

ইউনিট-১৩

তড়িৎ প্রবাহে চৌম্বক ক্রিয়া

MAGNETIC EFFECT OF CURRENT

ভূমিকা (Introduction)

তড়িৎ স্থির থাকলে তার চারিদিকে তড়িৎ ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। তড়িৎ প্রবাহিত হলে পরিবাহীর চারিদিকে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়, কিন্তু পরিবাহী চুম্বকিত হয় না। তড়িৎ প্রবাহে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি ঘটনাকে তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া বলে। তড়িৎ প্রবাহের ফলে আরো অনেক ক্রিয়া ঘটে যেমন, তাপীয় ক্রিয়া, রাসায়নিক ক্রিয়া ইত্যাদি। তবে এই ক্রিয়াগুলো বিভিন্ন পরিস্থিতির কারণে ঘটে, কিন্তু তড়িৎ প্রবাহে চৌম্বকীয় প্রভাব সর্বদাই ঘটে। সেজন্য অন্য যে কোনো ক্রিয়ার চেয়ে তড়িৎ প্রবাহে চৌম্বক ক্রিয়া সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ। আধুনিক বিজ্ঞান জগতে তড়িৎ প্রবাহে চৌম্বক ক্রিয়ার প্রভাব সবচেয়ে বেশী অবদান রেখেছে। ফ্যান, মোটর, ইত্যাদি ঘূর্ণায়মান সকল যন্ত্রই তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়ার প্রভাবে কাজ করে। তড়িৎ প্রবাহ চারিদিকে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি করে। এই অতি গুরুত্বপূর্ণ বৈজ্ঞানিক ঘটনার আবিষ্কারক কোপেনহেগেনের অধ্যাপক বিজ্ঞানী হেনস ক্রিস্টিয়ান ওয়েরস্টেড (1820)। ওয়েরস্টেডের এই গুরুত্বপূর্ণ আবিষ্কারের জন্য তাঁর নাম অনুসারে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের একক ওয়েরস্টেড (Oersted) করা হয়েছিল। তড়িৎ প্রবাহ যেহেতু গতিশীল তড়িৎ আধান, অতএব তড়িৎ আধান গতিশীল হলেই চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। আধান স্থির থাকলে একে ঘিরে যে তড়িৎ ক্ষেত্র বর্তমান থাকে, আধান গতিশীল হলে তা দূরীভূত হয় এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের উদ্ভব হয়। আমরা এই অধ্যায়ে তড়িৎ প্রবাহে চৌম্বক ক্রিয়াজনিত বিষয় যেমন, কেন সলিনয়েড দণ্ড চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে, তড়িৎ প্রবাহে চুম্বক আবেশ, মোটর ও জেনারেটর কিভাবে কাজ করে, আমরা কেন ট্রান্সফরমার ব্যবহার করি ইত্যাদি বিষয় নিয়ে আলোচনা করব।



পাঠ ১ : তড়িৎ প্রবাহে চৌম্বক ক্রিয়া (Magnetic Effect of Current)



উদ্দেশ্য

এই পাঠের শেষে আপনি -

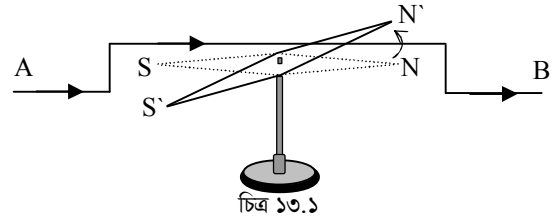
১. ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা বর্ণনা করতে পারবেন।
২. তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
৩. সলিনয়েড ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
৪. তাড়িতচুম্বক ব্যাখ্যা করতে পারবেন।



১৩.১.১ ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা (Oersted's Experiment)

ওয়েরস্টেড সর্বপ্রথম লক্ষ্য করেন যে, তড়িৎ প্রবাহের সান্নিধ্যে চুম্বক শলাকার বিক্ষেপ ঘটে।

চিত্র নং ১৩.১ এ তাঁর পরীক্ষণ দেখানো হয়েছে। অনুভূমিক তলে মুক্তভাবে ঘূর্ণনক্ষম একটি চুম্বক শলাকা NS ভূ-চৌম্বকীয় উত্তর দক্ষিণ বরাবর আছে। এর অর্থ হলো কোনো চুম্বককে মুক্ত ভাবে ঝুলিয়ে দিলে চুম্বকটি ভূ-চৌম্বকীয় প্রাবল্যের দিক বরাবর থাকে। চুম্বকের উপরে চুম্বকের সমান্তরাল ভাবে একটি পরিবাহী AB কে রাখা হয়েছে। এই অবস্থায় পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ করলেই চুম্বক শলাকা বিক্ষিপ্ত হবে এবং এটি পরিবাহীর সমকোণে অবস্থান করার চেষ্টা করবে। চিত্রে চুম্বক শলাকার অবস্থান N'S' দেখানো হয়েছে। আরো দেখা যায় যে, তড়িৎ প্রবাহ যত বৃদ্ধি করা যায় বিক্ষেপ তত বৃদ্ধি পায়। তবে বিক্ষেপ কোণ কখনোই 90° বা তার চেয়ে বেশী হয় না। তড়িৎ প্রবাহের দিক পরিবর্তন করলে অর্থাৎ তড়িৎ প্রবাহ B থেকে A এর দিকে করলে বিক্ষেপ বিপরীত দিকে হয়। পরিবাহীকে যদি চুম্বক শলাকার নীচে রাখা হয় তবে বিক্ষেপ বিপরীত দিকে হয়। পরিবাহীকে যদি চুম্বক শলাকার সাথে সমকোণে রেখে তড়িৎ প্রবাহ হয় তবে কোনো বিক্ষেপ হয় না। ওয়েরস্টেডের এই পরীক্ষা থেকে এ সিদ্ধান্তে পৌঁছানো যায় যে,



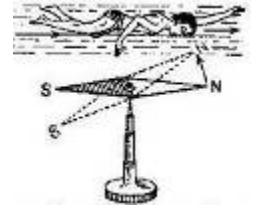
- (ক) যেহেতু তড়িৎ প্রবাহের ফলে চুম্বক শলাকা বিক্ষিপ্ত হয় সেহেতু প্রমাণ করে যে, তড়িৎ প্রবাহের ফলে পরিবাহীর চারিদিকে একটি চুম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়।
- (খ) যেহেতু তড়িৎ প্রবাহ বৃদ্ধির ফলে চুম্বক শলাকা বিক্ষিপ্তপণের পরিমাণ বৃদ্ধি পায় সেহেতু বলা যায়, তড়িৎ প্রবাহের পরিমাণের উপর সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ভর করে।
- (গ) যেহেতু তড়িৎ প্রবাহের দিক পরিবর্তনে চুম্বক শলাকা বিক্ষিপ্তপণের দিক পরিবর্তিত হয় সেহেতু সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের দিক তড়িৎ প্রবাহের দিকের উপর নির্ভর করে।
- (ঘ) যেহেতু পরিবাহীকে যদি চুম্বক শলাকার সাথে সমকোণে রেখে তড়িৎ প্রবাহ হয় তবে কোনো বিক্ষিপ্ত হয়না সেহেতু প্রমাণিত হয় যে, এ ক্ষেত্রে তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র ভূ-চৌম্বকীয় প্রাবল্যের দিকের সমান্তরাল। অর্থাৎ তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র পরিবাহীর সমকোণে অবস্থান করে।
- (ঙ) যেহেতু বিক্ষিপ্ত কোণ কখনোই 90° বা তার চেয়ে বেশী হয় না সেহেতু বলা যায়, চুম্বকটি শলাকাটি ভূ-চুম্বক ও সমকোণে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের লম্বি প্রাবল্যের দিক নির্দেশ করে।

১৩.১.২.১ অ্যাম্পিয়ারের সত্তরণ সূত্র (Ampere's Swimming Rule)



ওয়েরস্টেডের পরীক্ষার কিছুকাল পর এ. এম. অ্যাম্পিয়ার ঐ একই বিষয় নিয়ে পরীক্ষা করেন। তিনি তড়িৎ প্রবাহের ফলে চুম্বক শলাকা কোন দিকে ঘুরবে তার একটি নিয়ম বের করেন। একে অ্যাম্পিয়ারের সত্তরণ সূত্র বলে।

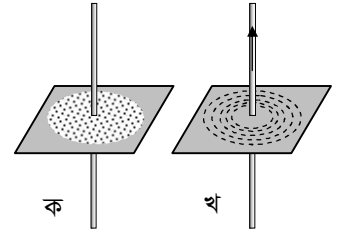
সূত্র : পরিবাহীর সমান্তরালে তড়িৎ প্রবাহের দিক বরাবর যদি কোনো ব্যক্তি সাঁতার কাটেন যেন তাঁর মাথা ও পরিবাহীর সমান্তরালে রাখা চুম্বক শলাকার উত্তর মেরু একই দিকে থাকে তবে সাঁতার কাটার সময় বাঁ হাত যেদিকে বিক্ষিপ্ত হয় চুম্বক শলাকার উত্তর মেরু সেদিকে বিক্ষিপ্ত হবে।



চিত্র ১৩.২

১৩.১.২.২ তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া (Magnetic Effect of Current)

