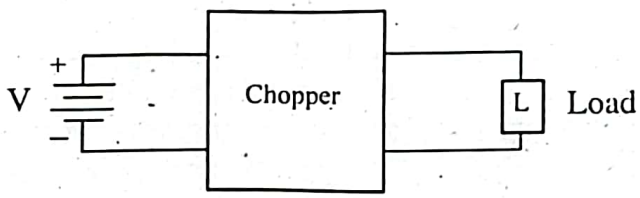
অধ্যায়-৯

চপার
(Choppers)

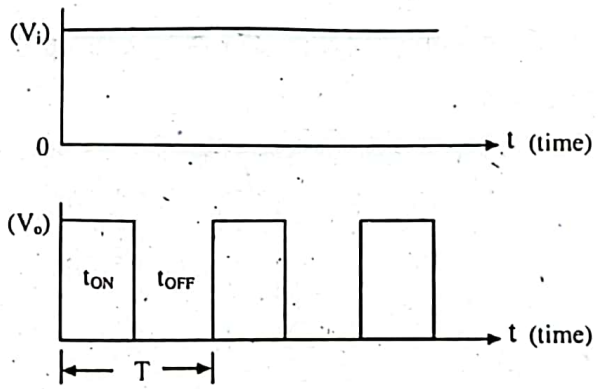
৯.১ চপারের সংজ্ঞা (Definition of chopper) :

চপার মূলত একটি স্টেটিক সুইচ, যার সাহায্যে কনস্ট্যান্ট ডিসি ভোল্টেজকে পরিবর্তনশীল ডিসি ভোল্টেজে রূপান্তরিত করা যায়, একে ডিসি-টু-ডিসি কন্ট্রোলার বা TRC (টাইম রেশিও কন্ট্রোলার) বলা হয়। ইনপুটে প্রদত্ত ফিক্সড ডিসি সাপ্লাইকে এটি হাই-স্পিড সুইচিং অ্যাকশানের মাধ্যমে পরিবর্তনশীল ডিসি ভোল্টেজে রূপান্তরিত করে, এই হাই-স্পিড সুইচকেই চপার বলা হয়।



(ক) চপারের স্কেমেটিক চিত্র

চপার বা স্টেটিক সুইচ হিসেবে সাধারণত SCR বা ট্রানজিস্টর ব্যবহার করা হয়। এক্ষেত্রে বেশি পাওয়ারযুক্ত সার্কিটে SCR এবং মধ্যম বা অল্প পাওয়ারের সার্কিটে ট্রানজিস্টর ব্যবহার করা হয়। SCR এর ক্ষেত্রে এর টার্ন-অফের জন্য আলাদা ব্যবস্থা নিতে হয়। চিত্র : ৯.১-এ চপারের স্কেমেটিক চিত্র ও তার ইনপুট আউটপুট ভোল্টেজ ওয়েভ দেখানো হলো–



(খ) ইনপুট ও আউটপুট ভোল্টেজ ওয়েভ

চিত্র : ৯.১ ওয়েভ স্টেপসহ চপারের স্কেমেটিক

যেখানে,

V_i = ইনপুট ডিসি ভোল্টেজ

t_{ON} = চপার বা স্টেটিক সুইচের অন টাইম

T = চপারের পিরিওডিক টাইম

V_0 = আউটপুট ভোল্টেজ

চিত্র হতে দেখা যায়, চপার অ্যাকশনের মাধ্যমে ইনপুট ডিসি সাপ্লাইয়ের ফিক্সড ভোল্টেজকে পালস ভোল্টেজ হিসেবে তৈরি করা যায়। তবে উৎপন্ন এ পালসসমূহের অ্যামপ্লিচিউড (Amplitude) ইনপুট ভোল্টেজের সমান থাকে।

৯.২ চপারের শ্রেণিবিভাগ (Classification of chopper) :

চপার সাধারণত দুই প্রকার। যথা–

১। স্টেপ আপ চপার (Step up chopper)

২। স্টেপ-ডাউন চপার (Step down chopper)।

চপারের প্রয়োগ (Application of choppers) :

