



جامعة الموصل  
كلية الهندسة

# تحقيق وتطبيق الشبكات العصبية باستخدام الدوائر الالكترونية للسيطرة على سرعة محرك التيار المستمر

شامل حمزة حسين محمد النجار

رسالة ماجستير علوم  
في الهندسة الكهربائية / إلكترونيك واتصالات  
(الإلكترونيك)

بإشراف

الأستاذ المساعد الدكتور

عبد الإله خضر محمود

2012 م

1433 هـ



جامعة الموصل  
كلية الهندسة

# تحقيق وتطبيق الشبكات العصبية باستخدام الدوائر الالكترونية للسيطرة على سرعة محرك التيار المستمر

شامل حمزة حسين محمد النجار

رسالة ماجستير علوم  
في الهندسة الكهربائية / إلكترونيك واتصالات  
(الإلكترونيك)

بإشراف

الأستاذ المساعد الدكتور

عبد الإله خضر محمود

2012 م

1433 هـ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

رَبِّ أَوْزَعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ وَالنِّعْمَ أَنْعَمْتَ

عَلَيَّ وَعَلَى وَالْكَافِرِ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا يَرْضَاهُ

وَأَكْفِلَنِي بِرَحْمَتِكَ فِئَةً عِبَادَكَ وَالصَّالِحِينَ

### إقرار المشرف

أشهد أن إعداد هذه الرسالة الموسومة "تحقيق وتطبيق الشبكات العصبية باستخدام الدوائر الالكترونية للسيطرة على سرعة محرك التيار المستمر" جرى تحت إشرافي في جامعة الموصل، وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في الهندسة الكهربائية/الالكترونيك واتصالات/الإلكترونيك.

التوقيع:

المشرف: أ.م.د. عبد الإله خضر محمود

التاريخ: 2012 / 4 / 1

### إقرار المقوم اللغوي

أشهد أن هذه الرسالة الموسومة "تحقيق وتطبيق الشبكات العصبية باستخدام الدوائر الالكترونية للسيطرة على سرعة محرك التيار المستمر" تمت مراجعتها من الناحية اللغوية وتصحيح ما ورد فيها من أخطاء لغوية وتعبيرية وبذلك أصبحت الرسالة مؤهلة للمناقشة بقدر تعلق الأمر لسلامة الأسلوب وصحة التعبير.

التوقيع:

المقوم اللغوي: د. عمّار إسماعيل أحمد

التاريخ: 2012 / 4 / 1

### إقرار رئيس لجنة الدراسات العليا

بناءً على توصيتي المشرف والمقوم اللغوي ارشح هذه الرسالة للمناقشة.

التوقيع:

أ.م.د. سنان محمود عطار باشي

التاريخ: 2012 / 4 / 1

### إقرار رئيس القسم

بناءً على توصيات المشرف والمقوم اللغوي ورئيس لجنة الدراسات العليا ارشح هذه الرسالة للمناقشة.

التوقيع:

أ.م.د. مأمون فاضل ألكبابجي

التاريخ: 2012 / 4 / 1

## إقرار لجنة المناقشة

نشهد نحن أعضاء لجنة التقويم والمناقشة الموقعون أدناه إننا قد اطلعنا على رسالة الطالب ( شامل حمزة حسين) والموسومة (تحقيق وتطبيق الشبكات العصبية باستخدام الدوائر الالكترونية للسيطرة على سرعة محرك التيار المستمر) وناقشناه في محتوياتها وفيما له علاقة بها بتاريخ 2012/3/14 وقررنا إنها جديرة لنيل شهادة الماجستير علوم في اختصاص الهندسة الكهربائية / الكترونك واتصالات /الالكترونيك.

التوقيع:	التوقيع:
رئيس اللجنة: د.سنان محمود عطار باشي	عضو لجنة المناقشة: د. خالد خليل محمد
المرتبة العلمية : أستاذ مساعد	المرتبة العلمية : أستاذ مساعد
التاريخ:	التاريخ:

التوقيع:	التوقيع:
عضو اللجنة (المشرف) :د.عبد الاله خضر محمود	عضو اللجنة : السيد مازن رجب خليل
المرتبة العلمية : أستاذ مساعد	المرتبة العلمية :استاذ مساعد
التاريخ:	التاريخ:

## إقرار مجلس الكلية

اجتمع مجلس كلية الهندسة بجلسته ( ) المنعقدة في ( ) وقرر الاتي :  
يوصي المجلس بمنح شهادة ماجستير علوم في الهندسة الكهربائية / الكترونك واتصالات /الالكترونيك.

عميد الكلية  
أ.د. فاروق خليل عموري

مقرر مجلس الكلية  
أ.م.د. أنمار عبدالعزيز الطالب

# الأهداء

إلى من عبد ربه حتى أتاه اليقين منقذ البشرية من ظلمات الجاهلية

إلى نور الإسلام محمد ..... (صلى الله عليه وسلم)

إلى من أرتني نور الدنيا وحملتني بين ذراعيها وهناً على وهن

والجنة تحت أقدامها ..... والدتي الحبيبة

إلى ينبوع الحب والقلب الطيب الذي انفق حياته من اجلي وأوصلني

إلى ما وصلت إليه ..... والدي

إلى قرة عيني ومن اشدد بهم أزمي ..... إخوتي الأعزاء

إلى من شاركتني الحياة حلوها ومرها ..... زوجتي الغالية

إلى الشموع التي أنارت لي دربي والى كل من علمني حرفاً

..... أساتذتي الكرام

إليهم جميعاً أهدي ثمرة جهدي

شامل

## شكر وعرّفان

الحمد لله الكبير المتعالى الذى لا تعجزه ظلمات اللىالى والصلاة والسلام على سيد الكائنات محمد (صلى الله عليه وسلم) وآله وأصحابه الطيبين ، فمن باب الشكر والعرّفان أن نقر لكل صاحب معروف جهده، ويطيب لى فى هذا المقام أن أتقدم بالشكر الجزيل للدكتور عبد الإله خضر محمود الأستاذ المشرف على البحث الذى لم يبخل على بعلمه وتوجيهاته السديدة وكان له الأثر الطيب فى انجازه فجزاه الله عني خير الجزاء .

وأقدم بشكري الجزيل للسيد عميد كلية الهندسة " أ.د. فاروق عموري " ولرئيس القسم الدكتور " مأمون الكبابجي " ولأساتذتي الأعزاء فى قسم الهندسة الكهربائية جميعهم.

ولا يفوتني أن أسجل خالص شكري وتقديري لإخواني وزملائي جميعهم الذين رافقوني أثناء مدة الدراسة فكانوا نعم الاصحاب ونعم الاصدقاء وأخص منهم بالذكر أستاذ فارس وسيزار محمد ونورهان نبيل وعلي إبراهيم وأحمد محمود عداي وحسن عدنان وأعضاء شقة (2) فى القسم الداخلى للدراسات العليا..... كما أتقدم بالشكر والاحترام لكل من قدم لى المساعدة فى انجاز بحثي هذا...

الباحث

## الخلاصة

تعد الشبكات العصبية الاصطناعية من التقانات الذكية التي يمكن استخدامها بوصفها مسيطراً وكذلك في معالجة الإشارات والتمييز بينها، يمكن تحقيق الشبكات العصبية الاصطناعية باستخدام طريقتين، الأولى الطريقة الرقمية المحققة برمجياً، مثال البرنامج الماتلاب والثانية الطريقة التناظرية بوساطة استخدام الدوائر الالكترونية(مثل دوائر مكبر العمليات وترانزستور تأثير المجال) .

تضمنت هذه الرسالة ثلاثة أجزاء رئيسية الجزء الأول هو نمذجة (تمثيل) منظومة السيطرة للتحكم على سرعة المحرك التيار المستمر وعند السرعة المختلفة في الحاسوب باستخدام برنامج الماتلاب، والتي تضم محرك التيار المستمر ودائرة السوق للمحرك من نوع مغير التيار المستمر الخافض للفولتية ودائرة توليد النبضات PWM وكلاً من المسيطر التقليدي PID والمسيطر الذكي ANN المستندة إلى مبدأ عمل المسيطر PID. وقد تم مقارنة أداء (استجابة الحيز الزمني) لمنظومة السيطرة (مثل زمن الاستقرار وزمن الصعود وزمن التأخير ونسبة تجاوز الحد وحالة ثبوت الخطأ) عند استخدام هذين النوعين من المسيطرات المذكورة أنفاً وبوجود الأحمال المختلفة المسلطة على المحرك. إذ تبين أن المسيطر ANN المقترح ذو الحجم (5-10-1) أحسن وأكفاً من المسيطر التقليدي PID.

والجزء الثاني تم تحقيق مسيطر الشبكة العصبية الاصطناعية الرقمية المتعددة الطبقات ذات الانتشار الأمامي وبحجم (5-5-1) وتنفيذه عملياً في الزمن الحقيقي باستخدام الحاسوب للسيطرة على سرعة المحرك التيار المستمر فضلاً عن وجود بطاقة اكتساب البيانات (DAQ Card) لنقل إشارات التحكم بين الحاسوب (وحدة سيطرة ANN) والعالم الخارجي (الدائرة المغلقة لمنظومة السيطرة) .

والجزء الثالث، هو التحقيق التناظري أو التماثلي للشبكة العصبية الاصطناعية الرقمية المنفذة عملياً في الفقرة السابقة باستخدام الدوائر الالكترونية. إذ تم نمذجة هذه الدوائر الالكترونية بوساطة برنامج المحاكاة (NI Circuit Design Suits)، وكذلك تم تحقيق الشبكة العصبية ذات الحجم (5-1) في شريحة AN221E04 FPAA من خلال برنامج المحاكاة (Anadigm Designer 2)، وتبين النتائج أن هناك تقارباً في قيم الأوزان والانحياز لكل من الشبكة العصبية الاصطناعية الرقمية والتناظرية. ولأجل توضيح عمل شريحة FPAA تم تسقيط الشبكة العصبية لتحقيق عمل البوابة المنطقية (ANN Like XOR Gate) على الشريحة باستخدام برنامج المحاكاة (Anadigm Designer 2).

## تَبَيُّتِ المحتويات

الصفحة	الموضوع
----	الخلاصة
I	تَبَيُّتِ المحتويات
VII	تَبَيُّتِ الأشكال
XVI	تَبَيُّتِ الجداول
XVII	تَبَيُّتِ الرموز
XXI	تَبَيُّتِ المختصرات
	<b>الفصل الأول: المقدمة</b>
1	1.1 التمهيد
2	2.1 نظام السيطرة (Control System)
2	1.2.1 المسيطر التناسبي التكاملي التفاضلي (PID)
2	2.2.1 مسيطر الشبكات العصبية الاصطناعية (ANN)
3	3.1 مراجعة للأعمال السابقة
8	4.1 الهدف من الدراسة
9	5.1 محتويات الرسالة
	<b>الفصل الثاني: الخلفية النظرية</b>
11	1.2 المقدمة
11	2.2 الشبكات العصبية الاصطناعية
11	1.2.2 مقدمة عن الشبكات العصبية الاصطناعية
12	2.2.2 الخلية العصبية الاصطناعية

الصفحة	الموضوع
15	3.2.2 تصنيف الشبكات العصبية الاصطناعية
15	1.3.2.2 الشبكات من حيث الطبقات
16	2.3.2.2 الشبكات من حيث أسلوب الربط
17	3.3.2.2 الشبكات من حيث خوارزمية التعلم
25	3.2 منظومة السيطرة
25	1.3.2 محرك التيار المستمر
25	2.3.2 مغيرات التيار المستمر ((dc-dc Converters (Choppers))
28	3.3.2 دائرة توليد النبضات
28	4.4.2 نظام السيطرة للتحكم على سرعة المحرك التيار المستمر
35	1.4.3.2 دالة التحويل لمحرك التيار المستمر
28	2.4.3.2 منظومة السيطرة ذات الحلقة المفتوحة والحلقة المغلقة
29	3.4.3.2 المسيطر التقليدي التناسبي التكاملي التفاضلي (PID controller)
	<b>الفصل الثالث : نمذجة منظومة السيطرة وتحليلها باستخدام برنامج MATLAB</b>
31	1.3 المقدمة
31	2.3 تصميم دائرة المغير الخافض
32	3.3 نظام الحلقة المفتوحة (نظام ما قبل المسيطر) للسيطرة على سرعة المحرك
34	1.3.3 استجابة نظام الحلقة المفتوحة (Pre controller)
38	2.3.3 سلوك منظومة السيطرة ذات الحلقة المفتوحة لمحرك التيار المستمر
39	4.3 نظام الحلقة المغلقة (نظام ما بعد المسيطر) للسيطرة على سرعة المحرك

الصفحة	الموضوع
39	1.4.3 ربط نظام الحلقة المغلقة (Post controller) للسيطرة على سرعة المحرك
41	2.4.3 طريقة زيكلر - نيكولاس لحساب معاملات الكسب للمسيطر PID
42	3.4.3 استجابة الدائرة المغلقة لمنظومة السيطرة بوجود المسيطر التقليدي PID
45	4.4.3 تصميم مسيطر ANN للسيطرة على سرعة المحرك
45	1.4.4.3 آلية عمل الشبكة العصبية
46	2.4.4.3 آلية تنفيذ الشبكة العصبية
46	1.2.4.4.3 تحديد عدد العقد في الطبقة الخفية
47	2.2.4.4.3 تحديد دوال التنشيط (دوال التفعيل)
49	3.2.4.4.3 تحديد خوارزمية التدريب
49	5.4.3 استجابة الدائرة المغلقة لمنظومة السيطرة بوجود المسيطر ANN
	الفصل الرابع: تحقيق الشبكة العصبية الاصطناعية الرقمية وتنفيذها عملياً في الزمن الحقيقي للتحكم بسرعة المحرك التيار المستمر
53	1.4 المقدمة
55	2.4 مكونات منظومة السيطرة المصممة
55	1.2.4 تصميم دائرة المغير الخافض (buck circuit design)
56	2.2.4 دائرة العزل والكسب (Optocoupler and gain circuit)
58	3.2.4 دائرة تحسس التيار المستمر (dc sensor circuit) (التيار المنتج)
59	4.2.4 الدائرة الالكترونية لتحسين إشارة متحسس السرعة (T.G) وتكبيرها
61	5.2.4 بطاقة اكتساب البيانات (DAQ Card)
61	6.2.4 دائرة توليد إشارة تضمين عرض النبضة (PWM Signal)

الصفحة	الموضوع
62	7.2.4 وحدة سيطرة الشبكة العصبية الاصطناعية
65	3.4 نظام الحلقة المفتوحة لمنظومة السيطرة المصممة عملياً للتحكم على سرعة المحرك
69	4.4 نظام الحلقة المغلقة لمنظومة السيطرة المصممة عملياً للتحكم على سرعة المحرك
70	1.4.4 استجابة الدائرة المغلقة لمنظومة السيطرة المصممة عملياً بوجود المسيطر PID
72	2.4.4 استجابة الدائرة المغلقة لمنظومة السيطرة المصممة عملياً بوجود المسيطر ANN
	<b>الفصل الخامس: تحقيق ANN بالدوائر الالكترونية وتنفيذها على شريحة المصفوفات التناظرية القابلة للبرمجة (FPAA)</b>
80	1.5 المقدمة
81	2.5 تحقيق ANN تناظرياً باستخدام الدوائر الالكترونية وتمثيلها في برنامج National Instrument circuit design suits Software
81	1.2.5 تحقيق دالة الأوزان للشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية
91	2.2.5 تحقيق كل جزء من أجزاء الشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية
96	3.2.5 تحقيق خوارزمية تدريب الشبكة العصبية الاصطناعية
99	3.5 تحقيق الشبكات العصبية الاصطناعية وتنفيذها على شريحة FPAA
103	1.3.5 رقاقة (AN221E04) المستخدمة في الشرائح FPAA ذات البرمجة الديناميكية
104	2.3.5 برامجيات النمذجة لشريحة FPAA
	<b>الفصل السادس: الاستنتاجات والأعمال المستقبلية</b>

الصفحة	الموضوع
113	1.6 المقدمة
113	2.6 الاستنتاجات
114	3.6 الأعمال المستقبلية
115-119	المصادر
----	الملحق A: قيم عناصر المحرك التيار المستمر
----	الملحق B: طريقة استجابة الخطوة من الطرائق زيكلر-نيكولاس لإيجاد القيم المثلى لمعاملات الكسب (Kp,Ki,Kd) للمسيطر التقليدي PID
----	الملحق C : برنامج الماتلاب لتدريب ANN ذات الحجم (1-10-5)
----	الملحق D : Datasheet of PC817 chip
----	الملحق E : Datasheet of IGBT power transistor
----	الملحق F : Datasheet of dc current transducer (LA 25-NP)
----	الملحق G : Datasheet of DAQ Card (NI PCI-6251)
----	الملحق H : برنامج الماتلاب لتكوين الدالة المنغرسة
----	الملحق I: برنامج الماتلاب لتدريب الشبكة العصبية الاصطناعية ذات الحجم (1-5-5) واستعمالها عملياً للسيطرة على سرعة المحرك وفي الزمن الحقيقي
----	الملحق J: الجدول يوضح العلاقة بين الفولتية ( $V_{ds}$ ) والتيار ( $I_{ds}$ ) عند الفولتية ( $V_{gs}$ ) معينة للترانزستور نوع (N-Channel FET) ذي الرقم (PMBFJ212)
----	الملحق K : الجدول يوضح العلاقة بين الفولتية ( $V_{ds}$ ) والتيار ( $I_{ds}$ ) عند الفولتية ( $V_{gs}$ ) معينة للترانزستور نوع (P-Channel FET) ذي الرقم (PMBFJ174)
----	الملحق L : الشبكة العصبية الاصطناعية المتكاملة لتحقيق عمل البوابة المنطقية (XOR) باستخدام الدوائر الالكترونية (مثل مكبر العمليات وترانزستور FET)

الصفحة	الموضوع
----	الملحق M : تحقيق الشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية ذات الحجم (1-5) في شريحة FPAA باستخدام البرنامج المحاكاة (Anadigm Designer 2)
----	الملحق N : برنامج الماتلاب لتدريب الشبكة العصبية الاصطناعية ذات الحجم (1-5) لأجل الحصول على قيم الأوزان والانحياز للشبكة
----	الملحق P : بناء خوارزمية ANN الرقمية في برنامج الماتلاب لتحقيق عمل بوابة المنطقية (XOR Gate) وتدريبها لأجل الحصول على قيم الأوزان والانحياز

## تَبَيُّتِ الأشكال

الصفحة	العنوان	الرقم
13	الخلية العصبية الاصطناعية	(1-2)
14	أنواع الدوال التفعيل للشبكات العصبية الاصطناعية	(2-2)
15	تصنيف الشبكات العصبية الاصطناعية	(3-2)
16	الشبكات العصبية من حيث الطبقات	(4-2)
17	الشبكات العصبية من حيث أسلوب الربط	(5-2)
18	المخطط الكتلي للتعليم بإشراف	(6-2)
19	مرحلتى الانتشار الأمامي والعكسي لشبكة الانتشار العكسي	(7-2)
21	مخطط اشتقاق خوارزمية الانتشار العكسي	(8-2)
22	المخطط الكتلي لتحديث الأوزان باستخدام خوارزمية الانتشار العكسي	(9-2)
23	قاعدة تعلم بيرسيبتون (Perceptron learning rule)	(10-2)
24	المخطط الكتلي للتعليم بدون إشراف	(11-2)
25	الدائرة الكهربائية المكافئة لمحرك التيار المستمر عند ربط الحمل	(12-2)
26	الهيئة العامة لدائرة المغير الخافض	(13-2)
26	الدائرة المكافئة لصيغ العمل, (أ) الحالة الأولى حالة توصيل المفتاح (ON state), (ب) الحالة الثانية حالة عدم توصيل المفتاح (OFF state)	(14-2)
27	موجات الفولتيات والتيارات لعناصر دائرة المغير الخافض	(15-2)
29	منظومة السيطرة ذات الحلقة المفتوحة	(16-2)
29	منظومة السيطرة ذات الحلقة المغلقة	(17-2)
30	المخطط الكتلي للمتحكم التناسبي التكاملي التفاضلي	(18-2)

الصفحة	العنوان	الرقم
33	نظام الحلقة المفتوحة للسيطرة على سرعة المحرك من خلال فولتية المنتج	(1-3)
33	دائرة توليد النبضات المنتظمة (Uniform PWM generator)	(2-3)
34	سرعة المحرك للنظام الحلقة المفتوحة لمنظومة السيطرة عند عدم تسليط الحمل	(3-3)
34	سرعة المحرك للنظام الحلقة المفتوحة عند تسليط حمل 50% من الحمل المقنن	(4-3)
35	(أ) فولتية المنتج, (ب) تيار المنتج, (ج) فولتية المجال, (د) تيار المجال, لمحرك التيار المستمر عند ربط نظام الحلقة المفتوحة لمنظومة السيطرة وبدون أحمال	(5-3)
36	(أ) فولتية المنتج, (ب) تيار المنتج, لمحرك التيار المستمر عند ربط نظام الحلقة المفتوحة لمنظومة السيطرة مع تسليط حمل 50% من الحمل المقنن	(6-3)
37	(أ) فولتية المفتاح لدائرة المغير, (ب) فولتية الدايمود لدائرة المغير, (ج) فولتية المتسعة لدائرة المغير الخافض	(7-3)
38	(أ) تيار الملف لدائرة المغير, (ب) تيار المفتاح لدائرة المغير ( $\Delta i_s$ ), (ج) تيار المتسعة لدائرة المغير ( $\Delta i_c$ )	(8-3)
40	توليد الإشارات الثلاث، إشارة الخطأ وإشارة مشتقة الخطأ وإشارة تكامل الخطأ	(9-3)
40	نظام الحلقة المغلقة للسيطرة على سرعة المحرك مع المسيطر PID أو ANN	(10-3)
41	منحني استجابة الخطوة ذات الحيز الزمني لطريقة زيكلر - نيكولاس	(11-3)
42	تصميم مسيطر التقليدي PID Controller للسيطرة على سرعة المحرك	(12-3)

الصفحة	العنوان	الرقم
43	سرعة المحرك 1000 rpm بوجود مسيطر PID واستخدام طريقة التجربة والخطأ لإيجاد معاملات الكسب للمسيطر	(13-3)
43	سرعة المحرك 1000 rpm بوجود مسيطر PID واستخدام طريقة زيكلر-نيكولاس لإيجاد معاملات الكسب للمسيطر	(14-3)
44	سرعة المحرك 500 rpm إلى 1000 rpm للدائرة المغلقة بوجود مسيطر PID عند تسليط الحمل على المحرك	(15-3)
44	سرعة المحرك 1000 rpm بوجود المسيطر التقليدي PID عند تسليط حمل 100% من الحمل المقنن	(16-3)
45	الشبكة التي تم اعتمادها للسيطرة على سرعة المحرك	(17-3)
48	تدريب الشبكة العصبية الاصطناعية باستخدام خوارزمية trainlm مع استخدام دالة tansig في إدخال الشبكة ودالة Purelin في إخراج الشبكة وعدد الدورات التكرارية للوصول إلى الهدف	(18-3)
48	تدريب الشبكة العصبية الاصطناعية باستخدام خوارزمية trainlm مع استخدام دالة Logsig في إدخال الشبكة ودالة Purelin في إخراج الشبكة وعدد الدورات التكرارية للوصول إلى الهدف	(19-3)
49	منظومة الحلقة المغلقة للسيطرة على سرعة المحرك مع مسيطر الشبكة العصبية الاصطناعية	(20-3)
50	استجابة سرعة المحرك عند 1000 rpm للدائرة المغلقة بوجود مسيطر ANN	(21-3)
50	تتابع سرعة المحرك 500 rpm إلى 1000 rpm وفولتية المنتج بوجود المسيطر ANN	(22-3)
51	استجابة سرعة المحرك 1000 rpm وفولتية المنتج وتيار المنتج للدائرة المغلقة لمنظومة السيطرة بوجود مسيطر ANN عند تسليط حمل	(23-3)

الصفحة	العنوان	الرقم
	100% من الحمل المقنن	
54	مكونات المنظومة العملية	(1-4)
54	المخطط الكتلي للمنظومة السيطرة	(2-4)
55	مكونات الدائرة العملية لمغير التيار المستمر الخافض للفولتية	(3-4)
56	فولتية المغير الخافض قبل المرشح على أطراف الثنائي ونسبة توصيل 55%	(4-4)
56	فولتية الإخراج للمغير الخافض (فولتية المنتج) ونسبة توصيل 55%	(5-4)
57	الدائرة العملية للعزل الفيزيائي ورفع إشارة القدرح	(6-4)
57	إدخال دائرة العزل الفيزيائي وإخراجها ورفع إشارة القدرح	(7-4)
58	متحسس التيار المنتج والدائرة الالكترونية لتهيئة إشارة التيار للدخول في بطاقة (DAQ Card)	(8-4)
59	العلاقة بين تيار المنتج وفولتية متحسس التيار الداخلة إلى DAQ Card	(9-4)
59	الدائرة العملية المستخدمة لتحسين إشارة (Tacho Generator) وتكبيرها	(10-4)
60	(أ) فولتية متحسس السرعة (Tacho Generator) للمحرك قبل المرشح, (ب) إشارة الفولتية الداخلة إلى الحاسوب عن طريق DAQ Card	(11-4)
60	العلاقة بين سرعة المحرك وفولتية T.G الداخلة إلى DAQ Card	(12-4)
62	الإشارة المثبتة المتولدة من مولد الإشارات وإشارة المستوى الخارجة من وحدة سيطرة ANN من خلال DAQ Card	(13-4)
63-64	المخطط الانسيابي لبرنامج سيطرة الشبكة العصبية الاصطناعية (أ) البرنامج الرئيسي, (ب) المخطط الانسيابي للمسيطر	(14-4)

الرقم	العنوان	الصفحة
(15-4)	المخطط الكتلي لتوضيح مكونات الحلقة المفتوحة لمنظومة السيطرة على سرعة المحرك	65
(16-4)	استجابة السرعة للدائرة المفتوحة لمنظومة السيطرة عند نسبة التوصيل 50%	66
(17-4)	استجابة العملية لسرعة المحرك للحلقة المفتوحة (ما قبل المسيطر) للمنظومة العملية عند نسبة التوصيل 100%	66
(18-4)	إشارة تضمين عرض النبضة وإشارة متحسس السرعة للمحرك عند 1000 rpm للدائرة المفتوحة لمنظومة السيطرة وحالة اللاحمل	67
(19-4)	إشارة تضمين عرض النبضة وإشارة متحسس السرعة للمحرك عند 1000 rpm للدائرة المفتوحة لمنظومة السيطرة بوجود حمل مسلط (2A)	68
(20-4)	سرعة المحرك 1000 rpm للدائرة المفتوحة لمنظومة السيطرة	68
(21-4)	المخطط الكتلي للدائرة المغلقة لمنظومة السيطرة للتحكم بسرعة المحرك	69
(22-4)	ربط نظام الحلقة المغلقة لمنظومة السيطرة على سرعة المحرك مع المسيطر PID	70
(23-4)	استجابة العملية لسرعة المحرك عند 500 rpm بوجود مسيطر PID ومع تسليط وإزالة حمل (2A)	70
(24-4)	فولتية المنتج للمحرك عند السرعة المرجعية 500 rpm بوجود مسيطر PID	71
(25-4)	سرعة المحرك 1000 rpm للدائرة المغلقة بوجود المسيطر PID عند تسليط الحمل	71
(26-4)	استجابة العملية لتتابع سرعة المحرك عند تغيير السرعة المرجعية 500 rpm إلى 600 rpm إلى 700 rpm إلى 800 rpm إلى 900 rpm	72

الصفحة	العنوان	الرقم
	ومن ثم إلى 1000 rpm بوجود المسيطر PID	
74	نظام الحلقة المغلقة لمنظومة السيطرة على سرعة المحرك بوجود مسيطر ذكي ANN	(27-4)
75	تدريب الشبكة العصبية الصناعية باستخدام الخوارزمية (trainlm) مع استخدام دالة (tansig) في الإدخال، ودالة (Purelin) في الإخراج وعدد الدورات التكرارية للوصول إلى الهدف	(28-4)
75	تلاؤم القيم بين إخراج الشبكة العصبية الاصطناعية المدربة للتحكم بسرعة المحرك وقيم الهدف التي تمثل قيم إشارة السيطرة (إشارة المستوى) الخارجة من وحدة السيطرة من خلال بطاقة DAQ	(29-4)
76	استجابة العملية لسرعة المحرك 500 rpm بوجود مسيطر ANN	(30-4)
76	استجابة العملية لفولتية T.G للمحرك الداخلة إلى وحدة السيطرة من خلال بطاقة DAQ عند سرعة مرجعية 500 rpm وتسليط الحمل على المحرك	(31-4)
77	سرعة المحرك 1000 rpm بوجود مسيطر ANN عند تسليط حمل مقداره (2A) وإزالته	(32-4)
77	سرعة المحرك عند تغيير السرعة المرجعية من 500 rpm إلى 800 rpm للدائرة المغلقة لمنظومة السيطرة بوجود مسيطر ANN	(33-4)
81	تحقيق دالة الأوزان للشبكة العصبية تناظرياً باستخدام مكبر العمليات والمقاومات والعمل في المنطقة الخطية من خصائص مكبر العمليات (OP. Amp.)	(1-5)
82	تحقيق دالة الأوزان للشبكة العصبية الاصطناعية تناظرياً باستخدام مكبر العمليات وترانزستور تأثير المجال	(2-5)
83	استخدام المقاومات الخطية لإيجاد دالة الأوزان للشبكة العصبية	(3-5)

الصفحة	العنوان	الرقم
84	الدائرة الالكترونية لإيجاد العلاقة بين فولتية $V_{ds}$ مع تيار $I_{ds}$ عند فولتية $V_{gs}$ معينة للترانزستور نوع (N_Channel FET) ذي الرقم (PMBFJ212)	(4-5)
84	الدائرة الالكترونية لإيجاد العلاقة بين فولتية $V_{ds}$ مع تيار $I_{ds}$ عند فولتية $V_{gs}$ معينة للترانزستور نوع (P_Channel FET) ذي الرقم (PMBFJ174)	(5-5)
86	خصائص الترانزستور نوع (N_Channel FET) ذي الرقم (PMBFJ212) الذي يمثل العلاقة فولتية $V_{ds}$ مع تيار $I_{ds}$ بثبوت فولتية $V_{gs}$	(6-5)
86	خصائص الترانزستور نوع (P_Channel FET) ذي الرقم (PMBFJ174) الذي يمثل العلاقة فولتية $V_{ds}$ مع تيار $I_{ds}$ بثبوت فولتية $V_{gs}$	(7-5)
87	استخدام ترانزستور ذو البوابة المتصلة لتكيف (إيجاد) أوزان الشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية ونمذجته باستخدام برنامج المحاكاة (NI circuit design suits Software)	(8-5)
90	علاقة قيم أوزان الموجبة للشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية مع فولتية بين البوابة والمصرف المسلطة على بوابة ترانزستور نوع (PMBFJ212 N-Channel FET)	(9-5)
90	علاقة قيم أوزان السالبة للشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية مع فولتية بين البوابة والمصرف المسلطة على بوابة ترانزستور نوع (PMBFJ212) ذي الرقم (N_Channel FET)	(10-5)
92	تحقيق دالة الأوزان مع دالة الجمع للشبكة العصبية الاصطناعية ذات خمسة إدخلات باستخدام الدوائر الالكترونية مثل مكبر العمليات وترانزستور تأثير المجال	(11-5)
93	دالة التفعيل للشبكة العصبية من نوع الدالة الملتوية وذات كسب متغير	(12-5)

الرقم	العنوان	الصفحة
	مستخدمًا دوائر مكبر العمليات	
(13-5)	علاقة إدخال الدالة الملتوية مع إخراجها عملياً وبكسب متغير	93
(14-5)	تحقيق دالة الخطية بوصفها دالة التفعيل للشبكة العصبية الاصطناعية تناظرياً باستخدام دوائر مكبر العمليات (OP. Amp.)	95
(15-5)	علاقة الإدخال مع الإخراج للدالة الخطية عملياً باستخدام برنامج المحاكاة (NI Software)	95
(16-5)	تحقيق خوارزمية تعلم الانتشار العكسي تناظرياً باستخدام دوائر مكبر العمليات لمعايرة دالة الأوزان للشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية	96
(17-5)	تحقيق خوارزمية تعلم بيرسيبترون ( Perceptron learning ) algorithm) تناظرياً باستخدام دوائر مكبر العمليات (OP. Amp.) لمعايرة أوزان الشبكة العصبية التناظرية	97
(18-5)	تحقيق خوارزمية التعلم هيبين (Hebbian learning algorithm) تناظرياً باستخدام دوائر مكبر العمليات (OP. Amp.) لتكيف أوزان الشبكة العصبية التناظرية	98
(19-5)	المخطط الكتلي لكتلة CAB المبسطة مع المحولات نوع MOSFET	100
(20-5)	المكثف المحول مع المحولين من النوع MOSFET	101
(21-5)	دوائر المكبرات مع تنفيذ المكثف المحول لحساب قيمة مقاومة الإدخال	101
(22-5)	دوائر المكبر مع المكثفات المحولة لإيجاد قيمة كل من مقاومة التغذية الخلفية العكسية ومقاومة الإدخال لدائرة مكبر العمليات	102
(23-5)	الربط الأنموذجي والمخطط الكتلي للرقاقة AN221E04 chip	103
(24-5)	مخطط لتوضيح خطوات برمجة شريحة FPAA	105
(25-5)	تحقيق شبكة ( ANN like XOR gate ) على شريحة FPAA	106

الصفحة	العنوان	الرقم
107	تسقيط شبكة ANN like XOR gate على شريحة FPAA	(26-5)
108	إخراج الشبكة العصبية (ANN like XOR gate) المنفذة في شريحة FPAA	(27-5)
108	تحقيق وتنفيذ الدالة الملتوية في شريحة ( AN221E04 FPAA ) (Chip)	(28-5)

## تَبَتِ الجداول

الصفحة	العنوان	الرقم
30	تأثير قيم الكسب ( $K_p, K_d, K_i$ ) على استجابة النظام	(1-2)
39	بيانات سلوك منظومة السيطرة ذات الحلقة المفتوحة للتحكم على سرعة المحرك	(1-3)
42	صيغة زيكلر-نيكولاس (طريقة استجابة الخطوة)	(2-3)
47	يبين تغيير دوال التفعيل في إدخال الشبكة وإخراجها لحين الوصول إلى أفضل أداء للشبكة العصبية	(3-3)
67	عينة من بيانات سلوك الحلقة المفتوحة لمنظومة السيطرة	(1-4)
73	بيانات سلوك منظومة السيطرة مع المسيطر PID من اجل تدريب مسيطر ANN	(2-4)
88	علاقة قيم الأوزان الموجبة مع مقاومة ( $R_{ds}$ ) وفولتية ( $V_{gs}$ ) للترانزستور (N-Channel FET) ذي الرقم (PMBFJ212)	(1-5)
89	علاقة قيم الأوزان السالبة مع مقاومة ( $R_{ds}$ ) وفولتية ( $V_{gs}$ ) للترانزستور (P-Channel FET) ذي الرقم (PMBFJ174)	(2-5)
110	معايرة الأوزان للشبكة العصبية الرقمية والتناظرية والمقارنة بينهما	(3-5)
111	معايرة قيم الأوزان والانحياز للشبكة العصبية التناظرية لتحقيق البوابة المنطقية (XOR)	(4-5)
111	مقارنة أداء المنظومة النظرية عند استخدام مسيطر (PID) ومسيطر ANN	(5-5)
112	مقارنة أداء المنظومة عند استخدام مسيطر (PID) ومسيطر (ANN) العملي	(6-5)

## ثَبَّتِ الرَّمُوزِ

الوحدة	دلالته	الرمز
----	مقدار الكسب لمكبر العمليات	$A_v$
----	قناة الإدخال الأولى لبطاقة اكتساب البيانات	$a_{i0}$
----	قناة الإدخال الثانية لبطاقة اكتساب البيانات	$a_{i1}$
----	قناة الإخراج لبطاقة اكتساب البيانات	$a_{o0}$
V	الإخراج الفعلي لخلية العصبية الاصطناعية في طبقة (k)	$a_k$
-----	مصفوفة الإدخال للنظام	b
N.M/rad/s	معامل الاحتكاك	B
sec	مدة التوصيل اثناء الذبذبة الواحدة	d
V	الإخراج المطلوب لخلية العصبية الاصطناعية في طبقة (k)	$d_k$
sec	زمن التأخير بالنسبة لاستجابة الخطوة للمحرك	D
----	الدايود المستخدم في دائرة المغير الخافض	$D_m$
V	مشتقة إشارة الخطأ (Derivative of error signal)	$D_e$
V	إشارة الخطأ (فرق بين $\omega_p$ و $\omega_{ref}$ )	e
V	القوة الدافعة الكهربائية العكسية	$e_b$
%	حالة ثبوت الخطأ	$e_{ss}$
V	مقدار قيمة الخطأ في إخراج الخلية العصبية	$e_k$
HZ	تردد القدح لدائرة المغير التيار المستمر الخافض للفولتية	f
V	إخراج دالة التفعيل للشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية	$f(\text{net})$
V	مشتقة (تفاضل) إشارة $f(\text{net})$ الخارجة من دالة التفعيل للشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية	$f'(\text{net})$
V	إخراج دالة التفعيل للطبقة الخفية	$h_j$
V	إخراج دالة التفعيل للطبقة الإخراج	$h_k$
----	عدد الخلايا العصبية في طبقة الإدخال للشبكة العصبية	i

A	تيار المنتج للمحرك	$I_a$
A	تيار المجال للمحرك	$I_f$
A	تيار الإدخال لدائرة المغير الخافض	$I_s$
A	تيار الملف لدائرة المغير الخافض	$I_L$
A	تيار المتسعة لدائرة المغير الخافض	$I_c$
V	تكامل إشارة الخطأ (integral of error signal)	$I_e$
----	عدد الخلايا العصبية في طبقة الخفية للشبكة العصبية	$j$
$Kg.m^2$	عزم القصور الذاتي للمحرك	$J$
V/A-rad/s	ثابت المحرك	$K_E$
----	نسبة التوصيل لإشارة تضمين عرض النبضة	$K$
----	الكسب التناسبي	$K_p$
----	الكسب التكاملي	$K_i$
----	الكسب التفاضلي	$K_d$
----	عدد الخلايا العصبية في طبقة الإخراج للشبكة العصبية	$k$
H	محاثة المنتج	$L_a$
H	محاثة المجال	$L_f$
H	المحاثة المتبادلة بين المنتج والمجال	$L_{af}$
----	عدد الطبقات	$M$
----	التكرار الحالي	$n$
%	نسبة تجاوز الحد	P.O.Sh
$\Omega$	مقاومة المنتج للمحرك	$R_a$
$\Omega$	مقاومة المجال للمحرك	$R_f$
$\Omega$	مقاومة التغذية العكسية للمكبر العمليات	$R_F$
$\Omega$	مقاومة الحمل	$R_L$
----	دورة لكل دقيقة واحدة	rpm

----	مفتاح ذو اتجاهين	S
----	معامل لابلاس	s
sec	ثابت الزمن بالنسبة لاستجابة الخطوة للمحرك	T
N.M	العزم المتولد داخل المحرك	$T_e$
N.M	عزم الحمل المسلط	TL
----	متحسس السرعة للمحرك	T.G
sec	زمن توصيل المفتاح ( $S=1$ ) في أثناء الذبذبة الواحدة	$T_{on}$
sec	زمن فتح المفتاح ( $S=0$ ) في أثناء الذبذبة الواحدة	$T_{off}$
sec	زمن الاستقرار	$t_s$
sec	زمن الصعود	$t_r$
sec	زمن التأخير	$t_d$
V	إشارة السيطرة عند الزمن الحالي ( $t$ )	$U_t$
V	إشارة السيطرة عند الزمن ( $t-1$ )	$U_{t-1}$
V	فولتية المنتج للمحرك التيار المستمر	$V_a$
V	فولتية المجال للمحرك التيار المستمر	$V_f$
V	فولتية الإدخال لدائرة المغير المستمر الخافض للفولتية	$V_s$
V	فولتية المتسعة لدائرة المغير الخافض	$V_c$
V	فولتية الدايمود لدائرة المغير الخافض	$V_d$
V	فولتية الإخراج لدائرة المغير الخافض	$V_o$
----	متجه أوزان الشبكة العصبية الاصطناعية	$W_i$
----	الأوزان من الخلية ( $i$ ) في طبقة الإدخال إلى الخلية ( $j$ ) في طبقة الخفية	$W_{ij}$
----	الأوزان من الخلية ( $j$ ) في طبقة الخفية إلى الخلية ( $k$ ) في طبقة الإخراج	$W_{jk}$
V	متجه إشارات الإدخال للشبكة العصبية الاصطناعية	$X_i$
V	إخراج الخلايا العصبية ( $k$ ) في طبقة الإخراج للشبكة العصبية	$y_k$
rad/s	السرعة الزاوية للمحرك	$\omega$

rpm	السرعة المرجعية	$\omega_{ref}$
rpm	السرعة الدورانية الحقيقية للمحرك	$\omega_p$
----	التغير في أوزان الطبقة الخفية	$\Delta W_{ij}$
----	التغير في أوزان الطبقة الإخراج	$\Delta W_{jk}$
----	معدل التموج في تيار الملف لدائرة المغير الخافض	$\Delta I$
----	مقدار التموج الحاصل في التيار الملف لدائرة المغير الخافض	$\Delta I_L$
----	مقدار التموج الحاصل في فولتية المتسعة لدائرة المغير الخافض	$\Delta V_c$
----	مقدار الانحراف لدوال التفعيل للشبكة العصبية الاصطناعية	$\beta$
V	مربع الخطأ لجميع اخراجات الخلايا العصبية في طبقة (k)	$\epsilon$
----	معامل التعلم	$\eta$
----	الدالة الوغارتمية	$\sigma$
----	معدل الانحدار للخلية العصبية (k) في طبقة الإخراج للشبكة	$\delta_k$
----	معدل الانحدار للخلية العصبية (j) في طبقة الخفية للشبكة	$\delta_j$

## تَبَتِ المختصرات

المختصر	المصطلح	الوصف
ANN	Artificial Neural Networks	المسيطر الشبكات العصبية الاصطناعية
	Activation Function	دوال التفعيل
	Activation Level	مستوى التفعيل
	Actual Output	الإخراج الفعلي
	Axon cell	محور الخلية
	Approximation	التقريب
ASIC	Application Specific Integrated Circuits	الدائرة المتكاملة ذات التطبيقات المحددة
ADC	Analogue to Digital Convertor	المحول التناظري إلى الرقمي
ANN like PID Controller	Artificial Neural Networks like Proportional-Integral-Derivative Controller	الشبكة العصبية الاصطناعية المستندة الى مبدأ عمل المسيطر التناظري-التكاملي-التفاضلي
BPNN	Back Propagation Neural Networks	شبكة الانتشار العكسي
BP	Back Propagation algorithm	خوارزمية الانتشار العكسي
	Back Ward Computation	الحسابات الخلفية
	Buffer	المصد
CAB	Configurable Analogue Block	الكتل التناظرية القابلة للبرمجة
CLB	Configurable Logic Block	الكتل المنطقية القابلة للبرمجة
	Chip	الرقاقة (الشريحة)
	Control System	منظومة السيطرة
	Closed Loop	الحلقة المفتوحة
	Controller	المسيطر
	Conventional	التقليدي

معالجة الإشارة الرقمية	Digital Signal Processing	DSP
إعادة التكوين الديناميكي	Dynamic Reconfigurable	
الكسب التفاضلي	Derivative Gain	$K_d$
بطاقة اكتساب البيانات	Data Acquisition Card	DAQ Card
متحسس التيار المستمر	Current Sensor	
المحول الرقمي إلى التناظري	Digital to Analogue Convertor	DAC
إشارة المستوى (إشارة السيطرة)	dc Level	
عدد مرات تكرار تدريب الشبكة العصبية	Epochs	
المصفوفات التناظرية القابلة للبرمجة	Field Programmable Analog Array	FPAA
مصفوفة البوابات المبرمجة حلقياً	Field Programmable Gate Array	FPGA
ترانزستور تأثير المجال	Field Effect Transistor	FET
الشبكات العصبية ذات التغذية الأمامية	Feed Forward Neural Network	
الشبكات العصبية ذات التغذية العكسية	Feed Back Neural Network	
الحسابات الأمامية	Forward Computation	
الانتشار الأمامي	Forward Propagation	
مولد الإشارات	Function Generator	
الكيان المادي	Hardware	
الطبقة الخفية	Hidden Layer	
قاعدة تعلم هيبين	Hebbian Learning Rule	
تطبيق (تنفيذ)	Implementation	
الترانزستور ذو البوابة المعزولة	Insulated Gate Bipolar Transistor	IGBT
الكسب التكاملي	Integral Gain	$K_i$
الدوائر المتكاملة	Integrated Circuits	IC
طبقة الإدخال	Input Layer	

معدل التعلم	Learning Rate	
الدالة الخطية	Linear Function	
جدول المعاينة	Lock Up Table	LUT
الشبكة العصبية المتعددة الطبقات	Multilayer Perceptron NN	MLP-NN
خلية عصبية	Neuron	
الشرائح العصبية	Neuro chip	
الخلايا العصبية	Neuron Cells	
الوصلات العصبية	Neuron Synapses	
دالة التفعيل للشبكة العصبية التناظرية	Neuron Activation Function	NAF
مكبر العمليات	Operational amplifier	OP-Amp
طبقة الإخراج	Output Layer	
الحلقة المفتوحة	Open Loop	
مصدر توقيت الرقاقة (الشريحة)	On-chip Clock Source	$V_c$
المسيطر التناسبي-التكاملي-التفاضلي	Proportional-Integral-Derivative Controller	PID Controller
الكسب التناسبي	Proportional Gain	$K_p$
الحاسوب الشخصي	Personal Computer	PC
فولتية العتبة للترانزستور تأثير المجال	Pinch off voltage of FET	$V_p$
ما قبل المسيطر	Pre Controller	
ما بعد المسيطر	Post Controller	
تضمين عرض النبضة	Pulse Width Modulation	PWM
الشبكة العصبية النوع بيرسيبترون	Perceptron Neural Networks	
تحقيق	Realization	
إعادة التكوين	Reconfigurable	
السيطرة في الزمن الحقيقي	Real Time Control	
إعادة البرمجة	Reprogrammable	

إعادة التكوين الاستاتيكي	Static reconfigurable	
المكثفات المحولة	Switched Capacitor	
دالة الملتوية	Sigmoid Function	
الشبكات العصبية أحادية الطبقة	Single Layer Neural Networks	
الخصائص	Specification	
استجابة الخطوة	Step response	
دالة الخطوة	Step Function	
نقاط اتصال (الوصلات)	Synapses	
قاعدة التعلم بإشراف	Supervised Learning Rule	
المحولات من النوع الترانزستور	Switched MOSFET	Q
دالة التحويل	Transfer Function	
هدف	Target	
دالة العتبة	Threshold Function	
مجموعة التدريب	Training Set	
الترانزستور ذو البوابة المتصلة	Transmission Gate Transistor	
قاعدة التعلم بغير إشراف	Unsupervised Learning Rule	
تكامل ذو تقييس واسع جداً	Very Large Scale Integrated Circuits	VLSI
لغة وصف الدوائر المتكاملة ذات السرعة الفائقة	Very High Speed IC Hardware Description Language	VHDL

## الفصل الأول

### مقدمة

## Introduction

### 1.1- التمهيد:

نشأ الاهتمام العام بالشبكات العصبية الاصطناعية من الخصائص المميزة الموجودة فيها , وقدرتها على تجاوز مقيدات الحل التقليدي أو محدداته, ومن أهم خصائص الشبكات العصبية هي امتيازها بخاصية التوازي (Parallelism) التي تعد أساساً معمارياً للشبكات العصبية الاصطناعية, إذ إن كل الخلايا في الشبكة تعمل بشكل التزامن, أي يمثل التوازي قدرة الشبكة العصبية على معالجة البيانات بسرعة عالية جداً حتى إن كانت كمية البيانات ضخمة, وكذلك قدرتها على التكيف والتنظيم الذاتي. كما توفر الشبكات العصبية الاصطناعية قدرات معالجة موثوقاً بها وكذلك قابليتها على التكيف من خلال تعديل أوزان ارتباط خلاياها[1].

يعد الإلكترونيك الصناعي (Industrial Electronic) واحداً من التطبيقات التي تأخذ دوراً مهماً في العمليات الصناعية, وتحقيق دوائر السيطرة الإلكترونية للتحكم بسرعة دوران المحركات الكهربائية, ويكون تحقيق هذه الدوائر إما تناظرياً أو رقمياً, وحديثاً تم استخدام التقانات الذكية المعاصرة مثل تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية التناظرية التي تستخدم الدوائر الإلكترونية في تركيبها.

تعد الشبكات العصبية من الوسائل المعاصرة في هذا العصر التي تستخدم الخبرة والذكاء الاصطناعي والتي تماثل العقل البشري والتصرف البشري بحيث تكون قادرةً على العمل بكفاءة عالية بالرغم من كل المعوقات. في اغلب المصانع والأجهزة المنزلية تتطلب السيطرة على أداء عمل بعض العناصر المهمة التي تدخل في تركيبها واهم هذه العناصر هو محرك التيار المستمر. يتكون محرك التيار المستمر من جزأين رئيسين, جزء ثابت أو ساكن (stator), وجزء متحرك أو دوار (rotor), إن لمحركات التيار المستمر (dc motors) عدداً من المحاسن التي لا تتوفر في بقية أنواع المحركات منها: إنها تولد عزمًا ابتدائياً عالياً يجعلها مناسبة في الكثير من التطبيقات, فضلا عن إمكانية الحصول على مدى واسع من السرعة زيادة على طرائق السيطرة السهلة ذات الكلفة القليلة إذا قورنت مع محركات التيار المتناوب. وعلى الرغم من هذه المحاسن فهي لا تخلو من بعض المساوئ إذ إنها تحتاج إلى مصدر قدرة مستمر, فضلا عن الحاجة الكبيرة منها إلى بوادئ لتحديد التيار الابتدائي المندفع. إن للمحركات الكهربائية تطبيقات واسعة فهي تستخدم في عدد كبير من الأجهزة الكهربائية مثل الغسالات وأجهزة التكييف والمكانس الكهربائية. إذ يكون تثبيت سرعة المحرك عند

سرعة معينة مطلوباً في الكثير من التطبيقات, وعلى هذا الأساس برزت الحاجة إلى بناء منظومة سيطرة تقوم بذلك العمل[2].

إذ تتكون المنظومة بشكل عام من جزأين رئيسيين هما محرك التيار المستمر منفصلة الإثارة, مغير التيار المستمر من النوع الخافض للفولتية (Buck converter).

والمغير الخافض هو المغير الذي بالإمكان الحصول من خلاله على فولتية إخراج  $V_o$  أقل من فولتية الإدخال  $V_s$ . وهذا النوع من المغيرات يكون حساساً جداً بتغير قيمة مدة غلق المفتاح وفتحه ( $d$ ), وأن معدل فولتية الإخراج فيه أقل من فولتية الإدخال[3].

**2.1- نظام السيطرة Control System:** هي المنظومة التي تقوم بتوليد إشارات للسيطرة على فولتية الإخراج للمغير الخافض, مما يؤدي إلى السيطرة على فولتية المنتج للمحرك وذلك من خلال السيطرة على إشارة قرح الترانزستور القدرة ذات البوابة المعزولة IGBT[4]. في هذا البحث تم تحقيق طريقتين من نظام السيطرة وتنفيذها للتحكم بسرعة محرك التيار المستمر من خلال فولتية المنتج وهي:

**1.2.1 المسيطر التناسبي التكاملي التفاضلي (PID-Controller):** يعد هذا المسيطر من المسيطرات التقليدية إذ يتصف بالمتانة وأن هذا المسيطر يجمع بين محاسن كل من المسيطر PD والمسيطر PI مما يؤدي إلى تحسين استجابة الحالة العابرة وكذلك يمكن تقليل خطأ حالة الثبوت إلى الصفر, ومازال هذا المسيطر مستخدماً الآن إذ يعطي نتائج جيدة ولكن من مشكلاته انه يستغرق وقتاً طويلاً في عملية تنعيم قيم الكسب, ولا يمتلك المرونة الكافية للتكيف عند تعرض النظام إلى بعض المؤثرات الخارجية [4].

**2.2.1 المسيطر الشبكات العصبية الاصطناعية (ANN Controller):** إن الفائدة من استخدام ANN هي قدرتها على السيطرة على النظم غير الخطية التي لا يمكن وصفها بمعادلات رياضية بسيطة أو أن يكون وصفها عملية صعبة. إن تقنية ANN وجدت لتحل محل تقنية السيطرة التقليدية التي غالباً ما تتطلب أنموذجاً رياضياً لا خطياً ومعقداً. إن ANN له تطبيقات ناجحة ولاسيما في نظم السيطرة وذلك بالمقارنة مع المسيطر التقليدي إذ يمتلك مرونة كبيرة عند التصميم. إذ تعطي مسيطرات ANN القدرة اللازمة للمصمم للسيطرة على الأنظمة غير الخطية. لقد أُستخدِمَ المسيطرات ANN بشكل واسع في مجالات السيطرة الصناعية بسبب بساطة تلك المسيطرات وكفاءتها العالية, وخاصةً في المجالات ذات العمليات اللاخطية المعقدة حيث أثبتت وثوقيتها العالية وحساسيتها قليلة للضوضاء وسرعة عملها الكبيرة مقارنة مع المسيطرات التقليدية [5].

تعد الشبكات العصبية من التقانات الذكية التي يمكن استخدامها في معالجة الإشارات بالزمن الحقيقي (Real Time Signal Processing) والتميز ما بين الإشارات (Signal Recognition) والشبكات العصبية يمكن تحقيقها وتطبيقها بعدة طرائق:

## Digital Hardware

### 1. الطريقة الرقمية

#### Implementation

يتم بناء خوارزمية الشبكة العصبية الاصطناعية بهذه الطريقة بواسطة استخدام إحدى البرمجيات النمذجة المطبقة في الحاسوب الشخصي (Personal Computer) أو المسيطر الدقيق (Microcontroller) أو شريحة (FPGA (Field Programmable Gate Array) [1], أو شريحة DSP chip أو ASIC Kit (Application Specific Integrated Circuits) التي من خلالها يمكن تحقيق معالجة الإشارات الرقمية أو الإشارات ذات الزمن المتقطع.

وفي هذا البحث تم تحقيق وتطبيق الشبكة العصبية الاصطناعية ذات الانتشار العكسي بالطريقة الرقمية باستخدام برنامج المحاكاة MATLAB/SIMULINK للسيطرة على سرعة المحرك وبالزمن الحقيقي (Real time control), فضلاً عن وجود بطاقة اكتساب البيانات (DAQ card).

## Analogue Hardware

### 2. الطريقة التناظرية

#### Implementation

يمكن بناء الشبكة العصبية الاصطناعية بالطريقة التناظرية بواسطة استخدام الدوائر الالكترونية التناظرية مثل مكبر العملية (OP-Amp.) ومزج من الدوائر CMOS أو ترانزستور تأثير المجال (FET). وتستخدم ANN المنفذة بالطريقة التناظرية لتحقيق معالجة الإشارات ذات الزمن المستمر والدوائر التي تهيئ الإشارة والدوائر التي تميز ما بين الإشارات. ولتمثيل ونمذجة الدوائر الالكترونية المستخدمة لتحقيق معمارية الشبكة العصبية يمكن استخدام إحدى برمجيات النمذجة مثل برنامج ADS أو برنامج Pspice أو برنامج المحاكاة Hspice.

يمكن تنفيذ معمارية الشبكة العصبية الاصطناعية الكاملة عملياً على شريحة FPAA باستخدام البرنامج المحاكاة (Anadigm Designer 2).

في هذا البحث تم تحقيق ANN باستخدام الدوائر الالكترونية مثل دوائر مكبر العمليات وترانزستور تأثير المجال (FET) وقد تم تمثيل الدوائر الالكترونية باستخدام برنامج المحاكاة (National Instrument Software) circuit design suits, والشبكات العصبية التناظرية التي حُققَت في هذا البحث هي:

➡ شبكة العصبية ذات الانتشار العكسي (BPNN).

➡ شبكة العصبية نوع بيرسيبترون (Perceptron NN).

شبكة العصبية نوع هيبين (Hebbian NN).

### 3.1- الأعمال السابقة

1. قدم الباحث (M. A. Abo-Elsooud) [6] في عام 1992 دراسة عن تحقيق الشبكة العصبية الاصطناعية البسيطة ذات الطبقة الأحادية نوع هوبفيلد (Hopfield Neural Network) باستخدام الدوائر الالكترونية، إذ استُخدِمَ الباحث بالبداية المقاومات المتغيرة لتكييف (معايرة) قيم الأوزان الخاصة للشبكة ولكن ظهرت لديه مشكلة وهي عدم الخطية في استخدام المقاومات بسبب سوء تصنيع المقاومات أو تأثير عوامل خارجية على المقاومات مثل الحرارة والرطوبة، ولذلك استُخدِمَ أربعة ترانزستورات من نوع تأثير المجال (Field Effect Transistor) بدلاً من المقاومات، إذ إن نقطة العمل للترانزستورات تقع في المنطقة الخطية، حيث استخدم إشارة القدر  $V_c$  (Clock signal) المتولدة خارجياً للتحكم في عمل الترانزستورات، وتم تمثيل هذه الشبكة باستخدام المحاكاة Pspice.

2. قدم الباحث واخرون (S.M. Mokhsin et.al) [7] في عام 2002 دراسة عن تحقيق ونمذجة مسيطر الشبكات العصبية الاصطناعية على الحاسوب باستخدام برنامج المحاكاة (MATLAB/SIMULINK) للسيطرة على سرعة دوران المحرك التيار المستمر منفصلة الإثارة، والشبكة العصبية المستخدمة من النوع المتعددة الطبقات ذات الانتشار العكسي (BPNN) والمكون من ثلاث طبقات طبقة الإدخال التي تتكون من ثلاث عقد وهي  $(U_a(t), U_a(t-1), I_a(t))$ ، والطبقة الخفية والطبقة الإخراج التي تتكون من عقدة واحدة  $(w_r)$ . وأستُخدِمَت طريقة (trainlm) لتدريب الشبكة العصبية المقترحة، وقام الباحثون بتغيير عدد العقد في الطبقة الخفية للشبكة العصبية من عقدين إلى 9 عقد، واستنتجوا بان استخدام 6 عقد في الطبقة الخفية تعطي اقل نسبة خطأ ممكنة حوالي (Percentage of error=0.41%). ولم يحاولوا تنفيذ الشبكة المقترحة في الزمن الحقيقي.

3. قدم الباحث زيلونك واخرون (Zilong et.al) [8] في عام 2003 دراسة عن استخدام الشبكة العصبية الاصطناعية المتكيفة (Adaptive ANN) للتحكم في سرعة المحرك التيار المستمر (dc motor) ذي سلوك الغير الخطي وعند تسليط أحمال ديناميكية. والشبكة العصبية المستخدمة من النوع شبكة الانتشار العكسي المتكونة من ثلاث طبقات طبقة الإدخال وطبقات الخفية وطبقة الإخراج وكانت النتائج العملية جيدة من حيث استجابة النظام وزمن الاستقرار مقارنة مع استخدام المسيطرات التقليدية مثل المسيطر

التناسبي (P controller), وتمّ نمذجة المنظومة باستخدام المحاكاة MATLAB/SIMULINK ضمن أداة الشبكات العصبية.

4. قدم الباحث فاتيها (Fatiha Loucif) [9] في عام 2005 دراسة عن السيطرة على سرعة المحرك التيار المستمر باستخدام الميسيطرات التقليدية مثل ميسيطر التناسبي (P controller) والميسيطر التناسبي التكاملي (PI controller) والميسيطر التناسبي التفاضلي (PD controller) وأخيراً الميسيطر التناسبي التكاملي التفاضلي (PID controller), واستخدم الباحث طريقة التجربة والخطأ (طريقة العشوائية) لاختيار قيم معاملات الكسب الخاصة للميسيطر ( $K_p, K_i, K_d$ ) طبقاً لاستجابة الأفضل للنظام المراد التحكم عليه (dc motor) ودراسة تأثير كل من هذه المعاملات على زمن استقرار النظام (Settling time) وزمن الصعود (Rising time) وزمن التأخير (Delay time) ومقدار تجاوز الحد (Maximum overshoot), ومقارنة بين أنواع الميسيطرات التقليدية المستخدمة في البحث استنتج أن الميسيطر PID أفضل الأنواع وذلك لأنه يعطي أحسن وأسرع استجابة في الحيز الزمني للنظام المراد التحكم عليه.

5. قدم الباحثان بويان ويميل (Emil Dimitrov Manolov, Boyan Pavlov yubenov) [10] في عام 2005 دراسة عن تحقيق الشبكات العصبية الاصطناعية وتنفيذها على شريحة المصفوفات التناظرية القابلة للبرمجة (FPAA)(Field Programmable Analogue Array) لتصنيف حيز أو فضاء بمعاملين مختلفين (Two parameters space classification) وتوصل الباحثان في هذه الدراسة إلى بعض الفوائد منها يمكن تنفيذ أنواع مختلفة من الخلايا العصبية الاصطناعية بسهولة تامة على شريحة FPAA وان هذه الشريحة تمتلك مرونة عالية في برمجتها وإعادة تكوينها ذاتياً (Dynamic reconfigurable) وتمتلك أيضاً إمكانية عالية في فحص الدوائر التناظرية العملية بسهولة وبشكل سريع, لان الشريحة تتكون من دوائر تناظرية قابلة للبرمجة مثل دوائر مكبر العمليات.

6. قدم الباحثان (Srinivasan & Vikram) [11] في عام 2005 دراسة عن تحقيق وتطبيق الشبكات العصبية الاصطناعية باستخدام الدوائر الالكترونية, وتمّ تمثيل هذه الدوائر باستخدام لغة وصف الدوائر المتكاملة ذات السرعة الفائقة (HDL language)(Verilog-AMS) وكذلك برنامج المحاكاة Pspice وتم مقارنة النتائج بينهما.

7. قدم الباحث (Puxuan Dong et.al) [12] في عام 2006 دراسة عن تحقيق الشبكات العصبية الاصطناعية وتطبيقها على شريحة المصفوفات التناظرية القابلة للبرمجة (FPAA) مع استخدام دالة التفعيل للشبكة من نوع الخطي (Piecewise activation function), وذلك لأن تحقيق هذه الدالة على شريحة FPAA مبسطة وسهلة وقليل الكلفة مقارنة مع الأنواع الأخرى من الدوال التفعيل مثل الدالة الملتوية نوع tan-sigmoid ونوع Log-sigmoid, والشبكة العصبية الاصطناعية المستخدمة في هذه الدراسة من نوع شبكة الانتشار العكسي والمتكون من ثلاث طبقات، طبقة الإدخال التي تتكون من خليتين عصبيتين (2 neurons)، والطبقة الخفية التي تتكون من خمس خلايا عصبية (5 neurons) وطبقة الإخراج التي تتكون من خلية عصبية واحدة، وتمّ تحقيق الشبكة باستخدام المحاكاة (Anadigm designer 2) وتنفيذها على خمس شرائح من FPAA, وكانت النتائج النظرية مطابقة مع النتائج العملية.

8. صمم الباحثان (Chunchao Shi & Guoshan Zhang) [13] في عام 2006 طريقة جديدة من طرائق المسيطر PID المستندة الى الشبكة العصبية الاصطناعية ذات الانتشار العكسي (BPNN) لإزالة مشكلة البطء في تقارب الميل التدريب للشبكة إلى نقطة الحد الأدنى المحلية (Local minimum point) وهذه الطريقة من الطرائق التحسين في تدريب الشبكة العصبية الاصطناعية النوع الإشرافي وتطلق عليها طريقة هبوط الميل الحاد (Steepest gradient descent) فلجأ الباحثان إلى استخدام نوع آخر وهو (Fletcher-Reeves conjugate gradient) التي أعطت السرعة العالية في تنفيذ الشبكة وانحدار الميل إلى أدنى نقطة بشكل سريع وإزالة مشكلة البطء في انحدار الميل الحاد, وقد تمّ هذا التصميم باستخدام المحاكاة MATLAB/SIMULINK .

9. قدم الباحث وآخرون (Liliana DOCHEVA et.al) [14] في عام 2007 دراسة عن الشبكات العصبية الاصطناعية التناظرية المنفذة في الدوائر المتكاملة ذو تقييس واسع جداً (VLSI) التي تمتلك العديد من الفوائد منها السرعة العالية في معالجة الإشارات الداخلة عليها مقارنة مع الشبكات العصبية التناظرية ذات النبائط المنفردة وذلك لان التطبيق للعناصر التناظرية المنفردة تعطي عدم احتمالية تحقيق الكامل لهذه الفوائد والسبب في ذلك الاختلاف الكبير في الخصائص العناصر الشبة الموصل المستخدمة في تحقيق الشبكة العصبية التناظرية , والتي تمثل الاتجاه الجديد في تطبيق وتطور الشبكات العصبية النوع التناظري.

**10.** قدم الباحثان (Hazem M. El-Bakry & Nikos Mastorakis) [15] في عام 2008 دراسة عن المفهوم الجديد لتحقيق وحدة العمليات الحسابية (Arithmetic unit) مثل الطرح (Full-subtractor) والجامع (Full-adder) والضارب (2-bit digital multiplier) والقاسم (2-bit digital divider) بوساطة استخدام الشبكات العصبية الاصطناعية ذات الأدوات التناظرية القابلة للبرمجة (Analogue reconfigurable) ويطلق على هذا النوع من الشبكات بالشبكات العصبية التناظرية (Analogue neural networks) وقد تم تمثيل الشبكة العصبية التناظرية الكلية باستخدام المحاكاة Hspice وكانت النتائج النظرية تطابق النتائج العملية.

**11.** قدم الباحثان (Borundiya & Amit Parasmal) [16] في عام 2008 دراسة عن تحقيق وتطبيق الشبكات العصبية الاصطناعية النوع هوفيلد (Hopfield Neural Network) باستخدام الدوائر الالكترونية مثل مكبر العمليات وترانزستور تأثير المجال والترانزستور نوع MOSFET, ولأجل زيادة قدرة أداء الشبكة استخدم الباحثان ترانزستورات من نوع مزدوج البوابة (Double Gate MOSFET) بدلاً من النوع التقليدي (Single Gate MOSFET), استخدم هذا النوع من الترانزستورات لتكوين نموذج للخلية العصبية التخلفية (hysteresis neuron) واستنتج الباحثان استخدام 8 ترانزستورات بدلاً من 60 ترانزستوراً لتكوين مكبر العمليات (Operational amplifier) وان هذا التركيب يقلل من استخدام عدد الترانزستورات بنسبة 86% ويقلل من القدرة المستهلكة.

**12.** أجرى الباحث نيشا وآخرون (Nisha et.al) [17] في عام 2009 عملية تحكم لدرجة الحرارة الحمام شرق ألمانيا من النوع (MLW-MK-70 bath) تحت ظروف بيئية متغيرة باستخدام المسيطر التقليدي (PID Controller) المستند إلى المسيطر الشبكة العصبية الاصطناعية (PID Controller Like ANN) وقد تم اختيار قيم الكسب للمسيطر التقليدي ( $K_p, K_i, K_d$ ) باستخدام الشبكة العصبية الاصطناعية, وتم استخدام برنامج Visual BASIC5.0 language لكتابة البرنامج الخاص بهذا التصميم ومستخدم الحاسوب المكتبي PC.

**13.** قدم الباحثان (Cyril Prasanna Raj P & S.L. Pinjare) [18] في عام 2009 دراسة عن تحقيق معمارية الشبكات العصبية الاصطناعية وتطبيقها على شريحة (Chip Neuron Learning) باستخدام الدوائر الالكترونية والتي تمثل نوعاً من انواع الدوائر المتكاملة ذات تقييس واسع جداً (VLSI) لمعالجة الإشارات الداخلة

بشكل العام, ومعمارية ANN تتضمن مكونات تناظرية قابلة للبرمجة (Analogue component reconfigurable) مثل المضاعفات (multipliers) والجامع (adder) والطرح (subtractor) سوية مع دائرة دالة التفعيل المتمثلة بدائرة دالة المتوية (tan-sigmoid), وتدريب الشبكة العصبية الاصطناعية من خلال خوارزميات التعلم الإشرافي مثل خوارزمية الانتشار العكسي (Back Propagation algorithms), وقد تمّ تحقيق كل جزء من أجزاء الشبكة العصبية بالدوائر الالكترونية.

