

# Design of PID Controller Training Unit

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس مرتبة الشرف في الهندسة الكهربائية (قدرة)

إعداد الطلاب :

النزير زمراوي فضل حاج  
مصعب محمد حسن ادريس  
محمد عبد اللطيف محمد ادريس  
هيثم كمال الدين محجوب صالح

إشراف :

أ/ إبراهيم احمد إبراهيم

قسم الهندسة الكهربائية  
كلية الهندسة  
جامعة الشيخ عبدالله البدري



مارس 2022م

# الآية

بسم الله الرحمن الرحيم

قال تعالى:

( يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ  
بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ )

صدق الله العظيم

سورة المجادلة الآية (11)

الحمد لله حمداً يكافئ نعمه ..... والشكر له شكراً يوصلنا لمرضاته

الحمد لله على نعمه التي لا تحصى ... والشكر

له على آلائه التي لا تعد

الحمد لله على ما كان وعلى ما يكون

الحمد لله على أن جعلنا من أمة محمد (صلى الله

عليه وسلم ) وأن أكرمنا بشفاعته

ثم الشكر أجزله على أن كرمنا بالعقل ووقفنا

لاستخدامه لعمل يصب في مرضاته وإصلاح المجتمع .

## الإهداء

إلى أعز الناس وأقربهم إلى قلبي إلى والدي  
العزيرة ووالدي العزيز اللذان كانا عوناً وسنداً لي  
و كان لدعائهما المبارك أعظم الأثر في  
تسيير سفينة البحث حتى ترسو على هذه الصورة ،  
إلى الذين هم سراج الأيام .. الذين يدعون لنا  
بظهر الغيب .. الذين يحملون الهم معنا ليل نهار  
إلي من بهم تطمئن قلوبنا وتهداً نفوسنا ..  
وهم يستمعون لنا بصدور رحبه ونفوس طيبه نبثهم  
الأحزان و الأفراح .. إلى إخواني وأهلي

## وعشيرتي وأحابي

إلي من بهم عرفت الإخوة في الله .. إلي من هم  
أوسمة على صدر الزمن .. ومن هم معرفتي بالبشرية

## الشكر و التقدير

نحمد الله عز وجل الذي وفقنا في إتمام هذا البحث العلمي، ونحمده على نعمة الصحة والعافية والعزيمة  
فالحمد لله حمداً كثيراً.

نتقدم جزيل الشكر والتقدير إلى الأستاذ المشرف/ إبراهيم أحمد إبراهيم على كل ما قدمه لنا من توجيهات  
ومعلومات قيمة ساهمت إثراء موضوع دراستنا في جوانبها المختلفة.

كما نتقدم بجزيل الشكر إلى أعضاء لجنة المناقشة الموقرة، وإلى أساتذة كلية الهندسة.

كذلك الشكر موصول للذين ساعدونا في إخراج هذا الجهد المتواضع، وإلى أسرنا التي جاهدت وتكبدت  
المشاق في سبيل وصولنا لما بلغنا ونسأل الله أن يعيننا على مكافأتهم بأحسن مما قدموا لنا وجزاهم الله عنا  
كل خير.

## المستخلص

كان للتوسع في مجال التكنولوجيا دور كبير في تمكين سبل الراحة للإنسان، فمع تقدم العلم وظهور العديد من أنظمة التحكم يسرت الكثير من المجهودات، ويجد الطلاب صعوبة في التعامل مع العمليات الرياضية المستخدمة في أنظمة التحكم ، يهدف هذا البحث لتصميم وتنفيذ وحدة تدريبية لوحدة التحكم، تم إتباع المنهج التطبيقي في هذا البحث حيث تم ضبطها بالمحرك ومن ثم عمل نمذجة وأخذ القراءات وتحويلها إلى موجة ومن ثم تحويلها إلى معادلة وأجريت عليها تجارب عن طريق وحدة التحكم وذلك بإستخدام برنامج الماتلاب وتم تنفيذ الدائرة العملية لها وتم إجراء التجارب عليها، وأخيراً تم تقييم أداء المنظومة.

## **Abstract**

The expansion in the field of technology has played a major role in enabling human comfort, with the progress of science and the emergence of many control systems facilitated a lot of efforts, and students find it difficult to deal with the mathematical operations used in control systems, this research aims to design and implement a training unit for the control unit. to an equation, and experiments were conducted on it through the control unit, using the simulation program, and the practical circuit was implemented for it, experiments were conducted on it, and finally the performance of the system was evaluated.

.

## فهرس المحتويات

| رقم الصفحة                          | المحتوى                       | الرقم   |
|-------------------------------------|-------------------------------|---------|
| I                                   | الآية                         |         |
| II                                  | الحمد                         |         |
| III                                 | الاهداء                       |         |
| IV                                  | الشكر و التقدير               |         |
| V                                   | مستخلص                        |         |
| VI                                  | Abstract                      |         |
| VII                                 | فهرس المحتويات                |         |
| IX                                  | فهرس الاشكال                  |         |
| IX                                  | فهرس الجداول                  |         |
| X                                   | فهرس المصطلحات                |         |
| <b>الفصل الاول : المقدمة</b>        |                               |         |
| 1                                   | تمهيد                         | 1-1     |
| 1                                   | مشكلة البحث                   | 2-1     |
| 2                                   | أهمية البحث                   | 3-1     |
| 2                                   | أهداف البحث                   | 4-1     |
| 2                                   | منهجية البحث                  | 5-1     |
| 2                                   | بنية البحث                    | 6-1     |
| <b>الفصل الثاني : الاطار النظري</b> |                               |         |
| 4                                   | المصطلحات                     | 1-2     |
| 5                                   | الدراسات السابقة              | 2-2     |
| 7                                   | المحركات                      | 1-2-2   |
| 8                                   | المحرك الكهربائي              | 1-3-2   |
| 8                                   | المحركات تعمل بالتيار المتردد | 1-1-3-2 |
| 8                                   | محركات تعمل بالتيار المستمر   | 2-1-3-2 |
| 9                                   | محركات توالي                  | 2-3-2   |

|   |                           |         |
|---|---------------------------|---------|
| 9                                       | محركات توازي              | 3-3-2   |
| 9                                       | المحرك المركب             | 4-3-2   |
| <b>الفصل الثالث : نمذجة المنظومة</b>    |                           |         |
| 10                                      | تمهيد                     | 1-3     |
| 11                                      | نظرية التحكم              | 2-3     |
| 11                                      | أنواع التحكم              | 1-2-3   |
| 13                                      | المخطط الصندوقي           | 3-3     |
| 14                                      | اردينيو (Arduino)         | 1-3-3   |
| 14                                      | مميزات الاردينيو          | 1-1-3-3 |
| 14                                      | انواع لوحة الاردينيو      | 2-1-3-3 |
| 15                                      | الحساسات Sensors          | 2-3-3   |
| 15                                      | انواع الحساسات المختلفة   | 1-2-3-3 |
| 15                                      | حساس اختبار السرعة        | 2-2-3-3 |
| 16                                      | محرك DC                   | 3-3-3   |
| 17                                      | المروحة                   | 4-3-3   |
| 18                                      | الدايود                   | 5-3-3   |
| <b>الفصل الرابع : النتائج والمناقشة</b> |                           |         |
| 19                                      | تمهيد                     | 1-4     |
| 19                                      | المخطط الانسيابي للمنظومة | 2-4     |
| <b>الفصل الخامس : الخلاصة والتوصيات</b> |                           |         |
| 32                                      | الخلاصة                   | 1-5     |
| 32                                      | التوصيات                  | 2-5     |
| 33                                      | المراجع                   |         |
| 34                                      | الملاحق                   |         |

## فهرس الاشكال

| رقم الصفحة | اسم الشكل                     | رقم الشكل |
|------------|-------------------------------|-----------|
| 12         | الحد التكاملي                 | 1-3       |
| 13         | دالة التحويل                  | 2-3       |
| 13         | يوضح المخطط الصندوقي للمنظومة | 3-3       |
| 15         | اردوينو اونو                  | 4-3       |
| 16         | حساس السرعة                   | 5-3       |
| 17         | محرك DC                       | 6-3       |
| 17         | المروحة                       | 7-3       |
| 18         | الدايود                       | 8-3       |
| 19         | المخطط الإنسيابي              | 1-4       |
| 20         | المنظومة                      | 2-4       |
| 21         | الموجة                        | 3-4       |
| 22         | الدائرة العملية               | 4-4       |
| 22         | شكل الموجة (1)                | 5-4       |
| 23         | شكل الموجة (2)                | 6-4       |
| 23         | شكل الموجة (3)                | 7-4       |
| 24         | شكل الموجة (4)                | 8-4       |
| 25         | شكل الموجة (5)                | 9-4       |
| 25         | شكل الموجة (6)                | 10-4      |
| 26         | شكل الموجة (7)                | 11-4      |
| 27         | شكل الموجة (8)                | 12-4      |
| 27         | شكل الموجة (9)                | 13-4      |
| 29         | شكل الموجة (10)               | 14-4      |
| 29         | شكل الموجة (11)               | 15-4      |
| 30         | شكل الموجة (12)               | 16-4      |

## فهرس الجداول

| رقم الصفحة | اسم الجدول                                  | رقم الجدول |
|------------|---|------------|
| 23         | نتائج التجارب الثلاثة للقيمة التناسبية (P)  | 1-4        |
| 25         | نتائج التجارب الثلاثة للقيمة التكاملية (PI) | 2-4        |
| 28         | نتائج التجارب الثلاثة للقيمة التفاضلية (D)  | 3-4        |
| 30         | التغير في قيم الخصائص (PID)                 | 4-4        |

## فهرس المصطلحات

| المصطلح (Term) | الشرح (Description)                          |
|----------------|--|
| ITAE           | Intervention Through Arts Education          |
| IAE            | Institute Administration des Enterprises     |
| PSO            | Particle Swarm Optimization                  |
| CVT            | Continuous Variable Transmission             |
| VAR            | Video Assistant Referee                      |
| MOGA           | Memphis Obstetrics Gynecological Association |
| MIMO           | Multiple input multiple output               |
| SISO           | Serial in Serial Out                         |
| RPA            | Robotic process Automation                   |

# الفصل الاول

## الخلفية النظرية

# الفصل الاول

## المقدمة

### 1-1 تمهيد:

كان للتوسع في مجال التكنولوجيا دور كبير في تمكين سبل الراحة للإنسان، فمع تقدم العلم وظهور العديد من أنظمة التحكم يسرت الكثير من المجهودات، فإذا نظرنا للمجالات الإلكترونية نجد العديد من الأجهزة تعمل وفق نظام تحكم معين وأيضاً في المجالات الميكانيكية نجدها تعمل وفق نظام تحكم معين، وهكذا يمكن أن نذكر العديد من الأدوار التي تقوم بها أنظمة التحكم في حياتنا اليومية.

تهدف أنظمة التحكم إلى تعديل سلوك النظام إلى أداءه بالطريقة المرغوبة، ويمكن العثور على العديد من الأمثلة في الحياة الواقعية التي تتطلب إجراءات رقابية معينة لتحقيق النتائج المرجوة، قد تتغير درجة حرارة الغرفة بسبب آخر.

يمكن تركيب نظام مكيف للمساعدة في الحفاظ على درجة الحرارة بالرغم من أي تغير خارجي في نظام الهواء، يشتمل نظام المكيف على عناصر لتعديل درجة الحرارة الحالية تسمى أيضاً المشغلات، نظراً لأنها تعمل على النظام. السجلات الأولى لأقدم بيانات نظام التحكم من القرن الثالث قبل الميلاد، عندما صمم (Ktesibios) ساعة مائية.

PID: هي آلية حلقة تحكم تستخدم في التغذية الراجعة وتستخدم على نطاق واسع في التحكم الصناعي وأنظمة متنوعة أخرى. التطبيقات التي تتطلب تحكماً معدلاً بشكل مستمر وحدة التحكم تحسب باستمرار قيمة الخطأ كالفرق بين نقطة الضبط المرغوبة، ويستخدم نظام وحدة التحكم لقياس سرعة (SP) متغير العملية المقاسة (PV) للمحرك وإظهار القراءة.

### 1-2 مشكلة البحث:

يجد الطلاب صعوبة في التعامل مع العمليات الرياضية المستخدمة في أنظمة التحكم للأساسيات

والنظريات العملية والخوارزميات بشكلها العام، حيث يتم استخدامها في أنظمة التحكم الصناعية والمسؤولة عن تصحيح الخطأ الناتج بين القيمة المطلوبة والقيمة المقاسة.

