مقارنة بين التيار الثابت (DC) والتيار المتردد (AC)

تعريف التيار الكهربائي هو معدل تدفق الشحنات الكهربائية (الإلكترونات) في موصل كهربائي ، وهذا التدفق يأتي في أشكال مختلفة ، منها التيار الثابت والتيار المتردد والتيار النمطي والتيار العشوائي ، وسنستعرض في هذا المقال أهم السمات للتيارين الثابت والمتردد ، وأهم الفروقات بينهما.

أولا : التيار المتردد (AC)

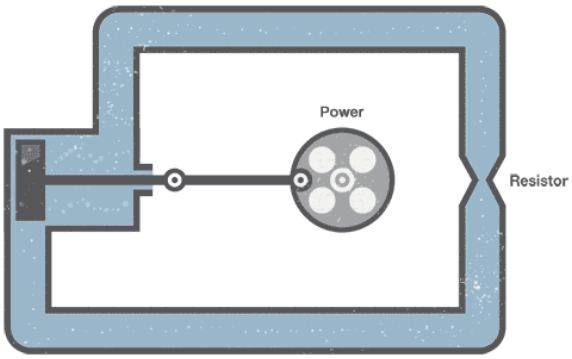
هو التيار الذي يتغير فيه اتجاه تدفق الشحنات الكهربائية بشكل دوري ، وبالتالي فإن القطبية الكهربائية بين الطرفين تتبدل بشكل دوري تبعا لتبدّل اتجاه التيار .

فيزيائيا : توجد ثلاث كميات مرتبطة ببعضها البعض ، هي المجال المغناطيسي والتيار الكهربائي وحركة الدوران ، ومتى ما توفر اثنان من هذه الكميات فإنهما يقومان بتوليد الثالث ، ولذلك يتم توليد التيار المتردد في جهاز يسمى "المنوّب" أو "المردد" الكهربائي (alternator) ، وهذا المنوب يحتوي علي موصل كهربائي يقع داخل مجال مغناطيسي ، والمطلوب لتوليد التيار المتردد هو الحصول على حركة دوران للموصل الكهربائي الذي يقع داخل المجال المغناطيسي ، وهذا الموصل الكهربائي له مسار مغلق (على شكل دائرة أو مستطيل) ، ويمكن الحصول على حركة الدوران بعدة طرق ، منها : طاقة الرياح في الطواحين الهوائية ، وطاقة البخار في محطات تحلية المياه ، وطاقة المياه في الأنهار أو الشلالات ، ونظرا لأن الموصل الكهربائي يدور حول نفسه داخل مجال مغناطيسي ثابت فإن المساحة التي ينفذ منها المجال المغناطيس داخل الموصل تتغير بشكل دوري ، وبذلك يتولد التيار المتردد بنفس التردد الذي يدور به الموصل داخل المجال المغناطسي (عدد دورات الموصل لكل ثانية = تردد التيار الكهربائي بالهيرتز).

هنا مقطع فيديو لتوضيح العملية

https://www.youtube.com/watch?v=i-j-1j2gD28

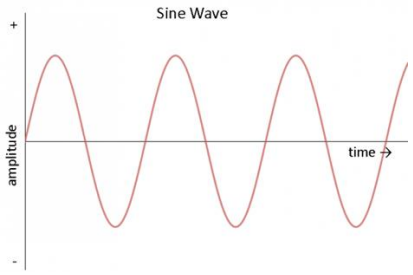
سلوك التيار المتردد يشبه إلى حد ما الشكل التالي :



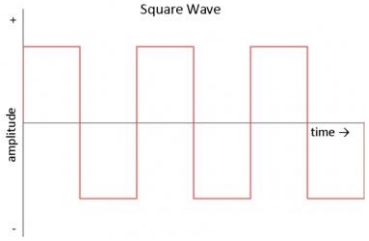
عندما يكون الكابس في أقصى اليمين فإن جزيئات الماء تسير في اتجاه عقارب الساعة بأقصى سرعة لها ، وعندما يبدأ الكابس بالتحرك إلى اليسار تتناقص سرعة جزيئات الماء إلى أن يصل الكابس إلى منتصف المسافة ، وعندها تتوقف جزيئات الماء عن الحركة ، وعندما يواصل الكابس حركته إلى أقصى اليسار فإن جزيئات الماء تبدأ بالتحرك في عكس اتجاه عقارب الساعة حتى تصل إلى سرعتها القصوى عندما يكون الكابس في أقصى اليسار ، ثم تنعكس العملية خلال حركة الكابس من

