فصل ششم

دستگاههای اندازه گیری دیجیتال

متناظر با فصل 13 کتاب.

دستگاههای اندازه گیری دیجیتال

مقدمه

فرکانس متر دیجیتال

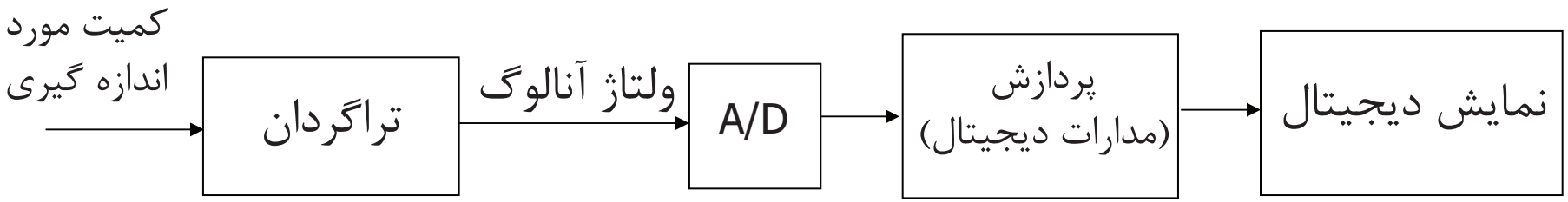
A/D و D/A

مولتیمتر دیجیتال

اسیلوسکوپ دیجیتال

مقدمه

رشد سریع تکنولوژی دیجیتال باعث گسترش روزافزون دستگاههای اندازه گیری دیجیتال و جایگزین شدن آنها بجای دستگاههای آنالوگ شده است. البته بعضی دستگاهها فقط نمایش دیجیتال دارند (digital readout) و ما معمولا دستگاه اندازه گیری ای را دیجیتال گوییم که علاوه بر مرحله نمایش ، مرحله میانی (پردازش سیگنال) نیز دیجیتال باشد. در این صورت:



در حالی که در دستگاههای digital readout پردازش بصورت آنالوگ انجام میشود و بعد نوعی مبدل دیجیتال ساده و نمایش دیجیتال داریم مثل کنتور برق. در دستگاههای انحرافی نمایش بصورت آنالوگ (عقربه ای) میباشد و مبدل A/D خود استفاده کننده است.

× مزایای نمایش دیجیتال:

1- سهولت و سرعت قرائت

2- کاهش خطای انسانی در قرائت و تخمین محل عقربه (حذف خطای پارالاکس)

× مزایای دستگاههای دیجیتال:

1- معمولاً صحت و دقت دستگاههای دیجیتال بیشتر است (کم اثرتر بودن نویز در آنها) (در انواع معمولی ولتمتر مثلا 0.1% بجای 2-3%)(در صورت قیمت یکسان) .

2- کوچکی و کم وزنی .

3- رزولوشن بیشتر . مثلا در یک مولتیمتر 4 رقمی 1000 از 1001 متمایز میشود.یعنی 1 ولت در 1000 ولت قابل تشخیص است که چنین قدرت تفکیکی را در یک ولتمتر معمولی نداریم .

4- امکانات بیشتر مانند Auto ranging و تشخیص اتوماتیک پلاریته .

5- سهولت ارتباط با کامپیوتر و امکان استفاده از کامپیوتر به عنوان مرکز کنترل دستگاههای مختلف اندازه گیری و CAM

(Computer Aided Measurement)

کتاب فصلی در مورد اتصال دستگاههای اندازه گیری به کامپیوتر و IEEE488 و GPIB دارد که می توانید مطالعه کنید .

البته در دستگاههای دیجیتال تا به قرائت پایدار برسیم ممکن است مدتی طول بکشد. بعلاوه تغییرات کمیت مورد اندازه گیری ممکن است بصورت تغییرات عدد مورد نمایش آزاردهنده باشد لذا سرعت سنج اتومبیل را آنالوگ میسازند .

بعضی سنجه های دیجیتال برای حل این مشکل از bargraph شبه آنالوگ علاوه بر نمایش دیجیتال استفاده می کنند تا دیدن تغییرات کمیت و ماکزیمم و می نیمم آسان شود .

دستگاههای اندازه گیری دیجیتال

مقدمه

فرکانس متر دیجیتال

A/D و D/A

مولتیمتر دیجیتال

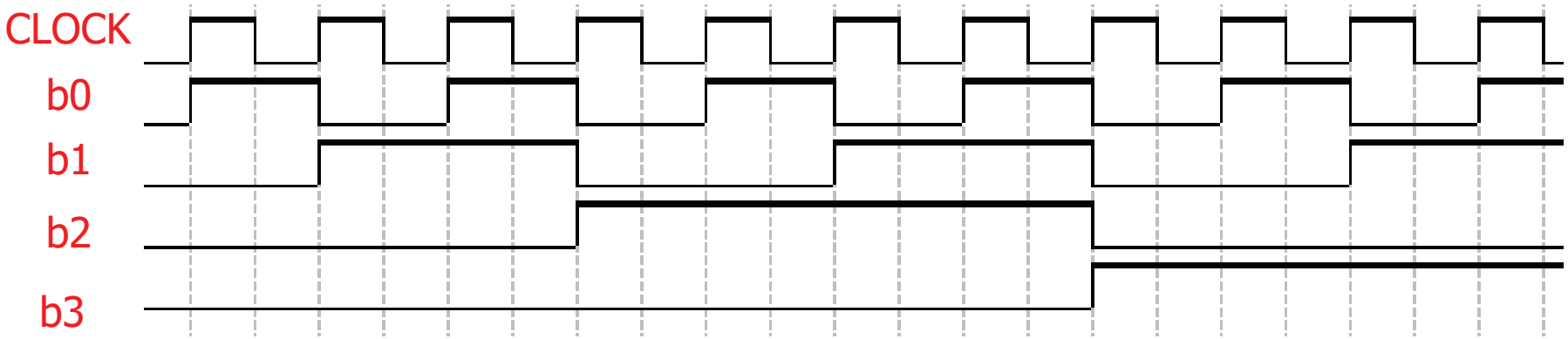
اسیلوسکوپ دیجیتال

فرکانس متر دیجیتال
Digital Frequency Meter
Digital Counter , Universal Timer/Counter

دستگاهی است که بوسیلهٔ آن می توان فرکانس یک سیگنال یا پریود آن یا فاصلهٔ زمانی بین دو واقعه را اندازه گرفت. برای اندازه گیری فرکانس تاکنون روش پل وتستون و اسکوپ را دیدیم و نیز اشاره کردیم که روشهای متعدد دیگری نیز وجود دارند مانند الکترودینامومتری، ارتعاش، نسبت سنجی، فرودینامیکی و نیز روش zero beat و غیره .برای اندازه گیری زمان نیز روشهایی مثل استفاده از ثابت زمانی شارژ خازن وجود دارد ولی استفاده از فرکانس متر (کانتر) روش بهتر و دقیقتر و ساده تری است.

Counter :

Counter قلب دستگاه فرکانس متر است. بوسیلهٔ Counter می توان شمارش تعداد پالسهای ورودی (clock) و نیز تقسیم فرکانسی را انجام داد. مثلاً برای Counter 4 بیتی:



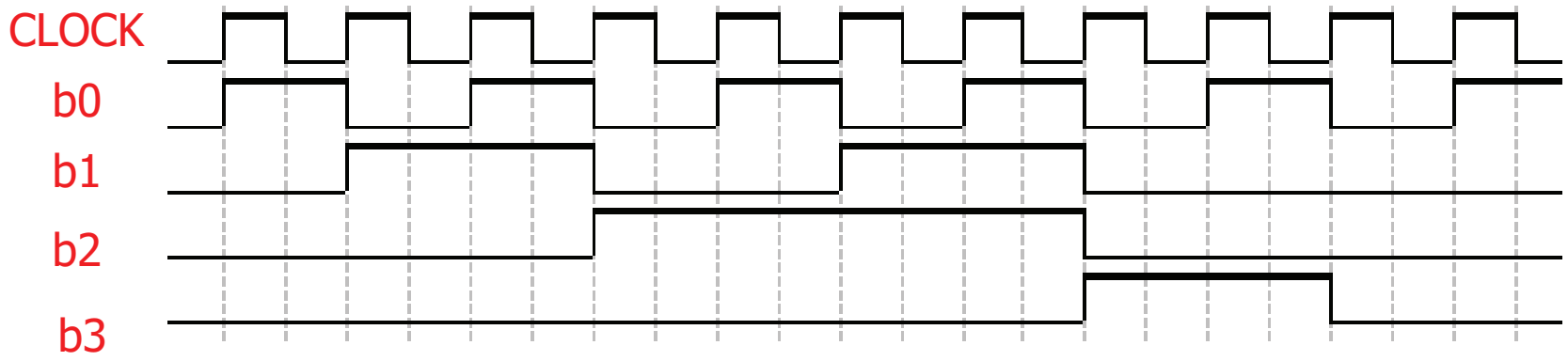
Binary Counter

b3	b2	b1	b0
0	0	0	0
0	0	0	1
0	0	1	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	0	1
0	1	1	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	0	1
1	1	1	0
1	1	1	1

پس فرکانس b0 ، 1/2 ، فرکانس b1 ، 1/4 ، فرکانس b2 ، 1/8 و فرکانس b3 ، 1/16 فرکانس clock است .

بنابراین می توان تقسیم فرکانسی به 2^n نمود.

ممکن است خروجی Counter در مبنای ده باشد . در آن صورت تقسیم فرکانسی به 10 هم می توان نمود.

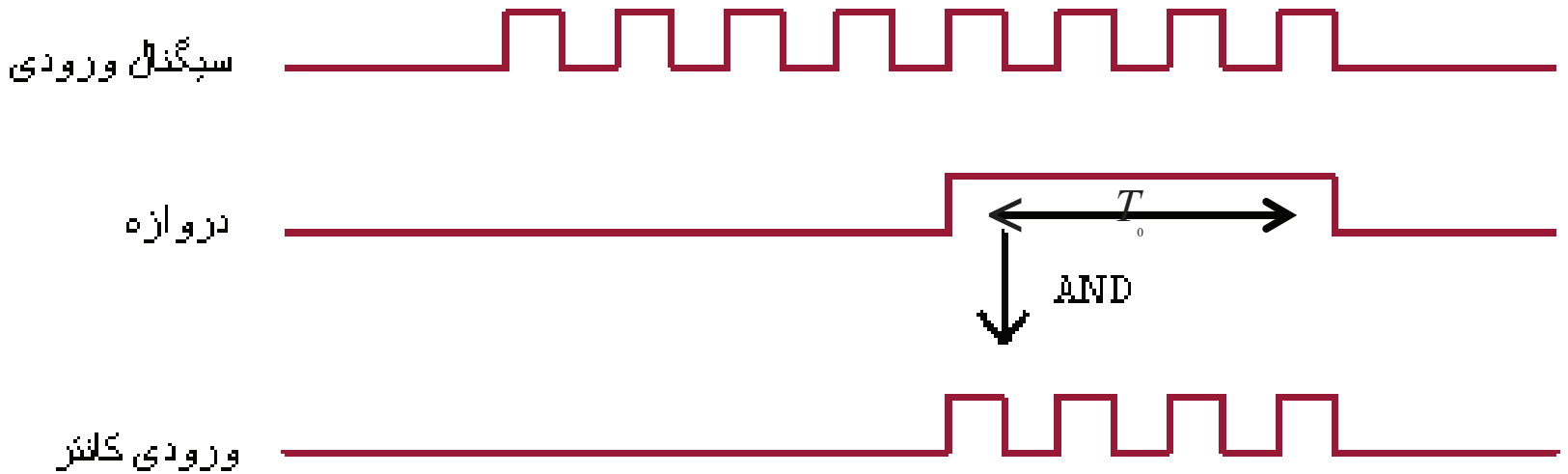


BCD Counter

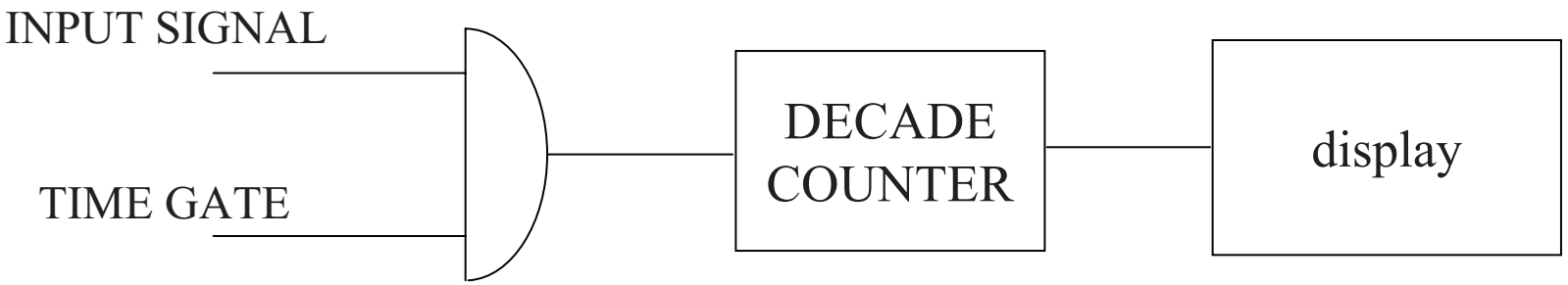
b3	b2	b1	b0
0	0	0	0
0	0	0	1
0	0	1	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	0	1
0	1	1	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	0	1

1) اندازه گیری فرکانس :

برای اندازه گیری فرکانس کافی است تعداد پالسهای ورودی در یک زمان مشخص را بشماریم. سیگنال gate (دروازه)دارای طول مشخصی است (مثلاً یک ثانیه).



