ফলিং টাইম (Falling time or Fall time) ঃ কোনো পালস ওয়েভের High state (1) থেকে Low state (0)-এ পৌছতে যে সময় লাগে, তাকে ফলিং টাইম বা ফল টাইম বলে। একে t_f দ্বারা প্রকাশ করা হয়। Falling time পালস ওয়েভ অ্যামপ্লিচুডের 90% থেকে 10% সময় পর্যন্ত হয়ে থাকে, যা ১.৩ নং চিত্রে দেখানো হয়েছে।

স্পন্দনের বিস্তার (Pulse width) ঃ স্পন্দনের উঠতি মাথার অর্ধমান (অর্থাৎ 50%) ও পড়তি মাথার অর্ধমান স্থান দুটির সময় ব্যবধানকে (t_w) স্পন্দনের বিস্তার বা Pulse width বলা হয়। চিত্র ১.৩-এ t_w দ্বারা Pulse width বুঝানো হয়েছে।

ডিউটি সাইকেল (Duty cycle) ঃ কোন পিরিয়ডিক পালস ওয়েভের পালস উইডথ টাইম (t_w) এবং পিরিয়ড (T) এর অনুপাতের শতকরা হারকে ডিউটি সাইকেল বলে।

অর্থাৎ, $\text{Duty cycle} = \frac{tw}{T} \times 100\%$

ফ্রিকুয়েন্সি (Frequency) ঃ কোন পরিবর্তনশীল রাশি প্রতি সেকেন্ডে যতগুলো সাইকেল সম্পন্ন করে, তাকে ফ্রিকুয়েন্সি বলে। একে f দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

অর্থাৎ, $\text{Frequency (f)} = \frac{\text{No. of cycles}}{\text{Time}}$,

$$f = \frac{1}{T}$$

টাইম পিরিয়ড (Time period) ঃ একটি পূর্ণ সাইকেল সম্পন্ন হতে যে সময়ের প্রয়োজন হয়, তাকে টাইম পিরিয়ড বলে। একে T দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

অর্থাৎ, $T = \frac{1}{f}$.

অনুশীলনী-১

অতি সংক্ষিপ্ত প্রশ্নোত্তর ঃ

১। **ডিজিটাল সিগন্যাল বলতে কী বুঝায়?** [বাকাশিবো-২০০৯(পরি), ১২, ১২(পরি), ১৩(পরি), ১৪(পরি

অথবা, Digital Signal কাকে বলে? [বাকাশিবো-২০১৪(পরি), ১৫(পরি

অথবা, Digital Signal কী? [বাকাশিবো-২০১১(পরি), ১৯(পরি

অথবা, ডিজিটাল সিগন্যাল কী? [বাকাশিবো-২০১৮(পরি), ১

উত্তর ঃ ডিজিটাল সিগন্যাল বলতে বুঝায় যে সংকেত বা প্রতীকের মাত্র দুটি নির্ধারিত স্তর থাকে।

২। **ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্স কাকে বলে?**

অথবা, ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্স বলতে কী বুঝায়? [বাকাশিবো-২০১২, ১৩, ১৫, ২

অথবা, Digital electronics বলতে কী বুঝায়? [বাকাশিবো-২০১১(পরি), ১৫ (পরি), ১৬(পরি), ১

উত্তর ঃ যে সংকেত বা প্রতীকের মাত্র দু'টি নির্ধারিত স্তর থাকে, কোন অজানা অবস্থা থাকে না এবং যার স্তর দুটি সময়ে সাথে ধাপে ধাপে পরিবর্তিত হয় এবং ধাপসমূহের মান নির্দিষ্ট থাকে, তাকে ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্স বলে।

৩। **লজিক লেভেল কাকে বলে?**

অথবা, ডিজিটাল সিগন্যাল এর Logic level বলতে কী বুঝায়? [বাকাশিবো-২০১৩(পরি), ১

উত্তর ঃ Binary '1' এবং '0' নির্দেশ করার জন্যে যে ভোল্টেজ ব্যবহার করা হয়, তাকে লজিক লেভেল বলে।

অধ্যায়-২
সংখ্যা পদ্ধতি ও বাইনারি অ্যারিথমেটিক অপারেশন
(Number System and Binary Arithmetic Operation)

