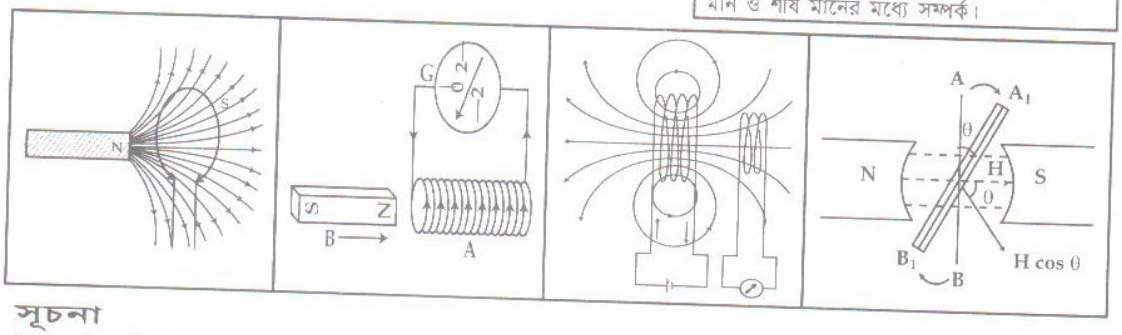
৫

তড়িৎ চৌম্বক আবেশ ও পরিবর্তী প্রবাহ

ELECTROMAGNETIC INDUCTION AND ALTERNATING CURRENT

প্রধান শব্দ (Key Words) : তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ, আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি, আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ, মুখ্য ও গৌণ কুণ্ডলী, ফ্যারাডের তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ সূত্রাবলি, লেনজ-এর সূত্র, স্বকীয় আবেশ, পারস্পরিক আবেশ, স্বকীয় আবেশ বা স্বাবেশ গুণাঙ্ক, পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক, স্বকীয় ও পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের একক, একমুখী প্রবাহ, পরিবর্তী প্রবাহ, দিক পরিবর্তী প্রবাহ সৃষ্টি, প্রবাহের গড়মান, শীর্ষ-মান, শক্তির গড় বর্গের বর্গমূল মান, গড়মান, আপাত মান ও শীর্ষ মানের মধ্যে সম্পর্ক।



সূচনা
Introduction

পদার্থবিজ্ঞানে তিনটি আবেশ আছে; যথা—

(ক) **চুম্বকবিদ্যায় চৌম্বকীয় আবেশ,**

(খ) **স্থির তড়িতে স্থির তড়িৎ আবেশ** এবং

(গ) **চল তড়িতে তড়িৎ-চৌম্বকীয় আবেশ।**

1819 খ্রিস্টাব্দে ওয়েরস্টেড আবিষ্কার করেন যে, তড়িৎ প্রবাহ চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে। তখন বিজ্ঞানীদের মনে কৌতূহল দেখা দিল—চৌম্বক ক্ষেত্র তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করতে পারে কী-না। 1831 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত বিজ্ঞানী **মাইকেল ফ্যারাডে** (Michael Faraday) এ কৌতূহলের অবসান ঘটান। তিনি আবিষ্কার করেন যে, চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারাও তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করা যায়। এর নামই **তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশ**। এ আবিষ্কারকে ভিত্তি করে **জেনারেটর** (Generator), **ট্রান্সফরমার** (Transformer) ও অন্যান্য বৈদ্যুতিক যন্ত্রপাতি আবিষ্কৃত হয়েছে।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- চুম্বকের সাহায্যে তড়িৎ শক্তি উৎপাদন বর্ণনা করতে পারবে।
- আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল সৃষ্টি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- ফ্যারাডের তাড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশের সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- লেনজ-এর সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- লেনজ-এর সূত্রের সাথে শক্তির নিত্যতার সূত্রের সম্পর্ক ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- স্বকীয় আবেশ ও পারস্পরিক আবেশ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- দিক পরিবর্তী প্রবাহ সৃষ্টির কৌশল ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- বর্গমূলীয় গড়মান, শীর্ষমান এবং প্রবাহ ব্যাখ্যা করতে পারবে।

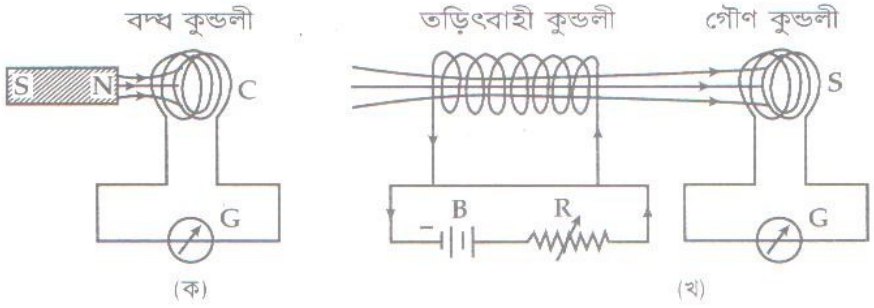
নিম্নে তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশ এবং এতদসংশ্লিষ্ট বিভিন্ন বিষয়াদি আলোচনা করা হলো।

৫·১ তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ
Electromagnetic induction

একটি চুম্বককে বাম হাতে ধরে রাখ, ডান হাতে একটি বন্ধ কুণ্ডলীকে চুম্বকের দিকে দ্রুত সরাও অথবা ডান হাতে বন্ধ কুণ্ডলীটিকে স্থির রেখে বাম হাতে রাখা চুম্বকটিকে কুণ্ডলীর দিকে সরিয়ে আন। আবার চুম্বক ও কুণ্ডলীকে

একসাথে পরস্পরের কাছে আন এবং দূরে সরাও। উভয় ক্ষেত্রে কী ঘটবে বলতে পার ? দেখা যাবে যে, বন্ধ কুণ্ডলীটিতে তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হবে। অর্থাৎ চৌম্বক ক্ষেত্রের সাহায্যে বন্ধ বর্তনী বা কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন করা যায়। একটি বন্ধ কুণ্ডলী বা বর্তনী এবং একটি চুম্বকের গতির ফলে এরূপ ঘটে। গতিশীল চুম্বক বা তড়িৎ বর্তনী দ্বারা কোনো বন্ধ বর্তনীতে তড়িচ্চালক শক্তি উৎপন্ন হওয়ার ঘটনাকে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ বলে।

অর্থাৎ **একটি গতিশীল চুম্বক কিংবা তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর প্রভাবে একটি বন্ধ তার কুণ্ডলীতে ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তি এবং তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হওয়ার পদ্ধতিকে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ বলে।** বন্ধ তার কুণ্ডলীতে [চিত্র ৫·১ (ক)-এ C] বা গৌণ কুণ্ডলীতে [চিত্র ৫·১ (খ)-এ S] একটি গ্যালভানোমিটার স্থাপন করলে তড়িৎ প্রবাহের অস্তিত্ব বুঝা যাবে। যদি তড়িৎবাহী কুণ্ডলী কিংবা চুম্বক NS স্থির থাকে তবে বন্ধ কুণ্ডলী C বা S-এ কোনো তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হবে না।



চিত্র ৫·১

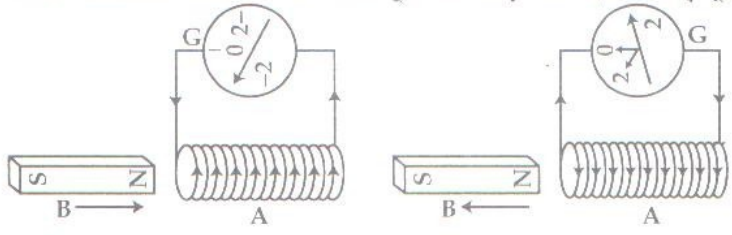
বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করতে হলে চুম্বক কিংবা তড়িৎবাহী কুণ্ডলী এবং বন্ধ কুণ্ডলীর মধ্যে একটি **আপেক্ষিক গতি** বজায় রাখতে হবে। ফলে বন্ধ কুণ্ডলীতে চৌম্বক বলরেখার হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটবে এবং তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হবে। এভাবে সৃষ্ট ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তিকে **আবিষ্ট তড়িচ্চালক** শক্তি (Induced electromotive force) এবং ক্ষণস্থায়ী তড়িৎ প্রবাহকে **আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ** (Induced current) বলে। কাজেই **কোনো বন্ধ বর্তনীতে তড়িৎ-চৌম্বক আবেশে সৃষ্ট ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তিকে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি এবং প্রবাহকে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ বলে।** তড়িৎবাহী কুণ্ডলীকে **মুখ্য কুণ্ডলী** (Primary coil) বলে। যে তারের কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয়, তাকে **গৌণ কুণ্ডলী** (Secondary coil) বলে। মনে রাখতে হবে যে, এ ক্ষেত্রে গৌণ কুণ্ডলীর সাথে চুম্বকের বা মুখ্য কুণ্ডলীর কোনো সরাসরি সংযোগ থাকে না।

উল্লেখ্য, **তড়িৎবাহী কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ মাত্রা অসম হলে বন্ধ কুণ্ডলী ও তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর মধ্যে আপেক্ষিক গতি না থাকলেও বন্ধ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি দেখা দিবে।**

৫·২ চুম্বকের সাহায্যে তড়িৎশক্তি উৎপাদন
Production of electricity by a magnet

আমরা আগেই জেনেছি চুম্বক এবং কুণ্ডলীর পারস্পরিক গতির ফলে তড়িৎশক্তি উৎপন্ন হয়। বিজ্ঞানী ফ্যারাডে অবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপাদন নিম্নের পরীক্ষার সাহায্যে সর্বপ্রথম উপস্থাপন করেন।

মনে কর NS একটি দণ্ড চুম্বক, A একটি বহুপাকবিশিষ্ট বন্ধ তার কুণ্ডলী যার সাথে গ্যালভানোমিটার G যুক্ত আছে [চিত্র ৫·২]। গ্যালভানোমিটারের কাঁটার বিক্ষেপ দেখে কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের অস্তিত্ব বুঝা যায়। সূক্ষ্ম অন্তরীত



চিত্র ৫·২

তার দিয়ে কুণ্ডলী তৈরি। এবার চুম্বকের উত্তর মেরুকে ধীরে ধীরে কুণ্ডলীর প্রান্তের দিকে নিয়ে গেলে দেখা যাবে যে, গ্যালভানোমিটারের কাঁটা বিক্ষিপ্ত হচ্ছে [চিত্র ৫·২ (ক)]। সুতরাং বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের অস্তিত্ব প্রমাণ করা

যায়। ঐ একই মেরুকে কুণ্ডলী থেকে দূরে সরিয়ে নিয়ে গেলেও গ্যালভানোমিটারের কাঁটা বিপরীত দিকে বিক্ষিপ্ত হয় [চিত্র ৫·২(খ)]।

চুম্বককে থামালে গ্যালভানোমিটারের কাঁটা 0-তে স্থিরাবস্থায় ফিরে আসবে। সুতরাং প্রমাণিত হয় যে, **যতক্ষণ চুম্বক এবং কুণ্ডলীর মধ্যে আপেক্ষিক গতি থাকে ততক্ষণই আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ চলে তড়িৎ শক্তি উৎপাদন করে।**

চুম্বককে দ্রুত বন্ধ কুণ্ডলী হতে দূরে আনলে কিংবা দ্রুত কুণ্ডলীর দিকে আনলে তড়িৎ প্রবাহ তীব্র হয়। **আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা চুম্বক এবং কুণ্ডলীর আপেক্ষিক বেগের উপর নির্ভর করে।**

চুম্বকের উত্তর মেরুর পরিবর্তে দক্ষিণ মেরু দ্বারা উপরোক্ত পদ্ধতিসমূহ পুনরাবৃত্তি করলে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ প্রত্যেক ক্ষেত্রে উল্টে যাবে। চুম্বককে স্থির রেখে কুণ্ডলীকে ধীরে ধীরে কিংবা দ্রুত চুম্বকের দিকে কিংবা চুম্বক হতে দূরে সরালে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয়।

চুম্বকের দিক হতে তাকালে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ অভিমুখে যেরূপ দেখা যাবে তা নিম্নলিখিত সারণিতে লিপিবদ্ধ করা হলো :

সারণি-১

কুণ্ডলী সাপেক্ষে চুম্বক মেরুর গতি	আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ
N-মেরু নিকটে আনলে	বামাবর্তী
N-মেরু দূরে সরিয়ে নিলে	দক্ষিণাবর্তী
S-মেরু নিকটে আনলে	দক্ষিণাবর্তী
S-মেরু দূরে সরিয়ে নিলে	বামাবর্তী

কাজ : উপরের পরীক্ষা থেকে উপলব্ধি করে বল কী কী বিষয়ের পরিবর্তনে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায়?

(i) কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল এবং পাক সংখ্যা বৃদ্ধি পেলে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায়।
(ii) ব্যবহৃত চুম্বকের মেরুশক্তি বাড়লে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায়।
(iii) চুম্বক ও কুণ্ডলীর আপেক্ষিক গতি বৃদ্ধি করলে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায়।
(iv) কুণ্ডলীর অভ্যন্তরে কাঁচা লোহার মজ্জা থাকলে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায়।

হাতে কলমে করে দেখ : একটি ধাতব তারের কুণ্ডলী একটি অসম চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থির অবস্থায় আছে। কুণ্ডলীতে কোনো তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে কি?

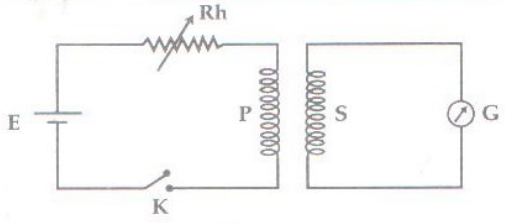
কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে। তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের নিয়ম অনুযায়ী কোনো বন্ধ কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তন হলে কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বলের সৃষ্টি হয়। চৌম্বক ক্ষেত্র অসম হওয়ায়, ক্ষেত্রের চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তন করে। এরূপ পরিবর্তিত চৌম্বক প্রবাহে তার কুণ্ডলী স্থির অবস্থায় থাকায় কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে।

৫·৩ আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল
Induced Electromotive Force

চৌম্বক ক্ষেত্রে কীভাবে একটি বন্ধ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয় তা আমারা জেনেছি। কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের উপস্থিতিই প্রমাণ করে যে, এতে একটি তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়েছে। কুণ্ডলীটি বন্ধ না হয়ে এর প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে কিছুটা ফাঁক অর্থাৎ ছোট বায়ুছেদ (air gap) থাকলেও আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের অস্তিত্ব বজায় থাকে। কিন্তু উহা তড়িৎ প্রবাহ চালনা করতে পারে না। এখন আমরা দেখব আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল বলতে আমরা কী বুঝি ?

তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশের ফলে সৃষ্ট ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক বলকে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল এবং ক্ষণস্থায়ী তড়িৎ প্রবাহকে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ (Induced Current) বলে। কোন বন্ধ বর্তনীতে তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশে সৃষ্ট ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক বলকে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল এবং প্রবাহকে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ বলে।

পরীক্ষণ : তড়িৎ প্রবাহ দ্বারা আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন করতে পরীক্ষণটি কর। একটি ব্যাটারী পরিবর্তনশীল রোধ এবং চাবি এবং একটি কুণ্ডলীকে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে একটি বন্ধ বর্তনী তৈরি কর।
আবার অন্য একটি কুণ্ডলীকে একটি গ্যালভানোমিটারের সাথে শ্রেণিতে যুক্ত করে আর একটি বন্ধ বর্তনী তৈরি কর। এবার বর্তনী দুটি পাশাপাশি এমনভাবে স্থাপন কর যাতে কুণ্ডলী দুটি খুব কাছাকাছি অবস্থান করে [চিত্র ৫·৩] অথচ পরস্পরকে স্পর্শ করবে না। এক্ষেত্রে উল্লেখিত P কুণ্ডলীকে মুখ্য এবং S কুণ্ডলীকে গৌণ কুণ্ডলী বলে।



চিত্র ৫·৩

K সুইচটি ঘন ঘন অফ-অন করলে P এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চালু এবং বন্ধ হতে থাকবে এবং গ্যালভানোমিটারের দিকে তাকালে দেখা যাবে যে, গ্যালভানোমিটারের কাঁটাটি বিক্ষিপ্ত হচ্ছে। আবার সুইচ অন বা অফ করে S কুণ্ডলীযুক্ত বর্তনীকে দূর থেকে P কুণ্ডলীর দিকে অথবা কুণ্ডলী থেকে দূরে সরিয়ে নিলেও গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ দেখা যায়। এক্ষেত্রে উৎপন্ন এই তড়িৎ আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের জন্য সৃষ্টি হয়। আবার সুইচ অফ করলে বা কুণ্ডলীযুক্ত বর্তনীকে স্থির রেখে দিলে গ্যালভানোমিটারে কোনো বিক্ষেপ দেখা যাবে না। এক্ষেত্রে কোন তড়িচ্চালক শক্তি উৎপন্ন হবে না।

৫·৪ ফ্যারাডের তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশের সূত্রাবলি
Faraday's Laws of electro-magnetic induction

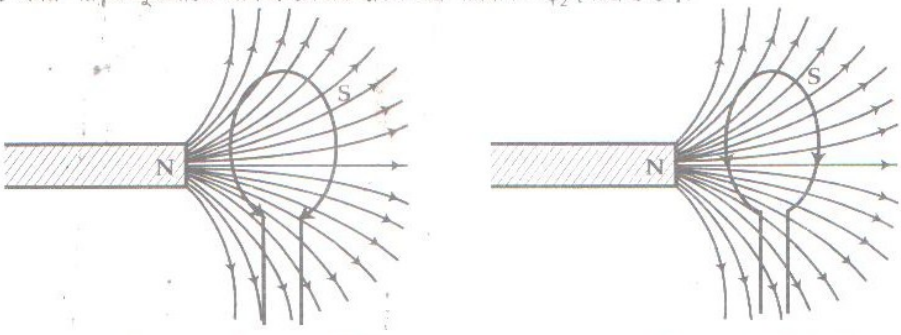
1831 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত বিজ্ঞানী ফ্যারাডে তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশের দুটি সূত্র আবিষ্কার করেন। তাঁর নামানুসারে এদেরকে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের ক্ষেত্রে ফ্যারাডের সূত্র বলে। সূত্রগুলো নিম্নে বিবৃত হলো—

প্রথম সূত্র : যখনই কোনো বন্ধ তার কুণ্ডলীতে আবদ্ধ চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা বা চৌম্বক ফ্লাক্স-এর পরিবর্তন ঘটে তখনই উক্ত কুণ্ডলীতে একটি তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়।

ব্যাখ্যা : একটি দণ্ড চুম্বক বা একটি তড়িৎবাহী তার কুণ্ডলী [চিত্র ৫·৪ (ক) ও (খ)] এবং একটি বন্ধ গৌণ তার কুণ্ডলীর মধ্যে আপেক্ষিত গতি থাকলে অথবা একটি গৌণ কুণ্ডলীর মধ্যে একটি তড়িৎবাহী তার কুণ্ডলী রেখে তড়িৎ প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন করলে গৌণ কুণ্ডলীর সাথে জড়িত চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার সংখ্যার পরিবর্তন ঘটে এবং এর ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। সময়ের সাথে তার কুণ্ডলীতে সংযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার সংখ্যার পরিবর্তন না হলে, আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহও উৎপন্ন হয় না।

দ্বিতীয় সূত্র : তার কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির মান সময়ের সাথে কুণ্ডলী দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার সংখ্যা বা চৌম্বক ফ্লাক্স-এর পরিবর্তনের হারের সমানুপাতিক।

ব্যাখ্যা : মনে করি কোনো মুহূর্তে কুণ্ডলীতে আবদ্ধ চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার সংখ্যা বা চৌম্বক ফ্লাক্স-এর পরিমাণ $= \varphi_1$। ধরি t সময় পর এ কুণ্ডলীতে আবদ্ধ চৌম্বক ফ্লাক্স-এর পরিমাণ $= \varphi_2$ [চিত্র ৫·৪]।



(ক) কোনো এক সময় কুণ্ডলীতে আবদ্ধ ফ্লাক্স $= \varphi_1$

(খ) t সময় পরে কুণ্ডলীতে আবদ্ধ ফ্লাক্স $= \varphi_2$

চিত্র ৫·৪

E আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি হয়, তবে দ্বিতীয় সূত্র হতে পাই,

$$E \propto \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{t} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.1)$$

যদি $\varphi_2 - \varphi_1 = \varphi$ হয়, তবে $E \propto \frac{\varphi}{t}$

বা, $E = K\frac{\varphi}{t}$ ... ... (5.2)

এখানে K একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক যার মান পরিমাপের এককের ওপর নির্ভর করে। যদি φ ওয়েবারে, সময় t সেকেন্ডে এবং আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি E ভোল্টে অর্থাৎ প্রাকৃতিক রাশিগুলো এস. আই. এককে প্রকাশ করা হয়, তবে $K = 1$

∴ সমীকরণ (5.2) হতে পাই, $E = \frac{\varphi}{t}$ ... ... (5.3)

ক্যালকুলাসের সাহায্যে এই সূত্রকে প্রকাশ করা যায়। যদি dt সময়ে ফ্লাক্স-এর পরিবর্তন $d\varphi$ হয়, তবে

$E = \frac{d\varphi}{dt}$ ... ... (5.4)

যদি কুণ্ডলীতে N সংখ্যক পাক থাকে, তবে

$E = \frac{d}{dt}(N\varphi) = N\frac{d\varphi}{dt}$ ... ... (5.5)

ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্রের গাণিতিক রূপ দেন নিউম্যান তাই এটি নিউম্যান-এর সূত্র (Newmann's law) নামেও পরিচিত।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা 100। একে একটি চুম্বকের নিকট হতে 0·04 s-এ সরিয়ে প্রতিটি পাকের চৌম্বক ফ্লাক্স 30×10^{-5} Wb হতে 2×10^{-5} Wb-এ পরিণত করা হয়। কুণ্ডলীটিতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি নির্ণয় কর। [য. বো. ২০০০]

আমরা জানি,

$E = \frac{d}{dt}(N\phi_B)$

$E = \frac{100 \times (30 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-5})}{0{\cdot}04}$

$= \frac{100 \times 28 \times 10^{-5}}{0{\cdot}04} = 0{\cdot}7$ Volt

এখানে,

$N = 100$ পাক

$dt = 0{\cdot}04$ s

$d\phi_B = (30 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-5})$ Wb

$E = ?$

২। 100 পাক সংখ্যা এবং 20 cm ব্যাসবিশিষ্ট একটি তার কুণ্ডলীকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে এরূপভাবে রাখা হলো যে, কুণ্ডলীর তল চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব। চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য 5×10^{-2} s-এ সুষমভাবে 0·1 T হতে 0·3 T তে পরিবর্তিত হলো। এতে তার কুণ্ডলীতে কত তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হবে ?

কুণ্ডলী তলের ক্ষেত্রফল, $A = \pi r^2 = \pi(0{\cdot}1)^2$ m^2

মোট ফ্লাক্স পরিবর্তন, $d\varphi = nA(B_2 - B_1)$

$= 100 \times (\pi \times 0{\cdot}1)2\,(0{\cdot}3 - 0{\cdot}1)$ W

∴ আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল $= \frac{\text{ফ্লাক্স পরিবর্তন}}{\text{সময়}} = \frac{d\varphi}{dt}$

$= \frac{100 \times (\pi \times 0{\cdot}1)2 \times 0{\cdot}2}{5 \times 10^{-2}} = 12{\cdot}6$ V

এখানে,

পাক সংখ্যা, $n = 100$

ব্যাসার্ধ $= \frac{\text{ব্যাস}}{2} = \frac{20\text{ cm}}{2}$

$= \frac{0{\cdot}2\text{ m}}{2} = 0{\cdot}1$ m

সময়, $dt = 5 \times 10^{-2}$ s

$B_1 = 0{\cdot}1$ T

$B_2 = 0{\cdot}3$ T

৫·৫ লেন্‌জ-এর সূত্র
Lenz's law

কোনো কুণ্ডলীতে কখন কিভাবে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় তা ফ্যারাডের সূত্র হতে আমরা জেনেছি যা ফ্যারাডের তড়িৎচুম্বক আবেশ সূত্র নামে পরিচিত। তবে বিজ্ঞানী লেন্‌জ তড়িচ্চালক বলের ফলে সৃষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ কোন দিকে হবে সে সম্পর্কে সূত্র প্রদান করেন এবং যথাযথ ব্যাখ্যা দেন। এ সূত্রকে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের দিকের ক্ষেত্রে লেন্‌জ-এর সূত্র বলা হয়। সূত্রটি নিম্নরূপ—

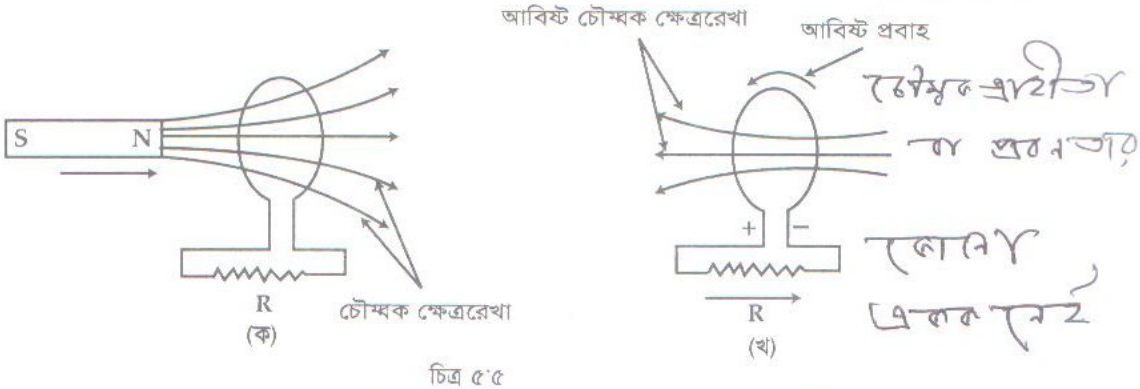
সূত্র : তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের সময় আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক এমন হয় যে চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের জন্য আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয় সেই চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনকেই বাধা প্রদান করে। অন্যভাবে বলা যায়, **আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িৎ প্রবাহের দিক এমন হয় যে এটি উৎপন্ন হওয়ার মূল কারণের বিরুদ্ধে ক্রিয়া করে।**

সমীকরণ (5.3) ও (5.4)-এ একটি ঋণাত্মক চিহ্ন বসিয়ে এ বিরোধিতা নির্দেশ করা হয়।

ব্যাখ্যা : নিম্নের উদাহরণ দিয়ে লেন্‌জের সূত্র ব্যাখ্যা করা হবে।

(১) মনে করি একটি দণ্ড চুম্বক NS-এর উত্তর মেরু N-কে একটি তার কুণ্ডলীর দিকে আনা হচ্ছে [চিত্র ৫·৫ (ক)]। কুণ্ডলীর সঙ্গে বহিস্থ বর্তনীতে একটি রোধ R সংযোগ দেওয়া হয়েছে।

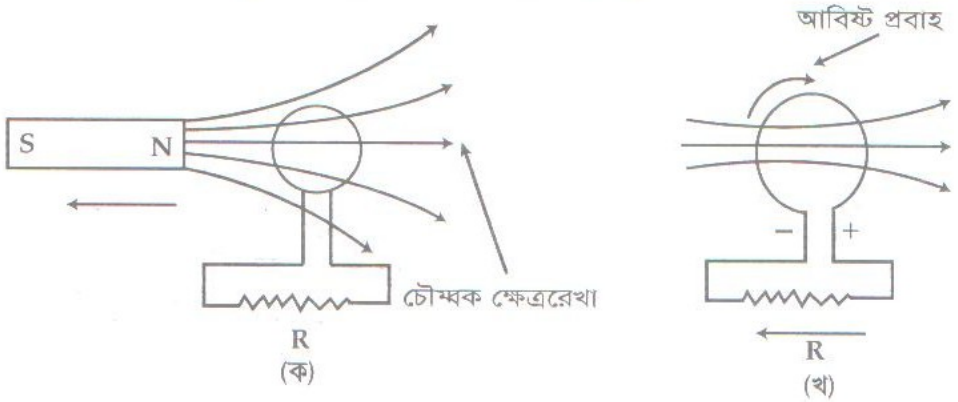
দণ্ড চুম্বকটি কুণ্ডলীর যত সন্নিকটে আনা হবে, কুণ্ডলীতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান তত বৃদ্ধি পাবে। এর ফলে কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স বা ক্ষেত্ররেখার সংখ্যাও বৃদ্ধি পাবে। এখন লেন্‌জের সূত্র অনুসারে



চিত্র ৫·৫

কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র চৌম্বক ফ্লাক্স-এর পরিবর্তন প্রতিরোধ করবে। চৌম্বক ফ্লাক্স-এর পরিবর্তন প্রতিরোধ করার জন্য আবিষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ অবশ্যই দণ্ড চুম্বকে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের বিপরীত হবে। চিত্রে যেহেতু দণ্ড চুম্বকের ক্ষেত্ররেখা বাম থেকে ডানে কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে অতিক্রম করছে; সুতরাং আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে ডান থেকে বামে অতিক্রম করবে [চিত্র ৫·৫ (খ)]। এ ধরনের আবিষ্ট ক্ষেত্র সৃষ্টির জন্য কুণ্ডলীতে আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ (ডান হস্ত নিয়ম অনুসারে) অবশ্যই বামাবর্তী (counter clockwise) হতে হবে। কুণ্ডলীটি একটি ব্যাটারীর ন্যায় তড়িচ্চালক শক্তির উৎস হিসেবে কাজ করবে। তড়িচ্চালক শক্তির ধনাত্মক ও ঋণাত্মক প্রান্ত চিত্রের অনুরূপ হবে।

চুম্বক দণ্ডটি কুণ্ডলী থেকে দূরে সরিয়ে নেয়া হলে বিপরীত ঘটনা ঘটবে। অর্থাৎ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা বা ফ্লাক্সের হ্রাস ঘটবে [চিত্র ৫·৬ (ক)]। লেন্‌জের সূত্র অনুসারে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের



চিত্র ৫·৬

জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ এমন হবে যেন ফ্লাক্সের হ্রাস বাধা দেয়। আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ এক্ষেত্রে দক্ষিণাবর্তী (clockwise) হবে [চিত্র ৫·৬ (খ)]।

অতএব, ফ্যারাডে ও লেনজ্-এর সূত্রের সমন্বয় করে আমরা পাই,

$$E = -\varphi/t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.6)$$

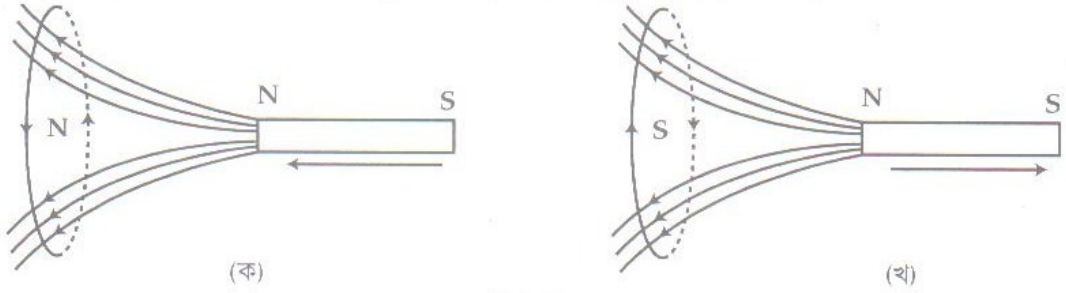
বা, $$E = -\frac{d\varphi}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.7)$$

এখানে ঋণাত্মক চিহ্ন E এবং φ/t বা $\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)$ পরস্পরের বিপরীত অভিমুখে ক্রিয়া করে বুঝায়।

৫·৬ লেনৃজ-এর সূত্র ও শক্তির নিত্যতা সূত্র
Lenz's Law and Principle of Conservation of Energy

মনে করি একটি দণ্ড চুম্বক NS-এর উত্তর মেরু N-কে একটি তার কুণ্ডলীর দিকে আনা হচ্ছে। ফলে ঐ মেরুর সম্মুখের কুণ্ডলীর তলটি সমমেরুর ন্যায় আচরণ করে অর্থাৎ বিকর্ষণ বল দ্বারা ঐ আবেশী মেরুর অগ্রসরে বাধা দেয়। আবার আবেশী মেরুকে দূরে সরালে আবিষ্ট প্রবাহ বিপরীত দিকে চলে, ফলে কুণ্ডলীর নিকট তল বিপরীত মেরুর ন্যায় আচরণ করে অর্থাৎ আবেশী মেরুর ওপর আকর্ষণ দ্বারা চৌম্বক ফ্লাক্স-এর হ্রাসের বিরোধিতা করে।

প্রথম ক্ষেত্রে দণ্ড চুম্বকটি কুণ্ডলীর দিকে অগ্রসরমান হওয়ায় [চিত্র ৫·৭ (ক)], কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্সের বা ক্ষেত্ররেখার সংখ্যা বৃদ্ধি পেতে থাকে এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে দণ্ড চুম্বকটি পশ্চাদগামী হওয়ায় [চিত্র ৫·৭ (খ)] কুণ্ডলী থেকে দূরে সরে যায়, ফলে কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে অতিক্রান্ত আবেশ রেখা বা ক্ষেত্র রেখার সংখ্যা কমতে থাকে। উভয় ক্ষেত্রেই কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের দিক এমন হয় যে কুণ্ডলীর অগ্রগমন এবং প্রত্যাগমনকে বাধা প্রদান করে। দণ্ড চুম্বকটি স্থির রেখে কুণ্ডলীটি চুম্বকের কাছে বা দূরে সরালেও অনুরূপ ঘটনা ঘটবে। অর্থাৎ দণ্ড চুম্বক বা কুণ্ডলীর যে কোনোটিতে আপেক্ষিক গতির সৃষ্টি হলে কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হবে।