### 1-3 أهمية البحث:

استخدام وحدة تدريبية في منظومة التحكم تعرف باسم PID حيث تدخل في استخدامات أجهزة كثيرة وهنا سوف نتطرق لاستخدامها لتسهيل عملية الفهم والإدراك للعمليات الرياضية من حيث الأساسيات والنظريات والخوارزميات ونستخدم برنامج الماتلاب الذي تم توصيله مع اردوينو ونظام محاكاة ورسم الدائرة وإجراء التجارب عليها.

### 1-4 أهداف البحث:

- تصميم وتنفيذ وحدة تدريبية لوحدة تحكم.
- محاكاة النظام باستخدام برنامج الاردوينو.
- تقييم نظام التحكم.

### 1-5 منهجية البحث:

تم إتباع المنهج التطبيقي في هذا البحث حيث تم ضبطها بالمحرك ومن ثم عمل نمذجة وأخذ القراءات وتحويلها إلى موجة ومن ثم تحويلها إلى معادلة وأجريت عليها تجارب عن طريق وحدة التحكم PID وذلك باستخدام برنامج المحاكاة ( Simulink ) وتم تنفيذ الدائرة العملية لها وتمت إجراء التجارب عليها وأخيراً تم تقييم أداء المنظومة.

### 1-6 بنية البحث:

يتكون هذا البحث من عدة فصول:

- الفصل الأول (المقدمة) التمهيد، مشكلة البحث، أهمية البحث، أهداف البحث، منهجية البحث.

- الفصل الثاني (الإطار النظري) المصطلحات، نمذجة التحكم PID باستخدام الفيچول بيزك، التحكم في سرعة محرك التيار المستمر Hybrid – PID- Fuzzy، الضبط الامثل لوحددة تحكم PID من أجل EMDP-CVT، تحليل وتصميم نظام التحكم PID تكنولوجياً، وحددة تحكم PID ضبابية مثالية، التحكم PID في الألفية الثالثة، التحكم العملي PID، دليل قواعد ضبط وحددة التحكم PI وPID، تحليل وتصميم نظام التحكم PID، PID في نظام AVR.
- الفصل الثالث (نمذجة المنظومة) المخطط الصندوقي، المكونات المادية للمنظومة، والبرامج المستخدمة.
- الفصل الرابع (النتائج والمناقشة) المخطط الانسيابي، مكونات المنظومة، منظومة PID، الدائرة الالكترونية، معادلة شكل الموجة.
- الفصل الخامس (الخلاصة والتوصيات) الخلاصة، التوصيات، المراجع والملاحق.

الفصل الثاني

الإطار النظري

## الفصل الثاني

### الإطار النظري

#### 1-2 المصطلحات:

- **الحاسب:** يعرف جهاز الحاسوب بأنه أحد الأجهزة الالكترونية التي تتواجد بأنواع وأحجام مختلفة، والتي تمتلك القدرة على تخزين البيانات ومعالجتها أو حتى إسترجاعها.
- **برنامج المحاكاة:** هو برنامج حاسوبي أو شبكة من أجهزة الكمبيوتر، تحاول عمل محاكاة نموذج مجرد من النظام المعين (أي محاكاة نظرية بالحاسوب).
- **الأتمتة والروبوتات:** تعد أتمتة العمليات الآلية (RPA) شكلاً ناشئاً من التقنيات أتمتة عمليات الأعمال إستناداً إلى الفكرة المجازية للروبوتات البرمجية أو على العمليات الرقمية.
- **محرك التيار المستمر:** هو عبارة عن آلة تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية باستخدام التيار المستمر، وهو بالتالي يعمل فقط على أنظمتها.
- **أمثلية الجسيمات:** عبارة عن جسيمات لا تملك بنية داخلية مقاسة (قابلة للقياس) بمعنى أنها لا تكون بنية جسيمية.
- **Particle Swarm:** هي خوارزمية حاسوبية اكتشفها عالم النفس الاجتماعي جيمس كينيدي والمهندس الكهربائي الأمريكي روسيل مسألة إيجاد القيمة القصوى أو الدنيا اعتماداً على التجريب والتكرار.
- **خوارزمية التحسين الذكي:** تعرف أيضاً باسم الخوارزمية الإرشادية الحديثة، وهي خوارزمية ذات أداء أمثل عالمي، وتعدد استخدامات قوي، ومناسبة للمعالجة المتوازية.
- **الخوارزمية الجينية:** هي خوارزمية جينية أساسية يلخصها غولديبرغ عملية التطور الجيني البسيط وسهلة الفهم.

• أجهزة التحكم الالكترونية: هو جهاز الكتروني يستخدم بشكل رئيسي في الأجهزة المراد قيادتها أو التحكم بها.

• الحالة العابرة والمستقرة : تحدث الحالات العابرة عندما تكون المسارات المختلفة من الدخل إلى الخرج، والمستقرة تعني أقل حالات الطاقة في نظام وتكون الحالة المثارة هي حالة لها طاقة أعلى من الحالة الارضية.

## 2-2 الدراسات السابقة:

تم في هذه البحوث دراسة استخدام الحاسب في تصميم نظم التحكم الموزعة (Distributed control) ولقد تم انشاء برنامج محاكاة متعدد من نوع PID تتضمن العمليات الحقيقية تأخيراً زمنياً يظهر في تأخير استجابة النظام لدخل التحكم، لذلك قمنا بإضافة تأثير التأخير الزمني إلى برنامج المحاكاة، بعد ذلك تم التحكم في سرعة محرك التيار باستخدام (hybrid Pid - fuzzy) لان محرك التيار المستمر يحتاج إلى التحسين، واحدة من خطوات التحسين هي التحكم في السرعة باستخدام عدة عناصر تحكم الطرق، علي سبيل المثال طرق Hybrid PID – fuzzy PID Ziegler متعدد الحدود، ومتعدد الحدود  $L_{tae}$  على أساس Nichols PID من هذه الطرق، تم اختيار Hybrid – fuzzy.

هدف هذه الورقة الى تصميم PID – fuzzy يعتمد على حدود متعددة (Hybrid - Itae)  $L_{tae}$  لتحليل أداء قيم المعلومات ومقارنة أدائها. تشمل المراجعة التجاوز، ووقت الارتفاع، ووقت الاستقرار. تم حساب معلومات PID باستخدام Out Put feed back وطرق Itae كثيرة الحدود.

واستخدم EMDAP-CVT من أجل الضبط الأمثل لوحدة التحكم باستخدام أمثلية جسيمات الجسيمات هو جهاز التحكم المستخدم في البكرة المزدوجة (PID) كان الضبط الامثل للمشتق النسبي المتكامل الكهروميكانيكي المتغير باستخدام نظام الإرسال للتحكم (EMDAP-CVT) في المخرجات التي تم الحصول عليها وبالتالي يتم تقليل تكامل الاخطاء المطلقة (IAE).

كان الهدف الرئيسي هو الحصول على نظام مستقر قوي PID باستخدام Particle Swarm وخوارزمية (PSO) التحسين تمت مقارنة القيمة المتكبدة مع القيمة التقليدية لتقنيات الضبط مثل Ziegler-Nichols وقد ثبت أنها الافضل. ومن النتائج أثبت أن ضبط وحدة التحكم PID باستخدام تقنية PSO يوفر تجاوز نظام أقل تباطؤ IAE ، وخفض الكلمات الرئيسية: ضبط تلقائي وتحسين سرب الجسيمات PID, CVT, PSO. وبعد ذلك تم تحليل وتصميم نظام التحكم PID تكنولوجيا ،تقدم هذه الورقة نظرة عامة عن الوظائف وطرق الضبط في براءات الاختراع وحزم البرمجيات والأجهزة التجارية من أجل تحسين الأداء العابر المطلوب.

تساعد أنظمة PID القائمة على اتمتة التصميم بالكامل وعملية الضبط الى درجة مفيدة، يجب أيضاً مساعدة التطوير المستقبلي لنظام التحكم في التوصيل والتشغيل وهي وحدات تحكم قابلة للتطبيق على نطاق واسع ويمكن إعدادها بسهولة والعمل على النحو الأمثل لتحسين الإنتاجية، وتحسين الجودة وتقليل الصيانة. بعدها تم استخدام وحدة تحكم PID ضبابية مثالية ،يقدم هذه البحث متحكماً مثالياً في المشتق النسبي المتكامل PID الضبابي، وحدة التحكم PID الغامضة هي نسخة زمنية منفصلة لوحدة التحكم التقليدية والتي تحافظ على نفس الهيكل الخطي للأجزاء المتناسبة والمتكاملة والمتفاضلة والمشتقة ولكن لها معامل ثابت مكاسب مضبوطة ذاتياً يستخدم الضبابي فقط للتصميم، لا تحتاج وحدة التحكم الناتجة إلى تنفيذ أي قاعدة ضبابية، وهي في الواقع وحدة تحكم تقليدية مع صيغ تحليلية. يتمثل التحسن الرئيسي في منح التحكم الكلاسيكية بقدرة تحكم تكيفية معينة تم تحسين التحكم باستخدام الخوارزمية الجينية متعددة PID الثابتة، تم تحسين مكاسب التحكم الأهداف (MOGA) وبالتالي الحصول على تحكم PID ضبابية مثالية تظهر عمليات المحاكاة الحاسوبية لإثبات تحسنها على وحدة تحكم الضبابية بدون MOGA .

اما في الالفية الثالثة اعتبرت وحدة التحكم النسبية والتكاملية والتفاضلية المشتقة (PID) أكثر وحدات التحكم اعتماداً في الصناعة نظراً لنسبة التكلفة، والفائدة التي يمكن توفيرها في القرن الماضي، نظر فيها

عدد كبير من الباحثين، وحسنت المنتجات الصناعية وظائفها بشكل كبير. لقد ولدت مقترحات تصميم وضبط أنظمة التحكم القائمة علي PID عدداً هائلاً من الأبحاث خلال العقود الماضية.

أما دليل قواعد ضبط وحدة التحكم **PI,PID** الغالبية العظمى من أجهزة التحكم الاتوماتيكية المستخدمة لتعويض العمليات الصناعية هي من النوع PI وPID. تجمع هذه الكتب بشكل شامل، باستخدام تدوين موحد، قواعد التحكم هذا المقترح من عام 1935 إلى عام 2008م تم تصنيف قواعد الضبط بعناية وإعطاء معلومات التطبيق حول كل قاعدة. تتناقش هذه الكتب بنية وحدة التحكم ومشكلات نمذجة العمليات، بالإضافة إلى أداء ومتانة الحلقات التي يتم تعويضها بوحدات تحكم PI و PID .

اما تحليل وتصميم نظام التحكم PID ومن خلال وظيفتها ثلاثية المدى التي تقدم علاجاً لكل من استجابات الحالة العابرة والمستقرة، يوفر التحكم في المشتق النسبي المتكامل (PID) حلاً عاماً وفعالاً لمشاكل التحكم في العالم الحقيقي تقدم هذه التصاميم علاجات للمشاكل التي تتطوي على المصطلحات التكاملية والمشتقة. بعد ذلك يتم تقديم نهج قائم على المحاكاة المحوسبة، جنباً إلى جنب مع نتائج التصميم التوضيحي للمصانع من الدرجة الأولى والرتبة الأعلى وغير الخطية. وأخيراً تم تصميم PID في نظام AVR، وهي طريقة تصميم جديدة لتحديد المعاملات المثلى للمشتق (PID) لنظام AVR باستخدام خوارزمية تحسين سرب الجسيمات (PSO) يوضح هذا البحث بالتفصيل كيفية استخدام طريقة PSO للبحث بكفاءة معلمات تحكم PID المثلى لنظام VAR .

## 3-2 المحركات

هو جهاز يحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية

### أنواع المحركات:

- محرك ديزل .
- محرك أوتو .

- محرك ستيرلينغ.
- محرك الإحتراق الداخلي.
- محرك إحتراق خارجي.
- المحرك البخاري.
- محرك كهربائي.

## 2-3-1 المحرك الكهربائي

طبقاً للتعريف الترموديناميكي هو آلة تحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة حركية دورانية لإنجاز شغل. وتستخدم المحركات الكهربائية لتشغيل عدة آلات كهربائية ومعدات ميكانيكية مثل غسالات الملابس وأجهزة التكييف و المكانس الكهربائية ومجففات الشعر وآلات الخياطة والمثاقب الكهربائية والمناشير.

يختلف حجم المحركات الكهربائية تنوعاً كبيراً فقد يكون الجهاز صغيراً ويقوم بوظائفه داخل ساعة يد أو محركاً ضخماً يمد قاطرة ثقيلة بالحركة.