بلوک دیاگرام فرکانس متر:

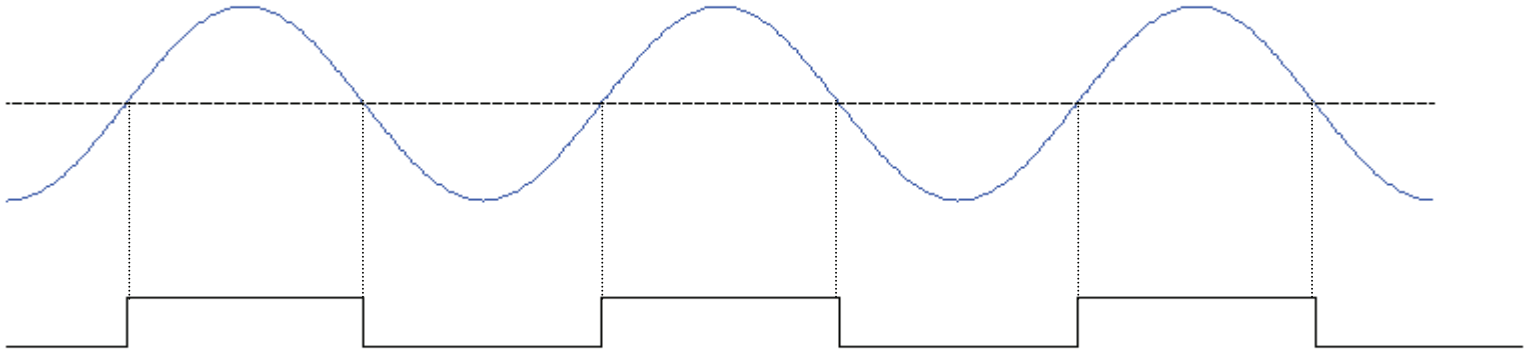


خروجی Decade Counter بصورت کد BCD می باشد تا برای نمایش 7 Segment ، تبدیل مبنا لازم نباشد.

$$f_{in} = \frac{N}{T_0}, N = f_{in} T_0$$

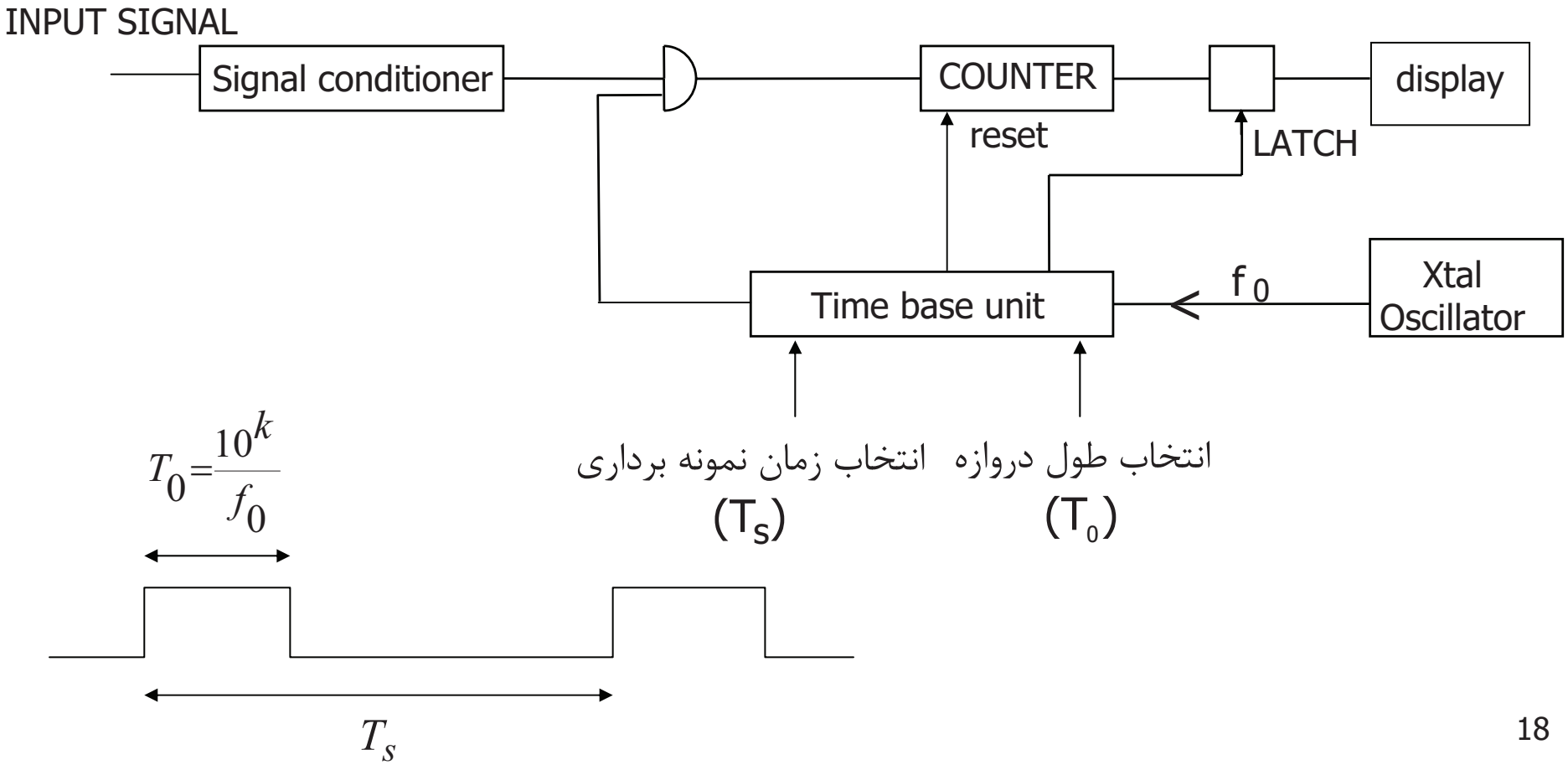
اگر طول دروازه زمانی 1 ثانیه باشد عدد کانتر بیانگر متوسط فرکانس سیگنال در طول 1 ثانیه میباشد و اگر طول دروازه 0.1 ثانیه باشد، بیانگر فرکانس بر حسب 10 هرتز میباشد . یعنی با تغییر طول دروازهٔ زمانی (0.01s,0.001s, 0.1s , 1s ,10s) محل ممیز در نمایش تغییر داده می شود.

در عمل سیگنال ورودی به شکل مربعی نیست . لذا مداری در ورودی برای مناسب کردن سیگنال (Signal Conditioning) بکار می رود، که سیگنال ورودی را تقویت (یا تضعیف) کرده با سطح آستانه مقایسه می کند . مثلا سیگنال ورودی را AC couple کرده با آستانه صفر مقایسه میکند.سطح آستانه در بعضی کانترها قابل اضافه است. و در بعضی 3 سطح قابل انتخاب است . در بعضی کانترها میزان هیسترزیس نیز قابل تغییر است.

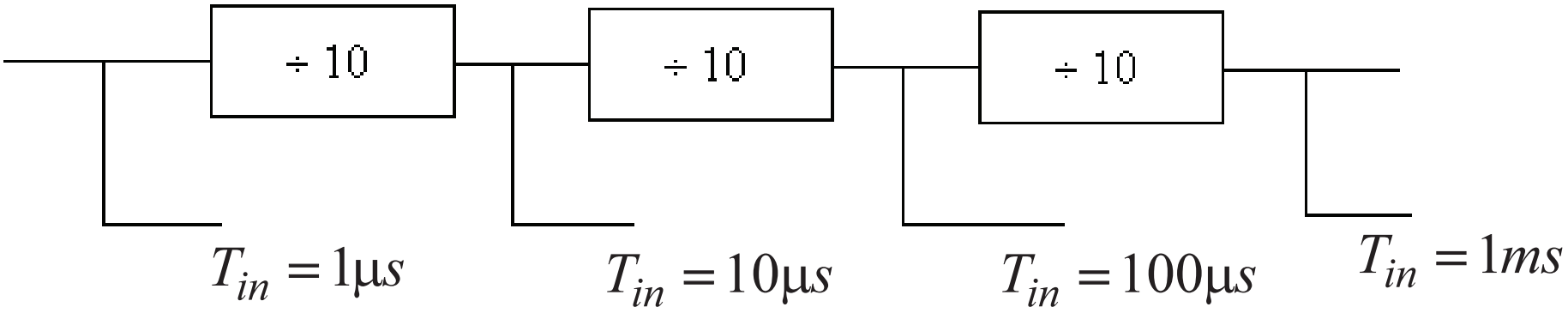


نکته: صحت این فرکانس متر شدیداً وابسته به این است که T (طول دروازهٔ زمانی) کاملاً صحیح باشد. برای این منظور از اسیلاتورهای کریستالی استفاده می شود که فرکانس خروجی بسیار صحیح و پایداری دارند. صحت اسیلاتورهای کریستالی در حدود PPM است . ولی این اسیلاتورها فرکانسهای بالایی درحدود MHz دارند. لذا از تقسیم کنندهٔ فرکانسی استفاده می شود .

بلوک دیاگرام کاملتر:



همچنین میتوان با گذاشتن تقسیم کننده در ورودی ، فرکانس ورودی را بر 10^k تقسیم کرد.



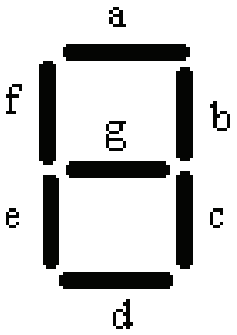
ممکن است فرکانس سیگنال ورودی با گذشت زمان عوض شود. لذا لازمست که اندازه گیری (شمارش) به دفعات تکرار شود و درواقع یکسره درحال شمردن باشیم. برای این کار لازمست که کانتر Reset شود و gate pulse دوباره اعمال شود. درواقع gate pulse هر T_s ثانیه یکبار تکرار می شود و قبل از اعمال gate pulse باید کانتر Reset شود.

وقتی کانتر Reset می شود برای اینکه روی نمایشگر فقط عدد نهایی هر شمارش را ببینیم و مراحل میانی شمارش را نبینیم، از یک Latch استفاده می گردد که با فرمان واحد مبنای زمانی ، ورودی را از Counter گرفته و حفظ می کند .

دو چیز در واحد مبنای زمانی قابل تنظیم است:

- انتخاب T_0
- انتخاب T_S

برای نمایش از 7-Segment استفاده می کنند که شامل هفت LED است یا از LCD استفاده می گردد . LCD جریان مصرفی کمتری دارد ولی در تاریکی معلوم نیست .



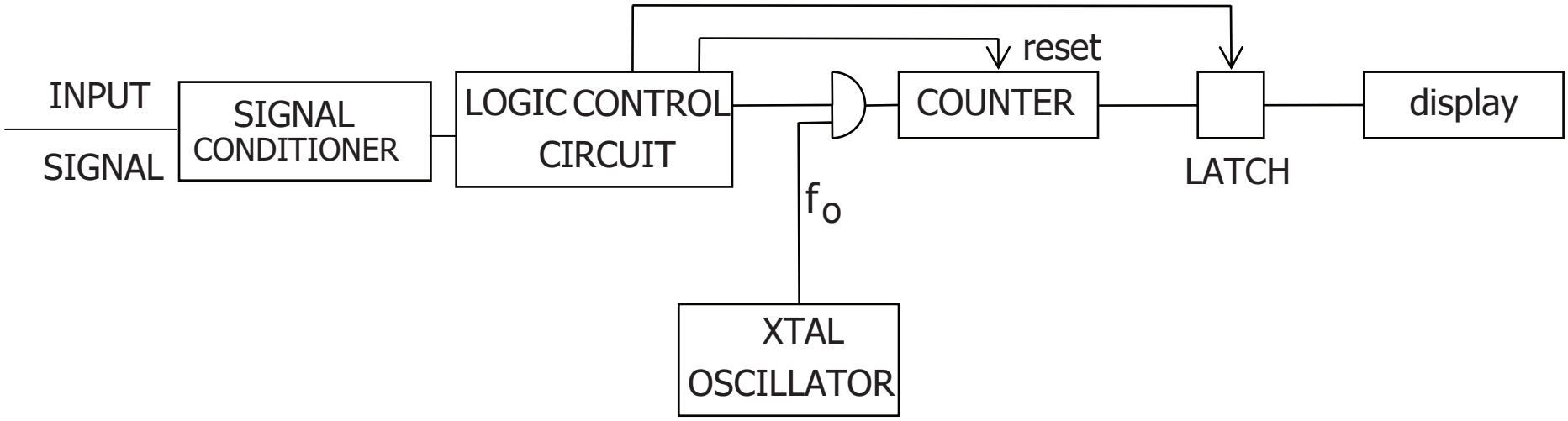
اکثر فرکانس مترها، اتصالی برای مبنای زمانی خارجی دارند ، دراین صورت :

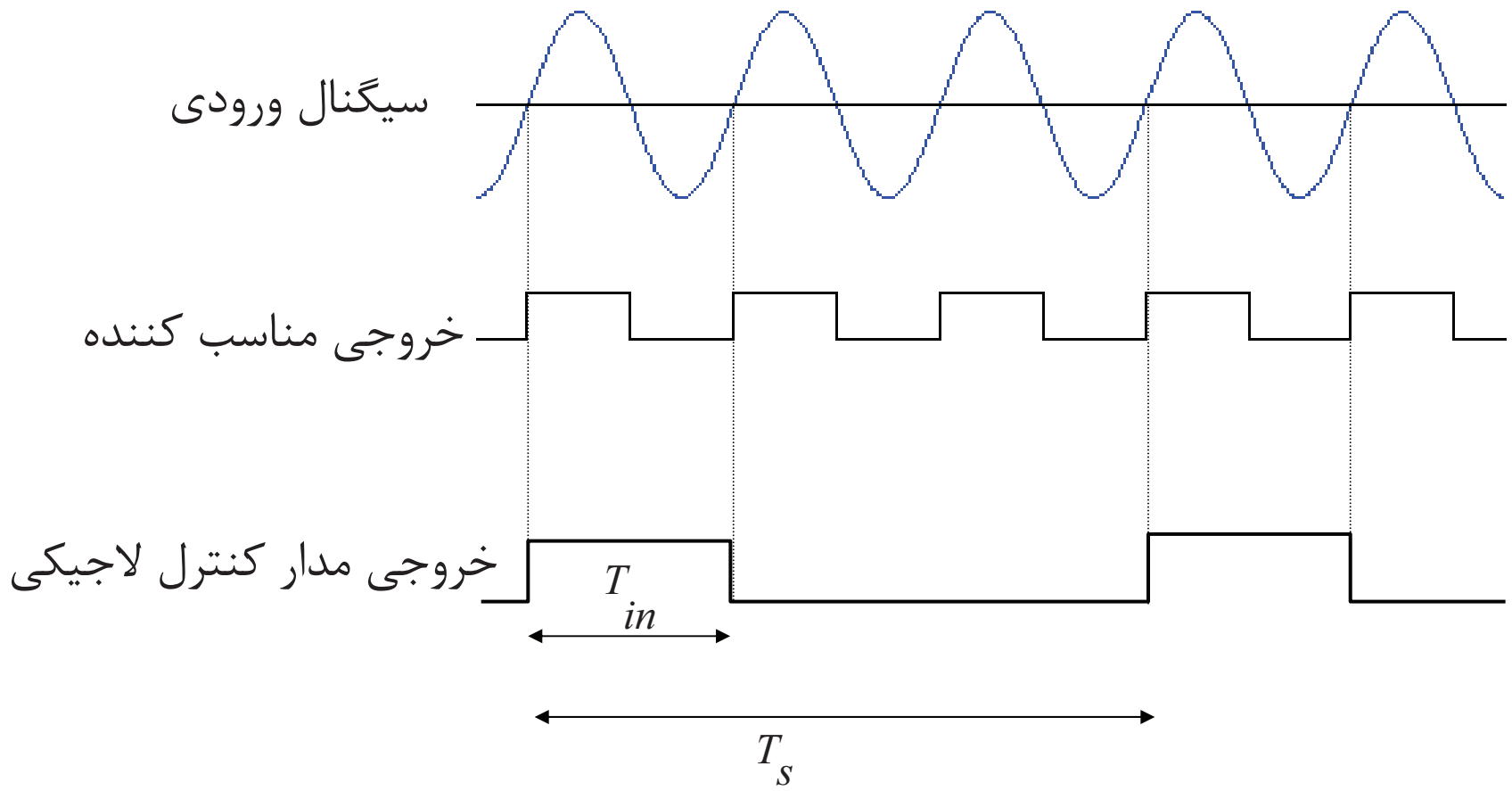
$$N = \frac{f_{in}}{f_{ext}} \quad , \quad T = \frac{1}{f_{ext}}$$

2) اندازه گیری پریود :

به عکس روش اندازه گیری فرکانس ، درطول یک پریود از سیگنال ورودی، پالسهای اسیلاتوری با فرکانس مشخص و دقیق را می شمریم . در این صورت :

$$N = f_0 T_{in}$$


INPUT
SIGNAL
SIGNAL
CONDITIONER
LOGIC CONTROL
CIRCUIT
reset
COUNTER
LATCH
display
f_o
XTAL
OSCILLATOR


سیگنال ورودی
خروجی مناسب کننده
خروجی مدار کنترل لاجیکی
T_{in}
T_s

بعد ازهر T_s ثانیه ، اندازه گیری دوباره صورت می گیرد .