**14.** قدم الباحث دانيال الكساندرو وآخرون (Daniel Alexandru et.al) [19] في عام 2010 دراسة عن تحقيق وتطبيق المرشح التكيفي (Adaptive filter) والمرشح (Matched filter) على شريحة المصفوفات التناظرية القابلة للبرمجة (FPAA Kit) التي تتكون من كتل تناظرية قابلة للبرمجة وتسمى Configurable analogue block (CAB), واستخدموا هذا المرشح لتصفية الإشارات القادمة من المتحسسات الإشعاعية (Radiation sensors) من الضوضاء, واستخدموا الشريحة بسبب إمكانية برمجة خصائص المرشح وإعادةها داخل شريحة FPAA, واستفاد الباحثون من استخدام هذه التقنية بان استهلاك القدرة قليل جداً لان شريحة FPAA تعمل على مبدأ المكثفات المحولة (Switched capacitor).

نذكر نتائج بعض من الاعمال السابقة, في البحث رقم (7) حقق الباحثون الشبكة العصبية من النوع الاستاتيكي (Static neural network) ذات الحجم (1-6-3) للسيطرة على سرعة المحرك وتوصلوا الى ان نسبة الخطأ مساوية لـ 0.41% ولم ينفذوا المنظومة بالزمن الحقيقي, و حقق الباحث في البحث رقم (9) تحقيق المسيطر التقليدي PID للسيطرة على سرعة المحرك واستخدم طريقة التجربة والخطأ لا يجاد معاملات الكسب للمسيطر  $(K_p, K_i, K_d)$  ولم يستخدم الباحث احدى قواعد الضبط المتوفرة واستنتج الباحث بان المسيطر PID احسن واكفاً من الانواع الاخرى من المسيطرات التقليدية, وفي البحث رقم (11) حققا الباحثان الشبكات العصبية الاصطناعية التناظرية باستخدام الدوائر الالكترونية وتم نمذجة هذه الدوائر باستخدام برنامج Pspice, في حين حقق ونفذ الباحثون في البحث رقم (12) الشبكة العصبية التناظرية ذات الحجم (1-5-2) على خمس شرائح من FPAA واستنتج الباحثون بان استخدام دالة التفعيل للشبكة من النوع الدالة الخطية مبسطة وسهلة وقليل الكلفة مقارنة مع الدوال التفعيل الاخرى مثل الدالة المتوية, وفي البحث رقم (13) استخدم الباحثان طريقة جديدة للمسيطر التقليدي PID ومن النوع شبكة الانتشار العكسي (BPNN) واستنتج الباحثان ان هذه الطريقة تكون فيها

تقارب ميل التدريب للشبكة الى نقطة الحد الأدنى المحلية سريعة جداً مقارنةً مع من الطرق المستخدمة الأخرى مثل طريقة Steepest gradient descent.

#### 4.1 - الهدف من الدراسة:

يمكن تلخيص الهدف من الدراسة بالنقاط الآتية:

1. تحقيق كل من المسيطر التقليدي PID والمسيطر الذكي الشبكة العصبية الاصطناعية (ANN) الرقمية وتنفيذهما عملياً في الحاسوب باستخدام برنامج المحاكاة (MATLAB/SIMULINK) وبالزمن الحقيقي للتحكم بسرعة المحرك التيار المستمر منفصلة الأتارة بوجود بطاقة اكتساب البيانات (DAQ Card) لعمل المواءمة بين الحاسوب والعالم الخارجي (منظومة السيطرة) ومقارنة اداء المنظومة من ناحية خصائص المحرك ذات الحيز الزمني (زمن الثبوت وزمن الصعود وتجاوز حالة الحد وزمن التأخير ونسبة تجاوز الحد) عند استخدام هذين النوعين من المسيطرات.
2. تحقيق الشبكات العصبية الاصطناعية باستخدام الدوائر الالكترونية مثل دوائر مكبر العمليات (OP.Amp.) وترانزستور تأثير المجال (FET) ونمذجة هذه الدوائر باستخدام برنامج المحاكاة National Instrument circuit design suits .
3. تحقيق وتنفيذ الشبكات العصبية الاصطناعية على شريحة المصفوفات التناظرية القابلة للبرمجة (FPAA) باستخدام دوائر مكبر العمليات القابلة للبرمجة الديناميكية من خلال برنامج المحاكاة Anadigm Designer 2.
4. بناء الشبكة العصبية الاصطناعية من نوع شبكة الانتشار العكسي ذات حجم (1-2) لتحقيق عمل البوابة المنطقية (XOR gate) باستخدام الطريقتين الأولى الطريقة الرقمية باستخدام برنامج المحاكاة Matlab/M-File والثانية الطريقة التناظرية باستخدام الدوائر التناظرية وتمثيل هذه الدوائر الالكترونية على نوعين من المحاكاة, الأولى برنامج Anadigm Designer 2 وتنفيذها على شريحة AN221E04 FPAA Chip, والثانية برنامج National Instrument Software.

#### 5.1 - محتويات الرسالة:

تم في هذه الرسالة تحقيق الشبكات العصبية الاصطناعية الرقمية وتنفيذها باستخدام البرنامج المحاكاة (MATLAB /ANN Tool Box) للتحكم بسرعة المحرك التيار المستمر في الزمن الحقيقي، فضلاً عن وجود بطاقة اكتساب البيانات (DAQ Card) لإدخال إشارات السيطرة وإخراجها من وإلى الحاسوب. تم تحقيق كل جزء من أجزاء الشبكة العصبية الاصطناعية باستخدام الدوائر الالكترونية مثل مكبر العمليات وترانزستور تأثير المجال من خلال البرنامج (NI Software)، وقد تم تحقيق الشبكة العصبية الاصطناعية وتنفيذها على شريحة المصفوفات التناظرية القابلة للبرمجة (FPAA) من خلال أسلوب البرمجي المتبع لهذه الشريحة (Anadigm Designer 2).

تحتوي هذه الرسالة على ستة فصول، تضمن الفصل الأول ما جرى ذكره سابقاً، في حين تضمن الفصل الثاني الخلفية النظرية لأساسيات البحث، التي تتضمن شرحاً مفصلاً عن منظومة السيطرة التي تتكون من محرك التيار المستمر، ودائرة المغير الخافض، ودائرة توليد النبضات وتوضيح جميع المعادلات التي نحتاجها في التصميم، والتي سوف يتم الاعتماد عليها وتضمن أيضاً توضيحاً لمفهوم الشبكات العصبية الاصطناعية المستخدمة كونها مسيطراً للتحكم بسرعة المحرك، وتصنيفها من حيث عدد الطبقات وأسلوب الربط وخوارزمية التعلم الشبكة، ثم عرض عدد من الأنواع عن الشبكة العصبية وبيان خوارزمية التعلم لكل نوع من هذه الأنواع، وأخيراً شرح مبسط عن كيفية تحقيق وتطبيق الشبكة العصبية الاصطناعية باستخدام الدوائر الالكترونية.

وتضمن الفصل الثالث تمثيل منظومة السيطرة في الحاسوب باستخدام البرنامج المحاكاة (MATLAB/SIMULINK) الذي يحتوي على ثلاثة محاور رئيسة الأول تصميم دائرة المغير الخافض للفولتية وكيفية تمثيلها في الحاسوب، والثاني تصميم منظومة السيطرة ذات الحلقة المفتوحة لمحرك التيار المستمر وقياس استجابة الحلقة المفتوحة مع دراسة سلوك المنظومة لهذه الحالة والمحور الثالث تصميم منظومة السيطرة لمحرك التيار المستمر ذات الحلقة المغلقة وقياس استجابة الحلقة المغلقة مع استخدام نوعين من المسيطرات الأول المسيطر التقليدي PID والثاني المسيطر الذكي ANN.

وتضمن الفصل الرابع التنفيذ العملي لمنظومة السيطرة بوجود الشبكة العصبية الاصطناعية للتحكم بسرعة المحرك التيار المستمر في الزمن الحقيقي باستخدام الحاسوب الشخصي عن طريق تصميم واجهة للمستخدم باستخدام برنامج MATLAB ومراقبة استجابة النظام بالاستعانة بطاقة اكتساب البيانات (NI PCI-6251). وتضمن الفصل الخامس محورين أساسيين المحور الأول تحقيق كل جزء من أجزاء الشبكة العصبية الاصطناعية باستخدام الدوائر الالكترونية مثل مكبر العمليات وترانزستور FET، وقد تم تمثيل هذه الدوائر التناظرية باستخدام البرنامج (NI Software)، والمحور الثاني تحقيق ANN وتنفيذها على شريحة FPAA.

وتضمن ايضاً تحقيق ANN المتكاملة وتنفيذها لعمل البوابة المنطقية (XOR) على شريحة FPAA باستخدام برنامج 2 Anadigm Designer وذلك من خلال إدخال قيم الأوزان والانحياز لشبكة ( ANN like XOR ) gate) إلى المركبات التناظرية القابلة للبرمجة الموجودة داخل شريحة (AN221E04 FPAA Chip). وأخيراً تضمن الفصل السادس أهم الاستنتاجات التي تُوصل إليها من خلال الدراسة, فضلاً عن عدد من الأعمال المستقبلية المقترحة في هذا المجال.

## الفصل الثاني

### الخلفية النظرية

## Background Theory

### 1.2 المقدمة:

يتضمن هذا الفصل الخلفية النظرية لأساسيات البحث، التي تتضمن شرحاً مفصلاً عن مفهوم مسيطر الشبكات العصبية الاصطناعية (ANN) ومسيطر PID اللذين يستخدمان للسيطرة على سرعة محرك التيار المستمر، وتصنيف مسيطر ANN من حيث عدد الطبقات وأسلوب الربط وخوارزمية تعلم الشبكة، ثم عرض عدد من الأنواع عن الشبكة العصبية وبيان خوارزمية التعلم لكل نوع من هذه الأنواع، وشرح مبسط عن كيفية تحقيق وتطبيق الشبكة العصبية الاصطناعية باستخدام الدوائر الالكترونية. وأخيراً شرح مفصل عن منظومة السيطرة التي تتكون من محرك التيار المستمر، ودائرة المغير الخافض، ودائرة توليد النبضات ومنظومة السيطرة وتوضيح المعادلات جميعها التي نحتاجها في التصميم التي سوف يتم الاعتماد عليها.

### 2.2- الشبكات العصبية الاصطناعية (Artificial Neural Network) (ANN)

#### 1.2.2- مقدمة عن الشبكات العصبية الاصطناعية:

قد كانت الانطلاقة الأولى للشبكات العصبية الاصطناعية في عام (1943) على يد الباحثين (McCulloch and Pitts) اللذين أوجدا أول أنموذج رياضي للخلية العصبية. في عام (1949) وجد العالم (Hebbian) طريقة للتعليم من خلال تغيير أوزان الروابط بين الخلايا، التي أشير لها بقاعدة (Hebbian) للتعليم. وفي عام (1958) اخترع العالم (Rosenblatt) أنموذجاً للخلية العصبية المسماة (Perceptron) التي من خلالها أصبح قادراً على تدريب الماكنة لتصنيف حروفٍ معينة. وفي العام (1960) اخترع العالمان (Widrow and Hoff) قاعدة التعليم بإشراف، التي تعتمد على تصغير مجموع مربع الخطأ في أثناء عملية التدريب التي تتضمن تصنيف النماذج. وفي نهاية الستينيات إلى الثمانينيات من القرن الماضي شهدت الشبكات العصبية الاصطناعية ركوداً بسبب أن نظريات التعليم الموجودة في ذلك الوقت كانت ضعيفة لحل المسائل الأكثر تعقيداً. إن التطور الكبير في الشبكات العصبية الاصطناعية كان بظهور طريقة التعليم بالترتيب الذاتي للخصائص في عام (1982) على يد

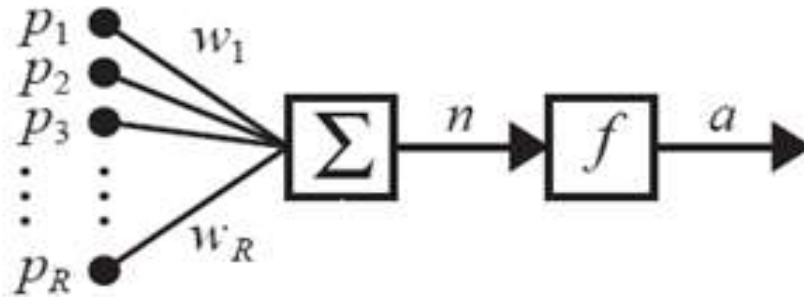
العالم (Kohonen), وطريقة التعليم باستخدام خوارزمية الانتشار ذات الاتجاه العكسي عام (1986) على يد الباحثين (Ronald William and Rnmelhart) [20][21].

مع ازدياد الصعوبات الرياضية وتعقيدها وعدم قدرة الحلول البرمجية التقليدية على استيعابها تعمق الباحثون في فهم آلية التفكير البشري وكيفية معالجته للمعلومات وتخزينها واسترجاعها وكذلك الاعتماد على أسلوب المحاكاة (Simulation) في حل هذه المشكلات, فتم التوصل إلى هيكلية مترابطة لبنية برمجية سميت بالشبكات العصبية الاصطناعية، أثبتت قدرتها على أرض الواقع [22].  
وتعرّف الشبكة العصبية الاصطناعية (ANN) على أنها: نظام حسابي مكوّن من عدد من وحدات المعالجة (Processing Element) المترابطة مع بعضها، تتصف بطبيعتها الديناميكية والمتوازنة في معالجة البيانات الداخلة إليها [21].

## Artificial Neuron

### 2.2.2 - الخلية العصبية الاصطناعية:

صُممت الخلية العصبية الاصطناعية (Artificial neuron) لتحاكي سلوك الخلية العصبية الحية، كما موضح في الشكل ذي الرقم (1-2) إذ نلاحظ مجموعة الإدخالات الداخلة إلى الخلية، ويمثل كل إدخال خلية إخراج خلية أخرى، أو يمثل إحدى معاملات إشارة الإدخال (إذا كانت هذه الخلية إحدى خلايا طبقة الإدخال). وكل إدخال يُضرب بوزن معين يستعمل هذا الوزن لوصف قوة الربط مع الخلية، ثم تجمع الإدخالات الموزونة لتحديد مستوى الفعالية للخلية (Activation level) [22].



الشكل ذو الرقم (1-2) الخلية العصبية الاصطناعية [1]

$$n = \sum_{i=1}^R p_i W_{1,i} = p_1 W_{1,1} + p_2 W_{1,2} + \dots + p_R W_{1,R} \quad \dots \dots \dots (2-1)$$

إذ أن:-

$p_1$ ----- $p_R$  : يمثل متجه متغيرات (إشارات) الإدخال

$W_{1,1}$  ---  $W_{1,R}$  : قيم الأوزان

حيث إن  $W_{1,1}$  يُمثل الوزن الأول لمتغيرات الإدخال، وهكذا بالنسبة لبقية الأوزان. وبعد ذلك تعالج الإشارة  $n$  بواسطة دالة العتبة (Threshold function) ( $f(n)$ ) لحساب الإخراج النهائي للخلية.

$$a = f(n) \quad \dots \dots \dots (2-2)$$

تستعمل دالة العتبة لتحديد إخراج الخلية إذ توجد أربعة أنواع من دوال العتبة ذات الوظائف المختلفة وكل واحدة تصلح لنوع معين من التطبيقات وهي [22]:

1. دالة الملتوية نوع اللوغاريتمي (**log-sigmoid function**): هي الدالة التي من الممكن أن تأخذ معاملات الإدخالات ( $n$ ) أية قيمة بين  $(-\infty)$  و  $(\infty)$ ، ولكن يكون الإخراج بين الصفر والواحد، كما موضح في الشكل ذي الرقم (2-2 أ)

$$a = f(n) = \frac{1}{1 - e^{-\beta n}} \quad \beta > 0 \quad \dots \dots \dots (2-3)$$

2. دالة الملتوية نوع ظل الزاوية (**tanh – sigmoid function**): وهي مشابهة للدالة اللوغاريتمية لكن إخراجها يتغير بين  $(-1)$  و  $(+1)$ ، كما موضح في الشكل ذي الرقم (2-2 ب).

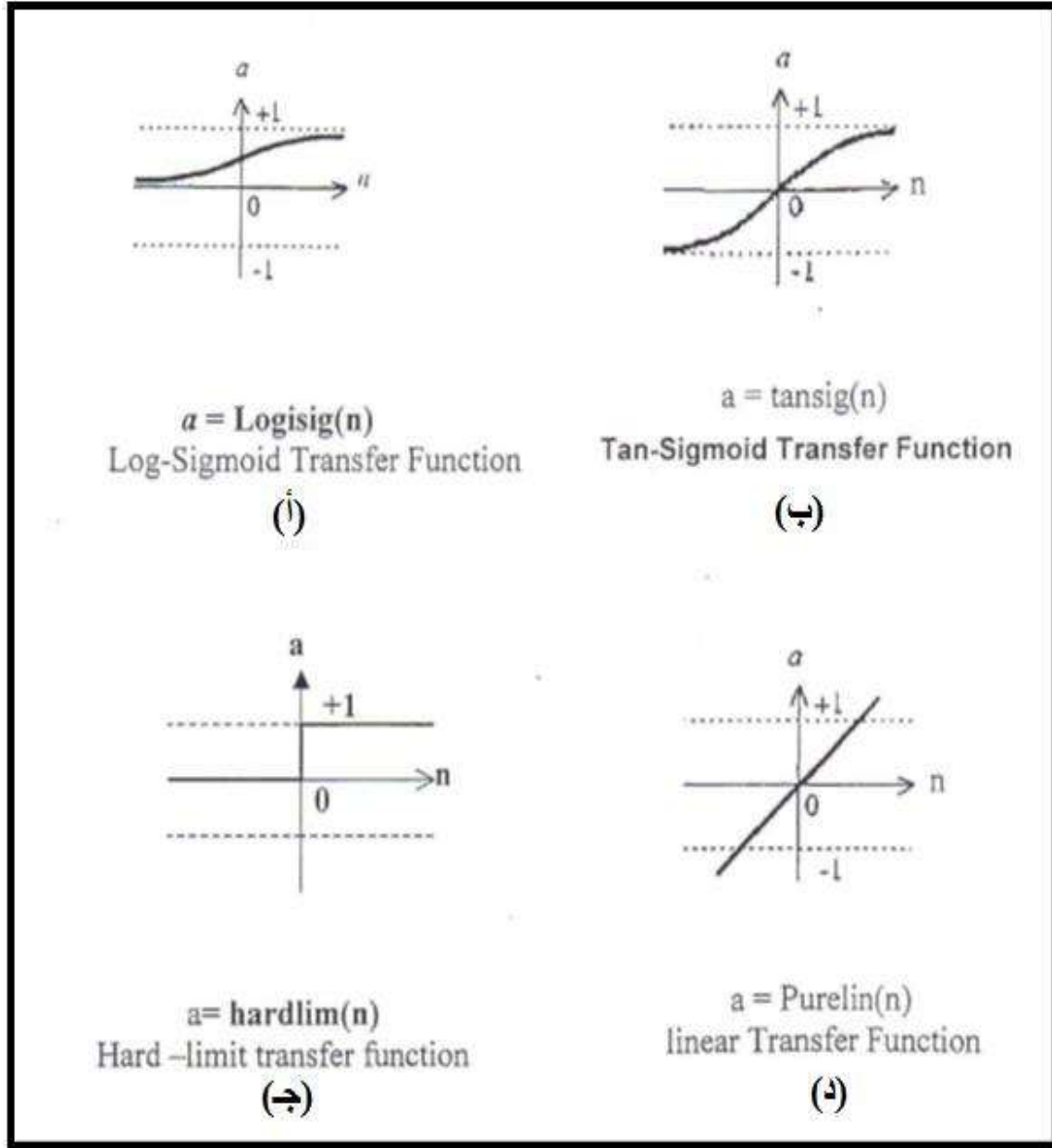
$$a = f(n) = \tanh(\beta n) \quad \beta > 0 \quad \dots \dots \dots (2-4)$$

3. حدية الغاية (**hard – limit function**): تقوم هذه الدالة بتحديد إخراج الخلية بـ (صفر) حينما تكون معاملات الإدخال ( $n$ ) أقل من الصفر، أو واحد حينما تكون معاملات الإدخال ( $n$ ) أكبر، أو تساوي صفراً، كما موضح في الشكل ذي الرقم (2-2 ج).

$$a = f(n) = \begin{cases} 1 & n \geq 0 \\ 0 & n < 0 \end{cases} \quad \dots \dots \dots (2-5)$$

4. الدالة الخطية (**linear function**): وهي دالة تستخدم في الشبكات الوحيدة الطبقة وتستخدم لتحويل إدخال الشبكة إلى شكل مناسب لإشارة الإخراج إذ إن قيمة الإخراج تعتمد على قيمة الميل لهذه الدالة، كما موضح في الشكل ذي الرقم (2-2 د).

$$a = f(n) = n \quad -\infty \leq n \leq +\infty \quad \dots \dots \dots (2-6)$$

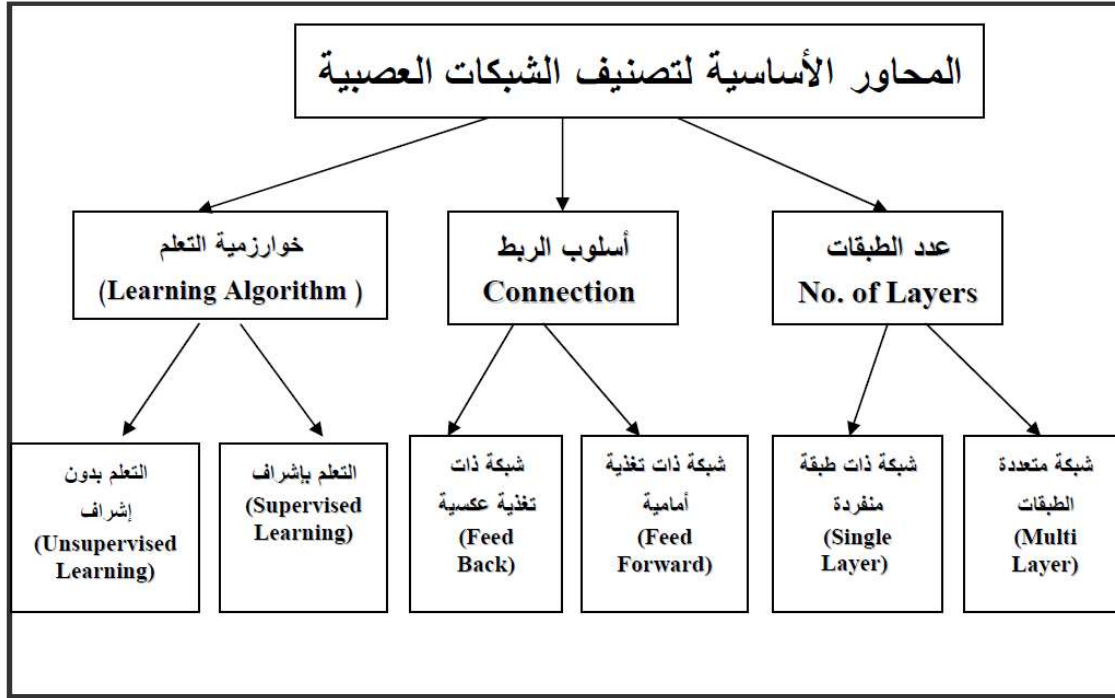


الشكل ذو الرقم (2-2) أنواع الدوال التفعيل للشبكات العصبية الاصطناعية [22]

في هذا البحث تم استخدام الدالة الملتوية نوع ظل الزاوية (tan-sigmoid) في إدخال الشبكة العصبية واستخدام الدالة الخطية (purelin) في إخراج الشبكة العصبية الاصطناعية.

### 3.2.2- تصنيف الشبكات العصبية الاصطناعية:

تعد الخلية العصبية الاصطناعية وحدة أساسية في الشبكات العصبية، وان كل خلية ترتبط مع عدد من الخلايا في الشبكة طبقا لنوع الشبكة، وأسلوب الربط الشبكة وخصائصها ووظائفها. والمحاور الأساسية لتصنيف الشبكات العصبية موضحة في الشكل ذي الرقم (2-3) [23].



الشكل ذو الرقم (2-3) تصنيف الشبكات العصبية الاصطناعية

### 1.3.2.2 - الشبكات من حيث الطبقات

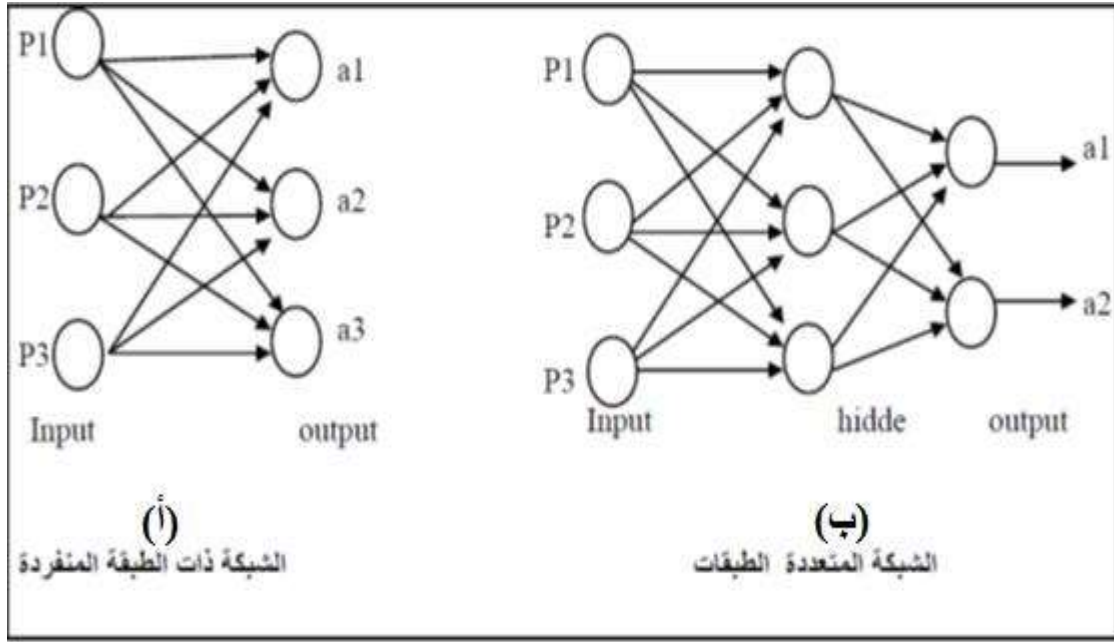
تصنف الشبكات العصبية من حيث عدد طبقاتها إلى صنفين:

#### 1. الشبكات العصبية ذات الطبقة المنفردة (Single layer networks)

تتكون الشبكة من طبقتين فقط، هما طبقة الإدخال وطبقة الإخراج، وتكون انسيابية الإشارات الداخلة من طبقة الإدخال إلى طبقة الإخراج باتجاه أمامي. ويعد هذا النوع أبسط أنواع الشبكات. وتسمى بطبقة واحدة، لأن الإدخال يقوم باستلام الإدخالات من العالم الخارجي ونشرها باتجاه عناصر المعالجة لطبقة الإخراج، ولا يقوم بحساب أو تنفيذ أية عملية والشكل ذو الرقم (2-4 أ). يوضح ذلك [23].

## 2. الشبكة العصبية متعددة الطبقات (Multi-Layer Network)

تتكون هذه الشبكة من طبقة واحدة على الأقل من الطبقات الوسيطة (Hidden-layer), فضلاً عن طبقتي الإدخال والإخراج. وهذا النوع من الشبكات يكون أكثر استخداماً في البحوث, لأنه يعطي مرونة في بناء الدوال الناقلة بين الإدخال والإخراج, ولكن تدريب هذه الشبكات يحتاج إلى وقت أكثر ويوضح الشكل ذي الرقم (2-4 ب) هذا النوع [23].



الشكل ذو الرقم (2-4) الشبكات العصبية من حيث الطبقات

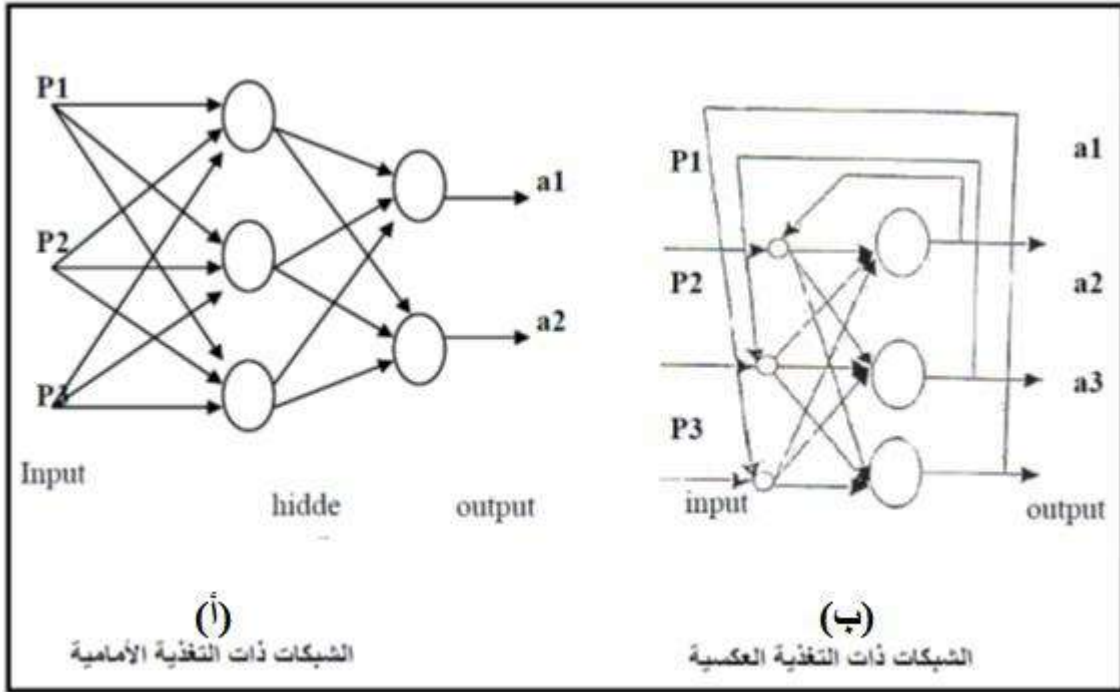
### 2.3.2.2- الشبكات من حيث أسلوب الربط

#### 1- الشبكات ذات التغذية الأمامية (Feed Forward Networks)

التغذية الأمامية تشير إلى اتجاه انتشار البيانات الداخلة إلى الشبكة إلى الأمام دائماً من طبقة الإدخال باتجاه طبقة الإخراج, ولهذا فإن الإشارة الخارجة من أية خلية تعتمد على الإشارات الداخلة فقط, الشكل (2-5 أ) يوضح ذلك, ومثال ذلك شبكة الانتشار العكسي (Back Propagation Networks) وقد تمّ استخدام هذا النوع من الشبكات في هذه الرسالة [23].

## 2- الشبكات ذات التغذية الخلفية (Feed Back Networks)

في هذه الشبكات تعاد تغذية البيانات الخارجة من الشبكة، وتحويل اتجاهها لتصبح إشارة داخلة، ولهذا فإن الإشارة الخارجة تعتمد على الإشارة الداخلة مع الإشارة الخارجة منها وتسمى هذه الشبكات (Recurrent network) كما هو موضح في الشكل ذي الرقم (2-5 ب) [23]. ومثال ذلك شبكة (Hopfield Neural Networks).



الشكل ذو الرقم (2-5) الشبكات العصبية من حيث أسلوب الربط

### 3.3.2.2- الشبكات من حيث خوارزمية التعلم

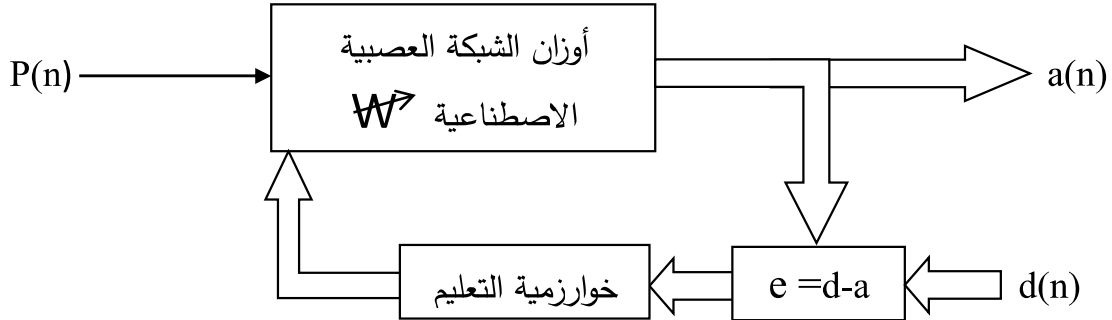
يجري تعليم الشبكات العصبية بواسطة خوارزميات متخصصة تسمى خوارزميات التعلم (Learning rate). تتولى تعديل أوزان الشبكة لتحسين أدائها، وتقليل إشارة الخطأ فيها (Error signal) استناداً إلى مقياس معلوم للوصول إلى النتيجة المثلى لهذه الأوزان التي تُمكن الشبكة من تحقيق أفضل نتيجة مطابقة أو قريبة من النتيجة المطلوبة، والإطار العام لخوارزميات التعلم هو تكييف (Adaptation) أوزان الشبكة (Weights) وتعديلها للوصول إلى القيمة المثلى لها، ويجري تعديل هذه الأوزان جزئياً في كل دورة، وتتخذ إشارة الخطأ بوصفها دليلاً أو مؤشراً على مدى القرب أو البعد عن القيم الصحيحة [21][24].

هناك نوعان من أنواع خوارزميات التعليم:

### 1- التعليم بإشراف (Supervised learning algorithm):

تقوم هذه الخوارزمية بتعديل أوزان الشبكة اعتماداً على الفرق بين قيمة البيانات الخارجة والبيانات الخارجة المطلوبة (Target) المقابلة للبيانات الداخلة أي في هذه الحالة الهدف (Target) يكون بمثابة المعلم. لذلك يتطلب التعليم بإشراف زوج من المتجهات، متجه الإدخال مع متجه الهدف الذي يمثل الإخراج المطلوب والمتجهان معا يسميان زوجاً للتدريب (training pair). يوضح الشكل ذو الرقم (6-2) المخطط الكتلي للتعليم بإشراف. إن الفرق بين الإخراج الفعلي (a) والإخراج المطلوب (d) يمثل إشارة الخطأ ( $e = d - a$ ) التي يعاد تغذيتها من خلال الشبكة، لتغيير أوزان الشبكة وفق خوارزمية التعليم المحددة من المدرب لتقليل نسبة الخطأ بين الإخراج الفعلي، والإخراج المطلوب، إذ إن إشارة الخطأ المستخدمة لتغيير الأوزان تقل بعد كل مرحلة تدريب (Epochs) إلى أن تصل قيمة إشارة الخطأ أو عدد محاولات التدريب إلى القيمة المحددة من المدرب وعندها يتوقف التدريب.

تعد هذه الطريقة من أكثر الطرائق شيوعاً واستخداماً في تدريب الشبكات العصبية الاصطناعية، ومن الأمثلة على هذا النوع من الخوارزميات أو التدريب للشبكة [21]:

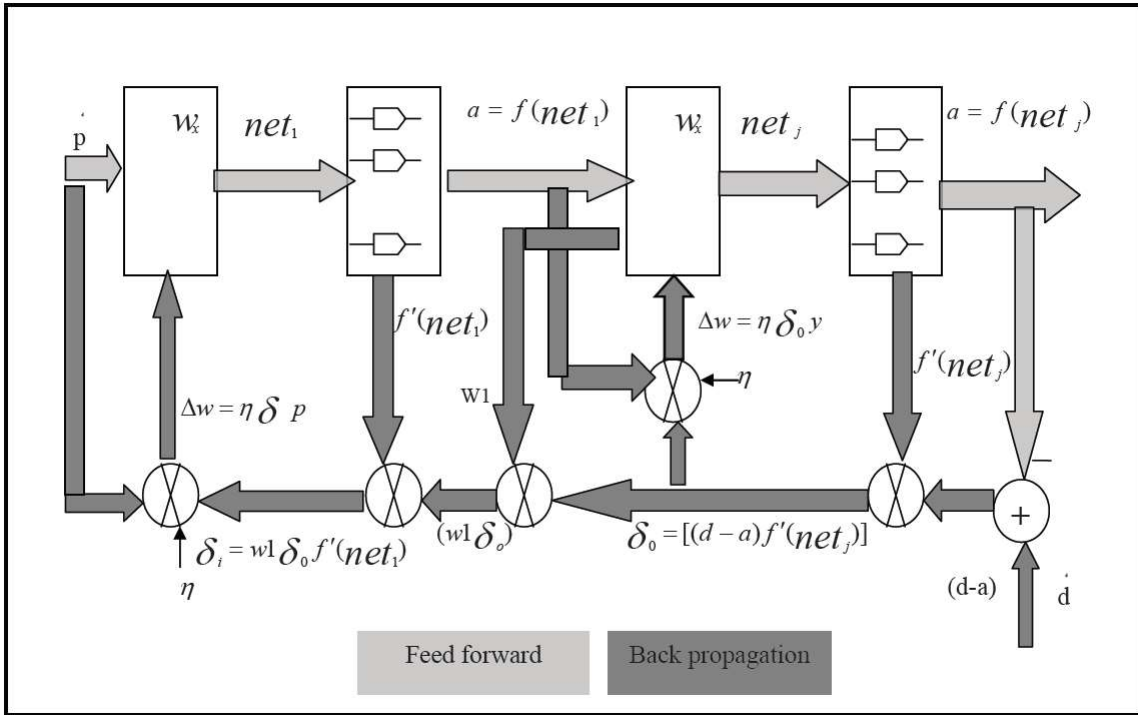


الشكل ذو الرقم (6-2) المخطط الكتلي للتعليم بإشراف

### • شبكة الانتشار العكسي:

تعد شبكة الانتشار العكسي من الشبكات الشائعة الاستعمال، إذ تمتاز بقابليتها على تخزين المحتوى المعلوماتي بصورة ضمنية في الارتباطات التي تمثل الأوزان التي تربط خلية بأخرى. وهي تستخدم في مجالات تطبيقية واسعة، وذلك لأنها تملك عمومية في التعامل مع أنواع المسائل كافة بأسلوب واضح منها استخدامها في تمييز الأنماط (Pattern recognitions)، وفي معالجة الإشارة (Signal processing) ونظم الروبوت (Robot system).

تعد شبكة الانتشار العكسي من الشبكات متعددة الطبقات ذات التغذية الأمامية، وهي تضم طبقة الإدخال (input layer) وعدد من الطبقات المخفية (hidden layer) وطبقة الإخراج (output layer)، وأن كل خلية في طبقة الإدخال ترسل إخراجها إلى كل الخلايا في الطبقة المخفية، وخلايا الطبقة المخفية ترسل إخراجها إلى كل خلية في طبقة الإخراج. ويتم اختيار عدد الطبقات المخفية وعدد الخلايا العصبية في الطبقة المخفية طبقاً لدرجة تعقيد المسألة وحجم المعلومات الإدخال. وتضم شبكة الانتشار العكسي مجموعة التدريب (training set) التي تضم الإدخال (input) المطبق على الشبكة، والهدف أو الإخراج المطلوب إيجاده من الشبكة (target) في كل عملية التكرار. وهي تضم مرحلتين مرحلة الانتشار الأمامي (Forward propagation)، إذ بتطبيق الإدخال على الطبقة الأولى فإنه ينتشر أمامياً عبر الشبكة متعددة الطبقات وصولاً إلى طبقة الإخراج، إذ يتم عند ذلك موازنة الإخراج الفعلي (Actual output) والإخراج المطلوب إيجاده من الشبكة لحساب الخطأ، الذي ينتشر بدوره عكسياً ابتداءً من الطبقة الإخراج وصولاً إلى طبقة الإدخال لتتم عملية تعديل الأوزان كل طبقة في اثناء مرحلة الانتشار العكسي. والشكل ذو الرقم (7-2) يوضح مرحلتي الانتشار الأمامي والعكسي [21].



الشكل ذو الرقم (7-2) مرحلتي الانتشار الأمامي والعكسي لشبكة الانتشار العكسي

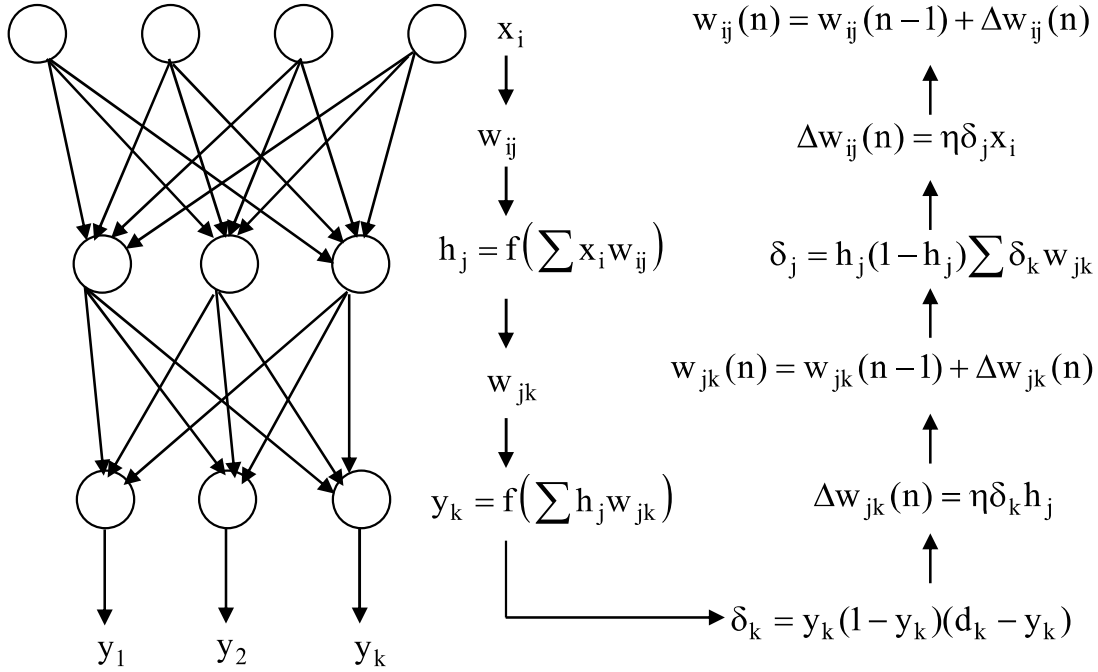
## خوارزمية التعليم ذات الانتشار العكسي:

تعد خوارزمية التعليم ذات الانتشار العكسي (Back Propagation training algorithm) للخطأ من أكثر أنواع الخوارزميات استعمالاً في تدريب الشبكات العصبية الاصطناعية، إذ استعملت بنجاح وكفاءة عاليتين في العلوم التطبيقية وبمجالات واسعة في الفحوصات الطبية، والاستخدامات العسكرية، وتمييز الكلام وفحص المكائن، والسيطرة عليها، وتمييز الصور وغيرها من الاستخدامات. والشبكة العصبية ذات الانتشار العكسي هي شبكة متعددة الطبقات ذات تغذية أمامية مع استخدام خوارزمية الانتشار العكسي للخطأ. هيكلية الشبكة العصبية ذات الانتشار العكسي هي الشبكة نفسها الموضحة في الشكل ذي الرقم (4-2b) إذ نلاحظ أن كل خلية في طبقة الإدخال ترتبط من خلال وزن معين مع كل الخلايا في الطبقة المخفية، وكل خلية في الطبقة المخفية ترتبط من خلال وزن معين مع كل وحدات الإخراج في طبقة الإخراج [21].

يتم تدريب الشبكة العصبية ذات الانتشار العكسي بإشراف من خلال أزواج متجهات الإدخال، ومتجهات الهدف. وبعد كل مرحلة تثبت الأوزان لتقليل الفرق بين الإخراج الحقيقي والهدف [21]. تحتاج خوارزمية الانتشار العكسي إلى مرحلتين:

- 1- مرحلة الانتشار الأمامي لعينات التدريب التي يتم من خلالها حساب الإخراج لإدخال معين.
  - 2- مرحلة الانتشار الخلفي للخطأ التي يتم فيها تغيير الأوزان من خلال إشارة الخطأ التي تمثل الفرق بين الإخراج الحقيقي، والإخراج المطلوب الذي ينتشر من طبقة الإخراج باتجاه طبقة الإدخال.
- تستخدم الشبكة العصبية ذات الانتشار العكسي الانحدار التدريجي للخطأ (gradient descent) لتقليل الخطأ بين الإخراج الفعلي، والإخراج المطلوب بين كل محاولة تدريب، ومحاولة التدريب التي تليها إلى أن يصل الخطأ إلى القيمة المحددة من مدرب الشبكة في أثناء ذلك يتوقف التدريب، وتبدأ مرحلة الاختبار التي تتضمن مرحلة واحدة هي مرحلة الانتشار الأمامي للمعلومات لفحص مدى كفاءة الشبكة في الإنجاز [22][21].

توضح الخطوات الآتية المعادلات الخاصة باشتقاق خوارزمية الانتشار العكسي، وكيفية تغيير الأوزان لكل طبقة، إذ تم استخدام شبكة عصبية مكونة من ثلاث طبقات (طبقة إدخال  $(X_i)$ ، وطبقة خفية  $(h_j)$ ، وطبقة إخراج  $(y_k)$ ) كما موضح في الشكل ذي الرقم (8-2) [21].



الشكل ذو الرقم (8-2) مخطط اشتقاق خوارزمية الانتشار العكسي

يمكن التعرف على الخطأ في الإخراج الخلية (k) بالمعادلة الآتية [21]:

$$e_k = d_k - y_k \quad \dots \dots \dots (2-7)$$

ومجموع مربع الخطأ لجميع الإخراجات k، ولمتجه إدخال معين يُعرف بالمعادلة الآتية:

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K (d_k - y_k)^2 \quad \dots \dots \dots (2-8)$$

إذ إن: k: رقم عقدة (node), k = 1, 2, -----, K

وإذ إن d\_k: تمثل الإخراج المطلوب للشبكة, y\_k: الإخراج الحقيقي للشبكة.

وإخراج الخلية هو:

$$y_k = f(\text{net}_k) \quad \dots \dots \dots (2-11)$$

نظراً لكون تصغير الخطأ يتطلب تغيير الوزن باتجاه الانحدار التدريجي لمنحني الخطأ، لذلك يصبح تغيير الوزن يُعرف بالمعادلة الآتية:

$$\Delta w_{jk} = \eta \delta_k h_j \quad \dots \dots \dots (2-9)$$

$$\delta_k = (d_k - y_k) y_k (1 - y_k) \quad \dots \dots \dots (2-10)$$

$$\Delta w_{ij} = \eta \delta_j x_i \quad \dots\dots\dots (2-11)$$

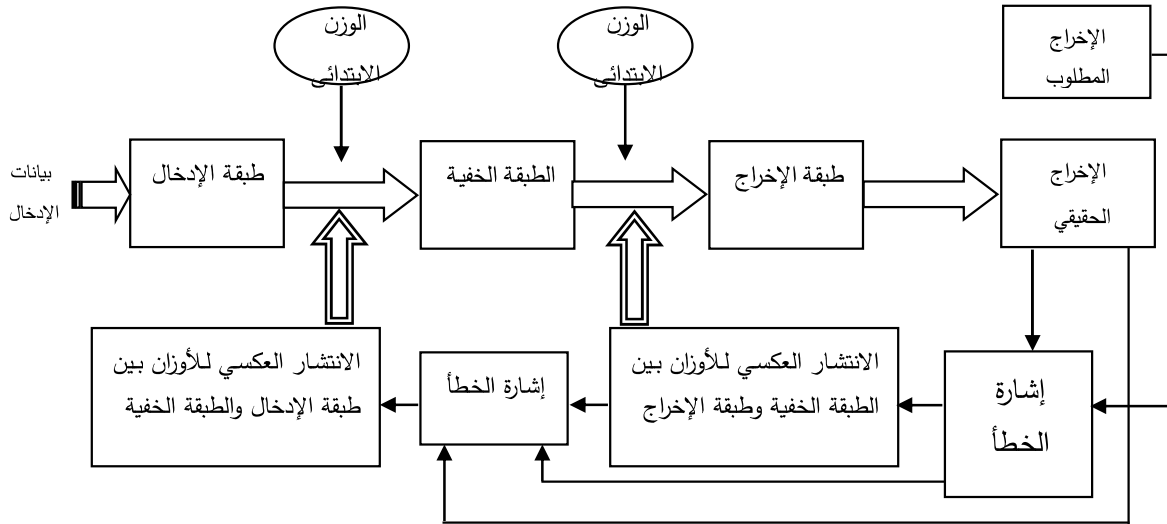
$$\delta_j = -\frac{\partial E}{\partial net_j} = h_j(1-h_j) \sum_{k=1}^K \delta_k w_{jk} \quad \dots\dots\dots (2-12)$$

لذلك تصبح الأوزان بعد دورة تدريب واحدة

$$w_{jk}(n) = w_{jk}(n-1) + \Delta w_{jk}(n) \quad \dots\dots\dots (2-13)$$

$$w_{ij}(n) = w_{ij}(n-1) + \Delta w_{ij}(n) \quad \dots\dots\dots (2-14)$$

إذ إن n و n-1 تستخدم للإشارة إلى الوزن الحالي والسابق ويوضح الشكل ذو الرقم (9-2) المخطط الكتلي لتحديث الأوزان باستخدام خوارزمية الانتشار العكسي.



الشكل ذو الرقم (9-2) المخطط الكتلي لتحديث الأوزان باستخدام خوارزمية الانتشار العكسي

• خوارزمية التعلم نوع بيرسيبترون (Perceptron Learning Rule)

نوع من أنواع قواعد التعلم الشبكة العصبية الاصطناعية التي اكتشفها العالم (Rosenblatt 1958) وان إشارة التعلم لهذا النوع هي الفرق بين قيمة الإخراج الفعلي للشبكة (Actual neuron response) وبين قيمة الإخراج المطلوب للشبكة (Desired neuron response) وعلى ضوء ذلك نقول إن هذا النوع من الخوارزمية التعلم هي خوارزمية التعلم بإشراف (Supervised learning)، والإشارة التعلم لهذا النوع من الخوارزمية يمكن التعبير عنها بالمعادلة الآتية [21].

$$r \triangleq d_i - o_i \quad \dots\dots\dots (2 - 15)$$

$$o_i = \text{sgn}(\text{net}) \quad \dots\dots\dots (2 - 16)$$

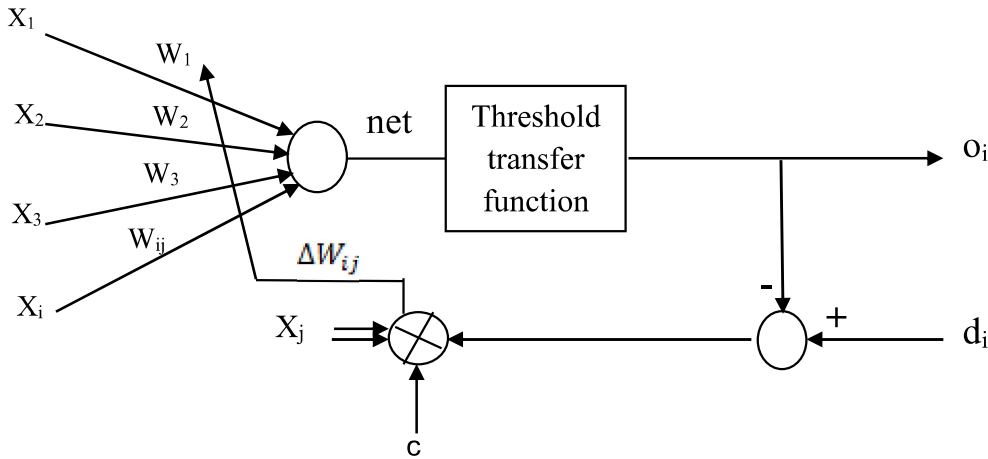
إذ إن  $o_i$ : تمثل إخراج الخلية العصبية,  $d_i$ : تمثل الهدف (Target) أو الإخراج المطلوب.  
 $net$ : تمثل مجموع متجه متغيرات الإدخال ( $X_i$ ) مضروبة بمتجه متغيرات الأوزان ( $W_{ij}$ ) والتي تحسب وفق المعادلة الآتية:

$$\text{net} = \sum_{i=1}^n W_{ij} * X_i \quad \dots\dots\dots (2 - 17)$$

في هذا النوع من خوارزمية التعلم الشبكة يمكن معايرة قيم الأوزان لشبكة العصبية (Perceptron neural network) كما موضح بالشكل ذي الرقم (10-2), إذ إن  $\Delta W_{ij}$  يمكن الحصول عليه بالمعادلات الآتية.

$$\Delta W_{ij} = c [d_i - \text{sgn}(W'_{ij} * X_i)] X_j \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots (2 - 18)$$

$$W_{ij}(\text{new}) = W_{ij}(\text{old}) + \Delta W_{ij} \quad \dots\dots\dots (2 - 19)$$



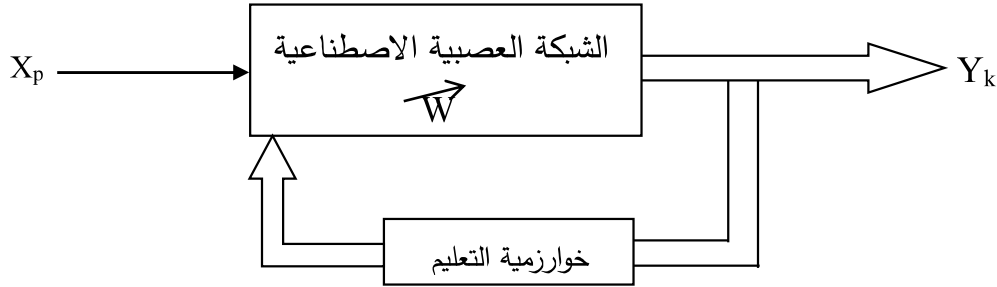
الشكل ذو الرقم (10-2) قاعدة تعلم بيرسيبتون (Perceptron learning rule) [21]

## 2- التعليم بدون إشراف (Unsupervised Learning Algorithm):

لا يحتاج هذا النوع إلى البيانات المطلوبة (Target) بل يتم تغذية الشبكة بالبيانات الداخلة فقط، أي أنها تمتلك الإدخالات والأوزان فقط، وليس لها معرفة عما سوف يكون الجواب الصحيح. يعتمد توقف الوزن على التغير في الأوزان أي  $\Delta w$  أو  $\Delta w / \Delta t$ ، تُختبر الأوزان حتى تكون النتيجة صفراً بين التكرار (Iteration) السابق والتكرار الحالي هذا يعني قد توصل إلى متجه الأوزان المناسب، ومثال ذلك شبكة

كوهين (Kohonen Network) [21]. يوضح الشكل ذو الرقم (2-11) المخطط الكتلي للتعليم بدون إشراف إذ نلاحظ من الشكل أن في هذا النوع من التدريب لا يستعمل متجه الهدف، ويتم التدريب بهذه الشبكة من خلال ملاحظة استجابة الخلية للإدخال، فالخلية التي يكون متجه الوزن لها مقارباً لمتجه الإدخال، الذي يحقق أقل مسافة سالبة بين قيمة الإدخال، وقيمة الوزن  $|X_p - W|$  حينها تريح المنافسة ويكون إخراجها "1". لذلك عند تسليط مجموعة من الإدخالات، بصورة عشوائية تقوم الشبكة بفرز هذه الإدخالات، وتصنيفها إلى مجاميع (clusters). بهذا النوع من التدريب تكتشف الشبكة بنفسها جميع النماذج الموجودة، وتصنفها وتصل بينها وفق خصائص كل مجموعة، وللقيام بذلك تقوم الشبكة بتغيير أوزانها، لذلك تسمى هذه الشبكات بالشبكات ذات التنظيم الذاتي (self-organization).

تستخدم تقنية التعليم بدون إشراف في الغالب لإنجاز مجاميع (clustering) إذ يمثل كل إدخال مجموعة من الخلايا على الشبكة [21]. وبعد إتمام تدريب الشبكة على الإدخالات كافة والحصول على الأصناف المطلوبة التي تمثل مجموعة الإدخالات يتم تطبيق إدخال ما إلى الشبكة، وملاحظة المجموعة التي ينتمي إليها. ومن الشبكات العصبية التي تستعمل هذا النوع من التدريب الشبكة العصبية ذات الترتيب الذاتي للخصائص (self-organization feature map).



الشكل ذو الرقم (2-11) المخطط الكتلي للتعليم بدون إشراف

وهذا النوع من طرائق التعلم للشبكة العصبية الاصطناعية الذي اكتشفه العالم (Hebb 1949) تكون فيه إشارة التعلم مساوية لإشارة إخراج الخلية العصبية (Neuron output) ويسمى هذا النوع من التعلم بالتعلم غير الإشرافي بسبب عدم وجود إشارة الهدف للشبكة (Desired output signal) والمعادلات الآتية تمثل خوارزمية هيبين (Hebbian learning) التي تعد من نوع التعلم غير الإشرافي [21].

$$r \triangleq f(\text{net}) \quad \dots \dots \dots (2 - 20)$$

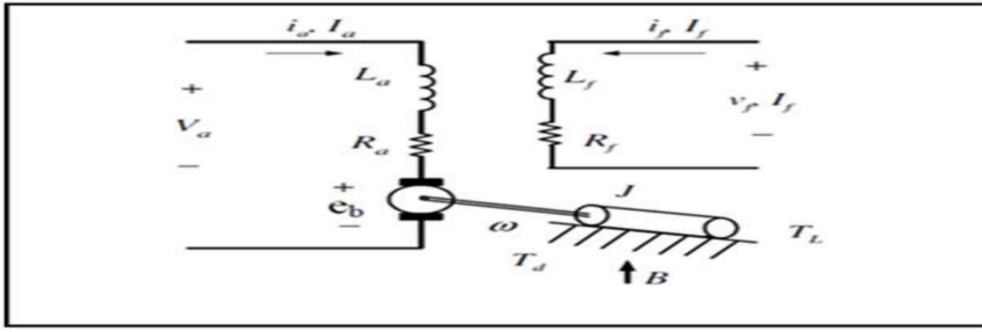
$$\text{net} = \sum_{i=0}^n W'_{ij} * X_i \quad \dots \dots \dots (2 - 21)$$

$$\Delta W_{ij} = c * \text{sgn}(W'_i * X_i) * X_j \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, n \quad \dots \dots \dots (2 - 22)$$

$$W_{ij}(\text{new}) = W_{ij}(\text{old}) + \Delta W_{ij} \quad \dots \dots \dots (2 - 23)$$

**3.2 منظومة السيطرة:** تتكون منظومة السيطرة التي تم اختيارها في هذا البحث من جزأين رئيسيين وهما محرك التيار المستمر منفصل الإثارة، ومغير التيار الخافض (Buck Converter).

**1.3.2 محرك التيار المستمر:** في هذا البحث تم اختيار محرك التيار المستمر من المختبر، الذي تم قياس ثوابته الكهربائية والميكانيكية عن طريق عدة فحوصات مختبرية وحسابات، كما مبين في الملحق (A)، إذ إن الشكل ذا الرقم (2-12) يبين الدائرة الكهربائية المكافئة لكل من المنتج والمجال للمحرك.



الشكل ذو الرقم (2-12) الدائرة الكهربائية المكافئة لمحرك التيار المستمر عند ربط الحمل

يمكن كتابة المعادلات الرياضية التي تصف خصائص المحرك من الشكل ذي الرقم (2-12) [2]:

دائرة المجال مع أخذ تأثير الحالة العابرة (معادلة الفولتية):

$$V_f(t) = R_f i_f(t) + L_f \frac{di_f(t)}{dt} \quad \dots \dots \dots (2 - 24)$$

دائرة المنتج مع أخذ تأثير الحالة العابرة (معادلة الفولتية):

$$V_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e_b \quad \dots \dots \dots (2 - 25)$$

$$e_b = K_E \omega_r \quad \dots \dots \dots (2 - 26)$$

وبتعويض القوة الدافعة الكهربائية العكسية ( $e_b$ ) في المعادلة (2-25) ينتج:

$$V_a(t) = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + K_E \omega_r \quad \dots \dots \dots (2 - 27)$$

$$T_e(t) = J \frac{d\omega_r}{dt} + B \omega_r + T_L \quad \dots \dots \dots (2 - 28)$$

### 2.3.2 مغيرات التيار المستمر ((dc-dc Converters (Choppers)))

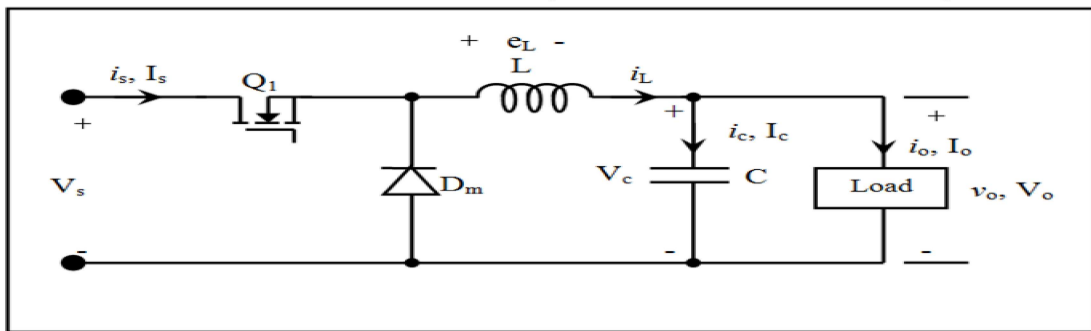
تستخدم مغيرات التيار المستمر لتحويل الفولتية من ثابت القيمة الى متغير القيمة. وتستخدم هذه المغيرات بشكل واسع في منظمات القدرة المفتاحية المجهزة, وكذلك في مسوقات محركات التيار المستمر, أهم الأنواع الرئيسية للمغيرات: المغير الخافض والمغير الرافع والمغير الخافض الرافع والمغير (CuK) [3]. وفي هذا البحث تم استخدام المغير الخافض.

### مغير التيار المستمر الخافض (Buck):

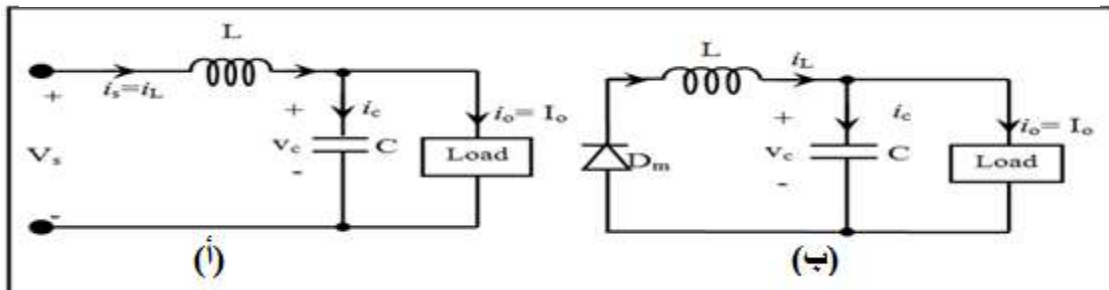
هذا النوع من المغيرات التيار المستمر يعمل على خفض فولتية الإخراج, ويتطلب مفتاح ساكن واحد مع مرشح قدرة في الإخراج, ومن ميزاته البساطة وقلة الكلفة واستجابة ديناميكية سريعة وكفاءة طاقة عالية ومرونة السيطرة والتحكم القليل في تيار الإخراج والقدرة على السيطرة عند السرعة القليلة. الأسلوب الأمثل للسيطرة على فولتية الإخراج في هذه المغيرات هو غلق مفتاح IGBT وفتح بتردد معين وذات قيمة ثابتة, إذ يتم ضبط مدة التوصيل للسيطرة على متوسط فولتية الإخراج وتسمى هذه الطريقة السيطرة على تضمين عرض النبضة (PWM) [3]. الشكل (2-13) يوضح مكونات دائرة المغير الخافض وعملها تكون بحالتين:

الحالة الأولى: عندما يكون المفتاح موصلاً (ON state), يكون الثنائي في هذه الحالة دائرة مفتوحة (Dm is OFF) وفولتية الثنائي هي نفسها فولتية المصدر, ويمر تيار الملف من خلال المفتاح. لذا تكون الفولتية عبر الملف هي الفرق بين فولتية الإدخال والإخراج ( $V_s - V_o$ ) موجبة إذ تتسبب بزيادة خطية لتيار الملف ( $i_L$ ) وهذه الحالة موضح في الشكل ذي الرقم (2-14 أ).

الحالة الثانية: عندما يكون المفتاح غير موصلاً (OFF state), في هذه الحالة يكون الثنائي موصلاً (Dm is ON) وفولتية الثنائي تساوي صفراً, وعلى فرض أن الثنائي (Dm) مثالي, والطاقة المخزونة في الملف تسبب هبوط التيار ( $i_L$ ) من خلال الملف, المتسعة, الحمل والثنائي (Dm) ويهبط التيار إلى أن يتم توصيل المفتاح مرة أخرى في الدورة الجديدة كما هو موضح في الشكل ذي الرقم (2-14 ب) [3] [25].



