



DIGITAL TO ANALOG CONVERTERS (DAC)

Anisa Ulya Darajat, S.T, M.T

Prodi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Jambi

Let's Start

Example 1

Tentukan base 10 yang setara dengan binary 00100111_{10}

$$\begin{aligned} N_{10} &= a_5 2^5 + a_4 2^4 + a_3 2^3 + a_2 2^2 + a_1 2^1 + a_0 2^0 \\ &= (1)2^5 + (0)2^4 + (0)2^3 + (1)2^2 + (1)2^1 + (1)2^0 \end{aligned}$$

Example 2

Tentukan binary yang equivalen dengan base 10 dari 47

$$\frac{47}{2} = 23 \quad \text{sisanya } a_0 = 1$$

$$\frac{23}{2} = 11 \quad \text{sisanya } a_1 = 1$$

$$\frac{11}{2} = 5 \quad \text{sisanya } a_2 = 1$$

$$\frac{5}{2} = 2 \quad \text{sisanya } a_3 = 1$$

$$\frac{2}{2} = 1 \quad \text{sisanya } a_4 = 0$$

$$\frac{1}{2} = 0 \quad \text{sisanya } a_5 = 1 \quad \rightarrow 101111_2$$

Example 3

Tentukan base 10 yang equivalen dengan binary 0.11010_2

$$N_{10} = b_1 2^{-1} + b_2 2^{-2} + b_3 2^{-3} + b_4 2^{-4} + \dots + b_m 2^{-m}$$

OUTLINE



Konsep DAC



Persamaan DAC



Bipolar DAC



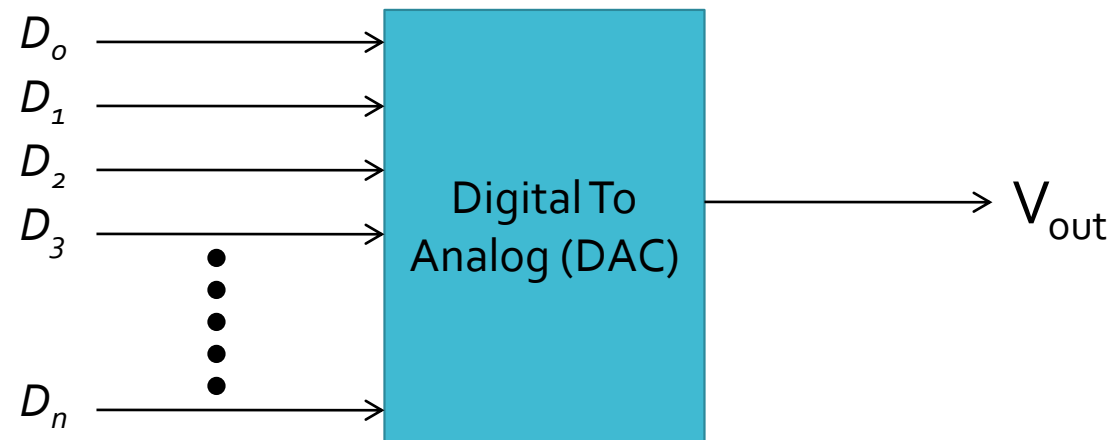
Tipe DAC



Karakteristik DAC

KONSEP DAC

DAC adalah sebuah konverter untuk mengkonversi informasi sinyal digital dan mentransformasikannya ke dalam bentuk analog.



Gambar 1. DAC Diagram Menunjukkan *Typical Input* dan *Output Signal*.

