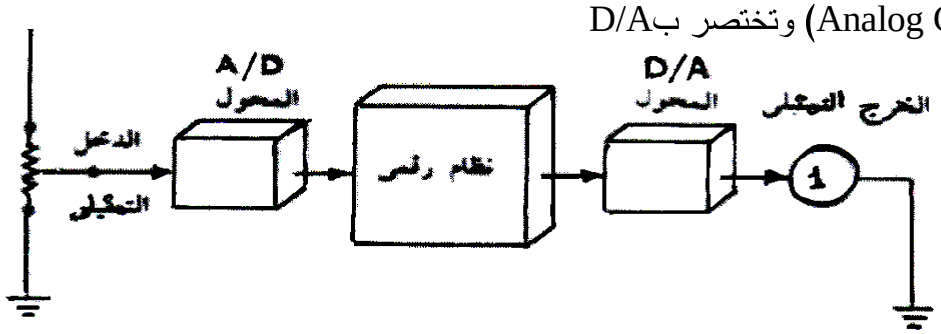
الباب الخامس

محولات الإشارة Signal Converter

5-1 تعريف النظم التماثلية والرقمية:

تحتاج النظم الرقمية في كثير من الاحيان إلى ان تلحق بأداة تماثلية كما يبين الشكل (5-1) نموذجاً لوضع يكون فيه لوحدة أو نظام التشغيل الرقمي مدخل ومخارج تماثلية. الدخل على يسار الشكل هو عبارة عن جهد مستمر ثم يأتي المحول من تماثلي إلى رقمي (Analog to Digital Converter) وتختصر بـــ A/D ليترجم المدخل التمثيلي إلى معلومات رقمية وعند المخرج للنظام الرقمي تقوم أداة أخرى وهي المحول من رقمي إلى تماثلي (Digital to Analog Converter) وتختصر بـD/A

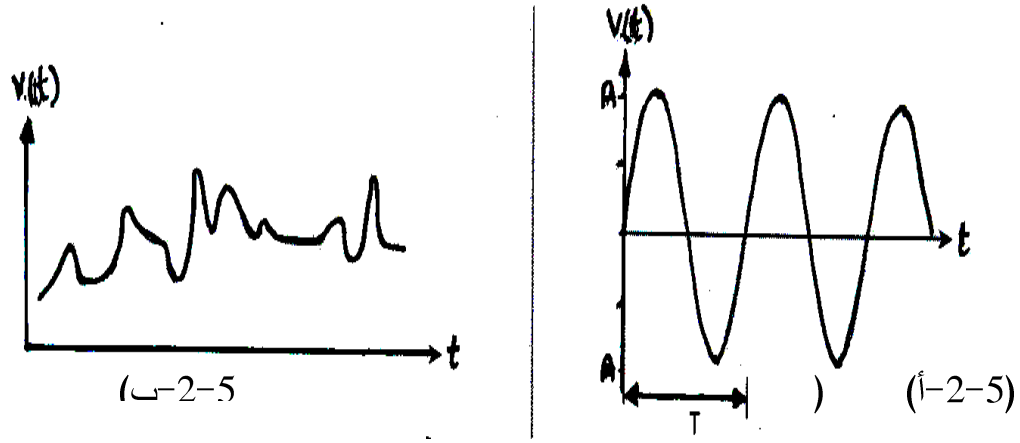


شكل (5-1)

تقسم الإشارات بشكل عام إلى :

1- الإشارات التماثلية (Analog Signals)

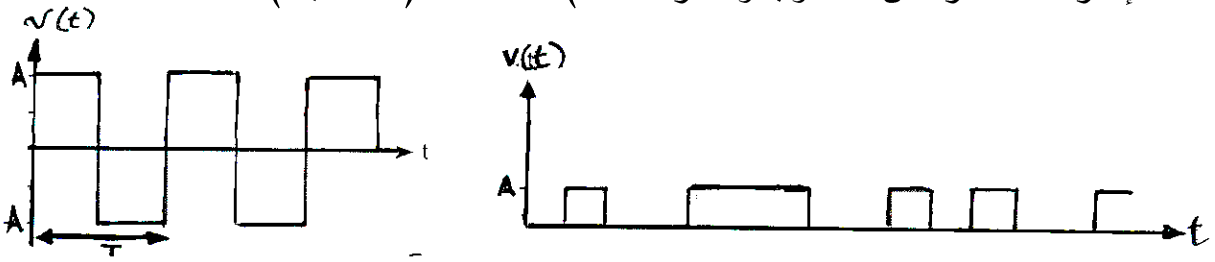
هي إشارات تأخذ قيماً متغيرة ومتواصلة دون انقطاع خلال فترة زمنية محددة، مثل الإشارة الكهربائية الجيبية الصادرة عن مصدر كهربائي كما في الشكل (5-2-أ) ، أو الاشارة الكهربائية الصادرة عن ميكرفون الهاتف كما في شكل (5-2-ب)