وبناء على نوع الكهرباء المستخدمة، هنالك نوعان رئيسيان للمحركات:

### 2-3-1-1 محركات تعمل بالتيار المتردد

ينعكس التيار المتردد اتجاه سريان خمسين أو ستين مرة في الثانية بين السالب والموجب وهو التيار المستعمل في المنازل وتستخدم لتشغيل المعدات الميكانيكية في المصانع كما أنه يستخدم كباديء تشغيل في محركات الإحتراق الداخلي .

### 2-3-1-2 محركات تعمل بالتيار المستمر:

تحتاج محركات التيار المستمر إلى مبادل كهربائي يقوم بعكس اتجاه التيار وهناك ثلاثة أنواع رئيسية من محركات التيار المستمر: وهي محركات توالي، و توازي، ومركب والاختلاف الرئيسي في ما بينها هو في ترتيب الدائرة بين العضو الدوار وبين العضو الثابت.

## 2-3-2 محركات توالي

يتصل كل من العضو الدوار ومغناطيس المجال كهربائياً على التوالي، ويسري التيار خلال مغناطيس المجال ثم في ملفات العضو الدوار، وعندما يسري التيار خلال البنية بهذا الترتيب يزيد قوة المغناط، وتبدأ محركات التوالي العمل سريعاً، حتى وإن كانت تعمل على حمل ثقيل، رغم أن هذا الحمل سيقبل من سرعة المحرك.

## 3-3-2 محركات التوازي

يوصل كل من المغناطيس والعضو الدوار على التوازي ويسري جزء من التيار خلال المغناطيس الكهربائي بينما يسري الجزء الآخر خلال ملف العضو الدوار يلف سلك رفيع معزول حول مغناطيس المجال عدة مرات من أجل زيادة مغناطيسيته، ويتسبب إنشاء المجال المغناطيسي بهذه الطريقة مقاومة للتيار وتعتمد قوة التيار ودرجة المغناطيسية تبعاً لذلك على مقاومة السلك بدلاً من حمل المحرك.

## 4-3-2 المحرك المركب

للمحرك المركب مجالان مغناطيسيان متصلان بالعضو الدوار، أحدهما على التوالي والآخر على التوازي. وللمحركات المركبة مميزات كل من محرك التوالي ومحرك التوازي، إذ يسهل بدء تشغيلها مع حمل كبير، وتحافظ على سرعة ثابتة نسبياً حتى ولو زاد الحمل فجأة.

## الفصل الثالث

# نمذجة وتحليل نظام التحكم

## الفصل الثالث

### نمذجة وتحليل نظام التحكم

#### 3-1 تمهيد:

بدأ تطوير المحركات الكهربائية في بداية القرن التاسع عشر باكتشاف المغناطيس الكهربائي. ففي عام 1820م، اكتشف الفيزيائي الدنماركي هانز كريستيان اورستد أن السلك الذي يمر فيه تيار كهربائي يولد حوله مجالاً مغناطيسياً (حول التيار). عندما مرور التيار في سلك حلقي (مشكل في هيئة حلقة) فيكون المجال المغناطيسي المتولد أكثر شدة في داخل الحلقة ويكون اتجاه المجال عمودياً على مستوى الحلقة. وفي أواخر العشرينيات من القرن التاسع عشر، أوضح الفيزيائي الأمريكي جوزيف هنري أنه يمكن ابتكار مغناطيس كهربائي أكثر قوة بلف عدة لفات من الأسلاك المعزولة حول قطعة من الحديد اي تسلك مسلك المغناطيس.

وفي عام 1821م قام الفيزيائي الانجليزي مايكل فاراداي بتعليق سلكاً من النحاس وغطسه في وعاء به زئبق، وكان في الزئبق قضيب مغناطيسي. فلما مرر فاراداي تياراً كهربائياً في السلك وجد أنه يدور حول المغناطيس القائم في الزئبق وتبين لفاراداي أن التيار الكهربائي تسبب في نشأة مجال مغناطيسي دائري حول السلك.

وفي عام 1829م أجرى الفيزيائي المجري "انيوش يدلبيك" تجربة استخدم فيها الملفات السلكية وقام بتعديل في التجربة بحيث يكون المحرك من ثلاثة عناصر لمحرك يعمل بالتيار المستمر عضو ثابت، وعضو مستمر، ومبادل كهربائي.

هذا الجهاز لا يستخدم مغناطيسياً ذاتياً، وإنما ينتج المجالان المغناطسيان من التيارين الكهربيين المارين في ملفات العضو الثابت وملفات العضو الدوار.

### 3-2 نظرية التحكم:

تنقسم نظرية التحكم بشكل أساسي إلى قسمين كبيرين، الكلاسيكي والحديث والتي لها آثار مباشرة على تطبيقات هندسة نظم التحكم. ويقتصر نطاق النظرية الكلاسيكية على الدخل المفرد والخرج المفرد أو ما يسمى (SISO).

يتم استخدام النظرية الحديثة في معظم التطبيقات الصناعية. أشهر المتحكمات المصممة باستخدام نظرية التحكم هو المتحكم من نوع (PID) حيث تتعامل مع أنظمة الدخل ومتعددة الخرج (MIMO).

### 3-2-1 أنواع التحكم:

#### • التحكم التناسبي (PORPORTION CONTROL):

هي أبسط أنواع التحكم وفيه تتناسب قيمة الخرج  $y$  تناسباً طردياً مع قيمة الخطأ  $X$  أو يتناسب الخرج  $y$  مع الفرق بين القيمة المرغوبة والقيمة الحقيقية.

يدعى أحياناً الحد التناسبي بالتضخيم ويتسبب في تغير قيمة بمقدار يتناسب طردياً مع قيمة الخطأ الحالية، يمكن ضبط الإستجابة التناسبية بضرب قيمة الخطأ بقيمة ثابتة (قابلة للضبط)  $k_p$ . يستخدم وصفاً آخر في بعض أنظمة التحكم هو النطاق التناسبي Proportion Band ويرمز له عادة  $PB\%$ . ويربط بالحد التناسبي بالعلاقة:

$$KP = 100/PB \%$$

مكون الخرج عن الحد التناسبي هو:

$$Pout = KP e$$

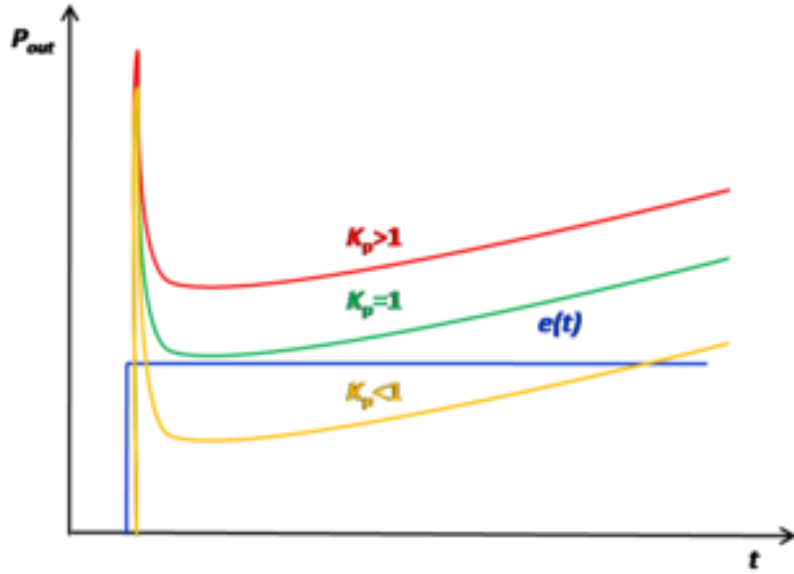
$Pout \equiv$  الحد التناسبي في الخرج

$KP \equiv$  التضخيم التناسبي قابل للتعديل

$e \equiv$  الخطأ ويساوي ps-pv

- التحكم التكاملي (Integral control):

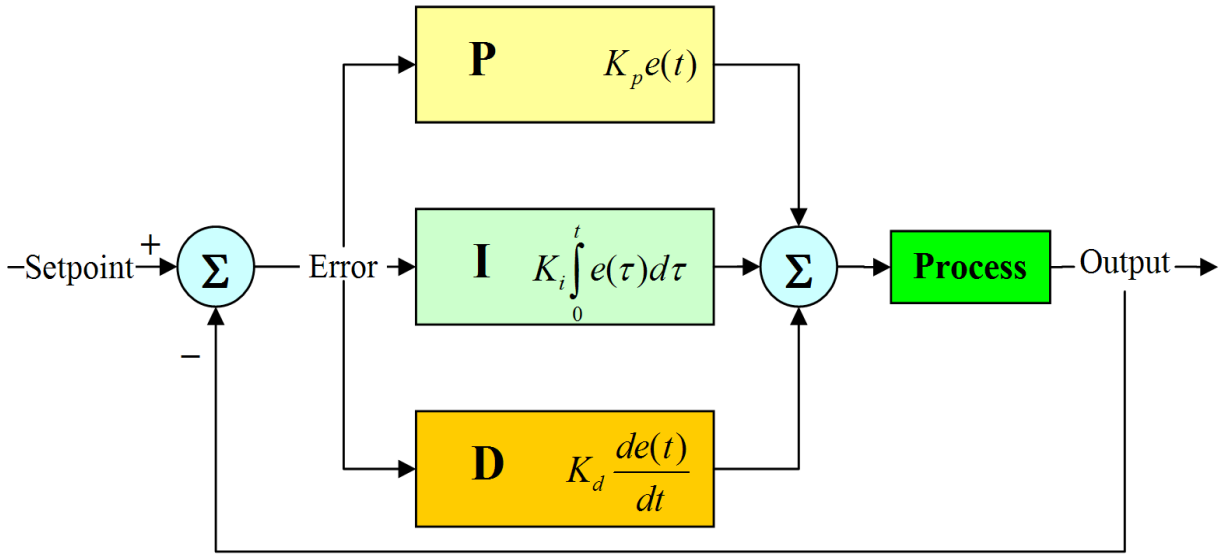
يطلق على الحد التكاملي أحياناً إعادة الضبط reset وذلك لقدرته على إزالة الخطأ المتبقي والذي لا يستطيع الحد التناسبي إغائه. يمكن فهم السبب بالنظر في الحلقة المفتوحة حيث نرى أن الحد التكاملي يستمر في التغير صعوداً أو هبوطاً بشكل يتناسب مع مقدار الخطأ ولا يتوقف مع مرور الوقت إلا إذا كان الخطأ صفراً. عملياً يتوقف الحد التكاملي عندما يصل إلى مرحلة الإشباع كما موضح بالشكل (3-1) وهي القدرة العظمى لخرج العملية.



شكل 1-3 يوضح الحد التكاملي

- التحكم التفاضلي (Derivative control):

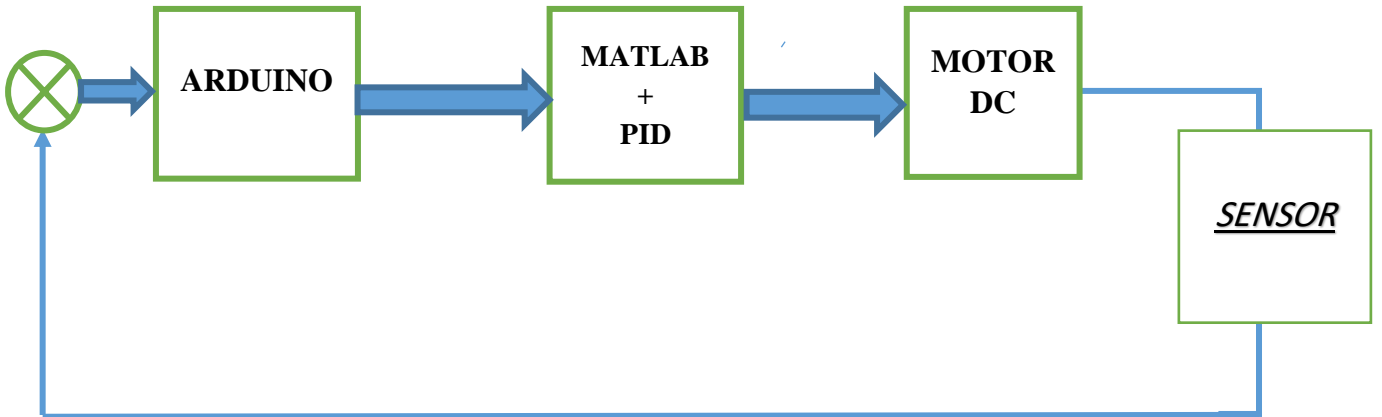
يطلق على الحد التفاضلي أحياناً بالمعدل rate وذلك لأنه يظهر فقط عندما يكون هنالك تغير في قيمة الخطأ بالنسبة للزمن ويتناسب طردياً مع معدل هذا التغير.