PERSAMAAN DAC

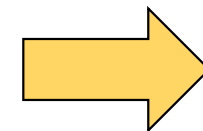
$$V_{out} = V_{ref} (b_1.2^{-1} + b_2.2^{-2} + \dots + b_n.2^{-n}) \quad \dots(1)$$

Dimana :

V_{out} = Analog Voltage Output

V_{ref} = Reference Voltage

$b_1 b_2 \dots b_n$ = n -bit binary word



Lihat Example 4

PENYEDERHANAAN PERSAMAAN

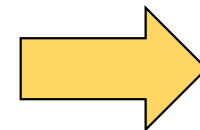
Dari penyederhanaan tadi maka persamaan (1) dapat diubah menjadi persamaan (2)

$$V_{out} = \frac{N}{2^n} V_{ref} \dots (2)$$

Dimana :

N = Base-10 whole-number of bit in the word

2^n = Full scale of bit



Lihat Example 5

Example 4

Jika diketahui sebuah konfigurasi input biner 4 bit, dengan konfigurasi 1111_b , dan tegangan referensi 5 V, maka V_{out}

Dengan $b_1, b_2, b_3, b_4 = 1111_b$

$$\begin{aligned} V_{out} &= V_{ref} (2^{-1} + 2^{-2} + 2^{-3} + 2^{-4}) \\ &= 0.9375 V_{ref} \end{aligned}$$

Example 5

Jika contoh soal pada *example 4* kita masukkan pada persamaan (2), maka :

$$\begin{aligned} V_{out} &= \frac{15}{2^4} 5 \text{ V} \\ &= 4.6875 \text{ V} \end{aligned}$$

Example 6

Tentukan tegangan output 10 bit DAC dengan referensi 10 V jika input:

(a) $0010110101_2 = 0B5H$

(b) 20FH. Input yang dibutuhkan untuk mendapatkan output 6.5 V

Jawaban 6

$$\begin{aligned} \text{(a)} \quad V_{\text{out}} &= V_{\text{ref}} (2^{-3} + 2^{-5} + 2^{-6} + 2^{-8} + 2^{-10}) \\ &= 10 (0.1767) = 1.767 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\text{(b)} \quad 20\text{FH} = 527_{10} \quad \text{dan} \quad 2^{10} = 1024$$

$$V_{\text{out}} = \frac{N}{2^n} V_R = \frac{527}{1024} (10) = 5.14 \text{ V}$$

Tentukan nilai input yang dibutuhkan untuk mendapatkan output 6.5 V

$$N = 2^n \left(\frac{V_{\text{out}}}{V_R} \right) = 1024 \left(\frac{6.5}{10} \right) = 665.6$$

BIPOLAR DAC

Beberapa DAC didesain dengan *range output* tegangan dari *plus* ke *Minus* berdasarkan tegangan *input* yang diberikan. Ada cara kerja yang digunakan dalam menghitung bilangan negative, yaitu dengan menggunakan dua bentuk komplemen, yaitu :

- ***Komplemen '2***
- ***Komplemen '1***

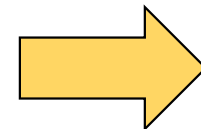
BIPOLAR DAC

- ***Komplemen '2***

Cara : Mengubah masing-masing digit bilangan biner tersebut, digit "0" diubah menjadi "1" dan sebaliknya digit "1" diubah menjadi "0". Setelah itu digit yang paling kanan (LSB) ditambah "1" .

Note : untuk bilangan biner digunakan digit (1) sebagai tanda bilangan negative, dan digit (0) sebagai tanda positif.

Tanda (1) dan (0) disebut sebagai modulus, dimana peletakannya diletakkan dibagian paling kiri suatu bilangan
MSB



Lihat Example 7

Example 7

Menggunakan konfigurasi 8 bit, maka jika diinginkan nilai biner dari bilangan integer 5, maka bentuk Biner-nya : 00000101_2 , jika dirubah menjadi -5 maka nilai biner dengan bilangan 1 diubah menjadi 0, dan 0 menjadi 1, sehingga menjadi 11111010_2 , lalu bilangan LSB ditambah satu sehingga menjadi 11111011_2 .

