অধ্যায়-২

মসফেট এবং আইজিবিটি
(MOSFET and IGBT)

২.১ মসফেট এবং আইজিবিটি-এর সংজ্ঞা (Define MOSFET and IGBT) :

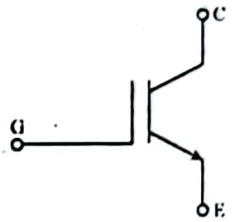
MOSFET : MOSFET শব্দটির পূর্ণরূপ হলো Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor. এটা একটা গুরুত্বপূর্ণ অর্ধপরিবাহী ডিভাইস এবং বহু সংখ্যক সার্কিটে তা ব্যাপকভাবে ব্যবহার করা হয়। অত্যন্ত ক্ষুদ্র মানের গেট লিকেজ কারেন্ট থাকায় MOSFET-এর ইনপুট ইম্পিড্যান্স এর মান FET-এর তুলনায় অনেক বেশি। যে সকল সার্কিটে FET ব্যবহার করা যায় MOSFET-ও সেখানে ব্যবহৃত হয়। কাজেই উন্নতমানের অ্যাম্প্লিফায়ার তৈরিকরণে MOSFET-এর গুরুত্ব অপরিসীম।

MOSFET-এ গেটের ধাতব এলাকা, ইনসুলেটিং ডাই-ইলেকট্রিক অক্সাইড স্তর এবং অর্ধপরিবাহী চ্যানেল সংযুক্ত থাকায় তা একটি সমান্তরাল পাত ক্যাপাসিটর গঠন করে। সিলিকন ডাই-অক্সাইডের ইনসুলেটিং স্তর থাকায় ডিভাইসটিকে ইনসুলেটেড গেট ফিল্ড-ইফেক্ট ট্রানজিস্টরও বলা হয়। MOSFET এই স্তরের জন্য অত্যন্ত উচ্চ মানের ইনপুট রেজিস্ট্যান্স (10^{10} থেকে 10^{15} Ω) প্রদর্শন করে।

IGBT : IGBT অর্থ হলো ইনসুলেটেড গেট বাইপোলার ট্রানজিস্টর (Insulated Gate Bipolar Transistor)। এটি BJT এবং MOSFET-এর সমন্বয়ে গঠিত।

এ ডিভাইসটি MOSFET এবং BJT উভয়ের সুবিধা একত্রে পাওয়া যায়। (১) সেই কারণে এর ইনপুট ইম্পিড্যান্স MOSFET এর মতো উচ্চ মানের হয়ে থাকে এবং (২) BJT এর মতো on state পাওয়ার লস কম হয়ে থাকে। অধিকন্তু এটা BJT-তে উপস্থিত দ্বিতীয় ব্রেক ডাউন সমস্যা থেকে মুক্ত। IGBT-কে নিম্নে উল্লিখিত বিভিন্ন নামে অভিহিত করা হয়–

১। Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT)
২। Metal Oxide semiconductor Insulated Gate Transister (MOSIGT)
৩। Conductivity Modulated FET (COMFET)
৪। Gain Modulated FET (GAMFET)
৫। Insulated Gate Transistor (IGT)।



চিত্র : ২.১ সার্কিট প্রতীক

২.২ পাওয়ার ট্রানজিস্টর এর প্রকারভেদ (Classification of the power transistor) :

পাওয়ার ট্রানজিস্টরসমূহ টার্ন-অন এবং টার্ন-অফ বৈশিষ্ট্যের মাধ্যমে নিয়ন্ত্রণ করা হয়। এটি সাধারণত সুইচিং ডিভাইস হিসেবে ব্যবহৃত হয়। পাওয়ার ট্রানজিস্টর স্যাচুরেশন রিজিওনে পরিচালনা করা হয় বলে এতে অন স্টেটে ভোল্টেজ ড্রপ কম হয়। আধুনিক যুগের পাওয়ার ট্রানজিস্টরসমূহের সুইচিং গতি থাইরিস্টর হতে বেশি। পাওয়ার ট্রানজিস্টরসমূহকে প্রধানত চার ভাগে ভাগ করা হয়; যথা–

১। বাইপোলার জাংশন ট্রানজিস্টর (BJT)
২। মেটাল অক্সাইড সেমিকন্ডাক্টর ফিল্ড ইফেক্ট ট্রানজিস্টর (MOSFET)
৩। স্ট্যাটিক ইন্ডাকশন ট্রানজিস্টর (SIT)
৪। ইন্সুলেটেড গেট বাইপোলার ট্রানজিস্টর (IGBTs)।

২.৩ মসফেট-এর গঠন এবং কার্যপ্রণালি বর্ণনা (Description of the construction and operation of MOSFET) :

