Study material on Semiconductor Diode
for
SEM – VI Gen Paper – DSE-1B
Dr. Dipka Saha

অর্ধপরিবাহী

অর্ধপরিবাহী (Semiconductor) এক বিশেষ ধরনের পদার্থ, যাদের তড়িৎ পরিবাহিতা পরিবাহী (Conductor) এবং অন্তরকের (Insulator) মাঝামাঝি। সিলিকন, জার্মেনিয়াম, ক্যাডমিয়াম সালফাইড, গ্যালিয়াম আর্সেনাইড ইত্যাদি অর্ধপরিবাহী পদার্থের উদাহরণ। কোন পদার্থ কতটুকু তড়িৎ পরিবহন করতে সক্ষম তা তাদের আপেক্ষিক রোধের মানের ওপর নির্ভর করে। যার আপেক্ষিক রোধ যত বেশি তার পরিবাহিতা তত কম। যেমন, স্বাভাবিক তাপমাত্রায় কাচের (অন্তরক) আপেক্ষিক রোধ $১০^{১৬}$ ওহম-মিটার আর তামার (পরিবাহী) হলো $১০^{-৮}$। অর্ধপরিবাহীর আপেক্ষিক রোধের গড় মান এদের মাঝামাঝি (সাধারণত $১০^{-৫}$ থেকে $১০^{৮}$ এর মধ্যে)

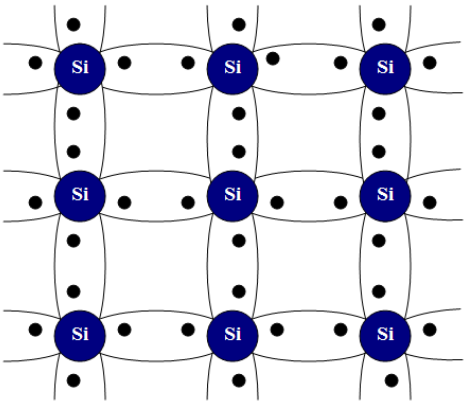
আধুনিক যুগে প্রযুক্তির প্রভূত অগ্রগতির মূলে রয়েছে এই অর্ধপরিবাহী। কারণ এটি দিয়েই প্রথমে ডায়োড এবং পরবর্তীতে ট্রানজিস্টর নির্মীত হয়। তড়িৎ ও ইলেকট্রনিক প্রকৌশলে এর বিশাল ভূমিকা রয়েছে। অর্ধপরিবাহীর বিশেষ বৈশিষ্ট্য হচ্ছে, একে উত্তপ্ত করা হলে তড়িৎ পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায়। তাই উচ্চ তাপমাত্রায় এটি সুপরিবাহীর মত আচরণ করে। অথচ সুপরিবাহীকে উত্তপ্ত করলে তার পরিবাহিতা কমে যায়। এর সর্বপ্রধান বৈশিষ্ট্য হচ্ছে, কোন বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর সাথে নির্দিষ্ট কোনো অপদ্রব্যের খুব সামান্য পরিমাণ (এক কোটি ভাগে এক ভাগ) যোগ করলে তার রোধ অনেকগুণ কমে যায়, ফলতই পরিবাহিতা বেড়ে যায় অনেকগুণ। এভাবে অপদ্রব্য মেশানোর প্রক্রিয়াকে বলে ডোপায়ন। এই ডোপায়নের মাধ্যমেই ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতি নির্মাণ করা হয়।

অর্ধপরিবাহীর বৈশিষ্ট্য

১। পরম শূন্য তাপমাত্রায় (0 K) এরা অন্তরকের ন্যায় কাজ করে।
২। কক্ষ তাপমাত্রায় সাধারণত আপেক্ষিক রোধ $10^{-4}\Omega m - 10^{-2}\Omega m$ এর মধ্যে থাকে।
৩। অর্ধপরিবাহীর সাথে কোনো অপদ্রব্য যোগ করলে এর তড়িৎ পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায়।
৪। একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রার পালণ্ঢা পর্যন্ড় এর রোধ তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে হ্রাস পায়।
৫। এদের পরিবহন ব্যান্ড ও যোজন ব্যান্ডের মধ্যে শক্তি পার্থক্য 1.1 eV বা এর চেয়ে কম।
৬। কক্ষ তাপমাত্রায় অর্ধপরিবাহীর পরিবহন ব্যান্ড আংশিক পূর্ণ ও যোজন ব্যান্ড আংশিক খালি থাকে।

গাঠনিক বৈশিষ্ট্য:

অর্ধপরিবাহী পদার্থ যেমন জার্মেনিয়াম বা সিলিকন পরমাণুর বাইরের কক্ষে চারটি ইলেকট্রন থাকে। আটটি পূর্ণ করতে হলে তার প্রয়োজন আরও চারটি ইলেকট্রন। তারা বাকি চারটি ইলেকট্রন অর্জন করে আশেপাশের অন্য পরমাণু থেকে। তবে পাশের পরমাণু তাদের ইলেকট্রন একেবারে দিয়ে দেয়না বরং ভাগাভাগি করে। একে অপরের চারটি করে পরমাণু ভাগাভাগি করে। ফলে দুজনেই বহিঃস্থ কক্ষে আটটি করে ইলেকট্রন পায় এবং স্থিতি অর্জন করে। এভাবে তাদের মধ্যে যে বন্ধনের সৃষ্টি হয় তাকে বলে সমযোজী বন্ধন। উল্লেখ্য কিছু পরিবাহী বা অপরিবাহীও সমযোজী বন্ধন তৈরি করতে পারে। এভাবে সমযোজী বন্ধন গঠনের মাধ্যমে জার্মেনিয়াম বা সিলিকন বিশুদ্ধ কেলাস তৈরি করে যাকে কঠিন অবস্থা পদার্থবিজ্ঞানের ভাষায় অন্তর্জাত (intrinsic) কেলাস বলা হয়। এগুলোতে কোন মুক্ত ইলেকট্রন থাকেনা তাই স্বাভাবিক অবস্থায় এরা কোনো তড়িৎ পরিবহন করেনা। এ ধরনের বিশুদ্ধ কেলাসের তাপমাত্রা বাড়ালে কিছু কিছু সমযোজী বন্ধন ভেঙে যায় এবং গুটিকতক মুক্ত ইলেকট্রনের সৃষ্টি হয়। এভাবেই উচ্চ তাপমাত্রায় অর্ধপরিবাহী পদার্থ সাধারণ পরিবাহীর মত আচরণ



সেমিকন্ডাকটরের শ্রেণীবিভাগ:
সেমিকন্ডাকটর মূলতঃ ২ প্রকারঃ

১। খাটি সেমিকন্ডাকটর (Intrinsic Semiconductor)

২। ভেজাল মিশ্রিত সেমিকন্ডাকটর (Extrinsic Semiconductor)

ভেজাল মিশ্রিত সেমিকন্ডাকটর আবার দুই প্রকারঃ

1. পি-টাইপ সেমিকন্ডাকটর
2. এন-টাইপ সেমিকন্ডাকটর

১। বিশুদ্ধ বা অন্তর্জাত অর্ধপরিবাহী ঃ যে সব অর্ধপরিবাহীতে কোনো অপদ্রব্য (Impurity) থাকে বা মেশানো হয় না তাদেরকে বিশুদ্ধ বা অন্তর্জাত অর্ধপরিবাহী বলে।

উদাহরণঃ যে সব পদার্থের পরমাণুর সর্ববহিঃস্থ কক্ষে সর্বোচ্চ ৪টি ইলেকট্রনের স্থানে 4টি যোজন ইলেকট্রন বিদ্যামান থাকে এবং যেগুলো পর্যায় সারণির চতুর্থ গ্রুপের সদস্য সেগুলো বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর অন্তর্ভূক্ত। যেমন –সিলিকন, জার্মেনিয়াম, টিন ইত্যাদি বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী। বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে কক্ষ তাপমাত্রায় হোল-ইলেকট্রন জোড়ের সৃষ্টি হয়। ফলে এদের পরিবহন ব্যান্ডের ইলেকট্রন সংখ্যা এবং যোজন ব্যান্ডের হোলের সংখ্যা সমান হয়। বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে মুক্ত ইলেকট্রনের এবং হোলের সংখ্যা খুব কম হওয়াতে এদের তড়িৎ পরিবাহিতা খুব কম হয় এবং বাস্তবে কোনো কাজে লাগানো যায় না।

২। অবিশুদ্ধ বা বহির্জাত পরিবাহী ঃ বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর সাথে খুব সামান্য পরিমাণে (এক কোটি পরমাণুতে একটি পরমাণু) যথোপযুক্ত অপদ্রব্য মেশালে যে অর্ধপরিবাহীর সৃষ্টি হয় তাকে অবিশুদ্ধ বা দূষিত বা বহির্জাত অর্ধপরিবাহী বলে।

বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর সাথে অপদ্রব্য মেশানোর ফলে এগুলোতে বিপুল পরিমাণ মুক্ত ইলেকট্রন বা মুক্ত হোলের সৃষ্টি হয়, ফলে সিলিকন বা জার্মেনিয়াম কেলাসের পরিবাহিতা অনেক গুণে বৃদ্ধি পায়। অপদ্রব্যযুক্ত এই অর্ধপরিবাহীকে বহির্জাত অর্ধপরিবাহী বলে। বিশুদ্ধ জার্মেনিয়াম, সিলিকন অর্ধপরিবাহীর সাথে বোরন, এ্যালুমিনিয়াম, ফসফরাস, আর্সেনিক ইত্যাদি অপদ্রব্য মিশিয়ে বহির্জাত অর্ধপরিবাহী তৈরি করা হয়।

ডোপিং (Doping) ঃ বহির্জাত অর্ধপরিবাহী তৈরির জন্য বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর সাথে সুনিয়ন্ত্রিত ও উপযুক্ত উপায়ে সামান্য পরিমাণ অপদ্রব্য মিশানোর প্রক্রিয়াকে ডোপিং বলে।
ডোপিং এর ফলে অর্ধপরিবাহীর তড়িৎ পরিবাহিতা বহুগুণ বৃদ্ধি পায়।
ডোপিং এর জন্য দুই ধরনের অপদ্রব্য ব্যবহার করা হয়। যথা –
(ক) পর্যায় সারণির তৃতীয় সারির মৌল, যেমন –বোরন, অ্যালুমিনিয়াম, গ্যালিয়াম ইত্যাদি।
(খ) পর্যায় সারণির পঞ্চম সারির মৌল, যেমন – ফসফরাস, আর্সেনিক, এন্টিমনি ইত্যাদি।

খাটি সেমিকন্ডাকটরে ইলেকট্রন হোল জেনারেশন এন্ড রিকম্বিনেশন:

নিম্ন তাপমাত্রায় অধিকাংশ বিষুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে ইলেকট্রন এবং হোলগুলি দৃঢ় বন্ধনে আবদ্ধ থাকে। ফলে মুক্ত ইলেকট্রন থাকে না এবং বিদ্যুৎ প্রবাহ হয় না। কিন্তু কক্ষ তাপমাত্রায় বা তার কিছু বেশী তাপমাত্রায় ভ্যালেন্স ইলেকট্রনসমূহ তাপশক্তি অর্জন করে এবং কো-ভ্যালেন্ট বন্ধন ভেঙ্গে মুক্ত হয়। ফলে বন্ধনে একটি ইলেকট্রনের ঘাটতি পড়ে অর্থাত একটি হোলের সৃষ্টি হয়। এভাবে খাটি অর্ধপরিবাহীতে ইলেকট্রন এবং হোল জেনারেশন হয়।