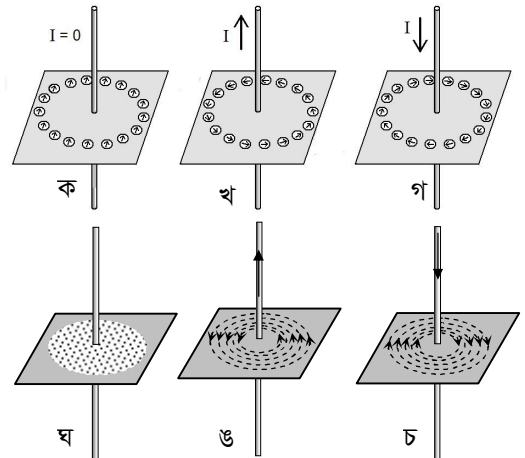
আমরা আগেই জেনেছি যে, যেমন কোনো স্থানে আধান স্থির থাকলে তড়িৎ ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয় ঠিক সেরকম একটা পরিবাহীর ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে সেই তারের চার পাশে চৌম্বক ক্ষেত্র তৈরি হয়। চিত্র নং ১৩.৩ ক অনুসারে একটা কার্ড বোর্ডের মাঝখান দিয়ে একটা পরিবাহী ঢুকিয়ে কার্ডের ওপর কিছু লোহার কুচি ছড়িয়ে দেয়া হলো। এই অবস্থায় কার্ড বোর্ড এবং পরিবাহী পরস্পরের সাথে সমকোণে আছে এবং লোহার কুচিগুলো বিক্ষিপ্ত ভাবে বোর্ডের উপর ছড়িয়ে আছে। এই অবস্থায় পরিবাহীর মধ্যদিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত করে আস্তে আস্তে বোর্ডে টোকা দিলে দেখা যাবে লোহার কুচিগুলো পরিবাহীর চারিপাশে সমকেন্দ্রিক গোলাকার পথে সজ্জিত হয়ে গেছে (চিত্র নং ১৩.৩ খ)। পরিবাহী এবং কার্ড বোর্ডের ছেদ



চিত্র নং ১৩.৩

বিন্দুই এই বৃত্তগুলির কেন্দ্র। এখানে চুম্বক বলরেখাগুলো বদ্ধ পথ। লক্ষ্য করলে দেখা যায় যে লোহার কুচিগুলো পরিবাহীর গায়ে লাগেনি। অর্থাৎ পরিবাহী নিজে চুম্বক হয় না অথচ এটি চুম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে। আরো লক্ষ্য করলে দেখা যাবে যে সমকেন্দ্রিক গোলাকার পথগুলো কেন্দ্র থেকে যত দূরে আছে গোলাকার পথের সংখ্যা তত হ্রাস পাচ্ছে। এর থেকে বলা যায় যে, কেন্দ্র থেকে যত দূরে যাওয়া যায় সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য তত হ্রাস পায়।

তড়িৎ প্রবাহে সৃষ্ট চুম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্ণয় করার জন্য আমরা লোহার কুচির বদলে কার্ড বোর্ডের উপরে পরিবাহীকে কেন্দ্র করে বৃত্তাকার পথে কতকগুলি সূচীচুম্বক রাখবো। তড়িৎ প্রবাহ না করা হলে সূচীচুম্বকগুলি উত্তর দক্ষিণ বরাবর মুখ করে থাকবে (চিত্র ১৩.৪ ক)।



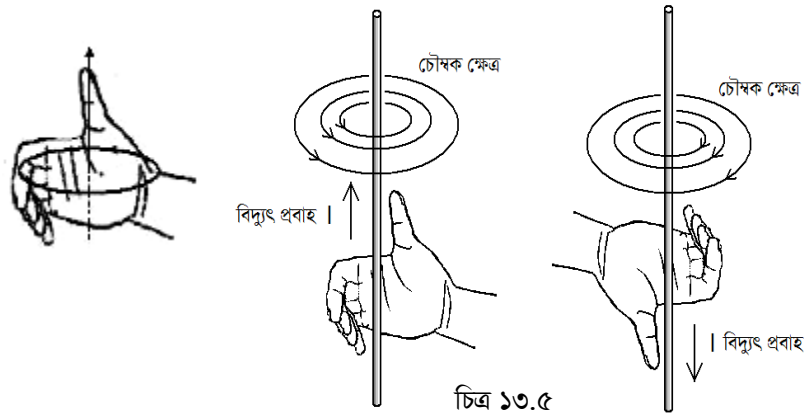
চিত্র ১৩.৪

এখন যদি এই পরিবাহীর ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত করা হয় (মোটামুটি শক্তিশালী) তাহলে দেখা যাবে তড়িৎ প্রবাহিত হওয়ার সাথে সাথে সূচী চুম্বকগুলো একটা আরেকটার সাথে সারিবদ্ধভাবে সজ্জিত হয়ে গেছে এবং পরিবাহীকে ঘিরে একটা বৃত্তাকার পথ তৈরি করেছে অর্থাৎ বৃত্তাকার চৌম্বক ক্ষেত্র তৈরি হয়েছে (চিত্র ১৩.৪ খ)। তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ করে দিলে আবার সবগুলো সূচী চুম্বক উত্তর-দক্ষিণ বরাবর হয়ে যাবে। তড়িৎ প্রবাহের দিক পাশ্চাত্যে দিলে (চিত্র ১৩.৪ গ) সূচী চুম্বকগুলো আবার নিজেদের সাজিয়ে নেবে কিন্তু এবারে সূচী চুম্বকগুলো দিকটা হবে উল্টো দিকে। চিত্র ১৩.৪ ঘ,ঙ,চ তে এর বলরেখাগুলো দেখানো হয়েছে।

তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখার দিক বা অভিমুখ কোন দিকে হবে তা ফ্লেমিং-এর দক্ষিণ হস্ত নিয়ম বা ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু নিয়ম থেকে জানা যায়।

১৩.১.২.৩ ফ্লেমিং-এর দক্ষিণ হস্ত নিয়ম (Fleming's Right-Hand Rule)

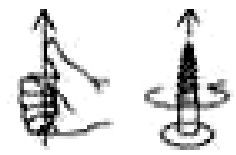
ডান হাতের বৃদ্ধাঙ্গুলী প্রসারিত করে বাকি আঙ্গুলগুলো মুঠিবদ্ধ করলে যদি বৃদ্ধাঙ্গুলী তড়িৎ প্রবাহের দিক নির্দেশ করে তবে বাকি আঙ্গুলগুলোর মাথা তড়িৎ প্রবাহে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্দেশ করবে। চিত্র ১৩.৫ এ দেখানো হলো। এই নিয়ম অনুসারে তড়িৎ প্রবাহ উপর দিকে হলে তড়িৎ প্রবাহে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখা ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে এবং নীচের দিকে হলে ঘড়ির কাঁটার দিকে ঘূর্ণনের দিক হবে।



১৩.১.২.৪ ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু নিয়ম (Maxwell's Cork-Screw Rule)



বোতলের ছিপি খুলবার যন্ত্রকে কর্ক-স্ক্রু বলে। একটি তড়িৎ পরিবাহী তার বরাবর তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখে একটি ডান পাকে কর্ক-স্ক্রু ডান হাতে ঘোরালে হাতের বৃদ্ধাঙ্গুলী যে দিকে ঘুরবে তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখার অভিমুখ সে দিকেই হবে।

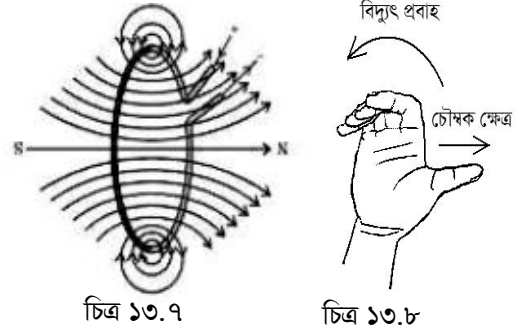


১৩.১.২.৫ তড়িৎ প্রবাহে বৃত্তাকার পরিবাহীর চৌম্বক ক্রিয়া (Magnetic Effect Due to Current Flow Through Circular Conductor)

একটা সোজা পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ হলে সৃষ্ট চৌম্বক রেখা কেমন হয় সেটা আমরা জানলাম। পরিবাহী যদি সোজা না হয়ে বৃত্তাকার হয় তাহলে চৌম্বক রেখা কেমন হবে তা এখন আমরা জানব। চিত্র ১৩.৭ তে বৃত্তাকার পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ হলে সৃষ্ট চৌম্বক রেখা দেখানো হয়েছে। বলরেখাগুলির প্রকৃতি লক্ষ্য করলে দেখা যায় যে, বৃত্তাকার পরিবাহীর বলরেখাগুলো প্রায় সমান্তরাল। সুতরাং কেন্দ্রের কাছে চৌম্বক ক্ষেত্র সুসম এবং অন্যান্য স্থানের তুলনায় প্রবল। যদিও এই বলরেখার দিক ফ্লেমিং-এর দক্ষিণ হস্ত নিয়ম বা ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু নিয়ম থেকে পাওয়া যায় তবুও ডানহাতি বৃদ্ধাঙ্গুলী নিয়ম দিয়ে আরো সহজে বোঝানো যায়।

১৩.১.২.৬ ডানহাতি বৃদ্ধাঙ্গুলী নিয়ম (Right Hand Thumb Rule)

ডানহাতি বৃদ্ধাঙ্গুলী নিয়ম চিত্র ১৩.৮-তে দেখানো হয়েছে। ডান হাতের বৃদ্ধাঙ্গুলী প্রসারিত করে অন্য আঙ্গুলীগুলো তালুর দিকে বাঁকালে যদি অন্য আঙ্গুলীগুলো তড়িৎ প্রবাহের দিক নির্দেশ করে তবে বৃদ্ধাঙ্গুলী সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্দেশ করবে।