شكل 2-3 يوضح دالة التحويل PID

معادلة (3 - 1) 
$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

3-3 المخطط الصندوقي للمنظومة:



شكل 3-3 يوضح المخطط الصندوقي للمنظومة

• مكونات المنظومة:

### 3-3-1 أردوينو (Arduino):

هي عبارة عن لوحة تطوير إلكترونية تتكون من دائرة إلكترونية مفتوحة المصدر مع متحكم دقيق على لوحة واحدة يتم برمجتها عن طريق الحاسوب وتبرمج بلغة C.

### 3-3-1 مميزات الأردوينو:

- رخيصة الثمن.
- سهولة التعامل معها.
- بساطة لغة البرمجة.
- توفر ملحقات عديدة لها.
- توفر مكتبات لأغلب ملحقاتها.
- مفتوحة المصدر مما يساعد على سرعة تطويرها.
- يمكن ربطها بلغات برمجة قوية مثل الماتلاب وجافا وغيرها.

### 3-3-2 أنواع لوحة الأردوينو:

يوجد أكثر من 40 نوع من ألواح أردوينو Arduino Boards، تختلف في القدرات والشكل والحجم والثن حتى تتناسب مع جميع الأفكار والتصميمات، ولكن أهمها وأكثرها إنتشاراً هي:

### : Arduino Uno

أفضل إختيار للمبتدئين من أجل إكتشاف عالم الازدوينو، بسيط وسهل الإستعمال ويتناسب مع أغلب الإضافات Extensions والدروع Shields.



شكل 3-4 يوضح اردوينو اونو

### 3-3-2 الحساسات Sensors:

الحساس عبارة عن جهاز يقوم بتحويل كمية فيزيائية مثل الضغط ودرجة الحرارة والإشعاع والموضع والشدة الضوئية إلى كمية كهربائية تتمثل في الجهد أو التيار أو الشحنة.

### 3-3-2-1 أنواع الحساسات المختلفة:

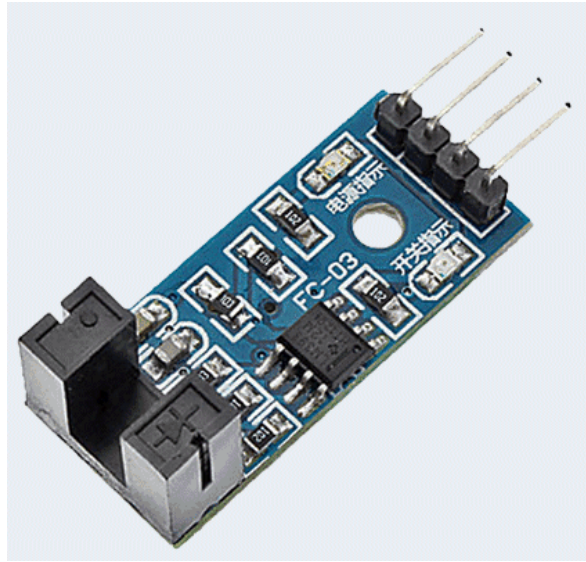
- الحساسات التقاربية (Proximity sensor).
- حساس درجة الحرارة (Temperature Sensor).
- حساس الموجة فوق الصوتية (Ultrasonic sensor).
- حساس الضغط (pressure sensor).
- الموجات تحت الحمراء (IR sensor).

### 3-3-2-2 حساس إختبار سرعة المحرك:

هو وحدة حساس الاخدود لقياس السرعة للأردوينو. ويمكن توصيل واجهة إخراج DO مباشرة بمنفذ IO لوحة التحكم الدقيقة إذا كان هنالك مستشعر اكتشاف الكتلة، مثل سرعة مشفر المحرك الذي يمكن

اكتشافه. يمكن توصيل وحدات DO بالمرحل، ومفتاح الحد، ووظائف أخرى ويمكن أيضاً باستخدام وحدة الجرس النشطة، إنشاء إنذار يستخدم على نطاق واسع في الكشف عن سرعة المحرك، وعدد النبضات، و وحدة الموضع، إلخ.

- جهد التشغيل: 5v .
- المقارنة: LM393 .
- المادة البلاستيك.



شكل 3-5 يوضح حساس السرعة

### 3-3-3 محرك DC :

هو محرك كهربائي يعمل على الطاقة الحالية المباشرة في المحرك الكهربائي، تعتمد العملية على كهرومغناطيسية بسيطة. يولد الموصل الحامل للتيار مجالاً مغناطيسياً، وعندها يتم وضعه في مجال مغناطيسي خارجي.

إنه جهاز يحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية ويعمل على حقيقة أن الموصل الحامل للتيار الموجود في مجال مغناطيسي يتعرض لقوة تجعله يدور فيما يتعلق بموضعه الأصلي.



شكل 3-6 يوضح محرك DC

### 3-3-4 المروحة :

تدور المراوح مع عقارب الساعة وعكس عقارب الساعة.

يوجد ثلاثة أنواع من المراوح:

- مراوح مصنوعة من الفايبر.
- مراوح مصنوعة من البلاستيك.
- مراوح مصنوعة من الخشب.



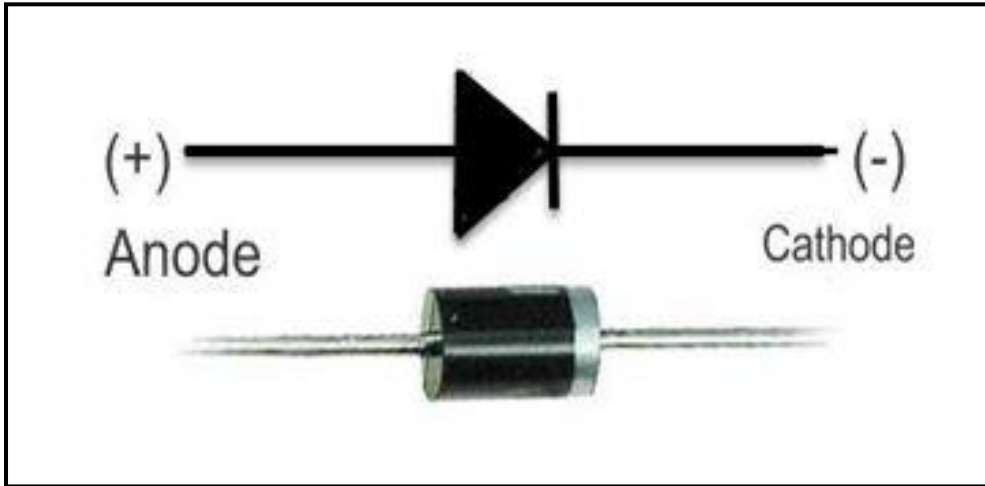
شكل 3-7 يوضح المروحة

### 3-3-5: Diode الدايدود

هو عنصر الكتروني يكون مصنوع من الجرمانيوم والسليكون وهو الأغلأ.

وهو عبارة عن وصلتين وصلة Anode وصلة Cathode كما في الشكل (4-5) ويمر التيار بها إذا كانت موصلة بالبطارية الموجب مع الموجب والسالب مع السالب ومرور التيار في هذه الحالة يسمى بالإنحياز الأمامي، إذا تم عكس القطبية فإنه لا يمر تيار إلا إذا كان الجهد أكبر من جهد الإنحياز العكسي للدايدود.

وعلى هذا الأساس يستخدم الدايدود في توحيد التيار المتغير وتحويله إلى تيار مستمر ويستخدم بكثرة في مصادر القدرة للتيار المستمر يسمح الدايدود في الدائرة للتيار الكهربائي بالمرور في إتجاه واحد ويمنع مروره (بشكل عام) بالإتجاه المعاكس وقد كانت الصمامات هي المرحلة الاولي لظهور هذا النوع من التجهيزات (وقد حملت أولى الدايدودات بالفعل اسم صمامات).



شكل 3-8 يوضح الدايدود

## الفصل الرابع

### النتائج والمناقشة

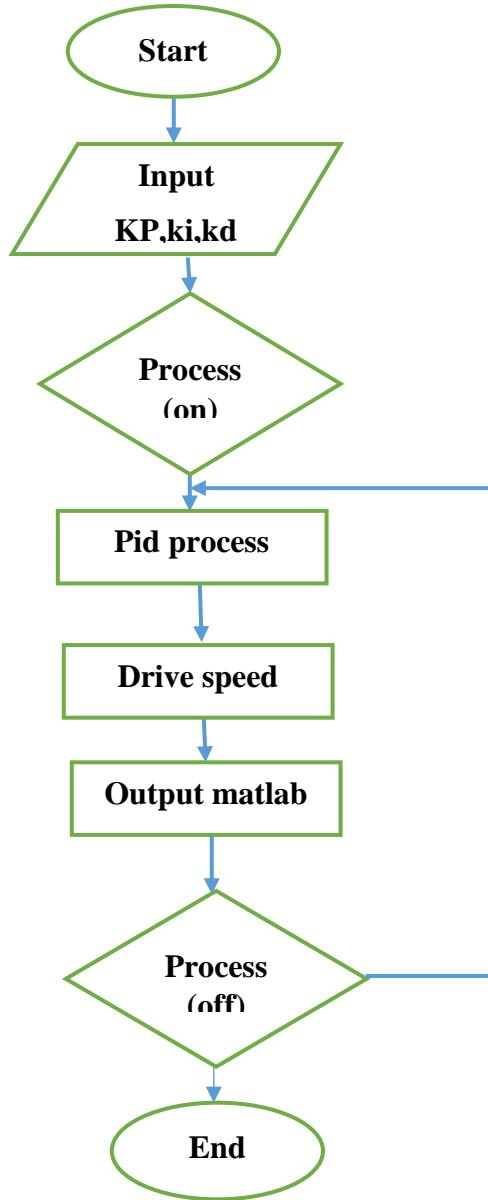
## الفصل الرابع

### النتائج والمناقشة

#### 1-4 تمهيد

سنتناول في هذا الفصل المخطط الانسيابي للمنظومة والدائرة الالكترونية للمنظومة والدائرة العملية وحالات تشغيل المنظومة.

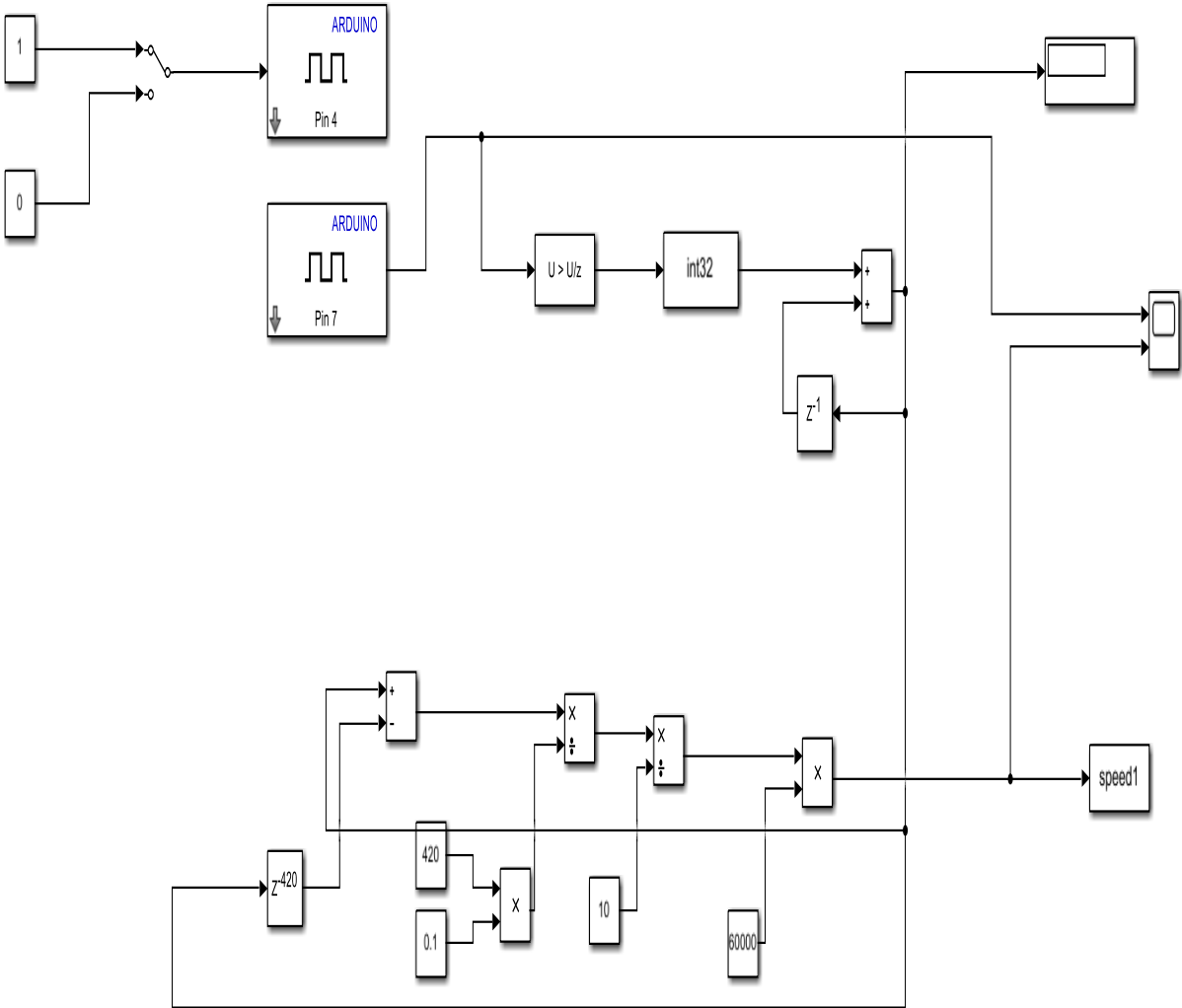
#### 2-4 المخطط الإنسيابي للمنظومة:



