جامعة فلسطين التقنية - خضوري
Palestine Technical University - Kadoorie

مساق اتصالات رقمية - عملي

قسم المهن الهندسية

تخصص هندسة الاتصالات

العلامة

اسم التجربة	تضمين PCM (PCM Modulation) فك تضمين PCM (PCM Demodulation)
اسم الطالب	
تاريخ التسليم	

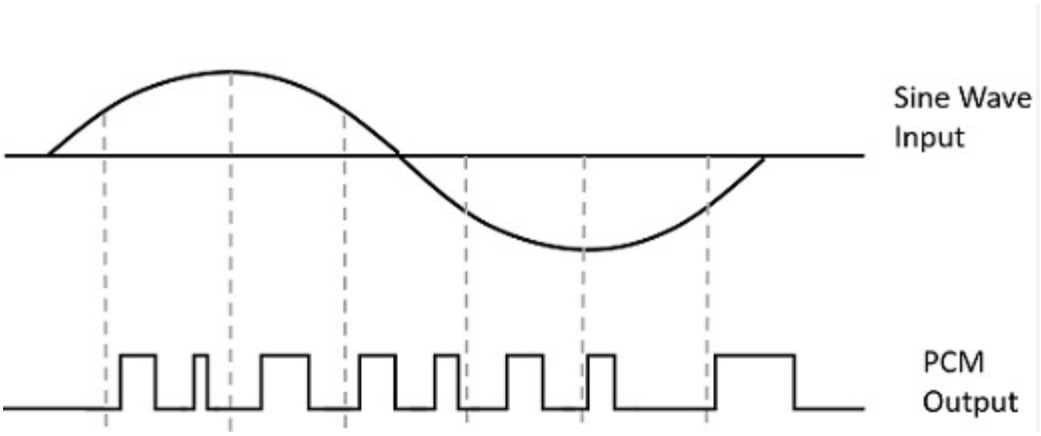
اعداد : آيات ياسين

2023-2024

تضمين النبضات الرقمي Digital Pulse Modulation

التضمين النبضي المرمَّز Pulse Code Modulation، ويعرف اختصاراً "PCM"

يُعـدُّ نظـام التَّضمـين النبضـيّ المرمَّـز الطريقـة المثلـى لتحويـل الإشـارات التماثليَّـة إلـى كلمـات رقميَّـة Binary Words، حيـث يتـم تشـفير الإشـارات بالطريقـة المناسـبة لإرسـالها عبـر خطـوط الاتصال



مراحل نظام التضمين النبضي المرمز PCM

يتكون نظام PCM من المراحل الأساسية التالية:

- أخذ عينات الإشارة التماثلية للحصول على إشارة تعديل اتساع النبضات "PAM".
- تكميم قيم النبضات (العينات المأخوذة) وذلك بتقريبها إلى أقرب قيمة من قيم التكميم المعتمدة.
- ترميز القيم الناتجة عن المرحلة السابقة على شكل كلمات رقمية ذات عدد محدد من البتات (7, 8,12,13, 16, … bits) والذي يتم تحديده حسب عدد قيم التكميم المعتمدة في المرحلة الثانية.

في الاتصالات الهاتفية الرقمية بنظام "PCM" تشغل الإشارة الصوتية الترددات من "300Hz" إلى"3400 Hz" مما يشكل حيّزاً ترددياً مقداره:

$$BWo = 3400 - 300 = 3100\ Hz$$

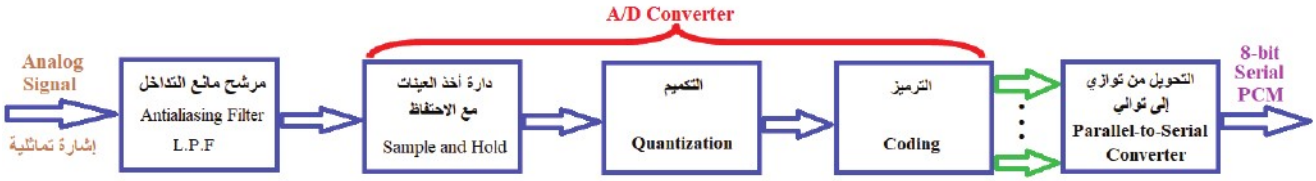
يضاف له 900Hz كحيز حماية ترددية مما يعطي 4000 Hz:

$$BW = 3100 + 900 = 4000\ Hz$$

يستخدم في التكميم "256" مستوى، لذلك فإنه يلزم عدد "8" من البتات لتمثيل كل عيّنة، حيث أنَّ:

$$2^8 = 256$$

ويمثل الشكل (1) المخطط الصندوقي لنظام PCM المستخدم للاتصالات في القناة الهاتفية الرقميَّة.



شكل (1): المخطط الصندوقي لنظام تضمين PCM المستخدم في القناة الهاتفية الرقميَّة.

لتوضيح مكونات المخطط السابق:

1- المرشح مانع التداخل Antialiasing Filter: عبارة عن مرشح الترددات المنخفضة "LPF" يقوم بمنع ترددات الإشارة التماثلية التي تزيد عن التردد الأقصى (fm = 4 kHz) "fm".

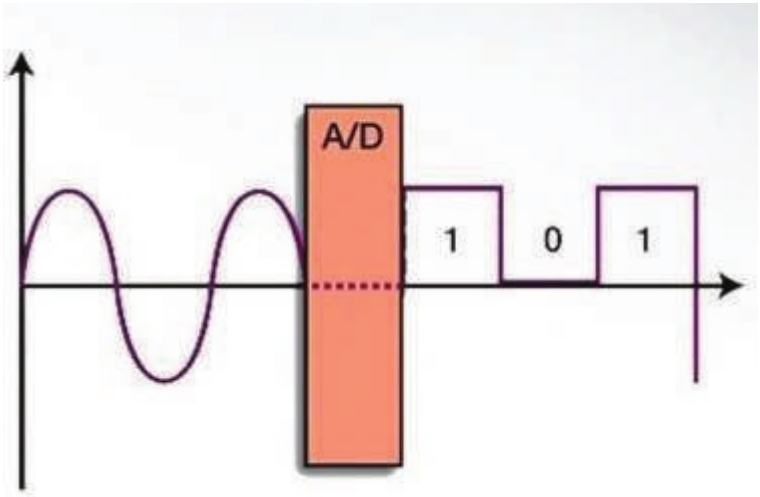
2- التحويل التماثلي الرقمي Analog to Digital Converter: عملية تحويل الإشارة من تماثلية إلى رقمية، ويعرف اختصاراً "A/D"، حيث يتضمن عملية أخذ العينات، والتكميم، والترميز.