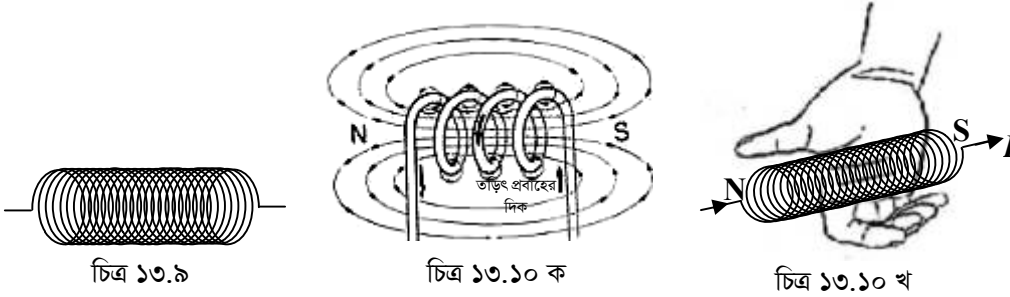


চিত্র ১৩.৭

চিত্র ১৩.৮

১৩.১.৩ সলিনয়েড ও এর চৌম্বক ক্ষেত্র (Solenoid and Magnetic Field Due to It)

স্পিরিং-এর আকারে পাকানো অত্যন্ত ঘনসন্নিবিষ্ট একটি অন্তরিত পরিবাহীকে সলিনয়েড বলে। একটি কার্ডবোর্ডকে বাঁকিয়ে চোঙাকৃতি করে এর উপর অন্তরিত পরিবাহী তার পেঁচিয়ে সলিনয়েড তৈরি করা যায়। চিত্র ১৩.৯ তে সলিনয়েড দেখানো হলো। সলিনয়েডের প্রতিটি পাকের কেন্দ্র একই রেখায় অবস্থিত। একে সলিনয়েডের অক্ষ বলে।



চিত্র ১৩.৯

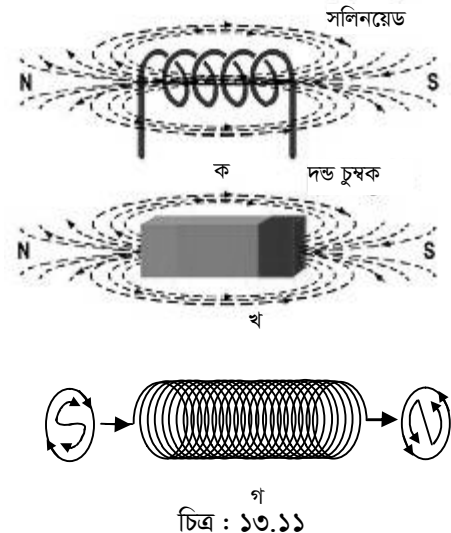
চিত্র ১৩.১০ ক

চিত্র ১৩.১০ খ

সলিনয়েডের প্রতিটি পাকের ভিতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ একই দিকে হয় বলে প্রতিটি পাকই চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি করে। তাই সলিনয়েডের সব পাকের সম্মিলিত চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য অনেক বেশী হয়। মূলত সলিনয়েডের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের পাক সংখ্যা যত বেশী হয় চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য তত বেশী হয় এবং সলিনয়েডের মধ্য দিয়ে যত বেশী তড়িৎ প্রবাহ হবে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যও তত বেশী হবে। সলিনয়েডের বলরেখাগুলোর প্রকৃতি একটি দন্ড চুম্বকের বলরেখার মত। সেজন্য বলা যায় যে, সলিনয়েডের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে সেটি দন্ড চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে। চিত্র ১৩.১০ ক-তে বড় করে তড়িৎবাহী সলিনয়েডের চৌম্বক ক্ষেত্র দেখানো হয়েছে। সলিনয়েডের ভিতরে বলরেখাগুলো অক্ষের সমান্তরাল। এক্ষেত্রেও বলরেখাগুলো আবদ্ধ বক্রপথ। প্রশ্ন হতে পারে বলরেখাগুলোর অভিমুখ কিভাবে স্থির করা হবে? এর সহজ উত্তর হলো ডানহাতি বৃদ্ধাঙ্গুলী নিয়ম। সলিনয়েডকে ডান হাতের তালুতে নিয়ে মুঠিবদ্ধ করে বৃদ্ধাঙ্গুলীকে সলিনয়েডের সমান্তরালে রাখলে যদি মুঠিবদ্ধ আঙ্গুলগুলো তড়িৎ প্রবাহের দিক নির্দেশ করে তবে বৃদ্ধাঙ্গুলী উত্তর মেরু নির্দেশ করবে। চিত্র ১৩.১০ খ-তে সলিনয়েডের ক্ষেত্রে ডানহাতি বৃদ্ধাঙ্গুলী নিয়ম দেখানো হয়েছে।

১৩.১.৩.১ সলিনয়েড ও এর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বৃদ্ধি (Solenoid and Increase of Magnetic Field Intensity Due to It)

আমরা দেখলাম সলিনয়েডের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ করলে অধিকাংশ বলরেখা সলিনয়েডের অক্ষ বরাবর সজ্জিত হয়ে তীব্র চৌম্বক প্রাবল্যের সৃষ্টি করে। ফলে এটি দন্ড চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে (চিত্র ১৩.১১ ক.)। এখন সলিনয়েডের মধ্য কোনো লোহার দন্ড প্রবেশ করিয়ে তড়িৎ প্রবাহ করলে দন্ডটি এই চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে চুম্বকে রূপান্তর হয়। একে তাড়িতচুম্বক বলে। তড়িৎ প্রবাহের দিক পরিবর্তন করলে তাড়িতচুম্বকের মেরু পরিবর্তিত হয়। এখানে আরো একটি ঘটনা ঘটে। সেটি হলো, লোহার দন্ড প্রবেশ করানোর ফলে তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য অনেকগুণ বৃদ্ধি পায়। এর কারণ হলো, লোহার দন্ড প্রবেশ করলে যেহেতু সেটি চুম্বকে পরিণত হয় এবং দন্ড চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে, সেহেতু তার নিজস্ব একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। এই চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের সমান্তরাল। এই দুই ক্ষেত্র একত্রে মিলিত হয়ে মোট চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য আরো বৃদ্ধি করে দেয় (চিত্র ১৩.১১ খ)।



চিত্র : ১৩.১১

চিত্র ১৩.১১ গ-তে সলিনয়েডের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হলে সলিনয়েডের কোন প্রান্তে কোন মেরু সৃষ্টি হবে তা বোঝানো হয়েছে। কোনো প্রান্তে কোনো মেরু হবে সেটা জানবার জন্য সহজ পদ্ধতি হলো আপনার ডান হাতের বৃদ্ধাঙ্গুলী খাড়া করুন এবং অন্য অঙ্গুলীগুলো বাঁকা করুন। মনে করুন সলিনয়েডটি আপনার বাঁকা আঙ্গুলে ধরে আছেন। এবার বৃদ্ধাঙ্গুলীর অগ্রভাগ দিয়ে আপনার নাক স্পর্শ করুন। অর্থাৎ আপনি সলিনয়েডের মধ্য দিয়ে দেখছেন। এই অবস্থায় সলিনয়েডের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের দিক যদি আপনার বাঁকা আঙ্গুলগুলো অগ্রভাগ দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের দিক হয়ে থাকে তবে আপনার দিকে উত্তর মেরু এবং অপরদিকে দক্ষিণ মেরু সৃষ্টি হবে। চিত্র ১৩.১১ গ-তে N দিয়ে উত্তর মেরু (North pole) এবং S দক্ষিণ মেরু (South pole) বোঝানো হয়েছে।



সার-সংক্ষেপ:

ফ্লেমিং-এর দক্ষিণ হস্ত নিয়ম : ডান হাতের বৃদ্ধাঙ্গুলী প্রসারিত করে বাকি আঙ্গুলগুলো মুঠিবদ্ধ করলে যদি বৃদ্ধাঙ্গুলী তড়িৎ প্রবাহের দিক নির্দেশ করে তবে বাকি আঙ্গুলগুলোর মাথা তড়িৎ প্রবাহে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্দেশ করবে।

ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু নিয়ম : একটি তড়িৎ পরিবাহী তার বরাবর তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখে একটি ডান পাকে কর্ক-স্ক্রু ডান হাতে ঘোরালে হাতের বৃদ্ধাঙ্গুলী যে দিকে ঘুরবে তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখার অভিমুখ সে দিকেই হবে।

সলিনয়েড : স্প্রিং-এর আকারে পাকানো অত্যন্ত ঘনসন্নিবিষ্ট একটি অন্তরিত পরিবাহীকে সলিনয়েড বলে।



পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১৩.১

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (✓) চিহ্ন দিন।

১. তড়িৎ প্রবাহে চৌম্বকীয় ক্রিয়ায় ক্ষেত্রে

- পরিবাহী তার চুম্বকের যত কাছে থাকে বিক্ষেপ তত বেশী হয়
- পরিবাহী তারের সংখ্যা বা পাক সংখ্যা যত বেশী হবে বিক্ষেপ তত বেশী হবে
- তড়িৎ প্রবাহ যত বেশী হবে বিক্ষেপ তত বেশী হবে

নীচের কোনটি সঠিক?