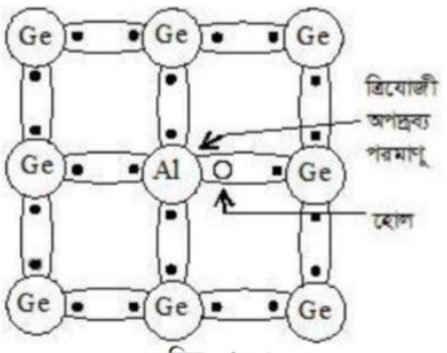
বিষুদ্ধ সেমিকন্ডাকটরে সমান সমান হোল এবং মুক্ত ইলেকট্রন থাকে। মুক্ত ইলেকট্রনগুলি বিভিন্ন পরমাণুতে ঘুরে বেড়ায়। যখন কোন মুক্ত ইলেকট্রন কোন একটি হোলের মধ্যে ঢুকে যায় তখন ইলেকট্রন হোল রিকম্বিনেশন ঘটে। অর্থাত মুক্ত ইলেকট্রন এবং হোলের মিলনকে হোল-ইলেকট্রন রিকম্বিনেশন বলে।

ভেজাল মিশ্রিত সেমিকন্ডাকটরঃ

ডোপিং এর পর অর্থাত ভেজাল পদার্থ মিশ্রনের পর ভেজাল দ্রব্য মিশ্রিত সেমিকন্ডাকটরকে Extrinsic Semiconductor বা ভেজাল মিশ্রিত সেমিকন্ডাকটর বলা হয়। ভেজাল পদার্থের প্রকৃতির উপর ভিত্তি করে সেমিকন্ডাকটর আবার দুই প্রকার হয়ে থাকে। (১) পি-টাইপ সেমিকন্ডাকটর (২) এন-টাইপ সেমিকন্ডাকটর।

১। p- টাইপ অর্ধপরিবাহী ঃ কোনো বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর সাথে সামান্য পরিমাণ ত্রিযোজী মৌল অপদ্রব্য হিসেবে মেশানো হলে, তাকে p- টাইপ অর্ধপরিবাহী বলে।

বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর সাথে অপদ্রব্যকে বিশেষ প্রক্রিয়ায় উচ্চতাপে মেশানো হয়। অপদ্রব্যের পরিমাণ এমনভাবে নিয়ন্ত্রণ করা হয় যেন এর পরমাণুগুলো মূল অর্ধপরিবাহী কেলাসের গঠন কাঠামোর কোনো পরিবর্তন না ঘটিয়ে কেলাস ল্যাটিসে অন্তর্ভুক্ত হয়ে পড়ে। আমরা জানি, জার্মেনিয়াম বা সিলিকনের পরমাণুতে চারটি করে যোজন ইলেকট্রন রয়েছে। অপরদিকে অ্যালুমিনিয়াম পরমাণুতে তিনটি যোজন ইলেকট্রন আছে। বিশুদ্ধ জার্মেনিয়ামের সাথে যদি উপযুক্ত মাত্রায় (দশ লক্ষে একটি) অ্যালুমিনিয়ামের মতো ত্রিযোজী মৌল মেশানো হয়, তা হলো ঐ কেলাসের গঠনের কোনো পরিবর্তন হয় না, কিন্তু পার্শ্ববর্তী চতুর্যোজী অর্ধপরিবাহীর সাথে সমযোজী বন্ধন গঠন করতে এর একটি ইলেকট্রনের ঘাটতি পড়ে। ফলে ঐ স্থানে বন্ধন তৈরি হয় না। এই

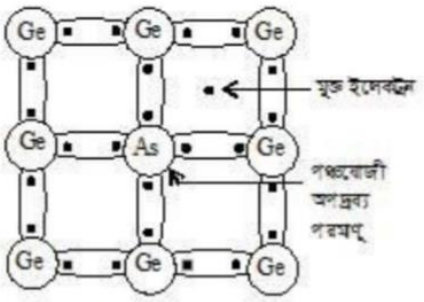


চিত্র : ১০.৮

ইলেকট্রন ঘাটতি মানেই 'হোল' সৃষ্টি হয়। প্রতিটি Al পরমাণু একটি করে হোল সৃষ্টি করে [চিত্র : ১০.৮]। এ হোলগুলো ইলেকট্রন গ্রহণ করতে প্রস্তুত থাকে। এ জন্য অ্যালুমিনিয়াম পরমানুকে 'গ্রাহক' পরমাণু বলে। এভাবে প্রতিটি অ্যালুমিনিয়াম পরমাণু একটি করে হোল সৃষ্টি করে। এভাবে খুব সামান্য পরিমাণ অ্যালুমিনিয়াম লক্ষ লক্ষ হোল সৃষ্টি করে। অ্যালুমিনিয়াম পরমাণুর ধনাত্মক হোল Ge - Ge বন্ধন থেকে একটি ইলেকট্রন গ্রহণ করলে যে পরমাণু থেকে এটি আসে সেখানে একটি হোলের সৃষ্টি হয়। সেই হোলকে পূর্ণ করার জন্য অন্য একটি ইলেকট্রন চলে আসে। এভাবে এ প্রক্রিয়া চলতেই থাকে। ফলে মনে হয়, ধনাত্মক হোল পদার্থের মধ্য দিয়ে ইলেকট্রনের গতির বিপরীত দিকে গতিশীল হয়। এছাড়া কক্ষ তাপমাত্রায় তাপীয় শক্তির প্রভাবে কিছু সমযোজী বন্ধন ভেঙ্গে যায় এবং পরিবহন ব্যান্ডে খুব সামান্য পরিমাণ ইলেকট্রন বিদ্যমান থাকে। এখানে গরিষ্ঠ আধান বাহক হলো হোল এবং লঘিষ্ঠ আধান বাহক হলো ইলেকট্রন। এখানে হোল অর্থাৎ ধনাত্মক চার্জের গতির ফলেই তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। এ কারণে এ ধরনের অর্ধপরিবাহীকে p- টাইপ অর্ধপরিবাহী বলে।

২। n-টাইপ অর্ধপরিবাহী : কোনো বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর সাথে সামান্য পরিমাণ পঞ্চযোজী মৌল অপদ্রব্য হিসেবে মেশানো হলে তাকে n-টাইপ অর্ধপরিবাহী বলে।

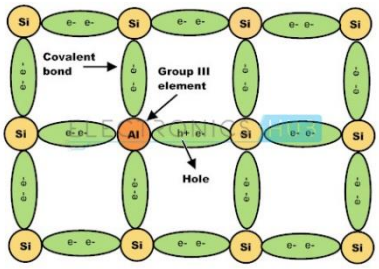
কিভাবে n-টাইপ অর্ধপরিবাহী তৈরি করা হয় তা ব্যাখ্যা করার জন্য একটি বিশুদ্ধ জার্মেনিয়ামের কেলাস বিবেচনা করি। আমরা জানি জ্যার্মেনিয়ামে পরমাণুতে চারটি যোজন ইলেকট্রন থাকে। অপরদিকে অপদ্রব্য পরমাণু আর্সেনিকের পাঁচটি যোজন ইলেকট্রন আছে। বিশুদ্ধ জার্মেনিয়ামের সাথে যদি উপযুক্ত মাত্রায় (দশ লক্ষে একটি) আর্সেনিকের মতো কোনো পঞ্চযোজী মৌল মেশানো হয়, তাহলে ঐ কেলাসের গঠনের কোনো পরিবর্তন হয় না, কিন্তু মিশ্রিত পরমাণুর পাঁচটি যোজন ইলেকট্রনের মধ্যে চারটি জার্মেনিয়াম পরমাণুর সাথে সমযোজী বন্ধন গঠন করে এবং একটি ইলেকট্রন উদ্বৃত্ত থাকে [চিত্র ১০. ৯]।

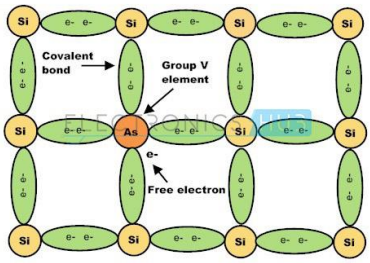


চিত্র ১০.৯

এই উদ্বৃত্ত ইলেকট্রনকে খুব সামান্য শক্তি সরবরাহ করে মুক্ত করা যায় এবং এগুলোই অর্ধপরিবাহীর তড়িৎ পরিবাহিতা বৃদ্ধি করে। প্রতিটি অপদ্রব্য পরমাণু (AS) কেলাসে একটি করে ইলেকট্রন দান করে। তড়িৎ পরিবহনের জন্য অপদ্রব্য পরমাণুগুলো ইলেকট্রন দান করে বলে এদেরকে 'দাতা' পরমাণু বলে। এভাবে খুব সামান্য পরিমাণ আর্সেনিক অপদ্রব্য লক্ষ লক্ষ মুক্ত ইলেকট্রন সৃষ্টি করে। এ ধরনের অর্ধপরিবাহীতে ইলেকট্রন অর্থাৎ ঋণাত্মক চার্জের গতির ফলেই প্রধানত তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয় বলে এদেরকে n-টাইপ অর্ধপরিবাহী বলে।

এছাড়া কক্ষ তাপমাত্রায় তাপীয় শক্তির প্রভাবে খুব সামান্য পরিমাণ হোল-ইলেকট্রন জোড়া সৃষ্টি হয়। তথাপি পঞ্চযোজী মৌল কর্তৃক সরবরাহকৃত মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা সৃষ্ট হোলের সংখ্যার চেয়ে অনেক বেশি থাকে। এ কারণে n-টাইপ অর্ধপরিবাহীতে গরিষ্ঠ আধান বাহক হলো ইলেকট্রন এবং লঘিষ্ঠ আধান বাহক হলো হোল।





পি-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর (P-Type Semiconductor) **এন-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর (N-Type Semiconductor)**

অর্ধপরিবাহী ডায়োড:

ডায়োড (Diode) একটি দুই প্রান্ত বিশিষ্ট ইলেক্ট্রনিক যন্ত্রাংশ যা বর্তনীতে কেবল মাত্র একদিকে তড়িৎপ্রবাহ হতে সাহায্য করে । এছাড়াও বৈদ্যুতিক উপায়ে ধারকত্ব নিয়ন্ত্রণ (ভ্যারিক্যাপ) এবং বিকিরণ, নিঃসরণ ও কম্পন সংবেদী ইলেকট্রনিক সুইচ তৈরিতে ডায়োড ব্যবহৃত হয়। তড়িৎশক্তির আকর্ষণীয় উৎস সৌর কোষও মূলত এক ধরনের আলোক-সংবেদী ডায়োড।

ডায়োড মূলত একটি নির্দিষ্ট দিকের তড়িৎ প্রবাহকে সহায়তা করে এবং তার বিপরীত দিকের তড়িৎ প্রবাহকে বাধা প্রদান করে। এই ধরনের একদিকে প্রবাহিত করার প্রবণতাকে রেকটিফিকেশন বলা হয়ে থাকে যা এসি কারেন্ট থেকে ডিসি কারেন্টে তৈরি এবং রেডিও সংকেতের মর্মোদ্ধারের প্রথম ধাপ।

অধিকাংশ আধুনিক ডায়োডই অর্ধপরিবাহী জাংশন তত্ত্বের উপর নির্ভর করে বানানো হয়। এদের মধ্যে সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ হলো P-N জাংশন ডায়োড। এধরনের ডায়োড অর্ধ পরিবাহীর ক্রিস্টাল যেমন সিলিকন থেকে নির্মিত হয়। ক্রিস্টালের এক অংশে কিছু অপদ্রব্য মেশানো হয় (ডোপায়ন) যাতে এমন একটা জায়গা তৈরি হয় যাতে ঋণাত্মক চার্জের বাহক বা ইলেকট্রন অধিক পরিমাণে থাকে; এঅংশকে বলা হয় N-টাইপ অর্ধপরিবাহী। ক্রিস্টালের অপর অংশে ভিন্নধর্মী অপদ্রব্যের সাহায্যে ধনাত্মক চার্জের ঘনত্ব বাড়িয়ে তোলা হয়। এ অংশটিকে বলা হয় P-টাইপ অর্ধপরিবাহী। এই দুইটি অংশের (P ও N) সংযোগস্থলকে বলে P-N জাংশন যেখানে ডায়োডের মূল কাজগুলো সংগঠিত হয়ে থাকে। ডায়োডে তড়িৎ প্রবাহের দিক P টাইপ অর্ধপরিবাহী থেকে N টাইপ অর্ধপরিবাহক দিকে। এর বিপরীত দিকে তড়িৎ প্রবাহিত হতে পারে না।

