অধ্যায়-৩
ইউজেটি এবং জিটিও
(UJT and GTO)

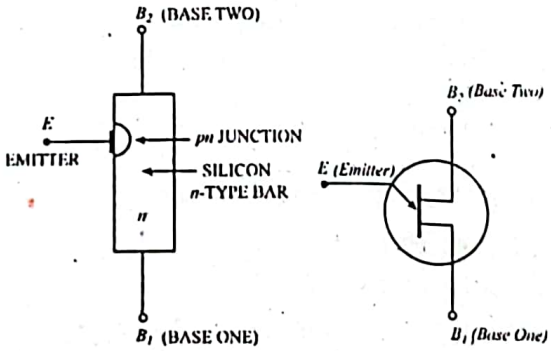
৩.১ UJT এবং GTO-এর সংজ্ঞা (Definition of UJT and GTO) :

ইউনিজাংশন ট্রানজিস্টর (Unijunction transistor) : এটি তিন টার্মিনাল বিশিষ্ট সিলিকন সেমিকন্ডাক্টর ডিভাইস। P-টাইপ ও N-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর দিয়ে তৈরি, এ ইউনিজাংশন ট্রানজিস্টরে একটিমাত্র PN জাংশন থাকে। এজন্য এর এরূপ নামকরণ করা হয়েছে, যাকে সংক্ষেপে UJT বলে। UJT-কে একবার ট্রিগার করলে এর কারেন্টের মান তীক্ষ্ণভাবে বাড়তে থাকে, যা শুধুমাত্র ইমিটার সাপ্লাই দ্বারা নিয়ন্ত্রণ করা যায়। এ বৈশিষ্ট্যের কারণে UJT-কে সাধারণত সুইচিং-এর কাজে ও পালস্ জেনারেটর হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

GTO : GTO এর পূর্ণ অর্থ হলো Gate Turn-off Thyristor. এটি একটি pnpn ডিভাইস, যাকে SCR এর মতো ট্রিগার করে অন করা যায়। অল্প মানের পজিটিভ গেট কারেন্ট পালস দ্বারা এটি টার্নড-অন এবং নেগেটিভ গেট কারেন্ট পালস দ্বারা টার্নড-অফ করা হয়।

৩.২ UJT-এর গঠন এবং কার্যপ্রণালি (Construction and operation of UJT) :

UJT-এর মৌলিক গঠন (Basic structure of a UJT) : চিত্র ৩.১-এ UJT-এর বেসিক গঠন ও তার প্রতীক দেখানো হলো। একটি N-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর বারের (bar) উপর P-টাইপ সেমিকন্ডাক্টরকে ডিপোজিট (Deposite) করে UJT-কে এমনভাবে তৈরি করা হয়, যাতে একটিমাত্র PN-জাংশন তৈরি হয়। N-টাইপ বারের দু'প্রান্ত হতে দুটি টার্মিনাল নেয়া হয়, যার একটি বেস-১ (Base-1) বা B_1, অন্যটি বেস-২ (Base-2) বা B_2। P-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর হতে আর একটি টার্মিনাল নেয়া হয়, যাকে ইমিটার (E) বলে। এখানে, PN জাংশনটি B_2 টার্মিনালের কাছাকাছি হয়, ফলে E এবং B_2-এর মধ্যবর্তী রেজিস্ট্যান্স, E এবং B_1-এর মধ্যবর্তী রেজিস্ট্যান্সের তুলনায় কম হয়।

