

التحكم الحديث 2 (التحكم الرقمي)

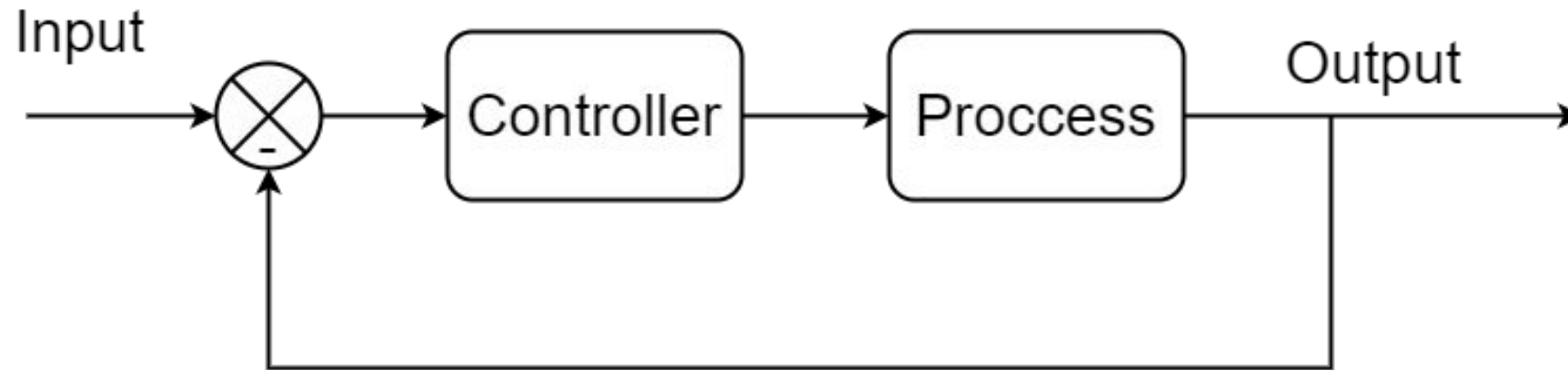
Modern Control 2 (Digital Control)

كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية – جامعة حلب

المحاضرة 1 - التحكم الرقمي – الأنظمة المتقطعة

أنظمة التحكم

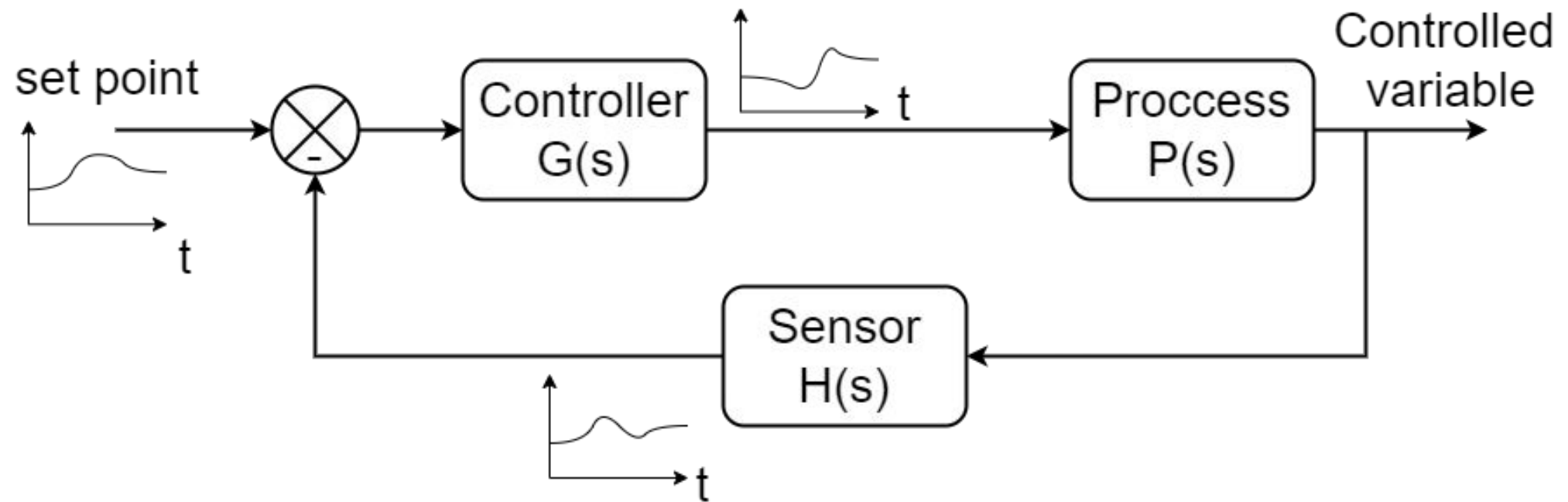
Control System



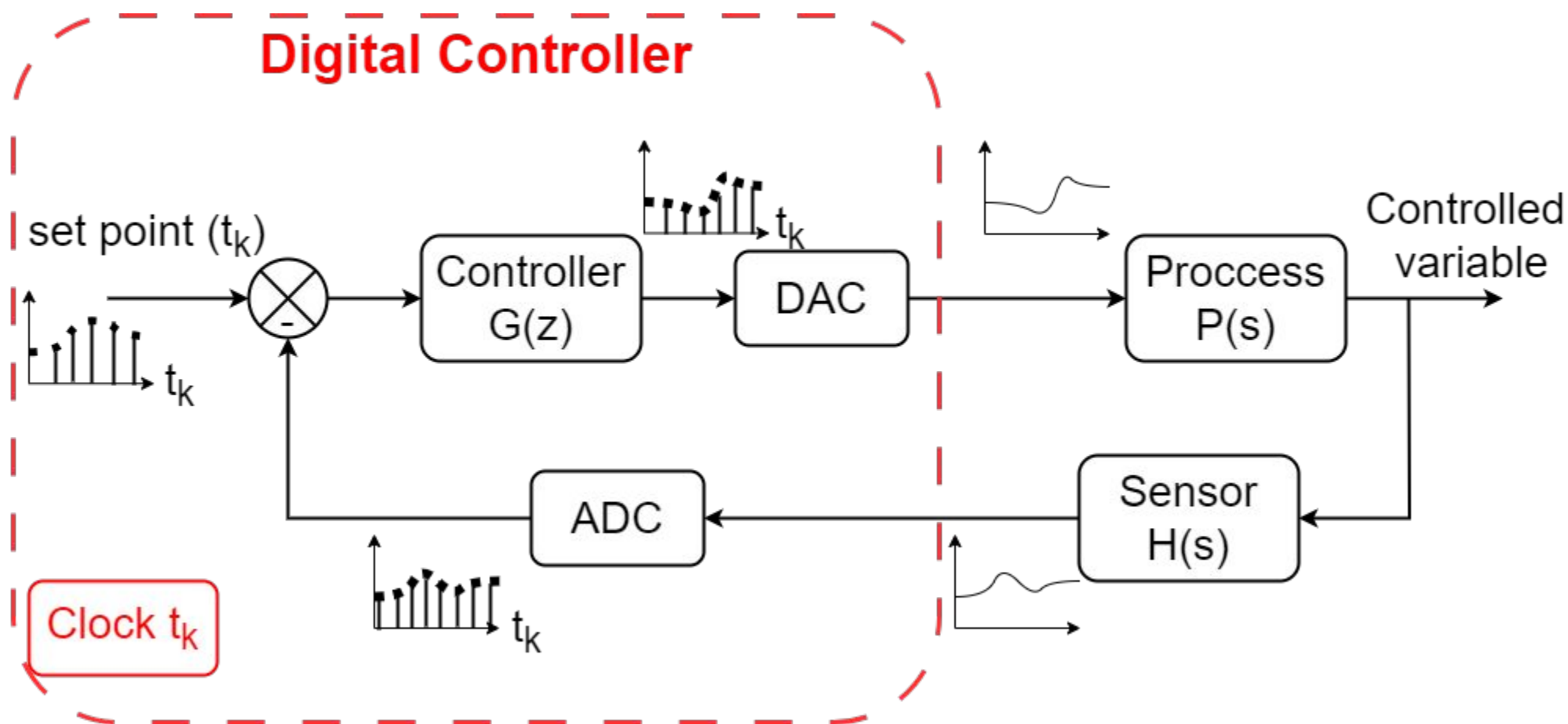
المتحكمات التشابهيّة والرقمية

- المتحكمات التشابهيّة تتألف من عناصر كهربائية (مقاومات، مكثفات، ملفات .. الخ)، بنيوماتيك، هيدروليكية أو ميكانيكية.
- تم استبدال المتحكمات التشابهيّة بمتحكمات رقمية تكون فيها الإشارات معرفة عند لحظات زمنية محددة وتعتمد الأجهزة الرقمية (معالجات أو متحكمات مصغرة).

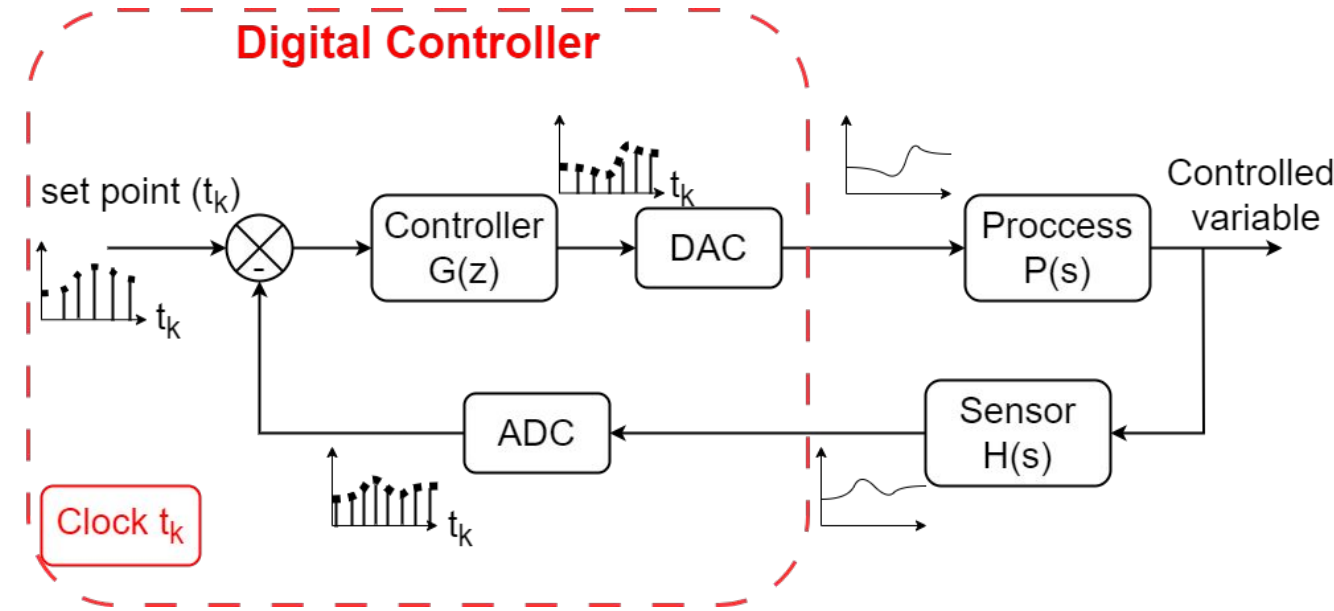
نظام تحكم مستمر زمنيا - متحكم تشابهي



نظام تحكم متقطع زمنيا - متحكم رقمي



نظام تحكم متقطع زمنياً - متحكم رقمي



1. في اللحظة t_k يقوم المبدل التشابهي الرقمي بالتقاط قيمة خرج النظام عن طريق حساس ويحولها إلى قيمة متقطعة ثم رقمية.
2. يقوم نظام التحكم بمقارنة القيمة المقاسة مع قيمة مرجعية مخزنة مسبقاً.
3. يقوم نظام التحكم بإيجاد الدخل الواجب تطبيقه على النظام بناءً على الخطأ بين القيمة المقاسة والمرجعية ووفقاً لنموذج متحكم متقطع زمنياً محدد.
4. يقوم المبدل الرقمي التشابهي بتحويل الدخل إلى قيمة تشابهية قابلة للتطبيق على النظام.
5. تعاد العملية عند كل لحظة تقطيع جديدة.