- ক. i ও ii খ. ii ও iii. গ. i ও iii ঘ. i, ii ও iii

২। সলিনয়েডের

- প্রতি একক দৈর্ঘ্যের পাক সংখ্যা যত বেশী হয় চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য তত বেশী হয়।
- মধ্য দিয়ে যত বেশী তড়িৎ প্রবাহ হবে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য তত বেশী হবে।
- মধ্যে লৌহদণ্ড প্রবেশ করালে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য কয়েকগুণ বৃদ্ধি পায়।

নীচের কোনটি সঠিক?

- ক. i ও ii খ. ii ও iii. গ. i ও iii ঘ. i, ii ও iii

পাঠ ২: তাড়িতচৌম্বক আবেশ (Electromagnetic Induction)



উদ্দেশ্য

এই পাঠের শেষে আপনি-

১. তাড়িতচৌম্বক আবেশ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
২. আবিষ্কৃত তড়িচ্চালক শক্তি ও আবিষ্কৃত তড়িৎ প্রবাহ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
৩. তাড়িতচৌম্বক আবেশ সংক্রান্ত ফ্যারাডের সূত্রগুলো ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

১৩.২.১. তাড়িতচৌম্বক আবেশ (Electromagnetic Induction)



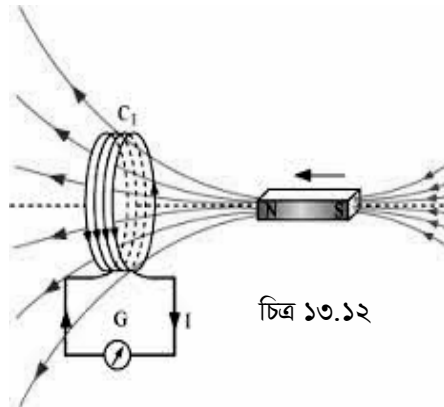
ওয়েরস্টেড (1820) তড়িৎ প্রবাহে চৌম্বকীয় ক্রিয়া আবিষ্কারের পর থেকেই বিজ্ঞানীদের মাথায় চিন্তা আসে যদি তড়িৎ প্রবাহের ফলে চুম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হতে পারে তবে কেন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হবে না? তিন দেশের তিনজন বিজ্ঞানী, ইংল্যান্ডে মাইকেল ফ্যারাডে, আমেরিকাতে জোসেফ হেনরী এবং রাশিয়ায় এইচ. এফ. ই. লেন্জ পৃথক পৃথক ভাবে এ বিষয়ের উপর গবেষণা করে সফলতা অর্জন করেন। কিন্তু মাইকেল ফ্যারাডে 1831 সালে সর্বপ্রথম তাঁর গবেষণালব্ধ ফলাফল প্রকাশ করেছিলেন। সেজন্য মাইকেল ফ্যারাডে তাড়িতচৌম্বক আবেশের আবিষ্কারক হিসাবে পরিচিত। ফ্যারাডের পরীক্ষাগুলো থেকে প্রমাণিত হয়েছে যে, কোনো বদ্ধ কুন্ডলী এবং কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে আপেক্ষিক গতি থাকলে ঐ কুন্ডলীতে একটি আবিষ্কৃত তড়িচ্চালক শক্তির সৃষ্টি হয়। এই ঘটনাকে তাড়িতচৌম্বক আবেশ বলে।



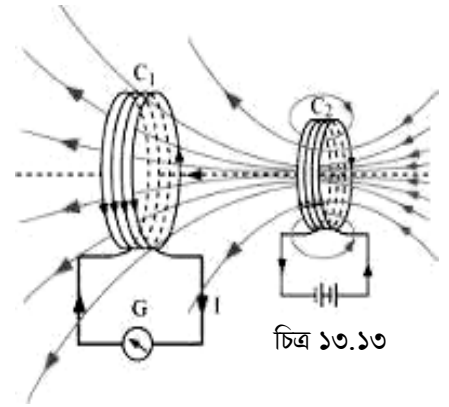
১৩.২.১.১ তাড়িতচৌম্বক আবেশ বিষয়ক পরীক্ষা (Experiment on Electromagnetic Induction)

তাড়িতচৌম্বক আবেশ পরীক্ষায় একটি শক্তিশালী দন্ড চুম্বক এবং একটি বহু পাক বিশিষ্ট কুন্ডলী নেয়া হয়। চুম্বকটি যেন কুন্ডলীর মধ্য দিয়ে অনায়াসে যাতায়াত করতে পারে। কুন্ডলীর সাথে একটি গ্যালভানোমিটার যুক্ত করা হয়। কুন্ডলী এবং দন্ড চুম্বককে পাশাপাশি রেখে দিলে গ্যালভানোমিটারের কাঁটায় কোনো বিক্ষেপ হয়না। এখন দন্ড চুম্বকের কোনো এক

মেরু, ধরা যাক উত্তর মেরু, কুন্ডলীর ডান প্রান্ত থেকে হঠাৎ দ্রুত গতিতে কুন্ডলীর খুব কাছে আনলে বা ভিতরে প্রবেশ করালে দেখা যায় গ্যালভানোমিটারের কাঁটা মুহূর্তের জন্য বিক্ষিপ্ত হয়। এর থেকে প্রমাণিত হয় যে এই পদ্ধতিতে কুন্ডলীতে ক্ষণস্থায়ী তড়িৎ প্রবাহ আবিষ্কৃত হয়েছে (চিত্র ১৩.১২)। এখন যদি দন্ড



চিত্র ১৩.১২



চিত্র ১৩.১৩

চুম্বকটিকে কুন্ডলী থেকে দ্রুত গতিতে দূরে সরিয়ে আনলে বা ভিতর থেকে বের করে আনা হয় তাহলেও গ্যালভানোমিটারের কাঁটা মুহূর্তের জন্য বিক্ষিপ্ত হয় তবে এক্ষেত্রে বিক্ষেপ বিপরীত দিকে হয়। এর থেকে প্রমাণিত হয় যে উত্তর মেরু প্রবেশের সময় কুন্ডলীতে যে দিকমুখী তড়িৎ প্রবাহ আবিষ্কৃত হয় বের করার সময় তার বিপরীতমুখী তড়িৎ প্রবাহ আবিষ্কৃত হয়। যদি চুম্বকটি স্থির রেখে কুন্ডলীকে দ্রুতগতিতে নাড়ানো যায় তবে একই ঘটনা ঘটে। কিন্তু উভয়ই স্থির থাকলে গ্যালভানোমিটারে কোনো বিক্ষেপ হয়না। এর থেকে প্রমাণিত হয় যে, চুম্বক ও কুন্ডলীর মধ্যে আপেক্ষিক গতি থাকার কারণেই আবিষ্কৃত তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। উত্তর মেরুর পরিবর্তে দক্ষিণ মেরু নিয়েও এ পরীক্ষা করা যায়। তবে উত্তর মেরু প্রবেশ বা বের করার সময় গ্যালভানোমিটার যে দিকে বিক্ষেপ দেয় দক্ষিণ মেরুর ক্ষেত্রে তার বিপরীত দিকে হয়। কুন্ডলীতে পাক সংখ্যা বৃদ্ধি করে ঘটনাগুলি পুনরাবৃত্তি করলে দেখা যায় পূর্বের তুলনায় বিক্ষেপণ বৃদ্ধি পেয়েছে।

চুম্বকের পরিবর্তে যদি অপর একটি কুন্ডলী (একে মুখ্য কুন্ডলী বলে)-র সাথে ব্যাটারী যুক্ত করে (চিত্র ১৩.১৩) তাড়িতচুম্বক বানিয়ে সেই কুন্ডলীটিকে চুম্বকের ন্যায় গ্যালভানোমিটার লাগানো কুন্ডলী (একে গৌণ কুন্ডলী বলে)-র কাছে এনে পূর্বের মত কুন্ডলীকে দ্রুত গতিতে কাছে আনলে বা দূরে সরিয়ে নিলে গ্যালভানোমিটারে পূর্বের মত বিক্ষেপ দিবে। মুখ্য কুন্ডলীকে

একটি চাবি লাগিয়ে কুন্ডলীটিকে গৌণ কুন্ডলীর কাছে রেখে চাবির সাহায্যে তড়িৎ প্রবাহ চালু বা বন্ধ করা হয় তবে তড়িৎ প্রবাহ চালু বন্ধ করার মুহূর্তে গৌণ কুন্ডলীর সাথে লাগানো গ্যালভানোমিটার বিক্ষিপ্ত হবে। দন্ড চুম্বককে শক্তিশালী করলে কিংবা কুন্ডলীর পাক সংখ্যা বৃদ্ধি করলে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ বৃদ্ধি পায়। যদি কুন্ডলীর ভিতরে লোহার দন্ড (একে মজ্জা বলে) রাখা হয় তবে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ অনেকগুণ বৃদ্ধি পায়।

সুতরাং কোনো কুন্ডলীর কাছে যদি কোনো চুম্বককে বা তড়িৎবাহী কুন্ডলীকে নাড়াচাড়া বা সামনে পিছনে করা হয় তবে অথবা কোনো চুম্বককে বা তড়িৎবাহী কুন্ডলীর কাছে যদি কোনো কুন্ডলীকে নাড়াচাড়া বা সামনে পিছনে করা হয় তবে ঐ কুন্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। একে তাড়িতচৌম্বক আবেশ বলে। এদের মধ্যে যতক্ষণ আপেক্ষিক গতি বজায় থাকে ততক্ষণ আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ স্থায়ী হয়।