(5-2-أ) (5-2-ب)

2- الإشارات الرقمية (Digital Signals)

هي تلك الإشارات التي تتغير قيمتهابين مستويين عالى و منخفض عند تغيرها مع الزمن، ومثال ذلك الإشارات الصادرة عن الحاسوب والتلغراف ...) لاحظ شكل (5-2-جـ)



(5-2-جـ)

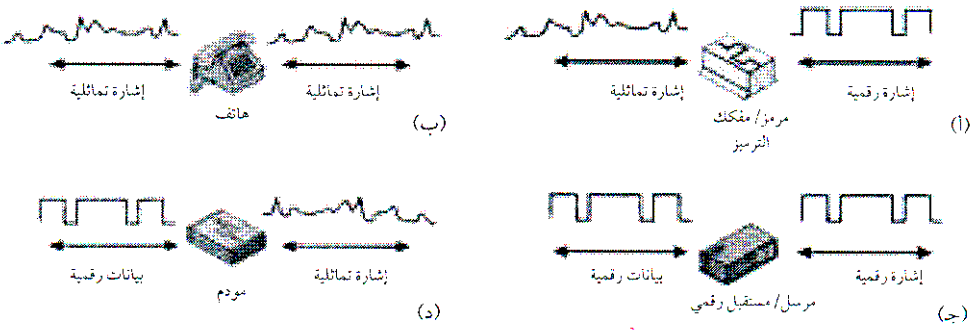
يبين شكل (5-3) بعض التطبيقات العملية على تحويل وتعديل هذه الإشارات

١ -إشارة رقمية – إشارة تماثلية الشكل (5-3-أ)

٢ -اشارة تماثلية – إشارة تماثلية الشكل(5-3-ب)

٣ -اشارة رقمية – بيانات رقمية الشكل (5-3-جـ)

٤ -إشارة تماثلية – بيانات رقمية الشكل (5-3-د)



شكل (5-3) تطبيقات عملية على تحويل وتعديل الاشارات

مقارنة بين أنظمة الاتصالات الرقمية والتماثلية

تمتاز انظمة الاتصال الرقمية عن التماثلية بما يأتي:

١ – الجودة والكفاءة العالية لنوعية المعلومات في المستقبل الرقمي.

٢ – تمتاز أجهزة الاتصال الرقمية بفاعلية واستقرارية ووثوقية بالعمل أفضل من أجهزة الاتصال التماثلية.

٣ – يكون تأثير التشويش (Noise) على الأنظمة الرقمية أقل منه في الأنظمة التماثلية، لإمكانية تصحيح الأخطاء.

٤ – إمكانية دمج عدد من الإشارات على نفس قناة البث في الأنظمة الرقمية باستخدام تقنيات الإرسال الرقمي المتعدد.

٥ – تعتمد الأنظمة الرقمية على تشفير البيانات، مما يعطيها ميزة عالية بالأمن والحماية.

٦ – تعدّ الأنظمة الرقمية أكثر اقتصادية من الأنظمة التماثلية.

٧ – تستخدم الأنظمة الرقمية التقنيات المحوسبة في معالجة الإشارات الرقمية (تخزين ، تشفير ، تحكم)

ورغم الإيجابيات المتعددة للأنظمة الرقمية إلا أن لها سلبيات منها:

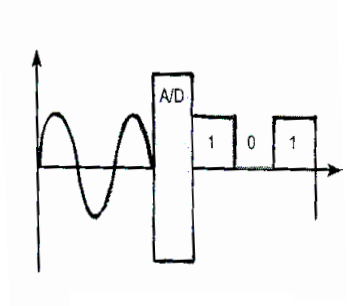
١ –تعد الأنظمة الرقمية أكثر تعقيداً من الأنظمة التماثلية.

٢ –حاجتها لعرض نطاق كبير جداً مقارنة مع الأنظمة التماثلية.