Bilangan desimal	Bilangan Biner 8 bit	Komplemennya
+5	(0) 0000 0101 ₂	(1) 1111 1010 ₂
-5		<div style="text-align: right;"> 1 -----+ </div> (1) 1111 1011 ₂

BIPOLAR DAC

- **Komplemen '1**

Cara : Dengan mengubah digit "0" menjadi "1" dan sebaliknya digit "1" diubah menjadi digit "0". Pada LSB tidak perlu ditambah digit "1".

Kurangkan (o) 0000 1110₂ dari (o) 0000 1010₂

$$\begin{array}{r} 10 \\ 14 \text{ --} \\ \hline -4 \end{array}$$

(0) 0000 1010₂

(1) 1111 0001₂ + → Komplemen '1 dari (0) 0000 1110₂

0 (1) 1111 1011₂

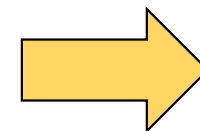
↘ 0 +

(1) 1111 1011₂ → Komplemen '1 dari (0) 0000 0100₂ (+4)

BIPOLAR DAC

Meskipun biasanya computer menggunakan komplemen '2 untuk merepresentasikan bilangan negative, akan tetapi untuk DAC ini tidak umum digunakan, konverter akan lebih mudah menggunakan notasi *offset-binary*. Dimana *output* secara sederhana adalah setengahnya dari tegangan referensi.

$$V_{out} = \frac{N}{2^n} V_R - \frac{1}{2} V_R$$



Lihat Example 8

Example 8

Diketahui sebuah bipolar DAC 10 bit dan referensi tegangan 5V, berapa *output* yang dihasilkan jika diketahui *input* 04FH dan 2A4H? Berapa nilai digital *input* jika tegangan *output* adalah zero?

$$V_{out} = \frac{N}{2^n} V_R - \frac{1}{2} V_R$$

Jawaban 8

$$\begin{aligned} V_{out} &= \frac{79}{1024} (5) - \frac{(5)}{2} \\ &= -2.1142578 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{out} &= \frac{676}{1024} (5) - \frac{(5)}{2} \\ &= 0.80078 \text{ V} \end{aligned}$$

$$V_{out} = \frac{N}{1024} (5) - \frac{(5)}{2}$$

$$0 = \frac{N}{1024} (5) - \frac{(5)}{2}$$

$$N = 512_{10} = 200H = 1000000000_2$$

Conversion Resolution

Rumus:

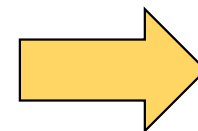
$$\Delta V_{out} = V_R 2^{-n}$$

dengan:

ΔV_{out} : perubahan output terkecil

V_R : tegangan referensi

n : nilai bit



Lihat Example 9

Example 9

Diketahui 5 bit DAC dengan referensi 10 V. Berapakah perubahan output terkecil.

$$\Delta V_{out} = V_R 2^{-n}$$

$$\Delta V_{out} = 10 2^{-5} = 0.3125 \text{ V}$$

Example 10

Tentukan berapa banyak bit dan perubahan output DAC yang dapat memberikan perubahan output 0.04 V atau lebih dengan referensi 10 V.

Jawaban 10

$$\Delta V_{out} = V_R 2^{-n}$$

$$0.04 = 10 2^{-n}$$

$$\log(0.04) = \log[(10)(2^{-n})]$$

$$\log(0.04) = \log 10 - n \log 2$$

$$n = \frac{\log(10) - \log(0.04)}{\log 2} = 7.966 \quad n=8$$

$$\text{Sehingga: } \Delta V_{out} = V_R 2^{-n} = 10(2^{-8}) = 0.0390625 \text{ V}$$

Example 11

Sebuah control valve mempunyai variasi linear tegangan input dari 0 sampai 10 V. Mikrokomputer 8 bit digunakan untuk mengontrol valve.