কোনো কুন্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের উপস্থিতি প্রমাণ করে যে, একটি আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির সৃষ্টি হয়েছে, কারণ বিভব পার্থক্য না থাকলে তড়িৎ প্রবাহ হয় না। কুন্ডলী বন্ধ না হলেও এর মধ্যে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির সৃষ্টি হয়। কুন্ডলীর দুই প্রান্তের মধ্যে কিছুটা ফাঁক থাকে অর্থাৎ একটি বায়ুচ্ছেদ (Air gap) থাকলেও এর আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বজায় থাকে কিন্তু তড়িৎ প্রবাহ থাকে না। কারণ বায়ুচ্ছেদের উপস্থিতিতে রোধ অসীম হয়ে যায়। তবে যদি আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির মান খুব বেশী হয় তবে এ বায়ুচ্ছেদের মধ্যে তড়িৎ স্কুলিঙ্গের সৃষ্টি হয়।

১৩.২.২ তাড়িতচৌম্বক আবেশ সংক্রান্ত ফ্যারাডের সূত্র (Faraday's Laws of Electromagnetic Induction)

আবিষ্ট তড়িৎ সম্বন্ধে গবেষণা করে ফ্যারাডে দুটি সূত্র বের করেন। সূত্র দুটি হলো -

প্রথম সূত্র : যখনই বন্ধ কুন্ডলীতে চৌম্বক বলরেখার মোট সংখ্যার পরিবর্তন ঘটে তখনই কুন্ডলীতে একটি ক্ষণস্থায়ী তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়।

এভাবে যে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয় তাকে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ বলে। আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের স্থায়ীত্ব ততক্ষণ হবে যতক্ষণ কুন্ডলীতে চৌম্বক বলরেখার মোট সংখ্যার পরিবর্তন ঘটবে। কুন্ডলীতে বলরেখার বৃদ্ধির ফলে তড়িৎ প্রবাহ যে দিকে ঘটে, বলরেখার সংখ্যা হ্রাস পেলে তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ তার বিপরীত দিকে ঘটে।

দ্বিতীয় সূত্র : আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি কুন্ডলীতে চৌম্বক বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তনের হারের ঋণাত্মক মানের সমানুপাতিক।

যে কোনো সময় কুন্ডলীতে মোট বলরেখার সংখ্যা N_1 হয় এবং t সেকেন্ড পর যদি বলরেখার সংখ্যা N_2 হয় তবে t সময়ে চৌম্বক বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তন $N_2 - N_1$ । অতএব কুন্ডলীতে চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তনের হার $\frac{N_2 - N_1}{t}$ । ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে, কুন্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি E হলে,

$$E \propto -\frac{N_2 - N_1}{t}$$

$$\text{বা, } E = -k \frac{N_2 - N_1}{t}$$

এখানে k একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। এস.আই এককে k -এর মান 1 হয়।

$$\text{সুতরাং, } E = -\frac{N_2 - N_1}{t} \dots \dots \dots (১৩.১)$$

সমীকরণ নং ১৩.১-এ যে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি পরিমাপের সমীকরণ দেয়া হয়েছে তা হলো কুন্ডলীর প্রতি পাকের জন্য। এখন যদি কুন্ডলীতে n সংখ্যক পাক থাকে তবে তড়িচ্চালক শক্তি n গুণ বৃদ্ধি পাবে।

সুতরাং, n সংখ্যক পাক বিশিষ্ট কুন্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি,

$$E = -n \frac{N_2 - N_1}{t} \dots \dots \dots (১৩.২)$$

লেঞ্জের সূত্র : যে কোনো তাড়িত চৌম্বক আবেশের বেলায় আবিষ্ট তাড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের দিক এমন হয় যে, তা সৃষ্টি হওয়া মাত্রই যে কারণে সৃষ্টি হয় সেই কারণকেই বাধা দেয়।

সুতরাং লেঞ্জের সূত্র থেকে আমরা আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের দিক জানতে পারি। সমীকরণ (১৩.১) ও (১৩.২)-এ যে ঋণাত্মক চিহ্ন বসানো হয়েছে তা এ কারণেই।



সার-সংক্ষেপ:

তাড়িতচৌম্বক আবেশ : কোনো বদ্ধ কুন্ডলী এবং কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে আপেক্ষিক গতি থাকলে ঐ কুন্ডলীতে একটি আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির সৃষ্টি হয়। এই ঘটনাকে তাড়িতচৌম্বক আবেশ বলে।

ফ্যারাডের সূত্র : প্রথম সূত্র : যখনই বদ্ধ কুন্ডলীতে চৌম্বক বলরেখার মোট সংখ্যার পরিবর্তন ঘটে তখনই কুন্ডলীতে একটি ক্ষণস্থায়ী তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়।

দ্বিতীয় সূত্র : আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি কুন্ডলীতে চৌম্বক বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তনের হারের ঋণাত্মক মানের সমানুপাতিক।



পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১৩.২

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (✓) চিহ্ন দিন।

১. আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি সৃষ্টি হয় যখন

- বদ্ধ কুন্ডলীর কাছে চুম্বককে নড়ানো হয়
- চুম্বকের কাছে বদ্ধ কুন্ডলীকে নড়ানো হয়
- বদ্ধ কুন্ডলী ও চুম্বকের মাঝে আপেক্ষিক গতি থাকে

নীচের কোনটি সঠিক?

- ক. i ও ii খ. ii ও iii. গ. i ও iii ঘ. i, ii ও iii

২. তাড়িতচৌম্বক আবেশের আবিষ্কারক কে?

- ক. অ্যাম্পিয়ারের খ. ওরস্টেড গ. ম্যাক্সওয়েলের ঘ. মাইকেল ফ্যারাডে

পাঠ ৩: তড়িৎ মোটর ও জেনারেটর (Electric Motor and Generator)



উদ্দেশ্য

এই পাঠের শেষে আপনি -

- তড়িৎ মোটরের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- জেনারেটরের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

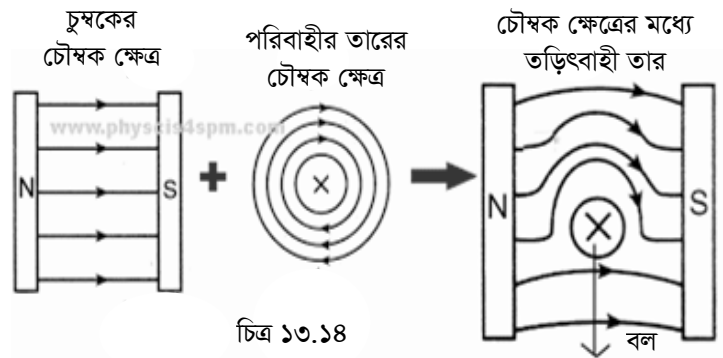
১৩.৩.১ তড়িৎবাহী তারের উপর চুম্বকের প্রভাব (Magnetic Effect on Current Carrying Conductor)



আমরা দেখেছি, তড়িৎবাহী তারের চারিদিকে একটি বদ্ধ চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। এখন যদি চৌম্বক ক্ষেত্রের

মাঝে একটি তড়িৎবাহী তারকে চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে রাখা হয় তবে

দুই চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে পরিবাহীর এক প্রান্তে বলরেখা সমমুখী হওয়ায় বিকর্ষণ এবং অপর প্রান্তে বিপরীত মুখী হওয়ায় আকর্ষণ করবে। ফলে পরিবাহীটি একটি বল অনুভব করবে। এই বলের কারণে পরিবাহীটি চৌম্বক ক্ষেত্র থেকে বের হবার চেষ্টা করবে। চিত্র ১৩.১৪-তে ঘটনাটি দেখানো হয়েছে। পরিবাহী তারে তড়িৎ প্রবাহের দিক বিপরীত করলে বলের দিকও বিপরীত হয়ে যাবে।



চিত্র ১৩.১৪

১৩.৩.২ ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত নিয়ম (Fleming's Left-Hand Rule)



চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে তড়িৎবাহী তার রাখলে তারটি একটি বল অনুভব করে এবং এই বলের কারণে তারটি চৌম্বক ক্ষেত্র থেকে বের হয়ে আসতে চায়। তারটি কোন দিকে বিক্ষিপ্ত হবে তা ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত নিয়ম অনুসারে বের করা যায়। এই নিয়মটি হলো বাম হাতের তর্জনী, মধ্যমা এবং বৃদ্ধাঙ্গুলী পরস্পরের সাথে সমকোণে প্রসারিত করলে যদি তর্জনী দিয়ে চৌম্বক বলের দিক এবং মধ্যমা দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের দিক নির্দেশ করে তবে বৃদ্ধাঙ্গুলী পরিবাহীর গতির দিক নির্দেশ করবে। চিত্র ১৩.১৫-তে ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত নিয়ম দেখানো হলো।



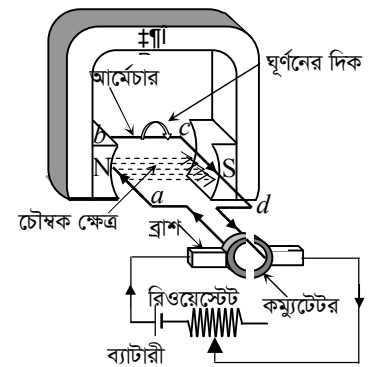
চিত্র ১৩.১৫

১৩.৩.৩ তড়িৎ মোটর (Electric Motor)

তড়িৎবাহী তারের উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবকে কাজে লাগিয়ে তড়িৎ মোটর তৈরি করা হয়।