الشكل ذو الرقم (2-13) الهيئة العامة لدائرة المغير الخافض



الشكل ذو الرقم (2-14) الدائرة المكافئة لصيغ العمل, (أ) الحالة الأولى حالة توصيل المفتاح

متوسط فولتية الإخراج للمغير, إذ هي نسبة التوصيل (duty ratio)  $0 \leq K \leq 1$ .

$$V_o = KV_s \quad \dots \dots \dots (2-29)$$

ومتوسط تيار الإدخال هو:

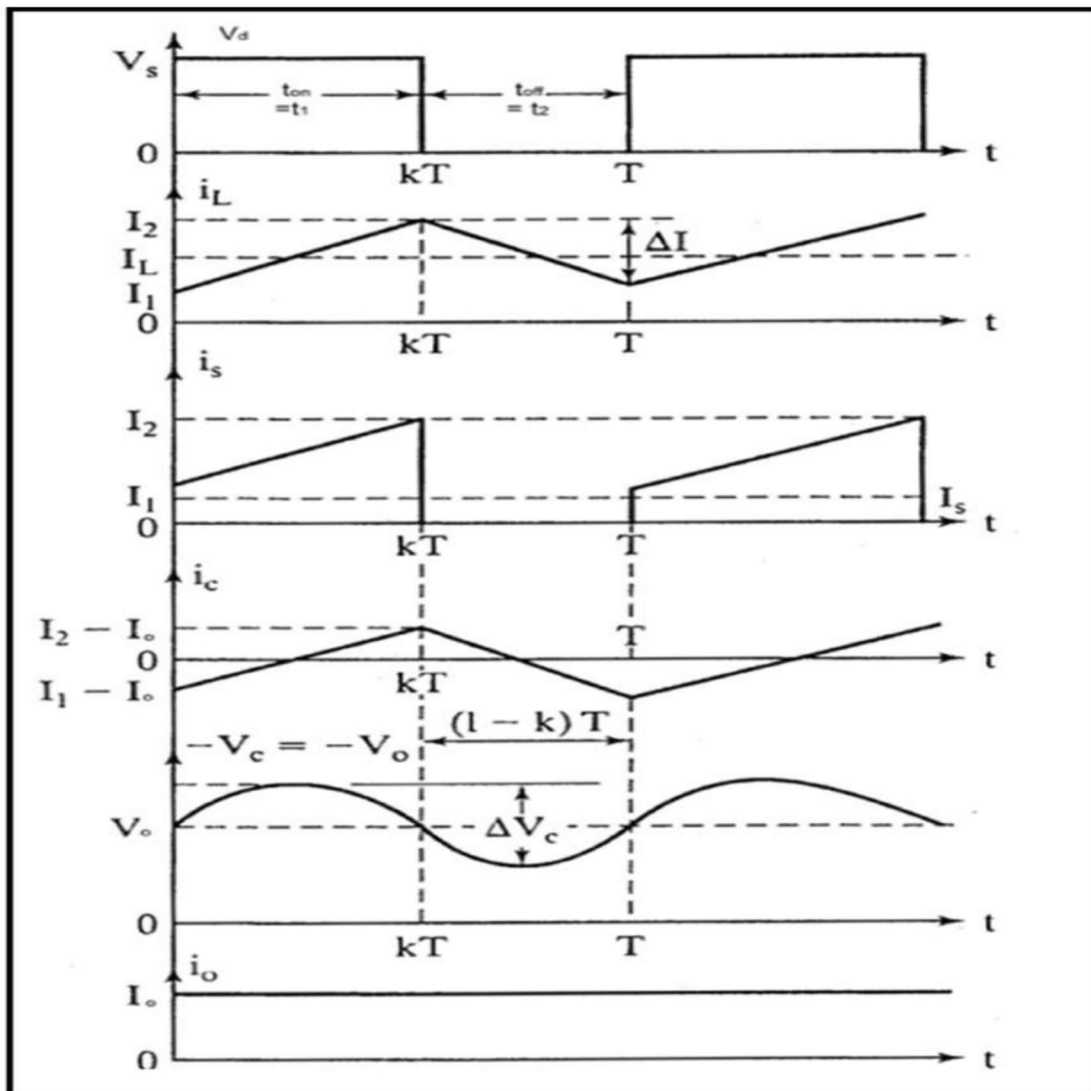
$$I_s = KI_o \quad \dots \dots \dots (2-30)$$

تموج تيار الملف هو  $\Delta I_L$ :

$$\Delta I_L = \frac{V_o(V_s - V_o)}{fLV_s} \quad \dots \dots \dots (2-31)$$

تموج فولتية المتسعة  $\Delta V_c$  هو:

$$\Delta V_c = \frac{V_o(V_s - V_o)}{8LCf^2V_s} \quad \dots \dots \dots (2-32)$$



الشكل ذو الرقم (2-15) موجات الفولتيات والتيارات لعناصر دائرة المغير الخافض [25]

**3.3.2 دائرة توليد النبضات:** لقدح الترانزستور ذي البوابة المعزولة (IGBT) المستخدمة في دائرة المغير الخافض تم توليد اشارة PWM بمقارنة الموجة المثلثية مع مقدار ثابت (dc level) الذي قيمته (2.5) والذي يكافئ نسبة مدة توصيل 50% وعلى هذا الأساس يمكن حساب نسبة مدة التوصيل وفق المعادلة [2]:

$$d = T_{on} / (T_{on} + T_{off}) \quad \dots \dots \dots (2-33)$$

حيث أن، d: هي نسبة مدة التوصيل،  $T_{on}$ : هي المدة التي يكون فيها الترانزستور في حالة (on)،  $T_{off}$ : هي المدة التي يكون فيها الترانزستور في حالة (off).

### 4.3.2 نظام السيطرة للتحكم على سرعة المحرك التيار المستمر

يعد نظام السيطرة للمحرك ترابطاً بينياً للمكونات التي يتكون منها النظام الذي يجهز استجابة المرغوبة أو المطلوبة لمنظومة السيطرة [26].

#### 1.4.3.2 دالة التحويل لمحرك التيار المستمر Transfer Function

باستخدام تحويل لابلاس واستناداً إلى المعادلات (2-42) و (2-43) المذكورة أعلاه في المقطع (1.3.2) يمكننا حساب معادلة دالة التحويل لمحرك التيار المستمر بدلالة (S-domain) [26].

$$s(Js + b)w(s) = K_E I(s) \quad \dots \dots \dots (2 - 34)$$

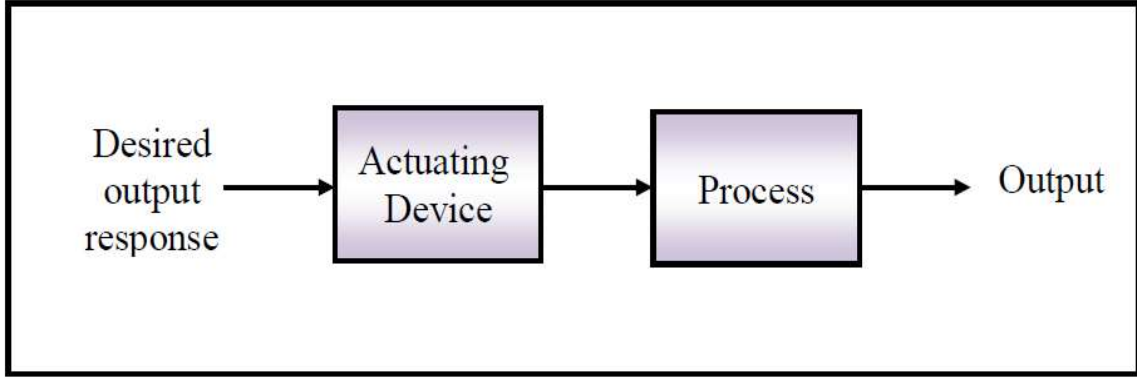
$$(Ls + R)I(s) = V - K_E s w(s) \quad \dots \dots \dots (2 - 35)$$

وبالتالي نحصل على دالة التحويل للمحرك التيار المستمر الموضحة في المعادلة أدناه التي تمثل نسبة بين السرعة الدورانية للمحرك والفولتية الإدخال على فرض أن  $I(s)$  مهمله [26].

$$\frac{w(s)}{V(s)} = \frac{K_E}{(Js+b)(Ls+R)+K_E^2} \quad \dots \dots \dots (2 - 36)$$

### 2.4.3.2 منظومة السيطرة ذات الحلقة المفتوحة والحلقة المغلقة

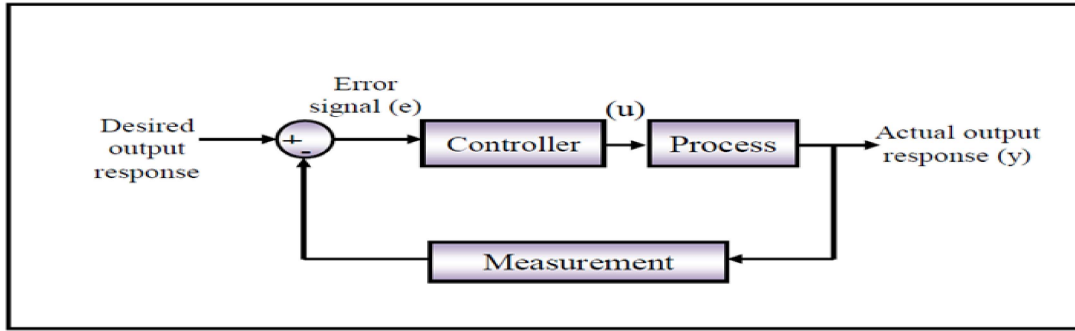
تعد منظومة السيطرة ذات الحلقة المفتوحة بأنها مسيطر الذي يسيطر على المشغل (actuator) للحصول على استجابة الجيدة المطلوبة، وتستعمل هذا النظام كأداة مسيطر للسيطرة على المحرك (Process) بشكل مباشر بدون إشارة استرجاع (Feedback signal) كما موضحة في الشكل ذي الرقم (2-16) [26].



الشكل ذو الرقم (2-16) منظومة السيطرة ذات الحلقة المفتوحة

وتعد منظومة السيطرة ذات الحلقة المغلقة موضحة في الشكل ذي الرقم (2-17) بأنها نظام تقوم بمعالجة إشارة الخطأ (e) التي تمثل الفرق بين قيمة الإخراج المقاسة (Measured output) والقيمة المطلوبة (Desired output) للمحرك، وهذه إشارة الخطأ سوف تدخل إلى دائرة المسيطر PID أو ANN، وإشارة الخارجة من دائرة المسيطر تمثل إشارة السيطرة (Control signal) ويمكن التعبير عن هذه الإشارة (u) بالمعادلة الآتية [26].

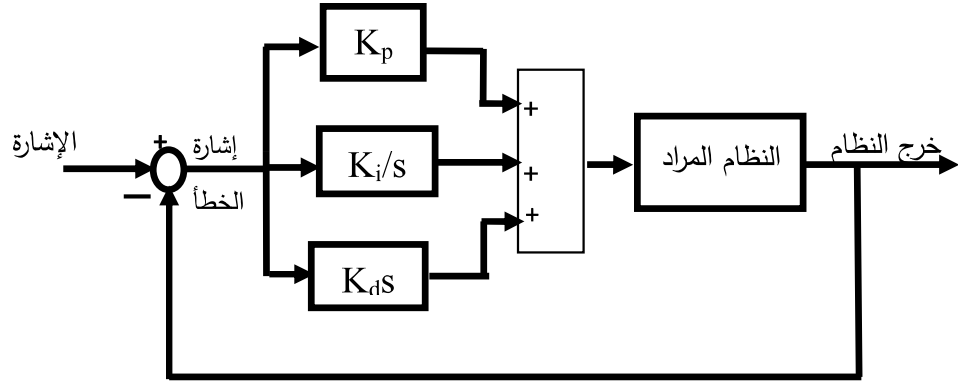
$$u = K_p e + K_I \int e dt + K_d \frac{de}{dt} \dots\dots\dots (2 - 37)$$



الشكل ذو الرقم (2-17) منظومة السيطرة ذات الحلقة المغلقة

### 3.4.3.2 المسيطر التقليدي التناسبي التكاملي التفاضلي (PID Controller)

يعد مسيطر PID واحداً من أكثر المسيطرات التقليدية استخداماً في عمليات السيطرة الصناعية. ويعد كذلك واحداً من تقانات السيطرة الأساسية إذ إنه يعطي حلاً سهلاً وكفوءاً للكثير من مشكلات السيطرة بالزمن الحقيقي، والمسيطر PID له ثلاثة أنواع من الكسب، التي يمكن أن تضبط للحصول على استجابة مقبولة في الإخراج وهذه الأنواع هي (K<sub>p</sub>, K<sub>i</sub>, K<sub>d</sub>) كما مبين بالشكل ذي الرقم (2-18)[27].  
 إذ إن: - K<sub>p</sub>: الكسب التناسبي، و K<sub>i</sub>: الكسب التكاملي، و K<sub>d</sub>: الكسب التفاضلي.



الشكل ذو الرقم (18-2) المخطط الكتلي للتحكم التناسبي التكامل التفاضلي

وقيم الكسب الثلاث يُمكنُ أَنْ تتغم عن طريق التجربة والخطأ، أو باستعمال بعض قواعد الضبط المتوفرة مثل طريقة زيكلير (Ziegler\_Nichols) [28]. وإن هذا المسيطر له دالة تحويل تُكتبُ على النحو التالي:

$$G_c(s) = K_p + K_i \cdot \frac{1}{s} + K_d \cdot s \quad \dots\dots\dots (2-38)$$

وإن التأثيرات الفردية لقيم الكسب الثلاث لمسيطر PID على أداء نظام الحلقة المغلقة لمنظومة السيطرة يمكن تلخيصه في الجدول ذي الرقم (1-2).

الجدول ذو الرقم (1-2) تأثير قيم الكسب (Kp, Kd, Ki) على استجابة النظام [27]

Closed-Loop Response	Rise Time	Overshoot	Settling Time	Steady-State Error	Stability
Increasing $K_P$	Decrease	Increase	Small Increase	Decrease	Degrade
Increasing $K_I$	Small Decrease	Increase	Increase	Large Decrease	Degrade
Increasing $K_D$	Small Decrease	Decrease	Decrease	Minor Change	Improve

تم في هذا الفصل الخلفية النظرية لأساسيات البحث، التي تتضمن جزئين أساسيين وهما الجزء المادي (Hardware) الذي يشمل منظومة السيطرة بما فيها محرك التيار المستمر، دائرة السوق للمحرك من النوع Buck convertor، دائرة توليد النبضات ووحدة السيطرة (الحاسوب الشخصي). والجزء البرمجي يشمل مراقبة منظومة السيطرة من خلال تصميم واجهة للمستخدم في الحاسوب باستخدام برنامج MATLAB/SIMULINK ومستخدماً نوعين من المسيطرات التقليدي PID والذكي ANN للسيطرة على سرعة محرك التيار المستمر منفصلة الاثارة عن طريق التحكم بفولتية المنتج للمحرك.

## الفصل الثالث

### نمذجة منظومة السيطرة وتحليلها باستخدام برنامج MATLAB

## Simulation and Analysis of Control System Using MATLAB Program

### 1.3 المقدمة:

تضمن هذا الفصل ثلاثة أقسام رئيسة الأول تصميم دائرة المغير الخافض للفولتية وكيفية تمثيلها في الحاسوب باستخدام برنامج MATLAB, والثاني تصميم منظومة السيطرة ذات الحلقة المفتوحة لمحرك التيار المستمر وأخذ قراءات استجابة الحلقة المفتوحة مع دراسة سلوك المنظومة لهذه الحالة, والقسم الثالث تصميم منظومة السيطرة لمحرك التيار المستمر ذات الحلقة المغلقة وأخذ قراءات استجابة الحلقة المغلقة مع استخدام نوعين من المسيطرات الأول المسيطر التقليدي (PID Controller), والثاني المسيطر الذكي (مسيطر الشبكات العصبية الاصطناعية ANN), وتم نمذجة المنظومة باستخدام برنامج MATLAB ومستخدماً مكتبة منظومة القدرة (P.S.B Library).

### 2.3- تصميم دائرة المغير الخافض Buck dc Converter

تصميم دائرة المغير الخافض يعني معرفة قيم العناصر المثلى لكل من المتسعة (C) والملف (L) , ويعدان القيم الأساسية في الدائرة. إن قيمة الملف والمتسعة في تصميم المغير الخافض تعتمدان على بعض القيم المعروفة منها القدرة الخارجة المطلوبة وتردد القرح , والنسبة المئوية للتوصيل, وتيار الإدخال والإخراج والقيمة المطلقة لتيار الملف وفولتية المتسعة , أما قيم فولتية الإدخال و تردد القرح والنسبة المئوية للتوصيل فتكون ثابتة كما مبين:

- فولتية الإدخال ثابتة 220 فولت.
- النسبة المئوية للتوصيل ثابتة 50%.
- تردد القرح ثابت 8kHz.
- تيار الإخراج (تيار المنتج المقنن للمحرك) 7.3A.

وهناك عدة افتراضات تتخذ في أثناء تصميم الدائرة:

1. إهمال حالة التشبع في قلب الملف.
2. إهمال المقاومة الداخلية للمتسعة.
3. الترانزستور والثنائي مثاليان.
4. إن كل قيم عناصر الدائرة ثابتة لا تتغير بتغير درجة الحرارة ولا بالعوامل الأخرى.

حساب قيمة الملف والمتسعة للمغير الخافض للمنتج:

فولتية الإدخال ثابتة 220 فولت وكذلك نسبة التوصيل  $K=0.5$  ويمكن حساب متوسط تيار الإخراج كما مبين في أدناه:

$$V_{out} = 220 * 0.5 = 110V \quad \text{and} \quad I_s = 0.5 * 7.3 = 3.65A$$

تم حساب قيمة مقدار التموج كل من تيار الملف  $\Delta I_L$  وفولتية المتسعة  $\Delta V_c$  من المعادلة (2-31) والمعادلة (2-32) بالتتابع على النحو الآتي.

$$\Delta I_L = 0.8184$$

$$\Delta V_c = 0.0581$$

وعادة في تصميم المغير لمحرك التيار المستمر يجب اختيار قيمة مقدار معدل التموج في تيار الملف اقل من النسبة 15% من تيار المنتج المقنن إذ إن:

$$\Delta I = \frac{\Delta I_L}{I_o} = \frac{0.8184}{7} = 11.7\% \quad \dots \dots \dots (3-1)$$

يمكن حساب قيمة الملف من المعادلة (2-31) والتعويض ينتج:

$$L = \frac{110(220 - 110)}{8000 * 0.8184 * 220} = 8.4mH$$

قيمة المتسعة من المعادلة (2-32) واختيار قيمة تموج فولتية المنتج 0.0581% من الفولتية المقننة للمنتج:

$$C = \frac{110(220 - 110)}{8 * 8.4 * 10^{-3} * 0.0581 * (8000)^2 * 220} = 220\mu F$$

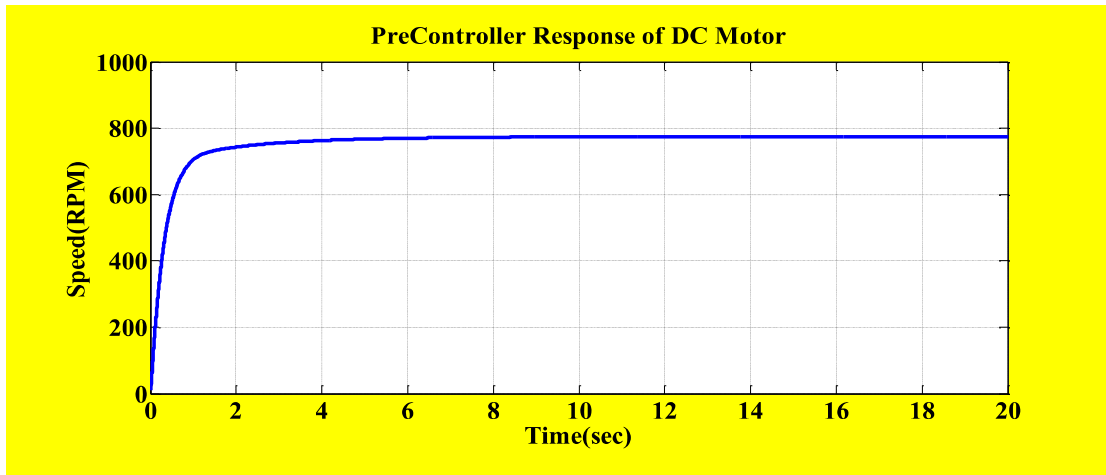
### 3.3- نظام الحلقة المفتوحة (نظام ما قبل المسيطر) للسيطرة على سرعة المحرك

تم تمثيل نظام الحلقة المفتوحة في الحاسوب باستخدام البرنامج المحاكاة MATLAB للتحكم بسرعة المحرك التيار المستمر من خلال فولتية المنتج ومستخدماً تقانة توليد النبضات المنتظمة (Uniform PWM) والمبينة على أساس عمل مفتاح الفتح والغلق وبتردد 8KHZ وقد تمثل هذا المفتاح بترانزستور القدرة ذات

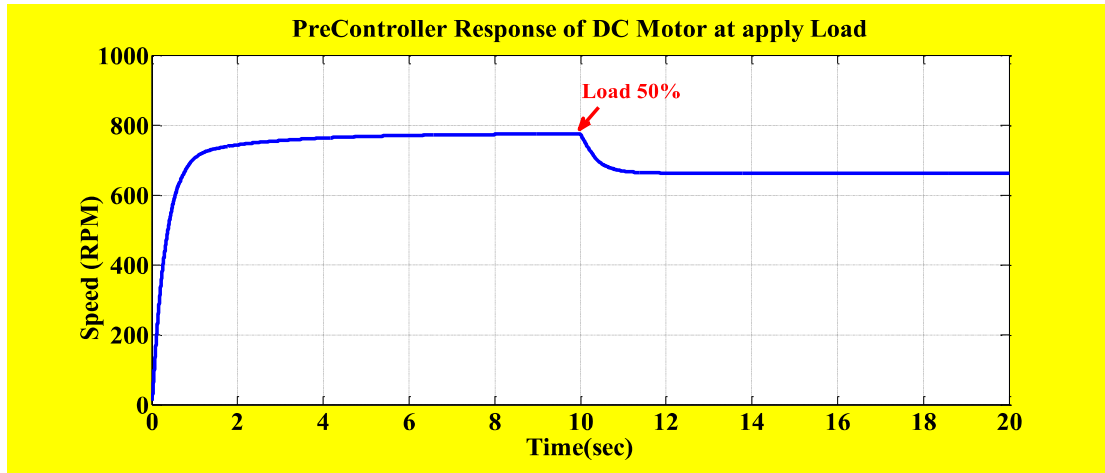


### 1.3.3- استجابة نظام الحلقة المفتوحة (Pre Controller)

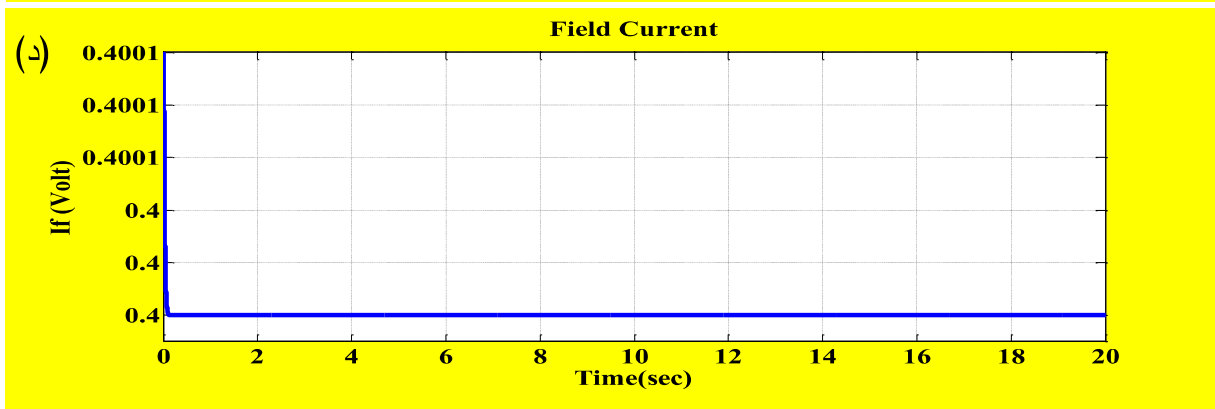
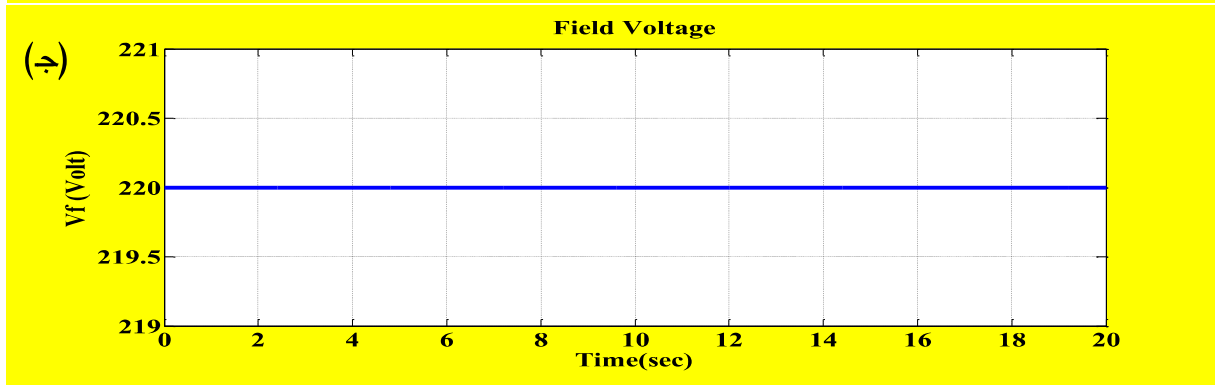
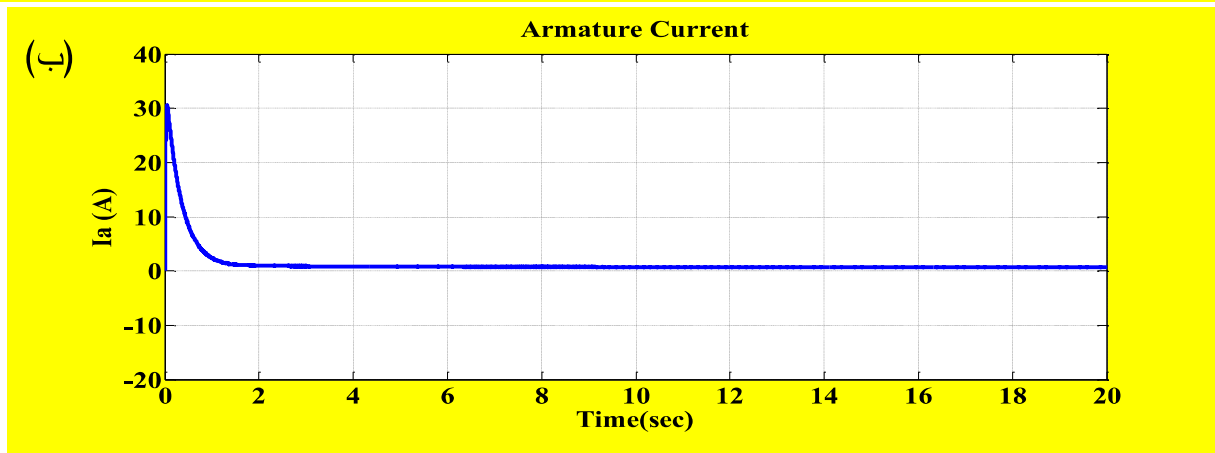
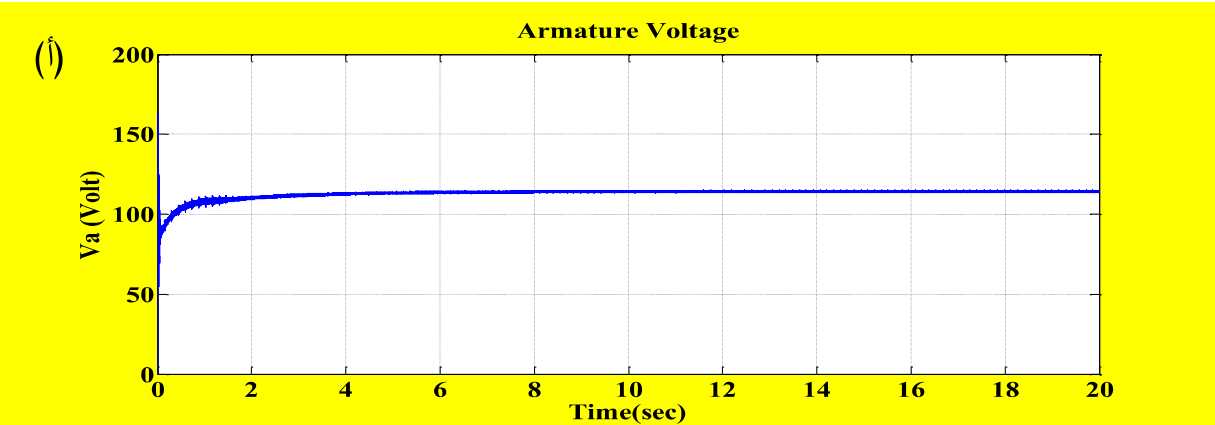
يبين الشكل ذو الرقم (3-3) استجابة السرعة للمنظومة في حالة عدم تسليط الحمل ونسبة التوصيل (Duty ratio) 50% لدائرة توليد النبضات. وعند تسليط الحمل في نظام الحلقة المفتوحة فان سرعة المحرك سوف تهبط إلى قيمة معينة ولا ترجع إلى السرعة المرجعية المطلوبة, الشكل ذو الرقم (4-3) يوضح استجابة نظام الحلقة المفتوحة للسيطرة على سرعة المحرك عند تسليط حمل 50% من الحمل المقنن ونسبة التوصيل 50%. وان شكل كل من فولتية المنتج وتياره وفولتية المجال وتياره للمحرك في حالة عدم تسليط الحمل موضحة في الأشكال الآتية ذوي الارقام (5-3 أ) و(5-3 ب) و(5-3 ج) و(5-3 د) على التوالي. وكذلك شكل الموجة لكل من فولتية المنتج وتياره للمحرك عند التحميل 50% من الحمل المقنن موضحة في الشكلين ذوي الرقمين (6-3 أ) و(6-3 ب) على التوالي.



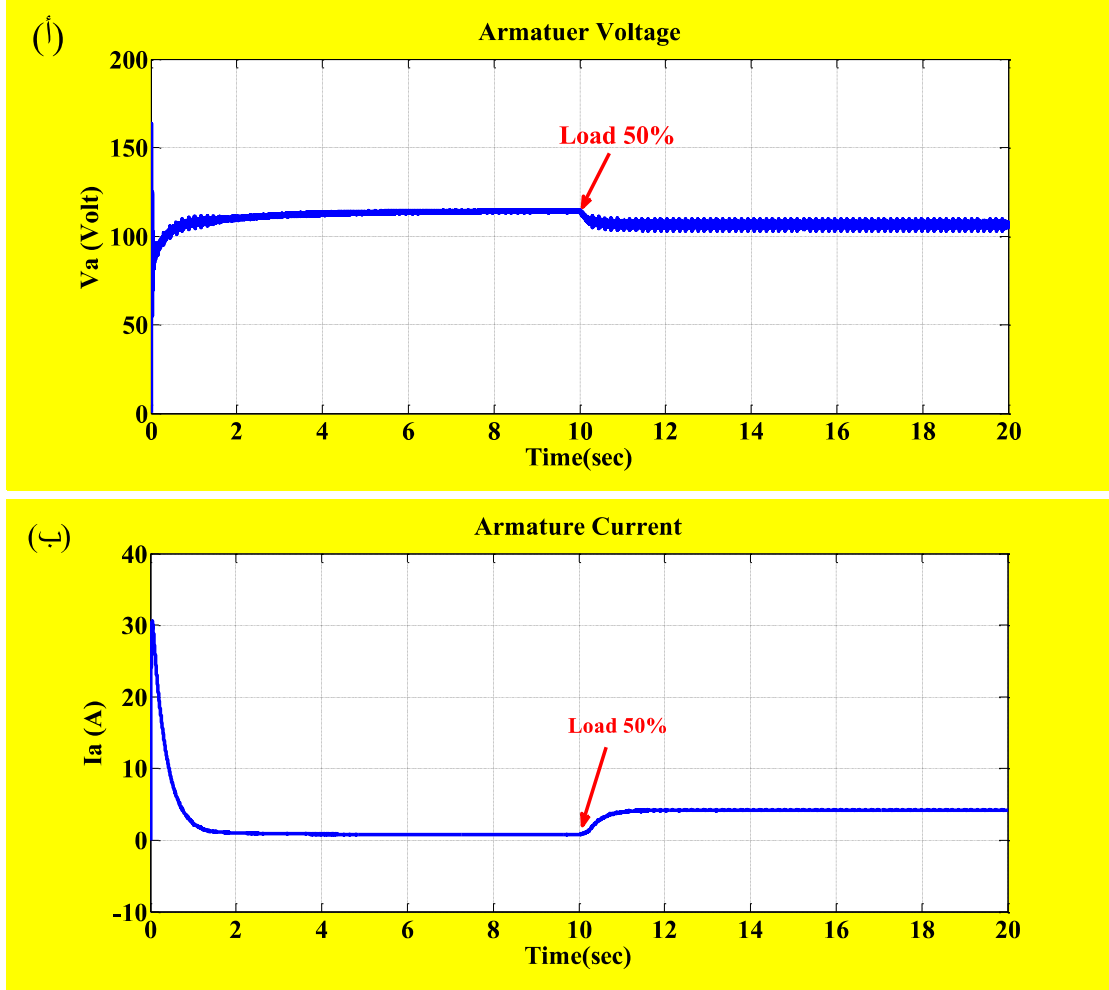
الشكل ذو الرقم (3-3) سرعة المحرك للنظام الحلقة المفتوحة لمنظومة السيطرة عند عدم تسليط الحمل



الشكل ذو الرقم (4-3) استجابة سرعة المحرك في نظام الحلقة المفتوحة عند تسليط حمل 50% من المقنن

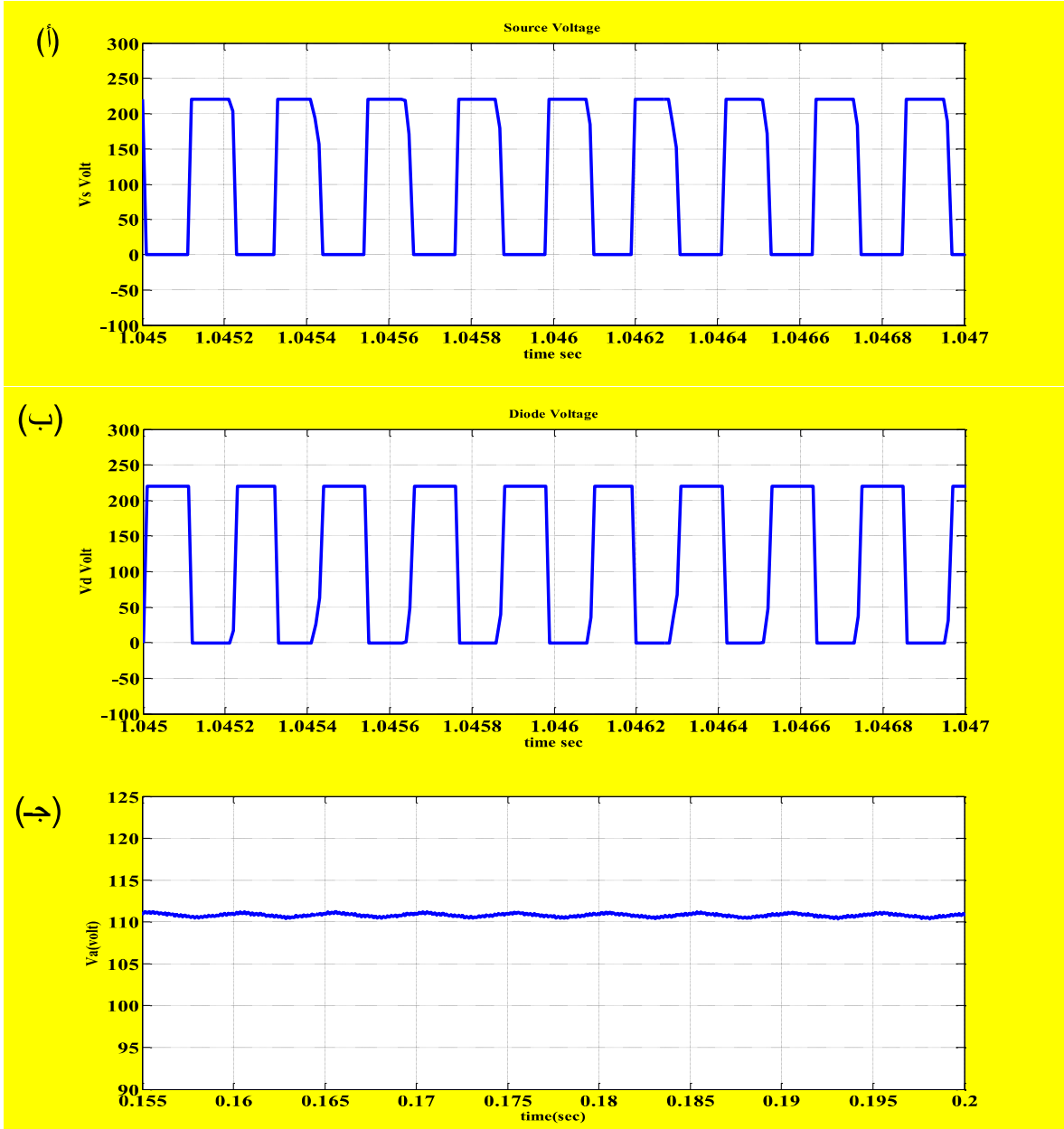


الشكل ذو الرقم (3-5) (أ) فولتية المنتج, (ب) تيار المنتج, (ج) فولتية المجال, (د) تيار المجال, لمحرك التيار المستمر عند ربط نظام الحلقة المفتوحة لمنظومة السيطرة وبدون أحمال



الشكل ذو الرقم (3-6) (أ) فولتية المنتج، (ب) تيار المنتج، لمحرك التيار المستمر عند ربط نظام الحلقة المفتوحة لمنظومة السيطرة مع تسليط حمل 50% من الحمل المقنن

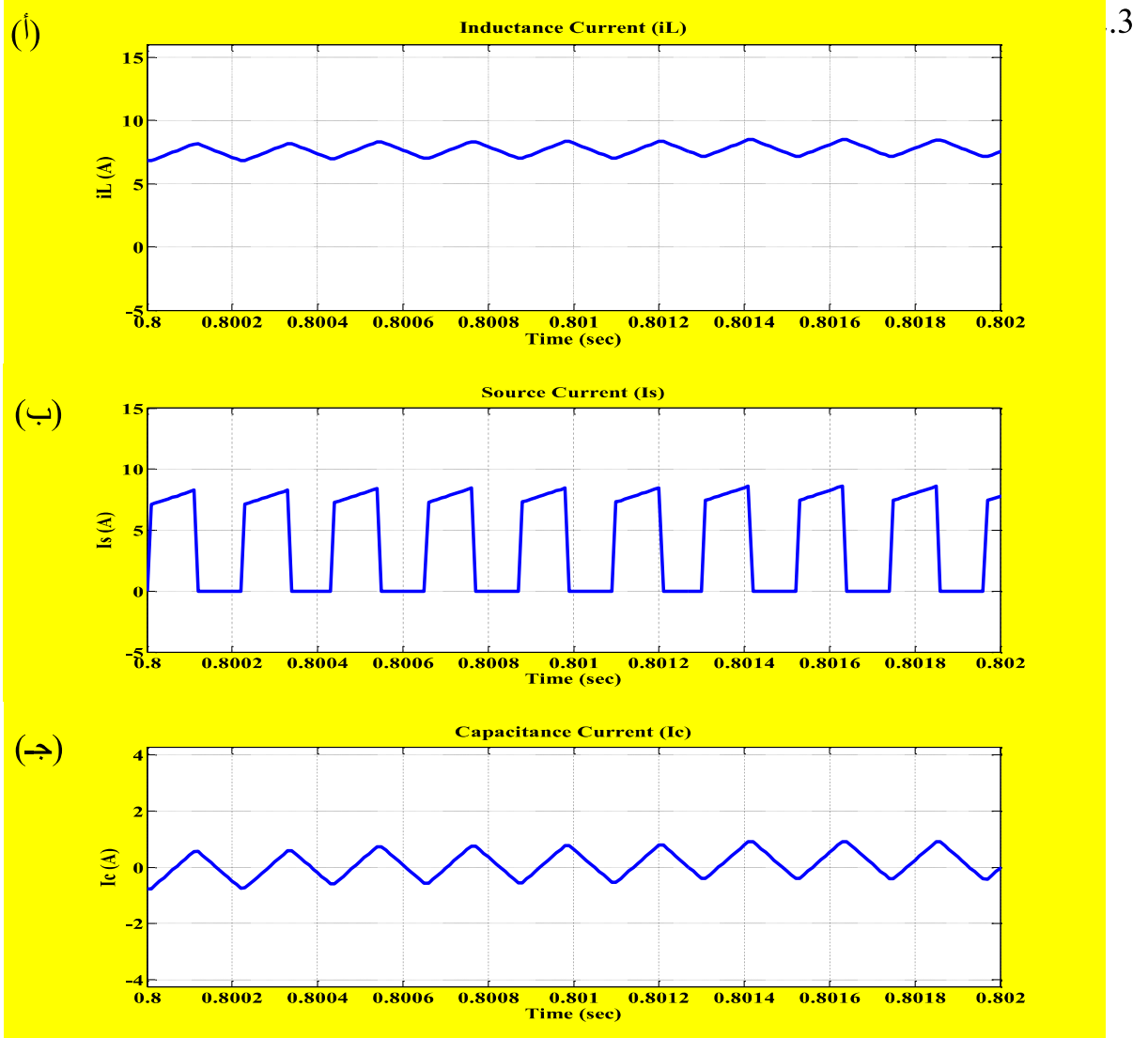
بالنسبة لتصميم دائرة المغير الخافض للمنظومة السيطرة فان فولتية المفتاح ( $V_s$ ) موضحة في الشكل ذي الرقم (3-7 أ)، والشكل ذو الرقم (3-7 ب) يوضح فولتية الدايمود ( $V_d$ )، والشكل ذو الرقم (3-7 ج) يبين فولتية المنتج ( $V_a$ ) لمحرك التيار المستمر التي تمثل فولتية المتسعة لدائرة المغير.



الشكل ذو الرقم (7-3) (أ) فولتية المفتاح لدائرة المغير، (ب) فولتية الدايمود لدائرة المغير، (ج) فولتية المتسعة لدائرة المغير الخافض

ويُلاحظ من الشكل ذي الرقم (7-3 ج) أن مقدار قيمة تموج الفولتية ( $\Delta V_C$ ) لمتسعة دائرة المغير الخافض اقل من 1% من قيمة فولتية المتسعة المطلوبة والمصممة في المقطع 2.3 .  
تيار الملف لدائرة المغير ( $i_L$ )، وتيار المفتاح ( $i_S$ )، وتيار المتسعة ( $i_C$ ) موضحة في الأشكال (8-3 أ) و (8-3 ب) و (8-3 ج) على التوالي عند تسليط حمل 100% من الحمل المقنن. ويُلاحظ من الشكل ذي

الرقم (8-3) أن مقدار قيمة توج التيار الملف ( $\Delta I_L$ ) لدائرة المغير هي نفسها القيمة المصممة في المقطع



الشكل ذو الرقم (8-3) (أ) تيار الملف لدائرة المغير, (ب) تيار المفتاح لدائرة المغير ( $\Delta I_s$ ), (ج) تيار المتسعة لدائرة المغير ( $\Delta I_c$ )

### 2.3.3- سلوك منظومة السيطرة ذات الحلقة المفتوحة لمحرك التيار المستمر

عند ربط نظام الحلقة المفتوحة للسيطرة على سرعة المحرك يُلاحظ من استجابة سرعة المحرك كما موضح في الشكل ذي الرقم (3-3) أن مدة حالة العابرة للنظام مدة طويلة لبعض الشئ, فضلاً عن أن السرعة المطلوبة للمحرك يمكن إيجادها من خلال تغيير نسبة التوصيل (Duty ratio%) لدائرة توليد النبضات المنتظمة وتحتاج هذه العملية إلى تنظيم جدول كما هو موضح في أدناه الجدول ذو الرقم (1-3) لمعرفة

قيمة سرعة المحرك عند كل نسبة من نسب التوصيل المنتظمة. ويُلاحظ من الشكل ذي الرقم (3-4) ان سرعة المحرك تقل من القيمة المطلوبة أو المقننة عند تسليط الحمل عليه ولا يرجع إلى السرعة المرجعية, يُلاحظ من الشكل ذي الرقم (3-6 ب) أن قيمة تيار المنتج تجاوز القيمة المقننة له وهذه الحالة تسبب أضراراً على ملفات المنتج للمحرك, وكذلك من المشاكل أن أنظمة السيطرة ذات الحلقة المفتوحة لا تُعطي قيمة السرعة المطلوبة للمحرك إذا حدث أي اضطراب مفاجئ لها, ولحل هذه المشكلة استخدم نظام السيطرة ذو الحلقة المغلقة بدلاً من الحلقة المفتوحة في أنظمة السيطرة [26].

يوضح الجدول ذو الرقم (3-1) بيانات سلوك منظومة السيطرة ذات الحلقة المفتوحة للتحكم على سرعة المحرك من خلال التحكم على فولتية المنتج الذي سيستخدم لاحقاً في تدريب وتصميم المسيطر ANN.

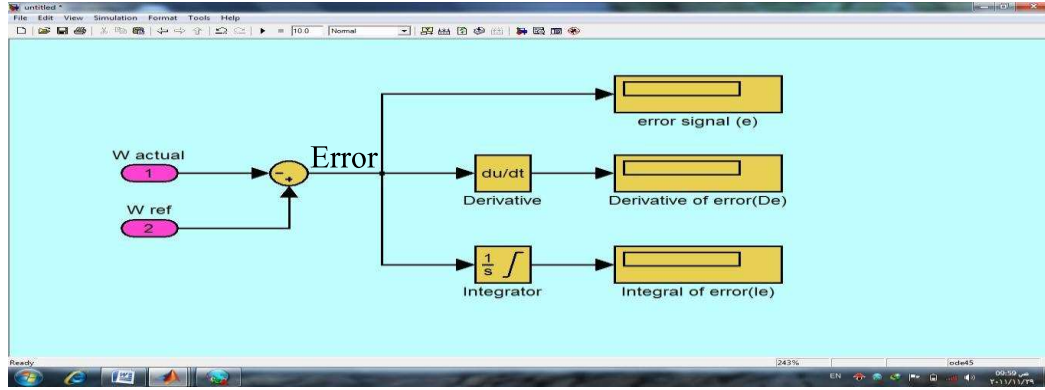
الجدول ذو الرقم (3-1) بيانات سلوك منظومة السيطرة ذات الحلقة المفتوحة للتحكم على سرعة المحرك

dc Level (Control Signal)	Duty ratio (%)	Motor Speed (rpm)	Armature Voltage (V <sub>a</sub> )	Armature Current (I <sub>a</sub> )	Torque % Of Rated (T <sub>sh</sub> )
0.9	18	250	38	0.7106	0
1.7	34	500	74.8	0.7168	0
2.5	50	750	110	0.719	0
3.3	66	1000	147	0.7	0
1.15	23	250	46	4	50
1.95	39	500	82	4.032	50
2.27	55	750	118	3.88	50
3.6	72	1000	156	3.73	50
1.4	28	250	56	7.6	100
2.2	44	500	91	7.311	100
3	60	750	127	7.25	100
3.81	76.2	1000	163	7.1	100

4.3- نظام الحلقة المغلقة (نظام ما بعد المسيطر) للسيطرة على سرعة المحرك

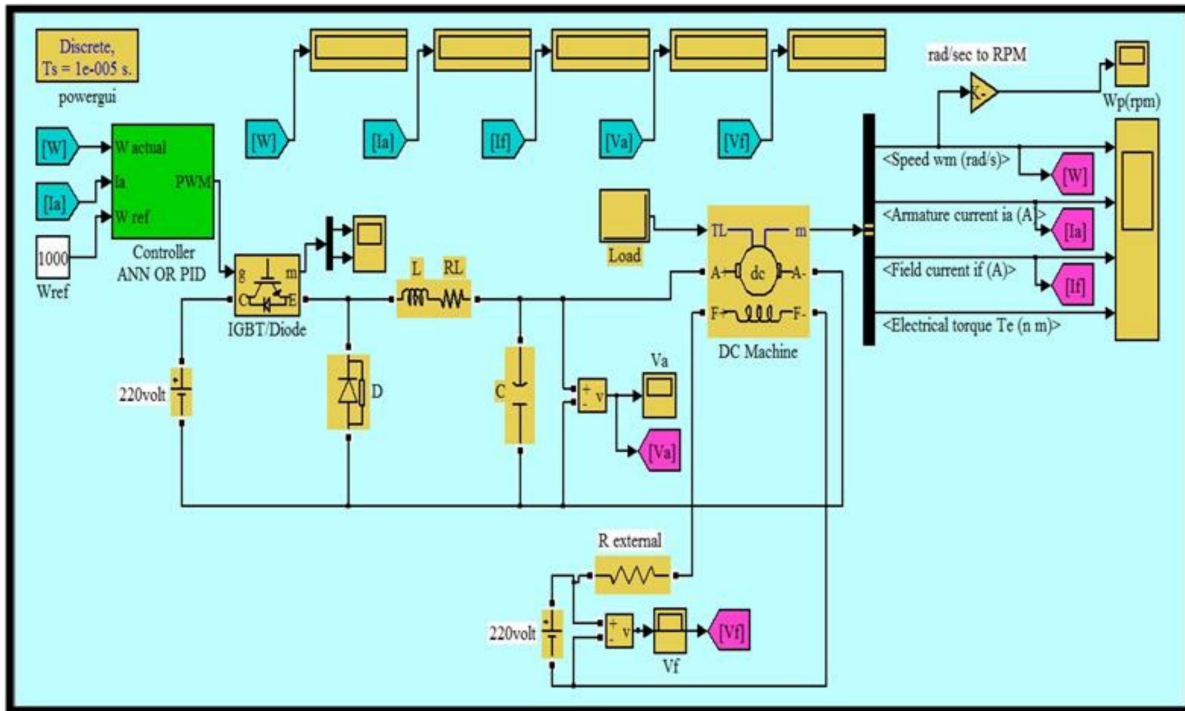
1.4.3- ربط نظام الحلقة المغلقة (Post Controller) للسيطرة على سرعة المحرك

لأجل تصميم المسيطر ذي الحلقة المغلقة نحتاج إلى عمل تغذية خلفية سالبة لإشارة السرعة التي يدور بها المحرك، ومن هذه الإشارة يتم توليد إشارة الخطأ التي هي الفرق بين السرعة المرجعية والسرعة الحقيقية للمحرك وإشارة مشتقة الخطأ وإشارة تكامل الخطأ. يوضح الشكل ذو الرقم (3-9) توليد الإشارات الثلاث (e, De, Ie), إذ إن (e) يمثل إشارة الخطأ، (De) يمثل مشتقة إشارة الخطأ، (Ie) تكامل إشارة الخطأ.



شكل (3-9) توليد الإشارات الثلاث إشارة الخطأ وإشارة مشتقة الخطأ وإشارة تكامل الخطأ للمسيطر PID

يحتاج كل من المسيطر التقليدي والمسيطر الذكي إلى مؤشر عن قيمة الحمل، وبما أن فولتية المجال وتياره ثابتين، فإن الفيض ثابت، و يعتمد العزم المتولد على حاصل ضرب تيار المنتج في التيار المجال، وبثبوت تيار المجال، فإن العزم يتناسب طردياً مع تيار المنتج فقط، ومن هذا المفهوم نستطيع اخذ إشارة تيار المنتج كتغذية خلفية سالبة ومؤشر عن الحمل للمسيطرات المذكورة أعلاه [26]. يوضح الشكل ذو الرقم (3-10) نمذجة نظام الحلقة المغلقة للمنظومة للسيطرة على سرعة المحرك.



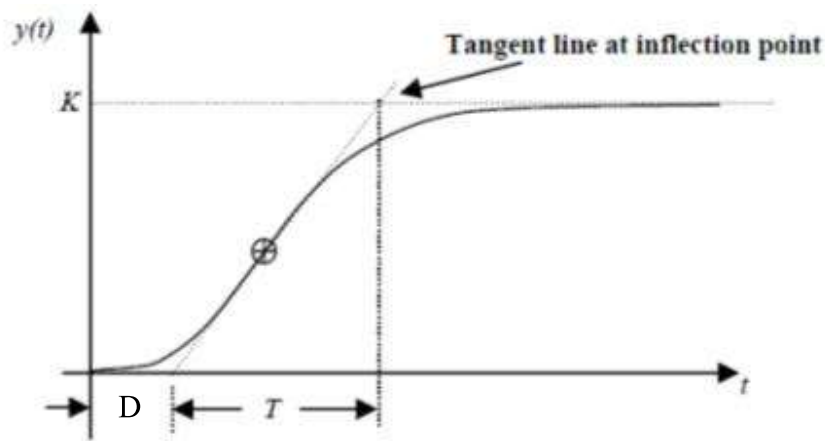
الشكل ذو الرقم (3-10) نظام الحلقة المغلقة للسيطرة على سرعة المحرك مع المسيطر PID أو ANN

### 2.4.3 - طريقة زيكلر - نيكولاس لحساب معاملات الكسب للمسيطر PID

#### Ziegler-Nichols Rules for Tuning PID Parameters

لحساب معاملات الكسب للمسيطر التقليدي PID ( $K_p, K_i, K_d$ ), تم استخدام طريقة زيكلر نيكولاس (Ziegler-Nichols). وهذه الطريقة تعتمد بالدرجة الأساس على خصائص استجابة الحالة العابرة للنظام المراد التحكم به (Plant). وهناك طريقتان لحساب المعاملات باستخدام طريقة زيكلر-نيكولاس الأولى طريقة استجابة الخطوة ذات الحيز الزمني (Step response) والثانية طريقة الاستجابة ذات الحيز الترددي (Frequency response) [28]. وفي هذه الدراسة تم استخدام الطريقة الأولى لكونها تتعامل مع حيز S (S domain), وتم حساب دالة التحويل للنظام المراد التحكم به (محرك التيار المستمر) من المعادلة (2-36) بدلالة حيز S-domain, والشكل ذو الرقم (3-11) يوضح استجابة الخطوة للنظام.

$$\frac{w(s)}{V(s)} = \frac{K_E}{0.001488 S^2 + 0.1 S + 1.9613} \quad \dots \dots \dots (3 - 1)$$



الشكل ذو الرقم (3-11) منحنى استجابة الخطوة ذات الحيز الزمني لطريقة زيكلر - نيكولاس

إن خصائص استجابة الخطوة لهذه الطريقة من طرائق زيكلر تعتمد على نوعين من المعاملات الأول زمن التأخير (D) والثاني ثابت الزمن (T), وهذه المعاملات يتم إيجادها بواسطة رسم خط الانحراف أو الخط المماس على استجابة الخطوة كما موضحة بالشكل ذي الرقم (3-11). وان اشتقاق عناصر السيطرة  $K_p, T_i, T_d$ , لهذه الطريقة من طرائق زيكلر-نيكولاس مستندة إلى نموذج الموضح بالجدول ذي الرقم (3-2). وفي

هذه الدراسة تم حساب المعاملات  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  من خلال تطبيق قيمة  $D=0.02\text{sec}$ ,  $(T=0.09\text{sec})$  في برنامج M-file/MATLAB والموضحة في الملحق B.

الجدول ذو الرقم (2-3) صيغة زيكلر-نيكولاس (طريقة استجابة الخطوة) [28]

PID Type	$k_p$	$T_i = \frac{k_p}{K_i}$	$T_d = \frac{K_d}{K_p}$
P	$\frac{T}{D}$	$\infty$	0
PI	$0.9 \frac{T}{D}$	$\frac{D}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{D}$	$2D$	$0.5D$

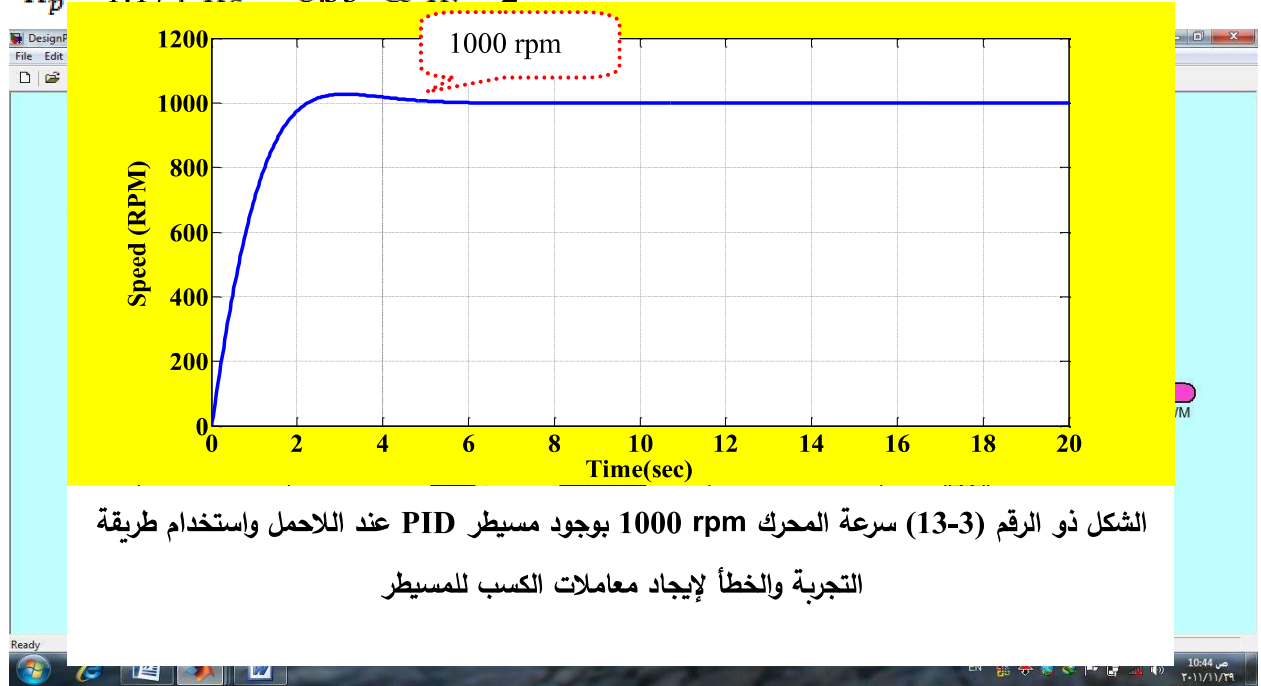
وُحِصِلَ على المعاملات الكسب على النحو الآتي:

$$T_i = 0.02\text{sec}, T_d = 0.005\text{sec}, K_p = 0.4, K_i = 0.16 \text{ \& } K_d = 0.00015$$

### 3.4.3 - استجابة الدائرة المغلقة لمنظومة السيطرة بوجود المسيطر التقليدي PID

الشكل ذو الرقم (3-12) يوضح تصميم المسيطر التقليدي PID للسيطرة على سرعة المحرك والشكل ذو الرقم (3-13) يبين استجابة السرعة لمحرك التيار المستمر مع استخدام مسيطر PID وعند سرعة مرجعية 1000 rpm وعند عدم تسليط الحمل, إذ تمّ تنعيم قيم الكسب الثلاث ( $K_p, K_i, K_d$ ) بشكل عشوائي (طريقة التجربة والخطأ) إذ كانت قيم الكسب على النحو الآتي:

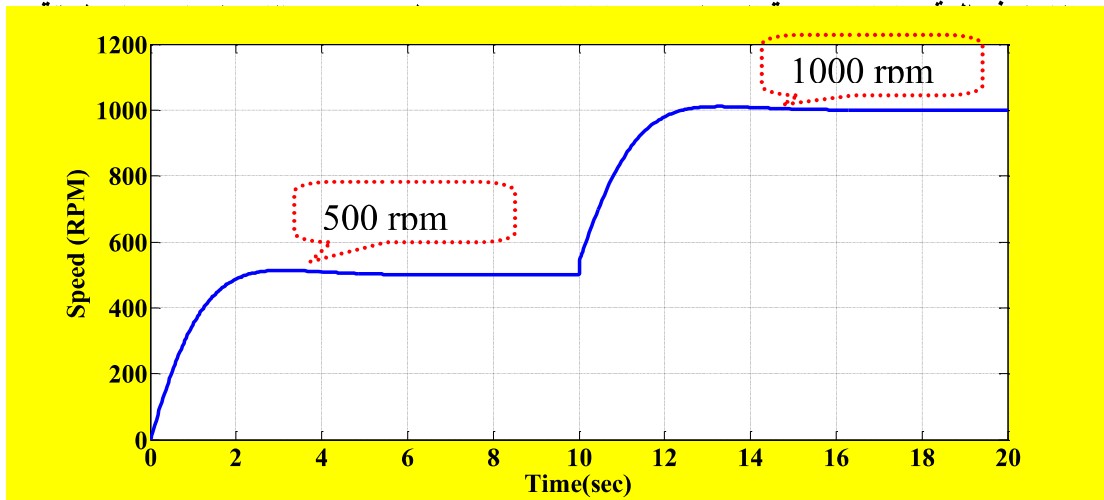
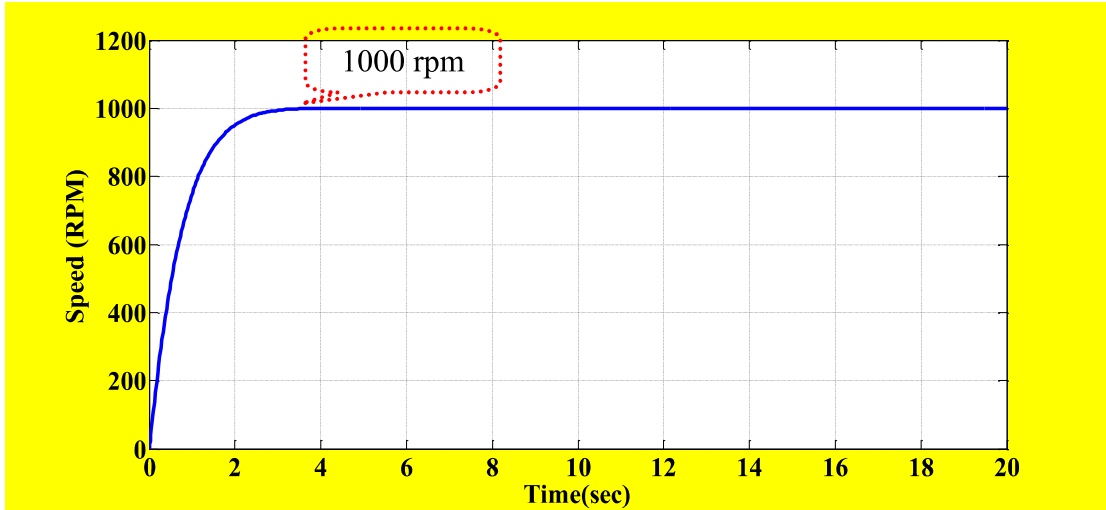
$$K_p = 1.17, K_i = 0.55 \text{ \& } K_d = 2$$



الشكل ذو الرقم (12-3) تصميم مسيطر التقليدي PID للسيطرة على سرعة المحرك

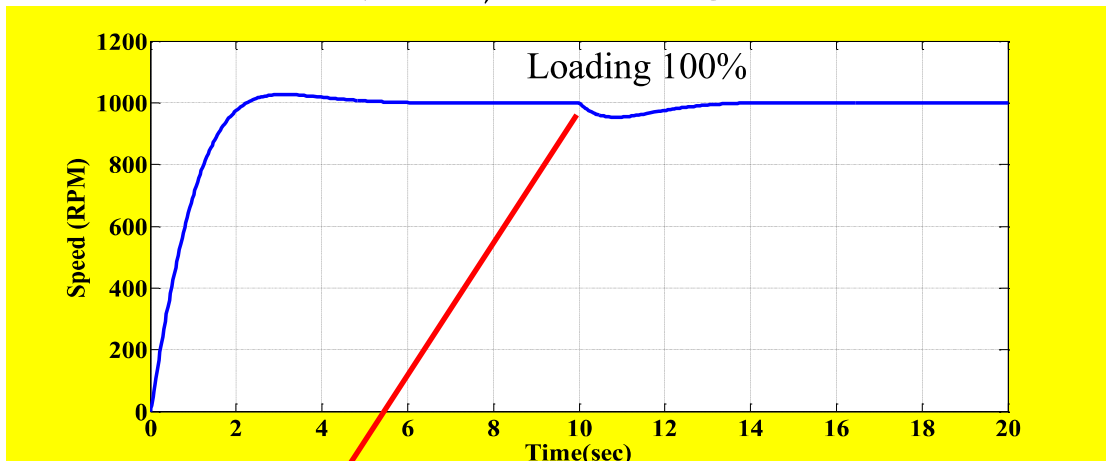
الشكل ذو الرقم (14-3) يوضح استجابة سرعة المحرك مع المسيطر PID الذي تم استخدام طريقة زيكلر - نيكولاس المذكورة في المقطع (2.4.3) لاختيار القيم المثلى للمعاملات الكسب  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  وعند سرعة المرجعية 1000 rpm وبدون تسليط الحمل على المحرك التيار المستمر. وبالمقارنة بين الشكلين (13-3) و(14-3) نلاحظ أن زمن استقرار النظام في حالة استخدام طريقة زيكلر لاختيار المعاملات الكسب للمسيطر اقل من حالة استخدام طريقة التجربة والخطأ [28].

الشكل ذو الرقم (3-15) يوضح استجابة سرعة المحرك 500 rpm إلى 1000 rpm لمنظومة السيطرة بوجود المسيطر PID عند تسليط الحمل.



الشكل ذو الرقم (3-15) سرعة المحرك 500 rpm إلى 1000 rpm للدائرة المغلقة بوجود مسيطر PID عند عدم تسليط الحمل على المحرك

الشكل ذو الرقم (3-16) يوضح استجابة سرعة المحرك 1000rpm بوجود المسيطر التقليدي PID عند تسليط حمل 100% من الحمل المقنن على المحرك عند زمن (t=10sec).



### 4.4.3- تصميم دائرة مسيطر ANN للسيطرة على سرعة المحرك

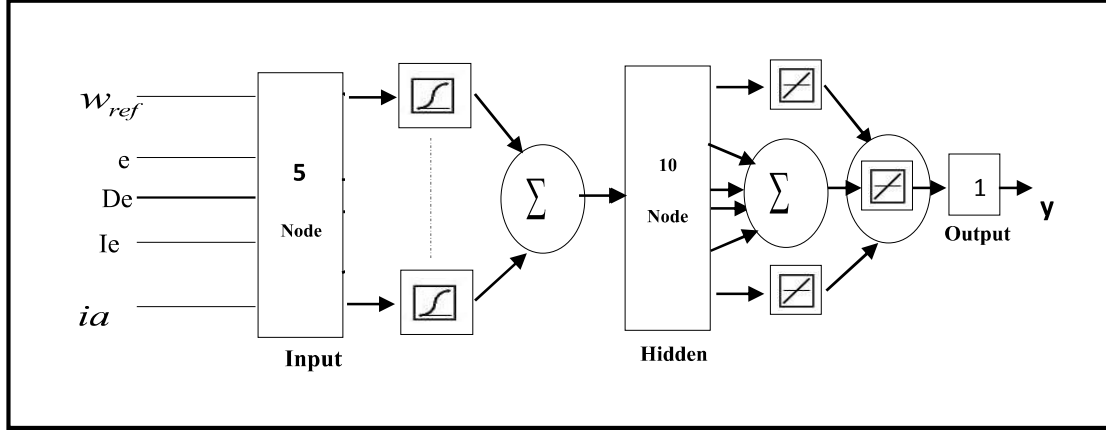
لأجل التصميم تم استخدام التغذية الأمامية للشبكة العصبية متعددة الطبقات (Feed Forward Multilayer Network), ومن ثم تنفيذها باستخدام الماتلاب, إذ إن هذا النوع له القدرة العالية على التصنيف والتمييز. ويمكن تلخيص الخطوات المستخدمة لحل أي مشكلة باستخدام هذه الشبكات بما يأتي[29]:

- جمع البيانات بطريقة مفهومة وترتيبها في مصفوفات يتم إدخالها إلى الشبكة.
- تحديد هدف الشبكة (target) وهذه الخطوة في غاية الأهمية.
- تدريب الشبكة (training) على إدخلات الشبكة المراد معالجة بياناتها.
- محاكاة (Simulation) استجابة الشبكة للإدخالات الجديدة من أجل الحصول على الإخراج المطلوب .

### 1.4.4.3- آلية عمل الشبكة العصبية

إن الخطوة التي تلي جمع البيانات التي يتم تدريب الشبكة عليها هي إنشاء الشبكة, وإن إنشاء الشبكة يتطلب تحديد عدد خلايا طبقة الإدخال, وكذلك عدد الطبقات الوسطى(الذي يتم تحديده عن طريق التدريب) بحيث تعطي نتائج التدريب أقل نسبة للخطأ وأقل عدد ممكن من دورات التدريب(Iteration) وبأقل زمن ممكن وكذلك تحديد دوال التنشيط المستخدمة في كل طبقة. وبعد تحديد نوع دوال تنشيط طبقات تلك الشبكة

يتم اختيار دالة التدريب لهذه الشبكة، وتوجد عدة طرائق للتدريب ولكل من هذه الطرائق إيعازها الخاصة لتدريب الشبكة. وبعد الانتهاء من هذه المرحلة تصبح الشبكة العصبية جاهزة لغرض السيطرة على المنظومة [30]. والشكل ذو الرقم (3-17) يوضح الشبكة التي تم إنشاؤها للسيطرة على سرعة المحرك.



الشكل ذو الرقم (3-17) الشبكة التي تم اعتمادها للسيطرة على سرعة المحرك

وكذلك تم استخدام تقنية الشبكة العصبية الاصطناعية للسيطرة على سرعة المحرك بالاعتماد على الإشارات الإدخال الآتية (  $w_{ref}$  ,  $e$  ,  $De$  ,  $Ie$  and  $ia$  ) وإشارة الإخراج  $U$ . وبعد تدريب الشبكة العصبية باستخدام البرنامج الموضح بالملحق C, تم الحصول على قيم الأوزان والانحياز لطبقات الشبكة بحجم (1-10-5). إذ ان:

$w_{ref}$  : السرعة المرجعية للمحرك.