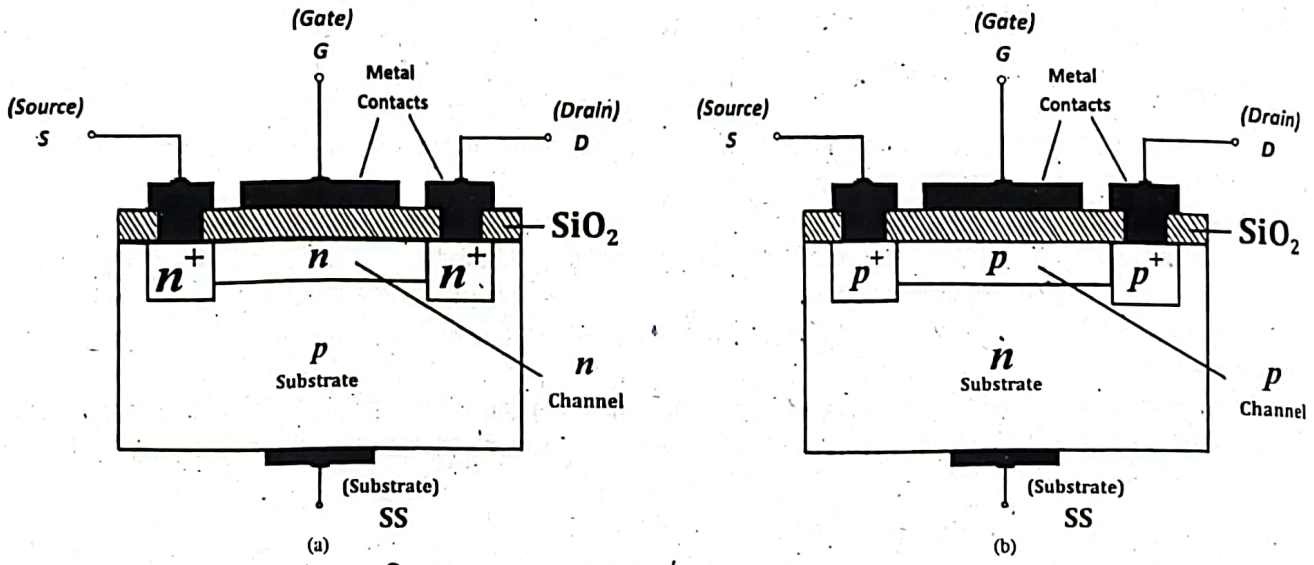
MOSFET-কে পুনরায় দুই ভাগে ভাগ করা যায়; যথা–
১। ডিপ্লিশন-এনহেন্সমেন্ট MOSFET অথবা DE-MOSFET
২। এনহেন্সমেন্ট-অনলি MOSFET (Enhancement-Only MOSFET) ইত্যাদি।

ডিপ্লেশন-এনহ্যান্সমেন্ট MOSFET অথবা DE-MOSFET (Depletion-enhancement MOSFET or DE-MOSFET) : V_{GS}-এর পোলারিটি পরিবর্তনের মাধ্যমে এ প্রকার MOSFET কে ডিপ্লেশন এবং এনহ্যান্সমেন্ট মোডের উভয় মোডে চালানো যায়। গেট এ ঋণাত্মক ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হলে N-চ্যানেল DE-MOSFET ডিপ্লেশন মোডে কাজ করবে। অন্যদিকে ধনাত্মক গেট ভোল্টেজ দেয়া হলে এটা এনহ্যান্সমেন্ট মোডে কাজ করবে। যেহেতু ড্রেন এবং সোর্সের মধ্যে একটি চ্যানেল তৈরি হয়, $V_{GS} = 0$ হলে I_N কারেন্ট প্রবাহিত হবে। তাই তাকে normally-ON MOSFET-ও বলা হয়।

এনহ্যান্সমেন্ট-অনলি MOSFET (Enhancement-Only MOSFET) : এ রকম নাম থেকে বুঝা যায়, এ প্রকার MOSFET শুধুমাত্র এনহ্যান্সমেন্ট মোডে কাজ করে। এটা শুধুমাত্র বড় মানের ধনাত্মক গেট ভোল্টেজে কাজ করবে। DE-MOSFET এর গঠন প্রক্রিয়া থেকে এটি আলাদা, গঠনগতভাবে ড্রেন এবং সোর্সের মধ্যে কোনো চ্যানেল স্থাপিত হয় না। তাই $V_{GS} = 0$ হলে তা কন্ডাক্ট করবে না। ফলে তাকে normally-OFF MOSFET বলে।

CamScanner

DE-MOSFET-এর গঠন (The construction of DE-MOSFET) : JFET-এর মতো এর সোর্স, গেট এবং ড্রেন আছে। এটার গেট কন্ডাকটিং চ্যানেল হতে একটি আলট্রা থিন (Ultra-thin) মেটাল অক্সাইডের ইনসুলেটিং ফিল্ম দ্বারা আলাদা করা থাকে। এ কারণে সাধারণ সিলিকন ডাই-অক্সাইডের (SiO_2) স্তর ব্যবহার করা হয়। এ প্রকার ইনসুলেটিং ধর্মের জন্য তাকে আবার ইনসুলেটেড গেট ফিল্ড-ইফে ট্রানজিস্টরও (IGFET) বলা হয়। গেট ভোল্টেজটি ড্রেন কারেন্টকে নিয়ন্ত্রণ করে, কিন্তু JFET এবং MOSFET-এর মধ্যকার মূল পার্থক্য হলে আমরা MOSFET গেটে ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক উভয় পোলারিটির ভোল্টেজ প্রয়োগ করতে পারি। নিচের চিত্রে N-চ্যানেল এবং P MOSFET এর চ্যানেল মসফেটের ক্রস সেকশন দেখানো হয়েছে–