সেমিকন্ডাক্টর ডায়োডের বৈশিষ্ট্য ও ব্যবহারঃ

সেমিকন্ডাক্টর ডায়োডের বৈশিষ্ট্য

- সেমিকন্ডাক্টর ডায়োডে শুধু ফরোয়ার্ড বায়াসে কারেন্ট প্রবাহিত হয়।
- এর বেরিয়ার ভোল্টেজ ০.৩ ভোল্ট।
- ফরোয়ার্ড বায়াসে অল্প পরিমাণ রেজিস্ট্যান্স দেখায়।
- রিভার্স বায়াসে অনেক বেশি রেজিস্ট্যান্স দেখায়।
- ফরোয়ার্ডের কারেন্ট প্রযুক্ত ভোল্টেজের উপর নির্ভর করে থাকে।

সেমিকন্ডাক্টর ডায়োডের ব্যবহার

- ডিজিটাল সার্কিটে
- বিভিন্ন লজিক সার্কিটে
- ক্লিপিং সার্কিটে
- রেক্টিফায়ার সার্কিটে
- মাল্টিভাইব্রেটর সার্কিটে
- রেডিও রিসিভার ও অডিও ডিটেক্টর হিসেবে

নিঃশেষিত স্তর বা ডিপলেশন স্তর (Depletion Region):

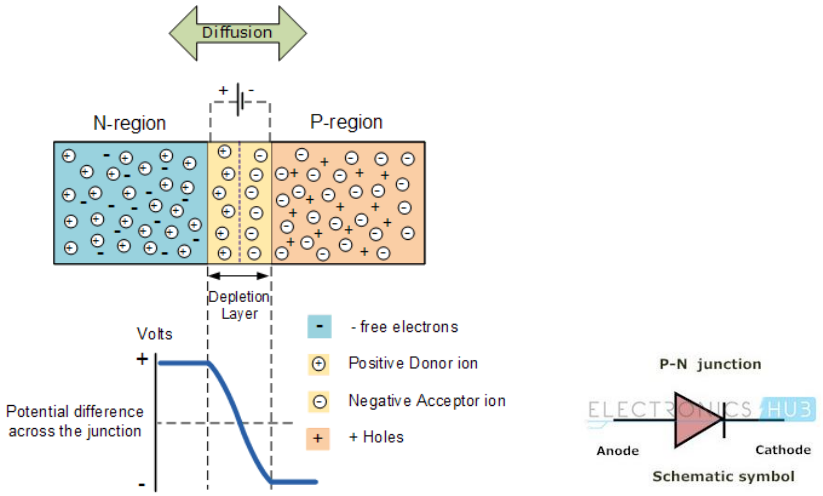
একটি P টাইপ অর্ধপরিবাহকের অভ্যন্তরে প্রচুর হোল ও খুবই কম সংখ্যক মুক্ত ইলেক্ট্রন থাকে। আবার N টাইপ অর্ধপরিবাহকের ক্ষেত্রে এর বিপরীত অর্থাৎ প্রচুর মুক্ত ইলেক্ট্রন ও খুবই কম সংখ্যক হোল থাকে। যখন একটি P-N জংশন তৈরী করা হয় তখন P অঞ্চল হতে হোলগুলো N অঞ্চলের দিকে এবং N অঞ্চল হতে ইলেকট্রনগুলো P অঞ্চলের দিকে যেতে চেষ্টা করে। এটি একটি ব্যাপন প্রক্রিয়া যার মাধ্যমে পদার্থকণিকা অধিক ঘনত্বের স্থান থেকে কম ঘনত্বের স্থানে প্রবাহিত হতে থাকে। এ অবস্থায়-

- P অঞ্চল হতে কিছু হোল N অঞ্চলে চলে যাওয়ায় P অঞ্চলের জাংশন-সংলগ্ন এলাকার অণুগুলো আয়নিত হয়ে ঋণাত্মক চার্জ ধারণ করে।
- একইভাবে N অঞ্চল হতে P অঞ্চলে ইলেক্ট্রনের ব্যাপনের কারণে N অঞ্চলে ধনাত্মক চার্জে আয়নিত একটি অঞ্চল তৈরি হয়।

এভাবে P অঞ্চলে ঋণাত্মক ও N অঞ্চলে ধনাত্মক আয়ন উন্মুক্ত হয়ে যাওয়ায় একটি উল্টো ব্যাপার ঘটে

- P অঞ্চলের ঋণাত্মক আয়ন, N অঞ্চলের ইলেক্ট্রনকে P অঞ্চলে প্রবেশে বাধা দেয়
- N অঞ্চলের ধনাত্মক আয়ন, P অঞ্চলের হতে হোলকে N অঞ্চলে প্রবেশে বাধা দেয়

এওবস্থায় একটি তাপীয় সাম্যাবস্থা অর্জিত হয়, যাতে ইলেকট্রন ও হোলের ব্যাপন বন্ধ হয়ে যায় এবং জাংশন বা সংযোগস্থলে একটি বিভব প্রাচীর (Potential Barrier) সৃষ্টি হয়। এই বিভব প্রাচীরের উভয় পাশে একটি সীমা পর্যন্ত শুধুমাত্র আয়ন (P অঞ্চলে ঋণাত্মক আয়ন এবং N অঞ্চলে ধনাত্মক আয়ন) থাকে, এই সীমার মধ্যে কোন মুক্ত মুখ্য আধান বাহক (Majority Charge Carrier) তথা ইলেক্ট্রন বা হোল থাকেনা। এই স্তরে আধানবাহকের অনুপস্থিতির কারণে একে *নিঃশেষিত স্তর* বা *ডিপলেশন স্তর* (Depletion Region) বলে।

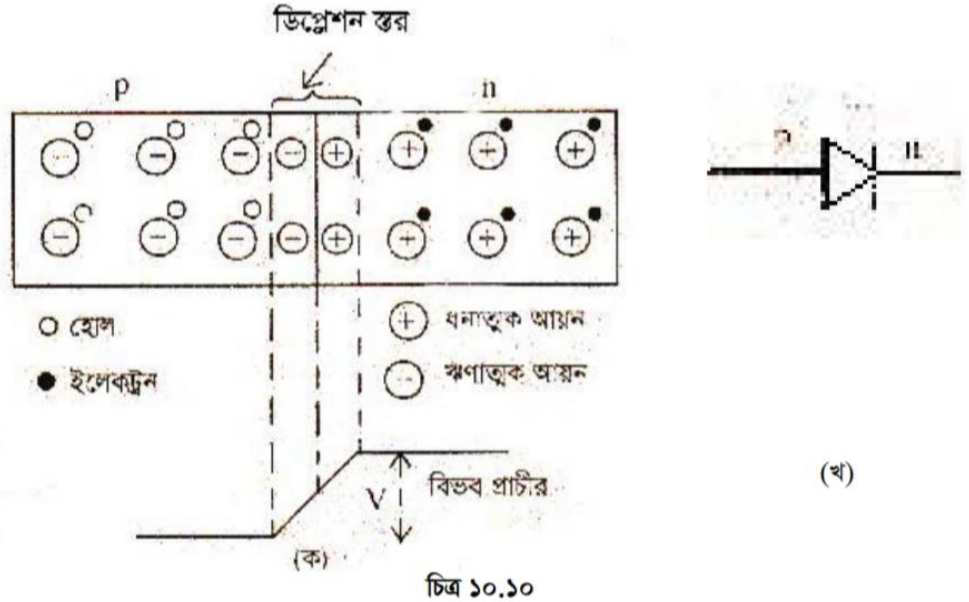


১০.৫.১ অর্ধপরিবাহী ডায়োড বা জাংশন ডায়োড

Semiconductor Diode or Junction Diode

জাংশান ডায়োড : একটি *p*-টাইপ অর্ধপরিবাহী ও একটি *n*-টাইপ অর্ধপরিবাহীকে বিশেষ প্রক্রিয়ায় পরস্পরের সাথে সংযুক্ত করা হলে সংযোগ পৃষ্ঠকে তথা সৃষ্ট ব্যবস্থাকে *p-n* জাংশন বা জাংশন ডায়োড বলে। দুটি অর্ধপরিবাহী সমন্বয়ে গঠিত বলে একে অর্ধপরিবাহী ডায়োডও বলে [চিত্র ১০.১০ (ক)]।

প্রকৃতপক্ষে দুটি অর্ধপরিবাহীকে জোড়া লাগিয়ে ডায়োড তৈরি করা হয় না। বাস্ড়বে একটি বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী কেলাসের এক অর্ধাংশে ত্রিযোজী অপদ্রব্য এবং অপর অর্ধাংশে পঞ্চযোজী অপদ্রব্য বিশেষ প্রক্রিয়ায় মিশিয়ে *p-n* জাংশন তৈরি করা হয়।



চিত্র ১০.১০

আমরা জানি, একটি *p*-টাইপ অর্ধপরিবাহীর অভ্যস্ড়রে বহুসংখ্যক হোল ও অতি অল্প সংখ্যক ইলেকট্রন থাকে। একইভাবে একটি *n*-টাইপ অর্ধপরিবাহীতে বহুসংখ্যক মুক্ত ইলেকট্রন এবং অতি অল্পসংখ্যক হোল বর্তমান থাকে। *p-n* জাংশন তৈরির সাথে সাথে *p*-অঞ্চলের হোলের সংখ্যা *n*-অঞ্চলের হোলের সংখ্যার চেয়ে অনেক বেশি বলে ব্যাপনের নিয়ম অনুযায়ী *p*-অঞ্চলের হোলগুলো *n*-অঞ্চলে যেতে চেষ্টা করে যাতে *p* ও *n* অঞ্চলের সর্বত্র হোলের ঘনত্ব সমান হয়। অনুরূপভাবে *n*-অঞ্চল থেকে কিছু ইলেকট্রন *p*-অঞ্চলে যেতে চেষ্টা করে।

অর্থাৎ ডায়োডের জাংশনে মুক্ত হোল এবং মুক্ত ইলেকট্রন উভয়েই ব্যাপন ক্রিয়ার মাধ্যমে সংযোগস্থলকে অতিক্রম করতে চায়।

যখন *p*-অঞ্চল হতে কিছুসংখ্যক হোল *n*-অঞ্চলে প্রবেশ করে মুক্ত ইলেকট্রনের সাথে মিলিত হয়ে তড়িৎ নিরপেক্ষ হয়, তখন *n*-অঞ্চলে সমসংখ্যক ধনাত্বক দাতা আয়ন উন্মুক্ত হয়। আবার *n*-অঞ্চল হতে একই প্রক্রিয়ায় মুক্ত ইলেকট্রনগুলো যখন *p*-অঞ্চলে প্রবেশ করে হোলের সাথে মিলিত হয়ে তড়িৎ নিরপেক্ষ হয় তখন *p*-অঞ্চলে সমসংখ্যক ঋণাত্মক গ্রাহক আয়ন উন্মুক্ত হয়। ফলে জাংশনের সন্নিকটে *p*-অঞ্চলে কিছু ঋণাত্মক আয়ন এবং *n*-অঞ্চলে কিছু ধনাত্মক আয়নের উদ্ভব ঘটে [চিত্র ১০.১০ক]। এভাবে যখন যথেষ্ট সংখ্যক গ্রাহক ও দাতা আয়ন উন্মুক্ত হয়, তখন ব্যাপন প্রক্রিয়া বাঁধাগ্রস্ড় হবে। এখন *n*-অঞ্চলের ধনাত্মক আধান *p*-অঞ্চল থেকে হোলের আগমন এবং *p*-অঞ্চলের ঋণাত্মক আধান *n*-অঞ্চল থেকে ইলেকট্রনের আগমনকে বাঁধা দেবে। ফলে সংযোগস্থলে একটি বিভব প্রাচীর গড়ে ওঠে যা বিভব বাঁধা V_0 এর সৃষ্টি করবে। এই বিভব বাঁধার পরিমাণ 0.1 - 0.3 V হয়ে থাকে। এই বিভব বাঁধার বাইরে জাংশানের উভয় পাশে কেলাস তড়িৎ নিরপেক্ষ অবস্থায় থাকে।