$e$  : إشارة الخطأ التي تمثل الفرق بين السرعة المرجعية ( $w_{ref}$ ) والسرعة الحقيقية ( $w_{actual}$ ).

$De$  : إشارة التغير في الخطأ أو مشتقة الخطأ.

$Ie$  : إشارة تكامل الخطأ.

$ia$  : تيار المنتج للمحرك المستمر, يمثل المؤشر عن العزم المتولد داخل المحرك.

$U$  : إشارة المستوى (dc Level) وتمثل إشارة الإخراج للمسيطر الذكي ANN التي تتناسب مع نسبة التوصيل (Duty ratio) لدائرة المغير الخافض, وتعد هذه الإشارة إشارة السيطرة (Control signal) للتحكم على عمل الترانزستور ذي البوابة المعزولة (IGBT) وهي تمثل نسبة مدة التوصيل الترانزستور, وهذه المدة تكون محصورة بين (0% : 100%).

### 2.4.4.3- آلية تنفيذ الشبكة العصبية :

تحدد مهام هذا المحور بعرض آلية تنفيذ الشبكة العصبية لأغراض البحث الحالي إذ تتضمن آلية العمل ثلاث خطوات[30]:-

1. تحديد عدد العقد في الطبقة الخفية ( number of hidden nodes ).
2. تحديد أفضل دالة تنشيط في الإدخال والإخراج.
3. تحديد أفضل خوارزمية تدريب.

**1.2.4.4.3\_تحديد عدد العقد في الطبقة الخفية:** تم اختيار عدد العقد في الطبقة الخفية وذلك عن طريق التجربة إذ تم تغيير عدد العقد بصورة عشوائية لحين الحصول على عدد من العقد يعطي سرعة في الوصول إلى الهدف. وقد تم تغيير عدد العقد للطبقة الخفية ابتداءً من 3 طبقات وبتزايد مقدارها طبقتان إلى أن وصل إلى العدد الذي تم استخدامه للتدريب وهو 10 عقد وبالإمكان زيادة عدد الطبقات الخفية إلى أكثر من طبقة واحدة وفق التصميم.

**2.2.4.4.3\_تحديد دوال التنشيط:** في هذه الفقرة تم توضيح عملية اختيار دوال التنشيط للشبكة العصبية الاصطناعية مع العلم أنه تم استخدام دالة التنشيط (Sigmoid) التي تعد من أوسع الدوال استخداماً مع الشبكات العصبية ذات الانتشار الخفي ( Back Propagation Neural Networks ) في الإدخال، ومن ثم تغيير دالة التنشيط في الإخراج لحين الحصول على أفضل دالة في الإخراج مع الدالة التي تم اختيارها في الإدخال بحيث تعطي أسرع النتائج وأدقها ولأجل التحديد فقط تم استخدام خوارزمية التدريب (trainlm)[30]. وتم استخدام الحالة الأولى من الحالات الموضحة بالجدول ذي الرقم (3-3) حسب المعطيات الآتية:

- عدد العقد في الطبقة الوسطى =10
- عدد مرات التكرار =58
- معدل الخطأ المعياري (الهدف) =0.001

الجدول ذو الرقم (3-3) يبين تغيير دوال التنشيط في إدخال الشبكة وإخراجها لحين الوصول إلى أفضل أداء للشبكة

الحالات	دالة التنشيط للإدخال	دالة التنشيط للإخراج	عدد دورات التكرار
الحالة الأولى	tansig	purelin	58
الحالة الثانية	logsig	purelin	7

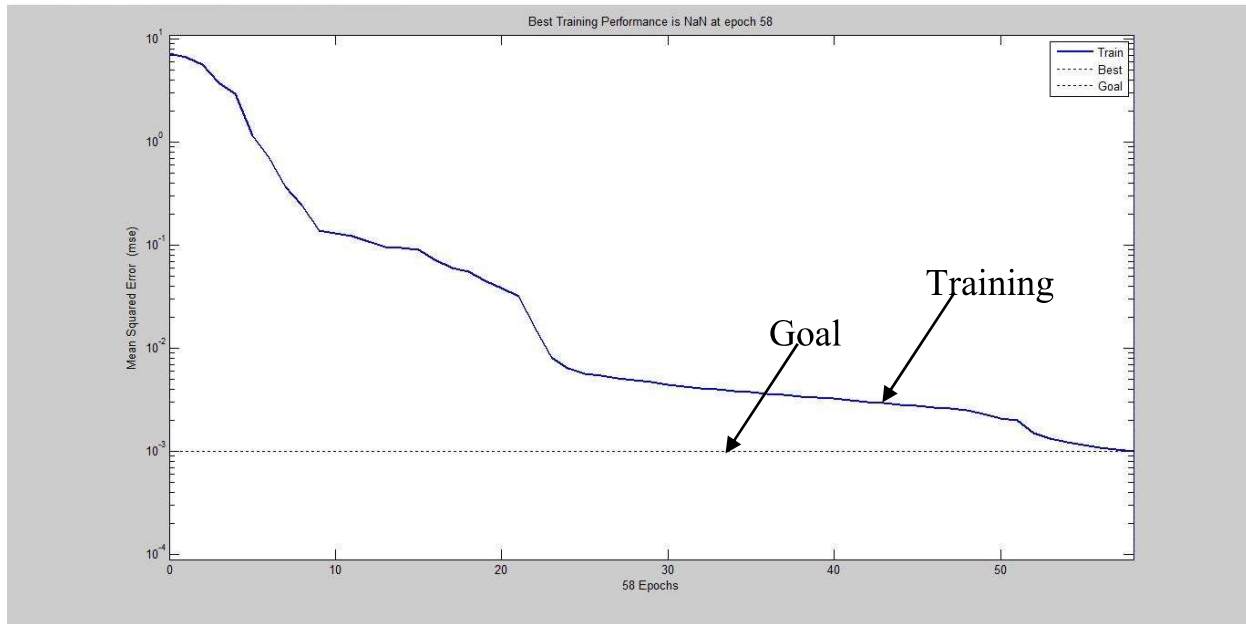
وبعد الانتهاء من التدريب باستخدام الدوال السابقة حُصِلَ على النتائج التي توضح أفضل دالة في الإخراج مع الدالة التي تم اختيارها في الإدخال.

يوضح الشكل ذو الرقم (3-18) تدريب الشبكة العصبية الاصطناعية باستخدام الدالة الأولى من دوال التنشيط مع الخوارزمية (trainlm).

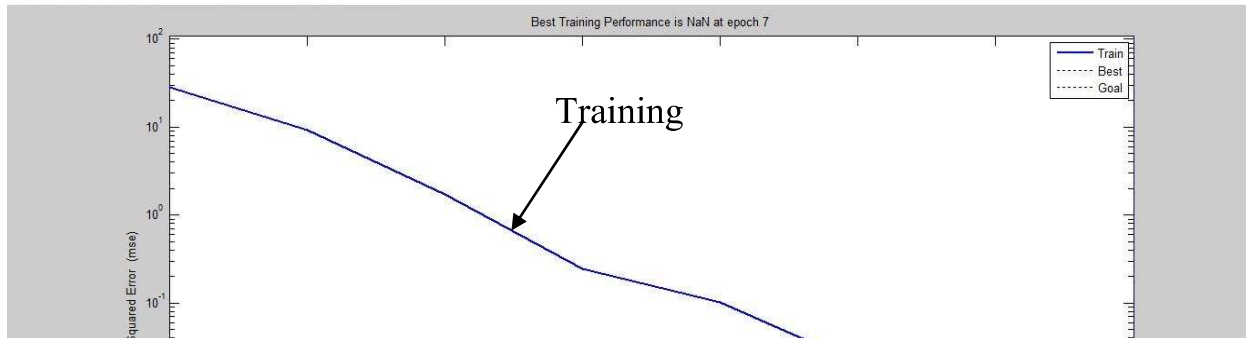
في حين يوضح الشكل ذو الرقم (3-19) تدريب الشبكة العصبية الاصطناعية باستخدام الدالة الثانية من دوال التنشيط مع الخوارزمية (trainlm).

يُلاحظ من الشكلين (3-18) و(3-19) أن استخدام الدالة logsig في الإدخال مع الدالة purelin في الإخراج أعطى أعلى سرعة في الوصول إلى الهدف من ناحية عدد الدورات التكرارية للوصول إلى الهدف إذ وصلت إلى الهدف بعد سبع دورات تكرارية.

في هذا البحث، تم استخدام الحالة الأولى لتدريب الشبكة العصبية الاصطناعية الاستاتيكية ذات الحجم (10-5) للتحكم بسرعة المحرك التيار المستمر.



الشكل ذو الرقم (3-18) تدريب الشبكة العصبية الاصطناعية باستخدام خوارزمية trainlm مع استخدام دالة tansig في إدخال الشبكة ودالة purelin في إخراجها وعدد الدورات التكرارية للوصول إلى الهدف

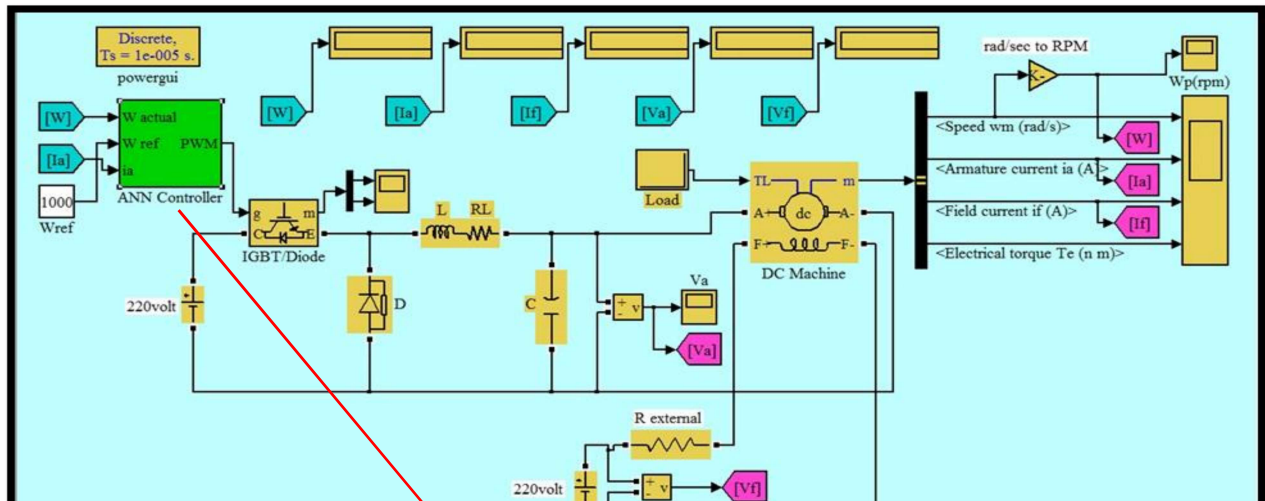


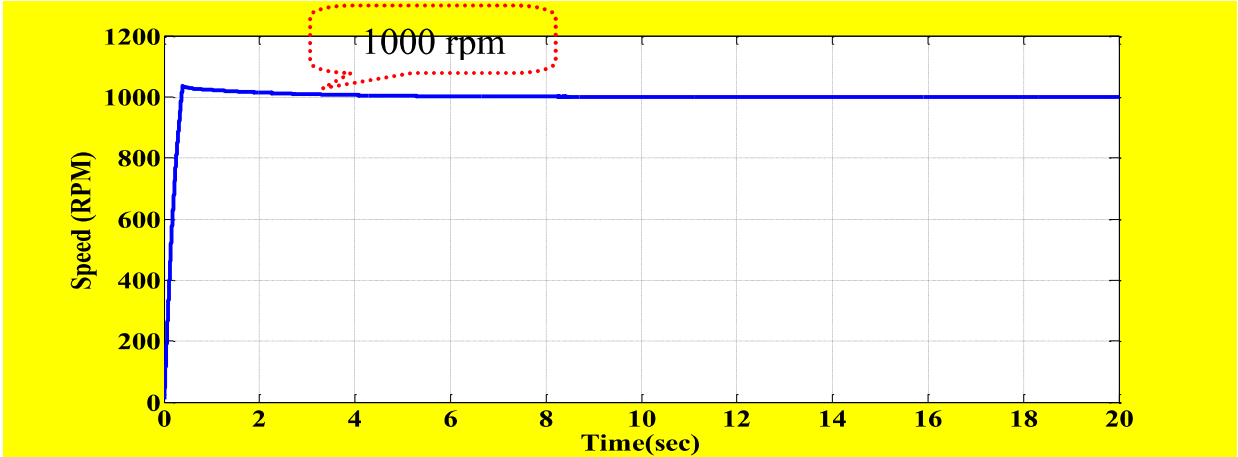
### 3.2.4.4.3\_ تحديد خوارزمية التدريب:

هناك خمسة أنواع من خوارزميات التعليم أو التدريب وهذه الأنواع تختلف عن بعضها البعض من حيث دقة النتائج وسرعتها للوصول إلى الهدف المطلوب بأقل عدد من دورات التكرارية وهذه الأنواع هي ( Traingd , Trainlm and Trainrp , Traingdx , Traingda ) [30]. في هذه الدراسة استخدمت خوارزمية trainlm إذ تبين أنها في التدريب توصلنا إلى الهدف المطلوب بأقل عدد من دورات التكرارية مقارنة مع الأنواع الأخرى من الخوارزميات.

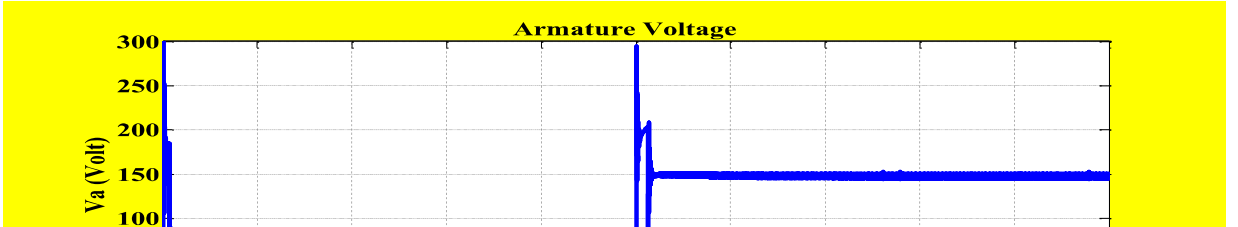
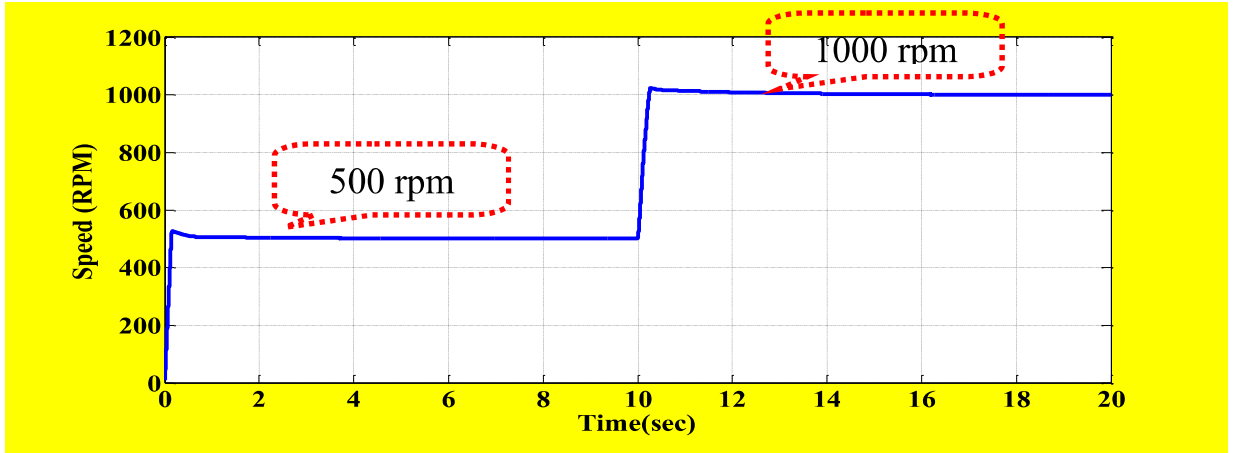
### 5.4.3 - استجابة الدائرة المغلقة لمنظومة السيطرة بوجود المسيطر ANN

الشكل ذو الرقم (3-20) يوضح الدائرة المغلقة لمنظومة السيطرة على سرعة المحرك باستخدام مسيطر ANN الذي سبق توضيحه في الفقرة السابقة (4.4.3)، ويبين الشكل ذو الرقم (3-21) استجابة سرعة المحرك 1000 rpm للدائرة المغلقة لمنظومة السيطرة بوجود مسيطر ANN عند تسليط الحمل على المحرك، والشكل ذو الرقم (3-22) يوضح سرعة المحرك 500 rpm إلى 1000 rpm وفولتية المنتج بوجود مسيطر ANN عند عدم تسليط الحمل على المحرك.

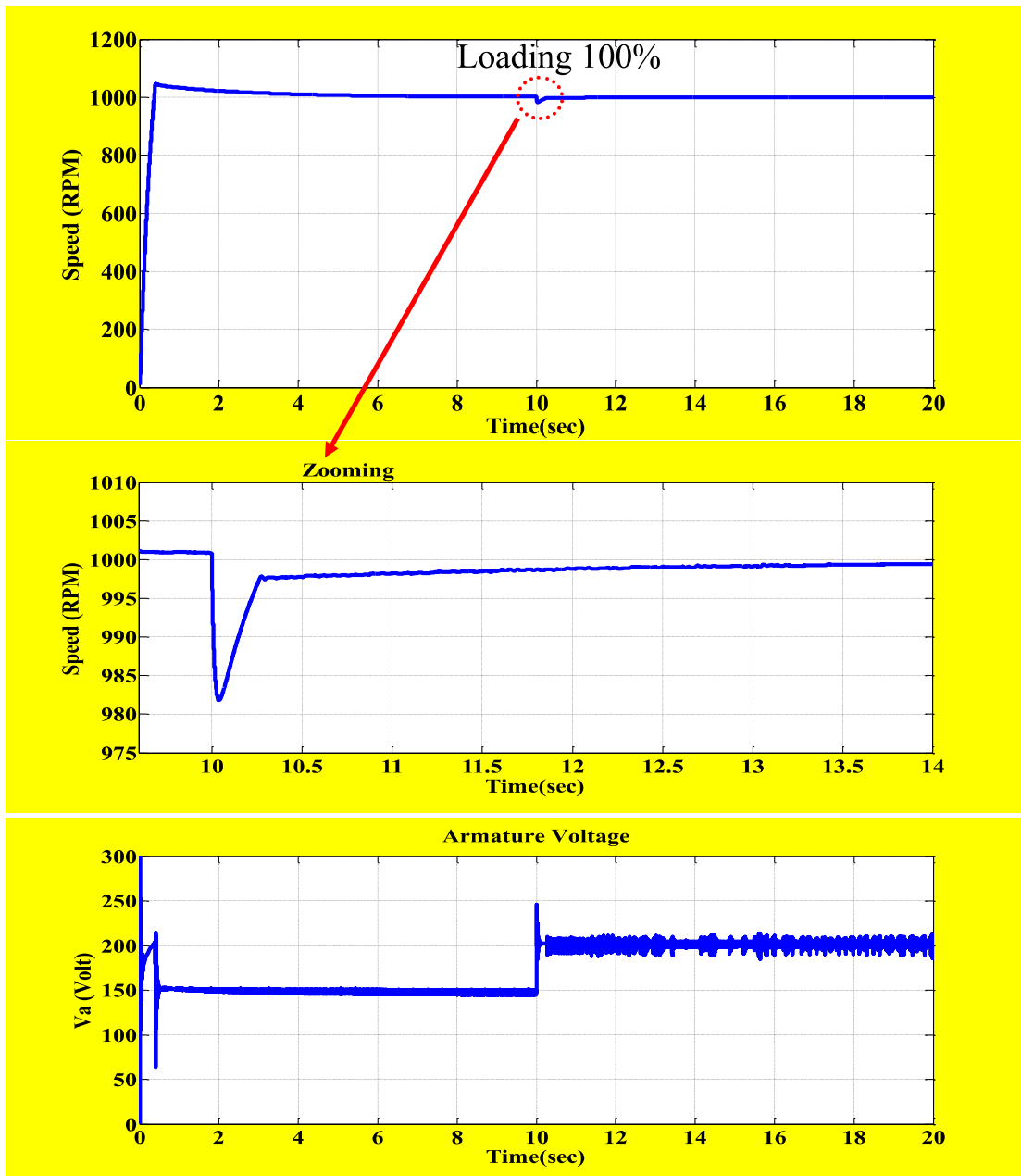




الشكل ذو الرقم(3-21) استجابة سرعة المحرك عند 1000 rpm للدائرة المغلقة بوجود مسيطر ANN



والشكل ذو الرقم(3-23) يوضح سرعة المحرك 1000 rpm وفولتية المنتج وتيار المنتج للدائرة المغلقة لمنظومة السيطرة بوجود مسيطر ANN عند تسليط حمل 100% من الحمل المقنن للمحرك .



تم في هذا الفصل تمثيل او نمذجة منظومة السيطرة التي سوف تصمم عملياً في الفصل الرابع باستخدام برنامج المحاكاة MATLAB/SIMULINK للتحكم بسرعة المحرك, وتتكون هذه المنظومة من محرك التيار المستمر منفصلة الاثارة, دائرة السوق للمحرك من النوع المغير الخافض للفولتية (Buck convertor) ودائرة توليد النبضات المنتظمة. وتم تصميم دائرة المغير الخافض بالاعتماد على تردد قدح الترانزستور القدرة نوع IGBT وقيم المقننة للمحرك المستخدم, وتم دراسة منظومة السيطرة ذات الحلقة المفتوحة لأجل اكتساب الخبرة الكافية عنها لتدريب الشبكة العصبية الاصطناعية الرقمية.

تم في هذا الفصل ايضاً تصميم كل من المسيطر التقليدي PID والمسيطر الذكي ANN باستخدام برنامج MATLAB للسيطرة على سرعة المحرك التيار المستمر واخذ استجابة السرعة والفولتية المنتج للمحرك وعند تسليط احمال مختلفة عليه ومقارنة أداء منظومة السيطرة من ناحية خصائص المحرك ذات الحيز الزمني (Time domain characteristics).

ويلاحظ هذا الفصل ان المسيطر الذكي ANN احسن واكفاً من المسيطر التقليدي PID من ناحية خصائص المحرك مثل ( $t_s, t_r, e_{ss}, P.O.Sh \%, t_d$ ).

## الفصل الرابع

### تحقيق مسيطر الشبكة العصبية الاصطناعية الرقمية وتنفيذه في الزمن الحقيقي للتحكم بسرعة محرك التيار المستمر

#### Introduction

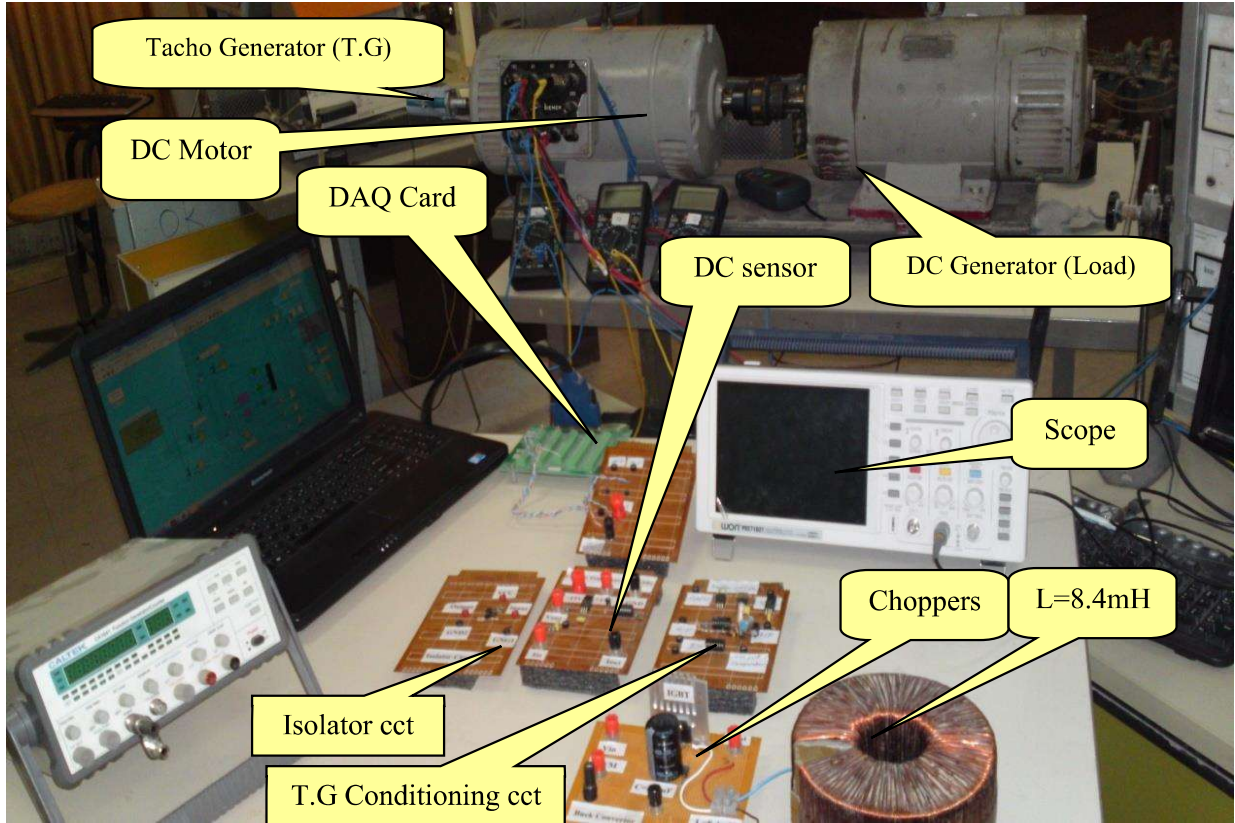
#### 1.4 المقدمة:

يمكن تحقيق الشبكات العصبية بطريقتين احدهما بالطريقة التناظرية والأخرى بالطريقة الرقمية وقد تمّ في هذا الفصل تحقيق مسيطر ANN رقمياً وبالزمن الحقيقي للسيطرة على سرعة محرك تيار المستمر, فضلاً عن وجود بطاقة اكتساب البيانات (DAQ Card) لقراءة نماذج الإدخالات وإخراج إشارة السيطرة. إن التنفيذ العملي لمنظومة سيطرة الشبكة العصبية للسيطرة على سرعة المحرك التيار المستمر في الزمن الحقيقي يتطلب تهيئة العديد من الأمور, أسس هذه التهيئة تكمن في عمل دراسة تحليلية موسعة وشاملة لكل الاتجاهات المتعلقة في التطبيق بحيث يضمن من خلالها الوصول إلى حالة التكافؤ بين أجزاء النظام, فضلاً عن ذلك كيفية التخلص من المعوقات التي قد تعيق عمل النظام كافة مثل اختلاف أنواع الإشارات والمديات التي تعمل بها وغيرها من المعوقات الأخرى.

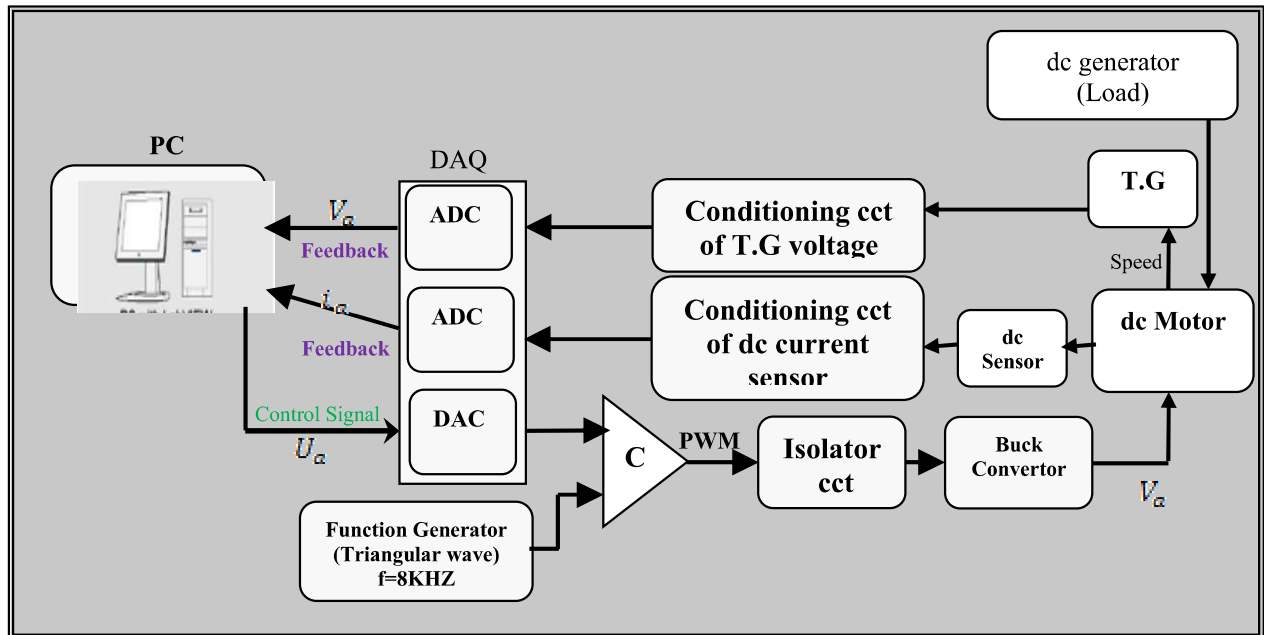
تضمن هذا الفصل تحقيق منظومة سيطرة ANN المستندة إلى مبدأ عمل المسيطر التقليدي PID (ANN Like PID Controller), تتألف المنظومة المصممة من جزأين مادي وبرمجي, يمثل الجزء المادي كما موضح بالشكل ذي الرقم (1-4) وحدة سيطرة ANN المتمثلة بالحاسوب ومحرك التيار المستمر المسيطر عليه فضلاً عن بطاقة اكتساب البيانات (DAQ) لعمل مواءمة بين الحاسوب الشخصي (PC) وبين العالم الخارجي الذي يمثل دائرة المغير الخافض ودوائر الغزل ودوائر تحسس التيار المستمر والدوائر التهيئة الالكترونية لتحسين وتكبير الإشارتين الأولى إشارة الناتجة من متحسس السرعة للمحرك (T.G) والثانية إشارة تيار المنتج للمحرك. أما الجزء البرمجي يتم في عملية مراقبة المنظومة باستخدام الحاسوب الشخصي عن طريق تصميم واجهة للمستخدم باستخدام برنامج MATLAB لتحديد سرعة المرجعية لمنظومة المحرك وملاحظتها فضلاً عن ملاحظة استجابة النظام بالاستعانة بطاقة اكتساب البيانات نوع (NI PCI-6251). الشكل ذو الرقم (2-4) يوضح المخطط الكتلي لمنظومة السيطرة.

وتضمن هذا الفصل شرحاً مفصلاً عن الدوائر العملية التي تم بناؤها مع النتائج العملية لفحص هذه الدوائر, وفحص نظام الحلقة المفتوحة والحلقة المغلقة لمنظومة السيطرة على سرعة المحرك التيار المستمر. في حين تضمن الجزء الأخير من الفصل استخدام المنظومة في عمليات التحكم بالسرعة وذلك بتحقيق التتابع لسرع مختلفة للمحرك ودراسة تأثير دقة تمثيل كل إدخال في استجابة النظام وملاحظة التأثير في أداء النظام عند استخدام نوعين من المسيطرات الأول مسيطر PID والثاني مسيطر ANN يكون قياس أداء

المسيطر المصمم عن طريق ملاحظة مواصفات استجابة النظام في الحيز الزمن مثل معرفة مدى استقراره، وتشمل النسبة المئوية لتجاوز الحد وزمن الارتفاع وزمن الاستقرار وخطأ حالة الثبوت.



الشكل ذو الرقم (1-4) مكونات المنظومة العملية



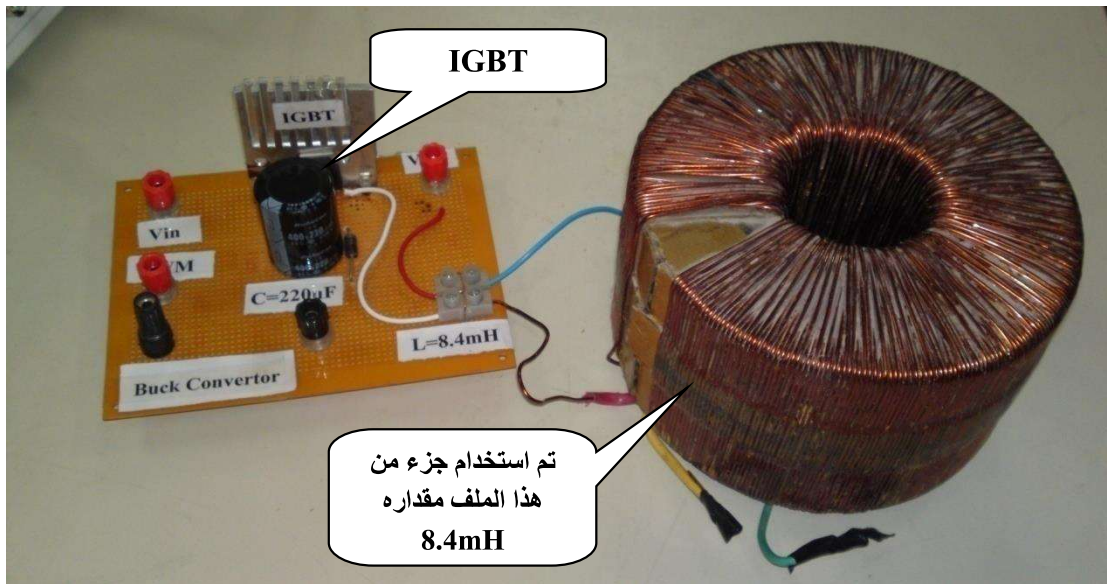
الشكل ذو الرقم (2-4) المخطط الكتلي للمنظومة السيطرة

## 2.4 مكونات منظومة السيطرة المصممة:

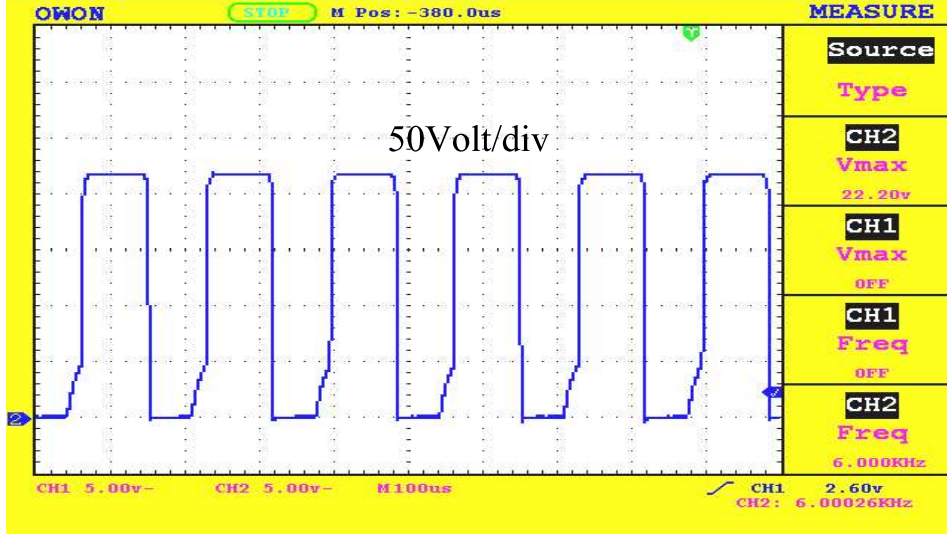
منظومة السيطرة المصممة عملياً للسيطرة على سرعة المحرك كما موضح في الشكل ذي الرقم (1-4) تتكون من محرك تيار المستمر ذي قدرة (1.3kW) وتم قياس ثوابته الكهربائية: مقاومة المنتج ( $R_a$ ) والمجال ( $R_f$ ) ومحاثة المنتج ( $L_a$ ) والمجال ( $L_f$ ), وقياس ثوابته الميكانيكية: عزم القصور الذاتي ( $J$ ) وعزم الاحتكاك ( $T_f$ ) وثابت الزمن للمحرك (Time constant) مبينة في الملحق (A), وتتكون منظومة السيطرة ايضاً من:

### 1.2.4- تصميم دائرة المغير الخافض (Buck circuit design):

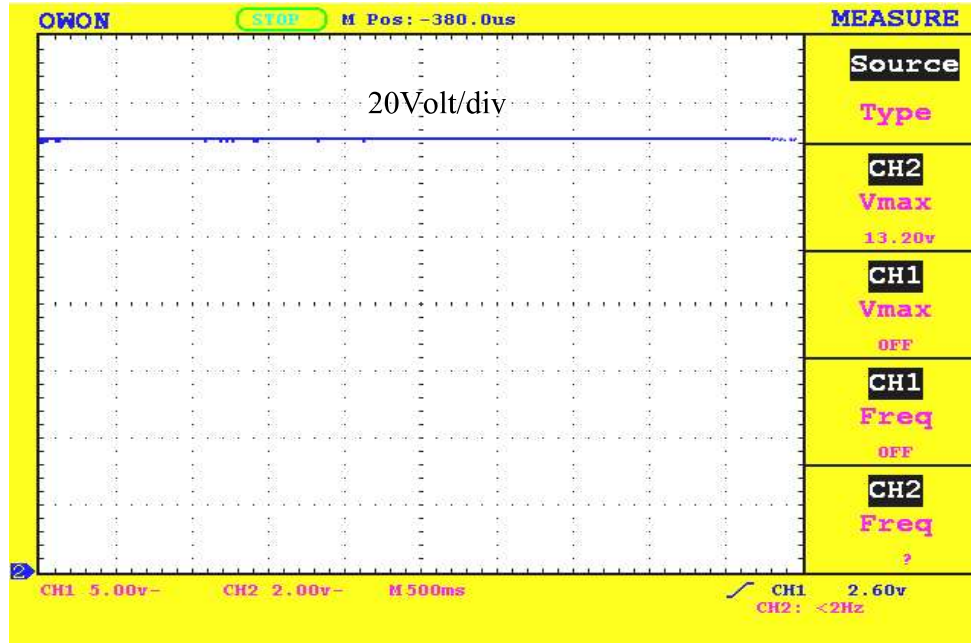
(الفقرة 2.3) أن تصميم دائرة المغير الخافض يعني معرفة قيم العناصر المناسبة التي يحتاجها المصمم لكل من المتسعة ( $C$ ) والملف ( $L$ ). ويعدان القيم الأساسية في الدائرة. والشكل ذو الرقم (3-4) يوضح الدائرة العملية لمغير التيار المستمر من نوع الخافض لسوق المحرك بوساطة فولتية المسلطة على المنتج للمحرك, وحساب قيمة كل من الملف والمتسعة لدائرة المغير الخافض تعتمدان على مقدار تموج في التيار الملف  $\Delta I_L$  وقيمة تموج في فولتية المتسعة  $\Delta V_C$  وشرط أن معدل مقدار التموج في تيار الملف  $\Delta I$  اقل من 15%, وتم إيجاد قيمة الملف من المعادلة (2-31) الذي يساوي  $L = 8.4mH$ , وإيجاد قيمة المتسعة من المعادلة (2-32) الذي يساوي  $C = 220\mu f$ , وإيجاد معدل التموج التيار من المعادلة (3-1) الذي يساوي  $\Delta I = 11.7\%$  مع ثبوت فولتية الإدخال للدائرة على 220 فولت والنسبة المئوية للتوصيل ثابتة على 50% وبتردد ثابت على 8KH وتيار الإخراج لدائرة المغير مساوية ل 7.3A. والشكلان (4-4) و(5-4) يوضحان فولتية المغير قبل المرشح وبعده على التوالي.



الشكل ذو الرقم (3-4) مكونات الدائرة العملية لمغير التيار المستمر الخافض للفولتية



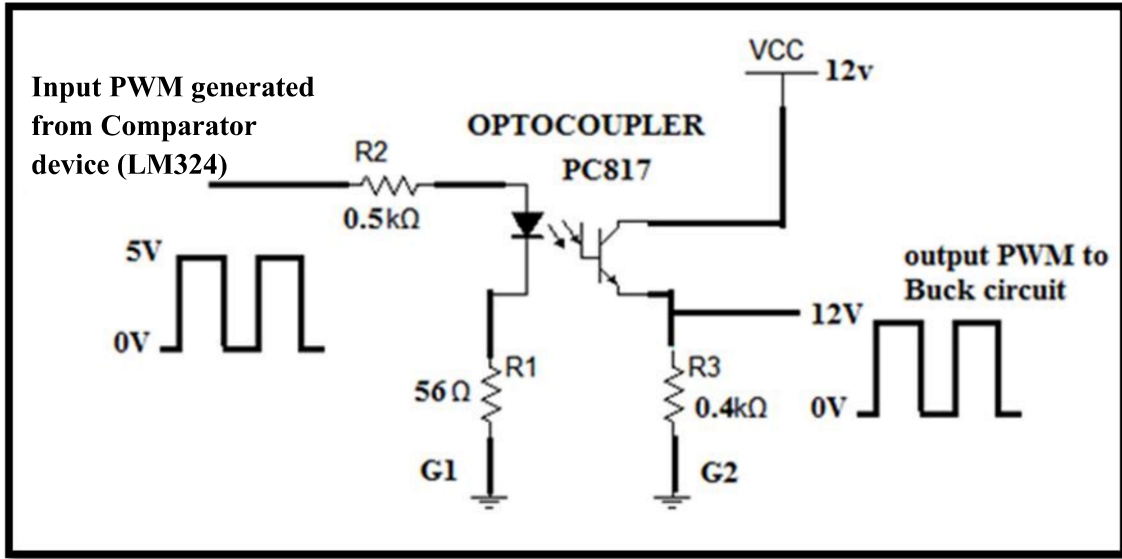
الشكل ذو الرقم (4-4) فولتية المغير الخافض قبل المرشح على أطراف الثنائي ونسبة توصيل 55%



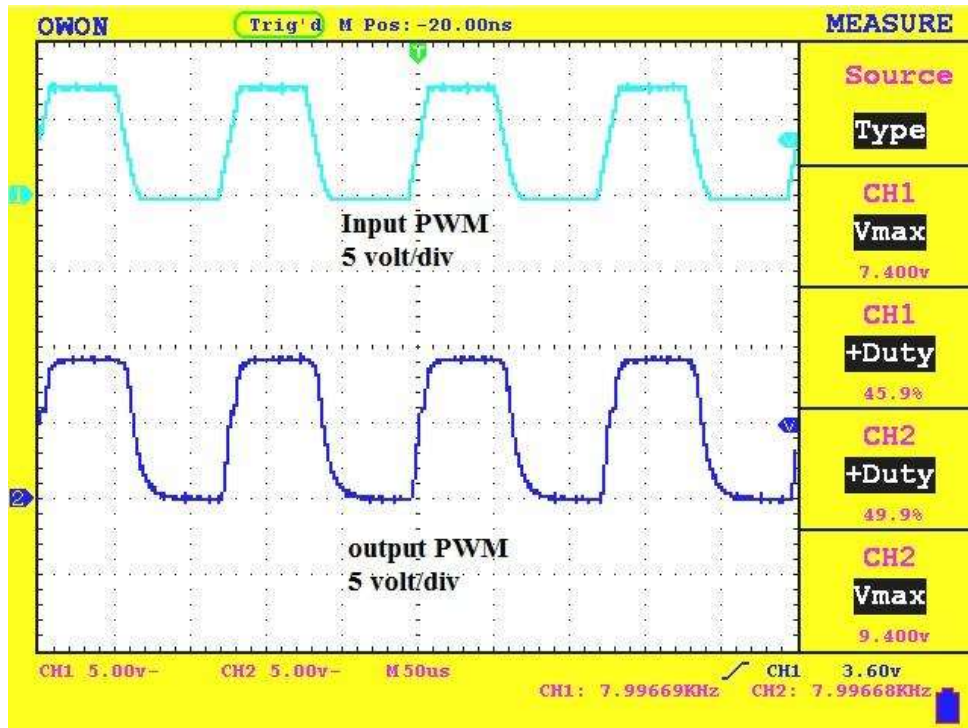
الشكل ذو الرقم (5-4) فولتية الإخراج للمغير الخافض ( فولتية المنتج ) ونسبة توصيل 55%

**2.2.4- دائرة العزل والكسب (Optocoupler and gain circuit):** تستخدم دوائر التعشيق الضوئي (Optocoupler circuits) لعزل دوائر السيطرة الالكترونية ذات القدرة المنخفضة عن دوائر القدرة العالية عزلاً فيزيائياً. واستخدمت دائرة التعشيق الضوئي (PC817) في الدائرة العملية التي تتميز بسرعة أدائها العالي كما موضح في الملحق (D). تعمل الدائرة العملية المبينة في الشكل ذي الرقم (4-6) على العزل

الفيزيائي ورفع قيمة القدحات, إذ يمكن أن تعمل على رفع قيمة القدحات المعزولة إلى حدود 20 فولت إذ تم في هذا البحث رفع قيمة القدحات الى 12 فولت, إلا أن الترانزستور المستخدم ذو بوابة معزولة (IGBT) يحتاج إلى دائرة سوق مبسطة (drive simplicity), وهذا من مزايا هذا الترانزستور (IGBT), وكذلك يعمل على ترددات عالية تصل إلى 100kHz كما موضح في الملحق (E). ويوضح الشكل ذو الرقم (4-6) دائرة العزل والكسب [31], والشكل ذو الرقم (4-7) يوضح إدخال وإخراج هذه الدائرة.



الشكل ذو الرقم (4-6) الدائرة العملية للعزل الفيزيائي ورفع إشارة القدح

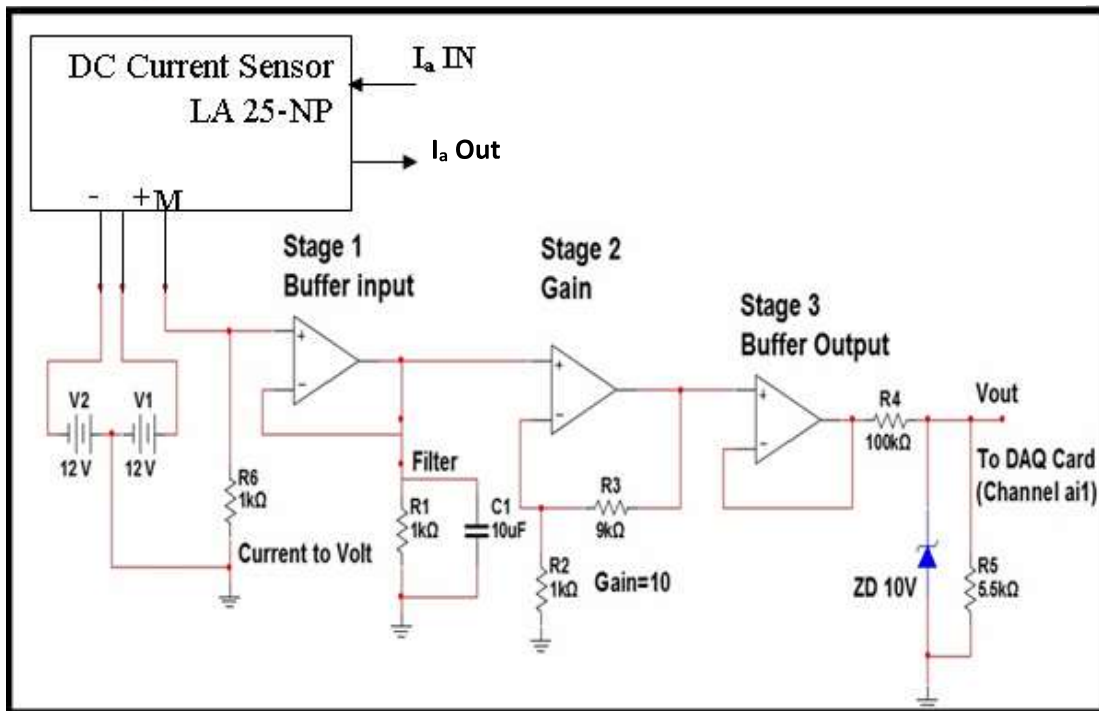


الشكل ذو الرقم (4-7) إدخال دائرة العزل الفيزيائي وإخراجها ورفع إشارة القدح

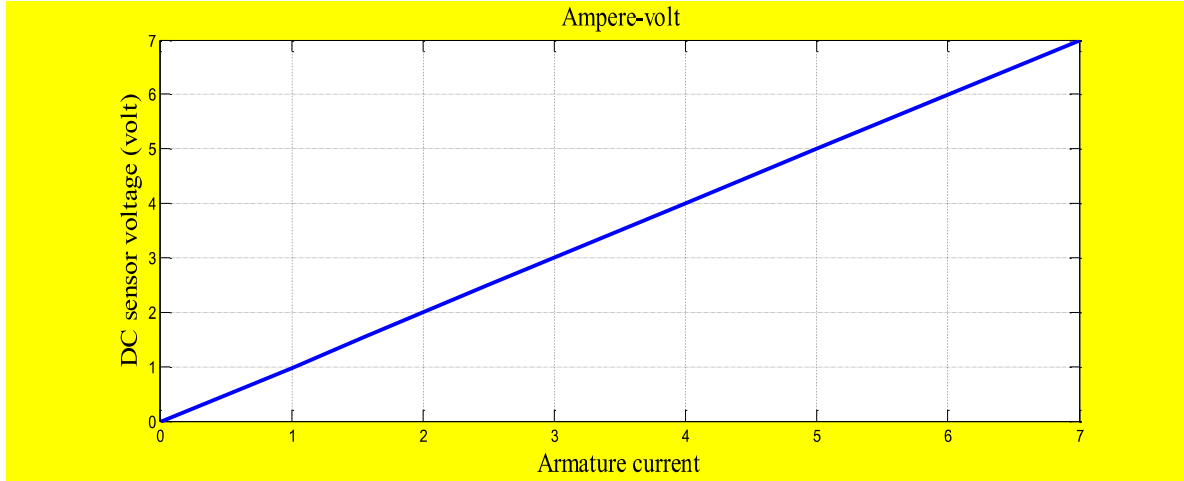
### 3.2.4- دائرة تحسس التيار المستمر (dc sensor circuit)(التيار المنتج):

إن الدائرة المتكاملة التي استخدمت لتحسس التيار المستمر هي (LA 25-NP) وتمتاز هذه الدائرة بالدقة العالية وبخاصية خطية ممتازة بين الإدخال والإخراج وزمن الاستجابة أمثل وقليلة التأثر بدرجة الحرارة، وعرض حزمة الترددات العالية إذ إنها تتحسس تيار متناوب ذي تردد 150kHz إلى التيار المباشر ذي تردد صفر (0HZ-100KHZ) وتتصف بأنها عديمة الخسائر للإدخال وكذلك لها القدرة على تحمل تيار الحمل المفرط وكذلك ممكن الاستفادة منه لتحمل تيار البدء لمحرك التيار المستمر كما موضح بالملحق (F). ووظيفة هذا النوع من المتحسسات للتيار يعمل على تحويل إشارة التيار العالي (تيار المنتج المراد تحسسه) إلى إشارة فولتية منخفضة ممكن التعامل بها مع الدوائر الالكترونية [32]. يوضح الشكل ذو الرقم (4-8) الدائرة التي تم بناؤها لتحسس تيار المنتج التي تمر بثلاث مراحل، مرحلة ماص الصدمات (Buffer) مع المرشح (Filter)، ومرحلة الكسب (Gain)، ومرحلة ماص الصدمات للإخراج، إلا أن الفولتية التي يتعامل بها DAQ Card لقنوات الإدخال (Max +/- 10V) لذا تحوّل من فرط تيار المنتج في الحالة العابرة عند بدء التشغيل، تم ربط ثنائي زينر (Zener diode) بفولتية (10volt) حماية لبطاقة DAQ، واستناداً إلى التيار المقنن للمنتج الذي قيمته (7.3A) يمكن حساب قيم مقاومات الكسب (R<sub>2</sub> and R<sub>3</sub>) من المعادلة ذات الرقم (4-1)، إذ إن التيار المقنن للمنتج يعادل أعلى إشارة فولتية الداخلة على DAQ Card، والعلاقة الخطية بين الإدخال والإخراج لدائرة المتحسس التيار المنتج كما مبين في الشكل ذي الرقم (4-9).

$$Gain = 1 + \frac{R_3}{R_2} \quad \dots \dots \dots (4-1)$$



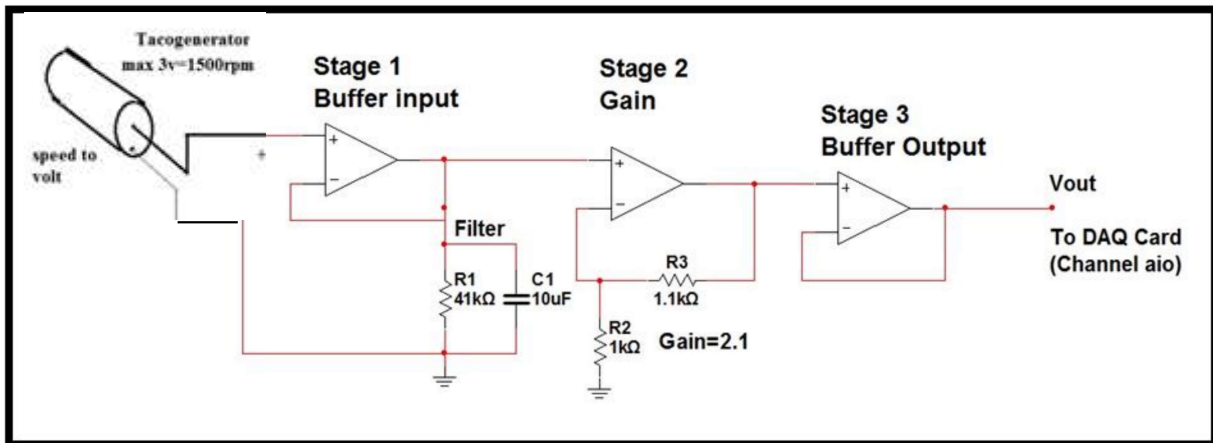
الشكل (8-4) متحسس تيار المنتج والدائرة الالكترونية لتهيئة إشارة التيار للدخول إلى DAQ Card



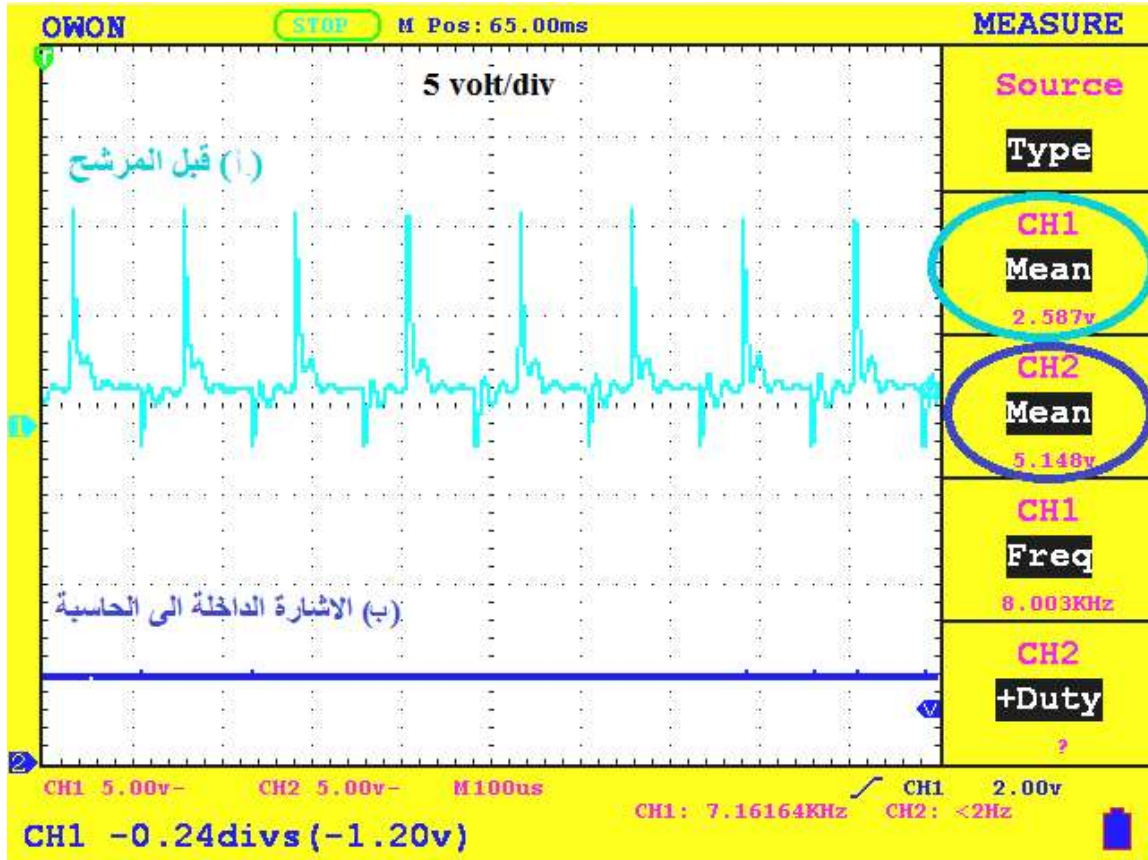
الشكل ذو الرقم (9-4) العلاقة بين تيار المنتج وفولتية متحسس التيار الداخلة إلى DAQ Card

#### 4.2.4- الدائرة الالكترونية لتحسين إشارة متحسس السرعة (T.G) وتكبيرها:

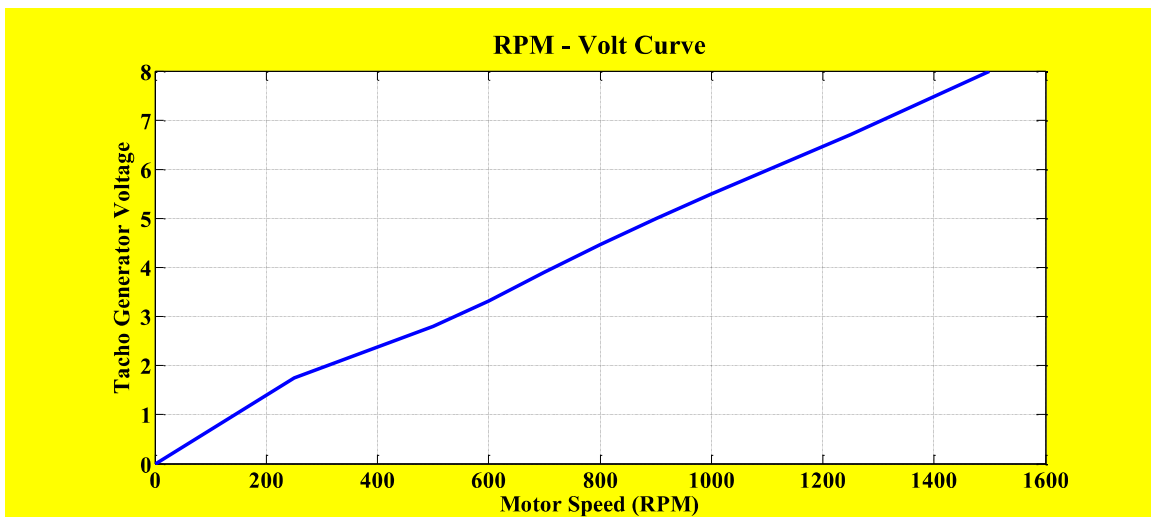
الدائرة العملية التي استخدمت لتهيئة فولتية متحسس السرعة (T.G) للمحرك كما موضحة بالشكل ذي الرقم (10-4) لكي يتعشق ويتعامل معها DAQ Card, علماً أن (T.G) للمحرك هي عبارة عن مولدة تيار مستمر تتناسب الفولتية المتولدة منها مع سرعة الدوران التي يدور بها المحرك والمعشق مع محور المحرك خارجياً، إلا أن الفولتية المتولدة منها تحتاج إلى مرشح بسبب التموج الكبير، كما مبين في الشكل ذي الرقم (4-11 أ) واستخدم مرشح ذات متسعة ومقاومة على التوازي، وحُصل على الإشارة الخارجة من المرشح هي إشارة تيار مستمر خالية من التموج، وبعد المرشح تمر الإشارة بمرحلة كسب لأجل تكبيرها، ومرحلة تعويض التيار أو ماص الصدمات (Buffer) لتعويض التيار الذي يسحبه بطاقة DAQ بدون التأثير على قيمة فولتية المتحسس. والشكل ذو الرقم (4-11 ب) يوضح شكل إشارة الفولتية الداخلة إلى الحاسوب عن طريق بطاقة DAQ بعد مرورها بالمرحلات الثلاث (مرحلة ماص الصدمات للإدخال، ومرحلة الكسب، ومرحلة ماص الصدمات للإخراج) والتي تكون ذات علاقة خطية مع السرعة وهذه العلاقة مبينة بالشكل ذي الرقم (4-12).



الشكل ذو الرقم (10-4) الدائرة العملية المستخدمة لتحسين إشارة (Tacho generator) وتكبيرها



الشكل ذو



الشكل ذو الرقم (4-12) العلاقة بين سرعة المحرك وفولتية (T.G) الداخلة إلى DAQ Card

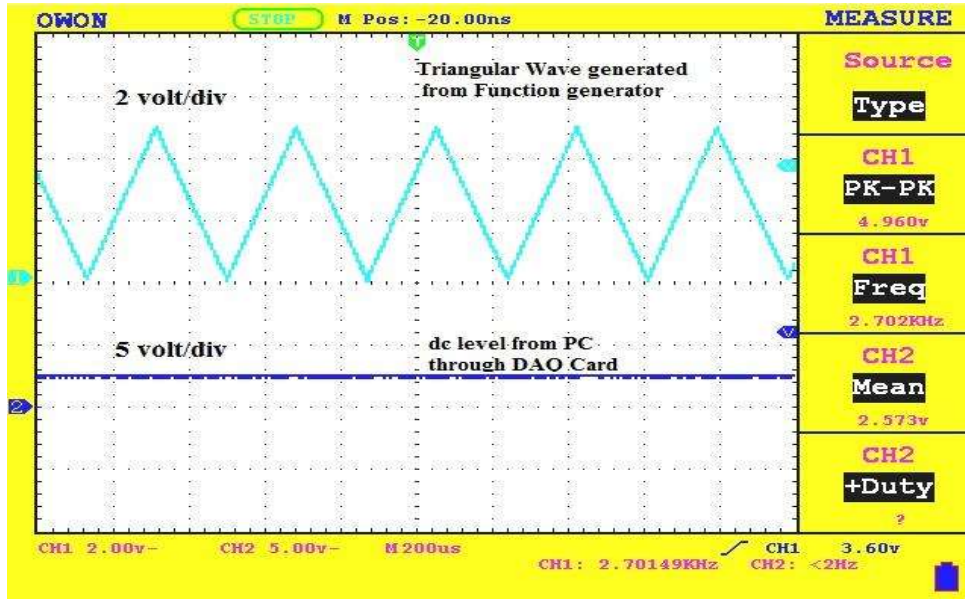
#### 5.2.4- بطاقة اكتساب البيانات (DAQ Card):

عند استخدام الأنظمة الرقمية وعلى سبيل مثال الحاسوب الشخصي (PC) لأغراض المراقبة والسيطرة يستوجب عمل مواءمة بين هذه الأنظمة والعالم الخارجي ويتم ذلك بواسطة بطاقة اكتساب البيانات (DAQ) نوع (NI PCI-6251) التي تتميز ببعض الخصائص الذي تم توضيحها في الملحق (G), وتقوم بطاقة اكتساب البيانات بعملية تحويل الإشارات الداخلة والخارجة من صيغة إلى أخرى (تناظرية أو رقمية) لتسهيل التعامل مع الإشارات من منظومة السيطرة (دوائر السوق للمحرك) من جهة والنظام المسيطر عليه (PC) من جهة أخرى. تقوم بطاقة (DAQ) المستخدمة في هذه الرسالة بعملية تحويل (إشارة التغذية العكسية (Feed back) التي تمثل الإشارة الناتجة من متحسس السرعة (T.G) وإشارة تيار المنتج للمحرك اللتين ستدخلان إلى المسيطر (PC) كما موضح في الشكل ذي الرقم (4-2)) من القيمة التناظرية إلى القيمة الرقمية ويتم ذلك باستخدام المحول التناظري الرقمي (ADC) أما إشارة السيطرة الخارجة من مسيطر الشبكة العصبية الاصطناعية التي سوف تسوق النظام وتُحوّله من القيمة الرقمية إلى القيمة التناظرية لتقوم بسوق النظام المسيطر عليه ويتم ذلك باستخدام المحول الرقمي التناظري (DAC)[33]. تم بناء الدالة المنغرسة (Embedded matlab function) في برنامج MATLAB لأجل استخدامها كقناة اخراج للبطاقة DAQ والتي من خلالها تم إخراج إشارة السيطرة (Control signal) من الحاسبة الى منظومة السيطرة, لان قناة الادخال والاخراج لبطاقة DAQ لم يعمل في آن واحد ضمن نفس واجهة التصميم للمستخدم باستخدام برنامج MATLAB/SIMULINK.

#### 6.2.4- دائرة توليد إشارة تضمين عرض النبضة (PWM Signal):

ثم توليد إشارة PWM عن طريق دائرة المقارنة (شريحة LM324) التي تقارن بين الإشارة المثلثية (triangular wave) ذات اتساع من القمة إلى القمة (5 Vp.p) وتردد 8KHZ والمتولدة خارجياً عن طريق مولد الإشارات (Function generator) وبين إشارة المستوى (dc Level) التي تمثل إشارة السيطرة الخارجة من وحدة سيطرة (PC with MATLAB/ ANN Controller Tool Box) من خلال قنوات الإخراج الخاصة ببطاقة اكتساب البيانات (DAQ Card). وقد تم استخدام هذه الدائرة بدلاً من توليد الإشارة داخل الحاسوب عن طريق برنامج MATLAB, وذلك لان تعامل بطاقة اكتساب البيانات مع برنامج MATLAB تكون بالترددات القليلة جداً بينما مع برنامج LABVIEW V8 تكون بالترددات القليلة والعالية, وإشارة PWM التي نحتاجها لأجل التحكم بترانزستور القدرة ذي بوابة المعزولة (IGBT) لدائرة

السوق المحرك على تردد 8KHZ. والشكل ذو الرقم (4-13) يوضح موجة المثلثية المتولدة من مولد الإشارات وإشارة المستوى الخارجة من الحاسوب من خلال بطاقة اكتساب البيانات.