- دارة أخذ العينات مع الاحتفاظ Sample and Hold: وهي الدارة التي تقوم بأخذ العينات بعدد مرات في الثانية يساوي تردد أخذ العينات (fs = 8 KHz).
- يستخدم في التكميم "256" مستوى.
- يلزم عدد "8" من البتات $(2^8 = 256)$.

3- التحويل من توازي إلى توالي Parallel-to-Serial Converter: تتكون الكلمة الرقمية الناتجة بعد عملية الترميز من "8" خانات، حيث تخرج من "A/D" بشكل متوازٍ، وحتى لا نحتاج إلى ثمانية خطوط لإرسالها، يتم تحويلها إلى إرسال متتالٍ.

مراحل تحويل الإشارة التماثلية إلى رقمية

إن أشهر أنواع الإشارات المستخدمة في أنظمة الاتصالات المختلفة هي الإشارات الصوتية (Audio)، والمرئية (Video)، وهذه الإشارات بطبيعتها تماثلية، أي أنها إشارات متصلة مع الزمن. لكي نستطيع إرسال تلك الإشارات عبر أنظمة الاتصالات الرقمية، يجب تحويلها إلى صيغة تناسب إرسالها عبر النظام الرقمي، حيث تسمى هذه العملية بالتحويل من التماثلي للرقمي (Analog to Digital Conversion)، التي تعرف اختصاراً (A/D)، بينما التحويل العكسي في المستقبل يعرف بـ (D/A). انظر شكل (4).

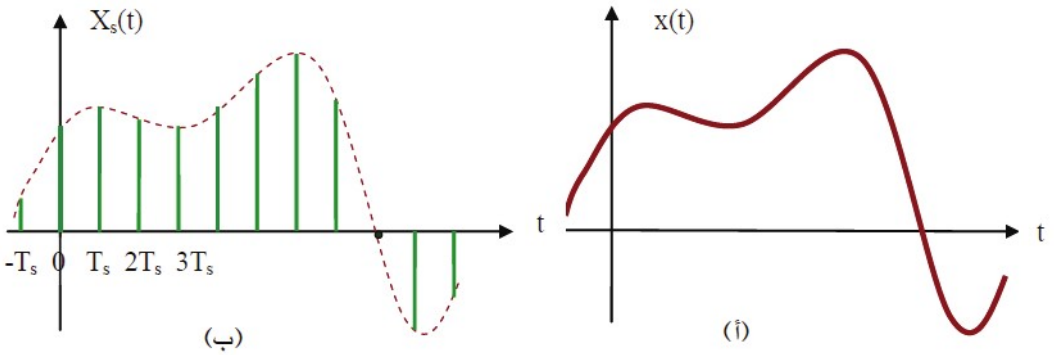


شكل (4): وظيفة المحول التماثلي-الرقمي (A/D)

وتتم عملية تحويل الإشارة التماثليَّة (Analog) إلى إشارة رقميَّة (Digital) في ثلاث مراحل، هي:

أ- عملية أخذ العينات Sampling

إن المقصود بأخذ العينات هو تحويل الإشارة التماثلية، المتصلة زمنياً إلى إشارة متقطعة زمنياً، وذلك بأخذ عينات من تلك الإشارة في فترات زمنية محددة متباعدة بنفس القيمة، التي تسمى زمن أخذ العينة (Sampling Time)، وسوف نرمز لها اختصاراً "Ts" يظهر الشكل (5) إشارة متصلة زمنياً، وما يقابلها من إشارة متقطعة زمنياً بعد عملية أخذ العينات.



شكل (5) (أ) الإشارة المتصلة زمنياً (ب) عينات الإشارة

نظرية أخذ العينات: (Sampling Theorem)

إن الهدف من نظرية أخذ العينات هو تحديد العدد المناسب للعينات في الثانية الواحدة؛ حتى نتمكن من استرجاع الإشارة الأصلية في المستقبل.

لتكن "m (t)" إشارة تماثلية ذات نطاق ترددي من (صفر إلى"fm"هيرتز) أعلى تردد تحتويه هو "fm" هيرتز؛ لكي نستطيع تحويلها إلى عينات بشكل يسمح باسترجاعها في المستقبل بالشكل والجودة المناسبة يجب أن يكون تردد أخذ العينات، وفقاً للعلاقة الآتية: $f_s \geqslant 2fm$

إن حالة $f_s = 2fm$ تعتبر أقل قيمة تردد مسموح به، وتسمى معدل أو تردد (Nyquist).

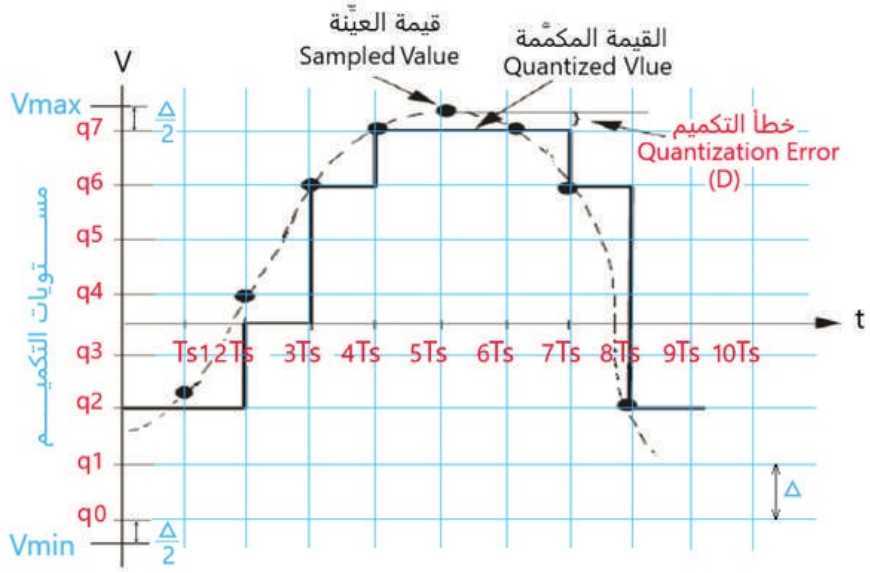
في الحالات العملية، يجب أن يكون تردد العينات أكبر من تردد Nyquist؛ ممّا يسهل تصميم المرشح المستخدم في المستقبل لتمرير ترددات الإشارة الأصلية للتمكن من استرجاعها.