لماذا التحكم الرقمي؟

مساوئ التحكم الرقمي

- التأخير الزمني بسبب وجود المبدلات ADC و DAC والحسابات الرياضية للمتحكم.
- فقدان جزء من المعلومات ناتج عن دقة عمليات التحويل التشابهية الرقمية.

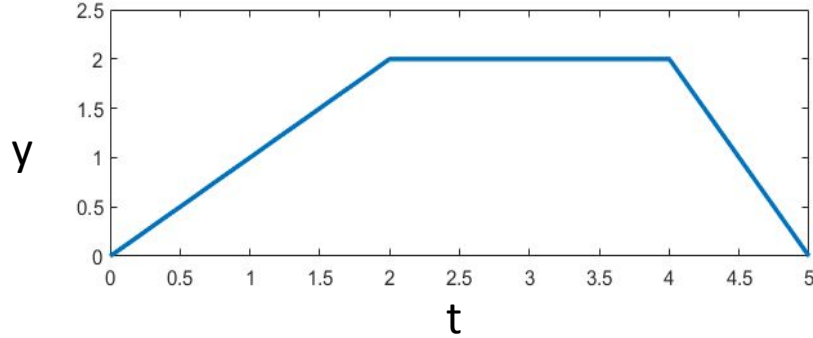
مثال: إشارة جهد تشابهية قيمتها 14.6 فولط يتم تحويلها إلى قيمة رقمية تكافئ 15 فولط

مزايا التحكم الرقمي

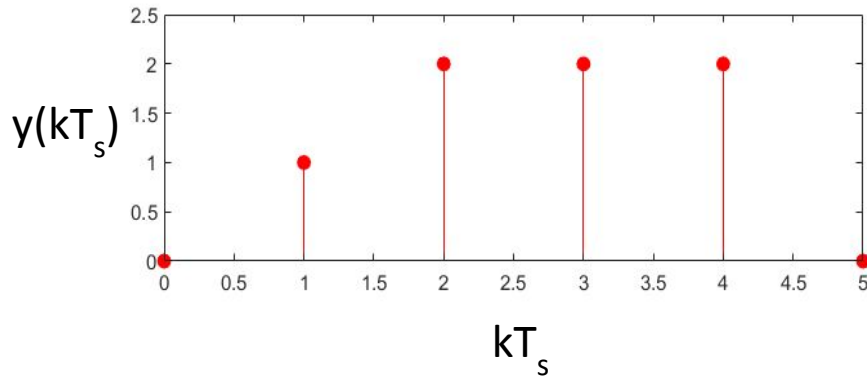
- كلفة الأنظمة الرقمية تستمر بالانخفاض
- الحجم الصغير للمتحكمات الرقمية
- قابلية التعديل حيث يمكن التحكم بها عن طريق البرامج

النظم المستمرة والنظم المتقطعة زمنياً

- النظم المتقطعة زمنياً Continuous-time systems هي النظم التي تكون فيها المداخل والمخارج عبارة عن إشارات مستمرة مع الزمن.



- النظم المتقطعة زمنياً Discrete-time systems هي النظم التي تكون فيها المدخلات والمخرجات عبارة عن إشارات متقطعة زمنياً أي أنها تمتلك قيم في لحظات محددة.