<u>التحويل التماثلي – الرقمي (A/D)</u>

تعتمد هذه الآلية على تحويل الإشارة التماثلية إلى سلسلة من النبضات وفقاً لتغير إشارة المعلومات، ويرمز لهذه الآلية ADC أو A/D حيث يكفي إرسال عينات بصورة منتظمة في وحدة الزمن عوضاً عن إرسال الإشارة التماثلية

لاحظ الشكل (5–4)



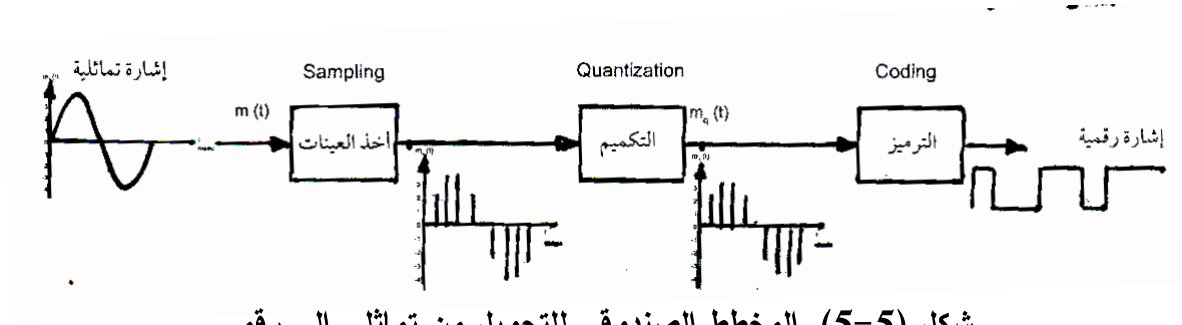
شكل (5-4)

وتقسم مراحل آلية التحويل التماثلي – الرقمي إلى ثلاث مراحل:

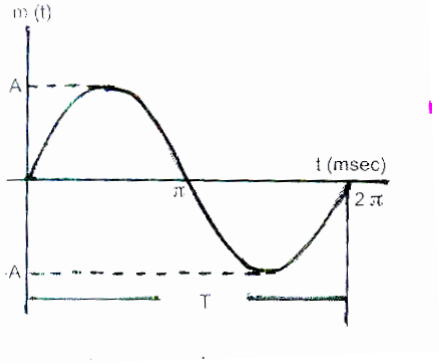
١ –أخذ العينات (Sampling) : وهي أخذ قيم لحظية لاتساع الإشارة التماثلية المتصلة في فترات محددة ، بحيث تصبح الإشارة منفصلة في مجال الزمن

٢ – التكميم (Quantization) هي عملية تقريب القيم اللحظية (Samples) والتي أخذت في مرحلة أخذ العينات إلى مستويات محددة (Levels)

٣ – الترميز (Coding) هي عملية إعطاء مستويات التكميم رموزاً رقمية محددة (رموز النظام الثنائي 0 أو 1)، ويبين الشكل (5–5) المخطط الصندوقي لعملية التحويل التماثلي– الرقمي.



شكل (5–5) المخطط الصندوقي للتحويل من تماثلي إلى رقمي



حيث إن : m (t) : إشارة المعلومات التماثلية المراد إرسالها ، وللتسهيل سنعدها إشارة جيبية.

m(t) A sin (2π ft) كما هو مبين في الشكل (5–6)

ولكي نفهم ماذا يحدث في عملية التحويل التماثلي – الرقمي لابد من شرح المراحل الثلاث التي تمر فيها هذه العملية

شكل (5–6)

<u>مرحلة أخذ العينات (Sampling)</u>

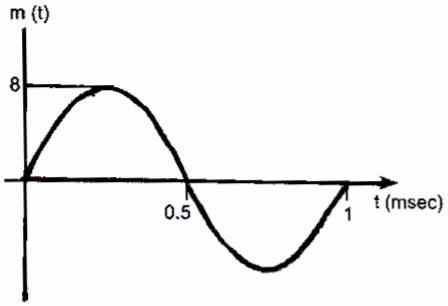
تمثل عملية أخذ العينات عملية تبويب (gating) (فتح الباب لأخذ العينة (Sample) ثم غلقه بمجرد القيام بذلك ، وتعرف باسم hold وتتكرر العملية بانتظام) أي اخذ قيم منفصلة بشكل منتظم لسعة إشارة تماثلية. وهنا لابد من تعريف نظرية العينات (Sampling Theorem) والتي تنص على أنه يتم اخذ عينات من الإشارة التماثلية ذات التردد الأقصى (f_m) بتردد العينات (fs) لا يقل عن $2f_m$ وبصورة منتظمة $fs >_{2fm}$ ، ذلك حتى يمكن استرجاع الإشارة التماثلية من عيناتها.