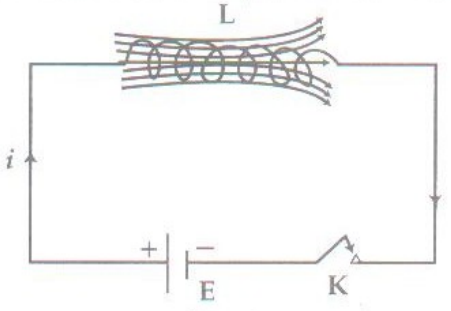
চিত্র ৫·৭

আমরা জানি, কোনো কুণ্ডলী বা বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করার জন্য তড়িৎ শক্তির উৎস (যেমন তড়িৎ কোষ) প্রয়োজন। অথচ এক্ষেত্রে কুণ্ডলীর সঙ্গে কোনো তড়িৎ উৎসের সংযোগ নেই; তথাপি কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়েছে। এ থেকে আপাত মনে হওয়া স্বাভাবিক যে কোনো শক্তি ব্যয় না করেই কুণ্ডলীতে তড়িৎ শক্তি সৃষ্টি হয়েছে। এটা শক্তির নিত্যতা সূত্রের সম্পূর্ণ পরিপন্থী। কিন্তু শক্তির নিত্যতা সূত্র অনুসারে শক্তির সৃষ্টি বা বিনাশ হয় না। শুধু রূপান্তর হয় মাত্র। একটু লক্ষ করলেই বোঝা যাবে যে এটি শক্তির নিত্যতা সূত্রের পরিপন্থী নয়। কেননা দণ্ড চুম্বকটি যখন কুণ্ডলীর দিকে অগ্রসর হয় তখন কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ উদ্ভবের ফলে কুণ্ডলীর সম্মুখ তলে সমমেরু সৃষ্টি হয় যা বিকর্ষণ বলের কারণে কুণ্ডলীর অগ্রসরকে বাধা দেয়। আবার চুম্বকের N-মেরু কুণ্ডলী থেকে প্রত্যাগমনের সময় কুণ্ডলীর সম্মুখ তলে বিপরীত দক্ষিণ মেরুর উদ্ভব হওয়ায় কুণ্ডলী ও চুম্বকের মধ্যে আকর্ষণ বল ক্রিয়া করে। সুতরাং, অগ্রগমনের সময় বিকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে এবং প্রত্যাগমনের সময় আকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কাজ করতে হয়। এ কাজ করার জন্য যান্ত্রিক শক্তির প্রয়োজন হয় যা রূপান্তরিত হয়ে কুণ্ডলীতে তড়িৎ শক্তি সৃষ্টি করে। ফলে কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ ঘটে। সুতরাং, দেখা যাচ্ছে, **তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের ক্ষেত্রে লেনৃজ-এর সূত্র শক্তির নিত্যতা সূত্র মেনে চলে।**

৫·৭ স্বকীয় আবেশ ও পারস্পরিক আবেশ
Self Induction and Mutual Induction

স্বকীয় আবেশ
Self Induction

যখন কোনো বন্ধ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হয় তখন ঐ প্রবাহ চৌম্বক ক্ষেত্র উৎপন্ন করে এবং কুণ্ডলী নিজে ঐ চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার দ্বারা জড়িত হয়ে পড়ে। কাজেই ঐ কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন ঘটলে কুণ্ডলীর সাথে জড়িত বা কুণ্ডলী দিয়ে অতিক্রমকারী চৌম্বক ক্ষেত্ররেখারও পরিবর্তন ঘটে এবং কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হয় যা মূল তড়িৎ প্রবাহের এ পরিবর্তনকে বাধা দেয়। একে **স্বকীয় আবেশ** বলে।



চিত্র ৫·৮

চিত্র ৫·৮-এ একটি কুণ্ডলী L, তড়িৎ কোষ E ও টেপা চাবি K দ্বারা একটি তড়িৎ বর্তনী দেখানো হয়েছে। টেপা চাবি চেপে ধরলে বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ শুরু হয় এবং নির্দিষ্ট স্থির মানে পৌঁছায়। এই স্থির মানে পৌঁছতে '0' হতে 't' সময় লাগে। বর্তনী চালু থেকে t সময় পর্যন্ত কুণ্ডলীর ভেতর তড়িৎ প্রবাহের বৃদ্ধির জন্য চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা বা ফ্লাক্সের বৃদ্ধি হয়, ফলে ফ্যারাডের

সূত্রানুযায়ী কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়, যা মূল তড়িৎ প্রবাহকে বাধা দেয়। তড়িৎ প্রবাহ স্থির মানে পৌঁছালে কুণ্ডলীতে ফ্লাক্সের পরিবর্তন হয় না বিধায় আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ থাকে না। আবার, টেপা চাবি উঠিয়ে নিলে অর্থাৎ বর্তনীর সংযোগ বিচ্ছিন্ন করলে মূল তড়িৎ প্রবাহ শূন্য মানে নেমে আসতে কিছু সময় লাগে। এ সময়ে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়, যা মূল প্রবাহের সমদিকে হওয়ায় মূল প্রবাহ হ্রাসে বাধা দেয়। উপরোক্ত ঘটনাকে **স্বকীয় আবেশ বা স্বাবেশ** বলে।

অর্থাৎ **একটি মাত্র বন্ধ কুণ্ডলীতে অসম তড়িৎ প্রবাহের দরুন চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের ফলে অথবা কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রে বন্ধ কুণ্ডলীর গতির ফলে যে তড়িৎ চৌম্বক আবেশ ঘটে তাকে স্বকীয় আবেশ বলে।**

স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বা স্বাবেশ গুণাঙ্ক
Coefficient of self induction or self inductance

পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেছে যে, কোনো কুণ্ডলী দ্বারা আবদ্ধ অর্থাৎ কুণ্ডলী দিয়ে অতিক্রমকারী চৌম্বক ফ্লাক্স ঐ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহের সমানুপাতিক।

মনে করি কোনো কুণ্ডলীতে i তড়িৎ প্রবাহের জন্য আবদ্ধ চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিমাণ φ

$\therefore$ আমরা পাই, $\phi \propto i$

বা, $\boxed{\varphi = Li}$ ... ... (5.8)

এখানে L একটি ধ্রুবক। একে স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বলে। কুণ্ডলীর জ্যামিতিক গুণনীয়ক (geometrical factor) এবং মাধ্যমের চৌম্বক প্রবেশ্যতার উপর এর মান নির্ভর করে।

এখন ভাষায় L-এর সংজ্ঞা দেয়া যাক।

যদি $i = 1$ (একক) হয়, তবে সমীকরণ (5.8) হতে পাই, $\varphi = L$

অতএব, **কোনো কুণ্ডলীর মধ্যে একক তড়িৎ প্রবাহ চললে তার মধ্যে যে পরিমাণ চৌম্বক ফ্লাক্স অবস্থান করে তাকে ঐ কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বলে।**

আবার, ফ্যারাডের সূত্রানুসারে,

$$E = -\frac{d\phi}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.9)$$

$$\therefore \quad E = -\frac{d}{dt}(Li) = -L\frac{di}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.10)$$

ঋণাত্মক চিহ্ন বুঝায় যে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি সর্বদা প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনের বিরোধিতা করে।

সমীকরণ (5.10) হতে L-এর সংজ্ঞা দেয়া যায়।

$\boxed{E = L\frac{di}{dt}}$ [ঋণ চিহ্ন অগ্রাহ্য করে]

বা, $L = \frac{E}{di/dt}$ ... ... (5.11)

এখন $\frac{di}{dt} = 1$ হলে, $L = E$ ... ... (5.12)

অতএব **কোনো একটি কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা প্রতি সেকেণ্ডে এক একক পরিবর্তিত হলে ঐ কুণ্ডলীতে যে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি উৎপন্ন হয় তাকে ঐ কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বলে।**

স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের একক : স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের এস. আই. একক হেনরি (Henry)।

1 হেনরি : কোনো কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা প্রতি সেকেণ্ডে এক অ্যাম্পিয়ার হিসেবে পরিবর্তিত হলে যদি ঐ কুণ্ডলীতে এক ভোল্ট তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয় তবে কুণ্ডলীর আবেশ গুণাঙ্ককে 1 হেনরি বলে।

অতএব, সংজ্ঞানুসারে, 1 হেনরি $= \frac{1 \text{ ভোল্ট}}{1 \text{ অ্যাম্পিয়ার/সে.}} = 1\frac{\text{ভোল্ট-সেকেণ্ড}}{\text{অ্যাম্পিয়ার}}$ $\boxed{(\text{V-s/A})}$

হেনরি একক খুব বড় মানের হওয়ায় মিলি-হেনরি ও মাইক্রো-হেনরি এককও ব্যবহার করা হয়।

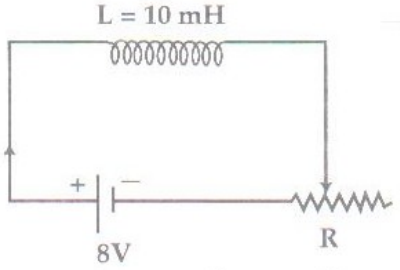
1 হেনরি = 10^3 মিলি-হেনরি = 10^6 মাইক্রো-হেনরি

1 মিলি-হেনরি = 10^{-3} হেনরি

1 মাইক্রো-হেনরি = 10^{-6} হেনরি।

অনুশীলন কাজ : চিত্রে প্রদর্শিত বর্তনীতে 8V ব্যাটারীর সাথে 10 mH স্বাবেশাঙ্কের একটি আবেশক L এবং একটি পরিবর্তনশীল রোধ R যুক্ত আছে। ঐ রোধের ভ্রাম্যমাণ তড়িৎ সংযোগ বিন্দুকে ডান দিকে সরালে রোধের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। চিত্রে যেভাবে দেখানো আছে, সেই অবস্থায় রোধ 16Ω। ঐ মুহূর্তে বর্তনীর প্রবাহ 0·5A অপেক্ষা বেশি হবে না কম হবে ?

ভ্রাম্যমাণ বিন্দুকে সরালে বর্তনীর প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন হবে। তড়িৎচুম্বকীয় সূত্রানুসারে আবেশক-এ তড়িচ্চালক বলের উৎপত্তি হবে। প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনের হার $\frac{di}{dt}$ হলে, আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল $E = -L\frac{di}{dt}$। ফলে বর্তনীর নীট তড়িচ্চালক বল হবে $= (8V - L\frac{di}{dt})$ এবং ঐ



মুহূর্তে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা $= \left(\frac{8V - L\frac{di}{dt}}{16\Omega}\right)$ ... ... (i)

তাই ভ্রাম্যমাণ সংযোগ বিন্দুকে ডান দিকে সরাতে থাকলে, বর্তনীর রোধ ক্রমশ বৃদ্ধি পাবে অথবা বর্তনীর প্রবাহমাত্রা ক্রমশ হ্রাস পাবে অর্থাৎ $\frac{di}{dt}$ ঋণাত্মক হবে। ফলে (i)নং সমীকরণের লব 8V অপেক্ষা বেশি হবে এবং ঐ মুহূর্তে বর্তনীর প্রবাহামাত্রা $i = \frac{8V}{16\Omega} = 0{\cdot}5A$ অপেক্ষা বেশি হবে।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি কুণ্ডলীতে 1·015 s সময়ে তড়িৎ প্রবাহ 0·1A থেকে 0·5A-তে পরিবর্তিত হওয়ার দরুন ঐ কুণ্ডলীতে 10V তড়িৎ চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীটির স্বকীয় আবেশাংক নির্ণয় কর।

[রা. বো. ২০১১; কু. বো. ২০০৯; চ. বো. ২০০৩; ঢা. বো. ২০০০]

আমরা জানি,

$E = L\frac{di}{dt}$

$\therefore \quad 10 = L \times \frac{0{\cdot}4}{1{\cdot}015}$

$\therefore \quad L = \frac{10 \times 1{\cdot}015}{0{\cdot}4}$

$= 25{\cdot}375$ Henry

এখানে,

$E = 10$ V

$di = (0{\cdot}5A - 0{\cdot}1A) = 0{\cdot}4A$

$dt = 1{\cdot}015$ s

২। 100 পাকবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীতে 4A তড়িৎ প্রবাহ চালালে 0·02 Wb চৌম্বক ফ্লাক্স উৎপন্ন হয়। কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

[য. বো. ২০০৫]

$\varphi = Li$

বা, $L = \frac{\varphi}{i}$

$= \frac{2}{4} = 0{\cdot}5$ Henry

এখানে,

$N = 100$

$\therefore \quad \varphi = 100 \times 0{\cdot}02$ Wb $= 2$ Wb

$i = 4A$

$L = ?$

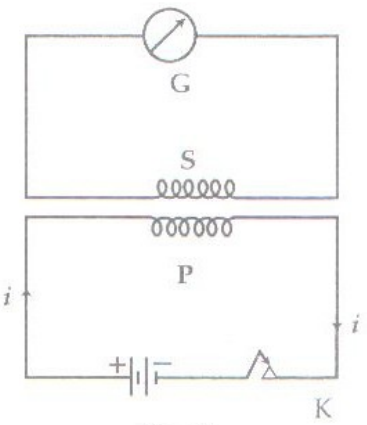
কাজ : একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর অক্ষ বরাবর একটি বেলনাকার দণ্ড চুম্বক রাখা আছে। চুম্বকটিকে উহার নিজ অক্ষের সাপেক্ষে ঘুরালে ঐ কুণ্ডলীতে কোনো তড়িৎ প্রবাহ আবিষ্ট হবে কী ? যুক্তিসহ ব্যাখ্যা কর।

পারস্পরিক আবেশ
Mutual Induction

দুটি কুণ্ডলী পাশাপাশি অবস্থানে রেখে একটির ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন ঘটালে অপর কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হয় এবং দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হয়। এ ঘটনাকে পারস্পরিক আবেশ বলে।

সংজ্ঞা : মুখ্য বর্তনীতে অসম তড়িৎ প্রবাহের ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে যে তড়িৎ চৌম্বক আবেশ ঘটে, তাকে পারস্পরিক আবেশ বলে। সাধারণভাবে বলা যায় যে, **এক কুণ্ডলীতে অসম তড়িৎ প্রবাহে সৃষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের ফলে যদি নিকটবর্তী অপর বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িৎচৌম্বক আবেশ ঘটে তবে ঐ আবেশকে পারস্পরিক আবেশ বলে।**

ব্যাখ্যা : P ও S দুটি কুণ্ডলী বিবেচনা করা যাক। এদেরকে পরস্পরের খুব কাছাকাছি অবস্থানে রাখা হয়েছে। P কুণ্ডলীর সাথে একটি ব্যাটারী ও একটি টেপা চাবি সংযুক্ত রয়েছে [চিত্র ৫·৯]। একে মুখ্য কুণ্ডলী (Primary coil) বলে। S কুণ্ডলীর সঙ্গে একটি গ্যালভানোমিটার যুক্ত রয়েছে। একে গৌণ কুণ্ডলী (Secondary coil) বলে। এখন টেপা চাবি চেপে মুখ্য কুণ্ডলী P-তে তড়িৎ সংযোগ স্থাপন করলে গৌণ কুণ্ডলী S-এর গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ দেখাবে। চাবি ছেড়ে দিয়ে বর্তনী সংযোগ বিচ্ছিন্ন করলে গ্যালভানোমিটারে পুনরায় বিক্ষেপ দেখাবে। তবে এ বিক্ষেপ পূর্বের বিক্ষেপের বিপরীত দিকে হবে। মুখ্য কুণ্ডলীর বর্তনী সংযোগ বিচ্ছিন্ন করার ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের কারণ নিম্নরূপ :



চিত্র ৫·৯

টেপা চাবি চেপে ধরলে বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ শূন্য থেকে বৃদ্ধি পেয়ে একটি নির্দিষ্ট মানে পৌঁছায়। তড়িৎ প্রবাহের এ পরিবর্তনের জন্য গৌণ কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটে; ফলে ফ্যারাডের সূত্রানুসারে গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হয় যার জন্য গৌণ কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। গৌণ কুণ্ডলীতে এ আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের জন্য গ্যালভানোমিটার বিক্ষেপ দেখায়। টেপা চাবি ছেড়ে দিয়ে বর্তনীর সংযোগ বিচ্ছিন্ন করলে মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ নির্দিষ্ট স্থির মান থেকে কমে শূন্যে পৌঁছায়। এ সময়ে গৌণ কুণ্ডলীতে ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটে, ফলে তড়িচ্চালক শক্তি উৎপন্ন হয়। এ তড়িচ্চালক শক্তির অভিমুখ পূর্বের তড়িচ্চালক শক্তির বিপরীতমুখী হওয়ায় আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহও বিপরীতমুখী হয়; ফলে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপও বিপরীতমুখী হয়।

মনে রাখতে হবে, তড়িৎ প্রবাহের মান যখন স্থির কিংবা শূন্য থাকে তখন গ্যালভানোমিটার কোনো বিক্ষেপ দেখাবে না; কেননা তখন গৌণ কুণ্ডলীতে ফ্লাক্সের কোনো পরিবর্তন ঘটে না।

মনে করি, মুখ্য কুণ্ডলী P-তে i তড়িৎ প্রবাহের জন্য গৌণ কুণ্ডলী S [চিত্র ৫·৯] দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্সের মান φ।

আমরা জানি, $\varphi \propto i$ ... ... (5.13)

বা, $\varphi = Mi$ ... ... (5.14)

