B} \cdot \vec{I} \cdot l \sin \alpha$$

وعليه تكون طويلة شعاع القوة الكهرومغناطيسية متناسبة طردا مع كل من :

- الحث B ووحدته تسلا : B [تسلا]
- شدة التيار I ووحدتها أمبير : I [آ]
- القطعة l من السلك ووحدتها المتر : l [م]
- الزاوية α المكونة بين الحث $\vec{B}$ ومستقيم السلك.

وتبعا للنظام العالمي لوحدات القياس، فإن قوة لابلاس تحسب بوحدة نيوتن¹ أي ق[تن]، ولتلخيص عبارة القوة الكهرومغناطيسية نكتب ما يلي :

$\alpha = \frac{\pi}{2}$ راديان (90°) : إذا كان السلك عموديا بالنسبة لشعاع الحث $\vec{B}$ ، فإن قوة لابلاس تكون عظمى.

$\alpha = 0$: إذا كان السلك موازيا لشعاع الحث $\vec{B}$ ، فإن هذه القوة معدومة تماما (جب $\alpha = 0$).

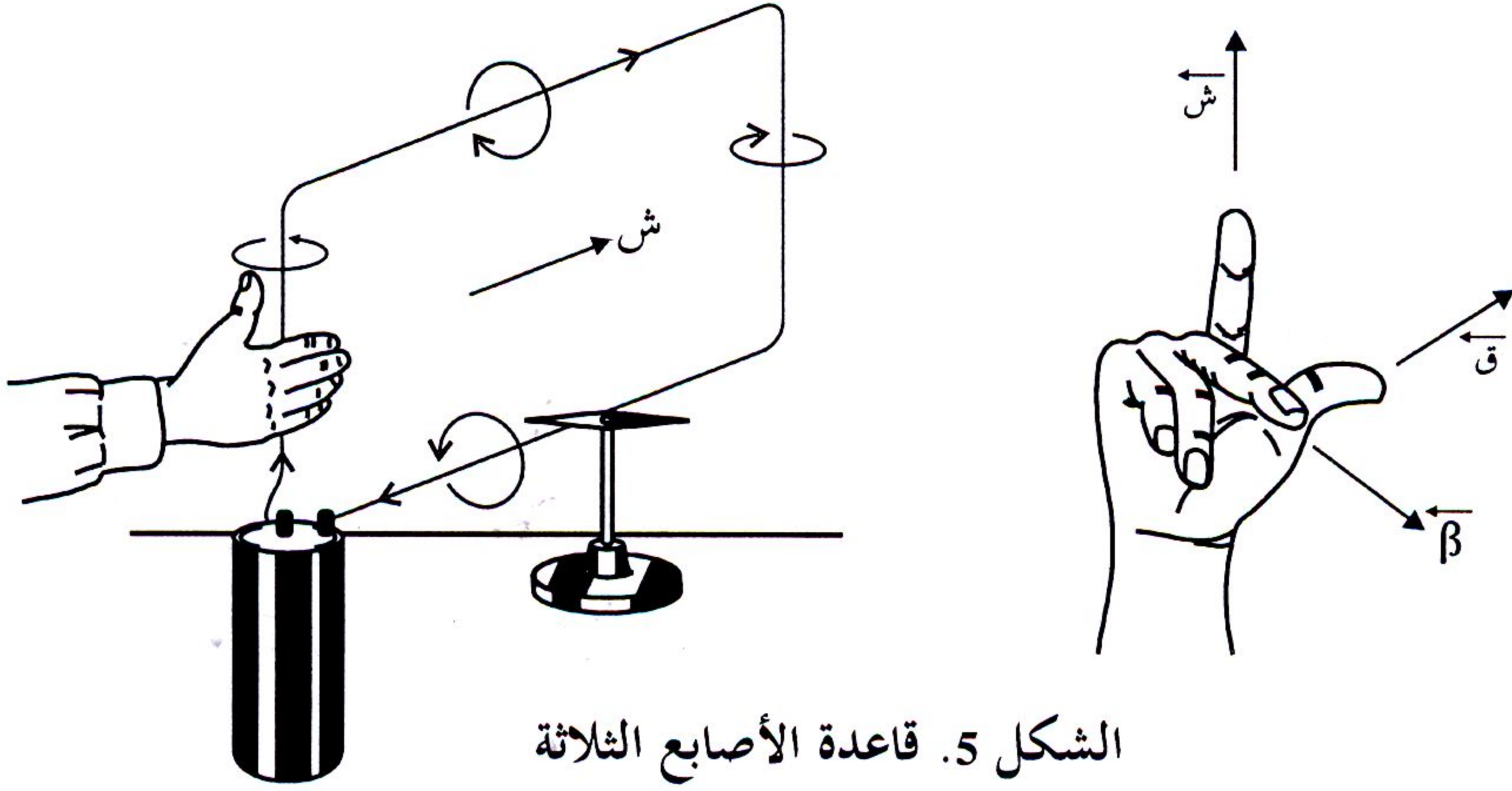
2.3. قاعدة الأصابع الثلاثة

إن استبدال اتجاه التيار $\vec{I}$ أو اتجاه الحث $\vec{B}$ ، يؤثر مباشرة على اتجاه القوة $\vec{F}$ ، وبالتالي اتجاه الحركة. وتحديد اتجاهها بالضبط يدفع للقول بأن اتجاهها يكون عموديا على المستوى المكون من القطعة ل والحث $\vec{B}$ (الشكل 4. 2)، أي نحو يسار مشاهد أمبير.

في كل ما سلف رأينا أنه لتحديد اتجاه القوى والكميات المغناطيسية نستعين عموما بقاعدة مشاهد أمبير. أما الآن فسوف نطور هذه القاعدة شيئا ما.

يجسد مشاهد أمبير على أنه اليد اليمنى، يفترض أنها مغلوقة سوى الأصابع الثلاثة كما هو موضح في الشكل 5 وبذلك :

1. نيوتن (Isaac NEWTON : 1642-1727) عبقرى إنجليزى اهتم بالرياضيات، الفيزياء وعلم الفلك. من أهم اختراعاته المنظار الفلكى، كما أنه صاحب نظرية الجاذبية.



الشكل 5. قاعدة الأصابع الثلاثة

- فالسبابة تشير إلى اتجاه التيار $\vec{I}$.

- والوسطى تشير إلى اتجاه المجال $\vec{B}$.

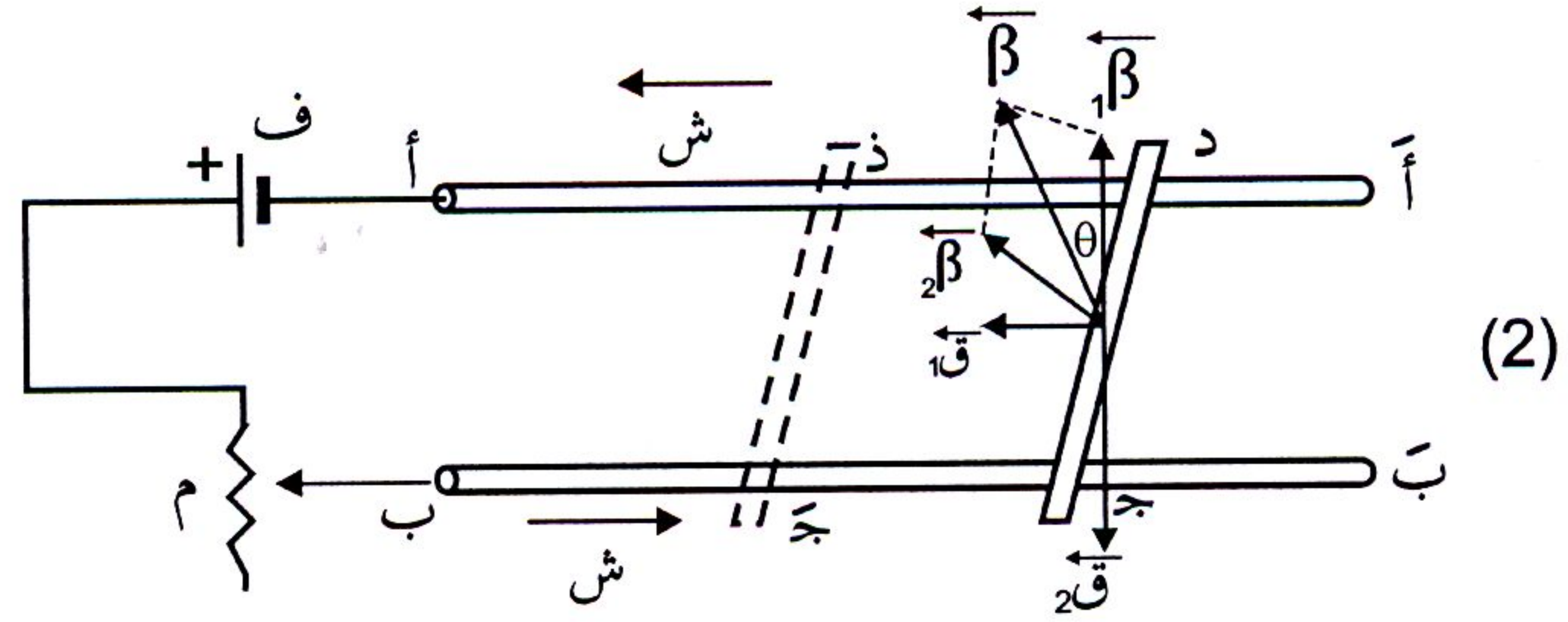
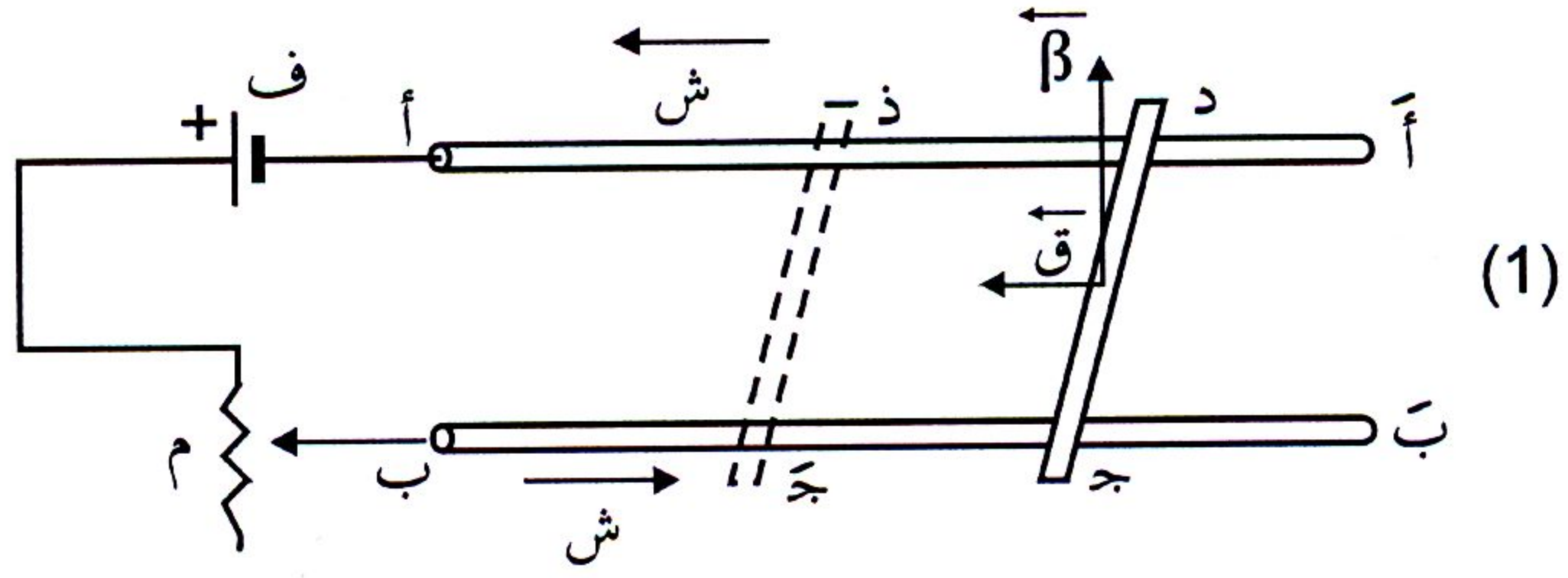
- والإبهام يشير إلى يسار مشاهد أمبير، وعليه فهي إشارة إلى اتجاه القوة الكهرومغناطيسية $\vec{F}$.

وكل هذه الأشعة الثلاثة تكون مستوى متعامد بين كل شعاعين من المعلم، أي تكوين زاوية 90° بين كل شعاعين منها، تماما مثل معلم متعامد ثلاثي الأبعاد.

4. عمل القوى الكهرومغناطيسية

1.4. تعريف

على سلكين ناقلين عديمي الشحنة أ و ب ب متوازيين في شكل سكة حديدية، يوضع قضيب ناقل أسطواناني متحرك جـ د فوق السكة (الشكل 6. 1) حيث يكون عموديا على خطي السكة الحديدية.



الشكل 6. تجربة عمل القوى الكهرومغناطيسية

يوصل السلكان ببطارية ف عبر مقاومة متغيرة م، للتحكم في عبور التيار ش الذي لا علاقة له بوضعية القضيب جـ د على السكتين أ أ و ب ب. يتولد عن السلكتين المتوازيين مجال مغناطيسي منتظم يكون اتجاهه نحو الأعلى، مما يجعل القضيب تحت تأثير قوة كهرومغناطيسية ق عمودية بالنسبة للقضيب المتحرك جـ د، يكون اتجاهها حسب الشكل 6. 1 وعبارتها كالتالي :

$$f = I \cdot l \cdot \beta$$

$$Q = I \cdot l \cdot \beta$$

حيث ل هو طول القضيب جـ د، بالإضافة إلى أن الزاوية المحصورة بين الحث $\vec{\beta}$ واتجاه القضيب جـ د هي $\frac{\pi}{2}$ راديان مما يجعل $\sin \alpha = 1$.

وتحت تأثير هذه القوة $\vec{Q}$ يتحرك القضيب من الوضعية جـ د إلى جـ د' والتي تقدر بمسافة جـ جـ' = س. إذن يكون عمل القوة الكهرومغناطيسية وفق المعادلة التالية :

$$W = f \cdot d$$

$$\text{عم} = Q \cdot S$$

بالتعويض تصبح العبارة كالتالي :

$$W = I \cdot l \cdot d \cdot \beta$$

$$\text{عم} = \text{ش} \cdot \text{ل} \cdot \text{س} \cdot \beta$$

حيث الجداء (ل.س) هي المساحة ع المغطاة أثناء حركة القضيب من جـ د إلى جـ د' أي المساحة (جـ د د' جـ)، وعليه تصبح المعادلة في العبارة التالية :

$$W = I \cdot S \cdot \beta$$

$$\text{عم} = \text{ش} \cdot \text{ع} \cdot \beta$$

2.4. دراسة عامة

قد لاحظت أن الدراسة السابقة تمت لحالة خاصة، عندما يكون $\theta = 1$. وتعميم الدراسة يستوجب علينا أن ندرس الحالة التي يكون فيها الحث دوما منتظما، إلا أنه غير عمودي على مستوى المساحة المدروسة، إذ تظهر زاوية محصورة بين شعاع الحث $\vec{B}$ والمستقيم العمودي على المستوى (الشكل 6. 2).

في هذه الحالة فإن الحث $\vec{B}$ هو شعاع محصل لمكوّنتين، إحداهما عمودية على مستوى المساحة ع وهي الحث العمودي $\vec{B}_1$ ، والأخرى موازية لهذه المساحة وهي الحث المماسي $\vec{B}_2$.

يمارس الحث المماسي $\vec{B}_2$ على السلك الناقل أ أ قوة دفع $\vec{Q}_2$ عمودية على مستوى المساحة ع = جـ د د جـ، وهو الشيء الذي يجعل العمل الذي تنجزه هذه القوة معدوما باعتبار أن $\sin \frac{\pi}{2} = 0$.

وأما الحث العمودي $\vec{B}_1$ فيمارس على السلك الناقل أ أ قوة دفع $\vec{Q}_1$ ، تحتوي على نفس خاصيات القوة المدروسة في الفقرة السابقة $\left(\frac{\pi}{2} = \alpha \right)$. فيتحرك القضيب جـ د نحو جـ د'، الشيء الذي يبعث على إنجاز عمل مطابق لما درس في الفقرة السابقة، إلا أنه ينجز بواسطة القوة $\vec{Q}_1$. وعليه فكل العمل المنجز من طرف مكونتي الحث $\vec{B}$ يقتصر على عمل المكونة العمودية $\vec{B}_1$ ، وعبارته هي :

$$W = I \cdot S \cdot \beta_1 \quad \text{عم} = \text{ش} \cdot \text{ع} \cdot \beta_1$$

حيث ع = ل . س، وهي المساحة المغطاة أثناء حركة القضيب المعدني جـ د، وبما أن $\beta = \beta_1$ تجب θ ، يمكن صياغة هذه المعادلة على الشكل التالي :

$$W = I \cdot S \cdot \beta \cos \theta \quad \text{عم} = \text{ش} \cdot \text{ع} \cdot \beta \cos \theta$$

وهي الصيغة العامة للعمل المنجز من قبل قوة $\vec{Q}$ على مسافة س، وتلاحظ أنها صالحة للحالة الأولى (عم = ش ع β) عندما يكون الحث عموديا وموازيا للمستوى العمودي أي $\theta = 0$.

5. فيض الحث

1.5. تعريف

تلاحظ من خلال الشكل 6. 1، أن الحث يتجه دوما نحو يسار مشاهد أمبير. بالإضافة إلى أن العمل الذي تنجزه قوة لابلاس $\vec{Q}$ ، مرتبط بالمسافة المقطوعة — وهي موجبة — فإن الفيض العابر للمساحة أ ب ج د موجبا كذلك.

كلما تحرك القضيب من ج د إلى ج د فإن الحث يغطي مساحة متزايدة، وعليه فالفيض متزايد كذلك. تكتب الكمية المضافة من الفيض وفق المعادلة التالية :

$$\Phi = \beta . d . I$$

$$\Phi = \beta . S . I$$

$$\Phi = \beta . S$$

$$\Phi = \beta . S . I$$

وعليه فالعمل المنجز عبر المسافة ج د = س بواسطة القوة $\vec{Q}$ هو :

$$W = \Phi . I$$

$$W = \Phi . S . I$$

$$W = \beta . I . S$$

$$W = \beta . S . I . S$$

حيث :

— Φ هو فيض المساحة التي قطعت : Φ [بر]

— S هي شدة التيار العابر : S [آ]

— W هو العمل المنجز خلال المسافة س من طرف $\vec{Q}$: W [جول]

والدراسة مماثلة تماما للشكل 6. 2، إلا أنه يجب الأخذ بعين الاعتبار الزاوية المحصورة بين شعاع الحث $\vec{B}$ والمستقيم العمودي على المساحة المغطاة، حيث الفيض المغطى بواسطة الحث $\vec{B}$ هو :

$$\Phi = S \cdot B \cos \theta \quad \Phi = E \cdot B \cos \theta$$

حيث الكمية ($B \cos \theta$) هي المكونة العمودية للحث $\vec{B}$ وهي الوحيدة — دون المكونة المماسية — المتسببة في إنجاز عمل عبر المسافة S بواسطة القوة المماسية Q_1 ، دون القوة العمودية Q_2 . وعليه فعبارة العمل في هذه الحالة هي :

$$W = I \cdot S \cdot B \cos \theta \quad \text{عم} = \text{ش} \cdot E \cdot B \cos \theta$$

2.5. مفهوم الحث الكهروالمغناطيسي

لحد الآن تمت دراسة فيض ثابت غير متغير، فماذا يحدث لو أن الفيض خضع لتغيرات قد تصغر أو تكبر ؟

عن كيفية تغير الفيض، سوف تجد تفصيلاته في الفصل 9، وأما الآن فسوف تقتصر الدراسة على فرضية أن الفيض متغير بالنسبة لمساحة معينة. ولعل أهم ميزة يختص بها الفيض المتغير هو قابليته في حالة تواجده داخل دائرة مغلقة، على توليد تيار يعبر هذه الدائرة دون وجود لمنبع يولد هذا التيار. يعرف مثل هذا التيار بالتيار المستحث.

يرتبط ظهور التيار المستحث بظهور تغيرات في الفيض، إذ بمجرد ظهور تغيرات الفيض، يعبر التيار المستحث الدائرة المغلقة. وحالة انعدام تغيرات الفيض ينعدم التيار المستحث حتى وإن كان الفيض ضخما جدا، إلا أنه ثابت غير متغير.

إن الدارة المغلقة الخاضعة لتغيرات الفيض يعبرها تيار مستحث، يرجع سبب سيلائه عبر هذه الدارة إلى قوة اصطلاح على تسميتها بالقوة الكهرومغناطيسية للحث، حيث زمن مفعولها يعادل زمن وجود الفيض المتغير. وعليه فلبه زمنية صغيرة تمتد من ز إلى غاية (ز + تفا ز)، فإن الفيض يتغير بكمية صغيرة جدا هي تفا Φ . وتعريف القوة الكهرومغناطيسية للحث في اللحظة ز هو :

$$e = - \frac{d \Phi}{d t} \quad \text{قم} = - \frac{\text{تفا } \Phi}{\text{تفا ز}}$$

ومنه فإن القوة قم، والمحسوبة بوحدة نيوتن، هي عبارة عن القيمة المطلقة لمشتق الفيض Φ بالنسبة للزمن ز. وأما الإشارة (-) فتعود لقانون لتر الذي نتعرض له بحول الله تعالى في الفصل 8.

تمرين

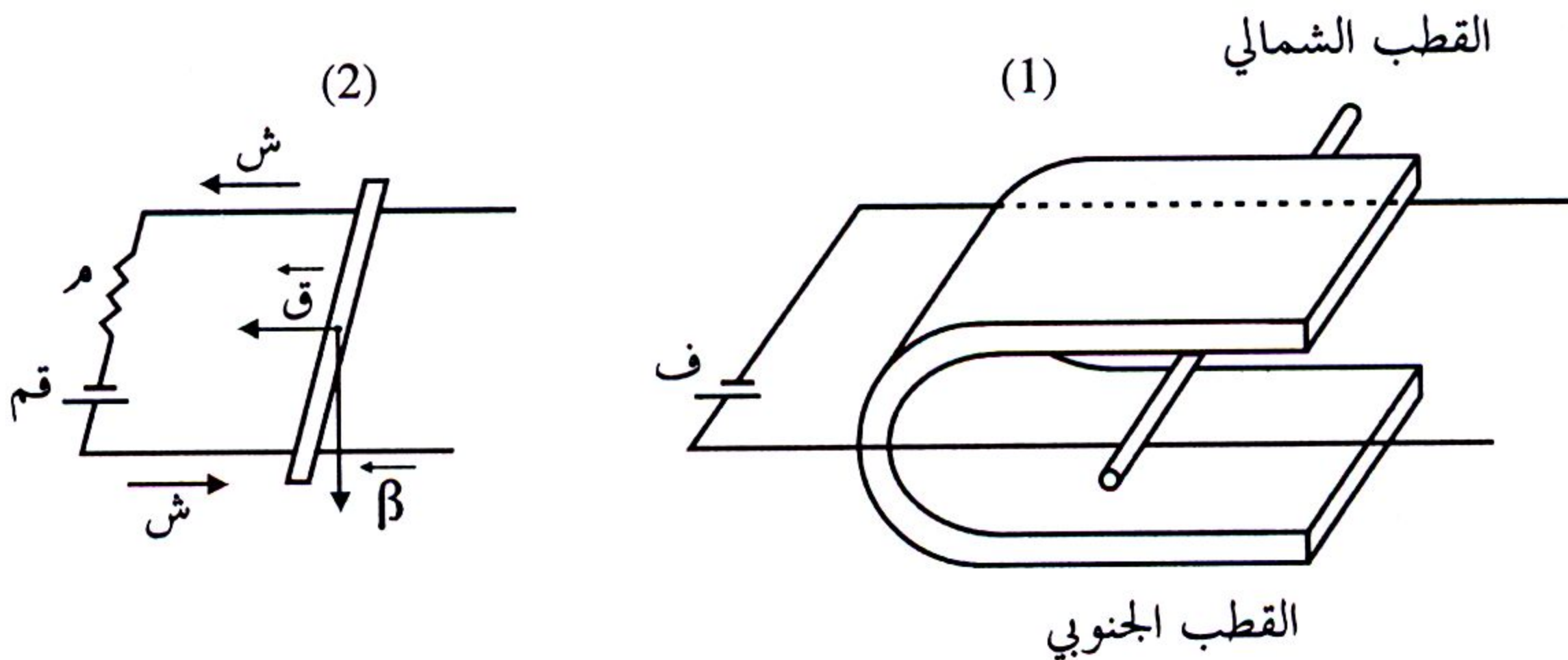
تركيب كهربائي يحتوي على سكة حديدية متوازية مهملة المقاومة، بطارية حيث مقاومتها الداخلية 1 أوم وقوتها الكهرومحرركة قم = 10 فولط موصولة مباشرة بالسكة الحديدية، التي يوضع فوقها قضيب معدني عموديا عليها، طوله 10 سم ومقاومته 1 أوم. يحيط بالقضيب المعدني مغناطيس دائم (الشكل 7.1)، يمتاز بأن مجاله المغناطيسي منتظم في كل فضاء الفولاذ، واتجاهه يكون نحو الأسفل وشدته تعادل 0,2 تسلا.

1. ما هو اتجاه وشدة التيار العابر للتركيب ؟

2. ما هو اتجاه ومقدار قوة لابلاس ؟

3. أحسب عمل قوة لابلاس لو تمكنت من تحريك القضيب على

مسافة 20 سم.



الشكل 7. التمرين المحلول

الجواب

1. تحديد اتجاه التيار I يكون بواسطة قطبية البطارية F ، إذ انه يخرج من القطب الموجب ويعبر البطارية من القطب السالب. وأما شدته فتتم بواسطة قانون أوم (الشكل 7.2)، أي :

$$I = \frac{e}{R}$$

$$I = \frac{e}{R}$$

حيث المقاومة R هي المقاومة المكافئة للتركيب كله، وعليه $R = R_1 + R_2$ ، حيث R_1 هي المقاومة الداخلية للبطارية و R_2 هي مقاومة القضيب، وبذلك فالشدة هي :

$$I = \frac{e}{r + R_1} [A]$$

$$I = \frac{10}{2} = \frac{10}{1+1} = 5 \text{ ش}$$

وعليه $I = 5$ أمبير.

2. تحديد اتجاه قوة لابلاس يكون بواسطة قاعدة الأصابع الثلاثة لليد اليسرى، ومنه اتجاهها كما يوضحه الشكل 7.2. فهي عمودية على الحث $\vec{B}$ وعمودية كذلك على الشدة $\vec{I}$ ، وأما مقدارها فيحدد بواسطة قانون لابلاس، أي :

$$f = I \cdot l \cdot B \cdot \sin \alpha$$

$$Q = I \cdot l \cdot B \cdot \sin \alpha$$

حيث $l = 10$ سم هو طول القضيب المعدني و α هي الزاوية المحصورة بين الشعاع $\vec{\beta}$ ومحور الشدة $\vec{S}$ (السكة الحديدية) وهي تعادل $\alpha = \frac{\pi}{2}$ ، ومن ذلك جب $\alpha = 1$. وأما الحث $\beta = 0,2$ تسلا، وعليه $Q = 0,1$ نيوتن.

3. العمل المنجز خلال المسافة $s = 20$ سم من طرف قوة مقدارها $0,1$ نيوتن هو :

$$W = I \cdot \beta \cdot S \cdot \cos \theta = F \cdot x \quad \text{عم} = \text{ش} \cdot \beta \cdot \text{ع} \cdot \text{تجب} \theta = \text{ق} \cdot \text{س}$$

حيث ع هي المساحة المغطاة من قبل القضيب المعدني المتحرك، أي $\text{ع} = l \cdot s$ ، بالإضافة إلى أن θ هي الزاوية المحصورة بين الشعاع $\vec{\beta}$ والمستقيم العموي ($\theta = 0$) وعليه $\text{تجب} \theta = 1$. ومن ذلك، فالعمل المنجز خلال المسافة $s = 20$ سم هو :

$$W = F \cdot x = 0,02 \text{ J} \quad \text{عم} = \text{ق} \cdot \text{س} = 0,02 \text{ جول}$$

مسائل

1. متى يحدث تجاذب أو تنافر مجالين مغناطيسيين ؟ اشرح.
2. كيف يتفاعل سلك ينقل تيارا كهربائيا، خاضعا لمجال مغناطيسي خارجي ؟ اشرح.
3. ما نص قانون لابلاس ؟ كيف يحدد اتجاه القوة الكهرومغناطيسية ؟

4. مفعول قوة لابلاس على جسم متحرك على مسافة محددة ينجز عملاً. ما تعريفك لهذا العمل المنجز؟ أدرس النظام من كل جوانبه.
5. ما مدى تأثير الفيض المغناطيسي في تحديد القوة الكهرومغناطيسية؟
6. ما هو اتجاه القوة والحث لو كان التيار يتدفق في الاتجاه المعكوس من الشكل 6.1؟ ما هي عبارة مقدار القوة؟
7. نفس السؤال لو كان اتجاه التيار عكس ما هو عليه في الشكل 6.2.
8. قطعة سلك طولها 50 سم تنقل تياراً كهربائياً شدته 60 أمبير تخضع لمجال مغناطيسي، حيث الحث يتسبب في توليد قوة عمودية على المستوى المكوّن من شعاع الحث والسلك مقدارها 40 نيوتن. أحسب زاوية إنحاء شعاع الحث عن السلك إن كانت شدته 2,0 تسلا؟
9. أحسب عمل القوى الكهرومغناطيسية من الشكل 6 إذا عبر السكة الحديدية تيار شدته 10 أمبير، والمجال المغناطيسي حثه عمودياً شدته 0,025 تسلا، مما يتسبب في حركة القضيب فيغطي مساحة 0,01 سم².
10. قضيب نحاسي يتحرك عبر سكة حديدية، نحاسية كذلك، متوازية موصولة بمنبع مستمر قوته الكهرومحرّكة 10 فولط ومقاومته الداخلية $\Omega 0,12$ (الشكل 7.1). يحتوي القضيب النحاسي والسكتان على مساحة المقطع العرضي قدرها 0,5 سم²، وطول القضيب 20 سم بينما طول السكتين 50 سم. توصل

السكتان بالمنبع ف بواسطة سلك ناقل من مادة النحاس، طوله 50 سم وعرض مقطعه 0,5 مم².

1. أحسب شدة التيار العابر للتركيب، علما أن مقاومة النحاس هي $\rho = 1,72 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{م}$.

2. يحاط القضيب المعدني بواسطة مغناطيس دائم في شكل حدوة حصان (الشكل 7. 1)، فيتسبب في توليد قوة تدفع القضيب مسافة 10 سم داخل فضاء الفولاذ. احسب العمل المنجز إذا كان الحث يعادل 0,01 تسلا. استنبط قوة لابلاس (اتجاهها ومقدارها) إن كان الحث عموديا نحو الأسفل.

11. قضيب نحاسي طوله l يتحرك عموديا ودون احتكاك فوق سكة حديدية متوازية، التي توصل بمنبع ف يولد تيارا يعبر الدارة المكونة. يخضع القضيب النحاسي لمجال مغناطيسي منتظم في شكل حدوة حصان حثه β ، حيث طرفاه متوازيان بالنسبة للسكة الحديدية.

1. أثبت أن القضيب الساكن، يتحرك بمجرد مرور تيار عبر الدارة. بين اتجاه الحركة.

2. يمتاز المنبع ف بخصائص هي أن القوة الكهرومحرركة $Q = 6$ فولط ومقاومته الداخلية $R = 1$ أوم، في حين بقية مكونات الدارة مقاوماتها مهملة. يربط خيط في وسط القضيب النحاسي يكون موازيا للسكة الحديدية وذلك لاستبقاء القضيب في توازن دائم. استخرج توتر الخيط بدلالة Q ، R ، l و β . أحسب مقدار هذا التوتر إن كان $l = 4$ سم و $\beta = 0,1$ تسلا.

12. تركيب مماثل للشكل 7. 1 يحتوي على سكة حديدية متوازية مقاومتها مهمة، توصل بمنبع مستمر قوته الكهرومحرركة 4 فولط ومقاومته الداخلية $\Omega = 0,5$. يوضع قضيب معدني، طوله 10 سم، فوق السكة الحديدية إذ يمكنه التحرك عبرها دون أي احتكاك.

1. يوضع النظام كله داخل مجال مغناطيسي منتظم $\vec{B}$ ، اتجاهه نحو الأعلى وشدة 0,2 تسلا. أرسم التركيب موضحا كل الأشعة بما فيها اتجاه التيار. أحسب العمل الذي تنجزه القوة الكهرومغناطيسية عندما يتحرك القضيب على مسافة 15 سم. تأكد من العلاقة $\text{عم} = \text{ش} \cdot \Phi$ بإيجاد تغيرات الفيض.

2. يوضع الآن النظام داخل مجال مغناطيسي منتظم $\vec{B}$ نحو الأعلى عمودي على القضيب إلا أنه يكون زاوية 30° مع المستقيم العمودي، وشدة $\beta = 0,2$ تسلا. أرسم التركيب من جديد مع توضيح كل الأشعة، ثم ابحث عن مقدار قوة لابلاس. أحسب العمل الذي تنجزه هذه القوة عندما يقطع القضيب مسافة 15 سم. تأكد من أن العلاقة $\text{عم} = \text{ش} \cdot \Phi$ دوما صالحة.

المغناطية الحديدية

تعرف المغناطية الحديدية على أنها مجموعة من الخصائص والميزات المغناطيسية التي تبيها بعض المواد كخاصية المحتفزية مثلاً أو التخلفية.

1. النفاذية النسبية

رأينا فيما سلف أن خطوط القوة المغناطيسية تتكثف وتتركز حول قطبي القضيب المغناطيسي، في حين يقلص عددها في وحدة مساحة مرجعية بابتعادنا عن القطبين. وكذلك الحال بالنسبة لمغناطيس حدود الحضان، فخطوط القوة مركزة ومحصورة بين طرفي الحدود مما ينجم عنه تركيز المجال المغناطيسي المنتظم.

فنستنتج من هذه الملاحظات أن هناك موادا تساهم بفعالية وبصفة مباشرة في تركيز خطوط القوة المغناطيسية، ومنه نستخلص أن قابلية الاستعداد لتركيز الفيض المغناطيسي تسمى النفاذية. كل مادة يسهل تمغنطها تكون نفاذيتها أكبر، وهذا لسهولة تركيز خطوط القوة بواسطة الحث.

النفاذية النسبية هي نفاذية مادة معينة مقارنة بنفاذية مادة مرجعية، كالهواء أو الفراغ. فمثلا في نقطة من فضاء مجال مغناطيسي، قيست كثافة الفيض للهواء فوجدت أنها تعادل 0,2 ميلي تسلا، ثم وضعت وشيعة ذات نواة حديدية في نفس النقطة المدروسة من المجال، فوجدت كثافة الفيض تعادل 20 ميلي تسلا. النفاذية النسبية للوشيعة ذات النواة الحديدية إذن $\mu_r = 100$.

2. تصنيف المعادن

عندما نتطرق إلى تصنيف المواد على أنها مغناطيسية أو غير مغناطيسية، فإننا في حقيقة الأمر نقارنها بالخواص المغناطيسية للحديد. ومن ذلك يظهر تصنيف يشمل كل المعادن، كما أن هناك عناصر كيماوية من جدول مندلياف غير معدنية تدخل في هذا التصنيف.

1.2. المواد مجانبة التمغنط

وهي المواد التي تكون نفاذيتها أقل من واحد وتشمل البزموت، الإثمد، النحاس، الذهب، الفضة، الزئبق والزنك. تمتاز هذه المواد بضعف تمغنطها، فهي تتمغنط في الاتجاه المعاكس لاتجاه المجال الذي وضعت فيه. كما يمكن تصنيف بعض الغازات، السوائل والمواد الصلبة كمعاد مجانبة التمغنط كالرصاص والبترين والنفثالان. فالمادة مجانبية التمغنط لا تجذب نحو القطب الذي يولد المجال، ولكن تدفع نحو المناطق التي يكون فيها الحث ضعيفا.

2.2. المواد متسامية التمغنط

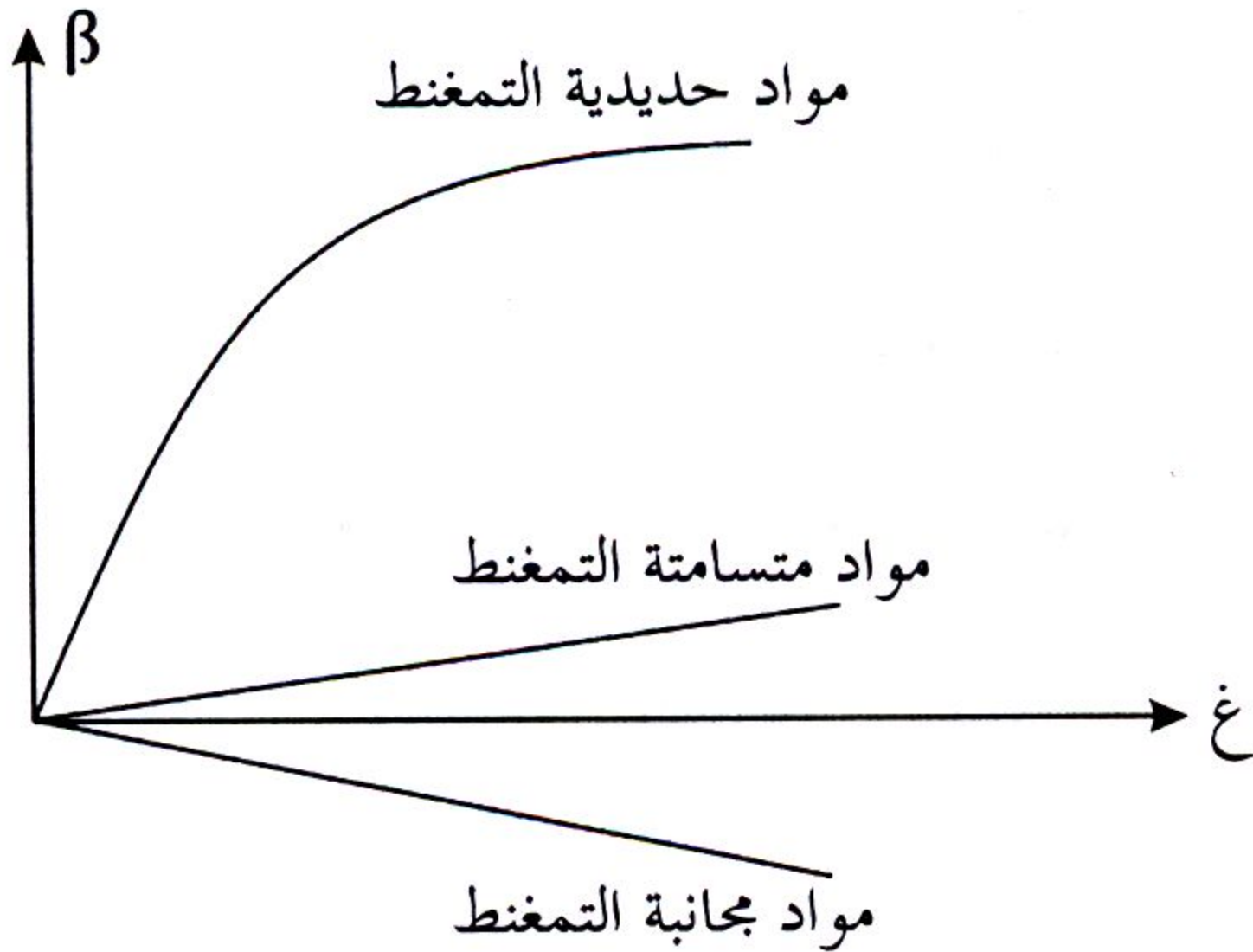
يتميز هذا الصنف بنفاذية تجاور الواحد بقيم موجبة، ويضعف تمغنطها في اتجاه المجال الذي وضعت فيه. ويكون تمغنطها متناسبا مع المجال الذي وضعت فيه، وفي نفس اتجاه هذا المجال. من بين هذه المواد نجد الألمنيوم، البلاتين (الذهب الأبيض)، المنغائز، الكروم، الأكسجين، الأوزون، الصوديوم، البوتاسيوم، البلاديوم.

3.2. المواد حديدية التمغنط

وتشمل الحديد، الصلب، النيكل، الكوبلت، الغدولينيوم، وكل خليط مستخرج من المعادن. خاصيات هذه المعادن أنها تصبح ممغنطة بقوة في نفس اتجاه المجال الذي وضعت فيه هذه المواد، كما أن نفاذيتها كبيرة جدا تصل إلى 5000.

مغنطة هذه المواد أقوى بكثير

من مغنطة المواد متسامية التمغنط أو مجانبية التمغنط (الشكل 1)، التي بغياب المجال الممغنط تختفي مغنطتها على عكس المواد حديدية التمغنط، إذ يبقى آثارها شيئا ما بعد إزالة وعزل المجال الممغنط المتسبب في المغنطة الأولى.



الشكل 1. منحني خاصية المغنطة

3. خاصيات المغنطية الحديدية

1.3. تأثير المغنطة

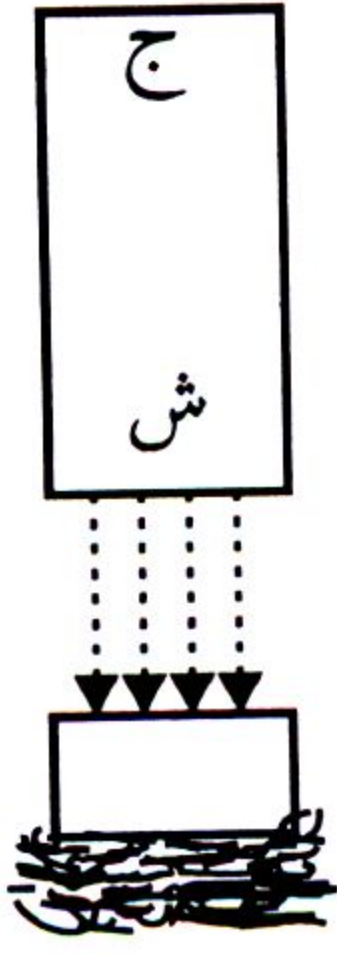
المجال المغناطيسي وراء كل الظواهر المغناطيسية، والذي هو في حقيقة أمره عبارة عن تحرك الشحنات الكهربائية، ومبدأ تحرك الإلكترونات داخل الذرة دليل قاطع على ذلك.

تحتوي المواد حديدية التمغنط على مغنطة عالية جدا، زيادة على أن مغنطتها ليست متناسبة مع المجال الممغنط الذي وضعت فيه، كما هو الحال بالنسبة للمواد متسامية ومجانبة التمغنط، فهي تتزايد مع المجال وتتناهى إلى نهاية محددة — وهي الحد الأقصى — تدعى مغنطة الإشباع (الشكل 1).