যে তড়িৎ যন্ত্র তড়িৎ শক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তর করে তাকে তড়িৎ মোটর বলে। ডি. সি মোটর ও এ. সি মোটর নামে দুই ধরনের মোটর তৈরি হয়।

১৩.১৬ নং চিত্রে একটি ডি.সি. মোটরের গঠন দেখানো হয়েছে। এর বিভিন্ন অংশের নাম এবং এগুলো কি কাজ করে তা নীচে দেয়া হলো।

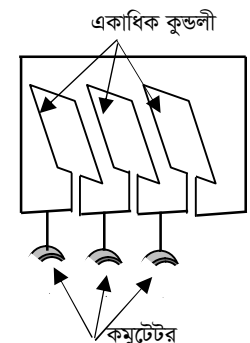


চিত্র ১৩.১৬

১. **ক্ষেত্র চুম্বক :** এটি একটি U আকৃতির স্থায়ী চুম্বক। অনেক সময় স্থায়ী চুম্বকের পরিবর্তে তড়িৎ চুম্বকও ব্যবহার করা হয়। এটির মূল কাজ হলো এর দুই মেরুর মাঝে একটি শক্তিশালী সুষম চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করা।

২. **আর্মেচার :** একটি নিরেট চোঙাকৃতি কাঁচা লোহার উপর বহু পাক জড়ানো একটি আয়তকার অন্তরিত পরিবাহী তারের কুন্ডলী। আর্মেচারকে ক্ষেত্র চুম্বকের মাঝে ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে এমন ভাবে বসানো থাকে যেন স্পর্শ না করে মুক্ত ভাবে চুম্বক ক্ষেত্রের মাঝে ঘুরতে পারে। কুন্ডলীর প্রান্তদ্বয় একটি কম্যুটেটরের সাথে এমন ভাবে লাগানো যেন কুন্ডলীর অক্ষ এবং কম্যুটেটরের অক্ষ একই রেখা বরাবর থাকে। (চিত্র সরলীকরণের জন্য লোহার মজ্জা দেখানো হয়নি।) আর্মেচারে একাধিক কুন্ডলী থাকতে পারে। সেক্ষেত্রে কুন্ডলীগুলো আর্মেচারে বিভিন্ন তলে সাজানো থাকে। কুন্ডলীগুলোকে পরস্পরের সাথে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করে শেষ প্রান্ত ও প্রথম প্রান্ত যুক্ত করা হয়। কুন্ডলী সংখ্যা যত বৃদ্ধি করা হয় মোটরের শক্তি তত বৃদ্ধি পায় এবং মোটরটি তত মসৃণভাবে ঘোরে।

৩. **কম্যুটেটর :** অল্প ব্যাসার্ধের ভিতরে ছিদ্র বিশিষ্ট চোঙাকৃতি তামার ছোটো একটি নলকে অক্ষ বরাবর দুই ভাগ করে ভিতর ব্যাসার্ধের সমান ব্যাসার্ধের ইবোনাইট বা অনুরূপ কুপরিবাহীর উপর পরস্পর থেকে অন্তরিত করে লাগিয়ে কম্যুটেটর তৈরি করা হয়। এই দুই অন্তরিত ভাবে রাখা তামার পাতের সাথে আর্মেচারের তারের দুই প্রান্ত যুক্ত করা হয়। আর্মেচার ঘুরানো হলে একই অক্ষ বরাবর কম্যুটেটরও একই বেগে ঘুরতে থাকে। একাধিক কুন্ডলী থাকলে যতগুলো কুন্ডলী থাকবে তামার নলটিকে তার অক্ষ বরাবর তত টুকরো করে অন্তরিত ভাবে ইবোনাইটের উপর বসানো হয়। (চিত্র ১৩.১৭)



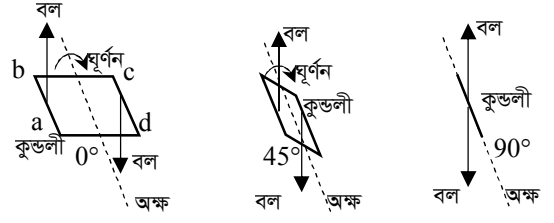
চিত্র ১৩.১৭

৪. **ব্রাশ :** আর্মেচারের সাথে বহিঃবর্তনীর সংযোগ দেবার জন্য ব্রাশ ব্যবহার করা হয়। ব্রাশ অবশ্যই তড়িৎ পরিবাহী এবং মসৃণ। ব্রাশ সর্বদা কম্যুটেটরের সাথে স্পর্শ করে থাকে, কিন্তু কম্যুটেটরের সাথে ঘুরে না। তাই ব্রাশ ও কম্যুটেটরের মধ্যে যত ঘর্ষণ কম হয় ততই ভালো। প্রকৃত পক্ষে ব্রাশের মাধ্যমে কম্যুটেটরের সাহায্যে আর্মেচারে তড়িৎ সরবরাহ করা হয়। ব্রাশ সাধারণতঃ একগুচ্ছ তামার তার দিয়ে অথবা কার্বন দিয়ে তৈরি করা হয়।

৫. **বহিঃবর্তনী :** তড়িৎ উৎস থেকে তড়িৎ প্রবাহ রিওয়েস্টেটের সাহায্যে নিয়ন্ত্রিত হয়ে ব্রাশ পর্যন্ত পৌঁছানোর জন্য যে বর্তনী ব্যবহার করা হয় তাকে বহিঃবর্তনী বলে।

ক্রিয়া : কুন্ডলীর ab এবং cd বাহু চৌম্বক ক্ষেত্রের সমকোণে এবং ad ও bc বাহু চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে অবস্থান করে। ব্রাশের মাধ্যমে আর্মেচারের কুন্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ করলে কুন্ডলীর ab এবং cd বাহুর তড়িৎ প্রবাহ চৌম্বক ক্ষেত্রের সমকোণে ad ও bc বাহুতে তড়িৎ প্রবাহ চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরাল হবে কিন্তু bc বাহুর তড়িৎ প্রবাহের দিক ad বাহুর বিপরীতে। চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্তরাল হওয়ার কারণে

ad ও bc বাহুতে কোন বল ক্রিয়া করবে না। ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত নিয়ম অনুসারে ab বাহু উপর দিকে এবং cd বাহু নীচের দিকে বল অনুভব করবে (চিত্র ১৩.১৮)। এই বলের কারণে কুন্ডলীটি আর্মেচারের অক্ষের সাপেক্ষে বিক্ষিপ্ত হবে ফলে আর্মেচারটি ঘড়ির কাঁটার দিকে ঘুরে যাবে। যখন কুন্ডলীটি উলম্ব বরাবর আসবে তখন বলদুটি বিপরীত মুখী হলেও একই রেখা বরাবর অবস্থান করার কারণে কোনো ঘূর্ণন হয় না। কিন্তু জড়তার কারণে আরো একটু ঘুরে ঐ অঞ্চল পার হয়ে যায়। আর্মেচারের সাথে কম্যুটেটরও ঘুরবে। কম্যুটেটর ঘোরার ফলে কুন্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের দিক পরিবর্তন হয়ে আবার একই অভিমুখে হয়ে যায়। ফলে কুন্ডলীটি অনবরত একই দিকে ঘুরতে থাকে। এই ভাবে তড়িৎ শক্তি যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তর হয়। কুন্ডলীতে বলরেখার পরিবর্তন হবার কারণে কিছু আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হয়। মোটরের গতি এবং শক্তি নিলোজভাবে বৃদ্ধি করা যায়।



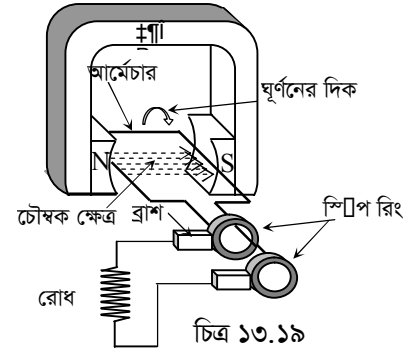
চিত্র নং ১৩.১৮

- ১। তড়িৎ প্রবাহের মান বৃদ্ধি করে।
- ২। কুন্ডলীর পাকসংখ্যা বৃদ্ধি করে।
- ৩। শক্তিশালী চুম্বক ব্যবহার করে।
- ৪। কুন্ডলীর ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি করে।

১৩.৩.৪ জেনারেটর (Generator)

যান্ত্রিক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তর করার যন্ত্রকে জেনারেটর বলে। তড়িৎ চৌম্বক আবেশের উপর ভিত্তি করে জেনারেটর তৈরি করা হয়। জেনারেটর দুই ধরনের হয়ে থাকে। যেমন, ডি. সি. জেনারেটর ও এ. সি. জেনারেটর।

চিত্র ১৩.১৯-এ এ. সি. জেনারেটরের চিত্র দেখানো হয়েছে। এ. সি. জেনারেটরই বহুল ব্যবহৃত হয়। নীচে এ. সি. জেনারেটরের গঠন ও কার্যপ্রণালী আলোচনা করা হলো।



চিত্র ১৩.১৯

মোটর ও জেনারেটরের গঠন প্রায় একই। মোটরে তড়িৎ শক্তিকে কাজে লাগিয়ে যান্ত্রিক শক্তি সৃষ্টি করা হয়, আর জেনারেটরে যান্ত্রিক শক্তিকে কাজে লাগিয়ে তড়িৎ শক্তি সৃষ্টি করা হয়।

