তাড়িতচৌম্বক আবেশ ও দিক পরিবর্তী প্রবাহ
Electromagnetic Induction and Alternation Current

ইউনিট ৪

ভূমিকা (Introduction)

তড়িৎ প্রবাহ চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করতে পারে- ১৮১৯ সালে ওয়েরস্টেডের এ আবিষ্কারের পর বিজ্ঞানীদের মনে কৌতুহল সৃষ্টি হয়- চৌম্বকক্ষেত্র তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করতে পারে কিনা? ১৮৩১ খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী মাইকেল ফ্যারাডে এ কৌতুহল দূর করেন। তিনি আবিষ্কার করেন যে, পরিবর্তনশীল চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করা যায়। একে তাড়িতচৌম্বক আবেশ বলা হয়। এ আবিষ্কার এর উপর ভিত্তি করে ডায়নামো, ট্রান্সফরমার ইত্যাদি বৈদ্যুতিক যন্ত্র আবিষ্কৃত হয়েছে।

পাঠ-৪.১ : তাড়িতচৌম্বক আবেশ: আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি
Electromagnetic Induction: Induced Electromotive force.

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

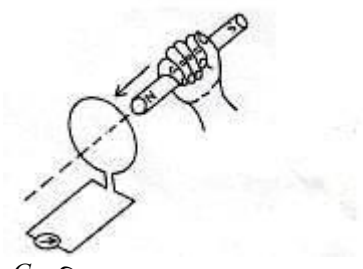
- তাড়িতচৌম্বক আবেশ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি ব্যাখ্যা করতে পারবেন ।

৪.১.১ তাড়িতচৌম্বক আবেশ (Electromagnetic Induction)

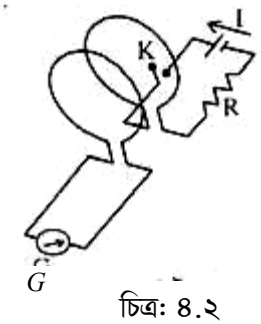
একটি গতিশীল চুম্বক অথবা তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর প্রভাবে একটি বদ্ধতার কুণ্ডলীতে ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তি ও তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন হওয়ার প্রক্রিয়াকে তাড়িতচৌম্বক আবেশ বলা হয়।

পরীক্ষা

৪-১নং চিত্রে একটি গ্যালভানোমিটারের (G) সাথে একটি কুণ্ডলীর দু'প্রান্ত সংযুক্ত অবস্থায় দেখানো হয়েছে। এ অবস্থায় গ্যালভানোমিটারে কোনো বিক্ষেপ সৃষ্টি হয় না। কিন্তু কুণ্ডলীর দিকে একটি চুম্বক আনতে থাকলে [চিত্র: ৪-১] অথবা কুণ্ডলী হতে চুম্বকটি দূরে সরিয়ে নিতে থাকলে, কুণ্ডলীর সাথে সংযুক্ত গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ সৃষ্টি হয়, অর্থাৎ কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের উদ্ভব হয়। চুম্বককে স্থির রেখে কুণ্ডলীকে কাছে বা দূরে নিলেও তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। কিন্তু কুণ্ডলী এবং চুম্বকের মধ্যে আপেক্ষিক গতি না থাকলে অথবা উভয়েই সমবেগে একই দিকে গতিশীল থাকলে, কুণ্ডলীতে কোনো তড়িৎ প্রবাহের উৎপত্তি হতে দেখা যায় না। আবার একটি চুম্বকের একটি নির্দিষ্ট মেরু কুণ্ডলীর দিকে আনলে গ্যালভানোমিটারের শলাকা যেদিকে বিক্ষিপ্ত হয়, মেরুটিকে দূরে নিলে গ্যালভানোমিটারের শলাকা তার বিপরীত দিকে বিক্ষিপ্ত হয়। অর্থাৎ দুটি ক্ষেত্রে তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ হয় পরস্পর বিপরীতমুখী।



চিত্র : ৪.১



চিত্র: ৪.২

দ্বিতীয় পরীক্ষায়, পূর্বের চুম্বকের পরিবর্তে একটি তড়িৎবাহী কুণ্ডলী ব্যবহার করা হয় [চিত্র: ৪.২] এবং কুণ্ডলী দু'টিকে খুব কাছাকাছি স্থির অবস্থায় রাখা হয়। দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে অন্তর্ভুক্ত টেপা চাবি K টিপে বর্তনীকে সংহত করলে এতে সুষম প্রবাহের সৃষ্টি হয় এবং প্রথম কুণ্ডলীতে অন্তর্ভুক্ত সুবেদী গ্যালভানোমিটারে ক্ষণিকের জন্য বিক্ষেপের উৎপত্তি হয়। আবার টেপা চাবি ছেড়ে বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ করলে পুনরায় গ্যালভানোমিটারে ক্ষণস্থায়ী বিক্ষেপের সৃষ্টি হয়। অবশ্য এ বিক্ষেপ হয় পূর্ববর্তী বিক্ষেপের বিপরীত দিকে। এ পরীক্ষায় আরও দেখা যায় যে, টেপা চাবি K বিশিষ্ট বর্তনীতে অন্তর্ভুক্ত R রোধের হঠাৎ পরিবর্তনের মাধ্যমে তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা কমবেশি করলেও গ্যালভানোমিটারের শলাকা বিক্ষিপ্ত হয়।

তাড়িতচৌম্বক আবেশের ব্যাখ্যা

উপরে বর্ণিত সব পরীক্ষাতেই বামদিকের গ্যালভানোমিটার যুক্ত বদ্ধ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক বলরেখার সংখ্যার তথা চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন সংঘটিত হয়।

যদি কোনো দণ্ড চুম্বককে ক্রমশ একটি বদ্ধ কুণ্ডলীর দিকে নেয়া হয়, তাহলে কুণ্ডলীটিকে ক্রমশ বেশি সংখ্যক চৌম্বক বলরেখা ছেদ করে। আবার চুম্বকটিকে ক্রমশ কুণ্ডলী হতে দুরে সরালে কুণ্ডলীটিকে ক্রমশ কম সংখ্যক চৌম্বক বলরেখা ছেদ করে এবং দুটি সময়ই কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হয়।

দ্বিতীয় পরীক্ষায়, ডানদিকের কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন (শুরু বা বন্ধ বা মাত্রার পরিবর্তনহেতু) বাম দিকের বদ্ধ কুণ্ডলীতে চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটায়।

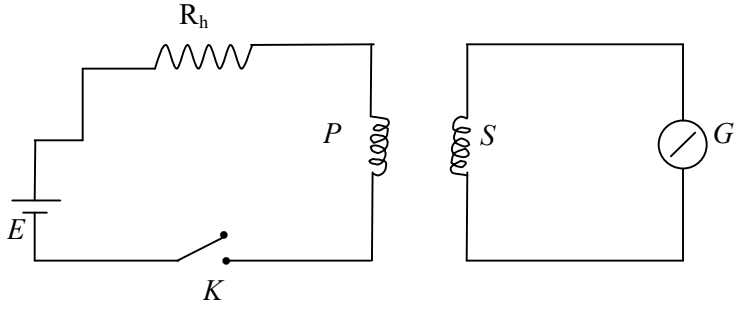
অতএব, দেখা যায় যে, বদ্ধ বর্তনীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা তথা চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনই বর্তনীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি সৃষ্টির মূল কারণ।

৪.১.২ আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি (Induced Electromotive Force)

তাড়িতচৌম্বক আবেশের ফলে সৃষ্ট ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তিকে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বলে।

যখনই কোনো কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন হয়- তখনই কুণ্ডলীতে বিভবের সৃষ্টি হয়। এই বিভবই হল আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি।

পরীক্ষা: অন্তরিত তামার তারের দুটি বদ্ধ কুণ্ডলী নেয়া হয়। একটি কুণ্ডলীতে একটি সুবেদী (sensitive) গ্যালভানোমিটার (G) সংযুক্ত। অন্য কুণ্ডলীতে একটি তড়িচ্চালক শক্তির উৎস (E), একটি পরিবর্তনশীল রোধ (R_h) ও একটি টেপা চাবি (K) সংযুক্ত (চিত্র : ৪.৩)। এই কুণ্ডলীটিকে গ্যালভানোমিটার সংযুক্ত সেটিকে গৌণ কুণ্ডলী (S) বলা হয়।



চিত্র : ৪.৩

এবার চাবি বন্ধ করে মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ শুরু করলে গৌণ কুণ্ডলীর গ্যালভানোমিটারে ক্ষণিক বিক্ষেপ দেখা যায়। আবার চাবি খুলে তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ করার সময়ও গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ দেখা যায়। তবে এবার বিপরীত দিকে বিক্ষেপ দেখায়। মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহ পরিবর্তন করলেও গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ দেখা যাবে। প্রবাহ বৃদ্ধির সময় বিক্ষেপ যেদিকে হবে প্রবাহ হ্রাসের সময় বিক্ষেপ তার বিপরীত দিকে হবে। মুখ্য কুণ্ডলীর প্রবাহ স্থির রেখে যদি কুণ্ডলীদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিবর্তন করা হয় তাহলেও গ্যালভানোমিটারে ক্ষণিক বিক্ষেপ দেখা যাবে। দূরত্ব বৃদ্ধি করলে বিক্ষেপ যেদিকে হবে দূরত্ব হ্রাস করলে বিক্ষেপ তার বিপরীত দিকে হবে।

সার-সংক্ষেপ :

তাড়িতচৌম্বক আবেশ: একটি গতিশীল চুম্বক অথবা তড়িৎবাহী কুন্ডলীর প্রভাবে অন্য একটি বদ্ধ বর্তনীতে ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তি ও তড়িৎপ্রবাহ উৎপন্ন হওয়ার পদ্ধতিকে তাড়িতচৌম্বক আবেশ বলে।

আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি: তাড়িতচৌম্বক আবেশের ফলে সৃষ্ট ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তিকে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বলা হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৪.১

বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। পরিবর্তনশীল চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি আবিষ্কার করেন-
(ক) ওয়েরস্টেড (খ) ফ্লেমিঙ (গ) ফ্যারাডে (ঘ) ম্যাক্সওয়েল

২। একটি দন্ড চুম্বক একটি গ্যালভানোমিটারের সাথে সংযুক্ত তারের কুন্ডলীর দিকে নেয়া হয়, গ্যালভানোমিটারের শলাকা ডান দিকে বিক্ষিপ্ত হয়, একই চুম্বককে কুন্ডলী থেকে একই দ্রুতিতে সরিয়ে নিলে গ্যালভানোমিটারের শলাকা বিক্ষেপ হবে,
(ক) একই পরিমাণ ডান দিকে (খ) পূর্বের চেয়ে বেশি ডান দিকে
(গ) একই পরিমাণ বাম দিকে (ঘ) পূর্বের চেয়ে বেশি বাম দিকে।

