# অধ্যায়-১০
# ইনভার্টার
# (Inverter)

## ১০.১ ইনভার্টারের সংজ্ঞা (Definition of inverter) :

যে ডিভাইসের সাহায্যে ডিসি পাওয়ারকে এসি পাওয়ারে রূপান্তর ও প্রয়োজনমতো নিয়ন্ত্রণ করা যায়, তাকে Inverter বলে।

**ইনভার্টারের প্রয়োগ (Use of inverter) :**

- এসি মোটর ড্রাইভস গতি নিয়ন্ত্রণ,
- বিমানের পাওয়ার সাপ্লাই,
- ইন্ডাকশন হিটিং,
- আনইন্টারাপটিবল পাওয়ার সাপ্লাই (UPS),
- হাই-ভোল্টেজ ডাইরেক্ট কারেন্ট ট্রান্সমিশন।

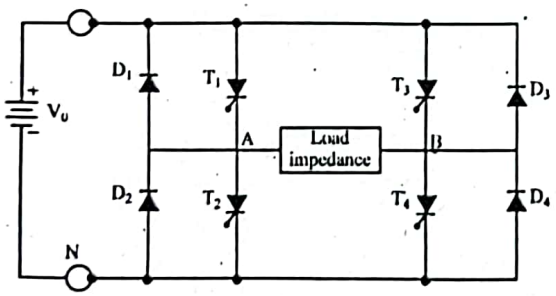
## ১০.২ ইনভার্টারের প্রকারভেদ (Types of inverter) :

- কমুটেশনের উপর ভিত্তি করে ইনভার্টারকে দুই ভাগে ভাগ করা যায়–
  (ক) লাইন-কমুটেটেড ইনভার্টার (Line-commutated inverters)।
  (খ) ফোর্সড-কমুটেটেড ইনভার্টার (Forced-commutated inverters)।
- কানেকশনের উপর ভিত্তি করে ইনভার্টারকে নিম্নলিখিতভাবে ভাগ করা যায়–
  (ক) সিরিজ ইনভার্টার,
  (খ) প্যারালাল ইনভার্টার,
  (গ) ব্রিজ ইনভার্টার।

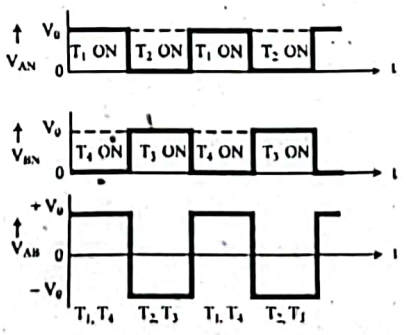
ব্রিজ ইনভার্টার দুইভাবে বিভক্ত, যথা–

১। হাফ ব্রিজ,
২। ফুল ব্রিজ।

## ১০.৩ সিঙ্গেল-ফেজ লাইন-কমুটেটেড ইনভার্টার এর কার্যপ্রণালি (The operation of single-phase line-commutated inverter) :




চিত্র : ১০.১ (a) সিঙ্গেল ফেজ ফুলকন্ট্রোল ব্রিজ রেকটিফায়ার




চিত্র : ১০.১ (b) সিঙ্গেল-ফেজ ফুল-কন্ট্রোল ব্রিজ রেকটিফায়ার ওয়েভ ডায়াগ্রাম

একমুখী কারেন্ট প্রবাহকে দ্বিমুখী কারেন্ট অর্থাৎ DC হতে AC-তে রূপান্তর করার জন্য ইনভার্টার সার্কিট ব্যবহার করা হয়। চিত্র ১০.১ (a)-তে একটি সিঙ্গেল-ফেজ লাইন-কমুটেডে ইনভার্টার এর সার্কিট দেখানো হয়েছে। এতে চারটি থাইরিস্টর ও চারটি ডায়োড এর ব্রিজ সংযোগ করা হয়েছে। থাইরিস্টর $T_1$ ও $T_2$ এমনভাবে কমুটেশন করা হয়েছে, যাতে এরা পরস্পর পর্যায়ক্রমে ১৮০° ব্যবধানে কন্ডাক্ট করে। লোড ইম্পিড্যান্সের এক প্রান্ত নোড A ও অন্য প্রান্ত নোড B এর সাথে সংযোগ করা হয়েছে। সিরিজে সংযুক্ত থাইরিস্টরদ্বয় (যেমন : $T_1$ ও $T_2$) একই সংগে কন্ডাকশনে যাবে না, যদি এ ঘটনা ঘটে তবে শর্ট সার্কিট হয়ে যাবে।