و تسمى قيمه التردد fs=2fm بتردد نايكوست (nyquist frequency)

و اذا قل تردد أخذ العينات fs عن 2fm يحدث خطأ التداخل و يعرف بـــ (aliasing error)

مثال (1) : إشارة جيبية ممثلة بالمعادلة الآتية: $m(t) = 8 \sin (2A\ 1000\ t)$ أوجد ما يأتي:

الحـــل:



- اتساع الإشارة A.

$$A = 8$$

- تردد الإشارة f_m

$$f_m = 1000\ Hz$$

- زمن الدورة T

$$T = \frac{1}{f_m} = \frac{1}{1000} = 1\ ms$$

- تردد نايكوست f_s

$$f_s = 2f_m = 2\ (1000) = 2000\ Hz$$

- زمن اخذ العينات T_s

$$Ts = \frac{1}{f_s} = \frac{1}{2000} = (0.5)\ (10)^{-3} = 0.5\ ms$$

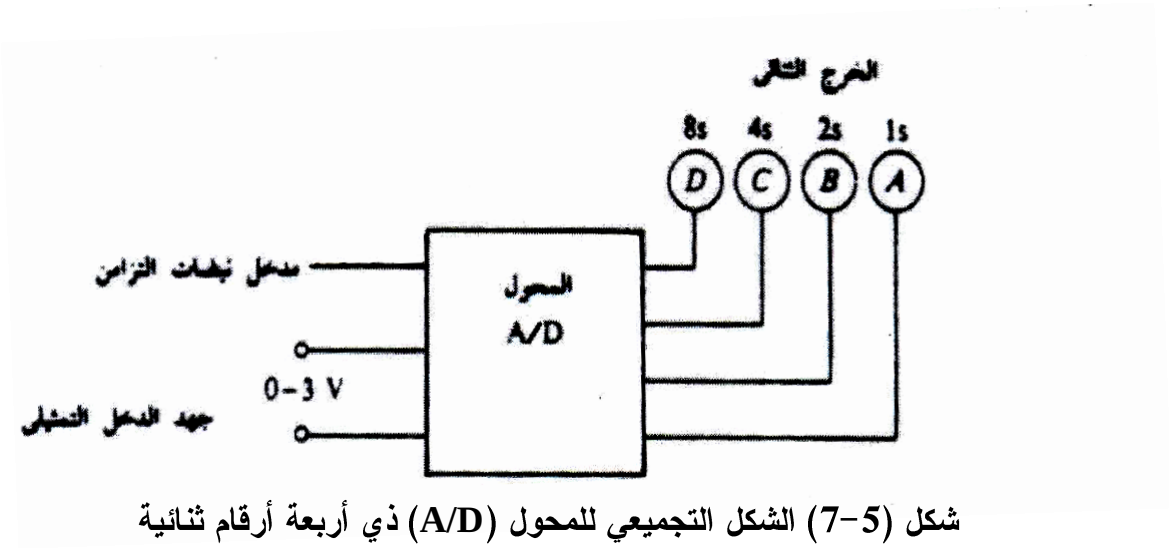
- عدد العينات في كل فترة ns

$$ns = \frac{f_s}{f_m} = \frac{2000}{1000} = 2$$

2-5 التحويل من تماثلي إلى رقمي Analog To Digital Converter (A/D)

عندما يكون هناك حاجة لإجراء معالجة للإشارات التماثلية الصادرة عن محولات الطاقة او أي أجهزة أخرى وذلك عن طريق الحاسب الآلي، وكذلك عند الحاجة إلى تخزين البيانات في وحدات التسجيل الرقمية ، فإنه يلزم قبل ذلك تحويل هذه الاشارات التماثلية إلى اشارات رقمية لكي تستطيع الحاسبات ووحدات التسجيل التعامل معها ، لذلك تظهر الحاجة إلى المحولات من تماثلي إلى رقمي (A/D) يقوم المحول من تماثلي إلى رقمي بعكس الإجراء الذي يقوم به المحول من رقمي إلى تماثلي فيتم عن طريقة تحويل الاشارات التماثلية الداخلة إلى إشارات رقمية في الخرج.

ويتضح لنا من الشكل (5-7) المخطط الصندوقي للمحول (A/D) كما يتضح منه أن الدخل عبارة عن جهد مجهول (إشارة تماثلية) تتراوح بين (0V – 3V) وتتراوح قيمة الخرج الرقمية بين العدد (0000) والعدد (1111) اعتماداً على قيمة جهد الدخل.