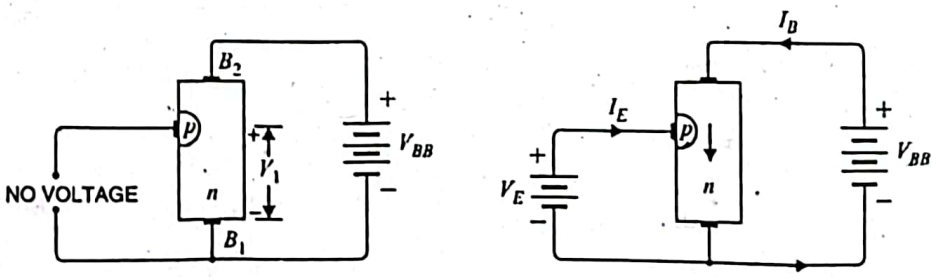


চিত্র : ৩.১ UJT-এর বেসিক গঠন ও তার প্রতীক

এখানে লক্ষণীয় যে, প্রতীকেও ইমিটার প্রান্তটিকে B_2-এর নিকটবর্তী দেখান হয়েছে। ইমিটারে ব্যবহৃত তীর চিহ্নটি কারেন্ট প্রবাহের প্রচলিত দিক নির্দেশ করে। UJT-এর গঠন হতে দেখা যায় যে, এর মাত্র একটি মাত্র PN জাংশন রয়েছে, যা ট্রানজিস্টর হিসাবে কাজ করে। এজন্য একে ইউনিজাংশন (Uni অর্থ একক) ট্রানজিস্টর বলে। আবার একটিমাত্র PN জাংশন থাকে বলে এটা এক ধরনের ডায়োড এবং এই UJT-কে কখনো কখনো ডবল বেস ডায়োডও (Double-base-diode) বলে। এটার তৃতীয় টার্মিনাল ইমিটারটি উচ্চহারে ডোপিং করা হয়। কিন্তু N রিজিয়ন নিম্নহারে ডোপিং করা থাকে। এজন্য ইমিটার প্রান্ত খোলা অবস্থায় বেস লিডদ্বয়ের মধ্যে (5 হতে 10kΩ) রেজিস্ট্যান্স বিদ্যমান থাকে।

UJT-এর কার্যাবলি (Operation of UJT) :

চিত্রে একটি UJT-এর সংযোগ চিত্র দেখান হলো। যেখানে V_E = ইমিটার ভোল্টেজ, V_{BB} = বেস ভোল্টেজ, I_E ও I_B যথাক্রমে ইমিটার ও বেস কারেন্ট। সাধারণ অবস্থায় B_2 টার্মিনালটি B_1-এর সাপেক্ষে +ve থাকে।



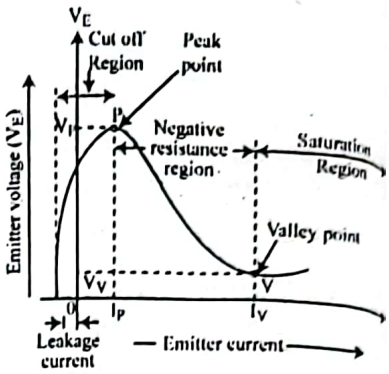
চিত্র : ৩.২ UJT-এর সংযোগ চিত্র

প্রাথমিক অবস্থায় যখন $V_E = 0$, তখন V_{BB} প্রয়োগ করা হলে N-type বারের আড়াআড়িতে একটি ভোল্টেজ প্রতিষ্ঠিত হয়। যেহেতু ইমিটারটি B_2-এর কাছাকাছি অবস্থিত সেহেতু B_1 থেকে ইমিটার বরাবর V_{BB}-এর অধিকাংশ পরিমাণ ভোল্টেজ ড্রপ হবে। B_1 এবং ইমিটার বরাবর n টাইপ লেয়ারের আড়াআড়িতে প্রাপ্ত ভোল্টেজ V_1-এর কারণে PN জাংশন রিভার্স বায়াসপ্রাপ্ত হবে। ফলে জাংশনের মধ্য দিয়ে কোনো কারেন্ট প্রবাহিত হবে না। অর্থাৎ, I_E-এর মান শূন্য হবে। তবে মাইনোরিটি চার্জ ক্যারিয়ারের কারণে একটি লিকেজ কারেন্ট প্রবাহিত হবে।

CamScanner

এবার ইমিটার ভোল্টেজ V_E প্রয়োগ করা হলে ইমিটার এবং বেস-২ এর মধ্যবর্তী জাংশনের রিভার্স বায়াস কমতে থাকে। V_E বৃদ্ধি করতে থাকলে যখন তা V_1-কে অতিক্রম করে তখন জাংশনটি ফরোয়ার্ড বায়াসপ্রাপ্ত হয়। এ অবস্থায় P-টাইপ ইমিটার হতে N-টাইপ বেসে হোল (hole) প্রবেশ করে। পজিটিভ বেস-২ দ্বারা এ হোলসমূহ বিকর্ষিত হয়ে বেস-১ এর দিকে প্রবাহিত হয়। ইমিটার এবং বেস-১ এর মাঝে হোলসমূহের উপস্থিতির কারণে এ রিজিয়নের রেজিস্ট্যান্স কমে যায়। ফলে ইমিটার ও বেস-১ এর মধ্যবর্তী ভোল্টেজ ড্রপও কমে যায়। এতে ইমিটার কারেন্ট I_E বাড়তে থাকে। এখন যতই হোল বেসে প্রবেশ (Inject) করে ততই I_E কারেন্টে মান বাড়তে থাকে এবং দ্রুত স্যাচুরেশনে পৌছে। UJT-এর এ অবস্থাকে তার 'ON' অবস্থা বলে।