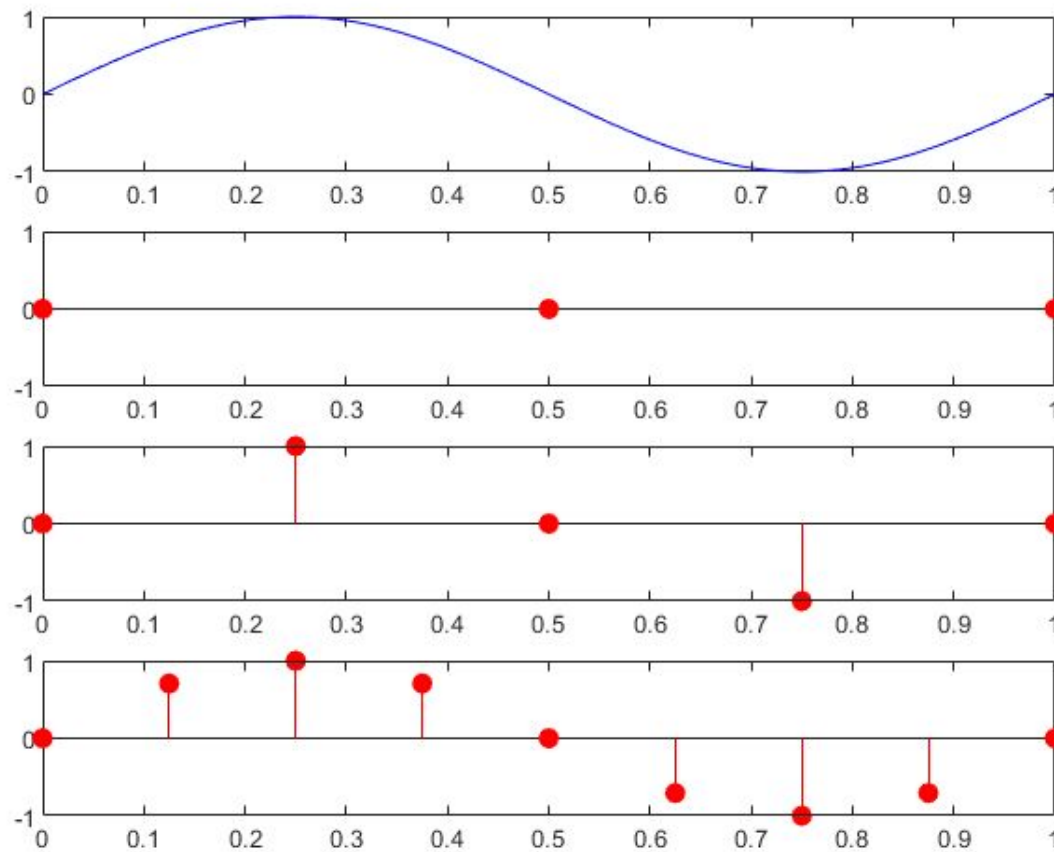
في النظم المتقطعة نعرّف $t_k = k T_s$ لحظات التقطيع حيث أن k هو رقم العينة، T_s دور التقطيع و F_s تردد التقطيع.

في المحاكاة يتم الحصول على إشارة متقطعة من خلال عملية تدعى التقطيع
Discretization وتعني استبدال الإشارة المستمرة بقيم من هذه الإشارة عند لحظات
تقطيع معينة

الإشارات المستمرة والإشارات المتقطعة

عملية التقطيع Discretization

مثال 1 يبين الشكل إشارة جيبية مستمرة ترددها $F = 1\text{Hz}$ وإشارات متقطعة منها بترددات تقطيع مختلفة. تبين الجداول قيم اثنتين من الإشارات المتقطعة