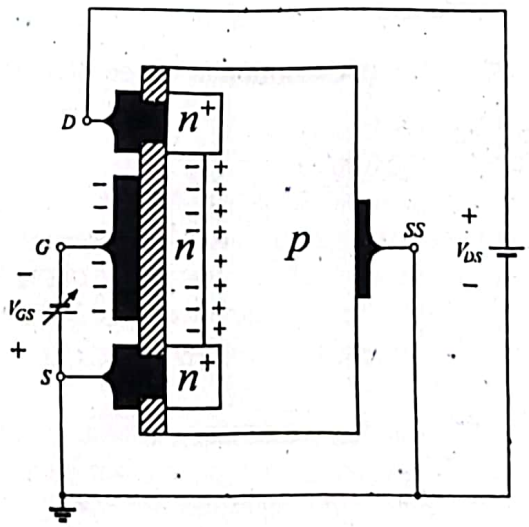


চিত্র : ২.২ DE-MOSFET-এর গঠন (a) N-চ্যানেল (b) P-চ্যানেল

গেটের SiO_2 স্তরটি একটি প্যারালাল প্লেট ক্যাপাসিটর গঠন করে। JFET-এর মতো DE-MOSFET-এর শুধুমাত্র একটি P-রিজিয়ন অথ N-রিজিয়ন থাকে, যাকে সাবস্ট্রেট বলে। স্বাভাবিকভাবে তা সোর্সের সাথে অভ্যন্তরীণভাবে যুক্ত থাকে। N-channel মসফেটের ক্ষেত্রে দু হেভিলি ডোপড n-টাইপ ম্যাটেরিয়াল n^+, ড্রেন এবং সোর্সের সাথে যুক্ত থাকে। এদের মধ্যে একটি n-টাইপ ম্যাটেরিয়াল স্থাপনের মাধ্য কন্ডাকটিং চ্যানেল তৈরি করা হয়। P-channel মসফেটের ক্ষেত্রে একটি P-টাইপ ম্যাটেরিয়াল স্থাপনের মাধ্যমে কন্ডাকটিং চ্যানেল তৈরি করা হয়

N-চ্যানেল DE MOSFET-এর ডিপ্লেশন মোডের কার্যনীতি (Working principle of depletion mode of N-channel DE MOSFE : এ প্রকার মোডের কার্যনীতি বর্ণনা করার জন্য নিচে N-চ্যানেল DE MOSFET এর বায়াসিং সার্কিট অঙ্কন করা হলো–

যেহেতু MOSFET-এর ড্রেন এবং সোর্সের মাঝে একটি সাধারণ চ্যানেল তৈরি করা থাকে সেহেতু, $V_{GS} = 0$ হলে ইলেকট্রন মুক্তভা চ্যানেলের মাধ্যমে সোর্স হতে ড্রেনে প্রবাহিত হয়। অন্যভাবে বলা যায়, ড্রেন থেকে সোর্সের দিকে একটি কন্ডাকটিং কারেন্ট প্রবাহিত হয়। গে ঋণাত্মক ভোল্টেজ দেয়া হলে, গেটে আরোপিত ইলেকট্রনসমূহ n-চ্যানেলে অবস্থিত মেজরিটি ক্যারিয়ার (ইলেকট্রন)-কে বিকর্ষণ করে এবং সাবস্ট্রেটে উপস্থিত মেজরিটি ক্যারিয়ার (প্রোটন)-কে আকর্ষণ করে। ফলে তারা জাংশনের দিকে অগ্রসর হয়। এতে জাংশনের কাছাকা অবস্থিত ইলেকট্রন ও প্রোটনসমূহ রিকম্বিনেশনের ফলে নিউট্রালাইজড হয়ে যায়। ফলে n-চ্যানেলে মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা কমে যায়। অর্থ কারেন্ট প্রবাহ কমে যায়।

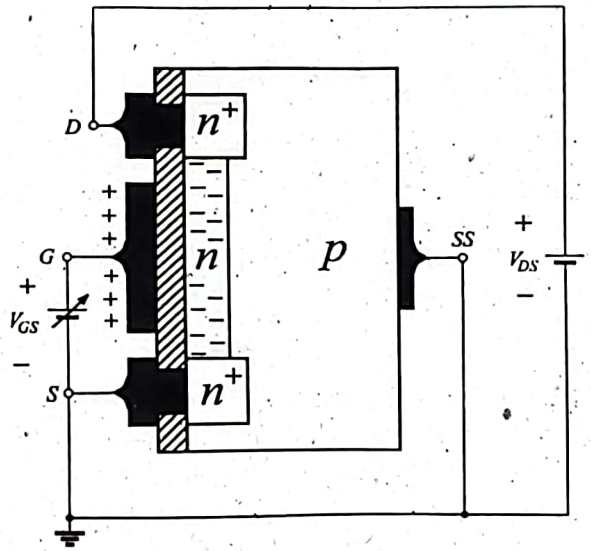


চিত্র : ২.৩ N-চ্যানেল DE MOSFET ডিপ্লেশন মোড

CamScanner

গেটে ঋণাত্মক ভোল্টেজের মান বেশি হলে চ্যানেলে অনেক বেশি পরিমাণ ইলেকট্রন হ্রাস পায় এবং ফলে পরিবহন ক্ষমতা আরও কমে যায়। বাস্তবে অত্যধিক পরিমাণ ঋণাত্মক ভোল্টেজ চ্যানেলকে কাট-অফ করে দেয়। এই ভোল্টেজকে $V_{GS(off)}$ বলে। তাই ঋণাত্মক গেট ভোল্টেজে একটি DE MOSFET-এর আচরণ JFET-এর মতো হয়। এভাবে গেট ভোল্টেজকে পরিবর্তন করে ড্রেন কারেন্টকে নিয়ন্ত্রণ করা যায়। সাধারণত একটি DE MOSFET-এর ঋণাত্মক গেট অপারেশনকেই ডিপ্লেশন মোড অপারেশন বলে।