এখানে, M একটি ধ্রুবক, একে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক বলে।

এখন ভাষায় এর সংজ্ঞা দেয়া যাক।

যদি $i = 1$ (একক) হয়, তবে সমীকরণ (5.14) হতে পাই, $\varphi = M$

অতএব, কোনো কুণ্ডলীতে একক তড়িৎ প্রবাহ চললে গৌণ কুণ্ডলীতে যত সংখ্যক চৌম্বক ফ্লাক্স আবদ্ধ হয় তাকে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক বলে।

আবার ফ্যারাডের সূত্র হতে পাই,

$$E = \frac{d\varphi}{dt} \quad [\text{ ঋণ চিহ্ন অগ্রাহ্য করে }]$$

$$\text{বা, } E = \frac{d}{dt}(Mi) = M\frac{di}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.15)$$

এখন, $\frac{di}{dt} = 1$ হলে, $E = M$ হয়।

অতএব, কোনো মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা প্রতি সেকেণ্ডে এক একক পরিবর্তিত হলে গৌণ কুণ্ডলীতে যে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল উৎপন্ন হয় তাকে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক বলে।

পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের একক : স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের ন্যায় পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের এস. আই. (SI) একক **হেনরি** (henry)। এছাড়া মিলি-হেনরি (mh) (10^{-3} henry) এবং মাইক্রো-হেনরি (μh) (10^{-6} henry)-কে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের একক ধরা হয়।

'পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক 1 হেনরি'-এর অর্থ দুটি কুণ্ডলীর একটির মধ্য দিয়ে 1 As^{-1} হারে তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন ঘটলে যদি গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি 1V হয়, তবে কুণ্ডলীদ্বয়ের পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক হবে 1 হেনরি।

গাণিতিক উদাহরণ

১। কোনো মুখ্য কুণ্ডলীতে 0·05 s-এ তড়িৎ প্রবাহমাত্রা 6A হতে 1A-তে আনলে গৌণ কুণ্ডলীতে 5 ভোল্ট তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীদ্বয়ের পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক কত ? [ঢা. বো. ২০১১; ব. বো. ২০০২]

আমরা জানি,

$$E = M\frac{di}{dt}$$

$$\therefore \quad 5 = M \times \frac{5}{0{\cdot}05}$$

$$\therefore \quad M = \frac{5 \times 0{\cdot}05}{5} = 0{\cdot}05 \text{ হেনরি}$$

এখানে,

$di = 6A - 1A = 5A$

$dt = 0{\cdot}05$ s

$E = 5$ ভোল্ট

২। পরস্পরের কাছাকাছি দুটি কুণ্ডলী A ও B-এর পাক সংখ্যা যথাক্রমে 200 ও 1000। কুণ্ডলী A দিয়ে 2A তড়িৎ প্রবাহে A কুণ্ডলীতে $2{\cdot}4 \times 10^{-4}$ Wb এবং B কুণ্ডলীতে $1{\cdot}6 \times 10^{-4}$ Wb চৌম্বক ফ্লাক্স উৎপন্ন হয়। (ক) A কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক (খ) B কুণ্ডলীর পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক এবং (গ) A-তে প্রবাহমাত্রা 0·4 s-এ থেমে গেলে B কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি নির্ণয় কর।

(ক) মনে করি, A কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক $= L$

∴ আমরা পাই

$$\varphi_A = Li \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

এখন সমীকরণ (1) হতে পাই,

$$200 \times 2{\cdot}4 \times 10^{-4} = L \times 2$$

$$\therefore \quad L = \frac{200 \times 2{\cdot}4 \times 10^{-4}}{2} = 0{\cdot}024 \text{ h}$$

এখানে,

φ_A = পাক সংখ্যা × চৌম্বক ফ্লাক্স $= 200 \times 2{\cdot}4 \times 10^{-4}$ Wb

$i = 2A$

(খ) মনে করি B-তে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক $= M$

∴ আমরা পাই

$$\varphi_B = Mi \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

এখন সমীকরণ (2) হতে পাই,

$$1000 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-4} = M \times 2$$

$$\therefore \quad M = \frac{1000 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-4}}{2} = 0{\cdot}08 \text{ h}$$

এখানে,

φ_B = পাক সংখ্যা × চৌম্বক ফ্লাক্স $= 1000 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-4}$ Wb

$i = 2A$

(গ) মনে করি B-তে গড় আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি $= E$

∴ আমরা পাই

$$E = M\frac{di}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

এখন সমীকরণ (3) হতে পাই,

$$E = 0{\cdot}08 \times 5$$

$$= 0{\cdot}4 \text{ volt}$$

এখানে,

$M = 0{\cdot}08$ h

$\frac{di}{dt} = \frac{2}{0{\cdot}4} = 5 \text{ As}^{-1}$

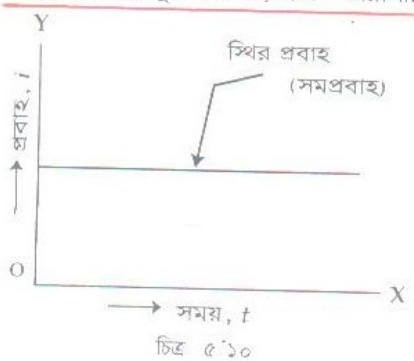
৫·৮ দিক পরিবর্তী প্রবাহ সৃষ্টি

Generation of Alternating current

সরাসরি ও দিক পরিবর্তন প্রবাহের ধারণা

Idea about DC and AC

তড়িৎ প্রবাহ দুই ধরনের; যথা—সরাসরি প্রবাহ ও দিক পরিবর্তী প্রবাহ।

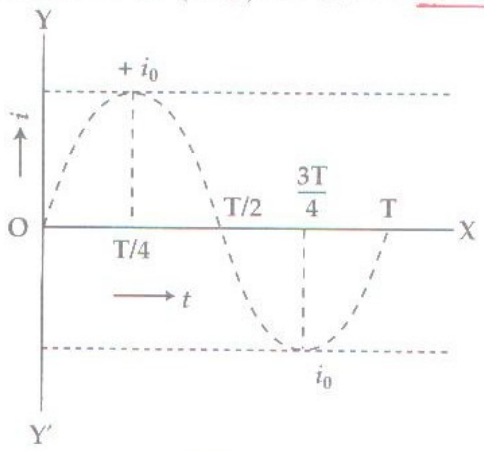


চিত্র ৫·১০

সরাসরি প্রবাহ : আমরা জানি যে, সাধারণ তড়িৎ কোষ বা ব্যাটারী হতে যে তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায় তার অভিমুখ সর্বদা একই থাকে। এই প্রবাহকে **একমুখী প্রবাহ** বা **সমপ্রবাহ** (Direct current) **বলা হয়**। একে সংক্ষেপে ডি. সি. (D. C.) লেখা হয়। DC কে i বনাম t দ্বারা দেখান হলো [চিত্র ৫·১০]। এই প্রবাহের মান বা মাত্রা স্থির নাও থাকতে পারে, কিন্তু দিক বা অভিমুখ কখনই পরিবর্তিত হয় না।

অর্থাৎ **যে প্রবাহ সময়ের সাথে সাথে দিক বা দশা পরিবর্তন করে না তাকে সরাসরি প্রবাহ (D.C.) বলে।**

দিক পরিবর্তী প্রবাহ : তড়িৎ প্রবাহের এমন উৎস আছে যা হতে বর্তনীতে যে প্রবাহ চলে তার অভিমুখ একটি নির্দিষ্ট সময় অন্তর অন্তর স্বতঃস্ফূর্তভাবে উল্টাতে থাকে, এই প্রবাহকে **প্রত্যাবর্তী** বা **দিক পরিবর্তী প্রবাহ** (Alternating current) বলে [চিত্র ৫·১১]। একে সংক্ষেপে এ. সি. (A. C.) লেখা হয়। অর্থাৎ **যে প্রবাহ সময়ের সাথে সাথে দিক বা**



চিত্র ৫·১১

দশা পরিবর্তন করে তাকে দিক পরিবর্তী প্রবাহ বলে। এই প্রবাহ কোনো এক অভিমুখে প্রবাহিত হবার সময় ক্রমশ বৃদ্ধি পেয়ে সর্বাধিক (maximum) হয়; আবার ক্রমশ হ্রাস পেয়ে অভিমুখ পরিবর্তনের সময় শূন্য মানে পৌঁছায়।

দিক পরিবর্তী প্রবাহের উৎপত্তি
Generation of alternating current

ধরি N এবং S একটি চুম্বকের দুটি মেরু যা H প্রাবল্যের একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করেছে [চিত্র ৫·১২]। মনে করি AB একটি বন্ধ কুণ্ডলী। এটি চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব তলে অবস্থিত। কুণ্ডলীটি তার নিজস্ব অনুভূমিক অক্ষে ω কৌণিক বেগে ঘুরছে।

মনে করি কুণ্ডলীটির পাক সংখ্যা n এবং তার ক্ষেত্রফল A। অতএব কুণ্ডলীর তল চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার অভিলম্ব হলে তার মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স,

$$\varphi = n\mu AH \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.16)$$

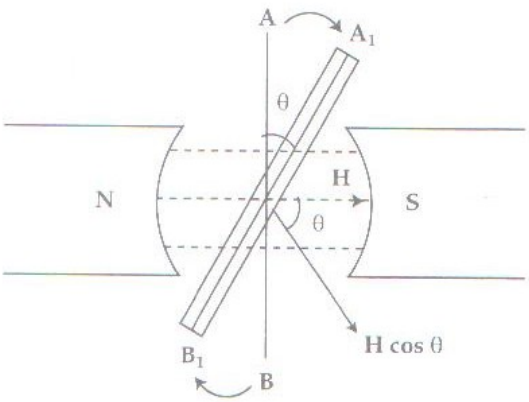
এখন ধরি কুণ্ডলীটি t সময়ে θ কোণে ঘুরে A_1B_1 অবস্থানে গিয়েছে। এমতাবস্থায় চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব উপাংশ $= H\cos\theta$

$\therefore$ অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স বা ক্ষেত্ররেখার সংখ্যা,

$$\varphi_N = n\mu AH\cos\theta$$

$$= n\mu AH\cos\omega t \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.17)$$

$$[\because \theta = \omega t]$$



চিত্র ৫·১২

যেহেতু কুণ্ডলীটির ঘূর্ণনের জন্য অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটবে, সেহেতু ফ্যারাডের তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশের ফলে কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হবে এবং আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির মান,

$$E = -\frac{d\varphi_N}{dt}$$

$$= -\frac{d}{dt}(n\mu AH\cos\omega t)$$

$$= n\mu AH\,\omega\sin\omega t$$

$$\therefore E = E_0\sin\omega t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.18)$$

এখানে, $E_0 = n\mu\, AH\omega$ = সর্বোচ্চ তড়িচ্চালক শক্তি

সমীকরণ (5.18)-কে সাইনুসয়ডাল (sinusoidal) বা দিকপরিবর্তী প্রবাহের সমীকরণ বলা হয়। প্রবাহমাত্রর ক্ষেত্রে উক্ত সমীকরণটিকে লেখা যায় $I = I_0\sin\omega t$ আকারে। এভাবে আমরা দিক পরিবর্তী প্রবাহ পেয়ে থাকি।

কাজ : দিকপরিবর্তী প্রবাহের চক্রের জন্য অর্থাৎ $t = 0$ থেকে $t = 2T$ সময়ের জন্য তড়িচ্চালক শক্তির মান কত হবে? লেখচিত্রে সময়ের খণ্ডিত অংশ নির্দেশ করে ব্যাখ্যা কর।

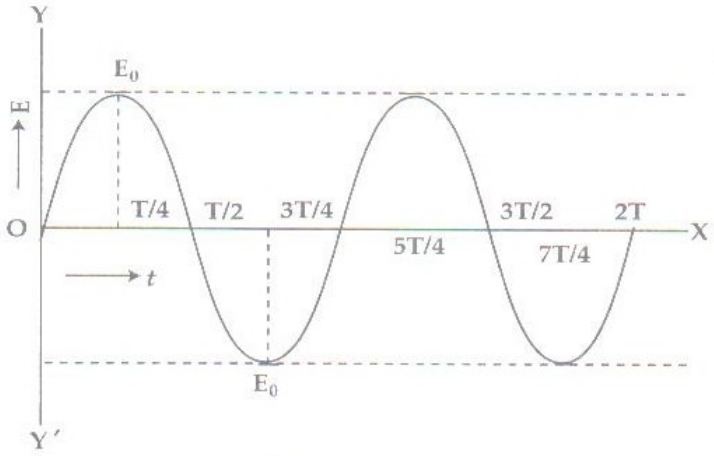
(ক) এখন কুণ্ডলীটির পর্যায় কাল T হলে $\omega = \frac{2\pi}{T}$ হবে।

(খ) সমীকরণ (5.18) হতে দেখা যায় E-এর মান ωt-এর ওপর নির্ভর করে।

(গ) যখন $t = 0, \frac{T}{2}, T, \frac{3}{2}T, 2T$ ইত্যাদি হয়, তখন তড়িচ্চালক শক্তি E শূন্য হয়।

(ঘ) $t = \frac{T}{4}, \frac{5}{4}T$ ইত্যাদি হলে $E = +E_0$ এবং $t = \frac{3}{4}T, \frac{7}{4}T$ ইত্যাদি হলে $E = -E_0$ হবে।

অতএব দেখা যাচ্ছে যে, কুণ্ডলীর সঙ্গে তড়িচ্চালক শক্তি E-এর মান শূন্য হতে বৃদ্ধি পেয়ে $+E_0$ এবং এর পর ক্রমশ হ্রাস পেয়ে পুনরায় শূন্য মানে পৌঁছায়। অতঃপর বিপরীত দিকে পুনরায় বৃদ্ধি পেয়ে $-E_0$ হয়; আবার হ্রাস পেয়ে শূন্য মানে আসে। এমনিভাবে তড়িচ্চালক শক্তির পরিবর্তনের একটি চক্র (cycle) T সময়ে সম্পন্ন হয় যা চিত্র ৫·১৩-এ দেখানো হয়েছে।

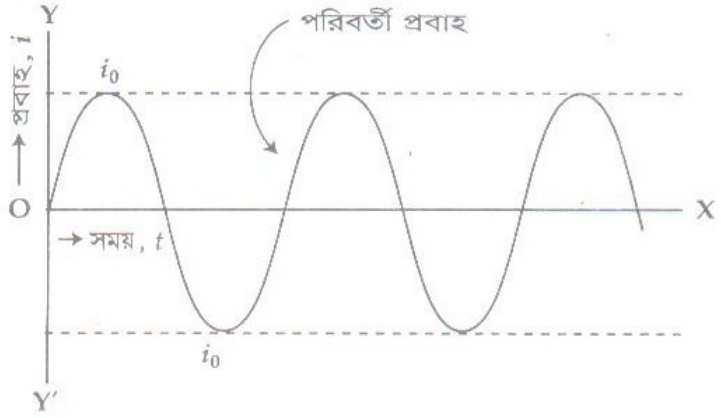


চিত্র ৫·১৩

প্রবাহমাত্রা : R রোধযুক্ত পরিবাহীর কোনো বর্তনীতে E তড়িচ্চালক শক্তির জন্য i পরিমাণ প্রবাহ t সময় ধরে চালনা করলে প্রবাহমাত্রা,

$$i = \frac{E}{R} = \frac{E_0 \sin \omega t}{R} = i_0 \sin \omega t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.19)$$

এখানে, সর্বোচ্চ প্রবাহমাত্রা, $i_0 = \frac{E_0}{R}$। তড়িচ্চালক শক্তির পরিবর্তনের ফলে প্রবাহমাত্রাও পরিবর্তিত হয়। এজন্য একে পরিবর্তী প্রবাহ (Alternating Current) সংক্ষেপে AC বলা হয়। সময়ের সাথে পরিবর্তী প্রবাহের মান ও অভিমুখ



চিত্র ৫·১৪

কিভাবে পরিবর্তিত হয় তা চিত্র ৫·১৪-এ অঙ্কিত লেখের সাহায্যে দেখানো হয়েছে। এই লেখ হতে বলা যায় যে, পরিবর্তী প্রবাহের সমীকরণকে সাইন বা কোসাইন লেখ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

দিক পরিবর্তী প্রবাহ সম্পর্কীয় কয়েকটি রাশির সংজ্ঞা :

(ক) বিস্তার (Amplitude) : যে কোনো অভিমুখে তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের সর্বোচ্চ মানকে তার বিস্তার বা শীর্ষমান বলে। চিত্র ৫.১৩ ও ৫.১৪-এ E_0 ও i_0 যথাক্রমে তড়িচ্চালক শক্তি এবং প্রবাহের শীর্ষমান।

(খ) পরিবর্তন চক্র (Cycle of variation) : দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের মান শূন্য হতে বৃদ্ধি পেয়ে শীর্ষমান, ক্রমান্বয়ে হ্রাস পেয়ে শূন্যমানে এসে বিপরীত অভিমুখে পুনরায় বৃদ্ধি পেয়ে ঐ শীর্ষমানে পৌঁছে বা হ্রাস পেয়ে শূন্যমানে উপনীত হওয়াকে তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের পরিবর্তন চক্র বলে। চিত্র ৫.১১-এ O হতে T পর্যন্ত এক পরিবর্তন চক্র দেখানো হয়েছে।

(গ) পর্যায়কাল (Time period) : যে সময়ে পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের একটি পরিবর্তন চক্র সম্পন্ন হয় তাকে পর্যায়কাল বলে। একে T দ্বারা প্রকাশ করা হয়। পর্যায় কাল, $T = \frac{2\pi}{\omega}$.