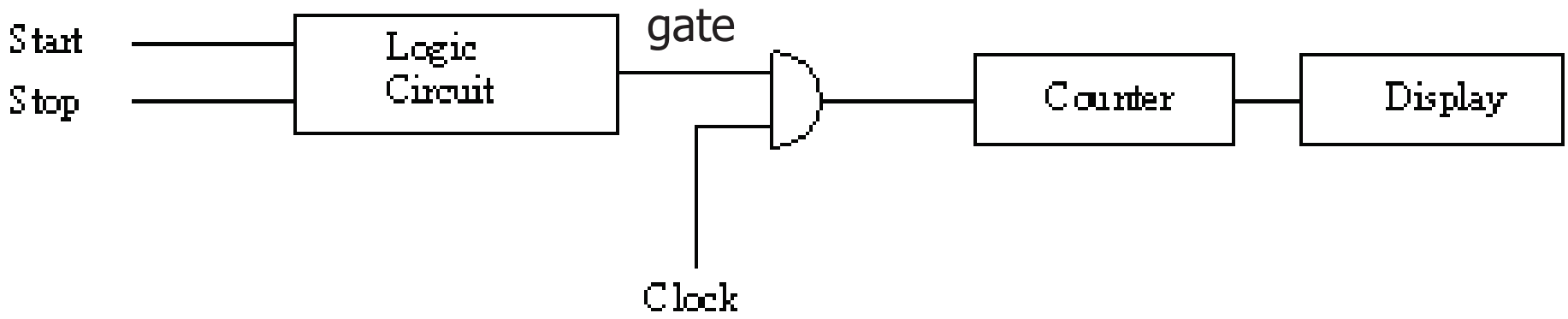
می توان با گذاشتن تقسیم کنندهٔ فرکانسی، T_{in} را در 10^k ضرب کرد یا f_0 را بر 10^k تقسیم کرد .

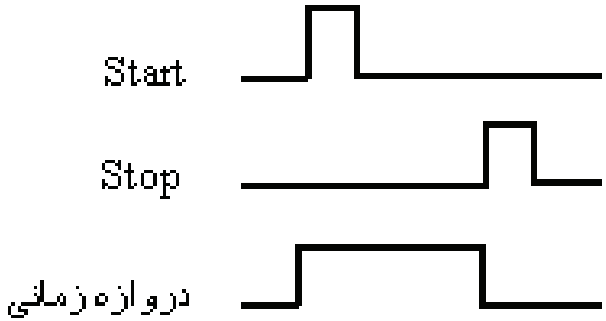
بعضی از دستگاههای کانتر دارای مد متوسط گیری هستند که متوسط قرائت های گذشته را نشان می دهد(در مد فرکانس یا پریود) .

نکتهٔ اساسی : اگر فرکانس سیگنال کم باشد ، خطای روش اندازه گیری فرکانس بالا می رود و باید از روش اندازه گیری پریود استفاده کرد. به عکس دقت روش اندازه گیری پریود در فرکانسهای پایین(پریودهای بزرگ) بیشتر است.

3) اندازه گیری مدت زمان بین دو واقعه :

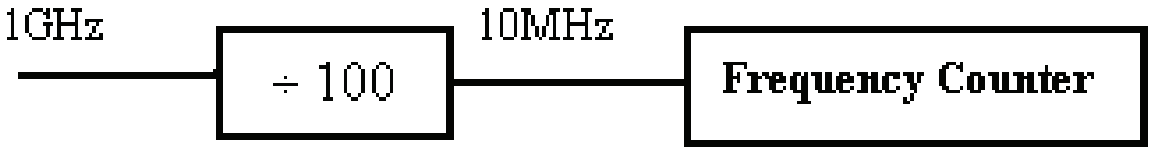
مد دیگری که اغلب دستگاههای کانتر دارند ، مد اندازه گیری مدت زمان بین دو واقعه است (مثال اندازه گیری سرعت جسم متحرک یا تاخیر مدار).




Start
Stop
دروازه زمانی

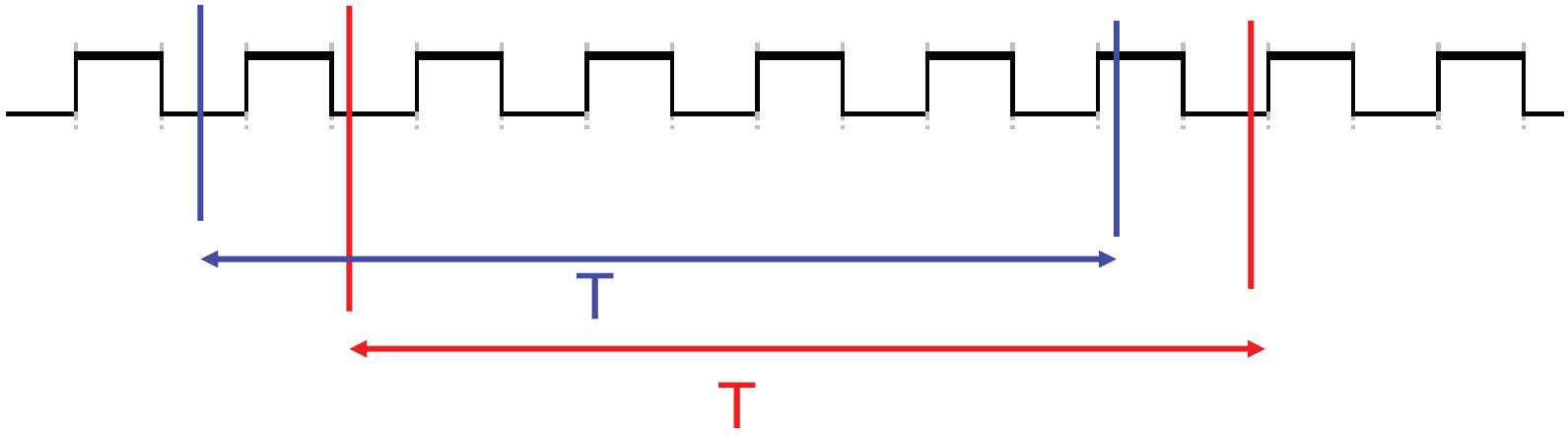
افزایش رنج فرکانسی فرکانس متر :

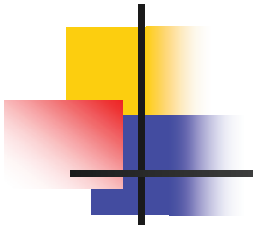
حداکثر فرکانس آی سی های کانتر حدود چند ده مگاهرتز است ، لذا برای افزایش رنج فرکانس متر می توان سیگنال ورودی را از یک تقسیم کننده فرکانس آنالوگ عبور داد . از مدارات آنالوگ تقسیم فرکانسی استفاده می شود و فرکانس ورودی به فرکانسهای پایین تر Scale می شود البته این کار resolution را کاهش می دهد. به این روش prescaling می گویند (روش دیگر هترودایین میباشد).



خطاها

1) خطای ±1 شماره (خطای gating).در اثر سنکرون نبودن گیت با سیگنال و نیز در اثر اینکه به هر حال طول گیت مضرب صحیحی از پریود نیست ، خطای ±1 شماره را داریم .





برای این منظور بایستی N بزرگ باشد پس باید در روش اندازه گیری فرکانس ، طول دروازه نسبت به پریود سیگنال خیلی زیاد باشد (مثلا 100 برای صحت 1%). اما اگر فرکانس سیگنال کم باشد این امر موجب میشود زمان اندازه گیری خیلی زیادی لازم باشد. لذا در مورد سیگنالهای فرکانس پایین بهتر است از روش پریود استفاده شود. روش پریود N در صورتی که پریود خیلی بزرگتر از پریود کلاک باشد بزرگ خواهد بود(و زمان اندازه گیری T_{in} است که کمتر از آن ممکن نیست).

در روش پریود داریم :

$$N_P = f_{clock} T_{in} = \frac{f_{clock}}{f_{in}}$$

و با فرض زمان اندازه گیری 1 ثانیه در روش فرکانس داریم :

$$N_f = f_{in}$$

پس با فرض حداکثر زمان اندازه گیری قابل قبول 1 ثانیه :

$f_{in} > \sqrt{f_{clock}} \Rightarrow N_f > N_P \Rightarrow$ روش فرکانس بهتر

$f_{in} < \sqrt{f_{clock}} \Rightarrow N_f < N_P \Rightarrow$ روش پریود بهتر

مثلا اگر $f_{clock} = 10MHz$ باشد ($\sqrt{f_c} = 3.2KHz$) و $f_{in} = 1KHz$ باشد ، روش پریود بهتر است. در روش فرکانس با زمان اندازه گیری 1 ثانیه : 1000 Hz ولی در روش پریود با زمان اندازه گیری 1 میلی ثانیه 1000.0 µs نشان می دهد .یعنی با وجود زمان اندازه گیری کمتر، رزولوشن بیشتری حاصل شده است.

در برخی کانترها سوئیچ بین دو روش بطور اتوماتیک انجام میشود.

2)خطای مبنای زمانی

اگر مبنای زمانی بجای 1 مگاهرتز مثلا 1MHz + 30Hz باشد همه قرائتها 0.003% (30ppm) خطا خواهد داشت. (درصدی از قرائت).

خطای مبنای زمانی ناشی از محدودیت دقت و پایداری اسیلاتور کریستالی است و در حدود ppm است. همچنین معمولا به مرور زمان فرکانس کریستال (البته خیل خیلی کم) افزایش میابد لذا کالیبراسیون لازم است.

برای داشتن تغییرات حرارتی کم می توان از (TCXO : Temperature Compensated Crystal Oscillator) استفاده کرد . TCXO اسیلاتور کریستالی است که با استفاده از المان حساس به دما در مقابل تغییرات حرارتی جبران سازی شده است . اگر باز هم پایداری حرارتی بیشتری لازم باشد می توان از OCXO (Oven Controlled Crystal Osc) استفاده کرد .

TABLE 6–2
Typical Stability Specifications

	XTAL	TCXO	Oven
Long-Term aging (per mo.)	5×10^{-7}	2×10^{-7}	$5 \times 10^{-10*}$
Short-term aging (per day)	—	—	10^{-10}
±10% line voltage	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
Temp. 0°C–50°C (ambient)	10^{-6}	10^{-7}	10^{-9}

* After 24-hour warmup.

3)خطای تریگر

در روش پریود ، محل باز شدن و بسته شدن دروازهٔ به طول T_{in} به نحوهٔ عبور سیگنال از سطح آستانه بستگی دارد که در اثر نویز میتواند جابجا شود

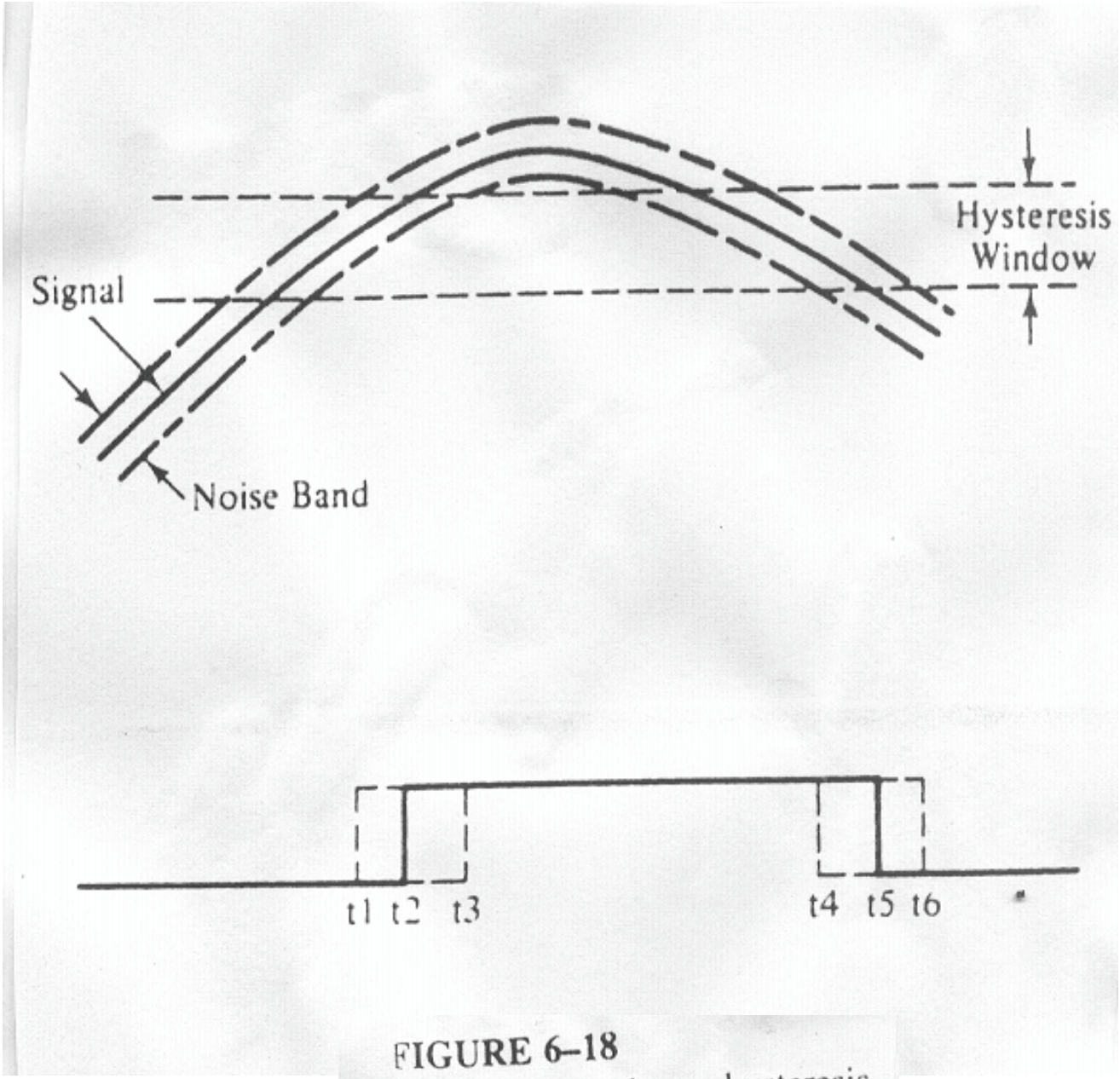


FIGURE 6–18
Counter errors due to hysteresis window and noisy signal.