২.০ ভূমিকা (Introduction) ঃ

সংখ্যা পদ্ধতি ঃ সংখ্যা পদ্ধতি বা নাম্বার সিস্টেমকে বিভিন্নভাবে সংজ্ঞায়িত করা যায়। তবে Basically কোনো সংখ্যা লেখা, উপস্থাপন বা একই Number-কে ভিন্ন উপায়ে উপস্থাপন করার পদ্ধতিকেই সংখ্যা পদ্ধতি বা Number System বলে। এক কথায়, যে পদ্ধতিতে কোনো কিছুকে সংখ্যায় গণনা করা বা প্রকাশ করা হয়, তাকে সংখ্যা পদ্ধতি বলে।

সংখ্যা পদ্ধতি, বাইনারি, অক্টাল, ডেসিমেল, হেক্সাডেসিমেল সম্পর্কে জ্ঞান অর্জন করতে হবে, যাতে ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্স লজিক ও অ্যারিথমেটিক অপারেশন সম্পর্কে বিস্তারিত জানা যায়।

২.১ ডেসিমেল, বাইনারি, অক্টাল এবং হেক্সাডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতির বর্ণনা (Describe decimal, binary, octal and hexadecimal number system) ঃ

● **ডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতি (Decimal number system) ঃ** ডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতির ভিত্তি 10। ডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতিতে 0 হতে 9 এই দশটি প্রতীক ব্যবহার করা হয়। দশটি প্রতীক ব্যবহার করা হয় বলে এ পদ্ধতিকে দশভিত্তিক সংখ্যা পদ্ধতিও বলা হয়।

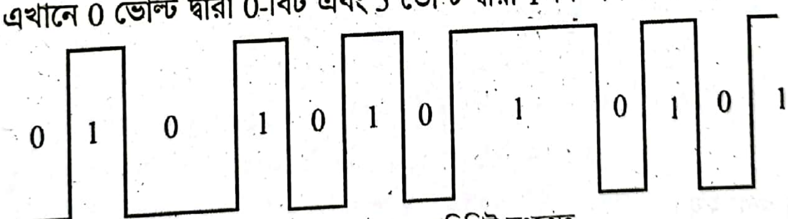
d_i যদি ডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতির কোন সংখ্যার i-তম প্রতীক হয়, তবে $d_i \times 10^{i-1}$ হবে প্রতীকটির স্থানীয় মান। n অঙ্কবিশিষ্ট কোন সংখ্যা X হলে,

$$X = (d_n\, d_{n-1} \ldots\ldots d_3\, d_2\, d_1)_{10}$$

এবং অঙ্কগুলোর স্থানীয় মানের সাহায্যে এটা নিম্নলিখিত উপায়ে প্রকাশ করা যায়–

$$X = d_n \times 10^{n-1} + d_{n-1} \times 10^{n-2} + \ldots + d_3 \times 10^2 + d_2 \times 10^1 + d_1 \times 10^0$$

● **বাইনারি সংখ্যা পদ্ধতি (Binary number system) ঃ** বাইনারি অর্থ দুই। যে পদ্ধতিতে 0, 1 এই দুটি ডিজিট এর মাধ্যমে সংখ্যা প্রকাশ করা হয়, তাকে বাইনারি সংখ্যা পদ্ধতি বলে। এই পদ্ধতির 0 এবং 1 এই অঙ্ক দু'টিকে সংক্ষেপে বিট (Bit–Binary digit) বলা হয়। বাইনারি পদ্ধতি হলো সরলতম গণনা পদ্ধতি। এই পদ্ধতির বিট দুটিকে সহজে ইলেকট্রনিক উপায়ে নির্দিষ্ট করা সম্ভব। তাই ইলেক্ট্রনিক যন্ত্রে এই পদ্ধতির ব্যবহার সুবিধাজনক। ২.১ নং চিত্রে 0 ও 1 এই বিট দু'টিকে দুই অবস্থাবিশিষ্ট বিদ্যুৎ তরঙ্গ দ্বারা দেখানো হয়েছে। এখানে 0 ভোল্ট দ্বারা 0-বিট এবং 5 ভোল্ট দ্বারা 1-বিট নির্দেশ করা হয়েছে।