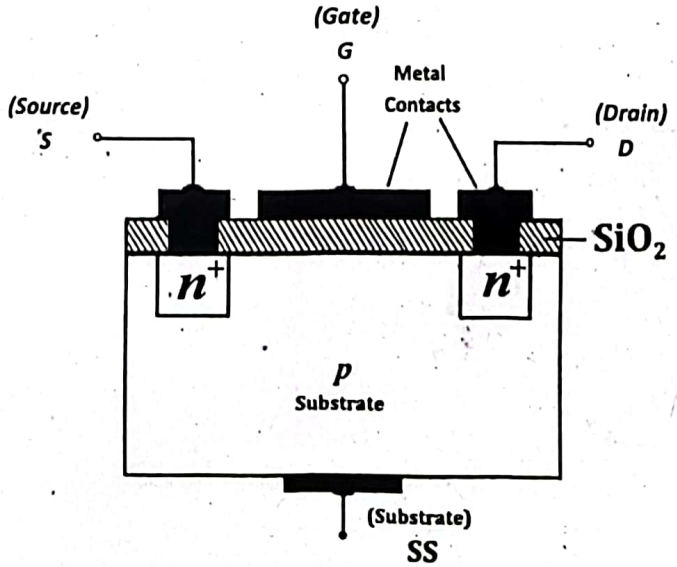
N-চ্যানেল DE MOSFET-এর এনহ্যান্সমেন্ট মোডের কার্যনীতি (Working principle of Enhancement mode of N-channel DE MOSFET) : নিচে এ প্রকার সার্কিট সংযোগ ব্যবস্থা দেখানো হলো। এই ডিভাইসে কারেন্ট সোর্স থেকে ড্রেনে প্রবাহিত হয়।



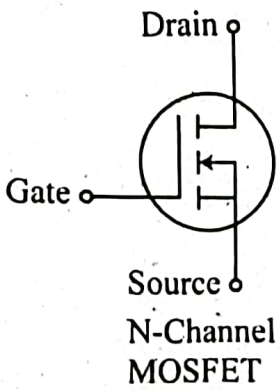
চিত্র : ২.৪ N-চ্যানেল DE MOSFET এনহ্যান্সমেন্ট মোড

গেটে ধনাত্মক ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হলে ইনপুট গেট ক্যাপাসিটরটি চ্যানেলে মুক্ত ইলেকট্রন তৈরি করতে সমর্থ হবে, ফলে I_D এর মান বৃদ্ধি করবে। মুক্ত ইলেকট্রনসমূহ সাধারণত চ্যানেলে ক্যাপাসিটর (Capacitor) কার্যনীতির ফলে আবেশিত হয়। এই ইলেকট্রনসমূহ পূর্বের ইলেকট্রনের সাথে যুক্ত হয়। এটা ইলেকট্রনের সংখ্যা বৃদ্ধি করে এবং আবেশিত ইলেকট্রনের জন্য চ্যানেলের পরিবহন ক্ষমতা বৃদ্ধি পায় (Enhanced)। যেহেতু ধনাত্মক গেট ভোল্টেজ বৃদ্ধি পাচ্ছে, আবেশিত ইলেকট্রনের সংখ্যাও বৃদ্ধি পাবে, ফলে সোর্স হতে ড্রেনে চ্যানেলের মাধ্যমে পরিবহন ক্ষমতা বাড়বে এবং টার্মিনালসমূহে কারেন্ট প্রবাহের পরিমাণ বৃদ্ধি পাবে। তাই DE-MOSFET এর ধনাত্মক গেট অপারেশনকে এনহ্যান্সমেন্ট মোড (Enhancement mode) অপারেশন বলে।

এনহ্যান্সমেন্ট-অনলি N-চ্যানেল MOSFET-এর গঠন (Construction N-channel MOSFET) : এ প্রকার N-চ্যানেল MOSFET-কে বহুল পরিমাণে ডিজিটাল সার্কিটে ব্যবহার করা হয়। এটাকে আবার NMOS-ও বলা হয়। নিচের চিত্রে (a) এ NMOS এর গঠন দেখানো হলো–

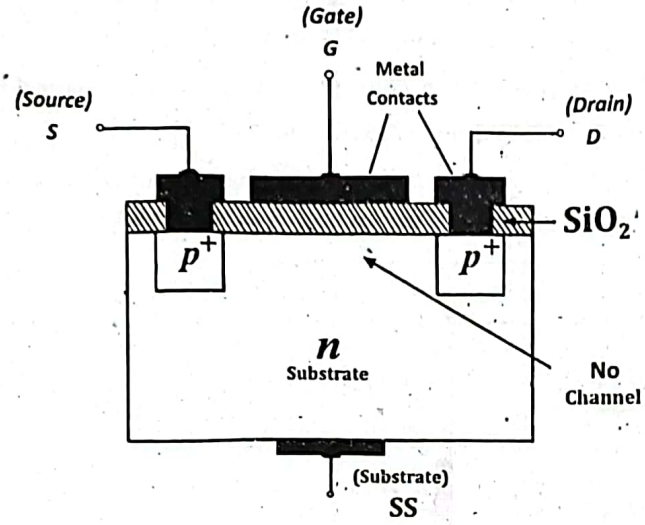


(a) N-চ্যানেল

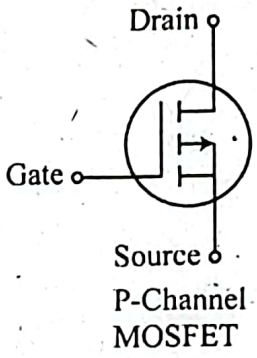


চিত্র : প্রতীক (N-চ্যানেল)

CamScanner



(b) P-চ্যানেল



চিত্র : প্রতীক (P-চ্যানেল)