UJT-এর বৈশিষ্ট্য চিত্রে V_E-এর সাথে I_E-এর পরিবর্তন দেখান হলো। UJT-এর 'ON' অবস্থায় ইমিটার কারেন্টকে একমাত্র ইমিটার পাওয়ার সাপ্লাই দ্বারা নিয়ন্ত্রণ করা যায়।



চিত্র : ৩.৩ V-I Characteristics of UJT

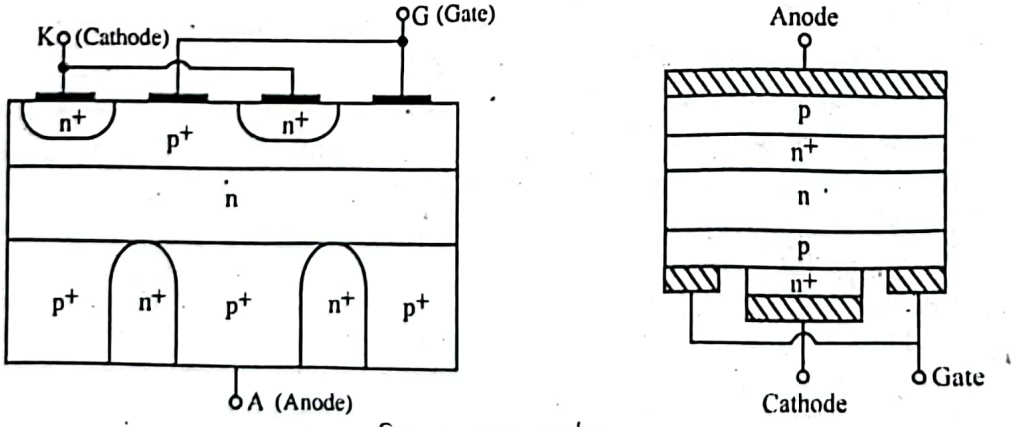
যদি ইমিটারে -ve ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হয়, তবে PN জাংশনটি রিভার্স বায়াস পায় এবং ইমিটার কারেন্ট কাট অফ অবস্থায় থাকে। এর এ অবস্থাকে তার 'OFF' অবস্থা বলে। কাট অফ অবস্থায় ইমিটারে অল্প পরিমাণ লিকেজ কারেন্ট প্রবাহিত হতে পারে।

V-I Characteristics curve থেকে নিম্নলিখিত রিজিয়নগুলো বর্ণনা করা যায়–

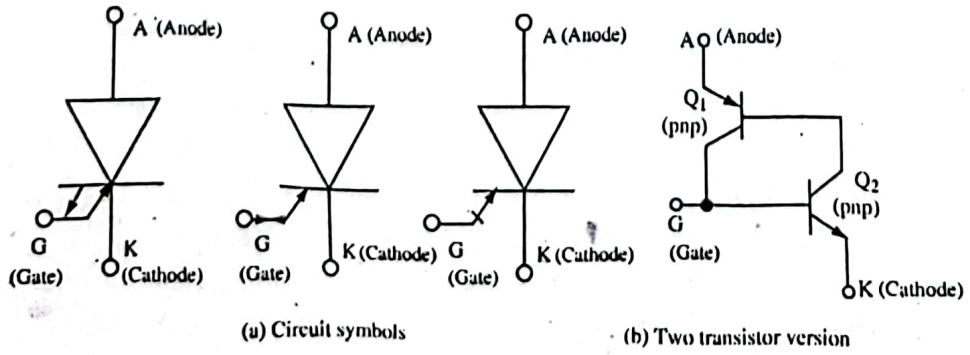
1. **Cut-off region :** এই region peak point-এর বামে অবস্থিত। এই রিজিয়নে ইমিটার ভোল্টেজ peak-point ভোল্টেজ এর অবস্থান করে এবং ইমিটার কারেন্ট প্রায় শূন্য হয়। এই রিজিয়নে UJT OFF stage-এ থাকে।
2. **Negative resistance region :** এই রিজিয়নে UJT Peak-point এবং Valley-point-এ অবস্থান করে। এই রিজিয়নে ভোল্টেজ কমে V_P থেকে V_V হয় এবং ইমিটার কারেন্ট বৃদ্ধি পেয়ে I_P থেকে I_V হয়।
3. **Saturation region :** এই রিজিয়নে ইমিটার কারেন্ট বৃদ্ধির সাথে ইমিটার ভোল্টেজ প্রায় স্থির থাকে। এই রিজিয়নে UJT অবস্থায় থাকে।