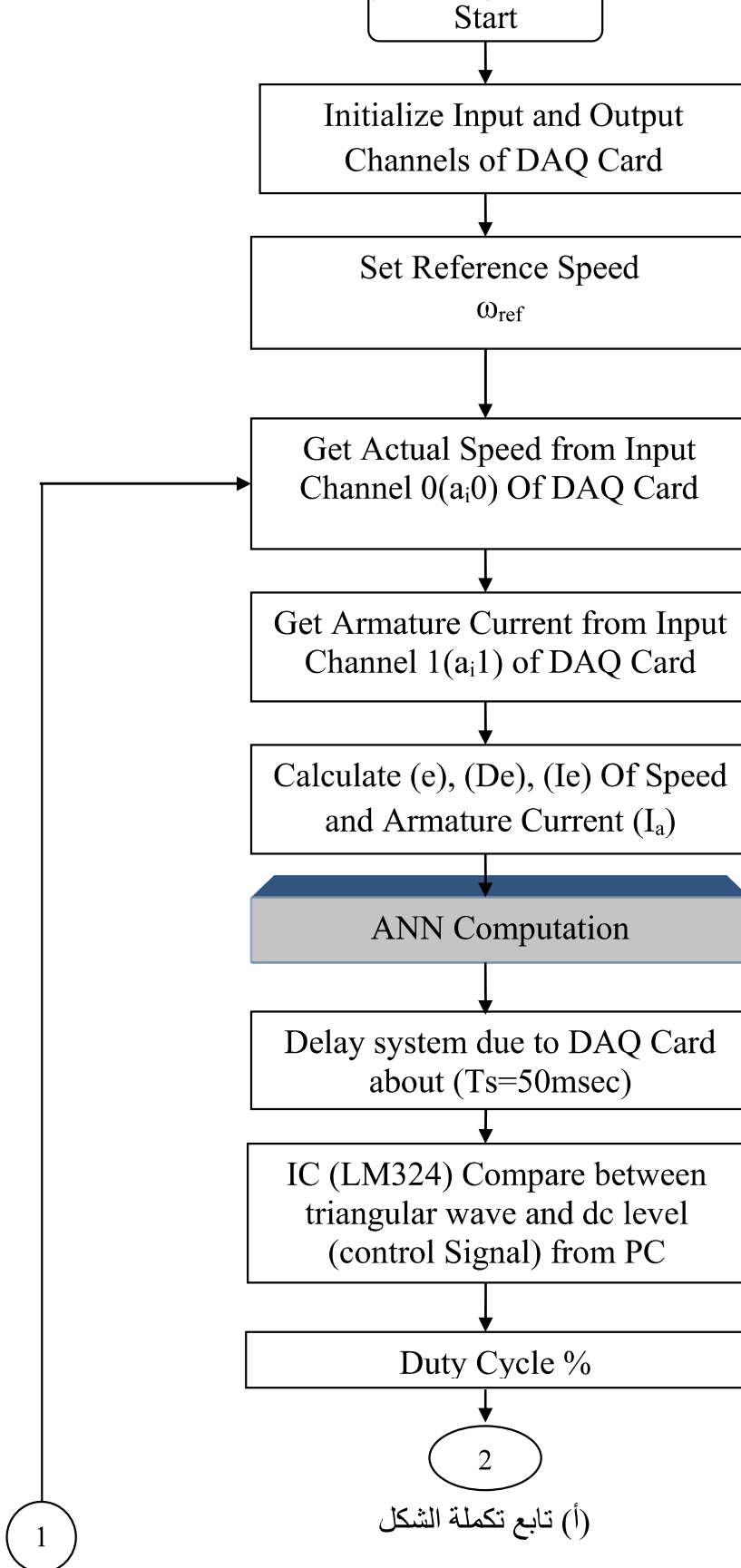


الشكل ذو الرقم (4-13) يوضح الإشارة المثلثية المتولدة من مولد الإشارات وإشارة المستوى الخارجة من وحدة سيطرة ANN من خلال DAQ Card

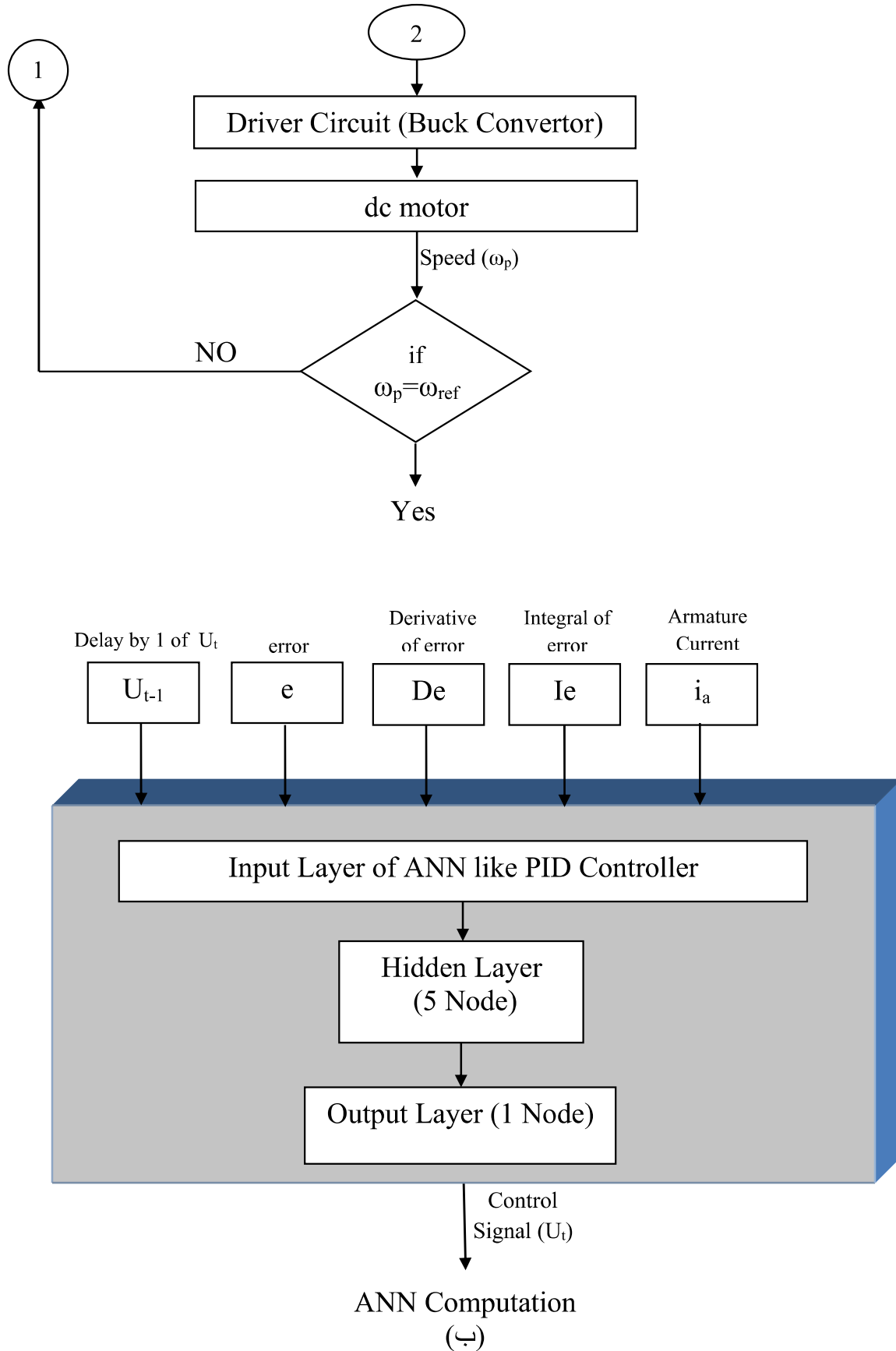
#### 7.2.4- وحدة سيطرة الشبكة العصبية الاصطناعية:

وحدة سيطرة ANN تمثل الحاسوب الشخصي (PC) مع استخدام برنامج (MATLAB/SIMULINK) ضمن أداة الشبكات العصبية (ANN Tool), وتعدّ وحدة السيطرة الجزء الأساس في منظومة السيطرة إذ تقوم هذه الوحدة باستقبال إشارة التغذية العكسية (إشارة متحسس السرعة (T.G) وإشارة التيار المنتج ) من بطاقة اكتساب البيانات (DAQ), وبالاعتماد على طرح قيمة الإشارة المرجعية ( $\omega_{ref}$ ) عن إشارة التغذية العكسية (إشارة T.G) ثمّ حساب قيم كل من الخطأ (error)(e) والتغير في الخطأ (Derivative of error)(De) وتكامل إشارة الخطأ (Integral of error)(Ie), ووفق عنوان جدول سيطرة الشبكة العصبية(الجدول ذو الرقم (4-1)) تقوم وحدة السيطرة بإخراج إشارة السيطرة ( $U_t$ ) المناسبة لهذه الإدخالات وإخراج الناتج النهائي الذي يمثل إشارة السيطرة إلى المنظومة عبر بطاقة اكتساب البيانات, والشكل ذو الرقم (4-14 أ) يوضح المخطط الانسيابي لبرنامج سيطرة الشبكة العصبية الاصطناعية للتحكم على سرعة المحرك التيار المستمر من خلال التحكم بفولتية المنتج, والشكل ذو الرقم(4-14 ب) يبين المخطط الانسيابي للمسيطر الشبكة العصبية الاصطناعية (ANN Controller) ذات شبكة الانتشار العكسي التي تتكون من

ثلاث طبقات, طبقة الإدخال التي تتكون من خمس عقد (5 Nodes) وطبقة الخفية المتكون من خمس عقد  
(5 Nodes) وطبقة الإخراج المتكون من عقدة واحدة (1 Nodes).



(أ) تابع تكملة الشكل



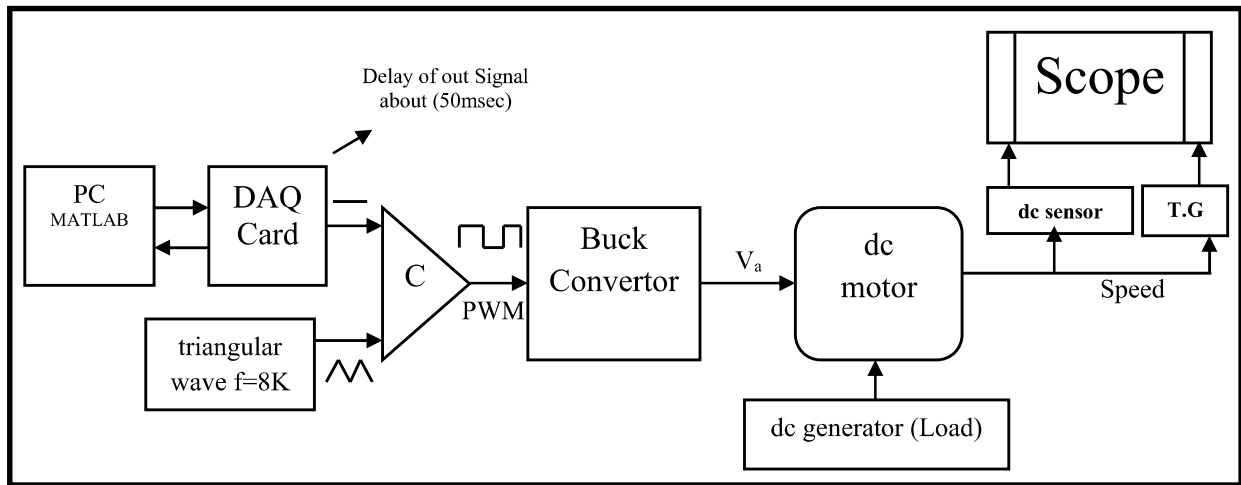
الشكل ذو الرقم (4-14) المخطط الانسيابي لبرنامج سيطرة الشبكة العصبية الاصطناعية

(أ) البرنامج الرئيس, (ب) المخطط الانسيابي للمسيطر ANN

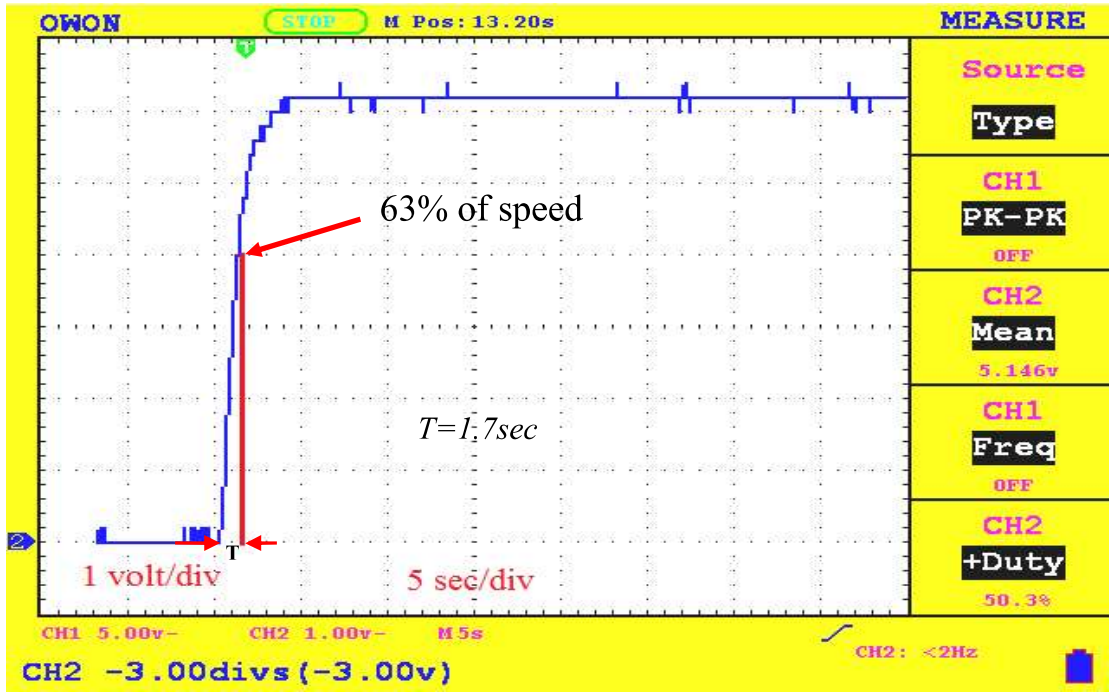
### 3.4- نظام الحلقة المفتوحة لمنظومة السيطرة المصممة عملياً للتحكم على سرعة المحرك:

الهدف الرئيس من نظام الحلقة المفتوحة هو اكتساب الخبرة الكافية لأجل بناء مسيطر الشبكة العصبية وتدريب واكتساب الخبرة العملية عن المنظومة, إذ تم أخذ عدة قراءات كما الموضح بالجدول ذي الرقم(4-1) لعدة سرع للمحرك وتسجيل فولتية المنتج لكل سرعة والتيار المنتج الذي يكون مؤشراً عن الحمل المسلط على المحرك واخذ قراءة فولتية إشارة التغذية الخلفية العكسية(T.G voltage signal) والداخلة إلى وحدة السيطرة من خلال بطاقة اكتساب البيانات (DAQ Card) لكل السرعة للمحرك, ويمكن حساب قيمة ثابت الزمن (Time constant) لمحرك التيار المستمر من خلال أخذ استجابة سرعة المحرك في حالة ربط الحلقة المفتوحة للمنظومة للسيطرة للتحكم بسرعة المحرك ومع ثبوت فولتية المجال المقننة وعند عدم تسليط الحمل عليه وذلك بحساب الزمن عند وصول السرعة إلى نسبة 63% من السرعة التي تدور بها المحرك. إخراج وحدة السيطرة (إشارة السيطرة)( $U_i$ ) يتأخر بزمن(50msec) من خلال بطاقة اكتساب البيانات ( DAQ Card), وبهذه المدة تستطيع وحدة السيطرة أخذ قراءة إدخال وحساب الإخراج المناسب وفق المسيطر لكي يستجيب المحرك.

الشكل ذو الرقم (4-15) يبين المخطط الكتلي لمكونات المنظومة العملية ذات الحلقة المفتوحة, إذ تم أخذ القراءات لكل من إشارة الفولتية الناتجة من متحسس السرعة والتيار المنتج وبالأحمال مختلفة , والشكلان ذوا الرقمين(4-16) و(4-17) يوضحان استجابة الخطوة لسرعة المحرك عند ربط نظام الحلقة المفتوحة لمنظومة السيطرة.



الشكل ذو الرقم (4-15) المخطط الكتلي لتوضيح مكونات الحلقة المفتوحة لمنظومة السيطرة



الشكل ذو الرقم (4-16) استجابة السرعة للدائرة المفتوحة لمنظومة السيطرة عند نسبة التوصيل 50%



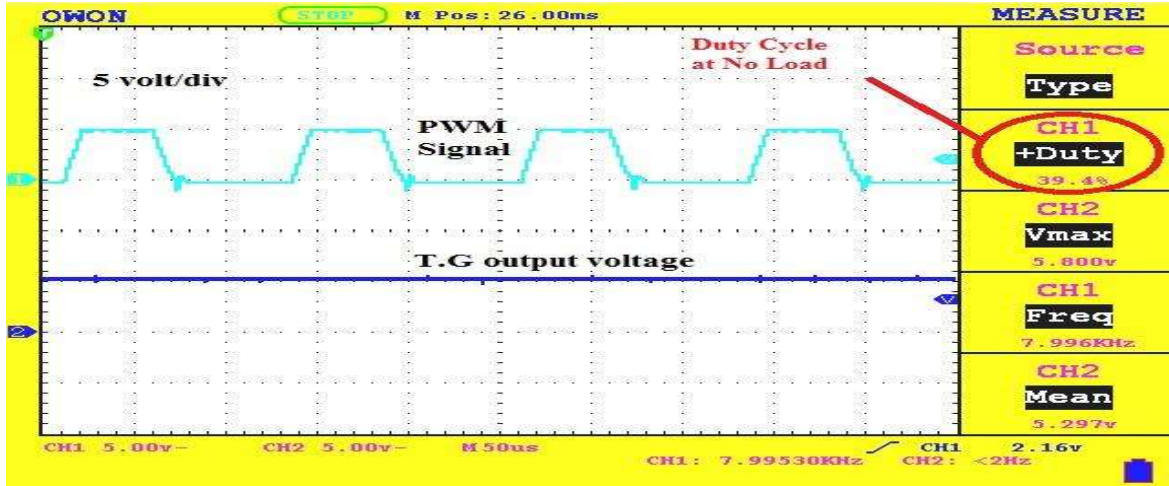
الشكل ذو الرقم (4-17) استجابة العملية لسرعة المحرك للحلقة المفتوحة (ما قبل المسيطر) للمنظومة العملية عند

نسبة التوصيل 100%

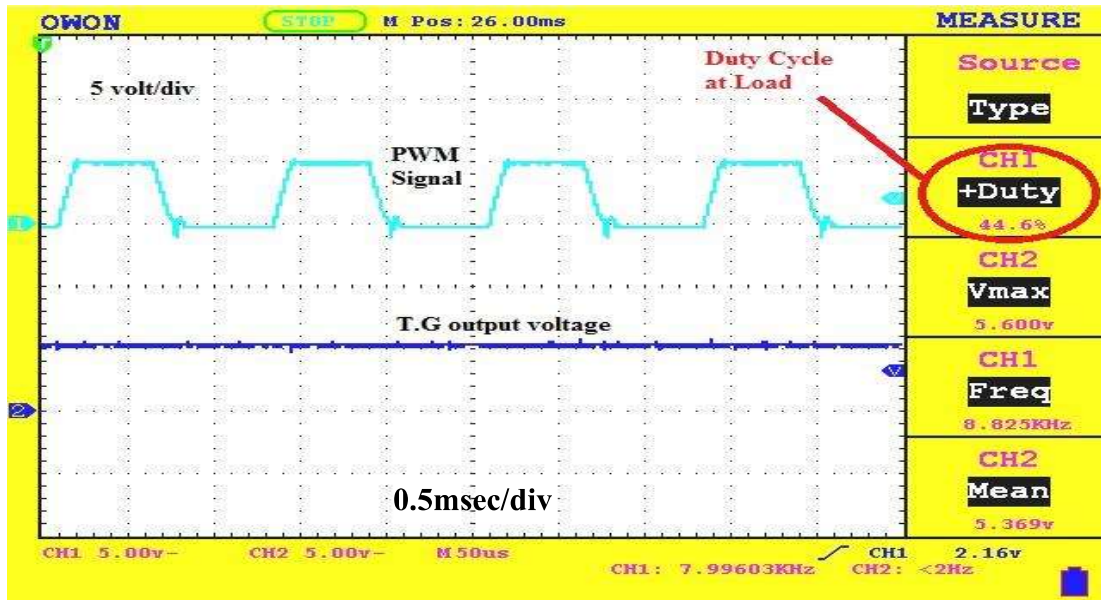
الجدول ذو الرقم (1-4) عينة من بيانات سلوك الحلقة المفتوحة لمنظومة السيطرة

Motor Speed (rpm)	Armature Voltage (Volt) ( $V_a$ )	Armature Current (A) ( $I_a$ )	Tacho Generator Voltage (Volt)	dc level form PC (DAQ)	Duty ratio %	Apply load through dc Generator (A)
250	32	0.72	2.42	0.575	14	0
500	68	0.77	3.1	0.97	22	0
750	100	0.785	4.2	1.47	31	0
1000	134	0.8	5.3	1.9	39.5	0
1250	166	0.85	6.8	2.45	50	0
1500	208	0.88	8.1	3	61	0
500	78	2.1	3.5	1.2	28	2
1000	166	2.35	5.84	2.2	45	2

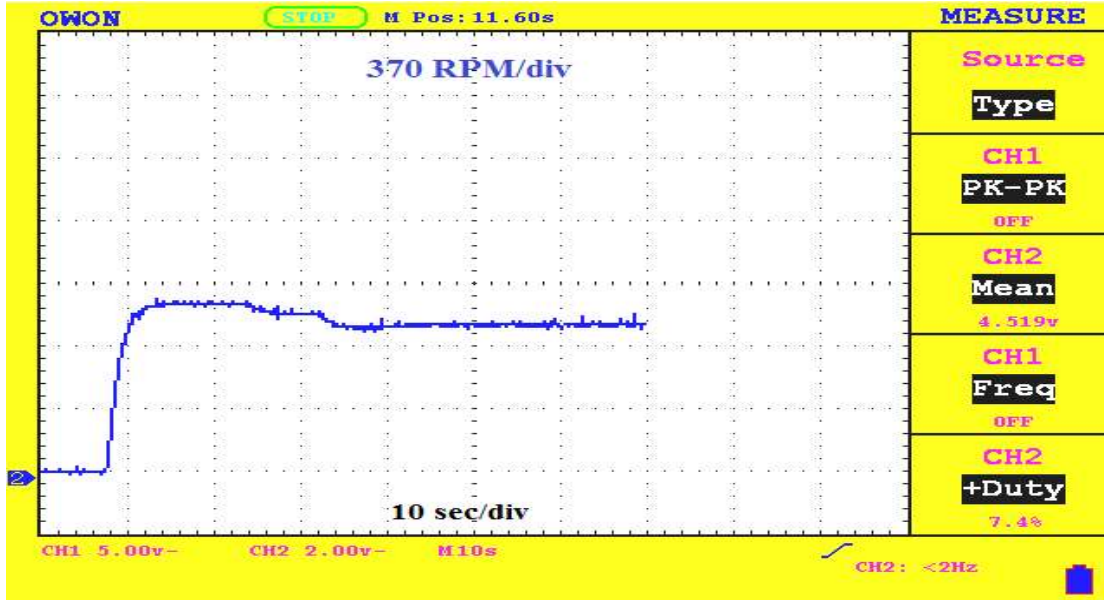
في حال ربط نظام الحلقة المفتوحة لمنظومة السيطرة للتحكم بسرعة المحرك من خلال التحكم بنسبة التوصيل (Duty ratio) لإشارة تضمين عرض النبضة (PWM Uniform) والذي تم ذلك من خلال تغيير قيمة إشارة المستوى (dc Level) الخارجة من وحدة السيطرة (PC), فضلاً عن وجود بطاقة اكتساب البيانات (DAQ Card), ويوضح الشكل ذو الرقم (4-18) الإشارة المتولدة من متحسس السرعة (T.G) للمحرك عند سرعة 1000 rpm وحالة اللاحمل مع إشارة تضمين عرض النبضة, وتأكيداً للقراءات العملية الموضحة بالجدول ذي الرقم (1-4) أن فولتية متحسس السرعة مساوية بـ 5.4 Volt عندما تكون نسبة التوصيل مساوية بـ 39.5% وهذا يدل على أن المحرك يدور بسرعة دوران 1000 rpm عند عدم تسليط الحمل, أما عند تسليط الحمل نلاحظ في الشكل ذي الرقم (4-19) إن نسبة التوصيل زادت من القيمة السابقة إلى 45% وسرعة المحرك 1000 rpm للدائرة المفتوحة موضحة بالشكل ذي الرقم (4-20).



الشكل ذو الرقم



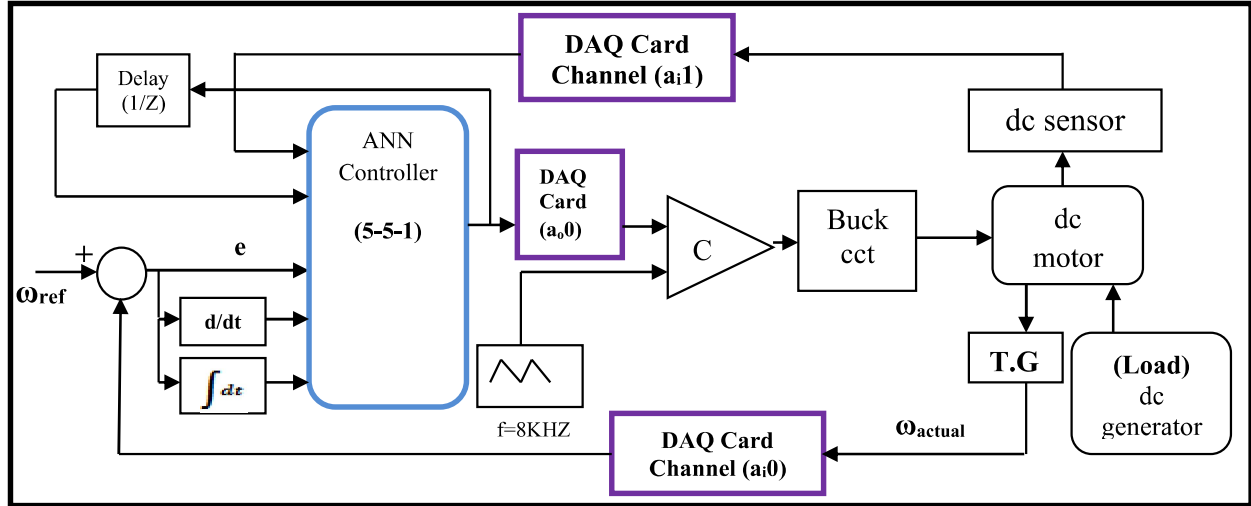
الشكل ذو الرقم (4-19) إشارة تضمين عرض النبضة وإشارة متحسس السرعة للمحرك عند 1000 rpm للدائرة المفتوحة لمنظومة السيطرة بوجود حمل مسلط (2A)



الشكل ذو الرقم (4-20) سرعة المحرك 1000 rpm للدائرة المفتوحة لمنظومة السيطرة

**4.4- نظام الحلقة المغلقة لمنظومة السيطرة المصممة عملياً للتحكم على سرعة المحرك:**  
تتضمن هذه المنظومة مكونات المنظومة العملية التي تم توضيحها في الشكل السابق (4-1) وربطها كما مبين في الشكل ذي الرقم (4-21)، إذ يتم تحسس تيار المنتج من خلال متحسسات التيار (dc current sensor)، وتحويل سرعة المحرك إلى فولتية من خلال متحسس السرعة (T.G) يمكن لوحدة السيطرة أن يتعامل معها، لذا تكون هناك إشارتان تدخلان إلى الحاسوب من خلال بطاقة اكتساب البيانات، أما بالنسبة إلى المسيطر ANN فتكون هناك خمس إشارات إليه، الأولى إشارة الإخراج (إشارة السيطرة)  $U_{t-1}$  بعد والثانية إشارة التيار المنتج ( $i_a$ ) والإشارات الثلاث الأخرى يتم توليدهم برمجياً داخل الحاسوب باستخدام برنامج المحاكاة (MATLAB/SIMULINK) وهي إشارة الخطأ ( $e$ ) والتي هي الفرق بين إشارة المرجع ( $\omega_{ref}$ ) وإشارة ( $\omega_{actual}$ )، وإشارة التغير في الخطأ ( $De$ ) (مشتقة إشارة الخطأ)، وإشارة تكامل الخطأ ( $Ie$ ). تم بناء

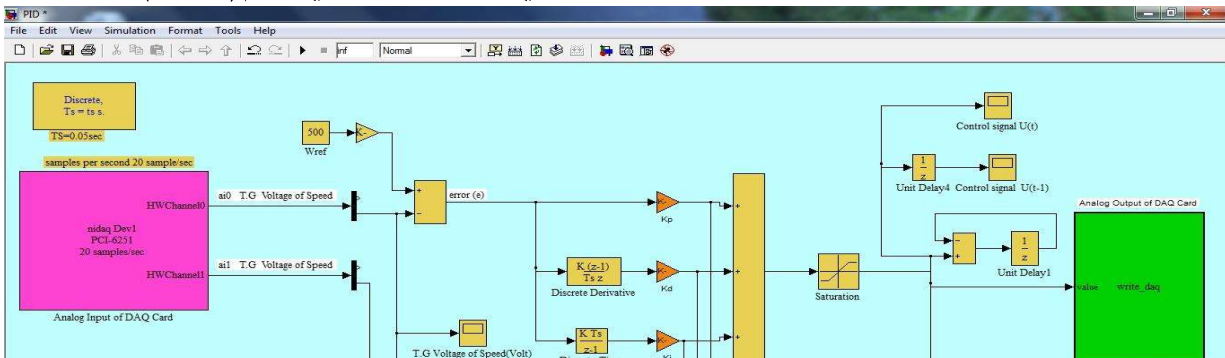
كتلة (Embedded Matlab Function) من خلال برنامج M\_file/MATLAB الموضحة في الملحق (H) من أجل استخدامها كقناة إخراج لبطاقة اكتساب البيانات (a<sub>0</sub>).



الشكل ذو الرقم (4-21) المخطط الكتلي للدائرة المغلقة لمنظومة السيطرة للتحكم بسرعة المحرك

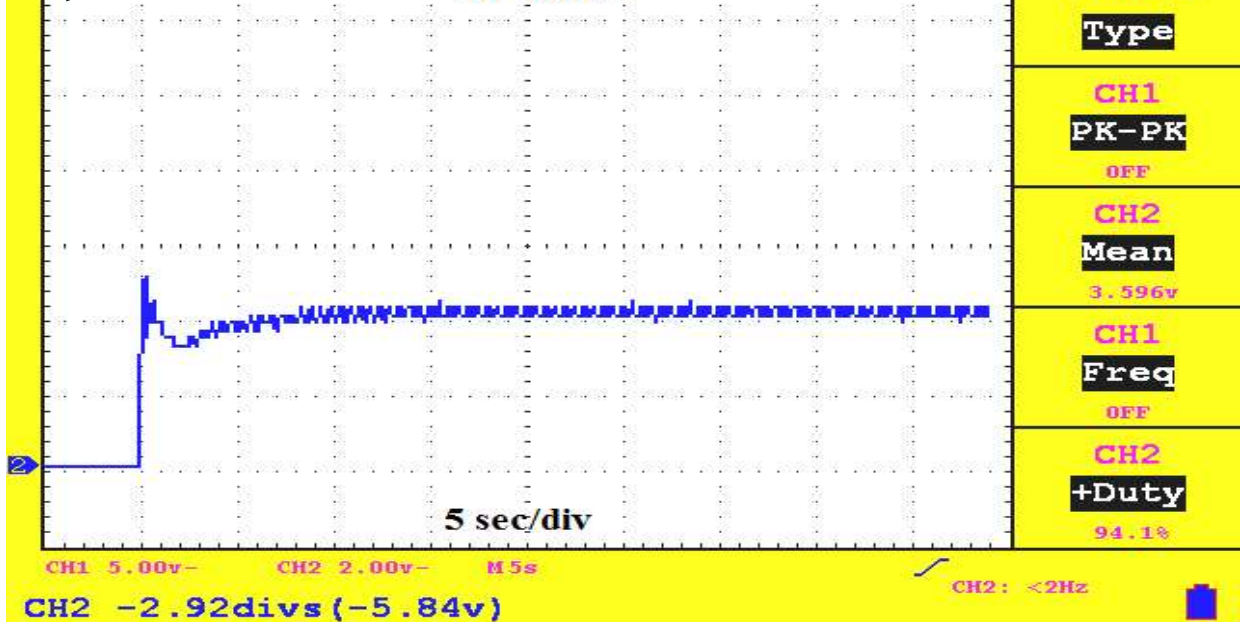
#### 1.4.4- استجابة الدائرة المغلقة لمنظومة السيطرة المصممة عملياً بوجود المسيطر PID:

تم إيجاد معاملات الكسب للمسيطر التقليدي ( $K_p, K_i, K_d$ ) بطريقة زيكلر-نيكولاس على النحو الآتي:  $K_p=0.4, K_d=0.0001, K_i=0.16$ . الشكل ذو الرقم (4-22) يوضح نظام الحلقة المغلقة للسيطرة على سرعة المحرك مع المسيطر التقليدي PID وتم إدخال الإشارات وإخراجها من وإلى الحاسوب عن طريق بطاقة اكتساب البيانات، واستجابة هذا النظام عند السرعة المرجعية 500 rpm تم توضيحها بالشكل ذي الرقم (4-23)، وفولتية المنتج للنظام قد تم توضيحها بالشكل (4-24)، كما وضحت سرعة المحرك 1000 rpm للدائرة المغلقة لمنظومة السيطرة بوجود المسيطر التقليدي PID بالشكل ذي الرقم (4-25).

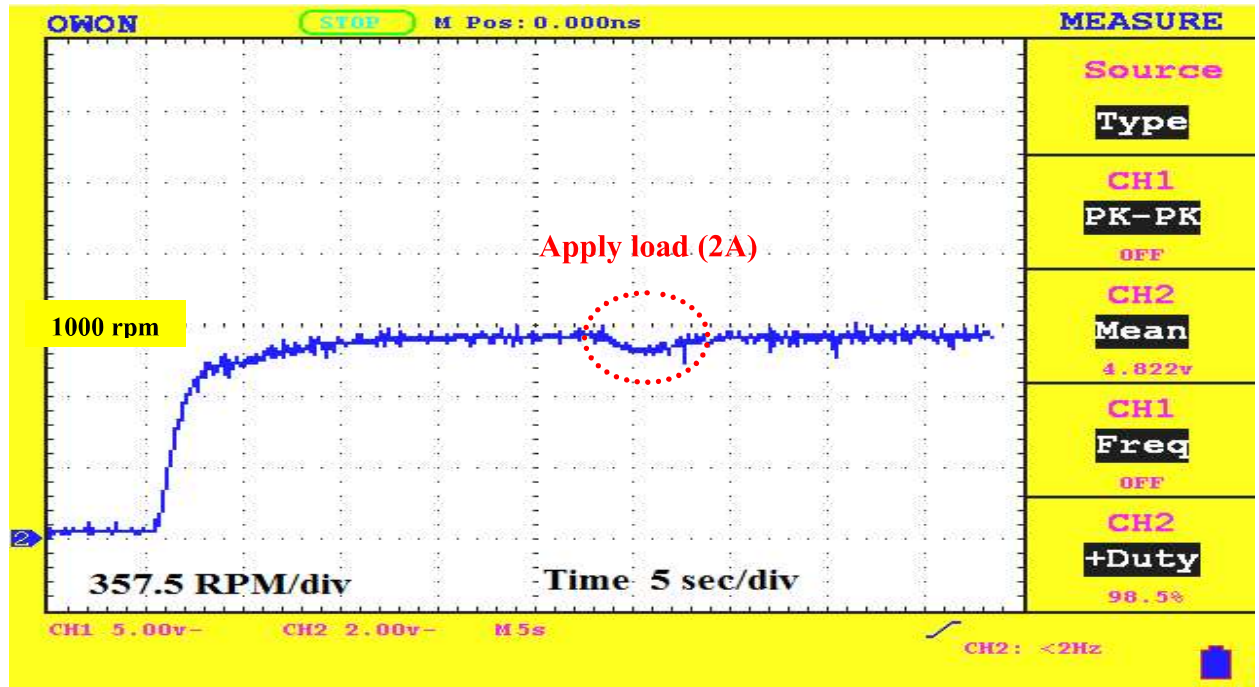




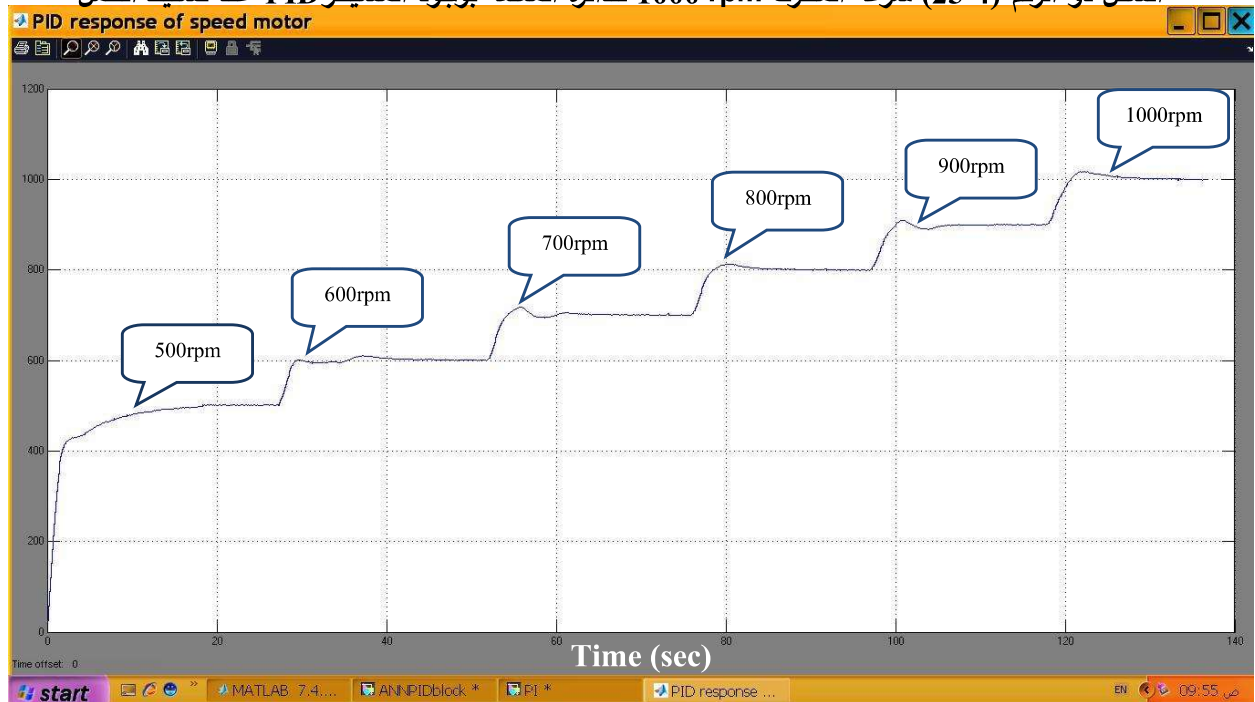
الشكل ذو الرقم (4-23) استجابة العملية لسرعة المحرك عند 500 rpm بوجود مستيثر PID ومع تسليط حمل (2A) وإزالته



الشكل ذو الرقم (4-24) فولتية المنتج للمحرك عند السرعة المرجعية 500 rpm بوجود مستيثر PID وحالة اللاحمل



الشكل ذو الرقم (25-4) سرعة المحرك 1000 rpm للدائرة المغلقة بوجود المسيطر PID عند تسليط الحمل



الشكل ذو الرقم (26-4) استجابة العملية لتتابع سرعة المحرك عند تغيير السرعة المرجعية 500 rpm إلى 600 rpm إلى

700 rpm إلى 800 rpm إلى 900 rpm ومن ثم إلى 1000 rpm للمنظومة العملية بوجود المسيطر PID

#### 2.4.4- استجابة الدائرة المغلقة لمنظومة السيطرة المصممة عملياً بوجود المسيطر ANN:

الشبكة العصبية الاصطناعية المستخدمة لأجل التحكم بسرعة المحرك من نوع شبكة انتشار العكسي والمتكون من ثلاث طبقات, طبقة إدخال مكونة من خمس عقد ( $e, De, Ie, i_a, U_{t-1}$ ) وطبقة الخفية مكونة من خمس عقد وطبقة الإخراج مكونة من عقدة واحدة ( $U_t$ ). الجدول ذو الرقم (4-2) يبين جزءاً من بيانات سلوك منظومة السيطرة مع المسيطر التقليدي PID وذلك بأخذ عينات من استجابة الحالة العابرة لإشارات الإدخال ( $e, De, Ie, i_a$  and  $U_{t-1}$ ) وإشارة الإخراج ( $U_t$ ) للشبكة العصبية وبالاعتماد على هذه البيانات تم تدريب ANN ذات حجم (1-5-5).

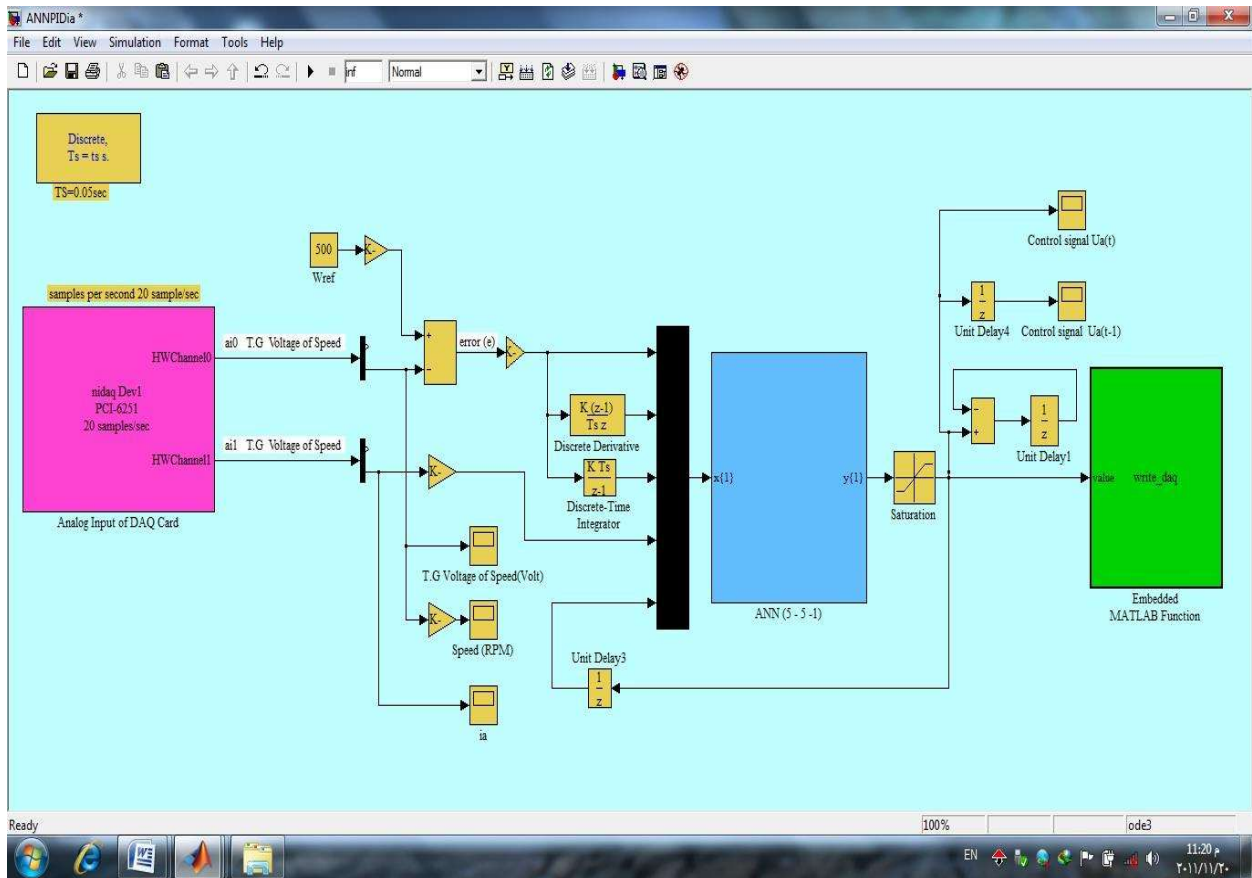
الجدول ذو الرقم (4-2) بيانات سلوك منظومة السيطرة مع المسيطر PID من اجل تدريب مسيطر ANN

Time Samples of transient response for PID	Inputs/Output of ANN	500rpm	600rpm	700rpm	800rpm	900rpm	1000rpm
t=0sec	e	26.3	5.53	5.6	5.51	5.54	5.62
	De	263	55.6	55	55.6	56	56.2
	Ie	0	59	70	82	93.5	106
	$i_a$	4.6	1.7	1.65	1.56	1.5	1.4
	$U_{t-1}$	1.175	1.18	1.35	1.5	1.715	1.92
	$U_t$	1.175	1.18	1.35	1.5	1.715	1.92
t=3sec	e	5.7	-0.645	2.9	3	2.2	5.4
	De	0	-5.25	-3.78	-4.1	-4	-3.9

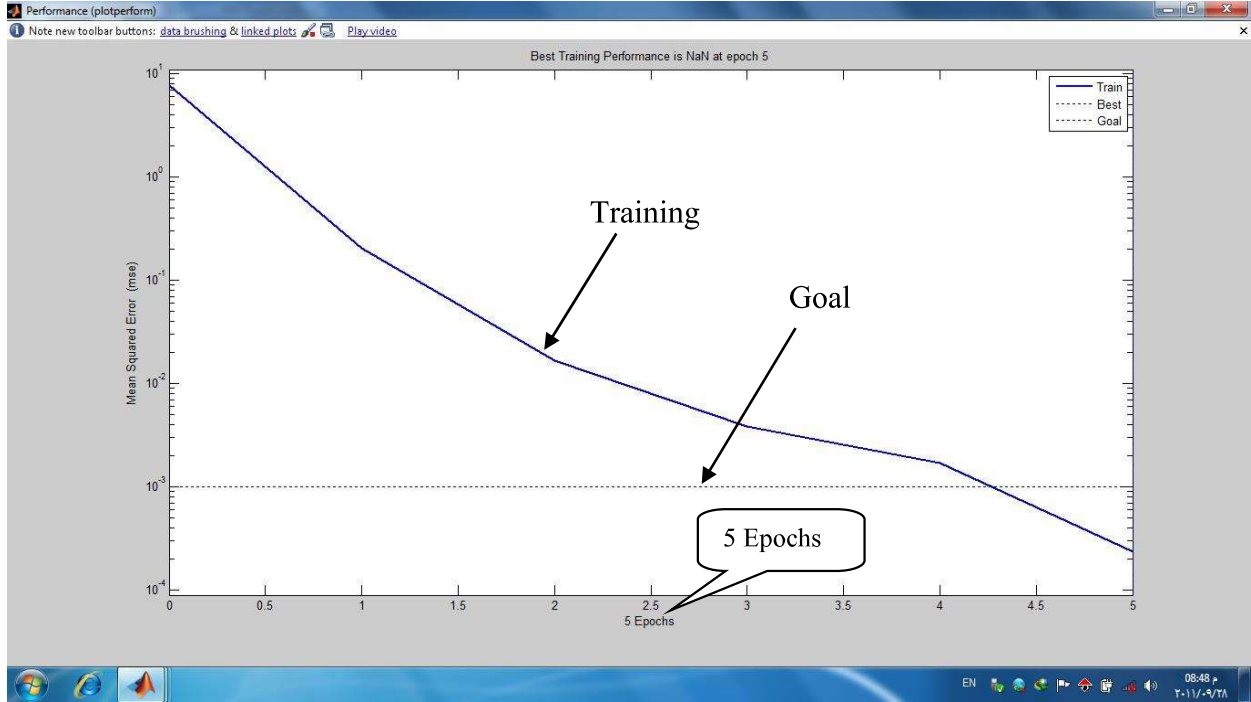
	Ie	35	70.35	62.6	94.55	106.95	119.85
	i <sub>a</sub>	0.684	0.615	0.595	0.618	0.62	0.658
	U <sub>t-1</sub>	0.63	1.25	1.45	1.65	1.85	2.075
	U <sub>t</sub>	0.63	1.25	1.45	1.65	1.85	2.075
t=5sec	e	3.6	-0.05	-0.16	-0.7	-0.8	-0.2
	De	-1.2	0.5	1.56	0.5	0.51	0.75
	Ie	45	96.7	81	93.4	105.92	121.45
	i <sub>a</sub>	0.759	0.708	0.725	0.714	0.725	0.726
	U <sub>t-1</sub>	0.83	1.1	1.3	1.51	1.7	1.86
	U <sub>t</sub>	0.83	1.1	1.3	1.51	1.7	1.86
t=10sec	e	0.862	0.07	0.03	-0.016	-0.062	-0.16
	De	-0.09	0.1	-0.1	0	0.1	0.3
	Ie	55	69.9	81.25	93.25	105.61	118.64
	i <sub>a</sub>	0.71	0.697	0.714	0.725	0.736	0.737
	U <sub>t-1</sub>	0.915	1.11	1.3	1.48	1.68	1.9
	U <sub>t</sub>	0.915	1.11	1.3	1.48	1.68	1.9
t=20sec	e	0.034	0.052	0.017	0.015	0.012	0.0218
	De	-0.045	0.7	-0.12	0.08	0	0
	Ie	58.4	70	81.6	93.35	105.8	119
	i <sub>a</sub>	0.696	0.708	0.7188	0.719	0.736	0.745
	U <sub>t-1</sub>	0.94	1.12	1.306	1.49	1.69	1.86
	U <sub>t</sub>	0.94	1.12	1.306	1.49	1.69	1.86

تم تدريب الشبكة العصبية الاصطناعية ذات حجم (1-5-5) على ضوء البيانات الموضحة بالجدول ذي الرقم (4-2) من خلال برنامج MATLAB / M\_file وقد وُضِحَ البرنامج بالملحق (I)، وبعد تدريب الشبكة حُصِلَ على قيم الأوزان وقيم الانحياز لكل طبقة من الطبقات الثلاث للشبكة، والشكل ذو الرقم (4-27) يوضح ربط منظومة الحلقة المغلقة للسيطرة على سرعة المحرك بوجود مسيطر ANN.

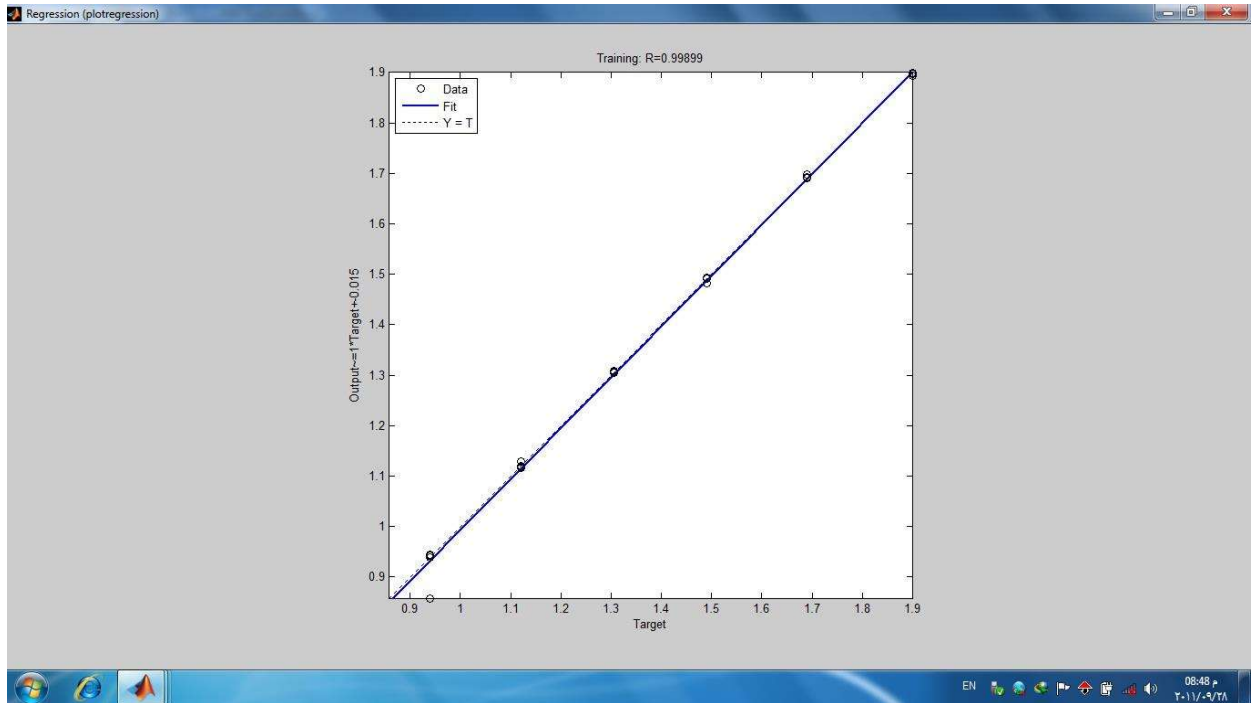
كما ذكرنا سابقاً في الفصل الثالث أن آلية تنفيذ ANN تعتمد على تحديد كل من عدد العقد في الطبقة الخفية للشبكة، وتحديد أفضل دالة تنشيط في إدخال الشبكة وإخراجها وتحديد أفضل خوارزمية تدريب للشبكة، وقد تم اختيار خمس عقد للطبقة الخفية واختيار الدالة الملتوية نوع  $\text{tansig}$  في إدخال الشبكة والدالة الخطية  $\text{Purelin}$  في إخراجها، وتم اختيار خوارزمية  $\text{trainlm}$  لتدريب الشبكة، وبهذا الاختيارات أعطت الشبكة أعلى سرعة في الوصول إلى الهدف من ناحية عدد الدورات التكرارية للوصول إلى الهدف إذ وصلت إلى الهدف بعد 5 دورات تكرارية كما موضح بالشكل ذي الرقم (4-28)، والشكل ذو الرقم (4-29) يبين تلاؤم بين قيم إخراج الشبكة وقيم الهدف.



الشكل ذو الرقم (4-27) نظام الحلقة المغلقة لمنظومة السيطرة على سرعة المحرك بوجود مسيطر ذكي ANN

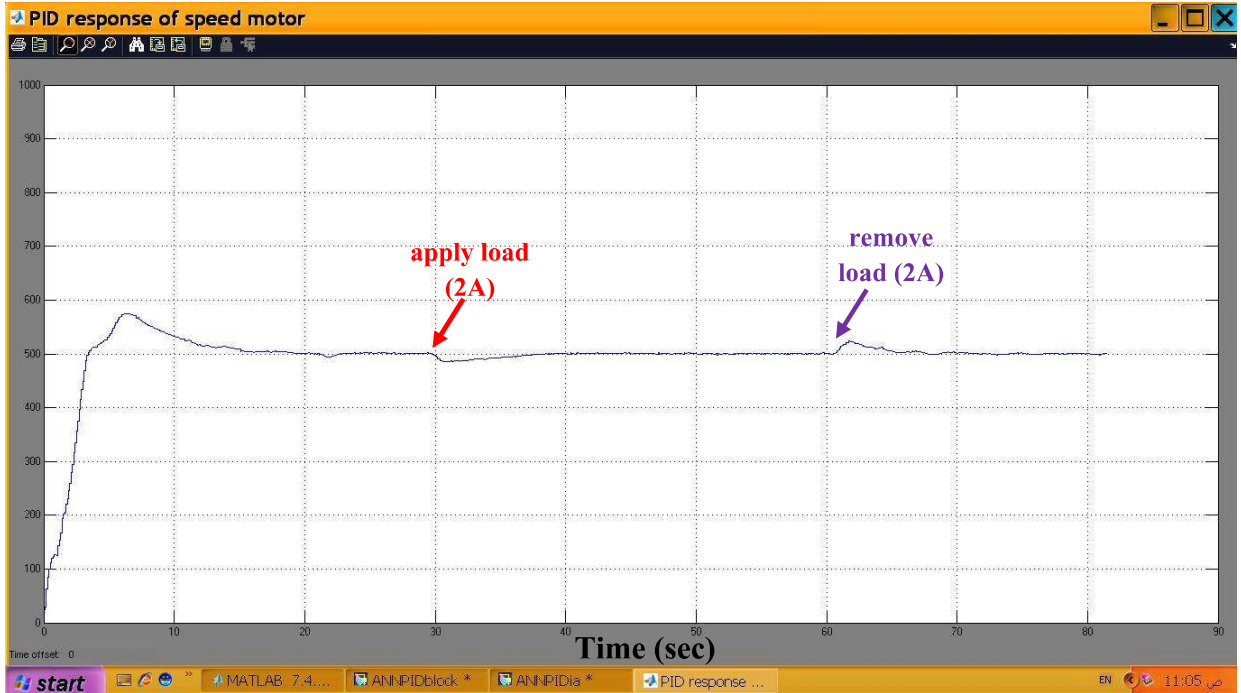


الشكل ذو الرقم (28-4) تدريب الشبكة العصبية الصناعية باستخدام الخوارزمية (trainlm) مع استخدام دالة (tansig) في الإدخال ودالة (Purelin) في الإخراج وعدد الدورات التكرارية للوصول إلى الهدف

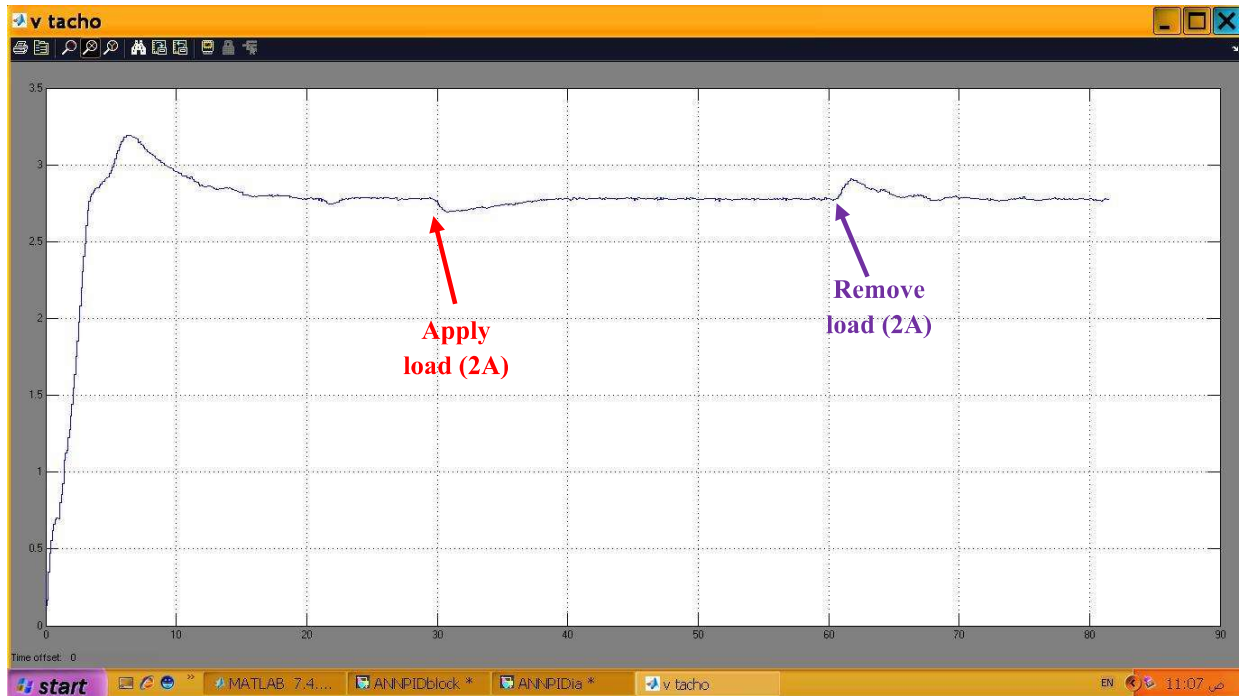


الشكل ذو الرقم (29-4) تلاؤم القيم بين إخراج الشبكة العصبية الاصطناعية المدربة للتحكم بسرعة المحرك وقيم الهدف التي تمثل قيم إشارة السيطرة الخارجة من وحدة السيطرة من خلال بطاقة DAQ

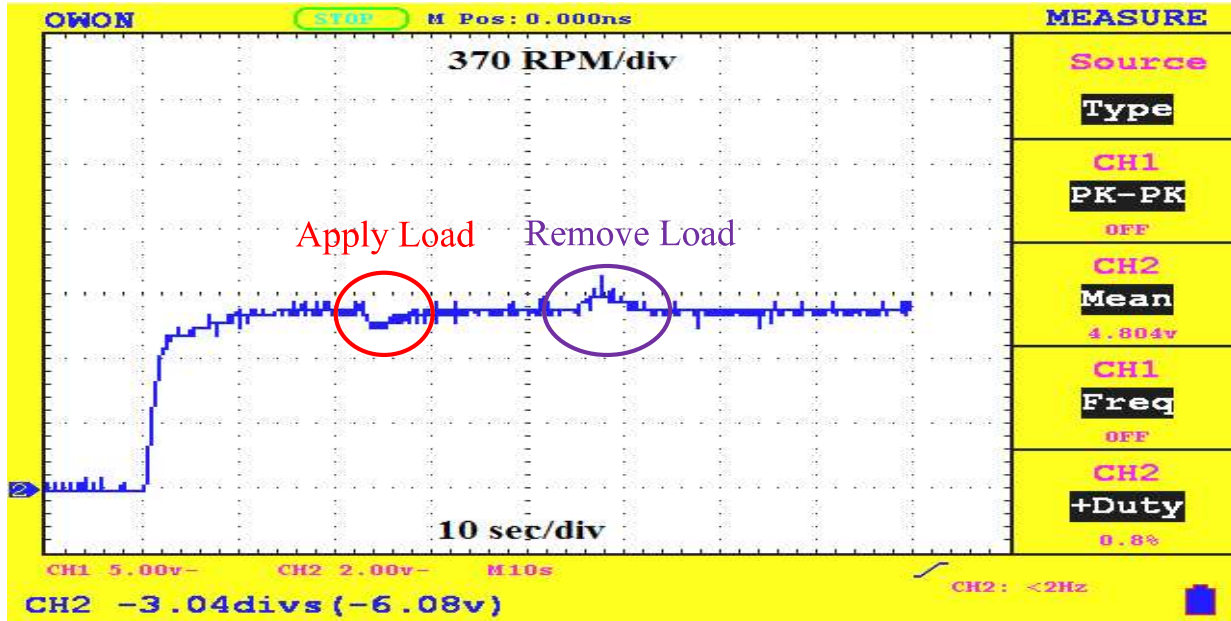
الإشكال الآتية يوضح استجابة الدائرة المغلقة لمنظومة السيطرة على سرعة المحرك بوجود المسيطر ANN



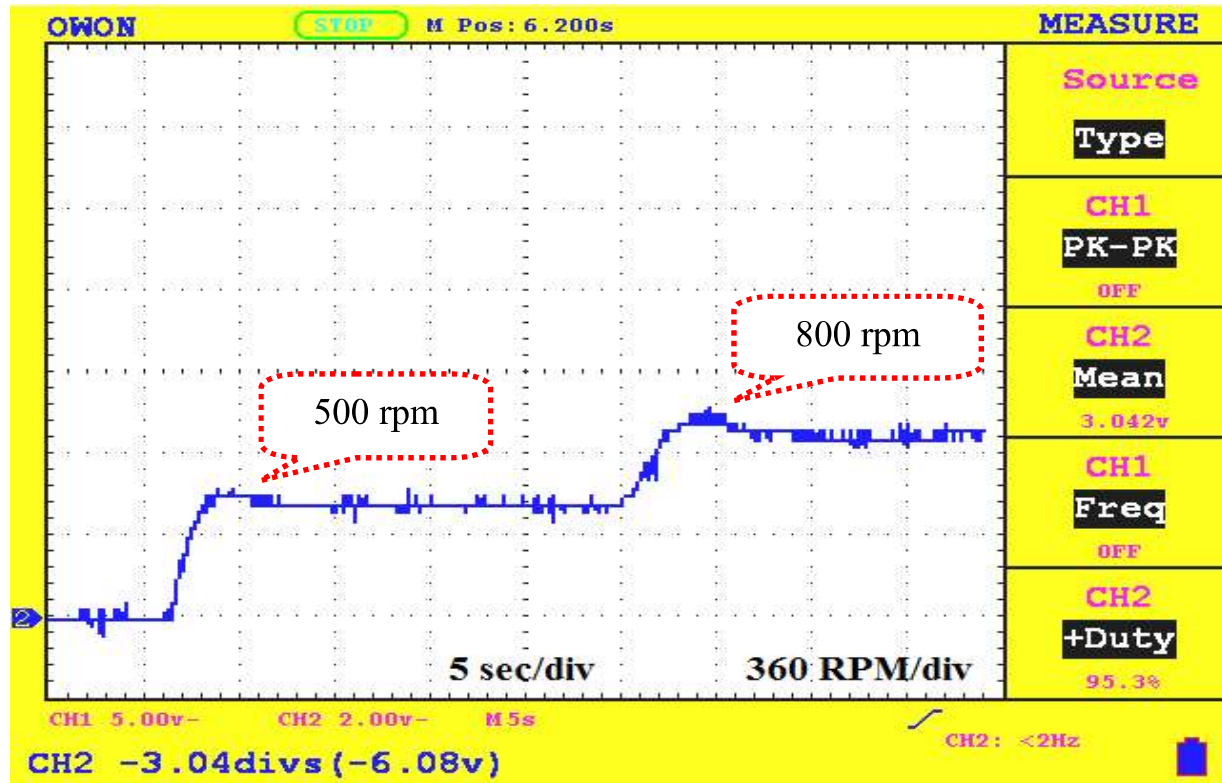
الشكل ذو الرقم (4-30) استجابة العملية لسرعة المحرك 500 rpm بوجود مسيطر ANN



الشكل ذو الرقم (4-31) استجابة العملية لفولتية T.G للمحرك الداخلة إلى وحدة السيطرة من خلال بطاقة DAQ عند سرعة مرجعية 500 rpm وتسليط الحمل (2A) على المحرك وإزالته



الشكل ذو الرقم (4-32) سرعة المحرك 1000 rpm بوجود مسيطر ANN عند تسليط حمل مقداره (2A) وإزالته



الشكل ذو الرقم (4-33) سرعة المحرك عند تغيير السرعة المرجعية 500 rpm إلى 800 rpm للدائرة المغلقة

لمنظومة السيطرة بوجود مسيطر ANN

تم في هذا الفصل تصميم منظومة السيطرة عملياً وبالزمن الحقيقي للتحكم بسرعة المحرك التيار المستمر عبر بطاقة اكتساب البيانات نوع (NI PCI-6251), وتتكون هذه المنظومة من محرك التيار المستمر منفصلة الاثارة, دائرة السوق للمحرك من النوع المغير الخافض للفولتية (Buck convertor), دائرة توليد النبضات المنتظمة, الدوائر الالكترونية لتحسين وتكبير كل من اشارتي اشارة متحسس السرعة (T.G) و اشارة تيار المنتج ودائرة العزل الكهربائي ورفع اشارة القدح التي تقدح ترانزستور القدرة IGBT. وتم تصميم دائرة المغير الخافض بالاعتماد على تردد قدح الترانزستور القدرة نوع IGBT وقيم المقننة للمحرك المستخدم, وتم دراسة منظومة السيطرة المصممة عملياً ذات الحلقة المفتوحة لأجل اكتساب الخبرة الكافية عنها لتدريب الشبكة العصبية الاصطناعية الرقمية ذات الحجم (1-5-5).

وتم في هذا الفصل ايضاً تصميم كل من المسيطر التقليدي PID والمسيطر الذكي ANN ومراقبة المنظومة المصممة عن طريق تصميم واجهة للمستخدم (GUI) باستخدام برنامج MATLAB/SIMULINK للسيطرة على سرعة المحرك التيار المستمر واخذ استجابة السرعة والفولتية المنتج للمحرك وعند تسليط حمل (2A) كحمل مقاومي مسلط على مولد التيار المستمر (dc generator) الذي تتعشق مع محور دوران المحرك. ومقارنة أداء منظومة السيطرة من ناحية خصائص المحرك التيار المستمر في الحيز الزمني (Time domain characteristics) عند استخدام هذين النوعين من المسيطرات.

عند مقارنة استجابة سرعة محرك التيار المستمر لكل من منظومتي السيطرة المصممة نظرياً والمصممة عملياً عند استخدام نوعين من المسيطرات المسيطر التقليدي PID والمسيطر الذكي ANN, يُلاحظ ان هنالك اختلاف قليل بينهما من ناحية خصائص المحرك في الحيز الزمني وتأثير هبوط سرعة المحرك عند تسليط الحمل عليه وذلك لأسباب منها, ان التصميم النظري للمنظومة يعتبر تصميم مثالي, وتم تسليط الحمل على المحرك كمقياس نيوتن- متر وليس كمقياس امبير كما في المنظومة العملية التي تم ربط مولد تيار مستمر (dc generator) ليتعشق مع محور دوران المحرك, ومن المشاكل في التطبيق العملي هو عدم ثبوت مجهز قدرة التيار المستمر المتوفر في المختبر فعند تحميل المحرك تهبط فولتية المجهز (اقل من

220 فولت) وكذلك عند إزالة الحمل ترتفع فولتية المصدر, وهذا يؤثر في الحسابات, وعدم دقة المقاييس المعتمد عليها في اخذ القراءات لكل من التيارات والفولتيات.