شكل (5–7) الشكل التجميعي للمحول (A/D) ذي أربعة أرقام ثنائية

وتتكون دائره المحول من تماثلى الى رقمى :

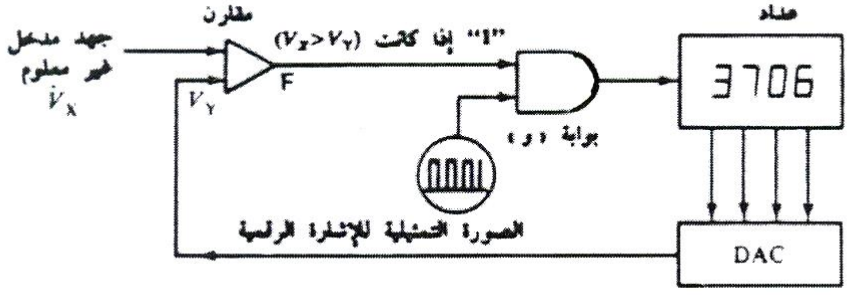
١ –مقارن Comparator

٢ –بوابة "و" And Gate

٣ –عدد Counter

٤ –محول من رقمي إلى تماثلي A/D Converter

والشكل (5–8) يبين الدائرة العملية لأحد أنواع المحولات (A/D) والذي يسمى بـــ المحول مستمر التوازن فهو كما ذكرنا يحتوي على محول D/A ضمن العناصر الداخلة في تصميمه.



شكل (5–8) الدائرة العملية لأحد أنواع المحولات A/D

ولكي نفهم عمل المحول فإننا نفترض أن جهد الدخل المجهول (Vx) المطلوب قياسه يساوي (0.75v) ولنفرض كذلك ان المحول D/A الداخل في تصميم هذا المحول يتزايد خرجه بمقدار (0.2 v)

فان عملية التحويل تتم حسب الخطوات التالية:

١ –يتم تصفير جميع عناصر الدائرة بحيث يصبح خرج العداد 0000 وخرج المحول صفر D/A = Ov أي أن التغذية المرتدة تساوي 0

٢ –تتم مقارنة الجهد التماثلي (0.75v) مع خرج المحول D/A والذي يساوي طبعاً صفر، لذا يكون ناتج المقارنة أن الجهد التماثلي أكبر فبالتالي يكون خرج المقارن 1.

٣ –يتم إعطاء نبضة من الـــ Clock فتصبح قراءة العداد 0001

٤ –يصبح خرج المحول D/A هو 0.2v

٥ –نعود مرة أخرى إلى عملية المقارنة، وهكذا تتكرر العملية.

٦ –حتى تكون قيمة المحول D/A أكبر من القيمة المراد تحويلها أو تساويها وبالتالي يصبح خرج المقارن 0 وتتوقف عملية العد لأن خرج البوابة يصبح صفراً (أي أن Vx < Vy)

٧ –يكون العدد الذي وصل إليه العداد هو القيمة الرقمية المماثلة للجهد التماثلي.

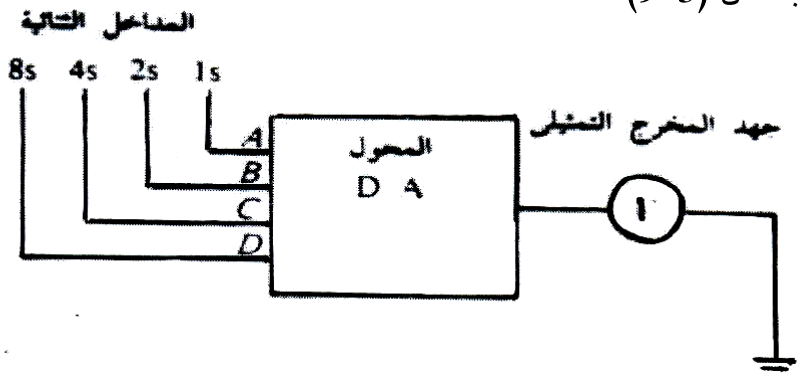
والجدول التالي يوضح جدول الصواب للمحول (A/D) مستمر التوازن ذي الأربعة أرقام ثنائية ويتضح منه ان خرجه الرقمي يتزايد بمقدار خانة ثنائية لكل زيادة في الداخل التماثلي بمقدار (0.2 V)

الدخل التماثلي	**الخرج الرقمي**			
Vx	D	C	B	A
0	0	0	0	0
0.2	0	0	0	1
0.4	0	0	1	0
0.6	0	0	1	1
0.8	0	1	0	0
1	0	1	0	1
1.2	0	1	1	0
1.4	0	1	1	1
1.6	1	0	0	0
1.8	1	0	0	1
2	1	0	1	0
2.2	1	0	1	1
2.4	1	1	0	0
2.6	1	1	0	1
2.8	1	1	1	0
3	1	1	1	1

3-5 التحول من رقمي إلى تماثلي Digital to Analog Converter (D/A)