যদি থাইরিস্টর $T_1$ ও $T_2$ পর্যায়ক্রমে ১৮০° ব্যবধানে আলাদাভাবে কন্ডাক্ট করে, তবে নোড A সরবরাহের নেগেটিভ অথবা পজিটিভ টার্মিনালের সাথে পর্যায়ক্রমে সংযোগ হবে। ফলে নোড A এর ভোল্টেজ $V_{AN}$ হবে।

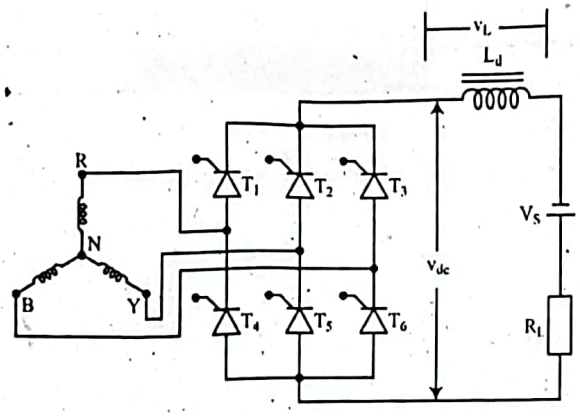
একইভাবে যখন থাইরিস্টর $T_3$ ও $T_4$ পর্যায়ক্রমে আলাদাভাবে কন্ডাক্ট করে তখন নোড B, ডিসি সরবরাহের নেগেটিভ অথবা পজিটিভ টার্মিনালের সাথে পর্যায়ক্রমে সংযোগ হবে। ফলে নোড B এর ভোল্টেজ $V_{BN}$ হবে।

যখন থাইরিস্টর $T_1$ ও $T_4$ একই সাথে কন্ডাক্ট করে তখন সরবরাহ ভোল্টেজ $+V_o$ লোড ইম্পিড্যান্সে প্রযুক্ত হবে।

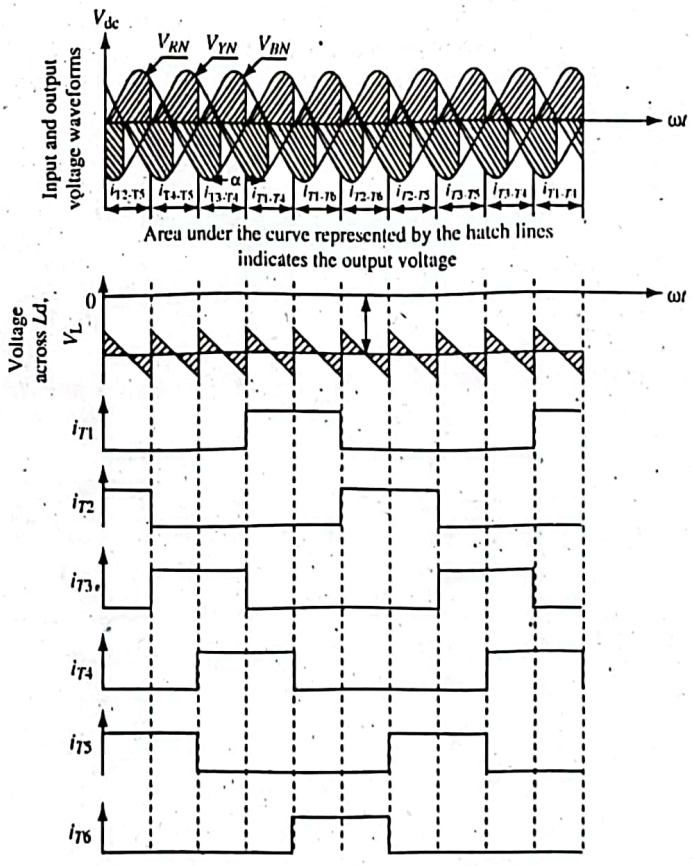
আবার, যখন থাইরিস্টর $T_2$ ও $T_3$ একই সাথে কন্ডাক্ট করবে, তখন সরবরাহ ভোল্টেজ $-V_o$ লোড ইম্পিড্যান্সে প্রযুক্ত হবে।