در روش فرکانس هم اگر میزان نویز از هیسترزیس بیشتر باشد خروجی مقایسه گر مکرر شده و ایجاد خطا میکند.

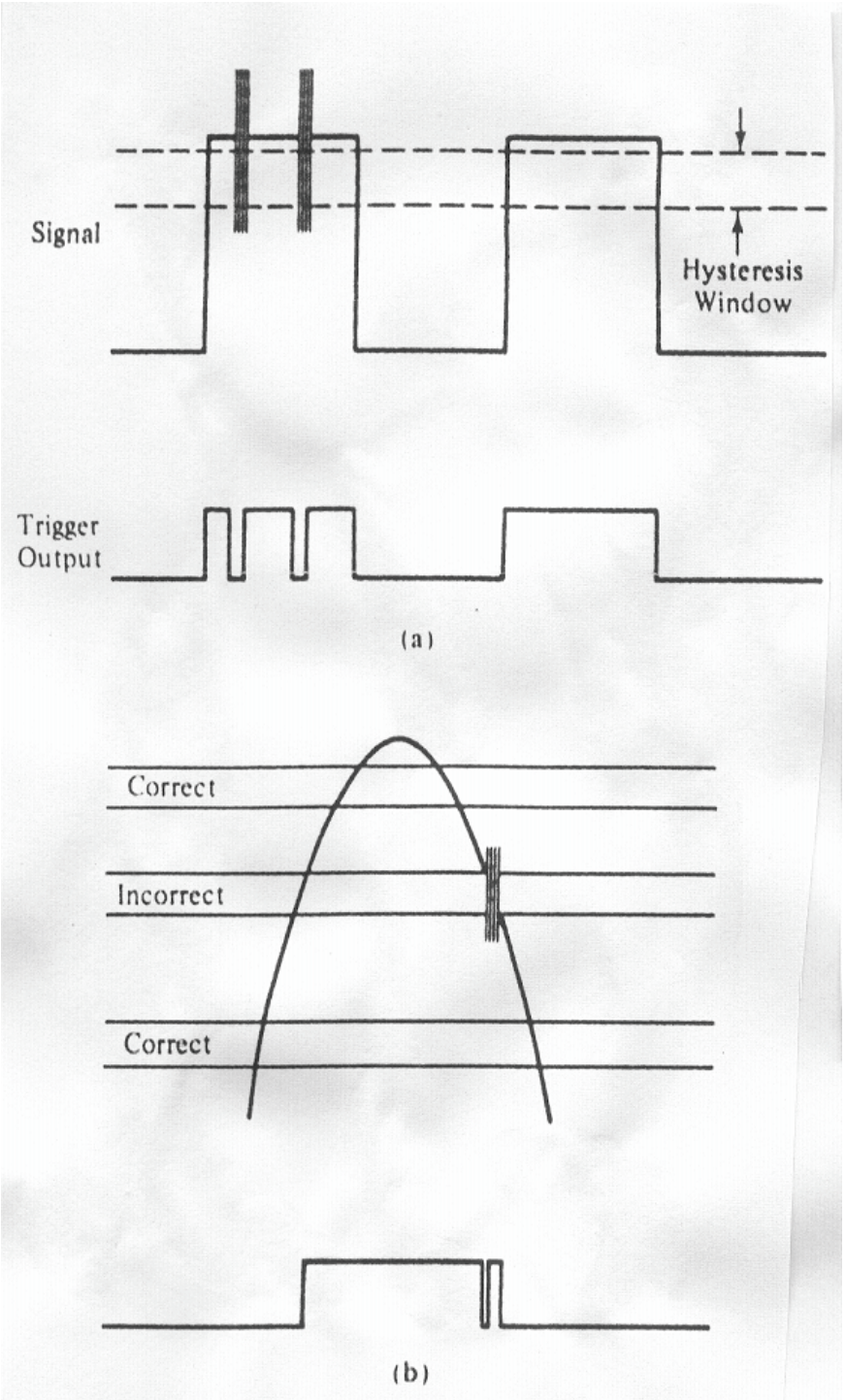


FIGURE 6–17
(a) Oscillations on the waveform causing false counts, (b) correct and incorrect settings of trigger for signals with noise or oscillations.

هر چه سیگنال به نویز بیشتر باشد و شیب تغییرات سیگنال سریعتر باشد این خطا کمتر است. سطح تریگر بهتر است جایی باشد که سیگنال بیشترین شیب را دارد و فاقد نوسانات اضافی است .

بعضی کانترها دو ورودی دارند یکی 1MΩ برای فرکانس پایین و دیگری 50Ω برای فرکانس بالا در بعضیها هم یک کانکتور است ولی switchable بین دو حالت .

بعضی کانترهای امروزی علاوه بر پریود و فرکانس و time interval ، عرض پالس و duty cycle و fall time و rise time و اختلاف فاز را نیز اندازه می گیرند .

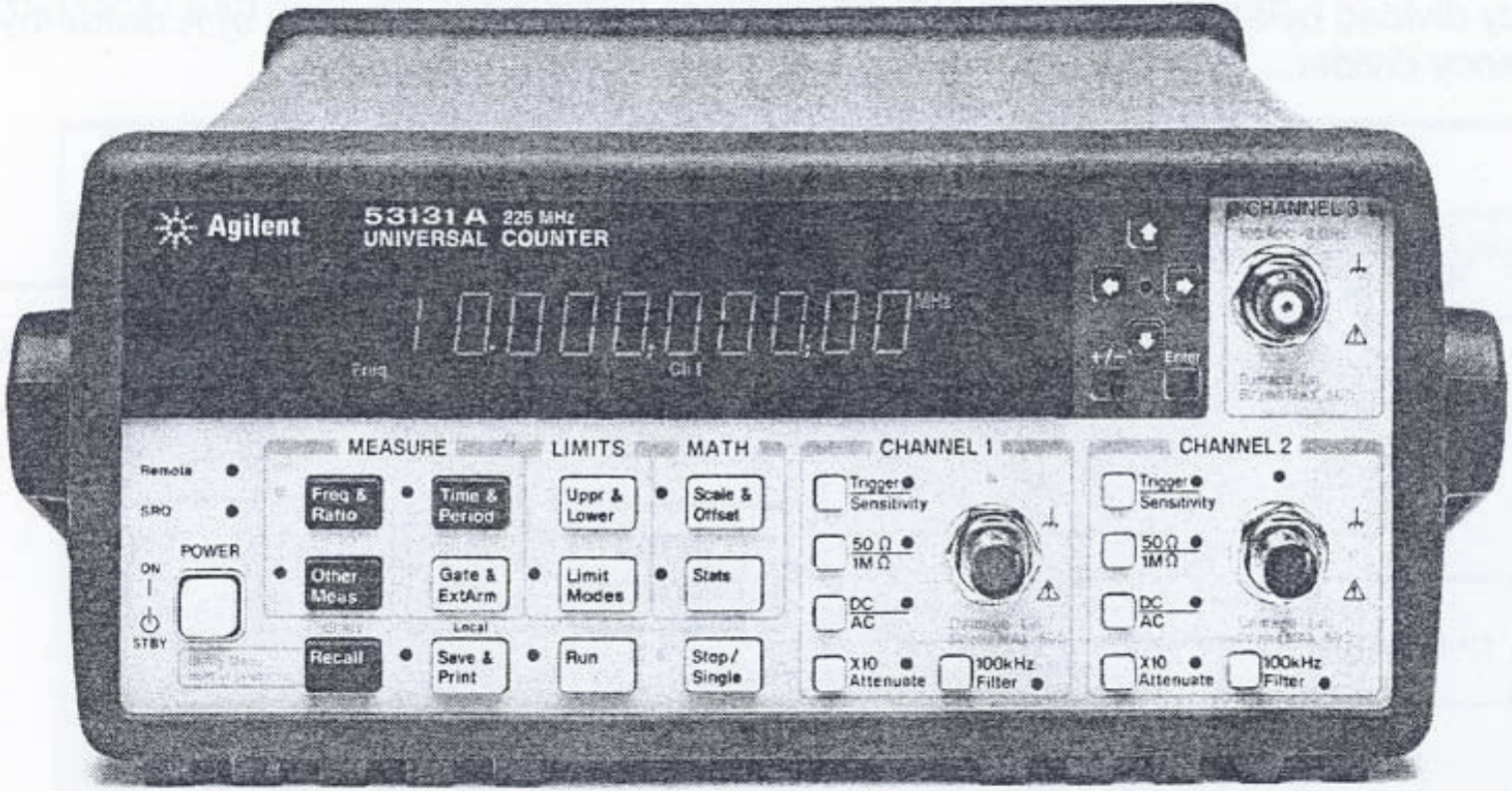


Figure 6.3 A 225-MHz universal counter. (Photo: Agilent Technologies. Reprinted with permission.)

Table 6.1 Universal Counter Measurements

Measurement	Description
Frequency	Single-channel frequency measurement.
Frequency ratio	The ratio of the frequencies of two channels.
Time interval	The time difference between two edges, on the same waveform or different waveforms.
Period	Single-channel period measurement.
Rise/fall time	The rise or fall time of a waveform (usually the 10% and 90% level).
Positive/negative pulse width	The width of a positive or negative pulse, usually measured at the 50% point on the waveform.
Duty cycle	The positive pulse width of a waveform divided by the period of the waveform.
Phase	The time difference between two different waveforms, expressed in degrees with the period of one of the waveforms defined as 360 degrees.
Totalize	The total number of events counted on a waveform.
Peak voltage	The peak positive or negative voltage of the waveform.

Table 6.3 Abbreviated Specifications for a Frequency Counter

Specification	Input A	Input B
Frequency range	10 Hz to 100 MHz	90 MHz to 1,000 MHz
Input impedance	1 MΩ, 25 pF	50 Ω
Sensitivity	15 mV RMS	10 mV RMS
Frequency resolution	8 digits	
Temperature stability (Standard timebase)	< 2 ppm, 0 to 40°C	
Temperature stability (Optional oven timebase)	< 0.1 ppm, 0 to 50°C	
Aging rate (Standard timebase)	< 0.1 ppm/month	
Aging rate (Optional oven timebase)	< 0.03 ppm/month	

دستگاههای اندازه گیری دیجیتال

مقدمه

فرکانس متر دیجیتال

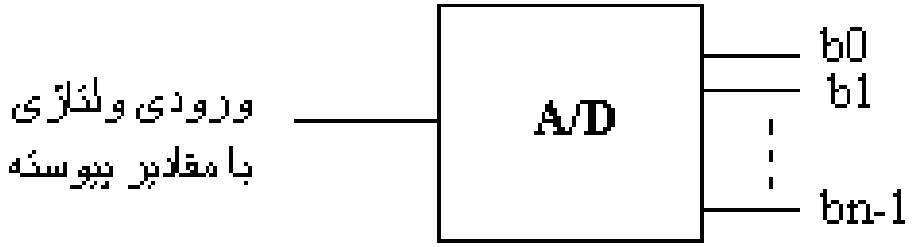
A/D و D/A

مولتیمتر دیجیتال

اسیلوسکوپ دیجیتال

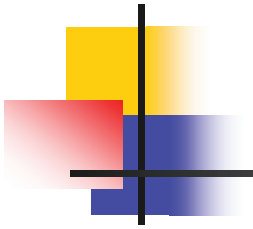
A/D و D/A
Analog to Digital Converter, Digital to Analog Converter

A/D ولتاژ آنالوگ ورودی را به عدد باینری دیجیتال تبدیل میکند .
مثلا اگر A/D 8 بیتی باشد ، در خروجی عددی بین 0 تا 255 خواهیم داشت .



که در آن $\underbrace{b_{n-1}}_{MSB} b_{n-2} \ldots b_1 \underbrace{b_0}_{LSB}$ LSB : Least Significant bit و

MSB : Most Significant bit می باشد .



هر کدام از b_i ها صفر یا یک هستند. عدد دسیمال متناظر برابر با $2^{n-1}b_{n-1}+2^{n-2}b_{n-2}+\ldots+2b_1+b_0$ است. مثلا صفر تا 255 را با 8 بیت میتوانیم داشته باشیم.

$$00\ldots00\rightarrow 0$$

$$11\ldots11\rightarrow 1+2+2^2+\ldots+2^{n-1}=2^n-1$$

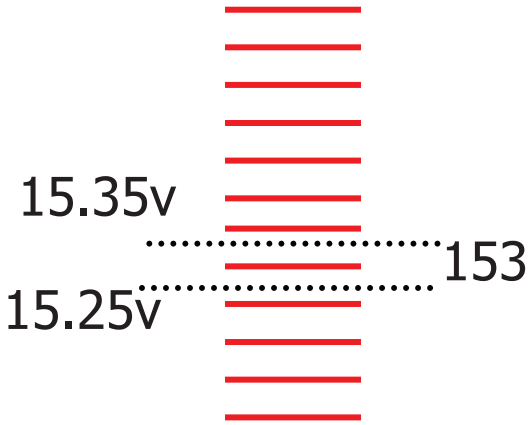
معمولا در A/D یک ولتاژ مرجع داریم (v_{ref})که عدد 2^n بیانگر آن است. به عبارت دیگر مقدار v_{ref} ، full scale را مشخص می کند. (پس A/D برای محاسبه نسبت دو ولتاژ هم قابل استفاده است).مثلا اگر v_{ref} =10v باشد عدد 256 بیانگر 10v است و لذا یک LSB معرف 10/256=39mv است.

مثال:

V_{ref}=25.6v و 8 A/D بیت.

10011001=153 → 153/256*25.6=15.3v

اگر ولتاژ واقعا 15.273v بوده ملاحظه میکنید که 15.3v خوانده خواهد شد و یک خطای کوانتیزاسیون خواهیم داشت .