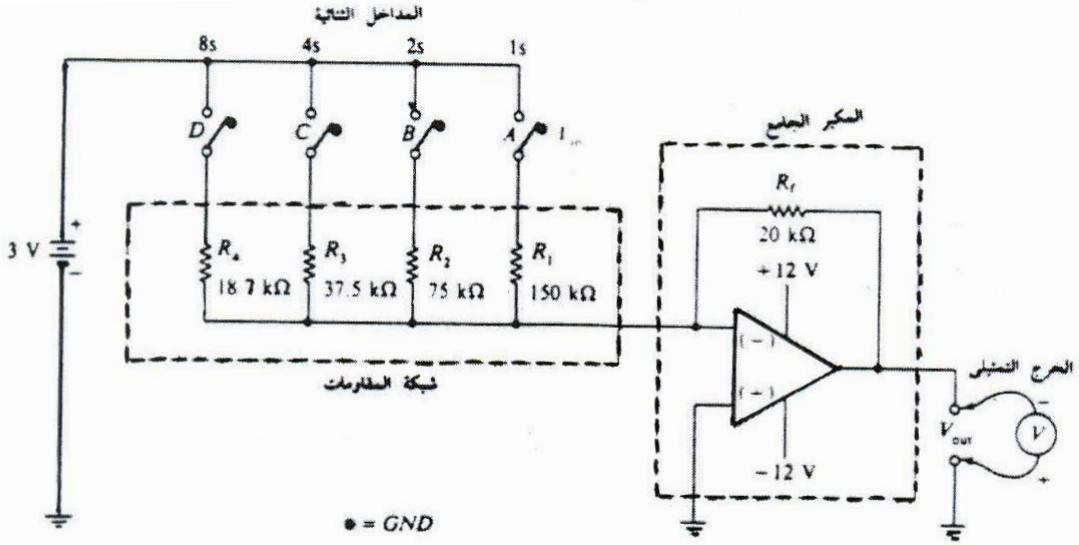
في كثير من الأحيان تدخل إلى نظم التحكم المستخدمة في الصناعة إشارات مستمدة من مصادر رقمية مثل أقراص الحاسب والحاسبات الآلية، ولذلك يكون المحول من رقمي إلى تماثلي (DAC or D/A) جزءا ضرورياً لربط العناصر الرقمية والتماثلية في النظام.

من هنا يتضح ان مهمة المحول هي تحويل الدخل الرقمي إلى خرج تماثلي مكافئ لقيمة الدخل، كما يتضح ذلك بالشكل (5-9)



شكل (5-9) مخطط صندوقي يوضح مهمة المحول (D/A)

يعتبر المحول الأولي أحد أنواع المحولات المستخدمة للتحويل من رقمي إلى تماثلي ويكون الدخل عبارة عن أرقام ثنائية يتم إدخالها عن طريق المفاتيح (A, B, C, D) ويكون الخرج التماثلي المكافئ لقيمة المفاتيح في الجهة الأخرى،والشكل (5-10) يوضح محول أولى من رقمي إلى تماثلي (D/A) له أربعة مداخل ثنائية (A, B, C, D) وخرج تماثلي واحد.



شكل (5-10) الرسم التخطيطي لدائرة محول أولي (A/D)

ينقسم هذا المحول من حيث الوظيفة إلى جزئين هما :

١ -شبكة المقاومات ..... , RI, R2 , R3, R4)

٢ -المكبر الجامع ووظيفته تدريج جهد الخرج اعتماداً على جدول الصواب.

وتتكون العلاقة الرياضية للخرج التماثلي V out هي:

$$V_{out} = V_{in} * R_f\left(\frac{1}{R_4}+\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_1}\right) \qquad \rightarrow (1)$$

حيث إن R1=R ترتبط بالمفتاح A والذي رتبته ذات وزن يساوي 1 .

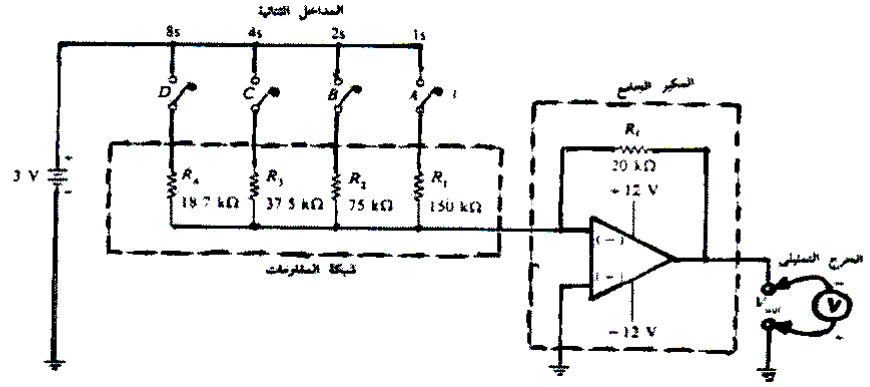
R2= $\frac{R_1}{2}$ ترتبط بالمفتاح B والذي رتبته ذات وزن يساوي 2 .