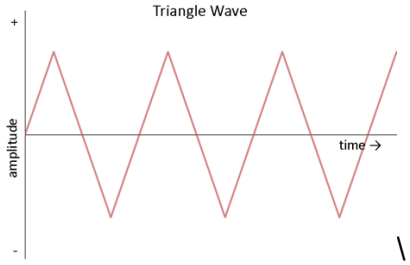
اليسار إلى اليمين ، إن حركة الشحنات الكهربائية (الإلكترونات) داخل الموصلات الكهربائية تسير في نمط مشابه لنمط حركة جزيئات الماء في هذا المثال.

أشهر شكل من أشكال التيار المتردد هو الموجة الجيبية (sin or cos) ، وشكل الموجة يكون كالتالي :



ويمكن توليد تيار متردد بأشكال أخرى ، ومن الأمثلة المشهورة : موجة المربع والمثلث :





\

تطبيقات التيار المتردد

تقريبا تعمل جميع الأجهزة المنزلية والتجارية والصناعية والمكتبية غير الإلكترونية بالتيار المتردد ، وهذا يشمل مصابيح الإنارة وأجهزة التكييف والسخانات والثلاجات والمكيفات والغسالات والمصاعد والأفران الكهربائية وغيرها ، وكذلك معظم المحركات الميكانيكية والمولدات والمحولات الكهربائية وخطوط نقل الطاقة وشبكات توزيع الكهرباء ومعظم الآلات الكهربائية في المصانع.

ثانيا : التيار الثابت (DC)

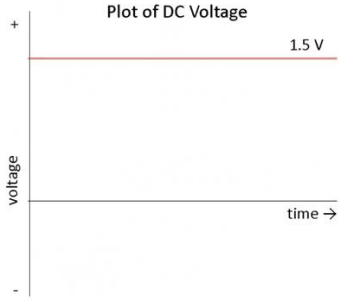
يتميز التيار الثابت بأنه أسهل للفهم من التيار المتردد ، لأن قيمته ثابتة لا تتغير مع الزمن سواء للجهد أو للتيار.

يتم توليد التيار الثابت بعدة طرق ، منها :
استخدام أيّ من الطرق المذكورة لتوليد التيار المتردد مع إضافة جهاز خاص يُسمى المبدّل الكهربائي (commutator) لإنتاج تيار ثابت.
توليد تيار متردد باستخدام إحدى الطرق السابقة ، ثم تحويل التيار المتردد إلى تيار ثابت باستخدام جهاز خاص يُسمى المعدِل الكهربائي (rectifier).
التفاعلات الكيميائية في البطاريات.

وباستخدام مثال حركة جزيئات الماء فإن سلوك التيار الثابت يشبه حوض الماء الذي يوجد في أسفله منفذ :

قوة الضغط داخل الحوض تدفع الماء في اتجاه واحد فقط : إلى الخارج ، وعندما ينتهي الماء في الحوض يتوقف اندفاع الماء ، وهذا يشبه إلى حد كبير سلوك الطاقة الكيميائية المخزّنة في البطارية.

شكل التيار الثابت يسير في خط مستقيم كالتالي :



تطبيقات التيار الثابت

معظم الأجهزة الإلكترونية المحتوية على بطارية تعمل بنظام التيار الثابت ، وهذا يشمل أجهزة الجوال ، وأجهزة الحاسب ، وشاشات التلفزيون المسطحة ، وأجهزة الإضاءة المتنقلة ، والسيارات الكهربائية والمهجنة ، ومنافذ الـUSB ، ومصابيح الإضاءة LED ، ومعظم ألعاب الأطفال ، وأنظمة الطاقة المتجددة.