التنفيذ العملي للمنظومة المصممة فيه تأخير زمني من خلال بطاقة اكتساب البيانات الذي يتراوح حوالي (20 sample/sec) ما يقارب 50msec, مضافاً اليه زمن تنفيذ وحدة سيطرة ANN, فضلاً عن زمن استجابة الدوائر الالكترونية الملحقة وصولاً الى المحرك.

الشبكة العصبية الاصطناعية الرقمية التي تم استخدامها في المنظومة المصممة نظرياً في الحاسوب باستخدام برنامج الماتلاب من النوع الاستاتيكي (Static neural network) ذات الحجم (1-10-5) التي استغرقت 58 دورة تكرارية للوصول الى الهدف اثناء التدريب كما هو موضح في الشكل (3-18), بينما الشبكة التي تم استخدامها في المنظومة المصممة عملياً من النوع الديناميكي (Dynamic neural network) ذات الحجم (1-5-5) التي اعطت اعلى سرعة في الوصول الى نفس الهدف من ناحية عدد الدورات التكرارية للوصول الى الهدف إذ وصلت الى الهدف بعد خمس دورات تكرارية كما هو موضح في الشكل (4-28).

يُلاحظ انه عند استخدام المسيطر الذكي ANN لكلا منظومتي السيطرة النظرية والعملية تكون تأثير هبوط سرعة المحرك عند تسليط الحمل عليه اقل مما هو عليه عند استخدام المسيطر التقليدي PID, كما موضح في الشكلين ذوي الرقمين (3-16) و(3-23) بالنسبة لمنظومة السيطرة المصممة نظرياً, والشكلين ذوي الرقمين (4-25) و(4-32) بالنسبة لمنظومة السيطرة المصممة عملياً.

## الفصل الخامس

### تحقيق ANN باستخدام الدوائر الالكترونية وتنفيذها على شريحة FPAA

#### Introduction

#### 1.5 المقدمة:

تم في هذا الفصل تحقيق وتنفيذ مسيطر الشبكة العصبية الاصطناعية المصممة عملياً في الفصل الرابع للسيطرة على سرعة المحرك التيار المستمر وفي الزمن الحقيقي بالطريقة التناظرية باستخدام الدوائر الالكترونية مثل مكبر العمليات (Operational Amplifier) القابلة للبرمجة على شريحة مصفوفات التناظرية القابلة للبرمجة (FPAA development board) من خلال استخدام الأسلوب البرمجي المتبع للشريحة (Anadigm Designer 2). وتم أيضاً في هذا الفصل تحقيق الشبكة العصبية الاصطناعية تناظرياً باستخدام الدوائر الالكترونية مثل مكبر العمليات (OP. Amp) وترانزستور تأثير المجال (FET) من خلال برنامج المحاكاة (National Instrument Circuit Design Suits Software).

تضمن هذا الفصل كيفية تحقيق شبكة الانتشار العكسي (BPNN) وشبكة بيرسيبترون (Perceptron NN) اللتين تمثلان من الشبكات العصبية ذات التعلم الإشرافي (Supervised learning rule of ANN) وشبكة هيبين (Hebbian ANN) التي تمثل من الشبكات العصبية الاصطناعية ذات التعلم غير الإشرافي (Unsupervised learning rule of ANN)، واستخدمت الدوائر التناظرية من مكتبة برنامج المحاكاة (NI Circuit Design Suits Software) لتمثيل الشبكات، في حين تضمن هذا الفصل كيفية التكيف الذاتي (معايرة الذاتية) لقيم الأوزان وقيم الانحياز للشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية، وتضمن أيضاً عرض أنواع دوال التفعيل للشبكة العصبية الاصطناعية وكيفية تحقيقهم تناظرياً باستخدام دوائر مكبر العمليات.

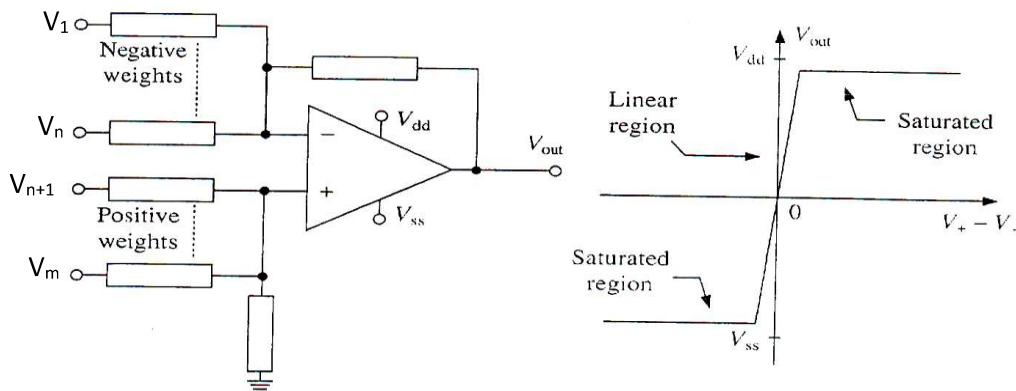
تضمن الجزء الثاني من الفصل نبذة مختصرة عن شريحة (FPAA development board) وعن البرنامج المتبع لها (Anadigm Designer 2) وكيفية تحقيق كل جزء من أجزاء الشبكة العصبية الاصطناعية وتنفيذها على هذه الشريحة، في حين تضمن الجزء الأخير من الفصل ربط الشبكة العصبية التناظرية المتكاملة وتدريبها لتحقيق عمل البوابة المنطقية XOR gate وتنفيذها رقمياً باستخدام برنامج (MATLAB/M-File) ضمن أداة الشبكات العصبية، وتناظرياً باستخدام شريحة مصفوفات التناظرية القابلة للبرمجة (FPAA).

## 2.5 تحقيق ANN تناظرياً باستخدام الدوائر الالكترونية وتمثيله في برنامج NI Circuit Design Suits Software

يتم بناء الشبكة العصبية بوساطة الدوائر الالكترونية التناظرية مثل مكبر العمليات (OP. Amp.) ومزج من دوائر CMOS أو ترانزستور تأثير المجال (FET) يمكن أن تتطبق لتحقيق معمارية الشبكات العصبية الاصطناعية, التي من خلالها يتم تحقيق معالجة الإشارات ذات الزمن المستمر والدوائر التي تهئ الإشارة (Signal conditioning) والدوائر التي تميز ما بين الإشارات مثل (Speech recognition) [21]. ولتمثيل هذه الدوائر الالكترونية ونمذجتها لتحقيق ANN تمّ استخدام برنامج المحاكاة (NI Software). إن الكيان المادي للشبكات العصبية الاصطناعية التناظرية تمتلك بعض الفوائد مقارنة مع النوع الرقمي وهي السرعة العالية في معالجة العمليات ذات المسار الأمامي للشبكة العصبية وهذا مما يؤهل الشبكات العصبية للتطبيقات ذات الزمن الحقيقي, وتكلفة قليلة وحجم النظام يكون صغيراً [34].

### 1.2.5- تحقيق دالة الأوزان للشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية

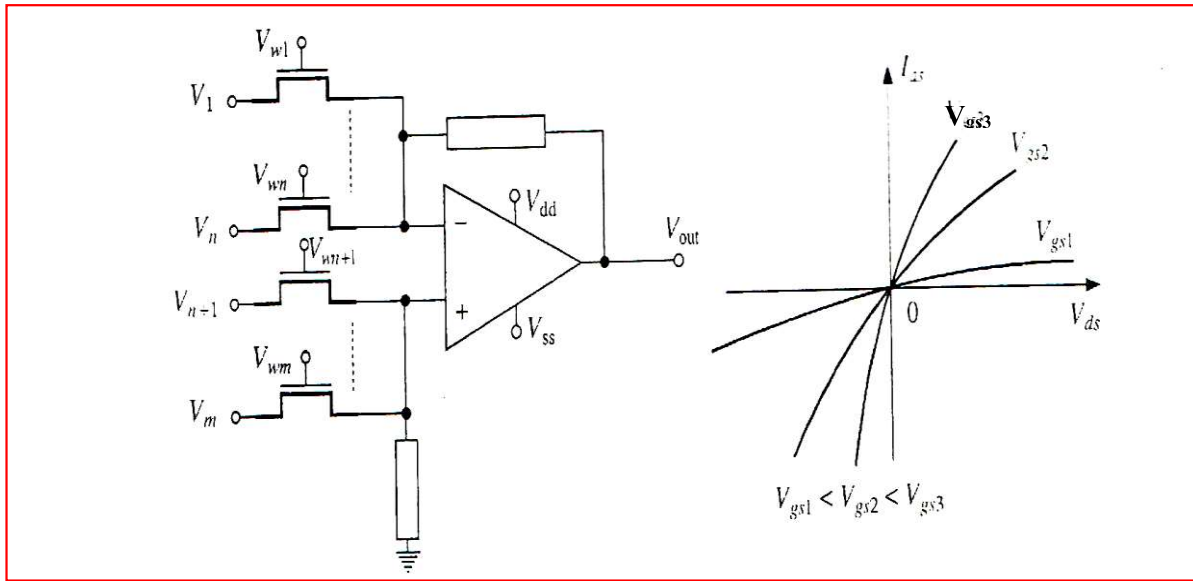
الشبكات العصبية النوع التناظري يمكن أن تستخدم الخصائص الفيزيائية للنبائط السيليكونية لأداء كل جزء من أجزاء عمل الشبكة العصبية, ولأجل الحصول على سرعة معالجة عالية جداً. ومع ذلك التصميم التناظري يكون معقداً بسبب الحاجة إلى تعويض العناصر الإلكترونية المتغيرة مع درجة الحرارة (العوامل الخارجية) وبسبب ظروف التصنيع (Manufacturing conditions) [34]. وإحدى طرائق لتطبيق الشبكات العصبية النوع التناظري استخدام مكبر العمليات والمقاومات, وإن المكبرات تنفذ دائرة الجمع ودالة التفعيل للشبكة, في حين المقاومات تعطي قيم الأوزان المرتبطة بالإدخالات الشبكة كما موضح بالشكل (1-5) [35].



الشكل ذو الرقم (1-5) تحقيق دالة الأوزان للشبكة العصبية تناظرياً باستخدام مكبر العمليات والمقاومات

والعمل في المنطقة الخطية من خصائص مكبر العمليات (OP. Amp.)

وان فولتية الإخراج للمكبر (OP. Amp.) ( $V_{out}$ ) تعتمد على فولتيات الإدخال للمكبر ( $V_+$ ,  $V_-$ ), وأسلوب التطبيق بواسطة المقاومات يضمن لنا علاقة خطية عالية جداً, لكنه ليس مرناً بسبب قيم الأوزان التي توضع في أثناء التصنيع ولا يمكن تغييره أو تعديله بعد ذلك. وبناء الوصلة العصبية (Synapse) التناظرية المتكيفة يكون معقداً عند خزن قيم الأوزان للشبكة التي تمثل استخدام المقاومات. فالنظرة المبسطة أنه من الأفضل أن نقوم باستخدام بدلا من المقاومات الثابتة ترانزستورات من نوع (MOS) أو (CMOS) التي تعمل كمفتاح مسيطر عليها بفولتية متغيرة, والمقاومة المضافة من كل ترانزستور يسيطر عليها من فولتية ( $V_{gs}$ ) التي تولد بواسطة تغير قيم الخزن في المتسعات المرتبطة عليه والآتية من إخراج دائرة التعلم للشبكة التي يجب أن يستمر تحديثها بشكل دوري. وتأثير فولتية ( $V_{gs}$ ) على المقاومات ما بين المصدر (source) والمصرف (drain) لكل ترانزستور كما موضح بالشكل (2-5) [35].



الشكل ذو الرقم (2-5) تحقيق دالة الأوزان للشبكة العصبية الاصطناعية تناظرياً باستخدام مكبر العمليات وترانزستور

#### تأثير المجال

والعلاقة ما بين تيار  $I_{ds}$  والفولتية  $V_{ds}$  كما موضح بالشكل ذي الرقم (2-5) علاقة غير خطية ولكن بإمكان أخذ دالة خطية تقريبية وذلك باختيار نقطة العمل عند المنطقة الخطية من التيار والفولتية للترانزستور تأثير المجال (FET).

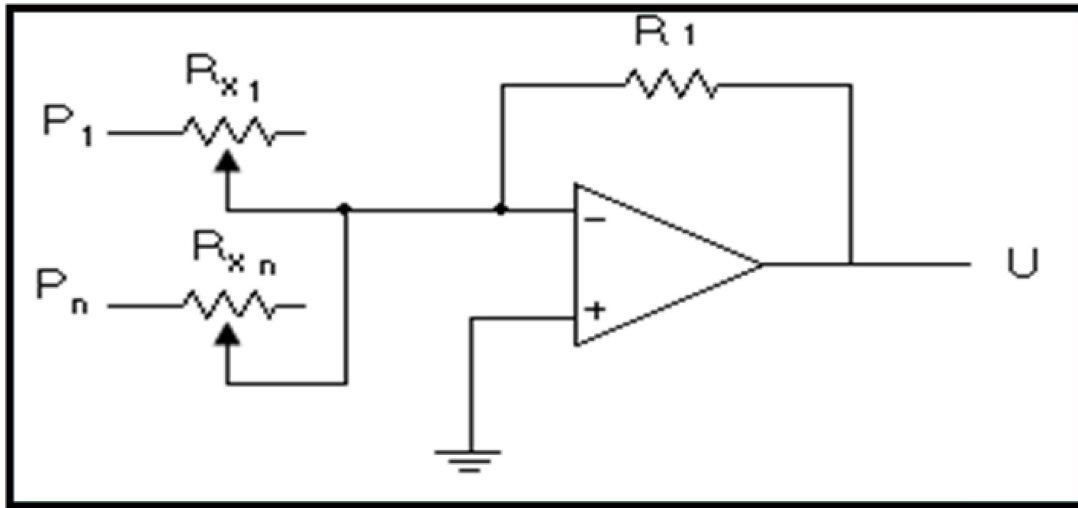
الأجزاء الرئيسة للشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية هي دالة الأوزان (Weights function), دالة الجمع (Neuron body) ودالة التفعيل (Activation function). يمكن تحقيق دالة الأوزان للشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية بطريقتين:

### 1. أنموذج المقاومات الخطية:

يمكن تمثيل الشبكة العصبية باستخدام مكبر العمليات كما موضح بالشكل (3-5) عندما يكون إدخلات الشبكة هي  $(P = [P_1, P_2, \dots, P_n])$  ودالة الأوزان للشبكة يمكن إيجادها من نسبة  $(\frac{1}{R_x})$  وإخراج مكبر العملية تعطى وفق المعادلة [35].

$$U = \frac{R_1}{R_{x1}} P_1 + \frac{R_2}{R_{x2}} P_2 + \dots + \frac{R_n}{R_{xn}} P_n \quad \dots \dots \dots (5 - 1)$$

وهذه الاخراجات (U) تصبح إدخلات لدالة التفعيل للشبكة العصبية التناظرية من النوع الخطي.



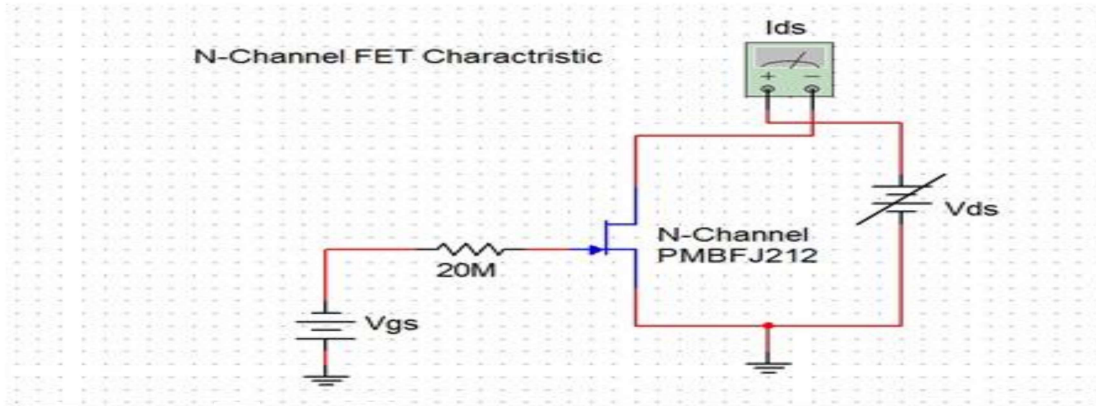
الشكل ذو الرقم (3-5) استخدام المقاومات الخطية لإيجاد دالة الأوزان للشبكة العصبية

### 2. استخدام ترانزستور تأثير المجال (FET):

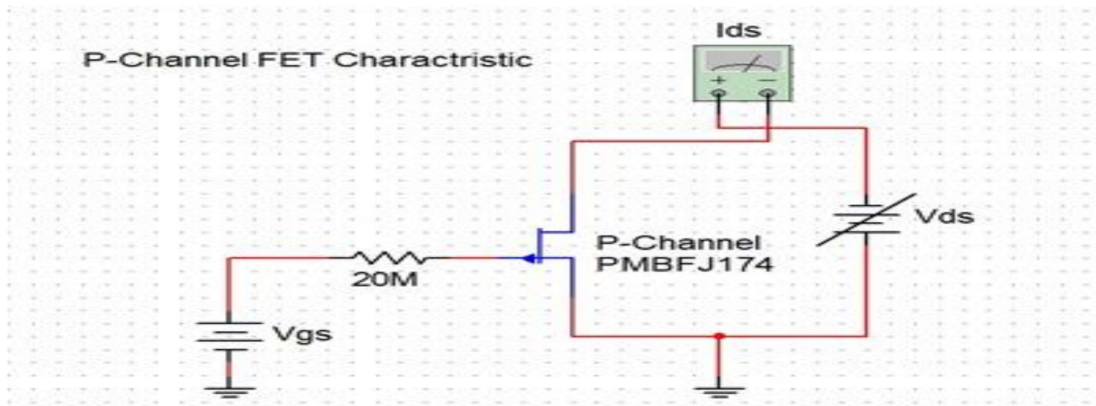
من خصائص الترانزستور (FET) تكون الفولتية بين المصرف (Drain) والمصدر (Source)  $(V_{ds})$  والتيار المار بين المصرف والمصدر  $(I_{ds})$  تتغيران مع تغير الفولتية بين البوابة (Gate) والمصدر  $(V_{gs})$  , وتم اختيار نقطة العمل عند المنطقة الخطية من هذه الخصائص لأجل تحقيق دالة الأوزان للشبكة العصبية الاصطناعية. لقد استخدم نوعان من الترانزستورات الأول (N-Channel FET) ذي الرقم (PMBFJ212) والثاني (P-Channel FET) ذي الرقم (PMBFJ174), وقد تم اختيار هذين النوعين من الترانزستورات من

مكتبة برنامج المحاكاة (NI Circuit Design Suits Software). وفي هذه الرسالة تمّ استخدام كلا النوعين من الترانزستورات لمعايرة أوزان الشبكة العصبية من خلال المقاومة ( $R_{ds}$ ) للترانزستورين وتغييرها مع تغيير فولتية  $V_{gs}$  المسلطة على بوابة كل من الترانزستورين [21].

الجدول الموضح بالملحق (J) والملحق (K) يبين خصائص ترانزستور (N-Channel FET) ذي الرقم (PMBFJ212) وترانزستور (P-Channel FET) ذي الرقم (PMBFJ174) بالتتابع وهذه الخصائص تمثل العلاقة بين الفولتية  $V_{ds}$  والتيار  $I_{ds}$  عند فولتية  $V_{gs}$  معينة، ويمكن الحصول على قيم الفولتيات والتيارات المطلوبة لإيجاد نقطة العمل في المنطقة الخطية من الجداول أعلاه وباستخدام ربط الدائرة الالكترونية الموضحة بالشكلين ذوي الرقمين (4-5) و(5-5). علماً أن البيانات تختلف وفق نوع الترانزستورات.



الشكل ذو الرقم (4-5) الدائرة الالكترونية لإيجاد العلاقة بين فولتية  $V_{ds}$  مع تيار  $I_{ds}$  عند فولتية  $V_{gs}$  معينة



الشكل ذو الرقم (5-5) الدائرة الالكترونية لإيجاد العلاقة بين فولتية  $V_{ds}$  مع تيار  $I_{ds}$  عند فولتية  $V_{gs}$  معينة

المقاومة  $R_{ds}$  لكلا النوعين من الترانزستورات قد استخدمت بوصفها دالة الأوزان للشبكة العصبية الاصطناعية، ويمكن إيجادها عملياً من الجداول في الملحقين (J) و (K) على النحو الآتي [21]:

$$R_{ds} = \frac{V_{ds}}{I_{ds}} \parallel_{V_{gs}} \dots \dots \dots (5-2)$$

ويمكن إيجاد المقاومة  $R_{ds}$  نظرياً لكلا النوعين من الترانزستورات بالمعادلة الآتية:

$$R_{ds} = \frac{R_o}{\left(1 - \frac{V_{gs}}{V_p}\right)^2} \dots \dots \dots (5-3)$$

إذ إن:

$R_o$ : تمثل اقل قيمة المقاومة عندما تكون فولتية  $V_{gs} = 0 \text{ volt}$  المسلطة على بوابة الترانزستورات.  
 $V_p$ : تمثل الفولتية (Pinch off voltage) للترانزستور.

ثم تتم معايرة دالة الأوزان للشبكة العصبية من خلال تغيير فولتية  $V_{gs}$  المسلطة على بوابة الترانزستور (FET). ويمكن إيجاد الإخراج ( $V_o$ ) للترانزستور ودالة الأوزان للشبكة على نحو الآتي [21]:

$$V_o = -\frac{R_F}{R_{ds}} * X_i$$

$$R_{ds} = -\frac{R_F}{V_o} * X_i$$

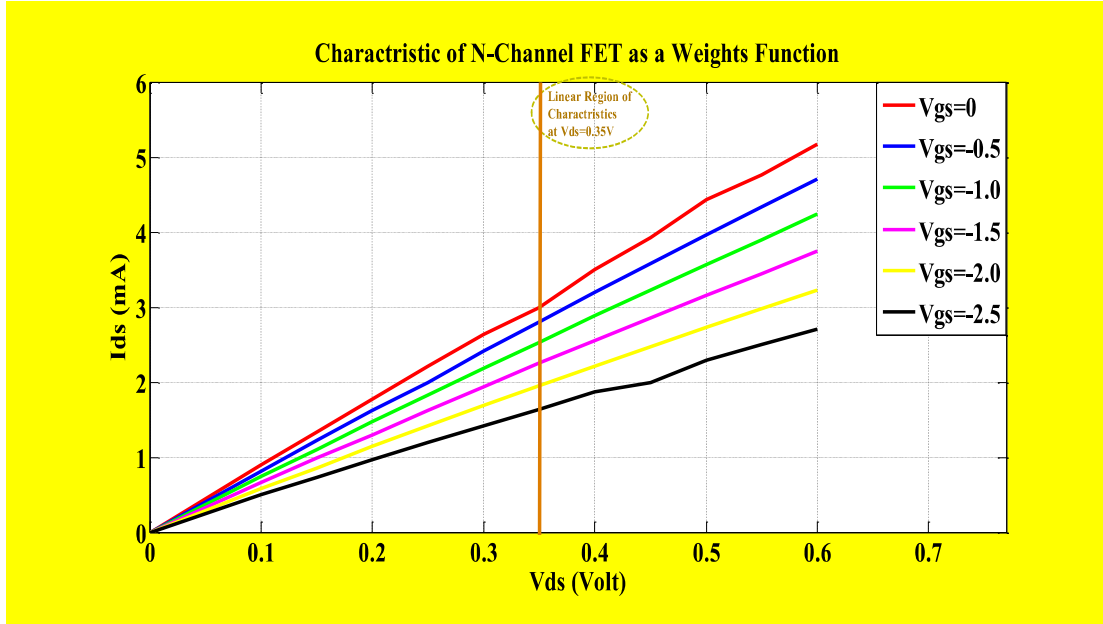
$$V_o = -\frac{R_F}{R_o} * \left(1 - \frac{V_{gs}}{V_p}\right)^2 * X_i \dots \dots \dots (5-4)$$

$$\text{Weight}(W) = -c \left(1 - \frac{V_{gs}}{V_p}\right)^2 \dots \dots \dots (5-5)$$

إذ إن:

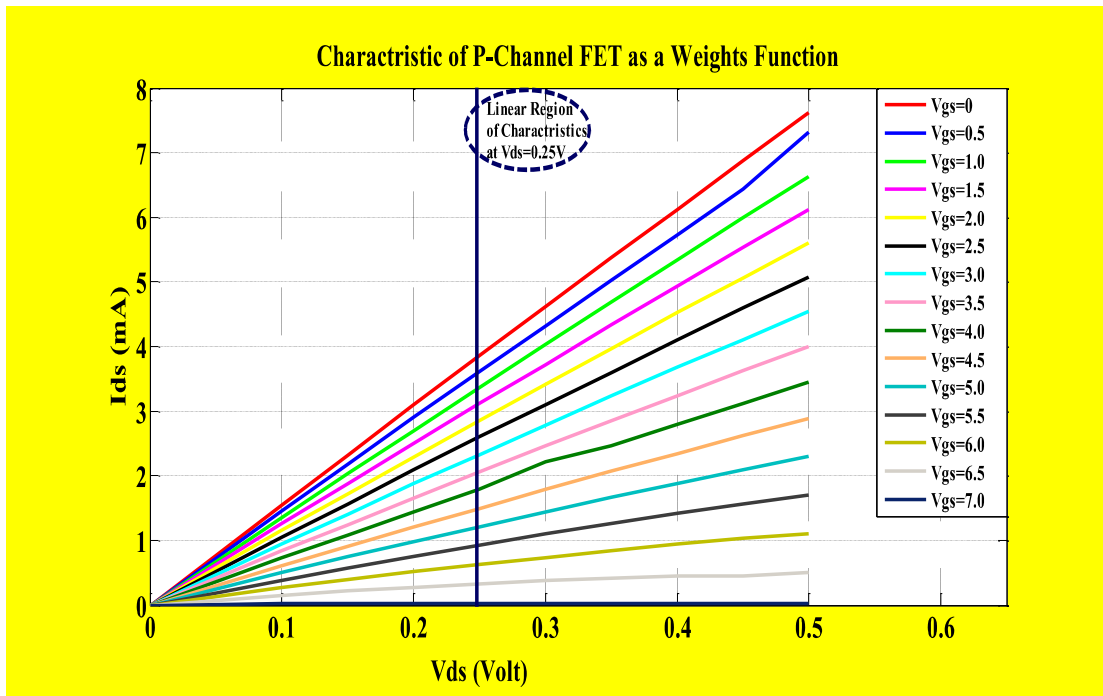
c: يمثل قيمة ثابتة ويعتمد على تغيير فولتية  $V_{gs}$  المسلطة على بوابة كلا النوعين من الترانزستورات.  
 $X_i$ : يمثل قيم متجة الادخال للشبكة العصبية التناظرية.

تمّ إيجاد الخصائص لكلا النوعين من الترانزستورات من خلال الدائرة الالكترونية الموضحة في الشكلين ذوي (4-5) و (5-5) وباستخدام برنامج المحاكاة (NI Software)، ومن ثمّ رسم خصائص الترانزستورات وتعيين فولتية  $V_{ds}$  التي تكون فيها نقطة العمل خطية كما موضح بالشكل ذي الرقم (5-6) لترانزستور (N-Channel FET) ذي الرقم (PMBFJ212) والشكل ذي الرقم (5-7) لترانزستور (P-Channel FET) ذي الرقم (PMBFJ174).



الشكل ذو الرقم (5-6) خصائص الترانزستور نوع (N-Channel FET) ذي الرقم PMBFJ212 الذي يمثل

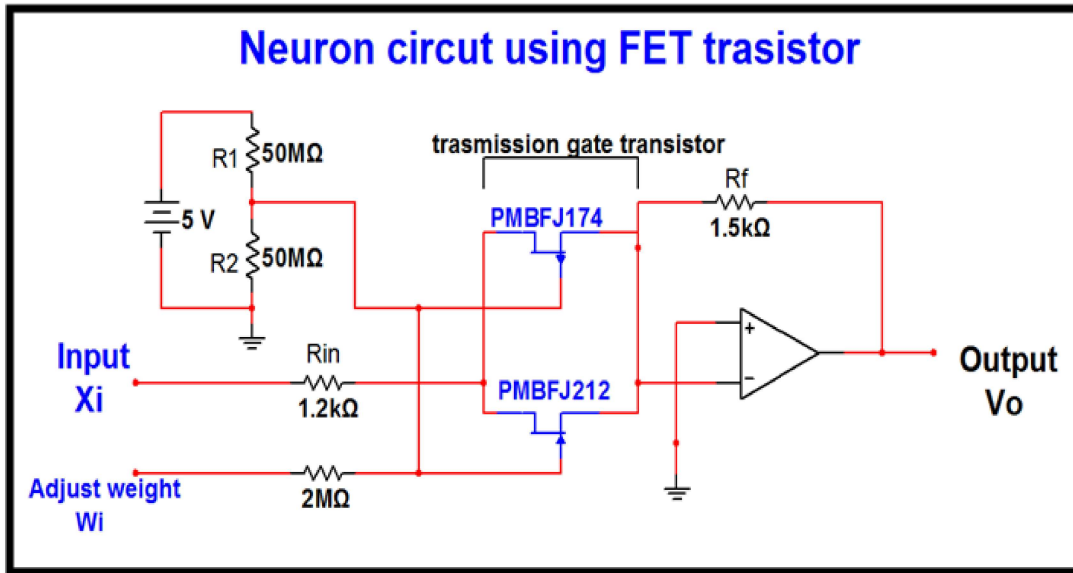
العلاقة فولتية  $V_{ds}$  مع تيار  $I_{ds}$  بثبوت فولتية  $V_{gs}$



الشكل ذو الرقم (5-7) خصائص الترانزستور نوع (P-Channel FET) ذي الرقم PMBFJ174 الذي يمثل

العلاقة فولتية  $V_{ds}$  مع تيار  $I_{ds}$  بثبوت فولتية  $V_{gs}$

تُلاحظ من الشكلين ذوي الرقمين (5-6) و (5-7) أن الفولتية  $V_{ds} = 0.35\text{volt}$  والفولتية  $V_{ds} = -0.25\text{volt}$  تقعان في المنطقة الخطية للترانزستورات، ويمكن إيجاد قيم المقاومة  $R_{ds}$  عند المنطقة الخطية من خصائص كلا النوعين من الترانزستورات باستخدام المعادلة (2-5) وعند فولتية  $V_{gs}$  ثابتة. الدائرة الالكترونية الموضحة بالشكل ذي الرقم (5-8) تمثل تحقيق دالة الأوزان للشبكة العصبية الاصطناعية باستخدام مكبر العمليات وترانزستور تأثير المجال ذي النوعين (N-Channel and P-Channel) (Transmission Gate Transistor) والمربوطين كدائرة ترانزستور ذي البوابة المتصلة (Channel (Positive weights) واستخدم ترانزستور نوع (N-Channel FET) لإيجاد الأوزان ذات القيم الموجبة (Positive weights) وترانزستور نوع (P-Channel FET) لإيجاد الأوزان ذات القيم السالبة (Negative weights) .



الشكل ذو الرقم (5-8) استخدام ترانزستور ذي البوابة المتصلة لتكيف (إيجاد) أوزان الشبكة العصبية

الاصطناعية التناظرية ونمذجته باستخدام برنامج (NI Software)

يمكن التعبير عن فولتية الإخراج ( $V_o$ ) للدائرة الموضحة بالشكل ذي الرقم (5-8) على نحو الآتي:

$$\text{Gain for OP.Amp.} = \frac{V_o}{X_i}$$

إذ إن كسب دائرة مكبر العمليات مساوية لقيمة الأوزان ( $W_i$ ) وبذلك تصبح

$$V_o = W_i * X_i \quad \dots \dots \dots (5 - 6)$$

إذ إن

$V_o$  : تمثل فولتية الإخراج لمكبر العمليات.

$X_i$  : تمثل إشارات الشبكة العصبية الاصطناعية.

$W_i$  : تمثل أوزان الشبكة العصبية الاصطناعية.

يمكن حساب قيم الأوزان الموجبة والسالبة للشبكة العصبية الاصطناعية على نحو الآتي:

$$R_F = 1.5K\Omega , R_{in} = 1.2K\Omega , R_{ds} = \frac{V_{ds}}{i_{ds}} \parallel \text{ at linear region}$$

$$W = \frac{R_F}{R_{ds} + R_{in}} \dots \dots \dots (5 - 7)$$

تم حساب قيم الأوزان للشبكة العصبية التناظرية من خلال تغير المقاومة  $R_{ds}$  للترانزستورات وأن تغير هذه المقاومة تعتمد على تغير فولتية  $V_{gs}$  عند نقطة العمل خطية. الجدول ذو الرقم (1-5) يوضح علاقة الأوزان الموجبة للشبكة مع مقاومة  $R_{ds}$  وفولتية  $V_{gs}$  عند  $V_{ds} = 0.35V$ , والجدول ذو الرقم (2-5) يبين هذه العلاقة بالنسبة لنوع الثاني من الترانزستور. وقيم هذين الجدولين تم ايجادهما باستخدام برنامج المحاكاة .NI Software

الجدول ذو الرقم (1-5) علاقة قيم الأوزان الموجبة مع مقاومة ( $R_{ds}$ ) وفولتية ( $V_{gs}$ ) للترانزستور

PMBFJ212 ذي الرقم (N-Channel FET)

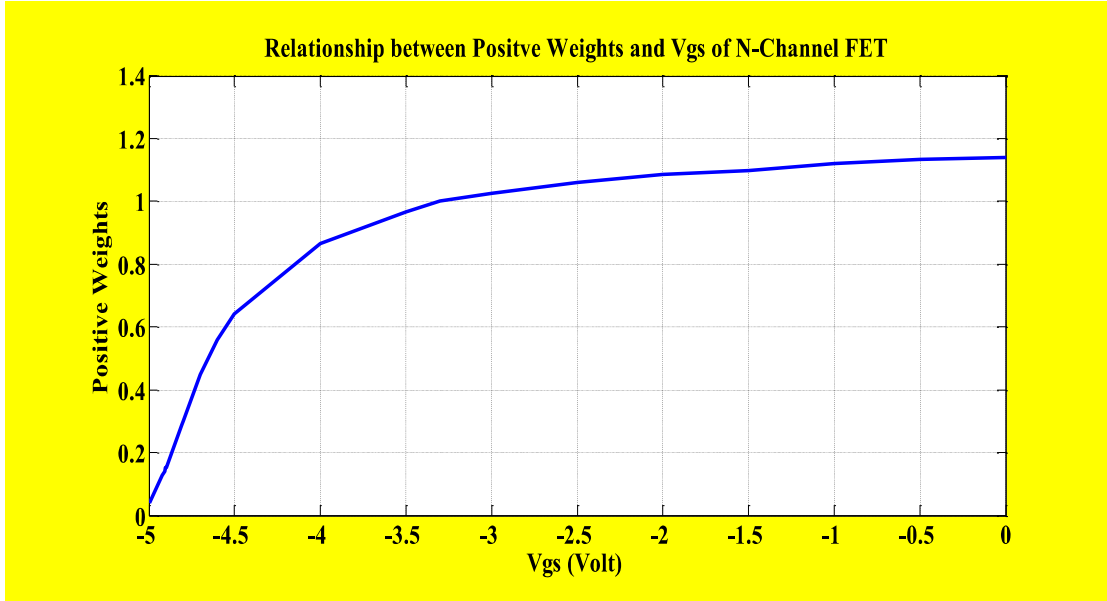
$V_{gs}$ (volt)	$R_{ds}$ ( $\Omega$ )	Positive weights
0	$R_o=116.7$	1.14
-0.5	125	1.132
-1.0	138.5	1.12
-1.5	155.6	1.1
-2.0	180	1.087
-2.5	214	1.06
-3.0	263	1.025
-3.5	350	0.967
-4.0	529	0.867
-4.5	1.17K	0.632
-4.6	1.48K	0.56
-4.7	2.14K	0.5
-4.8	3.76K	0.3
-4.9	8.7K	0.1516

-5	35.4K	0.04
----	-------	------

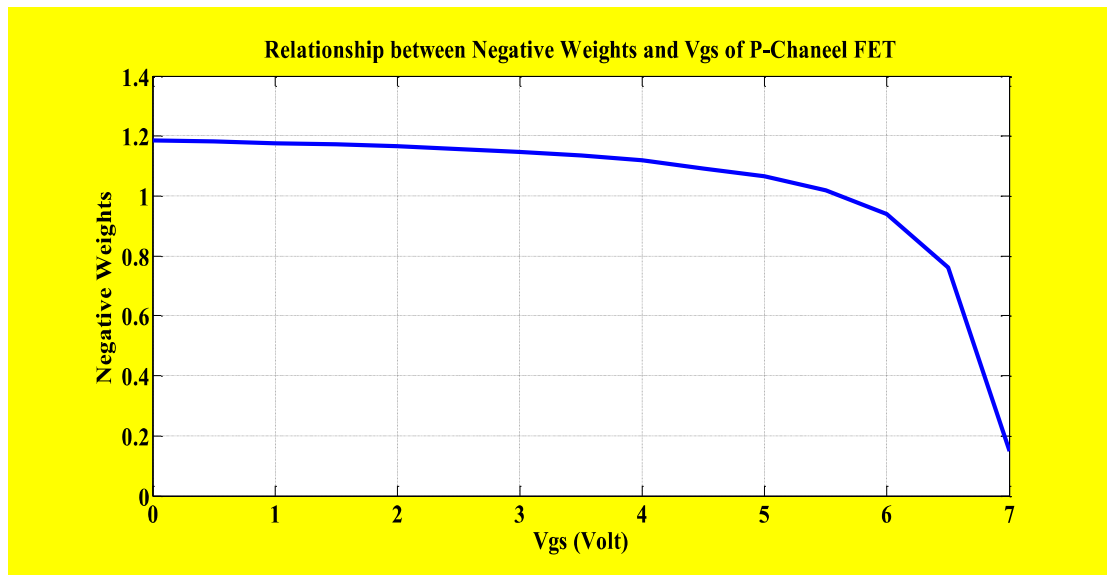
الجدول ذو الرقم (2-5) علاقة قيم الأوزان السالبة مع مقاومة ( $R_{ds}$ ) وفولتية ( $V_{gs}$ ) للترانزستور  
PMBFJ174 ذي الرقم (P-Channel FET)

$V_{gs}$ (volt)	$R_{ds}$ ( $\Omega$ )	Negative weights
0	$R_o=64.84$	-1.186
0.5	69.2	-1.181
1.0	74.27	-1.177
1.5	80.3	-1.171
2.0	87.74	-1.165
2.5	96.3	-1.157
3.0	107.2	-1.147
3.5	121.3	-1.135
4.0	140	-1.12
4.5	166.23	-1.09
5.0	205.3	-1.067
5.5	270	-1.02
6.0	397	-0.94
6.5	770	-0.76
6.6	947	-0.698
6.7	1.234K	-0.616
6.8	1.778K	-0.5036
6.9	3.185K	-0.342
6.93	4.1K	-0.282
6.95	5K	-0.243
6.96	5.5K	-0.224
6.97	6.15K	-0.204
6.98	6.85K	-0.186
7.0	8.8K	-0.15
7.5	9K	-0.147
8.0	9.06K	-0.1466
8.5	9.065K	-0.1468

يمكن رسم العلاقة بين قيم الأوزان الموجبة للشبكة العصبية مع فولتية ( $V_{gs}$ ) المسلطة على بوابة ترانزستور نوع (N-Channel FET) من الجدول ذي الرقم (5-1) كما موضح بالشكل ذي الرقم (5-9), ورسم علاقة قيم الأوزان السالبة للشبكة العصبية مع فولتية ( $V_{gs}$ ) المسلطة على بوابة ترانزستور نوع (P-Channel FET) من الجدول ذي الرقم (5-2) كما موضح بالشكل ذي الرقم (5-10).



الشكل ذو الرقم (5-9) علاقة قيم أوزان الموجبة للشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية مع فولتية بين البوابة والمصرف المسلطة على بوابة ترانزستور نوع (N-Channel FET)



الشكل ذو الرقم (5-10) علاقة قيم أوزان السالبة للشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية مع فولتية بين البوابة والمصرف المسلطة على بوابة ترانزستور نوع (P-Channel FET)

## 2.2.5 - تحقيق كل جزء من أجزاء الشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية:

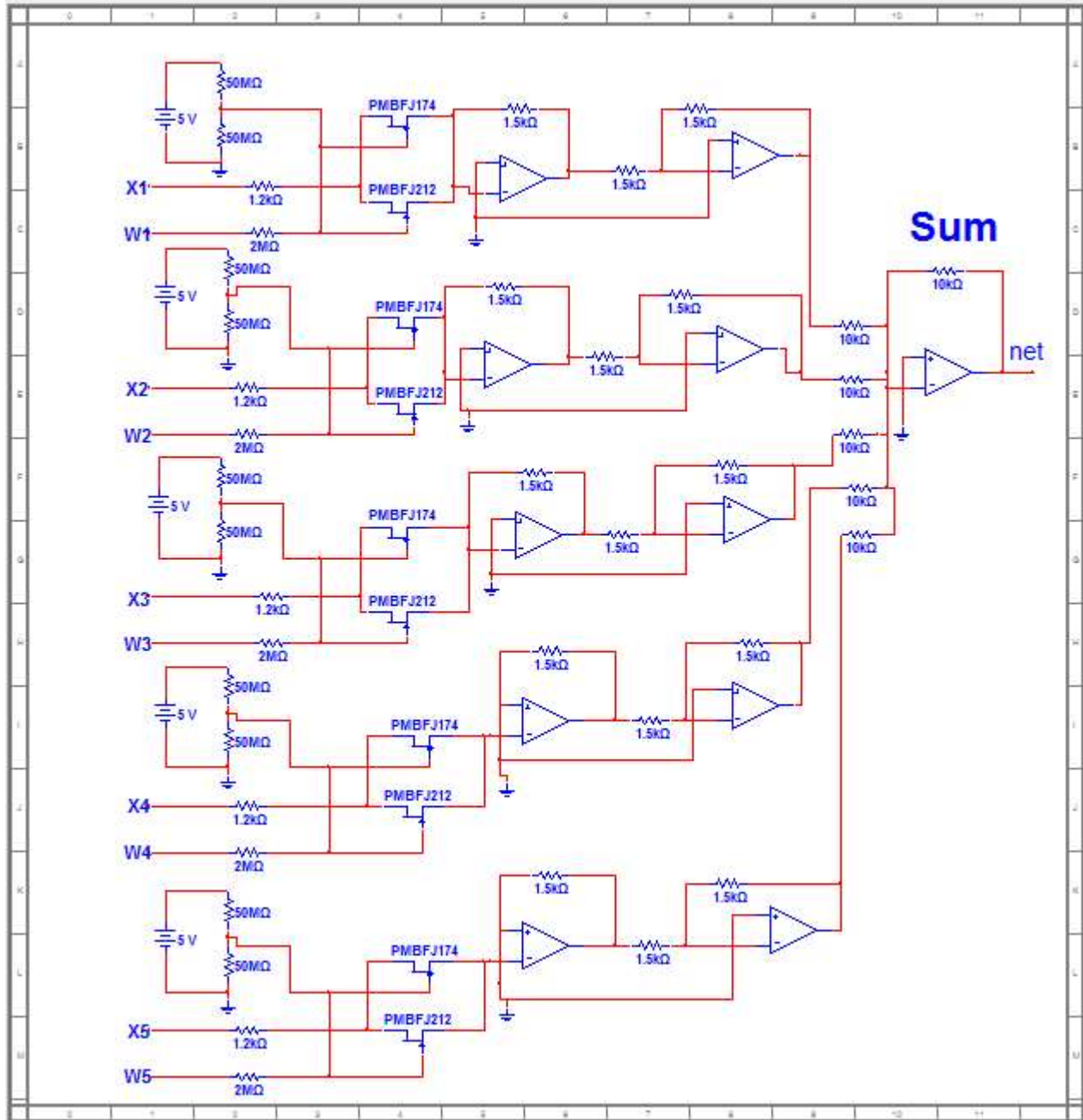
لقد وضعنا في هذا الفصل أنه يمكن تحقيق كل جزء من أجزاء الشبكة العصبية بشكل منفرد في البرنامج المستخدم, وأجزاء الشبكة العصبية الاصطناعية هي:

### 1. إدخلات الشبكة العصبية (Neuron inputs) ودالة الجمع (Neuron body):

تمّ تحقيق جزء الإدخلات للشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية التي تتكون من خمسة إدخلات ( $X = [X1, X2, X3, X4, X5]$ ) ودالة الأوزان  $W = [W1, W2, W3, W4, W5]$  ودالة الجمع  $net$  باستخدام الدوائر الالكترونية كما موضح بالشكل ذي الرقم (5-11). وقد تمّ الحصول على الإخراج ( $net$ ) كما بالمعادلة الآتية [21].

$$net = \sum_{i=1}^5 X_i * W_i \quad \dots\dots\dots (5 - 8)$$

الشبكة العصبية الاصطناعية الرقمية ذي الحجم (5-5-1) المنفذة عملياً في الفصل الرابع للسيطرة على سرعة المحرك في الزمن الحقيقي تمّ تحقيقها وتنفيذها في شريحة المصفوفات التناظرية القابلة للبرمجة (FPAA) باستخدام الدوائر الالكترونية التناظرية بالحجم (5-1) وليس بالحجم (5-5-1), لان شريحة FPAA تمتلك أربعة إدخلات فقط وأربع كتل تناظرية قابلة للبرمجة (CAB) وكل (CAB) يحتوي على مركبتين من المركبات التناظرية القابلة للبرمجة (OP-Amp), بمعنى ذلك أن تحقيق الشبكة العصبية ذات الحجم (5-5-1) وتطبيقها يحتاج إلى عدد كبير من الشرائح FPAA.



الشكل ذو الرقم (5-11) تحقيق دالة الأوزان مع دالة الجمع للشبكة العصبية الاصطناعية ذات خمسة إدخلات

باستخدام الدوائر الالكترونية مثل مكبر العمليات وترانزستور تأثير المجال

## 2. تحقيق أنواع دوال التفعيل للشبكة العصبية الاصطناعية

دوال التفعيل للشبكات العصبية الاصطناعية تعني أنها دوال تحول مستوى التفعيل للخلية العصبية إلى إشارة الإخراج وبالاعتماد على أسلوب الإدخال والإخراج الشبكة العصبية الاصطناعية, ويمكن تقسيم دوال التفعيل للشبكة إلى خمسة أنواع رئيسة وهي:

- دالة الخطوة (Step Function).
- دالة التطابق (Identical Function).
- دالة الخطية (العتبة) (Linear Threshold Function).
- دالة الملتوية (Sigmoid Function).
- دالة كاوزيان (Gaussian Function).

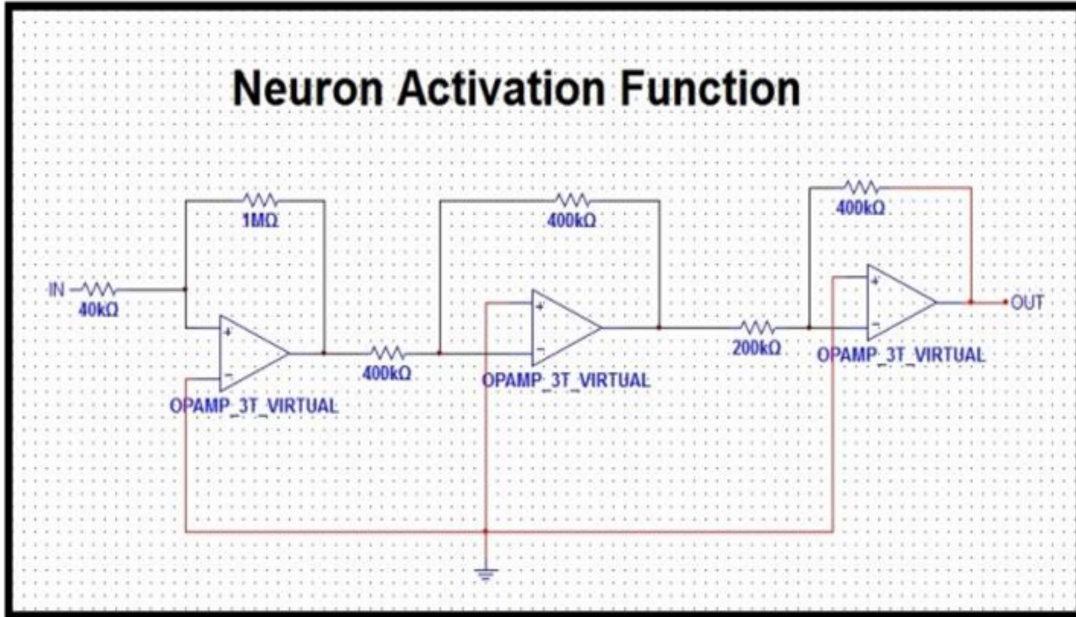
تم في هذه الرسالة استخدام نوعين من دوال التفعيل الأول دالة الملتوية في إدخال الشبكة العصبية الاصطناعية والثاني دالة الخطية في إخراج الشبكة العصبية وذلك لأجل الحصول على أقصى سرعة للوصول إلى الهدف بأقل دورات تكرارية. الدالة الملتوية تستخدم في الشبكات العصبية الاصطناعية ذات متعددة الطبقات وبنوعيه شبكة انتشار العكسي وشبكة بيرسيبترون متعددة الطبقات ( Multi-Layer Perceptron ANN) في حين الدالة الخطية تستخدم في الشبكات العصبية الاصطناعية أحادية الطبقة من نوع شبكة بيرسيبترون أحادية الطبقة (Single Layer Perceptron NN).

المعادلة الآتية تمثل التعبير الرياضي للدالة الملتوية [35].

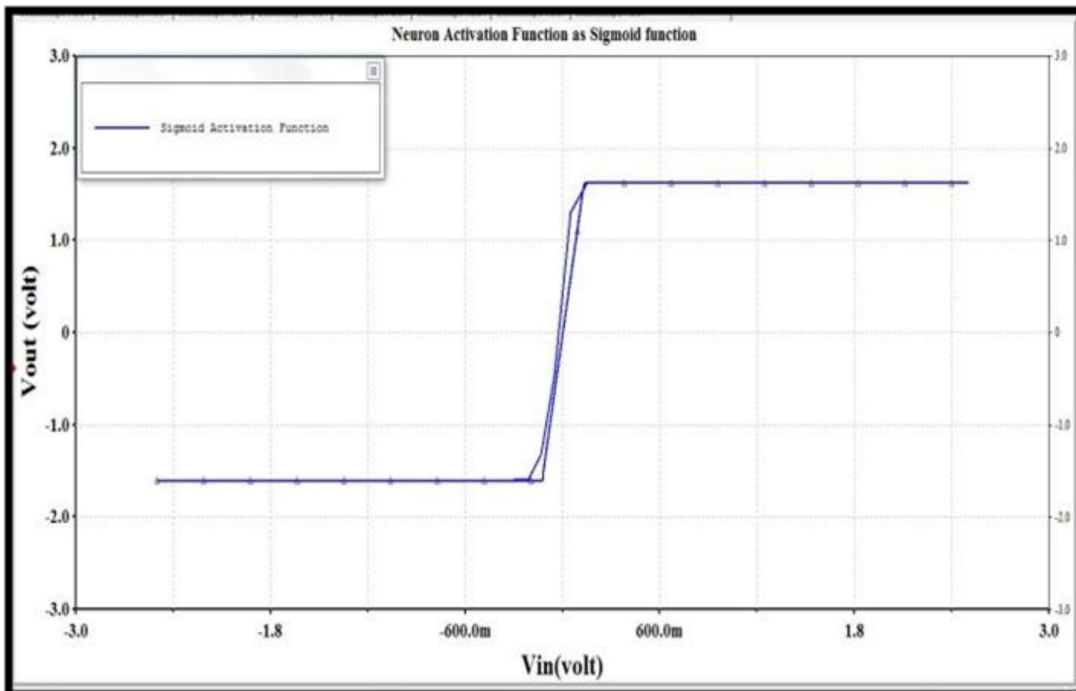
$$V = f(\alpha x) = \tanh(x) = \frac{1 - e^{-2\alpha x}}{1 + e^{2\alpha x}} \dots\dots\dots (5 - 9)$$

إذ إن  $x$  يمثل قيمة فولتية الإدخال إلى دالة الملتوية, و  $\alpha$  يمثل قيمة الكسب لفولتية الإدخال, و  $V$  يمثل فولتية إخراج دالة التفعيل (دالة الملتوية). نظرياً عندما تكون قيم فولتية الإدخال  $x$  موجبة فإن إخراج دالة التفعيل (دالة الملتوية) تكون مساوية بحدود  $+1.65\text{Volt}$  عند القيم العالية للكسب ( $\alpha$ ), وكذلك بالعكس عندما تكون فولتية الإدخال  $x$  سالبة فإن إخراج دالة الملتوية تكون مساوية بحدود  $-1.65\text{Volt}$  عند قيم عالية من الكسب ( $\alpha$ ). تقترب الدالة الملتوية من الدالة الخطوة عندما تكون قيمة الكسب ( $\alpha$ ) مالا نهاية

( $\alpha = \infty$ ). يوضح الشكل ذو الرقم (5-12) تحقيق الدالة الملتوية ذات كسب متغير باستخدام الدوائر الالكترونية في برنامج NI Software, والشكل ذو الرقم(5-13) يبين علاقة الإدخال مع الإخراج للدالة الملتوية.

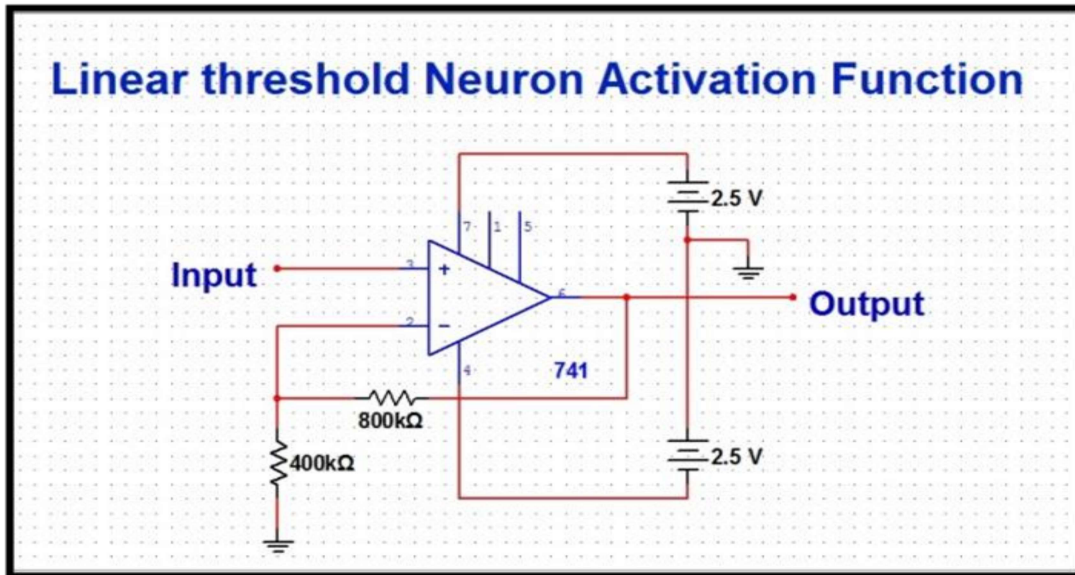


الشكل ذو الرقم (5-12) دالة التفعيل للشبكة العصبية من نوع الدالة الملتوية وذات كسب متغير مستخدماً دوائر مكبر العمليات

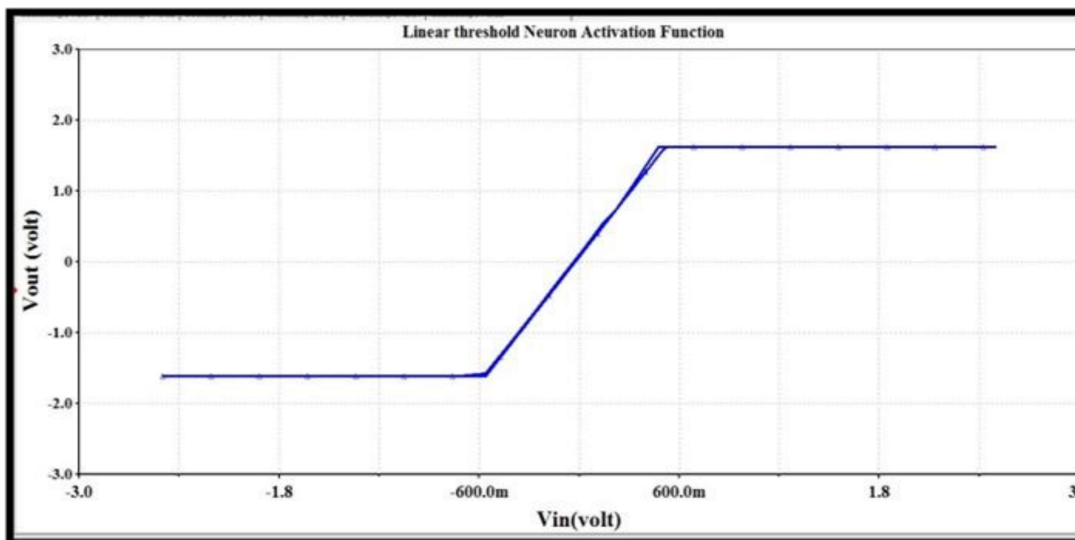


الشكل ذو الرقم (5-13) علاقة إدخال الدالة الملتوية مع إخراجها عملياً وبكسب متغير

تمّ تحقيق الدالة الخطية أو العتبة (Linear threshold function) عند مستوى العتبة والبالغة قيمته  $\pm 1.65$  volt, باستخدام الدوائر الإلكترونية مثل مكبر العمليات وفي البرنامج المستخدم NI Software كما مبين بالشكل ذي الرقم (5-14), والشكل ذي الرقم (5-15) يوضح علاقة الإدخال مع الإخراج للدالة الخطية.



الشكل ذو الرقم (5-14) تحقيق دالة الخطية بوصفها دالة التفعيل للشبكة العصبية الاصطناعية تناظرياً باستخدام دوائر مكبر العمليات (OP. Amp.)



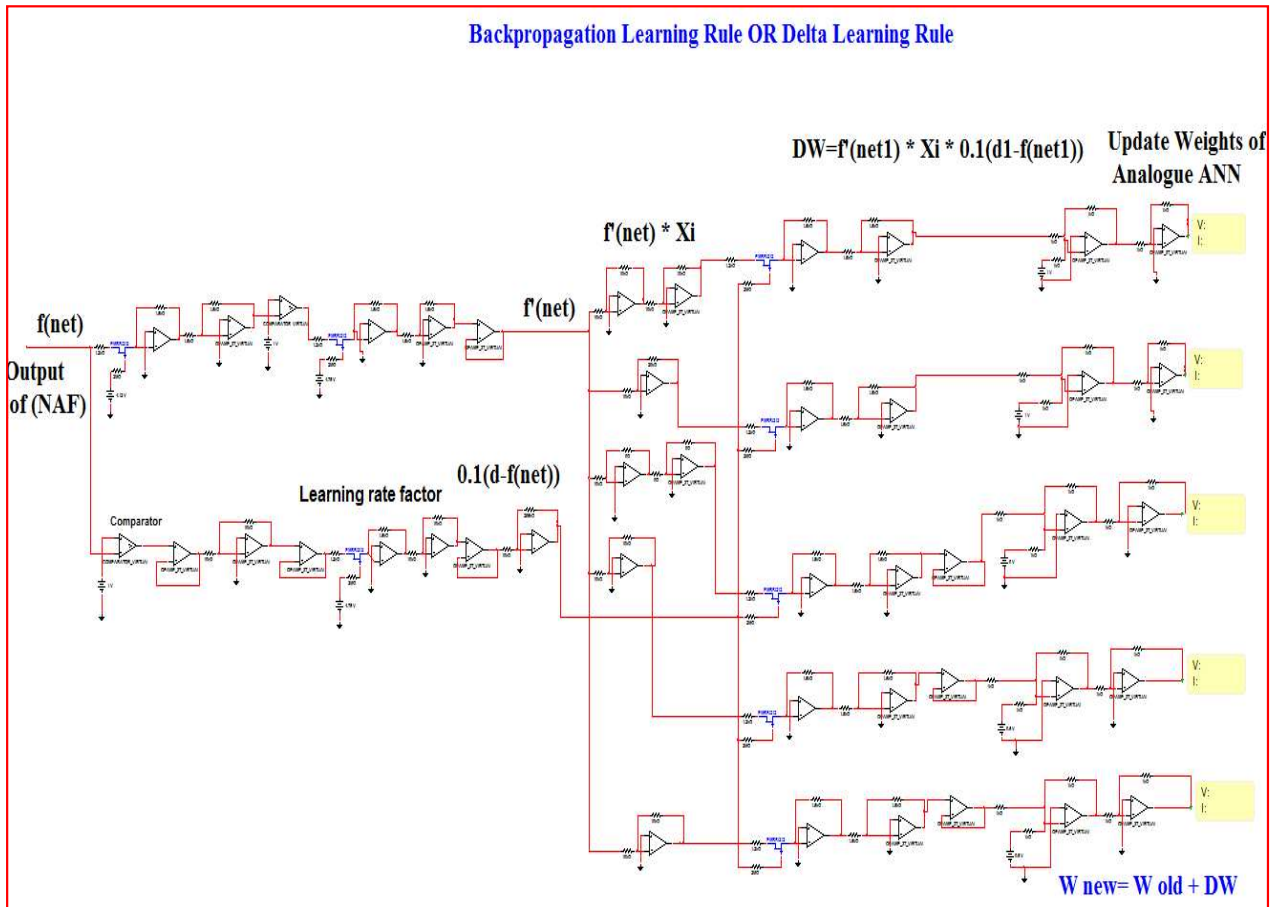
الشكل ذو الرقم (5-15) علاقة الإدخال مع الإخراج للدالة الخطية عملياً

### 3.2.5- تحقيق خوارزمية تدريب الشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية:

تم في هذه الدراسة تحقيق ثلاثة أنواع من الخوارزميات التعلم للشبكة العصبية باستخدام الدوائر الإلكترونية مثل مكبر العمليات ومستخدمًا برنامج المحاكاة NI Software لنمذجة هذه الدوائر الإلكترونية، والأنواع الثلاثة هي:

#### 1. خوارزمية التعلم الانتشار العكسي (Back Propagation learning rule):

لقد ذكرنا سابقاً في الفصل الثاني (الفقرة 3.3.2.2) أن قاعدة تعلم شبكة الانتشار العكسي تنطبق مع الشبكات العصبية الاصطناعية ذات متعددة الطبقات، وشرحنا أيضاً في الفصل نفسه الخطوات التي تتم بها بناء خوارزمية تعلم شبكة الانتشار العكسي، ويطلق عليها أسم آخر وهو Delta learning rule. الشكل ذو الرقم (5-16) يوضح تحقيق الخطوات التي تتم بها بناء خوارزمية تعلم الانتشار العكسي باستخدام دوائر

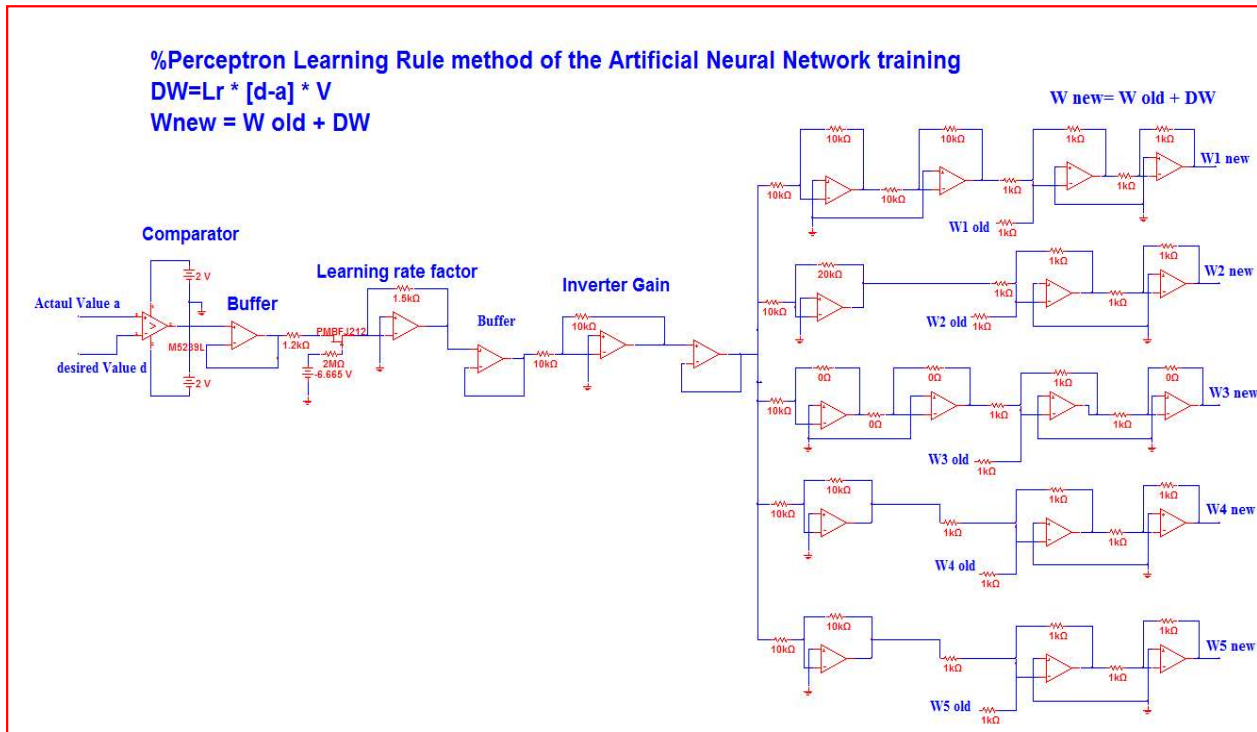


الشكل ذو الرقم (5-16) تحقيق خوارزمية تعلم الانتشار العكسي تناظرياً باستخدام دوائر مكبر العمليات لمعايرة دالة الأوزان للشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية

الالكترونية مثل مكبر العمليات لأجل معايرة أوزان الشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية. تم استخدام هذه الخوارزمية في تدريب ANN التناظرية وتم الحصول على النتائج الذي تم توضيحها في الجدول (3-5).