المغنطة ليست دالة معرفة للمجال الممغنط ولكنها ترتبط بماضي العينة المدروسة، أي ما يبقى من تأثير المجالات المغناطيسية التي كانت فيها هذه العينة. وبصفة عامة، المغنطة هي كل أنواع التأثيرات التي تعرضت لها هذه العينة من معالجة مغناطيسية، ميكانيكية أو حرارية. هذه النتائج السابقة لماضي العينة المدروسة تعرف بظاهرة التخلفية، وإليك هذا المثال :

2.3. المغنطة الآنية

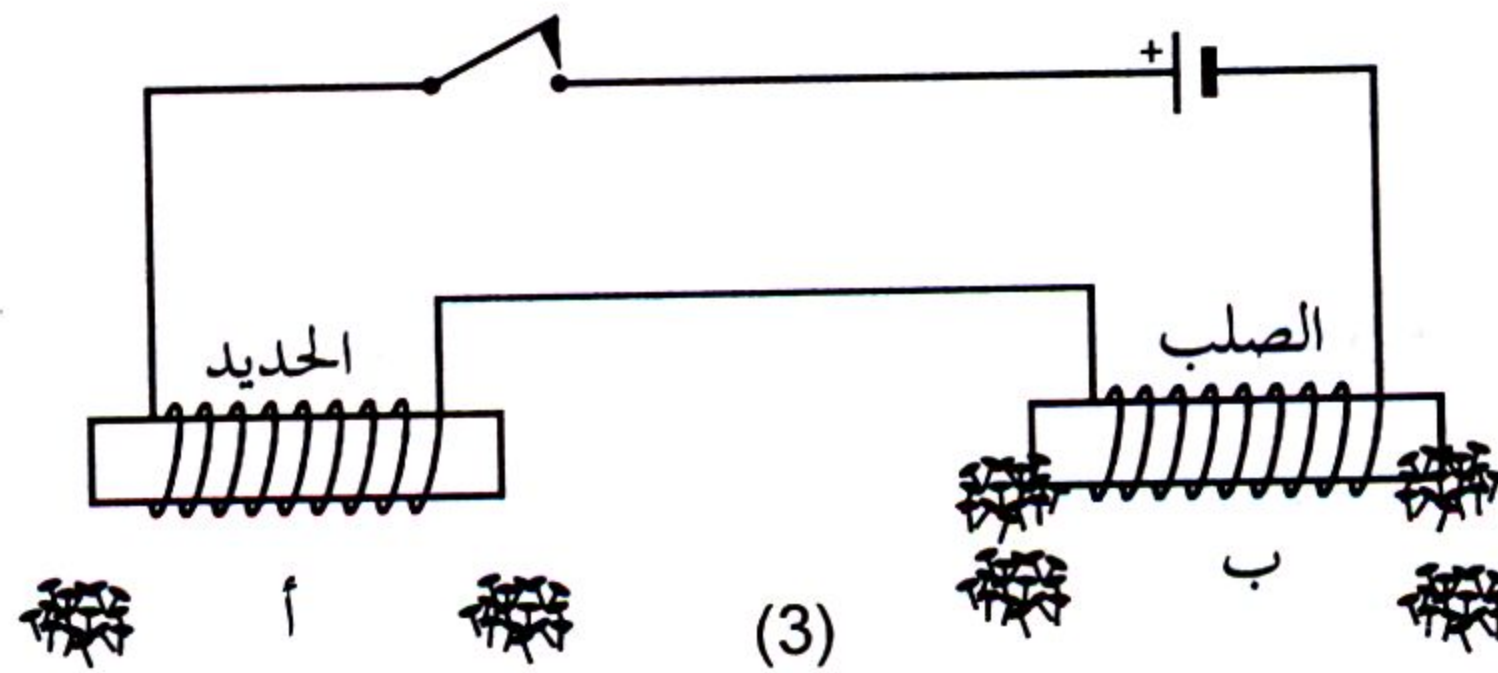
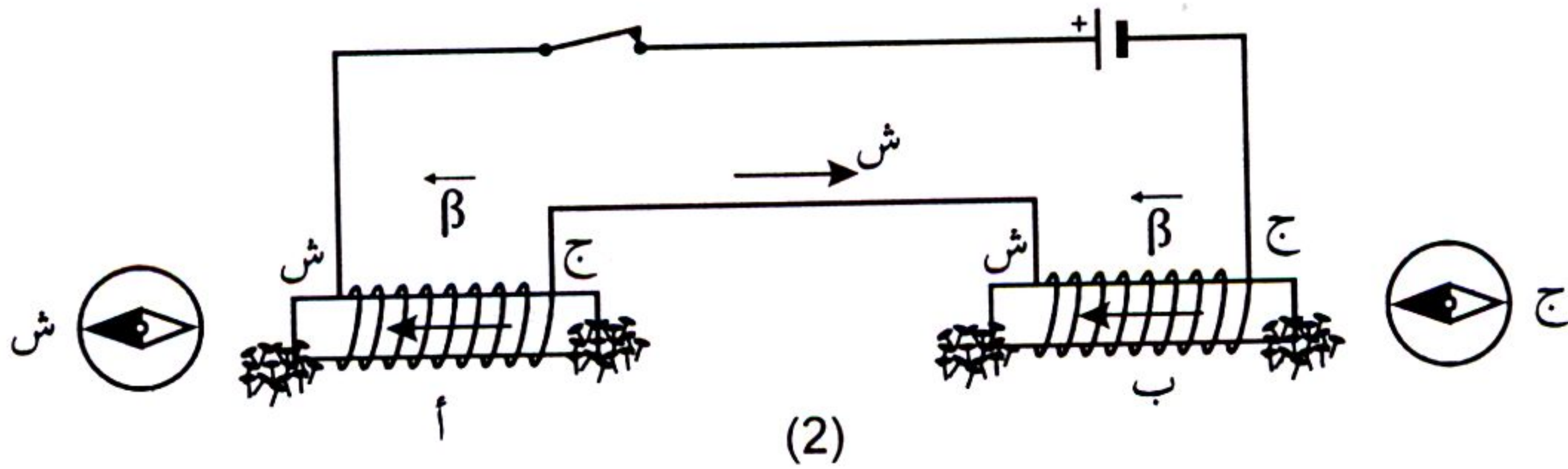
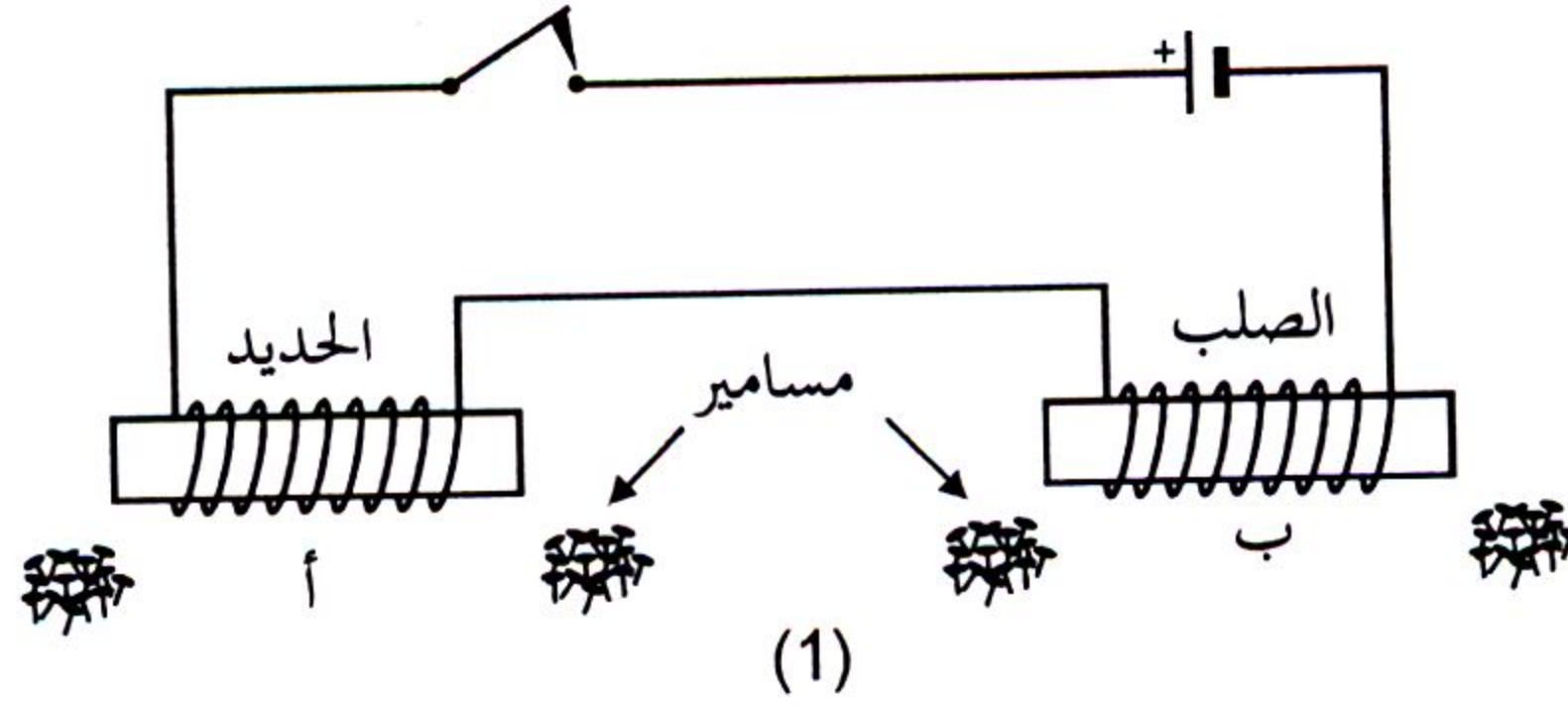
في تعريفنا للحث، رأينا أن وضع قطعة حديدية أمام مغناطيس يكسب هذه القطعة الحديدية خاصيات المغناطيس، أي أنها تصبح بدورها مغناطيسا يولد هو الآخر مجالا مغناطيسيا يبقى مرتبطا بخاصيات المجال الأصلي. فلو توضع



برادة الحديد على مقربة من هذه القطعة الحديدية (الشكل 2)، فسوف تنجذب نحوها، مما يدل على مغنطة الحديد. فهل الأمر مماثل لمادة من الصلب ؟

تدرس أهم المواد حديدية التمغنط — وهي

الحديد الناعم والحديد الصلب — على وجه الشكل 2. مغنطة الحديد الخصوص لكثرة استعمالهما دون غيرهما، وذلك قصد استخراج خاصيات مغنطتهما. ومن ذلك تقام التجربة التالية المثلة في الشكل 3. 1.



الشكل 3. مغنطة الحديد والصلب

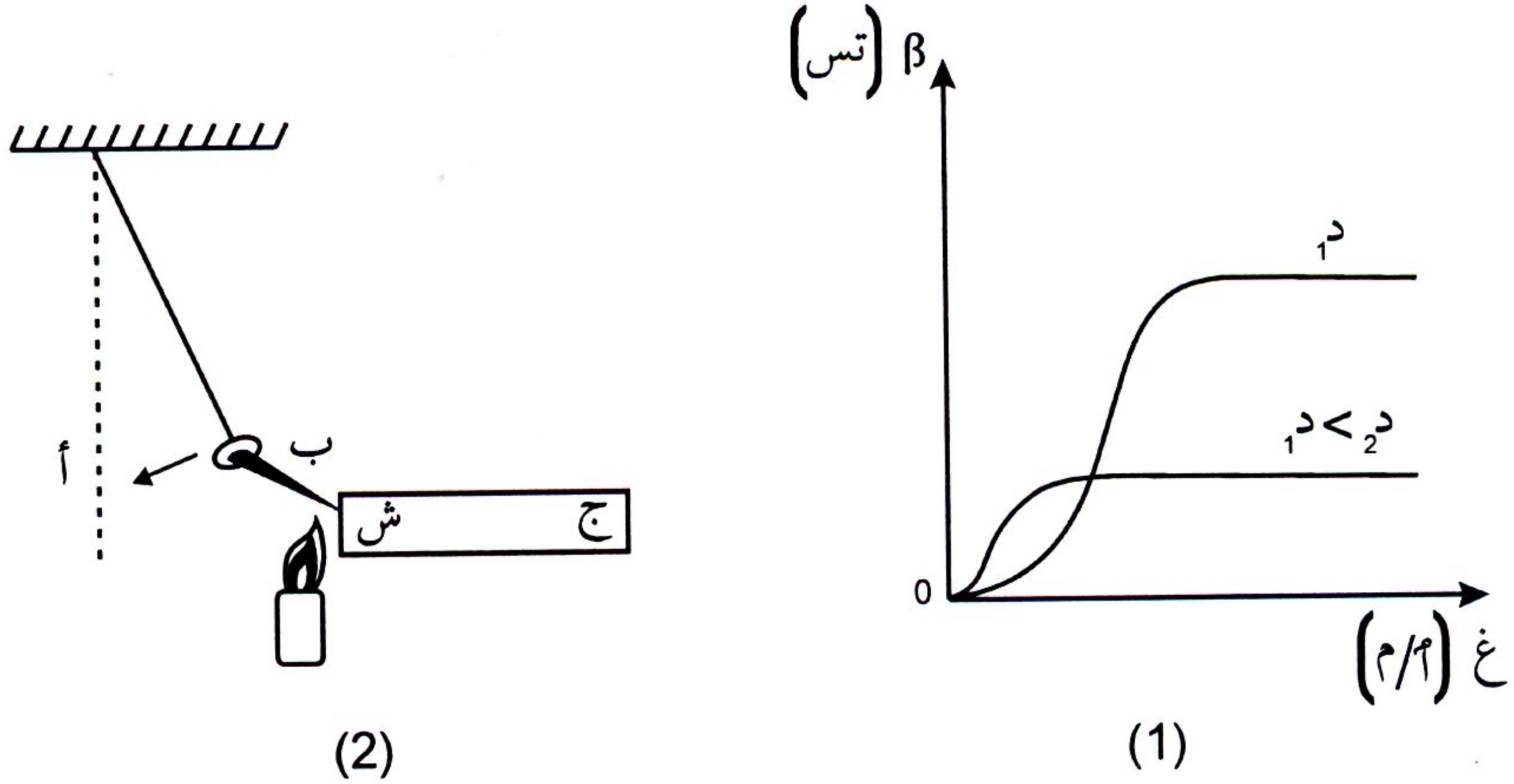
يولج قضيب حديدي داخل حلزون مفرغ أ، وآخر من مادة الصلب داخل حلزون ب. فإذا أغلقت قاطعة الدارة (الشكل 3. 2)، يعبر تيار شدته ش الوشيعتين وينتج عن ذلك أن تجذب المسامير نحو طرفي الوشيعتين. فيستنتج أن عبور التيار نتج عنه مغنطة آنية عبر الوشيعتين ويتم تحديد وجهي الوشيعتين بواسطة بوصلة توضع على مقربة من الطرفين، حيث يتبين جلياً أن قطب القضيب مطابق تماماً لقطب حلزون. ومنه يسهل تحديد اتجاه الحث $\vec{B}$... وهو من الجنوب نحو الشمال.

وأما إذا فتحت القاطعة من جديد (الشكل 3. 3)، ينعدم التيار في الحين وتسقط كل المسامير اللاصقة بالنواة الحديدية، بينما تبقى نسبة من هذه المسامير مشدودة إلى طرفي نواة الصلب، فيستنتج أن مغنطة الحديد آنية، وتزول فور زوال المجال الذي تولدت عنه. وبالمقابل، فإن مغنطة الصلب آنية كذلك، إلا أن زوالها لا يكون آنياً، بل نسبة من هذه المغنطة يحتفظ بها عبر مادة الصلب... خلاف الحديد.

كل المواد المعدنية التي تتصف بميزات مغناطيسية تشبه ميزات الحديد تدعى مواداً حديدية التمغنط، وهي مواد قوية التمغنط حتى داخل مجال مغناطيسي ضعيف نسبياً. ومن خاصيات المواد حديدية التمغنط كذلك، أنها تفقد ميزاتها المغناطيسية بحضور حرارة عالية محددة لكل مادة حديدية التمغنط، كيف ذلك ؟

3.3. تأثير الحرارة

لمعرفة كيفية تمغنط مادة معينة حديدية التمكن بدقة، يلجأ عادة إلى رسم منحنى المغنطة الأولى، وهو منحنى يمثل تغيرات الحث β بدلالة شدة المجال الممغنط H عندما يتزايد انطلاقاً من النقطة الابتدائية، الصفر (الشكل 4. 1).



الشكل 5. تأثير الحرارة على مغنطة مادة معينة

من خلال هذا الشكل، يتضح لنا جلياً أن مغنطة الإشباع مرتبطة بمادة صنع العينة المدروسة، كما أنها ترتبط بالحرارة مباشرة. فزيادة الحرارة (D_1) ثم (D_2)، تظهر جلياً أنه من جهة تتناقص مغنطة الإشباع ومن جهة أخرى فهي مسجلة لشدة مجال H أضعف. وبلوغ درجات حرارة شيئاً ما مرتفعة، قد تختفي ربما المغنطة الحديدية تماماً، وهذا حسب الأجسام والمواد المستعملة. وفي الشكل 4. 2، تجربة توضح ذلك.

1. مفهوم في غاية الأهمية، يعالج في الفصل القادم.

يعلق مسمار من رأسه بخيط في النقطة أ. عندما يوضع مغناطيس بالقرب من المسمار فهو ينجذب نحو المغناطيس في النقطة ب، ولو تسلط نار على المسمار حتى يحمر، فسوف ينفصل عن المغناطيس ويستعيد نقطة توازنه أ، فما تعليقك ؟

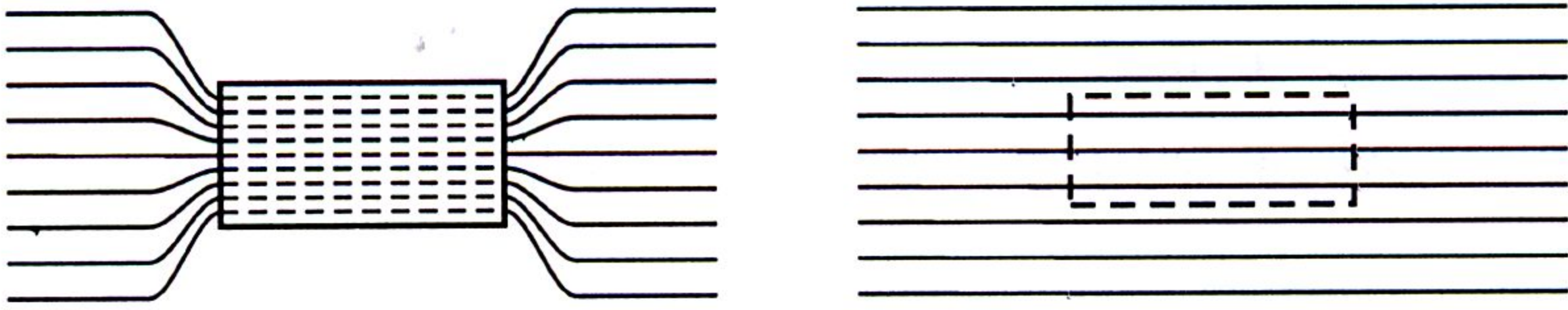
إن الجسم الذي يتعرض لحرارة مرتفعة جدا يفقد خاصيات المغنطة الحديدية، ويتصرف عندها كمادة متسامتة التمغنط. وحين يبرد المسمار، يستعيد خاصياته الأصلية فيجذبه المغناطيس من جديد نحو النقطة ب، وهذه الطريقة لعزل الخاصيات المغناطيسية عن مادة معينة، تستعمل لإزالة المغنطة عن الأجسام، وذلك بتعرضها لحرارة عالية جدا (أعلى من 775 درجة مئوية بالنسبة للحديد وأكثر من 800 درجة مئوية بالنسبة للصلب) ثم تترك لتبرد جيدا بعيدا عن كل تأثير مغناطيسي.

4.3. الفائدة العملية

تبرز المواد حديدية التمغنط أهمية كبرى، فهي ذات فائدة عظيمة في العلوم الصناعية وما ينجر عنها من تقنيات في تصميم وصناعة الأجهزة والمحركات. فقد سمحت الخاصيات الفنية لهذه المواد بصناعة المحركات الكهربائية، أجهزة القياس، الكهرومغناطيسات، المغناطيسات الدائمة، إلخ. وفي الجزء الرابع من هذه السلسلة معالجة لبعض هذه الخاصيات الفنية... وعموما فهي تستعمل عادة لتحقيق دارات مغناطيسية. كيف ذلك ؟

1. تركيز خطوط القوة

إن تبدل المجال المغناطيسي يكاد أن يكون جذريا عند وضع مادة حديدية التمتع داخله (الشكل 5. 1). لماذا ؟ لأن خطوط القوة تختار دوماً المسار المتميز بأضعف مقاومة، ومن ثم تعدل خطوط القوة المغناطيسية تماماً لتتكثف وتتركز داخل هذه المادة، الشيء الذي يكسبها تمغناطاً هائلاً داخلها.

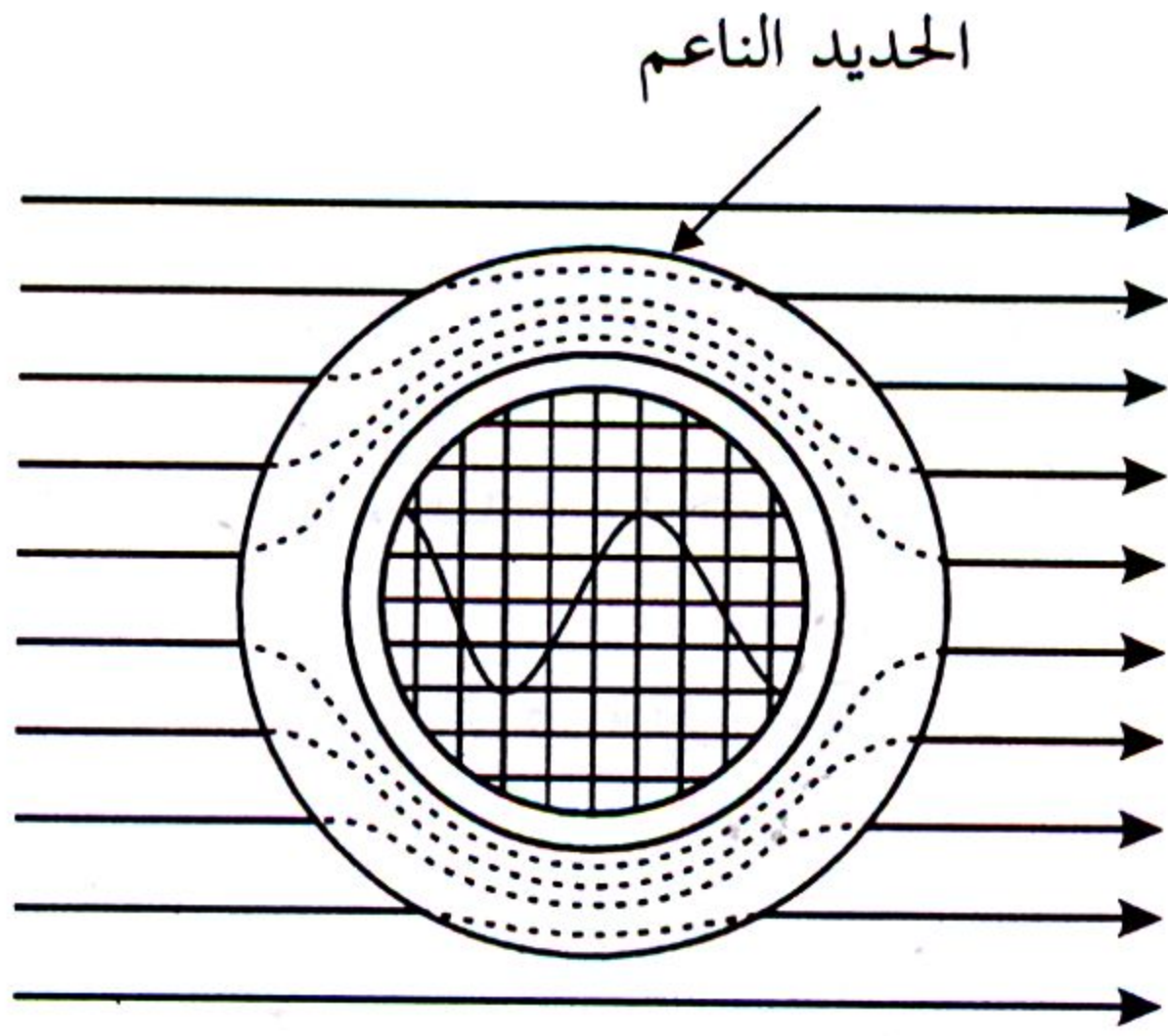


(1) الشكل 5. كيفية تركيز خطوط القوة (2)

ويكون بذلك الحث في نقطة معينة هو محصلة المجال الحث (الأصلي) والمجال الناجم عن تمغنت المادة المدروسة. وفي الشكل 5. 2، تلاحظ جيداً أن خطوط القوة المغناطيسية وكأنها جمعت في قناة حديدية التمتع، مما يكسبها شدة أكبر في الفيض والحث... وهي تقنية تستعمل أساساً لصنع المحركات الكهربائية.

2. تحريف خطوط القوة

كما أن المواد الحديدية التمتع تستعمل كدرع معدني واق من كل التأثيرات المغناطيسية، فهي تقنية تستعمل لاجتناب الخطأ والتشويه عند أخذ القياس الكهربائي. كيف ذلك ؟

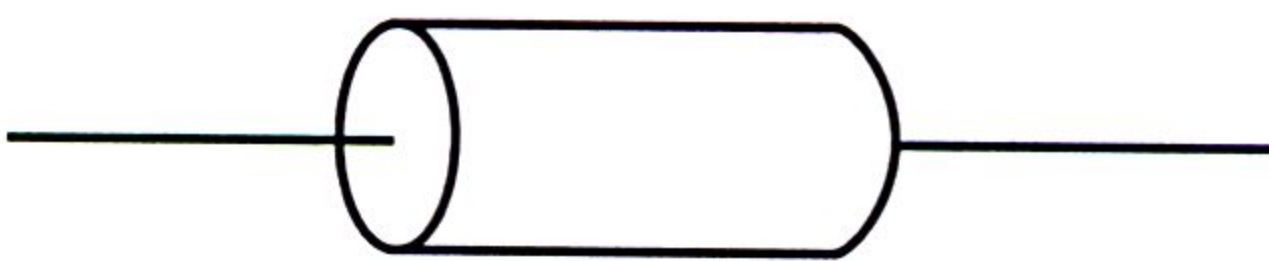


الشكل 6. كيفية عزل راسم الاهتزازات عن التأثيرات المغناطيسية

إن وجود الحديد داخل دائرة مغناطيسية يعدل في مسار خطوط القوة، وهي الخاصية المستعملة قصد تحريف خطوط القوة المغناطيسية عن أجهزة القياس، مثل شاشة راسم الاهتزازات الممثلة في الشكل 6، وذلك قصد عزل هذه الأجهزة عن أي تأثير للمجالات المغناطيسية.

4. المغناطيسية الذاتية لمركبات الحديد

توصل الخبراء مؤخرا إلى اكتشاف مواد تصنع من الخزف تتميز بخصائص المواد حديدية التمعنط، إذ تحتوي على نفاذية عالية جدا تصل إلى 3000، لكنها على عكس الحديد فهي مواد عازلة، أي أنها لا تنقل الكهرباء، إذ معدل مقاوميتها تعادل $\rho = 10^3 \Omega \cdot m$. أصطلح على تسمية هذه المواد الخزفية "خام الحديد".



الشكل 7. حبة خام الحديد

تصنع هذه المواد على شكل حبات صغيرة (الشكل 7)، حيث السلك يربط بين مختلف حبات خام الحديد. دور هذه الحبات هو تركيز

المجال المغناطيسي للتيار الذي يعبر السلك الناقل. ومنه يمكن القول أن حبة خام الحديد تستعمل كوشية محاثتها صغيرة جدا تقارب 20μ هن.

تسجل المغناطيسية الذاتية لمركبات الحديد لكل المواد التي يكون تركيبها الكيماوي حسب العبارة $Me Fe_3 O_3$ حيث Me هو رمز المعدن المستعمل وهو يحتوي على رابطة كيماوية ثنائية واحدة أو أكثر (النحاس، الزنك، النيكل، المنغانيز، كاديوم، مغنيزيوم، الكوبلت، إلخ).

في المواد خام الحديد، الشوارد (وهي الأيونات) المعدنية وشوارد الأكسجين منظمة في شكل عقد لشبكة بلورية مزدوجة. بمجرد وضعها داخل مجال مغناطيسي، تكسب المواد خام الحديد مغنطة عفوية وهي أهم خاصية تمتاز بها هذه المواد. زيادة على أنها تمتاز بمغنطة الإشباع أضعف بكثير مقارنة بالمواد حديدية التمغنط، فأعظم قيمة للحث عند الإشباع تقارب 0,5 تسلا في حين تقارب 2,5 تسلا للحديد مثلاً.

الدائرة المغناطيسية

الكهرومغناطيسية ظاهرة مرتبطة بحركة الشحنات الكهربائية ومنه نقول أن سببية الكهرومغناطيسية هي التيار الكهربائي العابر للدوائر الكهربائية.

1. عموميات

المغناطيس أساساً نوعان هما :

أولاً : المغناطيس الدائم

وهو ما تمت دراسته لحد الساعة، فهو عبارة عن المواد القابلة للتمغنط كالمعادن مثلاً. يمتاز المغناطيس الدائم أنه يولد مجاله المغناطيسي دون الحاجة إلى منبع خارجي، زيادة على أنه يبقى على خاصياته المغناطيسية باستمرار دون انقطاع على امتداد الزمن.

ثانياً : الكهرومغناطيس

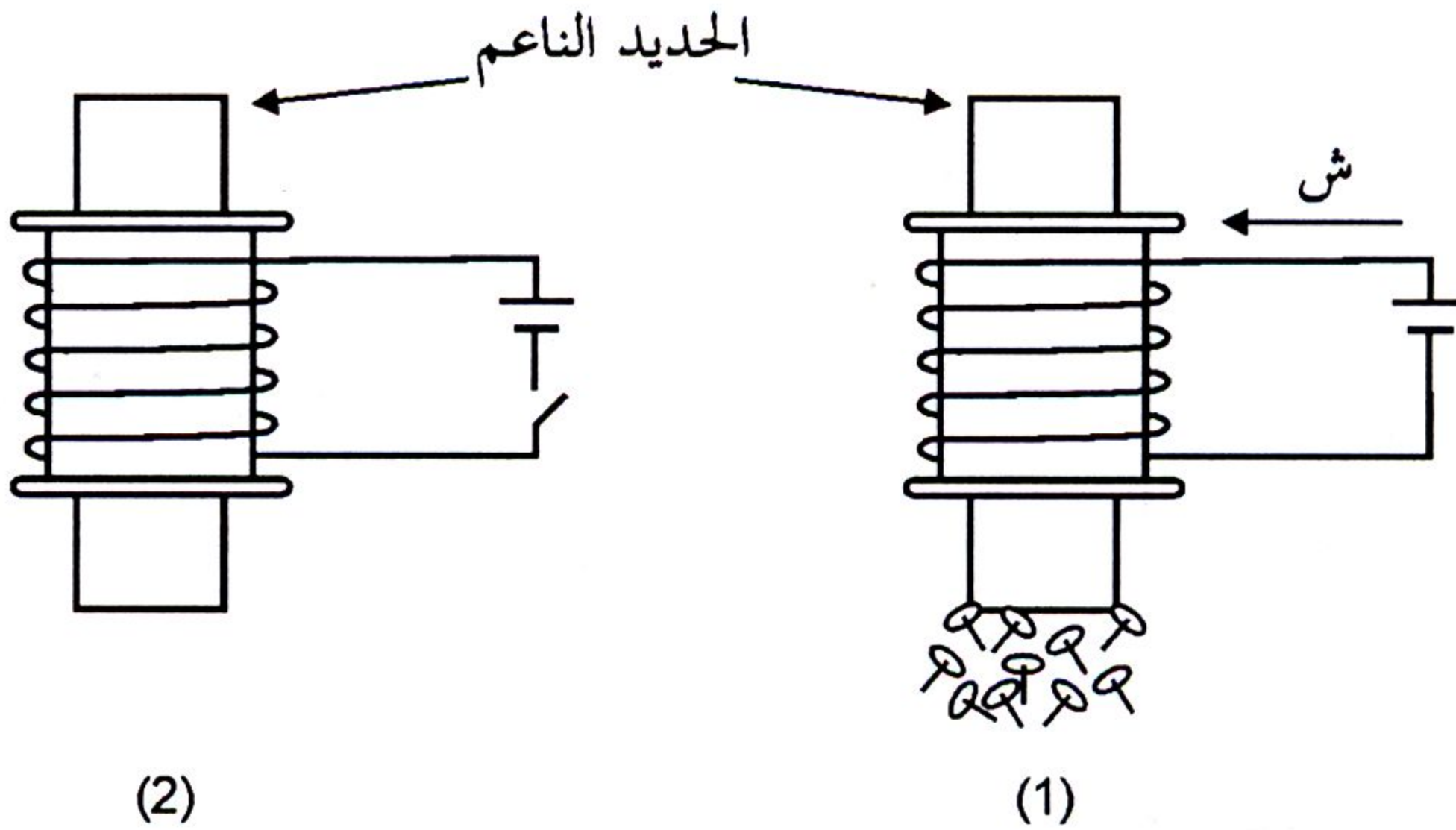
يحتاج الكهرومغناطيس إلى التيار الكهربائي، ومصدره منبع خارجي، للإبقاء على مجاله المغناطيسي، وإلا فلا وجود لهذا المجال ولا أثر لمفعوله.

مسائل

1. ما مفهوم النفاذية ؟ عرف النفاذية النسبية.
2. ما هي العوامل المؤثرة مباشرة في تحديد الخصائص المغناطيسية للمواد ؟
3. على أي أساس تصنف المعادن من الناحية المغناطيسية ؟
4. ما هي المغنطية الحديدية ؟ اجتهد في معرفة سبب عدم تناسب مغنطتها β بالمجال الممغنط غ.
5. ما الفرق بين مغنطة الحديد والصلب ؟ ما هو العامل المؤثر في ذلك ؟
6. كيف تؤثر الحرارة في المواد حديدية التمغنط ؟ اذكر كيفية تحولها إلى مواد متسامتة التمغنط.
7. أذكر كيفية القضاء على مغنطة المواد.
8. لم تستعمل المواد الممغنطة لتركيز خطوط القوة ؟ اشرح.
9. بما تمتاز المواد حديدية التمغنط عن غيرها ؟ أذكر بعض تطبيقاتها.
10. ما هي مواد خام الحديد ؟ بما تمتاز عن غيرها ؟

والكهرومغناطيس هو عبارة عن وشيعة من مادة الحديد الناعم يلفها سلك ناقل معزول، تكون هذه اللفات متلاصقة مع الإشارة إلى أن كلمة "معزول" عند وصف السلك الناقل يقصد بها أنه يلبس بمادة عازلة.

عند عبور تيار داخل السلك، أي غلق القاطعة (الشكل 1. 1)، فإن الحديد الناعم يتمغنط آنياً، فيتركز المجال المغناطيسي باعتبار أن السلك ملفوف ومتلاصق. عندها تصبح الوشيعة عبارة عن مغناطيس، فتجذب كل ما هو قابل للتمغنط كالمسامير مثلاً. وفي حالة ما إذا قطع التيار بفتح القاطعة (الشكل 1. 2)، فإن الوشيعة تفقد في لحظتها كل خاصياتها المغناطيسية، الشيء الذي يجعل المسامير تسقط على الأرض.



الشكل 1. كهرومغناطيس في دائرة مغناطيسية

وكأني بك تتساءل عن ماهية الحديد الناعم. الحديد الناعم هو الحديد الصافي أو خليط الحديد بكمية قليلة من الكربون، في حين الصلب هو خليط الحديد بكميات أكبر من الكربون. ويمتاز الحديد الناعم أنه يتمغنط في حينه وكذلك تزال مغنطته في الحين، بخلاف الصلب.

2. القوة المغنومحركة

إن المجال المغناطيسي مرتبط بحركة الشحنات، فالسلك الناقل لتيار شدته ش يتولد من حوله مجال مغناطيسي دائري، مركزه هو المحور العابر للسلك. كلما زادت شدة التيار تزايد المجال المغناطيسي. فالتيار إذن يولد قوة مغناطيسية تتزايد بزيادة التيار.

فلنفترض أنه لدينا وشيعة ملفوفة بسلك ناقل (كهرومغناطيس)، حيث زيادة اللفات حول الوشيعة تؤدي إلى تركيز أكبر للمجال المغناطيسي. فنحصل على شبه قضيب ممغنط — ولو لحين — ذي قطبين متعاكسين يتولد بينهما مجال مغناطيسي يجذب كل الأجسام القابلة للتمغنط.

يكون هذا المجال متناسبا طردا مع القوة المغناطيسية، التي تدعى القوة الدافعة المغناطيسية أو ببساطة القوة المغنومحركة (أو القوة المغنومحركة).
والعبارة هي :

$$F = N \cdot I$$

$$Q = N \cdot \text{ش}$$

حيث :

— Q هي القوة المغنومحركة ووحدتها أمبير : Q [آ].

— ش هي شدة التيار العابر لللفات الوشيعة : ش [آ].

— N هو عدد لفات الوشيعة.

سؤال تبادر لذهنك في التو : ما الفرق بين القوة الكهرومغناطيسية والقوة المغنومحركة ؟

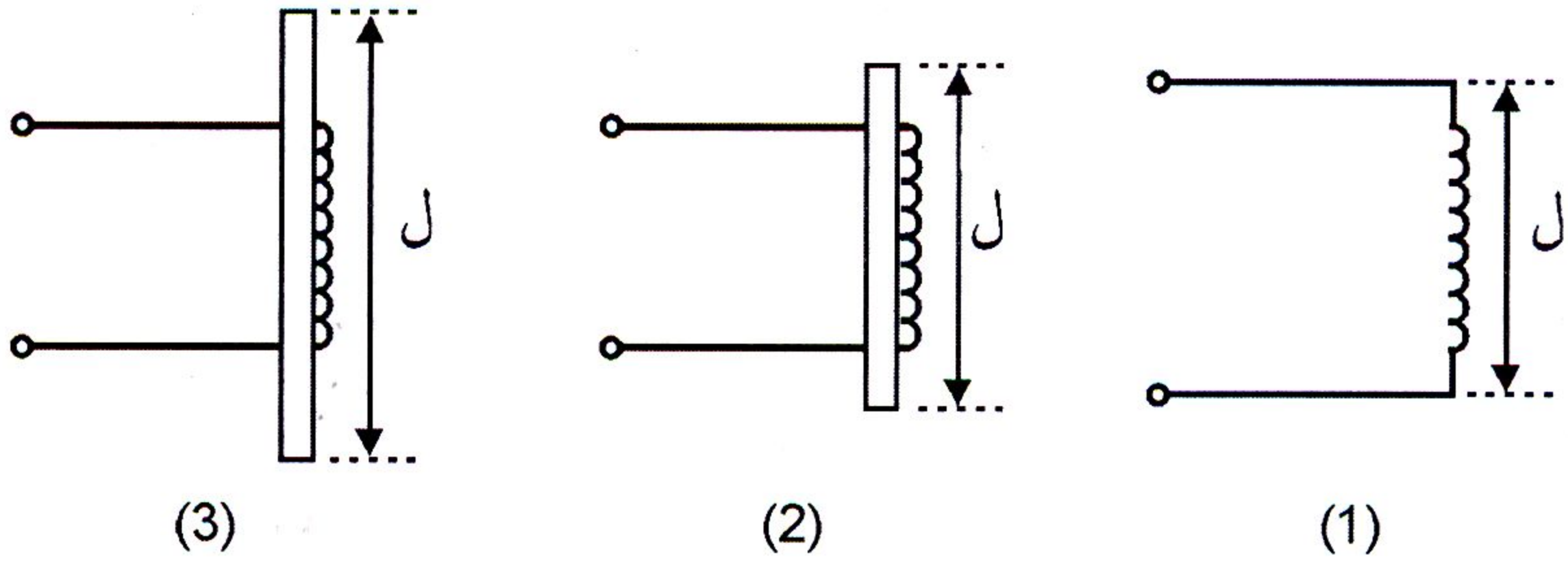
إن القوة الكهرومغناطيسية، وتدعى كذلك قوة لابلاس، وليدة فرق في تركيز مساحتين إذ تتجه من مجال شدته أكبر نحو مجال شدته أضعف، وتحسب بالوحدة العالمية للقوة وهي نيوتن. بينما القوة المغنومحركة تتولد من جراء تركيز اللفات على الوشيعة، ومن ذلك وحدتها العالمية نفس وحدة شدة التيار وهي وحدة أمبير.

كما أن أهم فرق بينهما هو أن القوة المغنومحركة يعود أصل توليدها للتيار، وبتركيز اللفات يتركز المجال المغناطيسي مما يكسبها شدة أكبر. أما قوة لابلاس، فهي وليدة تفاعل المجال المغناطيسي الخارجي بالتيار، بالإضافة إلى أن القوة المغنومحركة هي أصل تجاذب أو تنافر المواد القابلة للتمغنت.

3. شدة المجال المغناطيسي

1.3. تعريف

عندما تتولد قوة مغنومحركة بعبور التيار داخل كهرومغناطيس، فستؤدي هذه القوة إلى توليد مجال مغناطيسي تكون شدته مرتبطة بعدد اللفات. فيكون تركيز المجال ضعيفا كلما طال السلك الناقل (اللفات)، ويشتد المجال خلاف ذلك.



الشكل 2. كيفية قياس شدة المجال المغناطيسي

فمثلا كهرومغناطيسان بنواتين مختلفتين، طويلة وأخرى قصيرة، يحتويان على نفس القوة المغنومحركة، إلا أن القوة Q داخل الوشيعة ذات النواة القصيرة تولد مجالا مغناطيسيا أكبر وأشد من الذي في الوشيعة ذات النواة الطويلة. وعبارة القوة المغنومحركة بدلالة شدة المجال هي :

$$F = H \times l$$

$$Q = H \times l$$

$$H = \frac{F}{l}$$

$$H = \frac{Q}{l}$$

حيث :

- H هي شدة المجال المغناطيسي.

- l هو طول الوشيعة بين القطبين أو بين قطبي النواة الحديدية : l [م]

- في الشكل 2. 1، وشيعة ذات لفات فارغة (دون نواة حديدية) إذ يقاس الطول l بين قطبيها، وتكون شدة المجال H مقاسة في مركز اللفات الفارغة.

- أما في الشكلين 2.2 و 2.3، فالطول l يؤخذ بين طرفي نواة الوشيعية، وعندها تقاس شدة المجال G داخل النواة كلها.
من خلال العبارة السابقة لشدة المجال يمكن استخراج وحدة قياس G وهي أمبير على المتر، أي G [آ / م]، وهي وحدة القياس المعتمدة في النظام العالمي لحساب شدة المجال المغناطيسي G .

2.3. معامل النفاذية

في دراسة سابقة عرفنا النفاذية تعريفا بسيطا، فقلنا أن النفاذية هي عبارة عن استعداد المواد لتركيز خطوط القوة المغناطيسية، وعليه فقيمة الفيض المغناطيسي مرتبطة بالمادة الموضوعة في المجال المغناطيسي.
فالفيض المتولد عن شدة المجال يتركز ويتكثف كلما زادت نفاذية المواد المستعملة، ومن ذلك فالصيغة الجامعة هي :

$$\beta = \mu H$$

$$\mu = \beta / G$$

حيث :

- β هو كثافة الفيض (الحث) : β [بر / م²] = β [تس]

- G هي شدة المجال المغناطيسي ووحدها أمبير على المتر : G [آ / م]

- μ هو معامل ثابت يدعى النفاذية المطلقة ووحده تسلا في متر على أمبير : μ [تس. م / آ].

كما يمكن كتابة هذا المعامل في العبارة التالية :

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

حيث :

μ_r - هي النفاذية النسبية المعروفة سابقا.

μ_0 - هي نفاذية الهواء أو الفراغ : $\mu_0 = 1,26 \times 10^{-6}$ هن / م.

3.3. مفعول النفاذية

تلعب النفاذية μ_0 في الكهرومغناطيسية، دورا مشابها لدور السماحية ϵ_0 في الكهروستاتيكا (طالع الفصل 5 من الجزء الأول)، وقد بينت نظرية ماكسويل أن الجداء ($\epsilon_0 \cdot \mu_0$) يعتبر متجانسا وهو يعادل عكس مربع سرعة الضوء، أي :

$$\epsilon_0 \cdot \mu_0 = \frac{1}{C^2}$$

$$\frac{1}{\text{سر}_0^2} = \epsilon_0 \cdot \mu_0$$

حيث :

ϵ_0 - هي سماحية الفراغ : $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$

μ_0 - هي نفاذية الفراغ : $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$

سر_0 - هي سرعة الضوء.

والتطبيق الحسابي يظهر أن $\text{سر}_0 = 3 \times 10^8$ م/ثا = 300 ألف كم/ثا،

وهي توافق سرعة الضوء المحددة عن طريق التجربة.

وتمثل هذه السرعة سر₀ سرعة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية في الفضاء، والتي تستعمل في البث الإذاعي والتلفزيوني كما تستعمل في ميدان الاتصال اللاسلكي المتقدم كالأقمار الصناعية مثلاً.

4. نظرية أمبير

1.4. التحريض المغناطيسي

كل العبارات والعلاقات المدروسة سابقاً، توضح جلياً أن الحث $\vec{B}$ في نقطة مرتبط من جهة بالوسط وهو المحيط الذي تميزه ثابتة النفاذية μ_0 ، ومن جهة أخرى "بالتحريض المغناطيسي غ" وهو تسمية ثانية للكمية الفيزيائية "شدة المجال المغناطيسي".

إن الأمر يتعلق بكمية شعاعية شدتها تعادل $\frac{B}{\mu_0}$ في حالة الفراغ، أي غ = $\frac{B}{\mu_0}$ (طالع الفصل 3) فهي كمية تعرف في حالة :

$$H = \frac{I}{2 \pi \cdot d}$$

- سلك ناقل مستقيم : غ = $\frac{ش}{2 \cdot \pi \cdot س}$

$$H = \frac{N \cdot I}{2 R}$$

- حلقة دائرية مسطحة : غ = $\frac{ن \cdot ش}{2 نق}$

$$H = \frac{N \cdot I}{l}$$

- وشيعة حلزونية ملفوفة : غ = $\frac{ن \cdot ش}{l}$

تلاحظ جيداً أن هذه الكمية متجانسة، فهي دوماً متناسبة مع حاصل نسبة التيار على الطول، وهو ما سبق شرحه. ومن هنا تفهم سبب وضع

أمبير على المتر كوحدة عالمية لقياس هذه الكمية : التحريض المغناطيسي أو شدة المجال المغناطيسي أي : غ [آ/م].

عموما، التحريض المغناطيسي مرتبط بشدة التيار وفي نفس الوقت بعدد لفات الدائرة الكهربائية. وبصفة أدق، فإن سريان شعاع التحريض المغناطيسي $\vec{G}$ عبر طول خط قوة مغناطيسية محددة، هو ناتج جداء الضرب لشدة التيار I في عدد اللفات N التي يعبرها خط الحث، وهو ما يعرف بنظرية أمبير، والعلاقة هي :

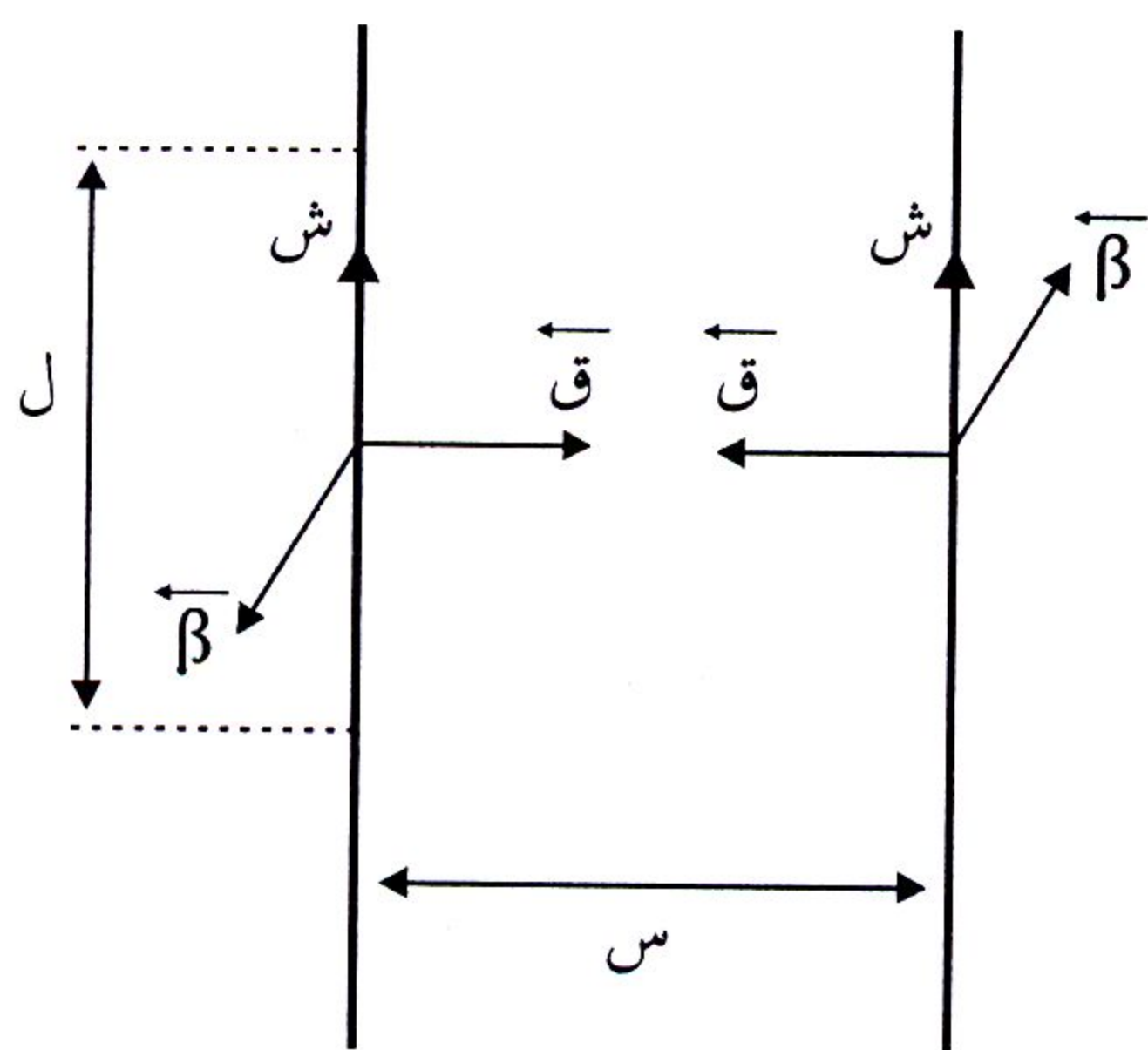
$$\int \vec{H} \cdot d\vec{l} = N \cdot I$$

$$[\vec{G}] = \frac{N \cdot I}{\text{ش}} = \text{تفال}$$

حيث تفال $\vec{G}$ هي مسافة تحول شعاع التحريض المغناطيسي $\vec{G}$.