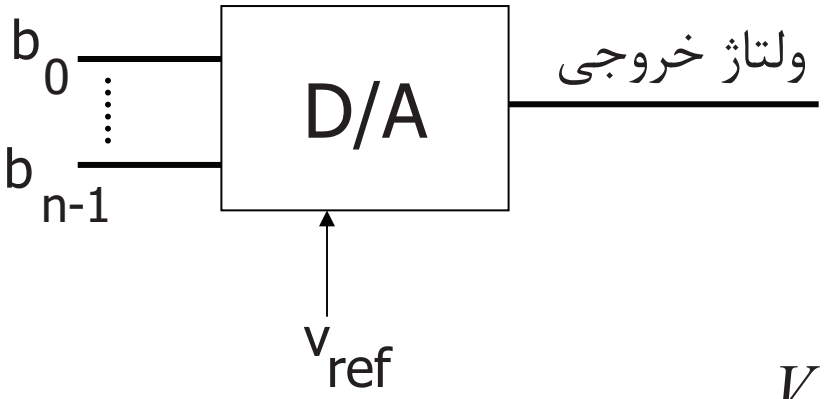


خطای کوانتیزاسیون $= \pm \frac{1}{2} LSB$

در این مثال برابر با $\pm 0.05v$.

روشهای مختلفی برای A/D داریم ولی قبل از آن روشهای D/A را که ساده تر است بررسی میکنیم .

D/A :



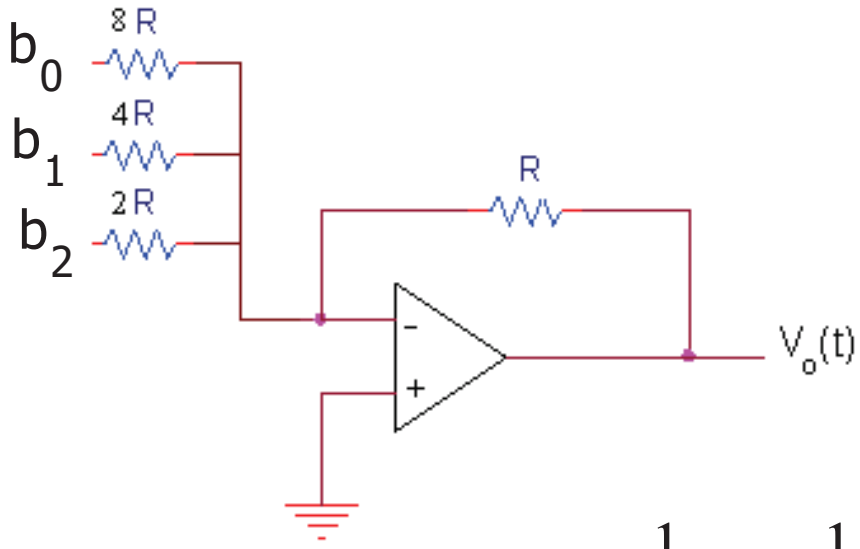
در یک D/A داریم

$$V_{out} = v_{ref}\left(\frac{b_0}{2^n} + \frac{b_1}{2^{n-1}} + \ldots + \frac{b_{n-1}}{2}\right)$$

یا

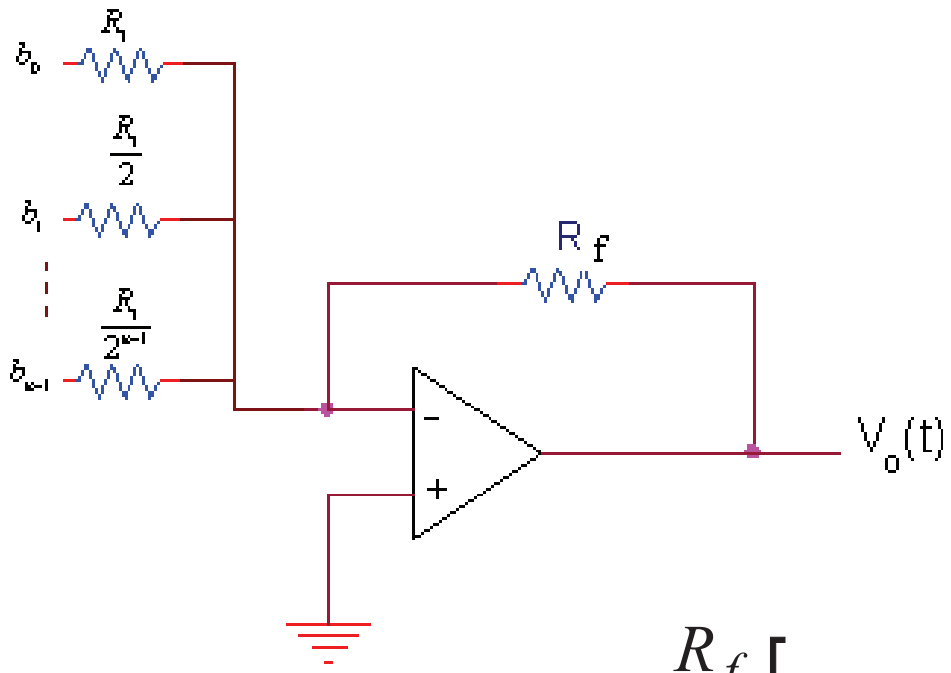
$$V_{out} = \frac{v_{ref}}{2^n}(b_0 + 2b_1 + \ldots + 2^{n-1}b_{n-1})$$

برای D/A روشهای مختلفی وجود دارد مثلا binary-weighted ladder .
که برای 3 بیت به شکل زیر است :



$$-V_o = \frac{1}{2}b_2 + \frac{1}{4}b_1 + \frac{1}{8}b_0$$

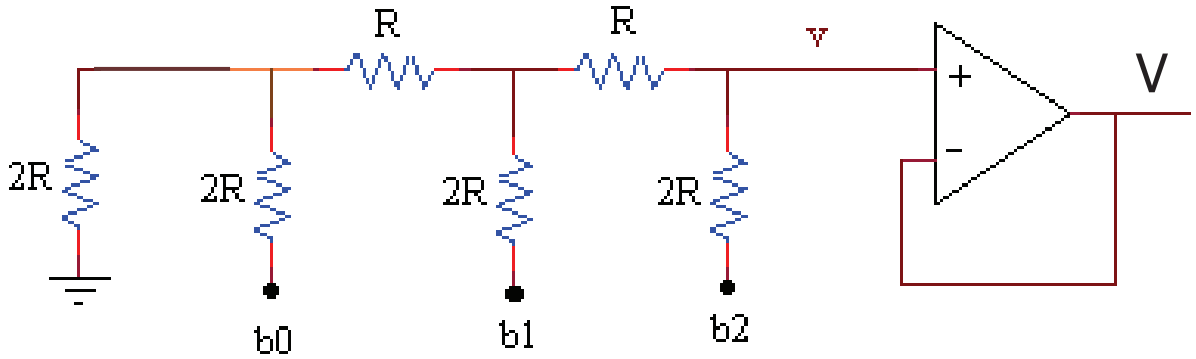
یا در حالت کلی :



$$-v_o = \frac{R_f}{R_1}\left[b_0 + 2b_1 + \ldots + 2^{n-1}b_{n-1}\right]$$

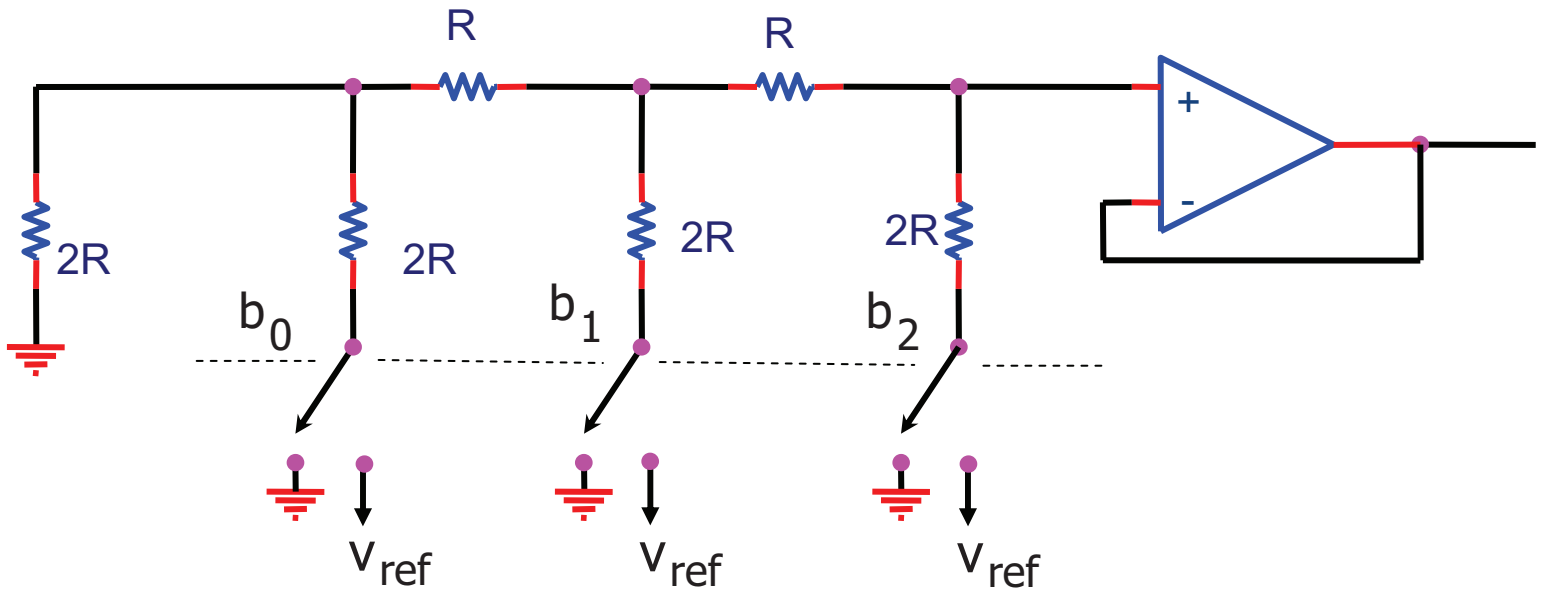
ولی به این ترتیب نسبت مقاومتها خیلی زیاد خواهد بود (مقاومتهای خیلی بزرگ و خیلی کوچک داریم) .

روش متداولتر R-2R ladder است مثلا برای 3 بیت :



$$V = \frac{1}{2}b_2 + \frac{1}{4}b_1 + \frac{1}{8}b_0$$

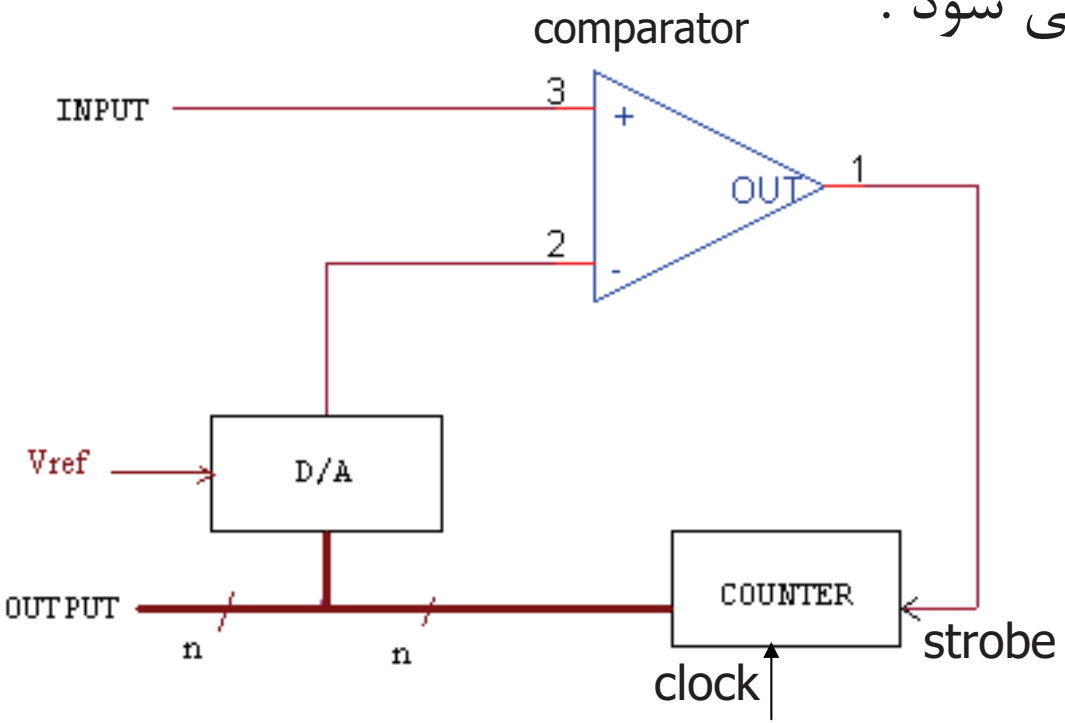
در واقع در D/A از خود ولتاژ b_i ها استفاده نمیشود بلکه از آنها بعنوان سویچ برای وصل کردن صفر ولت یا V_{ref} استفاده میشود . مثلا شکل قبلی در واقع به این صورت است :



A/D

1) روش پلکانی(stair-case ramp)

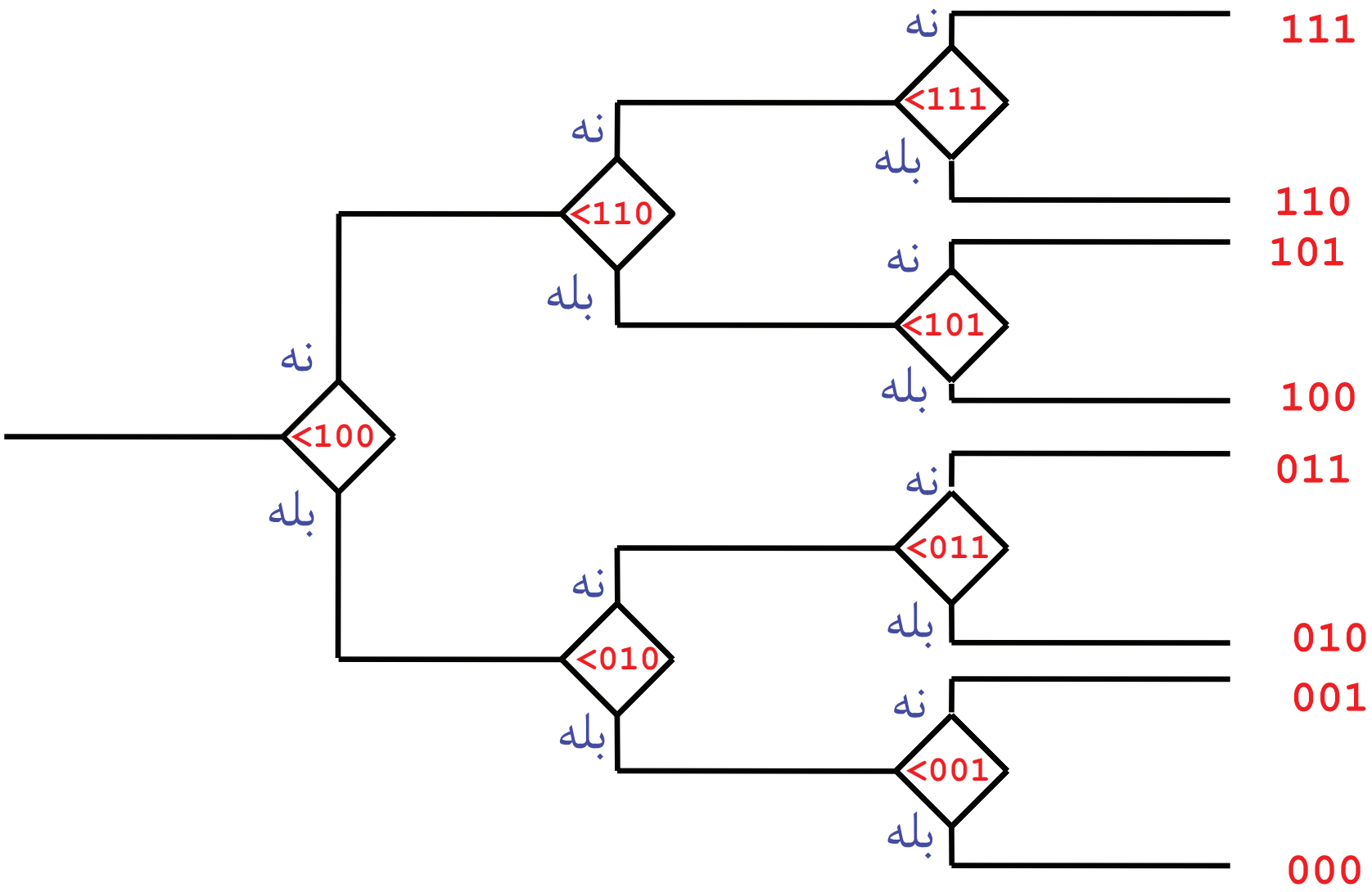
ولتاژ ورودی با یک ولتاژ پلکانی مقایسه می شود و هر جا ولتاژ پلکانی بزرگتر شد ، تولید آن قطع می شود .