## 2. خوارزمية تعلم بيرسيبترون (Perceptron learning rule)

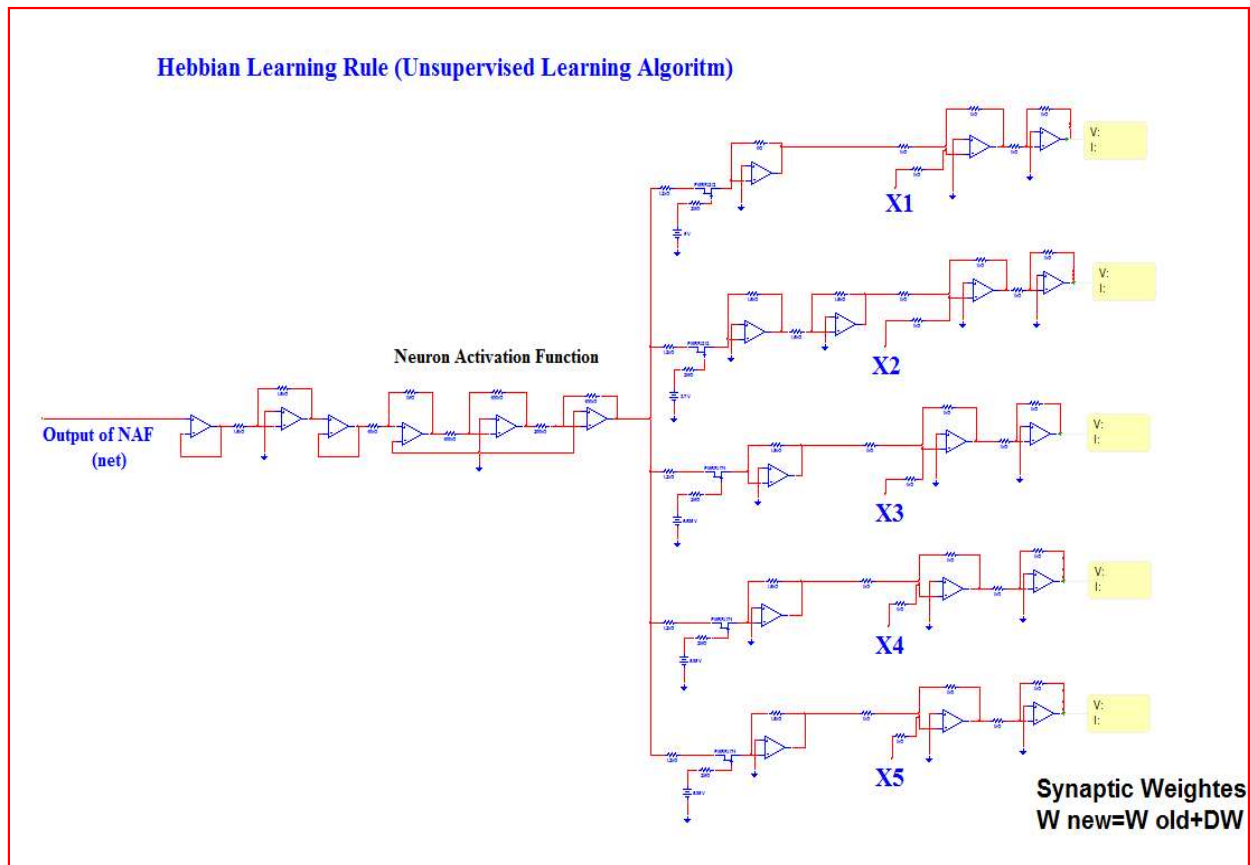
كما ذكرنا سابقاً في الفصل الثاني (الفقرة 3.3.2.2) أن قاعدة تعلم بيرسيبترون (Perceptron learning rule) تتطبق مع الشبكات العصبية الاصطناعية أحادية الطبقة، وشرحنا أيضاً في الفصل نفسه الخطوات التي تتم بها بناء خوارزمية تعلم بيرسيبترون، ويطلق عليها أسم آخر وهو (Single layer perceptron NN). الشكل ذو الرقم (5-17) يوضح تحقيق الخطوات التي تتم بها بناء خوارزمية تعلم بيرسيبترون باستخدام دوائر مكبر العمليات لإيجاد أوزان الشبكة العصبية الاصطناعية المقترحة في هذه الرسالة. تم استخدام هذه الخوارزمية في تدريب ANN التناظرية وتم الحصول على النتائج الذي تم توضيحها في الجدول (3-5).



الشكل ذو الرقم (5-17) تحقيق خوارزمية تعلم بيرسيبترون (Perceptron learning algorithm) تناظرياً باستخدام دوائر مكبر العمليات (OP. Amp.) لمعايرة أوزان الشبكة العصبية التناظرية

## 3. خوارزمية تعلم هيبين (Hebbian Learning Rule)

لقد ذكرنا سابقاً في الفصل الثاني (الفقرة 3.3.2.2) أن خوارزمية تعلم هيبين (Hebbian algorithm) تعد من خوارزميات التعلم غير الإشرافي (Unsupervised learning algorithms) على عكس النوعين السابقين اللذين يعدان من نوع خوارزميات التعلم الإشرافي (Supervised learning algorithms), وإن خوارزمية هيبين تنطبق مع الشبكات العصبية الاصطناعية ذات التغذية الخلفية العكسية مثل شبكة (Hopfield Neural Networks). الشكل ذو الرقم (5-18) يوضح تحقيق خوارزمية تعلم هيبين (Hebbian learning algorithm) باستخدام الدوائر الإلكترونية مثل دوائر مكبر العمليات, وتمّ نمذجة هذه الدوائر الإلكترونية باستخدام برنامج NI Circuit Design Suits Software.



الشكل ذو الرقم (5-18) تحقيق خوارزمية التعلم هيبين (Hebbian learning algorithm) تناظرياً باستخدام دوائر مكبر العمليات (OP. Amp.) لتكيف أوزان الشبكة العصبية التناظرية

نستنتج مما سبق ذكره أنه يمكن تحقيق كل جزء من أجزاء الشبكة العصبية الاصطناعية بشكل منفرد الذي يشمل دالة الأوزان ودالة الجمع ودالة التفعيل باستخدام الدوائر الإلكترونية مثل دوائر مكبر العمليات وترانزستور تأثير المجال, وبعد تحقيق كل أجزاء الشبكة العصبية التناظرية وتدريب الشبكة باستخدام

خوارزميات التعلم الإشرافي (تعلم الانتشار العكسي وتعلم بيرسيبترون) وخوارزميات التعلم غير الإشرافي (تعلم هيبين). ويمكن ربط هذه الأجزاء مع بعضها لتحقيق ANN المتكاملة. الشكل الموضح بالملحق (L) يوضح ANN المتكاملة لتحقيق عمل البوابة المنطقية (XOR) باستخدام دوائر مكبر العمليات وترانزستور FET، وتمّ تمثيل هذه الشبكة العصبية في البرنامج المحاكاة (NI Software).

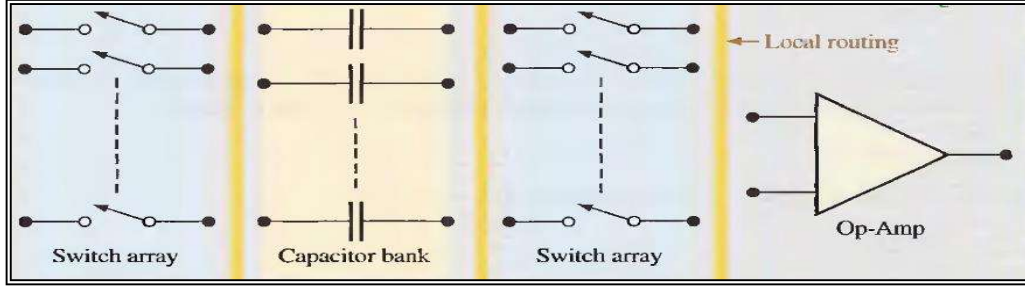
### 3.5 تحقيق الشبكات العصبية الاصطناعية وتنفيذها على شريحة FPAA

تعد تقنية FPAA النظير التماثلي أو التناظري لتقنية FPGA، التي ظهرت لأول مرة في عام 1980. وهذه التقنية عُرِضت تجارياً في الأسواق لأول مرة من شركة Anadigm<sup>TM</sup> في عام 2000، واستخدمت شرائح المصفوفات التناظرية القابلة للبرمجة (FPAA Chip) بشكل واسع في تجارب المختبرات العملية. تتكون شريحة FPAA من مركبات أساسية القابلة للبرمجة تسمى بكتل تناظرية القابلة للبرمجة (CAB) الذي يشبه الكتل المنطقية القابلة للبرمجة (CLB) الموجودة في شريحة FPGA. شريحة FPAA عبارة عن دائرة متكاملة (IC) التي يمكن استخدامها لتحقيق وتنفيذ الدوائر التناظرية القابلة للبرمجة (مثل دوائر مكبر العمليات ودائرة المقارنة ودائرة التفاضل ودائرة التكامل ودائرة الجمع ودوائر أخرى)، وتتميز الشريحة بكفاءة عالية في الأداء والتكلفة القليلة والمرونة العالية وذلك لكون المركبات التناظرية وشبكة الترابط البيني بين هذه المركبات داخل الشريحة من النوع القابلة للبرمجة.

شريحة FPAA عبارة عن مصفوفة من مركبات تناظرية قابلة للبرمجة ومن ضمن هذه المركبات المكثفات المحولة القابلة للبرمجة (Switched programmable capacitors)، وأن عمل شريحة FPAA المنتجة من شركة Anadigm<sup>TM</sup> مبنية على مبدأ عمل تقنية المكثفات المحولة (Switched-Capacitor). المكثفات المحولة تأخذ وضع المقاومة في دوائر المكثف المحول، وأن تأثير قيمة المقاومة لدائرة المكثف المحول تعتمد على قيمة سعة المتسعة وتتغير ذلك مع تغير تردد العينة للدائرة (Sampling frequency). يمكن تصميم الدوائر التناظرية المعقدة مكونة من مركبات تناظرية قابلة للبرمجة ويمكن للمصمم فحصها وتغييرها بسهولة من خلال استخدام شريحة FPAA التي تمتلك المرونة العالية في البرمجة ولعدة مرات وبالزمن الحقيقي، أي بمعنى يمكن إعادة برمجة الشريحة من خلال المركبات التناظرية الجديدة فيما أن الشريحة في حالة التشغيل مع النظام الخارجي المسيطر عليه (Plant Process) وفي الزمن الحقيقي، وهذا النوع من البرمجة التي تتميز بها شريحة FPAA تسمى ببناء الديناميكي (Dynamic configurability) ويتم ذلك باستخدام لغة برمجية (C-Code Program Language).

شريحة FPAA تتكون من مصفوفة منتظمة من كتل تناظرية (CAB) وشبكة الترابط البيني بين هذه الكتل من النوع القابلة للبرمجة، وأن كل كتلة من كتل (CAB) يحتوي على واحد أو أكثر من مكبر العمليات

والمكثفات المحولة القابلة للبرمجة بالاعتماد على التردد العينات, والشكل ذو الرقم (5-19) يوضح محتويات كل كتلة من كتل (CAB) الموجودة داخل شريحة FPAA [36][37].



الشكل ذو الرقم (5-19) المخطط الكتلي لكتلة CAB المبسطة مع المحولات نوع MOSFET

شبكة الترابط البيئي القابلة للبرمجة التي تربط بين المحتويات الداخلية لشريحة FPAA مع العالم الخارجي, وهذه الشبكة تشمل نوعين من المسارات الأول المسارات الرئيسية (العالمية) التي تربط كتلة CAB مع كتلة أخرى ومع العالم الخارجي, والثاني المسارات الثانوية (المحلية) التي تربط المحتويات الضمنية لكتلة CAB. باستخدام هذه الخصائص, العديد من الدوال التناظرية (مثل المكبرات والتكاملات والتفاضلات ومرشحات) يمكن أن تصنع بشكل منفصل مكبر العمليات ومركبات التقليدية (مثل المقاومة والمتسعة), التي يمكن أن تنفذ بتكلفة قليلة وبحجم صغير جداً ومع زيادة الوثوقية واستقرارية المركبات. شرائح FPAA تتطلب أسلوباً برمجياً متطوراً من أجل تصميم الدوائر التناظرية على الحاسوب (PC), وفحص الدوائر التصميم باستخدام البرنامج المحاكاة الخاصة لبرمجة الشريحة, وبعد الفحص يتم تسقيط المحاكاة إلى شريحة FPAA من خلال الوصلة البيئية المعيارية بين الحاسوب والشريحة. يمكن التحكم بكتل (CAB) وشبكة الترابط البيئي القابلة للبرمجة من خلال مصدر توقيت الرقاقة (On Chip Clock Source), والذاكرة (Memory) وسجلات الزحف (Shift register) وغيرها من عالم المنطق داخل الشريحة. إن برمجيات نمذجة الشريحة تنفذ العمليات الضرورية لإضافة المركبات التناظرية المطلوبة وتكوين شبكة الترابط البيئي ملائم وبناء المكثف المحول بشكل صحيح لإيجاد قيم الدوائر والمعاملات من أجل إنجاز خصائص الأداء المحدد في عمل شريحة FPAA [38]. عند تصميم الدوائر التناظرية (مثل دوائر المكبرات والتفاضل والتكامل) في كل كتلة من كتل (CAB) نحتاج إلى قيم معينة من المقاومات في إدخال دائرة المكبرات والتكاملات وقيم مقاومة التغذية الخلفية العكسية لدائرة التفاضل, ولأجل تمثيل قيم هذه المقاومات بالدقة العالية نستخدم دوائر المكثف

المحول, لأنها تتميز بالمرونة العالية من خلال قابليتها للبرمجة والقدرة المستهلكة تكون واطئة. والمقاومة (R) يمكن التعبير عنها بالمعادلة الآتية [38][39].

$$R = \frac{T}{C} \quad \dots\dots\dots (5 - 10)$$

إذ إن:

R: مقاومة الإدخال أو مقاومة التغذية الخلفية العكسية لدوائر التناظرية القابلة للبرمجة داخل كتل (CAB).

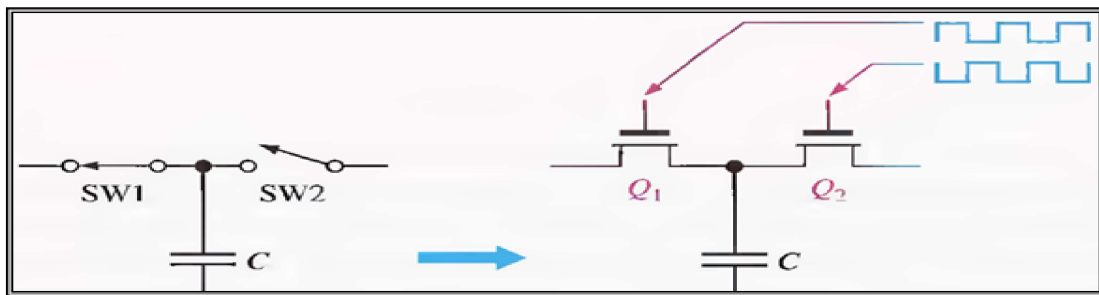
T: زمن تردد المحول (time of switching frequency).

C: سعة المتسعة لدائرة المكثف المحول (capacitance of switched-capacitor).

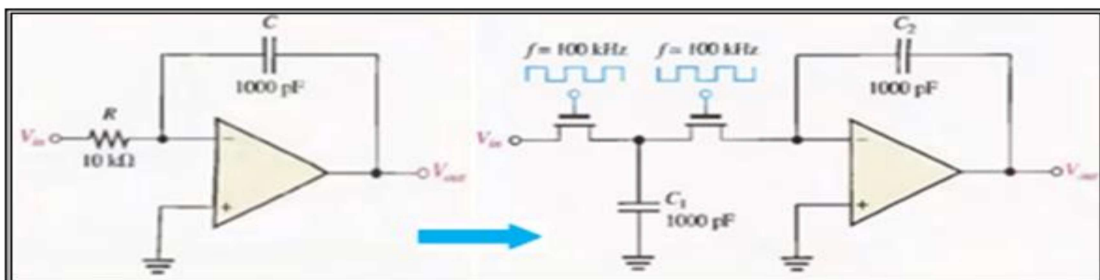
المعادلة (5-10) توضح علاقة المقاومة (R) مع الزمن (T) ومع (C), إذ أن تردد المحول (f) مساوٍ لمقلوب الزمن (T) الذي يتحكم بقيم المقاومة (R) وبهذا تصبح المعادلة (5-10) على النحو الآتي:

$$R = \frac{1}{cf} \quad \dots\dots\dots (5 - 11)$$

أنموذجياً أن دوائر المكثف المحول المنفذة في الكتل (CAB) تحتوي على مفتاح أو محول من نوع ترانزستور MOSFET القابلة للبرمجة كما موضح بالشكل (5-20). يمكن التحكم بمدة (ON) ومدة (OFF) للمحولين من نوع الترانزستور MOSFET ( $Q_1, Q_2$ ) من خلال نوعين من الإشارات (Clock Signal) وهي إشارة الموجة المربعة وزاوية فرق الطور بينهما  $180^\circ$ , إذ أن إحدى الترانزستورين تكون في حالة (ON) والأخرى في حالة (OFF) والعكس بالعكس, والشكل ذو الرقم (5-21) يوضح تنفيذ المكثف المحول لمقاومة الإدخال للدوائر مكبر العمليات ودوائر التكامل [38].



الشكل ذو الرقم (5-20) المكثف المحول مع المحولين من النوع MOSFET



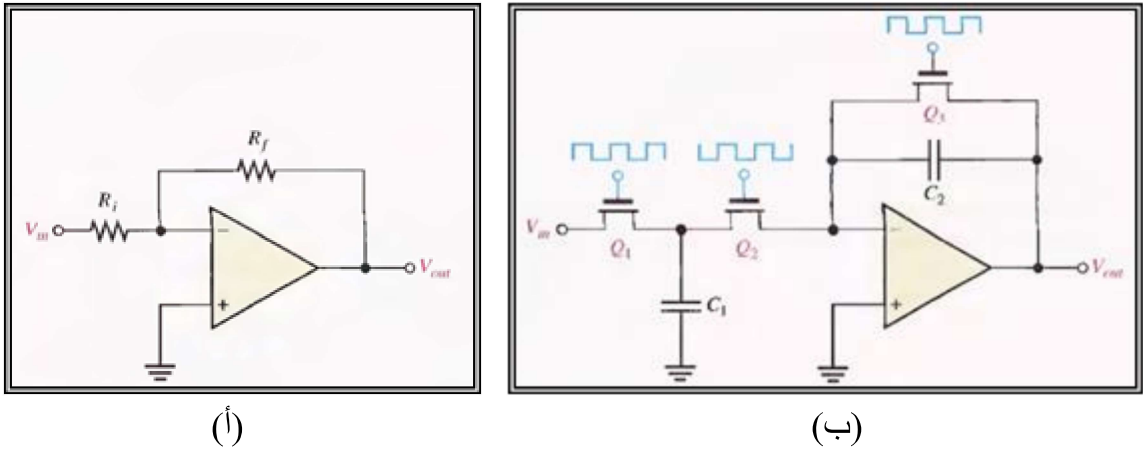
الشكل (5-21) دوائر المكبرات مع تنفيذ المكثف المحول لحساب قيمة مقاومة الإدخال

تم بناء المكثف المحول ذو مفتاح من النوع الترانزستور MOSFET ( $Q_3$ ) لحساب قيم المقاومات التغذية الخلفية العكسية المستخدمة في الدوائر المكبرات كما موضح بالشكل ذي الرقم (5-22 أ) وذلك بجعل الترانزستورين ( $Q_1$  ,  $Q_3$ ) في حالة (ON) وبالوقت نفسه كما موضح بالشكل ذي الرقم (5-22 ب), وبهذا يتم شحن المتسعة ( $C_1$ ) إلى فولتية الإدخال من خلال ( $Q_1$ ), وتفريغ المتسعة ( $C_2$ ) من خلال ( $Q_3$ ). عندما ( $Q_2$ ) في حالة (ON) فإن الفولتية المخزونة في المتسعة ( $C_1$ ) تسلط إلى إدخال مكبر العمليات ويشحن المتسعة ( $C_2$ ), وأن كسب الفولتية تكون على النحو الآتي [38]:

$$A_v = -\frac{R_f}{R_i}$$

$$A_v = -\frac{\left(\frac{1}{fC_2}\right)}{\left(\frac{1}{fC_1}\right)} = -\frac{\left(\frac{1}{C_2}\right)}{\left(\frac{1}{C_1}\right)}$$

$$A_v = -\frac{C_1}{C_2} \dots \dots \dots (5 - 12)$$



الشكل ذو الرقم (5-22) دوائر المكبر مع المكثفات المحولة لإيجاد قيمة مقاومة التغذية الخلفية العكسية ومقاومة الإدخال لدائرة مكبر العمليات

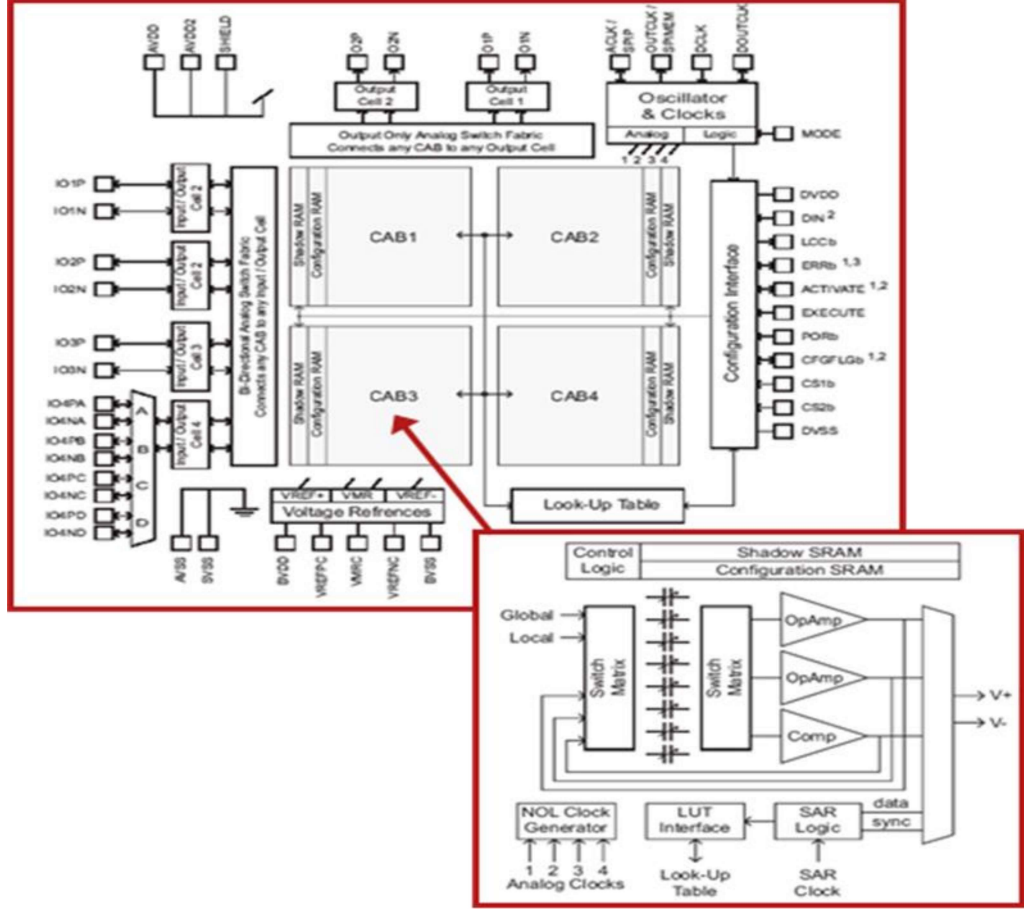
أنتجت شركة Anadigm<sup>TM</sup> نوعين من الشرائح FPAA الأول الشرائح ذات البرمجة الديناميكية (Dynamic configurable) والرقاقات (Chips), المستخدمة في هذا النوع من الشرائح FPAA هي (AN221E04, AN231E04 and AN220E04) وسميت بالديناميكية, لأنه بإمكان المصمم تسقيط المحاكاة الجديدة على الشرائح باستخدام (Anadigm Designer 2) وهو في حالة التشغيل مع النظام المسيطر عليه (Plant Process) وفي الزمن الحقيقي, والثاني الشرائح ذات البرمجة الاستاتيكية (Static configurable) والرقاقات المستخدمة في هذا النوع هي (AN120E04 and AN121E04), ويحتاج هذا النوع من الشرائح إلى التصغير قبل تحميلها ببرنامج جديد [39].

### 1.3.5 - رقاقة (AN221E04) المستخدمة في الشرائح FPAA ذات البرمجة الديناميكية

الربط الأنموذجي والمخطط الكتلي للرقاقة موضحان في الشكلين (5-23 أ) و(5-23 ب) بالتتابع.



(١)



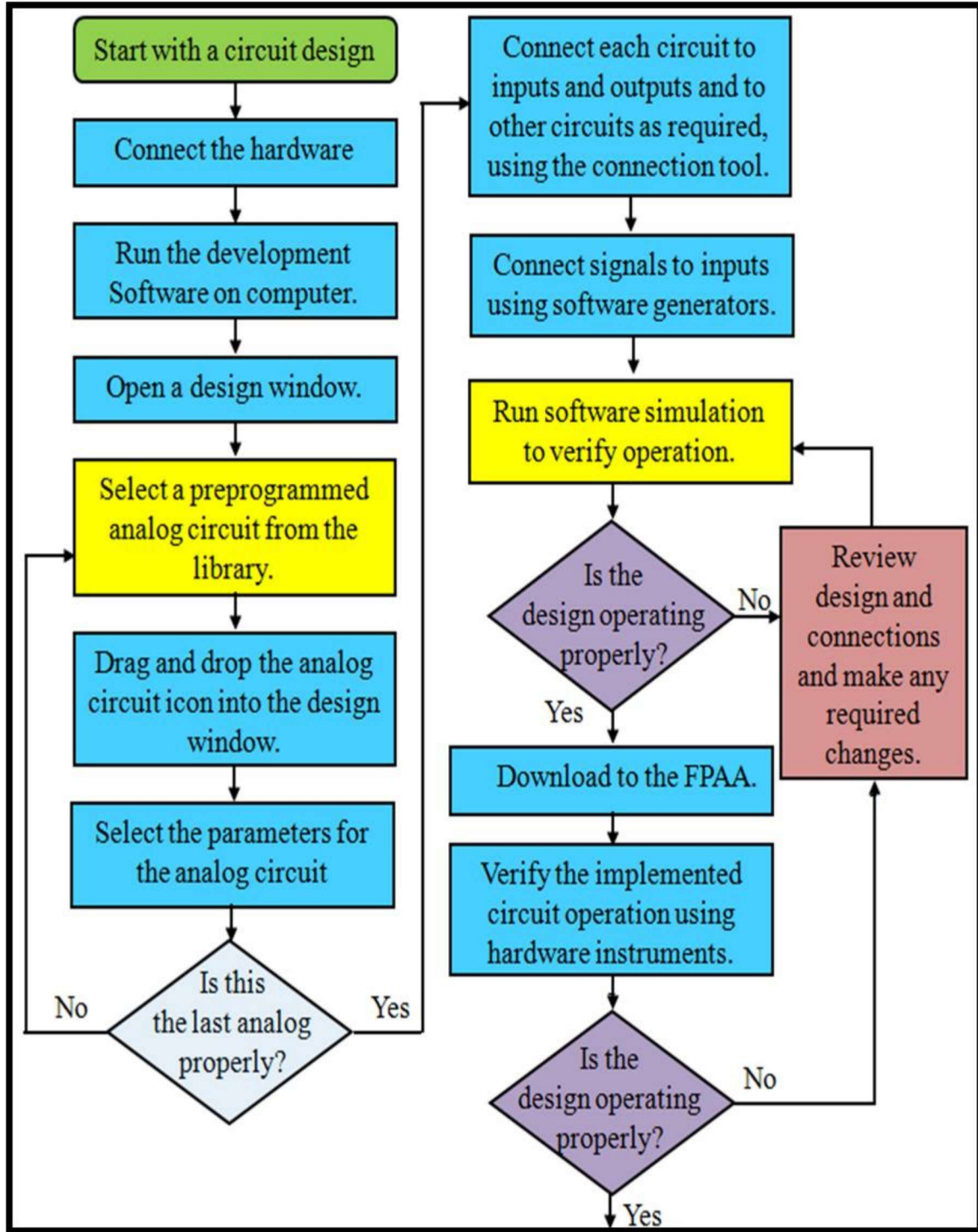
تحتوي رقاقة (AN221E04 Chip) الموجودة داخل شريحة FPAA كما الموضح بالشكل (5-23) على أربع كتل من (CAB) القابلة للبرمجة الديناميكية (Dynamic configurable) ومرتبنة بشكل مصفوفة (2\*2) وتحتوي أيضاً على شبكة الترابط البيني القابلة للبرمجة وموارد أخر لتهيئة البرمجة وإعادة البرمجة للشريحة [40]. كل كتلة (CAB) تحتوي على (LUT) ذات حجم *256 byte*, وهي عبارة عن نوع من الذاكرة تقوم بخزن البيانات على عناوين مختلفة ضمن حجم LUT, ويتم عملية التحكم بها من خلال المسيطر المايكرو كونترولر (Microcontroller) المتوفرة في بعض أنواع الشرائح FPAA [41].

### 2.3.5 - برامجيات النمذجة لشريحة FPAA

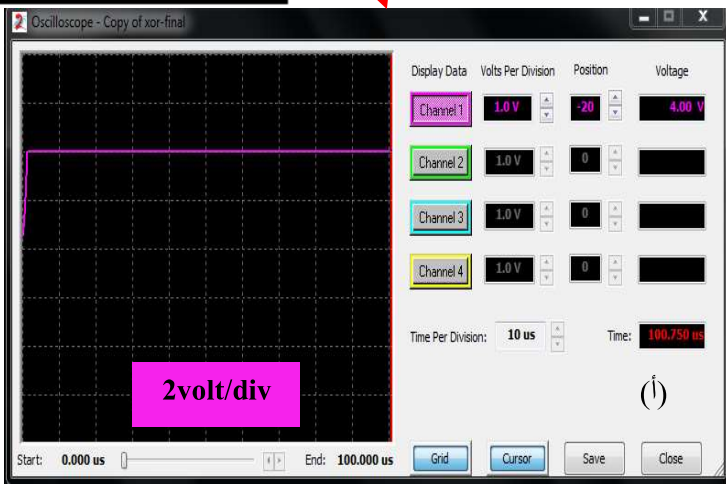
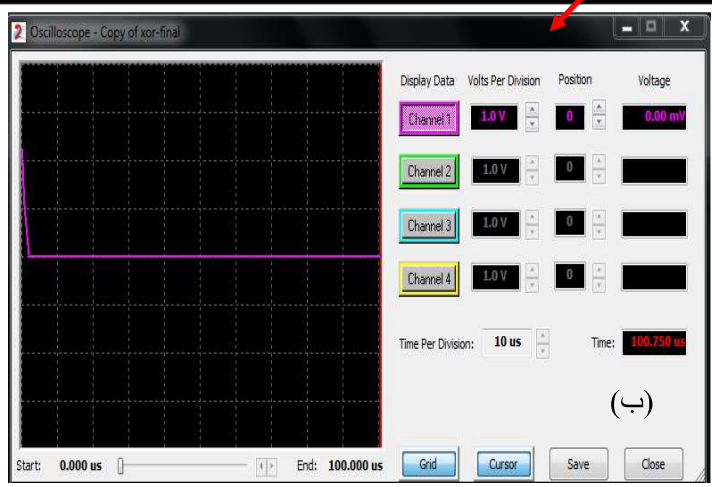
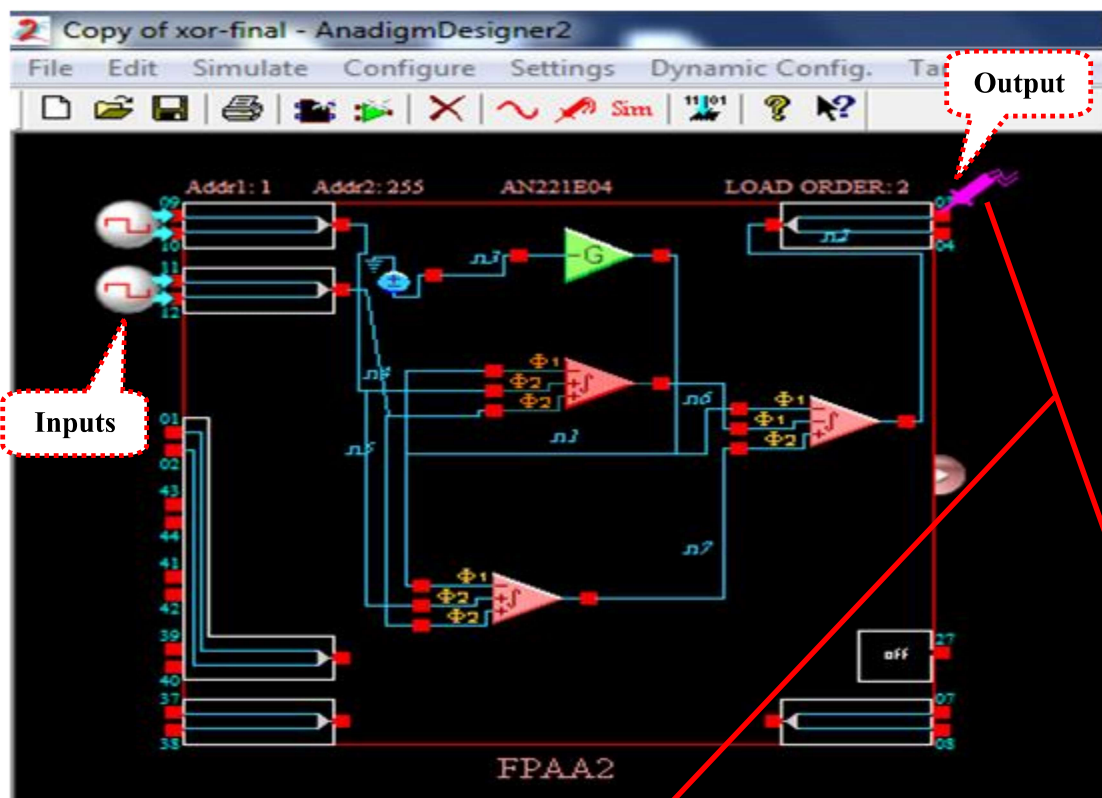
الأسلوب البرمجي المتقدم الذي يسمح للمصمم إدخال تصميم الدوائر التناظرية المكونة من مركبات التناظرية القابلة للبرمجة إلى الحاسوب (PC) من خلال البرنامج المحاكاة (Anadigm Designer 2) وبعد بناء

الدائرة التناظرية يتم تحميل البرنامج المحاكاة إلى داخل شريحة FPAA من خلال الوصلات البينية بين الحاسوب والعالم الخارجي (FPAA Chip) [38]. لأجل توضيح كيفية برمجة شريحة FPAA من خلال البرنامج المحاكاة تمّ بناء خطوات البرمجة للشريحة من خلال المخطط الموضح بالشكل ذي الرقم (5-24). والشبكة العصبية ذات الحجم (1-5) المحققة سابقاً باستخدام الدوائر التناظرية من خلال البرنامج المحاكاة (NI Software) فقد تمّ تحقيقها أيضاً في سبع شرائح من FPAA باستخدام المحاكاة (Anadigm Designer 2) كما موضح بالملحق (M), وأما كيفية تحقيق الشبكة في الشريحة تمّ من خلال إدخال قيم الأوزان والانحياز الموضحة بالملحق (N) إلى المركبات التناظرية داخل شريحة FPAA.

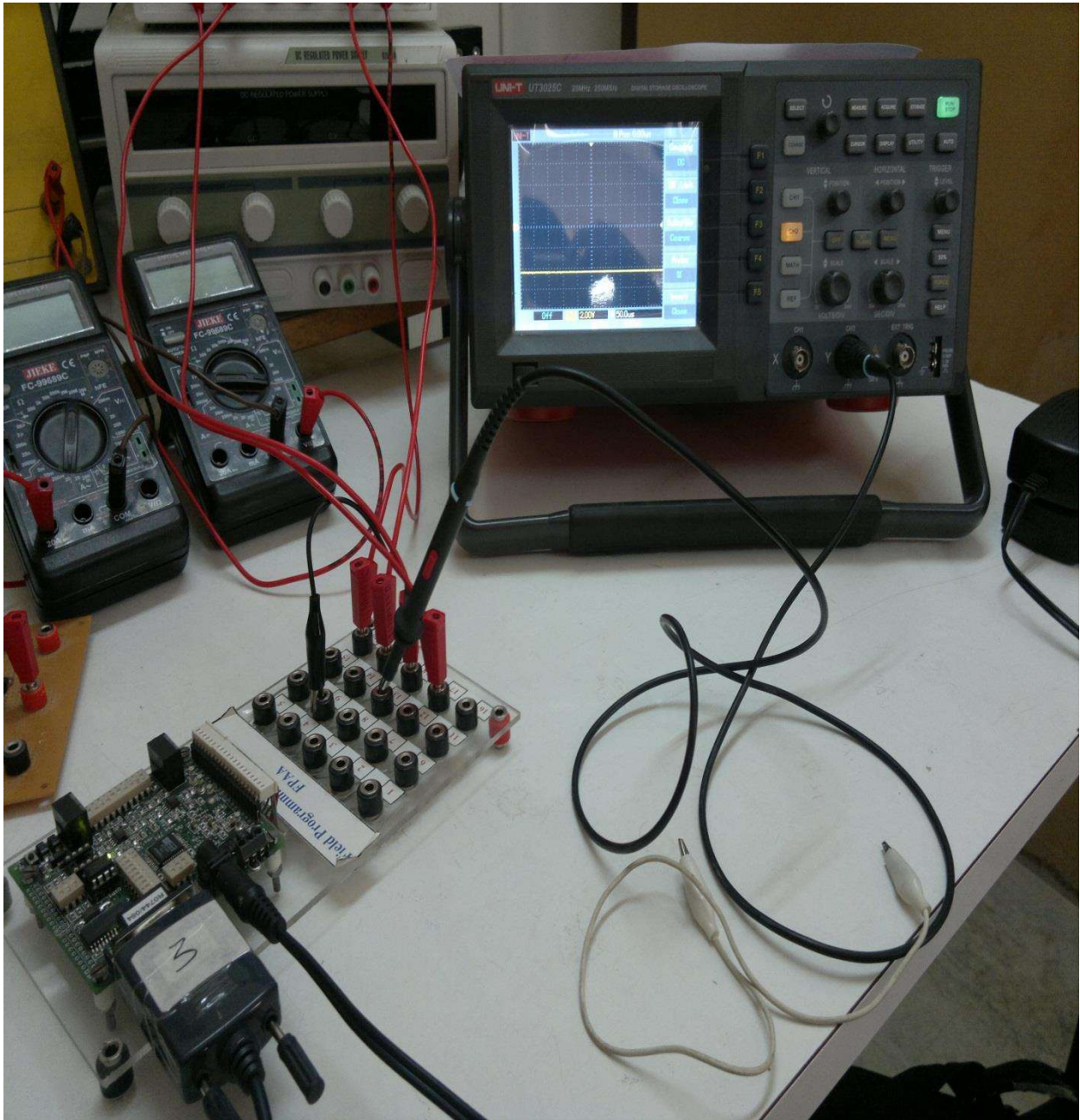
ولأجل توضيح كيفية تحقيق وتنفيذ الشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية على شريحة FPAA تمّ اخذ مثال وهو بناء الشبكة العصبية الاصطناعية المتكاملة الرقمية باستخدام الماتلاب والتناظرية باستخدام الدوائر التناظرية لتحقيق عمل البوابة المنطقية (XOR gate). بالبداية تم تدريب ANN ذو حجم (1-2) في الحاسوب باستخدام برنامج الماتلاب لتحقيق عمل البوابة المنطقية (XOR gate) وبعد تدريب الشبكة حُصِلَ على قيم الأوزان والانحياز, وقد وُضِحَ البرنامج وقيم الأوزان بالملحق (P), وتمّ تحقيق هذه الشبكة وتنفيذها على شريحة FPAA من خلال إدخال قيم الأوزان والانحياز للشبكة العصبية نفسها إلى الدوائر التناظرية القابلة للبرمجة داخل الشريحة (مثل المكبرات (Gaininv) ودوائر الجمع (SumIntegrator)) باستخدام البرنامج المحاكاة (Anadigm Designer 2) كما موضح بالشكل ذي الرقم (5-25). الشكل ذو الرقم (5-25 أ) يوضح إخراج شبكة (ANN like XOR) عندما يكون الإدخالات (4V, 4V) أو (0V, 0V), وأما عند الإدخالات (0, 4V) أو (4V, 0V) موضحة بالشكل ذي الرقم (5-25 ب), والشكل ذو الرقم (5-26) يوضح تسقيط الشبكة العصبية نفسها على شريحة FPAA, وإخراج الشبكة العصبية (ANN like XOR) المنفذة في شريحة FPAA فقد تم توضيحها بالشكل ذي الرقم (5-27).



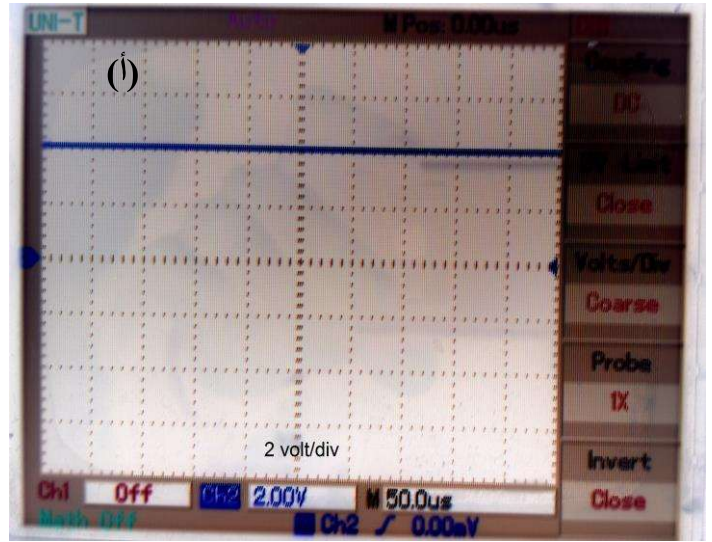
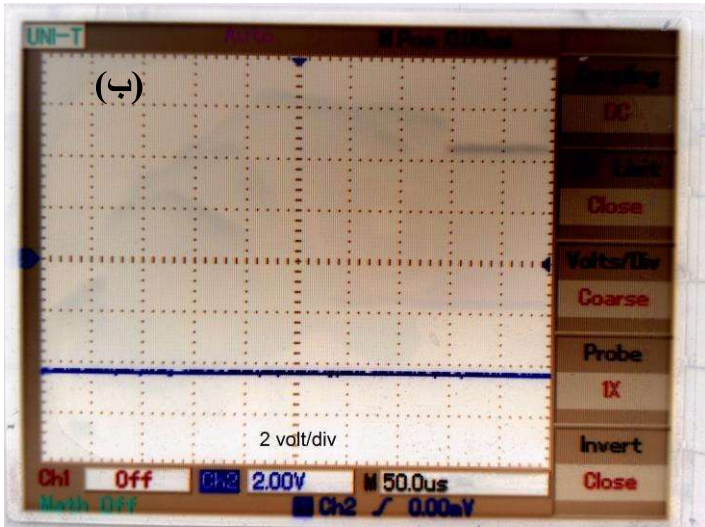
الشكل ذو الرقم (5-24) مخطط لتوضيح خطوات برمجة شريحة FPLD



الشكل ذو الرقم (5-25) تحقيق شبكة ( ANN like XOR Gate ) على شريحة FPAA (أ) إخراج الشبكة عندما تكون الإدخالات مساوية لـ (0V,4V) أو (4V,0V), (ب) إخراج الشبكة عندما تكون الإدخالات مساوية لـ (4V,4V) أو (0V,0V)

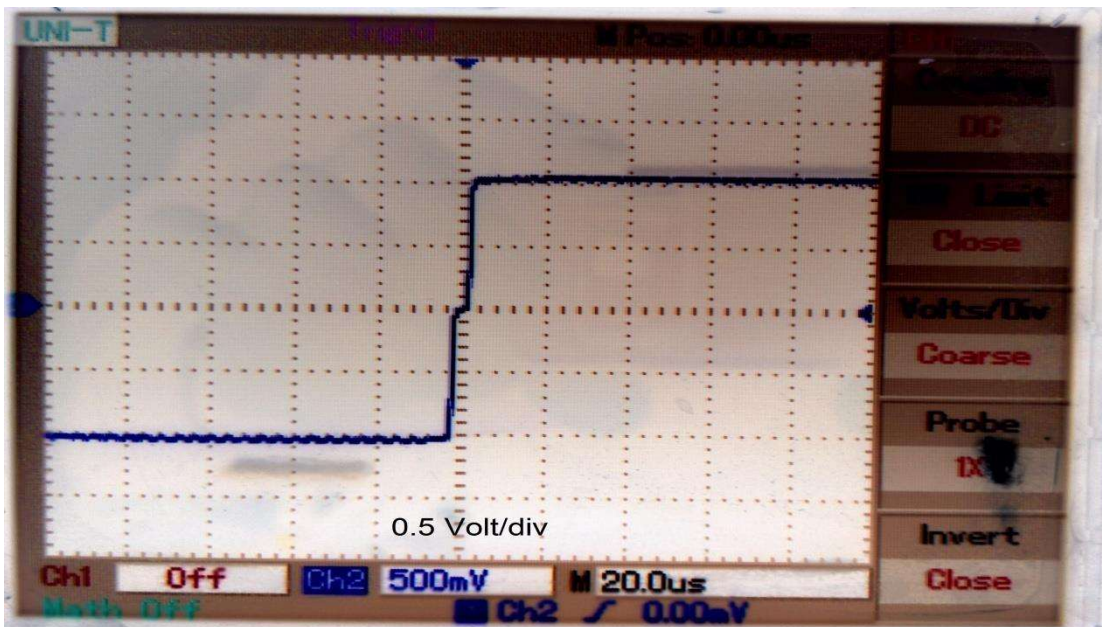


الشكل ذو الرقم (5-26) تسقيط الشبكة العصبية الاصطناعية التناظرية المتكاملة لتنفيذ عمل البوابة المنطقية (XOR gate) على شريحة FPAA من خلال برنامج المحاكاة Anadigm designer 2



الشكل ذو الرقم (5-27) إخراج الشبكة العصبية (ANN like XOR gate) المنفذة في شريحة FPAA  
 (أ) إخراج الشبكة عندما يكون الإدخالان مختلفين, (ب) إخراج الشبكة عندما يكون الإدخالان متشابهين

يمكن تحقيق دالة التفعيل من النوع الدالة الملتوية (Sigmoid NAF) وتنفيذها على شريحة FPAA من خلال استخدام المحاكاة (Anadigm Designer 2), ولأجل التحقيق تم استخدام LUT داخل الشريحة لخرن البيانات. الشكل ذو الرقم (5-28) يوضح تحقيق الدالة الملتوية وتنفيذها بعد تحميل المحاكاة إلى شريحة (AN221E04 FPAA Chip).



الشكل ذو الرقم (5-28) تحقيق وتنفيذ الدالة الملتوية في شريحة (AN221E04 FPAA Chip)

تم في الفصل الرابع تحقيق وتنفيذ الشبكة العصبية الاصطناعية الرقمية في الحاسوب باستخدام برنامج المحاكاة MATLAB/SIMULINK للتحكم بسرعة المحرك التيار المستمر وبالزمن الحقيقي عبر بطاقة اكتساب البيانات. وفي هذا الفصل (الفصل الخامس) تم تحقيق وتنفيذ الشبكة العصبية الاصطناعية المصممة في الفصل الرابع تناظرياً بالدوائر الالكترونية مثل دوائر مكبر العمليات وترانزستور تأثير المجال، ونمذجة هذه الدوائر التناظرية على نوعين من المحاكاة الاول برنامج NI circuit design suits software والثاني برنامج Anadigm designer 2.

وللمقارنة بعض الاعمال السابقة المذكورة في الفصل الاول مع النتائج التي تم التوصل اليها في هذا البحث، ففي البحث رقم (7) حقق الباحثون الشبكة العصبية من النوع الاستاتيكي ذات الحجم (1-6-3) للسيطرة على سرعة المحرك وتوصلوا الى ان نسبة الخطأ مساوية لـ 0.41% ولم ينفذوا المنظومة بالزمن الحقيقي، بينما في هذا البحث تم تنفيذ الشبكة العصبية من النوع الديناميكي ذات الحجم (1-5-5) وبالزمن الحقيقي وكانت نسبة الخطأ (فرق بين قيمة السرعة المرجعية والسرعة الحقيقية للمحرك) حوالي 0.034%، وفي البحث رقم (9) تم تحقيق المسيطر التقليدي PID للسيطرة على سرعة المحرك واستخدمت طريقة التجربة والخطأ لا يجاد معاملات الكسب للمسيطر ( $K_p, K_i, K_d$ ) ولم يستخدم الباحث احدى قواعد الضبط المتوفرة واستنتج الباحث بان المسيطر PID احسن واكفأ من الانواع الاخرى من المسيطرات التقليدية مثل (P controller, PI controller, PD controller)، بينما في هذا البحث تم استخدام طريقة زيكلر-نيكولاس لإيجاد معاملات الكسب للمسيطر PID وتم تحسن خصائص المحرك في الحيز الزمني عند استخدام هذه الطريقة بنسبة 45%. وفي البحث رقم (11) حققا الباحثان الشبكات العصبية الاصطناعية التناظرية باستخدام الدوائر الالكترونية وتم نمذجة هذه الدوائر باستخدام برنامج Pspice، بينما في هذا البحث تم نمذجة الدوائر باستخدام برنامج المحاكاة NI circuit design suits software. في البحث رقم (12) حقق ونفذ الباحثون الشبكة العصبية التناظرية ذات الحجم (1-5-2) على خمس شرائح من FPAA واستنتج الباحثون بان استخدام دالة التفعيل للشبكة من النوع الدالة الخطية مبسطة وسهلة وقليل الكلفة (استهلاك عدد قليل من شرائح FPAA) مقارنة مع الدوال التفعيل الاخرى مثل الدالة الملتوية التي تستهلك عدد اكثر من شرائح FPAA وذلك لان هذه الدالة تستخدم مع الشبكات العصبية الاصطناعية التناظرية متعددة الطبقات بينما الدالة الخطية تستخدم مع الشبكات ذات أحادية الطبقة، أما في هذا البحث تم تحقيق وتنفيذ الشبكة العصبية التناظرية احادية الطبقة وذات الحجم (1-5) على سبع شرائح من FPAA، وتم ايضاً تحقيق وتنفيذ الدالة الملتوية كدالة التفعيل للشبكة العصبية التناظرية على شريحة FPAA من خلال Anadigm designer 2 باستخدام جدول المعاينة (LUT) المتوفرة داخل الشريحة. وفي البحث رقم (13) استخدم الباحثان طريقة جديدة Fletcher-Reeves conjugate gradient لتدريب

الشبكة العصبية الاصطناعية المستندة الى مبدأ عمل المسيطر التقليدي PID ومن النوع شبكة الانتشار العكسي (BPNN) واستنتج الباحثان ان هذه الطريقة تكون فيها تقارب ميل التدريب للشبكة الى نقطة الحد الأدنى المحلية سريعة جداً مقارنةً مع الطرق المستخدمة الأخرى مثل طريقة Steepest gradient descent التي تم استخدامها في هذا البحث لان الطريقة التي تم استخدامها من قبل الباحثان في البحث رقم (13) يحتاج الى احدى قواعد الضبط المتوفرة ما يسمى بقاعدة ضبط الحشد الجزئية (Particle Swarm Optimization) وأما في هذا البحث لم يتم استخدام هذه قاعدة الضبط بل تم استخدام طريقة (قاعدة) زيكلر - نيكولاس.

لأجل المقارنة بين معايرة قيم الأوزان للشبكة ANN التناظرية من نوع (BPNN) و (Perceptron NN) ذات حجم (1-5) المحققة باستخدام الدوائر الإلكترونية الذي تم تحقيقه باستخدام برنامج المحاكاة (NI Software) وبين معايرة قيم الأوزان للشبكات نفسها المحققة رقمياً باستخدام برنامج MATLAB/M-file, فقد تم توضيح ذلك بالجدول ذي الرقم (3-5).

الجدول ذو الرقم (3-5) معايرة الأوزان للشبكة العصبية الرقمية والتناظرية والمقارنة بينهما

Set of inputs training for ANN	Digital implementation of ANN		Analogue implementation of ANN	
	Updated weights by BP trained in MATLAB	Updated weights by Perceptron trained in MATLAB	Updated weights by BP trained in NI Software	Updated weights by Perceptron trained in NI Software
	$W'_1=[1 \ -1 \ 0 \ 0.5 \ 0]$	$W'_1=[1 \ -1 \ 0 \ 0.5 \ 0]$	$W'_1=[1 \ -1 \ 0 \ 0.5 \ 0]$	$W'_1=[1 \ -1 \ 0 \ 0.5 \ 0]$
$X_1=[1 \ -2 \ 0 \ -1 \ 0]$	$W'_2=[0.974 \ -0.94 \ 0 \ 0.526 \ 0]$	$W'_2=[0.8 \ -0.6 \ 0 \ 0.7 \ 0]$	$W'_2=[1 \ -1 \ 0 \ 0.5 \ 0]$	$W'_2=[0.794 \ -0.586 \ 0 \ 0.7 \ 0]$
$X_2=[0 \ 1.5 \ -0.5 \ -1 \ 0]$	$W'_3=[0.974 \ -0.95 \ 0.002 \ 0.531 \ 0]$	$W'_3=[0.8 \ -0.6 \ 0 \ 0.7 \ 0]$	$W'_3=[1 \ -0.99 \ 0.002 \ 0.5 \ 0]$	$W'_3=[0.79 \ -0.6 \ 0 \ 0.699 \ 0]$
$X_3=[-1 \ 1 \ -0.5 \ -1 \ 0]$	$W'_4=[0.947 \ -0.929 \ 0.016 \ 0.505 \ 0]$	$W'_4=[0.6 \ -0.4 \ 0.1 \ 0.5 \ 0]$	$W'_4=[1 \ -0.99 \ 0.002 \ 0.5 \ 0]$	$W'_4=[0.59 \ -0.382 \ 0.1 \ 0.5 \ 0]$

ومن خلال البرنامج المحاكاة (NI Circuit Design Suits Software) تم بناء الشبكة العصبية الاصطناعية المتكاملة باستخدام الدوائر الإلكترونية (مثل مكبر العمليات وترانزستور تأثير المجال) لتحقيق عمل البوابة المنطقية (XOR gate) كما الموضح بالملحق (L), والجدول ذو الرقم (4-5) يبين معايرة القيم الأوزان والانحياز لطبقات الإدخال والإخراج للشبكة العصبية التناظرية.

الجدول ذو الرقم (4-5) معايرة قيم الأوزان والانحياز للشبكة العصبية التناظرية لتحقيق البوابة المنطقية (XOR)

	Weights Inputs	Update Weights of I/P Layer(mvolt)						Update Weights of O/P Layer (mvolt)		
		V11	V12	V21	V22	b1	b2	W1	W2	b3
Initial Value of weights		100	100	300	200	500	500	100	200	500
Analog ANN	$x1=1,x2=-1,t1=1$	100	540	301	201	507	512	154	275	610
Digital ANN	$x1=1,x2=-1,t1=1$	97.5	535	300	199	504	510	155	277	608
Analog ANN	$x1=1,x2=1,t2=-1$	101	101.6	301	201	530	515	83.5	178	210
Digital ANN	$x1=1,x2=1,t2=-1$	98.5	97	295.6	194.1	485.3	470	85.3	172	205

ومن خلال تصميم منظومة السيطرة نظرياً في بيئة MATLAB للمسيطر التقليدي PID والمسيطر ANN الرقمي, تم السيطرة على سرعة محرك التيار المستمر من السرعة صفر إلى السرعة المقننة للمحرك (1500rpm), والجدول ذو الرقم (5-5) يبين الفرق بين منظومة السيطرة التقليدية PID والذكاء ANN من ناحية زمن استقرار النظام والنسبة المئوية لتجاوز الحد وزمن الصعود وتأثير الحمل المسلط في استجابة سرعة المحرك للدائرة ما بعد المسيطر (Post Controller).

الجدول ذو الرقم (5-5) مقارنة أداء المنظومة النظرية عند استخدام مسيطر PID ومسيطر ANN

Control Method	Motor Speed (RPM)	$t_s$ (sec)	$t_r$ (sec)	P .O .Sh (%)	$e_{ss}$ (%)	Effect of Loading 100% from Rated
trial and error method has been used to calculate Parameters of PID Controller	1000	5.3	1.25	3	0.001	High
Ziegler-Nichols method has been used to calculate Parameters of PID Controller	1000	3.2	1.15	0.6	0	Middle
ANN Controller	1000	2.5	0.3	4	0	Low

ومن خلال التصميم العملي للمنظومة وكذلك المسيطر التقليدي PID والمسيطر ANN الرقمي, واجهنا بعض المشاكل في التطبيق العملي وهي عدم توفر الحمل نوع Eddy Current Machine في المختبر والبدائل المستخدمة مولدة من النوع التيار المستمر (dc generator) لأجل تسليط حمل على المحرك التيار المستمر وذلك بتسليط حمل مقاومي ولقيم مختلفة الذي يغير التيار المار في الحمل وكننتيجة تم قياس الحمل المسلط على المحرك بـ (Ampere) وليس كـ (نيوتن-متر). ومن المشاكل الأخرى هي عدم ثبوت مجهز قدرة التيار المستمر المتوفر في المختبر فعند تحميل المحرك تهبط فولتية المجهز (اقل من 220 فولت) وكذلك عند رفع الحمل ترتفع فولتية المصدر, وهذا يؤثر في الحسابات, وعدم دقة المقاييس المعتمد عليها في اخذ القراءات لكل من التيارات والفولتيات.

إن أداء المنظومة العملية من ناحية الاستجابة (خصائص المحرك ذات الحيز الزمني) موضح في الجدول ذي الرقم (5-6) والفرق واضح لكل من زمن الصعود ( $t_r$ ) وزمن الاستقرار ( $t_s$ ) وأقصى تجاوز حد (P.O.Sh) وتفسير الفرق بين طريقتي PID و ANN مماثل لحالة المنظومة نظرياً.

الجدول ذو الرقم (5-6) مقارنة أداء المنظومة العملية عند استخدام مسيطر PID ومسيطر ANN

Control Method	Motor Speed (RPM)	$t_s$ (sec)	$t_r$ (sec)	P .O .Sh (%)	$e_{ss}$ (%)	Effect of Loading (A)
PID Controller	1000	10.5	2.5	4.5	0	High
ANN Controller	1000	6.5	1.8	15	0	Very Low

## الفصل السادس

### الاستنتاجات والأعمال المستقبلية

### Conclusions and Future Works

#### 1.6 المقدمة:

يتناول هذا الفصل مجموعة من الاستنتاجات التي تم استخلاصها من التنفيذ النظري والعملي لكلٍ من المنظومات, منظومة السيطرة التقليدية (PID) ومنظومتي السيطرة الذكية (الشبكات العصبية الاصطناعية الرقمية والتناظرية) وعدداً من المقترحات لأعمال مستقبلية من الممكن تنفيذها والمتعلقة بموضوع البحث.

#### 2.6 الاستنتاجات:

1. إن أداء المسيطر الذكي ANN أحسن وأكفا من أداء المسيطر التقليدي PID من ناحية خصائص المحرك في الحيز الزمني, فضلاً عن أن تأثير الحمل في هبوط السرعة للمحرك بوجود المسيطر ANN اقل بكثير مقارنة مع وجود المسيطر PID.
2. إن أفضل طرائق التدريب للشبكة المستخدمة هي طريقة (trainlm) وأفضل دوال التفعيل هي استخدام الدالة الملتوية في إدخال الشبكة والدالة الخطية في إخراج الشبكة العصبية المستخدمة إذ إنهما أعطتا السرعة العالية في الوصول إلى الهدف وكانت عدد دورات التكرار للوصول إلى الهدف أسرع مقارنة مع طرق التدريب الأخرى.
3. التنفيذ العملي للمسيطرات (PID & ANN) في الزمن الحقيقي باستخدام بطاقة اكتساب البيانات للتحكم بسرعة المحرك من خلال المحاكاة (MATLAB/SIMULINK) فيه تأخير زمني بسبب بطاقة اكتساب البيانات زمن استجابة الدوائر الإلكترونية الملحقة وصولاً إلى المحرك.
4. تحققت دالة الأوزان لقيم الموجبة والسالبة للشبكة العصبية بوساطة استخدام الدوائر الإلكترونية مثل مكبر العمليات وترانزستورين تأثير المجال ذي البوابة المتصلة (Transmission Gate Transistors), إذ تمّ تمثيل القيم الموجبة للأوزان باستخدام (N-Channel FET) واستخدام (P-Channel FET) للقيم السالبة للأوزان .
5. تحقيق الدالة الملتوية التي تعد جزءاً من الشبكة العصبية المستخدمة وتنفيذها على شريحة FPAA باستخدام ذاكرة LUT ذات حجم 256byte الموجودة داخل شريحة AN221E04 FPAA Chip.

### 3.6 الأعمال المستقبلية:

- تحقيق كلٍ من المسيطر (PID) والمسيطر الشبكة العصبية الاصطناعية وتنفيذهما عملياً في شريحة FPAA للتحكم بسرعة المحرك التيار المستمر في الزمن الحقيقي.
- تحقيق وتنفيذ الشبكة العصبية الاصطناعية باستخدام المركبات التناظرية القابلة للبرمجة داخل شريحة (FPMA) التي تحتوي على أربع شرائح من (AN221E04 FPAA Chip).
- تحقيق وتنفيذ الشبكة العصبية الاصطناعية باستخدام الدوائر الإلكترونية من خلال إحدى البرامجيات النمذجة (مثل PSpice) وتسقيطها على شريحة الدوائر المتكاملة ذات تقييس واسع جداً (VLSI Chip) مثل شريحة (Neuron chip).

## References:

المصادر:

- [1]: Khalil R. Ahmed, " **Hardware Implementation of Back propagation Neural Networks on Field programmable Gate Array (FPGA)**", Al-Rafidain Engineering, Vol.(16), No.(3), pp:62-70, University of Mosul, College of Engineering, Mosul, Iraq, Aug. 2008.
- [2]: د.ممد زكي محمد خضر و د. أحمد إبراهيم شبير و د. مسعد محمد المسيري " **المكائن الكهربائية المحولات ومكائن التيار المستمر**" مديرية دار الكتب للطباعة والنشر, جامعة الموصل, العراق .1979
- [3]: Mohamed H. Rashid, " **Power Electronics Circuits, Devices and Applications**", Third Edition, Person Prentice Hall, ISBN 0-13-122815-3, 2004.
- [4]: أحمد فؤاد  
محمد عامر, هندسة التحكم الآلي, مطبوعات الأكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا والنقل البحري, جامعة الملك سعود, المملكة العربية السعودية 1991.
- [5]: Bakir T. Younis, " **Analysis and Compensation of Nonlinear Control Systems Based on Neural Network Techniques**", University of Mosul/ Iraq, A Ph.D. Thesis, 2006.
- [6]: M. A. Abo-Elsoud, " **Analog Circuits for Electronic Neural Network**", IEEE Transaction, Mansoura University, Mansoura, Egypt, pp: 5-8, 1992.
- [7]: Mokhsin S.M., Hadi R.A. and Sheikh Rahimullah B.N, " **Design Of Artificial Neural Network (ANN) Based Rotor Speed Estimator For DC Drive**", IEEE Transaction, pp:165-168, University Technology MARA, Malaysia, 2002.
- [8]: Zilong Liu, Xianyi Zhuang, Shuyi Wang, " **Speed Control of a DC Motor Using BP Neural Networks**", IEEE Transaction, pp 832-835, 2003.

- [9]: Fatiha Loucif, "**Dc Motor Speed Control Using PID Controller**", KINTEX, Gyeonggi-Do, Korea (ICCAS), pp:1-5, Hunan University, ChangSha, Hunan, China, June 2-5, 2005.
- [10]: Emil Dimitrov Manolov, "**Design And Investigation Of Two-Parameter Space Classification Circuits Using FPAA**", journal Electronics, pp:1-6, Technical University–Sofia, 21–23 September Sozopol, Bulgaria, 2005.
- [11]: Srinivasan, Vikram, "**HDL Descriptions of Artificial Neuron Activation Functions**", M.Sc. Thesis University of Cincinnati, USA, 2005.
- [12]: Puxuan Dong, Griff L. Bilbro, Mo-Yuen Chow, "**Implementation of Artificial Neural Network for Real Time Applications Using Field Programmable Analog Arrays**", International Joint Conference on Neural Networks, pp:1518-1524, Canada, 2006.
- [13]: Chunchao Shi, Guoshan Zhang, "**A New Method of PID Control Based on Improved BP Neural Network**", Proc. of the 25th Chinese Control Conference, 7-11 August, Harbin, Heilongjiang, IEEE, pp:1167-1171, Tianjin University, 2006.
- [14]: Liliana D., Alexander B., "**Analysis of analogue neural network model with CMOS Multipliers**", Radio Engineering, Vol.(16), NO.(3), pp:103-107, 2007.
- [15]: H. M. El-Bakry, Nikos Mastorakis, "**A Simple Design and Implementation of Reconfigurable Neural Networks**", pp: 1-7, Mansoura University, Mansoura, Egypt, 2008.
- [16]: Borundiya, Amit Parasmal, "**Implementation of Hopfield Neural Network Using Double Gate MOSFET**", M.Sc. Thesis Ohio University, USA, 2008.
- [17]: Nisha, Avneesh Mittal, O.P. Sharma and T.K. Saxena, "**Tuning of PID Parameters Using Artificial Neural Network**", National Physical Laboratory, Dr. K.S. Krishnan Road, New Delhi, IEEE Transaction, pp: 309-312, University of Delhi South Campus, New Delhi, 2009.
- [18]: P. Cyril Prasanna Raj, S.L. Pinjare, "**Design and Analog VLSI Implementation of Neural Network Architecture for Signal**

**Processing**", European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X, Vol. (27), No.(2), pp:199-216, (2009).

- [19]: Daniel Alexandru Visan, Ioan Lita, Mariana Jurian, Ion Bogdan Cioc, **"Simulation and Implementation of Adaptive and Matched Filters Using FPAA Technology"**, 16th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), IEEE, pp: 177-180, Pitesti, Romania, 23-26 Sep, 2010.
- [20]: Daniel Graupe, **"Principles of Artificial Neural Networks"**, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2<sup>nd</sup>. Edition, University of Illinois, Chicago, USA, 2007.
- [21]: Jacek M. Zurada, **"Introduction to Artificial Neural System"**, Jaico Publishing House, Second Edition 1996.
- [22]: علام زكي، "الشبكات العصبية"، الناشر شعاع للنشر والعلوم، 2000
- [23]: Martin T. Hagan, Howard B. Demuth & Mark Beal, **"Neural Network Toolbox™ User's Guide"**, 2011, www.mathworks.com.
- [24]: Dong, Puxuan, **"Design, Analysis and Real-Time Realization of Artificial Neural Network for Control and Classification"**, North Carolina State University, A Ph.D. Thesis. 2006.
- [25]: Satit Chonsatidjamroen, Theppanom Sopapirm, Kongpan Areerak And Kongpol Areerak, **"Mathematical Model of a Controlled Buck Converter with a Resistive Load"**, European Journal of Scientific Research, ISSN: 1450-216X, Vol. (52), No. (4), pp:487-494, 2011.
- [26]: Manish Mishra, **"Speed Control Of Dc Motor Using Novel Neural Network Configuration"**, National Institute Of Technology, Rourkela, 2008.
- [27]: Richard C. Dorf & Robert H. Bishop, **"Modern Control System"**, University of, Texas, California. U.S.A. 2001.

- [28]: K.J. Astrom, T. Hagglund, "**Revisiting the Ziegler–Nichols step response method for PID control**", Journal of Process Control 14, pp:635-650, Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden, 2004.
- [29]: Judith E. Dayhoff, "**Neural Network Architectures: An Introduction**", Van Nostrand Reinhold New York, 1990.
- [30]: Laurene Fausett, "**Fundamentals of Neural Networks, Architectures, Algorithms and Applications**", 1st edition, Pearson, ISBN: 8131700534, 1994.
- [31]: Jacob Fraden, "**Handbook of Modern Sensors Physics, Designs, and Applications**", Third Edition, Springer-Verlag New York, Inc, ISBN 0-387-00750, 2004.
- [32]: Ian R. Sinclair, "**Sensors and Transducer**", 3<sup>rd</sup> edition, Newnes, ISBN-10: 0750649321, June 13, 2001.
- [33]: Data Acquisition Toolbox™ User's Guide, 2011, [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com).
- [34]: Liu Jin, "**Fully Parallel Learning Neural Network Chip for Real-Time Control**", Georgia Institute of Technology/ Georgia, A Ph.D. Thesis, 1999.
- [35]: M.N. Cirstea, A. Dinu, "**Neural and Fuzzy Logic Control of Drivers and Power Systems**", British Library Cataloguing in Publication Data, ISBN 0 7506 55585, 2002, [www.newnespress.com](http://www.newnespress.com).
- [36]: T. Giuma & A. Ebenal, "**Programmable Hardware and the New Analog Capacity**", Second International Conference on Systems (ICONS'07), pp.19-24, Univ. of North Florida, Jacksonville, 22-28 April, 2007.
- [37]: Mohamed S. Haji Ali, Maan M. Shaker and Thair A. Salih, "**Design And Implementation Of A Dynamic Analog Matched Filter Using FPAA Technology**", World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. (48), pp.206-210, 2008.
- [38]: Thomas L. Floyd, "**Electronic Devices**", 7th edition, Prentice Hall, 2005.