2.4. التعريف القانوني للأمبير

سلكان ناقلان متوازيان تفصلهما مسافة s ، يعبرهما تياران بنفس الشدة I وفي نفس الاتجاه (الشكل 3). في كل نقطة يشغلها أحد الناقلين، فإن الناقل الثاني يولد حثا تكون طويلته هي :



الشكل 3. سلكان ناقلان متوازيان

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{d}$$

$$\frac{I}{s} \cdot \frac{\mu_0}{2\pi} = B$$

تحت تأثير القوتين، يجذب الناقلان نحو بعضهما (طالع الفصل 3)، وتكون شدة القوة — التي تمارس مفعولها على كل جزء من الناقل ذي وحدة الطول (ل = 1 متر مثلاً) ليجذب نحو الآخر — حسب صيغة قانون لابلاس، أي :

$$f = \beta \cdot I \cdot l$$

$$q = \beta \cdot \text{ش} \cdot l$$

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I^2}{d}$$

$$\text{وعليه : } q = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{\text{ش}^2}{\text{س}}$$

حيث : ل = 1 متر. هذه العلاقة تستعمل لتعريف الأمبير بدقة متناهية، إذ :

$$I^2 = \frac{2\pi}{\mu_0} \cdot f \cdot d$$

$$\text{ش}^2 = \frac{2\pi}{\mu_0} \cdot q \cdot \text{س}$$

$$\frac{\mu_0}{2\pi} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$\text{حيث : } \frac{\mu_0}{2\pi} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ هن/م}$$

وعلمنا أنه إذا كان س = 1 متر، بالإضافة إلى أن القوة هي $q = 2 \cdot 10^{-7}$ تن، فإن شدة التيار هي :

$$I = 1 \text{ Ampère} = 1 \text{ A}$$

$$\text{ش} = 1 \text{ أمبير} = 1 \text{ آ}$$

ومن هنا يكون التعريف القانوني للوحدة العالمية أمبير كالتالي : واحد أمبير هو شدة تيار ثابت الذي بواسطة سلكين ناقلين متوازيين، طولهما مالا نهاية ومساحة المقطع مهملة، موضوعان في الفراغ تفصل بينهما مسافة 1 متر، فإنه تتولد بين هذين الناقلين قوة تعادل $2 \cdot 10^{-7}$ نيوتن في كل وحدة طول مرجعية.

تمرين

تولج نواة حديدية التـمـغـنـط، نفاذيتها النسبية تعادل 1 500، داخل وشيعة ملفوفة 1 000 مرة وطولها 10 سم، يعبرها تيار كهربائي شدته 150 مـآ. أحسب كثافة الفيض لهذه الوشيعة ($\mu_0 = 1,26 \mu \text{ هن/م}$)

الجواب

من خلال المعطيات يمكن كتابة ما يلي :

$$ل = 10 \text{ سم، } ن = 1000 \text{ لفة، ش} = 150 \text{ مـآ.}$$

فتستخرج شدة مجال هذه الوشيعة وفق المعادلة التالية :

$$غ = \frac{ن \cdot ش}{ل} \quad H = \frac{N \cdot I}{l}$$

ومنه غ = 1500 آ/م. من ذلك، فإن كثافة الفيض المكافئة هي وفق المعادلة التالية :

$$\beta = \mu H$$

$$\mu = \beta غ$$

حيث $\mu = \mu_0 \mu$ وهي النفاذية المطلقة، مع أن النفاذية النسبية للنواة الحديدية المستعملة داخل هذه الوشيعة هي $\mu = 1 500$. ومن ذلك $\beta = 2,835$ تسلا.

مسائل

1. ما الفرق بين المغناطيس الدائم والكهرومغناطيس ؟ أذكر خاصياتهما المغناطيسية.
2. ما الفرق بين الحديد الناعم والحديد الصلب ؟ أذكر خاصياتهما المغناطيسية.
3. ما الفرق بين القوة الكهرومغناطيسية والقوة المغنومحركة ؟ أذكر خاصياتهما.
4. عبارة متداولة كثيرا هي "مدى تأثير النفاذية في تحديد شدة المجال المغناطيسي". اشرح العبارة وهات سبب ذلك.
5. ما الفرق بين التحريض المغناطيسي وشدة المجال المغناطيسي ؟ أذكر التعريف القانوني لوحدة أمبير.
6. ما الفرق بين الدارة الكهربائية والدارة المغناطيسية ؟ بما تمتاز كل منهما.
7. أحسب القوة المغنومحركة لوشية تحتوي على 200 لفة ويعبرها تيار شدته 250 ميلي أمبير.
8. النفاذية النسبية لمادة حديدية التمعنط تعادل 54 100 كم هي النفاذية المطلقة ؟
9. تمتاز مادة حديدية التمعنط بنفاذية مطلقة تعادل 0,000136 أحسب النفاذية النسبية لهذه المادة.
10. وشية، طولها 20 سم ويلفها سلك ناقل معزول 500 7 مرة، يعبرها تيار كهربائي شدته 200 مآ. أحسب شدة مجال هذه الوشية.

11. تعادل شدة مجال وشيعة تحيط بنواة حديدية التـمـغـنـط 1 450 آ/م، وتكافئها كثافة فيض تعادل 45,675 تسلا. أحسب النفاذية النسبية لهذه النواة بافتراض أنها علاقة خطية تجمع الكميتين β و γ .

12. آخر القياسات المخبرية لسرعة الضوء بينت النتيجة التالية :

$$\text{سر}_0 = (0,00004 \pm 2,99776) \times 10^8 \text{ م/ثا.}$$

$$1. \text{ أحسب المعامل ثا} = \frac{1}{\epsilon_0 \pi 4} \text{ ودقة قياسه عندما } \mu_0 = 4 \times \pi 10^{-7}$$

2. ما استنتاجك (طالع الفصل 5 من الجزء الأول) ؟

13. يرغب تصميم وشيعة تمتاز بشدة مجال تعادل 3 500 آ/م عندما يعبرها تيار كهربائي شدته 50 مآ.

1. أحسب عدد اللفات اللازمة لهذا التصميم إذا حدد الطول ليكون

10 سم.

2. إذا **رغب في الحصول على** **وشيعة ملفوفة 20 000 مرة، كم هو**

الطول اللازم لذلك ؟

14. سلـكـان ناقلان طويـلان جدـا يعبرهما تياران بنفس الشدة وباتجاه

متعاكس، تفصلهما مسافة س = 3 سم. تختار نقطة أ تبعد بمسافة س عن

كل سلك (مثلث متساوي الأضلاع).

1. أرسم الشكل المناسب موضحا فيه الحث المحصل عن السلكين.

2. أحسب شدة الحث المحصل إذا كانت الشدة ش = 10 أمبير.

15. ثلاثة أسلاك ناقلة مستقيمة ومتوازية تتباعد بينها بمسافتي 10 سم و 5 سم، يعبرها على التوالي ش₁ = 1 آ، ش₂ = 2 آ، ش₃ = 1 آ.

1. إن كان طول الأسلاك ل = 1 كم، أحسب قوة لابلاس (اتجاهها ومقدارها) المؤثرة على السلك الأول.

2. نفس السؤال لقوة لابلاس المؤثرة على السلك الثاني.

16. سلكان ناقلان متوازيان ومتباعدان بمسافة س، يعبرهما تياران بنفس الاتجاه ونفس الشدة ش. تختار نقطة أ محصورة بين السلكين، تبعد عن أحدهما بمسافة س₁. ما هي شدة المجال المغناطيسي $\vec{B}$ المتولد عن السلكين في النقطة أ عندما :

$$0 < س_1 < \frac{س}{2}$$

$$\frac{س}{2} < س_1 < س$$

$$س_1 < س$$

$$س_1 > س$$

أرسم منحنى B (س₁).

التخلفية المغناطيسية

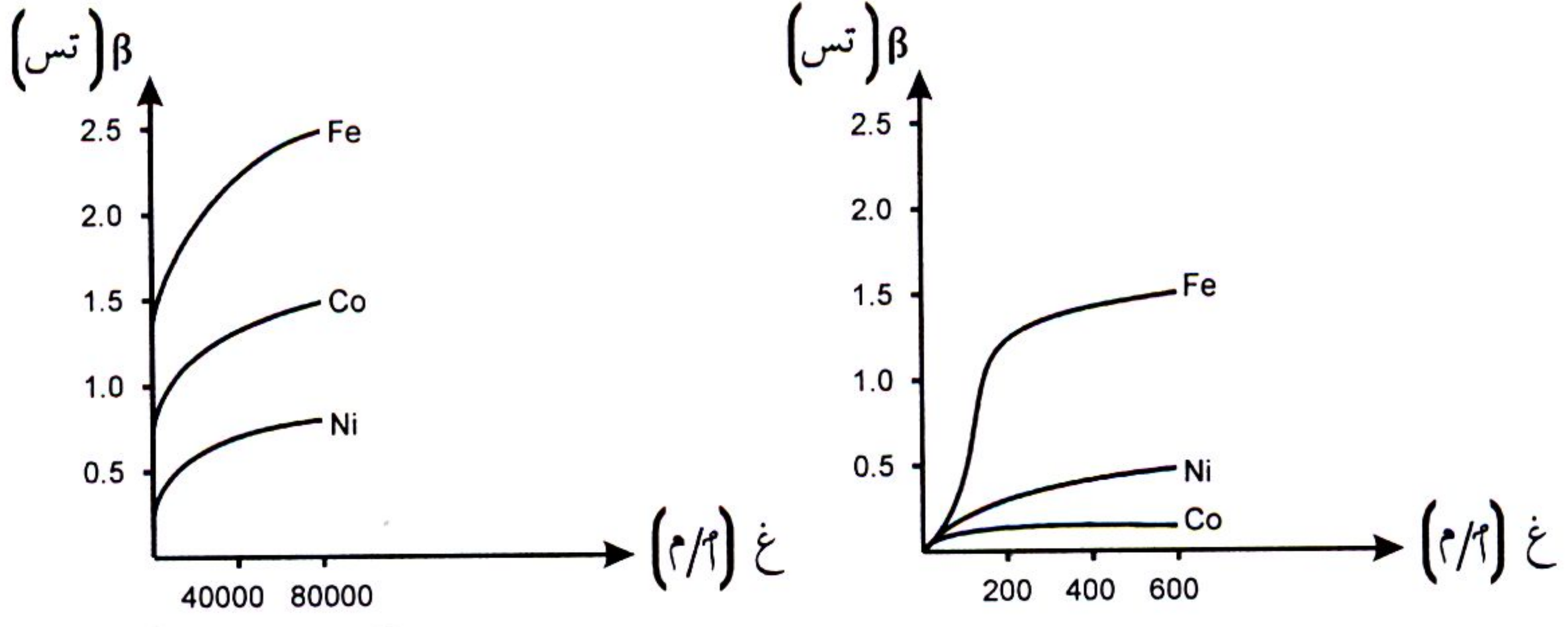
بحكم الجوار من المغناطيسات، تكتسب المواد حديدية التمغنط مغنطة شديدة تجعلها تتصرف وكأنها هي الأخرى مغناطيسات. إلا أن غياب المجال الممغنط من جديد لا يجعل المغنطة معدومة تماما داخل المواد حديدية التمغنط... مفهوم يعرف بالمحتفظية.

1. المغنطة الأولى

1.1. منحني الخاصية

لتبيين وتوضيح الطريقة التي تتم بها مغنطة مادة حديدية التمغنط، يرسم منحني خاصية المغنطة الأولى. يمثل هذا المنحني تغيرات طويلة الحث $\vec{B}$ داخل المادة العينة بدلالة شدة المجال الممغنط $\vec{H}$ (التحريض المغناطيسي) عندما يتزايد انطلاقا من نقطة مبدأ الصفر.

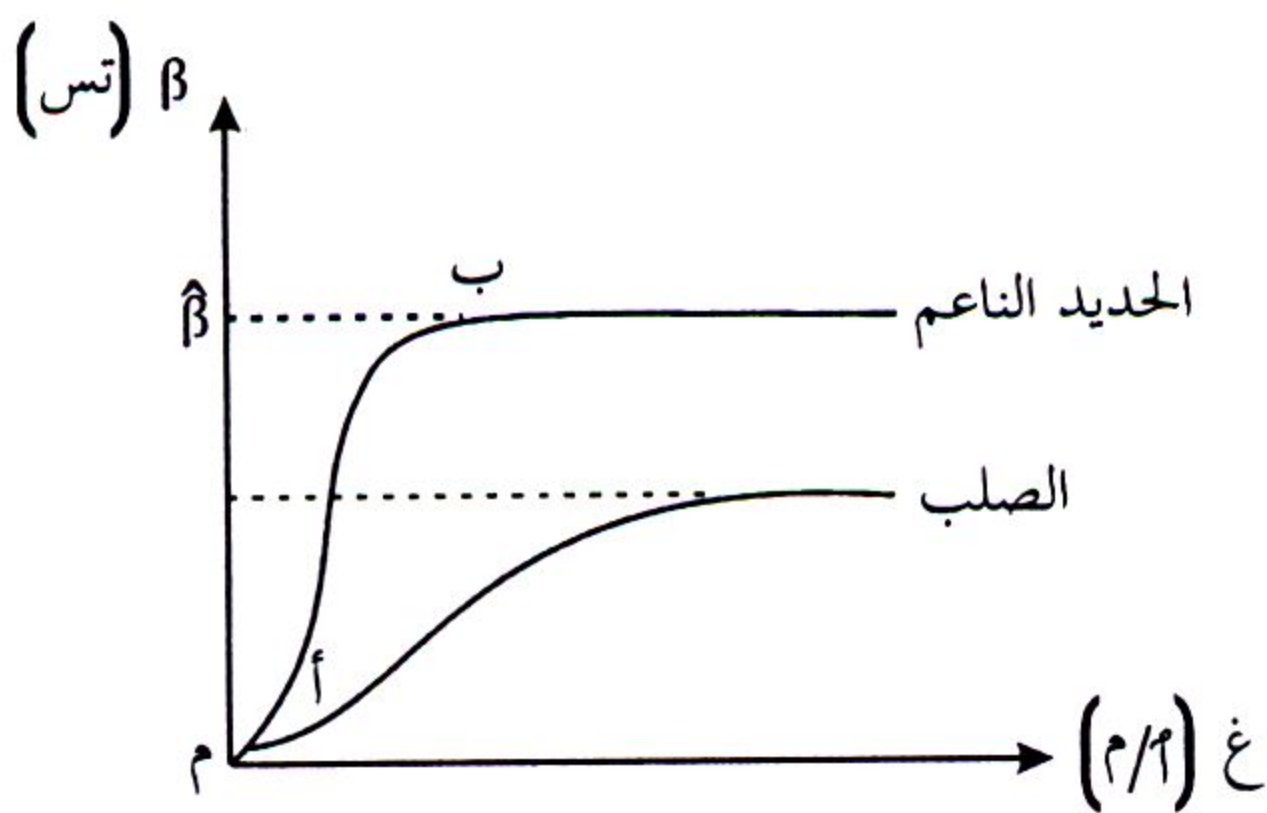
للتمكن من رسم هذا المنحني لابد من نزع كل أثر لأي مغنطة سابقة، ويتم ذلك بواسطة تسخين المادة المدروسة إلى درجة حرارة عالية جدا،



الشكل 1. منحنيات المغنطة الأولى (1) (2)

تعاادل 775 درجة مئوية بالنسبة للحديد، ثم تترك العينة لتبرد بعيدة عن كل مجال مغناطيسي من شأنه أن يؤثر عن الدراسة لرسم منحنى الخاصية. ثم تبدأ عملية المغنطة، وذلك بوضع المادة داخل مجال $\vec{H}$ الذي تزداد شدته تدريجياً ليتم تسجيل القيم المطابقة للحث $\vec{B}$. وفي الشكل 1 رسم منحنى خاصيات المغنطة الأولى لبعض المواد، تم تسجيلها لمجالات ضعيفة (الشكل 1.1) وأخرى قوية (الشكل 1.2)، وتلاحظ تغيراً ولو نسبياً في المنحنيات بين الشكلين.

2.1. تحليل تغيرات المنحنى



الشكل 2. مغنطة الصلب والحديد الناعم

يمثل الشكل 2 مغنطة الحديد الناعم والصلب، حيث محور الفواصل يمثل تغيرات شدة المجال المغناطيسي $\vec{H}$ ، ومحور الترتيب يمثل التغيرات المطابقة لكثافة الفيض $\vec{B}$. ويكتب المتغيران بوحدتيهما العالميتين، أي $\vec{H}$ [A/m] و $\vec{B}$ [تس].

بزيادة تيار الوشعة ذات النواة الحديدية، يتزايد الحث المغناطيسي خطياً في بداية المنحنى. وبعدها تصبح زيادة هامة في التيار لا تنجم عنها سوى زيادة ضعيفة في الحث، إلى أن يقارب الحث قيمة معينة لا يتزايد بعدها إطلاقاً حتى وإن بلغ التيار شدات عالية.

عندها يبقى منحنى الإجابة ثابتاً لا يتغير ($\beta = \text{ثابت}$)، وهو ما يعرف بمغنطة الإشباع وهي الحد الأقصى من المغنطة. سؤال يتبادر إلى ذهن كل من تابع الظاهرة جيداً، كيف تفسر ظاهرة الإشباع؟

منحنى الإجابة للحديد الناعم أسرع تزايداً من الصلب إلى غاية قيمة معينة من شدة المجال H ، حيث قيم الكثافة β تكون أقل تزايداً مما كانت عليه، مما يجعل المنحنى عبارة عن مستوى مسطح ثابت. ظاهرة تغير β بقيم صغيرة عند تغير الشدة H تسمى مغنطة الإشباع، وبلوغ الإشباع لا يتم إلا عندما يتشبع الحديد بخطوط الحث المغناطيسية.

3.1. ظاهرة الإشباع

وبما أن الكميتين تجمعهما العلاقة الشهيرة $\mu = \beta / H$ ، فنلاحظ أنه عند الإشباع تتناقص النفاذية μ أي أن النواة الحديدية غير قادرة على توليد كثافة تتناسب دائماً مع القيم المتزايدة للشدة H . إذن عندما تعطى قيمة النفاذية μ لمادة مغناطيسية معينة، فهذه القيمة هي أكبر قيمة للنفاذية μ قبل الإشباع.

بعد دراسة منحنى الشكل 2، نقول أن منحنى الخاصية للمغنطة الأولى مكن من التعرف على 3 مناطق أساسية هي :

- المنحنى م أ : يطابق المجالات الضعيفة حيث المغنطة تتزايد تدريجيا وفق دالة خطية.

- المنحنى أ ب : يطابق المجالات المتوسطة حيث المغنطة تتزايد وفق دالة دوما خطية، إلا أنها زيادات متسارعة جدا.

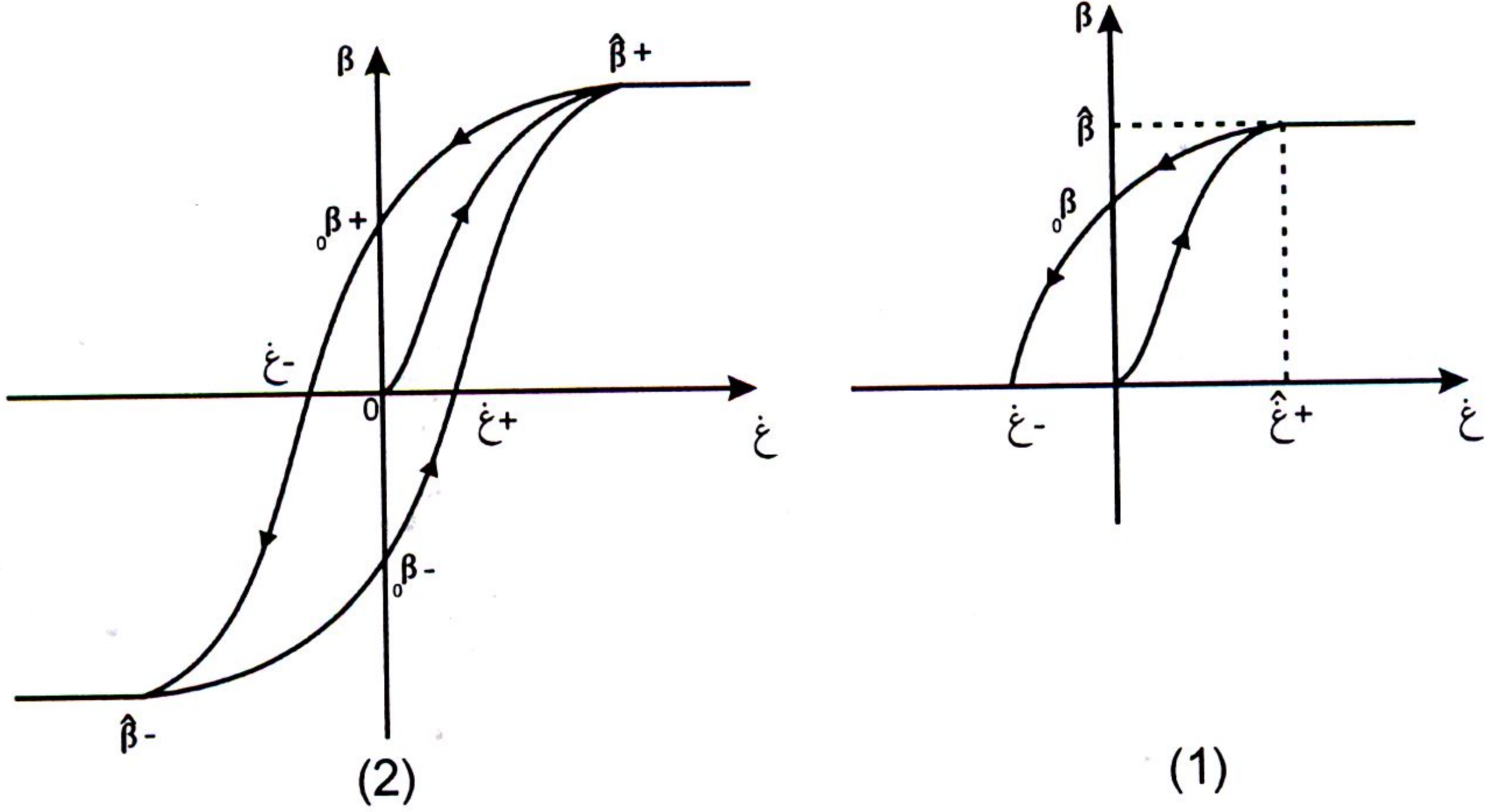
- منحنى الإشباع : منحنى ما بعد ب وهو يطابق المجالات ذات الشدة العالية، حيث المغنطة تتناهي إلى قيمة ثابتة قصوى تدعى مغنطة الإشباع. وظاهرة الإشباع، وهي خاصية المادة العينة، تحدث عندما لا يصبح الحديد قادرا على تقبل خطوط مغناطيسية إضافية.

2. ظاهرة التخلفية المغناطيسية

1.2. تعريف

يظهر منحنى خاصية المغنطة تصرف مادة قابلة للتمغنط - لكنها غير ممغنطة - عندما توضع داخل مجال مغناطيسي متزايد دوما انطلاقا من الصفر. لكن يفقد المنحنى مدلوله ولا يعطي تحليلا وافيا عندما تكون المادة ممغنطة. كيف ذلك ولماذا ؟

بزيادة الشدة غ إلى أن تصبح المادة العينة ممغنطة إلى درجة الإشباع (الشكل 3. 1)، نحاول أن ننقص من الشدة غ تنازليا وذلك بتنقيص شدة التيار. فتلاحظ أن التمكنط يتناقص بسرعة أصغر من التي تزايد بها، إذ لنفس الشدة غ، الكثافة β كبيرة بوضوح مقارنة بكثافة المغنطة الأولى.



الشكل 3. الدورة التخلفية : المغنطة وإزالة المغنطة لمادة حديدية التمهبط

ومنه نحصل على قسم من المنحنى $B(H)$ أعلى من القسم السابق، فالمادة إذن قد احتفظت بكمية من المغنطة أثناء تزايد المنحنى : إنها ظاهرة التخلفية. كيف يحدث ذلك وما معنى التخلفية ؟

التخلفية هي تأخر في زوال المغنطة، فعندما يتناقص المجال تكون قيمة الحث أكبر من القيمة المسجلة أثناء تزايد المجال، مما يثبت أن المادة المدروسة استبقت على بعض المغنطة. في حقيقة الأمر، هذا التأخر غير زمني وإنما هو نتيجة لعامل الفعل وسبب الفعل¹، فالفعل يتزايد بزيادة سبب الفعل، كما أنه يتناقص بتناقص سبب الفعل. ومنه فالناتج عن المقاومة هو أنه لقيمة وحيدة لعامل سبب الفعل، تقابلها عدة قيم لمعامل الفعل.

1. ويسمى كذلك باصطلاح "العلة والمعلول".

2.2. الدورة التخلفية

يمثل الشكل 3. 2 منحنى الدورة التخلفية لمادة معينة قابلة للتمغنط، وهو عبارة عن منحنى مغلق يجمع منحنى خاصية المغنطة الأولى ومنحنى إزالة المغنطة.

مثل في الشكل 3. 1 منحنى إجابة القضيب المغناطيسي للمغنطة وإزالة المغنطة، حيث تغير شدة المجال H يتم في الواقع العملي بواسطة موجة متناوبة نابعة عن تيار متناوب.

إن الرسم البياني للشكل 3. 2 يربط كميتين فيزيائيتين وهما B و H حيث يسجل بواسطة قوة مغنو محرك متناوبة. ينتج عن هذا التناوب تياران متعاكسان، يولدان خطوط المجال في اتجاه معاكس $+ H$ و $- H$ ، وعليه ينتج $+ B$ و $- B$ لكثافة الفيض.

عندما تكون المادة العينة غير ممغنطة تلاحظ أن التيار يقلع من الصفـر (الشكل 3. 1)، ثم تبدأ الكثافة B تتزايد كلما تزايدت الشدة H ، إلى أن تبلغ قيمتها القصوى $+ B$ وهي قيمة الإشباع الموجبة. بعدها تتناقص H وذلك أثناء إزالة المغنطة إلى أن تعدم، حيث الحث يتناقص ليبلغ $+ B_0$.

ولاحظ جيدا على الشكل 3. 2، فالكثافة B لا تعدم وهذا راجع إلى التخلفية. فإذا غير اتجاه التيار، يتناقص الحث لينعدم عند قيمة سالبة للمجال H تدعى المجال القسري، وهي تعبر عن مقاومة المعدن لعامل إزالة المغنطة. فعندما تصبح الشدة H سالبة، تنعدم الكثافة B ثم تصبح سالبة لتبلغ قيمة الإشباع السالبة $- B$. هنا نحصل على الدورة التخلفية الكاملة.

3.2. تحليل الظاهرة

بسبب التخلفية، فإن الكثافة لا تعدم عندما تتناقص. ولنفس السبب، فإنها لا تمر عبر الصفر عندما تتزايد. وبما أن القوة المغنومحركة تتعاكس دوريا، فإن قيم الكثافة تتكرر وينتج عنها نفس الدورة التخلفية. وعندما تعدم القوة المغنومحركة، تلاحظ أن هناك كثافة فيض متبقية (β_+ و β_-) للمادة العينة المدروسة وهي تختلف عن الصفر، وتدعى المغنطة المتبقية كما تعرف كذلك باصطلاح المحتفضية.

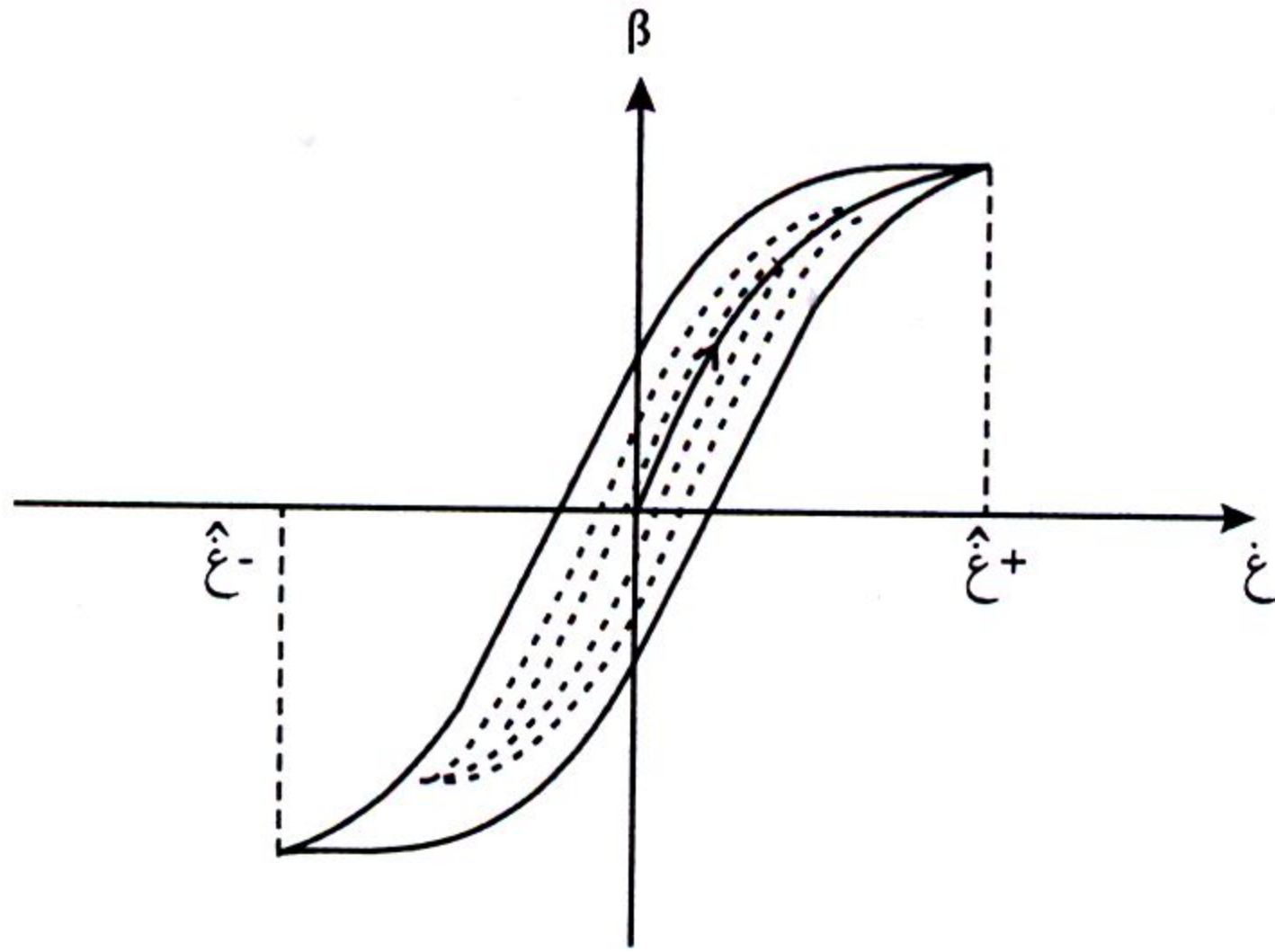
من خلال الشكل 3.2، تعرف التخلفية على أنها المنحنى المغلق الذي تتبعه مادة تظهر بطاء على بيان يمثل متغيرا تابعا (كثافة التدفق المغناطيسي) بالنسبة إلى متغير متبوع (المجال المغناطيسي). وأهم ما يمتاز به ظاهرة التأخير بين الفعل وسبب الفعل، أنه يمكنها تغيير مميزات مادة موضوعة تحت تأثير فعل عمل مغناطيسي أو غير ذلك.

3. إزالة المغنطة

1.3. تعريف

لإزالة المغنطة عن قضيب مغناطيسي وجب إخضاعه لحث ذي اتجاه معاكس، وهو ما نحصل عليه لو غيرنا اتجاه التيار العابر للفتات. أي لإزالة التمثغط كلية من مادة مغناطيسية، يجب أن تنعدم المحتفضية β_0 لأن المحتفضية هي تلك المغنطة المكتسبة في مادة معينة والتي يبقى مفعولها حتى بعد زوال منبع المغنطة.

في الواقع العملي، لا تتم إزالة المغنطة عن مادة معينة بتطبيق قوة مغنومترية تكون معكوسة. لماذا؟ لأن هذه المادة تحت تأثير القوة المغنومترية العكسية تتمغنط بقطبية معكوسة، مما يجعل المغنطة دوما حاضرة. فكيف يتم إزالة المغنطة إذن؟



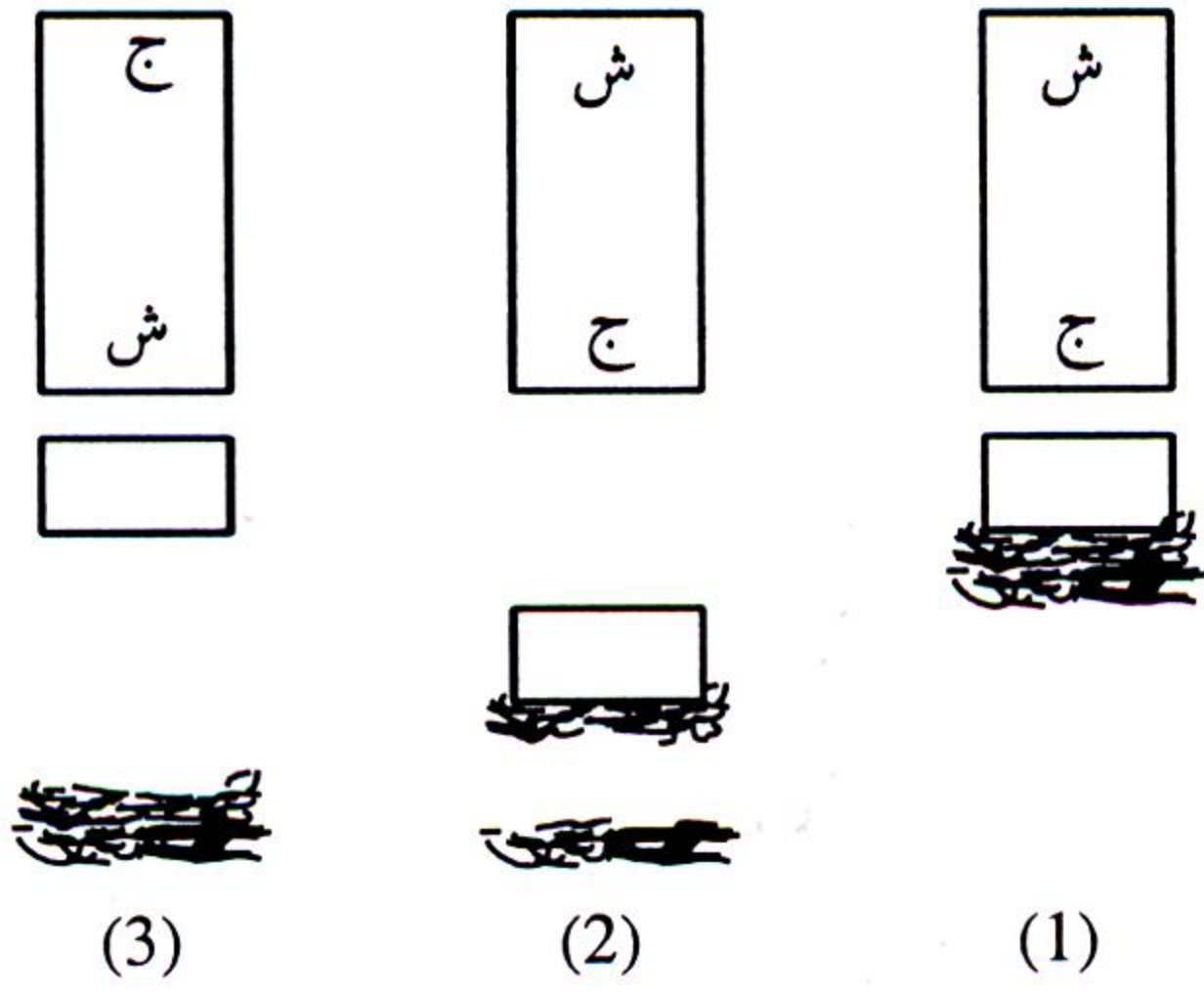
الشكل 4. كيفية إزالة المغنطة لمادة حديدية التمكنط

تتمثل الطريقة المثلى في إزالة المغنطة عن المادة بواسطة دورة تخلفية دوما متناقصة (الشكل 4)، ويتم ذلك عبر تيار متناوب ذي مطال متناقص مما يؤدي إلى تناقص الدورة التخلفية تدريجيا. كما توجد طريقة أخرى تتمثل في إبعاد منبع المجال المغناطيسي تدريجيا عن المادة.

عندما يصبح المجال قيمة صغيرة جدا، يختلط المنحنى بالقيمة صفر، مما يجعل المحتفظية β معدومة. وهذه الطريقة هي التي تعرف بإزالة المغنطة لمادة حديدية التمكنط.

2.3. المحتفظية

عند إزالة المغنطة، لاحظت أن المادة العينة سوف تحتفظ ببعض المغنطة، والتي تعرف باسم المحتفظية. وأما الآن، فسوف نقوم بتبيين هذه المحتفظية بواسطة تجربة بسيطة.



مثلت في الشكل 5. 1 مادة قابلة للتمغنط من مادة الصلب، يوضع بجوارها قضيب مغناطيسي. تكتسب في توها مغنطة مما يتسبب في جذب برادة الحديد نحوها، فتتعلق بها. لكن عند إبعاد القضيب المغناطيسي عن المادة تسقط أغلب برادة الحديد، والتي تبقى عالقة بقطعة الصلب

الشكل 5. تبقي المغنطة في الصلب : المحتفظية

(الشكل 5. 2) تبين بوضوح ظاهرة تبقي المغنطة المعروفة باسم المحتفظية.

أما إذا تم تقريب القطب المعاكس للقضيب المغناطيسي من قطعة الصلب (الشكل 5. 3)، فسوف تتساقط بقية البرادة ومن ثم تزول المغنطة تماماً... وهو الهدف المقصود من وراء هذه التجربة البسيطة.

3.3. نتائج التخلفية

تسمح تخلفية المواد حديدية التمكنط بصنع المغناطيسات الدائمة، فلتحقيق هذه العناصر لابد من استعمال مواد قابلة للتمغنط بإمكانها الإبقاء على مغنطة مُحْتَفَظِيَّة.

وتلاحظ أنه من مساوئ ظاهرة التخلفية أنه لإزالة المغنطة كلية من مادة حديدية التمكنط، لابد من إخضاع هذه المادة داخل مجال مغناطيسي حيث مطاللة يتغير بين قمتين + غ و - غ تتناقصان تدريجياً، وليس داخل مجال مغناطيسي باتجاه معاكس للذي تولده المادة حديدية التمكنط (الشكل 4).

لا بد على كل نقطة من المنحنى الممثلة للمغنطة أن تتبع سلسلة من الدورات التخلفية ذات مطال متناقص تدريجياً، إلى غاية أن تتطابق كل النقاط في نقطة واحدة هي الصفر (مبدأ المعلم)، وهو الشرط الوحيد لكي تصبح المحتفظية معدومة.

4. خسائر التخلفية

يعكس التيار المتناوب قطبيه كل مدة زمنية محددة تدعى الدور، فينتج عن ذلك قوة مغنومحركة متغيرة ومعكوسة عدة مرات متتالية، تتبع في ذلك تغيرات التيار. فلو كان التيار يتغير بسرعة كبيرة فسوف تعكس القوة المغنومحركة عدة مرات في الثانية، مما ينتج عن التخلفية خسارة معتبرة في الطاقة. كيف ذلك ؟

عند تغير قطبية القوة المغنومحركة من جراء التيار المتناوب، يظهر احتكاك ناجم عن قطبي الجزيئات المكونة للمادة العينة. فتكون نسبة كبيرة من هذه القوة تعمل للتغلب على هذا الاحتكاك، الشيء الذي يجعلها تنجز عملاً يظهر في شكل انتشار الحرارة من على المادة العينة.

هذه الطاقة المصروفة على شكل حرارة تدعى خسائر التخلفية. وخسائر التخلفية للصلب، وكل المواد حديدية التمغنط المصنوعة ابتداءً من الصلب، تكون أكبر من غيرها مقارنةً بخسائر التخلفية المسجلة عبر المواد المغناطيسية الناعمة مثل الحديد.

مسائل

1. ما مدلول المصطلح "المغطة الأولى" ؟ لم هذه التسمية ؟
2. أرسم منحنى خاصية المغطة الأولى، وأذكر تغيرات وسائطه.
3. إلى ما ترمز ظاهرة الإشباع ؟ اشرح ما يحدث عند تسجيلها.
4. أذكر وجه التشابه والاختلاف عند منحنى خاصيات المغطة الأولى بين الحديد والصلب.
5. ماذا يمثل المجال القسري ؟ وفيما يتسبب ؟ اشرح.
6. تعرف التخلفية على أنها تأخر في زوال المغطة. كيف يحدث هذا التأخر وما المتسبب فيه ؟
7. ما مفهوم التخلفية المغناطيسية ؟ عرف الدورة التخلفية.
8. تأخر المغطة وليد ظاهرة العلة والمعلول. كيف ذلك ؟
9. كيف تتم عملية إزالة المغطة علما أن المحتفظية هي مغطة متبقية ؟ اشرح.
10. كيف تنجم خسائر التخلفية ؟ ما المتسبب فيها ؟

الكهر ومغناطيس

بعد اكتشاف العالم الدانماركي أرسند وبعد ملاحظات عديدة للعلاقة الشهيرة التي تجمع الكهرباء والمغناطيسية، لوحظ وفي مرحلة لاحقة أن المجال المغناطيسي المتحرك يكون وراء حركة الإلكترونات ومنها يتولد التيار العابر للدائرة المغناطيسية. ومن هنا ترى سببية التسمية المزدوجة : الكهر ومغناطيسية.

1. تصميم التركيب

1.1. كيفية الصنع

المغناطيس أساسا نوعان هما : مغناطيس دائم وكهر ومغناطيس. بغض النظر عن الأول الذي قيل فيه بما هو كاف وشاف، سوف نتطرق للنوع الثاني مباشرة لدراسة الخصائص المغناطيسية.

يتكون الكهر ومغناطيس من نواة حديدية ملفوفة بسلك ناقل للكهرباء، فهو بذلك وشيعة. عند مرور التيار عبر سلك ناقل مستقيم، رأينا أنه يتكون من حوله مجال مغناطيسي. فلو كان السلك ملفوفا فسوف نسجل تركيز

وتكثيف المجال المغناطيسي، وبقدر ما يصغر مكان التركيز بقدر ما تكون شدة المجال أكبر. وتصبح هذه الوشيعة وكأنها قضيب مغناطيسي ذو قطبان متعاكسان، حيث تقوم النواة بتركيز الخطوط المغناطيسية.

ولعل أهم ميزة لدى الكهرومغناطيس أنه عند مرور التيار عبر اللفات، تتمغنط النواة في الحين بقوة. وإذا ما قطع التيار تفقد النواة تمغنطها مباشرة. لأجل ذلك تصنع النواة من مادة الحديد الناعم، لأن هذا الأخير تسهل مغنطته كما تسهل إزالتها.

2.1. تطبيقات التصميم

يستعمل الكهرومغناطيس أساسا قصد :

- توليد مجال مغناطيسي ذي شدة عالية.

- جذب اللبوس أو موادا مصنوعة من الحديد.

في الشكل 1، تعرض أنواع الكهرومغناطيسات حسب الاستعمال...

فالشكل 1. 1 يمثل نواة من الحديد الناعم يلفها سلك ناقل للتيار، إذ عند

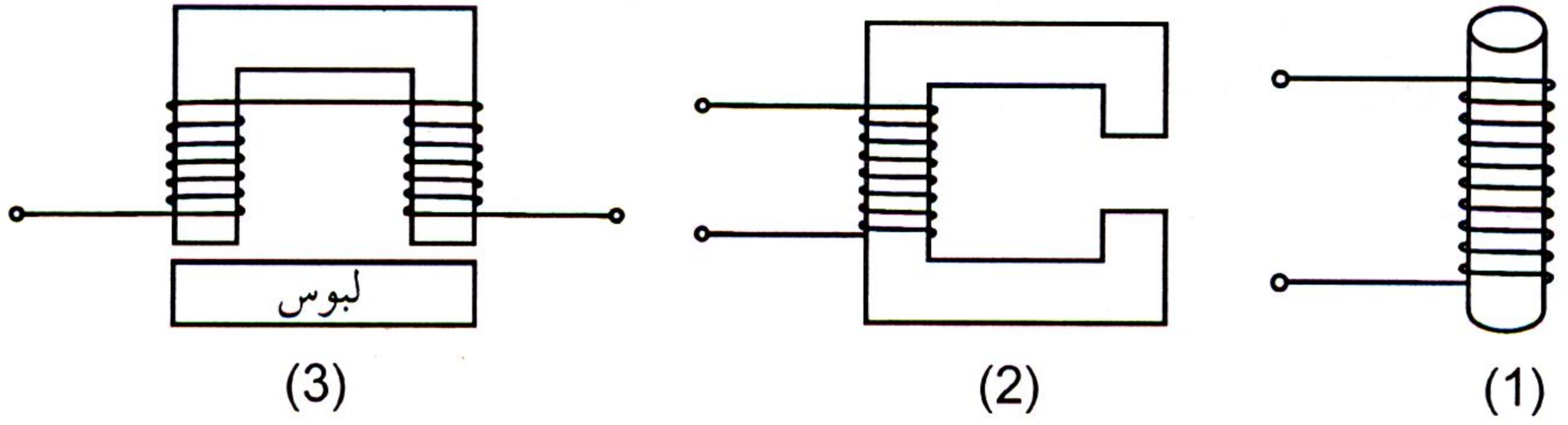
عبوره تتمغنط النواة مكونة قطبين متعاكسين في طرفيها. أما الشكل 1. 2

فيمثل طريقة ثانية لتركيز المجال، فمثلا يتم تركيز المجال بوضع نواة داخل

فضاء اللفات، فإن هذا التصميم للنواة يسمح بتركيز أشد.

أما الشكل 1. 3، فيمثل تصميم أهم الأجهزة المستعملة بتقنية

الكهرومغناطيس والمدعو مرحل. لبوس المرحل المصنوع من الحديد الناعم



الشكل 1. أنواع الكهرومغناطيسات

يجذب من قبل الكهرومغناطيس عندما يعبر اللفات تيار كهربائي، وإذا ما قطع التيار عن الكهرومغناطيس فإنه يترك اللبوس يعود لمكانه الأصلي... ومن هنا تلاحظ مدى تطبيقاته في الدارات الكهربائية والدارات الإلكترونية في وظيفة المراقبة والضبط.