জেনারেটরের বিভিন্ন অংশের নাম এবং এগুলো কি কাজ করে তা নীচে দেয়া হলো।

১. **ক্ষেত্র চুম্বক :** এটি একটি U আকৃতির স্থায়ী চুম্বক। অনেক সময় স্থায়ী চুম্বকের পরিবর্তে তড়িৎ চুম্বকও ব্যবহার করা হয়। এটির মূল কাজ হলো এর দুই মেরুর মাঝে একটি শক্তিশালী সুসম চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করা।
২. **আর্মেচার :** একটি নিরেট চোঙাকৃতি কাঁচা লোহার উপর বহু পাক জড়ানো একটি আয়তাকার অন্তরিত পরিবাহী তারের কুন্ডলী। আর্মেচারকে ক্ষেত্র চুম্বকের মাঝে ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে এমন ভাবে বসানো থাকে যেন স্পর্শ না করে মুক্ত ভাবে চুম্বক ক্ষেত্রের মাঝে ঘুরতে পারে। কুন্ডলীর প্রান্তদ্বয় দুটি স্লিপ রিং এর সাথে এমন ভাবে লাগানো যেন কুন্ডলীর অক্ষ এবং কম্যুটেটরের অক্ষ একই রেখা বরাবর থাকে। (চিত্র সরলীকরণের জন্য লোহার মজ্জা দেখানো হয়নি।)
৩. **স্লিপ রিং :** অল্প ব্যাসার্ধের ভিতরে ছিদ্র বিশিষ্ট চোঙাকৃতি তামার ছোটো দুটি নলকে ভিতর ব্যাসার্ধের সমান ব্যাসার্ধের ইবোনাইট বা অনুরূপ কুপরিবাহীর উপর অন্তরিত ভাবে পাশাপাশি লাগিয়ে স্লিপ রিং তৈরি করা হয়। এই দুই অন্তরিত ভাবে রাখা তামার নলের সাথে আর্মেচারের তারের দুই প্রান্ত যুক্ত করা হয়। আর্মেচার ঘুরানো হলে একই অক্ষ বরাবর স্লিপ রিং একই বেগে ঘুরতে থাকে। (চিত্র ১৩.১৯)

৪. ব্রাশ : আর্মেচারের সাথে বহিঃবর্তনীর সংযোগ দেবার জন্য ব্রাশ ব্যবহার করা হয়। ব্রাশ অবশ্যই তড়িৎ পরিবাহী এবং এবং মসৃণ। ব্রাশ সর্বদা স্লিপ রিং এর সাথে স্পর্শ করে থাকে, কিন্তু স্লিপ রিং-এর সাথে ঘুরে না। তাই ব্রাশ ও স্লিপ রিং-এর মধ্যে যত ঘর্ষণ কম হয় ততই ভালো। প্রকৃত পক্ষে ব্রাশের মাধ্যমে স্লিপ রিং-এর সাহায্যে আর্মেচার থেকে তড়িৎ নিয়ে বর্তনীতে সরবরাহ করা হয়। ব্রাশ সাধারণতঃ একগুচ্ছ তামার তার দিয়ে অথবা কার্বন দিয়ে তৈরি করা হয়।

ক্রিয়া : জেনারেটরে আর্মেচারকে হাতলের সাহায্যে চুম্বক ক্ষেত্রে আর্মেচারের অক্ষের সাপেক্ষে দ্রুত বেগে ঘোরানো হয়। ফলে চৌম্বক বলরেখার সাথে সমকোণে অবস্থিত কুন্ডলীর বাহুগুলোতে ছেদকারী চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তন ঘটে। আমরা ফ্যারাডের সূত্র থেকে জানি যে, বলরেখার পরিবর্তনের হার আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির সমানুপাতিক এবং কুন্ডলীতে পাক সংখ্যা যত বেশী হবে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি তত বেশী হবে। তাহলে স্লিপ-রিং এ পরিবর্তিত তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হবে। এখন ব্রাশের মাধ্যমে কুন্ডলীর দুই প্রান্তে বর্তনী সংযোগ করলে বর্তনীতে পরিবর্তিত তড়িৎ প্রবাহ হবে। এই ভাবেই জেনারেটর যান্ত্রিক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তর করে।



সার-সংক্ষেপ:

তড়িৎ মোটর : যে তড়িৎ যন্ত্র তড়িৎ শক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তর করে তাকে তড়িৎ মোটর বলে। ডি. সি মোটর ও এ. সি মোটর নামে দুই ধরনের মোটর তৈরি হয়।
জেনারেটর : যান্ত্রিক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তর করার যন্ত্রকে জেনারেটর বলে। জেনারেটর দুই ধরনের হয়ে থাকে। যেমন, ডি. সি. জেনারেটর ও এ. সি. জেনারেটর।



পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১৩.৩

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (✓) চিহ্ন দিন।

১. মোটর কী?

- ক. যে যন্ত্র তড়িৎ শক্তিকে তাপ শক্তিতে রূপান্তর করে
গ. যে যন্ত্র তড়িৎ শক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তর করে

- খ. যে যন্ত্র যান্ত্রিক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তর করে
ঘ. যে যন্ত্র তড়িৎ শক্তিকে রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তর করে

২. জেনারেটর কী?

- ক. যে যন্ত্র তড়িৎ শক্তিকে তাপ শক্তিতে রূপান্তর করে
গ. যে যন্ত্র তড়িৎ শক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তর করে

- খ. যে যন্ত্র যান্ত্রিক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তর করে
ঘ. যে যন্ত্র তড়িৎ শক্তিকে রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তর করে

পাঠ ৪: ট্রান্সফরমার (Transformer)



উদ্দেশ্য

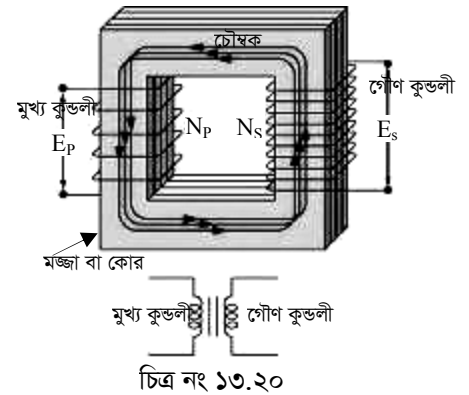
এই পাঠের শেষে আপনি -

১. ট্রান্সফরমারের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
২. স্টেপ আপ ট্রান্সফরমারের কার্যপ্রণালী বর্ণনা করতে পারবেন।
৩. স্টেপ ডাউন ট্রান্সফরমারের কার্যপ্রণালী বর্ণনা করতে পারবেন।

১৩.৪.১. ট্রান্সফরমার (Transformer)



ট্রান্সফরমার একটি তড়িৎ যন্ত্র। এটি পরিবর্তিত প্রবাহে কাজ করে। এই যন্ত্রটি তড়িতচৌম্বক আবেশের উপর ভিত্তি করে কাজ করে। এখানে মূলতঃ দুটি কুন্ডলী থাকে। কুন্ডলী দুটিকে একটি আয়তাকার কাঁচা লোহার মজ্জা বা কোরের উপর সারিবদ্ধ ভাবে জড়ানো হয় যেন অধিক পরিমাণ চৌম্বক বল রেখার সৃষ্টি হয়। একটি কুন্ডলীতে পরিবর্তিত প্রবাহ করে অপর কুন্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি সৃষ্টি করাই এর মূল কাজ। এই যন্ত্র উচ্চ বিভবকে নিম্ন বিভবে বা নিম্ন বিভবকে উচ্চ বিভবে রূপান্তর করে, কিন্তু শক্তির পরিমাণ অপরিবর্তিত থাকে। ফলে বিভব বৃদ্ধি করলে তড়িৎ প্রবাহ হ্রাস পায় এবং বিভব হ্রাস করলে তড়িৎ প্রবাহ বৃদ্ধি পায়। সুতরাং, যে যন্ত্র পর্যাবৃত্ত উচ্চ বিভবকে নিম্ন বিভবে বা নিম্ন বিভবকে উচ্চ বিভবে রূপান্তর করে তাকে ট্রান্সফরমার বলে।



ট্রান্সফরমার সাধারণত দুই প্রকারের হয়। যথা- স্টেপ আপ ট্রান্সফরমার ও স্টেপ ডাউন ট্রান্সফরমার।

চিত্র নং ১৩.২০-এ ট্রান্সফরমারের গঠন দেখানো হয়েছে। একটি আয়তাকার কাঁচা লোহার মজ্জা বা কোরের এক বাহুতে অন্তরিত তামার তার পেঁচিয়ে মুখ্য কুন্ডলী এবং অপর বাহুতে একই ভাবে অন্তরিত তামার তার পেঁচিয়ে গৌণ কুন্ডলী তৈরি করা হয়। মুখ্য কুন্ডলীতে পরিবর্তিত তড়িচ্চালক শক্তি প্রয়োগ করলে কোরে চৌম্বক বলরেখার সৃষ্টি হয়। যেহেতু কোরটি আয়তাকার সেহেতু চৌম্বক বলরেখাগুলো বদ্ধ হয় এবং যে পরিমাণ বলরেখা মুখ্য কুন্ডলীর বাহুতে সৃষ্টি হয় সেই পরিমাণ বলরেখার গৌণ কুন্ডলীর কোরের বাহু অতিক্রম করে। ফলে পরিবর্তিত প্রবাহের কারণে মুখ্য কুন্ডলীতে যে পরিমাণ বলরেখার পরিবর্তন ঘটে ঠিক সেই পরিমাণ বলরেখার পরিবর্তন গৌণ কুন্ডলীতেও ঘটে। স্টেপ আপ ট্রান্সফরমারে মুখ্য কুন্ডলীর পাক সংখ্যার চেয়ে গৌণ কুন্ডলীর পাক সংখ্যা বেশী থাকে। অপর দিকে স্টেপ ডাউন ট্রান্সফরমারে মুখ্য কুন্ডলীর পাক সংখ্যার চেয়ে গৌণ কুন্ডলীর পাক সংখ্যা কম থাকে।