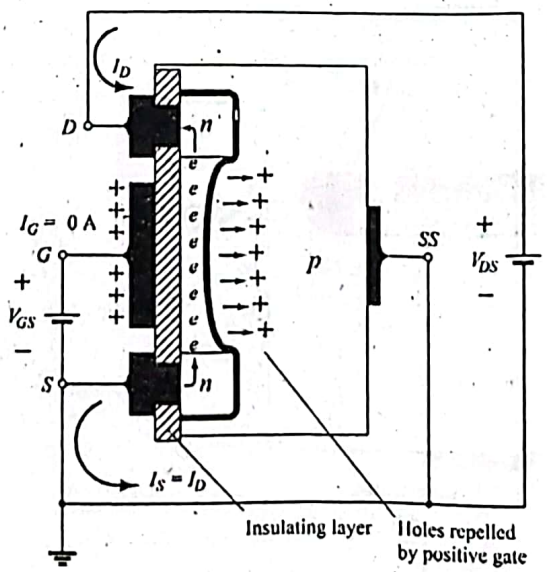
চিত্র : ২.৫ এনহ্যান্সমেন্ট অনলি মসফেট

এ প্রকার MOSFET-এ P সাবস্ট্রেটটি শুধুমাত্র ধাতব অক্সাইড লেয়ারে বিস্তৃত থাকে। গঠনগতভাবে সোর্স এবং ড্রেনের মধ্যকার স্থানে কোনো চ্যানেল তৈরি করা হয় না। তাই NMOS-কে ঋণাত্মক গেট ভোল্টেজে কখনো কাজ করানো যায় না; কারণ তা ড্রেন এবং সোর্সের মধ্যে ধনাত্মক চার্জের আবেশ সৃষ্টি করে। এই চার্জ ড্রেন এবং সোর্সের মধ্যে ইলেকট্রন প্রবাহিত হতে বাধা প্রদান করে। তাই তা ধনাত্মক গেট ভোল্টেজে শুধুমাত্র কাজ করে।

N-চ্যানেল MOSFET-টি হালকা P-টাইপ সাবস্ট্রেট এবং দুটো উচ্চ মাত্রার n^+ ডোপিংকৃত রিজিয়নের সমন্বয়ে গঠিত। এই n^+ সেকশনসমূহ সোর্স এবং ড্রেন হিসাবে কাজ করে। SiO_2-এর একটি পাতলা স্তর স্ট্রাকচারটির উপরিতলে তৈরি করা হয়। তারপর গেট তৈরির জন্য ধাতব পদার্থের পাতলা স্তর অক্সাইডের উপর ফেলা হয়, যা সম্পূর্ণ চ্যানেল রিজিয়নে আবদ্ধ করে থাকে। একইভাবে সোর্স এবং ড্রেনে ধাতব সংযোগ স্থাপন করে তিনটি প্রান্ত বের করা হয়।

এনহ্যান্সমেন্ট-অনলি N-চ্যানেল MOSFET-এর কার্যনীতি (Working principle of Enhancement-only N-channel MOSFET): নিচের চিত্রে উভয় N-চ্যানেল E-অনলি MOSFET এর স্বাভাবিক বায়াসিং পোলারিটি দেখানো হলো। $V_{GS} = 0$ হলে I_D-এর মান শূন্য হবে। কারণ শূন্য গেট ভোল্টেজে কোনো কন্ডাকটিং চ্যানেল তৈরি হয় না। এজন্য গেটে ধনাত্মক ভোল্টেজ প্রদান করা হয়। চিত্রে তা দেখানো হয়েছে।

যখন গেটে ধনাত্মক ভোল্টেজ প্রদান করা হয় তখন হোলসমূহ (প্রোটন) গেটে প্রযুক্ত হয়। P-সাবস্ট্রেটে অবস্থিত মাইনরিটি ক্যারিয়ার (ইলেকট্রন)-সমূহ গেটে প্রযুক্ত হোল কর্তৃক আকর্ষিত হয় এবং গেটের অপর পার্শ্বে ড্রেন এবং সোর্সের মাঝামাঝি জায়গায় জড়ো হয়। একে আবার N-টাইপ Inversion layer অথবা virtual N-চ্যানেল বলে। V_{GS}-এর মান থ্রেসহোল্ড ভোল্টেজ $V_{GS(th)}$ এর চেয়ে বেশি হলে চ্যানেলের মধ্য দিয়ে ড্রেন কারেন্ট I_D প্রবাহিত হবে।

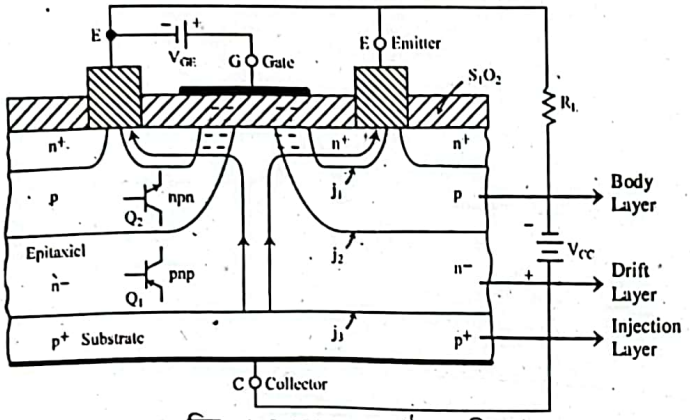


চিত্র : ২.৬ E-Only N-channel MOSFET-এর কার্যনীতি

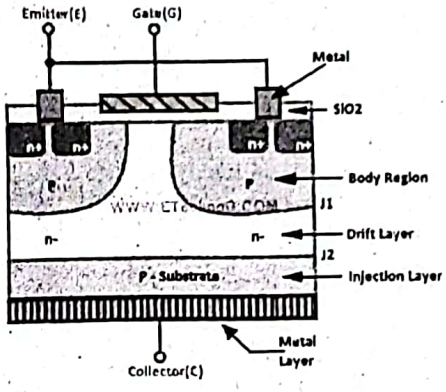
CamScanner

২.৪ IGBT-এর গঠন এবং কার্যপ্রণালি বর্ণনা (Description the construction and operation of IGBT) :

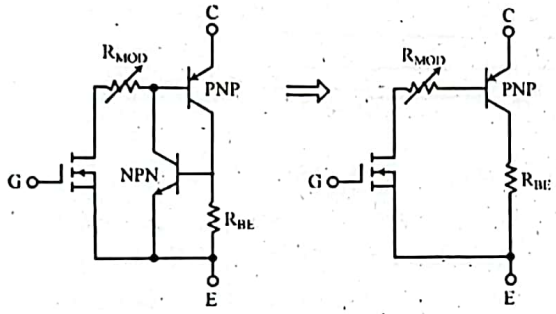
IGBT-এর গঠনপ্রণালি :