যদি থাইরিস্টর $T_1$ ও $T_4$ একযোগে সুইচ অন এবং অফ করা হয়, তবে লোডে একটি স্কয়ার ওয়েভ আউটপুট ভোল্টেজ $V_{AB}$, ($V_{AB} = V_{AN} - V_{BN}$) প্রদর্শিত হবে, যা চিত্র ১০.১ (b)-তে দেখানো হয়েছে।

## ১০.৪ থ্রি-ফেজ লাইন-কমুটেটেড ফুল-কন্ট্রোলড ইনভার্টারের কার্যপ্রণালি (The operation of three-phase line commutated full-controlled inverter) :




চিত্র : ১০.২ (a) থ্রি-ফেজ লাইন-কমুটেটেড ফুল-কন্ট্রোলড ইনভার্টারের




চিত্র : ১০.২ (b) থ্রি-ফেজ ফুল-কন্ট্রোলড ইনভার্টার ওয়েভশেপ

চিত্র : ১০.২ (a) এতে থ্রি-ফেজ ফুল-কন্ট্রোলড ইনভার্টার এবং ১০.২ (b)-তে এর ওয়েভশেপ এর ট্রিগারিং অ্যাঙ্গেল $\alpha = 5\pi/6 = 1$ দেখানো হল। যদি ট্রিগারিং অ্যাঙ্গেল $\alpha$ 90°-তে পৌছে সেক্ষেত্রে AC supply line এর এনার্জি নেগেটিভ ভোল্টেজ হয়। সম্ভবত এটি এক নেগেটিভ ভোল্টেজ (–vs) কানেকশন আউটপুট, যেখানে সঠিক পোলারিটি পাওয়া যায়। সোর্স ইন্ডাকট্যান্স $L_s$ হলে গড়ে ডিসি আউট ভোল্টেজের মান–

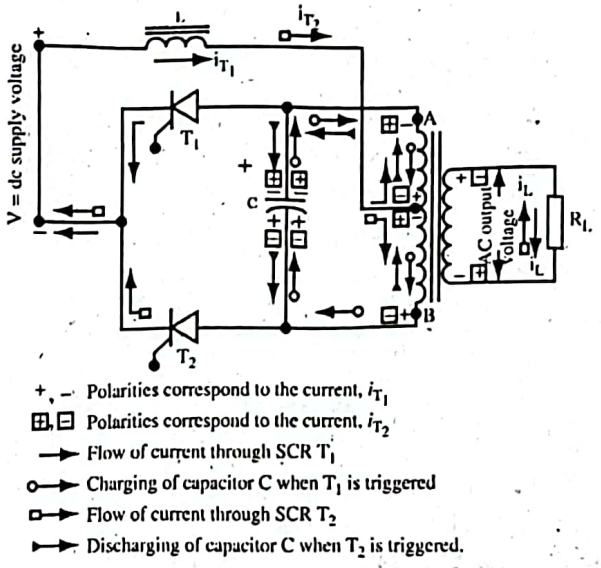
$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}\cos\alpha - \frac{3\omega L_s}{\pi} i_L$$

যদি $\mu$ এর মান ওভারল্যাপ অ্যাঙ্গেল এবং ফেজ এর মাঝামাঝি হয় তবে গড়ে ডিসি আউটপুট ভোল্টেজের মান

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi}\cos(\alpha+\mu) + \frac{3\omega L_s}{\pi} i_L$$