পাঠ-৪.২: চৌম্বক ফ্লাক্স (Magnetic Flux)

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- চৌম্বক ফ্লাক্স ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- চৌম্বক ক্ষেত্র রেখার সাথে চৌম্বক ফ্লাক্সের সম্পর্ক ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৪.২.১ চৌম্বক ফ্লাক্স

একটি চুম্বক বা একটি গতিশীল চার্জের চারপাশে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয়। চৌম্বক ফ্লাক্স, চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ এর একটি ধর্ম।

চৌম্বক ফ্লাক্স একটি স্কেলার রাশি। চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো তলের ক্ষেত্রফলের সাথে ঐ তলের লম্ব বরাবর চৌম্বক ক্ষেত্রের উপাংশ গুণ করলে চৌম্বক ফ্লাক্স পাওয়া যায়।

তলের ক্ষেত্রফল ভেক্টর ও চৌম্বক ক্ষেত্র ভেক্টর এর স্কেলার গুণফল দ্বারা চৌম্বক ফ্লাক্স পরিমাপ করা হয়।

একে ϕ দ্বারা প্রকাশ করা হয়,

ধরা যাক, ক্ষেত্রফল ভেক্টর $= \vec{A}$

চৌম্বক ক্ষেত্র $= \vec{B}$

অন্তর্ভুক্ত কোণ $= \theta$

$\therefore \phi = \vec{A} . \vec{B} = \vec{B} . \vec{A} = AB\cos\theta$

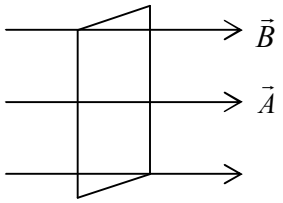
$\vec{A}$ একটি ভেক্টর। এর মান তলের ক্ষেত্রফল এবং দিক হল ঐ তলের লম্ব বরাবর বহির্মুখী।

চৌম্বক ক্ষেত্র ($\vec{B}$) তলের লম্ব বরাবর হলে (চিত্র : ৪.৪)

$\theta = 0^o$

$\therefore \phi = AB$

এর একক tesla-m^2। একে weber বলা হয়।

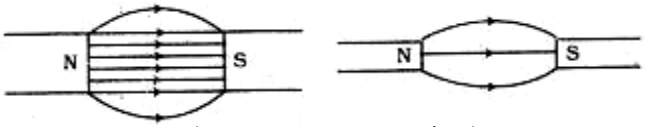


চিত্র: ৪.৪

৪.২.২ চৌম্বকক্ষেত্র রেখা ও চৌম্বক ক্ষেত্র

ক্ষেত্ররেখা বা আবেশরেখার সাথে ফ্লাক্স জড়িত। কোনো স্থান দিয়ে ক্ষেত্ররেখা গমন করলে আমরা বলি, উক্ত স্থান দিয়ে ফ্লাক্স গমন করেছে। ক্ষেত্ররেখার সংখ্যা ফ্লাক্স এর পরিমাণ নির্ধারণ করে। ক্ষেত্ররেখার বাস্ড়ব অস্ড়িত্ব নেই। কিন্তু ফ্লাক্স পরিমেয়।

চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা বা আবেশ রেখার সন্নিবেশ ঘনত্বের উপর চৌম্বক ক্ষেত্র নির্ভর করে। সন্নিবেশ ঘনত্ব বেশি হলে ক্ষেত্র সবল, কম হলে ক্ষেত্র দুর্বল।



(ক) সবল চৌম্বক ক্ষেত্র (খ) দুর্বল চৌম্বক ক্ষেত্র

চিত্র: ৪.৫

সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে ক্ষেত্ররেখার সাথে লম্বভাবে অবস্থিত একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ড় ক্ষেত্ররেখার সংখ্যার উপর চৌম্বক ক্ষেত্র নির্ভর করে। এ সংখ্যা যত বেশি চৌম্বক ক্ষেত্র তত সবল।

অতএব, ক্ষেত্ররেখার সাহায্যে চৌম্বক ফ্লাক্সের সংজ্ঞা নিম্নরূপে দেয়া যায়: **আবেশরেখা বা ক্ষেত্ররেখার সঙ্গে সংশিণ্টষ্ট যে চৌম্বক রাশির ঘনত্ব দ্বারা চৌম্বক ক্ষেত্র পরিমাপ করা হয় তাকে চৌম্বক ফ্লাক্স বলে।**

চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্বঃ কোনো সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত কোন তলের একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ড় ফ্লাক্সকে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব বলে।

একে $\vec{B}$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এটি একটি ভেক্টর রাশি। বস্তুত: চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব ($\vec{B}$) ও চৌম্বক ক্ষেত্র ($\vec{B}$) অভিন্ন। যদি A প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট একটি কুন্ডলী চৌম্বক ক্ষেত্র B এর মধ্যে স্থাপন করা হয়। তাহলে-

চৌম্বক ফ্লাক্স, $\phi = AB\cos\theta$.

এখানে, θ = চৌম্বক ক্ষেত্র এবং কুন্ডলীর তলের উপর অঙ্কিত অভিলম্বের মধ্যবর্তী কোণ।

যদি কুন্ডলীটি চৌম্বকক্ষেত্রের সমান্ড়রালে স্থাপন করা হয়, (চিত্র : ৪.৬ ক)

$\theta = 90^o$ এবং

$\phi = AB\cos 90^o = 0$

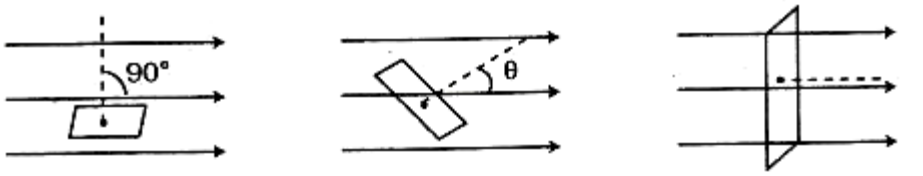
যদি কুন্ডলীকে চৌম্বকক্ষেত্রের সাথে সমকোণে স্থাপন করা হয় (চিত্র: ৪.৬ গ)

$\theta = 0^o$

$\therefore \phi = AB$

$$B = \frac{\phi}{A}$$

B এর একক, $\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} = \text{Wbm}^{-2}$ বা tesla.



(ক) শূন্য ফ্লাক্স ($\theta = 90^0$) (খ) শূন্য ফ্লাক্স (গ) শূন্য ফ্লাক্স ($\theta = 0^0$)

চিত্র : ৪.৬

গাণিতিক উদাহরণঃ

১০.১. $0.2\ m^2$ ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট একটি তল 5×10^{-5}T সুষম চৌম্বকক্ষেত্রের সাথে 30^o কোণ তৈরী করে। তলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ড় চৌম্বক ফ্লাক্স নির্ণয় কর ন।

আমরা জানি,

$\phi = AB\cos\theta$

$\therefore \quad \phi = 0.2m^2\times5\times10^{-5}T\cos60^o$

$= 0.2m^2\times5\times10^{-5}T\times\frac{1}{2}$

$= 0.1m^2\times5\times10^{-5}T$

$= 5\times10^{-6}$ Wb.

এখানে,

A = তলের ক্ষেত্রফল = $0.2m^2$

B = চৌম্বক ক্ষেত্র = 5×10^{-5}T

θ = তলের অভিলম্ব ও চৌম্বকক্ষেত্রের মধ্যবর্তী কোণ = $90^o-30^o = 60^o$

উ: 5×10^{-6} Wb

সার-সংক্ষেপ :

চৌম্বক ফ্লাক্স: কোনো তলের ক্ষেত্রফল ভেক্টর ($\vec{A}$) ও চৌম্বক ক্ষেত্র ভেক্টর ($\vec{B}$)-এর স্কেলার গুণফলকে চৌম্বক ফ্লাক্স বলা হয়। চৌম্বক ফ্লাক্স, $\varphi = \vec{A}.\vec{B}$ । এর একক weber.

চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব : কোনো সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত কোনো তলের একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ড় ফ্লাক্সকে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়নঃ ৪.২

বহুনির্বাচনি প্রশ্ন–

১। যদি A প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট একটি কুণ্ডলী চৌম্বকক্ষেত্র B এর মধ্যে স্থাপন করা হয় এবং চৌম্বকক্ষেত্র ও কুণ্ডলীর তলের উপর অঙ্কিত অভিলম্বের মধ্যবর্তী কোণ হয় θ, তাহলে চৌম্বক ফ্লাক্স,

(ক) $\phi = AB\sin\theta$ (খ) $\frac{A}{B}\sin\theta$ (গ) $AB\cos\theta$ (ঘ) $\frac{B}{A}\cos\theta$

২। কুণ্ডলী চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্ড়রালে থাকলে চৌম্বক ফ্লাক্স,

(ক) 0 (খ) $\frac{A}{B}$ (গ) AB (ঘ) $\frac{B}{A}$

৩। যদি কুণ্ডলীকে চৌম্বকক্ষেত্রের সমকোণে স্থাপন করা হয়,

(ক) $\phi = 0$ (খ) $\phi = \frac{A}{B}$ (গ) $\phi = AB$ (ঘ) $\frac{B}{A}$

পাঠ-৪.৩ : তাড়িতচৌম্বক আবেশ সংক্রান্ড় সূত্রাবলি

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- ফ্যারাডের তাড়িতচৌম্বক আবেশের সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- লেন্সের সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- লেঞ্জের সূত্রের সাথে শক্তির সংরক্ষণশীলতার সম্পর্ক ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৪.৩.১ ফ্যারাডের তাড়িতচৌম্বক আবেশের সূত্র (Faraday's Laws of Electromagnetic Induction)

(১) কোনো বদ্ধ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ড় চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার সংখ্যা তথা চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন হলে কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তি তথা তড়িৎ প্রবাহ আবিষ্ট হয় এবং যতক্ষণ এ পরিবর্তন চলতে থাকে, আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তিও ততক্ষণই থাকে।

(২) বদ্ধ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ড় চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের ঋণাত্মক হারের সমানুপাতিক।

ব্যাখ্যা: ধরা যাক, কোনো বদ্ধ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে চৌম্বক ফ্লাক্স গমন করছে এবং অতিক্রান্ড় ফ্লাক্সের মান ক্রামগত পরিবর্তিত হচ্ছে।

ধরা যাক, t সময়ে অতিক্রান্ড় চৌম্বক ফ্লাক্স $= \phi$ এবং $t + dt$ সময়ে অতিক্রান্ড় চৌম্বক ফ্লাক্স $= \phi + d\phi$ এখানে, dt অতি অল্প সময়।