চপারের উল্লেখযোগ্য প্রয়োগ হলো–

১। ব্যাটারিচালিত মোটরযানে

২। ট্রাকশন মোটর নিয়ন্ত্রণে যেমন– ইলেকট্রিক অটোমোবাইলস, ট্রলি কার ইত্যাদি

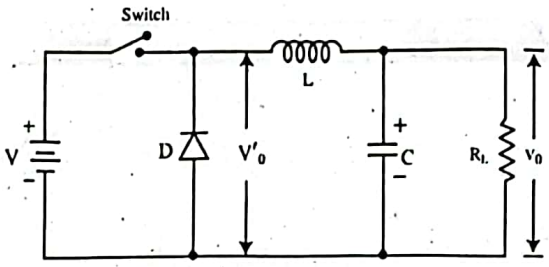
৩। ইন্ডাকশন মোটরের রোটর সার্কিট নিয়ন্ত্রণে

৪। কমন (Common) ডিসি বাস দ্বারা পরিচালিত ডিসি মোটরের নিয়ন্ত্রণে।

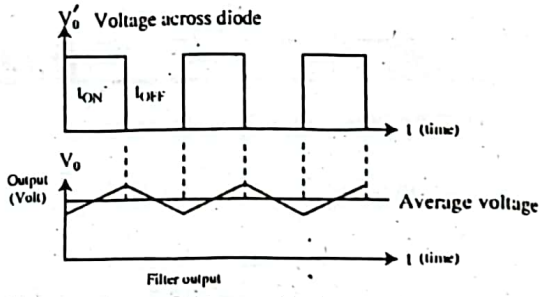
CamScanner

৯.৩ চপার কার্যপ্রণালির মূলনীতি (The principle of operation of choppers) :

চিত্র : ৯.২-এ চপারের মৌলিক সার্কিট দেখানো হয়েছে, যেখানে S একটি স্ট্যাটিক সুইচ (SCR বা ট্রানজিস্টর), D একটি ফ্লাইহুই ডায়োড এবং L ও C ফিল্টার নেটওয়ার্ক হিসেবে কাজ করছে।



চিত্র : ৯.২ চপারের মৌলিক সার্কিট



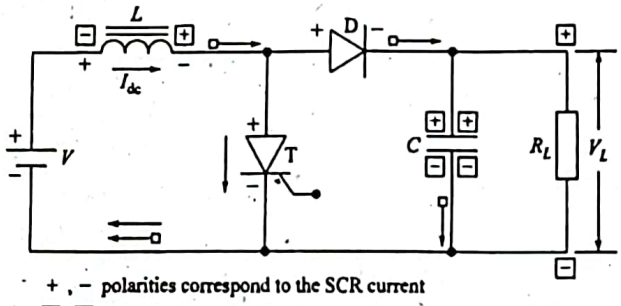
চিত্র : ৯.৩ চপার ফিল্টারের আউটপুট ভোল্টেজ ওয়েভফরম

যখন সুইচ S বন্ধ থাকে তখন সাপ্লাই ভোল্টেজ V লোডে সরবরাহ হয়। আবার সুইচ S খোলা অবস্থায় লোডে সরবরাহ বন্ধ হয়ে যায় সুইচ-ক্লোজড পিরিয়ড (t_{ON}) ও সুইচ-ওপেন পিরিয়ডের (t_{OFF}) অনুপাতকে নির্দিষ্ট ফ্রিকুয়েন্সিতে পরিবর্তন করে আউটপুটে সরবরাহকৃত গড় ডি ভোল্টেজকে নিয়ন্ত্রণ করা যায়। চিত্র : ৯.৩-এ চপারের আউটপুট ভোল্টেজ ও ফিল্টারের আউটপুট ভোল্টেজ দেখানো হল। এখানে চপার আউটপুট ভোল্টেজই ফিল্টারের ইনপুট ভোল্টেজ। LC ফিল্টারটি ব্যবহারের ফলে চপার হতে প্রাপ্ত পালস ডিসিকে সামান্য রিপল (Ripple) বিশুদ্ধ ডিসিতে রূপান্তরিত করা যায়।