ويمثل fsعدد العينات الواجب أخذها من إشارة المعلومات في الثانية الواحدة.

ب- التكميم Quantization

في عملية التكميم يتم أخذ قياس اتساع كل عينة من العينات الناتجة من مرحلة أخذ العينات، ومن ثم تقرب لإحدى قيم مجموعة مستويات التكميم (Quantized Levels)، وهذا يؤدي إلى ما يسمى بخطأ التكميم Quantization Error، ويمكن تقليل هذا الخطأ بزيادة عدد مستويات التكميم.

الشكل (7) يوضح لنا طريقة التكميم. في الأنظمة الهاتفية التقليدية يتم استخدام عدد 256 مستوى، بينما في نظام GSM يستخدم 8192 مستوى.



شكل (7) مبدأ عمل مرحلة التكميم

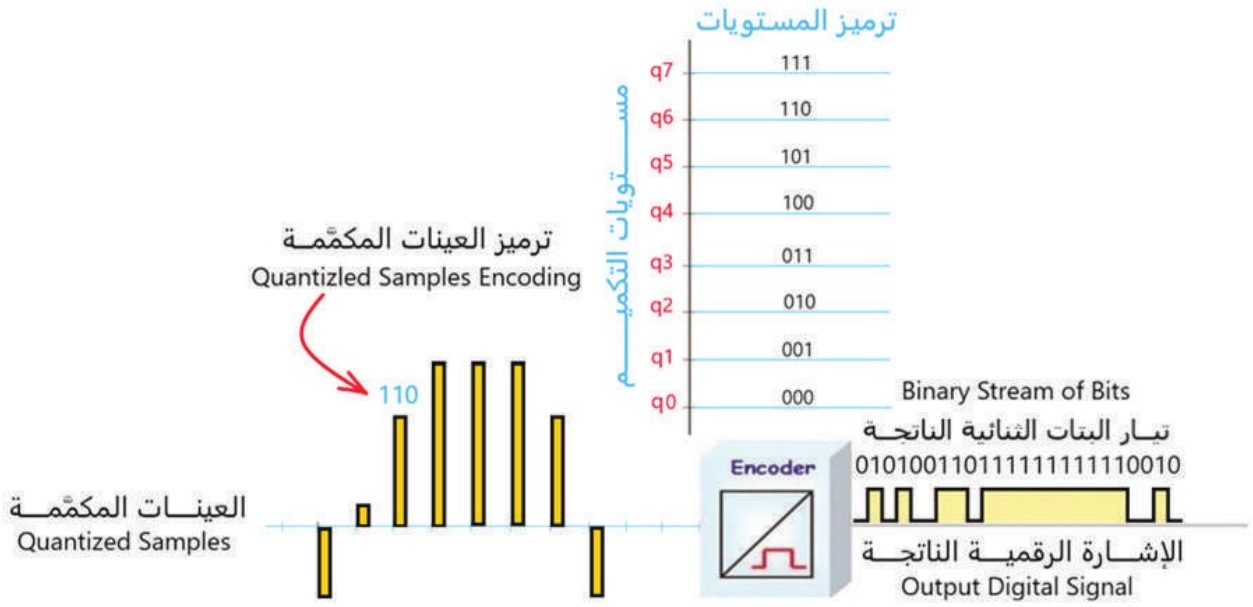
ج- مرحلة الترميز (Coding)

في مرحلة الترميز يتم تمثيل مستويات التكميم برموز ثنائية تعبر عنها، وبالتالي تحويل العينات المكمَّمة (حسب مستوى التكميم لكل عينة) إلى رموز ثنائية مكونة من بتات (خانات ثنائية) تظهر على شكل إشارة رقمية على مخرج دارة المرمز.

إن عدد الخانات الثنائية أو البتات "n" التي تمثل كل مستوى (وبالتالي كل عينة من العينات بعد تكميمها) يعتمد على عدد مخارج المرمز المستخدم.ويتم اختيار المرمز حسب عدد المستويات المعتمدة "m" وفقاً للعلاقة التالية، ومنها:

$$m = 2^n \quad \text{ومنها:} \quad n = \log_2 (m)$$

فمثلاً في نظام PCM المستخدم في الاتصالات الهاتفية الأرضية يتم تمثيل كل مستوى برمز ثنائي مكون من 8 خانات ثنائية (8 bit/sample)، وبالتالي فإن عدد مستويات التكميم هو (2^8 = 256 Levels). بينما يتم تمثيل كل مستوى في نظام GSM برمز ثنائي مكون من 13 خانة ثنائية (13 bit/sample)،أي أن عدد المستويات المعتمدة في هذا النظام هو (2^{13} = 8192 Levels).