- (a) Tentukan tegangan referensi yang diperlukan untuk membuka katup (10V) dengan full digital 11111111_2
- (b) Tentukan presentase pembukaan valve untuk 1 bit perubahan pada output

Jawaban 11

TIPE DAC

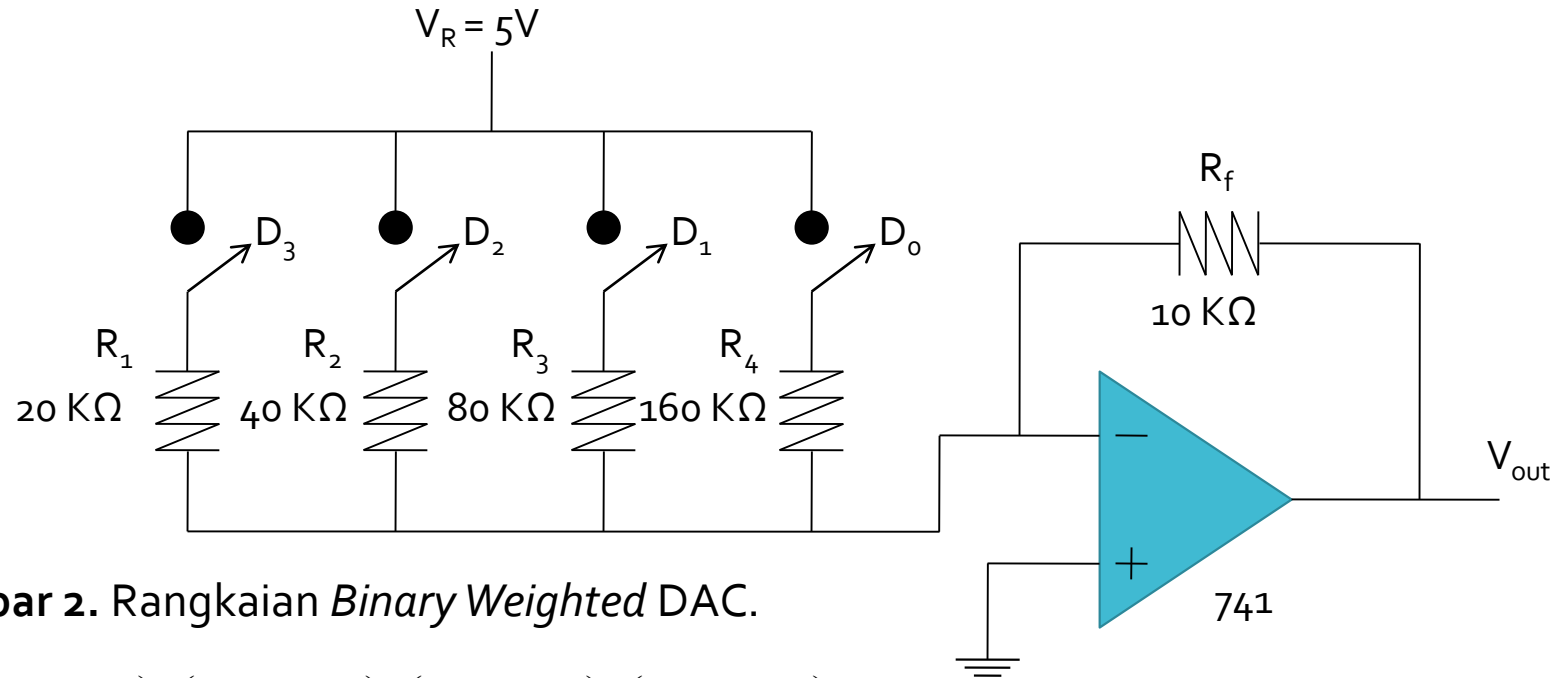
Untuk dapat membuat rangkaian DAC dapat menggunakan 2 metode yaitu :