চিত্র : ২.৭ IGBT-এর গঠনপ্রণালি-১

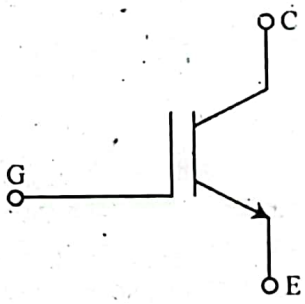


চিত্র : ২.৮ IGBT-এর গঠনপ্রণালি-২



(a) Equivalent circuit (b) Simplified circuit

চিত্র : ২.৯ সমতুল্য বর্তনী

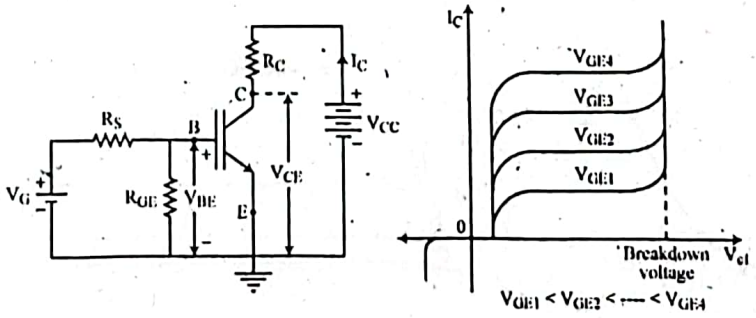


চিত্র : ২.১০ সার্কিট প্রতীক

উপরের ২.৭ এবং ২.৮ নং চিত্রে IGBT-এর গঠনপ্রণালি, ২.৯ (a) ও (b)-তে সমতুল্য বর্তনী এবং ২.১০ নং চিত্রে প্রতীক অঙ্কন করা হয়েছে।

মৌলিক গঠন (Basic structure) : উপরের ২.৭ ও ২.৮ নং চিত্রে এর মৌলিক গঠন দেখানো হয়েছে, যা পাওয়ার MOSFET এর মতো একই রকমের হয়ে থাকে। প্রধান পার্থক্য হলো এই যে, পাওয়ার MOSFET-এ n^+ টুকরার একটি স্তর (n^+ substrate layer) ড্রেইন (D) হিসেবে কাজ করে, যেখানে IGBT-তে P^+ টুকরার একটি স্তর (P^+ substrate layer) কালেক্টর (c) হিসেবে কাজ করে।

চিত্র ২.৯ (a) ২.৯ (b)-তে IGBT-এর সমতুল্য বর্তনী দেখানো হয়েছে। P^+, n^- এবং P একত্রে pnp ট্রানজিস্টর Q_1 গঠন করে, যেখানে n^-, P, n^+ (চিত্র : ২.৭) তিনটি স্তর নিয়ে npn ট্রানজিস্টর Q_2 গঠন করে। চিত্র নং ২.৯ (a)-তে সমতুল্য বর্তনী এবং ২.১০-এ প্রতীক অঙ্কন করা হয়েছে, যেখানে ইমিটার (Emitter = E), কালেক্টর (Collector = C) এবং গেট (Gate = G)– এই তিনটি টার্মিনাল বা পিন দেখানো হয়েছে।