$$F_s = 2F, T_s = 0.5 \text{ sec}$$

k	0	1	2
$t=kT_s$	0	0.5	1
$y[k]$	0	0	0

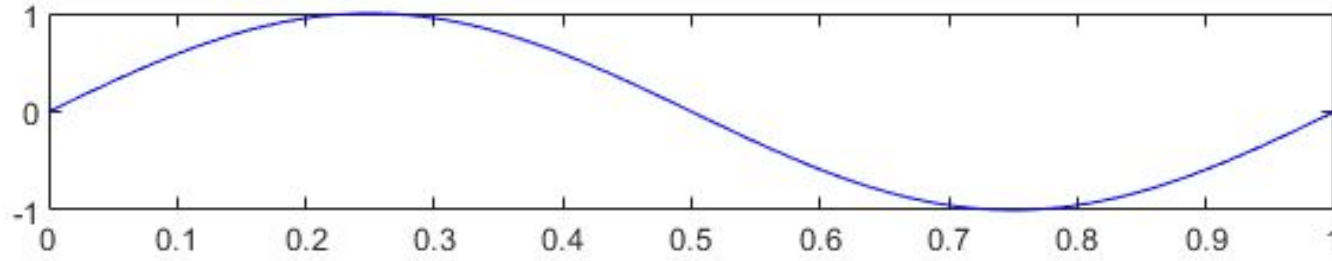
$$F_s = 8F, T_s = 0.125 \text{ sec}$$

k	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$t=kT_s$	0	0.125	0.25	0.375	0.5	0.625	0.75	0.875	1
$y[k]$	0	0.7	1	0.7	0	-0.7	-1	-0.7	0