1. Binary Weighted DAC

2. R/2R Ladder

Binary Weighted DAC

$$\begin{aligned} R_2 &= 2 R_1 \\ R_3 &= 2 R_2 \\ R_4 &= 2 R_3 \\ R_f &= 1/2 R_1 \end{aligned}$$



Gambar 2. Rangkaian *Binary Weighted* DAC.

$$\begin{aligned} V_{out} &= \left(-\frac{R_f}{R_1} V_{in1}(D_3) \right) + \left(-\frac{R_f}{R_2} V_{in2}(D_2) \right) + \left(-\frac{R_f}{R_3} V_{in3}(D_1) \right) + \left(-\frac{R_f}{R_4} V_{in4}(D_0) \right) \\ &= -R_f(I) \end{aligned}$$

pada gambar 2, maka nilai $V_{in1} = V_{in2} = V_{in3} = V_{in4} = V_{ref}$

$$\begin{aligned} &= -R_f \left[V_{ref} \left[\left(\frac{1}{R_1} D_3 \right) + \left(\frac{1}{R_2} D_2 \right) + \left(\frac{1}{R_3} D_1 \right) + \left(\frac{1}{R_4} D_0 \right) \right] \right] \\ &= -R_f \left[V_{ref} \left[\left(\frac{1}{R} D_3 \right) + \left(\frac{1}{2R} D_2 \right) + \left(\frac{1}{4R} D_1 \right) + \left(\frac{1}{8R} D_0 \right) \right] \right] \\ &= -R_f \left[V_{ref} \left[\left(\frac{1}{R} D_{n-1} \right) + \left(\frac{1}{2R} D_{n-2} \right) + \left(\frac{1}{4R} D_{n-3} \right) + \dots + \left(\frac{1}{2^{n-1} R} D_{n-n} \right) \right] \right] \dots (3) \end{aligned}$$