R3= $\frac{R_1}{4}$ ترتبط بالمفتاح C والذي رتبته ذات وزن يساوي 4 .

R4= $\frac{R_1}{8}$ ترتبط بالمفتاح D والذي رتبته ذات وزن يساوي 8 .

مما سبق يتضح ان كل مقاومة لها قيمة تساوي نصف قيمة المقاومة السابقة لها وهكذا .

ولكي نفهم عمل المحول ، فإننا نفرض أي جهد الدخل يساوي (3V) وقيمة مقاومة التغذية العكسية (Rf=20kΩ) ، ومقاومة الدخل (R= 150KΩ) كما بالشكل (5-11)



شكل (5-11)

شكل (5-11) محول أولي موضح عليه قيم الجهود والمقاومات في البداية نستنتج قيم المقاومة (R1, R2, R3, R4) كالتالي:

$$R_1 = R = 150K\Omega$$

$$R_2 = \frac{R_1}{2} = \frac{150}{2} = 75K\Omega$$

$$R_3 = \frac{R_1}{4} = \frac{150}{4} = 37.5K\Omega$$

$$R_4 = \frac{R_1}{8} = \frac{150}{8} = 18.75K\Omega$$

وبما أن عدد المداخل الثنائية (الدخل الرقمي) عبارة عن اربعة مداخل، فإن هذا يعطينا (16) احتمال لهذه المداخل حيث تبدأ هذه الاحتمالات من الدخل ذي القيمة (0000) وحتى القيمة (1111)

بعد ذلك نستنتج القيم التماثلية (الخرج) المقابلة لكل دخل رقمي وذلك بتطبيق القانون من العلاقة السابقة (1) كالتالي :

١ -إذا كان الدخل الرقمي (0000) فهذا يعني ان جميع المقاومات لا تدخل في الدائرة، وبتطبيق العلاقة (1) تكون قيمة الخرج التماثلي V OUT هي:

V out = 3 * 20* (0+0+0+0) = 0

a. إذا كان الدخل الرقمي (0001) فهذا يعني ان المفتاح A مقفل، وبذلك تدخل المقاومة RI المرتبطة بالمفتاح بالدائرة وبتطبيق العلاقة (1) تكون قيمة الخرج التماثلي Vout هي:

$$V_{out} = 3 * 20 \left(0 + 0 + 0 + \frac{1}{150} \right) = 0.4V$$

٢ -إذا كان الدخل الرقمي (0011) فهذا يعني ان المفتاحين A.B مقفلان وبذلك تدخل المقاومتان R2,R1 المرتبطة بالمفتاحين بالدائرة وبتطبيق العلاقة (1) تكن قيمة الخرج التماثلي V out هي:

$$V_{out} = 3 * 20 \left(0 + 0 + \frac{1}{75} + \frac{1}{150} \right) = 1.2V$$

٣ -إذا كان الدخل الرقمي (1111) فهذا يعني ان جميع المفاتيح A,B,C,D مقفلة وبذلك تدخل المقاومات R1, R2, R3, R4 المرتبطة بالمفاتيح بالدائرة وبتطبيق العلاقة (1) تكون قيمة الخرج التماثلي V out هي

$$V_{out} = 3 * 20 \left(\frac{1}{18.75} + \frac{1}{37.5} + \frac{1}{75} + \frac{1}{150} \right) = 6V$$

يتضح مما سبق عدة ملحوظات هي :

١ -ان كل خرج تماثلي يختلف عن الخرج السابق أو اللاحق له بمقدار ثابت (كما في المثال السابق (O.4 V)

٢ -أن أي مقاومة تدخل في الدائرة تقابل المفتاح الخاص بها والذي بدوره يقابل الدخل الرقمي

والجدول التالي يوضح جميع القيم الرقمية الممكنة للمداخل (A,B,C,D) والخرج التماثلي Vout المقابل لها.

الدخل الرقمي D	C	B	A	الخرج التماثلي Vx
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0.2
0	0	1	0	0.4
0	0	1	1	0.6
0	1	0	0	0.8
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1.2
0	1	1	1	1.4
1	0	0	0	1.6
1	0	0	1	1.8
1	0	1	0	2
1	0	1	1	2.2
1	1	0	0	2.4
1	1	0	1	2.6
1	1	1	0	2.8
1	1	1	1	3