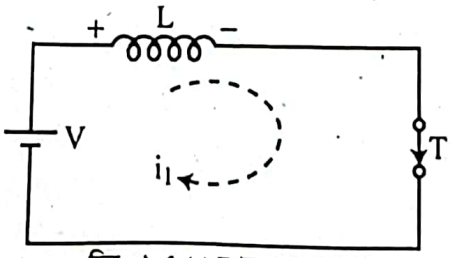
৯.৪ ভোল্টেজ স্টেপ-আপ এবং স্টেপ-ডাউন চপারের কার্যপ্রণালি (The operation of voltage step-up and step down chopper) :

■ ভোল্টেজ স্টেপ-আপ চপারের কার্যপ্রণালি (The operation of voltage step-up chopper) :

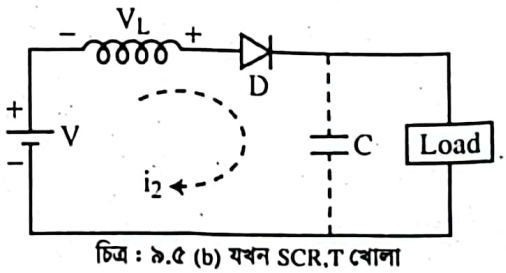
নিম্নে একটি ভোল্টেজ স্টেপ-আপ চপার সার্কিট ডায়াগ্রাম দেখানো হলো–



চিত্র : ৯.৪ স্টেপ-আপ চপারের বর্তনী



চিত্র : ৯.৫ (a) যখন SCR,T বন্ধ



চিত্র : ৯.৫ (b) যখন SCR,T খোলা

ভোল্টেজ স্টেপ-আপ চপার সোর্স ভোল্টেজ থেকে আউটপুট ভোল্টেজ বেশি পাওয়া যায়। SCR (সিলিকন কন্ট্রোলড রেক্টিফায়ার) T সং থাকে তখন কারেন্ট I_{dc} ইন্ডাক্টর এর মধ্যে প্রবেশ করে ইলেকট্রোম্যাগনেটিক এনার্জি সৃষ্টি করে। যখন SCR T যখন বন্ধ থাকে তখন ক্যাপাসি (C) চার্জিত হয়ে থাকা ইলেকট্রোম্যাগনেটিক এনার্জিকে ইলেকট্রোস্ট্যাটিক এনার্জিতে কনভার্ট করে, যা ডায়োড ও ইন্ডাক্টরে প্রবেশ করে। ডায়ে (D)-এ প্রবেশ করা Output voltage (V_L) সোর্স ভোল্টেজ থেকে বেশি হয় যদি কারেন্ট I_{dc} স্থির থাকে। তারপর এনার্জি ইন্ডাক্টরে $E_{induced}$ জমা হয়। টার্ন-অন পিরিয়ডে SCR এর মান–

$$E_{induced} = VI_{dc}\, t_{ON} \quad \text{..... (i)}$$

টার্ন-অফ পিরিয়ডে SCR এর মান–

Transferred = $(V_L - V)\, I_{dc}\, t_{OFF}$ ---------- (ii)

(i) ও (ii) সমীকরণ যোগ করে পাওয়া যায়– $VI_{dc}\, t_{ON} = (V_L - V)\, I_{dc}\, t_{OFF}$

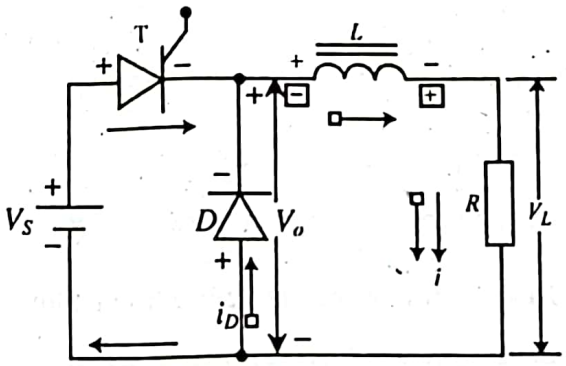
তারপর– $V_L = V \dfrac{t_{ON} + t_{OFF}}{t_{OFF}}$