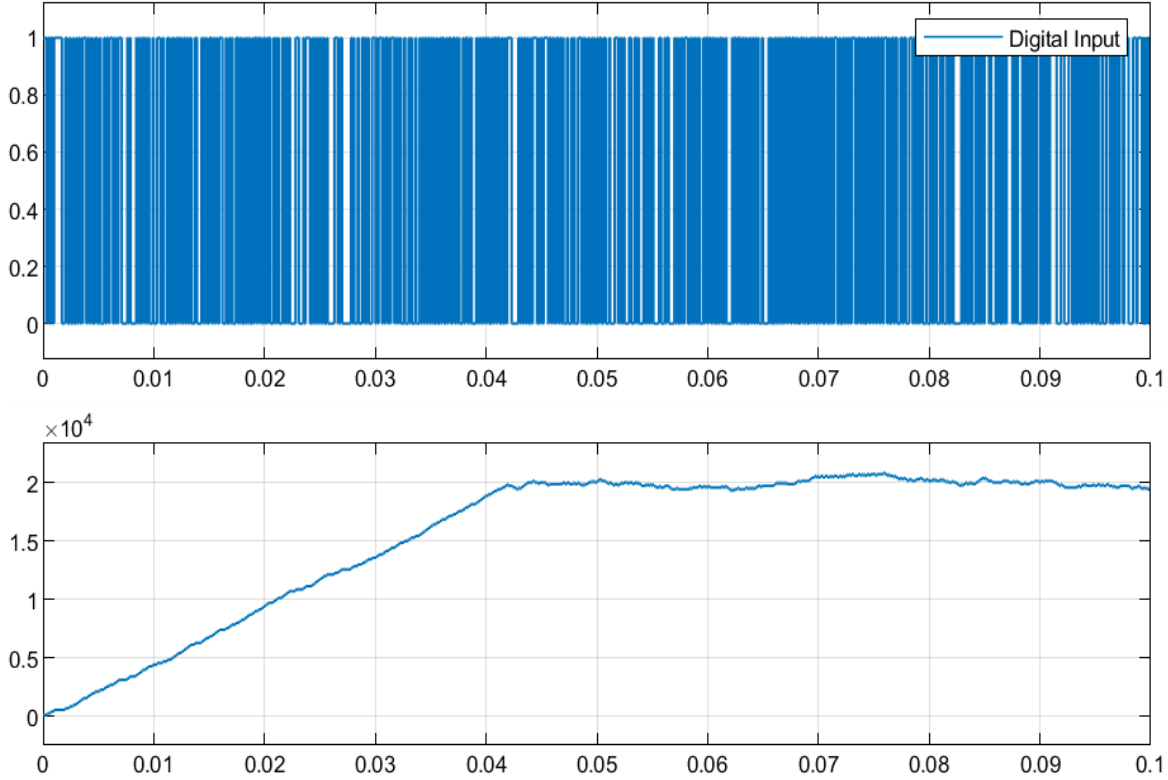
شكل 1-4 يوضح المخطط الإنسيابي

الشكل (2-4) دائرة النظام والعمليات التي يقوم بها:

تعمل هذ الدائرة علي ضبط شكل الموجة وإظهارها بالشكل المطلوب ويوصل الأردوينو بالدائرة العملية مكونة من (Detect increase) والتي تعمل على إظهار سرعة المحرك في شكل نبضات متتابعة، بعد ذلك يدخل (Data type conversion) والتي تقوم بتحويل الإدخال إلى نوع البيانات وقياس الناتج، ويعمل (Delay) على تثبيت القيم الداخلة من العملية السابقة وجمعها مع القيم الجديدة، حيث يتم توصيلها مع (Delay) أخر مضبوط على 420 وهو طول التأخير للموجة ويعد التأخير الأمثل وبعد ذلك يدخل في عمليات حسابية أخرى، ويكون الخرج في زمن قدره (60)ms، وتم ربط هذه الدائرة مع برنامج الماتلاب، ويتم إظهار الموجة عن طريق (SCOP).



شكل 2-4 يوضح المنظومة



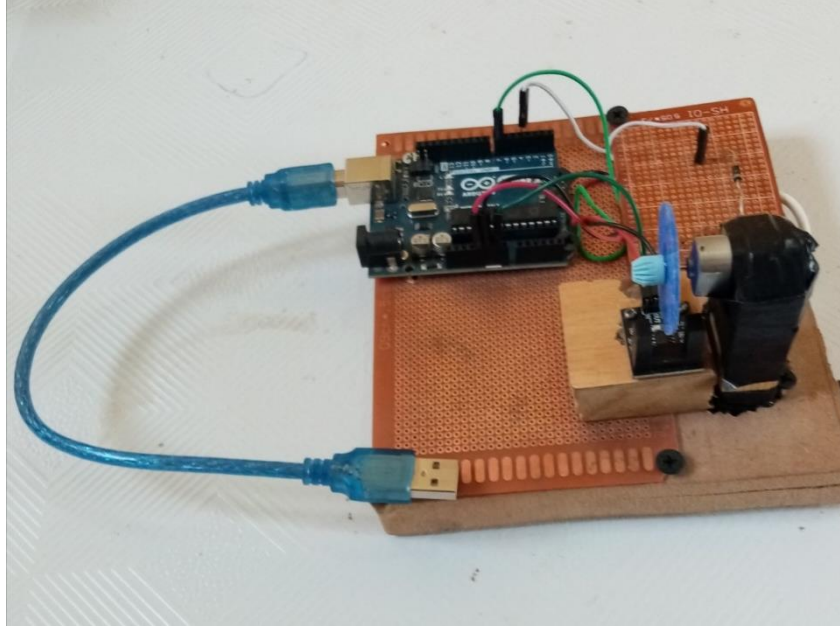
شكل 3-4 يوضح الموجة

من الشكل (3-4): يتم الحصول على المعادلة من خلال شكل الموجة (System Identification) ويظهر مجموعة من الوحدات نضغط على بيانات الاستيراد (Import Data)، ندخل في بيانات المجال الزمني (Time Domain Data) ثم تظهر نافذة لتنسيق الاشارات للبيانات (Data format For Signal) ويوجد بها دخل وخرج وزمن البداية ونضغط على خيار إستيراد البيانات وتحويلها الى شكل موجة (Import) وبعد ذلك يتم نسخ الموجة في بيانات العمل (Working Data) ثم نضغط على خيار تحويل النبضة إلى معادلة.

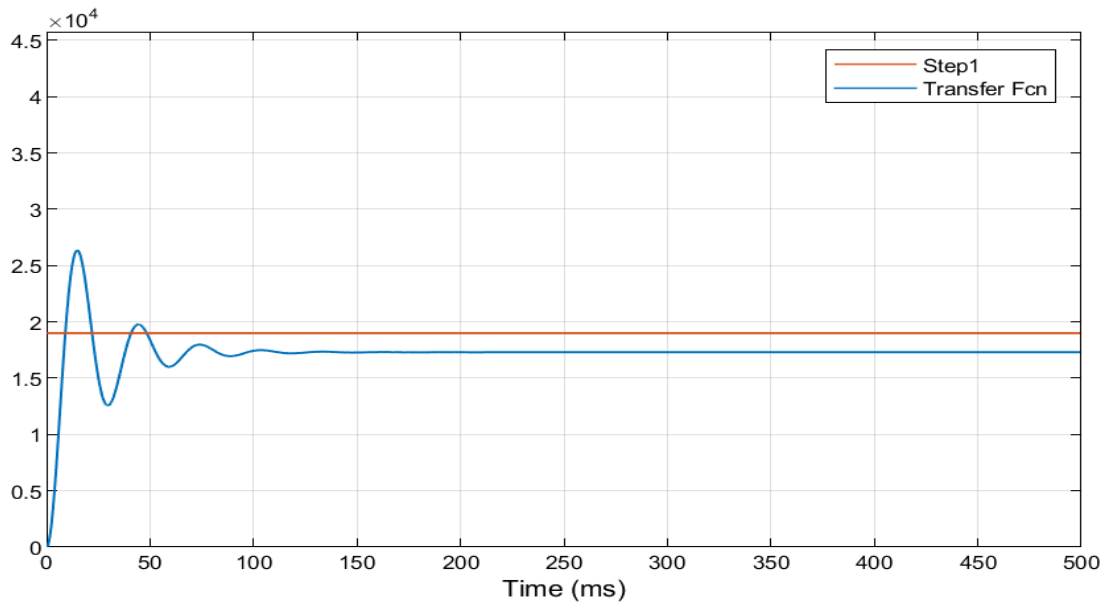
المعادلة:

$$G_{(s)} = \frac{4284}{s^2 + 87.7s + 4202} \quad \text{معادلة (1 - 4)}$$

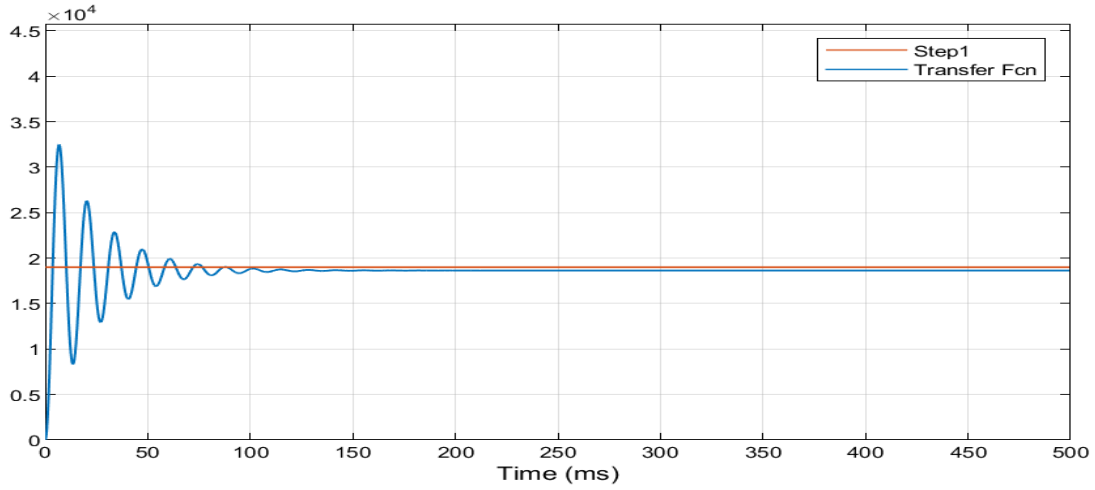
من الشكل (4-4): تم توصيل الرادوينو بالماتلاب ومن ثم تم توصيل البنه رقم (7) مع خرج الحساس وتم تغذية الحساس من الاردوينو بالبنه رقم (5V) وبعد ذلك تم توصيل الطرف (GND) للحساس مع بنه (GND) للاردوينو، وتمت تغذية المحرك من البنه (4) مع طرف الدايبود، والطرف الآخر من الدايبود تم توصيله مع المحرك، والطرف الآخر من المحرك تم توصيله مع بنه (GND) في الاردوينو.