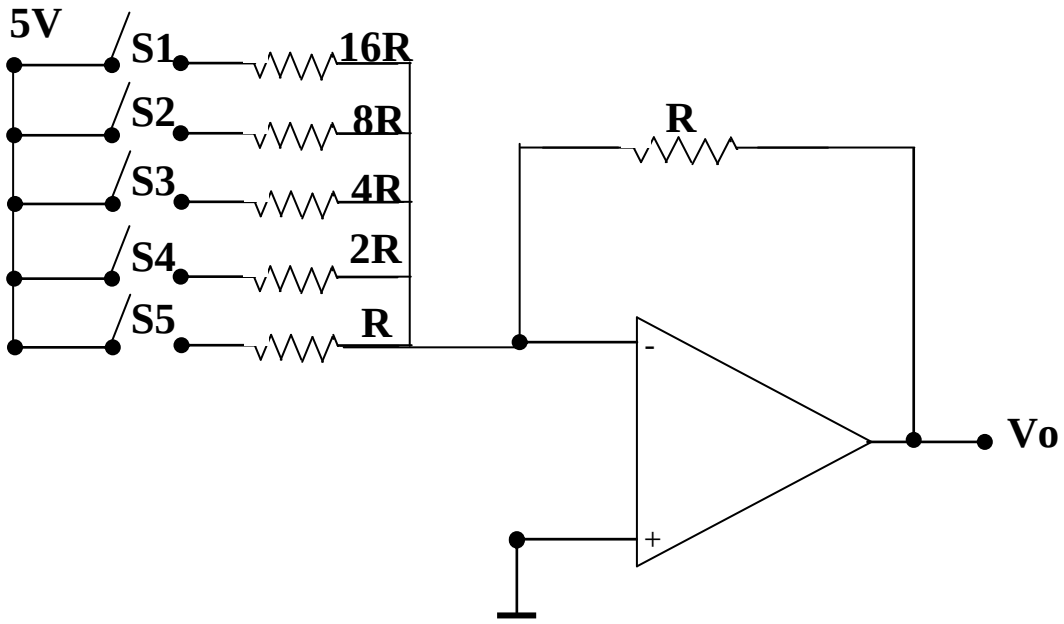
مثال: اذا كان V cc = 5 فولت احسب قيم الخرج التناظري للكميات الرقمية التالية:

1001−1

1101−2

1010−3

10101−4



الحل

حيث ان أعلى عدد ثنائي يتكون من 5 bits بذلك يتكون الدخل من خمسة أفرع أوزان مقاومتها من قيمة الوزن الأقل إلى الأعلى هي R, 2R, 4R, 8R, 16R كما هو موضح بالشكل

العدد الثنائي binary number يتكون من 5 bits

S4, S3, S2, S1, S0

بذلك يكون N=5 وتكون القيم المناظرة للخرج هي

$$V_o = - V_{cc} \sum_{n=1}^{5} \frac{S_{N-n}}{2n-1}$$

$$V_o = - \left(\frac{S_4}{1} + \frac{S_3}{2} + \frac{S_2}{4} + \frac{S_1}{8} + \frac{S_0}{16}\right) V_{cc}$$

$$= - (S4 + 0.5\ S3 + 0.25\ S2 + 0.12\ S5, + 0.0625\ S0)\ V_{CC}$$

ولايجاد القيم التناظرية للاعداد الثنائية المعطاة تكون الجدول التالي:

S4	S3	S2	S1	S0	(S4+0.5S3+0.25S2+0.125S1+0.0625S0	( )=V	V0= (-x)/5
0	1	0	0	1	(0+0.5+0+0+0.0625)	0.5625	-2.8125v
0	1	1	0	1	((0.+0.5+0.25+0+0.0625)	0.8125	-4.0625v
0	1	0	1	0	(0+0.5+0+0.125+0	6.6250	-3.1250v
1	0	1	0	1	(1+0+0.25+0+0.0625)	1.3125	-6.5625v

اسئلـــــة الباب الخامس

س1: عرف ما يلي مع توضيح اجابتك بالرسم:

1- الاشارات التماثلية 2- الاشارات الرقمية

س2: قارن بين انظمة الاتصالات الرقمية والتماثلية.

س3: اشرح مع الرسم مراحل التحويل التماثلي الرقمي.

س4: اشرح مع الرسم دائرة عملية لاحد انواع المحولات A/D موضحاً كيف تتم عملية التحويل.

س5: اشرح موضحاً اجابتك بالرسم دائرة محول D/A مبيناً كيف يعمل هذا المحول.

س6: لدينا محول من رقمي الى تماثلي (A/D) له أربعة مداخل ثنائية ، جهد الدخل ليه يساوي(Vi = 5V) ، وقيمة مقاومة التغذية العكسية (Rf = 15KΩ) وقيمة مقاومة الدخل (R= 88 KΩ) أوجد الجهد التماثلي المقابل لكل قيمة من قيم الدخل.

س7: اذا كان Vcc= 7 V أحسب قيم الخرج التناظري للكميات الرقمية التالية:

١) 10101

٢) 1011

٣) 1101

٤) 1110