CamScanner

## ১০.৫ সিঙ্গেল-ফেজ প্যারালাল ক্যাপাসিটর কমুটেটেড ইনভার্টারের ব্যাখ্যা (Explanation of single-phase parallel capacitor commutated inverter) :



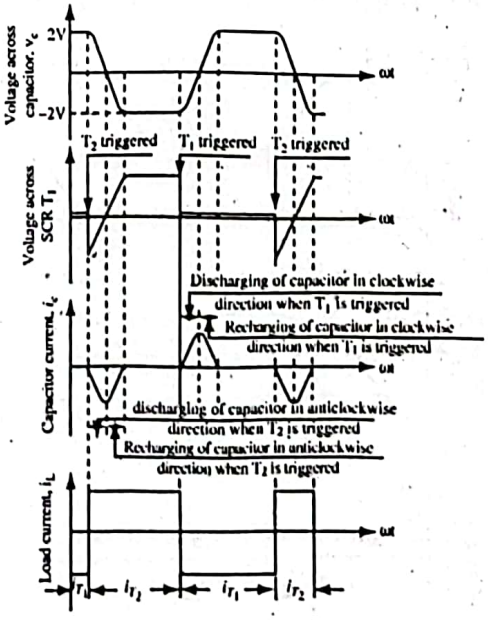

চিত্র : ১০.৩ (a) সিঙ্গেল-ফেজ প্যারালাল ক্যাপাসিটর কমুটেটেড ইনভার্টার

উপরে ১০.৩ (a) নং চিত্রে ইনভার্টার সার্কিট দেখানো হয়েছে। এতে ইনপুটে DC ভোল্টেজ সরবরাহ করা হয় এবং আউটপুটে AC ভোল্টেজ পাওয়া যায়। চিত্রে লোডের সাথে একটি ক্যাপাসিটর প্যারালালে সংযোগ করা হয়েছে। এ প্যারালাল ক্যাপাসিটরে রিভার্স ভোল্টেজ প্রয়োগের মাধ্যমে কন্ডাকশনে থাকা SCR-কে টার্নড-অফ করা হয়। এক SCR থেকে অন্য SCR-এ সুইচিং এর সময় অতিরিক্ত ক্যাপাসিটর কারেন্টকে প্রতিরোধ করার জন্যে একটি ইন্ডাক্টর L সংযোগ করা হয়েছে। বর্তনীতে একটি সেন্টার-ট্যাপ ট্রান্সফর্মারও ব্যবহার করা হয়েছে।

ধরা যাক, প্রথম অবস্থায় SCR, $T_1$ টার্নড-অন আছে। এ অবস্থায় কারেন্ট ($i_{T_1}$) ইন্ডাক্টর L এর মধ্য দিয়ে ট্রান্সফর্মারের প্রাইমারি ওয়াইন্ডিং এর CA অংশে প্রবাহিত হবে। এই কারেন্ট ম্যাগনেটিক ফ্লাক্সের সাথে মিলিত হয়ে C অংশ হতে A অংশ পর্যন্ত উঠবে। ম্যাগনেটিক ফ্লাক্স ট্রান্সফর্মারের উভয় ওয়াইন্ডিং-এ সমান হবে, ফলে প্রাইমারি ওয়াইন্ডিং-এর CB অংশে সোর্স ভোল্টেজ V ইনডিউসড হবে। এ প্রক্রিয়া SCR $T_2$ টার্ন-অন হওয়া পর্যন্ত চলতে থাকবে।