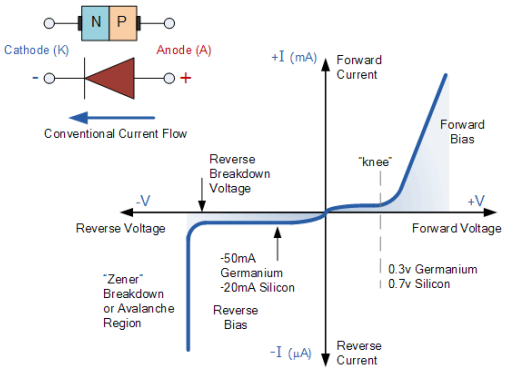
p-n জাংশনের বিভব বাঁধা অংশে *n*-অঞ্চলে ধনাত্মক আয়ন এবং *p*-অঞ্চলে ঋণাত্মক আয়ন উন্মুক্ত হয়। এ অঞ্চলে কোনো মুক্ত আধান বাহক থাকে না। এ অংশকে নিঃশেষিত স্ড়র বা ডিপেণ্ডশন স্ড়র (Depletion layer) বলে। ১০.১০ (খ) চিত্রে *p-n* জাংশন ডায়োডের প্রতীক দেখানো হয়েছে। তীর চিহ্ন দ্বারা *p*-অঞ্চলে তথা প্রচলিত প্রবাহের দিক এবং তীরটির সামনের উলণ্ড়ম্ব রেখা দ্বারা *n*-অঞ্চল বোঝানো হয়।

ডায়োডের কার্যপ্রণালী:

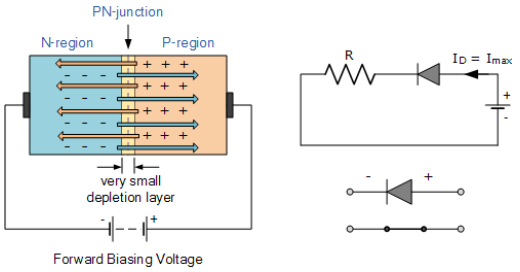
একটি ডায়োডে তড়িৎ প্রবাহ হবে কিনা তা নির্ভর করে এর উপর প্রযুক্ত বহিঃস্থ বিভব বা ভোল্টেজের (Voltage) উপর যা দুইভাবে হতে পারে-

১. সম্মুখী ঝোঁক বা সম্মুখী বায়াস (Forward Bias)

২. বিমুখী ঝোঁক বা বিমুখী বায়াস (Reverse Bias)



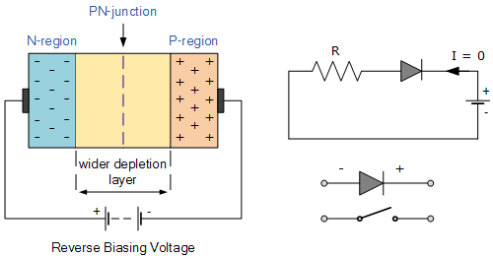
সম্মুখী ঝোঁক বা সম্মুখী বায়াস (Forward bias):



বহিঃস্থ ভোল্টেজ যদি এমনভাবে প্রয়োগ করা হয় যে, তড়িৎ-উৎসের (ব্যাটারী) ধনাত্মক প্রান্ত ডায়োডের P প্রান্তের সাথে এবং তড়িৎ-উৎসের ঋণাত্মক প্রান্ত ডায়োডের N প্রান্তের সাথে যুক্ত থাকে তবে তাকে *সম্মুখী ঝোঁক* বা *সম্মুখী বায়াস* বলা হয়। এক্ষেত্রে ব্যাটারীর ধনাত্মক প্রান্ত- (i) N অঞ্চলের ইলেক্ট্রন গুলোকে P অঞ্চলের দিকে টানবে (কারণ ইলেক্ট্রনের চার্জ এবং ব্যাটারীর ধনাত্মক প্রান্তের চার্জ বিপরীত) (ii) P অঞ্চলের হোলগুলোকে N অঞ্চলের দিকে ঠেলে দিবে (কারণ হোলের চার্জ এবং ব্যাটারীর ধনাত্মক প্রান্তের চার্জ সমপ্রকৃতির) এবং

ব্যাটারীর ঋনাত্মক প্রান্ত- (i) N অঞ্চলের ইলেক্ট্রন গুলোকে P অঞ্চলের দিকে ঠেলে দিবে (কারণ ইলেক্ট্রনের চার্জ এবং ব্যাটারীর ঋণাত্মক প্রান্তের চার্জ সমপ্রকৃতির) (ii) P অঞ্চলের হোলগুলোকে N অঞ্চলের দিকে টানবে (কারণ হোলের চার্জ এবং ব্যাটারীর ঋণাত্মক প্রান্তের চার্জ বিপরীত)ফলে ভোল্টেজ বাড়াতে থাকলে ডিপলেশন স্তর সংকুচিত হতে থাকবে (যেহেতু আধান বাহকের চাপ বৃদ্ধি পাচ্ছে) এবং এক পর্যায়ে ডিপলেশন স্তর উপেক্ষা করে আধান বাহকগুলো জংশন অতিক্রম করবে। যেহেতু P অঞ্চল হতে হোল N অঞ্চলে প্রবেশ করছে এবং N অঞ্চল হতে ইলেক্ট্রন P অঞ্চলে প্রবেশ করছে সেহেতু এটা বলা যায় ডায়োডের মধ্য দিয়ে তড়িৎ/বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে। ব্যাটারীর উপস্থিতির কারণে এই প্রক্রিয়া অব্যাহত থাকবে এবং বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ চলতে থাকসম্মুখী ঝোঁক বৃদ্ধির সাথে সাথে তড়িৎ প্রবাহ এক্সপোনেশিয়াল-ভাবে বাড়তে থাকে (ডায়োডের I–V বৈশিষ্ট্য দ্রষ্টব্য)। এ কারণে সম্মুখী ঝোঁকে চালিত ডায়োডকে চালু বা অন হিসেবে গণ্য করা হয়। যে সম্মুখী ভোল্টেজে ডায়োডের তড়িৎ প্রবাহ প্রত্যাশিত পর্যায়ে উন্নীত হয়, তাকে কাট-ইন ভোল্টেজ বলা হয়। সিলিকন পি-এন ডায়োডের জন্য এর মান ০.৬ - ০.৭ ভোল্ট, আবার সিলিকন শটকি ডায়োডের জন্য এর মান ০.৩ ভোল্টের কাছাকাছি। অপরদিকে উচ্চ ব্যান্ড-পার্থক্যের পদার্থ (যেমন সিলিকন কার্বাইড বা গ্যালিয়াম নাইট্রাইড) দিয়ে তৈরি ডায়োডের জন্য কাট-ইন বিভব ২ ভোল্টেরও বেশি হতে পারে।

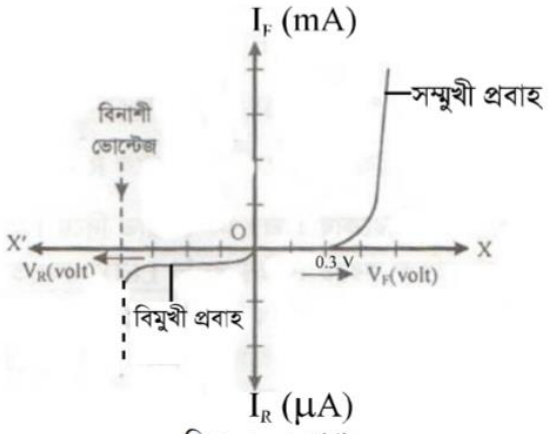
বিমুখী ঝোঁক বা বিমুখী বায়াস (Reverse bias):



বহিঃস্থ ভোল্টেজ যদি এমনভাবে প্রয়োগ করা হয় যে, তড়িৎ-উৎসের (ব্যাটারী) ঋণাত্মক প্রান্ত ডায়োডের P প্রান্তের সাথে এবং তড়িৎ-উৎসের ধনাত্মক প্রান্ত ডায়োডের N প্রান্তের সাথে যুক্ত থাকে তবে তাকে *বিমুখী ঝোঁক* বা *বিমুখী বায়াস* বলা হয়। এক্ষেত্রে ব্যাটারীর ঋণাত্মক প্রান্ত- (i) N অঞ্চলের ইলেক্ট্রন গুলোকে জংশন থেকে N অঞ্চলের দিকে ঠেলে দিবে (কারণ ইলেক্ট্রনের চার্জ এবং ব্যাটারীর ঋণাত্মক প্রান্তের চার্জ সমপ্রকৃতির) (ii) P অঞ্চলের হোলগুলোকে জংশন থেকে P অঞ্চলের আরো প্রান্তের দিকে টেনে আনবে (কারণ হোলের চার্জ এবং ব্যাটারীর ঋণাত্মক প্রান্তের চার্জ বিপরীত) এবং ব্যাটারীর ধনাত্মক প্রান্ত- (i) N অঞ্চলের ইলেক্ট্রনগুলোকে জংশন থেকে N অঞ্চলের আরো প্রান্তের দিকে টেনে আনবে (কারণ ইলেক্ট্রনের চার্জ এবং ব্যাটারীর ধনাত্মক প্রান্তের চার্জ বিপরীত) (ii) P অঞ্চলের হোলগুলোকে জংশন থেকে P অঞ্চলের দিকে ঠেলে দিবে (কারণ হোলের চার্জ এবং ব্যাটারীর ধনাত্মক প্রান্তের চার্জ সমপ্রকৃতির)

এইক্ষেত্রে ভোল্টেজ বাড়াতে থাকলে ডিপলেশন স্তর সম্প্রসারিত হতে থাকবে (যেহেতু আধান বাহকের চাপ কমে যাচ্ছে); নির্দিষ্ট সীমার অতিরিক্ত ভোল্টেজ প্রয়োগ করলে আয়োনাইজেশন বা টানেলিং প্রক্রিয়ায় ডায়োডের মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ হতে থাকে। এই ভোল্টেজকে *ব্রেকডাউন ভোল্টেজ* বলে। এটি লক্ষ্য করা জরুরি যে যদিও একে ব্রেকডাউন ভোল্টেজ বলা হয়, এর ফলে ডায়োডের পদার্থগত কোন ক্ষতি বা পরিবর্তন ঘটে না, শুধুমাত্র এর বিপরীতমুখী (N থেকে P অঞ্চলের দিকে) তড়িৎ-প্রবাহ রোধের ক্ষমতা লোপ পায়। বিভব পার্থক্য ব্রেকডাউন ভোল্টেজের নিচে নেমে এলে ডায়োড পুনরায় তার একমুখী তড়িৎ পরিবহনের ক্ষমতা (রেকটিফিকেশন)ফেরত পায়। তবে উচ্চ বিভব পার্থক্যে উচ্চ তড়িৎ প্রবাহ ডায়োডে উচ্চ তাপমাত্রা তৈরি করে যা একটি নির্দিষ্ট সীমা অতিক্রম করলে ডায়োডটি পুড়ে যেতে পারে, বা ডায়োডের ধাতব সংযোগ ও বহিঃআবরণ ক্ষতিগ্রস্থ হতে পারে।