৩.৩ GTO-এর গঠন এবং কার্যপ্রণালি (Construction and operation of GTO) :

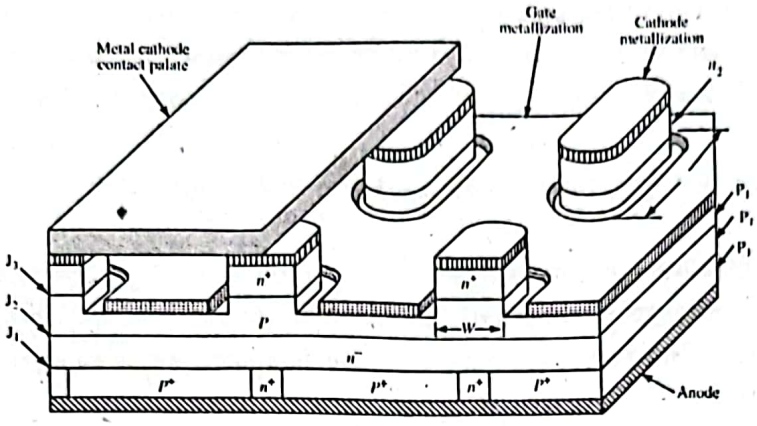
GTO-এর গঠনপ্রণালি : GTO-এর পূর্ণ অর্থ হলো Gate Turn-off Thyristor. এটি একটি pnpn ডিভাইস, যাকে SCR-এর মতো করে অন করা যায়। অল্প মানের পজিটিভ গেট কারেন্ট পালস দ্বারা এটি টার্নড-অন এবং নেগেটিভ গেট কারেন্ট পালস দ্বারা টার্নড-অফ হয়। GTO এর তিনটি টার্মিনাল– অ্যানোড, ক্যাথোড এবং গেট। দুই ট্রানজিস্টর সমতুল্য বিবেচনা করা হলে GTO-এর গঠনচিত্র হতে p^+ ট্রানজিস্টর Q_1 এবং np^+n^+ ট্রানজিস্টর Q_2। এখানে Q_1-এর ইমিটার p^+ হলো অ্যানোড (A) এবং Q_2-এর ইমিটার n^+ হলো ক্যাথোড (K)।



চিত্র : ৩.৪ GTO এর গঠন



(a) Circuit symbols (b) Two transistor version



(c) Vertical cross-section and perspective view of a GTO

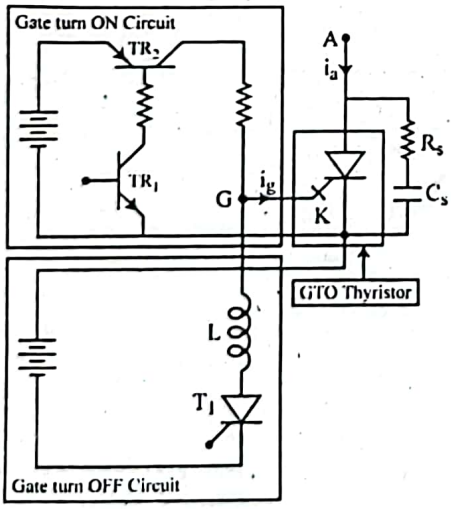
চিত্র : ৩.৫ সমতুল্য বর্তনী

GTO-এর কার্যপ্রণালি :

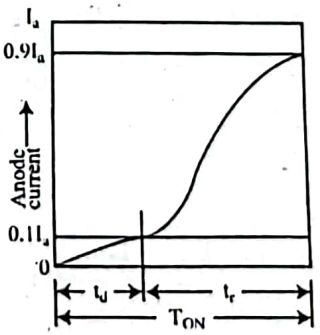
যখন গেট (G) এ পজিটিভ ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হয়, এর ফলে প্রচুর পরিমাণ হোল P^+ গেট অঞ্চলে পুশ করে, যা J_3 জাংশনকে (চিত্র ৩.৫) ফরোয়ার্ড বায়াসপ্রাপ্ত করে, এইভাবে GTO এর মধ্যে কারেন্ট প্রবাহ শুরু হয়।