যদি $t_{ON} = t_{OFF}$ হয় তাহলে লোড ভোল্টেজ V_L সোর্স ভোল্টেজ V দুবার পাওয়া যায়। আউটপুট ভোল্টেজ V_L নিয়ন্ত্রিত হয় t_{ON} এবং t_{OFF} এর মাধ্যমে।

যেহেতু $V_L > V$ [কারণ $(t_{ON} + t_{OFF}) > t_{OFF}$]

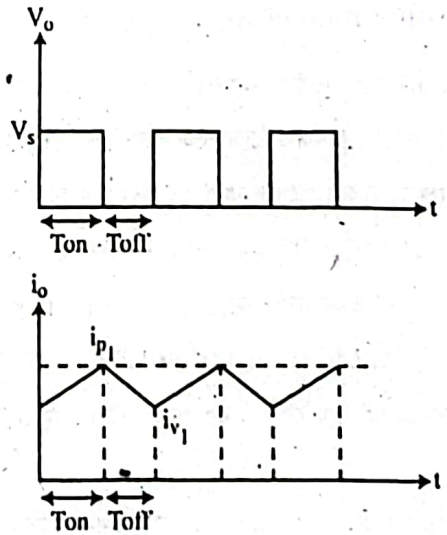
∴ উপরোক্ত সার্কিটটা একটি স্টেপ-আপ চপার হিসেবে কাজ করে।

❐ ভোল্টেজ স্টেপ-ডাউন চপারের কার্যপ্রণালি (The operation of voltage step-down chopper) :



+ , – polarities correspond to the current, i
⊞ , ⊟ polarities correspond to the freewheeling current, i_D
⟶ Direction of the load current, i
⟶ Direction of the load freewheeling current, i_D

চিত্র : ৯.৬ (a) স্টেপ-ডাউন চপার বর্তনী



চিত্র : ৯.৬ (b) স্টেপ-ডাউন চপার ওয়েভফরম

৯.৬ (a) নং চিত্রে ভোল্টেজ স্টেপ ডাউন-চপার সার্কিট দেখানো হয়েছে। এ চপার ইনপুটের ফিক্সড ডিসি ভোল্টেজকে পরিবর্তনশীল আউটপুট ভোল্টেজে রূপান্তর করে। একটি ইন্ডাক্টর L এর মাধ্যমে লোড রেজিস্ট্যান্স R আউটপুটে সংযোগ করা হয়েছে। ইন্ডাকটরটি ম্যাগনেটিক স্যাচুরেশন ছাড়াই ফুল লোড ডিসি কারেন্ট বহন করতে সক্ষম।

যখন SCR T অন হয় তখন পাওয়ার ডায়োড D রিভার্স বায়াসপ্রাপ্ত হয় এবং এর মধ্য দিয়ে ফ্রি-হুইলিং কারেন্ট i_D প্রবাহিত হয়। ইন্ডাকট্যান্স L এর কারণে লোড কারেন্ট i উল্লেখযোগ্য হারে বৃদ্ধি পায়। SCR T মূলত t_{on} সময় পর্যন্ত অন থাকে অত:পর টার্ন-অফ হয়।

যখন SCR T টার্ন-অফ হয় তখন লোড কারেন্ট i প্রথম চপার সাইকেলের i_{p_1} মানে পৌঁছে, যা চিত্র ৯.৬ (b) তে দেখানো হয়েছে। ইন্ডাকট্যান্স L এর উপস্থিতির কারণে এই কারেন্ট তাৎক্ষণিকভাবেই শূন্যতে পাতিত হয় না। কারেন্টে (i) পাতনের ফলে ইন্ডাকট্যান্সে এ ভোল্টেজ $\left(\frac{Ldi}{dt}\right)$ ইনডিউসড হয়। যখন SCR টার্নড-অফ হয় তখন এই ইনডিউসড ভোল্টেজের পোলারিটি পরিবর্তন হয়। ফলে পাওয়ার ডায়ো D ফরোয়ার্ড বায়াস পায় এবং ফ্রি-হুইলিং কারেন্ট i_D উৎপন্ন হয়। কারেন্ট i_D এর মান কমতে শুরু করে এবং t_{off} সময় পর্যন্ত পাতন ঘটে। i_D মান সর্বনিম্ন ভ্যালি মান (i_{v_1}) পর্যন্ত পাতন হয়।