- [39]: The Anadigm Product Range, [www.anadigm.com](http://www.anadigm.com).
- [40]: Anadigm Company, AN221E04 Data Sheet, Dynamically Reconfigurable FPAA with Enhanced I/O, [www.anadigm.com](http://www.anadigm.com), 2003.
- [41]: Ginés Doménech-Asensi, Juan Martínez Alajarín, Ramón Ruiz Merino and José A. López Alcantud, "**Synthesis On FPAA Of A Smart Stethoscope Analog Subsystem**", International Conference on Field Programmable Logic and Applications, pp.1-5, Germany, 2006.

## الملحق A

### قياس ثوابت محرك التيار المستمر

1- الثوابت الكهربائية: استعمل مقياس الاوفوميتر لقياس مقاومة المنتج والمجال واستخدام مقياس المحاثه (LC Meter) لقياس كل من قيمة ملفات المنتج وملفات المجال والجدول أدناه يبين القيم العملية التي قيست لمحرك التيار المستمر الذي استخدم في هذا البحث.

مقننات المحرك	
Power	1.3kW
V <sub>a</sub>	220V
I <sub>a</sub>	7.3A
V <sub>f</sub>	220V
I <sub>f</sub>	0.4A
N	1500rpm

ثوابت المحرك	
Element	Value
R <sub>a</sub>	2.6Ω
L <sub>a</sub>	37mH
R <sub>f</sub>	485Ω
L <sub>f</sub>	2mH

2- الثوابت الميكانيكية: قيست عزم القصور الذاتي للمحرك (J) وعزم الاحتكاك (T<sub>f</sub>) وثابت الزمن للمحرك (T<sub>c</sub>) ومعامل احتكاك اللزوجة (B).

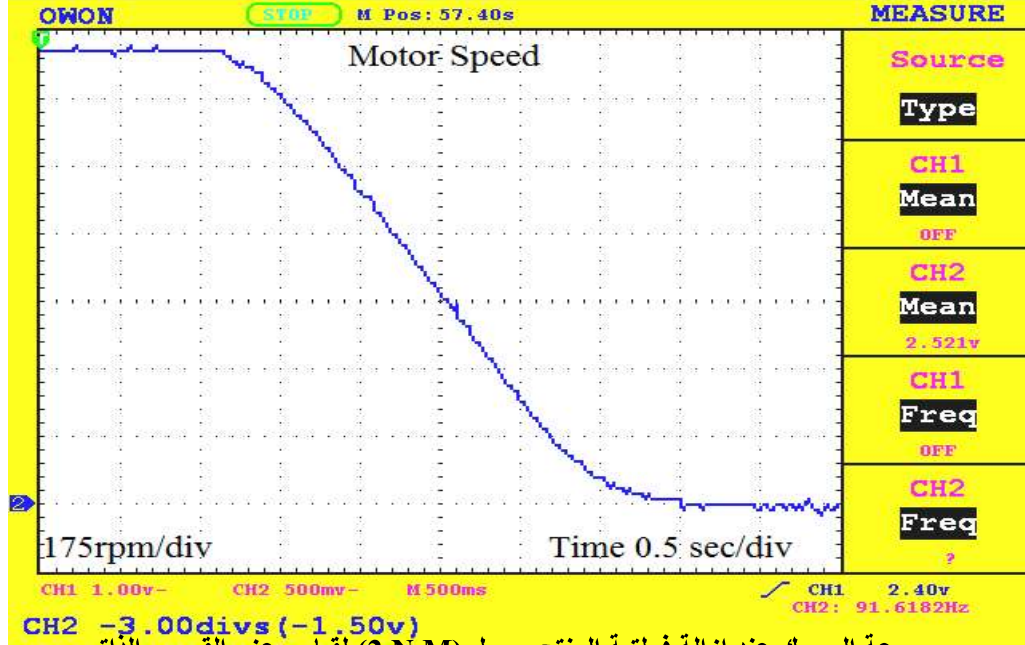
من المعادلة (2-26) و(2-28) وعن طريق تسليط حمل معلوم مقداره (T<sub>L</sub>=2N.m) على المحرك حسب عزم القصور الذاتي، إذ نُشغِل المحرك بسرعة (n<sub>1</sub>) أعلى من المقننة بنسبة (10%) وبعدها تُزال فولتية المنتج، عن طريق مفتاح، ونراقب مقدار تضائل سرعة المحرك إلى أن تصل السرعة (n<sub>2</sub>) التي هي أقل من المقننة بنسبة (10%) وحساب الفترة الزمنية (t) بين (n<sub>1</sub>) و (n<sub>2</sub>) ومن المعادلة (A-1) فإن عزم القصور الذاتي هو:

$$J = \frac{T_L t}{2\pi(n_1 - n_2)} = 0.0204 \text{ kg.m}^2 \quad \dots\dots\dots (A - 1)$$

العزم المقنن للمحرك هو:

$$T_L = \frac{P}{\omega} = \frac{1300}{157} = 8.1 \text{ N.m} \quad \dots\dots\dots (A - 2)$$

لأجل حساب عزم الاحتكاك يُشغَّل المحرك بصورة مشابهة لحالة حساب عزم القصور الذاتي ولكن المحرك بدون حمل (no load) وباستخدام المعادلة (A-3).



سرعة المحرك عند ازالة فولتية المنتج وحمل (2 N.M) لقياس عزم القصور الذاتي

$$T_F = J \frac{dw}{dt} = 1 \text{ N.m} \quad \dots \dots \dots (A - 3)$$

$$K_E = \frac{E_a}{\omega} \quad \dots \dots \dots (A - 4)$$

$$T_e(t) = K_E i_a(t) \quad \dots \dots \dots (A - 5)$$

أما قياس ثابت الزمن للمحرك فقد قيس في الفصل الرابع (T<sub>C</sub>=1.7 sec).

في حالة الاستقرار فإن (J  $\frac{dw}{dt}$  = 0) ومن المعادلة (2-28) والمعادلة (A-4) (A-5) فإن معامل احتكاك اللزوجة (B):

$$B=0.0012 \text{ N.m.s.}$$

## B الملحق

برنامج لحساب القيم المثلى لمعاملات الكسب للمسيطر PID

باستخدام طريقة استجابة الخطوة من طرائق زيكلر-نيكولاس

```
clc
clear all
close all
disp(' Ziegler - Nichols ');
disp('The PID Controller Tuning Method v0.1');
disp('MATLAB 7.10 (R2010a)');
disp('Select a Method First ...');
choice = questdlg('Please choose PID Controller Tuning Method:', ...
    'Ziegler - Nichols PID Controller Tuning Method', ...
    'Method 1 (T,D)', 'Method 2 (K,P)', 'Exit', 'Exit');
% Handle response
switch choice
    case 'Method 1 (T,D)'
        disp('Method 1 Selected. ');
        disp([choice ' Enter Parameters :']);
        dessert = 1;
        %break
    case 'Method 2 (K,P)'
        disp('Method 2 Selected. ');
        disp([choice ' Enter Parameters :']);
        dessert = 2;
        %break
    case 'Exit'
        disp('Program ended by user. ');
        dessert = 0;
end
if dessert==1
    prompt={'Enter the Delay Time (D):',...
        'Enter the Time Constant (T):'};
    name='Inputs for Method 1 (T,D)';
    numlines=1;
    defaultanswer={'1','5'};
    answer=inputdlg(prompt,name,numlines,defaultanswer);
    D=str2double(answer{1,1});
    T=str2double(answer{2,1});
    Con1=[T/D inf 0;0.9*T/D D/.3 0;1.2*T/D 2*D 0.5*D];
    disp(['The Delay Time = ', answer{1,1}]);
```

```

disp(['The Time Constant= ', answer{2,1}]);
elseif dessert==2
prompt={'Enter the Critical Gain (Kcr):',...
'Enter the Corresponding Period (Pcr):'};
name='Inputs for Method 2 (K,P)';
numlines=1;
defaultanswer={'10','3'};
answer=inputdlg(prompt,name,numlines,defaultanswer);
Kcr=str2double(answer{1,1});
Pcr=str2double(answer{2,1});
Con1=[0.5*Kcr inf 0;0.45*Kcr Pcr/1.2 0;0.6*Kcr 0.5*Pcr 0.125*Pcr];
disp(['The Critical Gain = ', answer{1,1}]);
disp(['The Corresponding Period= ', answer{2,1}]);
else
break
end
disp('calculation Done. Results :');
disp('////////////////////////////////');
disp('The Controller formulation : Gc(S)=Kp*(1+ 1/(Ti*s) + (Td*s))');
disp('-----');
disp(' Controller Type | Kp | Ti | Td |');
disp('-----');
fprintf('%s %d \t %d \t %d \n', ' P |',
Con1(1,1),Con1(1,2),Con1(1,3));
fprintf('%s %d \t %d \t %d \n', ' PI |',
Con1(2,1),Con1(2,2),Con1(2,3));
fprintf('%s %d \t %d \t %d \n', ' PID |',
Con1(3,1),Con1(3,2),Con1(3,3));
disp('-----');
disp('////////////////////////////////');
disp('The Controller formulation : Gc(S)=Kp+ Ki/s + Kd*s');
disp('-----');
disp(' Controller Type | Kp | Ki | Kd |');
disp('-----');
fprintf('%s %d \t %d \t %d \n', ' P |', Con1(1,1),0,0);
fprintf('%s %d \t %d \t %d \n', ' PI |',
Con1(2,1),Con1(2,1)/Con1(2,2),0);
fprintf('%s %d \t %d \t %d \n', ' PID |',
Con1(3,1),Con1(3,1)/Con1(3,2),Con1(3,1)*Con1(3,3));
disp('-----');
disp('Thank you for using this program.')

```

## الملحق C

برنامج M-File / MATLAB لتدريب الشبكة العصبية الاصطناعية ذات الحجم

(5-10-1) للسيطرة على سرعة المحرك

```
clc
p=[w_ref' ; e' ; De' ; Ie' ; ia'];           %inputs of ANN
t=[u'];                                     % output or target of ANN
net=newff(minmax(p),[5,10,1],{'tansig','tansig','purelin'},'trainlm');
net.trainParam.epochs=8000;               %Maximum NO. of iteration
net.trainParam.goal=0.001;
net=train(net,p,t);                       %Train of the Neural Network
w1=net.iw{1,1}                             %Weights of the input layer for ANN
b1=net.b{1}                                 %Bias of the input layer for ANN
w2=net.lw{2,1}                             %Weights of the Hidden layer
b2=net.b{2}                                 %Bias of the Hidden layer
x=getx(net)
a=sim(net,p)                               %Simulate of the ANN
gensim(net,-1)                             %Generate of the ANN
```

**D الملحق**

**Datasheet of isolator PC817**

# PC817 Series

## High Density Mounting Type Photocoupler

\* Lead forming type ( I type ) and taping reel type ( P type ) are also available. ( PC817I/PC817P )  
 \*\* TÜV (VDE0884 ) approved type is also available as an option.

### ■ Features

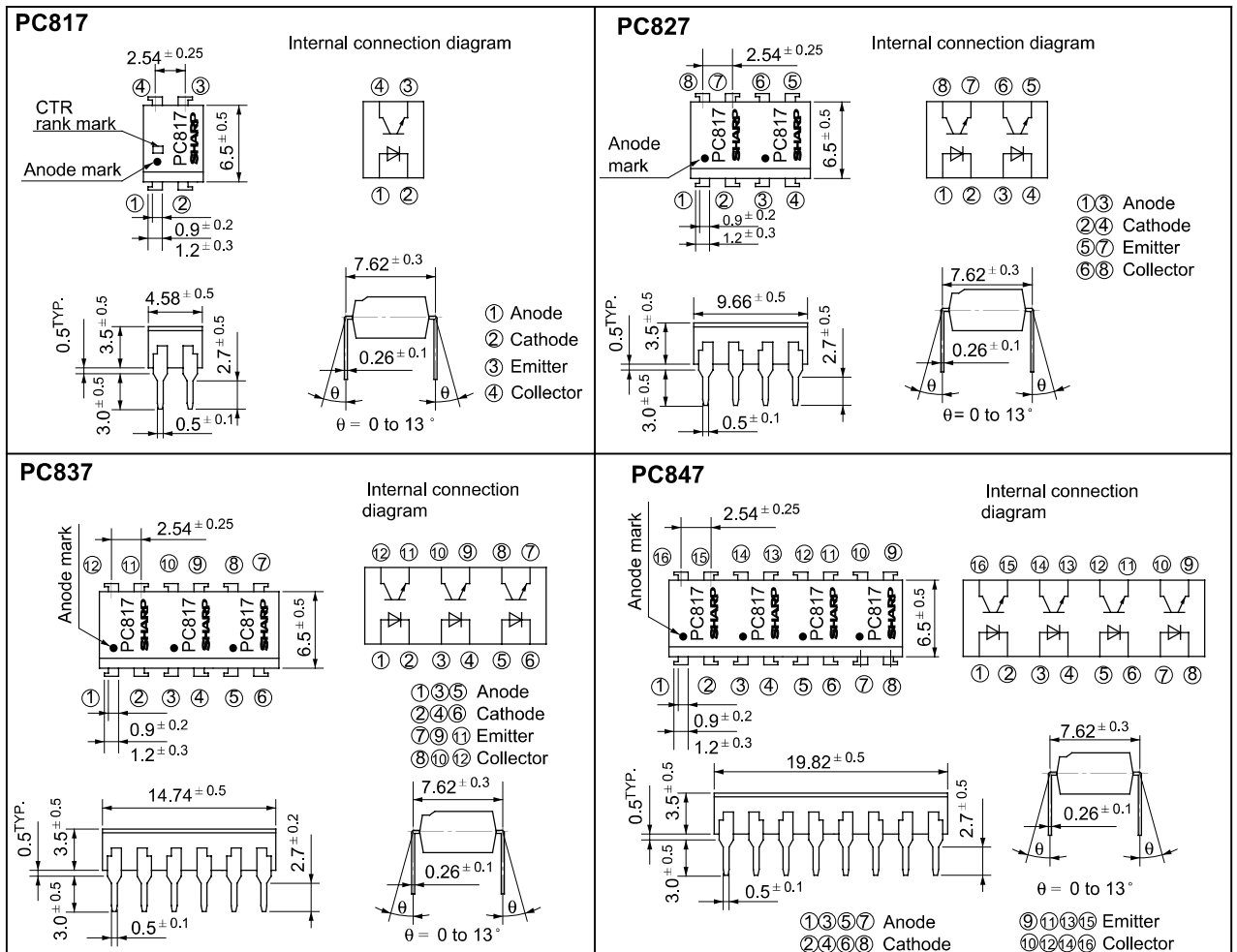
1. Current transfer ratio  
 (CTR: MIN. 50% at  $I_F = 5\text{mA}$ ,  $V_{CE} = 5\text{V}$ )
2. High isolation voltage between input and output ( $V_{\text{iso}} : 5\,000\text{V}_{\text{rms}}$ )
3. Compact dual-in-line package  
**PC817** : 1-channel type  
**PC827** : 2-channel type  
**PC837** : 3-channel type  
**PC847** : 4-channel type
4. Recognized by UL, file No. E64380

### ■ Applications

1. Computer terminals
2. System appliances, measuring instruments
3. Registers, copiers, automatic vending machines
4. Electric home appliances, such as fan heaters, etc.
5. Signal transmission between circuits of different potentials and impedances

### ■ Outline Dimensions

( Unit : mm )



## Absolute Maximum Ratings

(Ta = 25°C)

Parameter		Symbol	Rating	Unit
Input	Forward current	$I_F$	50	mA
	*1Peak forward current	$I_{FM}$	1	A
	Reverse voltage	$V_R$	6	V
	Power dissipation	P	70	mW
Output	Collector-emitter voltage	$V_{CEO}$	35	V
	Emitter-collector voltage	$V_{ECO}$	6	V
	Collector current	$I_C$	50	mA
	Collector power dissipation	$P_C$	150	mW
Total power dissipation		$P_{tot}$	200	mW
*2Isolation voltage		$V_{iso}$	5 000	$V_{rms}$
Operating temperature		$T_{opr}$	- 30 to + 100	°C
Storage temperature		$T_{stg}$	- 55 to + 125	°C
*3Soldering temperature		$T_{sol}$	260	°C

\*1 Pulse width  $\leq 100\mu s$ , Duty ratio : 0.001

\*2 40 to 60% RH, AC for 1 minute

\*3 For 10 seconds

## Electro-optical Characteristics

(Ta = 25°C)

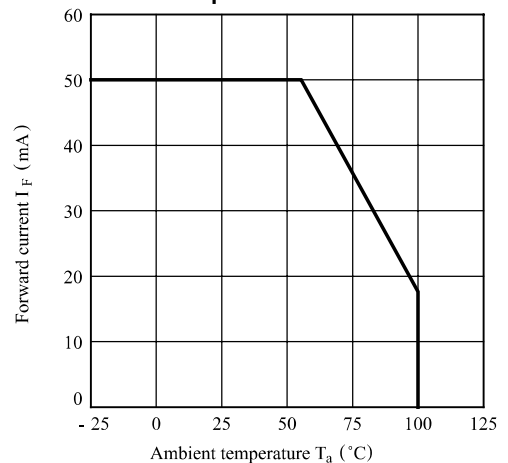
Parameter		Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit	
Input	Forward voltage	$V_F$	$I_F = 20mA$	-	1.2	1.4	V	
	Peak forward voltage	$V_{FM}$	$I_{FM} = 0.5A$	-	-	3.0	V	
	Reverse current	$I_R$	$V_R = 4V$	-	-	10	$\mu A$	
	Terminal capacitance	$C_t$	$V = 0, f = 1kHz$	-	30	250	pF	
Output	Collector dark current	$I_{CEO}$	$V_{CE} = 20V$	-	-	$10^{-7}$	A	
Transfer characteristics	*4Current transfer ratio	CTR	$I_F = 5mA, V_{CE} = 5V$	50	-	600	%	
	Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_F = 20mA, I_C = 1mA$	-	0.1	0.2	V	
	Isolation resistance	$R_{ISO}$	DC500V, 40 to 60% RH	$5 \times 10^{10}$	$10^{11}$	-	$\Omega$	
	Floating capacitance	$C_f$	$V = 0, f = 1MHz$	-	0.6	1.0	pF	
	Response time	Cut-off frequency	$f_c$	$V_{CE} = 5V, I_C = 2mA, R_L = 100\Omega, -3dB$	-	80	-	kHz
					Rise time	$t_r$	$V_{CE} = 2V, I_C = 2mA, R_L = 100\Omega$	-
Fall time	$t_f$	-	3	18				$\mu s$

\*4 Classification table of current transfer ratio is shown below.

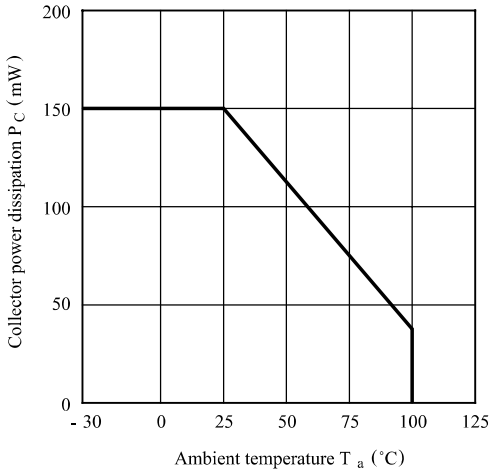
Model No.	Rank mark	CTR (%)
PC817A	A	80 to 160
PC817B	B	130 to 260
PC817C	C	200 to 400
PC817D	D	300 to 600
PC8*7AB	A or B	80 to 260
PC8*7BC	B or C	130 to 400
PC8*7CD	C or D	200 to 600
PC8*7AC	A, B or C	80 to 400
PC8*7BD	B, C or D	130 to 600
PC8*7AD	A, B, C or D	80 to 600
PC8*7	A, B, C, D or No mark	50 to 600

\* : 1 or 2 or 3 or 4

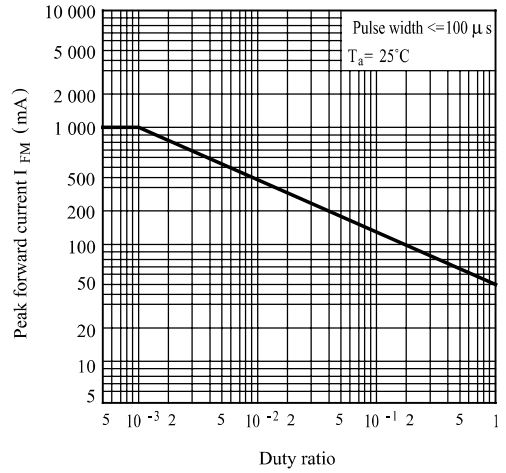
Fig. 1 Forward Current vs. Ambient Temperature



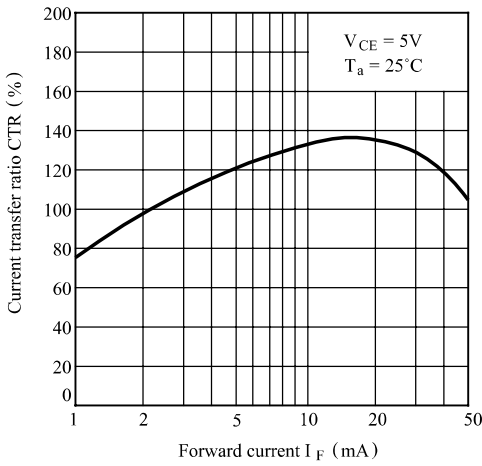
**Fig. 2 Collector Power Dissipation vs. Ambient Temperature**



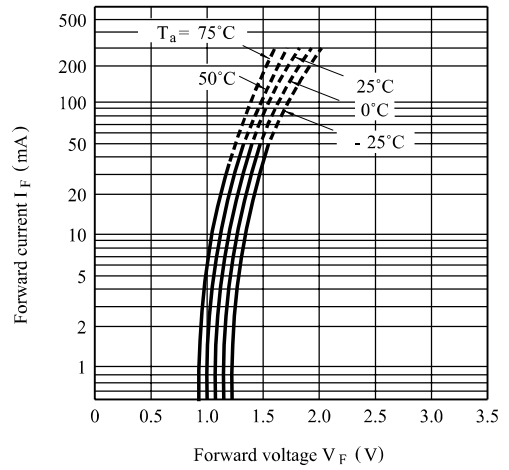
**Fig. 3 Peak Forward Current vs. Duty Ratio**



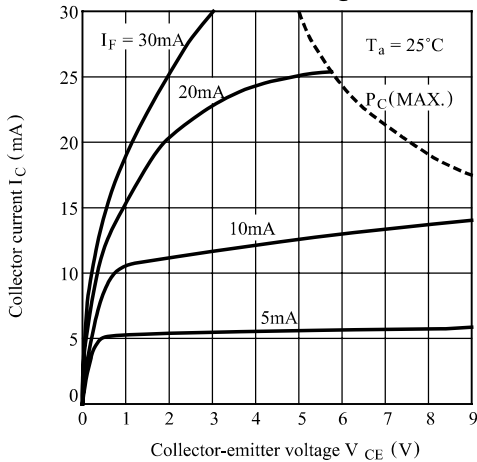
**Fig. 4 Current Transfer Ratio vs. Forward Current**



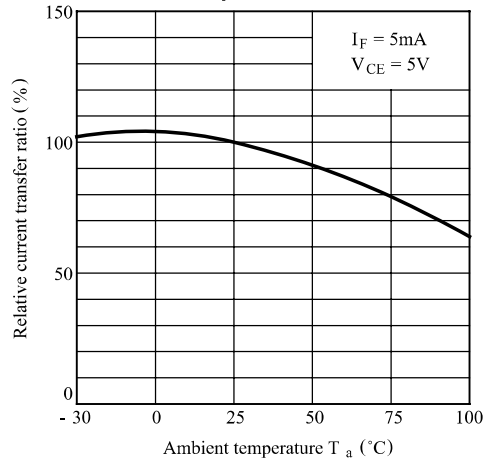
**Fig. 5 Forward Current vs. Forward Voltage**



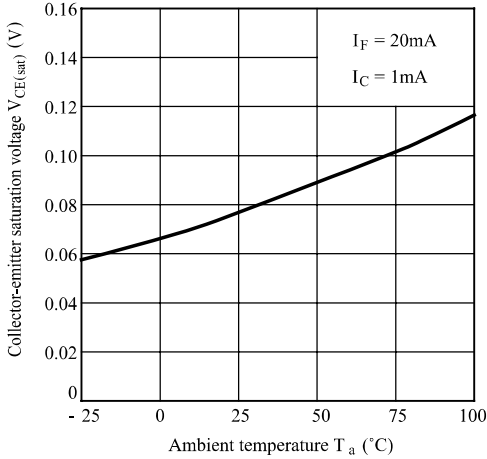
**Fig. 6 Collector Current vs. Collector-emitter Voltage**



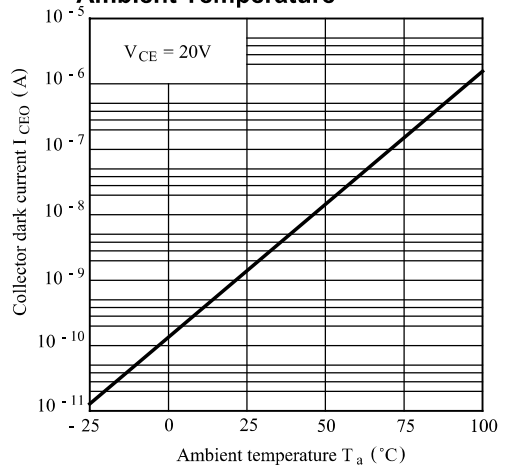
**Fig. 7 Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature**



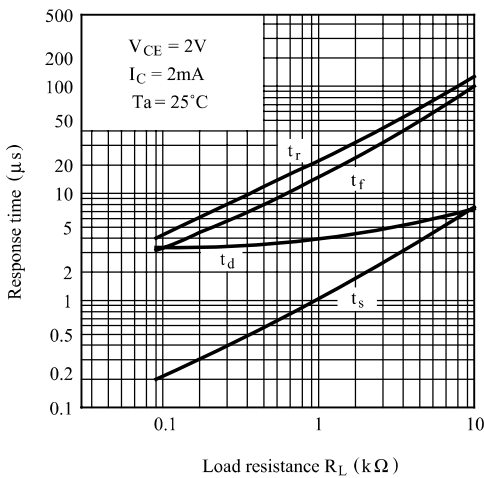
**Fig. 8 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Ambient Temperature**



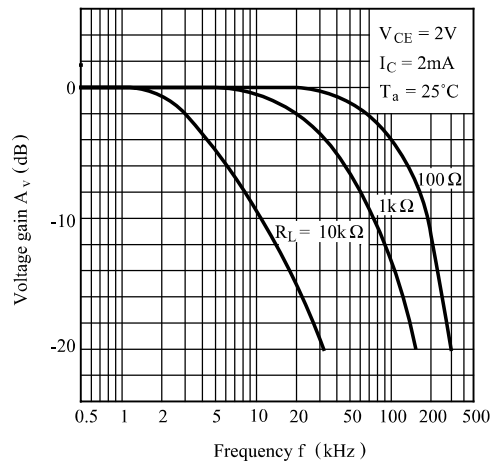
**Fig. 9 Collector Dark Current vs. Ambient Temperature**



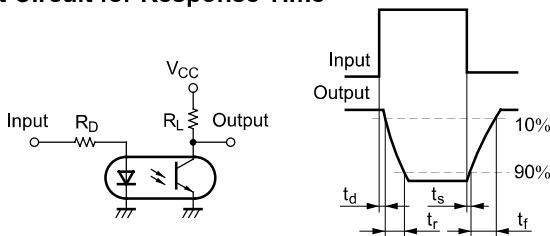
**Fig.10 Response Time vs. Load Resistance**



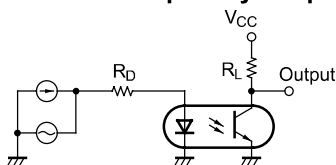
**Fig.11 Frequency Response**



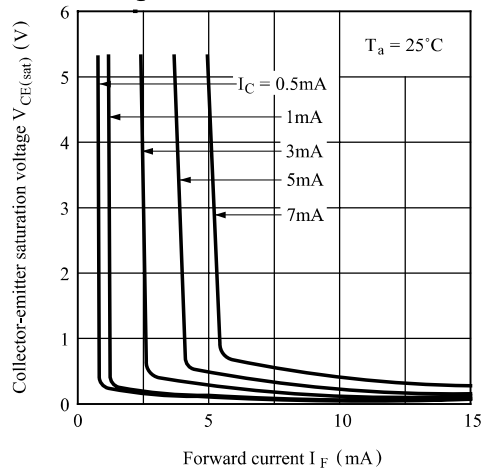
**Test Circuit for Response Time**



**Test Circuit for Frequency Response**



**Fig.12 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Forward Current**



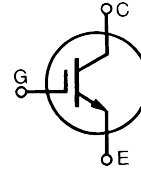
E الملحق

**Datasheet of IGBT power transistor**

**Low  $V_{CE(sat)}$   
High speed IGBT**

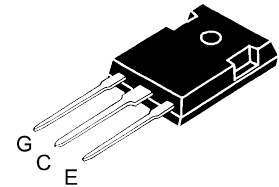
**IXGH 25 N120  
IXGH 25 N120A**

$V_{CES}$	$I_{C25}$	$V_{CE(sat)}$
1200 V	50 A	3 V
1200 V	50 A	4 V



Symbol	Test Conditions	Maximum Ratings	
$V_{CES}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	1200	V
$V_{CGR}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$ ; $R_{GE} = 1\text{ M}\Omega$	1200	V
$V_{GES}$	Continuous	$\pm 20$	V
$V_{GEM}$	Transient	$\pm 30$	V
$I_{C25}$	$T_C = 25^\circ\text{C}$	50	A
$I_{C90}$	$T_C = 90^\circ\text{C}$	25	A
$I_{CM}$	$T_C = 25^\circ\text{C}$ , 1 ms	100	A
<b>SSOA (RBSOA)</b>	$V_{GE} = 15\text{ V}$ , $T_{VJ} = 125^\circ\text{C}$ , $R_G = 33\ \Omega$ Clamped inductive load, $L = 100\ \mu\text{H}$	$I_{CM} = 50$ @ $0.8 V_{CES}$	A
$P_C$	$T_C = 25^\circ\text{C}$	200	W
$T_J$		-55 ... +150	$^\circ\text{C}$
$T_{JM}$		150	$^\circ\text{C}$
$T_{stg}$		-55 ... +150	$^\circ\text{C}$
$M_d$	Mounting torque (M3)	1.13/10	Nm/lb.in.
<b>Weight</b>		6	g
Maximum lead temperature for soldering 1.6 mm (0.062 in.) from case for 10 s		300	$^\circ\text{C}$

**TO-247 AD**



G = Gate, C = Collector,  
E = Emitter, TAB = Collector

**Features**

- International standard package JEDEC TO-247 AD
- 2nd generation HDMOS™ process
- Low  $V_{CE(sat)}$ 
  - for low on-state conduction losses
- MOS Gate turn-on
  - drive simplicity

**Applications**

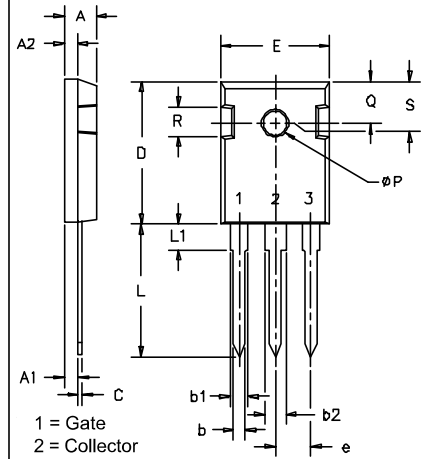
- AC motor speed control
- DC servo and robot drives
- DC choppers
- Uninterruptible power supplies (UPS)
- Switch-mode and resonant-mode power supplies
- Capacitor discharge systems
- Solid state relays

**Advantages**

- Easy to mount with 1 screw (TO-247) (isolated mounting screw hole)
- High power density

Symbol	Test Conditions	Characteristic Values ( $T_J = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified)		
		min.	typ.	max.
$BV_{CES}$	$I_C = 3\text{ mA}$ , $V_{GE} = 0\text{ V}$	1200		V
$V_{GE(th)}$	$I_C = 250\ \mu\text{A}$ , $V_{CE} = V_{GE}$	2.5		V
$I_{CES}$	$V_{CE} = 0.8 \cdot V_{CES}$ $V_{GE} = 0\text{ V}$			$T_J = 25^\circ\text{C}$ : 250 $\mu\text{A}$ $T_J = 125^\circ\text{C}$ : 1 mA
$I_{GES}$	$V_{CE} = 0\text{ V}$ , $V_{GE} = \pm 20\text{ V}$			$\pm 100\text{ nA}$
$V_{CE(sat)}$	$I_C = I_{C90}$ , $V_{GE} = 15\text{ V}$			25N120: 3 V 25N120A: 4 V

Symbol	Test Conditions	Characteristic Values ( $T_J = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified)		
		min.	typ.	max.
$g_{fs}$	$I_C = I_{C90}$ ; $V_{CE} = 10\text{ V}$ , Pulse test, $t \leq 300\ \mu\text{s}$ , duty cycle $\leq 2\%$	8	15	S
$C_{ies}$	$V_{CE} = 25\text{ V}$ , $V_{GE} = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$		2750	pF
$C_{oes}$			200	pF
$C_{res}$			50	pF
$Q_g$	$I_C = I_{C90}$ ; $V_{GE} = 15\text{ V}$ , $V_{CE} = 0.5 V_{CES}$		130	180 nC
$Q_{ge}$			25	50 nC
$Q_{gc}$			55	90 nC
$t_{d(on)}$	<b>Inductive load, <math>T_J = 25^\circ\text{C}</math></b> $I_C = I_{C90}$ ; $V_{GE} = 15\text{ V}$ , $L = 100\ \mu\text{H}$ , $V_{CE} = 0.8 V_{CES}$ ; $R_G = R_{off} = 33\ \Omega$ Remarks: Switching times may increase for $V_{CE}(\text{Clamp}) > 0.8 \cdot V_{CES}$ , higher $T_J$ or increased $R_G$		100	ns
$t_{ri}$			250	ns
$t_{d(off)}$			650	1000 ns
$t_{fi}$		25N120	700	ns
		25N120A	600	800 ns
$E_{off}$	25N120A	11	mJ	
$t_{d(on)}$	<b>Inductive load, <math>T_J = 125^\circ\text{C}</math></b> $I_C = I_{C90}$ ; $V_{GE} = 15\text{ V}$ , $L = 100\ \mu\text{H}$ , $V_{CE} = 0.8 V_{CES}$ ; $R_G = R_{off} = 33\ \Omega$ Remarks: Switching times may increase for $V_{CE}(\text{Clamp}) > 0.8 \cdot V_{CES}$ , higher $T_J$ or increased $R_G$		100	ns
$t_{ri}$			250	ns
$E_{on}$			4.2	mJ
$t_{d(off)}$			720	1000 ns
$t_{fi}$		25N120	1200	ns
	25N120A	800	1200 ns	
$E_{off}$	25N120A	15	mJ	
$R_{thJC}$				0.62 K/W
$R_{thCK}$		0.25		K/W

**TO-247 AD Outline**


SYM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	.185	.209	4.7	5.3
A1	.087	.102	2.2	2.54
A2	.059	.098	2.2	2.6
b	.040	.055	1.0	1.4
b1	.065	.084	1.65	2.13
b2	.113	.123	2.87	3.12
C	.016	.031	.4	.8
D	.819	.845	20.80	21.46
E	.610	.640	15.75	16.26
e	.215 BSC		5.45 BSC	
L	.780	.800	19.81	20.32
L1	.177		4.50	
ØP	.140	.144	3.55	3.65
Q	.212	.244	5.4	6.2
R	.170	.216	4.32	5.49
S	.242 BSC		6.15 BSC	

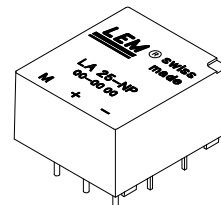
**F الملحق**

**Datasheet of dc current sensor (LA 25-NP)**

## Current Transducer LA 25-NP

$I_{PN} = 5-6-8-12-25 \text{ A}$

For the electronic measurement of currents : DC, AC, pulsed, mixed, with a galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).



### Electrical data

$I_{PN}$	Primary nominal r.m.s. current	25	At
$I_P$	Primary current, measuring range	0 .. $\pm 36$	At
$R_M$	Measuring resistance with $\pm 15 \text{ V}$	$R_{Mmin}$	$R_{Mmax}$
		@ $\pm 25 \text{ At}_{max}$	100    320 $\Omega$
		@ $\pm 36 \text{ At}_{max}$	100    190 $\Omega$
$I_{SN}$	Secondary nominal r.m.s. current	25	mA
$K_N$	Conversion ratio	1-2-3-4-5 : 1000	
$V_C$	Supply voltage ( $\pm 5 \%$ )	$\pm 15$	V
$I_C$	Current consumption	$10 + I_s$	mA
$V_d$	R.m.s. voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 mn	2.5	kV
$V_b$	R.m.s. rated voltage <sup>1)</sup> , safe separation basic isolation	600	V
		1700	V

### Accuracy - Dynamic performance data

$X$	Accuracy @ $I_{PN}, T_A = 25^\circ\text{C}$	$\pm 0.5$	%
$\epsilon_L$	Linearity	$< 0.2$	%
$I_O$	Offset current <sup>2)</sup> @ $I_P = 0, T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ	Max
		$\pm 0.05$	$\pm 0.15$ mA
$I_{OM}$	Residual current <sup>3)</sup> @ $I_P = 0$ , after an overload of $3 \times I_{PN}$	$\pm 0.05$	$\pm 0.15$ mA
$I_{OT}$	Thermal drift of $I_O$	0°C .. + 25°C	$\pm 0.06$ $\pm 0.25$ mA
		+ 25°C .. + 70°C	$\pm 0.10$ $\pm 0.35$ mA
$t_r$	Response time <sup>4)</sup> @ 90 % of $I_{Pmax}$	$< 1$	$\mu\text{s}$
$di/dt$	$di/dt$ accurately followed	$> 50$	A/ $\mu\text{s}$
$f$	Frequency bandwidth (- 1 dB)	DC .. 150	kHz

### General data

$T_A$	Ambient operating temperature	0 .. + 70	$^\circ\text{C}$
$T_S$	Ambient storage temperature	- 25 .. + 85	$^\circ\text{C}$
$R_P$	Primary resistance per turn @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	$< 1.25$	m $\Omega$
$R_S$	Secondary coil resistance @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	110	$\Omega$
$R_{IS}$	Isolation resistance @ 500 V, $T_A = 25^\circ\text{C}$	$> 1500$	M $\Omega$
$m$	Mass Standards <sup>5)</sup>	22	g
		EN 50178	

### Features

- Closed loop (compensated) multi-range current transducer using the Hall effect
- Insulated plastic case recognized according to UL 94-V0.

### Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses
- High immunity to external interference
- Current overload capability.

### Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications.

Notes : <sup>1)</sup> Pollution class 2

<sup>2)</sup> Measurement carried out after 15 mn functioning

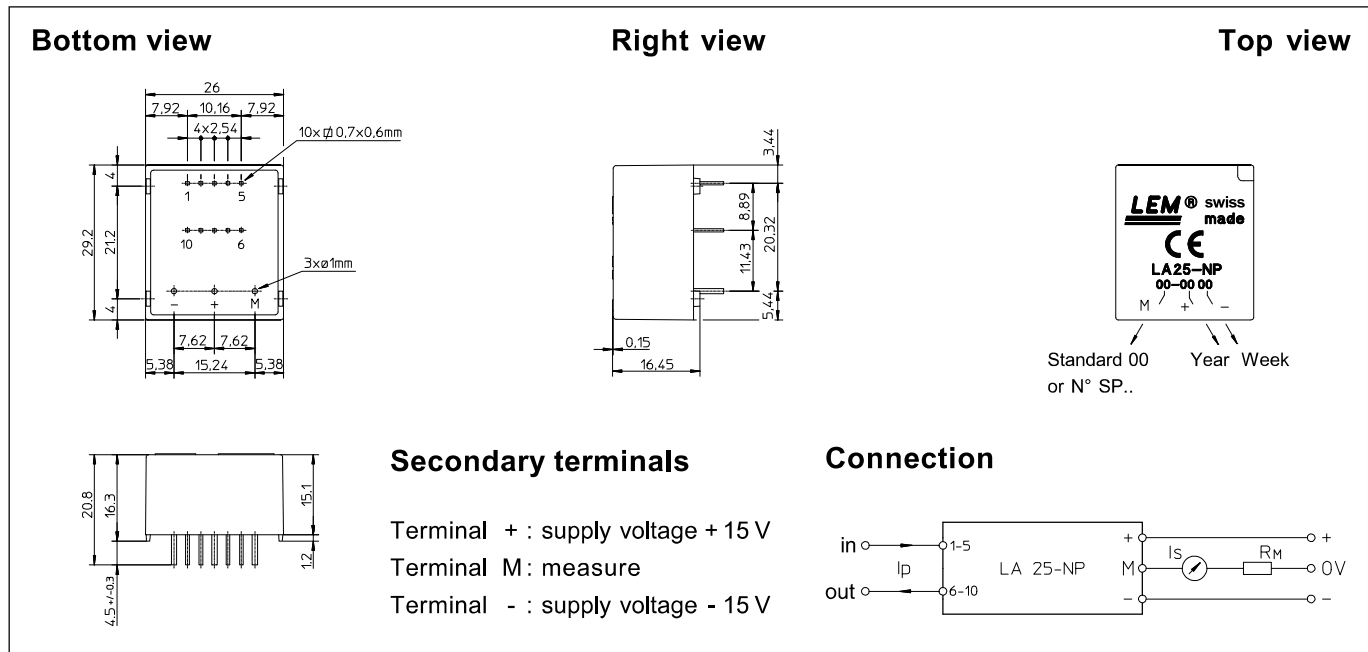
<sup>3)</sup> The result of the coercive field of the magnetic circuit

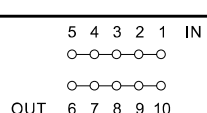
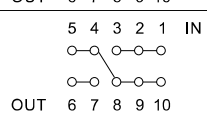
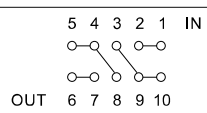
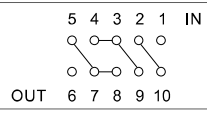
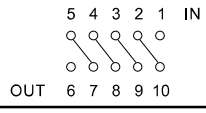
<sup>4)</sup> With a  $di/dt$  of 100 A/ $\mu\text{s}$

<sup>5)</sup> A list of corresponding tests is available

980909/8

## Dimensions LA 25-NP (in mm. 1 mm = 0.0394 inch)



Number of primary turns	Primary current		Nominal output current $I_{SN}$ [mA]	Turns ratio $K_N$	Primary resistance $R_p$ [mΩ]	Primary insertion inductance $L_p$ [μH]	Recommended connections
	nominal $I_{PN}$ [A]	maximum $I_p$ [A]					
1	25	36	25	1/1000	0.3	0.023	
2	12	18	24	2/1000	1.1	0.09	
3	8	12	24	3/1000	2.5	0.21	
4	6	9	24	4/1000	4.4	0.37	
5	5	7	25	5/1000	6.3	0.58	

### Mechanical characteristics

- General tolerance  $\pm 0.2$  mm
- Fastening & connection of primary 10 pins 0.7 x 0.6 mm
- Fastening & connection of secondary 3 pins  $\varnothing 1$  mm
- Recommended PCB hole 1.2 mm

### Remarks

- $I_s$  is positive when  $I_p$  flows from terminals 1, 2, 3, 4, 5 to terminals 10, 9, 8, 7, 6
- This is a standard model. For different versions (supply voltages, turns ratios, unidirectional measurements...), please contact us.

This datasheet has been download from:

[www.datasheetcatalog.com](http://www.datasheetcatalog.com)

Datasheets for electronics components.

**G الملحق**

**Datasheet of DAQ Card (NI PCI-6251)**



Technical Sales  
Iraq  
961 1 33 28 28  
ni.arabia@ni.com

## NI PCI-6251

### 16-Bit, 1 MS/s (Multichannel), 1.25 MS/s (1-Channel), 16 Analog Inputs

- Two 16-bit analog outputs (2.8 MS/s); 24 digital I/O; 32-bit counters
- NIST-traceable calibration certificate and more than 70 signal conditioning options
- Correlated DIO (8 clocked lines, 10 MHz); analog and digital triggering
- NI-MCal calibration technology for increased measurement accuracy
- Get improved measurement accuracy, resolution, and sensitivity by choosing high-accuracy M Series.
- NI-DAQmx driver software and NI LabVIEW SignalExpress LE interactive data-logging software



## Overview

---

The National Instruments PCI-6251 is a high-speed multifunction M Series data acquisition (DAQ) board optimized for superior accuracy at fast sampling rates. For increased measurement accuracy, consider the high-accuracy M Series devices with an 18-bit analog-to-digital converter providing a 4X resolution increase.

High-speed M Series devices incorporate advanced features such as the NI-STC 2 system controller, NI-PGIA 2 programmable amplifier, and NI-MCal calibration technology to increase performance and accuracy. High-speed M Series devices have an onboard NI-PGIA 2 amplifier designed for fast settling time at high scanning rates, ensuring 16-bit accuracy even when measuring all channels at maximum speeds. To learn more about M Series technologies, device specifications, and information on recommended cables and accessories, please refer to the data sheet and specifications.

### Driver Software

M Series devices work with multiple operating systems using three driver software options including NI-DAQmx, NI-DAQmx Base, and the Measurement Hardware DDK. Browse the information in the Resources tab to learn more about driver software or download a driver. M Series devices are not compatible with the Traditional NI-DAQ (Legacy) driver.

### Application Software

With NI LabVIEW, you can create custom data acquisition applications with the ease of graphical programming and power of more than 500 analysis functions and advanced programming tools. LabVIEW Full and Professional Development Systems include LabVIEW SignalExpress for interactive data logging. M Series data acquisition devices are compatible with the following versions (or later) of NI application software – LabVIEW 7.x, LabWindows™/CVI 7.x, or Measurement Studio 7.x; LabVIEW SignalExpress 1.x; or LabVIEW with the LabVIEW Real-Time Module 7.1. M Series data acquisition devices are also compatible with Visual Studio .NET, C/C++, and Visual Basic 6.

## Specifications

---

### Specifications Documents

- Specifications
- Data Sheet

## Specifications Summary

### General

Product Name	PCI-6251
Product Family	Multifunction Data Acquisition
Form Factor	PCI
Part Number	779070-01
Operating System/Target	Linux , Mac OS , Windows , Real-Time
LabVIEW RT Support	Yes
DAQ Product Family	M Series
Measurement Type	Quadrature encoder , Digital , Voltage , Frequency
RoHS Compliant	Yes

### Analog Input

Channels	16 , 8
Single-Ended Channels	16
Differential Channels	8
Resolution	16 bits
Sample Rate	1.25 MS/s
<b>Max Voltage</b>	<b>10 V</b>
Maximum Voltage Range	-10 V , 10 V
Maximum Voltage Range Accuracy	1920 $\mu$ V
Maximum Voltage Range Sensitivity	112 $\mu$ V
Minimum Voltage Range	-100 mV , 100 mV
Minimum Voltage Range Accuracy	52 $\mu$ V
Minimum Voltage Range Sensitivity	6 $\mu$ V
Number of Ranges	7
Simultaneous Sampling	No
On-Board Memory	4095 samples

### Analog Output

Channels	2
Resolution	16 bits
<b>Max Voltage</b>	<b>10 V</b>

Maximum Voltage Range	-10 V , 10 V
Maximum Voltage Range Accuracy	2080 $\mu$ V
Minimum Voltage Range	-5 V , 5 V
Minimum Voltage Range Accuracy	1045 $\mu$ V
Update Rate	2.86 MS/s
<b>Current Drive Single</b>	<b>5 mA</b>
<b>Digital I/O</b>	
Bidirectional Channels	24
Input-Only Channels	0
Output-Only Channels	0
Number of Channels	24 , 0
Timing	Software , Hardware
Max Clock Rate	10 MHz
<b>Logic Levels</b>	<b>TTL</b>
Input Current Flow	Sinking , Sourcing
Output Current Flow	Sinking , Sourcing
Programmable Input Filters	Yes
Supports Programmable Power-Up States?	Yes
Current Drive Single	24 mA
Current Drive All	448 mA
Watchdog Timer	No
Supports Handshaking I/O?	No
Supports Pattern I/O?	Yes
Maximum Input Range	0 V , 5 V
Maximum Output Range	0 V , 5 V
<b>Counter/Timers</b>	
Counters	2
Number of DMA Channels	2
Buffered Operations	Yes
Debouncing/Glitch Removal	Yes
GPS Synchronization	No

<b>Maximum Range</b>	0 V , 5 V
<b>Max Source Frequency</b>	80 MHz
<b>Minimum Input Pulse Width</b>	12.5 ns
<b>Pulse Generation</b>	Yes
<b>Resolution</b>	32 bits
<b>Timebase Stability</b>	50 ppm
<b>Logic Levels</b>	TTL
<b>Physical Specifications</b>	
<b>Length</b>	15.5 cm
<b>Width</b>	9.7 cm
<b>I/O Connector</b>	68-pin VHDCI female
<b>Timing/Triggering/Synchronization</b>	
<b>Triggering</b>	Digital , Analog
<b>Synchronization Bus (RTSI)</b>	Yes

**Were sorry! We currently do not offer online pricing and purchasing for {0}.**

Please contact us and a customer service representative will be happy to assist you.

## Services

### Extended Warranties

National Instruments designs and manufactures all products to minimize failures, however unexpected failures can still occur. Extended warranties provide a fixed economical price at the time of system purchase, covering any repair costs for up to three years. In addition, they offer the following benefits:

- Significant cost savings compared to individual repair incidents
- Fault location, diagnostics, and repair by NI any time the system product fails
- All parts and labor costs covered as well as any adjustments needed to restore the hardware to manufacturing specifications

For more information about your warranty options:

- Learn More About Warranty Services [<http://www.ni.com/services/warranty.htm>]
- Talk to an Expert About Extended Warranties [[javascript:openCallMeWindowCTA\(document.referrer,%20'US'\)](http://www.ni.com/services/warranty.htm)]
- View Warranty Repair Policies [[http://www.ni.com/services/warranty\\_repair\\_policies.htm](http://www.ni.com/services/warranty_repair_policies.htm)]

### Calibration

NI recognizes the need to maintain properly calibrated devices for high-accuracy measurements. NI provides manual calibration procedures, services to recalibrate your products, and automated calibration software to calibrate many NI measurement products.

- Learn More About Calibration Services [<http://www.ni.com/services/calibration.htm>]

### Training

NI training is the fastest, most certain route to productivity with NI tools and successful application development.

- Learn More About NI Training and Certification [<http://www.ni.com/training/>]
- Find a Course Near You and View Schedules [<http://sine.ni.com/apps/utf8/nisv.custed>]

## Repair Services

Return your registered product under warranty at no additional labor and parts cost. NI offers fault location, diagnostics, and repair any time the system fails as well as any adjustments needed to restore the hardware to manufacturing specifications.

- Learn More About Repair Services [<http://www.ni.com/services/warranty.htm>]
- Contact NI to obtain a Return Material Authorization (RMA) form and shipping instructions. [[http://sine.ni.com/apps/utf8/nicc.call\\_me](http://sine.ni.com/apps/utf8/nicc.call_me)]
- View your RMA support request status online. [<http://www.ni.com/support/servicereq/>]
- Register your product [<http://www.ni.com/register/>].

## Technical Support

[ni.com/support](http://www.ni.com/support) [<http://www.ni.com/support/>]

## Resources

---

### Additional Product Information

- Manuals (6)
- Dimensional Drawings
- Product Certifications

### Related Information

- Obtain superior accuracy in your measurements with 18-bit, high-accuracy M Series
- Upgrade to S Series with simultaneous sampling
- Learn about LabVIEW Graphical Programming
- Learn about Data Acquisition Driver Software
- Learn about academic pricing and product kits
- Obtain OEM pricing information
- Download NI drivers
- Read More About NI Software Maintenance and Support
- View an introductory video on getting started with NI data acquisition

## الملحق H

### Embedded Matlab Function Has Been Used As Output Channel of DAQ Card

برنامج M\_file/Matlab لتكوين دالة الماتلاب المنغرس (Embedded Matlab Function)

```
function write_daq(value)
eml.extrinsic('analogoutput','addchannel','putsample','delete')
device='dev1';
channel=0;
ao=analogoutput('nidaq', device);
ao0= addchannel(ao, channel);
putsample(ao, value)
delete(ao)
```

## الملحق I

برنامج M-File / MATLAB لتدريب الشبكة العصبية الاصطناعية ذات حجم

(5-5-1) وتنفيذها عملياً في الحاسوب وبالزمن الحقيقي للسيطرة على سرعة

### المحرك

```
e= [26.3 5.7 3.6 0.862 0.034 5.53 -0.645 -0.05 0.07 0.052 5.6 2.9
-0.16 0.03 0.017 5.51 3 -0.7 -0.016 0.015 5.54 2.2 -0.8
-0.062 0.012 5.62 5.4 -0.2 -0.16 0.0218];
De= [263 0 -1.2 -0.09 -0.045 55.6 -5.25 0.5 0.1 0.7 55 -3.78
1.56 -0.1 -0.12 55.6 -4.1 0.5 0 0.08 56 -4 0.51 0.1 0 56.2
-3.9 0.75 0.3 0];
Ie= [0 35 45 55 58.4 59 70.35 69.7 69.9 70 70 82.6 81
81.25 81.6 82 94.55 93.4 93.25 93.35 93.5 106.95
105.92 105.61 105.8 106 119.85 121.45 118.64 118.14];
ia= [4.6 0.684 0.759 0.7 0.696 1.7 0.615 0.708 0.6975 0.708 1.65
0.595 0.725 0.714 0.7186 1.56 0.618 0.714 0.725 0.7188 1.5
0.62 0.725 0.736 0.738 1.4 0.658 0.726 0.736 0.745];
Ut-1= [0.94 0.94 0.94 0.94 0.94 1.12 1.12 1.12 1.12 1.12 1.305 1.305
1.305 1.305 1.305 1.49 1.49 1.49 1.49 1.49 1.69 1.69 1.69 1.69
1.69 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9];
Ut-1= u1;
p= [e;De;Ie;ia;Ut-1];
t= [0.94 0.94 0.94 0.94 0.94 1.12 1.12 1.12 1.12 1.12 1.305
1.305 1.305 1.305 1.49 1.49 1.49 1.49 1.49 1.69 1.69
1.69 1.69 1.69 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9];
```

```

net=newff(minmax(p),[5,5,1],{'tansig','tansig','purelin'},'trainlm');
net.trainParam.epochs=8000;
net.trainParam.goal=0.001;
net=train(net,p,t);
w1=net.iw{1,1}
b1=net.b{1}
w2=net.lw{2,1}
b2=net.b{2}
x=getx(net)
a=sim(net,p)
gensim(net,-1)

```

## الملحق J

الجدول يوضح علاقة  $V_{ds}$  مع تيار  $I_{ds}$  عند فولتية  $V_{gs}$  معينة للترانزستور نوع

(N-Channel FET) ذي الرقم (PMBFJ212)

$V_{ds}$ (V)	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = 0$	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = -0.5$	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = -1$	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = -1.5$	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = -2$	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = -2.5$
0	0	0	0	0	0	0
0.1	0.9	0.82	0.74	0.66	0.576	0.5
0.15	1.33	1.222	1.1	0.99	0.86	0.73
0.2	1.77	1.63	1.467	1.3	1.138	0.97
0.25	2.21	2	1.825	1.623	1.413	1.2
0.275	2.427	2.218	2	1.78	1.55	1.311
0.3	2.64	2.415	2.18	1.94	1.685	1.424
0.325	2.86	2.611	2.31	2	1.78	1.55
0.35	3	2.8	2.53	2.25	1.952	1.64
0.375	3.28	3	2.7	2.4	2.1	1.78
0.4	3.5	3.194	2.88	2.55	2.216	1.866
0.45	3.922	3.58	3.22	2.86	2.476	2
0.5	4.34	3.96	3.564	3.155	2.73	2.3
0.55	4.76	4.338	3.9	3.451	2.98	2.5
0.6	5.173	4.712	4.234	3.74	3.231	2.7

## الملحق K

الجدول يوضح علاقة  $V_{ds}$  مع تيار  $I_{ds}$  عند فولتية  $V_{gs}$  معينة للترانزستور نوع

(P-Channel FET) ذي الرقم (PMBFJ174)

$V_{ds}$ (V)	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = 0$	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = 0.5$	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = 1$	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = 1.5$	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = 2$	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = 2.5$	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = 3$	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = 3.5$	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = 4$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	1.553	1.456	1.358	1.258	1.156	1.052	0.946	0.838	0.728
0.15	2.324	2.18	2.031	1.881	1.727	1.571	1.412	1.251	1.086
0.2	3.092	2.898	2.7	2.5	2.295	2.086	1.874	1.658	1.44
0.25	3.856	3.613	3.366	3.114	2.858	2.6	2.331	2.061	1.785
0.3	4.616	4.324	4.027	3.725	3.417	3.1	2.784	2.459	2.127
0.35	5.373	5.032	4.685	4.331	3.971	3.6	3.232	2.852	2.465
0.4	6.126	5.735	5.338	4.934	4.522	4.1	3.675	3.24	2.8
0.45	6.875	6.435	5.988	5.532	5.068	4.6	4.114	3.624	3.124
0.5	7.621	7.131	6.633	6.126	5.61	5.084	4.548	4.002	3.446

يكمل...

$V_{ds}$ (V)	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = 4.5$	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = 5.0$	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = 5.5$	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = 6.0$	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = 6.5$	$I_{ds}$ (mA) when $V_{gs} = 7.0$
0	0	0	0	0	0	0
0.1	0.616	0.503	0.387	0.27	0.148	0.025
0.15	0.917	0.746	0.573	0.4	0.213	0.028833
0.2	1.214	0.985	0.752	0.514	0.272	0.028366
0.25	1.504	1.218	0.927	0.63	0.325	0.028394
0.3	1.79	1.446	1.095	0.737	0.372	0.028422
0.35	2.07	1.668	1.26	0.84	0.413	0.028477
0.4	2.345	1.884	1.45	0.936	0.448	0.028478
0.45	2.615	2.1	1.567	1.027	0.447	0.028533
0.5	2.88	2.3	1.713	1.112	0.5	0.028533

## N الملحق

برنامج M-file/MATLAB لتدريب الشبكة العصبية ذات الحجم (5-1) التي

سيتم تحقيقها في شريحة FPAA

```
e= [26.3 5.7 3.6 0.862 0.034 5.53 -0.645 -0.05 0.07 0.052 5.6 2.9
    -0.16 0.03 0.017 5.51 3 -0.7 -0.016 0.015 5.54 2.2 -0.8
    -0.062 0.012 5.62 5.4 -0.2 -0.16 0.0218];
De= [263 0 -1.2 -0.09 -0.045 55.6 -5.25 0.5 0.1 0.7 55 -3.78
    1.56 -0.1 -0.12 55.6 -4.1 0.5 0 0.08 56 -4 0.51 0.1 0 56.2
    -3.9 0.75 0.3 0];
Ie= [0 35 45 55 58.4 59 70.35 69.7 69.9 70 70 82.6 81
    81.25 81.6 82 94.55 93.4 93.25 93.35 93.5 106.95
    105.92 105.61 105.8 106 119.85 121.45 118.64 118.14];
ia= [4.6 0.684 0.759 0.7 0.696 1.7 0.615 0.708 0.6975 0.708 1.65
    0.595 0.725 0.714 0.7186 1.56 0.618 0.714 0.725 0.7188 1.5
    0.62 0.725 0.736 0.738 1.4 0.658 0.726 0.736 0.745 ];
Ut-1= [0.94 0.94 0.94 0.94 0.94 1.12 1.12 1.12 1.12 1.12 1.305 1.305
    1.305 1.305 1.305 1.49 1.49 1.49 1.49 1.49 1.69 1.69 1.69 1.69
    1.69 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9];
Ut-1= u1;
p= [e;De;Ie;ia;u1];
t= [0.94 0.94 0.94 0.94 0.94 1.12 1.12 1.12 1.12 1.12 1.305
    1.305 1.305 1.305 1.305 1.49 1.49 1.49 1.49 1.49 1.69 1.69
    1.69 1.69 1.69 1.9 1.9 1.9 1.9 1.9];

net=newff(minmax(p),[5,1],{ 'purelin','purelin'},'trainlm');
net.trainParam.epochs=8000;
net.trainParam.goal=0.001;
net=train(net,p,t);
w1=net.iw{1,1}
b1=net.b{1}
w2=net.lw{2,1}
b2=net.b{2}
x=getx(net)
a=sim(net,p)
gensim(net,-1)
```

قيم الأوزان والانحياز التي حُصِلَ عليها بعد تدريب الشبكة العصبية ذي حجم (5-1) بالبرنامج الموضح أعلاه وإدخال هذه القيم في المركبات التناظرية القابلة

للبرمجة داخل شريحة FPAA

$$W1 = \begin{bmatrix} -0.8499 & -0.5051 & -0.528 & 0.8482 & -0.3704 \\ -0.2575 & -0.2226 & -0.3179 & 0.1098 & 0.7771 \\ -0.9931 & -0.1342 & 0.8401 & 0.5965 & 0.9891 \\ -0.0587 & 0.6598 & 0.4797 & -0.0933 & 0.0607 \\ 0.7765 & 0.6469 & 0.4145 & 0.7661 & 0.1036 \end{bmatrix}$$

% W1: Weights value of input Layer for (5-1) ANN

$$b1 = \begin{bmatrix} -0.7761 \\ 0.0243 \\ -0.7317 \\ -0.2328 \\ -0.0366 \end{bmatrix}$$

% b1: Biases value of input Layer for (5-1) ANN

$$W2 = [-0.4153 \quad 0.7378 \quad 0.2710 \quad -0.1377 \quad 0.1263]$$

% W2: Weights value of Output Layer for (5-1) ANN

$$b2 = [-0.1694]$$

% b2: Biases value of Output Layer for (5-1) ANN

## P الملحق

بناء خوارزمية الشبكة العصبية الاصطناعية الرقمية من خلال البرنامج

(M-file/MATLAB) لتحقيق عمل البوابة المنطقية (XOR)

```
% m-file/matlab program for realize and implement of ANN like XOR Gate

clear
p=[-1 -1 1 1; -1 1 -1 1];      % input pattern of (2-1)ANN Like XOR Gate
t=[-1 1 1 -1];                % Target of ANN
net=newff(minmax(p),[2,1],{'Purlin','purelin'},'trainlm');
net.trainParam.epochs=1500;
net.trainParam.goal=0.001;
net=train(net,p,t);
v=net.iw{1,1}                  %Weights for input Layer of ANN
b1=net.b{1}                    %Bias for input Layer
w=net.lw{2,1}                  %Weights for Output layer of ANN
b2=net.b{2}                    %Bias for Output Layer
a=sim(net,p)                   %Simulate of ANN
gensim(net,-1)                 % Generate for ANN Circuit
```

بعد تدريب الشبكة العصبية (ANN Like XOR) في برنامج الماتلاب الموضح أعلاه حُصل على قيم الأوزان والانحياز لطبقة الإدخال والإخراج، وإدخال هذه القيم في المركبات التناظرية القابلة للبرمجة داخل شريحة FPAA لتحقيق الشبكة العصبية

$V = \begin{bmatrix} 3.6208 & 1.0561 \\ 3.9631 & 0.9376 \end{bmatrix}$  % Weights of Input Layer for ANN Like XOR

$b1 = \begin{bmatrix} -4.0076 \\ -0.4542 \end{bmatrix}$  %Biases of Input Layer

$W = [-1.0228 \quad 1.1419]$  %Weights of Output Layer

$b2 = -0.5305$  % Biases of Output Layer



### **Supervisor Certification**

I certify that this thesis was prepared under my supervision at the University of Mosul/ College of Engineering, as a partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master in Electrical Engineering Electronic & Communications/Electronic.

Signature:

Name: Assist. Prof. Dr. Abdelelah K. Mahmood

Date: / /2012

### **Linguistic Evaluator Certification**

I certify that the linguistic evaluation of this thesis entitled **"Realization and Implementation of Neural Networks Using Electronic Devices to Control Speed of dc Motor"** was carried out by me and it is accepted linguistically and in expression.

Signature:

Name: Dr. Ammar E. Ahmed

Date: / /2012

### **Chairman of the postgraduate studies certification**

According to the recommendations presented by the supervisor of this thesis and linguistic evaluator, I nominate this thesis to be forwarded for discussion.

Signature:

Name: Assist. Prof. Dr. Sinan M. Attar bashi

Date: / /2012

### **Head of the Electrical Engineering Department Certification**

According to the recommendations presented by the supervisor of this thesis, linguistic evaluator and chairman of postgraduate studies committee, I nominate this thesis to be forwarded for discussion.

Signature:

Name: Assist. Prof. Dr. Maamoon Fadhel AL-Kababjie

Date: / /2012

## ABSTRACT

The neural network is an intelligent technique which can be used as a Controller, and can be applied in signal processing, signal conditioning and signal recognition fields. It may be implemented and realized by two methods, one is the digitally which realized by Software like MATLAB, another method is by analogue which can be realized by using Electronic Devices like Operational amplifier and FET.

This thesis contains three parts, in the first part, the control system of dc Speed Motor controller has been simulated by MATLAB Software with tracking various speed. The control system includes dc motor, Buck Convertor as a driver circuit, PWM uniform circuit and both controller PID controller and ANN based on PID controller, For both controllers the Performance of system has been compared concerning the settling time, rising time, delay time, percentage overshoot and steady state error with different applied load. The results show that ANN controller proposed with size (5-10-1) is the best and more efficient compared with conventional PID controller.

In the second part, the feed forward multilayer digital ANN controller has been implemented practically as a real time to control the speed of the dc motor via the DAQ Card to transfer control signals between ANN control unit (PC) and control system.

In third part, the analogue realization for digital artificial neural networks has been implemented practically, mentioned in previous paragraph by using electronic devices. National Instrument Circuit Design Suits software has been used to simulate electronic devices, the ANN with size (5-1) has been realized in AN221E04 FPAA chip through simulator software Anadigm Designer 2. The results show that weight values and bias values for both realized of ANN (Analogue and Digital) are closed to each other. To demonstrate the FPAA work, ANN like XOR GATE has been uploading on the chip by using simulator (Anadigm Designer 2).

University of Mosul  
College of Engineering



# **Realization and Implementation of Neural Networks Using Electronic Devices to Control Speed of dc Motor**

**Shamil Hamzah Hussein Mohammed Alnajjar**

**M.Sc. / Thesis**

**Electrical Engineering/**

**Electronics and Communications**

**(Electronic)**

**Supervised by**

**Assist. Prof. Dr. Abdelelah K. Mahmood**

**2012 A.D**

**1433 A.H**

University of Mosul  
College of Engineering



# **Realization and Implementation of Neural Networks Using Electronic Devices to Control Speed of dc Motor**

**A Thesis Submitted**

**By**

**Shamil Hamzah Hussein Mohammed Alnajjar**

**To**

**The Council of the College of Engineering  
University of Mosul**

**As a Partial Fulfillment of the Requirements  
For the Degree of Master of Science**

**In**

**Electrical Engineering /  
Electronics and Communications**

**(Electronic)**

**Supervised by**

**Assist. Prof. Dr. Abdelelah KH. Mahmood**

**2012 A.D**

**1433 A.H**