আবার, যখন ক্যাথডের সাপেক্ষে গেট (G) এ নেগেটিভ ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হয়, অ্যানোডের মধ্য দিয়ে প্রবেশকৃত হোলসমূহ গেটের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয় অর্থাৎ হোলসমূহ গেটের মধ্য দিয়ে প্রবেশ করে, এইভাবে J_3 জাংশনটি রিভার্স বায়াস প্রাপ্ত হয় যা ইলেকট্রনকে ক্যাথোড রিজিয়নে প্রবেশে বাধাগ্রস্থ করে, এ সময় ক্যাথোড কারেন্ট শূন্য হলেও গেট টার্মিনালের মধ্য দিয়ে অ্যানোড কারেন্ট প্রবাহিত হয় যা "Tail current" (চিত্রঃ ৩.৮ (a)) নামে পরিচিত। এই কারেন্ট ধীরে ধীরে কমতে থাকে এবং শূন্য হয়ে গেলে, GTO সম্পূর্ণরূপে টার্ন-অফ হয়ে যায়।

৩.৪ GTO-এর টার্ন-অন এবং টার্ন-অফ প্রসেস (Turn-on and turn-off process of GTO) :



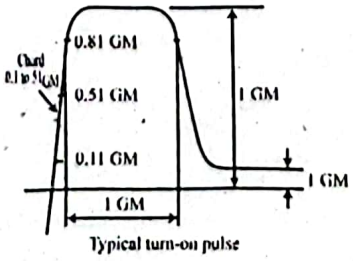
(a) Basic gate drive circuit for GTO with clamped inductive load



(b) Anode current waveform during burn over time

চিত্র : ৩.৬ GTO-এর মৌলিক বর্তনী এবং অ্যানোড কারেন্ট ওয়েভ

টার্ন-অন : চিত্র ৩.৬-এর (a)-তে অঙ্কিত বর্তনীতে GTO-কে টার্ন-অন করার জন্যে TR_1 ট্রানজিস্টরের বেসে একটি পজিটিভ পালস প্রয়োগ করা হয়। ফলে GTO-এর গেটে একটি পজিটিভ কারেন্ট পালস উৎপন্ন হয়, যা GTO-কে টার্নড-অন করে। GTO-এর টার্ন-অন সময়, ডিলে টাইম ও রাইজ টাইমের সমন্বয়ে গঠিত, যাকে T_{on} দ্বারা প্রকাশ করা হয় অর্থাৎ টার্ন-অন, $T_{on} = t_d + t_r$। ফরওয়ার্ড গেট কারেন্টের মান বৃদ্ধি করে GTO-এর টার্ন-অন টাইম কমানো যায়।



চিত্র : ৩.৭ টার্ন-অন পদ্ধতি

CamScanner

টার্ন-অফ : টার্ন-অফ পদ্ধতির কার্যক্রম শুরুর মুহূর্তে সময় $t = 0$ এবং এই সময়ে স্টিডি কারেন্ট (i_a) বিরাজমান থাকে।

যখন টার্ন-অফ পদ্ধতি শুরু করার জন্যে GTO-এর গেট ও ক্যাথোডের মধ্যে রিভার্স বায়াস প্রয়োগ করা হয়, তখন ইন্ডাকট্যান্স নির্দিষ্ট হারে গেটে একটি রিভার্স গেট কারেন্ট তৈরি হয়। এ সময় অ্যানোড কারেন্ট (i_a), অ্যানোড ভোল্টেজ (V_a), স্টোরেজ টাইম (t_s)-এ সময় পর্যন্ত স্থির থাকে।

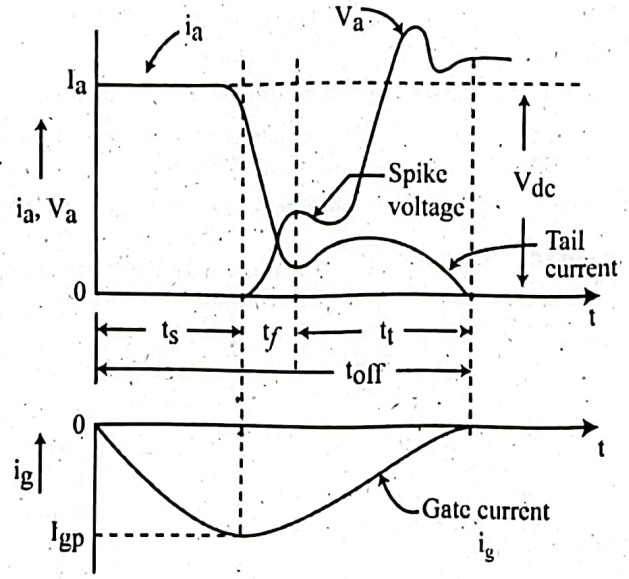
স্টোরেজ টাইম শেষ হওয়ার সাথে সাথে অ্যানোড কারেন্ট (i_a) দ্রুততার সাথে রেসিডুয়াল মানে পাতিত হয়। এই পাতিত সময়কে প্রকাশ করা হয়।