∴ গড় আউটপুট ভোল্টেজ, V_o

$$= \frac{1}{T}\int_0^{T_{ON}} V_S\, dt + \frac{1}{T}\int_{T_{ON}}^{T_{OFF}} 0.dt$$

$$= \frac{V_S}{T}\int_0^{T_{ON}} dt + 0$$

$$= \frac{V_S}{T}[t]_0^{T_{ON}} = \frac{T_S\, T_{ON}}{T} = V_S\left(\frac{T_{ON}}{T}\right) = V_S D,$$

$\left[\because \frac{T_{ON}}{T} = D,\ \text{ডিউটি সাইকেল}\right]$

অর্থাৎ, ডিউটি সাইকেল (D) পরিবর্তন করে আউটপুট ভোল্টেজের মান পরিবর্তন করা যায়।

৯.৫ ডিসি মোটর লোড চপার (Description of the chopper with dc motor as load) :

ডিসি চপার হলো একটি উচ্চ গতির অন/অফ সেমিকন্ডাক্টর সুইচ যা লোডকে সংযোগ করে এবং সরবরাহ হতে সংযোগ বিচ্ছিন্ন করে এ একটি কনস্ট্যান্ট ইনপুট সরবরাহ ভোল্টেজ হতে একটি চপড লোড ভোল্টেজ তৈরি করে।

ডিসি সাপ্লাই সোর্স ভোল্টেজকে বিভিন্ন স্তরে রূপান্তর করা হয়। যেমন– সাবওয়ে কার, ট্রলিবাস বা ব্যাটারি চালিত যানবাহন একটি নি ভোল্টেজ ডিসি সরবরাহ উৎস থেকে সরবরাহ করা যায়। কিন্তু তাদের গতি নিয়ন্ত্রণের জন্য স্থির ভোল্টেজ ডিসি উৎসকে পরিবর্তনশীল ভোল্ টেজ ডিসি উৎসে রূপান্তর করতে হবে।

৯.৬ এসি চপারের কার্যপ্রণালি (The operation of AC chopper) :

পাওয়ার নিয়ন্ত্রণের সহজ ও সুবিধাজনক পদ্ধতি হলো লাইন কমুটেশন ব্যবহার করা, যেখানে SCR এর ট্রিগারিং সময় পরিবর্তন করে লো ভোল্টেজের আর.এম.এস মান পরিবর্তন করা যায়। SCR ব্যবহৃত ভোল্টেজ পরিবর্তনকারী সার্কিটকে এসি চপার বলে।