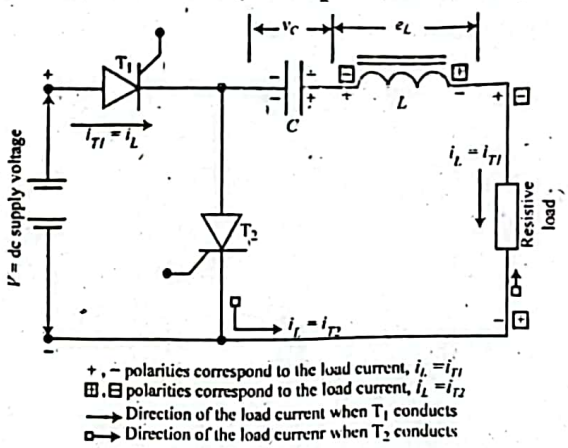
কিন্তু যখন SCR, $T_2$ টার্নড-অন হয় তখন কমুটেটর ক্যাপাসিটর C এর ভোল্টেজের কারণে $T_1$ রিভার্স বায়াস পাবে এবং এটি টার্নড-অফ হবে। এই অবস্থায় কারেন্ট ($i_{T_2}$) প্রবাহিত হবে এবং একইভাবে ট্রান্সফর্মারের প্রাইমারি ওয়াইন্ডিং এর CB অংশে সোর্স ভোল্টেজ V ইনডিউসড হবে। ফলে পোলারিটি পরিবর্তনের কারণে ট্রান্সফর্মারে একটি অল্টারনেটিং কারেন্ট পাওয়া যাবে। পরবর্তী ট্রিগার পালসে $T_1$ আবারও টার্নড-অন এবং $T_2$ টার্নড-অফ হবে।

এভাবে যদি ট্রিগার পালসগুলো নির্দিষ্ট সময় পর পর বিকল্প SCR-গুলোতে প্রয়োগ করা হয়, তাহলে ট্রান্সফর্মারের সেকেন্ডারি ওয়াইন্ডিং-এ প্রায় আয়তাকার ভোল্টেজ ওয়েভ পাওয়া যাবে। চিত্র ১০.৩ এর (b)-তে দেখানো হয়েছে।




চিত্র : ১০.৩ (b) প্যারালাল ক্যাপাসিটর ওয়েভফরম

## ১০.৬ সিঙ্গেল-ফেজ সিরিজ ইনভার্টারের কার্যপ্রণালি (The operation of single-phase series inverter) :

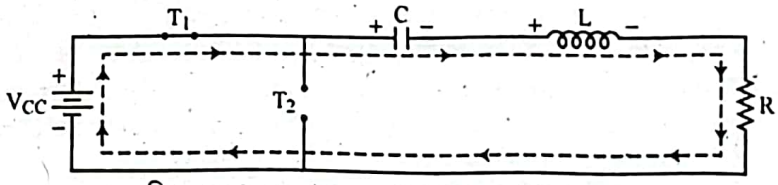



চিত্র : ১০.৪ (a) সিঙ্গেল-ফেজ সিরিজ ইনভার্টার সার্কিট

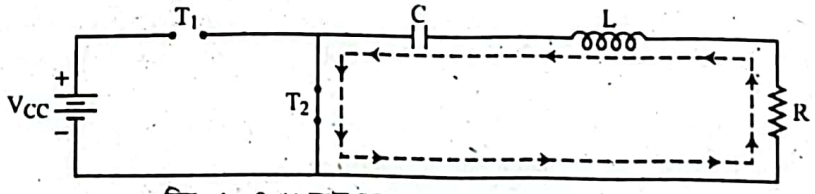
১০.৪ (a) নং চিত্রে ইনভার্টার সার্কিট দেখানো হয়েছে, এটি রেজিস্টিভ লোডবিশিষ্ট এবং এর ক্যাপাসিটরের প্রাথমিক ভোল্টেজ V দেওয়া আছে।

যখন SCR $T_1$ অন হয় তখন সিরিজ RLC রেজোনেন্ট সার্কিটটি dc ভোল্টেজ এর সাথে সংযোগ হয় এবং ক্যাপাসিটরের ভোল্টে কারেন্টের সাথে উপরে উঠতে থাকে, যা ১০.৪ (b) নং চিত্রে দেখানো হয়েছে।