شكل (8): مبدأ عمل مرحلة الترميز (مع وجود محول توازي-توالي)

دائرة معدّل PCM:

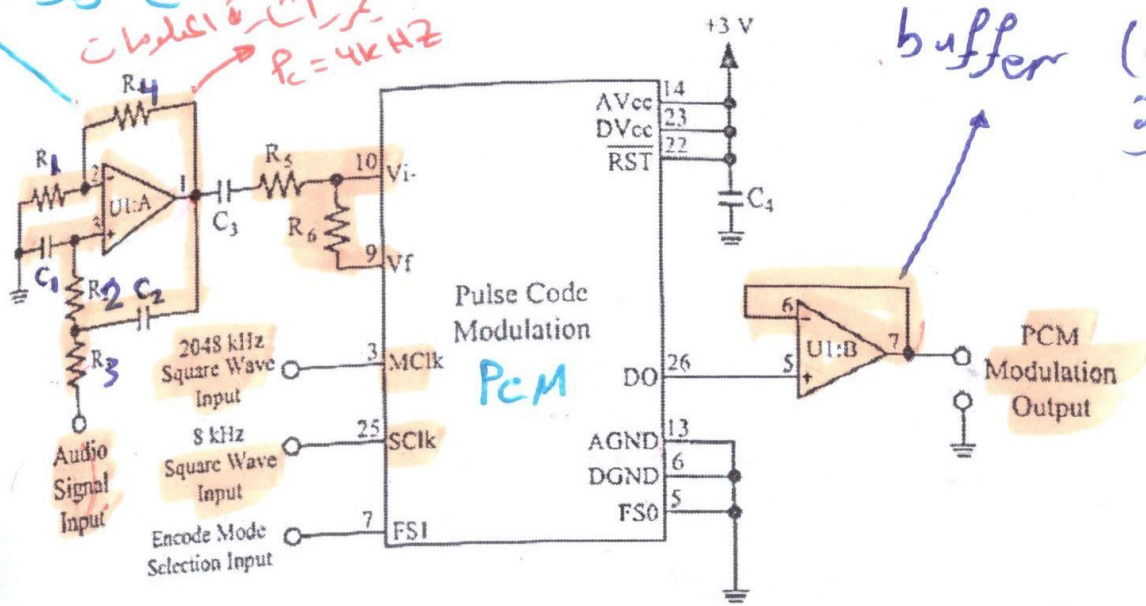
بين الشكل (3) مخطط دائرة تعديل PCM. المواسعات C_1, C_2 والمقاومات R_1, R_2, R_3, R_4 و$\mu A741$ تمثل مرشحا للترددات القليلة من الدرجة الثانية. كسب هذا المرشح هو $Av = 1 + \frac{R_4}{R_1}$ وتردد القطع $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_2 R_3 C_1 C_2}}$.

active LPF second order

مرشح تمرير الترددات المنخفضة الفعال من الدرجة الثانية

بما أنه فعال فإنه سوف يكبر الإشارة أيضاً مقدار الكسب أو التكبير

$Av = 1 + \frac{R_4}{R_1}$



الشكل (3): مخطط دائرة معدّل PCM.

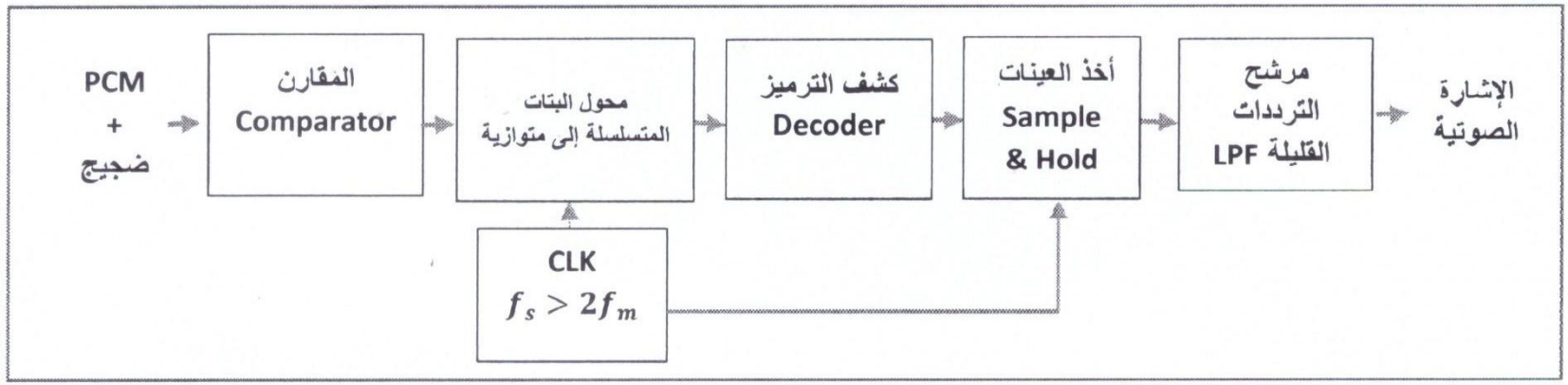
buffer (من أجل موائمة المعاوقات لمنع تأثير الحمل على الدائرة)

- تدخل الإشارة التماثلية عبر R_5 وR_6 الى دائرة PCM
- MCLK ← Master clock ← المؤقت الرئيسي الذي يحدد سرعة عمل الدائرة وهو عبارة عن اشارة مربعة ترددها 2048KHz
- SCLK ← sample clock ← مؤقت أخذ العينات يعطي اشارة مربعة ترددها 8KHz

$f_s = 8KHz$, $T_s = \frac{1}{f_s} = \frac{1}{8KHz} =$ 0.125 ms يتم أخذ عينة من الاشارة التماثلية كل

فك تضمين PCM

يستخدم المقارن لإعادة الإشارة المعدلة بطريقة PCM إلى مستواها الأصلي، ومن ثم ترسل إلى كاشف تعديل PCM. لكشف الإشارة، يتم تحويل البتات المتسلسلة إلى متوازية باستخدام المحول. ثم تمر الإشارة في كاشف الترميز لاستعادة قيم العينات المكممة، لكن هذه العينات لا تحتوي على لإشارة الصوتية فقط، إنما تحتوي على إشارات غير المرغوب بها وذات تردد عال، ولذلك يستخدم مرشح الترددات القليلة للتخلص منها.