$\therefore$ চৌম্বক ফ্লাক্সের তাৎক্ষণিক পরিবর্তনের হার $= \dfrac{d\phi}{dt}$

অতএব, ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে,

$$\varepsilon \propto \frac{d\phi}{dt} \quad \text{.....(৪.১)}$$

বা, $\varepsilon = -K\dfrac{d\phi}{dt}$

এ সমীকরণের রাশিগুলোকে এসআই এককে অর্থাৎ, ε ভোল্টে, ϕ ওয়েবারে এবং t সেকেন্ডে প্রকাশ করলে K=1 হয়।

$$\therefore \varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} \quad \text{..... .....(৪.২)}$$

এ সমীকরণটি এক পাক বিশিষ্ট কুণ্ডলীর ক্ষেত্রে প্রযোজ্য।

ধরা যাক, কুণ্ডলীতে N সংখ্যক পাক আছে। প্রত্যেকটি পাকের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ড় ফ্লাক্স $= \phi$;

কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ড় মোট ফ্লাক্স $= N\phi$;

$$\therefore \varepsilon = -\frac{d}{dt}(N\phi)$$

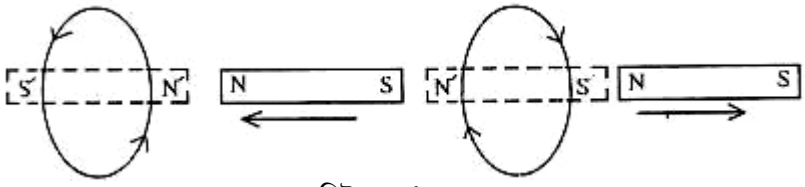
বা, $\varepsilon = -N\frac{d\phi}{dt}$ .....(৪.৩)

সমীকরণ, (৪.২) ও (৪.৩) এ, বিয়োগ চিহ্ন দ্বারা বুঝায় যে, ε, ফ্লাক্সের পরিবর্তনকে বাধা দেয়।

৪.৩.২ লেঞ্জের সূত্র (Lenz's Law)

তাড়িতচৌম্বক আবেশের ক্ষেত্রে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ কোন দিকে হবে তা নির্ণয়ের জন্য বিজ্ঞানী লেঞ্জ একটি সূত্র প্রদান করেন। এটি লেঞ্জের সূত্র নামে পরিচিত। সূত্রটি নিম্নরূপ:

যেকোনো তাড়িতচৌম্বক আবেশের বেলায় আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ এমন হবে যে, যে কারণে বা পরিবর্তনের ফলে প্রবাহের সৃষ্টি হয়, প্রবাহ সর্বদা সেই কারণকে বা পরিবর্তনকে বাধা দেয়।



N', S' আবিষ্ট মেরু

(ক) (খ)

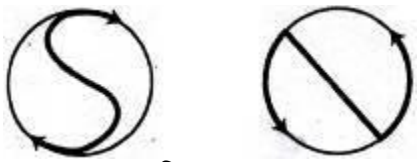
(চিত্র : ৪.৭)

ব্যাখ্যা: ৪.৭ নং চিত্রে একটি চুম্বকের উত্তর মেরু এবং এর কাছাকাছি অবস্থিত একটি পরিবাহী কুণ্ডলীর প্রস্থচ্ছেদ দেখানো হয়েছে। কুণ্ডলীটির দিকে চুম্বকটি ঠেলে দিলে, কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। লেঞ্জের সূত্র অনুসারে এ প্রবাহের অভিমুখ কী হবে দেখা যাক।

একটি তড়িদ্বাহী কুণ্ডলী 'চৌম্বক পাত' হিসেবে ক্রিয়া করে। এর একটি পৃষ্ঠ উত্তর মেরুর মতো এবং অপরটি দক্ষিণ মেরুর মতো আচরণ করে। যে পাশ থেকে তাকালে প্রবাহ ঘড়ির কাটার বিপরীত দিকে মনে হয় সে পাশে উত্তর মেরু সৃষ্টি হয়। লেঞ্জের সূত্রানুসারে, কুণ্ডলীটিকে এর দিকে অগ্রসরমান উত্তর মেরুর গতিকে বাধা দিতে হলে, এই মেরুর সম্মুখবর্তী কুণ্ডলীর পৃষ্ঠে উত্তর মেরুর উদ্ভব হওয়া দরকার। কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ ৪.৭ (ক) নং চিত্রে প্রদর্শিত দিকে হলেই কেবল এটি সম্ভব। এরূপ হলে কুণ্ডলীর সৃষ্ট উত্তর মেরু এবং চুম্বকের উত্তর মেরু পরস্পরকে বিকর্ষণ করবে। কাজেই এ স্থলে চুম্বক যে পাশে আছে সে পাশ থেকে কুণ্ডলীর দিকে তাকালে, কুণ্ডলীর তড়িৎ প্রবাহ বামাবর্তী অর্থাৎ ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে (anticlockwise) বলে মনে হবে। আবার, চুম্বকটিকে টেনে কুণ্ডলী হতে দূরে নিতে থাকলে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ চুম্বকের সম্মুখবর্তী কুণ্ডলীর পৃষ্ঠে দক্ষিণ মেরু উৎপন্ন করে এই টেনে নেয়াকে বাধা দিবে। কুণ্ডলীর এ পৃষ্ঠে দক্ষিণ মেরু উৎপন্ন হলে, কুণ্ডলীতে প্রবাহের অভিমুখ ৪.৭ (খ) নং চিত্রে প্রদর্শিত অভিমুখের মতো হবে। অথাৎ, এ স্থলে প্রবাহ হবে ডানাবর্তী বা ঘড়ির কাঁটার গতির দিকে (clockwise)। সুতরাং, লেঞ্জের সূত্র হতে আমরা আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি তথা তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ পাই।

৪.২ নং সমীকরণে $\frac{d\phi}{dt}$ রাশির পূর্বে ঋণাত্মক চিহ্ন থাকায় লেঞ্জের সূত্র যথাযথ চিহ্ন সহকারে গাণিতিকভাবে প্রকাশিত হয়েছে। অর্থাৎ, আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি,

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt}$$



চিত্র : ৪.৮

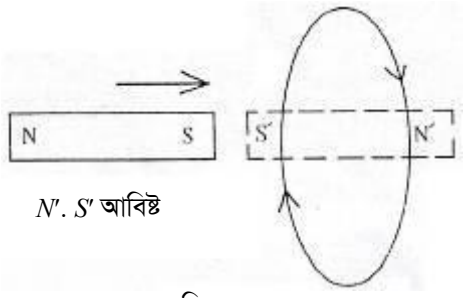
এ সমীকরণটি গাণিতিকভাবে ফ্যারাডে এবং লেঞ্জের সূত্রগুলো প্রকাশ করে।

৪.৩.৩ লেঞ্জের সূত্র এবং শক্তির নিত্যতা সূত্র (Lenz's Law and the Law of Conservation of Energy)

ধরা যাক, একটি দণ্ড চুম্বকের দক্ষিণ মেরু (S) একটি তারের কুণ্ডলীর দিকে নেয়া হচ্ছে [চিত্রঃ ৪.৯]। কুণ্ডলীটিকে বাম দিক থেকে অবলোকন করা হচ্ছে। তাড়িতচৌম্বকীয় আবেশের দরুন কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের উদ্ভব হবে। লেঞ্জের সূত্রানুসারে, কুণ্ডলীতে ঘড়ির কাঁটার দিকে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হবে, যাতে সামনের মুখে দক্ষিণ মেরু দক্ষিণ মেরু সৃষ্টি হয় এবং চুম্বকের অগ্রগমনকে বাধা দেয়।

আবার, দণ্ড চুম্বকের S মেরুকে কুন্ডলী হতে দূরে নিতে থাকলে কুণ্ডলীতে ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হবে, যাতে সামনের মুখে উত্তর মেরু সৃষ্টি হয় এবং চুম্বকের পশ্চাৎগমনকে বাধা দেয়।

অতএব, দেখা যাচ্ছে যে, তড়িৎ কোষ ছাড়াও এবং দণ্ড চুম্বকের মেরুশক্তি ক্ষয় না করেও কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি করা যায়। এক্ষেত্রে শক্তির সংরক্ষণ সূত্র লঙ্ঘিত হচ্ছে বলে মনে হয়, কিন্তু প্রকৃতপক্ষে তা ঠিক নয়। উপরে বর্ণিত পরীক্ষায় লক্ষ্যণীয় যে, দণ্ড চুম্বকের গতি বজায় রাখার জন্য সব সময় কিছু যান্ত্রিক শক্তি ব্যয় করার প্রয়োজন হয়। দণ্ডচুম্বককে কুণ্ডলীর দিকে অগ্রসর করার সময় দুই সমমেরুর মধ্যকার বিকর্ষণজনিত বাধার বিরুদ্ধে কিছু যান্ত্রিক শক্তি ব্যয় করতে হয়। আবার কুণ্ডলী হতে দূরে সরিয়ে নিয়ে যাবার সময় দুই বিপরীত মেরুর মধ্যে ক্রিয়ারত আকর্ষণজনিত বলের বিরুদ্ধেও কিছু যান্ত্রিক শক্তি ব্যয় করতে হয়। এই যান্ত্রিক শক্তিই তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়ে কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি করে। সঠিকভাবে হিসেব করলে দেখা যাবে যে, ব্যয়িত যান্ত্রিক শক্তি উৎপন্ন তড়িৎ শক্তির সমান। কাজেই তাড়িতচৌম্বকীয় আবেশে শক্তির নিত্যতার সূত্র লঙ্ঘিত হয় না।



N'. S' আবিষ্ট

চিত্র : ৪.৯

গাণিতিক উদাহরণ

১০.২। 200 পাক বিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীর নিকটে একটি দণ্ড চুম্বককে এক সেকেন্ডে কুণ্ডলীর কেন্দ্র বরাবর সোজাসুজি একস্থান হতে অন্যস্থানে নিলে চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন লক্ষ করা যায় 10^{-5} weber। কুণ্ডলীতে কী পরিমাণ তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে?

আমরা জানি,

$$\varepsilon = N\frac{d\phi}{dt}$$

এখানে, N=200, $d\phi = 10^{-5}$ weber, dt = 1s.

$$\therefore\ \varepsilon = \left(200\times\frac{10^{-5}}{1}\right) = 2\times10^{-3}\text{ v বা, 2 millivolt.}$$

উঃ 2 millivolt.