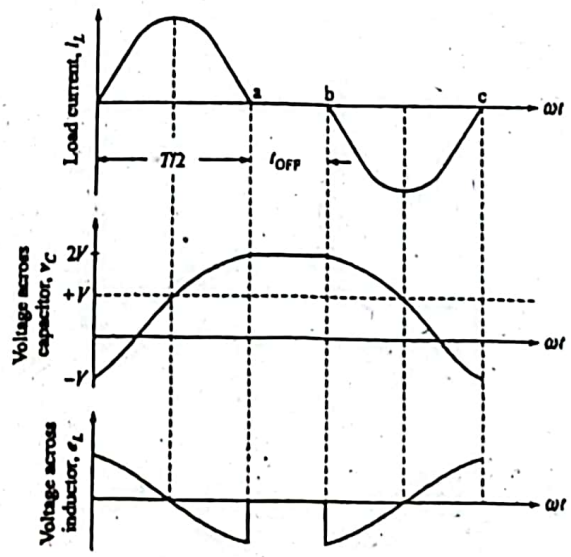
ক্যাপাসিটরের ভোল্টেজ $V_c$ যখন V (অর্থাৎ −V হতে ডিসচার্জ ও শূন্য থেকে +V তে রিচার্জ) হয় তখন কারেন্ট $i_{T_1} = i_L$ এর সর্বোচ্চ মা পৌছাবে। এই সময়ে ইন্ডাক্টর এর ইনডিউসড ভোল্টেজ $e_L$ এর পোলারিটি পরিবর্তনের ফলে কারেন্ট প্রবাহে বাধা সৃষ্টি করে। এ অবস্থা ক্যাপাসিটর 2V-এ চার্জিত হয় এবং লোড কারেন্ট $i_L$ কমতে শুরু করে, এক পর্যায়ে শূন্যতে a বিন্দুতে পাতিত হয়। এই a বিন্দুতে তখন $T_1$ টার্ন অফ হয় অর্থাৎ $\frac{T}{2}$ টাইম পিরিয়ডের কাজ শেষ হয়।




চিত্র : ১০.৪ (b) যখন SCR, $T_1$ ON এবং SCR, $T_2$ OFF




চিত্র : ১০.৪ (b) যখন SCR, $T_2$ ON এবং SCR, $T_1$ OFF




চিত্র : ১০.৪ (c) সিরিজ ইনভার্টারের ভোল্টেজ এর কারেন্ট ওয়েভ

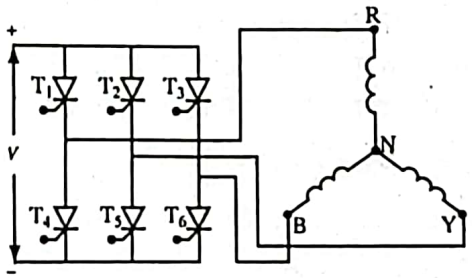
এখানে, টাইম পিরিয়ড, $\frac{T}{2} = \frac{\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{\Delta L^2}}}$