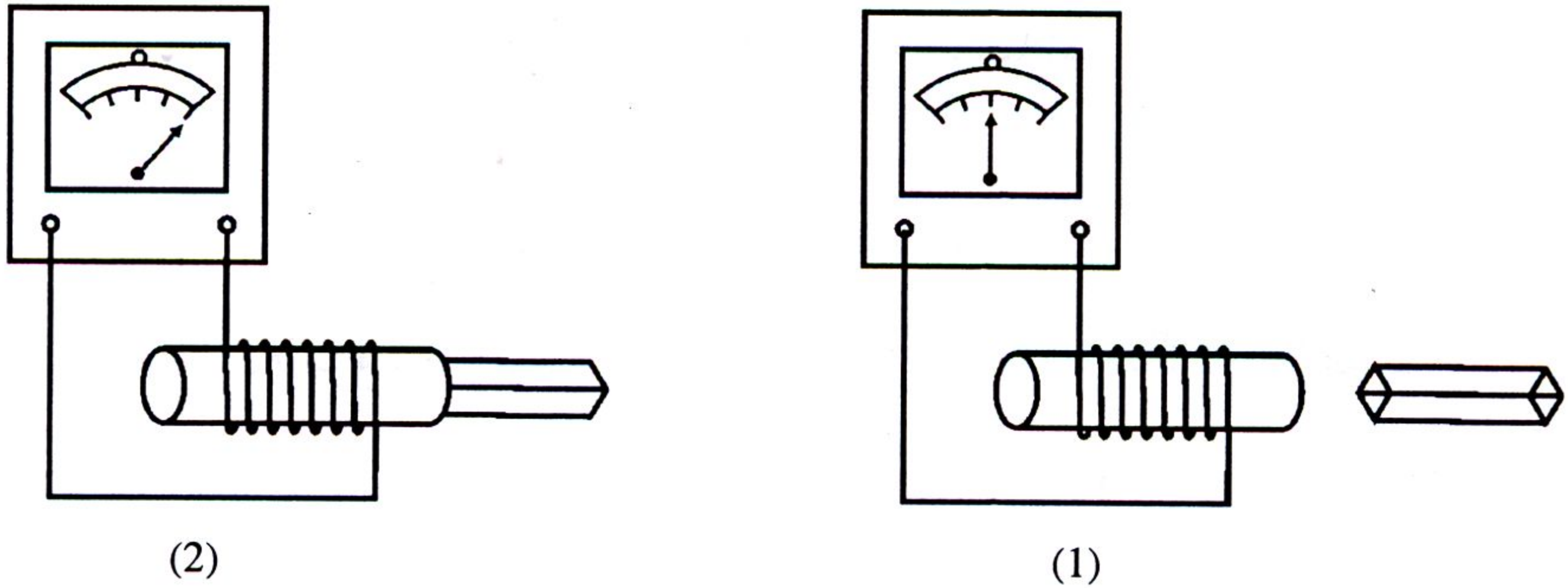
2. الحث الكهرومغناطيسي

1.2. تعريف

الكهرومغناطيسية هي علاقة وطيدة تجمع الأختين : الكهرباء والمغناطيسية. وقد تم، بحمد الله، تعريف الكهرومغناطيسية. فما هو إذن الحث الكهرومغناطيسي ؟

للإجابة عن هذا السؤال إليك هذه التجربة البسيطة التي يستعمل فيها الجهاز الغلفاني، وهو جهاز يتحرك الإبرة يشير إلى عبور التيار، وهو عادة يحتوي على سلم مركزي أي أن صفر الجهاز يتوسط السلم. وفي الفصل 3 من الجزء الرابع، دراسة وافية وكافية لهذا الجهاز.

تتمركز إبرة الجهاز الغلفاني على الصفر إذا لم تخضع إلى أي تأثير كهربائي أو مغناطيسي، معلنة عن عدم عبور التيار للدائرة (الشكل 2. 1). ولكن تتحرك هذه الإبرة في حالة ما إذا وجد قضيب مغناطيسي يتحرك بالقرب من الوشاعة، وسرعان ما تعود إبرة الجهاز إلى نقطة الصفر في حالة ما إذا توقف المغناطيس عن الحركة حتى ولو كان قريبا جدا من الوشاعة.



الشكل 2. تجربة توضح الحث الكهرومغناطيسي

يزداد انحراف الإبرة كلما زاد توغل المغناطيس داخل الوشاعة (الشكل 2. 2)، وحين يجذب المغناطيس من داخل النواة فإن الإبرة تنحرف في الاتجاه المعاكس. ولتعلم أن انحراف الإبرة لا يتم ولا يحدث إلا عند تحرك المغناطيس، وأن انحراف إبرة الجهاز الغلفاني دليل على مرور تيار عبر لفات الوشاعة. ولكن الدارة لا تحتوي على أي مولد أو منبع للطاقة، فمن أين تولد هذا التيار العابر للوشاعة؟

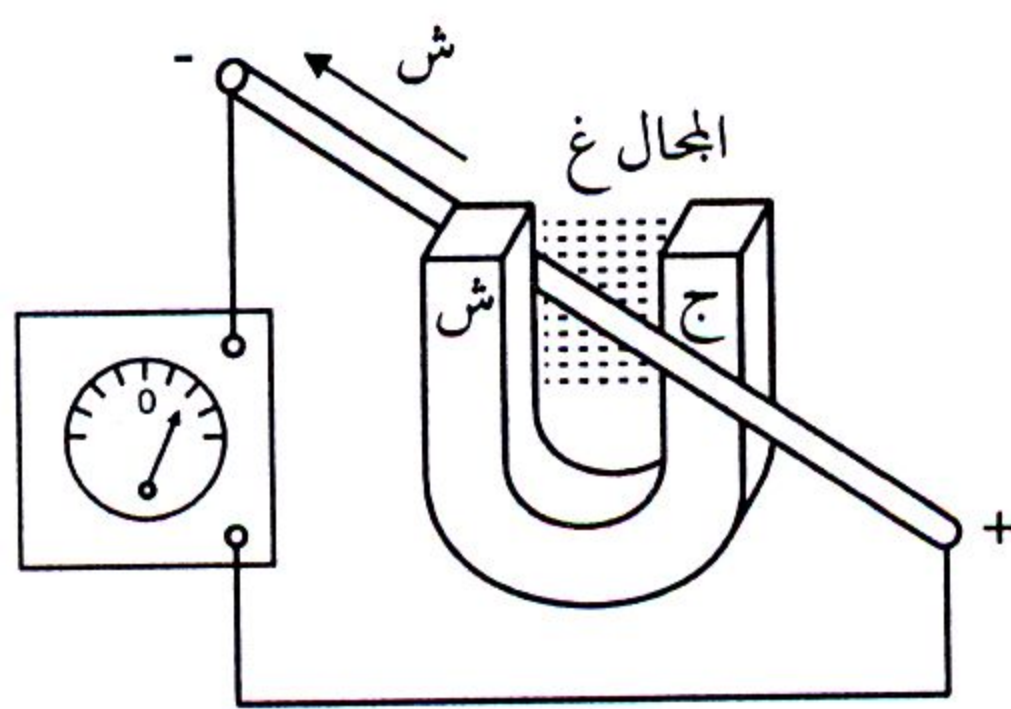
هذا هو مفهوم الحث الكهرومغناطيسي. فالحث، وكما رأينا معا، هو التأثير الكهربائي لجسم معين على آخر دون أي تلامس بينهما. وأما الكهرومغناطيسية، فهي الآثار والنتائج المغناطيسية للتيار الكهربائي. ومن ثم كانت ازدواجية المفعولين، وعليه وضع اصطلاح "الحث الكهرومغناطيسي"...

يعرف الحث الكهرومغناطيسي، والذي يختلف تماما عن الحث المغناطيسي، على أنه تلك الظاهرة التي تصحب تغيرات الفيض في دائرة كهربائية فينتج عن هذه التغيرات قوة محرّكة للحث داخل هذه الدارة.

الحث الكهرومغناطيسي هو حث تيار أي توليده بواسطة حركة المجال المغناطيسي، فهو ظهور تيار مستحث ش (الشكل 2.2) عن مجال مغناطيسي متحرك. ولتعلم أنه بدون حركة لا وجود لأي تيار، إذ عندما يتوقف مغناطيس الشكل 2 فإن مفعول الحث الكهرومغناطيسي معدوم، حتى وإن وجد المغناطيس داخل لفات الوشعة.

2.2. التيار المستحث

إن حركة الإلكترونات لا تولد مجالا مغناطيسيا إلا بواسطة حركة الفيض المغناطيسي، ومنه — قياسا بخطوط القوة المغناطيسية العابرة للسلك الناقل الملفوف — فإن حركة الخطوط التي تشق السلك الناقل تضغط على الإلكترونات الحرة لتتحرك، مما ينجم عنه ظهور تيار كهربائي وهو ما يعرف بالتيار المستحث. وتسجيل ذلك في شكل تعريف إليك التجربة الموالية.



الشكل 3. التيار المستحث
عن حركة الفيض المغناطيسي

يوضع سلك ناقل مستقيم عموديا على الفيض المغناطيسي لمغناطيس حدوة الحصان (الشكل 3). حركة المغناطيس الدائم نحو الأعلى أو الأسفل ينجم عنها فيض مغناطيسي يقطع السلك الناقل فيكون وراء توليد التيار، وما انحراف إبرة الجهاز الغلفاني إلا دليل عن وجود هذا التيار.

فحركة المغناطيس نحو الأعلى تؤدي إلى ظهور تيار في الاتجاه الموضح على الشكل 3، وعندما يتحرك نحو الأسفل ينعكس عبور التيار ليصبح في الاتجاه المعاكس. ولتعلم أنه مهما كانت حركة المغناطيس فإننا سوف نسجل انحراف الإبرة، ومن ذلك أمكن استنتاج النقاط التالية :

1. تسجيل انحراف الإبرة حول الصفر (اليمين أو اليسار) يتم حسب حركة المغناطيس نحو الأعلى أو الأسفل.
2. لا وجود لتيار مستحث — إطلاقاً — بدون حركة للفيض (حركة المغناطيس)، وعليه فلا بد من حركة لإستحاثة التيار عبر الجهاز الغلفاني.
3. ليس من الضروري تحريك المغناطيس، بل يمكن تحريك السلك الناقل لتسجيل عبور التيار.
4. للإحراز على حث كهرومغناطيسي، لابد أن يكون السلك الناقل عمودياً على الخطوط المغناطيسية للفيض، وإلا فلا وجود لتيار مستحث.
5. السبب المباشر لوضع السلك الناقل عمودياً على الخطوط المغناطيسية هو أننا نريد الحصول على تيار مستحث، يكون مفعول مجاله مضافاً إلى مفعول مجال المغناطيس الدائم غ. وإن أنعدم هذا التفاعل بين مجال التيار المستحث ومجال المغناطيس (المجال المحاث)، فلا يمكن الحصول على تيار مستحث.
6. الآثار الناتجة عن الحث الكهرومغناطيسي للتجربة الأولى (وشيعه ذات لفات) مضاعفة بالنسبة للتجربة الثانية، وذلك أن الفيض مركز ويقطع عدة لفات.

في الشكل 2، إذا ما أدخل المغناطيس داخل الوشيعة فإن الفيض العابر لهذه الوشيعة يكون كبيرا مقارنة إذا ما أستبقى خارج الوشيعة، لأن الخطوط المغناطيسية يكثر عددها داخل الوشيعة فتكثف حول المغناطيس. ولا وجود لتيار مستحث دون حركة المغناطيس التي ينجم عنها تغير في عدد الخطوط المغناطيسية، وبالتالي تغير في الفيض، وعليه فلا وجود لتيار دون تغيرات الفيض المحاث.

وعندما يقرب القطب الشمالي مثلا من الوشيعة، يكون هذا سبب تولد تيار مستحث يجعل من واجهة الوشيعة المقابلة للمغناطيس هي الوجه الشمالي. وعليه تتولد قوة نافرة — بحكم تشابه القطبية — تعاكس الحركة، فتستخرج القاعدة الثانية لقانون لتر، وهي أدق وأشمـل : يكون التيار المستحث معاكسا للسبب الذي تولد عنه.

ملاحظة هامة

يستعمل قانون لتر لتحديد إتجاه التيار المستحث، فينص على أن إتجاه التيار المستحث يحدد بطريقة أن مجاله المغناطيسي "المستحث" يعاكس الفعل الذي تولد عنه. وبما أنه لا وجود لهذا التيار بدون حركة للمغناطيس الدائم (أي توليد تغيرات الفيض)، فإن هذه الحركة لو كانت مستمرة ومنتظمة بين جذب ودفع داخل الوشيعة، فسيولد تيار منتظم يكون تيارا دوريا متناوبا.

3.2. قانون لenz

من خلال ما تقدم، نقول أن لا وجود لتيار مستحث بدون حركة للفيض، وانحراف الإبرة يشير إلى عبور تيار مستحث. ولكن سؤال محير يجول في خاطرك : كيف يعرف اتجاه التيار المستحث ؟

للإجابة عن هذا السؤال نعود بك إلى التجربة الأولى للشكل 2، ونقوم بتسجيل النتائج التالية التي لخصت في الجدول 1 :

بوضع القطب الشمالي للمغناطيس بالقرب من الوشيعة، فإن انحراف الإبرة يكون نحو اليمين، وأما عند إبعاده فالانحراف يكون نحو اليسار. وأما إذا تم تقريب القطب الجنوبي من الوشيعة فإن انحراف الإبرة يكون نحو اليسار، ويصبح الانحراف نحو اليمين لو أبعد القطب الجنوبي.

تولد حركة الفيض تيارا مستحثا الذي بدوره يُولد مجالا يدعى مجال التيار المستحث أو باختصار المجال المستحث. ولتفادي أي التباس أو خلط، فإن مجال المغناطيس الدائم المولد للتيار المستحث يدعى المجال المحاث. ومن الجدول 1 نستطيع كتابة القاعدة الأولى لقانون لenz¹ : يضبط إتجاه التيار المستحث بطريقة أن المجال المستحث يسعى دوما لمعارضة تغيرات المجال المحاث.

1. لenz (Heinrich Friedrich Emil LENZ : 1804-1865) فيزيائي روسي من أصل ألماني اشتهر خاصة بقانونه الذي تناول فيه الحث الكهرومغناطيسي.

العملية	التجربة	النتيجة	تعليق	استنتاج
القطب الشمالي للمغناطيس قريب من الوشيعه	انحراف الإبرة نحو اليمين	اتجاه مجال التيار المستحث معاكس لاتجاه مجال المغناطيس الدائم	تزايد مجال المغناطيس الدائم بقيمة مطلقة يؤدي إلى تعاكس إشارة المجالين	
القطب الجنوبي للمغناطيس قريب من الوشيعه	انحراف الإبرة نحو اليسار	اتجاه مجال التيار المستحث مماثل لاتجاه مجال المغناطيس الدائم	تناقص مجال المغناطيس الدائم بقيمة مطلقة يؤدي إلى تماثل إشارة المجالين	
إبعاد القطب الشمالي	انحراف الإبرة نحو اليسار	اتجاه مجال التيار المستحث مماثل لاتجاه مجال المغناطيس الدائم		
إبعاد القطب الجنوبي	انحراف الإبرة نحو اليمين	اتجاه مجال التيار المستحث مماثل لاتجاه مجال المغناطيس الدائم		

الجدول 1 : تسجيل الحث الكهرومغناطيسي في لفات وشيعة

3. القوة الكهرومحرركة للحث

1.3. تعريف

عندما يتحرك المغناطيس الدائم للشكل 3، يتولد التيار المستحث الذي يعبر السلك الناقل، الشيء الذي يؤدي إلى ظهور فرق كمون بين طرفي السلك الناقل. كيف ذلك ؟

عندما يتولد التيار المستحث عبر السلك الناقل، تتكشف الشحنات السالبة (الإلكترونات) في القطب (-) في حين تترك هذه الشحنات القطب (+)، فيظهر كمون موجب وآخر سالب في طرفي السلك الناقل. وعليه، يظهر فرق

في الطاقة الكهرومغناطيسية ناتج عن تفرق الشحنات بين الطرفين. يكون فرق الكمون هذا سليل التيار المستحث، وعليه تسميته بالجهد المستحث.

فرق الكمون هذا عبارة عن قوة كهرومحرركة وليدة تغيرات الفيض في الدارة وهي تعرف بالقوة الكهرومحرركة للحث، وهي مرتبطة بعدد اللفات فهي أكبر بالنسبة للشكل 2 مقارنة بالشكل 3 إذ كل لفة حول الوشيعية تساهم في زيادة الجهد المستحث. وعليه تكون القوة الكهرومحرركة مأخوذة بين طرفي الوشيعية وهي تعادل مجموع الجهود المستحثة لكل لفة حول الوشيعية، إذن فالقوة الكهرومحرركة هي الجهد المستحث الكلي للوشيعية.

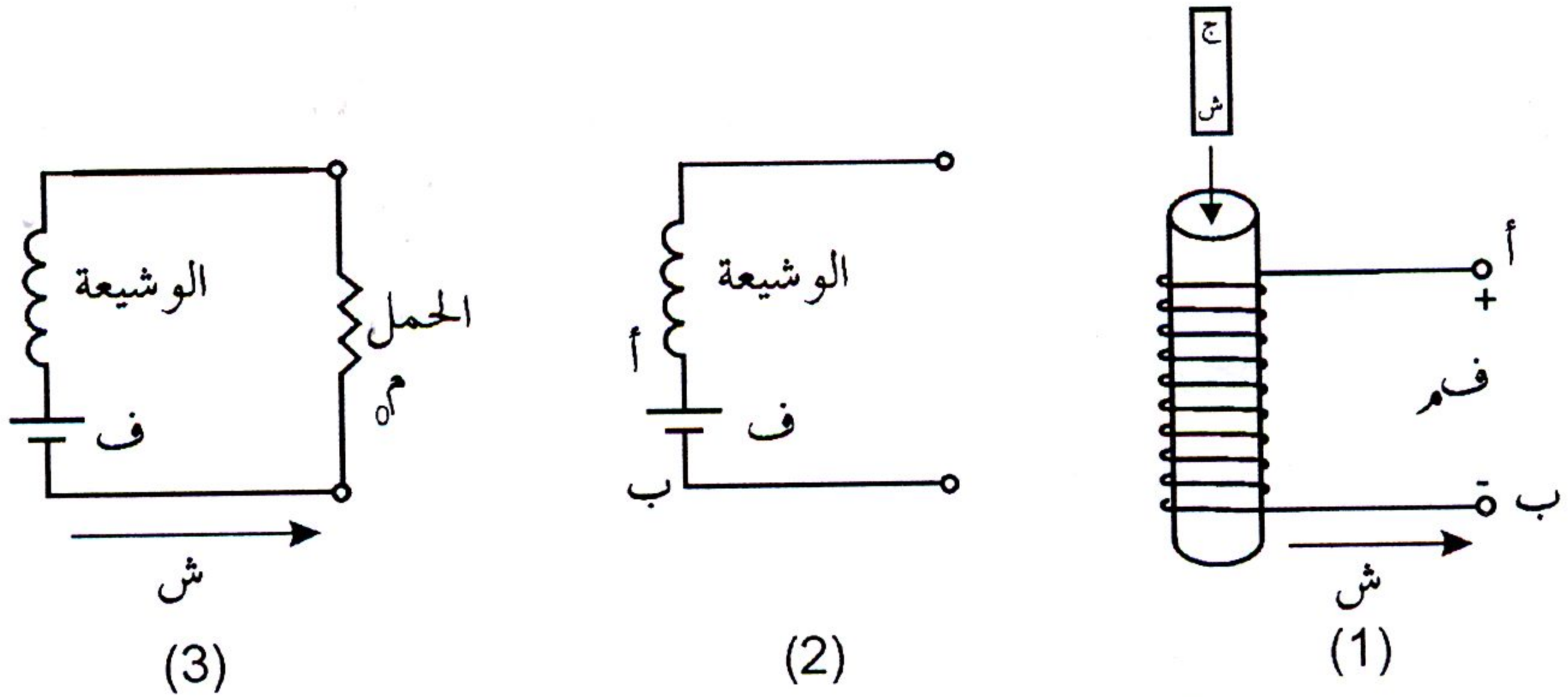
القوة الكهرومحرركة للحث تولد التيار المستحث عندما تخضع دارة مغلقة لتغيرات الفيض (وتسمى دارة مستحثة)، وتسير الأمور وكأن الدارة تحتوي على مولد، حيث يكون فيها اتجاه التيار مرتبطا باتجاه تغيرات الفيض. يولد التيار المستحث عبر الدارة المغلقة فيضا (الفيض المستحث) يعارض تغيرات الفيض المحاث : قانون لير.

تحدد قطبية الجهد المستحث عن طريق اتجاه التيار المستحث، فالقطب الذي تتجمع فيه الإلكترونات هو القطب السالب للجهد المستحث، والقطب الذي يفتقر للإلكترونات هو القطب الموجب للجهد المستحث.

2.3. الجهد المستحث

عندما يتحرك المغناطيس الدائم داخل وشيعية الشكل 4. 1، يظهر الجهد المستحث الكلي بين القطبين أ و ب. فيعمل بتسلسل مع الوشيعية تماما وكأن

الأمر يتعلق بالدائرة الممثلة في الشكل 4. 2، حيث يمثل الجهد المستحث على شكل مولد جهد مستقل $F = F_-$ ، فرق كمونه ناتج عن تفرق الشحنات تحت تأثير الحث الكهرومغناطيسي.



الشكل 4. كيفية تمثيل الجهد المستحث في دائرة كهربائية

قد مثل الجهد المستحث متسلسلا مع الوشيعة، لأن التيار المستحث لزاما عليه المرور عبر كل اللفات. ولتعلم أنه يستحيل على المنبع F أن يولد تيارا مستحثا إلا إذا كانت الدارة مغلقة، وذلك بوضع حمل M_0 مثلا بين قطبي الوشيعة كما يوضحه الشكل 4. 3.

إن اتجاه التيار $ش$ يرمز إلى فيض الإلكترونات داخل الدارة المغلقة. ففي خارج المنبع F ، تتجه الإلكترونات من القطب السالب نحو مقاومة الحمل M_0 ، لتعود في نهاية المسار إلى القطب الموجب. أما في داخل المنبع $F = F_-$ ، فإن فيض الإلكترونات تتجه من القطب الموجب نحو القطب السالب وهذا تبعا لقانون لتر، إذ لا بد أن يكون الطرف العلوي للوشيعة قطبا شماليا ليحدث التعارض عندما يتحرك المغناطيس الدائم.

3.3. صيغة فراداي

كل دائرة كهربائية يعبرها تيار مستحث تكون موطن قوة كهرومحرركة للحث، ولا وجود لهذا التيار المستحث دون حركة المغناطيس الدائم التي تنجم عنها تغيرات في عدد خطوط القوة المغناطيسية، أي تغيرات الفيض. فكلما كبرت تغيرات الفيض كلما زادت قيمة القوة الكهرومحرركة للحث، فهذه الأخيرة إذن متناسبة طردا مع تغيرات الفيض.

في التجربة السابقة لو أدخل القضيب المغناطيسي بسرعة، تسجل شدة تيار كبيرة للحظة قصيرة، ولو أدخل بتمهل فإن شدة التيار تكون أضعف بكثير ولكن لمدة أطول. ومن هذا الاستنتاج الثاني، نقول أن القوة الكهرومحرركة للحث متناسبة عكسا مع زمن تغيرات الفيض. ومن هنا فإن تغيرات الفيض $\Phi\Delta$ لدائرة كهربائية مغلقة تؤدي إلى ظهور قوة كهرومحرركة للحث وتيار مستحث، حيث القوة الكهرومحرركة للحث عبارتها الرياضية هي وفق صيغة فراداي¹ المعرفة كالتالي :

$$e = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad \text{قم} = - \frac{\Phi \Delta}{\Delta z}$$

حيث :

$\Phi\Delta$ - هي تغيرات الفيض المحاث ووحدتها وبيار : $\Phi\Delta$ [بر]

1. فراداي (Michael FARADAY : 1791-1867) فيزيائي وكيميائي بريطاني، توصل عام 1821 من اكتشاف مفعول مجال مغناطيسي لمغناطيس دائم على دائرة كهربائية يعبرها تيار، ومن ذلك وضع مبدأ المحركات الكهربائية. وبعد عدة تجارب، تمكن عام 1831 من وضع نظرية الحث الكهرومغناطيسي. كما أجرى سنة 1833 عدة تجارب حول الكهروتحليلية فوضع قوانينها، وأدرج مصطلح "لاحب". وفي نفس السنة، اكتشف ظاهرة المجانبية المغناطيسية. ودراسة العوازل الكهربائية، مكنه سنة 1838 من إدراج مفهوم "السماحية".

- Δz هو زمن تغيرات الفيض المحاث ووحدته الثانية : Δz [ثا]

- قم هي القوة الكهرومحرركة للحث المتوسطة ووحدتها فولط : قم [فو]

لاحظ جيدا أن إشارة القوة الكهرومحرركة تتبع دوما إشارة التيار، وهي القوة التي تعمل على استمرارية تدفقه في الدارة المغلوقـة. ومن خلال التجارب المسجلة، تم الاصطلاح على أن إشارة القوة الكهرومحرركة للحث (وكذلك التيار المستحث) تتبع دوما إشارة الفيض المستحث الذي يعاكس الفيض المحاث (قانون لير)... ومن هنا تفهم سبب وجود الإشارة (-) أمام صيغة فراداي سالفة الذكر. تمنح العبارة السابقة القوة الكهرومحرركة المتوسطة للمدة الزمنية Δz ، فما هي قيمة هذه القوة في لحظة زمنية معينة، ولتكن z ؟

القوة الكهرومحرركة اللحظية، تسمية تعطى لهذه القوة إذا ما قيسـت (أو حسبت) لزمن مدقق z . وللبحث عن هذه القوة ما عليك إلا أن تجعل المدة Δz تتناهى إلى الصفر، وتكون بذلك القوة الكهرومحرركة اللحظية هي عكس مشتق الفيض بالنسبة للزمن، وعليه تكون القوة الكهرومحرركة اللحظية وفق المعادلة التالية :

$$e = - \frac{d \Phi}{d t} \quad \text{قم} = - \frac{\text{تفا } \Phi}{\text{تفا } z}$$

4. قانون فراداي للجهد المستحث

1.4. تعريف

من خلال التجارب المسجلة في هذا الحقل، شاهد المختصون أن الجهد المستحث مرتبط من جهة بعدد اللفات حول الوشيعـة، ومن جهة أخرى بسرعة تحرك الفيض عبر السلك الناقل. وبصفة أدق، عبارة الجهد المستحث مرتبطة بثلاث معاملات هي :

- عدد اللفات حول الوشيعة، فكلما زادت اللفات يزيد الجهد المستحث الذي يعتبر مجموع الجهود المستحثة لللفات المتسلسلة حول الوشيعة.
 - قيمة الفيض، فكلما زادت خطوط القوة المغناطيسية التي تقطع السلك الناقل، زادت قيمة الجهد المستحث.
 - السرعة التي يقطع بها الفيض سلكا ناقلا.
- ومن هنا يكون قانون فراداي وفق المعادلة التالية :

$$v = N \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{قم} = \frac{\text{تفاضل } \Phi}{\text{تفاضل } t}$$

حيث :

- N هو عدد اللفات حول الوشيعة
- $\frac{d\Phi}{dt}$ سرعة الفيض Φ لقطع السلك الناقل ووحدها وبيار على الثانية، أي بر/ثا.

ما معنى سرعة الفيض لقطع السلك الناقل ؟ ما مدلول هذا الكلام ؟
 للإجابة عن هذا السؤال إليك هذا المثال : في لحظة زمنية معينة، أنتقل الفيض من 4 وبيار إلى 10 وبيار. إذن تغيرات الفيض هي $\Delta\Phi = 6$ وبيار، وإذا تم الانتقال إلى قيم أصغر فإن التغيرات تكون سالبة. وأعلم أن مفهوم تغيرات الزمن مماثلة لتغيرات الفيض، فلو أخذنا الفيض ثانيتين (2 ثا) بعد اللحظة الزمنية المرجعية ومرة أخرى 4 ثوان بعد نفس المرجع فإن تغيرات الزمن تساوي $\Delta t = 2$ ثا.

ملاحظة هامة

لا وجود لزمن سالب، إذن فالزمن يتقدم لا يتأخر، ومن ثم فلا وجود لآلة استكشاف الزمن بل هي نتاج أفلام الخيال فقط. فلو أخذنا تغيرات الفيض والزمن كمثال واحد، فإن فيضا يتزايد بمعدل 6 وبيار في الثانية، تكون سرعة تغيرات الفيض المغناطيسي تساوي $3 = \frac{6}{2} = \frac{\Phi \Delta}{\Delta z}$ وبيار/ثانية.

2.4. مفهوم المحاثية

إن مرور التيار الكهربائي عبر سلك ملفوف حول أسطوانة يولد مجالاً مغناطيسياً، ومنه تصبح الوشعة كهرومغناطيساً يحيط به خطوط القوة المغناطيسية، بحيث أن الفيض Φ مرتبط بشدة التيار I وعدد اللفات N ، إذ يشتد المجال المغناطيسي بزيادة أحدهما. وعليه نستنتج علاقة جامعة تكتب وفق المعادلة التالية :

$$L = \frac{N \cdot \Phi}{I} \quad \text{حيث} \quad \frac{\Phi \cdot N}{I} = L$$

حيث L هو معامل ثابت يرتبط بالكهرومغناطيس يعرف بالمحاثية، وهو يشير إلى مدى قدرة اللفات على توليد جهد مستحث عندما يعبره تيار متغير. وقد تناولنا هذا المفهوم في الفصل 10.

أعمال تطبيقية

تمرين

وشية، عدد لفاها 25، تدور داخل مجال مغناطيسي بحيث تقطع خطوط الفيض بمعدل 10 ويار كل ثانية. أحسب فرق الكمون المسجل بين قطبي الوشية في اللحظة التي يحدث فيها ذلك.

الجواب

ينص قانون فراداي على أن :

$$e = N \frac{d \Phi}{d t} \quad \text{قم} = \frac{\text{تفا } \Phi}{\text{تفا ز}}$$

حيث :

– ن هو عدد اللفات حول الوشية.

– $\frac{\text{تفا } \Phi}{\text{تفا ز}}$ هو معدل الحركة الحاصلة بين خطوط الفيض وحلقات سلك الوشية.

ومن ذلك فإن قم، وهو الجهد المستحث بين قطبي الوشية المتولد عن الحركة المذكورة، يعادل الجداء 25 x 10، أي قم = 250 فولط.

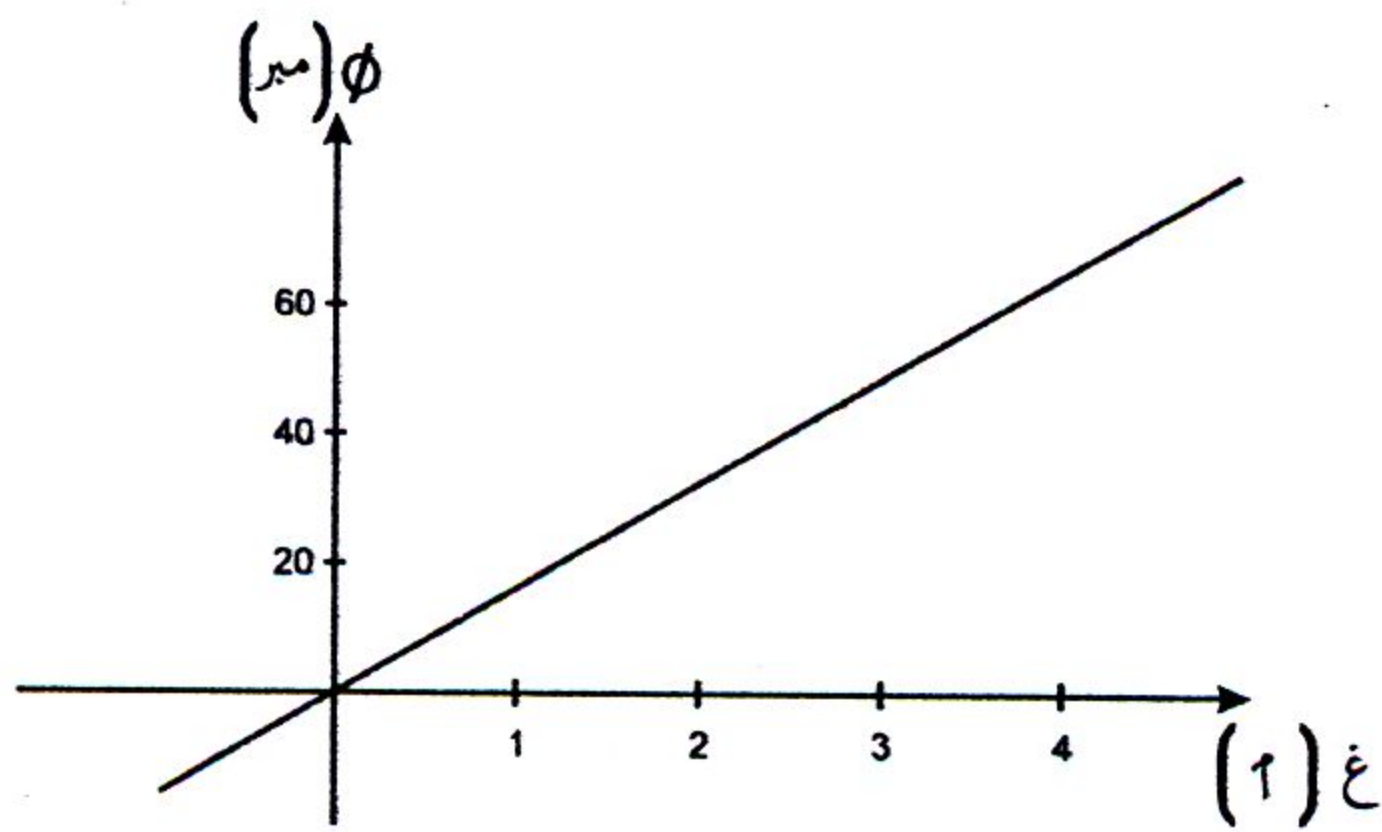
مسائل

1. أذكر كيفية صنع الكهرومغناطيس. ما يشترط في نواته ؟ اجتهد في ذكر بعض تطبيقات المرحل.
2. ما تعريف الحث الكهرومغناطيسي ؟ ما المتسبب في ظهوره ؟
3. ما مدلول المصطلح "التيار المستحث" ؟ أذكر كيفية توليده.
4. ما نص قانون لتر ؟ اشرح ذلك مبرزاً الفرق بين الكمية المحاثية والكمية المستحثة.
5. ما علاقة القوة الكهرومحرركة للحث بالجهد المستحث ؟ أذكر كيفية توليدهما.
6. سلك ناقل معزول يلف حول اسطوانة 100 مرة، ينقل عبره تيار شدته 5 أمبير. أحسب المحاثية إن تولد عن ذلك فيض يعادل 10 وبيار.
7. تيار شدته 50 مآ يعبر وشيعة تحتوي على 50 لفة ومحاثتها تعادل 200 مهن. أحسب الفيض الناجم عن عبور التيار.
8. خلال مدة زمنية تعادل 1 مثا، سجلت تغيرات فيض سلك ملفوف تعادل 0,02 بر. ما عدد لفات السلك إن لوحظ جهد بين قطبي الوشيعة يعادل 10 فولط ؟
9. من خلال منحنى تغيرات الفيض بدلالة الزمن Φ (ز) لوشيعة تحتوي على 10 لفات، تم تسجيل تغيرات 1 وبيار/ثانية. أحسب الجهد المستحث خلال هذه المدة.

10. تيار كهربائي، شدته 5 مآ، يعبر وشيعة تحتوي على 200 لفة. أحسب محاطة هذه الوشيعة إذا كان الفيض يعادل 4μ بر.

11. وشيعة، محاطتها 50 مهن وعدد لفاقتها 250، يعبرها تيار شدته 10 مآ. أحسب الفيض المتولد عبر الوشيعة.

12. تيار كهربائي شدته 5 مآ، ينتج فيضا يعادل 0,01 ويبار عبر وشيعة تحتوي على 8 لفات. أحسب محاطة هذه الوشيعة.



13. وشيعة تلف 50 مرة، تحتوي على المنحنى Φ (ش) الممثل في الشكل 5.

1. أحسب المحاطة عندما تكون

شدة التيار 1 آ.

الشكل 5. المسألة 13

2. نفس السؤال عندما ش = 3 آ.

14. في لحظة محددة، تدور وشيعة ذات 2500 لفة داخل مجال مغناطيسي فتقطع خطوط الفيض بمعدل 25 ويبار/ثانية. كم هو الجهد اللحظي الملاحظ بين قطبي الوشيعة ؟

15. يفترض أن وشيعة تقطع خطوط الفيض لمجال مغناطيسي ضخم بمعدل ثابت يعادل 8 ميلي ويبار في كل 0,1 ثانية. أحسب عدد اللفات اللازمة لهذه الوشيعة إذا قيس الجهد عبر قطبيها فوجد أنه يعادل 120 فولط.

الحث الذاتي

يتولد الحث الذاتي عندما تكون ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي، والتي تتولد داخل دائرة معينة، وليدة تغيرات الفيض الناجمة عن الدارة ذاتها.

1. توليد الحث

1.1. مفهوم الحث

يتولد الحث β في كل وشيعة يعبرها تيار، فيظهر فيض مغناطيسي Φ . فإذا كان التيار متغيرا - أي غير ثابت - فإن الفيض Φ يكون متغيرا كذلك، ومنه تتولد قوة كهرومحرركة للحث داخل الوشيعة. وبما أن هذه القوة ناجمة عن تغيرات الفيض المتولد داخل الوشيعة، فهي إذن تعتبر رد فعل الوشيعة على نفسها ومنه تسميتها بالقوة الكهرومحرركة للحث الذاتي.

إذن كل وشيعة يعبرها تيار متغير (غير ثابت) تكون موطنا لقوة كهرومحرركة للحث الذاتي. وحسب قانون لتر، فإن هذه القوة تعارض

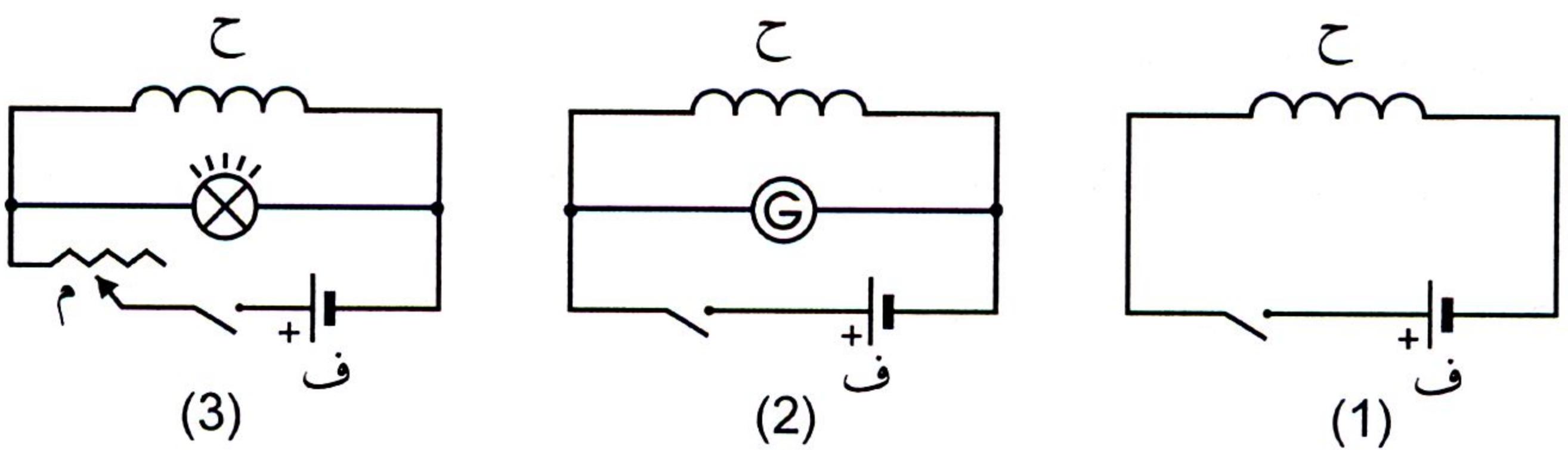
السبب الذي صنعها وتولدت عنه والمتمثل في تغيرات التيار، ويكون اتجاهها معاكسا دوما لاتجاه هذه التغيرات. ومن هنا نستنتج :

- عندما يتناقص تيار الوشيعة، فإن اتجاه القوة الكهرومحرركة للحث الذاتي يكون نفس اتجاه التيار.

- وعندما يتزايد تيار الوشيعة، فإن اتجاه هذه القوة يكون معاكسا لاتجاه التيار.

2.1. مفعول الحث على الدارة

ولتسجيل كل ما تقدم في شكل مثال، إليك هذه التجربة لتتأكد من وجود القوة الكهرومحرركة للحث الذاتي ومعرفة اتجاهها. في الشكل 1.1، دارة كهربائية مفتوحة تحتوي على بطارية ف (منبع الجهد المستمر). فلو أغلقت القاطعة، فإن الدارة سوف يعبرها تيار مستمر ثابت. فماذا يحدث لو فتحت القاطعة من جديد ؟



الشكل 1. جهاز فراداي

في الوهلة الأولى، سوف تقول أنه عندما تكون الدارة مفتوحة فإن التيار معدوم وعلى إثره ينعلم المجال المغناطيسي. وعندما تكون الدارة مغلقة

الحث الذاتي

فالتيار يعبر الدارة، وبالتالي يكتسب الفيض قيمة معينة. ولكن أرشدك إلى أن تفكر فيما تصير إليه الأمور بين هاتين اللحظتين، وبالضبط عند فتح القاطعة. يعتبر الفيض قيمة محددة عندما تكون القاطعة مغلوقة، وينتقل إلى قيمة معدومة عندما تفتح القاطعة. هذا التغير المفاجئ للفيض — وكما درسنا — يولد قوة كهرومحرركة للحث، تعارض الفيض الذي تولدت عنه وتسعى للاستبقاء على التيار ولو لحين.

فيما سبق من مواضيع، تعرضنا لتعريف الحث الكهرومغناطيسي، فهو يعتبر حث تيار بواسطة حركة مجال مغناطيسي، وفي هذه الحالة تلاحظ أن الحث الكهرومغناطيسي وليد التيار نفسه، ومن ذلك تسميته باصطلاح الحث الذاتي.

2. جهاز فراداي

1.2. تركيب التصميم

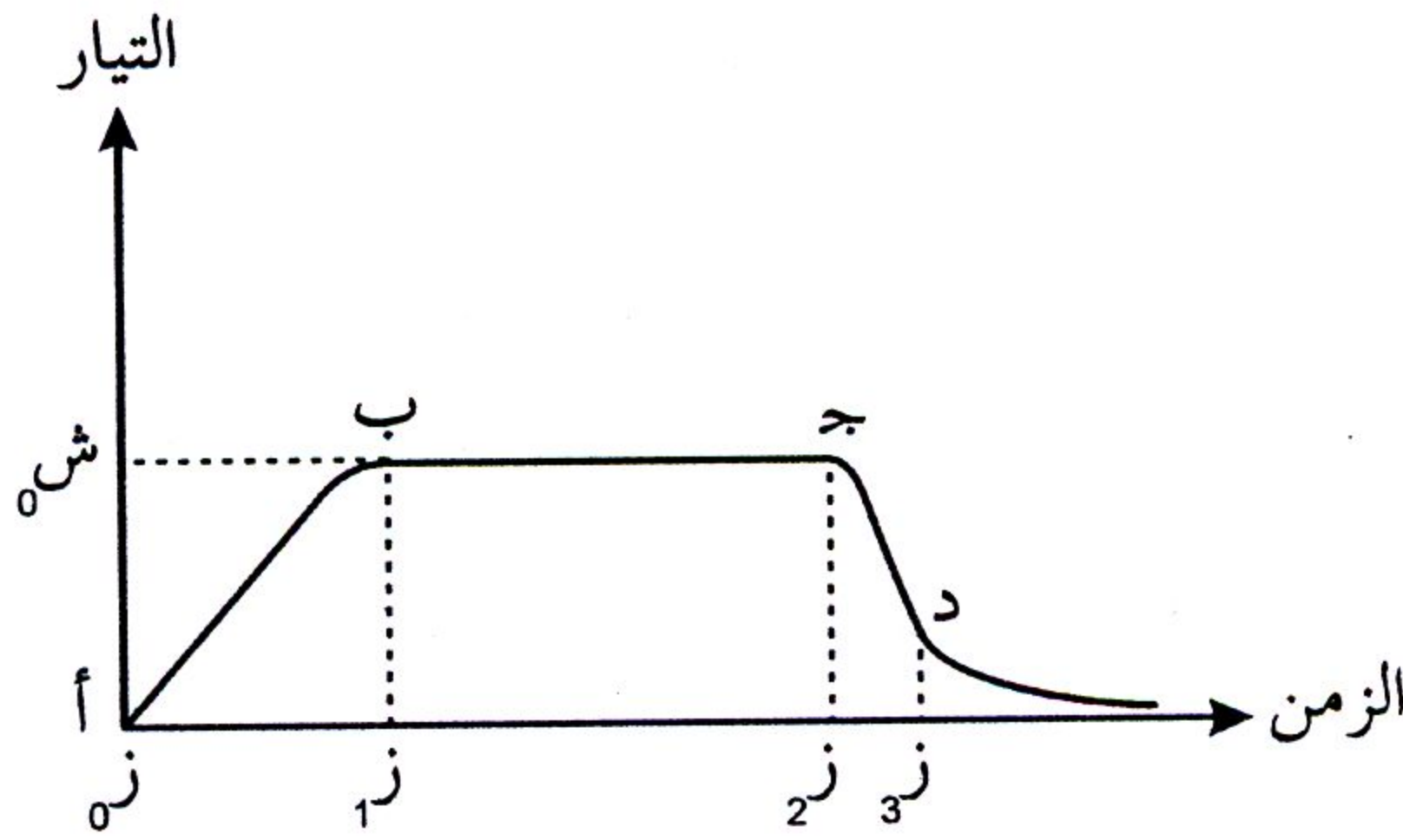
لمزيد من التوضيح إليك هذه التجربة : جهاز فراداي، دارة كهربائية تحتوي على مولد ف، قاطعة ووشية التي يركب بين طرفيها الجهاز الغلفاني (الشكل 1. 2).

عندما تغلق القاطعة، يتحرك مؤشر جهاز الغلفاني بزاوية قدرها θ_1 . وفي حالة ما إذا فتحت القاطعة وأعيد غلقها من جديد، فإن مؤشر الجهاز ينحرف بزاوية θ_2 تختلف عن الأولى بحيث أن $\theta_2 < \theta_1$. فنستنتج أن المؤشر تلقى نبضة أدت به إلى الانحراف، وهو دليل قاطع على وجود القوة الكهرومحرركة للحث الذاتي التي يكون اتجاهها عكس اتجاه التيار العابر في الوشية.

أما الشكل 1. 3 فهو تعديل لدارة فراداي، إذ يوضع مصباح بدل الجهاز الغلفاني مع زيادة معدلة مقاومتها م لضبط شدة التيار، وهذا للتحكم في إنارة المصباح. في بداية التجربة تضبط المعدلة بحيث تكون إضاءة المصباح ضعيفة، ثم تفتح القاطعة : إضاءة المصباح زادت لظرف زمني قصير ثم انطفأ كلية. ماذا حدث ؟

لا ينطفئ المصباح مباشرة بعد فتح القاطعة، لأن التيار العابر للوشية لا يعدم في الحين. بل يتناقص تدريجياً ولفترة وجيزة، وعند مروره عبر المصباح تظهر إنارة شديدة ووجيزة. وهو دليل ثاني عن وجود الحث الذاتي. فيستخلص أن القوة الكهرومحرركة للحث الذاتي تعارض التيار المتزايد، في حين أنها تمد في عمر التيار المتناقص.