مزايا التيار الثابت

استهلاك أقل للطاقة في الأجهزة
كفاءة أعلى في نقل الطاقة ، إلا أن رفع الجهد في أنظمة التيار الثابت مكلف جدا
القابلية للتخزين والعمل مع مصادر الطاقة المتجددة كالألواح الشمسية
مناسبته للدوائر الإلكترونية
أقل خطورة على المستخدمين

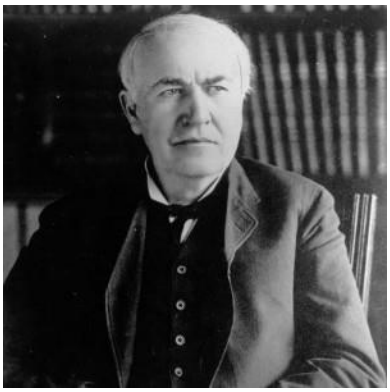
مزايا التيار المتردد

سهولة التوليد
سهولة رفع وخفض الجهد الكهربائي مما يجعل التكلفة الكلية لنقل الطاقة عبر خطوط النقل أكثر كفاءة

أكثر كفاءة وأقل تكلفة في التوليد
سهولة تحويله إلى تيار ثابت

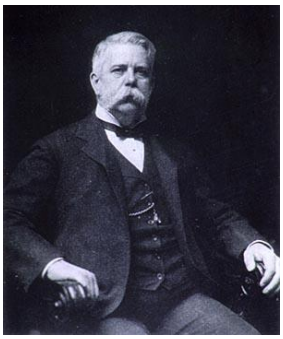
ثالثا : المعركة التاريخية بين التيار الثابت والتيار المتردد

معظم الأجهزة ذات الاستهلاك العالي في المنازل والمكاتب والمصانع والمواقع التجارية تعمل بنظام التيار المتردد ، إلا أن هذه النتيجة لم تحدث بين يوم وليلة ، وإنما ظهرت بعد صراع طويل بين أنصار التيار الثابت وأنصار التيار المتردد في أمريكا وأوروبا.
في عام ١٨٨٦م قامت الشركة الهنغارية (غانز ووركس) بإضاءة مدينة روما باستخدام شبكة توزيع ذات تيار متردد ، وعلى الصعيد الآخر قام (توماس أديسون) ببناء ١٢١ محطة توزيع للكهرباء في أمريكا تعمل بنظام التيار الثابت عام ١٨٨٧م ، إلا أن النقطة الحاسمة حدثت عندما قام رجل الأعمال الأمريكي (جورج ويستينغهاوس) بشراء الحقوق الفكرية لبراءة اختراع المولد الكهربائي ذي التيار المتردد من (نيكولاس تيسلا).

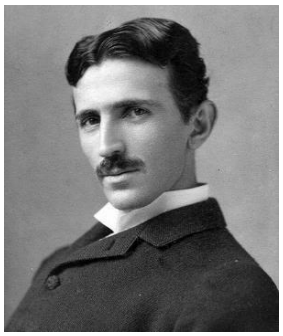


توماس أديسون ، مصدر الصورة (*biography.com*)

اقترح أديسون إنشاء نظام كهربائي يتكون من محطات توليد صغيرة محلية تقوم بتغذية بعض الأحياء المجاورة ، وكان التوصيل الكهربائي يتكون من ثلاثة كابلات : موجب وسالب ومحايد ، وكانت قيمة الجهد تتناقص – بشكل ضئيل – في مسار الكابل من محطة التوليد إلى موقع الحمل ، ولذلك كان أقصى مدى تستطيع محطات التوليد الوصول إليه هو ميل واحد (١٦٠٠متر تقريبا) ، وهذا ما جعل إيصال الكهرباء إلى المناطق الريفية صعبا جدا إن لم يكن مستحيلا. أما نقل الطاقة الكهربائية إلى مسافات بعيدة فهو يشترط أن يتم النقل في جهد كهربائي عال ، وهذا لم يكن ممكنا في تلك الفترة في أنظمة التيار الثابت.