এবং আউটপুট ফ্রিকুয়েন্সি, $f = \frac{1}{\left(\frac{T}{2}\right) + t_{off}}$ Hz

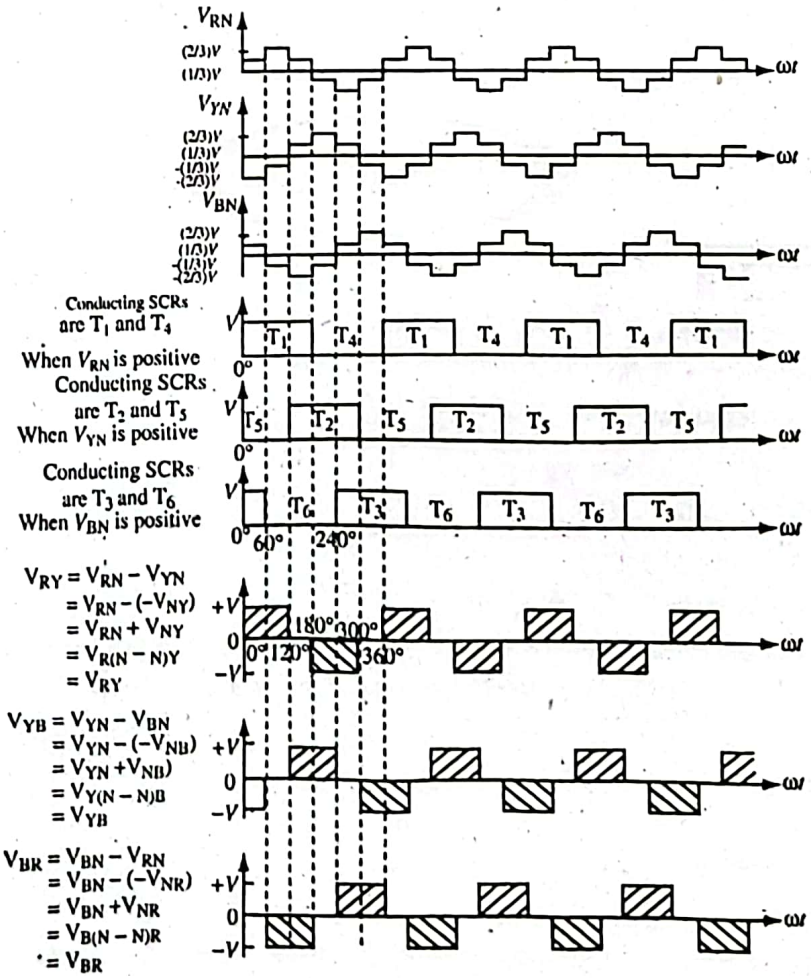
এখানে, $t_{off}$ হচ্ছে এক SCR হতে অন্য SCR এ ট্রিগার হওয়ার মধ্যবর্তী সময় বিরতি যা চিত্র ১০.৪ (c) নং চিত্রে ab এর মাধ্যমে দেখানো হয়েছে।

যখন SCR $T_2$ অন হয় ক্যাপাসিটর C আভার ড্যাম্পড সার্কিট SCR $T_2$ এর মাধ্যমে 2V হতে ডিসচার্জ হয়। এ অবস্থায় লোড কারেন্ট $i_L = i_{T_2}$ বিপরীত দিকে প্রবাহিত হয়ে পুনরায় C বিদ্যুতে এসে শূন্য হবে। এ পর্যায়ে SCR $T_2$ টার্ন-অফ হবে এবং SCR $T_1$ পুনরায় টার্ন-অন হবে। এ প্রক্রিয়া চলতে থাকবে এবং কারেন্ট পালস সাইনুসয়ডাল হবে।

## ১০.৭ থ্রি-ফেজ ফোর্সড-কমুটেটেড ব্রিজ ইনভার্টার সার্কিটের কার্যপ্রণালি (The operation of three-phase forced-commutated bridge inverter) :




চিত্র : ১০.৫ (a) থ্রি-ফেজ ফোর্স-কমুটেটেড ব্রিজ ইনভার্টার




চিত্র : ১০.৫ (b) থ্রি-ফেজ ফোর্সড কমুটেটেড ব্রিজ ইনভার্টারের ওয়েভ

| Conduction interleval | Conducting SCRS | To Parallel winding voltages | Single winding voltages |
|---|---|---|---|
| 0°–60° | $T_1$ $T_3$ $T_5$ | $V_{BR}$ | $V_Y$ |
| 60°–120° | $T_1$ $T_5$ $T_6$ | $V_{YB}$ | $V_R$ |
| 120°–180° | $T_1$ $T_2$ $T_6$ | $V_{RY}$ | $V_B$ |
| 180°–240° | $T_2$ $T_4$ $T_6$ | $V_{BR}$ | $V_Y$ |
| 240°–300° | $T_2$ $T_3$ $T_4$ | $V_{YB}$ | $V_R$ |
| 300°–360° | $T_3$ $T_4$ $T_5$ | $V_{RY}$ | $V_B$ |