2.2. دراسة تغيرات الدارة



الشكل 2. تغيرات التيار المستمر عند فتح وغلق القاطعة

وبصفة عامة، تقوم ظاهرة الحث الذاتي كلما تغير التيار في دارة كهربائية، حيث يكون اتجاه الحث الذاتي معاكساً دوماً لهذا التغير. هذا بالنسبة لدارة كهربائية ذات تيار متغير، فما هو إذن الاستنتاج إذا كانت تحتوي على تيار مستمر ثابت ؟

الحث الذاتي

تظهر ظاهرة الحث الذاتي في دائرة ذات تيار مستمر عند غلق وفتح سريان التيار فقط، لأنه في هاتين اللحظتين فقط يتغير التيار بين شدة وأخرى. إذ لا يأخذ التيار المستمر شدته ولا يعدم في حينه، بل يـتزايد أو يتناقص تدريجياً. والشكل 2 يوضح تغيرات التيار مع الزمن عند فتح وغلق الدارة.

فعند غلق الدارة في اللحظة $z_0 = 0$ ، يستغرق التيار وقتاً معيناً z_1 — ويعرف بـ زمن الصعود — فيتزايد تدريجياً ليستقر على شدته المدروسة مسبقاً $ش_0$ ، وهو ما يظهر على المنحنى في شكل المستقيم المائل أب.

وأما عند فتح الدارة في اللحظة z_2 ، فإن التيار لا يعدم في اللحظة نفسها بل يتناقص تدريجياً إلى أن يعدم في اللحظة z_3 ، ولكن زمن التزل ($z_3 - z_2$) يكون أقصر بكثير من زمن الصعود ($z_1 - z_0$)، والمستقيم المائل جـ د يظهر ذلك.

وأما المستقيم الأفقي ب جـ، فيظهر ثبوت شدة التيار $ش_0$ العابر للدائرة عندما تكون القاطعة مغلقة خلال المدة الزمنية ($z_2 - z_1$)، مشيراً إلى أن التيار العابر للدائرة هو تيار مستمر ثابت يعادل $ش_0$ يصدر عن منبع مستمر.

3. مفهوم المحاثية

1.3. تعريف

يحدث الحث الذاتي عندما يكون الحث الكهرومغناطيسي، والذي يتولد داخل دائرة، وليد تغيرات الفيض الناجمة عن الدارة نفسها. تعرف هذه الخاصية لدائرة كهربائية في توليد الفيض بمعامل الحث الذاتي أو المحاثية، كما تعرف كذلك بالذاتية.

يعرف هذا المعامل على أنه حاصل قسمة تغيرات الفيض $\Phi \Delta$ على تغيرات شدة التيار Δ ش، أي أنه وفق الصيغة الرياضية التالية :

$$L = \frac{\Delta \Phi}{\Delta i} \quad \text{ح} = \frac{\Phi \Delta}{\Delta \text{ش}}$$

حيث ح هي المحاثة. وفي حالة ما إذا وجدت الدارة في وسط غير حديدي التمكنط أو عدم وجود أي مادة حديدية التمكنط في جوار الدارة، فإن الفيض المتولد يكون متناسبا مع شدة التيار ش. كما يمكن كذلك كتابة عبارة المحاثة وفق المعادلة التالية :

$$L = \frac{\Phi}{i} \quad \text{ح} = \frac{\Phi}{\text{ش}}$$

حيث : ح هو دوما معامل ثابت.

توضح هذه العبارة أن الوحدة العالمية لقياس المحاثة تمثل محاثة وشيعة دون نواة حديدية، يقطعها فيض يعادل 1 وبيار عندما يعبرها تيار شدته 1 أمبير. تحدد القوة الكهرومحرركة للحث بواسطة العلاقة المدروسة آنفا، إذ تسعى لمعارضة عبور التيار المتزايد، أو تمهل تناقصه عندما تكون شدته متناقصة. والعبارة هي :

$$e = - \frac{d \Phi}{d t} \quad \text{قم} = - \frac{\text{تفا} \Phi}{\text{تفا ز}}$$

$$e = - L \frac{d i}{d t} \quad \text{وعليه : قم} = - \text{ح} \frac{\text{تفا ش}}{\text{تفا ز}}$$

أو بعبارة أخرى، عند مرور تيار متغير عبر دائرة خطية، فسوف تظهر القوة الكهرومحرركة إذا كانت شدة التيار متناقصة. وإن كانت متزايدة فسـتـظهر القوة الكهرومحرركة العكسية، وهي متناسبة مع مشتق التيار بالنسبة للزمن، وما معامل النسبة إلا معامل الحث الذاتي للدائرة، أو ما يعرف بالمحاثة.

2.3. محاثة لفة وحيدة

لنفرض أنه لدينا لفة وحيدة يعبرها تيار متغير والذي يتولد عنه الحث β ، وهو متناسب طردا مع القيمة المطلقة لهذا التيار، ويكون اتجاهه ثابتا في كل محيط اللفة ومرتبطا بإشارة هذا التيار.

وكذلك الحال بالنسبة للفيض فهو يتناسب طردا مع شدة التيار، أي $\Phi_0 = \text{ثا ش}$ ، حيث ثا هو معامل ثابت وموجب، وعليه فإن الكميتين Φ_0 و ش لهما نفس الإشارة. يدعى هذا المعامل الثابت بمعامل الحث الذاتي أو معامل المحاثة الذاتية، أو ببساطة محاثة الوشيعة ويرمز له بالحرف ح . ومنه :

$$\Phi_0 = L \cdot i$$

$$\Phi_0 = \text{ح} \cdot \text{ش}$$

والتيار المتغير بدلالة الزمن ينجم عنه فيض متغير عبر الزمن، إذن هذه اللفة الوحيدة هي موطن قوة كهرومحرركة للحث معادلتها هي :

$$e = -L \frac{di}{dt}$$

$$\text{قم} = - \frac{\text{تفا ش}}{\text{تفا ز}} \text{ح}$$

وما الإشارة (-) إلا برهان على أن القوة الكهرومحرركة للحث الذاتي تعارض دوما تغيرات التيار ش .

3.3. محاثة وشيعة دون نواة

درسنا محاثة لفة واحدة، فهل تتغير النتائج لو تابعت اللفات، أي وشيعة ذات لفات عديدة ؟

الوشيعة يعبرها تيار شدته ش، مقطوعة بفيض Φ_0 عبر كل لفة، فتظهر قوة كهرومحركة للحث الذاتي قم. تعرف محاثة الوشيعة ح بالعلاقة التالية :

$$L = N \cdot \frac{\Phi_0}{i} = \frac{\Phi}{i}$$

$$ح = ن \cdot \frac{\Phi_0}{ش} = \frac{\Phi}{ش}$$

$$e = -L \frac{di}{dt}$$

$$وعليه : قم = - ح \frac{تفاش}{تفاز}$$

حيث ن هو عدد لفات الوشيعة و $\Phi = ن \Phi_0$ هو الفيض الكلي عبر الوشيعة. ولتعلم أنه كلما كبرت محاثة الوشيعة ح، أصبح من الصعب جدا تغيير تيار اللفات.

4.3. محاثة وشيعة بنواة حديدية

عندما تحتوي الدارة المغناطيسية للوشيعة على الحديد أو أي مادة قابلة للتمغنت، فإن التعريف السابق للمحاثة ($\Phi = ح \cdot ش$) يصبح غير صحيح ولا يحقق فيه، لأن في هذه العبارة الفيض Φ متناسبا طردا مع الشدة ش.

أما عندما يتعلق الأمر بوشيعة ذات نواة حديدية، فهناك معامل النفاذية μ الذي يرتبط بمادة صنع النواة. فلذلك يصعب تعريف محاثة وشيعة ذات نواة حديدية. ومنه تجد غالبا دراسات في هذا الميدان لوشيعات خاصة،

الحث الذاتي

بحيث أن الدارة الكهربائية المدروسة تحتوي على أحجام بينة ومتجانسة تجعل البحث عن محاثه هذه الوشيعات الخاصة سهله ميسرة. لماذا هذه الصعوبة ؟

ببساطة، لأن الكثافة β غير موحدة في محيط الدارة المدروسة، كما أن β و g مرتبطان بالمعاملات الهندسية للحجم مما يجعل قيمة المحاثه مرتبطة بهذه الأحجام، وتحديد لها ليس بالأمر الهين. ومن ذلك وجب دراسة أشكال خاصة.

حلزون طوله l وعدد اللفات N ، يعبره تيار شدته I . تكون عبارة الحث وفق المعادلة التالية :

$$\beta = \mu_0 \frac{N \cdot I}{l} \quad \beta = \mu_0 \frac{N \cdot I}{l}$$

إن الحساب الدقيق لمحاثه دائرة معينة معقد، ويستلزم معرفة شعاع الحث β في كل نقطة من مساحة الدارة، فإن كان الحلزون طويلاً جداً ويحتوي على عدد كبير من اللفات، يمكن أخذ قيمة مقاربة للحث وذلك بفرضية أن شدة هذا الحث المغناطيسي واحدة في كل نقطة تنتمي للداخل الحلزون، ومن ذلك كانت الصيغة السابقة.

الفيض عبر مجمل الحلزون هو N مرة أكبر منه للفة الواحدة، فإن كان N هو نصف قطر اللفة الواحدة، فالفيض إذن هو :

$$\Phi = N(\beta \pi R^2) = N\beta(\pi R^2) \quad \Phi = N(\beta \pi R^2) = N\beta(\pi R^2)$$

حيث الجداء $(\pi \cdot R^2)$ يمثل مساحة المقطع العرضي E للوشيعه (لفة واحدة)، أي :

$$\Phi = N (\beta S)$$

$$\Phi = N (\beta \epsilon)$$

حيث الجداء $(\beta \epsilon)$ هو فيض لفة واحدة Φ_0 . ومن ثم تستخرج المعادلة التالية :

$$L = \frac{\Phi}{I} = \mu_0 \frac{N^2 \pi R^2}{l}$$

$$H = \frac{\Phi}{N} = \frac{\mu_0 N^2 \pi R^2}{l}$$

$$L = \mu_0 \frac{N^2 S}{l}$$

$$H = \frac{\mu_0 N^2 \epsilon}{l}$$

و داخل وسط نفاذيته النسبية μ_r ، فإن المعادلة السابقة تضرب في المعامل μ_r .

وبوضع الوشيعة حول نواة حديدية، فإن المحاثة تكبر قيمتها كثيرا إذ يمكن للنفاذية

النسبية أن تصل $\mu_r = 5000$ (الجدول 1).

Material	النفاذية النسبية μ_r	المادة
Vacuum	1	الفراغ
Air	1, 000 000 4	الهواء
Aluminum	1, 000 000 65	الألمنيوم
Nickel	50	النيكل
Cobalt	60	الكوبلت
Steel	300	الصلب
Iron	5 000	الحديد
Ferrites	من 100 إلى 2 500	خام الحديد

الجدول 1. النفاذية النسبية لبعض المواد

تمرين 1

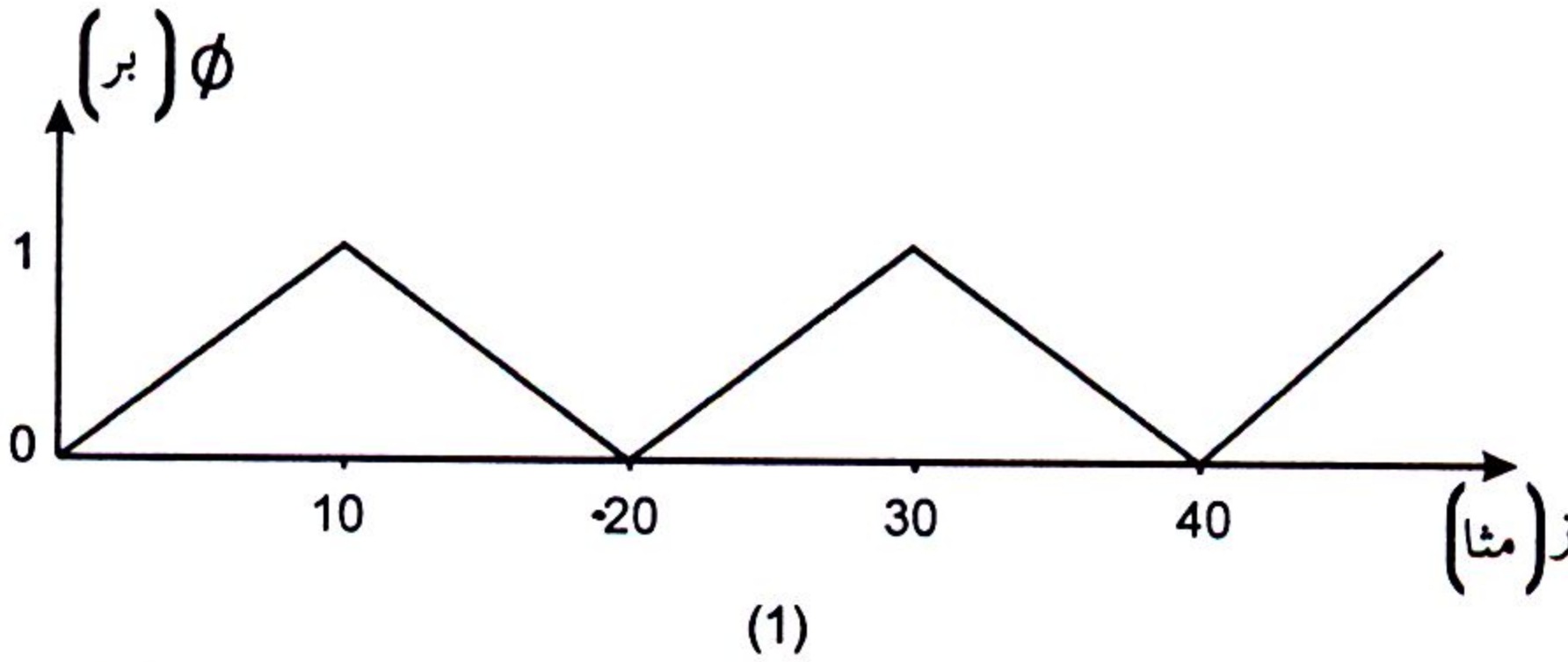
يتغير فيض عبر وشيعة دوريا، إذ يتزايد خطيا من 0 إلى +1 و يبار خلال نصف دور ثم يتناقص من +1 و يبار إلى 0 خلال نصف الدور الموالي، مع العلم أن الدور يعادل 20 مثا.

1. أرسم تغيرات الفيض Φ (ز).

2. ابحث عن القوة الكهرومحرركة قم المستحثة داخل الوشيعة، ثم أرسم

المنحنى قم (ز).

الجواب

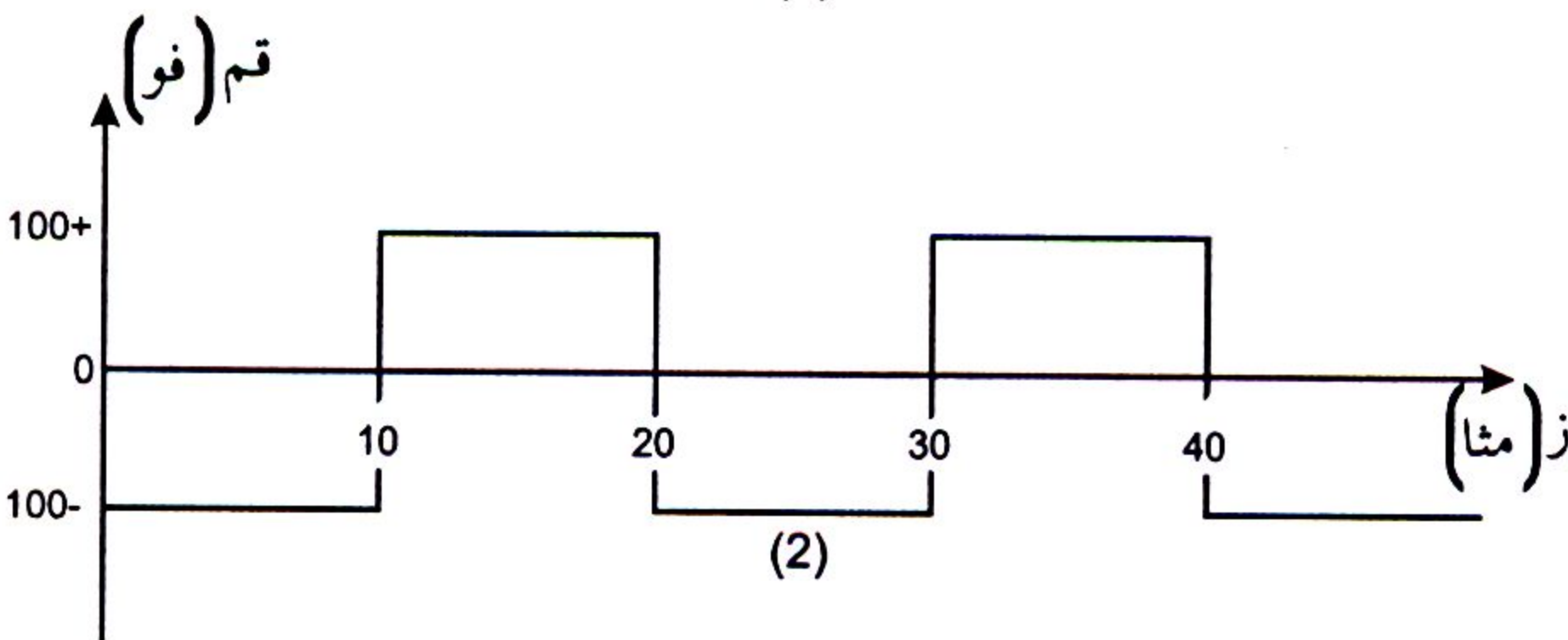


1. من خلال

المعطيات، فإن المنحنى

الدوري Φ (ز) هو كما

يوضحه الشكل 3. 1.



2. تعتبر القوة

الكهرومحرركة للحث مشتق

تغيرات الفيض، أي :

الشكل 3. التمرين الأول

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\text{قم} = - \frac{\text{تفا } \Phi}{\text{تفا ز}}$$

فعندما يتزايد الفيض خلال النصف الأول من الدور، فإن هذه القوة سالبة

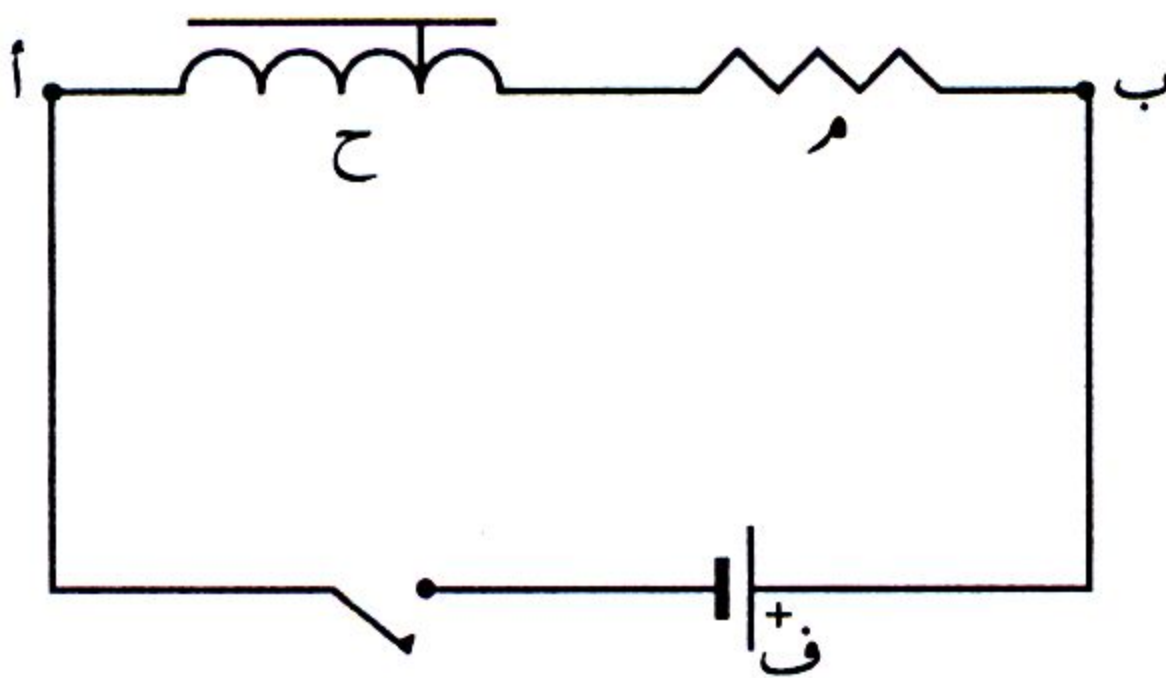
$$\text{وهي ثابتة : قم} = - \frac{\Phi}{0,01} = - \frac{1}{0,01}$$

أي قم = -100 فولط. ومن ثم فإن قم = +100 فولط عندما يتناقص الفيض Φ .
وعليه يكون المنحنى قم (ز) ما يظهر على الشكل 2.3.

تمرين 2

تمتاز وشيعة أب، قطرها 5 سم وطولها 60 سم، بمحاث ح ومقاومة لفاها مـ. يلف هذه الوشيعة سلك ناقل معزول قطره 0,08 مم ومقاوميته هي $\rho = 1,5 \times 10^{-8}$ أوم متر.

1. أحسب مقاومة السلك إذا كان عدد اللفات يعادل 750 لفه.
استنبط مقاومة لفات الوشيعة مـ.



2. أحسب محاث هذه الوشيعة إن كانت دون نواة.

3. وضع نواة حديدية داخل الوشيعة

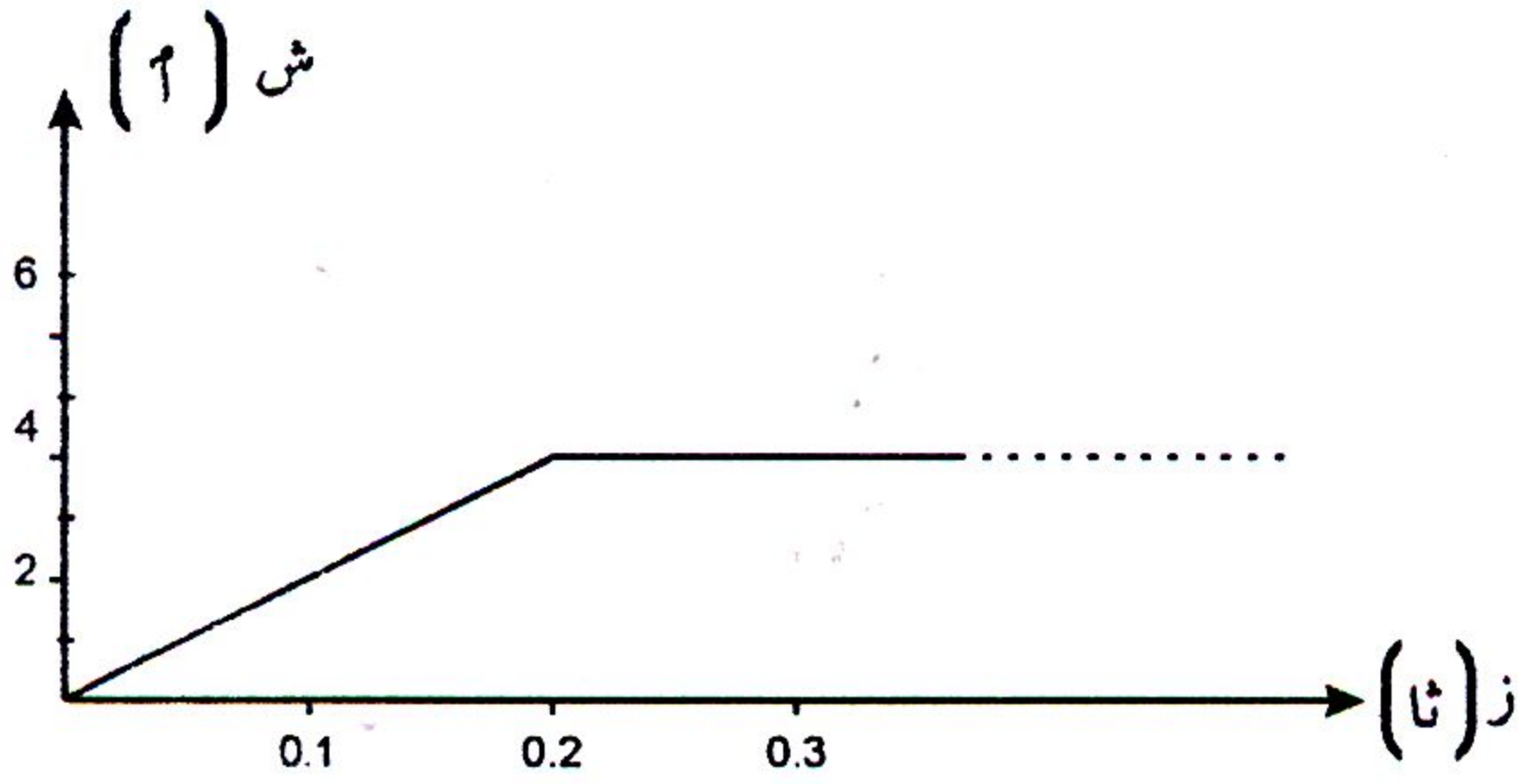
الشكل 4. التمرين الثاني

أ ب أكسبها محاث تعادل 0,4 هنري، ثم

تركب هذه الوشيعة في دائرة الشكل 4 حيث ف هو منبع جهد مستمر يعادل 24 فولط. أحسب شدة التيار المستمر إذا أغلقت القاطعة.

الحث الذاتي

4. ابحث عن تغيرات الفيض Φ عبر الدارة عند استقرار التيار السالف.



الشكل 5. المحنى ش (ز)

5. يعوض المنبع ف

بآخر ف، بحيث التيار

الصادر عنه متغير بدلالة

الزمن حسب الشكل 5.

أحسب القوة الكهرومحرركة

للحث الذاتي. لأي لحظة

يكون الجهد ف_ب أقصى ؟

الجواب

1. مقاومة السلك هي $\rho = \frac{L}{\epsilon_1}$

حيث :

$$\epsilon_1 = \text{هي مساحة المقطع العرضي وتعادل } \epsilon_1 = \left(\frac{4 \cdot 10 \times 8}{2} \right)^2 \pi = 0,503 \text{ مم}^2$$

- L_1 هو طول السلك ويعادل جداء محيط اللفة الواحدة في عدد اللفات، أي :

$$L_1 = 2 \times \pi \times 5 \times 10^{-2} \times 750 \text{ متر.}$$

$$L_1 = 117,81 \text{ متر.}$$

ومن ثم فإن مقاومة السلك هي $r_1 = 7,03$ أوم، وما مقاومة الوشيعية أب إلا مقاومة هذا السلك الملفوف وعليه $r_1 = r_2 = 7,03$ أوم.

2. محاثة وشيعة دون نواة تعرف بالصيغة التالية :

$$L = \mu_0 \frac{N^2 \cdot S}{l} \quad \text{ح} = \frac{\mu_0 \cdot N^2 \cdot \epsilon}{l}$$

حيث :

- l هو طول الوشيعية ويعادل $l = 60$ سم.

- ϵ هي مساحة المقطع العرضي للوشيعية وتعادل $\epsilon = \pi \times (5 \times 10^{-2})^2$

$$= 78,54 \text{ سم}^2.$$

- μ_0 هي نفاذية الفراغ وتعادل $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ هنري/متر.

وعليه $\text{ح} = 9,25$ مهن.

3- بغلق القاطعة وعند استقرار التيار، فإنه يعبر الوشيعية من ب نحو أ

ويكون ثابتا غير متغير، وعليه فإن القوة الكهرومحرركة للحث الذاتي معدومة

باعتبار مشتق الثابت معدوم : $\text{ق} = -\text{ح} \cdot \frac{\text{تفاز}}{\text{تفاز}}$. ومن ثم فإن قانون أوم

يستخرج المعادلة التالية :

$$V_{BA} = r I + \frac{di}{dt} = r I \quad \text{ف} = \text{ش} + \text{ح} \cdot \frac{\text{تفاز}}{\text{تفاز}} = \text{ش} - \text{م} \cdot \text{ش}$$

الحث الذاتي

وتلاحظ أن الكمون الموجب هو في النقطة ب والكمون السالب في النقطة أ،
وفرق الكمون هذا يعادل جهد المنبع، أي $V = F$ ، وعليه فالشدة هي :

$$i = I \frac{V}{r}$$

$$\text{ش} = \frac{F}{m} = \frac{24}{7,03}$$

ومن ثم $\text{ش} = 3,41$ أمبير.

4. صيغة الفيض بدلالة الشدة :

$$\Phi = L i$$

$$\Phi = \text{ح ش}$$

فإذا فتحت القاطعة، ينعدم التيار ش وبالتالي فلا وجود للفيض. وأما عندما
تكون القاطعة مغلقة ويستقر التيار على الشدة $\text{ش} = 3,14$ أمبير، فإن الفيض
يعادل $\Phi = 0,4 \times 3,41 = 1,36$ وبيار. وبذلك يكون الفيض قد تغير، والكمية
التي أضيفت هي $\Delta \Phi = 1,36$ وبيار.

5- من خلال المنحنى نسجل أن التيار خطي متزايد خلال المدة
الزمنية $0 < z < 0,2$ ثا، معادلته $\text{ش} = \text{أ ز}$ ، حيث أ هو ميل المنحنى الخطي
ويعادل $\text{أ} = 20$ ، وبذلك $\text{ش} = 20 \text{ ز}$. وتستخرج القوة الكهرومحركة للحث
الذاتي من المعادلة التالية :

$$e = - L \frac{di}{dt} = - 20 L$$

$$\text{قم} = - \text{ح} = \frac{\text{تفاز}}{\text{تفاش}} = - 20 \text{ ح}$$

ومنه $\text{قم} = - 8$ فولط، وهي قيمة ثابتة.

أما للمجال $z < 0,2$ ثانية، فإن التيار ثابت ومنه $q_m = 0$ ، وبذلك تقفز القوة الكهرومحرركة للحث الذاتي q_m من القيمة -8 إلى الصفر. ولاستخراج الجهد F_B ، تكتب المعادلة التالية :

$$F_B = m - q_m \quad V_{BA} = ri - e$$

ففي المجال $0 < z < 0,2$ ، تصبح المعادلة :

$$F_B = 7,03(20z) + 8 = 140,6z + 8 \quad [فو]$$

وأما في المجال $z < 0,2$ ثا، فالمعادلة هي :

$$F_B = 4 \times 7,03 = 28,1 \text{ فولط.}$$

وبالتعويض يستخرج أقصى جهد $F_B = 36,1$ فولط للحظة الزمنية $z = 0,2$ ثانية.

مسائل

1. ما هي تجربة فراداي ؟ ما المغزى منها ؟
2. ما الفرق بين الحث الكهرومغناطيسي والحث الذاتي ؟
3. ما مفهوم المحاثية ؟ اجتهد في ذكر سبب تسميتها باصطلاح «الذاتية».
4. ما الفرق بين وشيعة دون نواة ووشيعة بنواة ؟
5. لم تتأثر المحاثية بمادة صنع نواة الوشيعة ؟

6. يعبر تيار وشيعة، عدد لفاتها 500، شدته 2 أمبير فينجم عنه فيض يعادل 0,01 وبيار. أحسب محاثه هذه الوشيعة.
7. حلزون، طوله 1 سم ومقطع عرضه 1 مم^2 ، يحتوي على 100 لفه متلاصقة. أحسب المحاثه إذا كانت النفاذية تعادل $1,26 \mu \text{ هن/م}$.
8. قيست محاثه حلزون ذو نواة غير حديدية فوجدت أنها تعادل $28,5 \mu \text{ هن}$ ، وبعد تعويض النواة أصبحت المحاثه تعادل 45,6 مهن. أحسب النفاذية النسبية للنواة الجديدة، ثم استخرج مادتها.
9. يمتاز حلزون ذو نواة غير حديدية بمساحة المقطع تعادل 40 مم^2 وعدد لفاتها 400. أحسب طول هذا الحلزون لتكون محاثته $806 \mu \text{ هن}$.
10. حلزون أسطواناني بنواة غير حديدية، طوله 4 سم وعدد لفاته 400. أحسب قطر الاسطوانة لتصبح محاثه الحلزون 0,22 هن.
11. وشيعة دون نواة قطرها 10 سم، محاثتها $0,15 \text{ هنري}$ ومقاومة لفاتها مـ، يلفها سلك ناقل معزول قطره نق ومقاوميته $\rho = 1,5 \times 10^{-8} \text{ أوم متر}$.
 1. أحسب طول السلك الملفوف إن كان طول الوشيعة 65 سم.
 2. أبحث عن عدد لفات الوشيعة بافتراض أنها متلاصقة عبر طولها كله.
 3. كم يجب أن يكون القطر نق للسلك الملفوف إن صممت الوشيعة لتمتاز بمقاومة اللفات مـ = 30 أوم ؟

12. الفيض العابر لوشية دون نواة هو $\Phi = 4,5$ ميلي وبيار عندما يعبر لفاقتها تيار كهربائي شدته 3 أمبير.

1. أحسب محاثة الوشية.

2. كم طول السلك الملفوف حول الوشية إذا كان طول الأسطوانة

40 سم ؟

3. كم هي مقاومة لفات الوشية علما أن مقاومة معدن السلك

تعاادل $\rho = 10^{-8}$ أوم متر، وقطر السلك 0,6 مم ؟

13. حول اسطوانة أب من الورق المقوى طولها 72 سم وقطرها 160 سم، يلف

سلك ناقل معزول قطره الخارجى 0,9 مم بحيث أن اللفات متلاصقة وعلى طبقتين.

1. كم هو عدد اللفات إن كانت تلف عبر طول الاسطوانة كلها ؟

2. أحسب محاثة الوشية أب.

3. توصل الوشية بمنبع يمنحها تيارا يعبر لفاقتها شدته ش = 12 - 40 ز،

حيث ش [آ] و ز [ثا]. ما هي القوة الكهرومحرركة للحث الذاتى خلال المدة

ز ∈ [0 ، 6] ؟ يفترض أن الاتجاه الموجب للتيار ش هو من أنحوب عبر

الوشية.

14. وشية أب تمتاز بمحاثة ح ومقاومة لفاقتها مـ.

1. تخضع هذه الوشيعة أب لمنبع يصدر تيارا شدته $ش = 100 ز + 4$ خلال المدة $ز \in [0, 25]$ ، حيث $ش [آ]$ و $ز [ثا]$. ويختار الاتجاه الموجب من أنحوب عبر الوشيعة. عند اللحظة $ز = 0,1$ ثا فإن الجهد $ف_{أب} = 17$ فولط، وفي اللحظة $ز = 0,2$ ثا فالجهد $ف_{أب} = 22$ فولط. ابحث عن المحاثه ح ومقاومة لفات الوشيعة مـ.

2. يعوض المنبع السالف بآخر يصدر تيارا متناوبا جيبيا يعبر الوشيعة أب، معادلة شدته هي :

$$ش = 6 \cos (5ز) \quad i = 6 \cos (5t)$$

حيث $ش [آ]$ و $ز [ثا]$. أثبت أن الجهد $ف_{أب}$ يمكن كتابته في شكل المعادلة التالية :

$$ف_{أب} = \sqrt{2} V_{\text{تجب}} (\varphi + ز \omega) \quad v = V_{\text{rms}} \sqrt{2} \cos (\omega t + \varphi)$$

استخرج الجهد الناجع $ف_{\text{تجب}}$ ، النبض ω ، والطور φ .

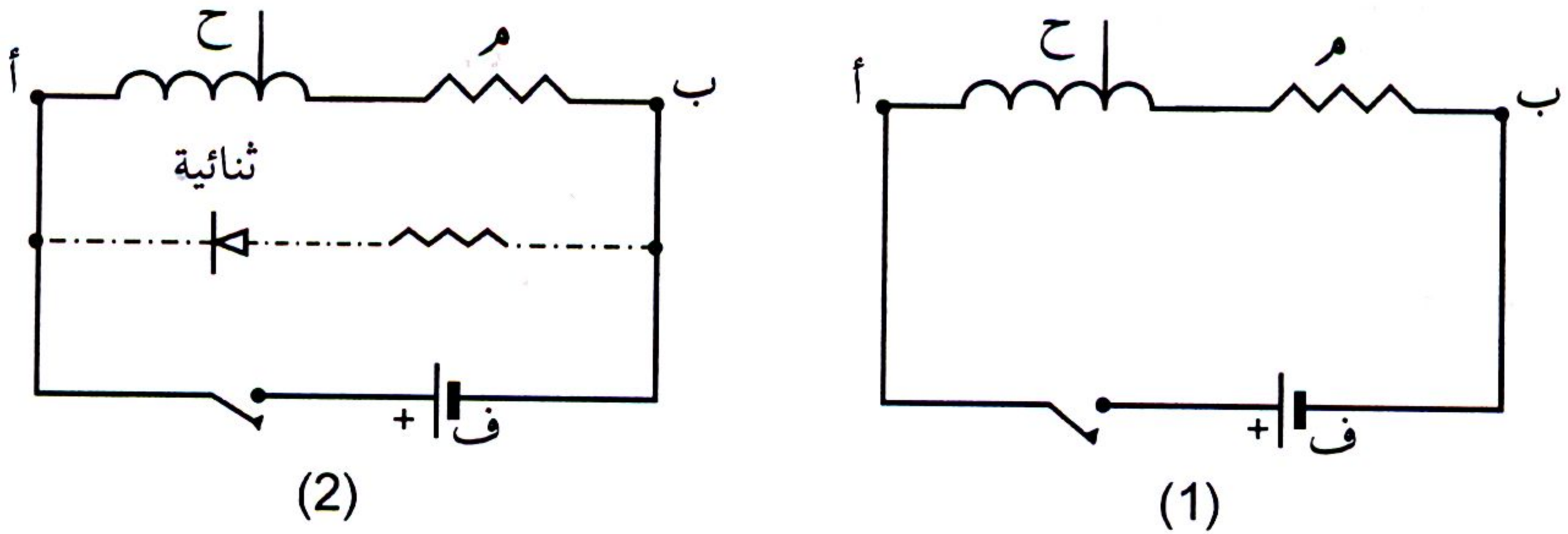
تلميح : أعلم أن $\text{تجب} = \left(\frac{\pi}{4} + \theta \right) \frac{\sqrt{2} V_{\text{تجب}}}{2}$ ($\text{تجب} - \theta$ جب θ)

15. وشيعة دون نواة محاثتها $ح = 0,1$ هنري وطولها 80 سم، تلف بسلك ناقل معزول طوله ل.

1. أحسب طول السلك ل باعتبار أن اللفات متلاصقة.

2. أبحث عن عدد اللفات إن كان قطر الوشيعة 5 سم.

3. تركيب الوشيعة داخل دائرة ماثلة للشكل 6. 1. عند غلق القاطعة تتغير الشدة من الصفر إلى القيمة المستقرة 3 أمبير، وذلك خلال مدة زمنية تعادل 0,04 ثا. أحسب القوة الكهرومحرركة للحث المتوسطة خلال هذه المدة.



الشكل 6. المسألة 15

4. ما يحدث حالة فتح القاطعة ؟ لتدارك مثل هذه الحالة تركيب عبر الوشيعة أ ب دائرة كالمشار إليها في الشكل 6. 2 بواسطة خطوط متقاطعة. بين أن هذا التركيب لا يعدل شيئاً في الدائرة، بل بالعكس يتفادى الحالة المذكورة عند فتح القاطعة. اشرح.

5. ابحث عن الطاقة المبددة عبر هذه الدائرة عند فتح القاطعة، علماً أن

التيار المستقر هو $I = 3$ أمبير. كيف تبدد ؟

الفصل 10

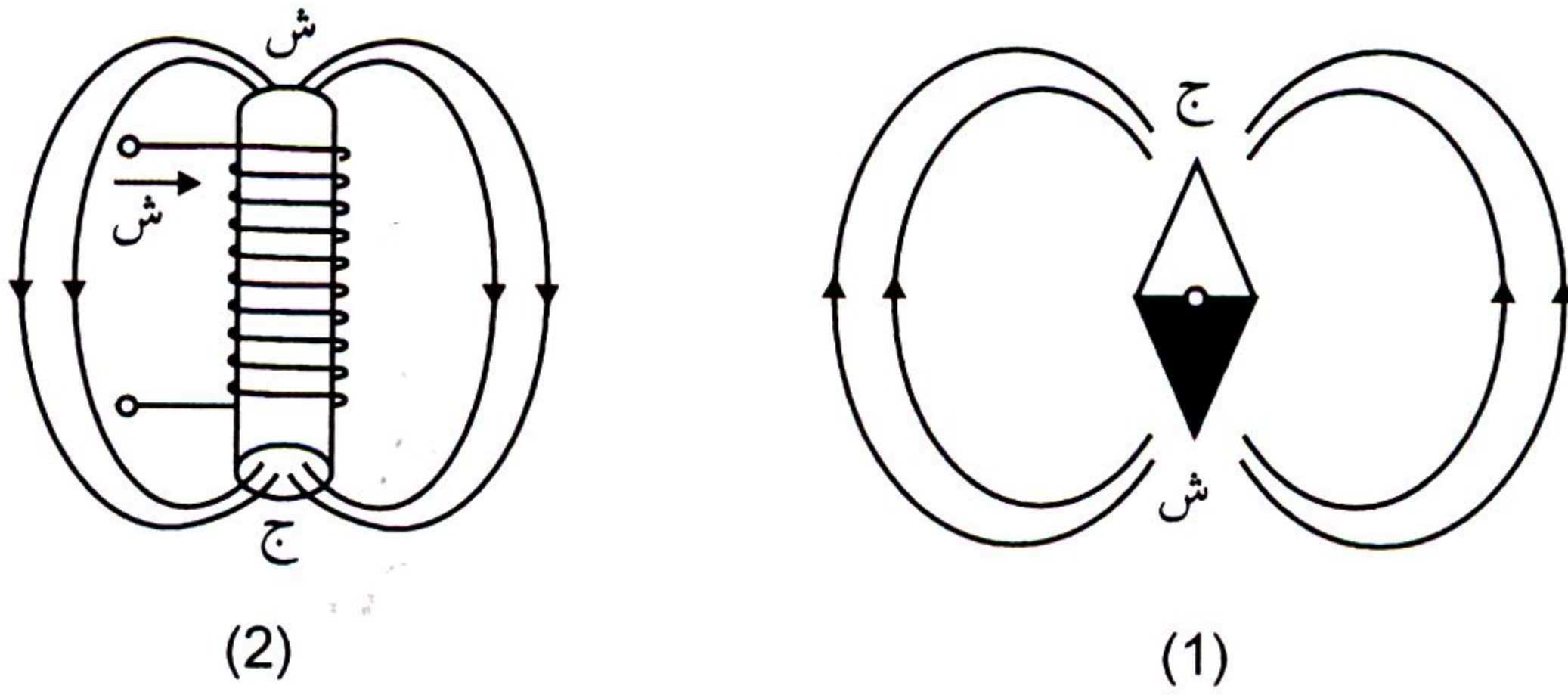
المحاثة

عندما يعبر تيار متغير وشيعة فسيولد عنه فيض متغير يتبع تغيرات هذا التيار،
والعامل في ذلك هو خاصية كل دائرة ذات حث ذاتي والذي يعرف بالمحاثة.

1. تصميم الوشيعة

شحنتان متشابهتان تتنافران وشحنتان متعاكستان تتجاذبان، وكذلك
قطبان متماثلان يتنافران وقطبان متعاكسان يتجاذبان : هو ما تمت دراسته
لحد الآن، وكمثال على هذه النظرية، البوصلة.

فالإبرة ذات القطب الشمالي المغناطيسي مجذوبة نحو القطب الشمالي
الجغرافي للأرض، فهي تستعمل للدلالة على الشمال الجغرافي (الذي يختلف
عن الشمال المغناطيسي) ليلا أو نهارا. إن الفضاء المحيط بالبوصلة يدعى المجال
المغناطيسي، وتكون خطوط مجاله كما هو موضح على الشكل 1.1.



الشكل 1. خطوط القوة المغناطيسية

بعد عدة تجارب وملاحظات دقيقة، توصل العالم الفيزيائي أرسطد إلى أن الكهرباء والمغناطيسية مرتبطتان، ومنه برهن في مرحلة لاحقة على أن المجال المغناطيسي موجود دائما حول شحنات متحركة، وبعبارة أوضح حول ملف الوشيعية.

للتذكير فإن الوشيعية هي كهرومغناطيس عبارة عن أسطوانة ملفوفة بسلك ناقل (الشكل 1. 2)، حيث شدة المجال المغناطيسي متوقفة على التيار وعدد لفات السلك الناقل لأن التيار هو مولد هذا المجال المغناطيسي، وبانعدامه ينعدم المجال، كما أنه بزيادة عدد اللفات تزداد شدة المجال.

قد لاحظت — ولا شك في ذلك — بعض المصطلحات الجديدة وهي كثيرة، وتخوفي من أن تختلط عليك الأمور كبيرا، لذلك سأحاول بتوفيق المولى عز وجل أن أوضحها لك :

إن الوشيعية، وتعرف كذلك بالمحاث، عبارة عن كهرومغناطيس أي هي النبيت ثنائي القطب محايد متفرد أحد مكونات الدارة (طالع الملحق 1 من

الجزء الأول)، حيث الجهد بين قطبيها متناسب مع معدل تغيرات التيار عبر الوشيعة، وما المحاثة إلا ثابت هذا التناسب الطردي.

2. خاصيات الوشيعة

1.2. علاقة التيار بالجهد

ترتبط المحاثة ح مباشرة بعدد اللفات ن، التيار ش وكمية الفيض Φ . وعموما، المحاثة هي وفق العلاقة التالية :

$$L = N \cdot \frac{\Phi}{I} \quad \text{ح} = \frac{\Phi}{\text{ش}}$$

تعرف المحاثة على أنها قابلية سلك ناقل لتكوين جهد مستحث عند مرور تيار متغير. وللتذكير، أعلم أن الحث بواسطة تيار متغير هو نتيجة تغيرات وتقلبات هذا التيار، وليس نتيجة لشدة التيار نفسه.

يجب أن تحدث تغيرات في التيار لتوليد الفيض الكهرومغناطيسي، وبقدر ما تكون تغيرات التيار سريعة بقدر ما يكبر الجهد المستحث. وعليه فالجهد المستحث ليس منبع جهد بحد ذاته ولكن تولد بعد عبور تيار متغير، بحيث ينعدم الجهد المستحث بانعدام التيار المتغير حتى وإن كانت شدته حادة... لكن ثابتة.

في الفصل 5 من الجزء الأول درست المكثفة، وعرفت على أنها نبيط ثنائي القطب محايد متفرد حيث التيار يكون متناسبا طردا مع معدل تغير الجهد المتأمل بين لبوسي المكثفة. وترجمة رياضية لهذا الكلام تقودنا للعبارة التالية :

$$i_c = C \frac{d v_c}{dt}$$

$$\text{ش.س} = \frac{\text{تفاف.س}}{\text{تفا.ز}}$$

حيث س هي سعة المكثفة وتحسب بوحدة فاراد. وعلى نفس المنوال، تعرف الوشيعة على أنها نبيط ثنائي القطب محايد متفرد حيث الجهد المستحث الملاحظ بين قطبيها متناسب طردا مع معدل تغير التيار عبر لفات الوشيعة، أو بعبارة أخرى هي العلاقة الرياضية التالية :

$$v_L = L \cdot \frac{di_L}{dt}$$

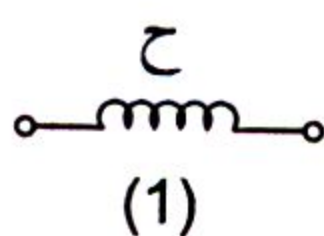
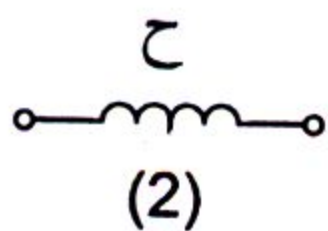
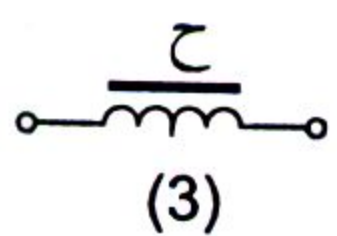
$$\text{ف.ح} = \frac{\text{تفا.ش.ح}}{\text{تفا.ز}}$$

حيث ح هي محاثة الوشيعة. وتلاحظ جيدا أن الجهد ينعدم إذا كان التيار ثابتا لا يتغير حتى ولو عادل شدات كبيرة جدا، لأن شدة التيار لا تدخل في عبارة الجهد ولكن تغيره هو الذي يكسب الجهد معنى ومدلولاً محدداً.