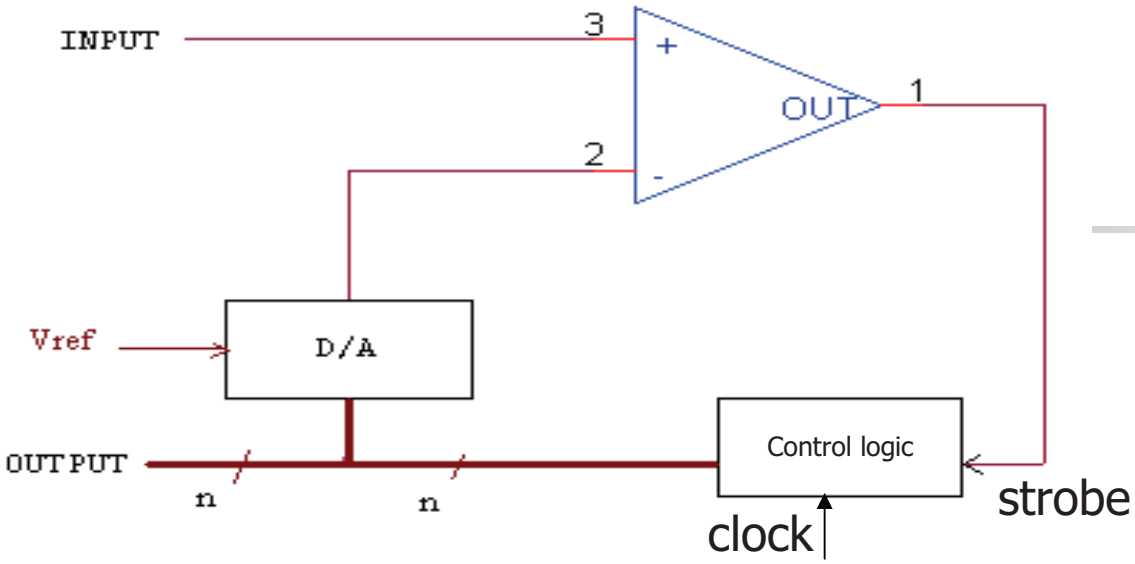


تا وقتی که خروجی D/A کمتر از input است، خروجی مقایسه گر High است و Counter اجازهٔ شمارش دارد. هر گاه خروجی D/A از input بیشتر شد، Strobe = low شده و Counter می ایستد. دراین صورت output مقدار خروجی A/D خواهد بود. این روش سرعت خیلی کمی دارد.

2) روش تقریب متوالی Successive approximation

مثلا اگر 3 بیت A/D بخواهیم به شکل زیر است. اگر n بیت A/D بخواهیمn بار مقایسه داریم که بطور متوالی توسط یک مقایسه گر انجام می دهیم.


не
<111
111
не
<110
бле
110
не
<101
101
бле
<100
не
100
бле
не
<011
011
не
<010
бле
010
не
<001
001
бле
000

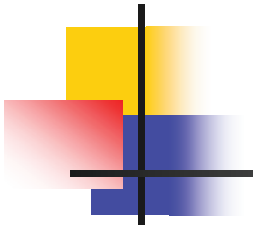


سرعت کمی دارد ولی نسبتا ساده است.

مراحل زیر اتفاق می افتد :Vi=6.2v باشد و Vref=8v مثلا اگر

$$100 \rightarrow 110 \rightarrow 111 \rightarrow 110$$

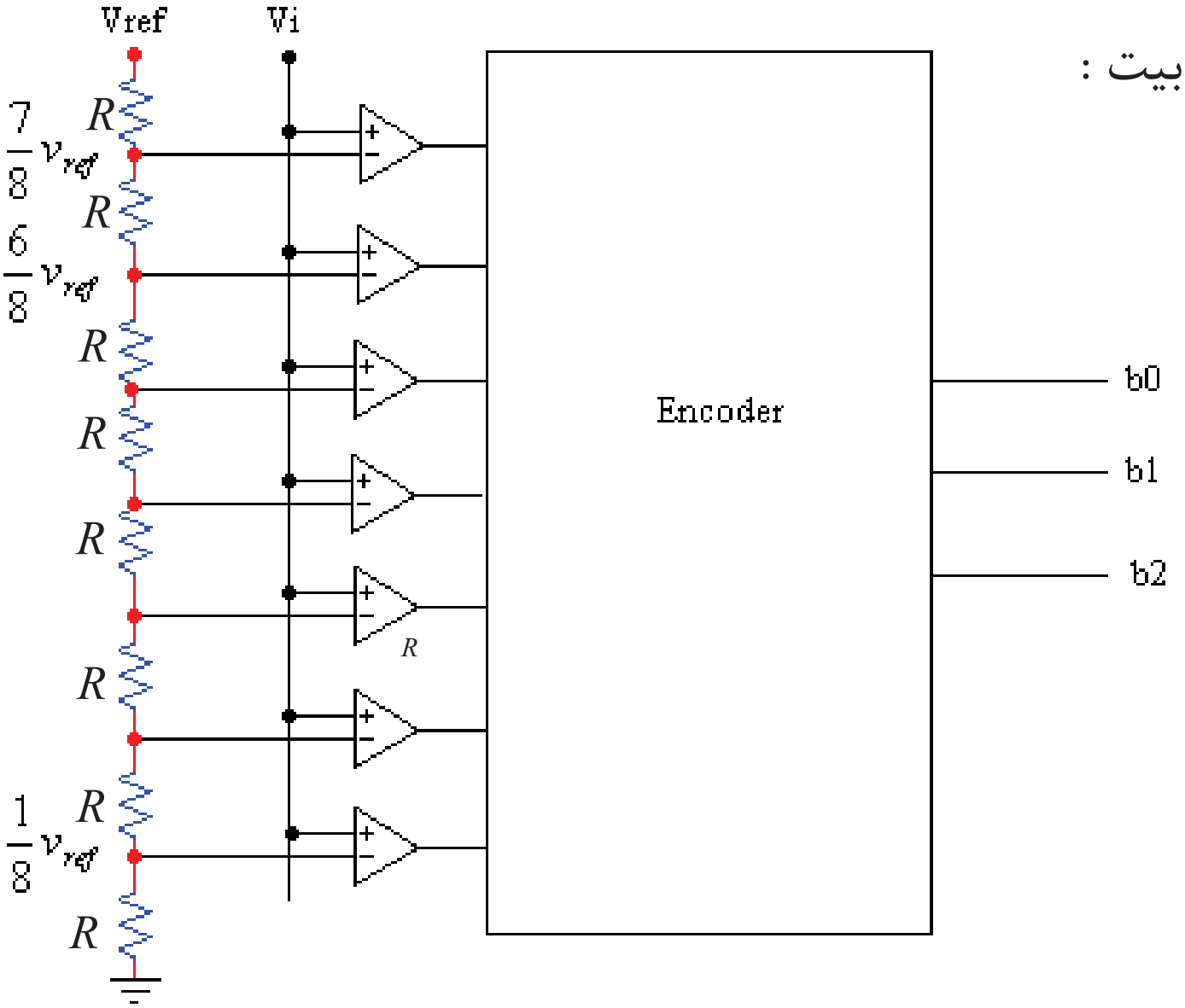
(در واقع طوري عمل مي شود كه تقريب نقصاني نباشد بلكه گرد كند.)

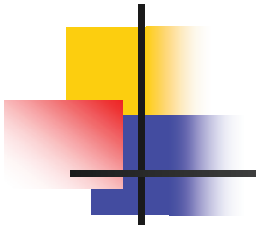


3) روش موازی flash

سریعترین روش برای بدست آوردن خروجی اینست که تمام مقایسه های ممکن ($2^n - 1$ تا) را دریک لحظه بوسیلهٔ $2^n - 1$ مقایسه گر انجام دهیم.

مثلا برای 3 بیت :





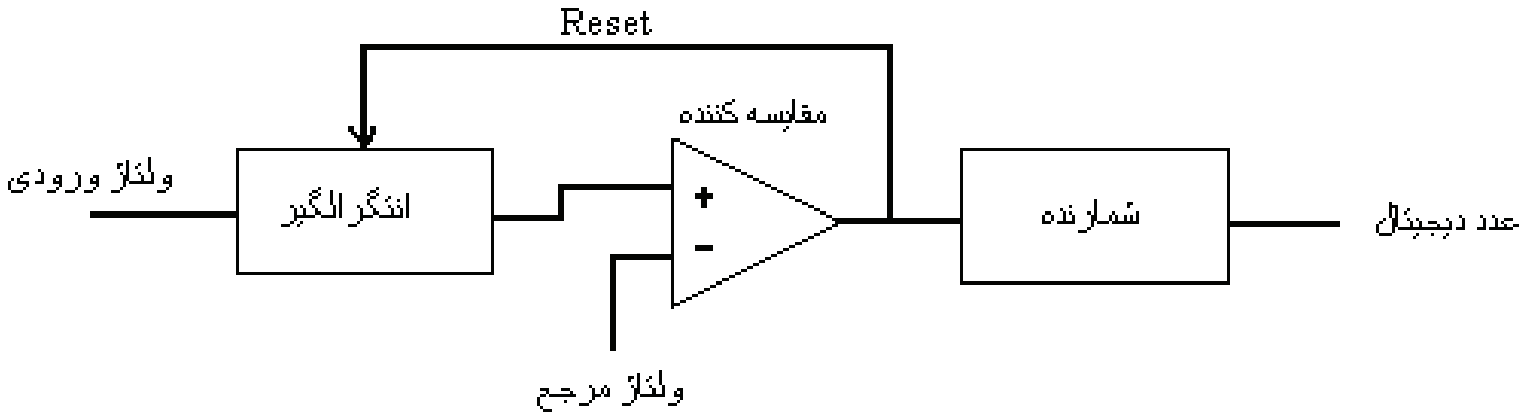
مثال: اگر Vref=8v , Vi=6.2v :

خروجی مقایسه گرها	خروجی انکودر
0	
1	
1	0
1	1
1	1
1	
1	

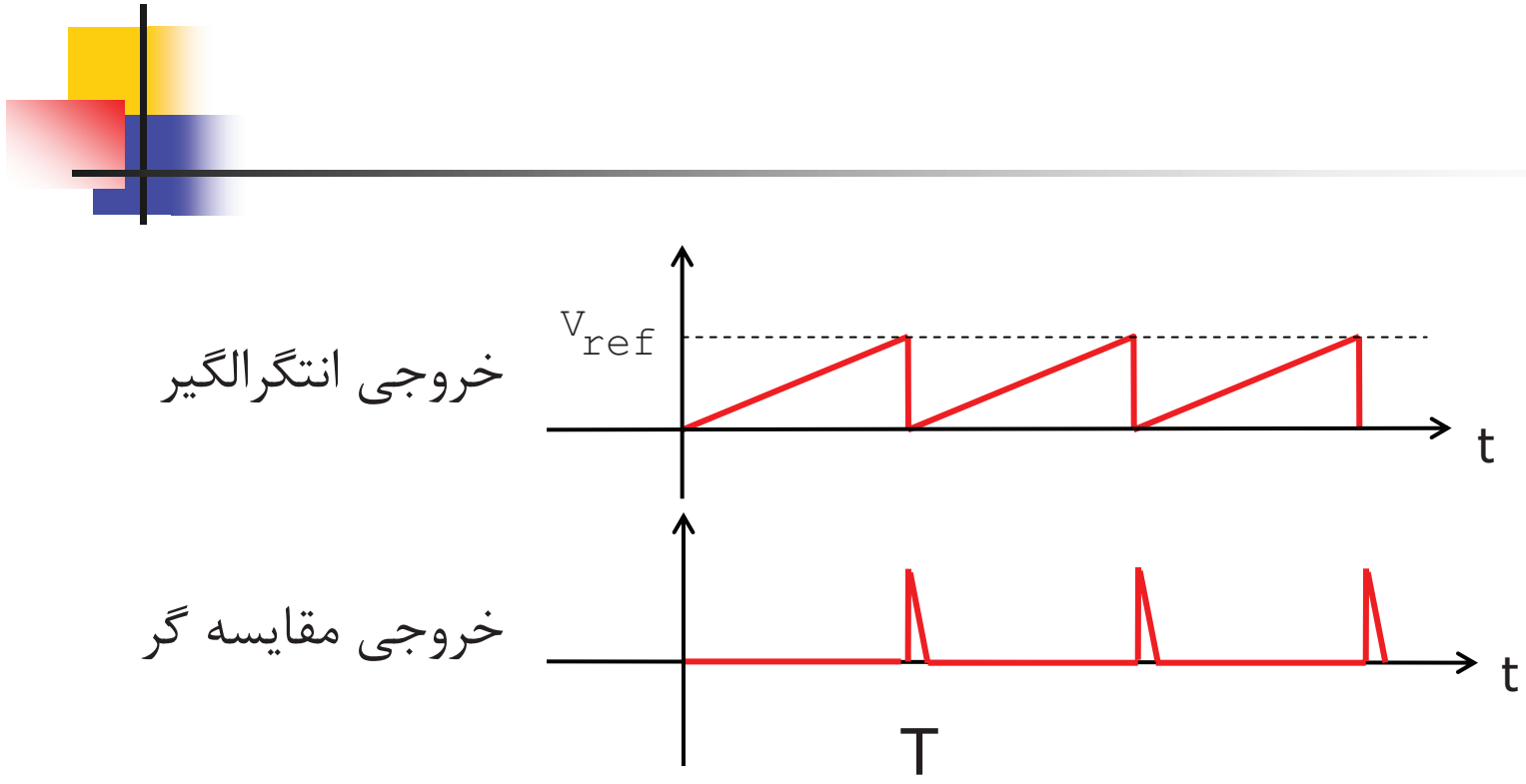
(در واقع با گذاشتن مقاومت R/2 در پایین و 3R/2 در بالا کاری میکنیم که گرد کند .)