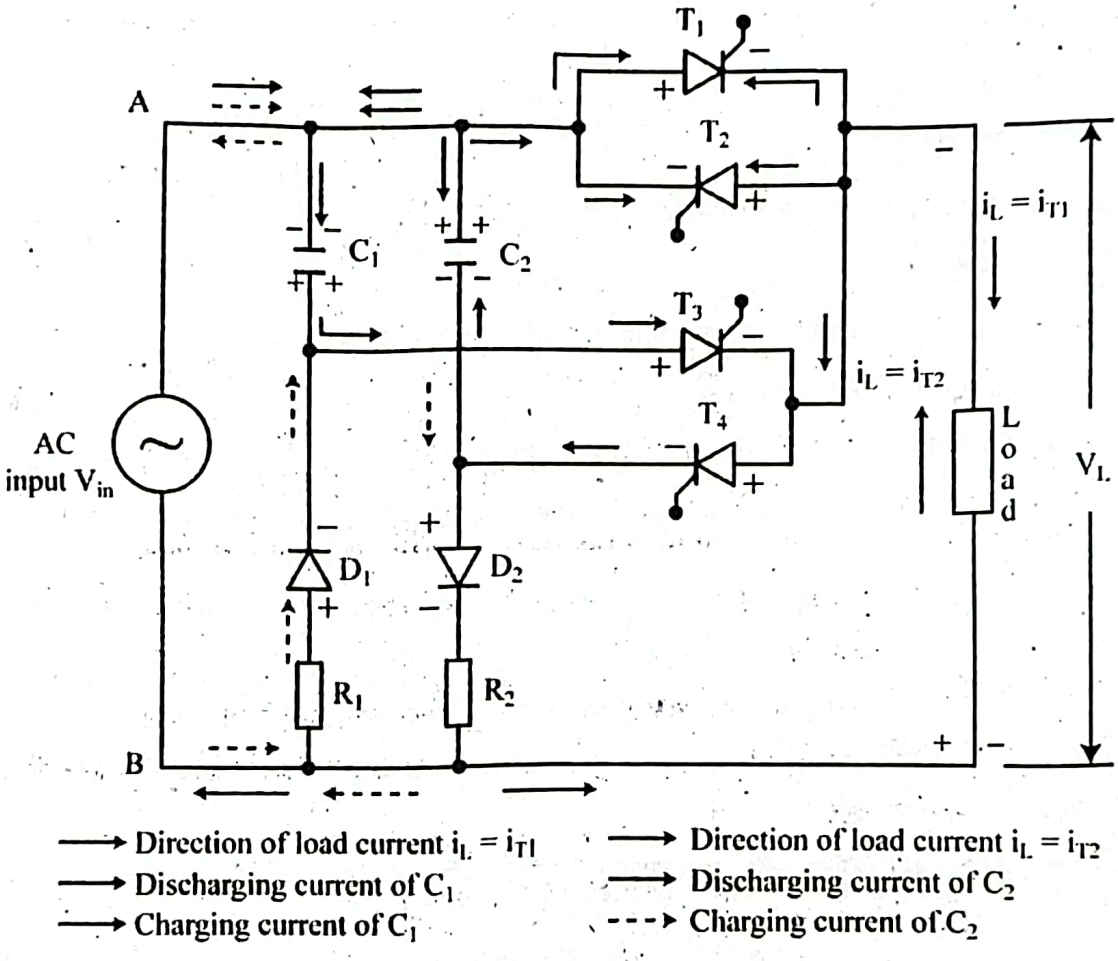
যখন ইনপুটে এসি সাইকেলের পজিটিভ হাফ সাইকেল প্রয়োগ করা হয়, তখন B বিন্দুর সাপেক্ষে A বিন্দু পজিটিভ হয় এবং t_1 সময়ে ট্রিগারিং কোণে T_1 ট্রিগারড হয়, যা চিত্র ৯.৭ (b)-তে দেখানো হয়েছে। এই সময়ে কারেন্ট (i_{T_1}), T_1 ও লোডের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়। অ t_2 সময়ে SCR T_3 অন হয়, যখন T_3 অফ মোডে যায় তখন ক্যাপাসিটর C_1 SCR T_3, T_1 ও C_1 এর মাধ্যমে ডিসচার্জ হতে শুরু করে। ডিসচার্জিং কারেন্ট t_1 এর ভিতর দিয়ে প্রবাহিত লোড কারেন্ট ($i_L = i_{T_1}$)-কে বাধা দেয়। এ ডিসচার্জিং কারেন্ট লোড কারেন্ট ($i_L = i_{T_1}$) এর স হলে t_1 টার্ন-অফ হয়। ডিসচার্জিং টাইম কনস্ট্যান্ট এতই কম যে, t_2-এর পর পরই t_1 কমুটেটেড হয়। লোড ভোল্টেজ, t_2 ট্রিগারিং হওয়ার পর্যন্ত শূন্য থাকে।