2.2. مفهوم الهنري

عند عبور تيار متغير عبر سلك ناقل وتمكن هذا الأخير من حث جهد، فهو يعتبر وشيعة (أو محاث) حيث المحاثية تمثل ثابت التناسب بين الجهد المستحث وتغيرات التيار.

يرمز للوشيعة في الدارة الكهربائية بأحد الرمزتين المبينين في الشكلين 1 و 2.



و 2. حيث ح يرمز لمحاثية

الوشيعة. أما الشكل 2. 3 فيظهر

وشيعة تحتوي على نواة حديدية

بخلاف الشكلين السابقين.

الشكل 2. رمز الوشيعة

لحساب أو قياس المحاثة، خصصت وحدة عالمية تعرف باصطلاح هنري¹.
 وواحد هنري هو المحاثة التي تسمح بحث جهد يعادل 1 فولط عند عبور تيار
 يتغير بواحد أمبير في الثانية. وعليه فالعبرة هي :

$$L = \frac{v_L}{d i_L / dt} \quad \text{ح} = \frac{\text{ف} / \text{تفا ز}}{\text{تفا ش} / \text{تفا ز}}$$

حيث :

- ف_ح هو الجهد المستحث عبر الوشيعة ووحدته فولط : ف_ح [فو]

- $\frac{\text{تفا ش} / \text{تفا ز}}{\text{تفا ز}}$ هو تغير التيار بمعدل أمبير على الثانية، أي [آ/ثا]

أما المعامل ح فهو محاثة الوشيعة وتحسب أو تقاس حسب النظام العالمي
 لوحدات القياس بوحدة هنري. ونظرا لكبر هذه الوحدة فقد استعملت
 الوحدات الفرعية الصغرى وهي :

$$1 \text{ ميلي هنري} = 1 \text{ مهن} = 10^{-3} \times 1 \text{ هن} = 10^{-3} \text{ هن.}$$

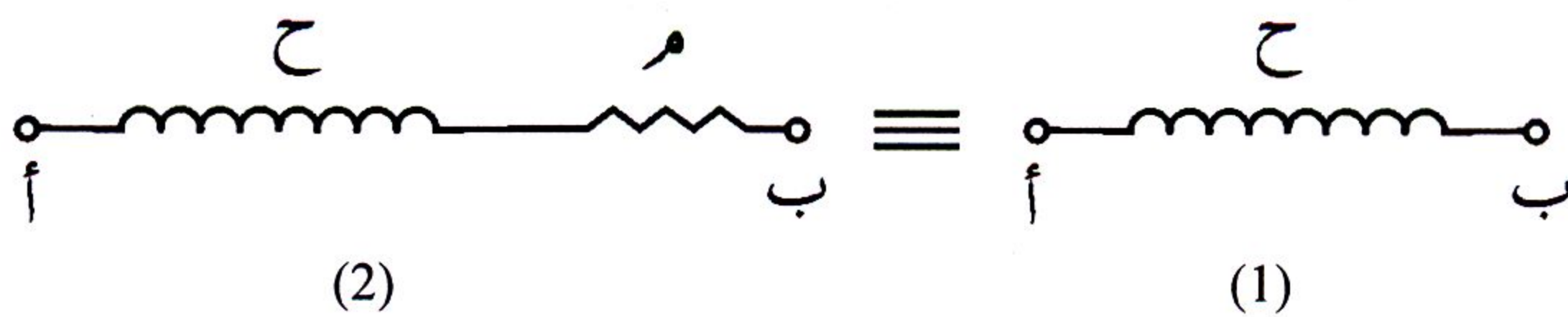
$$1 \text{ ميكروهنري} = 1 \mu \text{ هن} = 10^{-6} \times 1 \text{ هن} = 10^{-6} \text{ هن.}$$

3.2. مقاومة اللفات

في الفصل 10 من الجزء الأول، رأينا أن مادة لها مقاومة محددة تعارض
 عبور التيار حتى ولو كانت صغيرة جدا كمقاومة النواقل. ونفس الشيء

1. هنري (Joseph HENRY : 1797-1878) مهندس وفيزيائي أمريكي اشتهر بأبحاثه الجديدة، إذ استطاع عام 1828 من تحسين تصميم الكهرومغناطيس، وفي عام 1832 اكتشف ظاهرة الحث الذاتي التي نال بها هذه الشهرة.

بالنسبة للشكل 3. 1، فالسلك الناقل الملفوف حول القضيب له مقاومة يديها لمعارضة سريان التيار لكل وحدة طول، ومجموع المقاومات لكل وحدة طول هي المقاومة الإجمالية المتأملة بين طرفي السلك الناقل. فالمقاومة موجودة حتى وإن كانت صغيرة جدا، إذ تكون مهمة لكن غير معدومة. هذه المقاومة الكلية بين قطبي الوشيعة هي ما يعرف بالمقاومة الداخلية للوشيعة أو ما شاع اصطلاحا مقاومة اللفات.



الشكل 3. الدارة المكافئة للوشيعة

بظهور مقاومة اللفات، يتبادر لذهنك في الحين مفهوم الخسائر الحرارية بواسطة ظاهرة جول، فهذه الخسائر تظهر على مستوى الفيض. لذلك يلجأ عادة إلى تمثيل الوشيعة "الحقيقية" (الشكل 3. 1) بواسطة دارة مكافئة.

تمثل الوشيعة "الحقيقية" في دارة مكافئة تجمع الوشيعة "المثالية" في تسلسل مع مقاومة اللفات وذلك وفق الشكل 2.3. والمقصود من الوشيعة "المثالية" هو وشيعة صافية دون خسائر إطلاقا. ولتعلم أن مقاومة لفات الوشيعة لا تلعب أي دور في توليد الجهد المستحث، بل وجودها عبارة عن معارضة لتدفق التيار عبر لفات الوشيعة فقط.

4.2. مفعول النفاذية

إن المادة المصنوعة منها القضيب الأسطواناني، الذي يمثل نواة الوشيعة، تؤثر بشكل مباشر على قيمة المحاثة والتي تمثل بمعامل ثابت هو النفاذية. تقرر النفاذية بمادة النواة، وعليه فعبارة المحاثة تكون وفق المعادلة التالية :

$$L = \mu \cdot \frac{N^2 \cdot S}{l} \quad \mu = \frac{N^2 \cdot E}{l}$$

حيث :

– μ هي النفاذية وهي ثابت تتوقف قيمته على مادة صنع النواة.

– N هو عدد لفات السلك الناقل حول النواة.

– E هو مساحة المقطع العرضي ووحدها المتر المربع : $E [m^2]$

– l هو طول النواة ووحده المتر : $l [m]$

علما أن H هي محاثة الوشيعة، نستخلص إذن أن قيمتها تتوقف على :

– كيفية صنع الوشيعة، بمعنى كيفية لف السلك الناقل حول النواة.

– عدد اللفات N ، فبقدر ما تزيد اللفات تزيد قيمة المحاثة.

– مساحة اللفات E ، لأن المحاثة تكبر بزيادة مساحة المقطع العرضي.

– طول النواة l ، فهي تصغر بكون الطول.

– النفاذية μ ، فالمحاثة تزيد بزيادة النفاذية μ وهي تعادل :

$\mu = \mu_0 \mu_r$ حيث μ_r هي النفاذية النسبية، و μ_0 هي نفاذية الفراغ.

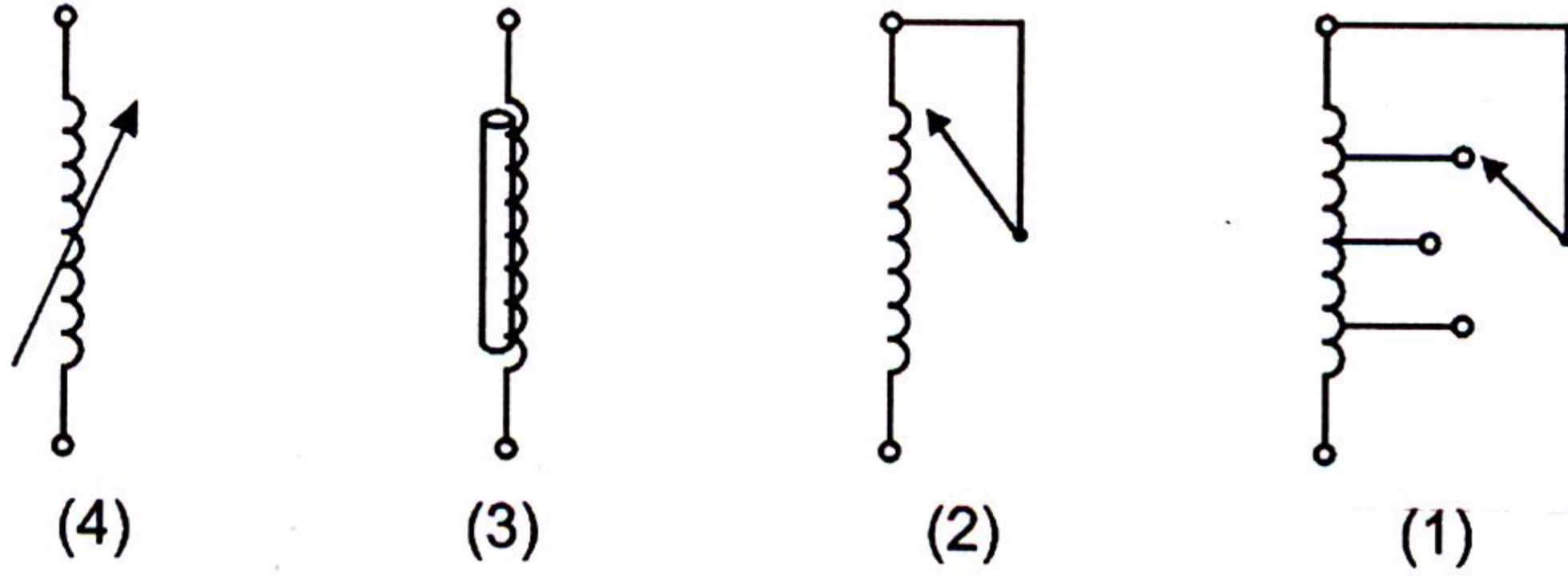
3. المحاثة الطفيلية

لا تظن أن ظهور المحاثة لا يكون إلا بفعل لفات حول نواة، بل إن مفعولها يقوم كلما عبر تيار متغير ناقلا فتولد حوله مجال مغناطيسي، إلا أن هذا الدور المفتعل للمحاثة غالبا ما يكون عديم الشأن والتأثير في الدارة. هذا النوع يدعى المحاثة الطفيلية، إذ ترتبط بمدى طول وقطر السلك.

من التعريف السابق، يمكن القول أن المحاثة الطفيلية تظهر مثلا بين طرفي مقاومتين موصولتين ببعضهما أو بين مكثفتين، وعندها تتصرف وكأنها بتسلسل مع المقاومتين أو المكثفتين، مما قد يتسبب في إحداث خلل كبير في اشتغال الدارة كما ينبغي. وعموما تظهر المحاثة الطفيلية عبر الأسلاك الناقلة، وهي غالبا ضعيفة جدا في حدود بضع بيكو هنري.

4. المحاثة المتغيرة

مثلا هو الحال بالنسبة للنبيطين المحايدين المتفردين — المقاوم والمكثفة — إذ يمكن صناعة نوابط متغيرة، فكذلك الحال بالنسبة للوشية. فلبعض التطبيقات الخاصة، قد تحتاج إلى أن تكون محاثة الوشية متغيرة لتحكم في بعض وسائط الدارة، وأهمها تغيير التردد قصد ضبط محطات البث الإذاعي في أجهزة المذياع، وفي الشكل 4 تمثيل لمثل هذا النبط.



الشكل 4. وشيعة متغيرة

من خلال لفات السلك الناقل تستعمل مخارج لللفات لأخذ قيم محددة للمحثة (الشكل 4. 1)، وهي طريقة أولى لاستعمال الوشيعة المتغيرة. أما الشكل 4. 2، فهي طريقة معروفة تمت رؤيتها أثناء دراستنا للمقاومة، وتتلخص في سحب زلاقة عبر لفات الوشيعة للحصول على قيم متغيرة. أما الشكل 4. 3، فيمثل طريقة ثالثة لصنع الوشيعة المتغيرة وذلك بواسطة حركة النواة الحديدية داخل فضاء الوشيعة، وعليه تتغير المحثة. فهذه أهم الطرق لاستخراج محثة متغيرة التي يرمز لها بالشكل 4. 4. **ملاحظة :** إن تحطم الوشيعة المتغيرة، أو أي وشيعة عموماً، أمر وارد إذ بفعل تصاعد الحرارة أو قذف تيار حاد عبر اللفات قد يؤدي إلى إتلافها. وللتحقق من تحطم الوشيعة أو عدمه طالع الفصل 6 من الجزء الرابع.

5. خسائر النواة الحديدية

1.5. خسائر ظاهرة جول

الفيض المغناطيسي المرتبط بالتيار ش العابر للوشيعة، يحتوي على طاقة كهربائية مخزنة داخل المجال المغناطيسي. أصل هذه الطاقة والتي وحدتها الجول هو منبع الجهد المولد للتيار، فعبارتها هي :

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

$$\text{عم} = \frac{1}{2} \cdot \text{ح} \cdot \text{ش}^2$$

حيث ح هي محاثة الوشيعة. وتلاحظ أن الخسائر الحرارية بواسطة ظاهرة جول قد أهملت تماما، وهذا نظرا للفرضية السائدة بأن مقاومة اللفات مهمة تماما، أي أن الوشيعة مثالية إلى حد ما... إلا أن هناك خسائر حرارية أخرى تسجل عبر النواة المغناطيسية. كيف ذلك ؟

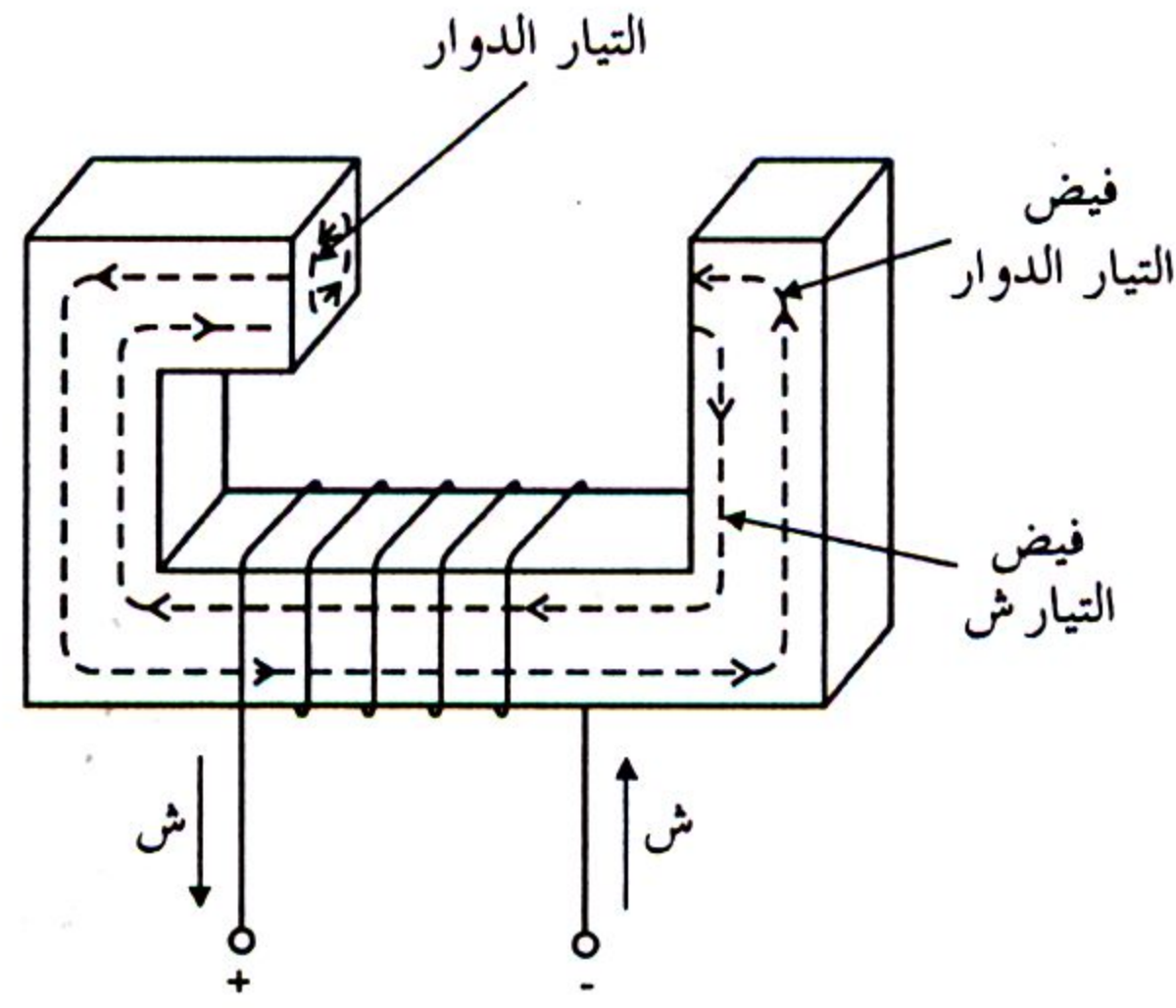
تعلم أنه عند مرور تيار معين عبر معدن، فسوف يسخن هذا المعدن مما يؤدي إلى انتشار الحرارة بواسطة ظاهرة جول. وعليه فإن النواة المغناطيسية سوف تسخن بدورها، مما يتسبب في ضياع نسبة من الطاقة الممنوحة لللفات في شكل حرارة، وهي الظاهرة المعروفة بخسائر النواة المغناطيسية.

2.5. خسائر التيار الدوار

إن الخسائر الحرارية، والتي تضيع عبر مقاومة اللفات والنواة المغناطيسية، ليست الخسائر الوحيدة عبر دائرة مغناطيسية بل هناك نوع آخر من الخسائر والذي يسجل على مستوى الوشيعة عندما يعبرها تيار كهربائي. كيف ذلك ؟

عندما يعبر تيار متناوب وشيعة ذات نواة حديدية، يظهر جهد مستحث داخل النواة نفسها. وباعتبار أن النواة الحديدية ناقل، فإن الجهد المستحث يولد تيارا مستحثا هو الآخر، يعبر النواة مهما كان شكلها الهندسي متبعاً في ذلك مساراً دائرياً عبر مساحة المقطع العرضي للنواة (الشكل 5) : إنه التيار الدوار¹.

1. ويعرف كذلك باصطلاح تيار فوكو، نسبة للفيزيائي الفرنسي :
(Leon-Jean - Bernard FOUCAULT : 1819-1868)



الشكل 5. التيار الدوار داخل نواة حديدية لوشية

إن مصدر التيار الدوار للنواة الحديدية هو تغيرات الفيض المحاث، فهو عموديا بالنسبة لخطوط الحث، ويعارض في كل الحالات السبب الذي أنشأه. ففيض التيار الدوار يعاكس دوما فيض اللفات، مع العلم أن مساره عادة ما يصعب تحديده بالضبط.

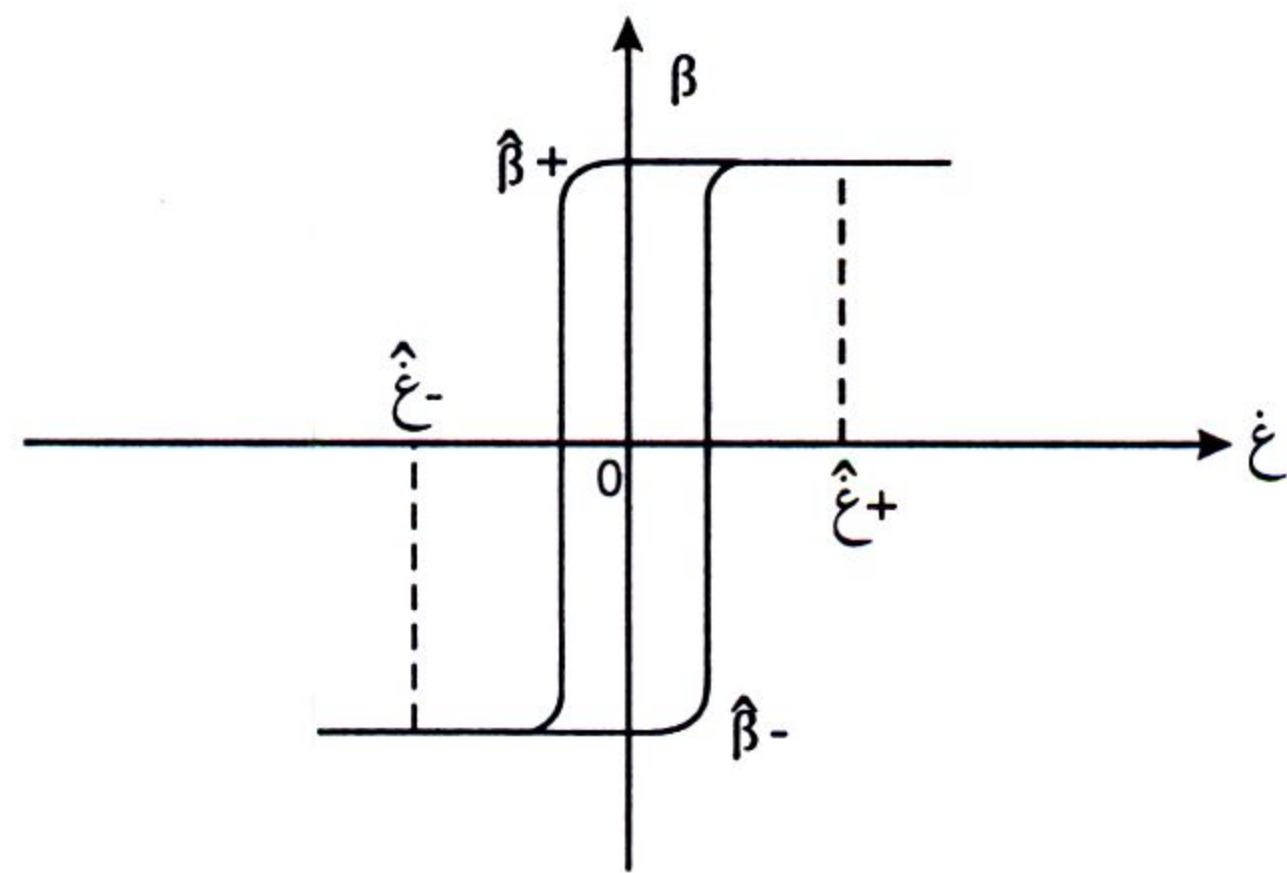
يمثل التيار الدوار الاستطاعة المبددة في شكل حرارة والتي تعادل $m \times \text{ش}^2$ ، حيث m هي مقاومة النواة و ش هي شدة التيار العابر لللفات اللوشية. فالتيار الدوار يمثل أعظم وأخطر المساوئ التي تتسم بها الماكينات والآلات مثل المحولات أو المحركات الكهربائية. كيف ذلك ولماذا؟

بعبور التيار الدوار للنواة ينجم عنه تسخين النواة (أو الكتلة المعدنية الناقلة للتيار) بواسطة ظاهرة جول، مما يؤدي إلى انتشار الحرارة وبذلك تنجم خسائر على مستوى الاستطاعة، أي فقدان بعض الطاقة الممنوحة. كما يمكن أن يؤدي التيار الدوار إلى كبح بعض الأدوات والقطع المكونة لهذه الماكينات، وبذلك تنجم خسائر أيضا على مستوى الطاقة الممنوحة للتشغيل.

إنها خسائر بواسطة التيار الدوار المستحث... وقد لوحظ أنه بقدر ما يرتفع تردد التيار المتناوب داخل الوشيعه، بقدر ما تزيد الخسائر الناجمة عن التيار الدوار. ومن هنا تظهر أهم التطبيقات للتيار الدوار، إذ بواسطة ظاهرة جول تسخن الكتلة المعدنية الناقلة فتنتشر الحرارة، الشيء الذي يحملها إلى درجات حرارة مرتفعة، وهي الظاهرة المعروفة بالتسخين بواسطة الحث.

3.5. خسائر التخلفية

إن الخسائر الناجمة عن التخلفية غير معتبرة ولا هامة مقارنة بالخسائر الناجمة عن التيار الدوار. أصل هذه الخسائر هو الاستطاعة الإضافية التي يجب منحها لعكس المجال المغناطيسي داخل الكتلة المعدنية المغناطيسية، ويتم ذلك بواسطة التيار المتناوب (راجع الفصل 9).



الشكل 6. التخلفية المتعامدة

أهم تطبيق للتخلفية عند استعمال المواد خام الحديد هو تحقيق ذاكرة الحاسبات الإلكترونية، فمنحنى التخلفية يبرز منحنى متعامد، إما حالة 1 أو حالة 0 : إنها التخلفية المتعامدة (الشكل 6). ولمزيد من الشرح، طالع الكتب المختصة في الإلكترونيات العددية والآليات، ففيها ما يروى فضولك وحبك للإطلاع.

مسائل

1. ما المتسبب في توليد الجهد المستحث عبر الوشيعة ؟
2. ما هي مقاومة اللفات ؟ أذكر سبب استخراج هذه المقاومة.
3. ما هي خسائر جول الحرارية ؟ أذكر المتسبب فيها.
4. ما هي خسائر النواة ؟ ما المتسبب فيها ؟ أذكر كيفية تبديدها.
5. ما هي خسائر التخلفية ؟ أذكر كيفية حدوثها.
6. وشيعة يلفها سلك ناقل معزول 250 لفة، فيتولد فيض يعادل 0,2 وييار يعبرها تيار شدته 4 أمبير. أحسب محاثة الوشيعة.
7. أسطوانة مفرغة من الداخل، قطرها 4 سم وطولها 25 سم، ملفوفة على طبقتين بسلك ناقل معزول، كل طبقة تضم 250 لفة. أحسب محاثة الوشيعة المفرغة.
8. وشيعة أسطوانية، داخلها نواة حديدية طولها 80 سم وقطرها 3 سم، يلفها سلك ناقل معزول 1 500 مرة. أحسب محاثة الوشيعة إن افترضنا أن اللفات متلاصقة، علما أن النفاذية النسبية لمادة الحديد تعادل $\mu = 5000$.
9. وشيعة ذات نواة من مادة خام الحديد محاثتها 3,6 هنري، طولها 22 سم وقطرها 2 سم. أحسب عدد لفاقتها، علما أن مادة خام الحديد المستعملة تمتاز بنفاذية نسبية تعادل 2 000.

10. وشيعة محاثتها 0,1 هنري. إن كان التيار يتغير في لحظة محددة بمعدل 4 أمبير في الثانية، كم هو الجهد المتأمل عبر قطبي الوشيعة ؟
11. عبر لفات وشيعة يمر تيار يتغير بمعدل 100 أمبير في الثانية، فيظـهر وفي نفس اللحظة جهد بين قطبي الوشيعة يعادل 2 فولط. أحسب محاثـة هذه الوشيعة.
12. وشيعة محاثتها 25 مهن، في لحظة محددة كان معدل تغير التيار 50 أمبير في الثانية. كم هو الجهد المتأمل عبر قطبي الوشيعة في نفس اللحظة ؟
13. في لحظة محددة، كان الجهد عبر قطبي وشيعة محاثتها 2μ هن يعادل 12,4 مفو. ما هو معدل تغير التيار في هذه اللحظة بالذات ؟
14. حلزون، طوله 2,5 سم ومقطع عرضه 25 مم²، يحتوي على 150 لفـة متلاصقة. أحسب المحاثـة إذا كانت النفاذية تعادل $1,26 \mu$ هن/م.
15. كثافة الفيض داخل نواة الهواء لكهرومغناطيس تعادل 2 ميلي تسلا. عندما توجـلج نواة حديدية، تصبح كثافة الفيض داخل النواة 0,6 تسلا. أحسب النفاذية النسبية للنواة الحديدية.
16. التيار العابر لوشيعة معدل تغيره يعادل 50 مآ كل 2μ ثا. ماهي سرعة تغيراته ؟ أحسب محاثـة هذه الوشيعة إن كان الجهد المستحث لهذا المعدل يساوي 1 000 فولط.

الدائرة الحثية

الكهرومغناطيسية هي ذلك القسم من علم الكهرباء العامة، حيث تدرس القوى التي تمارس مفعولها على الدارات الكهربائية التي تعبرها تيارات، متواجدة داخل مجالات مغناطيسية والتي يعود أصلها إلى مغناطيسات أو دارات كهربائية أخرى.

1. ثابت الزمن

1.1. الدائرة التسلسلية

تحتوي دائرة كهربائية متسلسلة على منبع مستمر ف (بطارية)، قاطعة، مقاوم م، ووشية ح : إنها دائرة حثية متسلسلة. عندما تكون القاطعة مفتوحة، بديها ليس هناك عبور تيار إطلاقاً وبذلك فلا وجود لجهد عبر النيطين، ولا وجود لمجال مغناطيسي ومنه فلا وجود لطاقة مخزنة داخل الوشية.

في اللحظة التي تغلق فيها القاطعة يكون التيار معدوماً، ولأجل أنه لا يمكن لتيار الوشية أن يتغير في مدة تقارب الصفر إذ معدل تغير التيار في مثل

هذه المدة يكون مالا نهاية، مما يجعل الجهد مالا نهاية. وعليه فلا يمكن في اللحظة التي تغلق فيها القاطعة أن يتغير التيار فجأة، بعدما كان معدوماً.

في اللحظة التي تغلق فيها القاطعة، يبقى التيار المشترك للدائرة المتسلسلة معدوماً، مما يجعل جهد المقاومة معدوماً كذلك. ومن خلال قانون العيون، تكتب المعادلة التالية :

$$v = v_R + v_L$$

$$f = f_m + f_c$$

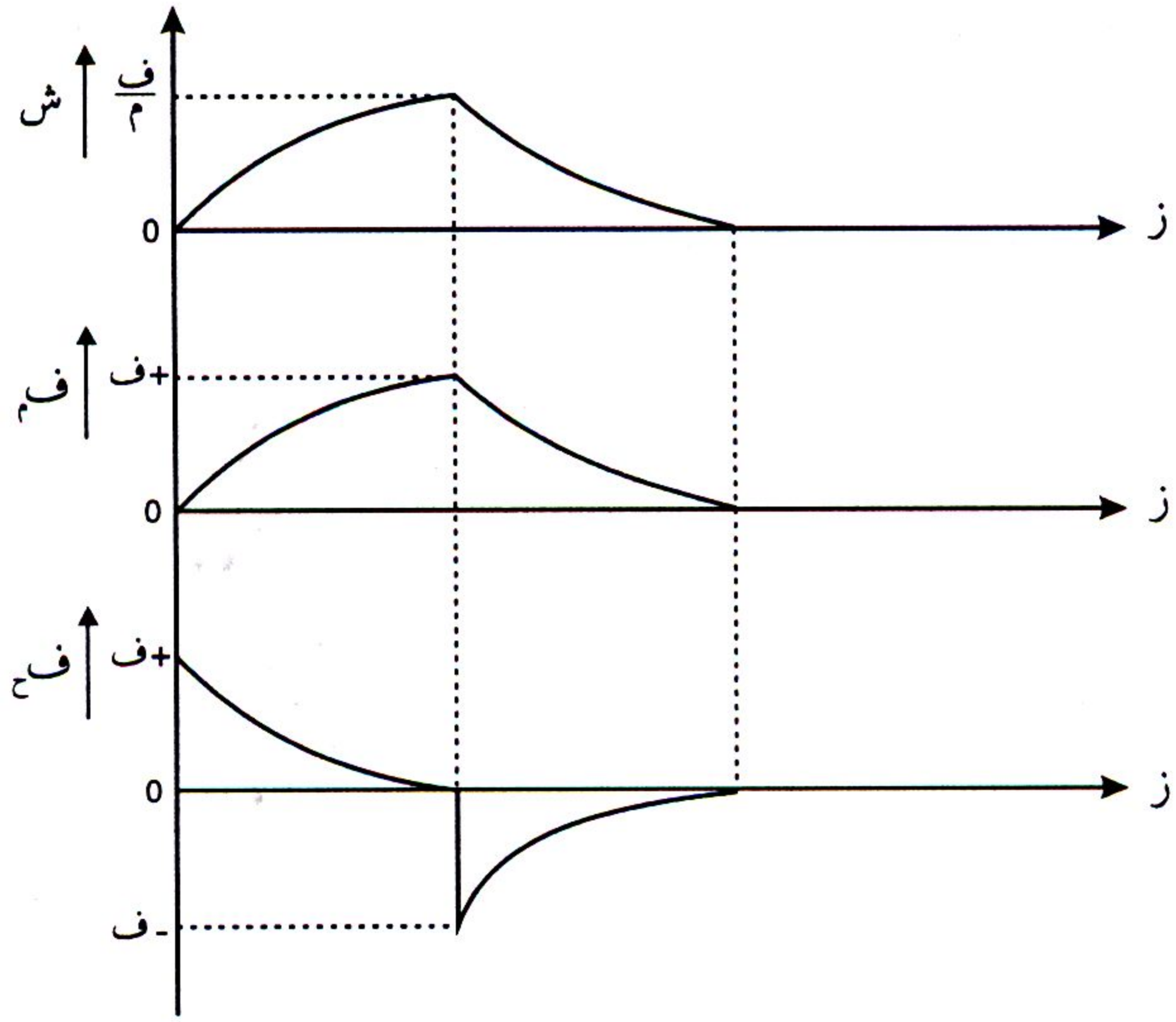
حيث :

- f_m هي القيمة اللحظية للجهد المتأمل بين قطبي المقاومة.

- f_c هي القيمة اللحظية للجهد المتأمل بين قطبي الوشيعة.

وعلمنا أن التيار معدوم في هذه اللحظة فإن $f_m = 0$ ، وعليه فكل جهد المنبع يظهر بين قطبي الوشيعة. وفيما سلف، قلنا أنه لا يتولد جهد عبر الوشيعة إلا إذا كان التيار متغيراً، وقد رأينا في الحين أن التيار معدوم في لحظة غلق القاطعة. فما تفسير هذا التناقض ؟

في لحظة غلق القاطعة يكون التيار معدوماً. ولكن تنبه أنه يتزايد بسرعة، الشيء الذي يجعله يتغير، وفي الشكل 1 توضيح لهذه الفكرة. مجموع الجهود المتأملين بين قطبي الوشيعة والمقاومة هو جهد المنبع f لأي لحظة زمنية z تختار للقياس. كما أن التيار لا يبقى معادلاً للصفر، بل يتغير إلى أن يصل شدة محددة هي $\frac{f}{m}$ التي تمت دراستها مسبقاً.



الشكل 1. منحنيات للمقارنة : B ، H ، Φ ، B_m ، H_m ، Φ_m

2.1. الإجابة الانتقالية

عندما يجتاز التيار القيم المتزايدة، المحصورة بين الصفر والقيمة $\frac{F}{M}$ ، يكون بذلك متغيراً... ولكن الوشاعة تحاول منع هذا التغير. أثناء هذه المدة، تتميز الدارة الحثية برد فعل انتقالي عرف بالإجابة الانتقالية، إذ تكون هذه الإجابة مؤقتة إلى أن يبلغ التيار الشدة العظمى $\frac{F}{M}$.

ويحدث نفس الشيء لو فتحت هذه المرة القاطعة من جديد، فإن الإجابة الانتقالية للدارة الحثية — أي الدارة M ح — سوف تعارض تناقص التيار المتناهي للقيمة صفر، ومن ذلك تعكس كل الكميات أثناء تناقص التيار، بخلاف ما كانت عليه أثناء تزايدها.

3.1. معامل الانتقال

تتميز الإجابة الانتقالية بالنسبة $\frac{\mathcal{E}}{M}$ ، وهي حاصل القسمة لقيمة المحاثية على قيمة المقاومة. وتعرف هذه النسبة باصطلاح ثابت الزمن للدائرة الحثية، ورياضيا هي العلاقة التالية :

$$\tau = \frac{L}{R}$$

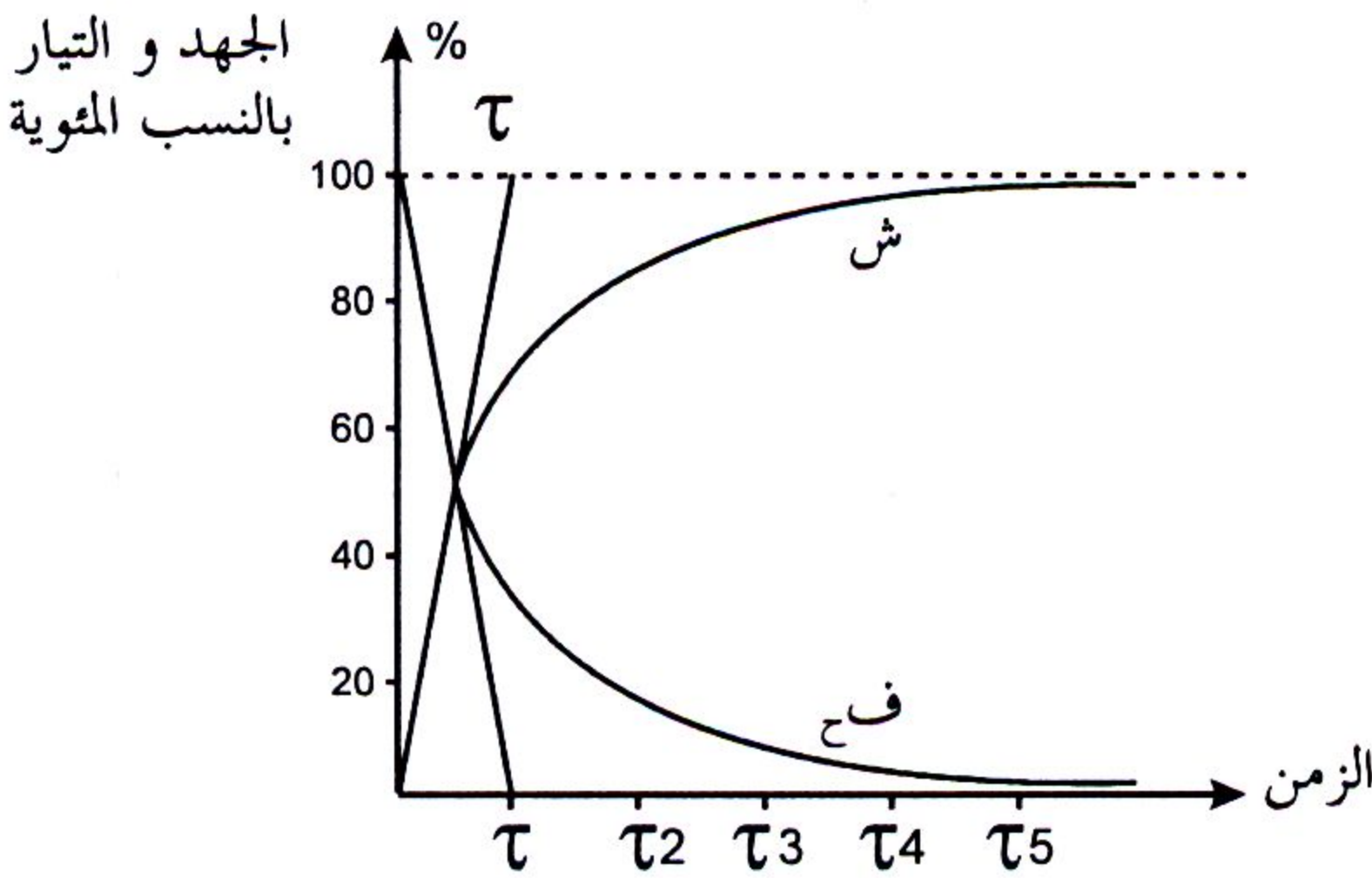
$$\frac{\mathcal{E}}{M} = \tau$$

حيث :

τ - ويقراً طاو، وهو ثابت الزمن : τ [ثا].

- $\mathcal{E}$ هي محاثة الوشيعية : $\mathcal{E}$ [هن].

وأما M فهي مقاومة الدائرة الحثية : M [Ω]، وهي عبارة عن المقاومة الداخلية للفتات الوشيعية M أو مقاومة المقاوم (النبيط) M أو مجموعهما معا في تسلسل ($M + M$).



الشكل 2. منحني ثابت الزمن

عندما تغلق القاطعة لفترة

زمنية قدرها 5τ أو أكثر، فإن

الجهد المتأمل بين قطبي الوشيعية

$\mathcal{E}$ معدوم (يتناهى للصفر)

كما يوضحه الشكل 2. في حين

تيار الدائرة يتزايد لا تحده سوى

المقاومة M ، وللفترة 5τ أو أكثر يستقر على شدته العظمى $\hat{\mathcal{E}} = \frac{\mathcal{E}}{M}$.

وأما خلال مدة زمنية قدرها τ (ثابت زمن واحد)، فإن التيار يكون قد بلغ عند تزايدده 63% من شدته العظمى أي $0,63 \times \hat{I}$ ، بينما جهد الوشيعة F_c — ولنفس المدة الزمنية τ — يكون قد تناقص ليصل 37% من قيمته الابتدائية.

2. المفاعلة الحثية

1.2. تعريف

المقاومة M هي المعارضة التي تبديها دائرة كهربائية حين يعبرها تيار مستمر. وأما المعاوقة V فهي المعارضة التي تبديها الدائرة حين يعبرها تيار متناوب، وهي عبارة عن عدد مركب :

$$\underline{Z} = R + iX$$

$$\underline{V} = M + iX$$

يحتوي على قسم حقيقي M وهو المقاومة الكلية للدائرة وقسم خيالي iX وهو المفاعلة الكلية للدائرة. والمفاعلة M أساسا نوعان : مفاعلة حثية X_L وأخرى سعوية X_C . فما هي يا ترى المفاعلة الحثية ؟

المعارضة التي تبديها وشيعة مثالية لعبور التيار المتناوب تسمى المفاعلة الحثية، وهي صافية وتعرف كالتالي :

$$X_L = \frac{\hat{V}}{\hat{I}}$$

$$X_C = \frac{\hat{V}}{\hat{I}}$$

حيث :

- حف هي المفاعلة الحثية الصافية للوشية المثالية : حف $[\Omega]$
 - $\hat{ش}$ هي الشدة القصوى (المطال) للتيار العابر للوشية: $\hat{ش} [A]$
 - $\hat{ف}$ هي القيمة القصوى للجهد $ف$ المتأمل بين قطبي الوشية : $\hat{ف} [فو]$
- ولاحظ جيدا أنه في هذه الحالة، المفاعلة الحثية عبارة عن وشية صافية، أي لا وجود لمقاومة اللفات. ومن ثم فالجهد المتأمل بين قطبي الوشية يتقدم التيار المتناوب الذي يعبرها بزاوية قدرها $\frac{\pi}{2}$ راديان (90°).
- عمليا ليس بالضروري أن تكون الوشية صافية. بل هي عموما مفاعلة حثية يمكن للاختلال $\phi \Delta$ المسجل بين الجهد والتيار أن يأخذ كل القيم التي تصادق على العبارة : $0 < \phi \Delta < \frac{\pi}{2}$ ، ويرجع ذلك كون مقاومة لفات الوشية الحقيقية غير معدومة.

2.2. تأثير التردد

في دراساتنا السابقة، قلنا أن الوشية تتصرف وكأنها دائرة قصر عندما يعبرها تيار مستمر، في حين هي دائرة مفتوحة حين يعبرها تيار متناوب عالي التردد... وقد اكتفينا على السرد دون برهان أو دليل. أما الآن فسوف ندرس لماذا هذا التصرف.

قد لوحظ أن قيمة المفاعلة الحثية مرتبطة مباشرة بالتردد، فكل إرتفاع للتردد تسجل قيمة أكبر للمفاعلة الحثية. وعليه، فعبارة المفاعلة الحثية هي كالتالي :

$$X = 2 \pi \cdot f \cdot L$$

$$\text{حف} = 2 \cdot \pi \cdot \text{ن} \cdot \text{ح}$$

حيث :

- ن هي تردد التيار المتناوب : ن [هز]

- ح هي محاثة الدارة المدروسة : ح [هن]

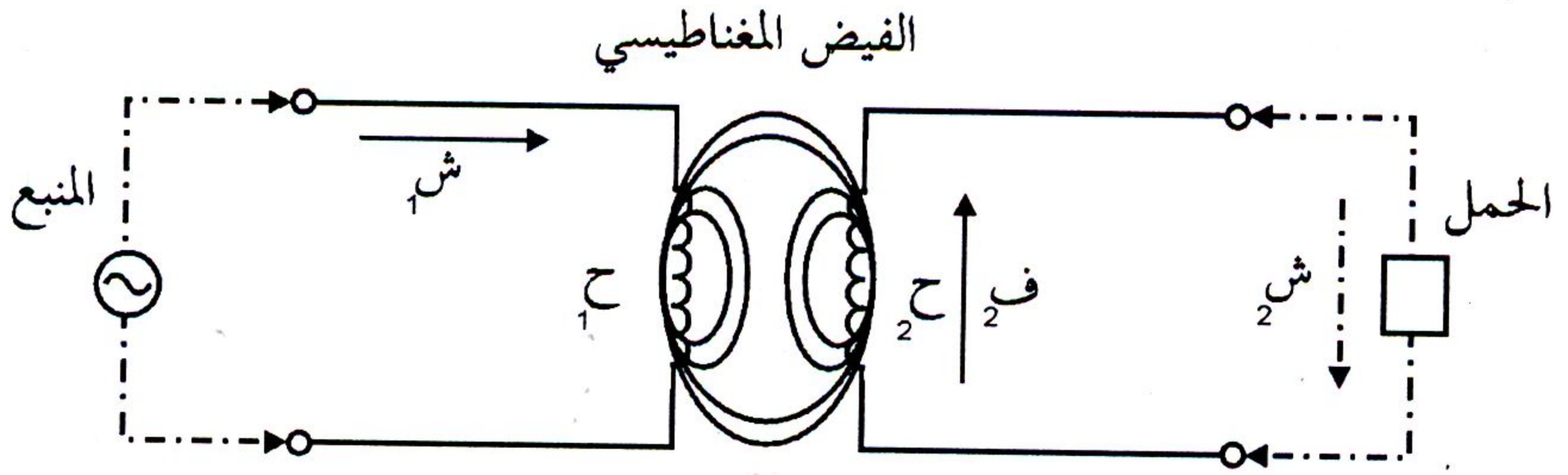
من خلال هذه العبارة، يبدو جليا أن المفاعلة الحثية تبدي معارضة (ووحدها الأوم) أكبر كلما تزايد التردد، والعكس صحيح. وعليه فإن في حالة تردد الصفر (وهو حالة التيار المستمر) تكون المفاعلة الحثية معدومة، أي أنها دائرة قصر. وأما في حالة الترددات العالية جدا، فإن المفاعلة الحثية تصبح عبارة عن شبه دائرة مفتوحة (عدة ملايين أوم).