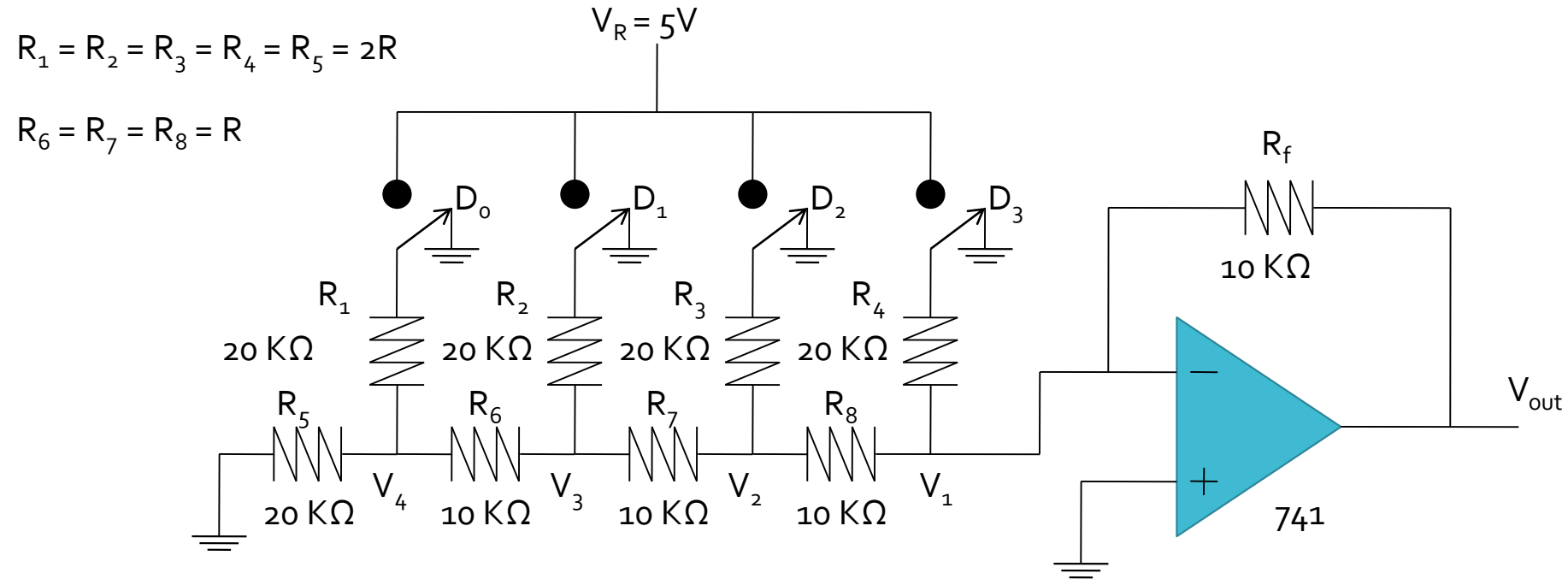
Example 5

Jika diketahui pada gambar 2 dengan konfigurasi *input* biner 4 bit, dengan konfigurasi $D_0, D_1, D_2, D_3 = 1111_b$, dan tegangan referensi 5 V, maka V_{out} ?

jika $n=4$, maka :

$$\begin{aligned} &= -10k\Omega \left(V_{ref} \left[\left(\frac{1}{R} D_{4-1} \right) + \left(\frac{1}{2R} D_{4-2} \right) + \left(\frac{1}{4R} D_{4-3} \right) + \left(\frac{1}{2^{n-1}R} D_{4-4} \right) \right] \right) \\ &= -10k\Omega \left(V_{ref} \left[\left(\frac{1}{20k\Omega} D_3 \right) + \left(\frac{1}{40k\Omega} D_2 \right) + \left(\frac{1}{80k\Omega} D_1 \right) + \left(\frac{1}{160k\Omega} D_0 \right) \right] \right) \\ &= -10k\Omega \left(5V [0.05 + 0.025 + 0.0125 + 0.00625] \right) \\ &= -10k\Omega (0.46875mA) \\ &= -4.6875V \end{aligned}$$

R/2R LADDER



Gambar 3. Rangkaian *R/2R Ladder* DAC.

$$V_1 = \frac{1}{2} V_{ref} ; V_2 = \frac{1}{2} V_1 ; V_3 = \frac{1}{2} V_2 ; V_4 = \frac{1}{2} V_3$$

R/2R LADDER

Results :

$$V_1 = \frac{1}{2} V_{\text{ref}} ; V_2 = \frac{1}{4} V_{\text{ref}} ; V_3 = \frac{1}{8} V_{\text{ref}} ; V_4 = \frac{1}{16} V_{\text{ref}}$$

$$V_{\text{out}} = -R_f (IT)$$

$$= \left(-\frac{R_f}{R_4} V_1 (D3) \right) + \left(-\frac{R_f}{R_3} V_2 (D2) \right) + \left(-\frac{R_f}{R_2} V_3 (D1) \right) + \left(-\frac{R_f}{R_1} V_4 (D0) \right)$$

$$= -R_f \left[\left(\frac{V_1}{R_1} D3 \right) + \left(\frac{V_2}{R_2} D2 \right) + \left(\frac{V_3}{R_3} D1 \right) + \left(\frac{V_4}{R_4} D0 \right) \right]$$

Example 6

Jika diketahui pada gambar 3 dengan konfigurasi *input* biner 4 bit, dengan konfigurasi $D_0, D_1, D_2, D_3 = 1111_b$, dan tegangan referensi 5 V, maka V_{out}