(ঘ) কম্পাঙ্ক (Frequency) : পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহ প্রতি সেকেন্ডে যত সংখ্যক পরিবর্তন চক্র সম্পন্ন করে তাকে উক্ত তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের কম্পাঙ্ক বলে। একে f বা n দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$$\therefore \quad \text{কম্পাঙ্ক, } f \text{ বা } n = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

বা, $\omega = 2\pi f$

ω-কে কৌণিক কম্পাঙ্কও বলা হয়।

৫·৯ প্রবাহের গড় মান, বর্গমূলীয় গড় মান এবং শীর্ষ মান
Mean value, Root Mean Square value and Peak value of current

পরিবর্তী প্রবাহের গড় মান ও শীর্ষ মান (অর্ধচক্রের জন্য তড়িৎ প্রবাহের গড় মান)
Average or mean value and Peak value of AC

পরিবর্তী প্রবাহের পর্যায়কালে অর্থাৎ প্রবাহের পূর্ণ পরিবর্তন চক্রের কালে প্রবাহের গড় মান শূন্য হয়। সুতরাং পরিবর্তী প্রবাহের গড় মান বলতে অর্ধ পর্যায় কালে প্রবাহের গড় মান বুঝায়। প্রবাহের গড় মানকে $\bar{i}$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। আমরা জানি, পরিবর্তী প্রবাহের সমীকরণ $i = i_0 \sin \omega t$.

অতএব, গড় মান,

$$\bar{i} = \frac{\int_0^{T/2} i\,dt}{T/2} = \frac{\int_0^{T/2} i_0 \sin \omega t.\, dt}{T/2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.20)$$

$$= i_0 \int_0^{\pi/\omega} \frac{\sin \omega t.\, dt}{\pi/\omega} \qquad \left[\because T = \frac{2\pi}{\omega}\right]$$

$$= \frac{i_0 \omega}{\pi}\left[\frac{-\cos \omega t}{\omega}\right]_0^{\pi/\omega} = \frac{i_0}{\pi}\left[\cos \omega t\right]_{\pi/\omega}^{0}$$

$$= \frac{i_0}{\pi}\left[1 - \cos\left(\omega \times \frac{\pi}{\omega}\right)\right]$$

$$= \frac{i_0}{\pi}\left[1 - \cos \pi\right] = \frac{i_0}{\pi}\left[1 - (-1)\right]$$

$$= \frac{2}{\pi} i_0 = 0{\cdot}637 \times \text{পরিবর্তী প্রবাহের শীর্ষমান} \quad \ldots \quad (5.21)$$

অর্থাৎ পরিবর্তী প্রবাহের গড় মান = 0·637 × পরিবর্তী প্রবাহের শীর্ষ মান।

সুতরাং পরিবর্তী প্রবাহের গড় মান শীর্ষ মানের 0·637 গুণ বা 63·7%

$$\therefore \text{শীর্ষ মান} = \frac{\text{গড় মান}}{0{\cdot}637} = 1{\cdot}57 \times \text{গড় মান} = 1{\cdot}57 \times \bar{i} \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.22)$$

অর্থাৎ পরিবর্তী প্রবাহের শীর্ষ মান গড় মানের 1·57 গুণ।

বর্গমূলীয় গড় মান
Root mean square value

আমরা জানি দিক পরিবর্তী প্রবাহের সমীকরণ $I = I_0 \sin \omega t$. এখানে I এবং I_0 যথাক্রমে দিক পরিবর্তী প্রবাহের কার্যকর মান এবং শীর্ষ মান। পূর্ণ চক্রের জন্য দিক পরিবর্তী প্রবাহের গড় বর্গ মান

$$\overline{I^2} = \frac{1}{T}\int_0^T I^2\,dt = \frac{1}{T}\int_0^T (I_0 \sin \omega t)^2\,dt$$

$$= \frac{1}{T}\int_0^T I_0^2 \sin^2 \omega t dt = \frac{I_0^2}{T}\int_0^T \sin^2 \omega t dt$$

$$= \frac{I_0^2}{T}\int_0^T \frac{(1-\cos 2\omega t)}{2}\,dt \qquad \left[\because \sin^2\theta = \frac{1-\cos 2\theta}{2}\right]$$

$$= \frac{I_0^2}{2T}\left\{\int_0^T dt - \int_0^T \cos 2\omega t\,dt\right\}$$

$$= \frac{I_0^2}{2T}\left\{[t]_0^T - \frac{1}{2\omega}[\sin 2\omega t]_0^T\right\}$$

$$= \frac{I_0^2}{2T}\left\{[T] - \frac{1}{2\omega}[\sin 2\omega t - \sin 0\right\}$$

$$= \frac{I_0^2}{2T}\left\{T - \frac{1}{2\omega}[\sin 4\pi - \sin 0]\right\} \qquad [\because \omega = \frac{2\pi}{T}]$$

$$= \frac{I_0^2}{2T}[T - 0] = \frac{I_0^2}{2}$$

$$\therefore \sqrt{\overline{I^2}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = 0{\cdot}707 \times I_0$$

বা, $I_{rms} = 0{\cdot}707 \times I_0$ ... ... (5.23)

অতএব বলা যায় পরিবর্তী প্রবাহের বর্গমূলীয় গড় মান শীর্ষ মানের 0·707 গুণ বা 70·7%.

গড় মান, আপাত মান এবং শীর্ষ মানের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক
Mutual relation among the average value, virtual value and peak value

আমরা জানি, পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি এবং পরিবর্তী প্রবাহের

অর্ধ চক্রের জন্য গড় মান $= \frac{2}{\pi} \times$ শীর্ষ মান।

$= \frac{2}{\pi} \times (\sqrt{2} \times$ গড় বর্গের বর্গমূল মান)।

$= \frac{2 \times \sqrt{2}}{\pi} \times$ গড় বর্গের বর্গমূল মান।

$= \frac{2 \times \sqrt{2}}{\pi} \times$ আপাত মান।

$\therefore$ আপাত মান $= \frac{\pi}{2 \times \sqrt{2}} \times$ গড় মান

$= \frac{1}{\sqrt{2}} \times$ শীর্ষ মান ... ... (5.24)

সমীকরণ (5.24) হতে সহজেই বুঝতে পারা যায়,

সম প্রবাহ (D. C.) অপেক্ষা পরিবর্তী প্রবাহ (A. C.) বেশি বিপজ্জনক।

কাজ : AC 220V, DC 220V অপেক্ষা বেশি বিপজ্জনক কেন ?

আপাত তড়িচ্চালক শক্তি $= \frac{1}{\sqrt{2}} \times E_0 = 0{\cdot}707 \times E_0$ এবং গড় তড়িচ্চালক শক্তি $= \frac{2}{\pi} \times E_0 = 0{\cdot}637 \times E_0$

$\therefore$ আপাত তড়িচ্চালক শক্তি > গড় তড়িচ্চালক শক্তি।

220 V A. C. বললে তার কার্যকরী মান 220 V হলেও তার শীর্ষ মান $= 220 \times \sqrt{2} = 311$ V। অতএব কোনো ব্যক্তি যদি 220 V D. C. শক্ পায় তবে এটি 220 V দ্বারাই হবে। কিন্তু তিনি যদি 220 V A. C. শক্ পান, তবে সর্বাধিক শক্ পাবে 311 V যা 220 V-এর শক্ অপেক্ষা অনেক বেশি হবে। নিঃসন্দেহে 311 V দ্বারা শক্ 220 V দ্বারা শক্ অপেক্ষা অনেক বেশি বিপজ্জনক।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি পরিবর্তী বর্তনীর প্রবাহ মাত্রার শীর্ষমান 20A এবং এর কম্পাঙ্ক 50 Hz। এর গড় বর্গের বর্গমূল মান নির্ণয় কর। শূন্য থেকে শীর্ষ মানে পৌঁছাতে কত সময় লাগবে ? [ব. বো. ২০০৭]

মনে করি গড় বর্গের বর্গমূল মান $= i_{rms}$

$\therefore$ আমরা পাই,

$$i_{rms} = \frac{i_0}{\sqrt{2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

এখন সমীকরণ (1) হতে পাই,

$$i_{rms} = \frac{20}{\sqrt{2}} = 14{\cdot}14 \text{ A}$$

এখানে,
$i_0 = 20\text{A}$
$f = 50 \text{ Hz}$

পর্যায়কাল, $T = \frac{1}{f}$

এবং সর্বোচ্চ মানে পৌঁছার সময়, $t = \frac{T}{4} = \frac{1}{4f}$

$\therefore \quad t = \frac{1}{4 \times 50} = \frac{1}{200} \text{ s} = 5 \times 10^{-3} \text{s}$

২। একটি এ. সি. উৎসের বিস্তার 160 V এবং কম্পাঙ্ক 60 Hz। এর উৎসের সাথে 20 Ω রোধ যুক্ত করা হলে, কার্যকর ভোল্টেজ, কার্যকর প্রবাহমাত্রা এবং উত্তাপজনিত শক্তিক্ষয় নির্ণয় কর। [ব. বো. ২০০৯, ২০০১]

আমরা জানি,

কার্যকর ভোল্টেজ = ভোল্টেজের গড় বর্গের বর্গমূল $= E_{rms}$

এখন, $E_{rms} = \frac{E_0}{\sqrt{2}}$

$\therefore \quad E_{rms} = \frac{160}{\sqrt{2}} = 113{\cdot}47 \text{ Volt}$

এখানে,
$E_0 = 160 \text{ Volt}$
$R = 20\,\Omega$

এখন, $I_0 = \frac{E_0}{R} \quad \therefore \quad I_0 = \frac{160}{20} = 8 \text{ Amp}$

কার্যকর প্রবাহমাত্রা, $I_{rms} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = \frac{8}{\sqrt{2}} = 5{\cdot}67 \text{ Amp}$

উত্তাপজনিত শক্তিক্ষয়ের হার $= I_{rms}^2 R = (5{\cdot}67)^2 \times 20 = 643 \text{ Js}^{-1}$

৩। একটি দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের সমীকরণ $i = 50 \sin 628\, t$ হলে তড়িৎ প্রবাহের (i) শীর্ষ মান; (ii) কম্পাঙ্ক এবং (iii) মূল গড় বর্গের মান নির্ণয় কর। [রা. বো. ২০০৯; চ. বো. ২০০৫]

প্রদত্ত সমীকরণ, $i = 50 \sin 628\, t \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$

তড়িৎ প্রবাহের সাধারণ সমীকরণ, $i = i_0 \sin \omega t \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$

সমীকরণ (1) ও (2)-এর তুলনা করে পাই,

(i) তড়িৎ প্রবাহের শীর্ষ মান, $i_0 = 50 \text{ Amp}$

(ii) $\omega = 628$

$\therefore \quad 2\pi f = 628$

$\therefore$ কম্পাঙ্ক, $f = \frac{628}{2\pi} = \frac{628}{2 \times 3{\cdot}14} = 100 \text{ Hz}$

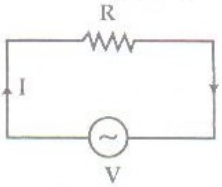
(iii) প্রবাহমাত্রার মূল গড় বর্গের মান,

$$i_{rms} = \frac{i_0}{\sqrt{2}} = \frac{50}{\sqrt{2}} = 35{\cdot}35 \text{ Amp}$$

৫.১০ কার্যকর তড়িৎ প্রবাহ
Effective Current

বর্তনী চিত্র ৫.১৫(ক)-এ একটি রোধযুক্ত বর্তনী দেখানো হয়েছে। বর্তনীতে প্রযুক্ত দিক পরিবর্তী ভোল্টেজ,

$$V = V_0 \sin \omega t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.25)$$



চিত্র ৫.১৫(ক)

এখন, ও'মের সূত্রানুসারে,

$$V = IR$$

বা, $$I = \frac{V}{R} = \frac{V_0}{R} \sin \omega t = I_0 \sin \omega t \quad \ldots \quad (5.26)$$

দিক পরিবর্তী বর্তনীতে ব্যয়িত তাৎক্ষণিক ক্ষমতা,

$$P = VI = V_0 I_0 \sin^2 \omega t$$

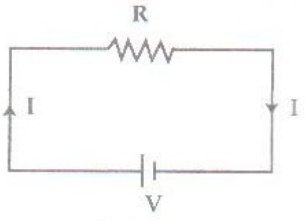
আমরা জানি, একটি সম্পূর্ণ পর্যায় (complete cycle)-এর জন্য $\sin^2 \omega t$ এর মান $= \frac{1}{2}$। সুতরাং, বর্তনীর গড় ক্ষমতা, $\overline{P} = \frac{1}{2} V_0 I_0 = \frac{V_0}{\sqrt{2}} \times \frac{I_0}{\sqrt{2}}$

$$\overline{P} = V_{rms} I_{rms} = (I_{rms} R) \cdot I_{rms} = I^2_{rms} R \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.27)$$

বর্তনীতে দিক পরিবর্তী ভোল্টেজের স্থলে ডি.সি. ভোল্টেজ প্রযুক্ত হলে [চিত্র ৫.১৫(খ)] ক্ষমতা,

$$P = VI = IR.I = I^2R \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.28)$$

সমীকরণ (5.27) ও (5.28) থেকে দেখা যায় যে ডিসি প্রবাহের ক্ষেত্রে I-এর যে ভূমিকা দিক পরিবর্তী প্রবাহের ক্ষেত্রে I_{rms} এর একই ভূমিকা।



চিত্র ৫.১৫(খ)

প্রকৃতপক্ষে দিক পরিবর্তী বর্তনীতে আমরা যে ভোল্টেজ এবং প্রবাহ পরিমাপ করি তা V_{rms} এবং I_{rms}।

V_{rms} এবং I_{rms} কে যথাক্রমে কার্যকর ভোল্টেজ এবং কার্যকর প্রবাহ বলে। এসি ভোল্টমিটার বা অ্যামিটারে যে পাঠ দেয় তা V বা I এর *rms* মান নির্দেশ করে।

আকৃতি গুণাঙ্ক (Form factor) : দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহমাত্রার গড় বর্গের বর্গমূল (*rms*) মান এবং গড় মানের অনুপাতকে আকৃতি গুণাঙ্ক বলে।

অতএব, আকৃতি গুণাঙ্ক $= \frac{\text{গড় বর্গের বর্গমূল মান বা আপাত মান}}{\text{গড় মান}}$

$$= \frac{\frac{1}{\sqrt{2}} \times \text{শীর্ষমান}}{\frac{2}{\pi} \times \text{শীর্ষমান}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{\pi}{2} = 1.11$$

আকৃতি গুণাঙ্ক পরিবর্তী প্রবাহ বা তড়িচ্চালক শক্তির তরঙ্গ আকার নির্দেশ করে।

এখানে উল্লেখ্য যে, আকৃতি গুণাঙ্কের এই 1.11 মান শুধুমাত্র সাইনধর্মী ভোল্টেজ বা প্রবাহের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। ভিন্ন ভিন্ন তরঙ্গরূপের ক্ষেত্রে আকৃতি গুণাঙ্কের মান ভিন্ন হয়।

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

$$E = -N\frac{d\phi}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

$$\phi = LI \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

$$E = -L\frac{dI}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

$$E_{rms} = 0.707\, E_0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

$$I_{rms} = 0.707\, I_0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

$$P = I^2_{rms} R \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8)$$

উচ্চতর দক্ষতাসম্পন্ন নমুনা গাণিতিক উদাহরণ

১। আবির দেখল একটি বিদ্যুৎ উৎপাদন কেন্দ্রে একটি তারের কুণ্ডলীকে 12 Wb m^{-2} মানের কোনো সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে 6·28 rad s^{-1} সমকৌণিক বেগে ঘুরানো হচ্ছে। কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 150 এবং এর বৃত্তাকৃতি তলের ক্ষেত্রফল 1·5 m^2 কুণ্ডলীটি ঘূর্ণনের শুরুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের মানের সমান্তরালে ছিল।

(ক) কুণ্ডলীতে সর্বোচ্চ কত মানের ভোল্টেজ আবিষ্ট হবে ?