টেবিল : ১০.১ Operation mode summary

থ্রি-ফেজ ইনভার্টার, dc ইনপুট ভোল্টেজকে সিমেট্রিক্যাল থ্রি-ফেজ AC ভোল্টেজে রূপান্তর করার কাজে ব্যবহার করা হয়। এই ইনভা SCR-গুলো রিং কাউন্টার কন্ডাকশন করে থাকে। এই পদ্ধতিতে সর্বোচ্চ তিনটি SCR একসাথে কন্ডাকশন করতে পারে এবং প্রতি আউটপুটের প্রতি সাইকেলের $\pi$ রেডিয়ানে কন্ডাকশন করে।

আউটপুট প্রান্ত R,Y ও B-তে পজিটিভ ফেজ ক্রম আউটপুট ভোল্টেজ ($V_{RY}$, $V_{YB}$, $V_{BR}$) উৎপন্ন করার জন্য SCR-গুলো পর্যায় ট্রিগারড হয়। SCR এর ইনকামিং ও আউটগোয়িং ভোল্টেজ যথাক্রমে + V এবং O।

যদি 0°–60° সময় বিরতিতে লোড সংযোগ করা হয় তবে SCR $T_1$, $T_3$ এবং $T_5$ কন্ডাকশন করে। এক্ষেত্রে স্টার সংযোগ লোডের ওয়াইন্ডিং (R ও B) সবসময় প্যারালালে থাকবে এবং বাকি একটি ওয়াইন্ডিং (Y) প্যারালাল পেয়ারের সাথে সিরিজে থাকবে।

প্যারালাল ওয়াইন্ডিং $\left(\frac{1}{3}\right)$ V ড্রপ করে যেখানে সিংগেল ওয়াইন্ডিং $\left(\frac{2}{3}\right)$ V ড্রপ করে। এভাবে যদি ফেজ এর সময় বিরতি পরিবর্তন লোড সংযোগ করা হয়, তবে SCR কন্ডাকশন পরিবর্তন করবে এবং উক্ত ক্রিয়াগুলো চলতে থাকবে, যা টেবিল : ১০.১-এ দেখানো হয়েছে।

এভাবে ইনভার্টারের লাইন-টু-লাইন ভোল্টেজ আউটপুট হবে,

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} v^2 d(\omega t)} = \sqrt{\frac{2}{3}}V$$

## অনুশীলনী-১০

### অতি সংক্ষিপ্ত প্রশ্নোত্তর:

১। **ইনভার্টার কত প্রকার ও কী কী?**
**অথবা, Inverter কয় প্রকার ও কী কী?** [বাকাশিবো-২০
**অথবা, ইনভার্টারের প্রকারভেদ লেখ।** [বাকাশিবো-২০

**উত্তর:** ইনভার্টারকে দু'ভাগে ভাগ করা যায়–
১। লাইন-কমুটেটেড ইনভার্টার
২। ফোর্সড-কমুটেটেড ইনভার্টার।

২। **Force commutated "inverter" বলতে কী বুঝায়?** [বাকাশিবো-২০

**উত্তর:** ডি.সি সরবরাহের ক্ষেত্রে ইনভার্টারকে বন্ধ বা ইনপুট ভোল্টেজকে শূন্য করতে কিছু বাহ্যিক উৎসের প্রয়োজন হয়, এ পদ্ধতি ফোর্স-কমুটেশন পদ্ধতি বলা হয়। যে-সকল ইনভার্টার এ পদ্ধতির উপর ভিত্তি করে কাজ করে, তাদেরকে ফোর্স কমুটেটেড ইনভা বলা হয়।

৩। **ইনভার্টার কাকে বলে?** [বাকাশিবো-২০
**অথবা, ইনভার্টার কী?** [বাকাশিবো-২০১৩, ১৭
**অথবা, সংজ্ঞা দাও : ইনভার্টার।** [বাকাশিবো-২০
**অথবা, Inverter কী?** [বাকাশিবো-২০১৮

**উত্তর:** যে ডিভাইসের সাহায্যে ডিসি পাওয়ারকে চাহিদানুযায়ী ভোল্টেজ ও ফ্রিকুয়েন্সিতে রূপান্তর ও প্রয়োজনমতো নিয়ন্ত্রণ করা তাকে Inverter বলে।

CamScanner