সম্মুখী ঝোঁকের ক্ষেত্রে : লেখচিত্র হতে দেখা যায় যে, সম্মুখী ঝোঁকের ক্ষেত্রে প্রথম দিকে ভোল্টেজের মান খুব কম হলে প্রবাহমাত্রার মান খুব ধীরে ধীরে বৃদ্ধি পায় এবং লেখটি সরলরৈখিক নয়। এক্ষেত্রে বাহ্যিক যে ভোল্টেজ এ প্রয়োগ করা হয় তা জাংশনের বিভব প্রাচীর অতিক্রম করতে ব্যয়িত হয়। প্রযুক্ত ভোল্টেজের মান একটি নির্দিষ্ট মান অতিক্রম করার পর তড়িৎ প্রবাহ দ্রুত সূচকীয়ভাবে বৃদ্ধি পেতে থাকে। ডায়োডের এই নিদিষ্ট ভোল্টেজকে প্রারম্ভিক বা সূচন ভোল্টেজ (Threshold Voltage) বা নী ভোল্টেজ বলে। সিলিকন ডায়োডের জন্য এই ভোল্টেজের মান 0.7V এবং জার্মেনিয়াম এর ক্ষেত্রে এই মান 0.3V। যখন বাহ্যিক প্রযুক্ত ভোল্টেজ বিভব প্রাচীরের ভোল্টেজকে অতিক্রম করে তখন p-n জাংশন একটি সাধারণ পরিবাহীর ন্যায় আচরণ করে।



চিত্র : ১০.১৩(গ)

বিমুখী ঝোঁকের ক্ষেত্রে : বিমুখী ঝোঁকের ক্ষেত্রে *p-n* জাংশনের *p*-টাইপ এবং *n*-টাইপ বস্তুকে ব্যাটারির যথাক্রমে ঋণাত্মক এবং ধনাত্মক প্রান্তের সাথে চিত্র ১০.১৩(গ)-এর সংযুক্ত করা হয়। বিমুখী ঝোঁকের ক্ষেত্রে জাংশনের বিভব প্রাচীরের উচ্চতা বহুলাংশে বৃদ্ধি পায়। ফলে জাংশনের রোধ অনেক বেড়ে যায় এবং বাস্তবে বর্তনীতে কোনো প্রবাহ হওয়ার কথা নয়। কিন্তু বাস্তবে, বিমুখী ঝোঁকের ক্ষেত্রেও বর্তনীতে খুব অল্প মানের তড়িৎ (মাইক্রো অ্যাম্পিয়ার ক্রমের) প্রবাহিত হয়। এই প্রবাহকে বিমুখী প্রবাহ বলে। আমরা জানি *p*-টাইপ বস্তুতে খুব অল্প সংখ্যক ইলেকট্রন এবং *n*-টাইপ বস্তুতে খুব অল্প সংখ্যক হোল থাকে। এই ইলেকট্রন এবং হোল উভয়ক্ষেত্রে লঘিষ্ঠ আধান বাহক হিসেবে কাজ করে। এদের জন্যই বিমুখী ঝোঁকে খুব অল্প মানের তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায়, কেননা এই লঘিষ্ঠ আধান বাহকের জন্য বিমুখী ঝোঁাক সম্মুখী ঝোঁক -এর কাজ করে। বিমুখী ঝোঁকে প্রযুক্ত ভোল্টেজ বৃদ্ধি করা হলেও বিমুখী প্রবাহ দ্রুত সামান্য বৃদ্ধি পেয়ে একটি সম্পৃক্ত মানে পৌছে। এই প্রবাহকে বিমুখী সম্পৃক্ত প্রবাহ (Reverse Saturation current) বা লিকেজ প্রবাহ (leakge current) বলে।

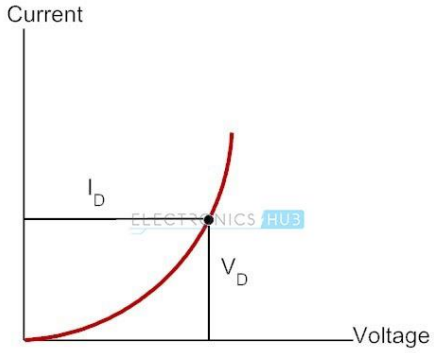
p-n জাংশনের বিমুখী ঝোঁকে যদি ভোল্টেজকে ক্রমান্বয়ে বৃদ্ধি করা হয়, তখন এক সময় হঠাৎ করে বিপুল পরিমান তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায় (চিত্রের ভগ্নরেখা)। যেন মনে হয় *p-n* জাংশনের বিভব প্রাচীর বা রোধ একেবারে বিলুপ্ত হয়ে গেছে। বিমুখী ঝোঁকের যে উচ্চ ভোল্টেজের জন্য এমনটি ঘটে তাকে জেনার ভোল্টেজ বা জেনার বিভব বা বিনাশী ভোল্টেজ বলে। 1934 সালে বিজ্ঞানী জেনার কর্তৃক আবিস্কৃত ডায়োডের এ ক্রিয়াকে জেনার ক্রিয়া বলে।

DC or Static Resistance:

Static resistance or DC resistance of a PN junction diode defines the diode's resistive nature when a DC source is connected to it. If an external DC voltage is given to the circuit in which the semiconductor diode is a part of it, results in a Q-point or operating point on the PN junction diode characteristic curve that does not alter with time.

The static resistance at the knee of the curve and below of it will be much greater than the resistance values of the vertical rise section of the characteristic curve. Minimum is the current passing through a diode maximum is the level of DC resistance.

$$R_{DC} = V_{DC} / I_{DC}$$



AC or Dynamic Resistance:

Dynamic resistance is derived from Shockley's Diode Equation. It defines the diode resistive nature when an AC source which depends on the DC polarisation of the PN junction diode is connected to it.
If an external sinusoidal signal is given to the circuit consisting of a diode, the altering input will shift the instantaneous Q – point slightly from the current position in the characteristics and therefore it defines a definite change in voltage and current.
When no external alternating signal is applied, the operating point will be the Q – point (or quiescent point) which is determined by the applied DC signal levels. The AC resistance of the diode is increased by lowering the Q-point of operation. In short, it is equivalent to slope of voltage – current of the PN diode

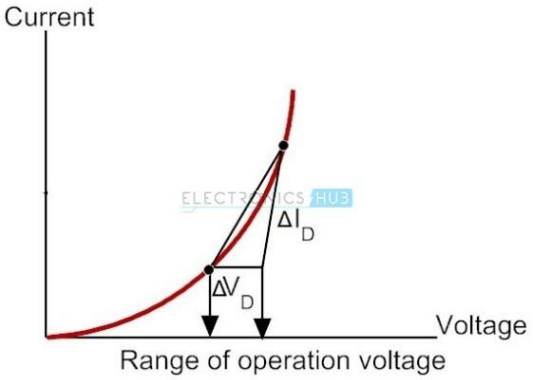
গতীয় রোধ : (Dynamic Resistance)

একটি p - n জংশনে সম্মুখী ঝোঁক প্রয়োগ করা হলে, বিভব পার্থক্য সামান্য বৃদ্ধি করলে জংশনে তড়িৎ প্রবাহ অনেক বৃদ্ধি পায়। অর্থাৎ তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন অনেক বেশি হয়। আবার বিমুখী ঝোঁক থাকা অবস্থায় বিভব পার্থক্যের অনেক বৃদ্ধির ফলেও প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন খুব সামান্য হয়। সুতরাং সম্মুখী ঝোঁক প্রয়োগের সময় p-n জংশনের রোধ খুব কম হয়। এ রোধকে গতীয় রোধ বলে। গতীয় রোধের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়।

কোনো p- n জংশনে প্রযুক্ত বিভব পার্থক্যের সামান্য পরিবর্তন ΔV এবং এর জন্য আনুষঙ্গিক তড়িৎ প্রবাহমাত্রার সামান্য পরিবর্তন ΔI এর অনুপাতকে গতীয় রোধ বা এসি রোধ বলে।

সুতরাং গতীয় রোধ,

$$r = \Delta V_D / \Delta I_D$$



শকলি ডায়োড সূত্র (Shockley Equation or Rectifier equation)

For ideal diode - $\mathbf{I = I_s\,(e^{V_D/(V_T)} - 1)}$

For real diode - - $\mathbf{I = I_s\,(e^{V_D/(nV_T)} - 1)}$

যেকোন ডায়োডের দুই প্রান্তে বিভব-পার্থক্যের পরিবর্তনের সাথে তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন শকলি আদর্শ ডায়োড সূত্র মেনে চলে। সূত্রটি হচ্ছে- $\mathbf{I = I_s\,(e^{V_D/(nV_T)} - 1)}$ যেখানে

I ডায়োডে তড়িৎ প্রবাহ,

I_S হলো বন্ধ বা অফ অবস্থায় তড়িৎ প্রবাহ যে নিম্নমাত্রায় গিয়ে ঠেকে,
V_D হলো ডায়োডের বিভব,
V_T হলো তাপীয় বিভব, এবং
n হলো আইডিয়ালিটি ফ্যাকটর যাকে কোয়ালটি ফ্যাকটর বা এমিশন সহগও বলা হয়ে থাকে।
তাপীয় বিভব V_T একটি তাপমাত্রা-সংবেদী ধ্রুবক যাকে প্রকাশ করা হয়ঃ $\mathbf{V_T = \frac{kT}{e}}$

যেখানে *k* হলো বল্টজম্যান ধ্রুবক, *T* হলো পরম তাপমাত্রা পি-এন সংযোগের এবং *q* হলো একটি ইলেকট্রনের আধানের মান। কক্ষ তাপমাত্রায় (৩০০ কেলভিন) তাপীয় বিভবের মান প্রায় ২৫.৬২৯ মিলিভোল্ট।

আইডিয়ালিটি ফ্যাক্টর নির্দেশ করে ডায়োডের আই-ভি বৈশিষ্ট্য শূণ্যস্থানে থার্মায়োনিক নিঃসরণের কতটা কাছাকাছি। একটি আদর্শ পি-এন জাংশন ডায়োডে তড়িৎ-প্রবাহ শুধুমাত্র গৌণ আধান বাহকের (N অঞ্চলে হোল ও P অঞ্চলে ইলেকট্রন) মাধ্যমে হয়ে থাকে। এক্ষেত্রে আইডিয়ালিটি ফ্যাক্টরের মান হয় ১। শটকি ডায়োডে তড়িৎ-প্রবাহ ঘটে মুখ্য আধান বাহকের মাধ্যমে এবং এক্ষেত্রেও n-এর আদর্শ মান ১। প্রকৃত ডায়োড সাধারণত আদর্শ মান থেকে বিচ্যুতি প্রদর্শন করে। তবে বিশুদ্ধ ও উন্নতমানের ক্রিস্টাল থেকে তৈরি ডায়োডে এর মান ১ থেকে ২ এর মধ্যে থাকে।

Under reverse bias (when the n side is put at a more positive voltage than the p side) the exponential term in the diode equation is near zero and the current is near a constant (negative) reverse current value of $-I_S$. i.e., $\mathbf{I = -I_S}$.