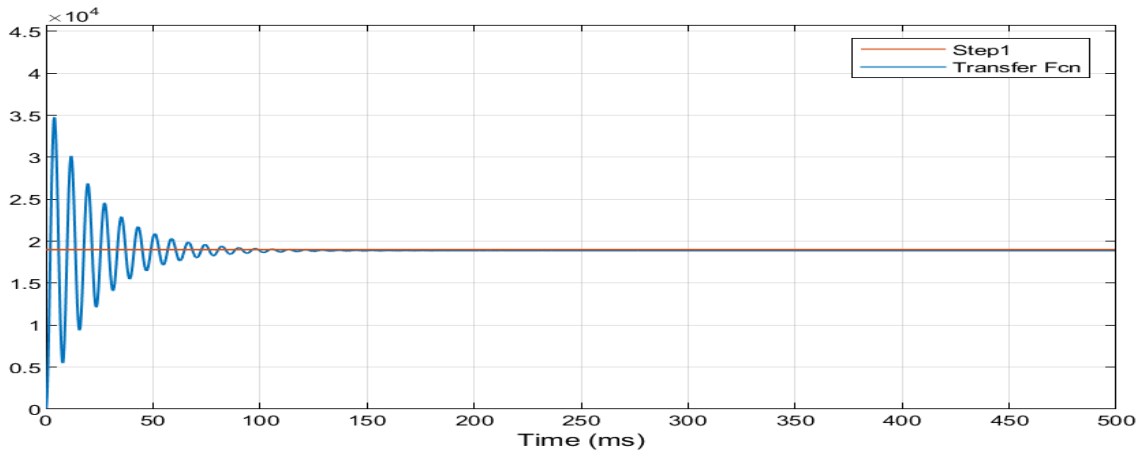
شكل 4-4 يوضح الدائرة العملية



شكل 4-5 يوضح شكل الموجة (1)



شكل 4-6 يوضح شكل الموجة (2)

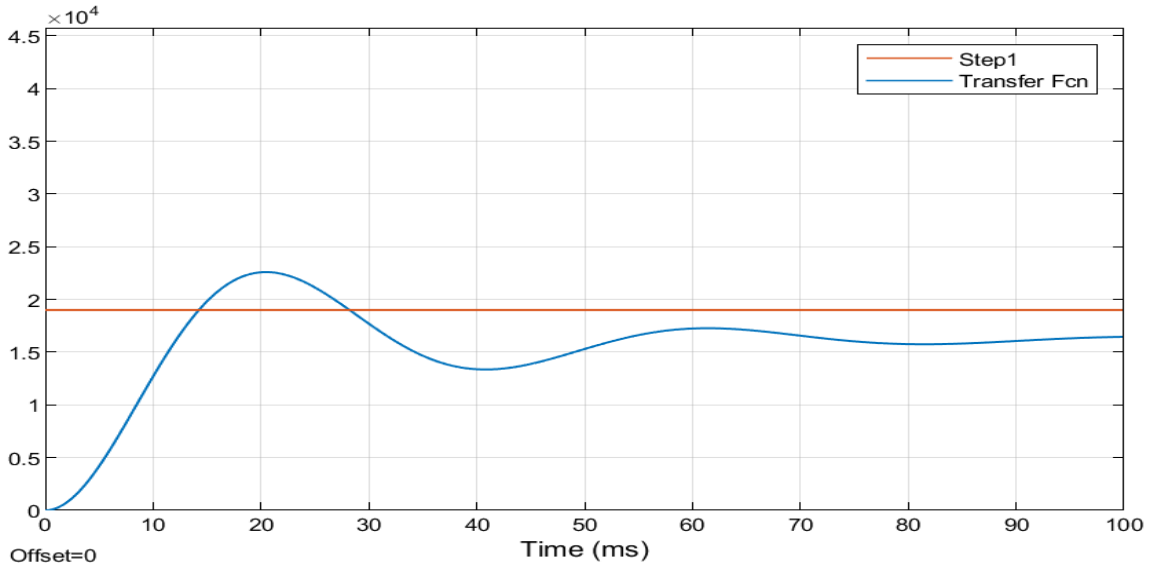


شكل 4-7 يوضح شكل الموجة (3)

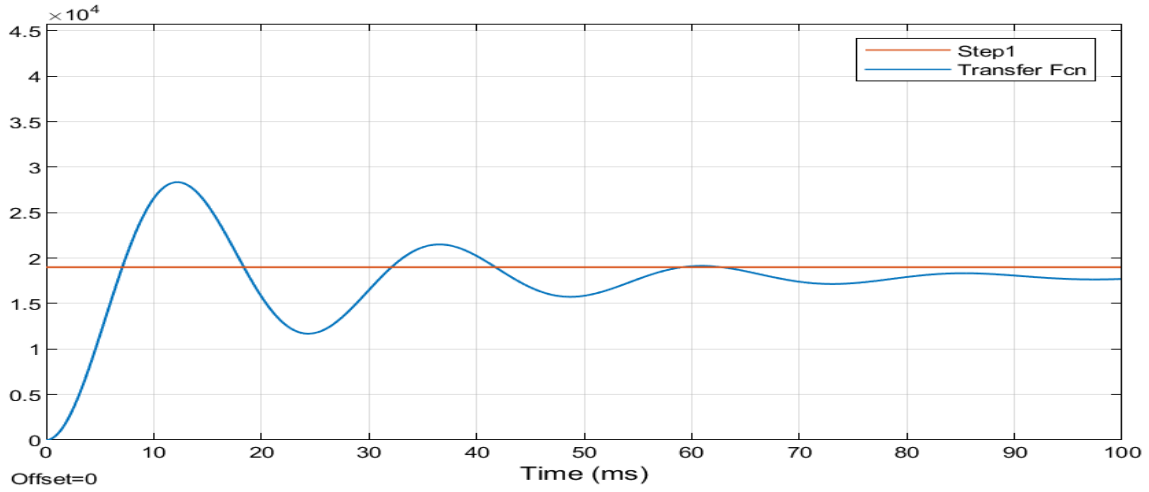
جدول 4-1 يوضح نتائج التجارب الثلاثة للتغير في القيمة التناسبية (p):

| No | p   | I | D | Rise time | Settling time | Overshoot | Peak |
|----|-----|---|---|-----------|---------------|-----------|------|
| 1  | 10  | 0 | 0 | 0.00557   | 0.0896        | 52.3%     | 1.39 |
| 2  | 50  | 0 | 0 | 0.0024    | 0.0885        | 74.4%     | 1.71 |
| 3  | 150 | 0 | 0 | 0.00135   | 0.0867        | 84.2%     | 1.83 |

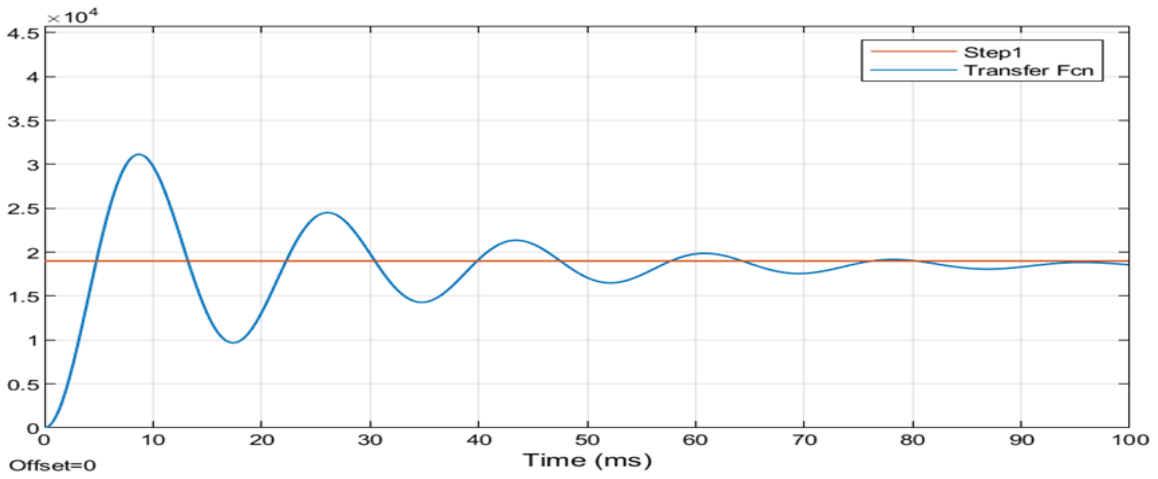
- تم إدخال القيمة التناسبية ( $p=10$ ) وكانت القيم التفاضلية والتكاملية ( $D, I=0$ ) عند التجربة رقم (1) حصلنا علي التغيرات في الخصائص.
- تم إدخال القيمة التناسبية ( $P=50$ ) وكانت القيم التفاضلية والتكاملية ( $D,I=0$ ) عند التجربة (2) لاحظنا نقصان في (Rise time ,settling time) ولاحظنا زيادة في قيم (over shoot peak).
- عند زيادة القيمة التناسبية الي ( $P=150$ ) وكانت القيم التفاضلية والتكاملية ( $D,I=0$ ) عند التجربة (3) لاحظنا نقصان في (Rise time ,settling time) وزيادة في قيم (over shoot, peak).



شكل 4-8 يوضح شكل الموجة (4)



شكل 4-9 يوضح شكل الموجة (5)

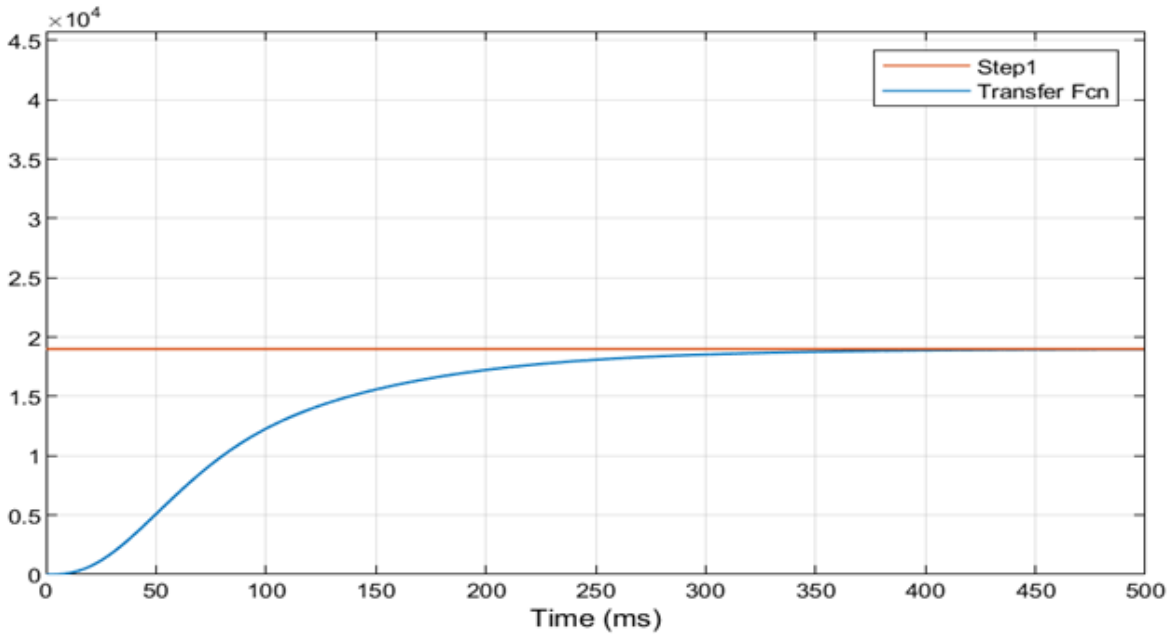


شكل 4-10 يوضح شكل الموجة (6)