এরপর মোট সময় t-এর ব্যাপ্তিকালের মধ্যে অ্যানোড কারেন্ট (i_a)-এর মান কমতে কমতে শূন্য মানে নেমে আসে।

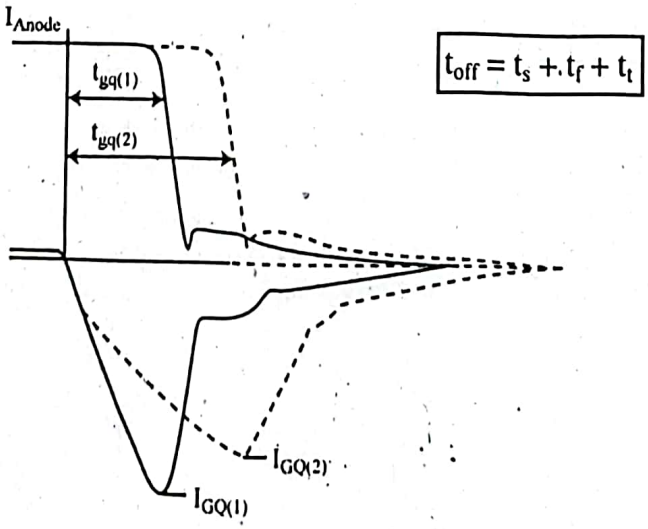
এই মোট সময় ($t_s + t_f$)-এর শেষ মুহূর্তে কারেন্টের অস্বাভাবিক পরিবর্তনের ফলে ভোল্টেজের একটি স্পাইক (তীক্ষ্ণ অগ্রভাগ) সৃষ্টি হ

পাতিত সময় t_f-এর ব্যাপ্তিকালে লোড কারেন্টকে ক্যাপাসিট্যান্স C_s-এর দিকে ধাবিত করানো হয়। ফলে এই সময়ে অ্যানোড ভো মান দ্রুততার সাথে বৃদ্ধি পেতে থাকে।

সবশেষে টেইল টাইম (t_t)-এর ব্যাপ্তিকালের মধ্যে টার্ন-অফ পদ্ধতি সম্পন্ন হয় এবং এই সময়ের মধ্যে অ্যানোড টেইল কারেন্ট কমতে শূন্য মানে নেমে আসে। টেইল টাইম-এর মান ডিভাইসের বৈশিষ্ট্যের উপর নির্ভর করে।



(a) Voltage and current waveforms during turn-off of GTO



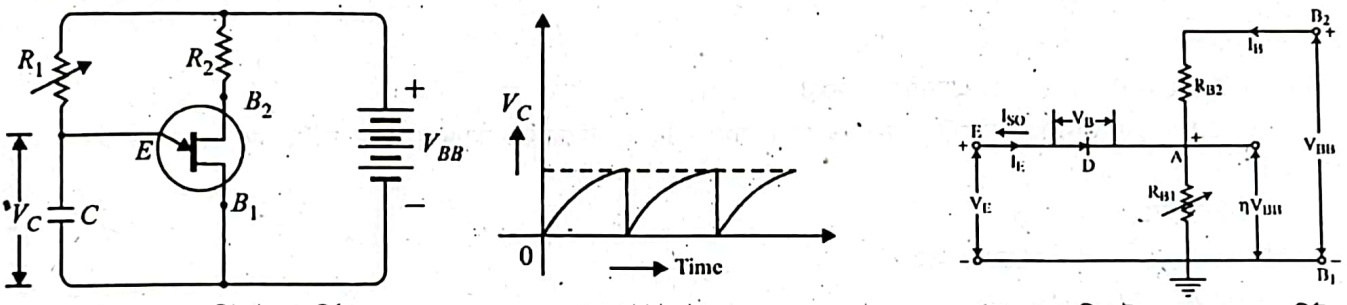
(b) The typical anode current turn-off pulse

চিত্র : ৩.৮ টার্ন-অফ পদ্ধতি

৩.৫ UJT ব্যবহারের মাধ্যমে রিলাক্সেশন অসিলেটর-এর কার্যাবলি বিশ্লেষণ (Analysis of the operation relaxation oscillator using UJT) :