(খ) যে মুহূর্তে সর্বোচ্চ মানের ভোল্টেজ আবিষ্ট হবে এবং অপর যে মুহূর্তে কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্স সর্বোচ্চ মানের হবে—এই দুই মুহূর্তের ন্যূনতম ব্যবধান নির্ণয় কর।

সমাধান :

(ক) দেওয়া আছে কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা = 150

কুণ্ডলী তলের ক্ষেত্রফল, $A = 1·5\ m^2$

চৌম্বক ক্ষেত্রের মান, $B = 12\ Wb\ m^{-2}$

কুণ্ডলীর সমকৌণিক বেগ, $\omega = 6·28\ rad\ s^{-1}$

কুণ্ডলীতে আবিষ্ট সর্বোচ্চ ভোল্টেজ, $E_{max} = ?$

E এর মান সর্বোচ্চ হবে যখন $\sin \omega t = 1$ হয়।

সুতরাং নির্ণেয় সর্বোচ্চ মানের আবিষ্ট ভোল্টেজ, $E_{max} = NBA\omega \sin \omega t = NBA\omega \times 1$

$= 150 \times 12 \times 1·5 \times 6·28$ volt $= 16956$ volt

(খ) আমরা জানি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে সমকৌণিক বেগে ঘূর্ণায়মান কুণ্ডলীতে আবিষ্ট ভোল্টেজের সমীকরণ $E = NBA\omega \sin \omega t$

E এর মান সর্বোচ্চ হবে যখন $\sin \omega t = 1$ হয়।

$\therefore \quad \omega t = \frac{\pi}{2}$ radian

বা, $t = \frac{\pi}{2\omega}\ rad = \frac{\pi\ rad}{2 \times 6·28\ rad\ s^{-1}} = 0·256\ s$

$t = 0·256$ s মুহূর্তে উক্ত কুণ্ডলীতে সর্বোচ্চ মানের ভোল্টেজ আবিষ্ট হবে।

আমরা জানি, কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্সের সমীকরণ, $\phi = NAB \cos \omega t$

ϕ এর মান সর্বোচ্চ হবে যদি $\cos \omega t = 1$ হয়।

বা, $\omega t = 0°$

$\therefore \quad t = 0$ s হয়।

সুতরাং যে মুহূর্তে কুণ্ডলীতে সর্বোচ্চ মানের ভোল্টেজ অবিষ্ট হবে এবং অপর যে মুহূর্তে কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্স সর্বোচ্চ মানের হবে, এই দুই মুহূর্তের ন্যূনতম ব্যবধান $= (0·25 - 0)\ s = 0·25\ s$

২। দ্বাদশ শ্রেণির ক্লাসে শিক্ষক পারস্পরিক আবেশ বুঝাবার জন্য দুটি কুণ্ডলীকে পাশাপাশি রেখে একটিতে প্রতি সেকেন্ডে 300 mA করে বিদ্যুৎ প্রবাহ পরিবর্তন করলেন। ফলে দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে বিদ্যুচ্চালক বল আবিষ্ট হলো। ভোল্টমিটারের সাহায্যে শিক্ষক তা পরিমাপ করে ছাত্রদের দেখালো।

(ক) ভোল্টমিটারের পাঠ 3V হলে কুণ্ডলীর পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

(খ) কুণ্ডলী দুইটির পাকসংখ্যার অনুপাত 1 : 300 হলে দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে প্রতি সেকেন্ডে যে পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ আবিষ্ট হবে তা আবেশী প্রবাহের কতগুণ হবে—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

সমাধান :

(ক) দেওয়া আছে $\frac{di}{dt} = 300\ mA\ s^{-1} = 300 \times 10^{-3}\ A\ s^{-1}$

তড়িৎচালক বল, $E_2 = 3V$

পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক, $M = ?$

আমরা জানি, $E_2 = M\frac{di}{dt}$

$\Rightarrow \quad 3 = M \times 300 \times 10^{-3}$

$\therefore \quad M = \frac{3}{300 \times 10^{-3}} = \frac{1}{100} \times 10^3 = 0·01 \times 10^3 = 10\ H$

(খ) দেওয়া আছে প্রথম কুণ্ডলীতে প্রতি সেকেন্ডে প্রবাহের পরিবর্তন $I_1 = 300\ mA\ s^{-1} = 300 \times 10^{-3}\ A\ s^{-1}$
পাকসংখ্যার অনুপাত $N_1 : N_2 = 1 : 300$
২য় কুণ্ডলীতে প্রতি সেকেন্ডে প্রবাহ পরিবর্তন, $I_2 = ?$
আমরা জানি, $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$

$\therefore \quad I_2 = I_1 \times \frac{N_1}{N_2} = \frac{300 \times 10^{-3} \times 1}{300} = 1 \times 10^{-3}\ A$

$\therefore \quad I_2 = 1\ mA$, আবেশী প্রবাহ $I_1 = 1\ mA \quad \therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{1\ mA}{300\ mA}$ বা, $I_2 = I_1 \times 300$

$\therefore$ ২য় কুন্ডলীতে প্রতি সেকেন্ডে 1 mA তড়িৎ প্রবাহ আবিষ্ট হবে তা আবেশী প্রবাহের 300 গুণ হবে।

৩। একটি ট্রান্সফর্মারের মুখ্য ও গৌণ কুণ্ডলীতে পাকসংখ্যা যথাক্রমে 10,000 ও 5,000 করা হলো।
(ক) ট্রান্সফর্মারটির মুখ্য কুণ্ডলীতে কত মানের ভোল্টেজ প্রয়োগ করলে গৌণ কুণ্ডলীতে 100 V পাওয়া যাবে?
(খ) যন্ত্রটি শক্তির সংরক্ষণশীলতার নীতি মেনে চলে কি-না বিশ্লেষণ কর।

সমাধান : (ক) $N_p = 10,000,\ N_s = 5,000,\ E_s = 100\ V,\ E_p = ?$
আমরা জানি, $\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$

বা, $E_p = \frac{N_p}{N_s} \times E_s = \frac{10,000}{5000} \times 100 = 200\ V$

(খ) ট্রান্সফর্মারের মুখ্য কুণ্ডলীর ভোল্টেজ E_p এবং তড়িৎ প্রবাহ I_p হলে তড়িৎ ক্ষমতা $= E_pI_p$ ... (i)
অপরদিকে, গৌণ কুণ্ডলীর ভোল্টেজ E_s এবং তড়িৎ প্রবাহ I_s হওয়ায় এর তড়িৎ ক্ষমতা $= E_sI_s$ ... (ii)
আবার, $\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$ এবং $\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$

$\therefore E_s = \frac{N_s}{N_p} \times E_p$ এবং $I_s = \frac{N_p}{N_s} \times I_p$

E_s ও I_s এর মান (ii) নং সমীকরণে বসিয়ে পাই,

গৌণ কুণ্ডলীর তড়িৎ ক্ষমতা $= E_s \times I_s = \frac{N_s}{N_p} \times E_p \times \frac{N_p}{N_s} \times I_p = E_pI_p$ ... (iii)

সমীকরণ (i) এবং (iii) থেকে দেখা যায় মুখ্য কুণ্ডলীর তড়িৎ ক্ষমতা = গৌণ কুণ্ডলীর তড়িৎ ক্ষমতা

প্রকৃতপক্ষে একটি ট্রান্সফর্মার কেবল ভোল্টেজ এবং তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন ঘটায়, তড়িৎ শক্তি বা তড়িৎ ক্ষমতার পরিবর্তন ঘটাতে পারে না। এক্ষেত্রে ভোল্টেজ ও কারেন্ট রাশিদ্বয় বিপরীত অনুপাতে পরিবর্তিত হয় কিন্তু ভোল্টেজ ও কারেন্টের গুণফল তথা তড়িৎ ক্ষমতা বা তড়িৎ শক্তি ধ্রুব থাকে। তাই বলা যায় ট্রান্সফর্মার শক্তির সংরক্ষণশীলতার নীতি মেনে চলে।

৪। সালমা 100 Ω রোধের একটি বৈদ্যুতিক হিটার 160 V বিস্তার প্রায় 50 Hz কম্পাঙ্কের একটি এসি উৎসের সাথে সংযুক্ত করল। পরবর্তীতে নাজমা হিটারটির 120 V ডিসি উৎসের সাথে সংযুক্ত করল। [চ. বো. ২০১৫]
(ক) এসি উৎসের গড় ভোল্টেজ নির্ণয় কর।
(খ) কোন সংযোগে হিটারটি বেশি কার্যকর — গাণিতিক বিশ্লেষণসহ মতামত দাও।

সমাধান :
(ক) আমরা জানি,

$$\bar{E} = \frac{2E_0}{\pi}$$
$$= \frac{2 \times 160}{3.14} = 101.92\ V$$

এখানে,
এসি উৎসের বিস্তার, $E_0 = 160\ V$
কম্পাঙ্ক, $\eta = 50\ Hz$
গড় ভোল্টেজ, $\bar{E} = ?$

(খ) এসি উৎসের ক্ষেত্রে, $E_0 = 160\ V$
ডিসি উৎসের ক্ষেত্রে, $E_0 = 120\ V$
কার্যকর ভোল্টেজ, $E_{rms} = ?$
এসি উৎসের ক্ষেত্রে, $E_{rms} = \frac{E_0}{\sqrt{2}} = \frac{160}{\sqrt{2}} = 113.14\ V$

ডিসি উৎসের ক্ষেত্রে কার্যকর ভোল্টেজ, $E'_{rms} = 120$ V

এসি উৎসের সাথে যুক্ত করলে হিটারের ক্ষমতা, $P = \frac{V^2}{R} = \frac{(113{\cdot}14)^2}{100} = 128$ W

ডিসি উৎসের সাথে যুক্ত করলে হিটারের ক্ষমতা, $P = \frac{V^2}{R} = \frac{(120)^2}{100} = 144$ W

$\therefore$ 144 W > 128 W, তাই ডিসি সংযোগে হিটারটি বেশি কার্যকর।

৫। 5 টেসলা চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে লম্বভাবে প্রতিটি 500 পাকযুক্ত তিনটি তার কুণ্ডলী রাখা হলো। প্রথম কুণ্ডলীটি বৃত্তাকার যার ব্যাসার্ধ 5 cm, দ্বিতীয় কুণ্ডলীটি আয়তাকার এবং 10 cm² ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট, তৃতীয়টি বর্গাকার এবং 45 cm² ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট। দ্বিতীয় ও তৃতীয় কুণ্ডলীটিকে 0·5 সেকেন্ডে ক্ষেত্র থেকে বের করে নেওয়া হলো।

(ক) প্রথম কুণ্ডলীটিতে জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্সের মান কত?

(খ) উপরোক্ত কুণ্ডলীটিতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মানের তুলনা কর।

সমাধান :

(ক) প্রথম কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল, $A_1 = \pi r_1^2 = 3{\cdot}146 \times (0{\cdot}05)^2 = 78{\cdot}54 \times 10^{-4}$ m²

প্রথম কুণ্ডলীতে জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্স, $\phi_1 = NAB\cos 0°$

$= 500 \times 78{\cdot}54 \times 10^{-4} \times 5 \times 1$

$= 19{\cdot}635$ Wb

A = কুণ্ডলী তলের ক্ষেত্রফলের মান

$\vec{B}$ ≡ চৌম্বক ক্ষেত্রের মান

N = পাক সংখ্যা

(খ) প্রথম কুণ্ডলীতে জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন হয় না। তাই কোনো তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় না। তাই $\phi_1 = 0$

দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে প্রতি পাকে প্রথমাবস্থায় জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্স, $\phi_2 = AB\cos 0°$

$= \frac{10}{100 \times 100} \times 5 \times 1 = 50 \times 10^{-4}$ Wb

দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল, $E_2 = \frac{Nd\phi}{dt} = \frac{500\,(50 \times 10^{-4})}{0{\cdot}5} = 5$ volt

তৃতীয় কুল্ডলীতে প্রথমাবস্থায় প্রতি পাকে জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্স, $\phi_3 = AB\cos 0°$

$= 45 \times 10^{-4} \times 5 = 225 \times 10^{-4}$ Wb

তৃতীয় কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল, $E_3 = 500\frac{(0{\cdot}225 \times 10^{-4})}{0{\cdot}5} = 22{\cdot}5$ watt.

সুতরাং ২য় কুণ্ডলী অপেক্ষা তৃতীয় কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান বেশি হবে।

৬। দুটি কুণ্ডলী A ও B এর মধ্যকার পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক 3 হেনরি। A কুণ্ডলীতে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা 0·05 s-এ 1 Amp থেকে বৃদ্ধি পেয়ে 8 Amp হলো। কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 400।

(ক) B-তে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি নির্ণয় কর।

(খ) B-তে পাকসংখ্যা দ্বিগুণ করা হলে চৌম্বক ফ্লাক্সের গড় পরিবর্তন গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর।

সমাধান :

(ক) এখানে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক, $\mu = 3$H

তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন $\Delta I = I_2 - I_1 = (8 - 1)$ Amp $= 7$ Amp

ক্ষুদ্র সময়কাল $\Delta t = 0{\cdot}05$ sec, E = ?

$E = \frac{M\Delta I}{\Delta t} = 3\text{H} \times \frac{7\text{ Amp}}{0{\cdot}05} = 300$ volt

(খ) B-তে পাকসংখ্যা দ্বিগুণ করা হলে, $N = 2 \times 400 = 800$

Q-তে পাকসংখ্যা দ্বিগুণ করা হলে Q-তে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মানও দ্বিগুণ হবে, যার মানে $E = 2 \times 300 = 600$ volt

চৌম্বক ফ্লাক্সের গড় পরিবর্তন $\frac{d\phi}{dt}$ হলে

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

$$\frac{d\phi}{dt} = -\frac{E}{N} = -\frac{600}{800} = -0{\cdot}75\text{ Wb/sec.}$$

সার-সংক্ষেপ

তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ	:	একটি গতিশীল চুম্বক কিংবা একটি তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর প্রভাবে একটি বন্ধ তার কুণ্ডলীতে ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক বল এবং তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয়। এ পদ্ধতিকে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ বলে।
আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি	:	কোনো বন্ধ বর্তনীতে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশে সৃষ্ট ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তিকে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বলে।
আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ	:	কোনো বন্ধ বর্তনীতে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশে সৃষ্ট ক্ষণস্থায়ী তড়িৎ প্রবাহকে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ বলে।
মুখ্য ও গৌণ কুণ্ডলী	:	তড়িৎবাহী কুণ্ডলীকে মুখ্য কুণ্ডলী এবং যে তারের কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয় তাকে গৌণ কুণ্ডলী বলে।
তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের সূত্রাবলি	:	তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের দুটি সূত্র আবিষ্কার করেন বিজ্ঞানী মাইকেল ফ্যারাডে। তাঁর নামানুসারে সূত্রগুলোকে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের ক্ষেত্রে ফ্যারাডের সূত্র বলা হয়। সূত্রগুলো নিম্নে বিবৃত হলো :
১ম সূত্র	:	যখনই কোনো বন্ধ তার কুণ্ডলীতে চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটে তখনই উক্ত কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়।
২য় সূত্র	:	তার কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান সময়ের সাথে কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের হারের সমানুপাতিক।
লেন্‌জ-এর সূত্র	:	তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের ক্ষেত্রে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের দিক এমন হয় যে তা তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হবার মূল কারণের বিরুদ্ধে ক্রিয়া করে।
স্বকীয় আবেশ	:	একটিমাত্র তার কুণ্ডলীতে অসম তড়িৎ প্রবাহের দরুন চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তনের ফলে যে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ ঘটে তাকে স্বকীয় আবেশ বলে।
পারস্পরিক আবেশ	:	মুখ্য বর্তনীতে অসম তড়িৎ প্রবাহের দরুন গৌণ কুণ্ডলীতে যে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ ঘটে, তাকে পারস্পরিক আবেশ বলে।
স্বকীয় আবেশ বা স্বাবেশ গুণাঙ্ক	:	কোনো কুণ্ডলীর মধ্যে একক তড়িৎ প্রবাহমাত্রা চললে তার সাথে যত সংখ্যক চৌম্বক ফ্লাক্স যুক্ত থাকে তাকে ঐ কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ বা স্বাবেশ গুণাঙ্ক বলে। একে L দ্বারা যুক্ত করা হয়।
পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক	:	কোনো মুখ্য কুণ্ডলীতে একক তড়িৎ প্রবাহমাত্রা চললে গৌণ কুণ্ডলীতে যত সংখ্যক চৌম্বক ফ্লাক্স যুক্ত হয় তাকে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক বলে। একে M দ্বারা সূচিত করা হয়।
স্বকীয় ও পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের একক	:	স্বকীয় ও পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের এস. আই. একক হলো হেন্‌রি। এছাড়াও মিলি হেন্‌রি ও মাইক্রোহেন্‌রি একক হিসেবে ব্যবহার করা হয়।
একমুখী প্রবাহ	:	যে তড়িৎ প্রবাহের দিক বা অভিমুখ সর্বদা একই থাকে তাকে একমুখী প্রবাহ বলে।
পরিবর্তী প্রবাহ	:	যে তড়িৎ প্রবাহের দিক বা অভিমুখ একটি নির্দিষ্ট সময় অন্তর অন্তর স্বতঃস্ফূর্তভাবে পরিবর্তিত হতে থাকে, তাকে পরিবর্তী বা প্রত্যাবর্তী প্রবাহ বলে।
বিস্তার	:	যে কোনো অভিমুখে তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের সর্বোচ্চ মানকে বিস্তার বা শীর্ষ মান বলে।
পরিবর্তন চক্র	:	পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের মান শূন্য মান হতে বৃদ্ধি পেয়ে শীর্ষ মান, তৎপর হ্রাস পেয়ে শূন্য মানে এসে বিপরীত অভিমুখে পুনরায় বৃদ্ধি পেয়ে ঐ শীর্ষ মানে পৌঁছে আবার হ্রাস পেয়ে শূন্য মানে উপনীত হওয়াকে তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের পরিবর্তন চক্র বলে।
পর্যায়কাল	:	যে সময়ে পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল বা প্রবাহের একটি পরিবর্তন চক্র সম্পন্ন হয়, তাকে পর্যায়কাল বলে। একে T দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