চিত্র ঃ ২.১ দুই অবস্থাবিশিষ্ট সংকেত

উল্লেখ্য যে, দশমিক পদ্ধতিতে 1 হতে 9 পর্যন্ত গণনার জন্য একটি স্থান দরকার এবং তারপর দ্বিতীয় বা অন্যান্য স্থান ব্যবহার করা হয়, যেমন– 9 এর পর 10 হয়। তেমনি বাইনারি পদ্ধতির 0 এবং 1 গণনার জন্য একটি স্থান, তারপর অর্থাৎ প্রথম স্থান শেষ হলে দ্বিতীয় বা অন্যান্য স্থানের প্রয়োজন হয়, যেমন– 0 এর পর 1 এবং 1 এর পর 10 হয় ইত্যাদি। উল্লেখ্য যে, দশমিক 99 এর পর যেমন 100 হয় তেমনি বাইনারি সংখ্যায় 11 এর পর 100 হয়।

বাইনারি সংখ্যার স্থানীয় মান নির্ণয়ের ক্ষেত্রে নিচে একটি উদাহরণ দিয়ে দেখানো হলো।

1 1 1 1

$1 \times 2^0 = 1$

$1 \times 2^1 = 2$

$1 \times 2^2 = 4$

$1 \times 2^3 = 8$

অর্থাৎ বাম থেকে ডান দিকে সংখ্যার স্থানীয় মান 8, 4, 2, 1.

দশমিকের মতো বাইনারি পদ্ধতিতেও অঙ্কের স্থানিক মান থাকে। যেমন– 1011 বাইনারি সংখ্যাটির স্থানিক মান নিম্নে দেখানো হলো–

$(1011)_2 = 1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+1\times2^0$

এখানে 2 হলো বাইনারি সংখ্যার ভিত। উপরের সমীকরণ হতে বাইনারি $(1011)_2$ সংখ্যার দশমিক মানও নির্ণয় করা সম্ভব।

যেমন–

$$\begin{aligned}(1011)_2 &= 1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+1\times2^0\\ &= 1\times2\times2\times2+0\times2\times2+1\times2+1\times1\\ &= 8+0+2+1=(11)_{10}\end{aligned}$$

উদাহরণ-১। (11011) এর দশমিক মান কত?

সমাধান ঃ $(11011)_2 = 1\times2^4+1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+1\times2^0$

$$\begin{aligned}&= 16+8+0+2+1\\ &= (27)_{10}\end{aligned}$$ **(উত্তর)**

● **অক্টাল সংখ্যা পদ্ধতি (Octal number system) ঃ** অক্টাল অর্থ আট। অর্থাৎ, যে পদ্ধতিতে 0 থেকে 7 এই আটটি ডিজিট এর মাধ্যমে সংখ্যা প্রকাশ করা হয়, তাকে অক্টাল পদ্ধতি বলে। এই সংখ্যা পদ্ধতির ভিত আট। আধুনিক কম্পিউটার উন্নয়নের প্রাথমিক অবস্থায় এবং মাইক্রোকম্পিউটারে এই গণনা পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়। নিম্নে একটি উদাহরণের সাহায্যে অক্টাল ও দশমিক পদ্ধতির সম্পর্ক দেখানো হলো–

উদাহরণ-২। $(41)_8 = 4\times8^1+1\times8^0$

সমাধান ঃ $= 4\times8+1=(33)_{10}$ অর্থাৎ $(41)_8=(33)_{10}$

● **হেক্সাডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতি (Hexadecimal number system) ঃ** হেক্সাডেসিমেল অর্থ ষোড়শ বা ষোলো। অর্থাৎ, যে পদ্ধতিতে সকল সংখ্যাকে 0–৯ এবং পরবর্তীতে A, B, C, D, E, F এই 16টি ডিজিট দ্বারা প্রকাশ করা হয়, তাকে হেক্সাডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতি বলে। এই সংখ্যা পদ্ধতির ভিত 16। ছোট-বড় অনেক কম্পিউটারে এই গণনা পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়।

এখানে,

A = 10
B = 11
C = 12
D = 13
E = 14

এবং F = 15 তে প্রকাশ করা হয়।

উদাহরণ-৩। $(41)_{16} = 4\times16^1+1\times16^0$

সমাধান ঃ

$$\begin{aligned}&= 4\times16+1\times1\\ &= 64+1\\ &= 65\end{aligned}$$

অর্থাৎ, $(41)_{16} = (65)_{10}$

কম্পিউটারের অভ্যন্তরীণ প্রক্রিয়াকরণের কাজ একমাত্র বাইনারি পদ্ধতিতে সংঘটিত হয় এবং অভ্যন্তরীণ কাজের ব্যাখ্যার জন্য দরকার হয়। অসংখ্য 0 এবং 1 বিটের ক্রিয়া প্রক্রিয়া বর্ণনা 0 এবং 1 দিয়ে এ ধরনের বর্ণনা লেখা খুবই বিরক্তিকর এবং তাতে ভুলের সম্ভাবনাও বেশি। সেজন্য অক্টাল ও হেক্সাডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতিদ্বয়কে সাধারণত বাইনারি সংখ্যার সংক্ষিপ্ত সংকেত হিসেবে ব্যবহার করা হয়।