For even rather small forward bias voltages the exponential is very large, since the thermal voltage is very small in comparison. The subtracted '1' in the diode equation is then negligible and the forward diode current can be approximated by

$$\mathbf{I = I_S}\, e^{\frac{V_D}{nV_T}}$$

রেকটিফায়ার (Rectifier):

যে প্রক্রিয়ায় পরিবর্তী প্রবাহ (Alternating current) বা ভোল্টেজকে একমুখী প্রবাহ (Direct current- ডিসি) বা ভোল্টেজে রূপান্ড়র করা হয় তাকে রেকটিফিকেশন বা একমুখীকরণ বলে। একমুখীকরণের কাজটি যে যন্ত্র দ্বারা সম্পন্ন করা হয় তাকে রেফটিফায়ার বলে।

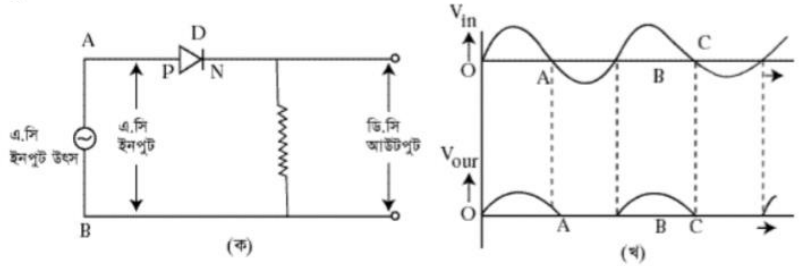
জাংশন ডায়োডের আলোচনা থেকে আমরা জেনেছি যে, ডায়োড যখন সম্মুখী ঝোঁকে থাকে তখন এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হয় এবং যখন এটি বিমুখী ঝোঁকে থাকে তখন এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হয় না। জাংশন ডায়োডের এ বিশেষ ধর্মকে কাজে লাগিয়ে রেকটিফিকেশন বা একমুখীকরণের কাজটি সম্পন্ন করা হয়।

একমুখীকরণে দুই ধরনের রেফটিফায়ার বর্তনী ব্যবহার করা হয়। যথা ঃ
(১) অর্ধতরঙ্গ রেকটিফায়ার।
(২) পূর্নতরঙ্গ রেকটিফায়ায়।

হাফ ওয়েভ রেকটিফায়ার	ফুল ওয়েভ রেকটিফায়ার
1. হাফ ওয়েভ এর সাহায্যে এসি ইনপুট পজেটিভ অর্ধ সাইকেলকে ডিসি রুপে আউটপুটে পাওয়া যায়।	1. ফুল ওয়েভ রেকটিফায়ারের সাহায্যে এসি ইনপুট সিগনালের উভয় অর্ধ সাইকেলকে ডিসি রূপে আউটপুট পাওয়া যায়।
2. ভোল্টেজ কম পাওয়া যায়।	2. ভোল্টেজ বেশি পাওয়া যায়।
3. কারেন্ট কম পাওয়া যায়।	3. কারেন্ট বেশি পাওয়া যায়।
4. এতে একটি মাত্র ডায়োডের প্রয়োজন হয়।	4. একাদিক ডায়োডের প্রয়োজন হয়।
5. এর দক্ষতা কম।	5. এর দক্ষতা বেশি।
6. এই রেকটিফায়ার এর নয়েজ কম।	6. এর রেকটিফায়ার নয়েজ বেশি।
7. এই রেকটিফায়ারের ব্যবহার অনেক কম।	7. এই রেকটিফায়ারের ব্যবহার বেশি।

৩.৩.১ ঃ অর্ধতরঙ্গ একমুখীকারক (Half wave rectifier)

চিত্র–১৪.১৭ এ একটি অর্ধপরিবাহী ডায়োডের সাহায্যে অর্ধতরঙ্গ একমুখীকারক বর্তনী দেখানো হয়েছে। এ বর্তনীতে একটি ডায়োড, একটি ইনপুটে পরিবর্তী প্রবাহের উৎস ও একটি রোধ দেখানো হয়েছে।



চিত্র–১৪.১৭ এর (ক) ও (খ) অংশে ডায়োডে প্রযুক্ত ইনপুট ভোল্টেজ এবং আউটপুটে প্রাপ্ত ডি.সি ভোল্টেজ চিত্র দেখানো হয়েছে।

কার্যপ্রণালী ঃ

এ.সি ইনপুটের তরঙ্গের প্রথম অর্ধচক্র OA (১৪.১৭-ক) প্রবাহের সময় A বিন্দু ধনাত্মক বিভবযুক্ত এবং B বিন্দু ঋণাত্মক হয় ফলে তরঙ্গের ডায়োড D সম্মুখ ঝোঁক প্রাপ্ত হয়, এ অবস্থায় ডায়োডের মধ্যদিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ চলে এবং আউটপুট ভোল্টেজ পাওয়া যায়। কিন্তু ইনপুটের তরঙ্গ দ্বিতীয় অর্ধচক্র AB (চিত্র–১৪.১৭ ক) এর জন্য A বিন্দু ঋণ এবং B বিন্দু ধনাত্মক বিভবযুক্ত হয় অর্থাৎ ডায়োড D তরঙ্গের বিপরীত ঝোঁক প্রাপ্ত হয়। তখন ডায়োডের মধ্যদিয়ে কোন প্রবাহ চলে না ফলে আউটপুটে কোন ভোল্টেজ পাওয়া যায় না (চিত্র– ১৪.১৭-খ)। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, শুধুমাত্র এসি ইনপুটের এক অর্ধচক্রের জন্য প্রবাহ চলে। যদি ডায়োডের সংযোগ বিপরীতমুখী করা হয় অর্থাৎ লম্বরেখা উৎসের A প্রান্তের সঙ্গে এবং ত্রিভুজ B প্রান্তে সঙ্গে সংযোগ দেয়া হয়, তবে ডায়োড AB অর্ধচক্রের সময় আউটপুট পাওয়া যাবে; কিন্তু OA অর্ধচক্রের জন্য প্রবাহ পাওয়া যাবে না।

এ প্রক্রিয়া অর্থাৎ এক অর্ধচক্রের জন্য আউটপুট পাওয়া এবং অপর অর্ধচক্রের জন্য আউটপুট না পাওয়ার জন্যই একে অর্ধচক্র একমুখীকরণ বলে।

ফুল ওয়েভ রেকটিফায়ার (Full-wave Rectifier):

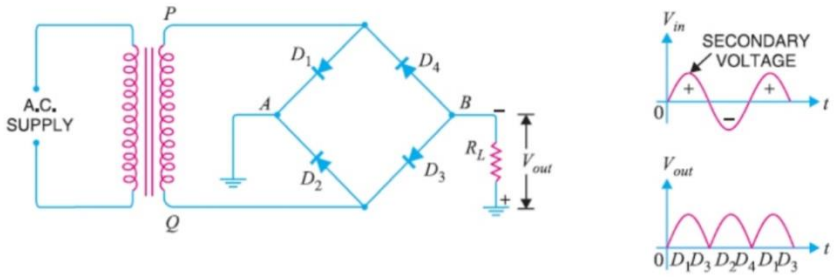
ফুল ওয়েভ রেকটিফায়ার আবার দ'ধরনের, যথা -

১. Center tapped Full wave Rectifier

2. Bridge Full wave Rectifier

নিম্নে Bridge Full wave Rectifier এর কার্যপ্রণালী দেওয়া হল –

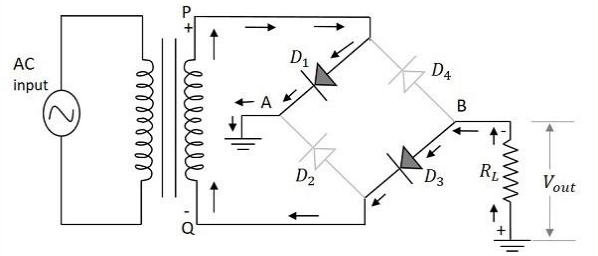
ফুল ওয়েভ ব্রিজ রেক্টিফায়ার



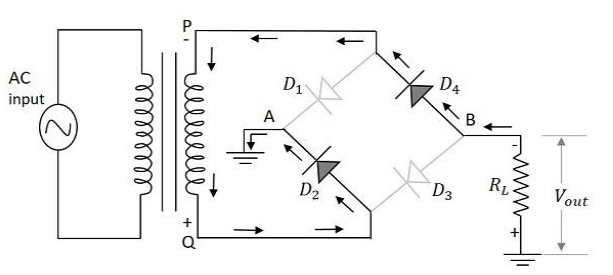
কার্যপ্রণালী : -

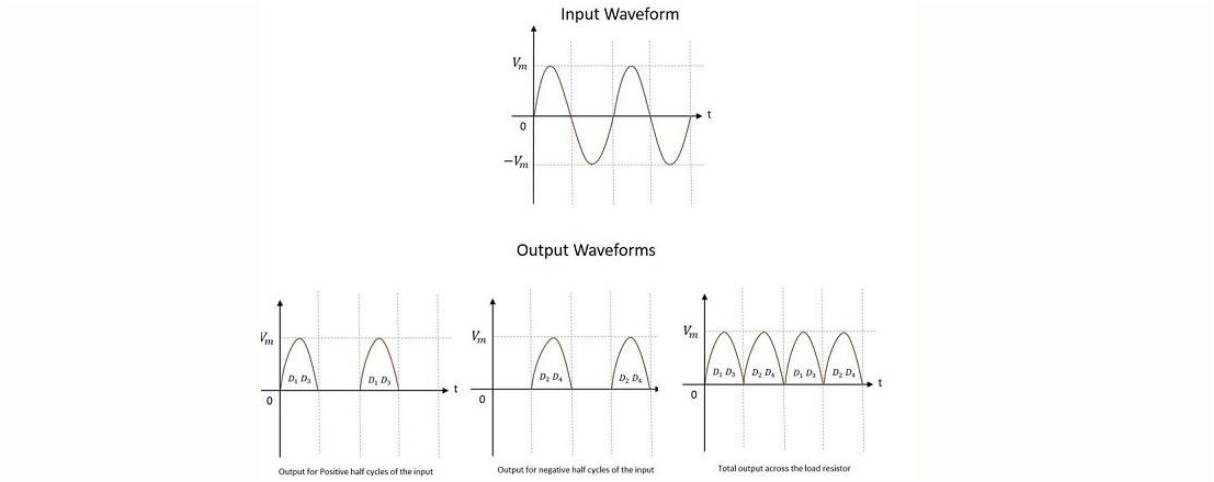
সিঙ্গেল ফেজ রেকটিফায়ারের ক্ষেত্রে স্টেপ ডাউন ট্রান্সফরমার ব্যবহার হয়। সেহেতুে ব্রীজ ফুল ওয়েভ রেকটিফায়রে ব্যবহৃত ট্রান্সফরমারটি স্টেপ ডাউন টাইপ। প্রাইমারিতে 220V AC সরবরাহ দিলে সেকেন্ডারিতে 24V AC বা 12V AC বা এ রকম কাছাকাছি ভোল্টেজ ট্রান্সফরমার হয় । ইন্জিনিয়ারিং-এর ক্ষেত্রে ৪(চার) বাহুবিশিষ্ট সার্কিট বা ব্যবস্থাকে ব্রীজ বলা হয়। এখানে ব্রীজ সার্কিটে ৪ (চার) টি ডায়োড ব্যবহার করা হয়েছে।

ট্রান্সফরমারের প্রাইমারিতে এসি সাপ্লাই দিলে স্টেপ ডাউন হয়ে সেকেন্ডারিতে কম পরিমাণ এসি ভোল্টেজ ট্রান্সফার হবে ।পজিটিভ অর্ধ সাইকেলের সময় P প্রান্ত পজিটিভ এবং Q প্রান্ত নেগেটিভ হবে। এ অবস্থায় ডায়োড D1 এবং D3 ফরওয়ার্ড বায়াস হয় এবং D2 ও D4 রিভার্স বায়াস হয় । ফলে পজিটিভ কারেন্ট P থেকে ডায়োড D1 মধ্য দিয়ে A প্রন্তে যাবে। যেহেতু ডায়োড Diode D2 রিভার্স বায়াস , সেহেতু কারেন্ট লোড রেজিস্টর (R_L) দিয়ে প্রবাহিত হয়ে B প্রান্তে আসবে । তারপর ডায়োড D3 এর মাধ্যমে Q প্রান্তে গিয়ে সার্কিট সম্পন্ন হবে। ইনপুট এসি ওয়েভের পজিটিভ, অর্ধ সাইকেল লোড রেজিস্টর R_L -এর আড়াআড়িতে বা A ও B প্রান্ত থেকে পাওয়া যাবে।



আবার ইনপুট এসি সাপ্লাইয়ের নেগেটিভ অর্ধ সাইকেলের সময় P প্রান্ত - ve এবং Q প্রান্ত +ve হয়। ফলে ডায়োড D2 ও D4 ফরওয়ার্ড বায়াস এবং D1 ও D3 রিভার্স বায়াস হয়। তাহলে ডায়োড D2 ও D4 শর্ট সার্কিটের ন্যায় আচরণ করবে এবং কন্ডাকশন করবে আর D1 ও D3 খোলা সুইচের আচরণ করবে এবং কোন কারেন্ট প্রবাহ করবে না। করেন্ট প্রবাহ শুরু হবে, Q প্রান্ত থেকে ডায়োড D 2 -এর মাধ্যমে A প্রন্তে গিয়ে লোড রেজিস্টর R_L -এর মাধ্যমে B প্রন্তে এসে ডায়োড D4 হয়ে P প্রান্ত গিয়ে সার্কিট সম্পন্ন হবে। দেখা যায় যে , ইনপুটের নেগেটিভ অর্ধ সাইকেলেও কারেন্ট A থেকে B -এর দিকে প্রবাহিত হচ্ছে । অর্থাৎ ইনপুট এসি সাপ্লাইয়ের অর্ধ সাইকেলের জন্য আউটপুটে একই দিকে (+ve) কারেন্ট প্রবাহিত হয়। এজন্যই এ সার্কিটকে ফুল ওয়েভ রেকটিফায়ার বলা হয় । চিত্র- (b) -তে ইনপুট ওআউটপুট ওয়েভ দেখানো হয়েছে