جورج ويستنيغهاوس



نيكولاس تيسلا

مصدر الصورة pbs.org مصدر الصورة Wikipedia.org

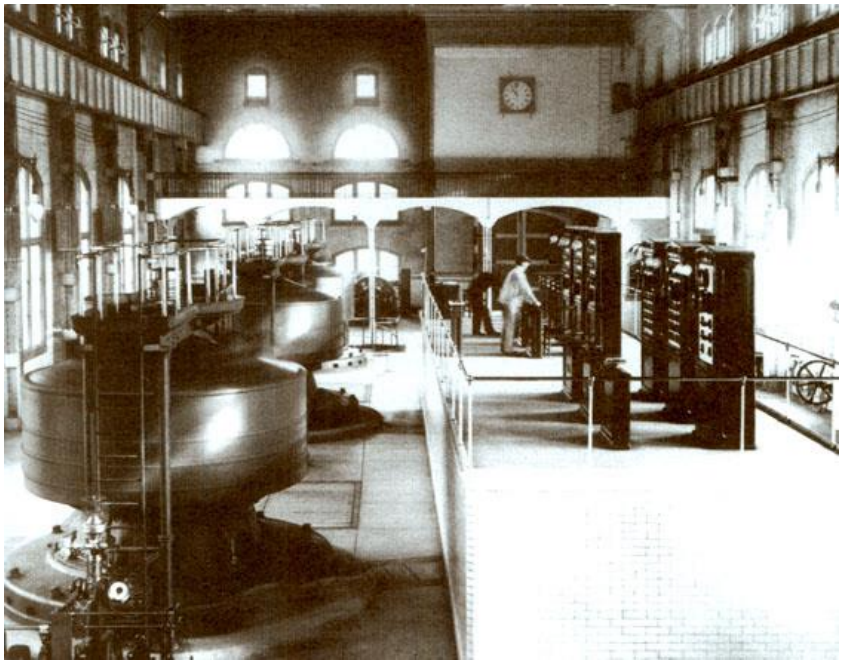
وفي الجانب المقابل : عمل ويستنيغهاوس على تطوير أنظمة التوزيع ذات التيار المتردد بعد استحواذه على براءة الاختراع من تيسلا ، والتي مكّنته من استخدام المحولات الكهربائية لرفع الجهد الكهربائي إلى مستويات عالية ، مما مكّنه من نقل الطاقة الكهربائية إلى مسافات بعيدة بتكلفة رخيصة ، وبالتالي إيصال الخدمة الكهربائية إلى عدد أكبر من المشتركين ، والفكرة باختصار هي أن كمية الطاقة الكهربائية ثابتة إلا أن رفع الجهد الكهربائي يؤدي إلى تقليل قيمة التيار ، وبالتالي تقليل قيمة الطاقة المفقودة في خطوط النقل والتي تتناسب طرديا مع مربع قيمة التيار.

حملة أديسون المضادة

خلال السنوات التالية شن أديسون حملة لثني الناس عن استخدام التيار المتردد في الولايات المتحدة الأمريكية ، وحاول التأثير على صنّاع القرار لاستصدار قوانين لمنعه ، كما قام بنشر معلومات مضللة عن أنظمة التيار المتردد ، ومن ذلك أنه طلب من بعض الموظفين عنده أن يقوموا بصعق بعض الحيوانات بشكل علني لإيهام الناس بأن التيار المتردد أكثر خطورة من التيار الثابت ، كما قام اثنان من مساعديه بتصميم أول كرسي كهربائي للإعدام في ولاية نيويورك باستخدام التيار المتردد في محاولة للتأثير على الرأي العام وتكوين انطباع سلبي عند عامة الناس تجاهه.