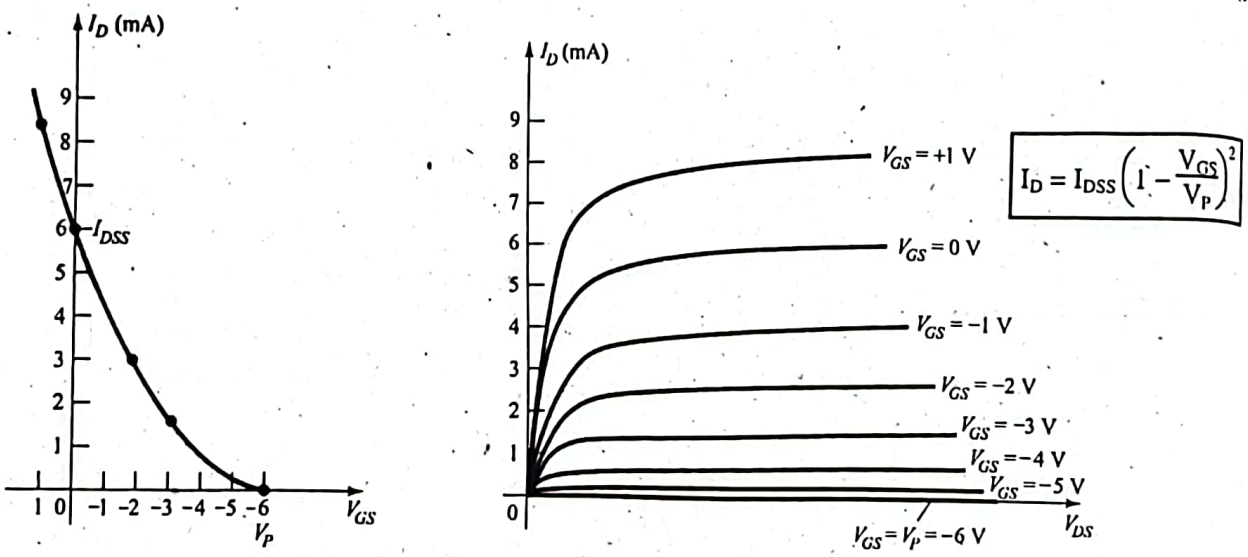
চিত্র : ২.১১ V-I বৈশিষ্ট্য কার্ভ

কার্যপ্রণালি (Operation) : যখন ইমিটারের সাপেক্ষে কালেক্টরে একটি পজিটিভ ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হয়, তখন J_2 জাংশনটি রিভার্স বায়াসপ্রাপ্ত হয় এবং IGBT ফরওয়ার্ড ব্লকিং মোডে অপারেট করে। এরপর গেট-ইমিটারে থ্রেশহোল্ড ভোল্টেজের চেয়ে বড় মানের ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হলে IGBT ফরওয়ার্ড ব্লকিং অবস্থা থেকে ফরওয়ার্ড কন্ডাকশন অবস্থায় আসে। এই অবস্থায় কারেন্ট n^+ এলাকা থেকে n^- এলাকায় প্রবাহিত হয়। আবার ফরওয়ার্ড কন্ডাকশন অবস্থার জন্য J_3 জাংশনটি ফরওয়ার্ড বায়াসপ্রাপ্ত হয়। ফলে হোলগুলো p^+ এলাকা হতে n^- এলাকাতে প্রবাহিত হয়। এভাবে IGBT বাইপোলার কারেন্ট প্রবাহের মাধ্যমে টার্ন-অন হয় এবং কালেক্টর কারেন্ট (I_C) প্রবাহিত হয়।

CamScanner

২.৫ MOSEFT এবং IGBT-এর V-I এবং সুইচিং বৈশিষ্ট্যরেখা (Mention the V-I characteris Switching characteristics of MOSFET and IGBT) :

DE MOSFET-এর স্ট্যাটিক বৈশিষ্ট্যসমূহ (Static characteristics of a DE MOSFET) : নিচের চিত্রে একটি কমন সোর্স N-চ্য DE MOSFET-এর V_{GS} এর মান + 1V থেকে V_P পর্যন্ত পরিবর্তনের জন্য ট্রান্সফার বৈশিষ্ট্যরেখা এবং ড্রেন কারেন্ট অঙ্কন করে দেখানো হ



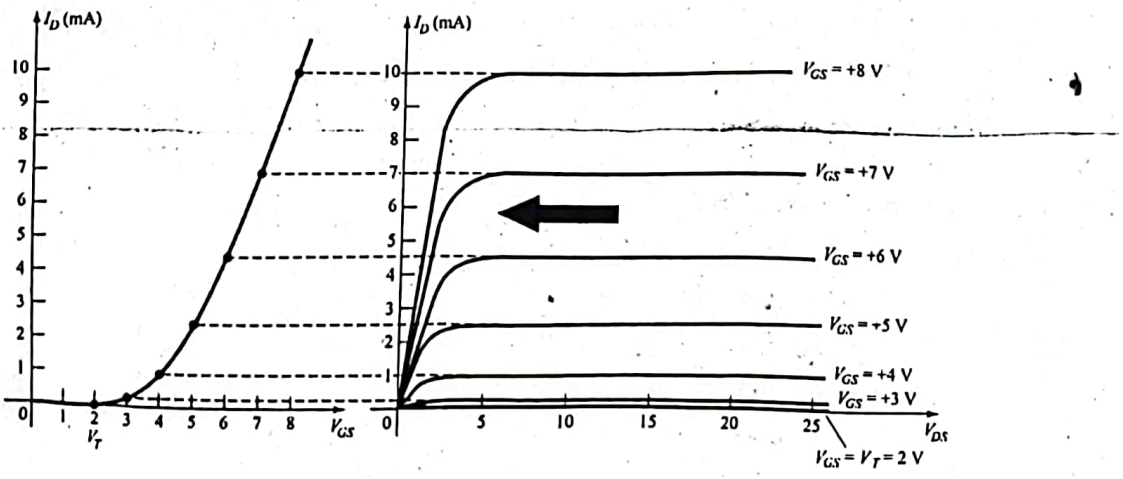
চিত্র : ২.১২ N-চ্যানেল ডিপ্লেশন মোড MOSFET-এর ট্রান্সফার ক্যারেকটারিস্টিক কার্ভ

সোর্সের সাপেক্ষে গেটটি ধনাত্মক হলে এটা এনহ্যান্সমেন্ট মোডে এবং গেটটি ঋণাত্মক হলে ডিপ্লেশন মোডে কাজ করবে। সাধারণত দ্বারা গেট সোর্স ভোল্টেজ যা সোর্স থেকে ড্রেনে কারেন্ট প্রবাহকে কাট অফ করে তার মানকে প্রকাশ করে।

চিত্র হতে দেখা যায়, গেট ভোল্টেজের উপরে আউটপুট কারেন্ট I_D নির্ভর করে। V_{GS}-এর মান কমাতে থাকলে ড্রেন কারেন্ট কমতে থা যখন $V_{GS} = V_P$ হয়, তখন ড্রেন কারেন্ট কার্যত শূন্য হয়ে যায়। যখন $V_{GS} = 0$ হয়, তখন ডিপ্লেশন মোডের জন্য সর্বোচ্চ কারেন্ট I_{DSS} প্রবাহি হয়। যখন V_{GS}-এর মান শূন্য থেকে বাড়তে থাকে তখন সেটি এনহ্যান্সমেন্ট মোডে কাজ শুরু করে।

N-চ্যানেল এনহ্যান্সমেন্ট মোড মসফেটের ড্রেন ক্যারেক্টারিসটিকস এবং ট্রান্সফার কার্ভ (The drain characteristics and transf curve of an N-channel enhancement type MOSFET) : নিচের চিত্রে একটি N-চ্যানেল এনহ্যান্সমেন্ট মোড MOSFET-এর ভো অ্যাম্পিয়ার ড্রেন বৈশিষ্ট্যরেখা অঙ্কন করে দেখানো হলো–