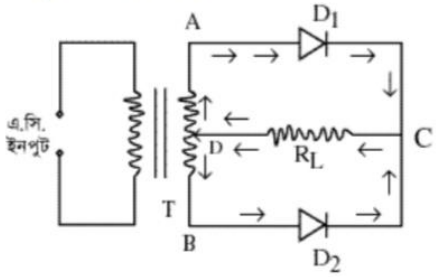


Centre-tapped Full-wave rectifier:

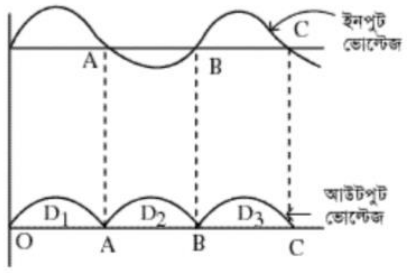
(খ) পূর্ণ-তরঙ্গ একমুখীকারক (Full-wave Rectifier)

চিত্র–১৪.১৭ এ একটি মাত্র ডায়োট ব্যবহার করা হয়েছে। এবার যদি A এবং B উভয় প্রান্তের সঙ্গে দু'টি স্বতন্ত্র ডায়োড সঙ্গে সংযুক্ত করা হয়, তবে এসি ইনপুটের বিদ্যুৎ প্রবাহের জন্য আউটপুটে ভিন্ন চিত্র পাওয়া যাবে।

এ অবস্থায় বর্তনী পূর্ণ তরঙ্গ একমুখীকারক হিসেবে কাজ করে। চিত্র–১৪.১৮ এ একটি বর্তনী চিত্র এবং চিত্র–১৪.১৯ এ ইনপুট ও আউটপুট প্রবাহ দেখানো হয়েছে।



চিত্র–১৪.১৮ ঃ বর্তনী



চিত্র–১৪.১৯ ঃ ইনপুট সিগন্যাল ও আউটপুট সিগন্যাল

কার্যপ্রণালী

এসি ইনপুটের তরঙ্গের ধনাত্মক অর্ধাংশের (চিত্র ১৪.১৮ এর OA অংশ) জন্য ট্রান্সফরমারের আউটপুটের A প্রান্ত ধনাত্মক এবং B প্রান্ত ঋণাত্মক বিভবযুক্ত হয়। এ অবস্থায় ডায়োড D_1 সম্মুখ ঝোঁক এবং ডায়োড D_2 বিপরীত ঝোঁক প্রাপ্ত হয়। ফলে ডায়োড D_1 এর ভিতর দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ চলে; কিন্তু D_2 এর ভিতর দিয়ে কোন প্রবাহ চলে না। বাইরের ভার (Load) R_L এর ভিতর দিয়ে C বিন্দু থেকে D বিন্দুর দিকে প্রবাহ চলবে।

এবার ইনপুটের বিপরীত অর্ধাংশ (AB) এর জন্য ট্রান্সফরমারের আউটপুটের A প্রান্ত ঋণাত্মক এবং B প্রান্ত ধনাত্মক বিভবযুক্ত হয়। ফলে ডায়োড D_1 নিশ্চুপ থাকে এবং ডায়োড D_2 এর মধ্যদিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ চলে (চিত্র ১৪.১৯খ)। এক্ষেত্রে বাইরের ভার (load) R_L এর ভিতর দিয়ে C বিন্দু থেকে D বিন্দুর দিকে প্রবাহ চলে। সুতরাং উভয় ডায়োডের জন্য বাইরের ভারে বিদ্যুৎ প্রবাহ একই দিকে হয়। অনুরূপভাবে ইনপুটের পরবর্তী চক্রের ক্ষেত্রে প্রথম অর্ধাংশের জন্য ডায়োড D_1 এবং পরবর্তী অর্ধাংশের জন্য ডায়োড D_2 এর ভিতর দিয়ে প্রবাহ চলে। এ প্রক্রিয়া চলতে থাকে।

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকরণ প্রক্রিয়ায় ইনপুট চক্রের পূর্ণ অংশের জন্য আউটপুট ভোল্টেজ একই দিকে পাওয়া যায়; এজন্য একে পূর্ণ তরঙ্গ একমুখীকরণ প্রক্রিয়া এবং সম্পূর্ণ ব্যবস্থা (system) কে পূর্ণ তরঙ্গ একমুখীকারক বলে।

একটি বিষয় লক্ষণীয় যে, অর্ধতরঙ্গ বা পূর্ণতরঙ্গ একমুখী কারকের কোনটির আউটপুটেই বিশুদ্ধ একমুখী আউটপুট ভোল্টেজ পাওয়া যায় না। যে আউটপুট পাওয়া যায়, তাকে বলে পালসেটিং (Pulsating) একমুখীপ্রবাহ। বিশুদ্ধ প্রবাহ পেতে হলে এ আউটপুটকে ফিল্টার বর্তনীর মাধ্যমে বিশুদ্ধ করতে হবে।

Let a sinusoidal voltage V_i be applied to the input of the rectifier.

Then $V = V_m \sin\omega t$

Where Vm is the maximum value of the secondary voltage.

Let the diode be idealized to piece-wise linear approximation with resistance R_f in the forward direction i.e., in the ON state and $R_r(=\infty)$ in the reverse direction i.e., in the OFF state.

Now the current 'i' in the diode (or) in the load resistance R_L is given by

$i = I_m \sin\omega t$ for $0 \le \omega t \le \pi$

i=0 for $\pi \le \omega t \le 2\pi$

where $I_m = \dfrac{V_m}{R_f + R_L}$

(i) Average or dc output current (I_{dc}) for Half-wave rectifier:

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} i\,d(\omega t)$$

$$= \frac{1}{2\pi}\left[\int_0^{\pi} I_m \sin\omega t\, d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} .0.\, d(\omega t)\right]$$

$$= \frac{1}{2\pi}\left[I_m(-\cos\omega t)_0^{\pi}\right]$$

$$= \frac{1}{2\pi}\left[I_m(+1-(-1)\right]$$

$$= \frac{I_m}{\pi} \text{ (or) } 0.318\ I_m$$

Substituting the value of I_m, we get $I_{dc} = \dfrac{V_m}{\pi\ R_f + R_L}$

If $R_L >> R_f$ then $I_{dc} = \dfrac{V_m}{\pi R_L} = 0.318\ \dfrac{V_m}{R_L}$

So, $(I_{dc})_{HW} = \dfrac{I_m}{\pi}$

And $(I_{dc})_{FW} = \dfrac{1}{\pi}\int_0^{\pi} i.d(\omega t) = \dfrac{2I_m}{\pi}$

(ii) Average or dc output voltage (V_{dc}) for Half-wave rectifier:

The average dc voltage is given by

$$V_{dc} = I_{dc} \times R_L = \frac{I_m}{\pi} \times R_L = \frac{V_m R_L}{\pi\ R_f + R_L}$$

$$\Rightarrow V_{dc} = \frac{V_m R_L}{\pi\ R_f + R_L}$$

If $R_L >> R_f$ then $V_{dc} = \dfrac{V_m}{\pi} = 0.318\ I_m \qquad \therefore V_{dc} = \dfrac{V_m}{\pi}$

So, $(V_{dc})_{HW} = \frac{V_m}{\pi\left(1+\frac{R_f}{R_L}\right)}$

And $(V_{dc})_{HW} = (I_{dc})_{FW} \cdot R_L = \frac{V_m}{\left(1+\frac{R_f}{R_L}\right)}\frac{2}{\pi}$

(iii) R.M.S. output current (I_{rms}) for Half-wave rectifier:

The value of the R.M.S. current is given by

$$I_{rms} = \left[\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} i^2 d(\omega t)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left[\frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} I_m^2 \sin^2\omega t.d(\omega t) + \frac{1}{2\pi}\int_{\pi}^{2\pi} .0.d(\omega t)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left[\frac{I_m^2}{2\pi}\int_0^{\pi}\left(\frac{1-\cos\omega t}{2}\right)d(\omega t)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left[\frac{I_m^2}{4\pi}\left\{(\omega t)-\frac{1}{2}\sin\omega t\right\}_0^{\pi}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left[\frac{I_m^2}{4\pi}\left\{\pi-0-\frac{\sin 2\pi}{2}+\sin 0\right\}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left(\frac{I_m^2}{4}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{I_m}{2}$$

$$\therefore I_{rms} = \frac{I_m}{2} \text{ (or) } I_{rms} = \frac{V_m}{2\ R_f + R_L}$$

So, $(I_{rms})_{HW} = \frac{I_m}{2}$

And $(I_{rms})_{FW} = \sqrt{\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} i^2.d(\omega t)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\pi}\int_0^{\pi} sin^2\omega t\ d(\omega t)} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$

(iv) R.M.S. output voltage (V_{rms}) for Half-wave rectifier:

$$V_{rms} = I_{rms} \times R_L = \frac{V_m R_L}{2\ R_f + R_L} = \frac{V_m}{2\left(1+\frac{R_f}{R_L}\right)}$$

If $R_L >> R_f$ then $V_{rms} = \frac{V_m}{2}$

So $(V_{rms})_{FW} = (I_{rms})_{FW}.R_L = \frac{I_m}{2} \cdot R_L = \frac{V_m}{2\left(1+\frac{R_f}{R_L}\right)}$

(v) Ripple factor of Half-wave rectifier:

রেকটিফায়ারের আউটপুটে পালসেটিং ডিসির এসি/রিপল কম্পোনেন্টের আরএমএস মান এবং ডিসি কম্পোনেন্টের মানের অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা, এই ধ্রুব সংখ্যাকে রিপল ফ্যাকটর বলা হয়। রিপল ফ্যাকটরের মান যত কম হবে রেকটিফায়ার তত কার্যকরী হবে এবং রিপল ফ্যাকটরের মান যত বেশী হবে রেকটিফায়ার তত অনুন্নত এ অকার্যকর হবে।

রিপল ফ্যাকটর (γ) = **(এসি বা রিপল কম্পোনেন্টের আরএমএস মান) / (ডিসি কম্পোনেন্টের মান)**

= $= (I_{ac})/(I_{dc}) = \sqrt{\frac{I_{rms}^2 - I_{dc}^2}{I_{dc}^2}}$

The ripple factor γ is given by

$$\therefore \gamma = \sqrt{\left(\frac{I_{rms}}{I_{dc}}\right)^2 - 1} \quad \text{(or)} \quad \therefore \gamma = \sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{dc}}\right)^2 - 1}$$

$$\therefore \gamma = \sqrt{\left(\frac{I_m/2}{I_m/\pi}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - 1} = 1.21$$

$$\Rightarrow \gamma = 1.21$$

Form Factor F $= \frac{I_{rms}}{I_{dc}}$ **so,** $(F)_{HW} = \frac{I_m/2}{I_m/\pi} = \frac{\pi}{2} = 1.57$

And $(F)_{FW} = \frac{I_m/\sqrt{2}}{2I_m/\pi} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11$

So, $(\gamma)_{FW} = \sqrt{(1.11)^2 - 1} = 0.48$

Therefore, $(\gamma)_{FW} < (\gamma)_{HW}$

(vi) Rectifier Efficiency (η):

$$\therefore \eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}}$$

$$P_{dc} = I_{dc}^2 R_L = \frac{I_m^2 R_L}{\pi^2}$$

$$P_{ac} = I_{rms}^2 \left(R_L + R_f\right) = \frac{I_m^2}{4}\left(R_L + R_f\right)$$

$$\therefore \eta = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = \frac{I_m^2 R_L}{\pi^2} \times \frac{4}{I_m^2 \left(R_L + R_f\right)} = \frac{4}{\pi^2}\left(\frac{R_L}{R_L + R_f}\right)$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{4}{\pi^2} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{R_f}{R_L}\right)} = \frac{0.406}{1 + \frac{R_f}{R_L}}$$

$$\Rightarrow \%\eta = \frac{40.6}{1 + \frac{R_f}{R_L}}$$

Theoretically the maximum value of rectifier efficiency of a half-wave rectifier is 40.6% when $\frac{R_f}{R_L} = 0$.