একটি UJT অসিলেটর সার্কিট ও তার আউটপুট স-টুথ (Saw-tooth) ওয়েভ দেখান হলো। এখানে ক্যাপাসিটর C -এর আড়াআড়ি হতে আউটপুট নেয়া হয়। UJT দ্বারা ক্যাপাসিটরটির চার্জিং-ডিসচার্জিং এর দরুন স-টুথ ওয়েভ পাওয়া যায়।

প্রাথমিক অবস্থায় যখন V_{BB} হতে সাপ্লাই দেয়া হয় তখন R_1-এর মাধ্যমে ক্যাপাসিটরটি চার্জ হতে থাকে এবং সূচকের মান অনুসারে (exponentially) এর আড়াআড়িতে V_C ভোল্টেজ বাড়তে থাকে। V_C ভোল্টেজ বাড়তে বাড়তে যখন UJT-এর ইমিটার বেস-১ জাংশনের রিভার্স বায়াসের তুলনায় বেশি হয় তখন ডিভাইসটি 'ON' হয়ে যায়। এ অবস্থায় ক্যাপাসিটরটি ডিসচার্জ হতে থাকে এবং ইমিটারে কারেন্ট প্রবাহিত হয়। ক্যাপাসিটরের V_C ভোল্টেজ সম্পূর্ণ ডিসচার্জ হয়ে যখন শূন্য হয়, সে সময় ইমিটার কারেন্টও শূন্য হয়ে যায়। ফলে UJT-টি তার 'OFF' অবস্থায় চলে আসে।



(ক) UJT অসিলেটর সার্কিট (খ) আউটপুট ওয়েভ (গ) UJT অসিলেটর এর সমতুল্য সার্কিট

চিত্র : ৩.৯

পরবর্তীতে ক্যাপাসিটরটি আবার চার্জ হতে থাকে এবং আউটপুটে আবার V_C ভোল্টেজ পাওয়া যায়। এভাবে চার্জ-ডিসচার্জ হয়ে অবিরাম স-টুথ ওয়েভ পাওয়া যায়। এখানে রেজিস্টার R_1-এর মানকে নিয়ন্ত্রণ করে আউটপুট স-টুথ ওয়েভের ফ্রিকুয়েন্সিকে নিয়ন্ত্রণ করা যায়। কারণ R_1-এর মান নিয়ন্ত্রণের ফলে ক্যাপাসিটর চার্জিং সার্কিটের টাইম কনস্ট্যান্ট R_1C-এর মান নিয়ন্ত্রিত হয়। (গ) নং চিত্রে UJT অসিলেটর সার্কিটের সমতুল্য সার্কিট দেখানো হয়েছে।

চিত্রে ইন্টারবেস রেজিস্ট্যান্স, $R_{BB} = R_{B_1} + R_{B_2}$ [$10k\Omega \geq R_{BB} \geq 4k\Omega$]

Stand off ratio, $\eta = \dfrac{R_{B_1}}{R_{B_1} + R_{B_2}}$

ক্যাপাসিটরের চার্জিং ভোল্টেজ, $V_C = V_{BB}\,(1 - e^{-\frac{t}{R_1C}})$

তখনই ক্যাপাসিটর ডিসচার্জ হওয়া শুরু হয়, যখন V_C-এর মান পিক পয়েন্ট ভোল্টেজ ηV_{BB}-এর সমান হবে।

সুতরাং, $\eta V_{BB} = V_{BB}\,(1 - e^{-\frac{t}{R_1C}})$ যেখানে, $\eta = \dfrac{R_{B_1}}{R_{B_1} + R_{B_2}} = \dfrac{V_1}{V_{BB}}$

বা, $\eta = 1 - e^{-\frac{t}{R_1C}}$

বা, $e^{-\frac{t}{R_1C}} = 1 - \eta$

বা, $e^{\frac{t}{R_1C}} = \dfrac{1}{1-\eta}$

বা, $\text{Log}_e e^{\frac{t}{R_1C}} = \text{Log}_e \dfrac{1}{1-\eta}$

বা, $\dfrac{t}{R_1C} = \log_e \dfrac{1}{1-\eta}$

বা, $t = R_1C \log_e \dfrac{1}{1-\eta}$

বা, $t = 2.303\, R_1C \log_{10} \dfrac{1}{1-\eta}$ $\left[\dfrac{\log_e a}{\log_{10} a} = 2.303\right]$