V_{GS}-এর মান শূন্য অথবা ঋণাত্মক হলে I_{DSS} এর মান অত্যন্ত কম হবে। V_{GS} এর মান ধনাত্মক হলে, I_D কারেন্ট বৃদ্ধি পেতে থাকবে এ তারপর V_{GS} এর মানের সাথে সাথে দ্রুত বৃদ্ধি পাবে।



চিত্র : ২.১৩ N-চ্যানেল এনহ্যান্সমেন্ট টাইপ MOSFET-এর ড্রেন এবং ট্রান্সফার বৈশিষ্ট্যসমূহ

যে সর্বনিম্ন গেট সোর্স ভোল্টেজে N-টাইপ ইনভার্শন স্তর তৈরি হয় এবং ড্রেন কারেন্ট প্রবাহিত হয়, তাকে থ্রেশহাল্ড ভোল্টেজ V_T বলে $V_{GS} > V_T$ হলে ড্রেন কারেন্ট প্রবাহিত হয়, অন্যদিকে $V_{GS} < V_T$ হলে, $I_D = 0$ হবে।

ট্রান্সফার বৈশিষ্ট্যরেখা হতে দেখা যায় V_{GS} এর মান থ্রেশহাল্ড ভোল্টেজ V_T অতিক্রম করলে I_D কারেন্ট প্রবাহিত হবে। V_{GS} এর মা ঋণাত্মক হলে খুবই অল্প মানের কারেন্ট ড্রেনের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়। এই কারেন্টকে লিকেজ ড্রেন কারেন্ট বলে।

CamScanner

২.৬ MOSFET এবং IGBT-এর তুলনামূলক পার্থক্য (Comparison between MOSFET and IGBT) :

MOSFET	IGBT
১। MOSFET = Metal-oxide semiconductor field effect transistor	১। IGBT = Insulated Gate Bipolar Transistor.
২। তিন টার্মিনাল বিশিষ্ট ডিভাইস যেমন– গেট (G), ড্রেইন (D), সোর্স (S)	২। তিন টার্মিনাল বিশিষ্ট ডিভাইস যেমন– গেট (G), ইমিটার (E) ও কালেক্টর (C)।
৩। সুইচিং স্পিড খুব বেশি।	৩। সুইচিং স্পিড খুব কম।
৪। খরচ খুবই কম।	৪। খরচ তুলনামূলক বেশি।
৫। নিম্ন ও মধ্যম ভোল্টেজ, পাওয়ার নিয়ন্ত্রণের জন্য উপযোগী।	৫। উচ্চ ভোল্টেজ ও উচ্চ পাওয়ার নিয়ন্ত্রণের জন্য উপযোগী।
৬। ব্যাবহার : PWM Circuits, Amplifiers, Digital Electronic Circuits ইত্যাদি।	৬। ব্যবহার : UPS, Inverter, VFD ইত্যাদি।

অনুশীলনী-২

HP অতি সংক্ষিপ্ত প্রশ্নোত্তর:

১। **MOSFET কী?**
অথবা, MOSFET-এর পূর্ণনাম লেখ। [বাকাশিবো-২০১০, ২২]

উত্তর: MOSFET-এর অর্থ হলো Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor. MOSFET-এর একটি সোর্স, গেট এবং ড্রেন থাকে। গেটে SiO_2-এর স্তরের সাহায্যে চ্যানেলের উপর পাতলা ইনসুলেশন দেয়া হয়। এই SiO_2 এর স্তর উচ্চ ইনপুট ইম্পিড্যান্স প্রদান করে, যার মান $10^{10}\Omega$ থেকে $10^{15}\Omega$ পর্যন্ত হয়ে থাকে।

২। **IGBT বলতে কী বুঝায়?**
অথবা, IGBT কী? [বাকাশিবো-২০২১]

উত্তর: IGBT অর্থ হলো ইন্সুলেটেড গেট বাইপোলার ট্রানজিস্টর (Insulated gate bipolar transistor), যা চার পরিবর্তনীয় PNPN স্তর দ্বারা তৈরি করা হয়।

৩। **পাওয়ার ট্রানজিস্টর কী?**

উত্তর: পাওয়ার ট্রানজিস্টর হলো একপ্রকার ট্রানজিস্টর, যা হাই-পাওয়ার অ্যাম্প্লিফায়ার এবং পাওয়ার সাপ্লাই-এর জন্য ব্যবহৃত হয়।

৪। **পাওয়ার ট্রানজিস্টর কত প্রকার ও কী কী?**
অথবা, Power transistor কয় প্রকার ও কী কী? [বাকাশিবো-২০১৬]
অথবা, Power transistor-এর প্রকারভেদ উল্লেখ কর। [বাকাশিবো-২০২০]

উত্তর: পাওয়ার ট্রানজিস্টর চার প্রকার, যথা–
১। বাইপোলার জাংশন ট্রানজিস্টর (BJT)
২। মেটাল অক্সাইড সেমিকন্ডাক্টর ফিল্ড ইফেক্ট ট্রানজিস্টর (MOSFET)
৩। স্ট্যাটিক ইন্ডাকশন ট্রানজিস্টর (SIT)
৪। ইন্সুলেটেড গেট বাইপোলার ট্রানজিস্টর (IGBT)।

৫। **IGBT-এর Voltage ও Current rating উল্লেখ কর।** [বাকাশিবো-২০১৬, ২০]

উত্তর: Voltage Rating High < 1kV
Current Rating High < 500A।

CamScanner