সার-সংক্ষেপ :

ফ্যারাডের সূত্রঃ

প্রথম সূত্রঃ যখনই কোনো বদ্ধ কুণ্ডলীতে চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা বা চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটে, তখনই কুণ্ডলীতে একটি ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। যতক্ষণ চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহ ততক্ষণই স্থায়ী থাকে।

দ্বিতীয় সূত্র : বদ্ধ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি কুন্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ড় চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের ঋণাত্মক হারের সমানুপাতিক।

লেঞ্জের সূত্রঃ যেকোনো তাড়িতচৌম্বক আবেশের বেলায় আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ এমন হবে যে, যে কারণে বা পরিবর্তনের ফলে প্রবাহের সৃষ্টি হয়, প্রবাহ সর্বদা সে কারণকে বা পরিবর্তনকে বাধা দেয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়নঃ ৪.৩

বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে-

ক. $\varepsilon \propto +\frac{d}{dt}$ খ. $\varepsilon \propto -\frac{d\phi}{dt}$ গ. $d\phi \propto -\frac{d\varepsilon}{dt}$ ঘ. $d\phi \propto \frac{d\varepsilon}{dt}$

২। 200 পাক বিশিষ্ট একটি তার কুণ্ডলীকে 0.06 সেকেন্ডে একটি দণ্ডচুম্বক থেকে সরিয়ে নিলে প্রতি পাকের জন্য চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন হয় 36×10^{-5} wb কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি হবে-

ক. 6.0 volt খ. 0.6 volt গ. 1.2 volt ঘ. 12 volt

পাঠ-৪.৪ : স্বকীয় আবেশ ও পারস্পরিক আবেশ
Self Induction and Mutual Induction

উদ্দেশ্য

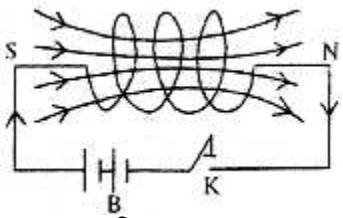
এ পাঠ শেষে আপনি-

- স্বকীয় আবেশ ও পারস্পরিক আবেশ ব্যাখ্যা করতে পারবেন;
- স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক ও পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৪.৪.১ স্বকীয় আবেশ (Self Induction)

যখন কোনো তার-কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ পাঠানো হয়, তখন ঐ প্রবাহ একটি চৌম্বক ক্ষেত্র উৎপন্ন করে এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখাগুলো কুণ্ডলীটির বিভিন্ন পাকের সাথে জড়িয়ে পড়ে [চিত্র: ৪.১০]। সুতরাং বলা যায়, ঐ কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ শুরু হওয়ার সময়, কুণ্ডলী হঠাৎ নিজস্ব চৌম্বক বলরেখার সাথে জড়িত হয় এবং এর ফলে, কুণ্ডলীতে একটি ক্ষণস্থায়ী বিপরীতমুখী তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়ে প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধিতে বাধা সৃষ্টি করে।

আবার কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ করলে কুন্ডলীর সাথে জড়িত নিজস্ব চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখাগুলো হঠাৎ অপসারিত হয় অর্থাৎ কুণ্ডলীর সাথে জড়িত বলরেখার পরিবর্তন ঘটে। তখন আবার কুণ্ডলীতে একটি সমমুখী ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয় এবং এর ফলে কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের অবলুপ্তি বিলম্বিত হয়।



চিত্র : ৪.১০

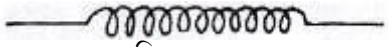
অনুরূপভাবে, কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ চালু থাকাকালীন যদি প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন (হ্রাস বা বৃদ্ধি) করা হয়, তাহলে কুণ্ডলীর সাথে জড়িত নিজস্ব চৌম্বক ক্ষেত্রের বলরেখার পরিবর্তন হয় এবং সাথে সাথে কুণ্ডলীতে একটি ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তি উৎপত্তি হয়ে প্রবাহমাত্রার ঐ পরিবর্তনকে বাধা দেয়।

উপরোক্ত ক্ষেত্রসমূহ উৎপন্ন তড়িচ্চালক শক্তিকে বলা হয় স্বকীয় আবেশের কারণে আবিষ্ট 'তড়িচ্চালক শক্তি' (self induced e.m.f.)। তড়িৎ বর্তনীর যে ধর্মের ফলে ঐ বর্তনী প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনের বিরুদ্ধে বাধা সৃষ্টি করে তাকে 'স্বকীয় আবেশ ধর্ম' (self inductance) বলে এবং উপরিউক্ত ঘটনাকে বলা হয় স্বকীয় আবেশ (self induction) কুণ্ডলীটিকে বলা হয় আবেশক (inductor)।

[প্রবাহমাত্রা স্থির থাকলে তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয় না।]

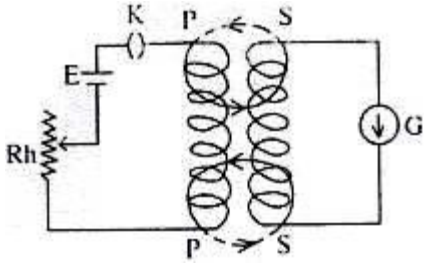
সংজ্ঞাঃ কোনো বর্তনীর নিজ প্রবাহের দ্বারা সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের মাত্রা পরিবর্তনের ফলে বর্তনীতে একটি তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। এ ঘটনা হল স্বকীয় আবেশ।

স্বকীয় আবেশযুক্ত বর্তনীকে বলা হয় 'আবেশী বর্তনী' (inductive circuit)।


চিত্র : ৪.১১

আবেশকের প্রতীক (৪.১১) নং চিত্রে প্রদর্শিত হল।

৪.৪.২ পারস্পরিক আবেশ (Mutual Induction)



চিত্র : ৪.১২

একটি কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তনের ফলে এর কাছাকাছি অবস্থিত অপর একটি কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হয় চিত্র: ৪.১২]। দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে ফ্লাক্সের পরিবর্তনের ফলে এটি ঘটে।

প্রথম কুণ্ডলীটিকে বলা হয় মুখ্য কুণ্ডলী (primary coil) এবং দ্বিতীয়টিকে, অর্থাৎ যার মধ্যে তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়, তাকে বলা হয় গৌণ কুণ্ডলী (secondary coil)। মুখ্য কুণ্ডলীতে (PP) তড়িৎ প্রবাহ চালু করলে একটি চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয়। ফলে চৌম্বক বলরেখার উৎপত্তি ঘটে। উৎপন্ন এ বলরেখাগুলো গৌণ কুণ্ডলীর (SS) সাথে জড়িয়ে পড়ে।

পাশাপাশি স্থাপিত দুটি কুণ্ডলীর যেকোনো একটিতে তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন ঘটলে অপরটিতে তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়, এ ঘটনাকে পারস্পরিক আবেশ বলে।

৪.৪.৩ আবেশ গুণাঙ্ক: স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক (Coefficient of Self induction)

কোনো তার-কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। সৃষ্ট বলরেখার সংখ্যা তথা চৌম্বক ফ্লাক্স (ϕ) কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার (I) সমানুপাতিক। অর্থাৎ,

$$\phi \propto I \quad \text{..... ....} \quad (৪.৪)$$

এ ফ্লাক্স কুণ্ডলীর প্রতিটি পাকের সাথে জড়িত। কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা N হলে, কুণ্ডলীর ফ্লাক্স সংযুক্তি (Flux linkage) বা মোট ফ্লাক্স হবে $N\phi$। সমীকরণ, (৪.৪) হতে,

$$N\phi \propto I$$

বা, $N\phi = LI$ ....(৪.৫)

এখানে, L একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। একে কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বা স্বাবেশ গুণাঙ্ক বলা হয়। L এর মান কুণ্ডলীর আকার, পাক সংখ্যা ইত্যাদির উপর নির্ভর করে। একটি নির্দিষ্ট কুণ্ডলীর জন্য এটি ধ্রুবক।

(৪.৫) নং সমীকরণ হতে দেখা যায় যে, যখন $I = 1$ একক হয় তখন,

$$N\phi = L$$

অতএব, L কে নিম্নরূপে সংজ্ঞায়িত করা যায়:

কোনো কুণ্ডলীতে প্রবাহমাত্রা এক একক হলে, ঐ কুণ্ডলীর সাথে জড়িত মোট ফ্লাক্স সংখ্যাগতভাবে এর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের সমান।

আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি:

ফ্যারাডের সূত্র অনুসারে, আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি,

$$\varepsilon \propto -\frac{d}{dt}(N\phi) = -\frac{d}{dt}(LI)$$

বা, $\varepsilon \propto -L\frac{dI}{dt}$ ....(৪.৬)

(৪.৬) নং সমীকরণের ঋণাত্মক চিহ্ন এটাই বুঝাচ্ছে যে, আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি সর্বদা প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনের বিরোধিতা করে, অর্থাৎ প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পেলে এটি এর বৃদ্ধির বিরোধিতা করবে; আবার হ্রাস পেতে থাকলে, এটি ঐ হ্রাসের বিরুদ্ধে কাজ করবে। ৪.৬ নং সমীকরণ অনুসারে,

$$L = -\frac{\varepsilon}{dI/dt} \quad \text{..... ....} \quad (৪.৭)$$

উপরের সমীকরণটির মাধ্যমে স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের বিকল্প সংজ্ঞা দেয়া যায়। সংজ্ঞাটি নিম্নরূপ:

এ সমীকরণে, $\frac{dI}{dt}=1$ হলে $\varepsilon=-L$ হয়। কাজেই, কোনো বর্তনীতে একক হারে প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন হলে বর্তনীতে যে তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হবে সংখ্যাগতভাবে তা ঐ বর্তনীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের সমান।
[ধারকের সংখ্যা তড়িৎ ক্ষেত্রের উপস্থিতির মতো আবেশকের (inductor) মধ্যে চৌম্বক ক্ষেত্রের উপস্থিতি বিশেষ তাৎপর্যপূর্ণ।]

স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের একক
৪.৭ নং সমীকরণ অনুসারে, স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের একক হচ্ছে,

$$\frac{V}{As} \text{ বা, } \frac{Vs}{A} \text{ বা, } VsA^{-1}$$

এই একককে henry (H) নামে অভিহিত করা হয়।

$$1 \text{ H} = 1 \text{ VsA}^{-1} \quad \text{..........} \quad (৪.৮)$$

কোনো কুণ্ডলীতে প্রতি সেকেন্ডে 1 A হারে প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন হলে যদি 1 V তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় তাহলে ঐ কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক হবে 1 henry।

henry এককটি বড় একক বলে সাধারণত milli henry (mH) এবং micro henry (μH) একক ব্যবহার করা হয়।

$$\left.\begin{aligned} 1\text{mH} &= 10^{-3}\text{H} \\ 1\mu\mu &= 10^{-6}\text{H} \end{aligned}\right\} \quad \text{..........} \quad (৪.৯)$$

আবার, ৪.৫ নং সমীকরণ অনুসারে, স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের একক হচ্ছে,

$$1\text{H} = 1 \text{ VsA}^{-1} = 1 \text{ WbA}^{-1} \quad \text{..........} \quad (৪.১০)$$

পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক বা আবেশাঙ্ক (Coefficient of mutual induction or mutual inductance)
ধরা যাক, দুটি কুণ্ডলী পাশাপাশি অবস্থিত (চিত্রঃ ৪.১২) PP মুখ্য কুণ্ডলী, SS গৌণ কুণ্ডলী। এদের পাক সংখ্যা যথাক্রমে N_1 ও N_2।
ধরি, PP কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে I_1 তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের জন্য SS কুণ্ডলীতে ফ্লাক্স $=\phi_2$। ϕ_2 পরিমাণ ফ্লাক্স গৌণ কুণ্ডলীর প্রতিটি পাকের সাথে জড়িত হয়। অতএব, গৌণ কুণ্ডলীতে মোট ফ্লাক্স সংযুক্তি $=N_2\phi_2$। মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ চললে গৌণ কুণ্ডলীর সাথে জড়িত মোট ফ্লাক্স প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক হয়, অর্থাৎ,

$$N_2\phi_2 \propto I_1$$

$$\text{বা, } N_2\phi_2 = MI_1$$

$$\text{বা, } M = \frac{N_2\phi_2}{I_1} \quad \text{..........} \quad (৪.১১)$$

এখানে, M একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। একে কুণ্ডলীদ্বয়ের পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক বলে।
M এর মান গৌণ কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা, কুণ্ডলীদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব, আপেক্ষিক অবস্থান ও আকারের উপর নির্ভর করে।

আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি
ফ্যারাডের সূত্র অনুসারে, গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি,

$$\varepsilon_2 = -\frac{d}{dt}(N_2\phi_2) = -\frac{d}{dt}(MI_1) = -M\frac{dI}{dt}$$

$$\text{বা, } M = -\frac{\varepsilon_2}{dI_1/dt} \quad \text{..........} \quad (৪.১২)$$

(৪.১১) এবং (৪.১২) নং সমীকরণের সাহায্যে আমরা M-কে সংজ্ঞায়িত করতে পারিঃ

(ক) দুটি কুণ্ডলীর মধ্যে একটিতে একক তড়িৎ প্রবাহের জন্য দ্বিতীয়টির সাথে যে মোট চৌম্বক ফ্লাক্স জড়িত হয়, তার সংখ্যাগত মান কুণ্ডলী দুটির পারস্পরিক আবেশাঙ্কের সমান।

(খ) দুটি কুণ্ডলীর মধ্যে একটির মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনের হার একক হলে দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে যে তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হয়, তার সংখ্যাগত মান কুণ্ডলী দুটির পারস্পরিক আবেশাঙ্কের সমান।

M-এর একক *L*-এর এককের অনুরূপ; অর্থাৎ হেনরি (henry)।

গাণিতিক উদাহরণ

৪.৩। ঘনিষ্ঠভাবে জড়ানো 300 পাক বিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক 5mh। কুন্ডুলীতে 6×10^{-3}A তড়িৎপ্রবাহ চালনা করলে কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ড় চৌম্বক ফ্লাক্স কত?

আমরা জানি,

$$N\phi = LI$$

$$\therefore \quad \phi = \frac{LI}{N} = \frac{5\times10^{-3}\times6\times10^{-3}}{300}$$

$$\therefore \quad = 10^{-7}\,Wb$$

এখানে,

N = পাক সংখ্যা = 300

L = স্বাবেশ গুণাঙ্ক = 5×10^{-3}H

I = তড়িৎ প্রবাহ = 6×10^{-3} A

উ: 10^{-7} Wb

৪.৪। পাশাপাশি অবস্থিত দুটি কুণ্ডলীর একটির মধ্য দিয়ে 0.01 S সময়ে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা 0 হতে 10A-এ পরিবর্তন করার ফলে অপর কুণ্ডলীতে 500 V তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীদ্বয়ের পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক কত?

আমরা জানি, গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি,

$$\varepsilon_2 = -M\frac{dI}{dt} = M\frac{dI_1}{dt} \quad \text{(বিয়োগ চিহ্ন আগ্রাহ্য করে)}$$

বা, $$M = \frac{\varepsilon_2}{\left(\frac{dI_1}{dt}\right)}$$

$$\therefore \quad M = \frac{500}{\frac{10}{0.01}}$$

$$= \frac{500}{1000} = 0.5$$

এখানে

ε_2 = আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি = 500 V

dI_1= প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন= (10–0)A =10A

dt = সময়ের পরিবর্তন = 0.01 S.

উ: 0.5 henry

সার-সংক্ষেপ :

স্বকীয় আবেশ: কোনো বর্তনীর নিজ প্রবাহের দ্বারা-সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের মাত্রা পরিবর্তনের ফলে বর্তনীতে একটি তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। এ ঘটনাকে স্বকীয় আবেশ বলা হয়।

স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক : কোনো কুণ্ডলীতে একক তড়িৎ প্রবাহিত হলে কুণ্ডলীতে সংযুক্ত মোট চৌম্বক ফ্লাক্সকে ঐ কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বলে। এর একক হেনরী (henry).

পারস্পরিক আবেশ: পাশাপাশি স্থাপিত দুটি কুণ্ডলীর যেকোনো একটিতে তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন ঘটলে অপরটিতে তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। এ ঘটনাকে পারস্পরিক আবেশ বলে।

পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক : দুটি কুণ্ডলীর মধ্যে একটির মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনের হার একক হলে দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে যে তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হয়, তার সংখ্যাগত মান কুণ্ডলী দুটির পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের সমান।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৪.৪

বহুবির্নাচনি প্রশ্ন:

১। স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক-

ক. $L = -\frac{\varepsilon}{\left(\frac{dI}{dt}\right)}$ খ. $L = -\frac{\frac{dI}{dt}}{\varepsilon}$ গ. $L = -\frac{\varepsilon}{\frac{dI}{dt}}$ ঘ. $L = \frac{\frac{dI}{dt}}{\varepsilon}$

২। 1 henry নিচের কোনটির সমান?

ক. $1VAS^{-1}$ খ. $1VS^{-1}A^{-1}$ গ. $1VSA^{-1}$ ঘ. $1ASV^{-1}$

৩। পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক :

ক. $M = \frac{N_2\phi_2}{I_1}$ খ. $M = \frac{\phi_2 I_1}{N_2}$ গ. $M = \frac{N_2 I_1}{\phi_2}$ ঘ. $M = N_2\phi_2 I_1$

৪। কোনো কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের হার $40A\ s^{-1}$ হলে 8V তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক-

ক. 5 H খ. 0.5 H গ. 0.2 H ঘ. 2 H

পাঠ-৪.৫ : দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ ও তড়িচ্চালক শক্তি .

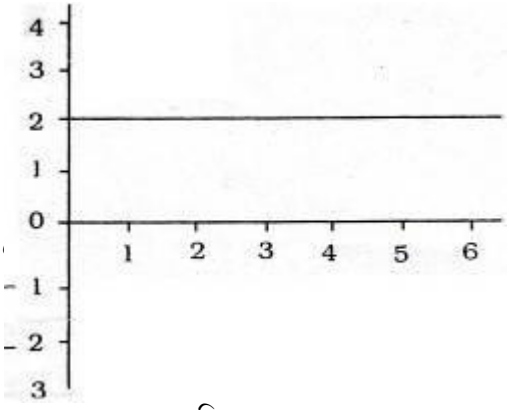
উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ ও তড়িচ্চালক শক্তি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৪.৫.১ দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ ও তড়িচ্চালক শক্তি

তড়িৎ কোষ থেকে বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ প্রেরণ করলে তড়িৎ প্রবাহ বর্তনীর মধ্য দিয়ে সমমাত্রায় একই দিকে প্রবাহিত হয়। এ ধরনের তড়িৎ প্রবাহকে সমপ্রবাহ বা একমুখী প্রবাহ (direct current) বলা হয়। একে সংক্ষেপে ডি.সি (D.C) বলা হয়। ডি.সি ভোল্টেজের তরঙ্গরূপ সরলরেখা হয় (চিত্র : ৪.১৩)।



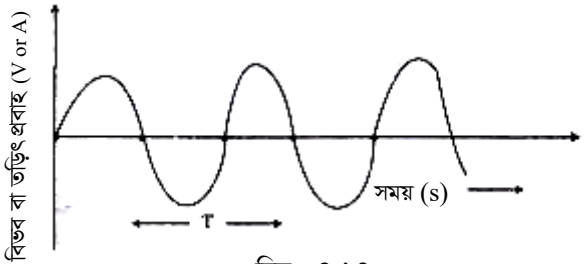
চিত্র : ৪.১৩

দিক পরিবর্তী প্রবাহ: কোনো বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা যদি একটি নির্দিষ্ট সময় পরপর বারবার বিপরীত মুখী হয় এবং প্রবাহমাত্রা একটি নির্দিষ্ট সময় অন্তর সর্বাধিক ও সর্বনিম্ন মান প্রাপ্ত হয়, তাহলে এ ধরনের তড়িৎ প্রবাহকে দিক পরিবর্তী প্রবাহ (alternating current) বলা হয়। একে সংক্ষেপে এ.সি. (A.C) বলা হয়।

দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি: যে তড়িচ্চালক শক্তির ক্রিয়ায় কোন বর্তনীতে তড়িৎপ্রবাহ একটি নির্দিষ্ট সময় পরপর দিক পরিবর্তন করে এবং নির্দিষ্ট সময় পরপর সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন মান প্রাপ্ত হয়, সেই তড়িচ্চালক শক্তিকে দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বলে।

দিক পরবর্তী প্রবাহ বা দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তির পর্যায়কাল, $T=\dfrac{2\pi}{\omega}$

চিত্র : ৪.১৪



পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি সময়ের সাথে সাইন সদৃশ ভাবে (sinsudially) পরিবর্তিত হয় এবং তা নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা হয়-

$$\varepsilon = \varepsilon_o \sin \omega t \quad \text{.......} \quad (৪.১৩)$$

এখানে, ε = যে কোন সময় t তে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির মান,

ε_o = আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির সর্বোচ্চ বা শীর্ষমান,

ω = উৎসের কৌণিক বেগ তথা তড়িচ্চালক শক্তির কৌণিক কম্পাঙ্ক।

ε পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তির উৎসের সাথে যদি রোধ R সংযুক্ত করা হয় তাহলে তড়িৎ প্রবাহ,

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\varepsilon_o}{R} \sin \omega t.$$

বা, $$I = I_o \sin \omega t \quad \text{......} \quad (৪.১৪)$$

$$= I_o \sin 2\pi f t$$

এখানে, $I_o = \dfrac{\varepsilon_o}{R}$ = তড়িৎ প্রবাহের সর্বোচ্চ বা শীর্ষমান

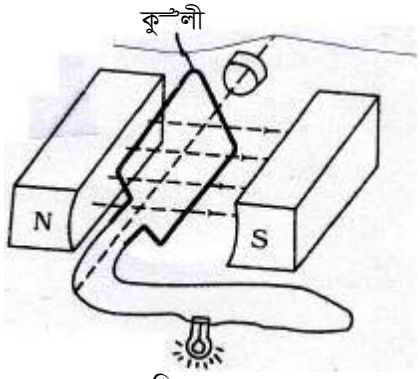
f = কম্পাঙ্ক

$$f = \frac{L}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

৪.৫.২ দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি (Generation of Alternating Current)