سرعت خیلی زیادی دارد (سریعترین نوع است) ولی تعداد مقایسه گرهای لازمه برابر با $2^n - 1$ است و لذا گران تمام میشود . در اسکوپهای دیجیتال از این نوع A/D استفاده میشود.

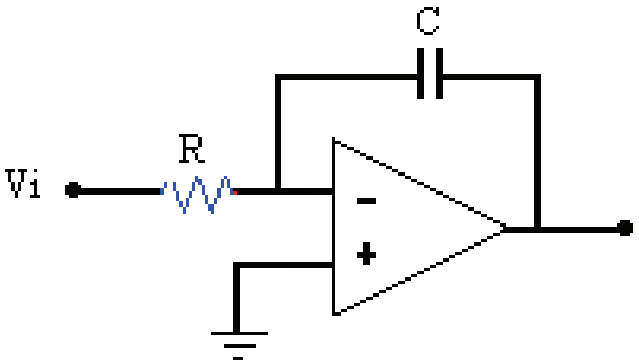
4) روش تبدیل V/F



هر وقت مقدار انتگرال از Vref بیشتر شد،خروجی مقایسه کننده برای یک لحظه High شده، Counter یک واحد می شمارد . درضمن انتگرال گیر هم Reset می شود . هرچه ولتاژ ورودی بزرگتر باشد شیب ramp بیشتر بوده و تعداد پالسهای خروجی مقایسه کننده در واحد زمان (یعنی فرکانس این پالسها) بیشتر خواهد بود لذا خروجی شمارنده متناسب خواهد بود با ولتاژ ورودی .

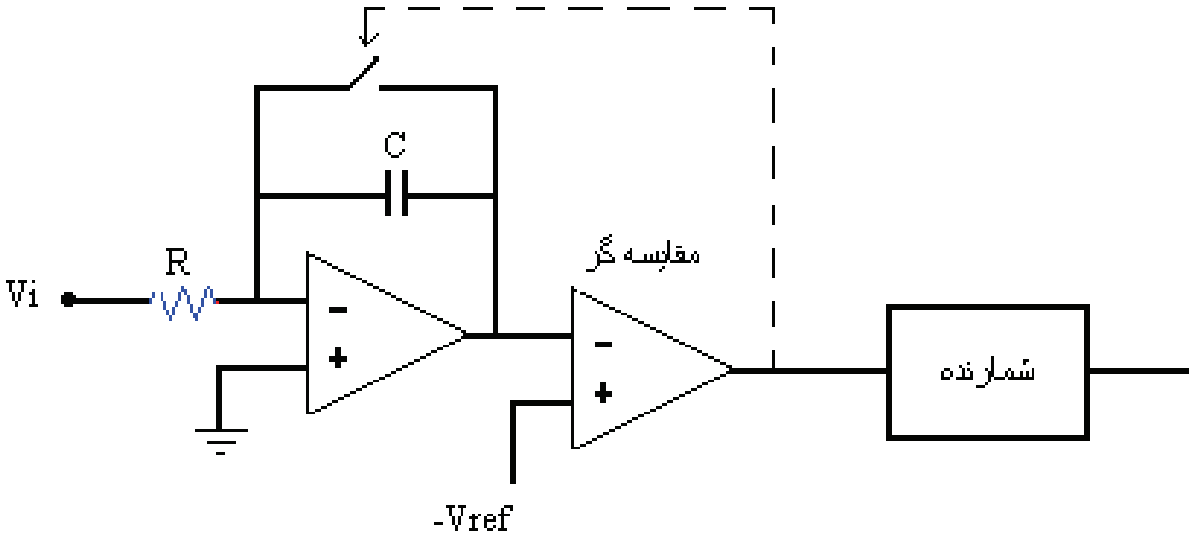

خروجی انتگرالگیر
V_{ref}
t
خروجی مقایسه گر
t
T

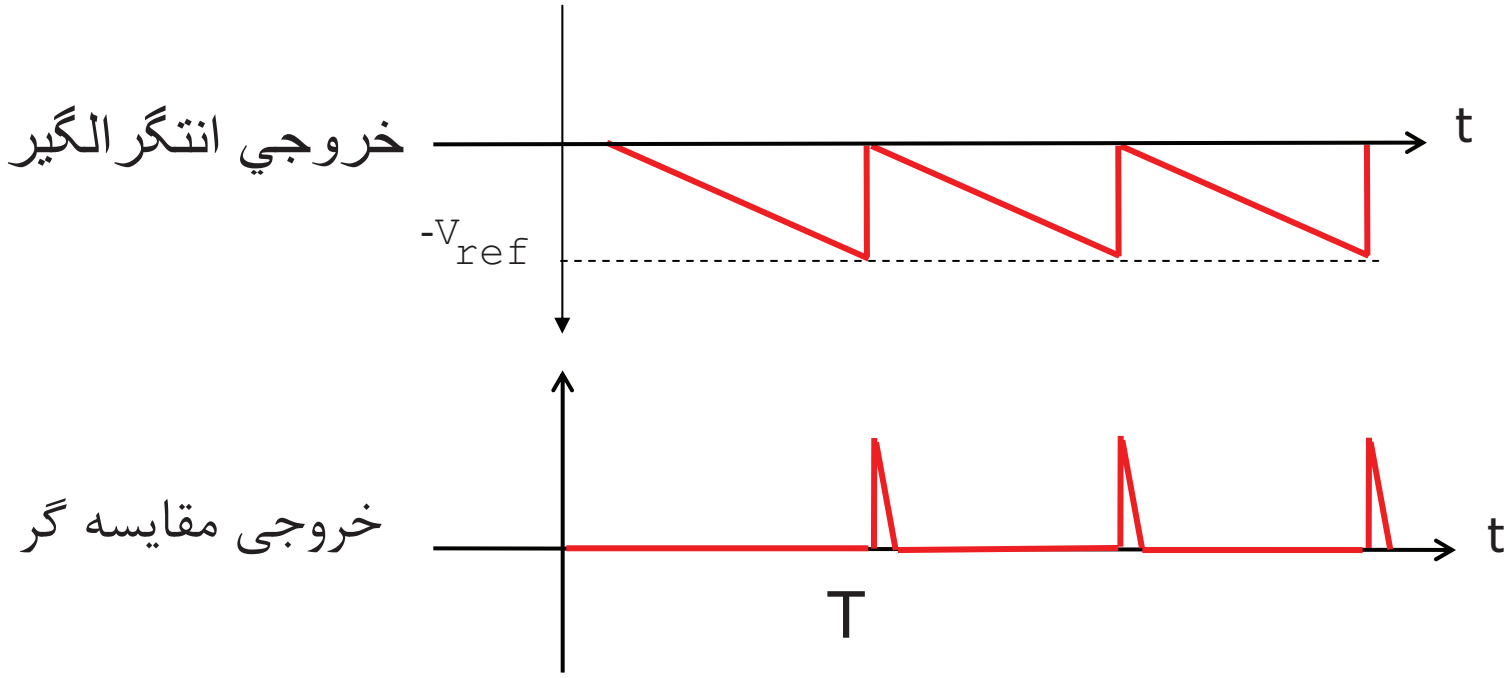
انتگرالگیر با استفاده از تقویت کننده عملیاتی :



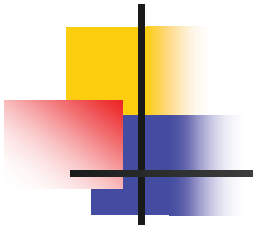
$$v_o(t) = -\frac{1}{RC}\int_0^t v_i(t')dt'$$

و با استفاده از آن :





$$-\frac{1}{RC}\int_0^T V_i\,dt = -V_{ref} \Rightarrow \frac{V_i}{RC}T = V_{ref} \Rightarrow V_i = RCV_{ref}f$$

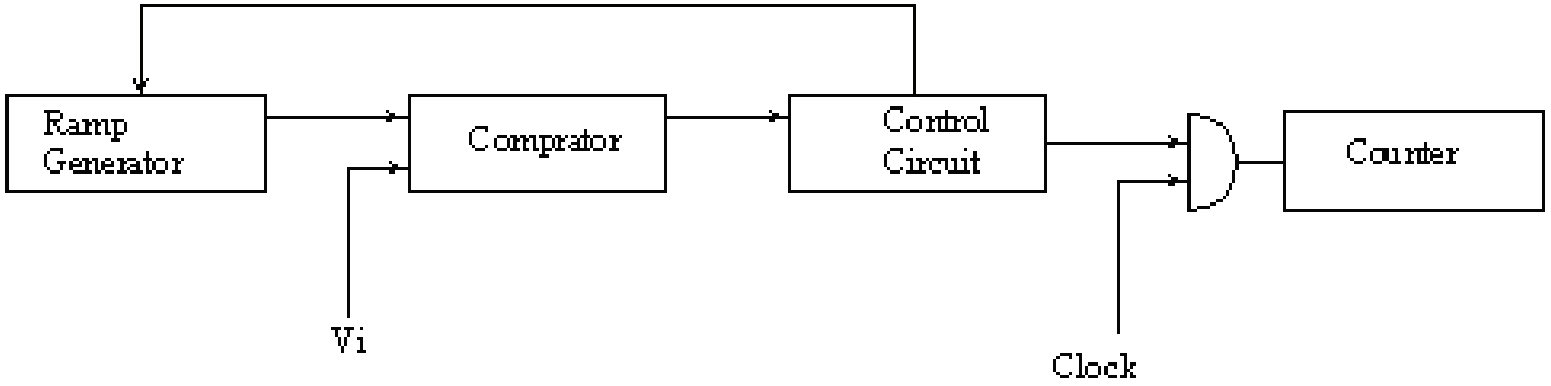


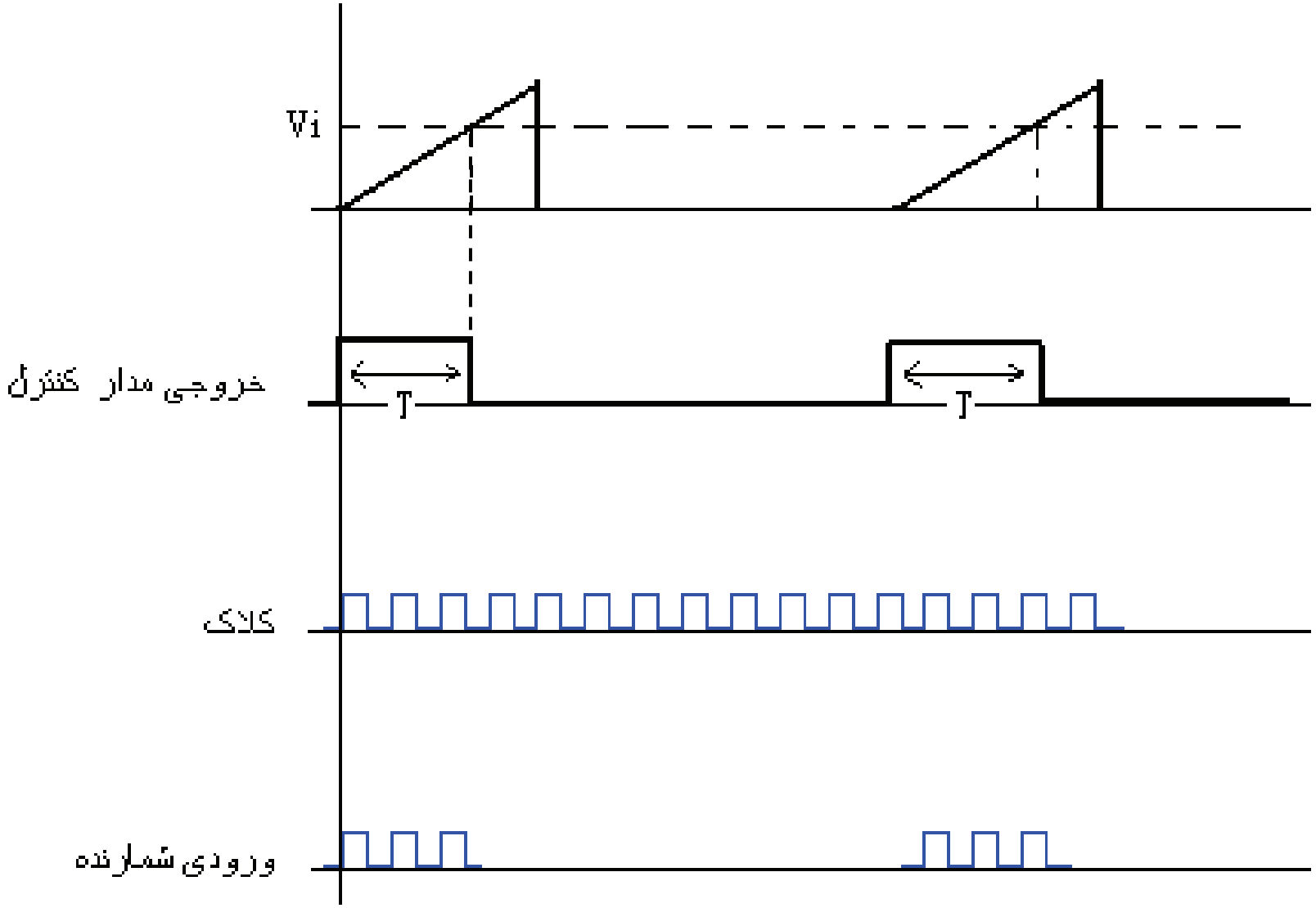
شمارنده تعداد پالسها را در مثلا یک ثانیه نشان میدهد(فرکانس) که متناسب با ولتاژ ورودی است پس اگر RCVref مثلا 0.01 یا 0.001 باشد با جابجا کردن ممیز ، کانتر Vi را نشان میدهد.

صحت اندازه گیری به مقدار RوCوVref و نیز نقطه سویچ کردن مقایسه گر بستگی دارد لذا اینها باید مقادیر پایدار و صحیحی باشند (پس کلا دقت خوبی با این روش نداریم).