যখন ইনপুটে এসি সাইকেলের নেগেটিভ হাফ সাইকেল প্রয়োগ করা হয়, তখন B বিন্দুর সাপেক্ষে A বিন্দু নেগেটিভ হয় এবং t_3 স ($\pi + \alpha$) ট্রিগারিং কোণে SCR T_2 ট্রিগারিং হয়। এ সময় লোড কারেন্ট, লোড ও T_2-এর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়, যা T_1 এর বিপরীতমুখী। ষ $\omega t = \pi$ তখন ক্যাপাসিটর C_1, R_1, D_1 ও C_1 এর মাধ্যমে চার্জ হতে শুরু করে। আবার t_4 সময়ে SCR T_4 অন হয়। যখনি T_4 অফ মোডে ষ তখন ক্যাপাসিটর C_2, SCR T_2, T_4 ও C_2 এর মাধ্যমে ডিসচার্জ হতে শুরু করে।

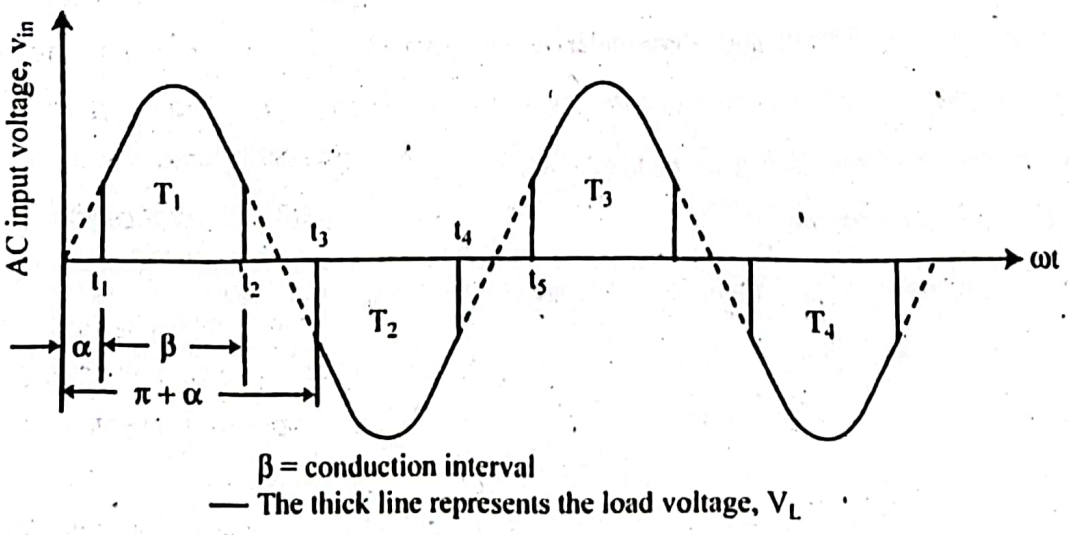
এ ডিসচার্জিং কারেন্ট (C_2), SCR T_2 এর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত লোড কারেন্ট ($i_L = i_{T_2}$) -কে বাধা দেয়। যখন ডিসচার্জিং কারেন্ট লো কারেন্টের সমান হয়, তখন T_3 কমুটেটেড হয় এবং T_2 টার্ন-অফ হয়। ডিসচার্জিং টাইম কনস্ট্যান্ট কম হওয়ায় t_4-এর পর পরই এই ঘটনা ঘটে

CamScanner

আবার, t_5 সময়ে T_1 অন হয়, পরবর্তী পজিটিভ হাফ সাইকেলের জন্য, যখন $\omega t = 2\pi$ তখন, তখন ক্যাপাসিটর C_2, ডায়োড D_2, রেজিস্টর R_2 ও C_2 এর মাধ্যমে চার্জ হতে শুরু করে এবং পুনরায় আগের ক্রিয়াগুলোই ঘটতে থাকে।



চিত্র : ৯.৭ (a) সিঙ্গেল-ফেজ এসি চপারের বর্তনী



চিত্র : ৯.৭ (b) সিঙ্গেল-ফেজ এসি চপারের আউটপুট ভোল্টেজ ওয়েভ

CamScanner