যে যন্ত্রের সাহায্যে যান্ত্রিক শক্তিকে বিদ্যুৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করা যায় তাকে জেনারেটর বা ডায়নামো বলা হয়। ডায়নামো দুই রকম: A.C ডায়নামো ও D.C ডায়নামো।

দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ পেতে হলে এমন একটি উৎস প্রয়োজন যা দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি উৎপন্ন করে। এ.সি জেনারেটর এমন একটি উৎস।



চিত্র : ৪.১৫

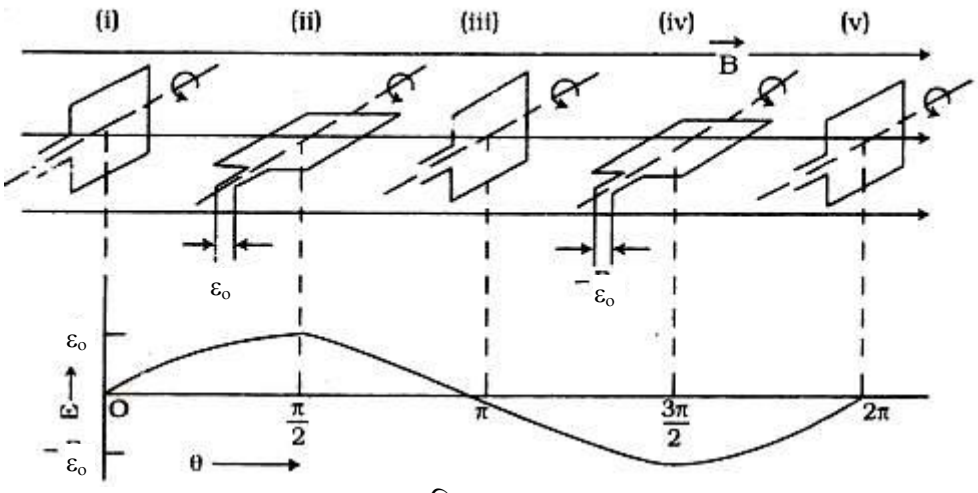
এ.সি জেনারেটরের কার্যনীতি:

একটি শক্তিশালী চৌম্বকক্ষেত্র বহুপাক বিশিষ্ট একটি তারের কুন্ডলীকে ঘুরানো হয়। কুণ্ডলী চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্ষেত্ররেখাগুলিতে ছেদ করে এবং তড়িতচৌম্বক আবেশের নিয়মানুযায়ী কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত বহিবর্তনীর সাথে সংযুক্ত থাকায় বর্তনীতে দিক পরিবর্তী প্রবাহ সৃষ্টি হয়।

যখন কুণ্ডলী চৌম্বকক্ষেত্রের ক্ষেত্ররেখা ছেদ করে না তখন তড়িচ্চালক শক্তি শূন্য। কুণ্ডলীর ঘূর্ণনের সাথে তড়িচ্চালক শক্তি ε-এর মান শূন্য থেকে বৃদ্ধি পেয়ে $+\varepsilon_o$ এবং এরপর ক্রমশ হ্রাস পেয়ে শূন্য মানে পৌঁছায়। এরপর বিপরীত দিকে পুনরায় বৃদ্ধি পেয়ে $-\varepsilon_o$ হয় এবং আবার হ্রাস পেয়ে শূন্য মানে আসে।

এভাবে তড়িচ্চালক শক্তির পরিবর্তনের একটি পূর্ণ যন্ত্র T সময়ে সম্পন্ন হয়।

জেনারেটরের কুণ্ডলীর একটি পূর্ণ ঘূর্ণনের সময়ে পরিবর্তী প্রবাহ বা পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তির পরিবর্তন নিচের চিত্রে (চিত্র: ৪.১৬) দেখানো হল।



চিত্র : ৪.১৬

গাণিতিক উদাহরণ

৪.৫। একটি দিক পরিবর্তী প্রবাহকে I=50 sin 400 πt এই সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। প্রবাহের কম্পাঙ্ক ও শীর্ষমান কত?

সাইন সদৃশ দিকপরিবর্তী প্রবাহকে নিচের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়:

$$I = I_o \sin \omega t$$

আবার, $\omega = \dfrac{2\pi}{T} = 2\pi f$

$\therefore\ I = I_o \sin 2\pi f t$ .....(১)

প্রদত্ত সমীকরণ, $I = 50 \sin 400\ \pi t$ .....(২)

সমীকরণ (১) ও (২) তুলনা করলে পাওয়া যায়,

I_o = প্রবাহের শীর্ষমান = 50 A

আবার, $2\pi f = 400\ \pi$

$$\therefore \text{ কম্পাঙ্ক } = f = \frac{400\pi}{2\pi} = 200 \text{ Hz.}$$

উ: কম্পাঙ্ক = 200 Hz, শীর্ষ প্রবাহ মান = 50 A

৪.৬। কোনো দিক পরিবর্তী প্রবাহের কম্পাঙ্ক 50 Hz. প্রবাহ শূন্য থেকে শীর্ষমানে পৌঁছাতে কত সময় লাগবে?

আমরা জানি,

পর্যায়কাল, $T = \dfrac{1}{f}$

$$\therefore\ T = \frac{1}{50\text{Hz}} = 0.02\text{s}$$

এখানে, f = 50Hz.

প্রবাহ শূন্য থেকে শীর্ষ মানে পৌঁছাতে প্রয়োজনীয় সময়,

$$\text{সময়, } t = \frac{T}{4} = \frac{0.02\text{s}}{4} = 5\times10^{-3}\text{s}$$

উ: 5×10^{-3} s

সার-সংক্ষেপ :

দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ ও তড়িচ্চালক শক্তি: কোনো বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা যদি একটি নির্দিষ্ট সময় পরপর বারবার বিপরীতমুখী এবং প্রবাহমাত্রা একটি নির্দিষ্ট সময় অন্তর সর্বাধিক ও সর্বনিম্ন মান প্রাপ্ত হয় তাহলে এ ধরনের তড়িৎ প্রবাহকে দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ বলে।

যে তড়িচ্চালক শক্তির ক্রিয়ায় কোনো বর্তনীতে পরিবর্তী প্রবাহ চলে সেই তড়িচ্চালক বলকে পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৪.৫

বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

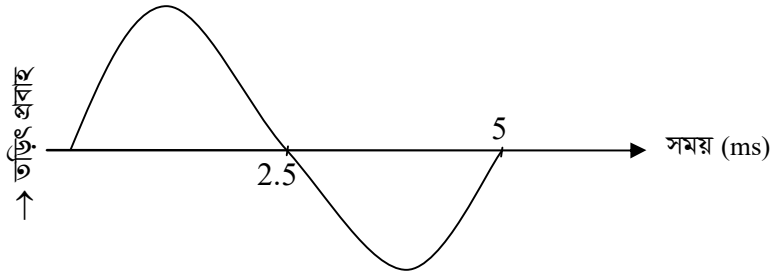
সঠিক উত্তরে পাশে টিক ($\surd$) চিহ্ন দিন।

১। একটি দিক পরিবর্তী প্রবাহ প্রতি $\frac{1}{120}$s সময়ে দিক পরিবর্তন করে। এর কম্পাঙ্ক-

ক. 120 Hz. খ. $\frac{1}{120}$Hz

গ. 60 Hz ঘ. $\frac{1}{60}$Hz

২। নিচের চিত্রে একটি দিক পরিবর্তী প্রবাহের পরিবর্তন দেখানো হল। কম্পাঙ্ক কত?



চিত্র:

ক. 100 Hz খ. 20 Hz

গ. 200 Hz ঘ. 10 Hz

৩। ডায়নামোর সাহায্যে

ক. যান্ত্রিক শক্তিকে বিদ্যুৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয়

খ. উচ্চ ভোল্টেজকে নিম্ন ভোল্টেজে রূপান্তরিত করা হয়

গ. বিদ্যুৎ শক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয়

ঘ. যান্ত্রিক শক্তিকে বহুগুণে বৃদ্ধি করা হয়।

পাঠ-৪.৬ : দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল ও তড়িৎ প্রবাহের গড়মান ও বর্গমূলীয় গড়মান

উদ্দেশ্য

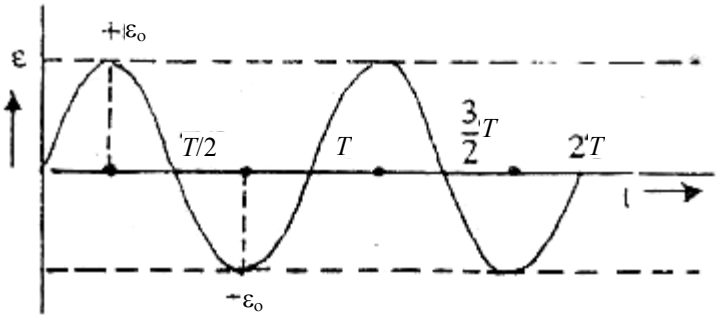
এ পাঠ শেষে আপনি-

- দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি ও তড়িৎ প্রবাহের গড়মান ও বর্গমূলীয় গড়মান হিসাব করতে পারবেন ।

৪.৬.১ দিক পরিবর্তী প্রবাহ সম্পর্কিত কয়েকটি সংজ্ঞা

(ক) তড়িচ্চালক শক্তির বা প্রবাহের শীর্ষমান বা বিস্তার (Amplitude) : যে কোনো অভিমুখে তড়িচ্চালক শক্তির বা প্রবাহের সর্বোচ্চ মানকে শীর্ষমান বা বিস্তার বলে। $\varepsilon = \varepsilon_o \sin \omega t$ সমীকরণ হতে, $\sin \omega t$ এর সর্বোচ্চ মান 1 হওয়ায় তড়িচ্চালক বলের বিস্তার (শীর্ষমান) ε_o। পরিবর্তী প্রবাহ, $I = I_o \sin \omega t$ হওয়ায় এর বিস্তার (শীর্ষমান) I_o।

(খ) পরিবর্তন চক্র (Cycle of variation) : পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তির (বা প্রবাহের) মাত্রা শূন্যমান হতে বৃদ্ধি পেয়ে শীর্ষমান, এরপর হ্রাস পেয়ে শূন্যমান এসে, বিপরীত অভিমুখে পুনরায় বৃদ্ধি পেয়ে ঐ শীর্ষমানে উঠে আবার হ্রাস পেয়ে শূন্যমানে উপনীত হওয়াকে। (চিত্র: ৪.১৭) পরিবর্তন চক্র বলে। যেমন, $0 - T$ সময় ব্যবধানে একটি চক্র সম্পন্ন হয়।