কম্পাঙ্ক : পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহ প্রতি সেকেন্ডে যতসংখ্যক পরিবর্তন চক্র সম্পন্ন করে, তাকে উক্ত তড়িচ্চালক বল বা প্রবাহের কম্পাঙ্ক বলে। একে f বা n দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

শক্তির গড় বর্গের বর্গমূল মান (R. M. S. Value) : কোনো পূর্ণ চক্রের বিভিন্ন সময়কার তড়িচ্চালক শক্তির বর্গের গড়ের বর্গমূলকে তড়িচ্চালক শক্তির গড় বর্গের বর্গমূল মান বলে।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। ট্রান্সফরমার এর কার্যনীতি পারস্পরিক আবেশ ক্রিয়ার ওপর প্রতিষ্ঠিত।

২। দিক পরিবর্তী প্রবাহের কার্যকর মান মূল গড় বর্গ মানের সমান।

৩। $i = i_1 \sin \omega t + i_2 \cos \omega t$ দিক পরিবর্তী প্রবাহের মূল গড় বর্গমান হলো $\sqrt{\frac{i_1^2 + i_2^2}{2}}$।

৪। কোনো কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ক্ষেত্র রেখার সংখ্যাকে বলা হয় ঐ কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স।

৫। একটি বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে তখনই যখন— (ক) কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ বৃদ্ধি পায়, (খ) কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ হ্রাস পায়।

৬। টেসলা-মি^{2} কে সংক্ষেপে ওয়েবার বলে। ইহা চৌম্বক ফ্লাক্সের SI একক।

৭। কুণ্ডলী তল ক্ষেত্রের সমান্তরাল বলে চৌম্বক ফ্লাক্স সর্বনিম্ন হবে। লম্ব হলে চৌম্বক ফ্লাক্স সর্বোচ্চ হবে।

৮। চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের হার একই রেখে কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা দ্বিগুণ করলে মোট তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয় দ্বিগুণ।

৯। আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের হারের সমান।

১০। চৌম্বক ক্ষেত্রে সম-দ্রুতিতে ঘূর্ণায়মান কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল দিক পরিবর্তী।

১১। গৌণ কুণ্ডলীর আবেশ রেখার পরিবর্তনের ওপর পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক নির্ভর করে না।

১২। একটি বর্তনীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির দিক লেনজের সূত্রের দ্বারা নির্ণয় করা হয়।

১৩। ট্রান্সফরমারের গৌণ কুণ্ডলীতে সৃষ্ট ফ্লাক্স মুখ্য কুণ্ডলীর তড়িৎপ্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক।

১৪। তড়িচ্চুম্বক আবেশের বেলায় চুম্বক শক্তি তড়িচ্চালক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

১৫। কোনো কুণ্ডলীর নিকট একটি দণ্ড চুম্বককে গতিশীল করলে এতে তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। এই প্রক্রিয়ায় কোনো যান্ত্রিক শক্তি রূপান্তরিত হয় না, তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

১৬। এক পাকের একটি কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট যে পরিমাণ চৌম্বক ফ্লাক্স 1 সেকেন্ডে সুষমভাবে হ্রাস পেয়ে শূন্যে নেমে আসলে ঐ কুণ্ডলীতে 1 volt তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয় সেই পরিমাণ চৌম্বক ফ্লাক্সকে 1 ওয়েবার বলে।

১৭। ধারকে যেমন স্থির তড়িৎ শক্তি সঞ্চিত হয় কুণ্ডলীতে তেমনি সঞ্চিত হয় চৌম্বক শক্তি।

১৮। I_0 স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কবিশিষ্ট একটি সলিনয়েডকে টেনে এর দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করা হলো। এতে এর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক হলো $\frac{I_0}{2}$।

১৯। পর্যায়বৃত্ত তড়িচ্চালক বলের একটি পূর্ণ চক্রের গড়মান শূন্য।

২০। চৌম্বক ফ্লাক্স সর্বাধিক হবে যদি কুণ্ডলীর চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে লম্ব হয়।

২১। তড়িৎ বর্তনীর যে ধর্মের ফলে ঐ বর্তনী প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনের বিরুদ্ধে বাধা সৃষ্টি করে তাকে তড়িৎ আবেশ বলে।

২২। সমপ্রবাহের ক্ষেত্রে আকৃতি গুণাঙ্কের মান 1। ট্রান্সফরমারের ক্ষেত্রে $\frac{E_p}{E_s} = \sqrt{\frac{R_p}{R_s}}$।

২৩। একটি ট্রান্সফরমার আরোহী হবে যদি $n_s > n_p$ হয় এবং $I_p > I_s$ হয় এবং $E_s > E_p$ হয়।

২৪। আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল সৃষ্টি করা যায়— (i) চৌম্বক ক্ষেত্র পরিবর্তন করে (ii) বন্ধ কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল পরিবর্তন করে (iii) চৌম্বক ক্ষেত্র ও বন্ধ কুণ্ডলীর তলের মধ্যবর্তী কোণ পরিবর্তন করে।

২৫। $E = -L\frac{dI}{dt}$ সমীকরণ দ্বারা বুঝায়—

(i) আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল সর্বদা প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনের বিরোধিতা করবে।

(ii) প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পেলে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল বৃদ্ধির বিরোধিতা করবে।

(iii) প্রবাহমাত্রা হ্রাস পেতে থাকলে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল ঐ হ্রাসের বিরুদ্ধে কাজ করে।

২৬। চৌম্বক আবেশ হলো চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব।
২৭। দিক পরিবর্তী প্রবাহের অর্ধচক্রের গড়মান উহার শীর্ষমানের শতকরা 63·7 ভাগ।
২৮। বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের দিক নির্ভরশীল—আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির উপর এবং চৌম্বক ফ্লাক্সের ওপর।
২৯। মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ চললে গৌণ কুণ্ডলীর সাথে জড়িত মোট ফ্লাক্স প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক।
৩০। ট্রান্সফর্মারের যে কুণ্ডলীতে পরিবর্তী বিভব আবিষ্ট হয় তাকে গৌণ কুণ্ডলী বলে। আর যে কুণ্ডলীতে পরিবর্তী প্রবাহ প্রয়োগ করা হয় তাকে মুখ্য কুণ্ডলী বলে।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

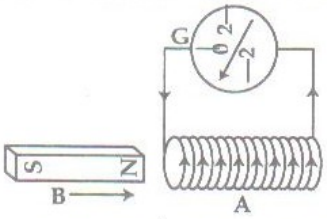
১। মুখ্য বর্তনীতে অসম তড়িৎ প্রবাহের ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে যে তড়িৎ চৌম্বক আবেশ ঘটে, তাকে কী বলে ?
ক পারস্পরিক আবেশ
খ পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক
গ স্বকীয় আবেশ
ঘ স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক

২। একটি ঋজু পরিবাহী যদি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে নিজ দৈর্ঘ্যের অভিলম্বে গতিশীল থাকে, তবে পরিবাহীর দুই প্রান্তে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল—
(i) চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের সমানুপাতিক
(ii) পরিবাহীর গতিবেগের ব্যস্তানুপাতিক
(iii) পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৩। বন্ধ কুণ্ডলীতে কোষ যুক্ত করে সুইচ দ্বারা বার বার অফ-অন করা অবস্থায় অন্য একটি বন্ধ কুণ্ডলীর নিকট স্থাপন করলে কুণ্ডলীতে—
ক চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটবে না
খ তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে
গ তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে না
ঘ চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন কোনো ভূমিকা রাখে না

৪। এক বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় তখনই যখন—
(i) কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ হ্রাস পায়
(ii) কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ স্থির থাকে
(iii) কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ বৃদ্ধি পায়
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৫। নিচের চিত্রে NS একটি দণ্ড চুম্বক, A একটি বন্ধ কুণ্ডলী যার সাথে গ্যালভানোমিটার G যুক্ত।



(i) চুম্বকের উত্তর মেরুকে ধীরে ধীরে কুণ্ডলীর মধ্যে প্রবেশ করালে গ্যালভানোমিটারের কাঁটা বিক্ষেপ দেখাবে
(ii) চুম্বককে থামালে গ্যালভানোমিটারের কাঁটা বিক্ষিপ্ত অবস্থানে থাকবে
(iii) চুম্বককে ধীরে ধীরে কুণ্ডলীর মধ্য হতে বাইরে আনলে গ্যালভানোমিটারের কাঁটা বিপরীত দিকে বিক্ষেপ দেখাবে
নিচের কোনটি সঠিক?
ক i ও ii
খ ii ও iii
গ i ও iii
ঘ i, ii ও iii

৬। একটি তড়িৎ বর্তনীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের দিক নির্ণয় করা যায় কোন সূত্র দ্বারা ?
ক ফ্যারাডের সূত্র
খ নিউটনের সূত্র
গ ম্যাক্সওয়েলের সূত্র
ঘ লেনজের সূত্র

৭। আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল E-এর রাশিমালায় ঋণাত্মক চিহ্নটির উৎস হলো—
ক ফ্যারাডের ১ম সূত্র
খ ফ্যারাডের ২য় সূত্র
গ শক্তির সংরক্ষণ সূত্র
ঘ তড়িৎ আধানের সংরক্ষণ সূত্র

৮। কোনো কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ $1\ mAs^{-1}$ হারে পরিবর্তনের দরুন আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল 50 μV হলে, কুণ্ডলীটির স্বাবেশ গুণাঙ্ক—

ক 50
খ 5
গ 0·5
ঘ 0·05

৯। স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের একক—

(i) H [দি. বো. ২০১৫]
(ii) $Wb\ A^{-1}$
(iii) VA^{-1}

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

১০। লেন্‌জের সূত্র—

(i) চার্জ সংরক্ষণের সূত্র প্রকাশ করে
(ii) শক্তির সংরক্ষণ সূত্র মেনে চলে
(iii) আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের দিক নির্ধারণ করে

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

১১। কোনটির কার্যনীতি আবেশ ক্রিয়ার ওপর প্রতিষ্ঠিত?

ক মোটর
খ ট্রান্সফরমার
গ জেনারেটর
ঘ ট্রানজিস্টর

১২। n পাকের একটি সলিনয়েডের দৈর্ঘ্য l এবং ব্যাসার্ধ r। সলিনয়েডটির আবেশ গুণাঙ্ক—

(i) n এর সমানুপাতিক
(ii) l এর ব্যস্তানুপাতিক
(iii) n^2 এর সমানুপাতিক

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

১৩। 5 H স্বাবেশ গুণাঙ্কের কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে 1 A/s হারে বিদ্যুৎ প্রবাহ চলতে থাকলে কুণ্ডলীতে কত তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে ?

ক 5 V
খ 10 V
গ 15 V
ঘ 20 V

১৪। 16 Ω রোধের মধ্য দিয়ে একটি পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ পাঠানো হলে এর *rms* মান পাওয়া যায় 10 A। রোধের দুই প্রান্তের সর্বোচ্চ বিভব পার্থক্য কত হবে ?

ক 226·3 V
খ 160 V
গ 260·6 V
ঘ 220 V

১৫। একটি দিক পরিবর্তী প্রবাহমাত্রার কম্পাঙ্ক 50 Hz শীর্ষমানে পৌঁছানোর সময় হলো—

ক $\frac{1}{50}$ s
খ $\frac{1}{100}$ s
গ $\frac{1}{200}$ s
ঘ $\frac{1}{75}$ s

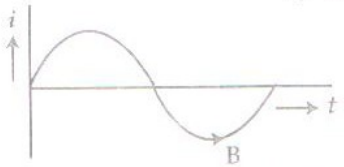
১৬। একমুখী প্রবাহের ক্ষেত্রে—

(i) প্রবাহের অভিমুখ অপরিবর্তিত থাকে
(ii) প্রবাহের মান অপরিবর্তিত থাকে
(iii) প্রবাহের মানের সাথে সাথে দিকের পরিবর্তন ঘটে

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

১৭। [কু. বো. ২০১৫]



উপরের চিত্রে B বিন্দুতে দিক পরিবর্তী প্রবাহের পর্যায়কাল কত ?

ক $\frac{T}{4}$
খ $\frac{T}{2}$
গ $\frac{3T}{4}$
ঘ $\frac{3T}{2}$

নিচের তথ্যের আলোকে ১৮ এবং ১৯নং প্রশ্নের উত্তর দাও :
যে কোনো ts সময়ে কোনো দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের সমীকরণ, $I = 10 \sin (400\ \pi t)$ A।

১৮। প্রবাহের গড় বর্গের বর্গমূল মান কত ?

ক 6·37 A
খ 7·07 A
গ 63·7 A
ঘ 70·7 A

১৯। কম্পাঙ্কের মান কত ?
ক 31·4 Hz
খ 250 Hz
গ 200 Hz
ঘ 225 Hz

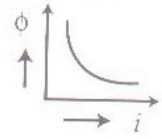
২০। দিক পরিবর্তী প্রবাহের বর্গমূলীয় গড়মান শীর্ষ মানের—
ক 70·7%
খ 63·7%
গ 77·7%
ঘ 66·7%

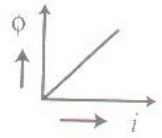
২১। একটি দিক পরিবর্তী প্রবাহকে $I = 50 \sin 400 \pi t$ সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করলে ঐ প্রবাহের কম্পাঙ্ক কত ?
ক 100 Hz
খ 200 Hz
গ 50 Hz
ঘ 400 Hz

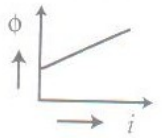
২২। 220V উৎসের শীর্ষ মান— [ঢা. বো. ২০১৫]
ক 100V
খ 220V
গ 311V
ঘ 440V

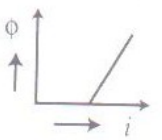
২৩। পরিবর্তী প্রবাহ, $i = 200 \sin 100 \pi t$ দ্বারা প্রকাশ করা হলে পর্যায়কাল কত ?
ক 0·05 s
খ 0·02 s
গ 0·01 s
ঘ 0·1 s

২৪। একটি কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স ও তড়িৎ প্রবাহের সম্পর্ক নির্দেশক সঠিক লেখচিত্র কোনটি? [য. বো. ২০১৫]

ক 

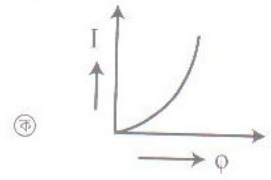
খ 

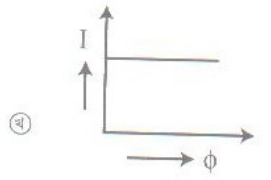
গ 

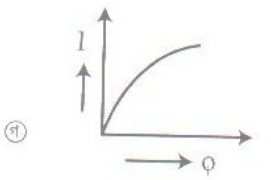
ঘ 

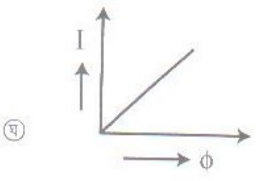
২৫। কোনো বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ $6·28 \times 10^{-}$ এবং পাকসংখ্যা 240, কুণ্ডলীর মধ্যে দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চলছে। কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌ ক্ষেত্রের মান কত হবে? [কু. বো. ২০
ক 0·005 T
খ 0·382 T
গ 1·2 T
ঘ 2·4 T

২৬। নিচের কোন লেখচিত্রটি স্বকীয় আবেশ গু নির্দেশ করে? [কু. বো. ২০

ক 

খ 

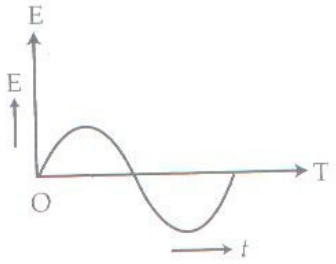
গ 

ঘ 

২৭। দিক পরিবর্তী প্রবাহের মান সর্বোচ্চ হতে সর্বনি পৌঁছাতে সময় লাগে—
ক $\frac{T}{4}$
খ $\frac{T}{2}$
গ T
ঘ 2T

২৮। কোনো দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তির সমীকর $E = 220 \sin 314\, t$। তড়িচ্চালক শক্তির গড় বর্গের বর্গমূল মান কত? [কু. বো. ২০১৫]
ক 140·14 V
খ 135·54 V
গ 311·17 V
ঘ 345·36 V

২৯।



উদ্দীপকে কোন কোন সময়ে E এর মান সর্বোচ্চ হবে?

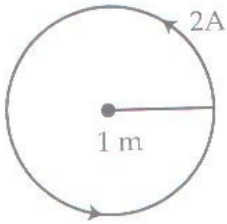
ক 0·3 T

খ $\frac{T}{4}$ ও $\frac{3T}{4}$

গ $\frac{T}{2}$ ও T

ঘ $\frac{T}{2}$ ও $\frac{T}{4}$

৩০।



উদ্দীপকের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত?