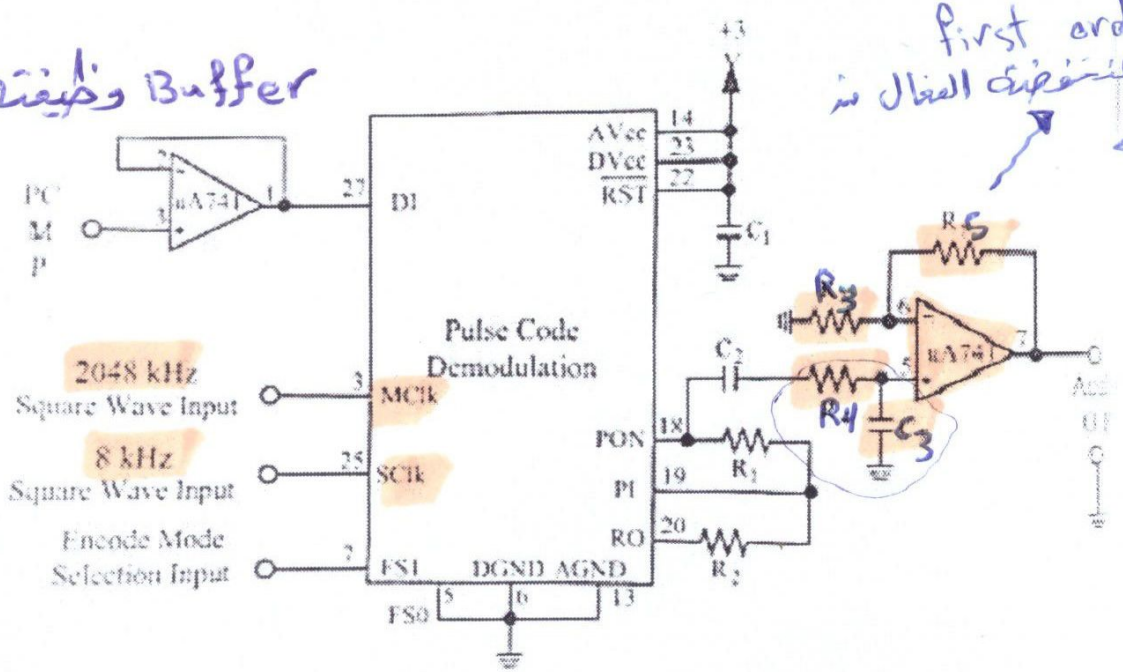
الشكل (1): المخطط الصندوقي لكشف تعديل PCM.

دائرة كاشف تعديل PCM:

تشبه هذه الدائرة دائرة المعدل مع وجود بعض الاختلافات. يتصل المدخل 27 للدائرة المتكاملة بـbuffer (µA741) للحفاظ على موائمة الممانعة. دائرة المؤقت الرئيسي Master clock (MCLK) تحدد سرعة عمل الدائرة هي إشارة مربعة بتردد 2048KHz. أما مؤقت أخذ العينات Sample Clock (SClk) فهو يحدد تردد أخذ العينات في الدائرة وتبلغ هنا 8KHz، أي أنه يتم أخذ عينة من الإشارة الصوتية كل $0.125ms$. ثم تمر الإشارة في الدائرة U1 وهي buffer لموائمة ممانعة مرشح الترددات القليلة. أما الدائرة U2 فهي مكبر عاكس بكسب مقداره $Av = -\frac{R_1}{R_2}$.

وظيفته Buffer من أجل مواءمة الممانعات

first order active LPF
مرشح تمرير الترددات المنخفضة الفعال من الدرجة الأولى

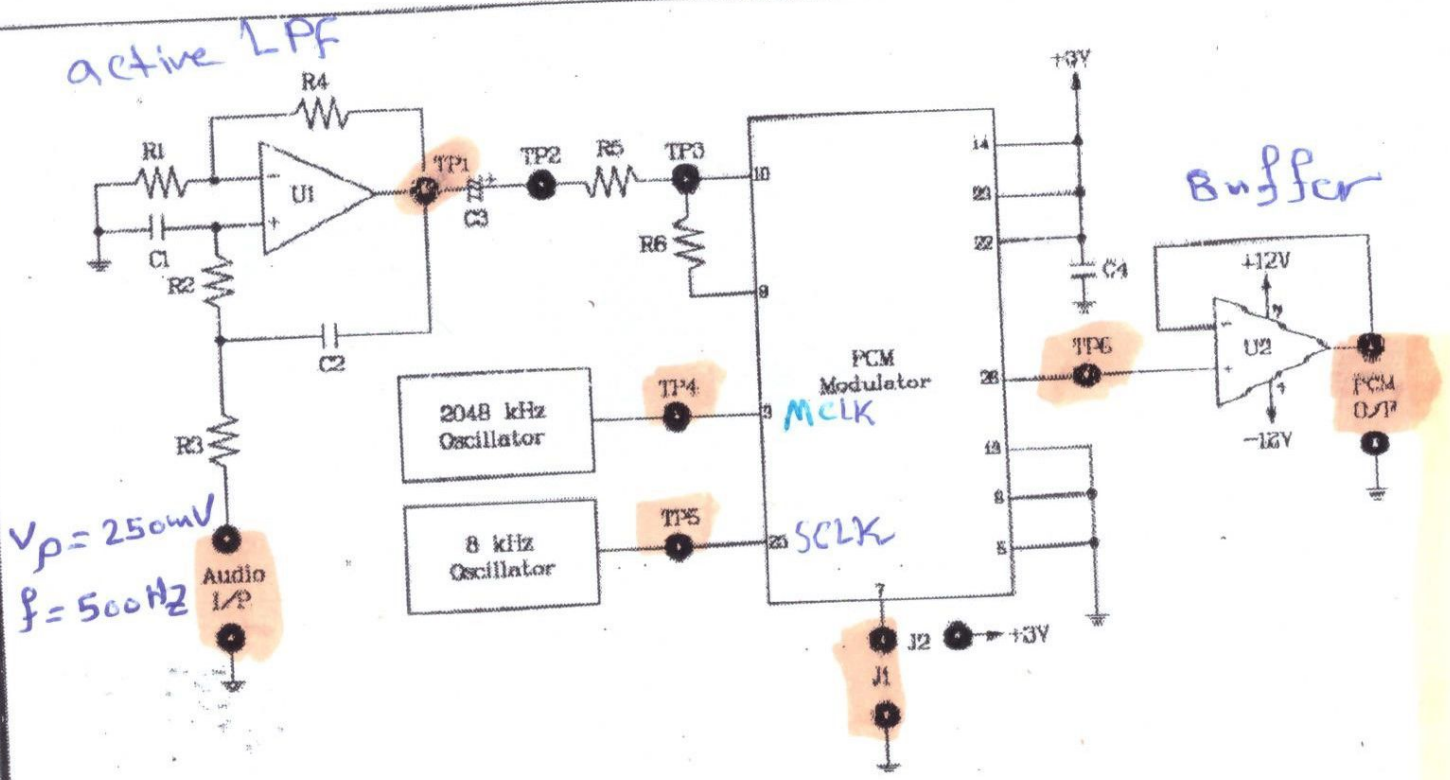


الشكل (2): مخطط دائرة كشف تعديل PCM.