চিত্র : ৪.১৭

(গ) পর্যায়কাল (Period) : যে সময়ে দিকপরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তির (বা প্রবাহের) একটি পরিবর্তন চক্র সম্পন্ন হয়, তাকে পর্যায়কাল বলে। একে T দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

পর্যায়কাল, $T = \dfrac{2\pi}{\omega}$ ....(৪.১৫)

(ঘ) কম্পাঙ্ক (Frequency) : দিকপরিবাহী তড়িচ্চালক শক্তি (বা প্রবাহ) প্রতি সেকেন্ডে যে কয়টি চক্র সম্পন্ন করে, সেই সংখ্যাকে দিকপরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তির বা প্রবাহের কম্পাঙ্ক বলা হয়। একে f দ্বারা সূচিত করা হয়।

কম্পাঙ্ক, $f = \dfrac{1}{T} = \dfrac{\omega}{2\pi}$ ....(৪.১৬)

$\therefore \omega = 2\pi f$ ....(৪.১৭)

[বাংলাদেশে যে দিকপরিবর্তী বিদ্যুৎ সরবরাহ করা হয় তার কম্পাঙ্ক (f) হচ্ছে 50 Hz]

৪.৬.২ দিকপরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি ও প্রবাহের গড়মান (Mean Value of Alternating e.m.f. and Current)

(ক) পূর্ণ চক্রের জন্য গড় তড়িচ্চালক শক্তি : দিকপরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তির মান সর্বদা পরিবর্তিত হয় বলে এর গড় মান বের করতে হয়। কোনো সময় ব্যবধানের তড়িচ্চালক শক্তির সকল মানের গড়কে ঐ সময় ব্যবধানের গড় তড়িচ্চালক শক্তি বলা হয়। একটি পূর্ণ চক্রের জন্য গড়মান হবে,

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\int_0^T \varepsilon dt}{T} = \frac{1}{T}\int_0^T \varepsilon dt = \frac{1}{T}\int_0^T \varepsilon_o \sin\omega t dt \qquad [\because \varepsilon = \varepsilon_o \sin\omega t\ ]$$

$$= -\frac{\varepsilon_o}{\omega T}\left[\cos\omega t\right]_0^T = -\frac{\varepsilon_o}{\omega T}[\cos\omega T - \cos 0]$$

$$= -\frac{\varepsilon_o}{2\pi}[\cos 2\pi - 1] \qquad [\because \omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{বা,}\ \omega T = 2\pi\ ]$$

$$= -\frac{\varepsilon_o}{2\pi}[1-1]$$

বা, $\bar{\varepsilon} = 0$ .....(৪.১৮)

অতএব, পূর্ণ চক্রের জন্য গড় তড়িচ্চালক শক্তি $\bar{\varepsilon} = 0$

অনুরূপভাবে দেখানো যায় যে, একটি পূর্ণ চক্রের জন্য প্রবাহের গড়মান $\bar{I} = 0$ । এটি স্বাভাবিক কারণ একটি পূর্ণ চক্রের এক অর্ধে তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহ ধনাত্মক হলে অপরার্ধে এটি সমপরিমাণে ঋণাত্মক হয়।

(খ) অর্ধচক্রের জন্য গড় তড়িচ্চালক বল

একটি অর্ধচক্রের জন্য তড়িচ্চালক শক্তির গড়মান হবে,

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{T/2}\int_0^{T/2} \varepsilon\, dt = \frac{2}{T}\int_0^{T/2} \varepsilon_o \sin\omega t dt$$

$$= -\frac{2\varepsilon_o}{T}\int_0^{T/2} \sin\omega t dt = \frac{-2\varepsilon_o}{\omega T}[\cos\omega t]_0^{T/2}$$

$$= \frac{-2\varepsilon_o}{\omega T}[\cos\omega\frac{T}{2} - \cos 0] \quad = \frac{-2\varepsilon_o}{\frac{2\pi \times T}{T}} \quad \left[\cos\frac{2\pi}{T}\times\frac{T}{2} - \cos 0\right]$$

$$= -\frac{-\varepsilon_o}{\pi}[\cos\pi - \cos 0] = \frac{-\varepsilon_o}{\pi}[-1-1] = \frac{2\varepsilon_o}{\pi} = 0.637\varepsilon_o$$

$\therefore\ \bar{\varepsilon} = 0.637\ \varepsilon_o$ .....(৪.১৯)

সুতরাং অর্ধচক্রের জন্য গড় তড়িচ্চালক শক্তি হচ্ছে তড়িচ্চালক শক্তির শীর্ষমানের 0.637 গুণ বা 63.7%।

অর্ধচক্রের জন্য গড় তড়িৎ প্রবাহ

একটি অর্ধচক্রের জন্য তড়িৎ প্রবাহের গড়মান হবে,

$$\bar{I} = \frac{1}{T/2}\int_0^{T/2} Idt = \frac{1}{2}\int_0^{T/2} I_o \sin\omega t dt = 0.637 I_o$$ .....(৪.২০)

সুতরাং অর্ধচক্রের জন্য গড় তড়িৎ প্রবাহ হচ্ছে তড়িৎ প্রবাহের শীর্ষমানের 0.637 গুণ বা 63.7%।

[বি: দ্র: পূর্ণচক্রের গড়মান শূন্য হবার কারণে অনেক সময় 'অর্ধচক্রের গড়মান'কে 'গড়মান' ধরা হয়।]

৪.৬.৩ দিকপরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি এবং তড়িৎ প্রবাহের বর্গমূলীয় গড়মান
Root Mean Square Value of Alternating e.m.f. and Current

একটি পূর্ণচক্র ε বা I এর গড়মান শূন্য হয়। কিন্তু ε^2 বা I^2 ধনাত্মক রাশি। কাজেই সমগ্র পর্যায়কালে অর্থাৎ একটি পূর্ণচক্রে এদের গড়মান ও বর্গমূলীয় গড়মান শূন্য হবে না।

(ক) একটি পূর্ণচক্রে দিকপরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তির গড় বর্গমান

একটি পূর্ণচক্রে তড়িচ্চালক শক্তির গড় বর্গমান হবে,

$$\bar{\varepsilon}^2 = \frac{1}{T}\int \varepsilon^2 dt = \frac{1}{T}\int_0^T \varepsilon_o{}^2 \sin^2 \omega t dt = \frac{\varepsilon_o{}^2}{T}\int_0^T \sin^2 \omega t dt$$

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

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

$$= \frac{\varepsilon_o{}^2}{2T}\left\{[t]_0^T - \frac{1}{2\omega}[\sin 2\omega t]_0^T\right\} = \frac{\varepsilon_o{}^2}{2T}\left\{T - \frac{1}{2\omega}(\sin 2\omega T - \sin 0)\right\}$$

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

$$= \frac{\varepsilon_o{}^2}{2T}(T-0) = \frac{\varepsilon_o{}^2}{2}$$

$$\therefore \ \bar{\varepsilon}^2 = \frac{\varepsilon_o{}^2}{2}$$

অতএব, দিকপরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তির বর্গমূলীয় গড়মান

$$\varepsilon_{rms} = \sqrt{\bar{\varepsilon}^2} = \sqrt{\frac{\varepsilon_o{}^2}{2}} = \frac{\varepsilon_o}{\sqrt{2}} = 0.707\varepsilon_o$$

অর্থাৎ, $\varepsilon_{rms} = 0.07\ \varepsilon_o$ .....(৪.২১)

কাজেই দেখা যায় যে,

দিকপরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তির বর্গমূলীয় গড়মান, $\varepsilon_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times$ শীর্ষমান $= 0.707 \times$ শীর্ষমান;

অথবা, দিকপরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তির শীর্ষমান $= \sqrt{2} \times$ বর্গমূলীয় গড়মান।

(খ) একটি পূর্ণচক্রে দিকপরিবর্তী প্রবাহমাত্রার গড় বর্গমান ও বর্গমূলীয় গড়মান,

$$\bar{I}^2 = \frac{1}{T}\int_0^T I_o{}^2 \sin 2\omega t dt$$

$$\therefore \ \bar{I}^2 = \frac{I_o{}^2}{2}$$

অতএব, দিকপরিবাহী প্রবাহমাত্রার বর্গমূলীয় গড়মান,

$$I_{rms} = \sqrt{\bar{I}^2} = \sqrt{\frac{I_o{}^2}{2}} = \frac{I_o}{\sqrt{2}} = 0.707 I_o$$

অর্থাৎ, $I_{rms} = 0.707 I_o$

কাজেই দেখা যায় যে,
দিপরিবর্তী প্রবাহমাত্রার বর্গমূলীয় গড়মান,

$I_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times$ শীর্ষমান $= 0.707 \times$ শীর্ষমান

অথবা, দিকপরিবর্তী প্রবাহমাত্রার শীর্ষমান $= \sqrt{2} \times$ বর্গমূলীয় গড়মান।
৪.১৯ ও ৪.২১ সমীকরণ হতে দেখা যায় যে, rms মান, অর্ধচক্রের গড়মানের চেয়ে কিছু বেশি।

$I_{rms} = \frac{I}{\sqrt{2}}$ কে কার্যকর তড়িৎ প্রবাহ বা কার্যকর প্রবাহ বা আপাত প্রবাহ বলে।

I_{rms} কে কার্যকর তড়িচ্চালক শক্তি বা আপাত তড়িচ্চালক শক্তি বলে।

[কোনো দিকপরিবর্তী প্রবাহ বর্তনীতে তড়িচ্চালক বল বা প্রবাহমাত্রা বলতে সর্বদা এদের rms মান বুঝায়। এ.সি. ভোল্টমিটার বা অ্যামিটার দিয়ে ε বা I পরিমাপ করার সময় আমরা যে পাঠ পাই তা ε বা I এর rms মান নির্দেশ করে।]
বাংলাদেশে বাড়িঘরে এসি তড়িৎ প্রবাহ সরবরাহ করা হয়। এর supply voltage হচ্ছে 220 V; এ মান ε এর rms মান নির্দেশ করে।

গাণিতিক উদাহরণ

৪.৭। কোনো দিক পরিবর্তী প্রবাহের শীর্ষমান 6A, প্রবাহের গড় বর্গের বর্গমূল কত?
আমরা জানি,

$$I_{rms} = \frac{I_o}{\sqrt{2}}$$

$$\therefore \quad I_{rms} = \frac{6}{\sqrt{2}}$$

$$= 4.243\text{A}$$

এখানে,

$I_o =$ প্রবাহের শীর্ষমান

$= 6\text{A}$

উ: 4.243A

৪.৮। একটি দিক পরিবর্তী প্রবাহকে $I = 60 \sin 300\pi t$ এই সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। প্রবাহের শীর্ষমান কত? প্রবাহের গড়বর্গবেগের বর্গমূল কত?
সাইন সদৃশ দিক পরিবর্তী প্রবাহকে নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়:

$$I = I_o \sin \omega t$$

প্রদত্ত সমীকরণ $I = 60 \sin 300\ \pi t$
সমীকরণ দুটি তুলনা করে পাই,

$I_o =$ প্রবাহের শীর্ষমান $= 60$ A

গড় বর্গবেগের বর্গমূল = শীর্ষমান $\times \frac{1}{\sqrt{2}}$

$$= 60 \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$= 42.433 \text{ A}$$

উ: 42.433 A

সার-সংক্ষেপ :

দিক পরিবর্তী ε বা I এর ক্ষেত্রে পর্যায়কাল : $T = \frac{2\pi}{\omega}$

গড়মান : $\bar{\varepsilon} = \bar{j} = 0$

অর্ধচক্রের গড়মান : $\bar{\varepsilon} = 0.637\ \varepsilon_o$
গড় বর্গের বর্গমূল : $\bar{I} = 0.707\varepsilon_o$
$\bar{I} = 0.707\varepsilon_o$

পাঠোত্তর মূল্যায়নঃ ৪.৬

১। একটি দিকপরিবর্তী উৎসের কার্যকর তড়িচ্চালক শক্তি 70.7V হলে দিক পরিবর্তী উৎসের তড়িচ্চালক শক্তির শীর্ষমান কত হবে?