صعود التيار المتردد

في عام ١٨٩١م أقيم المعرض العالمي للتقنية الكهربائية في مدينة فرانكفورت الألمانية وعُرِض فيه أول نموذج لخطوط النقل ذات المسافات البعيدة المكونة من ثلاثة أطوار (three phase) والذي قام بتغذية الأضواء والآلات أثناء المعرض ، وكان من ضمن الحضور بعض الممثلين لشركة جينيرال إلكتريك الأمريكية (قبل أن تتخذ هذا المسمى) ولاقى النموذج استحسانهم ، وقاموا بتأسيس شركة جينيرال إلكتريك في السنة التي تلتها وبدأت الشركة بالاستثمار في تقنيات التيار المتردد.
وفي عام ١٨٩٣م حصل ويستينغهاوس على عقد لبناء سد كهرومائي في شلالات نياغرا (تقع على الحدود بين أمريكا وكندا) لتوليد التيار المتردد ثم نقله إلى مدينة بافالو المجاورة ، وقد تم إتمام المشروع في ١٦ نوفمبر ١٨٩٦ وبدأ التيار المتردد بتغذية القطاع الصناعي في مدينة بافالو ، وكانت هذه نقطة تحول رئيسية في مسار الصراع بين التيار الثابت والتيار المتردد حيث شهدت انطلاقة التيار المتردد واضمحلال التيار الثابت ، وبدأ نظام ١٢٠ فولت / ٦٠ هيرتز بالانتشار في أمريكا في حين بدأ نظام ٢٢٠ - ٢٤٠ فولت / ٥٠ هيرتز بالانتشار في أوروبا.



محطة توليد الكهرباء في شلالات نياغرا عام ١٨٩٦م (مصدر الصورة teslasociety.com)

خطوط الضغط العالي بنظام التيار الثابت (HVDC)

استخدم المهندس السويسري رينيه ثوري سلسلة من المولدات المرتبطة على التوالي لتوليد نظام كهربائي ذي جهد عال بنظام التيار الثابت ، وكان ذلك قرابة عام ١٨٨٥م ، ونظرا لارتفاع قيمة الجهد الكهربائي فإنه من الممكن نقل الطاقة الكهربائية إلى مسافات بعيدة ، إلا أنه وبسبب التكلفة العالية لصيانة هذا النظام فإنه لم يتم تبنّيه إلا بعد مرور قرن كامل على اكتشافه.
بعد اختراع إلكترونيات أشباه الموصلات في السبعينات الميلادية من القرن الماضي أصبح التحويل بين التيار الثابت والتيار المتردد ممكنا وبتكلفة مقبولة ، وأصبح من الممكن استخدام معدات خاصة لتوليد جهد عال بتيار ثابت (يصل إلى ٨٠٠ كيلو فولت) ، وقد بدأت بعض المناطق في أوروبا والصين وأمريكا الجنوبية بإنشاء خطوط نقل من هذا النوع لربط أجزاء متباعدة جغرافيا فيها.

تتميز خطوط الضغط العالي ذات التيار الثابت بأن الطاقة المفقودة فيها أقل من الطاقة المفقودة في خطوط التيار المتناوب ، إلا أن تكلفة الإنشاء والصيانة أعلى ، ولذلك فإن التكلفة الكلية لنظام التيار الثابت تكون أقل إذا كان الخط يمتد لمسافة طويلة جدا ، فيوجد خط نقل بالتيار الثابت في الصين بطول ٣٣٠٠ كيلومتر ويوجد خط في البرازيل بطول ٢٥٠٠ كيلومتر ، إضافة إلى ذلك فإن خطوط النقل الممدودة تحت الماء تكون أكثر كفاءة في نظام التيار الثابت بسبب اختلاف خصائص الماء عن خصائص الهواء.

وبهذا نرى أن أمنيات أديسون وويستينغهاوس قد تحققت في نفس الوقت ، وأن الحرب التي دارت بينهما لم تؤد إلى اختفاء أحد النظامين عن الوجود ، بل استمرا في دعم بعضهما البعض حتى أصبح من الممكن توليد أحدهما من الآخر ، وبقي لكل واحد منهما وظائفه وتطبيقاته التي يمتاز بها عن الآخر .

المراجع

https://learn.sparkfun.com/tutorials/alternating-current-ac-vs-direct-current-dc/resources-and-going-further