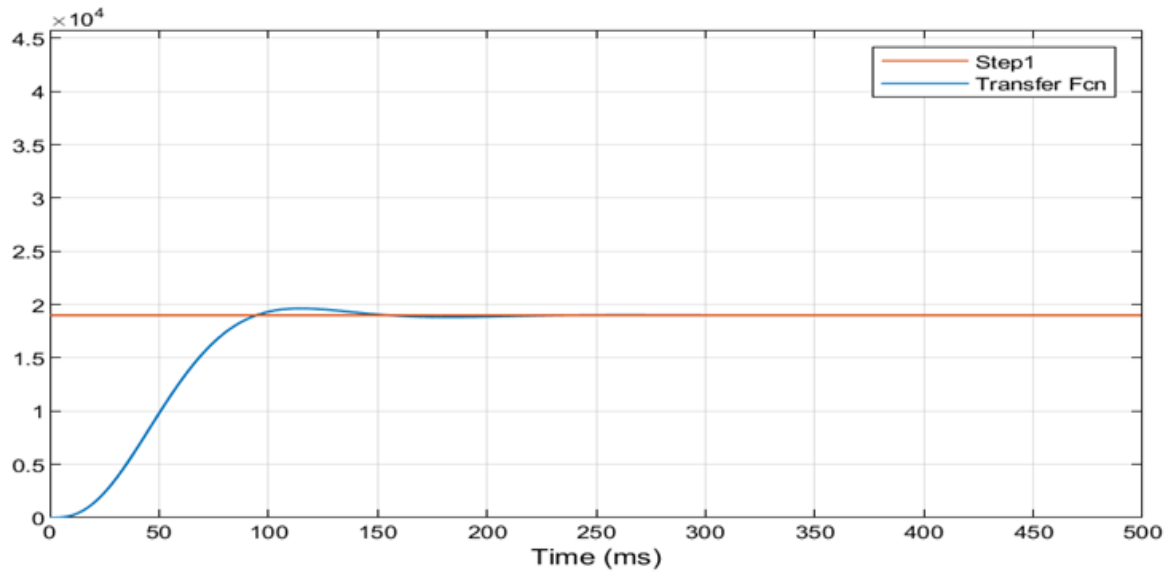
جدول 4-2 يوضح نتائج التجارب الثلاثة للتغير في القيمة التكاملية (PI):

| NO | P  | I  | D | Rise time | Settling time | Over shoot | Peak |
|----|----|----|---|-----------|---------------|------------|------|
| 1  | 5  | 7  | 0 | 0.00968   | 1.78          | 18.6%      | 1.19 |
| 2  | 15 | 9  | 0 | 0.00477   | Nan seconds   | 48.7%      | 1.49 |
| 3  | 30 | 70 | 0 | 0.0177    | 0.082         | 5.39%      | 1.05 |

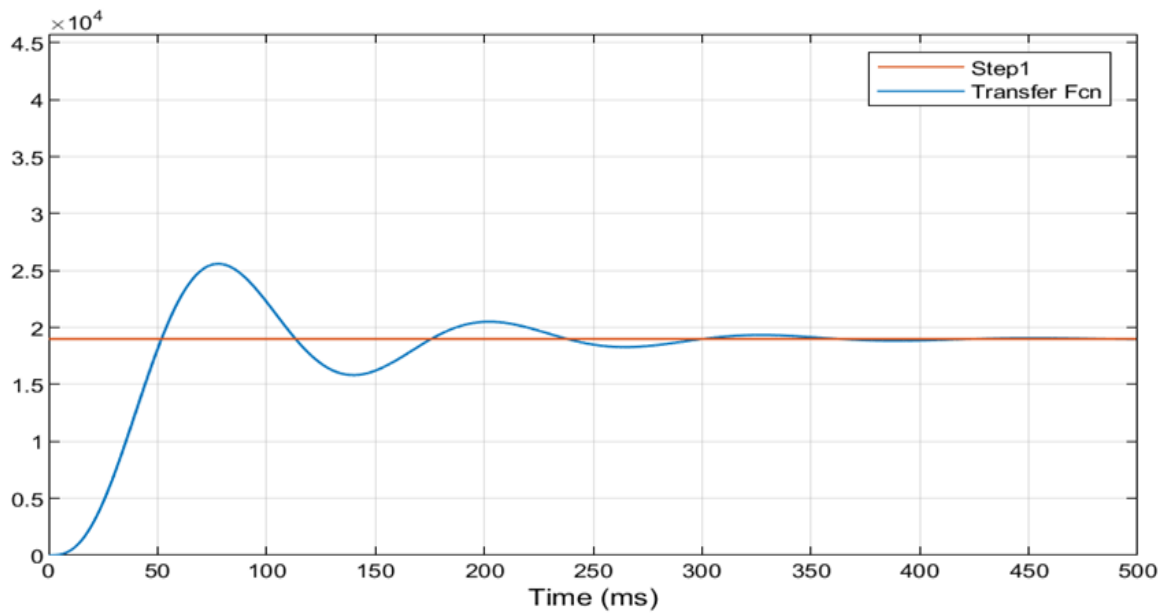
- تم إدخال القيمة التكاملية ( $P=5, I=7$ ) وكانت القيم التفاضلية والتناسبية ( $D=0$ ) عند التجربة رقم (1) حصلنا علي التغيرات في الخصائص.
- تم إدخال القيمة التكاملية ( $P=15, I=9$ ) وكانت القيم التفاضلية والتناسبية ( $D=0$ ) عند التجربة (2) لاحظنا نقصان في (Rise time).
- (overshoot) ولاحظنا زيادة في (overshoot, peak) , وحصل نقصان في (Settling time).
- عند زيادة القيمة التكاملية الي ( $P=30, I=70$ ) وكانت القيم التفاضلية والتناسبية ( $D=0$ ) عند التجربة (3) لاحظنا نقصان في (Settling time, over shoot) ونقصان في (Peak) وحصل زيادة في (Rise time).



شكل 4-11 يوضح شكل الموجة (7)



شكل 4-12 يوضح شكل الموجة (8)

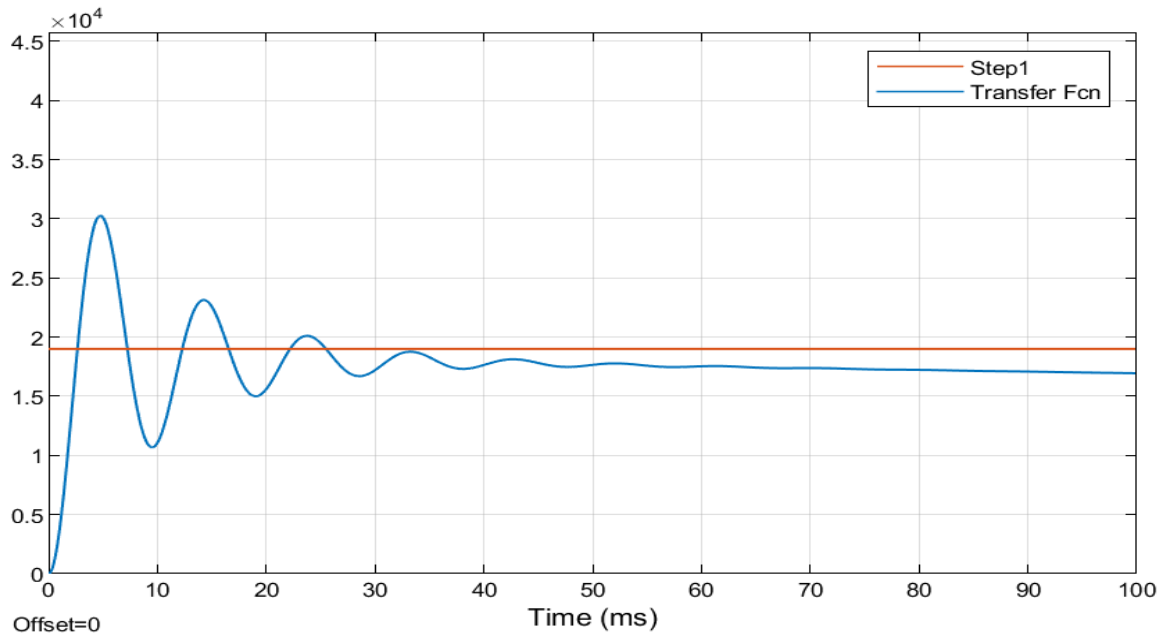


شكل 4-13 يوضح شكل الموجة (9)

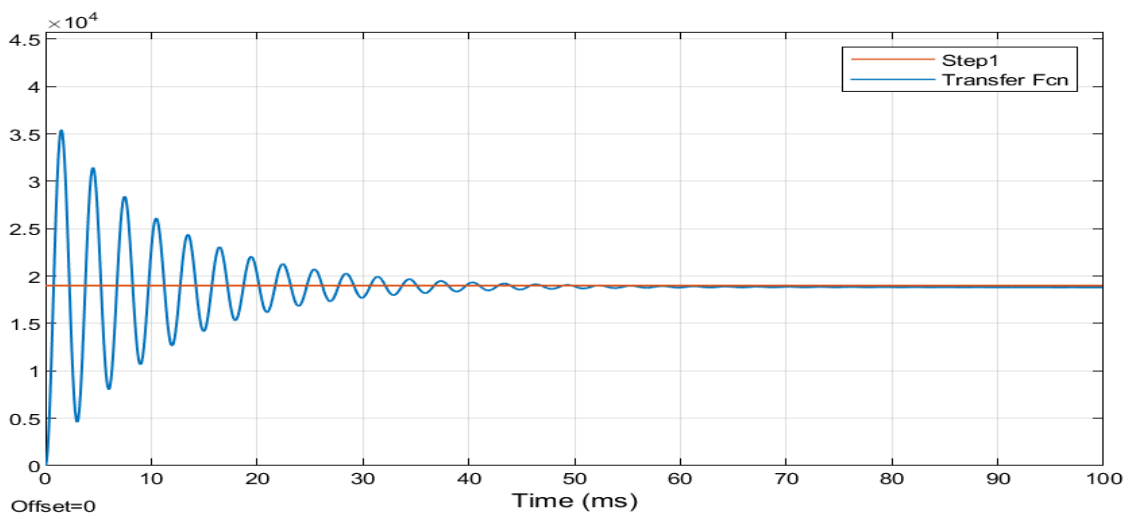
جدول 3-4 يوضح نتائج التجارب الثلاثة للتغير في القيمة التفاضلية (D):

| No | P | I | D   | Rise time | Settling time | Overshoot | Peak  |
|----|---|---|-----|-----------|---------------|-----------|-------|
| 1  | 0 | 0 | 0.1 | 0         | 0.483         | INF%      | 0.789 |
| 2  | 0 | 0 | 10  | 0         | 40            | INF%      | 0.99  |
| 3  | 0 | 0 | 20  | 0         | 79.9          | INF%      | 0.999 |

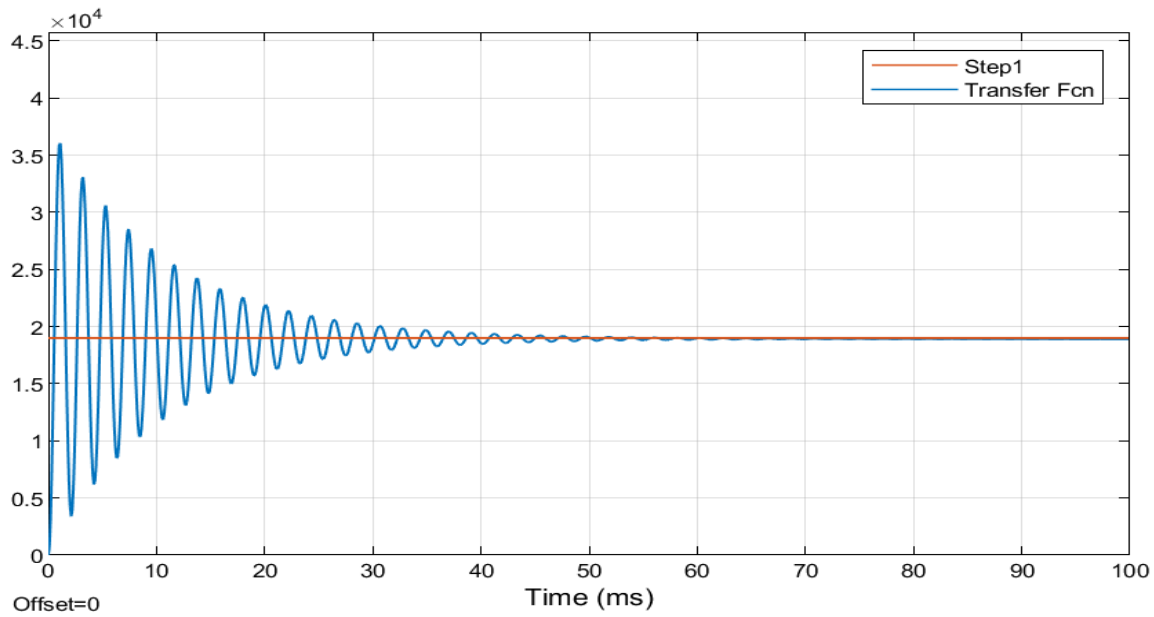
- تم إدخال القيمة التفاضلية ( $D=0.1$ ) وكانت القيم التناسبية والتكاملية ( $P,I=0$ ) عند التجربة رقم (1) حصلنا علي (Rise time) تساوي صفر و (over shoot) قيمتها (INF).
- تم إدخال القيمة التفاضلية ( $D=10$ ) وكانت القيم التناسبية والتكاملية ( $P,I=0$ ) عند التجربة رقم (2) كانت قيمة (Rise time) تساوي صفر و (over shoot) قيمتها (INF). وحصلنا علي زيادة في قيم (Settling time, peak).
- تم إدخال القيمة التفاضلية ( $D=20$ ) وكانت القيم التناسبية والتكاملية ( $P,I=0$ ) عند التجربة رقم (3) كانت قيمة (Rise time) تساوي صفر ، و (over shoot) قيمتها (INF). وحصلنا علي زيادة في قيمة (Sting time) وقيمة (peak) كانت ثابتة.