$\therefore$ টাইম পিরিয়ড, $t = 2.303\, R_1C \log_{10} \dfrac{1}{1-\eta}$ (Seconds)

$\therefore$ স-টুথ ওয়েভের ফ্রিকুয়েন্সি, $f = \dfrac{1}{t} = \dfrac{1}{2.303\, R_1C \log_{10}\left(\dfrac{1}{1-\eta}\right)}$ Hz

CamScanner

৩.৬ UJT এবং GTO-এর প্রয়োগক্ষেত্র (Application of UJT and GTO) :

ইউনিপোলার জাংশন ট্রানজিস্টরের UJT প্রয়োগক্ষেত্র :

- রিলাক্সেশন অসিলেটরে UJT ব্যবহার করা হয়।
- ভোল্টেজ ডিটেক্টরে।
- সুইচিং করতে UJT ব্যবহৃত হয়।
- ট্রিগারিং ডিভাইস SCR এবং TRIAC-এ ব্যবহৃত হয়।
- ফেজ কন্ট্রোল সার্কিটে।
- টাইমিং সার্কিটে।
- স-টুথ জেনারেটরে।
- ম্যাগনেটিক ফ্লাক্স পরিমাপে UJT ব্যবহৃত হয়।

গেট টার্ন অফ থাইরিস্টর (GTO)-এর প্রয়োগক্ষেত্র সমূহ :

- GTO উচ্চ কর্মক্ষমতা ড্রাইভ সিস্টেমে ব্যবহৃত হয়। যেমন– ফিল্ড ওরিয়েন্টেড কন্ট্রোল স্কিম রোলিং মিল, রোবটিক্স এবং মে টুল।
- GTO ইনভার্টারে ব্যবহৃত হয়।
- ডিসি ড্রাইভ অথবা ডিসি চপারে ব্যবহৃত হয়।
- এসি ড্রাইভ-এ GTO ব্যবহৃত হয়।
- ইন্ডাকশন হিটারের ব্যবহৃত হয়।
- Static VAR compensators (SVCS)-এ GTO ব্যবহৃত করা হয়।
- GTO হালকা ওজনের কারণে ট্রাকশন অ্যাপ্লিকেশনেও ব্যবহৃত হয়।

অনুশীলনী-৩

HP অতি সংক্ষিপ্ত প্রশ্নোত্তর :

১। **UJT-কে সুইচিং ডিভাইস বলা হয় কেন?** [বাকাশিবো-২০১৩, ১৯(পরি),

উত্তর : UJT পিক পয়েন্টের পর দ্রুত ভ্যালি পয়েন্ট প্রাপ্ত হয়ে কন্ডাকশনে যায় বলে একে সুইচিং ডিভাইস বলা হয়।

২। **UJT-এর ক্ষেত্রে Stand off ratio কাকে বলে?** [বাকাশিবো-২০১২(গ

অথবা, স্ট্যান্ড অফ রেশিও কী? [বাকাশিবো-২০১৩, ১৪(পরি), ১৫, ২০(পরি),

অথবা, স্ট্যান্ড অফ রেশিও বলতে কী বুঝায়? [বাকাশিবো-২০

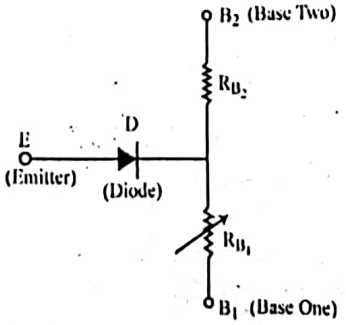
উত্তর : UJT-এর Emitter ও Base-1-এর মধ্যকার সর্বোচ্চ Reverse voltage ও Base-দ্বয়ের মধ্যে প্রয়োগকৃত Battery voltage অনুপাতকে Stand off ratio বলা হয়। একে η (ইটা) দ্বারা প্রকাশ করা হয়। $\eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1}+R_{B2}}$ বা, $\eta = \frac{R_{B1}}{R_{BB}}$ বা, $\eta = \frac{V_1}{V_{BB}}$

৩। **GTO-কে কীভাবে অন ও অফ করা হয়?** [বাকাশিবো-২০

উত্তর : GTO-কে পজিটিভ গেট সিগন্যালের মাধ্যমে অন করা হয় এবং নেগেটিভ গেট সিগন্যাল দ্বারা অফ করা হয়।

৪। **UJT-এর সমতুল্য বর্তনী অঙ্কন কর।** [বাকাশিবো-২০১৯(গ

উত্তর :



CamScanner