المواسع C_3 والمقاومات R_3, R_4, R_5 والدائرة $\mu A741$ تمثل معا مرشحا لتمرير الترددات القليلة لإزالة الترددات العالية من الإشارة المستقبلة، كما أنها تعطي كسبا للإشارة الناتجة لإن الإشارة الواصلة لهذه المرحلة قد تكون ضعيفة. تردد القطع $3dB$ هو $f_0 = \frac{1}{2\pi R_4 C_3}$

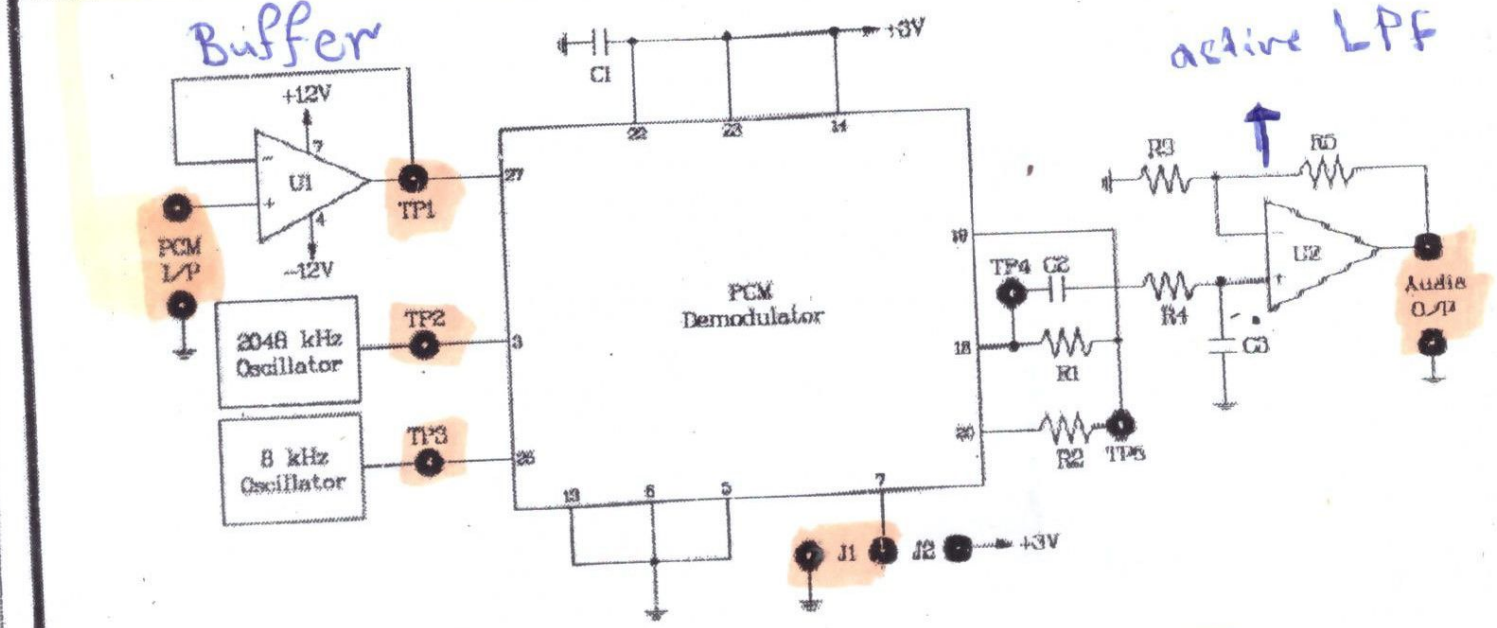
أما الكسب فهو $Av = -\frac{R_5}{R_3}$.