3. المحاثة التبادلية

1.3. التفاعل الجوّاري

عندما يتغير التيار داخل وشيعة محاثتها ح₁، ينجم عنه فيض مغناطيسي متغير داخل هذه الوشيعة. فماذا يحدث لو وضعت بجوار هذه الوشيعة وشيعة ثانية ح₂ دون أن يكون لف ح₂ متصلا بلف ح₁ ؟

أولا وقبل التطرق لهذه الدراسة، يجب أن تفهم مدلول عبارة "لف ح₂ غير متصل بلف ح₁". فالمقصود منها أن الوشيعة ح₂ توضع على مقربة من الوشيعة ح₁ دون وصل فعلي، إلا أن المجال المغناطيسي للوشيعة ح₁ يقرن لـ لف كل من الوشيعتين ح₁ و ح₂ كما يوضحه الشكل 3.



الشكل 3. المحاثّة التبادلية لوشيّتين متجاورتين

في هذا الشكل، توصل الوشيعة H_1 بمنبع جهد متغير الذي يصدر عنه تيار I_1 متغير كذلك داخل لفات H_1 ، فيحث جهدا عبر الوشيعة H_1 . وبفعل الجوار، فإن التيار I_1 يحث كذلك جهدا عبر الوشيعة H_2 . وإذا ما وصل حمل بين قطبي الوشيعة H_2 (أي غلق الدارة)، فإن الجهد المستحث F_2 الذي يسجل بين قطبي H_2 ، يولد تيارا I_2 يعبر الحمل.

عندما يولد الجهد المستحث F_2 تيارا داخل H_2 ، فإن المجال المغناطيسي المتغير يحث جهدا داخل H_1 . إذن فإن الوشيّتين H_1 و H_2 لهما محاثّة متبادلة بينهما، لأن التيار في إحدهما يتمكن من حث جهد في الأخرى.

2.3. مفهوم التقارن

لا تظهر محاثّة متبادلة بين الوشيّتين H_1 و H_2 ، إلا إذا كان المجال المغناطيسي لإحدهما يقرن لف كل وشيعة منهما. تدعى هذه المحاثّة المتبادلة بين وشيّتين متجاورتين المحاثّة التبادلية، ويرمز لها بالرمز M ووحدتها دوما وحدة هنري.

الدارة الحثية

تعادل محاثّة تبادلية لوشيّتين متجاورتين واحد هنري، عندما تكون تغيرات التيار في إحدهما واحد أمبير في الثانية، فينجم عنها جهد مستحث يعادل واحد فولط في الثانية. وعبارتها تعطى في الصيغة التالية :

$$M = N_2 \cdot \frac{\Phi_2}{I_1} \quad \text{بد} = N_2 \cdot \frac{\Phi_2}{\text{ش}_1}$$

حيث :

- N_2 هو عدد لفات الوشيعة ح₂.

- Φ_2 هو الفيض المقرون (المستحث) داخل لفات الوشيعة ح₂.

- ش_1 هي شدة التيار العابر لفات الوشيعة ح₁.

تتوقف المحاثّة التبادلية بد على شكل وموقع الوشيّتين المتجاورتين من بعضهما البعض، وهي تعد معامل النسبية بين المحاثتين. ويمكن لهذا المعامل أن يكون موجبا أو سالبا على خلاف محاثّة الوشيعة الصافية التي هي دوما موجبة.

أظن أنه بعد هذا التعريف كله، بقي مصطلح "تقارن" يشغل بالك وأنت تتساءل عن مدلوله اللغوي وتنتظر التعريف الاصطلاحي... لغة، يقصد بمصطلح التقارن معنى الترابط والتزاوج. إذ عندما توضع دارتان كهربائيتان في موقعين مختلفين بحيث أن المحاثّة التبادلية لا تعدم، أي تختلف عن الصفر، فإن الدارتين مقرونتان بالحث فهما مترابطتان من غير لمس مباشر. وكل تغير

يسجل على التيار في إحدى الدارتين يؤدي إلى تغير متناسب في الفيض للدائرة المجاورة، وعليه تتولد قوة كهرومحرركة للحث.

4. المحاثة المكافئة

1.4. الدارة الحثية المتسلسلة

دراسة الدارة الحثية والبحث عن المحاثة المكافئة، متوقف عن احتمال من عدم احتمال تولد محاثة تبادلية بين الوشيعات المتسلسلة للدائرة. ولذلك إليك المثال التالي، والذي يمثل دائرة حثية تحتوي على وشيعتين متسلسلتين ح₁ و ح₂.

1. وأما الدراسة الأولى فهي عند عدم تأثير إحداها على الأخرى، أي لا وجود للتقارن بينهما وبالتالي لا وجود للمحاثة التبادلية. إذن المحاثة المكافئة لوشيعتين متسلسلتين هي مجموعهما، أي :

$$L = L_1 + L_2$$

$$ح = ح_1 + ح_2$$

ومنه نستخلص المحاثة المكافئة لأكثر من وشيعتين :

$$L = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

$$ح = ح_1 + ح_2 + \dots + ح_n$$

2. والحالة الثانية تتعلق بتقارن الدارتين. فعندما توضع وشيعة على مقربة من أخرى، فإن المجال المغناطيسي لإحداها يقطع لفات الوشيعة الثانية. وعليه تظهر محاثة تبادلية بينهما، تجعل من المحاثة المكافئة للدائرة المتسلسلة تختلف بعض الشيء عن الأولى، إذ ستؤخذ بعين الاعتبار هذه المحاثة التبادلية، وعليه :

$$L = L_1 + L_2 \pm 2M$$

$$C = C_1 + C_2 \pm 2C_{بد}$$

2.4. الدائرة الحثية المتوازية

وهنا دراسة مماثلة لما قبلها، فدائرة حثية تحتوي على وشيعتين متوازيتين C_1 و C_2 :

1. لو توضع الوشيعتان على مقربة من بعضهما، فسوف يؤثر الفيض المغناطيسي لكل وشيعة على لفات الوشيعة الثانية، فتظهر المحاثـة التبادلية. وعندها تستخرج المحاثـة المكافئة للوشيعتين المتوازيتين من العبارة التالية :

$$L = \frac{L_1 \cdot L_2 - M^2}{L_1 + L_2 \pm 2M}$$

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2 - C_{بد}^2}{C_1 + C_2 \pm 2C_{بد}}$$

2. وأما إذا كانت الوشيعتان للدائرة الحثية المتوازية على مسافة معينة، بحيث لا وجود للتقارن بينهما، فإن المحاثـة التبادلية بد معدومة تماما. وعليه تكون المحاثـة المكافئة كالتالي :

$$L = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

وبذلك فهي تستخرج بنفس الطريقة التي تستخرج بها المقاومة المكافئة بخلاف المكثفة المكافئة، وعليه فإن المحاثـة المكافئة C لأكثر من وشيعتين متوازيتين هي كالتالي :

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

تمرين

يمتاز حلزون ذو نواة غير حديدية بمحاثة تعادل 100μ هن. أحسب المحاثة الجديدة لهذا الحلزون إن عوضت النواة بأخرى من مادة خام الحديد نفاذيتها تعادل 200.

الجواب

تكتب المحاثة وفق المعادلة التالية :

$$L_0 = \mu_0 \frac{N^2 \cdot S}{l} \quad \text{ح} = \mu_0 \frac{N^2 \cdot S}{l}$$

حيث μ_0 هي نفاذية النواة غير الحديدية وهي تعادل نفاذية الفراغ. ومن ذلك فإن عوضت النواة بأخرى حديدية، نفاذيتها النسبية $\mu_r = 200$ ، فإن المحاثة الجديدة تكتب وفق العلاقة التالية :

$$L = \mu_r \cdot \mu_0 \frac{N^2 \cdot S}{l} \quad \text{ح} = \mu_r \cdot \mu_0 \frac{N^2 \cdot S}{l}$$

حيث μ_r هي النفاذية المطلقة للنواة الجديدة وهي تعادل $\mu_r \mu_0 = \mu$ ، أي يمكن صياغة المعادلة التالية :

$$L = \mu_r L_0 \quad \text{ح} = \mu_r \cdot \text{ح}_0$$

وبما أن $\text{ح}_0 = 100 \mu$ هن، فإن المحاثة الجديدة هي $\text{ح} = 20 \text{ مهن}$.

مسائل

1. عرف الإجابة الانتقالية، وأذكر المتسبب فيها. كيف يحدد مفعوله ؟ اشرح.
2. عندما يعبر التيار لفات الوشيعة، هل المعارضة الوحيدة لسيلان التيار هي المفاعلة الحثية الصافية فقط ؟ اشرح.
3. كيف يتسبب التردد في تحديد المفاعلة الحثية ؟ اشرح تصرف الوشيعة داخل الدارة.
4. ما هي المحاثّة المتبادلة ؟ إلى ما ترجع ظهورها ؟ أذكر مدى تأثيرها على الدارة، متسلسلة كانت أم متوازية.
5. ما الفرق بين المحاثّة التبادلية والمحاثّة الطفيلية ؟ أذكر سبب ظهور كل منهما.
6. كم هو ثابت الزمن لدائرة حثية متسلسلة، حيث $H = 1$ مهن و $M = 1000$ أوم ؟
7. دائرة حثية متسلسلة تمتاز بثابت الزمن يعادل $0,4 \mu$ ثا. كم هي محاثّة الوشيعة إن كانت المقاومة تعادل 5 كيلو أوم ؟
8. وشيعة متوازيتان ومتباعدتان، محاثتهما على التوالي $H_1 = 100$ مهن و $H_2 = 400$ مهن. أحسب المحاثّة المكافئة.
9. كم هي المحاثّة المكافئة لثلاث وشيعات متسلسلة، محاثتها على التوالي هي $H_1 = 2$ مهن و $H_2 = 44$ مهن و $H_3 = 14$ مهن، بافتراض ألا تأثير متبادل بينها ؟
10. ابحث عن محاثّة الوشيعة التي يعبرها تيار شدته 3 أمبير، فتخزن طاقة كهربائية داخل المجال المغناطيسي تعادل 45 جول.
11. وشيعة محاثتها 6 مهن يعبرها تيار جيبي نبضه يعادل 260×10^3 راديان/ثا. أحسب المفاعلة الحثية.

12. أحسب محاثة الوشيعة الصافية، إن سجلت مفاعلة حثية تعادل 500 4 أوم عند التردد 2 000 هرتز. ابحث عن الشدة الناجعة، إن سجل لنفس النبض جهد أقصى يعادل 64 فولط.

13. يعبر تيار مستمر وشيعة بنواة حديدية شدته 12 أمبير، فيظهر بين قطبيها جهد يعادل 120 فولط. تخضع هذه الوشيعة ثانية لتيار متناوب شدته الناجعة 5 أمبير والجهد الناجع هو 120 فولط بتردد 50 هرتز.

1. أحسب محاثة الوشيعة.

2. كم هو الاختلال المسجل بين جهد وتيار الوشيعة ؟

14. وشيعة دون نواة، محاثتها ح = 0,02 هنري ومقاومة لفاتها م = 2 أوم.

1. أحسب معاوقتها إذا ركبت عبر مأخذ نبضه 314 راديان/ثانية. استنبط

الاختلال المسجل بين الجهد المتأمل عبر قطبي الوشيعة والتيار الذي يعبرها.

2. ما يحدث لو كانت الوشيعة بنواة حديدية ؟ اشرح.

15. يطبق جهد جيبي معادلته :

$$f = f_0 - f_1 = \sqrt{110} \text{ تجب } (100\pi \cdot z) [f_0]$$

بين قطبي وشيعة أب، تمتاز بأن مقاومة لفاتها م = 40 أوم، فيعبر الدارة تيار شدته الناجعة ش = 2 أمبير.

1. ابحث عن معاوقة الوشيعة. استنبط محاثتها.

2. أحسب معامل الاستطاعة ثم استخرج المعادلة الزمنية للتيار ش

العابر للدائرة.

3. أحسب الاستطاعة المتوسطة المستهلكة من قبل الوشيعة.

المحول

يعتبر المحول تطبيقاً منطقياً وبديها للمحثة التبادلية، فهو يشتغل عندما يقذف بتيار متغير عبر الأساسية كأن يكون تياراً متناوباً. ويعتمد مبدأ اشتغال المحول على تغيرات الحث الكهرومغناطيسي، بحيث لا وجود لإجابة في الثانوية عندما يعبره تيار مستمر.

1. مبدأ التصميم

إذا مددت سلكاً ناقلاً موصولاً بمنبع كهربائي متناوب بالقرب من آخر، فإنه يتولد تيار كهربائي يعبر السلك الثاني بفعل تيار السلك الأول، ويخالفه في الاتجاه ويتفاعل معه من حيث الشدة، كبرت أو صغرت.

وقد تم توليد التيار الثاني والمعروف بالتيار المستحث دون أي وصل بالسلك الأول، بل حكم الجوار هو مصدر توليد التيار الثاني والمتمثل في المجال المغناطيسي الصادر عن التيار الأول الذي يعرف بالتيار المحث. وضعك للسلكين على مقربة من بعضهما، أدى إلى إنشاء جهاز كهربائي يعرف باسم المحول...

يمتاز تصميمك هذا بتشابه كبير بين التيارين، المستحث والمحث. وبذلك يصبح تصميمك عديم الجدوى. وعليه، فماذا لو قمت بتكثيف المجال المحاث لتشتد حدة التيار المستحث، كأن تزيد في عدد لفات أحدهما أو كلاهما.

هذه تجربة مخبرية أوضحت أنه إن كان عدد لفات السلك الثاني ضعف لفات السلك الأول مثلاً، فإن الجهد المستحث يكون ضعف الجهد المحاث الصادر عن التيار المحاث. وبذلك يتم إنشاء المحول الذي أساس اشتغاله تصميم المحاثّة التبادلية.

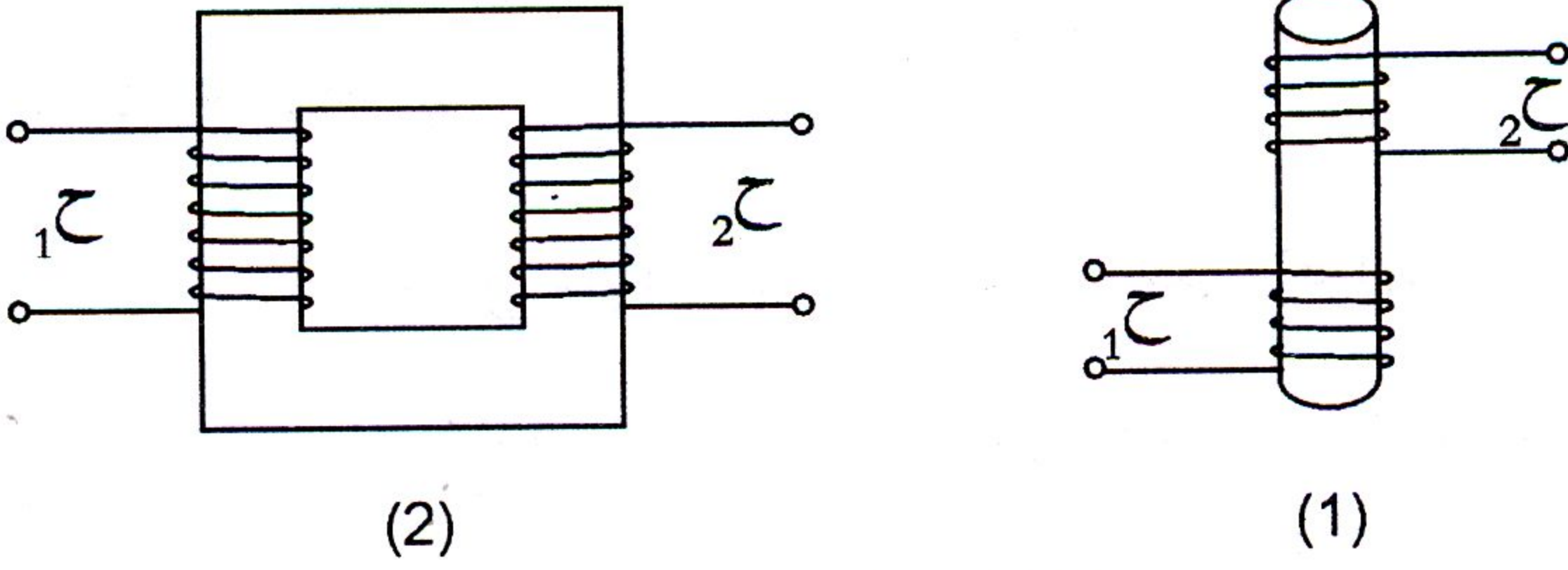
وللتأكد من صحة المبدأ، يقذف بتيار متناوب عبر لفات السلك الأول، وتوضع منارة كالمصباح مثلاً بين طرفي لفات السلك الثاني. فيشاهد في الحين إضاءة المنارة على الرغم من عزلها عن المنبع الكهربائي المتناوب، زيادة على أن السلكين تم تليسهما بمادة عازلة.

تعليل ذلك يكون بواسطة قانون لتر، إذ تواجد السلكين في مجال واحد، يؤدي إلى تحريض السلك الثاني على توليد جهد مستحث يكون مصدر التيار المستحث، والذي يمتاز باتجاه يعاكس التيار المحاث.

2. تركيب الدارة المغناطيسية

1.2. كيفية الصنع

يعتبر المحول تطبيقاً عملياً ومباشراً للمحاثّة التبادلية، ففي الشكل 1 تبين لكيفية صنع المحولات كتطبيق عملي للمحاثّة التبادلية.

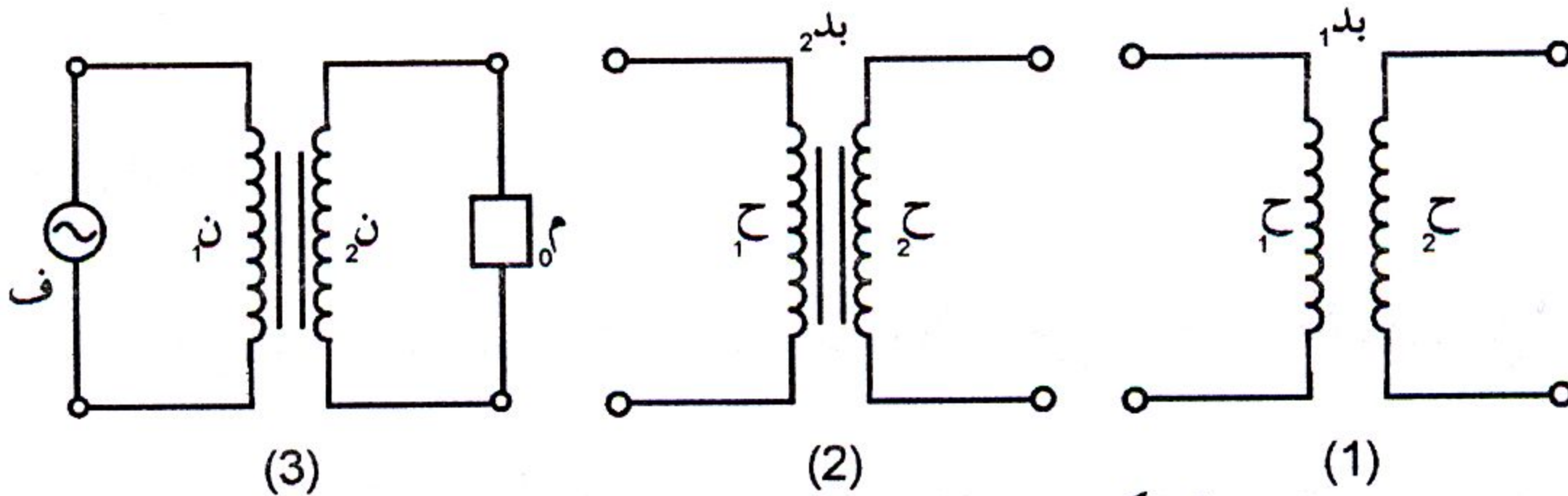


الشكل 1. كيفية صنع المحولات

في الشكل 1. 1، الوشيعتان ح₁ و ح₂ ملفوفتان حول نفس القضيب العازل المصنوع من الورق أو البلاستيك حيث الهواء يملأ داخله فهما وشيعتان دون نواة، وهو نوع غير مستعمل إطلاقاً ولم يتم سرده إلا لتوضيح ماهية المحول وكيفية صنعه.

وأما في الشكل 1. 2، تمثيل للوشيعتين ح₁ و ح₂ وهما ملفوفتان حول قطعة معدنية والتي تمثل النواة المغناطيسية (نواة معدنية غالباً حديدية)، حيث الوشيعة ح₁ تدعى الأساسية والوشيعة ح₂ تدعى الثانوية.

في الشكل 2، يوجد الرمز الممثل للمحول، فالشكل 2. 1 يمثل محولاً يمتاز أن وشيعتيه بنواة فارغة، وأما في الشكل 2. 2 فهو تمثيل لمحول وشيعته تحتوي على نواة حديدية، وما استعمال الحديد إلا لزيادة تركيز الفيض المغناطيسي، وعليه فإن $بد_2 < بد_1$.



الشكل 2. الرمز التمثيلي للمحولات

2.2. كيفية الاشتغال

أما الشكل 2. 3، فيمثل دائرة كهربائية تحتوي على محول، إذ تم توصيل اللف الأساسي ح₁ بمولد متغير ف غالبا هو مولد متناوب. ويعبر الأساسية ح₁ تيار متغير يتولد عنه فيض مغناطيسي متغير كذلك، في حين الثانوية ح₂ وصلت بحمل م₀.

إن الهدف من المحول هو تحويل الطاقة من اللف الأساسي نحو اللف الثانوي، حيث أن الجهد المستحث في اللف الثانوي يولد تيارا يعبر مقاومة الحمل م₀ باعتبار أن الدارة مغلقة.

فبواسطة الحث المتبادل ، أي بواسطة الفيض، يمكن لطاقة كهربائية متناوبة العبور من اللف الأساسي إلى اللف الثانوي. وعليه فإن المحول لا يعمل إلا في دائرة تحتوي على تيار متناوب (تيار متغير)، لأن الجهد المستمر لا يحتوي على تغيرات في التيار، بل ثابت. وبذلك يظهر أن الهدف الأساسي من المحول، هو الجمع بين دارات كهربائية تختلف جهودها مما يظهر إمكانية التطبيقات الواسعة.

3. محول الرفع ومحول الخفض

1.3. تعريف

لا يتولد الجهد المستحث في الثانوية إلا بتغير المجال الحث في الأساسية، ونتيجة ذلك تبرز في تدفق التيار المستحث عبر الثانوية. وبما أن مضاعفة عدد

لفات الثانوية بالنسبة للأساسية يؤدي إلى جهد مستحث يكون ضعف الجهد المحاث، نقول أن الجهد المستحث متناسب طرداً مع نسبة اللفات.

والعكس صحيح، أي لو أن لفات الأساسية هي ضعف الثانوية فسوف يكون الجهد المستحث نصف الجهد المحاث. إذن كخلاصة لما تقدم، فإن المحول يمكن أن يخفض أو يرفع من الجهد المتناوب، وعليه كان الاصطلاح المتداول «محول الخفض» و «محول الرفع» على التوالي.

وعليه نستنتج أن محولا بنسبة لفات معينة يمكن أن يكون رافعا وخافضا في نفس الوقت، وذلك باستبدال تركيب المنبع الكهربائي المتناوب تارة عبر الأساسية وأخرى عبر الثانوية.

ونفس الدراسة تقام حول التيار، إلا أنه في هذه الحالة الأمر مرتبط بالسلك الناقل المستعمل، إذ حسب ظاهرة جول، يجب استعمال سلك رفيع (أي غليظ) عند عبور تيارات حادة وبذلك يزيد الوزن والسعر معا، وأما للتيارات الضعيفة يمكن استعمال سلك دقيق.

2.3. علاقة الأساسية بالثانوية

عندما يعبر تيار متناوب الأساسية ح₁ من الشكل 3. 2، فسيُنتج عنه جهد مستحث عبر الثانوية ح₂ والأساسية ح₁، كيف ذلك؟ الجهد المتأمل عبر الثانوية ح₂ هو جهد مستحث عن تيار الأساسية ح₁، في حين أن الجهد عبر الأساسية ح₁، يدعى الجهد المستحث تلقائياً أو جهد الحث الذاتي.

وأما العلاقة الجامعة بين الجهد الأساسي والجهد الثانوي فهي علاقة نسبية، إذ حاصل نسبة الجهد الأساسي على الجهد الثانوي هي أصلا نسبة عدد لفات الأساسية على لفات الثانوية، أي رياضيا هي العلاقة التالية :

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad \text{ف} = \frac{1}{\text{ف}} = \frac{1}{\text{ف}}$$

حيث أ هو نسبة التحويل للمحول، أو نسبة اللفات، وتلاحظ من خلال هذه العلاقة، أنه عندما يزيد عدد اللفات في الوشيعة الأساسية يزيد جهد كل من الوشيعة الأساسية والوشيعة الثانوية، والعكس صحيح.

وكذلك الحال بالنسبة لعلاقة التيارين الأساسي والثانوي، فنسبة التيارين هي النسبة العكسية لللفات الأساسية والثانوية. ترجمة رياضية لهذا الكلام هي المعادلة التالية :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a} \quad \frac{1}{\text{أ}} = \frac{\text{ن}}{\text{ن}} = \frac{\text{ش}}{\text{ش}}$$

وتعويضاً في المعادلة السابقة، نستخرج الصيغة الرياضية التالية :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad \frac{\text{ف}}{\text{ف}} = \frac{\text{ش}}{\text{ش}}$$

4. المحول المثالي

من خلال دراسة الوشيعة، قلنا أن وشيعة مثالية هي عبارة عن وشيعة صافية حيث مقاومة السلك الملفوف حول النواة الحديدية معدومة. فما هو يا ترى المحول المثالي ؟

يقتصر تعريف المحول المثالي على سرد خاصياته الفنية والتي ندرجها فيما يلي :

1. مقاومة السلك الناقل الملفوف حول النواة الحديدية معدومة : أي أن اللفات لا تبدي أي مقاومة لعبور التيار، ومن ثم لا تستهلك أي كمية من الطاقة الكهربائية المحولة من الأساسية نحو الثانوية.

2. عدم وجود خسائر على مستوى النواة : أي أن الطاقة الكهربائية المحولة عبر المحول لا تضيع منها أدنى كمية بسبب سخونة النواة الحديدية.

3. معامل التقارن يعادل الوحدة (ثا = 1 = k) : تعلم أنه بوضع وشيعة على مقربة من أخرى، ينتج عن ذلك محاثة تبادلية عندما يعبر تيار متغير إحداهما. ومن هنا يعرف معامل التقارن على أنه نسبة الفيض الإجمالي للوشيعة الأولى الذي يعبر ويقطع الوشيعة الثانية، أي أن معامل التقارن يساوي واحد عندما يكون كل فيض الأساسية ح₁ يعبر الثانوية ح₂، وعليه فمعامل التقارن $\text{ثا} = 0,5$ يشير إلى عبور نصف فيض الأساسية ح₁ نحو الثانوية ح₂.

4. النفاذية النسبية تتناهى إلى ما لا نهاية، وهي إحدى الخصائص الهامة للمحول المثالي... ولتحديد قيمتها بالضبط بالنسبة للمحول الحقيقي، فإن الأمر يتوقف على مادة المعدن المصنوعة منها النواة، إذ تختلف هذه القيمة من معدن لآخر.

تلاحظ أنه في الواقع العملي يستحيل صنع محول مثالي. يمثل هذه الخصائص الفنية، وإلا فكيف تعدم مقاومة اللفات مثلاً. ولكن المنتج البارِع

هو من يستطيع صنع محولات تقارب هذه الخصائص الأربع، الشيء الذي يبعث إلى اختلاف السعر في السوق وعليه كسب ثقة المستهلك.

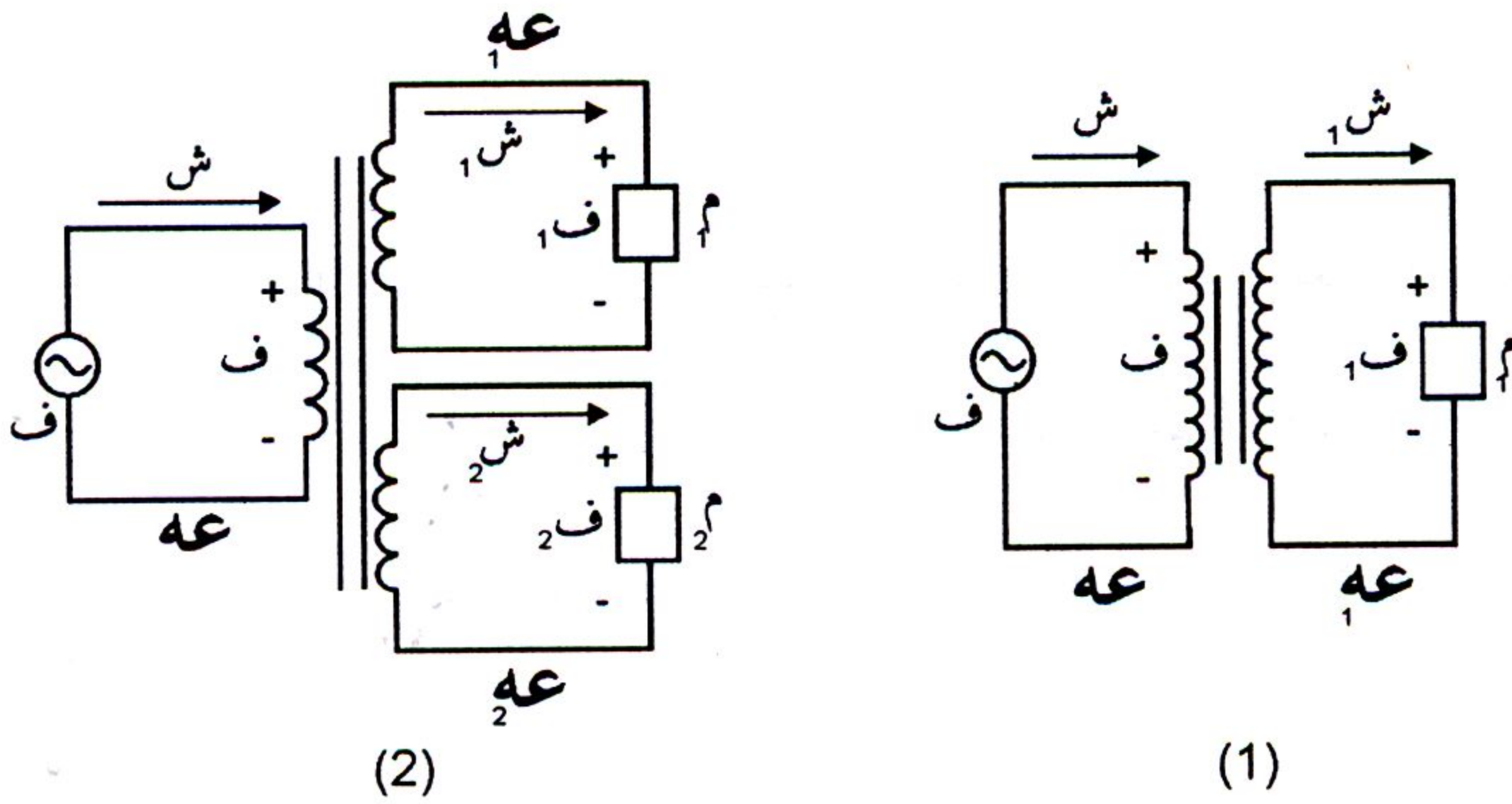
فمثلاً يلجأ إلى اختيار سمك السلك الناقل، بحيث تتناهى مقاومته إلى الصفر مع الأخذ بعين الاعتبار أن تمتاز النواة بخسائر تقارب الصفر. بالإضافة إلى اختيار معدنها للحصول على نفاذية نسبية أكبر ما يمكن الحصول عليه، كما أن المحولات ذات معامل التقارن تقارب الوحدة مطلوبة كثيراً.

5. تحويل الاستطاعة

1.5. نسبة التحويل

الوشية الأساسية موصولة بمولد متناوب، والوشية الثانوية يعبرها فيض مغناطيسي يتولد عن الوشية الأساسية. هذا الفيض المتغير دوماً بتغير التيار الأساسي هو الذي يحدد القوة الكهرومحرركة للحث، وعليه نحصل على جهد متناوب بين قطبي الوشية الثانوية بنفس تردد الجهد الأساسي. فالحول هو دائرة مغناطيسية يعبرها مجال مغناطيسي بنفس التردد.

كل الاستطاعة المستعملة في اللف الثانوي تمنح من قبل اللف الأساسي، ففي حالة محول مثالي لا شيء يضيع من استطاعة اللف الأساسي، بل تحول كلها نحو اللف الثانوي (الشكل 3. 1)، وعليه :



الشكل 3. تحويل الاستطاعة

$$P = P_1$$

$$P_1 = V_1 \cdot I_1$$

$$P = P_1$$

$$\text{حيث : } P = V_1 \cdot I_1$$

وبالتعويض نحصل على المعادلة التالية :

$$V \cdot I = V_1 \cdot I_1$$

$$\frac{V}{V_1} = \frac{I_1}{I}$$

$$V \cdot I = V_1 \cdot I_1$$

$$\text{ومنه : } \frac{V}{V_1} = \frac{I_1}{I}$$

لاحظ جيدا أن نسبة الجهد تكون دوما عكس نسبة التيار، التي هي بدورها عكس نسبة اللفات.

إن الاستطاعة الثانوية تساوي الاستطاعة الأساسية لكل المحولات، فإذا كان الجهد الأساسي V أكبر من الجهد الثانوي V_1 فإن التيار الأساسي I بالضرورة أصغر من التيار الثانوي I_1 حتى تبقى الاستطاعتان متساويتان، ومن ذلك تبقى النسبتان دوما متساويتان.

2.5. مجموع الاستطاعة المحولة

أما في حالة ما إذا كان المحول يحتوي على أكثر من لف ثانوي واحد كما يوضحه الشكل 3. 2، فإن الاستطاعة الثانوية هي مجموع استطاعة كل لف ثانوي على حدة، أي مجموع الاستطاعات الثانوية تعادل الاستطاعة الأساسية. رياضيا هي العلاقة التالية :

$$P = P_1 + P_2$$

$$ع_ه = ع_ه1 + ع_ه2$$

$$P_1 = V_1 \cdot I_1$$

$$\text{حيث : } ع_ه1 = ف_1 \cdot ش_1$$

$$P_2 = V_2 \cdot I_2$$

$$ع_ه2 = ف_2 \cdot ش_2$$

يقتصر عمل المحول على تغيير وسيطين فقط، الجهد المستحث والتيار المستحث مع الحفاظ دوما على أن يكون ناتج المعادلة السالفة ثابتا، وذلك للاستبقاء على الاستطاعة المحولة من الأساسية هي دوما نفسها المستقبلة في الثانوية.

إلا أن هناك بعض الخسائر الناجمة عن انتشار الحرارة، ولفادي هذا العائق تسعى الشركات الوطنية، كشركة سونلغاز بالجزائر مثلا، عند تحويل الاستطاعة الكبيرة إلى أن تغمس المحولات داخل الزيت كلية للإبقاء عليها باردة وهي عملية مكلفة جدا. ولهذا، وحسب ظروف الدولة، هناك من يغمس محولات الاستطاعة الكبيرة داخل الماء الصافي، الخالي من الشوائب.

3.5. مقاومة الحمل ومقاومة المدخل

توافق استطاعة الأساسية المعادلة عه = ف . ش، بينما استطاعة الثانوية الممنوحة للحمل م₁ من الشكل 3.1 هي عه₁ = ف₁ . ش₁. وباعتبار أن المحول مثالي، فلا فقدان للطاقة الحرارية عبر لفات الوشيعتين ولا عبر النواة. وعليه، فالمعادلتان السابقتان متساويتان، ومنه :

$$V \cdot I = V_1 \cdot I_1$$

$$ف \cdot ش = ف_1 \cdot ش_1$$

والنسبتان تعادلان نسبة اللفات، أي :

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{I}{I_1}$$

$$\frac{ش_2}{ش_1} = \frac{ش}{ش_1}$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{V_1}{V}$$

$$\frac{ف_2}{ف_1} = \frac{ف}{ف_1}$$

وجداء الضرب لهاتين المعادلتين يفضي إلى المعادلة التالية :

$$\left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 = \frac{V_1 \cdot I}{V \cdot I_1}$$

$$\frac{ف_2 \cdot ش_2}{ف_1 \cdot ش_1} = \left(\frac{ش_2}{ش_1} \right)^2$$

والتي يمكن إعادة ترتيبها على الوجه التالي :

$$\left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 = \frac{V_1 / I_1}{V / I} = \frac{R_1}{R}$$

$$\frac{م_2}{م_1} = \frac{ف_2 / ش_2}{ف_1 / ش_1} = \left(\frac{ش_2}{ش_1} \right)^2$$

$$R = R_1 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

$$أي أن : م = م_1 \left(\frac{ش_1}{ش_2} \right)^2$$

حيث :

- M_1 هي مقاومة الحمل الموصول بالثانوية (الشكل 3. 1)

- M هي المقاومة التي ينظر إليها من الأساسية، والتي تحمل على المنبع المتناوب.

تلاحظ من خلال المعادلة السابقة أن M تختلف تماما عن الحمل M_1 ، وذلك بحكم تربيع نسبة اللفات أ، ومن ذلك تكتب مقاومة المدخل كالتالي :

$$R = a^2 \cdot R_1$$

$$M = A^2 \cdot M_1$$

مسائل

1. ما هو مبدأ صنع المحول ؟ أذكر كيفية اشتغاله.
2. ما مدلول اصطلاح «الأساسية» و«الثانوية» ؟ اشرح.
3. ما مدلول اصطلاح «محول الرفع» و«محول الخفض» ؟ أذكر كيفية اشتغالهما.
4. عرف نسبة التحويل. ما الفرق بينها وبين نسبة اللفات ؟ اشرح.
5. استخراج نسبة الجهود ونسبة التيارات. اذكر العلاقة التي تجمعهما.
6. ما هو المحول المثالي ؟ بما يمتاز ؟ اشرح.
7. ما الفرق بين خسائر جول وخسائر النواة ؟ كيف تحدث هذه الخسائر ؟ أذكر لم يفترض هذه الخسائر معدومة.
8. ما مدلول اصطلاح «معامل التقارن» ؟ اشرح.
9. لم يفترض في المحول المثالي أن معامل التقارن يعادل 1 ؟ اشرح.
10. أذكر نسبة البوابتين، مقاومة المدخل ومقاومة المخرج. إلى ما ترمز ؟ اجتهد في ذكر تطبيقاتها.
11. محول يحتوي على 250 لفة أساسية و 1 000 لفة ثانوية.
 1. أحسب نسبة اللفات أ. هل هو محول رفع أم محول خفض ؟
 2. إن يقذف بجهد عبر الأساسي يعادل 120 فولط، كم هو الجهد الثانوي المتوقع ؟
12. نسبة لفات محول هي 6:1، حيث الجهد الأساسي يعادل 120 فولط.
 1. هل يتعلق الأمر بمحول رفع أم محول خفض ؟
 2. كم الجهد الثانوي ؟

3. أحسب الشدة الثانوية لو أن المنبع المتناوب يصدر عنه تيار شدته 15 أمبير.

13. محول يحتوي على 100 لفة أساسية و 5 لفات ثانوية، يقذف عبر مدخله بجهد يعادل 220 فولط.

1. هل يتعلق الأمر بمحول رفع أم محول خفض ؟

2. كم هي نسبة اللفات ؟ استخرج الجهد الثانوي.

3. أحسب الاستطاعة المستهلكة عبر حمل مقاومته $R = 2 \text{ أوم}$ ، إذا قذف بتيار أساسي شدته 0,5 أمبير.

14. محول رفع نسبة لفاته 2 : 15، يوضع حمل مقاومته 8 أوم عبر الثانوي، إن كان جهد الثانوي يعادل 120 فولط، كم هي الشدة الأساسية ؟ استخرج الاستطاعة المبذولة داخل الأساسي.

15. محول جهده الأساسي 10 فولط وجهده الثانوي 100 فولط.

1. كم هي نسبة اللفات ؟ استنبط نوع المحول.

2. أحسب الاستطاعة الثانوية المستهلكة عبر حمل مقاومته $R = 100 \text{ أوم}$

عندما يكون التيار الأساسي شدته 10 أمبير.

16. محول رفع نسبة لفاته 5، يقاس جهده الثانوي عبر حمل مقاومته 2000 أوم فيعادل 380 فولط.

1. كم هو الجهد الأساسي ؟

2. كم هي شدة الثانوية ؟ استنبط الشدة الأساسية.

3. أحسب المقاومة المنظورة إليها من الأساسي.

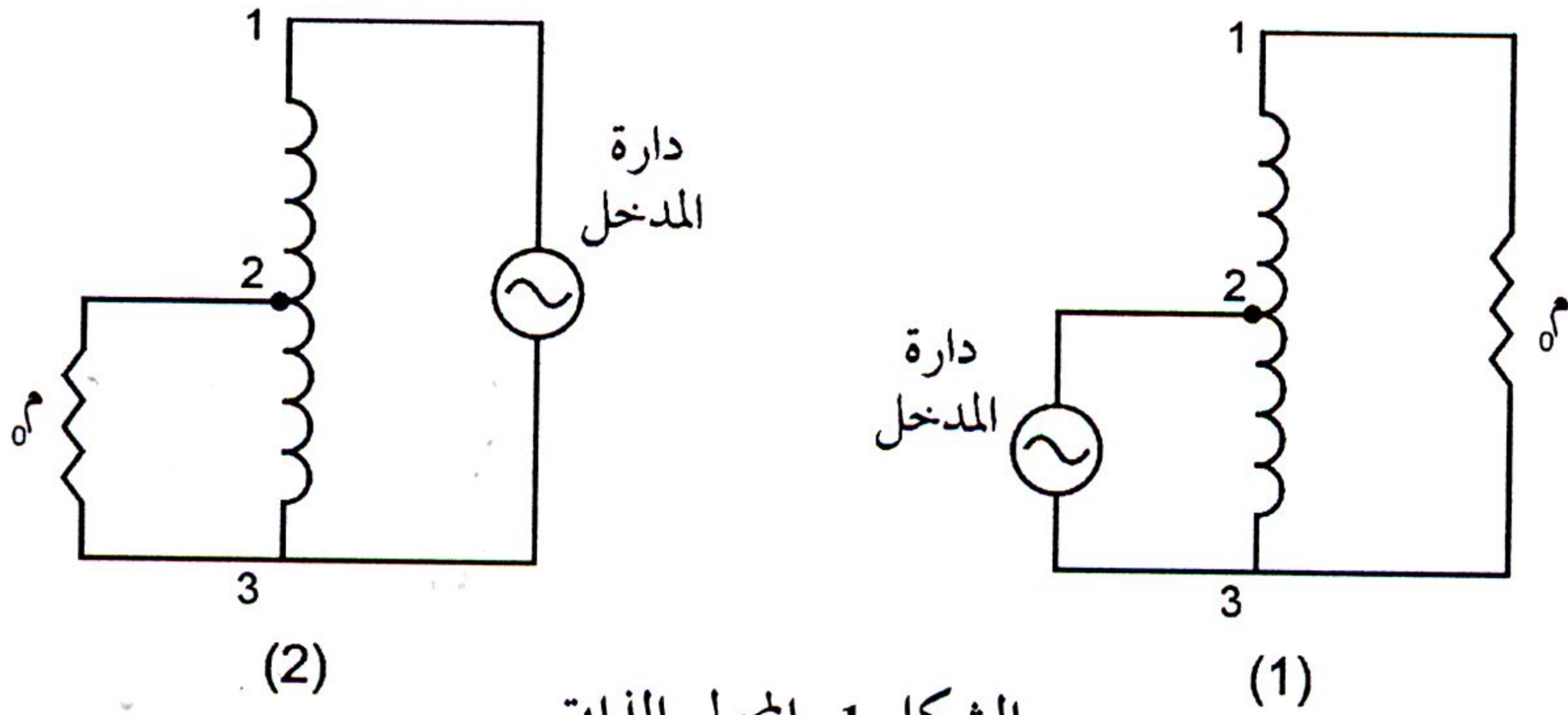
تطبيقات المحول

يعتبر المحول رباعي قطب محايد، إذ يمتاز بدور هام جدا في العلوم الصناعية. إلا أن دراسته بالنسبة لعلم الإلكترونيات أعقد منها مقارنة بعلم الكهروتقنية، وذلك بسبب أن تردد التغذية ليس حتما ثابتا ومساويا القيمة 50 هرتز (أو 60 هرتز)، بل يتغير ليحتل نطاقا واسعا يجعل الدراسة صعبة ومعقدة.

1. أنواع المحولات

1.1. المحول الذاتي

وهو عبارة عن تصميم لف وحيد يؤخذ بين طرفيه مقبس من داخل اللفات، كما يوضحه الشكل 1. يصنع هذا المأخذ (القطب 2) بين قطبي اللف الكلي، أي ما بين القطبين 1 و 3، يجعل هذا المحول الذاتي عبارة عن ثلاثي القطب يمتاز بقطب مشترك بين بوابة المدخل وبوابة المخرج.



يمكن استعمال المحول الذاتي لرفع أو خفض الجهد، وذلك حسب موقع المأخذ داخل اللفات. وعلمنا أن نسبة اللفات لمثل هذا المحول هي نفسها لدى المحول رباعي القطب، فهي حاصل القسمة للجهدين الأساسي والثانوي. ففي الشكل 1. 1، تمثيل لمحول الرفع وهي إحدى تطبيقات المحول، فقد تم توظيفه لرفع جهد المنبع لأن عدد اللفات الثانوية أكبر من عدد اللفات الأساسية. وأما في الشكل 1. 2، فقد تم توظيفه لخفض جهد المنبع وهذا لعكس السبب المذكور، أي أن $N_2 > N_1$.

لاحظ جيدا أن المحول الذاتي لا يعزل مقاومة الحمل R_L عن جهد المنبع كما هو الحال عند المحول رباعي القطب، الشيء الذي يعرض الحمل إلى رجعة كهربائية محتملة مباشرة عند حدوثها، بالإضافة إلى إمكانية مرور التيار المستمر عبر اللف الأساسي... وتلك هي أهم مساوئ هذا المحول.

ومن هنا تكون قد تنبعت إلى أن المحول رباعي القطب يستعمل قصد تفادي مثل هذه المشاكل، فمثلا يستعمل المحول رباعي القطب ذو نسبة اللفات المساوية لواحد قصد عزل الحمل عن جهد المنبع وتوقيف أي منع عبور كل تيار أساسي مستمر نحو الثانوية.