شكل 4-14 يوضح شكل الموجة (10)



شكل 4-15 يوضح شكل الموجة (11)



شكل 4-16 يوضح شكل الموجة (12)

جدول 4-4 يوضح نتائج التجارب الثلاثة في تغيير قيم الخصائص (P,I,D):

| No | P  | I  | D  | Rise time | Settling time | Overshoot | Peak |
|----|----|----|----|-----------|---------------|-----------|------|
| 1  | 1  | 2  | 1  | 0.00179   | 2.79          | 59.3 %    | 1.59 |
| 2  | 30 | 20 | 10 | 0.000513  | 0.0451        | 86.6 %    | 1.87 |
| 3  | 60 | 30 | 20 | 0.000359  | 0.0425        | 90.4 %    | 1.9  |

• تم إدخال القيمة التناسبية (P=1) والقيمة التكاملية (I=2) والقيمة التفاضلية (D=1) في التجربة رقم

(1) حصلنا علي التغيرات في الخصائص.

- تم إدخال القيمة التناسبية (P=30) والقيمة التكاملية (I=20) والقيمة التفاضلية (D=10) في التجربة رقم (2) حصلنا علي نقصان في قيم (Rise time , settling time) وزيادة في قيم (over shoot ,peak).
- تم إدخال القيمة التناسبية (60) والقيمة التكاملية (30) والقيمة التفاضلية (20) في التجربة رقم (3) حصلنا علي نقصان في قيم (Rise time ,settling time) وزيادة في قيم (over shoot, peak).

# الفصل الخامس

## الخلاصة والتوصيات

## الفصل الخامس

### الخلاصة والتوصيات

#### 1-5 الخلاصة :

تم تصميم وتنفيذ تجربة عملية لقياس سرعة محرك DC باستخدام حساس مع اردوينو وإظهارها على شكل موجة في الماتلاب وتحويلها لمعادلة يتم ضبطها عن طريق PID وإظهار التغيرات التي حصلت في (Rise time) ، (settling time) ، (Overshoot) ، (Peak) .

#### 2-5 التوصيات:

يوصي بمراعاة الاعتبارات التالية:

- استخدام أكثر من حساس لدقة سرعة المحرك.
- توضيح تأثير متحكمات PID باستخدام منظومات أخرى حرارية.

## المراجع

## المراجع:

[1] عقيل أحمد، كتاب المختصر في محركات التيار المستمر، فبراير 2021م، مكتبة الكتب

.Engineering

[2] عبد الله علي عبد الله، كتاب أردوينو ببساطة (Simply – Arduino)، أكتوبر 2012م، مجتمع

لينكس العربي (Linux, Org).

[3] [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

[4] [www.semanticscholar.org](http://www.semanticscholar.org)

[5] [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)

[6] [www.allaboutcircuits.com](http://www.allaboutcircuits.com)

[7] [www.zhinst.com/products/pid\\_controlles](http://www.zhinst.com/products/pid_controlles)


[8] <http://jurnoal.tishreen.edu.sy/index.php/engscns/articleview>


[9] [www.academia.edu](http://www.academia.edu)

[10] رابط يحتوي على معلومات وحدة التحكم:

<https://www.electronics212.com/2020/05/1298n-motor-driver-module.html>


الملاحق



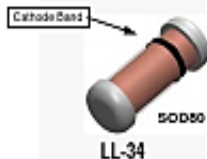


June 2015

## 1N/FDLL 914/A/B / 916/A/B / 4148 / 4448 Small Signal Diode



**DO-35**  
Cathode is denoted with a black band



**LL-34**  
SOD80  
Cathode Band  
THE PLACEMENT OF THE EXPANSION GAP HAS NO RELATIONSHIP TO THE LOCATION OF THE CATHODE TERMINAL

SOD-80 COLOR BAND MARKING

| DEVICE   | 1ST BAND |
|----------|----------|
| FDLL914  | BLACK    |
| FDLL914A | BLACK    |
| FDLL914B | BLACK    |
| FDLL4148 | BLACK    |
| FDLL4448 | BLACK    |

-1st band denotes cathode terminal and has wider width

---

### Ordering Information

| Part Number   | Marking | Package          | Packing Method |
|---------------|---------|------------------|----------------|
| 1N914         | 914     | DO-204AH (DO-35) | Bulk           |
| 1N914_T50A    | 914     | DO-204AH (DO-35) | Ammo           |
| 1N914TR       | 914     | DO-204AH (DO-35) | Tape and Reel  |
| 1N914ATR      | 914A    | DO-204AH (DO-35) | Tape and Reel  |
| 1N914B        | 914B    | DO-204AH (DO-35) | Bulk           |
| 1N914BTR      | 914B    | DO-204AH (DO-35) | Tape and Reel  |
| 1N916         | 916     | DO-204AH (DO-35) | Bulk           |
| 1N916A        | 916A    | DO-204AH (DO-35) | Bulk           |
| 1N916B        | 916B    | DO-204AH (DO-35) | Bulk           |
| 1N4148        | 4148    | DO-204AH (DO-35) | Bulk           |
| 1N4148TA      | 4148    | DO-204AH (DO-35) | Ammo           |
| 1N4148_T26A   | 4148    | DO-204AH (DO-35) | Ammo           |
| 1N4148_T50A   | 4148    | DO-204AH (DO-35) | Ammo           |
| 1N4148TR      | 4148    | DO-204AH (DO-35) | Tape and Reel  |
| 1N4148_T50R   | 4148    | DO-204AH (DO-35) | Tape and Reel  |
| 1N4448        | 4448    | DO-204AH (DO-35) | Bulk           |
| 1N4448TR      | 4448    | DO-204AH (DO-35) | Tape and Reel  |
| FDLL914       | Black   | SOD-80           | Tape and Reel  |
| FDLL914A      | Black   | SOD-80           | Tape and Reel  |
| FDLL914B      | Black   | SOD-80           | Tape and Reel  |
| FDLL4148      | Black   | SOD-80           | Tape and Reel  |
| FDLL4148_D87Z | Black   | SOD-80           | Tape and Reel  |
| FDLL4448      | Black   | SOD-80           | Tape and Reel  |
| FDLL4448_D87Z | Black   | SOD-80           | Tape and Reel  |

1N/FDLL 914/A/B / 916/A/B / 4148 / 4448 — Small Signal Diode

## LM393, LM393A, LM293, LM2903, LM2903V

## MAXIMUM RATINGS

| Rating   | Symbol                     | Value  | Unit                       |
|--|----------------------------|--|----------------------------|
| Power Supply Voltage   | $V_{CC}$                   | +36 or $\pm 18$                                      | Vdc                        |
| Input Differential Voltage Range   | $V_{IDR}$                  | 36   | Vdc                        |
| Input Common Mode Voltage Range  | $V_{ICR}$                  | -0.3 to +36  | Vdc                        |
| Output Short Circuit-to-Ground<br>Output Sink Current (Note 1)                   | $I_{SC}$<br>$I_{Sink}$     | Continuous<br>20                                     | mA                         |
| Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>Derate above $25^\circ\text{C}$  | $P_D$<br>$1/R_{\theta JA}$ | 570<br>5.7   | mW<br>mW/ $^\circ\text{C}$ |
| Operating Ambient Temperature Range<br>LM293<br>LM393, 393A<br>LM2903<br>LM2903V | $T_A$                      | -25 to +85<br>0 to +70<br>-40 to +105<br>-40 to +125 | $^\circ\text{C}$           |
| Maximum Operating Junction Temperature<br>LM393, 393A, 2903, LM2903V<br>LM293    | $T_{J(max)}$               | 125<br>150   | $^\circ\text{C}$           |
| Storage Temperature Range  | $T_{stg}$                  | -65 to +150  | $^\circ\text{C}$           |

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $V_{CC} = 5.0\text{ Vdc}$ ,  $T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$ , \* unless otherwise noted.)

| Characteristic  | Symbol     | LM393A |           |                                  | Unit          |
|---|------------|--------|-----------|----------------------------------|---------------|
|   |            | Min    | Typ       | Max                              |               |
| Input Offset Voltage (Note 2)<br>$T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$   | $V_{IO}$   | -      | $\pm 1.0$ | $\pm 2.0$<br>4.0                 | mV            |
| Input Offset Current<br>$T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$  | $I_{IO}$   | -      | $\pm 50$  | $\pm 50$<br>$\pm 150$            | nA            |
| Input Bias Current (Note 3)<br>$T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$   | $I_{IB}$   | -      | 25        | 250<br>400                       | nA            |
| Input Common Mode Voltage Range (Note 4)<br>$T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$  | $V_{ICR}$  | 0<br>0 | -         | $V_{CC} - 1.5$<br>$V_{CC} - 2.0$ | V             |
| Voltage Gain $R_L \geq 15\text{ k}\Omega$ , $V_{CC} = 15\text{ Vdc}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$   | $A_{VOL}$  | 50     | 200       | -                                | V/mV          |
| Large Signal Response Time<br>$V_{in} = \text{TTL Logic Swing}$ , $V_{ref} = 1.4\text{ Vdc}$<br>$V_{RL} = 5.0\text{ Vdc}$ , $R_L = 5.1\text{ k}\Omega$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$   | -          | -      | 300       | -                                | ns            |
| Response Time (Note 5) $V_{RL} = 5.0\text{ Vdc}$ , $R_L = 5.1\text{ k}\Omega$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$  | $t_{TLH}$  | -      | 1.3       | -                                | $\mu\text{s}$ |
| Input Differential Voltage (Note 6)<br>All $V_{in} \geq \text{Gnd}$ or $V^-$ Supply (if used)   | $V_{ID}$   | -      | -         | $V_{CC}$                         | V             |
| Output Sink Current<br>$V_{in} \geq 1.0\text{ Vdc}$ , $V_{in+} = 0\text{ Vdc}$ , $V_O \leq 1.5\text{ Vdc}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$   | $I_{Sink}$ | 6.0    | 16        | -                                | mA            |
| Output Saturation Voltage<br>$V_{in} \geq 1.0\text{ Vdc}$ , $V_{in+} = 0\text{ Vdc}$ , $I_{Sink} \leq 4.0\text{ mA}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$<br>$T_{low} \leq T_A \leq T_{high}$ | $V_{OL}$   | -      | 150       | 400<br>700                       | mV            |

\*  $T_{low} = 0^\circ\text{C}$ ,  $T_{high} = +70^\circ\text{C}$  for LM393/393A

- NOTES:**
- The maximum output current may be as high as 20 mA, independent of the magnitude of  $V_{CC}$ . Output short circuits to  $V_{CC}$  can cause excessive heating and eventual destruction.
  - At output switch point,  $V_O \approx 1.4\text{ Vdc}$ ,  $R_S = 0\ \Omega$  with  $V_{CC}$  from 5.0 Vdc to 30 Vdc, and over the full input common mode range (0 V to  $V_{CC} = -1.5\text{ V}$ ).
  - Due to the PNP transistor inputs, bias current will flow out of the inputs. This current is essentially constant, independent of the output state, therefore, no loading changes will exist on the input lines.
  - Input common mode of either input should not be permitted to go more than 0.3 V negative of ground or minus supply. The upper limit of common mode range is  $V_{CC} - 1.5\text{ V}$ .
  - Response time is specified with a 100 mV step and 5.0 mV of overdrive. With larger magnitudes of overdrive faster response times are obtainable.
  - The comparator will exhibit proper output state if one of the inputs becomes greater than  $V_{CC}$ , the other input must remain within the common mode range. The low input state must not be less than -0.3 V of ground or minus supply.