ক. 200V খ. 200V গ. 100V ঘ. 141.4V

২। দিক পরিবর্তী প্রবাহের ক্ষেত্রে-

(i) অর্ধচক্রের গড়মান $\bar{I} = 0.637\times$ শীর্ষমান (ii) পূর্ণচক্রের গড়মান $\bar{I} = 0$

(iii) পূর্ণ চক্রের গড়মান, $\bar{I} = 0.707\times$ শীর্ষমান

নিচের কোনটি সঠিক?

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

চূড়ান্ড় মূল্যায়ন : ৪

বহু নির্বাচনি প্রশ্ন

ক. সাধারণ বহু নির্বাচনী প্রশ্নঃ সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১. কোনো বর্তনীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ জানা যায়,

ক. ম্যাক্সওয়েলের কর্ক স্ক্রু নিয়ম থেকে খ. ফ্লেমিঙের ডান হস্ড় নিয়ম থেকে

গ. লেঞ্জ-এর সূত্র থেকে ঘ. বিয়োঁ-স্যাভাঁর সূত্র থেকে

২. স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের একক

ক. henry খ. weber গ. Tesla ঘ. Hz

৩. বাংলাদেশে যে দিক পরিবর্তী বিদ্যুৎ সরবরাহ করা হয় তা প্রতি $\frac{1}{100}$ সেকেন্ডে দিক পরিবর্তন করে। এর কম্পাঙ্ক,

ক. 100 Hz খ. $\frac{1}{100}$ Hz গ. 50 Hz ঘ. $\frac{1}{50}$ Hz

খ. বহুপদী সমাপ্তিসূচক

৪. স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের একক henry কে লেখা যায়,

(i) VsA^{-1} (ii) wb–m (iii) wbA^{-1}

নিচের কোনটি সঠিক?

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

গ. অভিন্ন তথ্যভিত্তিক

একটি দিকপরিবর্তী প্রবাহকে I = 100 sin xt সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

নিচের প্রশ্নের উত্তর দিন।

৫। প্রবাহের শীর্ষমান কত?

ক. 50A খ. 70.7A গ. 100A ঘ. 700A

৬। প্রবাহের গড় বর্গক্ষেত্রের বর্গমূল কত?

ক. 50A খ. 70.7A গ. 100A ঘ. 70.0A

ঘ. সৃজনশীল প্রশ্ন

১। একটি দন্ড চুম্বককে তামার একটি বৃত্তাকার কুন্ডুলীর অক্ষ বরাবর উপর থেকে ফেলে দিলে চুম্বকটি যখন কুন্ডুলীর নিকটবর্তী হয় কুন্ডুলীর মধ্যে উৎপন্ন ফ্লাক্স নিচের সমীকরণ অনুযায়ী সময় t এর উপর নির্ভরশীল ।

$\phi = 5t^2+2t-4$, কুন্ডুলীর রোধ 4Ω

ক. চৌম্বক ফ্লাক্স কী?

খ. আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের দিক সম্পর্কে আলোচনা করুন।

গ. 2sec সময়ে উদ্দীপকে উলেণ্ডখিত কুন্ডুলীর মধ্যে আবিষ্ট প্রবাহমাত্রা কত হবে?

ঘ. কুন্ডুলীর মধ্য দিয়ে দন্ড চুম্বকটির পতনের সময় এর ত্বরণ কী g এর সমান হবে? বেশি বা কম হবে কী? উত্তরের স্বপক্ষে যুক্তি দিন।

২। দ্বাদশ শ্রেণীর ছাত্রী বিপাশা একটি এ.সি উৎসের সাথে 20Ω রোধ যুক্ত করল, এ.সি উৎসের বিস্ড়ার 160V কম্পাঙ্ক 60Hz.

ক. দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ কাকে বলে?

খ. সময়ের পরিবর্তনের সাথে একমুখী প্রবাহের পরিবর্তন লেখচিত্রের মাধ্যমে দেখান।

গ. কার্যকর ভোল্ডেজ ও কার্যকর প্রবাহমাত্রা নির্ণয় করুন।

ঘ. একমুখী প্রবাহ ও দিক পরিবর্তী প্রবাহের মধ্যে পার্থক্য কী? কোন প্রবাহ বেশি বিপজ্জনক এবং কেন?

ঙ. সংক্ষিপ্ত-উত্তর প্রশ্ন

১. তড়িৎ চৌম্বক আবেশ কী, লিখুন।

২. চৌম্বক ফ্লাক্স কাকে বলে, লিখুন।

৩. চৌম্বক ফ্লাক্সের একক কী, লিখুন।

৪. $e = -\frac{d\varphi}{dt}$ সমীকরণে '-' চিহ্নের তাৎপর্য কী, লিখুন।

৫. আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ কী, লিখুন।

৬. লেঞ্জের সূত্র কী, লিখুন।

৭. স্বকীয় আবেশ কাকে বলে, লিখুন।

৮. স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের একক কী, লিখুন।

৯. 1 henry এর সংজ্ঞা কী, লিখুন।

১০. পারস্পরিক আবেশ কাকে বলে, লিখুন।

১১. আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল সৃষ্টির কারণ লিখুন।

১২. ফ্যারাডের তাড়িতচৌম্বকীয় আবেশের সূত্র বর্ণনা করুন।

১৩. আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের দিক সম্পর্কে আলোচনা করুন।

১৪. বর্তনীতে কিভাবে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল বৃদ্ধি করা যায়, লিখুন।

১৫. স্বকীয় আবেশ গুনাঙ্ক বলতে কী বুঝায়, লিখুন।

১৬. একমুখী প্রবাহ ও দিক পরিবর্তী প্রবাহের মধ্যে পার্থক্য বর্ণনা করুন।

১৭. লেঞ্জের সূত্র-শক্তির সংরক্ষণশীলতা নীতি মেনে চলে, বর্ণনা করুন।

১৮. জেনারেটর কাকে বলে, লিখুন।

বিশদ-উত্তর প্রশ্ন

১. তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ সংক্রান্ড় ফ্যারাডের সূত্রাবলী বর্ণনা ও ব্যাখ্যা করুন।

২. লেঞ্জের সূত্র বর্ণনা ও ব্যাখ্যা করুন।

৩. স্বকীয় আবেশ ও পারস্পরিক আবেশ বলতে কী বুঝায়, লিখুন।

৪. স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক ও পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক ব্যাখ্যা করুন।

৫. দেখান যে, সাইনসদৃশ দিক পরিবর্তী প্রবাহের গড়মান $I_{av} = 0.637 I_o$ এবং গড়বর্গের বর্গমূল $I_{rms} = 0.707 I_o$

৬. দেখান যে, $\varepsilon_{av} = 0.637 \varepsilon_o$ এবং $\varepsilon_{r.m.s} = 0.707 \varepsilon_o$

৭. দুটি সমমুখী তড়িৎবাহী সমান্ড়রাল পরিবাহীর দূরত্ব $2d$ । উভয়ের মধ্য দিয়ে i প্রবাহমাত্রা প্রবাহিত হচ্ছে। যে কোনো তার থেকে d দূরত্বে B -এর মান নির্ণয় করুন।

গাণিতিক সমস্যাবলী

১. একটি কুন্ডলীতে সৃষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স ϕ, নিচের সমীকরণ অনুসারে সময় t এর সাথে সম্পর্কিত। $\phi=(6t^2+4t-3ab)$ কুন্ডলীর রোধ 4Ω ; $t = 35$ সময়ে কুন্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ড় তড়িৎ প্রবাহ কী হবে? **[উঃ** 10A]

২. 50 পাক এবং 0.01m^2 ক্ষেত্রফলের একটি কুন্ডলীর তলের অভিলম্বভাবে 0.02T চৌম্বক ক্ষেত্র ক্রিয়া করেছে। চৌম্বক ক্ষেত্র হতে কুন্ডুলীকে $\frac{1}{10}$ সেকেন্ডে অপসারিত করা হলে, কুন্ডলীতে যে গড় তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হবে, তা নির্ণয় করুন। [উঃ 0.1 volt]

৩. কোনো কুন্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের হার 20As^{-1} হলে 6V তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। কুন্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক কত? [উঃ 0.3 volt]

৪. একটি কুন্ডলীতে $2.023\,\text{sec}$ সময়ে তড়িৎপ্রবাহ 0.2A থেকে 2.0A এ পরিবর্তিত হওয়ার দরুন ঐ কুন্ডলীতে $12V$ তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। কুন্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় করুন। [উঃ 13.498 Hz]

৫. কোনো দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক বলের গড় বর্গের বর্গমূল $100\,\text{V}$ । তড়িচ্চালক বলের শীর্ষমান কত? [উ:141.42Volt]

৬. একটি দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের সমীকরণ $I = 30\sin 628 f$ হলে তড়িৎ প্রবাহের (i) শীর্ষমান, (ii) কম্পাঙ্ক এবং (iii) মূলগড় বর্গের মান নির্ণয় করুন। [উঃ (i) 30A (ii) 100 Hz (iii) 21.21A.]

উত্তরমালা

পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৪.১ : ১.গ, ২.গ
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৪.২ : ১.গ, ২.ক, ৩.গ
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৪.৩ : ১.খ, ২.গ
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৪.৪ : ১.ক, ২.গ, ৩.ক, ৪.গ
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৪.৫ : ১.গ, ২.গ ৩.ক
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৪.৬ : ১.গ, ২.খ

চূড়ান্ড় মূল্যায়ন

বহুনির্বাচনি প্রশ্ন: ১.গ ২.ক ৩.গ ৪.গ ৫.গ ৬.খ
সৃজনশীল প্রশ্ন: ১ ক, খ, ঘ, নিজে করুন: গ. 5.5A
সৃজনশীল প্রশ্ন-২ ক, খ, ঘ, নিজে করুন: গ. 113.12V, 5.656A