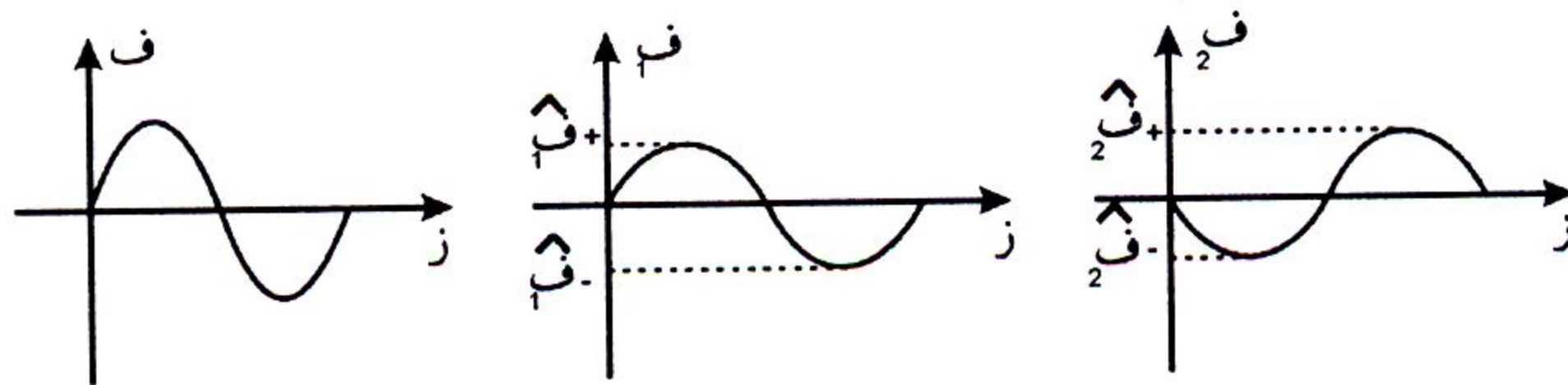
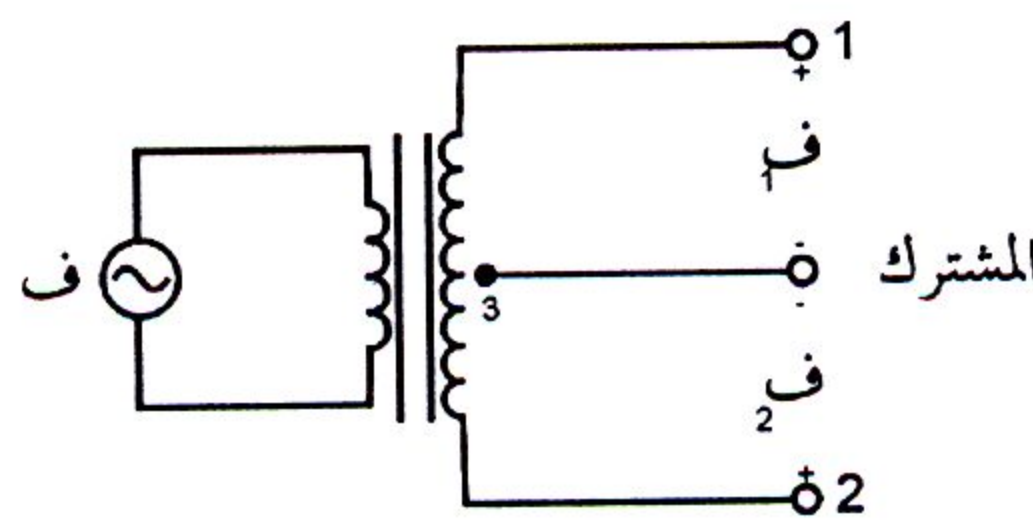
2.1. المحول الوسطي

لأغراض عدة ولاختلاف التطبيقات، يمكن أن تجد محولات تحتوي على أكثر من لف ثانوي وحيد كالذي درس في الشكل 3. 2 من الفصل 12. وفي هذه الفقرة سوف نتناول، بعون الله تعالى، مثل هذه المحولات الأكثر استعمالاً في التطبيقات الإلكترونية والمعروفة باسم المحول ذو النقطة الوسطية، أو بساطة المحول الوسطي.

يوضح الشكل 2 المحول الوسطي الذي يمتاز بأن لفاته الثانوية تعتبر بمثابة محولين يشتركان في القطب 3 (القطب المشترك)، حيث الجهدان الثانويان V_1 و V_2 يحتويان على نفس المطال، إلا أنهما متعاكسا الطور، فيسجل اختلال بينهما قدره π راديان، أي 180° ، وعليه :

$$|\hat{V}_1| = |\hat{V}_2|$$

$$|\hat{V}_1| = |\hat{V}_2|$$



الشكل 2. المحول الوسطي

ويرجع تعادل الجهدين الثانويين إلى أن القطب المشترك يؤخذ تماما من وسط اللفات الثانوية، ومن ذلك تسميته باصطلاح المحول الوسطي.

2. تطبيقات الكهروتقنية

1.2. كيفية نقل الكهرباء

إن نقل الاستطاعة من مصدر توليدها إلى المستهلك في بيته يجب أن يتم بتقنية خاصة، نظرا للخسائر الحرارية الناجمة عن خطوط النقل الكهربائي. فلنفترض أن الجهد هو V والتيار هو I ، بالإضافة إلى أن عامل الاستطاعة هو $\cos \theta$ ، فإن الاستطاعة المنقولة هي :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \theta$$

$$P = V \cdot I \cdot \cos \theta$$

فإن اعتبرنا أن خط النقل يمتاز بمقاومة R ، فإن الخسائر الحرارية المفقودة بين مصدر التوليد والمنشآت السكنية هي :

$$P_1 = R \cdot I^2$$

$$P_1 = R \cdot I^2$$

لكن ماذا لو نقلنا الاستطاعة مع رفع الجهد V كأن يؤخذ معادلا للقيمة n ف، حيث $n > 1$ وعليه فالتيار هو $\frac{I}{n}$ وبذلك تكون الاستطاعة المنقولة وفق المعادلة التالية :

$$P' = n \cdot V \cdot \frac{I}{n} \cdot \cos \theta$$

$$P' = n \cdot V \cdot \frac{I}{n} \cdot \cos \theta$$

وتلاحظ جيدا أنها نفس الاستطاعة السابقة عه المرغوب في نقلها، أي $E_1 = E_2$ ،
إلا أن مقاومة الخط تضخم، إذ تصبح n^2 م مما يبعث إلى التفكير في الوهلة الأولى
أن الخسائر الحرارية أكبر تماما مما سبق دراسته، إلا أنها :

$$P_2 = n^2 \cdot R \cdot \left(\frac{I}{n}\right)^2 = P_1 \quad E_2 = n^2 \cdot M \cdot \left(\frac{ش}{ن}\right)^2 = E_1$$

وبذلك تلاحظ أن الخسائر الحرارية ثابتة. وعليه، فأى الطريقتان تختار لنقل
الاستطاعة إلى المستهلك ؟

2.2. تقنيات النقل

إن مقاومة خط النقل ترتبط بمادة صنعه وحجمه، فهي توافق المعادلة التالية :

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad M = \rho \cdot \frac{l}{\epsilon}$$

فإن استعملت تقنية رفع الجهد وخفض التيار، فبما أن طول ومعدن الخط (ρ و l)
ثابتان ومحددان من البداية، فإن المقاومة هي :

$$n^2 \cdot R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad n^2 \cdot M = \rho \cdot \frac{l}{\epsilon}$$

مما يثبت أنها التقنية الواجب استعمالها إذ سمك خط النقل يخفض بالمعامل n^2 ،
مما يكسب وزنا أخف وبالتالي تكاليف أقل، وعليه نقل الطاقة الكهربائية في
شكل جهد عالي وتيار ضعيف هي الوسيلة الناجعة من حيث سهولة التوليد
والاستعمال، بالإضافة إلى تخفيض الخطر.

ومن هنا يأتي دور المحول، فالطاقة الكهربائية الصادرة عن مصنع التوليد بجهد ضعيف وشدة حادة، يتم تحويلها لنقلها للمستهلك عبر الخطوط الكهربائية في شكل جهد عالي وشدة ضعيفة، وعندما تصل إلى المستهلك تعاد العملية العكسية، أي تمنح المنشآت السكنية طاقة كهربائية ذات جهد ضعيف وتيار حاد.

3. تطبيقات الإلكترونيات

1.3. تأثير النواة

لا شك أنك تعلم أن الإلكترونيات تتعامل مع ظواهر كهربائية تمتاز بتغير التردد، على خلاف الكهرومغناطيسية إذ تردد المدخل (تردد التغذية) هو دوماً 50 هرتز. أو 60 هرتز يمكن لتردد المدخل للدوائر الإلكترونية أن يتغير ضمن نطاق واسع جداً، الشيء الذي يدفع بنا إلى التمييز بين المحولات ذات النواة الحديدية والمحولات عديمة النواة، وذلك نظراً للخصائص الناجمة بين الأساسية والثانوية.

1. محول بنواة حديدية

عندما يتعلق الأمر بالكهرومغناطيسية فإن الجهد والتردد قيمتان ثابتتان، الشيء الذي يجعل خسائر النواة الحديدية ثابتة. إلا أن المحولات المستعملة في الدوائر الإلكترونية تشتغل بترددات مختلفة ومتغيرة، الشيء الذي يجعل استعمالها لفيض أقصى محصوراً بين 0,1 و 0,2 تسلا (بدل 1 تسلا لغيرها)، وذلك لتخفيض ما أمكن من خسائر.

تعتبر خسائر النواة الحديدية متناسبة طردا مع مربع التردد، ولذلك فمثل هذه المحولات تستعمل للترددات الضعيفة التي تصغر عن 20 000 هرتز والتي تمثل الترددات السمعية.

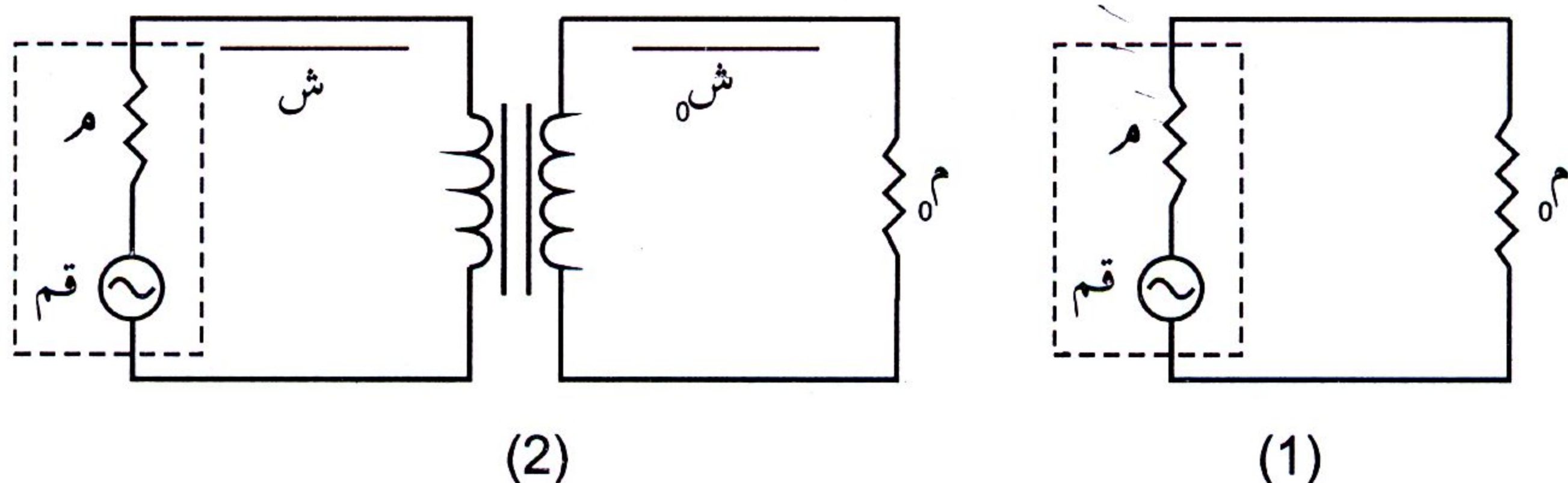
2. محول عديم النواة

خسائر النواة الحديدية متناسبة طردا مع مربع التردد، فكلما كبر التردد عظمت الخسائر. ولذلك وجب نزع الحديد من الدارة المغناطيسية كلما تعلق الأمر بتردد عالي، أي أكبر من 20 كيلو هرتز، وذلك قصد تفادي الخسائر الناجمة بين الأساسية والثانوية.

2.3. محول المواءمة

1. التحويل الأقصى للاستطاعة

لنفرض أنه لدينا منبعا متناوبا بقوة كهرو محركية قم = 100 فولط ومقاومة داخلية م = 1 000 أوم، ويطلب منا تحويل أكبر قسط ممكن من الاستطاعة نحو حمل مقاومته م₀ (الشكل 1.3).



الشكل 3. مواءمة المعاوقة

إذا راجعت مفهوم مواءمة المعاوقة¹، فستعلم أن مقاومة الحمل Z_L إذا قاربت ما لا نهاية فسيصبح التيار شبه معدوم، ويكون بذلك جهد الحمل معادلاً لجهد المنبع المتناوب إلا أن الاستطاعة تكون مهمة شبه معدومة.

وأما إن قاربت مقاومة الحمل Z_L الصفر، فإن التيار يبلغ أعظم شدة لا تحده سوى المقاومة الداخلية Z_{int} للمنبع المتناوب، مما يجعل جهد الحمل مهماً بسبب ظهور تقريبا كل جهد المنبع المتناوب عبر المقاومة الداخلية Z_{int} — وهو ما يعرف بهبوط الجهد — وعليه فالاستطاعة هي دوماً شبه مهمة.

فكما تلاحظ، فإن الاستطاعة المبددة داخل الحمل معدومة في كلتا الحالتين، مما يدفع إلى التفكير في أن هناك مقاومة وسطية تنحصر بين الحدين المذكورين، تكون فيه الاستطاعة المبددة داخله عظمى.

والبرهنة على ذلك أمر يسير، يتم بواسطة تجربة تقوم على تسجيل جهد وتيار الحمل لعدة قيم من مقاومة الحمل Z_L . وما تصل إليه ويشد انتباهك أن أعلى قيمة للاستطاعة تبرز لمقاومة الحمل $Z_L = 1000 \Omega$ أوم، وهي قيمة تعادل المقاومة الداخلية للمنبع المتناوب Z_{int} . والأمر ليس وليد الصدفة بل يمكن البرهنة على ذلك رياضياً (طالع الفصل 4 من الجزء الثاني)، فنحقق بذلك مواءمة المقاومة. والأمر مماثل لو بدل الحمل المقاوم والمقاومة الداخلية الصافية وجدت مفاعلات، حثية كانت أم سعوية، ومن ذلك تكون مواءمة المعاوقة.

1. طالع الفصل 4 من الجزء الثاني.

2. مواءمة حمل الثانوية

نظرا لبعض التطبيقات، قد تفرض عليك قيود كأن تكون مقاومة الحمل $M \neq 0$ ، ولنفرض أنها محددة بالقيمة $M = 10$ أوم. فما العمل لتحويل أقصى للاستطاعة الممنوحة من المنبع؟

من خلال الشكل 1.3، تظهر أن المقاومة الكلية للدائرة هي $M + 0 = 10$ أوم، وبذلك يكون التيار المشترك كالتالي :

$$I = \frac{V}{r + R_0} [A] \quad \text{ش} = \frac{F}{1010} = \frac{100}{1010} [A]$$

وعليه $\text{ش} \cong 99,01$ مآ، ومنه تكون الاستطاعة داخل الحمل M هي :

$$P_0 = R_0 \cdot I^2 [W] \quad \text{عه} = M = 0 \text{ ش}^2 = 0,098 \text{ واط}$$

أو بالتقريب هي $\text{عه} = 100$ مواط، وأما الاستطاعة المبددة عبر المنبع المتناوب فهي :

$$P = r \cdot I^2 [W] \quad \text{عه} = M = 0 \text{ ش}^2 = 10 \text{ واط}$$

وهي قيمة تقارب 100 ضعف الاستطاعة المبددة داخل الحمل $M = 10$ أوم.

ومن خلال مفهوم المواءمة، تعلم أنه لا يتم التحويل الأقصى للاستطاعة من المنبع نحو الحمل إلا إذا توافقت مقاومة الحمل M بالمقاومة الداخلية M لهذا المنبع، أي $M = 0$. ويكون بذلك التيار كالتالي :

$$I = \frac{V}{r + r} [A] \quad \text{ش} = \frac{F}{2000} = \frac{100}{2000} [\tilde{A}]$$

وبذلك ش = 50 مآ، وعليه فالاستطاعة تعادل :

$$P_0 = R_0 \cdot I^2 [W] \quad \text{عه}_0 = \text{م}_0 \cdot \text{ش}_0^2 = (10 \times 50) 1000 = 5000 \text{ ش}_0^2$$

إذن عه₀ = 2,5 واط، وهي قيمة تعادل 25 ضعف الاستطاعة المبددة داخل الحمل م₀ = 10 أوم، فكيف يمكن تحويل هذه الاستطاعة العظمى عه₀ = 2,5 واط نحو الحمل م₀ = 10 أوم بدل الحمل م₀ = 1000 أوم ؟

3. كيفية تحقيق المواءمة

من خلال المعطيات السابقة، يتبين أن تحقيق المواءمة بين المقاومتين م₀ = 10 أوم و م = 1000 أوم، ومن ثم تحقيق التحويل الأقصى للاستطاعة من المنبع نحو الحمل م₀ = 10 أوم، يحدث عبر محول كان لزاما عليه توليد تيار مضبوط على الشدة التالية :

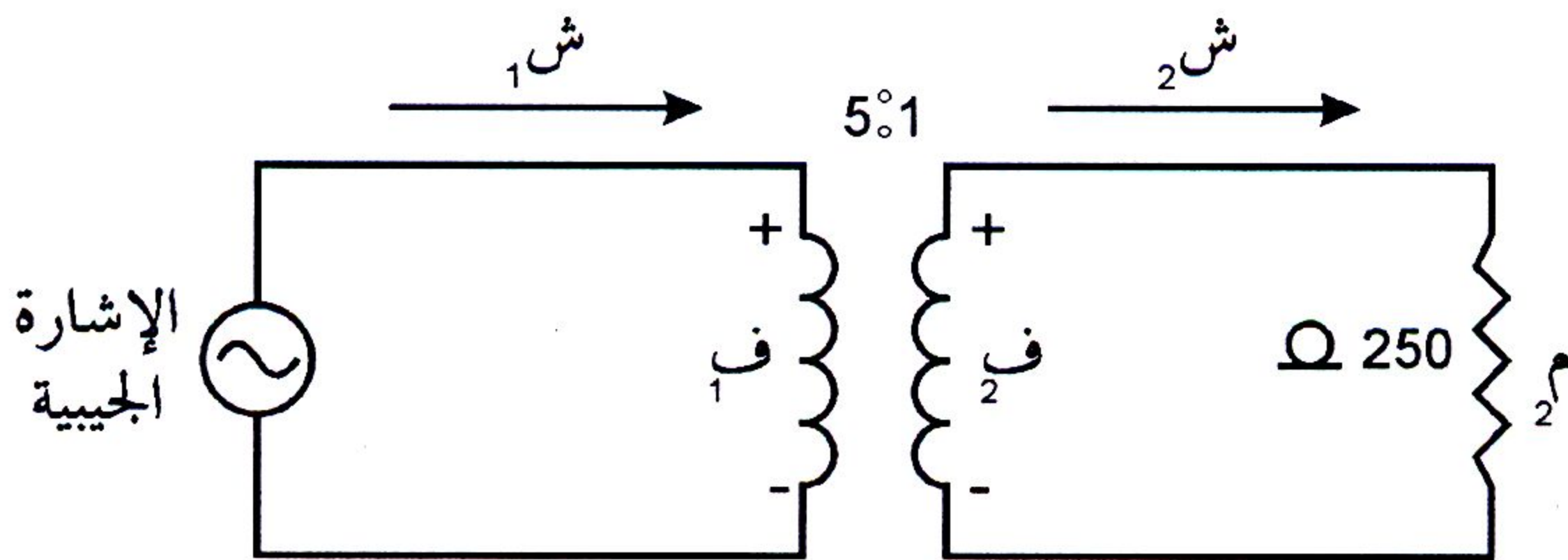
$$I_0 = \sqrt{\frac{P_0}{R_0}} [A] \quad \text{ش}_0 = \sqrt{\frac{\text{عه}_0}{\text{م}_0}} = \sqrt{\frac{2,5}{10}}$$

أي ش₀ = 0,5 أمبير، وهي شدة يمكن للمحول أن يحققها عبر دائرة كالموضحة في الشكل 3. 2، وذلك برفع شدة التيار وخفض الجهد للاستبقاء على الاستطاعة ثابتة ودوما تعادل 2,5 واط.

وبما أن تيار الأساسية هو ش = 0,05 أمبير وتيار الثانوية هو ش₀ = 0,5 أمبير، كان لزاما توفير محول تكون نسبة لفاته هي 1 : 10. ومن هنا تلاحظ إحدى أهم تطبيقات المحول، بحيث يمكن استعماله كأداة لمواءمة دارتين تختلف مقاومتهما وذلك قصد تحقيق التحويل الأقصى للاستطاعة... وهي إحدى أهم وظائف المحول.

تمرين

إن الجهد المستخرج من مأخذ المنشآت السكنية هو عبارة عن إشارة جيبية، مطالها 300 فولط وترددها 50 هرتز. يطبق هذا الجهد عبر دائرة الشكل 4.



الشكل 4. التمرين المحلول

1. هل يتعلق الأمر بمحول رفع أم محول خفض ؟ علل.
2. أحسب جهد الثانوية. استخرج تيار اللفتين.
3. أحسب مقاومة الأساسية.

الجواب

1. يمتاز هذا المحول بنسبة لفات : $\frac{N_1}{N_2} = \frac{5}{1}$ ، ومن ذلك فهو محول خفض.

2. يستخرج جهد الثانوية كالتالي :

$$\hat{V}_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot \hat{V}_1 \quad \hat{V}_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot \hat{V}_1 = 300 \cdot \frac{1}{5}$$

أي $\hat{V}_2 = 60$ فولط، وهو مطال إشارة المخرج $\hat{V}_2$ ، ومن ثم يستخرج مطال تيار الثانوية كالتالي :

$$\hat{I}_2 = \frac{\hat{V}_2}{R_2} \quad \hat{I}_2 = \frac{60}{250} = \frac{\hat{V}_2}{R_2} = \hat{I}_2$$

أي $\hat{I}_2 = 240$ مآ، وأما مطال تيار الأساسية، فيستخرج بالمعادلة التالية :

$$\hat{I}_1 = \frac{N_2}{N_1} \cdot \hat{I}_2 \quad \hat{I}_1 = \frac{N_2}{N_1} \cdot \hat{I}_2 = 240 \cdot \frac{1}{5}$$

أي $\hat{I}_1 = 48$ مآ.

3. واستخراج مقاومة الأساسية يكون وفق المعادلة التالية :

$$R_1 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \cdot R_2 \quad R_1 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \cdot R_2 = 250 \times 25$$

أي $R_1 = 6,25$ كيلوم أوم

مسائل

1. أذكر كيفية صنع المحول الذاتي. اجتهد في ذكر بعض تطبيقاته.
2. أذكر كيفية صنع المحول الوسطي. اجتهد في ذكر بعض تطبيقاته.

2. يستخرج جهد الثانوية كالتالي :

$$\hat{V}_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot \hat{V}_1 \quad \hat{V}_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot \hat{V}_1 = 300 \cdot \frac{1}{5} = 60$$

أي $\hat{V}_2 = 60$ فولط، وهو مطال إشارة المخرج $\hat{V}_2$ ، ومن ثم يستخرج مطال تيار الثانوية كالتالي :

$$\hat{I}_2 = \frac{\hat{V}_2}{R_2} \quad \hat{I}_2 = \frac{60}{250} = \frac{\hat{V}_2}{R_2} = 0.24$$

أي $\hat{I}_2 = 0.24$ أم، وأما مطال تيار الأساسية، فيستخرج بالمعادلة التالية :

$$\hat{I}_1 = \frac{N_2}{N_1} \cdot \hat{I}_2 \quad \hat{I}_1 = \frac{N_2}{N_1} \cdot \hat{I}_2 = 240 \cdot \frac{1}{5} = 48$$

أي $\hat{I}_1 = 48$ أم.

3. واستخراج مقاومة الأساسية يكون وفق المعادلة التالية :

$$R_1 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \cdot R_2 \quad R_1 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \cdot R_2 = 250 \times 25 = 6250$$

أي $R_1 = 6,25$ كيلوم أوم

مسائل

1. أذكر كيفية صنع المحول الذاتي. اجتهد في ذكر بعض تطبيقاته.
2. أذكر كيفية صنع المحول الوسطي. اجتهد في ذكر بعض تطبيقاته.

9. مولد متناوب جهده الناجع 110 فولط يمتاز بمقاومة داخلية $\text{—} = 120 \text{ أوم}$ ، يركب عبر قطبي الأساسى لمحول نسبة لفاته 5 : 2. كم هي مقاومة الحمل م_0 التي تضمن التحول الأقصى للاستطاعة من الأساسى نحو الثانوى ؟

10. مولد متناوب جهده الناجع 220 فولط يمتاز بمقاومة داخلية $\text{—} = 250 \text{ أوم}$ ، يركب عبر قطبيه حمل مقاومته م_0 .

1. كم هي مقاومة الحمل م_0 التي تضمن تحولا أقصى للاستطاعة من المولد نحو الحمل م_0 ؟

2. في حالة ما إذا طلب تحويل هذه الاستطاعة القصوى نحو حمل مقاومته $\text{م}_0 = 10 \text{ أوم}$ يستعان بمحول. كم هي نسبة لفاته ؟

11. يحتوي محول على ثلاث لفات ثانوية يركب عبر قطبيها ثلاثة أحمال مقاومتها 8 أوم، 72 أوم، 1600 أوم.

1. يستعمل هذا المحول لمواءمة مولد متناوب، جهده الناجع $\text{ف} = 30 \text{ فو}$ ومقاومته الداخلية $\text{—} = 200 \text{ أوم}$ ، بالأحمال الثلاثة. كم هي نسبة لفات المحول قصد تحويل أكبر قسط من الاستطاعة ؟

2. أحسب الشدة الأساسية. استنبط الشدات الثانوية.

3. ابحث عن الاستطاعة المبددة في كل حمل. استنبط الاستطاعة الأساسية.

حل المسائل

الفصل 1

11. القطب الجنوبي

12. خطوط متوازية تتولد عن نفس المنبع

13. الذرات

14. $\Phi = 50$ ميكروويار، $\beta = 0,1$ تسلا

15. $\beta = 0,2$ تسلا

16. لاحظ صورة الشكل.

الفصل 2

11. $\beta = 0,77$ تسلا

12. $0,8$ تسلا

13. 240 ميكروويار

14. $\Phi = 2$ ميلي ويار

15. $\Phi = 5,5$ ميلي ويار

الفصل 3

6. $\beta = 4 \times 10^7$ تسلا

$$7. \text{ ش} = 10 \text{ أمبير}$$

$$8. \beta = 0,025 \text{ تسلا}$$

$$9.1. \beta = 10 \times 1,257 \text{ تسلا}$$

$$9.2. \beta = \frac{\text{ن ش}}{\text{نق}} \times 10 \times 6,28 = 10^{-3} \text{ تسلا}$$

$$10. \beta = 10 \times 4,71 \text{ تسلا}$$

$$11. \text{ ش} = 100 \text{ ميلي أمبير}$$

$$12.1. 2500 \text{ لفة / متر}$$

$$12.2. 10 \times 2,5 \text{ تسلا}$$

$$13.1. \text{ ل}_2 \text{ جنوب، ل}_1 \text{ شمال.}$$

$$13.2. \text{ تتجاذبان}$$

$$13.3. \text{ لا}$$

$$14.1. \text{ نق} > \text{ل، وعليه } \beta \text{ منتظم}$$

$$\beta = \mu_0 \text{ ن}_0 \text{ ش}$$

$$\beta = \mu_0 \frac{\text{ن}}{\text{ل}} \text{ ش}$$

$$= 10 \times 9,42 \text{ تسلا}$$

$$14.2. \text{ تركز الخطوط}$$

$$14.3. \beta \text{ غير متناسب مع ش، } \beta < \beta$$

الفصل 4

$$6. ق = ش \beta ل$$

$$7. ق = ش \beta ل$$

$$8. \theta = 41,81^\circ$$

$$9. عم = 2,5 \times 10^{-7} \text{ جول}$$

$$10. 1. 72,75 \text{ أمبير}$$

$$10. 2. ق = 0,146 \text{ نيوتن، عم} = 0,016 \text{ جول}$$

$$11. 2. التوتر تو = \frac{ق \beta ل}{نق} = 0,024 \text{ نيوتن}$$

$$12. 1. عم = 2,4 \times 10^{-2} \text{ جول}$$

$$ش = 8 \text{ أمبير، ف} = 0,16 \text{ نيوتن}$$

$$\Phi = 3 \text{ ميلي ويار}$$

$$12. 2. ق = 0,16 \text{ نيوتن، عم} = 2,1 \times 10^{-2} \text{ جول}$$

$$\Phi = 2,6 \text{ ميلي ويار}$$

الفصل 6

$$7. ق = 50 \text{ أمبير}$$

$$8. \mu = 0,0682$$

$$9. \mu = 108$$

$$10. \text{غ} = 7500 \text{ أمبير / متر}$$

$$11. \mu = 25000$$

$$1.12. \text{ثا} = 8,98657 \times 10^9$$

$$\frac{\Delta}{\text{ثا}} = 2,7 \times 10^{-5}$$

2.12. نتيجة المعامل ثا عن طريق القياس تقارب قيمته النظرية :

$$\text{ثا} = 9 \times 10^9$$

$$1.13. \text{ن} = 7000 \text{ لفة}$$

$$2.13. \text{ل} = 3,5 \text{ متر}$$

$$1.14. \vec{\beta}_2 + \vec{\beta}_1 = \vec{\beta}$$

$$2.14. \beta_2 = \beta_1 = 6,67 \times 10^{-7} \text{ تسلا}$$

$$\theta = 120^\circ$$

$$1.15. \text{ق}_1 = \text{ش}_1 \text{ل} (\beta_3 + \beta_2) = 8 \times 10^{-3} \text{ نيوتن}$$

$$2.15. \text{ق}_2 = \text{ش}_2 \text{ل} (\beta_1 - \beta_3) = 2 \times 10^{-3} \text{ نيوتن}$$

$$16. \beta = \beta_2 - \beta_1 = \frac{\mu_0 \text{ل}}{\pi 2} \times \frac{\text{ل} - 2 \text{س}}{\text{س}(\text{ل} - \text{س})}$$

$$\beta = \beta_1 - \beta_2 = \frac{\mu_0 \text{ل}}{\pi 2} \times \frac{2 \text{س} - \text{ل}}{\text{س}(\text{ل} - \text{س})}$$

$$\frac{2 \text{ س} - \text{ل}}{(\text{س} - \text{ل})} \times \frac{\mu_0 \text{ل}}{\pi 2} = {}_2\beta + {}_1\beta = \beta$$

$$\frac{2 \text{ س} - \text{ل}}{(\text{س} - \text{ل})} \times \frac{\mu_0 \text{ل}}{\pi 2} = {}_2\beta + {}_1\beta = \beta$$

الفصل 8

6. 200 = ويار / أمبير

7. 0,2 ميلي ويار

8. 200 لفة

9. 10 فولط

10. ح = 160 ميلي هنري

11. $\Phi = 2'$ ميكرو ويار

12. ح = 16 هنري

1.13. ح = 1 هنري

2.13. ح = 1 هنري

14. قم = 62 500 فولط

15. ن = 1500

الفصل 9

6. ح = 2,5 هنري

$$3.15. \text{ قم} = -7,5 \text{ فولط، } \text{قم} = -\frac{\Phi \Delta}{\Delta z} \text{ ح}$$

$$5.15. \text{ عم} = \frac{1}{2} \text{ ح ش}^2 = 0,45 \text{ جول، بواسطة ظاهرة جول.}$$

الفصل 10

$$6. 12,5 \text{ هنري}$$

$$7. 1,58 \text{ ميلي هنري}$$

$$8. 12,49 \text{ هنري}$$

$$9. 1000 \text{ لفة}$$

$$10. 0,4 \text{ فولط}$$

$$11. 20 \text{ ميلي هنري}$$

$$12. 1,25 \text{ فولط}$$

$$13. 6200 \text{ أمبير/ثانية}$$

$$14. \text{ ح} = 28,4 \text{ ميكرو هنري}$$

$$15. \mu = 300$$

$$16. 25000 \text{ أمبير/ثانية، } 40 \text{ ميلي هنري}$$

الفصل 11

$$6. 1 \text{ ميكروثانية}$$

2.7 ميلي هنري

80.8 ميلي هنري

60.9 ميلي هنري

10.10 هنري

1560.11 أوم

358.12 ميلي هنري، 10 ميلي أمبير

69,45.1.13 ميلي هنري

1,14 = 65,38° راديان 2.13

6,63.1.14 أوم، 72,5° = 1,27 راديان

ω ح << م، φ ≅ 90° 2.14

ص = 55 أوم، ح = 0,12 هنري 1.15

تجب φ = 8/11، φ = 0,24π راديان 2.15

ش = 2√2 تجب (π100.ز - 0,24π)

3.15. عه = ف. ش. . تجب φ = 160 واط.

الفصل 12

1.11. 4:1، محول رفع

480 فولط 2.11

1.12. محول رفع

2.12. 720 فولط

3.12. 2,5 أمبير

1.13. محول خفض

2.13. 1:20، 11 فولط

3.13. 200 واط

14. 0,533 أمبير، 128 واط

1.15. 10:1، محول رفع

2.15. 100 واط

1.16. 1900 فولط

2.16. 1,9 أمبير، 0,38 أمبير

3.16. 8 أوم

الفصل 13

6. 550 فولط، 88 فولط، 55 فولط

7. 500 لفة، 110 فولط

1.8. 3,6 واط، 7,56 واط، 10 واط

2.8. 21,16 واط

$$0,176.3.8 \text{ أمبير}$$

$$750.9 \text{ أوم}$$

$$250.1.10 \text{ أوم}$$

$$\frac{1}{5} = \frac{N_2}{N_1} \quad .2.10$$

$$\frac{30}{1} = \frac{N_1}{N_{12}} \quad .1.11$$

$$\frac{10}{1} = \frac{N_1}{N_{22}}$$

$$\frac{2,12}{1} = \frac{N_1}{N_{32}}$$

$$2.11. \text{ ش}_1 = 12,5 \text{ ميلي أمبير، ش}_{12} = 125 \text{ ميلي أمبير،}$$

$$\text{ش}_{22} = 41,67 \text{ ميلي أمبير، ش}_{23} = 8,8375 \text{ ميلي أمبير}$$

$$3.11. \text{ عه}_1 = 375 \text{ ميلي واط، عه}_{12} = 125 \text{ ميلي واط}$$

$$\text{عه}_{22} = 125 \text{ ميلي واط، عه}_{23} = 125 \text{ ميلي واط.}$$

المصطلحات

Anglais	Français	عربي
Transient response	Réponse transitoire	الإجابة الإنتقالية
Demagnetisation	Démagnétisation/Désaimantation	إزالة المغنطة
Primary	Primaire	الأساسية
Cylinder	Cylindre	الأسطوانة
Iron Filings	Limaille de fer	برادة الحديد
Compass	Boussole	البوصلة
Magnetic excitation	Excitation magnétique	التحريض المغناطيسي
Hysterisis	Hystérisis	التخلفية
Flux variations	Variations de flux	تغيرات الفيض
Coupling	Couplage	التقارن
Eddy current	Courant FOUCAULT	التيار الدوار/تيار فوكو
Time constant	Constante de temps	ثابت الزمن
Secondary	Secondaire	الثانوية
Galvanometer	Galvanomètre	الجهاز الغلفاني
Molecule (s)	Molécule (s)	(الجزيء) الجزيئات
Induction (flux density)	Induction (Densité du flux)	الحث (كثافة الفيض)
Auto induction	Auto induction	الحث الذاتي
Hard iron	Acier	الحديد الصلب
Soft iron	Fer doux	الحديد الناعم
Solenoid	Solenoïd	الحلزون

Ferrites	Ferrites	خام الحديد
Hysterisis losses	Pertes par hystérisis	خسائر التخلفية
Core losses	Pertes du noyau	خسائر النواة
Transmission line	Ligne de transmission	خط النقل
Lines of force	Lignes de force	خطوط القوة
Inductive circuit	Circuit inductif	الدائرة الحثية
Hysterisis cycle	Cycle d'Hystérisis	الدورة التخلفية
Oscilloscope	Oscilloscope	راسم الاهتزازات
Two-port network	Quadripôle	رباعي القطب
Electric shock	Choc électrique	رجة كهربائية
Rise time	Temps de montée	زمن الصعود
Decay time	Temps de descente	زمن التزل
Permittivity	Permittivité	السماحية
Semi conductor	Semi conducteur	شبه الناقل
Magnetic moment	Couple magnétique	العزم المغناطيسي
Vacuum	Vide	الفراغ
Iron space	Entrefer	فضاء الفولاذ-الفجوة الهوائية / المعدنية
Flux	Flux	الفيض
Magnetic pole	Pôle magnétique	القطب المغناطيسي
Electromotive force	Force électromotrice	القوة الكهرومحرركة
Electromagnetic force	Force électromagnétique	القوة الكهرومغناطيسية
Magnetomotive force	Force magnétomotrice	القوة المغنوحركية
Inductor current (Flux or field)	Courant inducteur	التيار (أو الفيض أو المجال) المحاث
Induced current (Flux or field)	Courant induit	التيار (أو الفيض أو المجال) المستحث

المصطلحات

Electrolyse	Electrolyse	الكهروتحليلية
Power	Electrotechnique	الكهروتقنية
Electromagnet	Electroaimant	الكهرومغناطيس
Electromagnetism	Electromagnétisme	الكهرومغناطيسية
Electrode	Electrode	الاحاب
Armature	Armature	اللبوس
Paramagnetism	Paramagnétisme	المتسامته المغناطيسية
Diamagnetism	Diamagnétisme	المجانبة المغناطيسية
Magnetic field	Champ magnétique	المجال المغناطيسي
Uniform magnetic field	Champ magn. Uniforme	المجال المغناطيسي المنتظم
Coercive field	Champ coercitif	المجال القسري
Magnetizing field	Champ magnétisant	المجال الممغنط
Inductance	Inductance (Self)	المحاثة (الذاتية)
Mutual inductance	Inductance mutuelle	المحاثة التبادلية
Lead inductance	Inductance parasite	المحاثة الطفيلية
Remanence	Rémanence / Persistance	المحتفظية
Step-down transformer	Transformateur abaisseur	محول الخفض
Auto transformer	Auto transformateur	المحول الذاتي
Step-up transformer	Transformateur élévateur	محول الرفع
Ideal transformer	Transformateur idéal	المحول المثالي
Center-tapped transformer	Transformateur à point milieu	المحول الوسطي
Relay	Relais	المرحل
Impedance	Impédance	المعاوقة
Permanent magnet	Aimant permanent	المغناطيس الدائم

Temporary magnet	Aimant temporaire	المغناطيس المؤقت
Magnetism	Magnétisme	المغناطيسية
Ferrimagnetism	Férrimagnétisme	المغناطيسية الذاتية
Magnetisation	Aimantation / Magnétisation	المغنطة
Saturation magnetisation	Aimantation de saturation	مغنطة الإشباع
First magnetisation	Première aimantation	المغنطة الأولى
Random magnetisation	Aimantation spontanée	المغنطة العفوية
Ferromagnetism	Ferromagnétisme	المغناطيسية الحديدية
Inductive reactance	Réactance inductive	المفاعلة الحثية
Capacitive reactance	Réactance capacitive	المفاعلة السعوية
Load resistance	Résistance de charge	مقاومة الحمل
Windings resistance	Résistance d'enroulements	مقاومة اللفات
Input resistance	Résistance d'entrée	مقاومة المدخل
Cross section	Section	المقطع العرضي
Reluctance	Réreluctance	الممانعة
Response curve	Courbe de réponse	منحنى الإجابة
Impedance matching	Adaptation d'impédance	موائمة المعاوقة
Impulse	Impulsion	النابضة
Turns ratio	Rapport d'enroulements	نسبة اللفات
Permeability	Perméabilité	النفاذية
Electronic devices	Composants électroniques	النوابط الإلكترونية
Iron (Magnetic) core	Noyau magnétique	النواة الحديدية (المغناطيسية)
Antenna (Aerial)	Antenne	الهوائي
Coil (inductor)	Bobine	الوشيعه (المحاث)

ببليو غرافيا

1. Principles of physics F. BUECHE Mc Graw- Hill Book Company, 1977 (Third edition).
2. Introductory applied physics, N.C. HARRIS – E. M. HEMMERLING Mc. Graw- Hill Book Company, 1972 (Third edition)
3. Fundamentals of physics, D. HALLIDAY- R. RESNICK John WILEY & SONS Inc. 1974 (REVISED PRINTING)
4. Introduction to circuits, L. W.CHURCHMAN Holt, Rinehart and Winston, New York 1976.
5. Resistive and reactive circuits, P. A. MALVINO McGraw- Hill Book Company, New York 1974.
6. Introduction to Electricity & Electronics, O.E. LOPER- A.F. AHR DELMAR Publishers, 1973.
7. Guide to Electronic Measurements & Laboratory practice, S. WOLF Prentice – Hall, Inc, Englewood Cliff , New Jersey, 1973.
8. L'Electronique B. GROB Mc Graw- Hill Book Company, Québec 1983 (2^{ème} édition)
9. Electricité (tome 3) P.ALAIS – M. HULIN Armand Colin, Paris 1969. 3^{ème} édition
10. Electrotechnique M. JEANRENAUD SPES VEVEY, Suisse 1979.
11. Electricité industrielle (tomes 1 & 2) M. BELLIER – A. GALICHON – F.LUCAS. DELAGRAVE, 1974.
12. Nouveau cours d'ELECTRICITE PRATIQUE : J.LIGNON – G. FUCHS. DELAGRAVE, 1978.
13. Physique 1 ère C, J. CESSAC – G. TREHERNE Fernand Nathan, PARIS 1966.
14. A Comprehensive Dictionary of Electrical Engineering : A. A. AL AWSI Arab Scientific Publishers, BEIRUT 1988.
15. Dictionnaire de physique : J. P SARMANT, HACHETTE, 1981.
16. المورد : منير البعلبكي – دار العلم للملايين، بيروت 1984 (الطبعة 18).

الفهرس

المقدمة

الفصل 1

المغناطيسية

1. الظواهر المغناطيسية 15
2. المغناطيس الدائم 17
3. المجال المغناطيسي 20
4. الفيض المغناطيسي 22
5. الحث المغناطيسي 24

الفصل 2

المفعول المغناطيسي

1. الحث المغناطيسي 29
2. المحيط الوسطي للمغناطيس 31
3. العزم المغناطيسي 35
4. مقارنة بين المجال المغناطيسي والمجال الكهربائي 39

الفصل 3

مفعول التيار

1. تجربة أرستد 43
2. تحديد اتجاه الحث 45
3. المجال المغناطيسي المتولد عن التيار المستقيم 48
4. المجال المغناطيسي المتولد عن التيار الدائري 51
5. المجال المغناطيسي المتولد عن التيار الحلزوني 54
6. المجال المحصل لتيارين متوازيين 56
7. ظاهرة هال 59

الفصل 4

قانون لابلاس

1. القوة المحركة بين مجالين مغناطيسيين 67
2. سلك ناقل لتيار داخل مجال مغناطيسي 69
3. القوة الكهرومغناطيسية 71
4. عمل القوى الكهرومغناطيسية 74
5. فيض الحث 78

الفصل 5

المغنتية الحديدية

1. النفاذية النسبية 87
2. تصنيف المعادن 88

3. خاصيات المغنطية الحديدية 90
4. المغناطيسية الذاتية لمركبات الحديد 96

الفصل 6

الدارة المغناطيسية

1. عموميات 99
2. القوة المغنوحركية 101
3. شدة المجال المغناطيسي 102
4. نظرية أمبير 106

الفصل 7

التخلفية المغناطيسية

1. المغنطة الأولى 113
2. ظاهرة التخلفية المغناطيسية 116
3. إزالة المغنطة 119
4. خسائر التخلفية 122

الفصل 8

الكهرومغناطيس

1. تصميم التركيب 125
2. الحث الكهرومغناطيسي 127
3. القوة الكهرومحرركة للحث 133
4. قانون فراداي للجهد المستحث 137

الفصل 9

الحث الذاتي

1. توليد الحث 143
2. جهاز فراداي 145
3. مفهوم المحاثة 147

الفصل 10

المحاثة

1. تصميم الوشيعة 163
2. خاصيات الوشيعة 165
3. المحاثة الطفيلية 170
4. المحاثة المتغيرة 170
5. خسائر النواة الحديدية 171

الفصل 11

الدائرة الحثية

1. ثابت الزمن 177
2. المفاعلة الحثية 181
3. المحاثة التبادلية 183
4. المحاثة المكافئة لدائرة حثية 186

3. خاصيات المغنطية الحديدية 90
4. المغناطيسية الذاتية لمركبات الحديد 96

الفصل 6

الدارة المغناطيسية

1. عموميات 99
2. القوة المغنوحركة 101
3. شدة المجال المغناطيسي 102
4. نظرية أمبير 106

الفصل 7

التخلفية المغناطيسية

1. المغنطة الأولى 113
2. ظاهرة التخلفية المغناطيسية 116
3. إزالة المغنطة 119
4. خسائر التخلفية 122

الفصل 8

الكهرومغناطيس

1. تصميم التركيب 125
2. الحث الكهرومغناطيسي 127
3. القوة الكهرومحركة للحث 133
4. قانون فراداي للجهد المستحث 137

الفصل 12

المحول

1. مبدأ التصميم 191
2. تركيب الدارة المغناطيسية 192
3. محول الرفع ومحول الخفض 194
4. المحول المثالي 196
5. تحويل الاستطاعة 198

الفصل 13

تطبيقات المحول

1. أنواع المحولات 205
2. تطبيقات الكهروتقنية 208
3. تطبيقات الإلكترونيات 210
- حل المسائل 219
- المصطلحات 229
- المراجع 233

تصميم وانجاز منشورات ثالة
هاتف : 021 92 42 11 / 92 36 58
فاكس : 021 92 42 11

طبع المؤسسة الوطنية للفنون المطبعية
وحدة الرغبة، الجزائر
2002
Printed in Algeria

Electrical Engineering series

This book has been divided into five volumes :

Volume 1 : Electrostatics and Electrokinetics

Volume 2 : Electric circuits

Volume 3 : Electromagnetism

Volume 4 : Electric measurement " Design principles of meters "

Volume 5 : Electronics " Active electronic devices "

Each volume consists of several chapters, dealing with specific concepts.

Through the first volume, the reader is introduced to the study of stationary charges and their effect on the surrounding environment. In second part of this volume, we investigate the kinetics of these charges within a given environment, namely in conducting wires.

The reader may move on the second volume, which introduces the electric circuits.

In order to deal with them, the reader is invited to study their laws and how they behave.

The third volume deals with electromagnetism. Firstly, it presents some introductory concepts on magnetism, and secondly it studies the magnetic effects on the current flow through conducting wires.

Electromagnetism is a basic concept to the design of measurement equipment, which is the fourth volume. It investigates the design of the most encountered measurement systems, and studies the measurement techniques.

While in volume five, we present some electronic components as a pre-requisite to the study active of electronic circuit. This volume studies the behaviour of such active devices and its basic applications.

R.M. OUHAIBIA