ক $\frac{\mu_0}{2}$

খ μ_0

গ $2\,\mu_0$

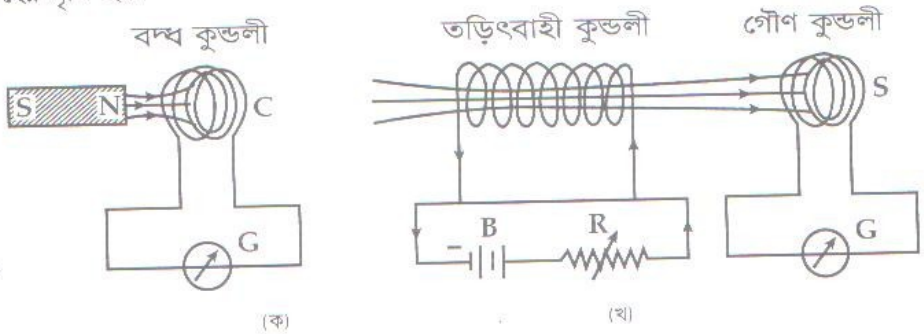
ঘ $4\,\mu_0$

উত্তর :

১। ক	২। গ	৩। খ	৪। খ	৫। গ	৬। ঘ	৭। খ	৮। ঘ	৯। ক	১০। গ
১১। খ	১২। গ	১৩। ক	১৪। ক	১৫। গ	১৬। ক	১৭। গ	১৮। খ	১৯। গ	২০। ক
২১। খ	২২। গ	২৩। খ	২৪। খ	২৫। গ	২৬। ঘ	২৭। ক	২৮। খ	২৯। খ	৩০। খ

(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

১। নিচের চিত্রে 'ক'-এ একটি দণ্ড চুম্বক অথবা 'খ'-এ একটি তড়িৎবাহী তার কুণ্ডলী এবং একটি বদ্ধ গৌণ তার কুণ্ডলীর মধ্যে আপেক্ষিক গতি দেখানো হয়েছে। এই আপেক্ষিক গতির ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি ও তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়।



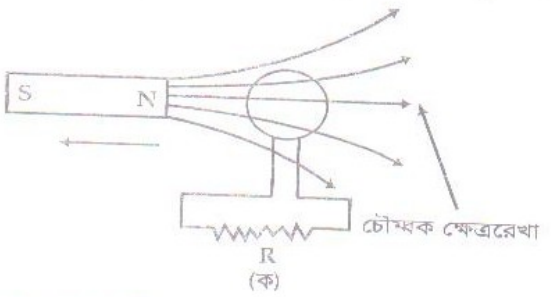
ক। তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ কী?

খ। আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি ও আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ ব্যাখ্যা কর।

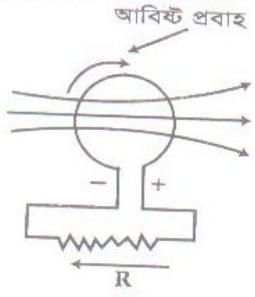
গ। উদ্দীপকের চিত্রের কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 100। একে চুম্বকের নিকট হতে 0·04s-এ সরিয়ে প্রতিটি পাকের চৌম্বক ফ্লাক্স 30×10^{-5} Wb হতে 2×10^{-5} Wb-এ পরিণত করা হলো। কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি নির্ণয় কর।

ঘ। 'খ' চিত্রে গৌণ ও মুখ্য কুণ্ডলীতে ভোল্টেজের অনুপাত x এবং গৌণ ও মুখ্য কুণ্ডলীর পাক সংখ্যার অনুপাত y হলে গৌণ ও মুখ্য কুণ্ডলীর ভোল্টেজের অনুপাত নির্ণয় কর। গৌণ কুণ্ডলীতে ভোল্টেজ কী কী বিষয়ের উপর নির্ভরশীল ?

২। নিচের চিত্রে একটি দণ্ড চুম্বক NS-এর উত্তর মেরু N-কে একটি তার কুণ্ডলীর দিকে আনা হচ্ছে। কুণ্ডলীর সঙ্গে বহিঃস্থ বর্তনীতে একটি রোধ R সংযোগ দেয়া হয়েছে। দণ্ড চুম্বকটি কুণ্ডলীর যত কাছে আসবে কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স তত বৃদ্ধি পাবে। আবার চুম্বক দণ্ডটি কুণ্ডলী থেকে দূরে সরিয়ে নিলে বিপরীত ঘটনা ঘটবে।



(ক)



(খ)

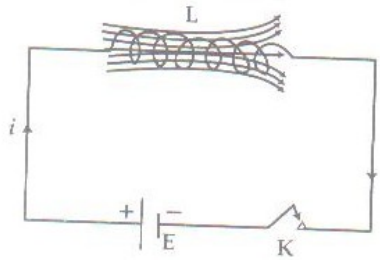
(ক) লেন্‌জের সূত্র বিবৃত কর।

(খ) কী কী বিষয়ের পরিবর্তনে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায় ?

(গ) উদ্দীপকের কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 500। এর মধ্য দিয়ে 8×10^{-3} Wb চৌম্বক ফ্লাক্স অতিক্রান্ত হয়। 0·015s-এ ফ্লাক্স হ্রাস পেয়ে 3×10^{-3} Wb এ পরিণত হয়। আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি কত?

(ঘ) উদ্দীপকে উল্লেখিত বর্তনীতে শক্তির নিত্যতার সূত্র কার্যকর হয় কিনা বিশ্লেষণ কর।

৩। নিচের চিত্রে একটি কুণ্ডলী L, তড়িৎ কোষ E ও টেপাচাবি K দ্বারা একটি তড়িৎ বর্তনী দেখানো হয়েছে।



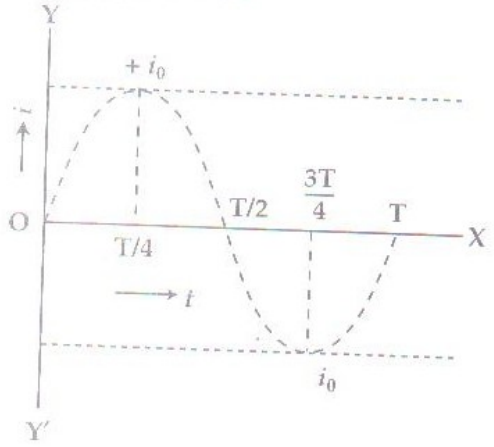
(ক) স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বলতে কী বোঝ ?

(খ) দুটি কুণ্ডলীর পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক কী কী বিষয়ের উপর নির্ভর করে ?

(গ) উদ্দীপকের কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক 10 হেনরি। এর ভেতর দিয়ে 2A তড়িৎ প্রবাহ চালু আছে। আবেশকের ভেতর 100V আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি কীভাবে উৎপন্ন করা যায়?

(ঘ) গাণিতিক ব্যাখ্যাসহ স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক ব্যাখ্যা কর এবং আবেশকের ভিতর 200 V আবিষ্ট হলে তড়িচ্চালক শক্তির কী পরিবর্তন হবে ?

৪। নিচের চিত্রে একটি দিক পরিবর্তী প্রবাহ দেখানো হয়েছে।



(ক) দিক পরিবর্তী প্রবাহ বা এ. সি. প্রবাহ কী ?

(খ) ডিসি অপেক্ষা এসি বেশি বিপজ্জনক—ব্যাখ্যা কর।

(গ) উদ্দীপকের পরিবর্তী প্রবাহের সমীকরণ $i = 50 \sin 628\, t$ হলে তড়িৎ প্রবাহের (i) শীর্ষ মান (ii) কম্পাঙ্ক এবং (iii) মূল গড় বর্গের মান নির্ণয় কর।

(ঘ) T এর মান দ্বিগুণ হলে গড় বিদ্যুৎ প্রবাহের শতকরা কত পরিবর্তন হবে ?

৫। 0·5 m^2 ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীতল 4×10^{-5} T সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 0·05 s ও 30° কোণ উৎপন্ন করে।

(ক) পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক কী?

(খ) লেঞ্জের সূত্রের শক্তির নিত্যতা বিধি কার্যকর হয় কীভাবে?

(গ) কুণ্ডলীতলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স বের কর।

(ঘ) উদ্দীপকে উল্লেখিত কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তি শূন্য হতে শীর্ষ মানে পৌঁছাতে কত সময় লাগবে তা চিত্রসহ বিশ্লেষণ কর।

(গ) সাধারণ প্রশ্ন

১। তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ বলতে কী বোঝ ? তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

২। চুম্বক দ্বারা কীভাবে তড়িৎ শক্তি উৎপাদন করা যায় ?

৩। আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল বলতে কী বোঝ ?

৪। তড়িৎ চুম্বক আবেশ সংক্রান্ত ফ্যারাডের সূত্র বিবৃত কর ও ব্যাখ্যা কর।

৫। লেন্‌জ-এর সূত্র বিবৃত কর। "লেন্‌জ এর সূত্র শক্তির নিত্যতার সূত্র মেনে চলে"—উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।

৬। দেখাও যে, লেনজের সূত্রটি শক্তির সংরক্ষণ নীতি থেকে পাওয়া যেতে পারে।

৭। স্বকীয় আবেশ ও পারস্পরিক আবেশ বলতে কী বোঝ? চিত্রের সাহায্যে বর্ণনা কর।

৮। হেনরি কী ? স্বকীয় ও পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের সংজ্ঞা দাও।

৯। দিক পরিবর্তী প্রবাহ (AC) ও সরাসরি (DC) প্রবাহের সংজ্ঞা দাও।

১০। $V - t$ লেখচিত্রে উভয় প্রকার তরঙ্গ দেখাও। কীভাবে দিক পরবর্তী প্রবাহ উৎপাদন করা যায় বর্ণনা কর।

১১। গড় মান, আপাত মান ও শীর্ষ মানের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন কর।

১২। স্বকীয় আবেশ বলতে কী বোঝ ?

১৩। স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বলেত কী বোঝ ?

১৪। 'স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক 1 H'—অর্থ কী ?

১৫। পারস্পরিক আবেশ বলতে কী বোঝ ?

১৬। 'পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক 1 H'—অর্থ কী ?

১৭। পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ কী ?

১৮। পরিবর্তী প্রবাহের শীর্ষমান ও কম্পাঙ্ক কাকে বলে ?

১৯। পরিবর্তী প্রবাহ একমুখী প্রবাহ অপেক্ষা বেশি বিপজ্জনক কেন ?

২০। সাইনধর্মী পরিবর্তী প্রবাহের গড়মান ও *rms* মান নির্ণয় কর। এদের মধ্যে সম্পর্ক কী ?

২১। আকৃতি গুণাঙ্ক বলতে কী বোঝ ?

২২। দিক পরিবর্তী প্রবাহের শীর্ষমান বলতে কী বোঝ ?

(ঘ) ক্রিয়াকর্ম

ফ্যারেড-এর এবং লেন্‌জ-এর সূত্র কীভাবে পরস্পর গতিশীল দুটি বন্ধ কুণ্ডলীর ক্ষেত্রে প্রয়োগ হয় তা চিত্রসহ ব্যাখ্যা করে একটি প্রতিবেদন রচনা কর এবং শ্রেণিকক্ষে তা উপস্থাপন কর।

(ঙ) কাজ (গাণিতিক সমস্যা)

১। 500 পাকবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে 8×10^{-3} Wb চৌম্বক ফ্লাক্স অতিক্রম করে। 0·015 s-এ ফ্লাক্স হ্রাস পেয়ে 3×10^{-3} এ পরিণত হয়। আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি কত ? [উত্তর : 166·66 Volt]

২। 2A তড়িৎ প্রবাহমাত্রায় 400 পাকের একটি কুণ্ডলীতে 4×10^{-4} Wb চৌম্বক ফ্লাক্স উৎপন্ন হয়। কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [য. বো. ২০০৩] [উত্তর : 0·08 henry]

৩। 0·1 s-এ কোনো কুণ্ডলীর তড়িৎ প্রবাহ মাত্রা 6 A হতে হ্রাস পেয়ে শূন্য হওয়ায় আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির গড় মান 150 volt হয়। কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [উত্তর : 2·5 H]

৪। 400 পাকের একটি কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে চৌম্বক ফ্লাক্স 3×10^{-3} s এ 25×10^{-5} Wb থেকে 50×10^{-5} Wb-এ পরিবর্তিত হয়। কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির মান নির্ণয় কর। [উত্তর : 33·33 V]

৫। একটি কুণ্ডলীতে 0·1 s-এ তড়িৎ প্রবাহ মাত্রা 10 A হতে হ্রাস পেয়ে 2A হবার ফলে গড় আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি 32 volt হলে কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [উত্তর : 0·4 H]

৬। 120V এর একটি ব্যাটারীর সাথে 5Ω রোধের একটি তার কুণ্ডলী যুক্ত আছে। বর্তনীর স্থির প্রবাহ মাত্রা 20A থেকে শূন্যে নামতে 0·04 s সময় লাগে। কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [উত্তর: 0·04H]

৭। 1000 পাকবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে 2·5A তড়িৎ প্রবাহকালে $0·5 \times 10^{-3}$ Wb চৌম্বক ফ্লাক্স উৎপন্ন হয়। কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [উত্তর : 0·2 H]

৮। একটি পরিবর্তী বর্তনীতে 110 Volt তড়িচ্চালক শক্তি ক্রিয়া করে। তড়িচ্চালক শক্তির শীর্ষমান নির্ণয় কর।

[উত্তর : 172·7 Volt]

৯। একটি পরিবর্তী বর্তনীর অর্ধচক্রের জন্য গড় প্রবাহ মাত্রা 1·6 A। প্রবাহ মাত্রার শীর্ষমান কত? [উত্তর : 2·512 A]

১০। একটি পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি E = 200 sin 100 πt-তে প্রকাশ করা হলো। এর বিস্তার, মূল গড় বর্গ মান ও কম্পাঙ্ক কত ? [উত্তর : (ক) 200 Volt ; (খ) 141·4 Volt ; (গ) 50 Hz]

১১। একটি পরিবর্তী প্রবাহকে $i = 10 \sin 100 \pi t$ দ্বারা প্রকাশ করা হলো। কম্পাঙ্ক, প্রবাহ মাত্রার শীর্ষমান এবং মূল গড় বর্গ মান নির্ণয় কর। [উত্তর : (ক) 50 Hz, (খ) 10 A ; (গ) 7·07 A]

১২। একটি পরিবর্তী বর্তনীর প্রবাহ মাত্রার শীর্ষ মান 5 A এবং কম্পাঙ্ক 50 Hz। এর গড় বর্গের বর্গমূল মান নির্ণয় কর। শূন্য থেকে শীর্ষ মানে পৌঁছাতে কত সময় লাগবে ? [উত্তর : 3·54 A; 5×10^{-3} s]

১৩। 8 MeV শক্তিসম্পন্ন একটি প্রোটন 5·0T সমচৌম্বক ক্ষেত্রে সমকোণে প্রয়োগ করা হলো। প্রোটনের উপর কার্যকর বল নির্ণয় কর। [$M_p = 1·6 \times 10^{-27}$ kg, charge = $1·6 \times 10^{-19}$ C]

[বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৬-০৭] [উত্তর : $3·2 \times 10^{-11}$ N]

১৪। হাইড্রোজেনের পরমাণুর ইলেকট্রন 5×10^{-11} m ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে প্রতি সেকেন্ডে $6·8 \times 10^{15}$ বার ঘুরছে। বৃত্তের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত হবে? [বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৯-১০] [উত্তর : 13·67 Wb]

১৫। যে কোনো সময় t-তে একটি কুণ্ডলীর সঙ্গে জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্স $\phi = 5t^3 - 100t + 300$ হলে, $t = 2$s সময়ে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল কত হবে ? [উত্তর : 40V]

১৬। একটি কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে চৌম্বকীয় ফ্লাক্স নিম্নোক্ত সম্পর্ক অনুযায়ী পরিবর্তিত হচ্ছে :

$\varphi = (4t^2 + 2t - 10)$ Wb, যেখানে ts-এ মাপা হয়। কুণ্ডলীটির রোধ যদি 5Ω হয়, তবে $t = 2$s সময়ে কুণ্ডলীটিতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মান কত হবে নির্ণয় কর। [উত্তর : 3·6 A]

১৭। 0·05 s-এ একটি কুণ্ডলীতে প্রবাহ +2A থেকে পরিবর্তিত হয়ে −2A হলে কুণ্ডলীটিতে 8V তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক কত ? [উত্তর : 0·1 H]

১৮। 5 H মানের আবেশ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে প্রবাহ 2 A/s হারে কমতে থাকলে কুণ্ডলীটিতে কত তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে ? [উত্তর : 10 V]

১৯। একটি কুণ্ডলীর প্রবাহ যদি 0·1 s সময়ে 10A থেকে শূন্যে নেমে আসে, তাহলে পাশের আর একটি কুণ্ডলীতে 100 mV তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীদ্বয়ের পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক কত ? [উত্তর : 1 mH]

২০। একটি বর্তনীতে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক 0·1 H। একটি বর্তনীতে 0·02 s-এ প্রবাহ শূন্য থেকে বৃদ্ধি পেয়ে 20A হলে, অন্য বর্তনীতে গড় আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান কত ? [উত্তর : 100 V]

২১। একটি কুণ্ডলীর L = 2mH। এর মধ্য দিয়ে প্রবাহ হলো $I = t^2e^{-t}$। প্রারম্ভিক মুহূর্ত থেকে কত সময় পরে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল শূন্য হবে ? [উত্তর : 2 s পরে]