মনে করি, মুখ্য কুন্ডলী ও গৌণ কুন্ডলীর অন্তরিত তামার তারের পাক সংখ্যা যথাক্রমে N_p এবং N_s । মুখ্য কুন্ডলীতে E_p পরিবর্তিত তড়িচ্চালক শক্তি প্রয়োগ করায় এর মধ্য দিয়ে I_p পরিবর্তিত তড়িৎ প্রবাহ হচ্ছে। এই প্রবাহ লোহার কোরকে চুম্বকায়িত করে এবং এর জন্য সৃষ্ট বলরেখা গৌণ কুন্ডলীর বাহুর মধ্য দিয়ে সঞ্চালিত হয়। ফলে গৌণ কুন্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির সৃষ্টি হয়। যেহেতু কোরের দুই বাহুতে চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তনের সংখ্যা সমান থাকে সেহেতু মুখ্য কুন্ডলীর প্রতি পাকে চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তনের সংখ্যা এবং গৌণ কুন্ডলীর প্রতি পাকে চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তনের সমান হয়। মনে করি, গৌণ কুন্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি E_s পাওয়া গেল।

তাহলে, মুখ্য কুন্ডলীর প্রতি পাকে তড়িচ্চালক শক্তি, $\frac{E_p}{N_p}$

এবং গৌণ কুন্ডলীর প্রতি পাকে তড়িচ্চালক শক্তি, $\frac{E_s}{N_s}$

পূর্বের আলোচনা অনুসারে, $\frac{E_s}{N_s} = \frac{E_p}{N_p}$

বা, $\frac{E_s}{E_p} = \frac{N_s}{N_p}$ (১৩.৩)

অর্থাৎ, $E \propto N$ (১৩.৪)

এর অর্থ হলো কুন্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তি এদের পাক সংখ্যা সমানুপাতিক।

১৩.৩ নং সমীকরণ থেকে লেখা যায়,

$$E_s = \frac{N_s}{N_p} E_p$$

তাহলে, যদি $N_p > N_s$ হয় তবে $\frac{E_s}{E_p} < 1$ হবে, অর্থাৎ গৌণ কুন্ডলীতে কম আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি পাওয়া যাবে।

একে স্টেপ ডাউন ট্রান্সফরমার বলে।

আবার, যদি $N_s > N_p$ হয় তবে $\frac{E_s}{E_p} > 1$ হবে, অর্থাৎ গৌণ কুন্ডলীতে বেশী আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি পাওয়া যাবে।

একে স্টেপ আপ ট্রান্সফরমার বলে।

পূর্বেই আলোচনা হয়েছে যে ট্রান্সফরমার কোনো শক্তির পরিবর্তন করে না। তাই মোট ক্ষমতাও অপরিবর্তিত থাকে।

তাহলে, যদি গৌণ কুন্ডলীতে I_s তড়িৎ প্রবাহিত হয় তবে এর ক্ষমতা, $E_s \times I_s$

এবং মুখ্য কুন্ডলীর ক্ষমতা, $E_p \times I_p$

তাহলে শক্তির রক্ষণশীলতা অনুসারে, $E_s \times I_s = E_p \times I_p$

বা, $\frac{E_S}{E_P} = \frac{I_P}{I_S}$ (১৩.৫)

১৩.৫ নং সমীকরণ থেকে বলা যায়, স্টেপ আপ ট্রান্সফরমারে গৌণ কুন্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি মুখ্য কুন্ডলীর চেয়ে বেশী থাকলেও তড়িৎ প্রবাহ কম থাকে এবং স্টেপ ডাউন ট্রান্সফরমারে গৌণ কুন্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি মুখ্য কুন্ডলীর চেয়ে কম থাকলেও তড়িৎ প্রবাহ বেশী থাকে।

গাণিতিক উদাহরণ ১৩.১। একটি ট্রান্সফরমারের মুখ্য ও গৌণ কুন্ডলীর পাক সংখ্যার অনুপাত ২০:১। যদি মুখ্য কুন্ডলীতে বিভব ২২০V হয় তবে গৌণ কুন্ডলীতে কত বিভব পাওয়া যাবে?

সমাধান : আমরা জানি, $E_S = \frac{N_S}{N_P} E_P$

মান বসালে, $E_S = \frac{1}{20} \times 220V = 11V$

অতএব, গৌণ কুন্ডলীতে ১১V পাওয়া যাবে।

উত্তর: ১১V

দেয়া আছে,

$N_P : N_S = 20:1$

অতএব, $\frac{N_S}{N_P} = \frac{1}{20}$

$E_P = 220V$

$E_S = ?$



সার-সংক্ষেপ:

* ট্রান্সফরমারে মুখ্য কুন্ডলীর পাক সংখ্যা বেশী হলে সেটি স্টেপ ডাউন ট্রান্সফরমার হয়।

* ট্রান্সফরমারের গৌণ কুন্ডলীর পাক সংখ্যা বেশী হলে সেটি স্টেপ আপ ট্রান্সফরমার হয়।



পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১৩.৪

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (✓) চিহ্ন দিন।

১. স্টেপ ডাউন ট্রান্সফরমারের ক্ষেত্রে

- ক. কুন্ডলীদ্বয়ের পাক সংখ্যা সমান
- খ. মুখ্য কুন্ডলীর পাক সংখ্যা বেশী
- গ. গৌণ কুন্ডলীর পাক সংখ্যা বেশী
- ঘ. কুন্ডলীর পাক সংখ্যা কোনো বিষয় নয়

২. ট্রান্সফরমারের ক্ষেত্রে-

- i. মুখ্য ও গৌণ কুন্ডলীর মধ্যে চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তন সর্বদা সমান থাকে
- ii. মুখ্য ও গৌণ কুন্ডলীর পাক সংখ্যার অনুপাতের উপর স্টেপ আপ বা স্টেপ ডাউন হয়
- iii. কোর প্রকৃত পক্ষে মুখ্য ও গৌণ কুন্ডলীর মধ্যে চুম্বক ক্ষেত্র বজায় রাখে

নীচের কোনটি সঠিক?

- ক. i ও ii
- খ. ii ও iii.
- গ. i ও iii
- ঘ. i, ii ও iii



চূড়ান্ত মূল্যায়ন-১৩

বহু নির্বাচনি প্রশ্নঃ

১. সলিনয়েডের চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বৃদ্ধি করা যায়-

- i. পাকসংখ্যা বৃদ্ধি করে ii. তড়িৎ প্রবাহ বৃদ্ধি করে
iii. লোহার মজ্জা প্রবেশ করে

নীচের কোনটি সঠিক?

- ক. i ও ii খ. ii ও iii. গ. i ও iii ঘ. i, ii ও iii

● নীচের অংশটি পড়ে ২ ও ৩ নং প্রশ্নের উত্তর দিন।

একটি ট্রান্সফরমারের মুখ্য ও গৌণ কুন্ডলীর পাক সংখ্যা যথাক্রমে 1100 ও 110 এবং রোধ যথাক্রমে 5000Ω ও 50Ω

২. ট্রান্সফরমারটির ক্ষমতা কত?

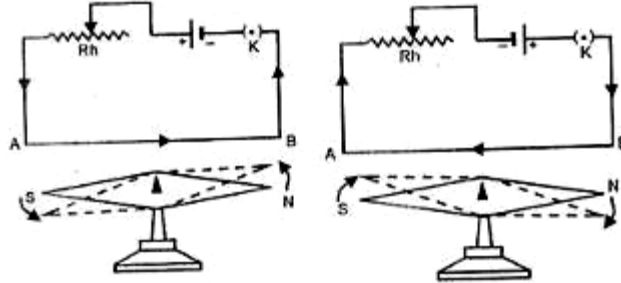
- ক. 96.8W খ. 48.4W গ. 9.68W ঘ. 4.84W

৩. গৌণ কুন্ডলীতে কত তড়িৎ প্রবাহিত হবে?

- ক. 0.44A খ. 1A গ. 4.4A ঘ. 10A

সৃজনশীল প্রশ্ন :

১. একজন শিক্ষার্থী চুম্বক ও ব্যাটারীর সাহায্যে নীচের চিত্রানুসারে পরীক্ষাটি সম্পন্ন করলো।



- ক. ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-জুল নিয়মটি লিখ।
খ. শিক্ষার্থী কার পরীক্ষণটি পরীক্ষা করেছে ব্যাখ্যা কর।
গ. পরীক্ষণের কী কী পরিবর্তন করলে বিক্ষেপ আরো বৃদ্ধি পাবে?
ঘ. ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-জুল নিয়মের সাহায্যে পরীক্ষণের ফলাফল বিশ্লেষণ কর।



বহু নির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরমালা:

পাঠোত্তর মূল্যায়ন ১৩.১	১। (ঘ)	২। (ঘ)
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ১৩.২	১। (ঘ)	২। (খ)
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ১৩.৩	১। (গ)	২। (খ)
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ১৩.৪	১। (খ)	২। (ঘ)

চূড়ান্ত মূল্যায়ন ১৩

১। (ঘ) ২। (গ) ৩। (ক)