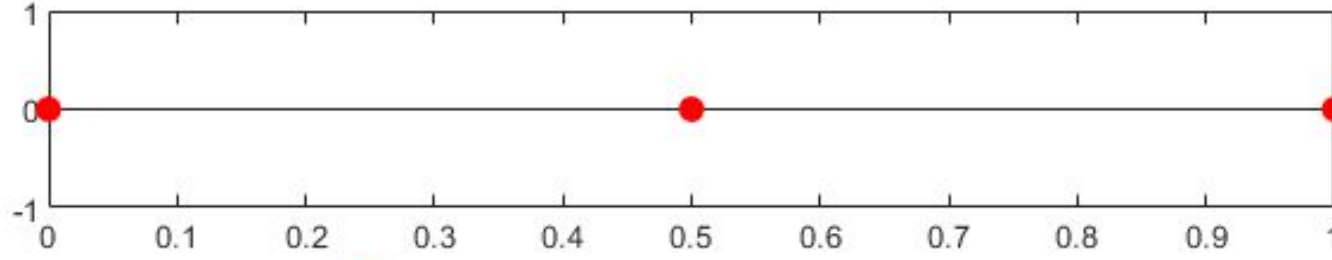
الإشارات المستمرة والإشارات المتقطعة

عملية التقطيع Discretization

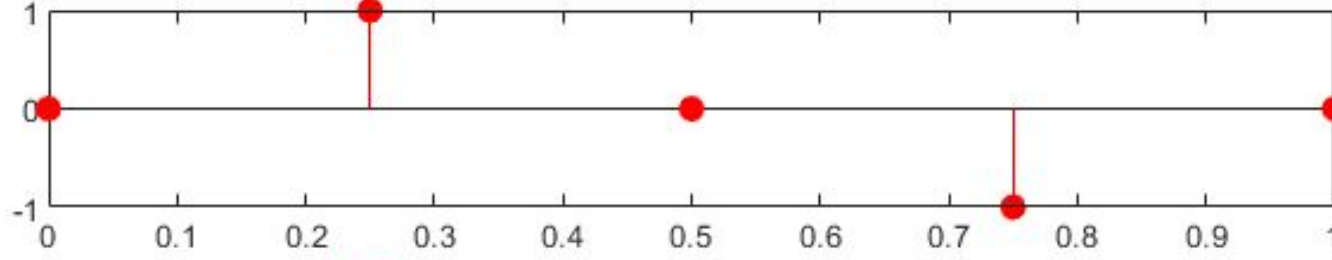
$F = 1\text{Hz}$



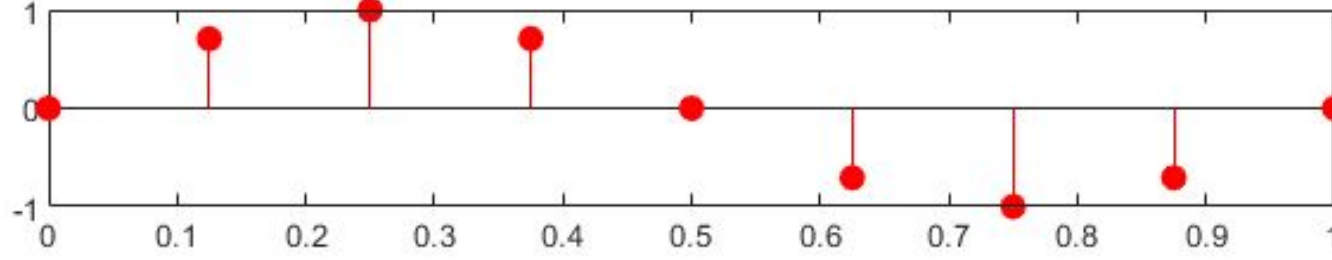
$F_s = 2F$



$F_s = 4F$



$F_s = 8F$



- انخفاض تردد التقطيع يؤدي إلى إشارة لاتعبر عن الإشارة التشابهية.

- زيادة تردد التقطيع يؤدي إلى إشارة أقرب إلى الإشارة التشابهية. لكن يجب الانتباه إلى إمكانيات المتحكم (الحاسب)

عدد العينات في الإشارة المتقطعة هو:

$$F_s + 1$$

الإشارات المتقطعة

عملية التكميم Quantization

هي العملية التي تتبع عملية التقطيع وتجعل الإشارة المتقطعة ملائمة للدخول إلى الحاسب ونحصل على ما يسمى الإشارة الرقمية.

بما أن نظام العد الأساسي المستخدم في العمليات الرقمية هو النظام الثنائي لذلك فالإشارة يجب أن تدخل إلى الحاسب على شكل إما 0 أو 1.

إذا كان المبدل التشابهي الرقمي المستخدم يحتوي على n بت إذاً يمكن تقسيم الإشارة على عدد مستويات $N=2^n$ تسمى مستويات التكميم.

إذا كانت الإشارة المتقطعة واقعة بين مستويين من مستويات التكميم فإنها تقرب إلى المستوى الأقرب.

تعطى قيمة الفرق بين مستويين بالعلاقة

$$Q = FSR/N$$

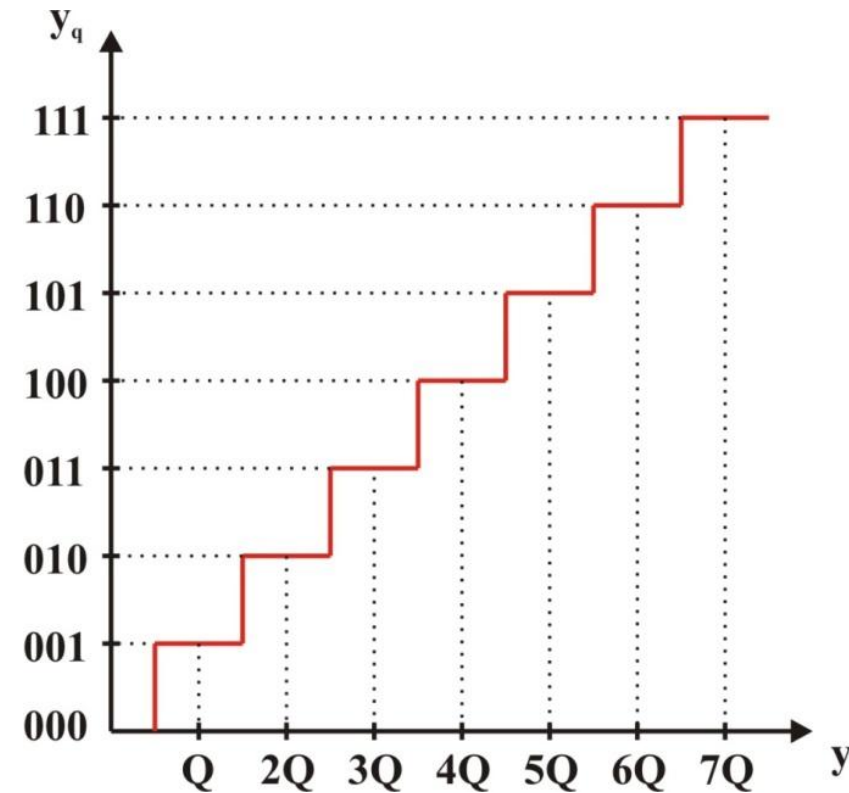
حيث أن FSR تعبر عن Full Scale Range (كامل مجال التكميم)