$$\begin{aligned} V_{out} &= -R_f (I_T) \\ &= \left(-\frac{R_f}{R_4} V_1 (D_3) \right) + \left(-\frac{R_f}{R_3} V_2 (D_2) \right) + \left(-\frac{R_f}{R_2} V_3 (D_1) \right) + \left(-\frac{R_f}{R_1} V_4 (D_0) \right) \\ &= -R_f \left[\frac{V_1}{R_4} D_3 + \frac{V_2}{R_3} D_2 + \frac{V_3}{R_2} D_1 + \frac{V_4}{R_1} D_0 \right] \\ &= -10 \text{ k}\Omega \left[\left(\frac{5 \text{ V}}{20 \text{ k}\Omega} 1 \right) + \left(\frac{2.5 \text{ V}}{20 \text{ k}\Omega} 1 \right) + \left(\frac{1.25 \text{ V}}{20 \text{ k}\Omega} 1 \right) + \left(\frac{0.625 \text{ V}}{20 \text{ k}\Omega} 1 \right) \right] \\ &= -10 \text{ k}\Omega [0.25 \text{ mA} + 0.125 \text{ mA} + 0.0625 \text{ mA} + 0.03125 \text{ mA}] \\ &= -10 \text{ k}\Omega [0.46875 \text{ mA}] \\ &= -4.6875 \text{ V} \end{aligned}$$

PERFORMANCE AND CHARACTERISTIC

- ❑ *Performance Specifications*

- ❑ Common Applications

KARAKTERISTIK DAC

□ *Performance Specifications*

- *Resolution*

- *Power Supply*

- *Reference Voltage*

- *Output*

- *Offsetc*

- *Data Latch*

- *Conversion Time*

○ Resolution

Resolution: variasi jumlah pada tegangan output untuk setiap perubahan 1 bit pada *input* digital.