বেস বা Radix ঃ কোনো সংখ্যা পদ্ধতিতে ব্যবহৃত প্রতীকের সংখ্যাকে ঐ সংখ্যা পদ্ধতির বেস বা Radix বলে।

Binary, Octal, Decimal এবং Hexadecimal সংখ্যার তুলনামূলক চিত্র ঃ

Number System	Digit	Total সংখ্যা	Base	Notation
Binary	0, 1	2টি	2	$(10)_2$
Octal	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	8 টি	8	$(47)_8$
Decimal	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	10টি	10	$(48)_{10}$
Hexadecimal	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F	16টি	16	$(4A)_{16}$

২.২ সংখ্যা পদ্ধতির রূপান্তর (Conversion of one number system to another) ঃ

● বাইনারি হতে দশমিকে রূপান্তর (Conversion of Binary to Decimal) ঃ

বাইনারি সংখ্যার প্রতিটি 1-এর স্থানিক মান যোগ করে সংখ্যাটির সমকক্ষ দশমিক মান নির্ণয় করা যায়।

উদাহরণ-৪ । নিম্নের বাইনারি সংখ্যাগুলোর দশমিক মান নির্ণয় কর।

(ক) $(10110)_2$ (খ) $(0.1011)_2$ (গ) $(101.111)_2$

সমাধান ঃ

(ক) $(10110)_2 = 1\times2^4+0\times2^3+1\times2^2+1\times2^1+0\times2^0$
$= 16+0+4+2+0$
$= (22)_{10}$ **(উত্তর)**

(খ) $(0.1011)_2 = 0\times2^0+1\times2^{-1}+0\times2^{-2}+1\times2^{-3}+1\times2^{-4}$
$= 0+\frac{1}{2}+0+\frac{1}{8}+\frac{1}{16}$
$= 0+0.5+0+0.125+0.0625$
$= (0.6875)_{10}$ **(উত্তর)**

(গ) $(101.111)_2 = 1\times2^2+0\times2^1+1\times2^0+1\times2^{-1}+1\times2^{-2}+1\times2^{-3}$
$= 4+0+1+\frac{1}{2}+\frac{1}{4}+\frac{1}{8}$
$= 5+0.5+0.25+0.125$
$= (5.875)_{10}$ **(উত্তর)**

● দশমিক হতে বাইনারিতে রূপান্তর (Conversion of decimal to binary) ঃ

দশমিক হতে বাইনারি সংখ্যার রূপান্তরের অনেক প্রক্রিয়া আছে। এখানে একটি সহজ প্রক্রিয়া নিয়ে সংক্ষেপে আলোচনা করা হলো। দশমিক পূর্ণ সংখ্যাকে বাইনারিতে রূপান্তরের জন্য ভাগফল 0 না হওয়া পর্যন্ত সংখ্যাটিকে অনবরত 2 দিয়ে ভাগ করার পর ভাগের অবশিষ্টগুলোকে একত্র করে সংখ্যাটির সমকক্ষ বাইনারি মান পাওয়া যায়।

উদাহরণ-৫ । নিম্নের দশমিক সংখ্যাগুলোকে বাইনারি সংখ্যায় রূপান্তর কর।

(ক) $(14)_{10}$ (খ) $(21)_{10}$

সমাধান ঃ (ক)

	ভাগফল	অবশিষ্ট	
$\frac{14}{2} =$	7	0 (সর্বনিম্ন গুরুত্বের অঙ্ক)	
$\frac{7}{2} =$	3	1	L.S.B
$\frac{3}{2} =$	1	1	
$\frac{1}{2} =$	0	1 (সর্বোচ্চ গুরুত্বের অঙ্ক)	M.S.B

অতএব, $(14)_{10} = (1110)_2$। এই রূপান্তরে শেষ অবশিষ্টটি সবচেয়ে বেশি গুরুত্বের অঙ্ক এবং প্রথম অবশিষ্টটি সবচেয়ে কম গুরুত্বের অঙ্ক।