الإشارات المتقطعة

عملية التكميم Quantization

إن حساب إلى أي مستوى تكميم تنتمي قيم الإشارة المتقطعة يعتمد على دقة المبدل

مثال 2: في مكتم بدقة 3bit يكون عدد مستويات التكميم $N=2^3=8$ وتعطى قيم هذه المستويات بالعلاقات



$$0 \rightarrow \frac{Q}{2} \Rightarrow 000$$

$$7\frac{Q}{2} \rightarrow 9\frac{Q}{2} \Rightarrow 100$$

$$\frac{Q}{2} \rightarrow 3\frac{Q}{2} \Rightarrow 001$$

$$9\frac{Q}{2} \rightarrow 11\frac{Q}{2} \Rightarrow 101$$

$$3\frac{Q}{2} \rightarrow 5\frac{Q}{2} \Rightarrow 010$$

$$11\frac{Q}{2} \rightarrow 13\frac{Q}{2} \Rightarrow 110$$

$$5\frac{Q}{2} \rightarrow 7\frac{Q}{2} \Rightarrow 011$$

$$> 13\frac{Q}{2} \Rightarrow 111$$

الإشارات المتقطعة

عملية التكميم Quantization

مثال: المطلوب تكميم إشارة باستخدام المعطيات التالية $FSR=8V$ وبدقة 3bits , حدد عدد مستويات التكميم وقيمها. ماهي القيمة المطلقة للخطأ الناتج عن تكميم القيمة 3.2V ؟

عدد المستويات: $N=2^n=2^3=8$ **قيمة الجهد في مستوى التكميم:** $Q=8/N=8/8=1V$

أكبر أو يساوي	أصغر من	القيم المكمنة	القيم الرقمية
0	0.5	0	000
0.5	1.5	1	001
1.5	2.5	2	010
2.5	3.5	3	011
3.5	4.5	4	100
4.5	5.5	5	101
5.5	6.5	6	110
6.5		7	111

تُقرب القيمة 3.2V إلى القيمة
المكمنة 011 $3.2V \Leftrightarrow 011$
الخطأ الناتج عن التكميم
 $Error=|3.2-3|=0.2V$

توصيف الأنظمة المستمرة والأنظمة المتقطعة زمنياً

بينما يمكن توصيف الأنظمة المستمرة زمنياً من خلال المعادلات التفاضلية أو توابع الانتقال في المجال S ، تحتوي الأنظمة الرقمية على نظم متقطعة زمنياً يمكن توصيفها من خلال نماذج متقطعة زمنياً **Discrete-time models** توفر العلاقات الرياضية بين متغيرات النظام في لحظات زمنية متقطعة.

من النماذج المتقطعة زمنياً لتمثيل الأنظمة المتقطعة يوجد المعادلات الفرقية وهي نظير المعادلات التفاضلية في الأنظمة المستمرة

المعادلات الفرقية Difference Equations

إحدى طرق تمثيل الأنظمة المتقطعة وهي نظير المعادلات التفاضلية في الأنظمة المستمرة. ويعطى الشكل العام لهذه المعادلة بإحدى العلاقتين التاليتين:

بدلالة الزمن:

$$y(kT_s) + a_1 y(kT_s - T_s) + \dots + a_n y(kT_s - nT_s) = \\ b_0 u(kT_s - dT_s) + b_1 u(kT_s - dT_s - T_s) + \dots + b_m u(kT_s - dT_s - mT_s)$$

بدلالة رقم العينة:

$$y(k) + a_1 y(k-1) + \dots + a_n y(k-n) = \\ b_0 u(k-d) + b_1 u(k-d-1) + \dots + b_m u(k-d-m)$$

d التأخير الزمني بين الدخل والخرج.

المعادلة الفرقية هي معادلة متتالية يعتمد فيها حساب الخرج في كل لحظة على قيم الخرج والدخل في اللحظات السابقة