$$\text{Resolusi} = \frac{V_{ref}}{2^n}$$

Resolusi = Perubahan keluaran terkecil

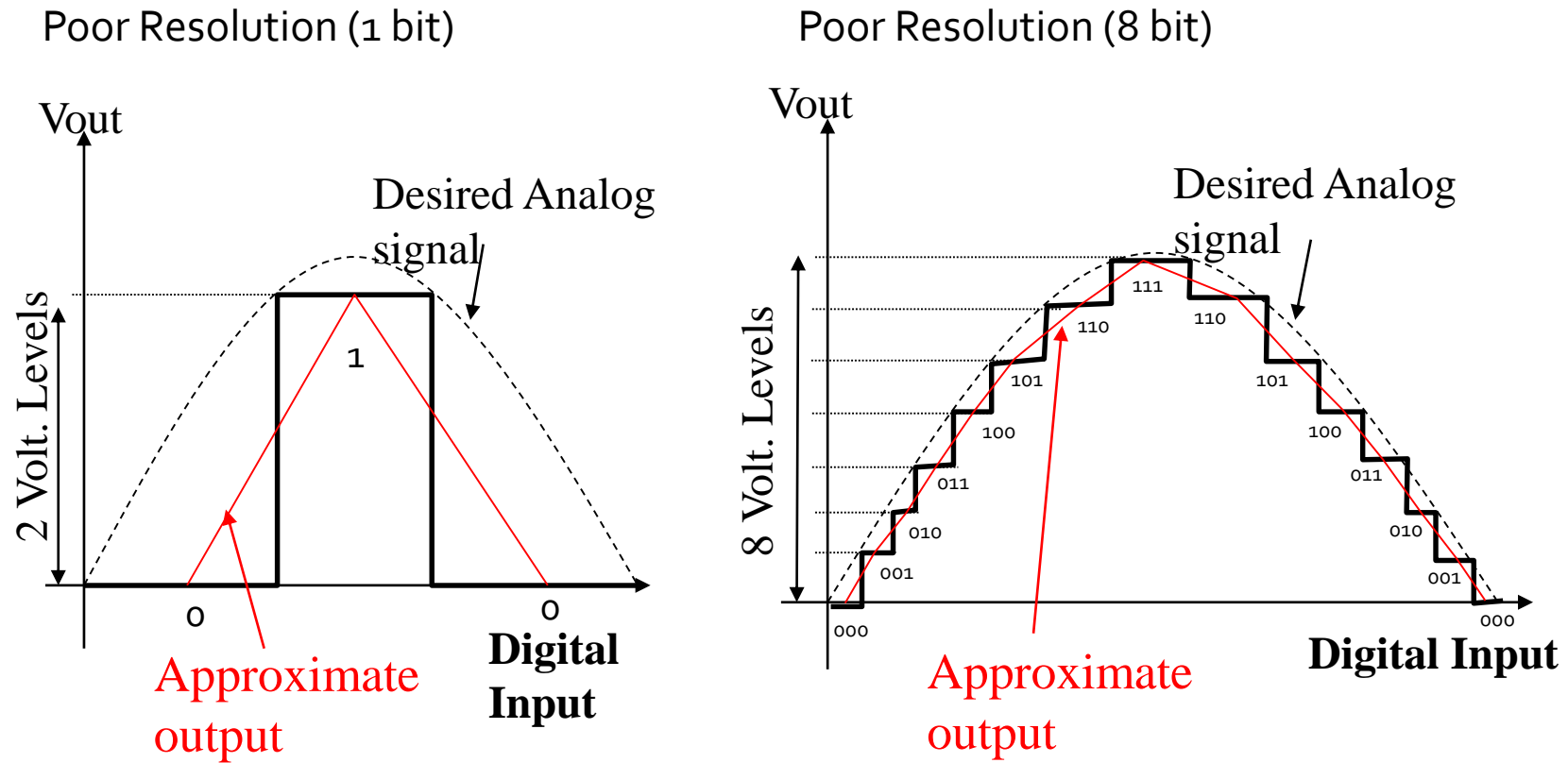
V_{ref} = Tegangan referensi

n = number of bits dalam word

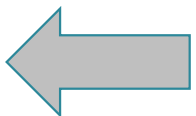
Jadi, *5-bit word D/A converter* dengan *10-V reference* akan memberikan

perubahan $\Delta V_{out} = (10)(2^{-5}) = 0.3125 \text{ V}$ per bit.

○ Resolution



Gambar 4. Perbedaan resolusi dari DAC.



○ *Power Supply*

Adalah bipolar pada level $\pm 12\text{V}$ sampai $\pm 18\text{V}$ seperti yang diperlukan untuk internal amplifier. Beberapa DAC beroperasi dengan catu daya tunggal.

○ *Reference Voltage*

Diperlukan untuk menetapkan range tegangan output dan resolusi dari converter. Ini harus stabil, low ripple source.

○ *Output*

Adalah tegangan yang mewakili input digital. Perubahan tegangan ini secara bertahap sebagai perubahan input digital berdasarkan bit,. Output actual mungkin bipolar jika converter yang didesain menginterpretasikan input digital adalah negatif,.

○ *Offset*

Biasanya DAC diimplementasikan dengan op-amp, mungkin terdapat typical tegangan output offset dengan input nol. Biasanya koneksi akan diberikan untuk memfasilitasi penekanan output DAC dengan input word zero.

○ *Data Latch*

Banyak DAC mempunyai sebuah data latch yang dibangun ke masukannya. Ketika perintah logic diberikan untuk data latch, data apapun yang ada di bus input akan terkunci didalam DAC, dan output analog akan diperbarui untuk data input itu. Output akan tetap pada nilai itu sampai data digital baru dikunci kedalam input. Dengandemikian input DAC dapat dikoneksikan secara langsung ke data bus computer, tetapi itu akan diperbarui hanya ketika sebuah perintah pengunci diberikan oleh computer.

○ *Conversion Time*

DAC melakukan konversi input digital ke output analog hampir seketika, dari saat bahwa sinyal digital di tempatkan pada input terhadap kehadiran tegangan output analog hanyalah waktu propagasi sinyal melalui internal amplifiers. Biasanya settling time internal amplifier akan menjadi beberapa millidetik.

TERIMA KASIH