به نویز ورودی حساس نیست چون از ورودی انتگرال میگیرد و احتیاج به S/H (Sample and Hold) ندارد و در صورت تغییر مقدار ولتاژ ورودی در زمان conversion متوسط ورودی در زمان .conv را نشان میدهد .

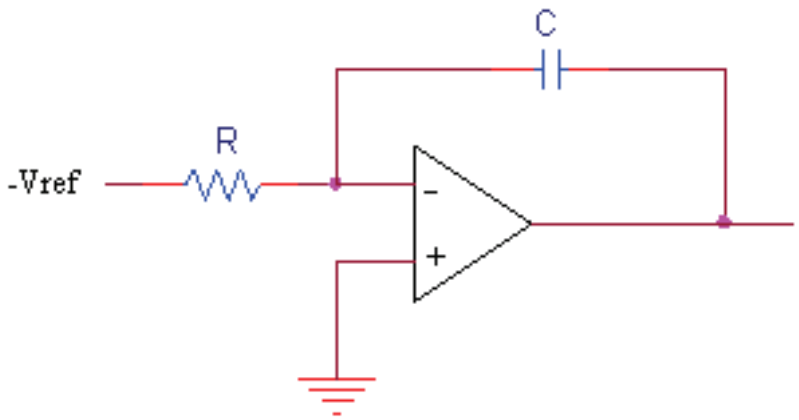
5) نوع شیب Ramp Type





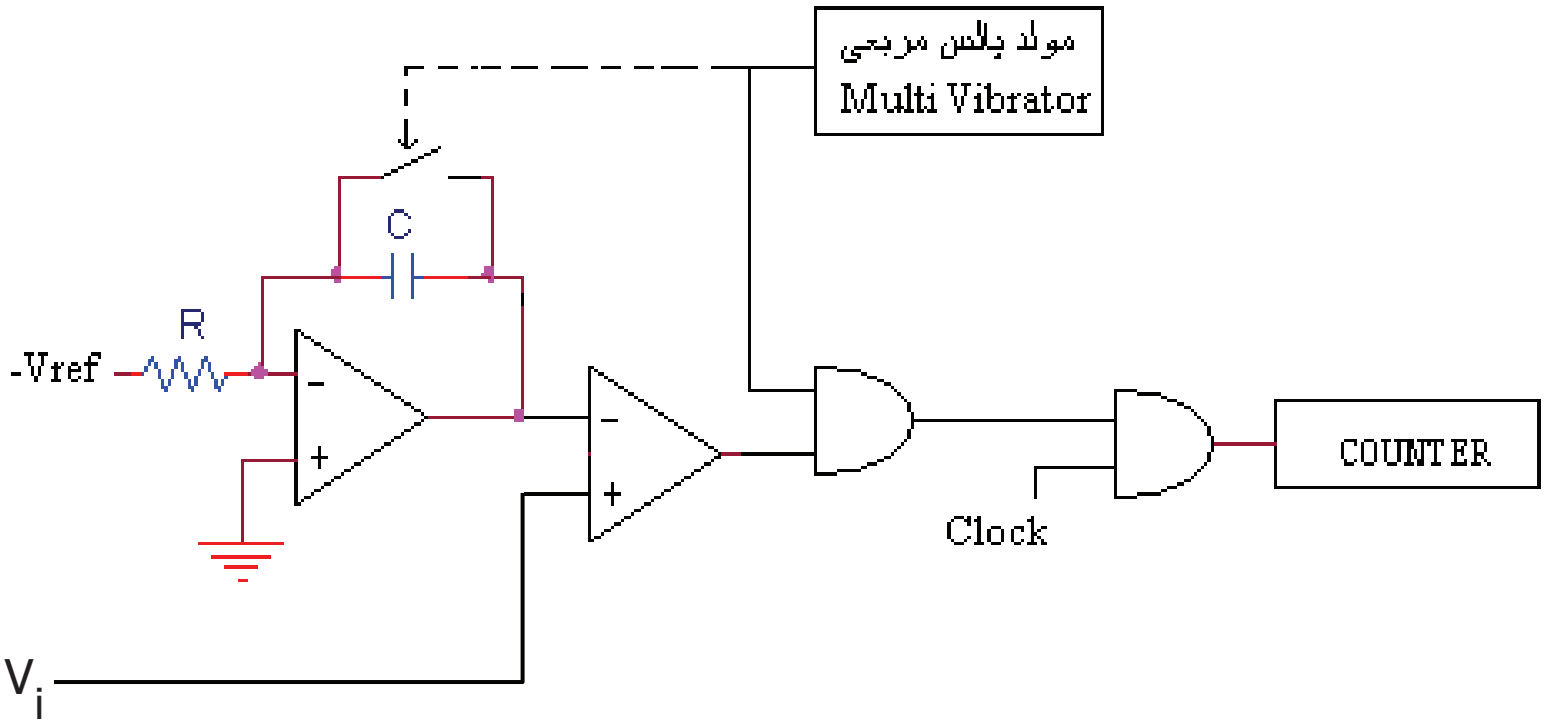
T متناسب با ولتاژ ورودی است .

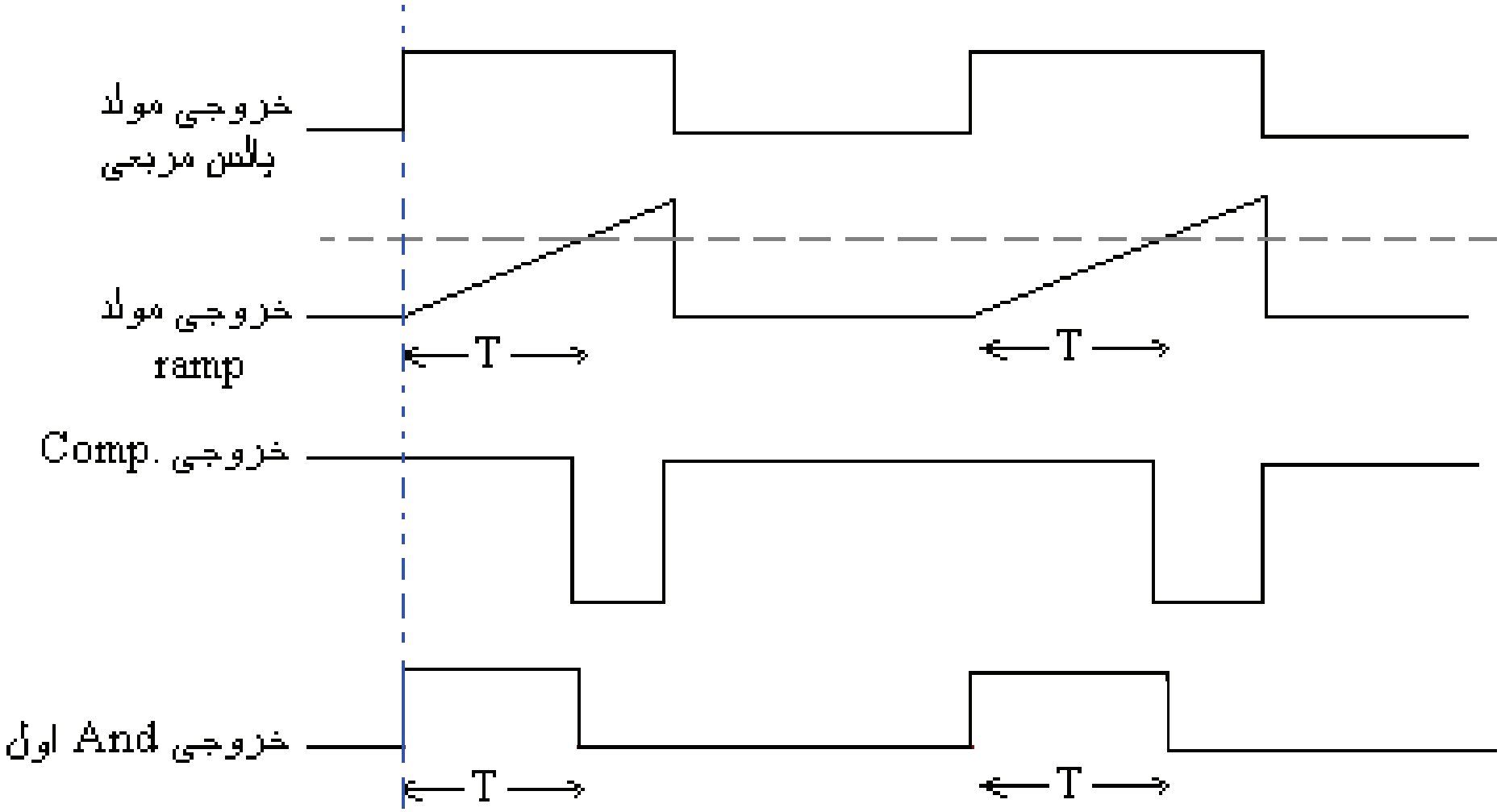
برای ساخت مولد رمپ از یک ولتاژ ثابت و دقیق ، انتگرال میگیریم :



Reset بودن یا کار کردن ramp generator توسط مدار کنترل ، کنترل میشود.

$$V_i = \frac{V_{ref}}{RC} T$$

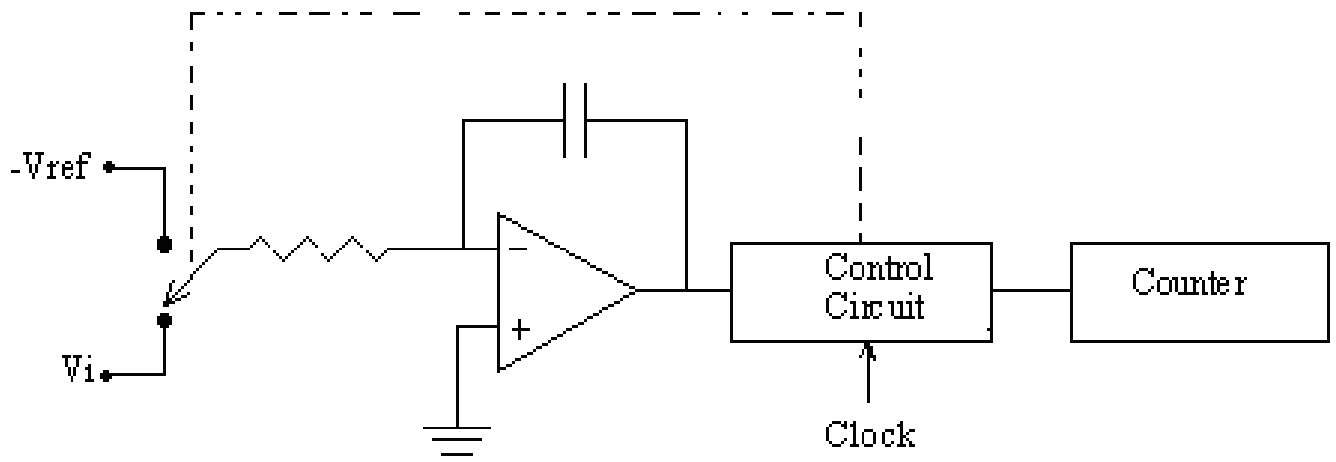




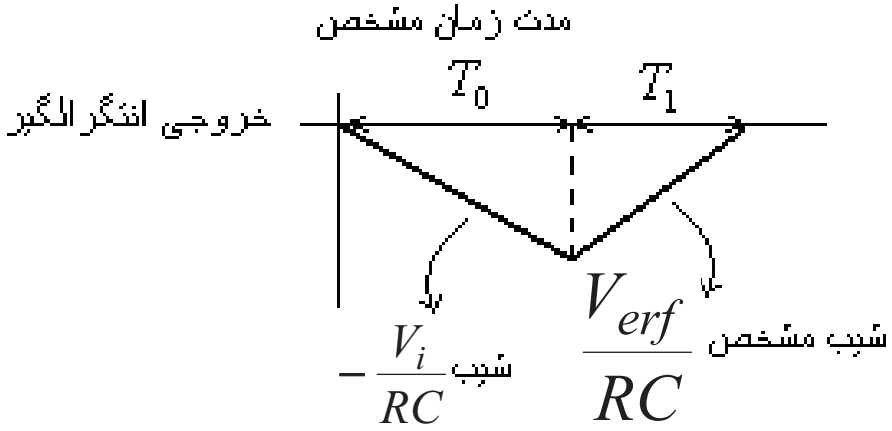
این روش به دقت فرکانس کلاک حساس است ، به مقادیر Vref وC وR در ramp gen. حساس است. به نقطه سویچ کردن مقایسه گر حساس است. به نویز روی ورودی آنالوگ حساس است.

6) روش دو شیبه Dual Slope Counter

برای رفع اشکال روش قبلی (وابستگی صحت به صحت R، C و فرکانس کلاک) بصورت مقایسه ای عمل می کنیم یعنی به وسیله یک انتگرال گیر هم از Vi و هم از Vref انتگرال می گیریم .



اغلب در مولتیمترهای دیجیتال از این نوع A/D استفاده میکنند که گرچه کند است ولی سرعتش برای این کار کافی است (یا از نوع V/F).



$$\frac{V_i}{RC}T_0 = \frac{V_{ref}}{RC}T_1 \Rightarrow V_i = V_{ref}\frac{T_1}{T_0} = V_{ref}\frac{N_1 T_{clock}}{N_0 T_{clock}} = V_{ref}\frac{N_1}{N_0}$$

پس T_1 یا N_1 متناسب با V_i خواهد بود. به این ترتیب کافی است مقدار R و C در طی T_0 با مقدار آن در در T_1 یکسان باشد و تغییرات آن در طول زمانی زیاد اهمیتی نداردو همچنین چون اندازه گیری T_0و T_1 هر دو با f_{clock} انجام میشود .long term stability کلاک نیز اهمیتی ندارد (البته V_{ref} باید صحت خوبی داشته باشد) . به این ترتیب با المانهای خیلی معمولی میتوان صحت خوبی در طول زمان زیاد و با وجود تغییرات حرارتی داشت (حدود 0.1 درصد).

بعلاوه چون از ورودی انتگرال میگیرد به نویز ورودی حساس نیست و نیاز به S/H ندارد.

برای N_0 داده شده مقدار f_{clock} تعیین کننده سرعت conversion است $T_0=N_0T_{clock}$.

معمولا این A/D ها دارای تصحیح صفر اتوماتیک (auto zero) برای جبران افست ولتاژ و جریان بایاس opamp و جریان نشتی خازن میباشند که قبل از هر اندازه گیری این کار را انجام میدهند (اندازه گیری افست و کم کردن از ورودی).

مثال :

$V_{ref}=1.000v$, $f_{clk}=1KHz$, $N_0=1000(T_0=1s)$ ، در این صورت اگر $N_1=502$ حاصل شده باشد $V_i=?$

پاسخ : $V_i=0.502v$

ضمنا در اینجا $T_{conv}=1.502s$ و حداکثر $2s$ است اگر $f_{clk}=10KHz$ و N_0 و N_1 مثل قبل باشند T_{conv} یکدهم میشود .