DCS5 PCM Modulator



DCS5-1 PCM Modulation Circuit

DCS6 PCM Demodulator

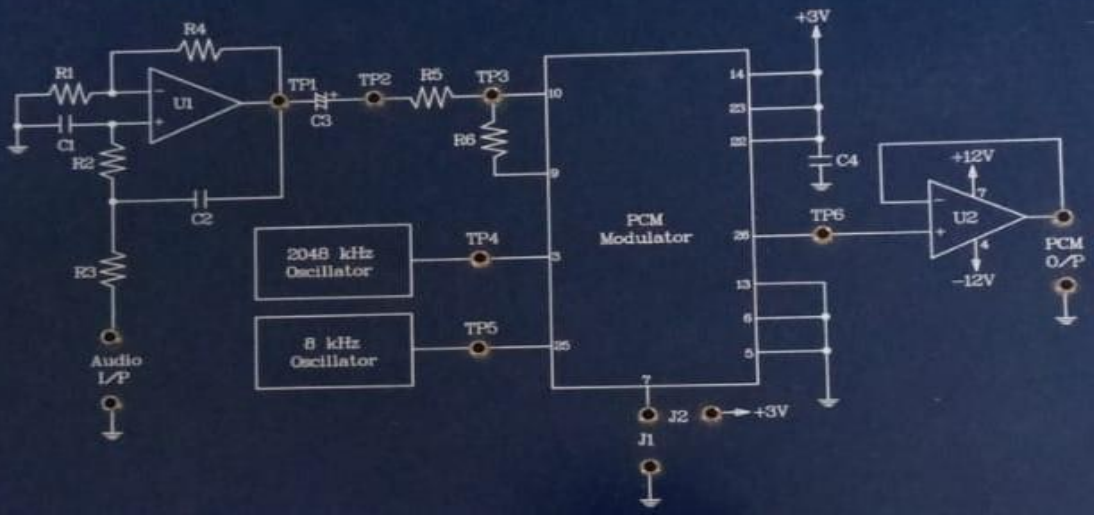


DCS6-1 PCM Demodulation Circuit

-12V GND +3V +12V

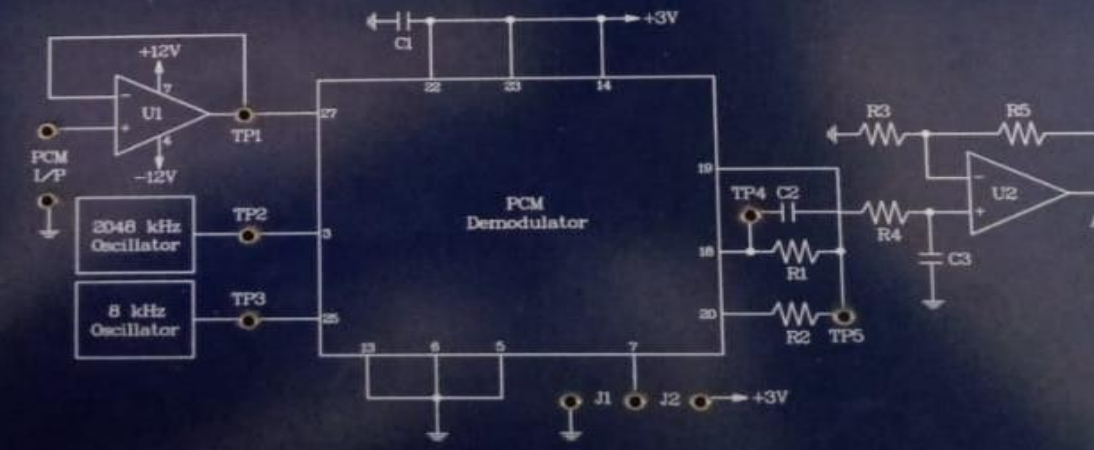
ETEK TECHNOLOGY CO., LTD.

DCS5 PCM Modulator



DCS5-1 PCM Modulation Circuit

DCS6 PCM Demodulator



DCS6-1 PCM Demodulation Circuit

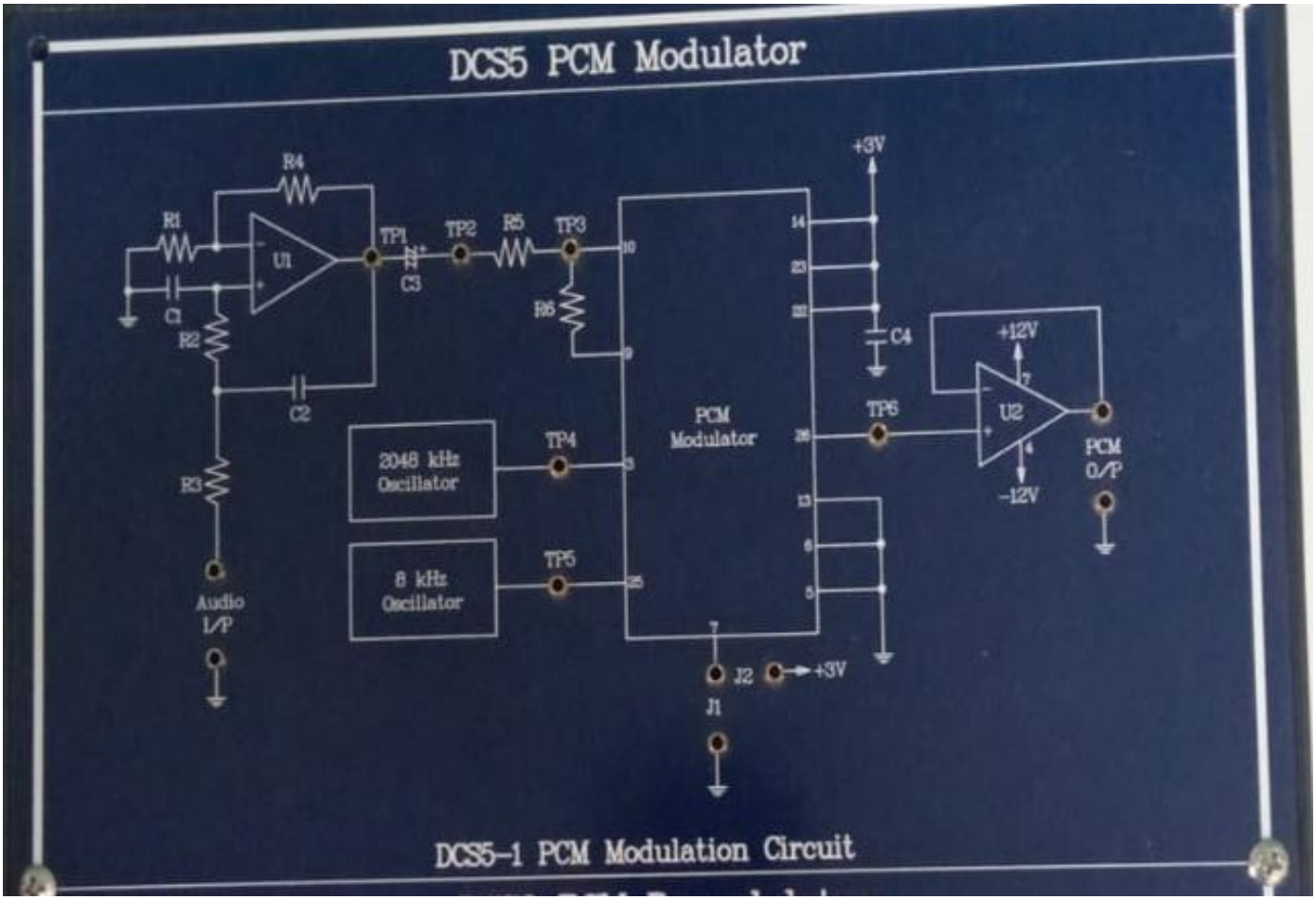
-12V GND +3V +12V

ETEK DCS-6000-03

الجزء العملي تضمين PCM

خطوات العمل :-

بالرجوع الى دائرة ETEK DCS-6000-03 module نفذ ما يلي :- DCS 5-1 on



1- ضع J1 short circuit, J2 open circuit

2- استخدم المدخل (Audio I /P) لادخال اشارة معلومات اتساعها 250mv, وترددها 500HZ
(Vp_in = 250 mv , fm = 500Hz)