For Full-wave rectifier,

$$(\eta)_{FW} = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = \left(\frac{I_{dc}}{I_{rms}}\right)^2 . \frac{1}{1+\frac{R_f}{R_L}} = \left(\frac{\frac{2I_m}{\pi}}{\frac{I_m}{\sqrt{2}}}\right)^2 \frac{1}{1+\frac{R_f}{R_L}}$$

$$= \left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi}\right)^2 . \frac{1}{1+\frac{R_f}{R_L}}$$

$$= \frac{0.812}{1+\frac{R_f}{R_L}}$$

Therefore, % efficiency for Full-wave rectifier $= \frac{0.812}{1+\frac{R_f}{R_L}}\%$

So, $(\eta)_{FW} = 2(\eta)_{HW}$

ফিল্টারঃ Filter

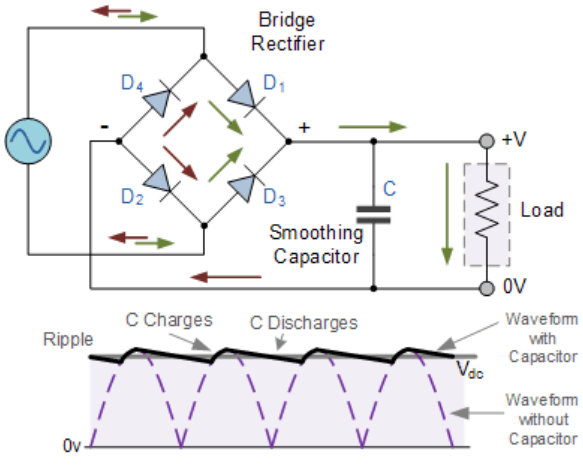
ফিল্টারের অর্থ হচ্ছে অপ্রয়োজনীয়, অনাকাঙ্খিত অংশ বা কম্পেনেন্টকে (উপাদানকে) বাদ দেয়া বা পরিহার করা বা মুছে ফেলা। যে সার্কিটের সাহায্যে এই ফিল্টারিং এর কাজ করা হয়, তাকে ফিল্টার সার্কিট বলে। রেকটিফিকেশন করার পর প্রাপ্ত ডিসি কারেন্ট এর সাথে কিছু এসির কম্পোনেন্ট বিদ্যমান থাকে একে পালসেটিং ডিসি বলা হয়। এখানে ফিল্টার সার্কিটের কাজ হচ্ছে রেকটিফায়ার সার্কিট থেকে প্রাপ্ত পালসেটিং ডিসি আউটপুটকে পিউর ডিসিতে রূপান্তর করা। ফিল্টার বিভিন্ন ধরনের হয়। যথাঃ

ক্যাপাসিটর (C) ফিল্টার
ইন্ডাক্টর (L) ফিল্টার
L-C ফিল্টার
R-C ফিল্টার
C-L-C ফিল্টার

রেকটিফায়ার সার্কিটে ফিল্টার সার্কিট ব্যবহারের কারনগুলো হচ্ছেঃ

- পালসেটিং ডিসি থেকে বিশুদ্ধ ডিসিতে রূপান্তরিত করার জন্য।
- হারমনিক্স জনিত Distortion হতে আউটপুট কারেন্টকে মুক্ত রাখার জন্য।
- ইলেকট্রনিক্স সার্কিটে ব্যবহার অনুযায়ী রেক্টিফাইড আউটপুটকে ইলেকট্রনিক্স সার্কিটে ব্যবহার উপযোগী আউটপুট তৈরি করার জন্য।

আমরা শুধু ক্যাপাসিটর ফিল্টারের সংযোগ দেখব। এটাই বহুল ব্যবহৃত।

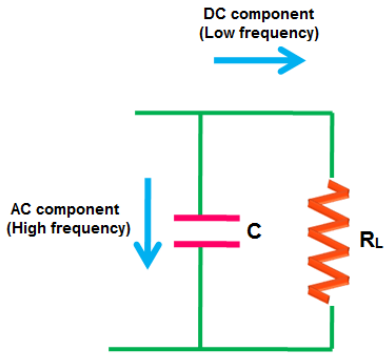


Resultant Output Waveform

Here, Capacitor is used as a filter which filters out ripple frequencies and provides a DC voltage with less ripple frequency.

How exactly the capacitor filter removes the ripples in the signal?

The pulsating Direct Current (DC) produced by the full wave rectifier contains both AC and DC components.

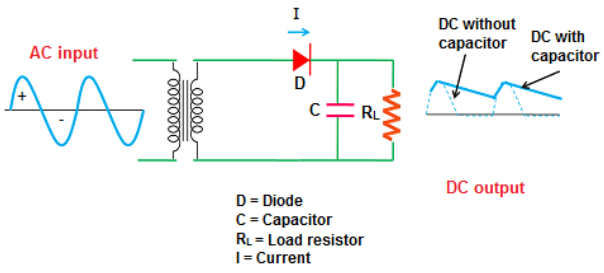


We know that the capacitor allows the AC components and blocks the DC components of the current. When the DC current that contains both DC components and AC components reaches the filter, the DC components experience a high resistance from the capacitor whereas the AC components experience a low resistance from the capacitor.

Electric current always prefers to flow through a low resistance path. So the AC components will flow through the capacitor whereas the DC components are blocked by the capacitor. Therefore, they find an alternate path and reach the output load resistor RL. The flow of AC components through the capacitor is nothing but the charging of a capacitor.

Thus, the filter converts the pulsating DC into pure DC.

Half Wave Rectifier With filter:



Half wave rectifier with capacitor filter

When AC voltage is applied, during the positive half cycle, the diode D is forward biased and allows electric current through it.

As we already know that the capacitor provides high resistive path to dc components (low-frequency signal) and low resistive path to ac components (high-frequency signal).

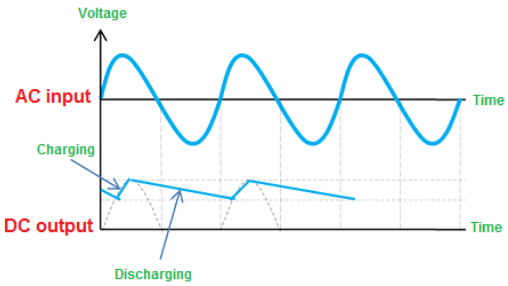
Electric current always prefers to flow through a low resistance path. So, when the electric current reaches the filter, the dc components experience a high resistance from the capacitor and ac components experience a low resistance from the capacitor.

The dc components do not like to flow through the capacitor (high resistance path). So, they find an alternative path (low resistance path) and flows to the load resistor (R_L) through that path.

On the other hand, the ac components experience a low resistance from the capacitor. So the ac components easily passes through the capacitor. Only a small part of the ac components passes through the load resistor (RL) producing a small ripple voltage at the output.

The passage of ac components through the capacitor is nothing but charging of the capacitor. In simple words, the ac components is nothing but an excess current that flows through the capacitor and charges it. This prevents any sudden change in the voltage at the output.

During the conduction period, the capacitor charges to the maximum value of the supply voltage. When the voltage between the plates of the capacitor is equal to the supply voltage, the capacitor is said to be fully charged.



Half wave rectifier with filter o/p waveforms

When the capacitor is fully charged, it holds the charge until the input AC supply to the rectifier reaches the negative half cycle.

When the negative half cycle is reached, the diode D gets reverse biased and stops allowing electric current through it. During this non-conduction period, the input voltage is less than that of the capacitor voltage. So, the capacitor discharges all the stored charges through the load resistor R_L. This prevents the output load voltage from falling to zero.

The capacitor discharges until the input supply voltage is less than the capacitor voltage. When the input supply voltage is greater than the capacitor voltage, the capacitor again starts charging.

When the positive half cycle is reached again, the diode D is forward biased and allows electric current. This makes capacitor to charge again.

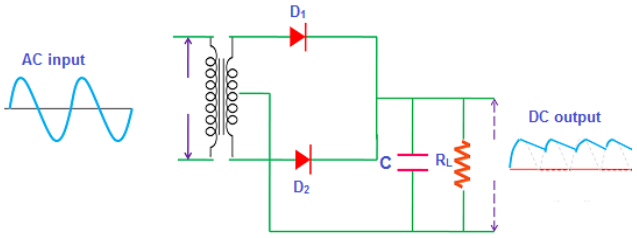
The capacitor filter with a large discharge time constant will produce a very smooth DC voltage. Thus, a smooth and steady DC voltage is obtained by using the filter.

Full wave rectifier with filter:

Here, a center tapped full wave rectifier with a filter made up of capacitor and resistor is explained. The filter made up of capacitor and resistor is known as capacitor filter. In the circuit diagram, the capacitor C is placed across the load resistor R_L.

The main duty of the capacitor filter is to short the ripples to the ground and blocks the pure DC (DC components), so that it flows through the alternate path and reaches output load resistor R_L.

When input AC voltage is applied, during the positive half cycle, the diode D_1 is forward biased and allows electric current whereas the diode D_2 is reverse biased and blocks electric current. On the other hand, during the negative half cycle the diode D_2 is forward biased (allows electric current) and the diode D_1 is reverse biased (blocks electric current).

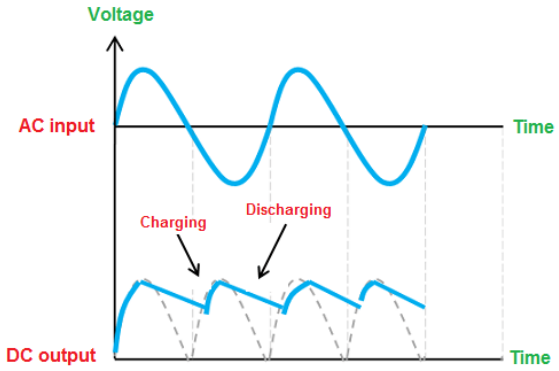


Full wave rectifier with capacitor filter

During the positive half cycle, the diode (D_1) current reaches the filter and charges the capacitor. However, the charging of the capacitor happens only when the applied AC voltage is greater than the capacitor voltage.

Initially, the capacitor is uncharged. That means no voltage exists between the plates of the capacitor. So when the voltage is turned on, the charging of the capacitor happens immediately.

During this conduction period, the capacitor charges to the maximum value of the input supply voltage. The capacitor stores a maximum charge exactly at the quarter positive half cycle in the waveform. At this point, the supply voltage is equal to the capacitor voltage.



When the AC voltage starts decreasing and becomes less than the capacitor voltage, then the capacitor starts slowly discharging.
The discharging of the capacitor is very slow as compared to the charging of the capacitor. So the capacitor does not get enough time to completely discharged. Before the complete discharge of the capacitor happens, the charging again takes place. So only half or more than half of the capacitor charge get discharged.
When the input AC supply voltage reaches the negative half cycle, the diode D_1 is reverse biased (blocks electric current) whereas the diode D_2 is forward biased (allows electric current). During the negative half cycle, the diode (D_2) current reaches the filter and charges the capacitor. However, the charging of the capacitor happens only when the applied AC voltage is greater than the capacitor voltage.

The capacitor is not completely uncharged, so the charging of the capacitor does not happens immediately. When the supply voltage becomes greater than the capacitor voltage, the capacitor again starts charging.

In both positive and negative half cycles, the current flows in the same direction across the load resistor R_L. So, we get either complete positive half cycles or negative half cycles. In our case, they are complete positive half cycles.