3- أو استخدم المدخل (Audio I /P) لادخال اشارة معلومات اتساعها 250mv, وترددها 1KHZ
(اختياري) (Vp_in = 250 mv , fm = 1KHz)

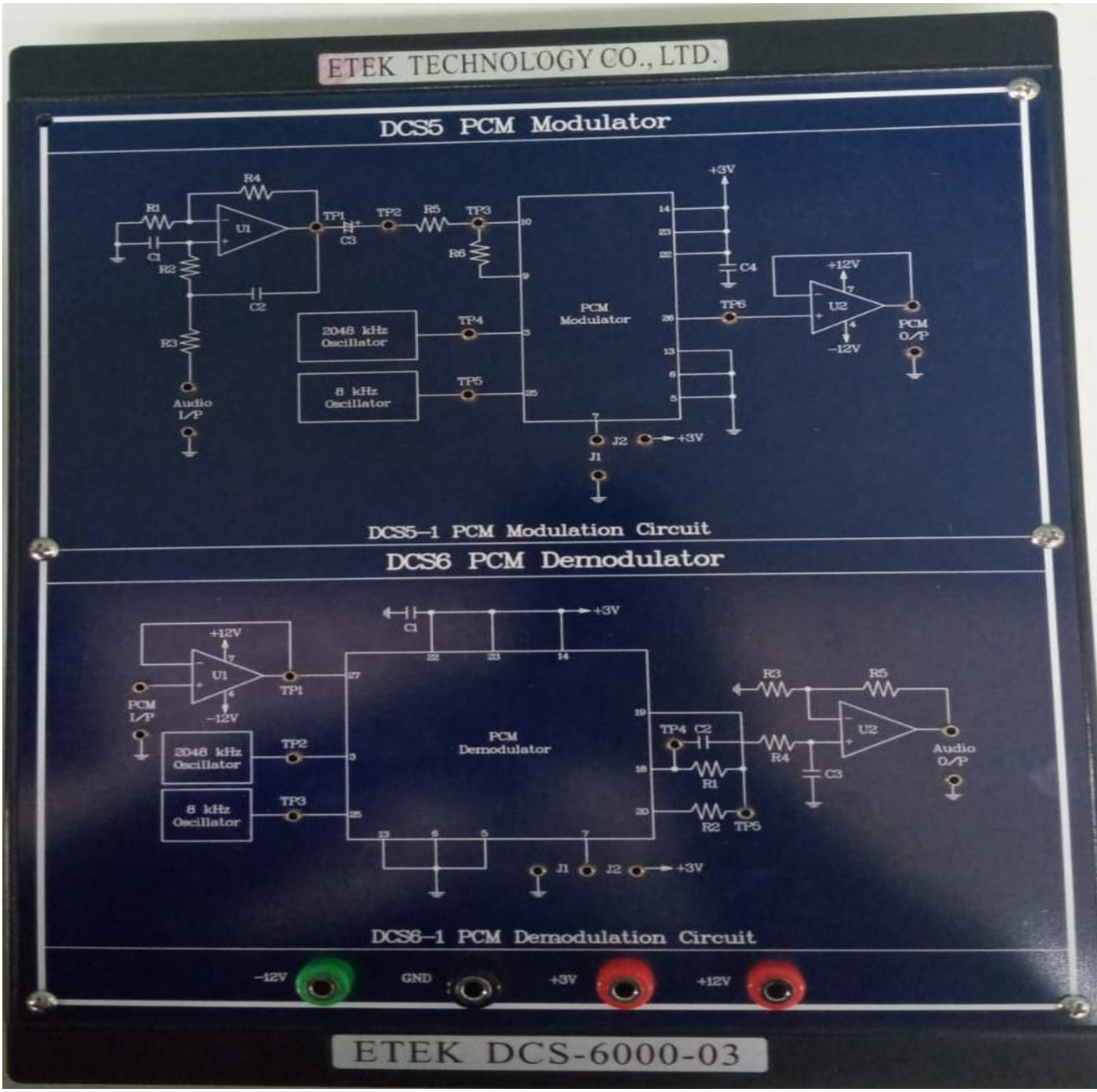
4- استخدم جهاز راسم الاشارة و لاحظ شكل الاشارة عند النقاط المذكورة في الجدول ادناه

نقطة الفحص	شكل الاشارة
TP1	
TP2	
TP3	
TP4	
TP5	
PCM O/P	

جدول (1) : نتائج تجربة تضمين PCM

الجزء العملي فك تضمين PCM

بالرجوع الى دائرة ETEK DCS-6000-03 module DCS 6-1 on نفذ ما يلي :-



5- ضع J1 short circuit, J2 open circuit

6- اشبك الموجة المعدلة على البورت (PCM O/P) الخاص بلوحة DCS 5-1 مع البورت (PCM I/P) على لوحة DCS 6-1

7- استخدم جهاز راسم الاشارة و لاحظ شكل الاشارة عند النقاط المذكورة في الجدول ادناه

نقطة الفحص	شكل الاشارة
TP1	
TP2	
TP3	
Audio O/P	

جدول (2) : نتائج تجربة فك تضمين PCM

Function Generator مولد اشارة

مولد اشارة

GW INSTEK SFG-2120 Synthesized Function Generator
WAVE
SHIFT
DUTY
-20dB
TTL
AM
FM
SWEEP
STORE
EXT MOD
COUNTER
DEFAULT
RECALL
MHz
kHz
Hz/%
POWER
SWEEP SPAN
SWEEP TIME
TTL / CMOS
OFFSET
AMPL
COUNTER INPUT
TTL / CMOS OUTPUT
OUTPUT 50Ω
AM%
FM Dev
LOG
LIN
CMOS ADJ
TTL
ADJ
CAL
-20dB
ADJ