

EMBEDDED

л.10

Силова периферія

Палій Святослав



Силова периферія

Силова периферія — це термін, який я використовую для опису зовнішніх силових елементів, що забезпечують передачу енергії або виконання механічних функцій у системах. Це можуть бути різні компоненти, такі як двигуни, трансмісії, редуктори, муфти та інші механізми, які забезпечують рух або роботу системи. Зазвичай такі елементи споживають значно більше енергії та можуть створювати значні завади.

Найбільш поширені:

1. Реле / актуатори:

- *Вмикають/вимикають навантаження*

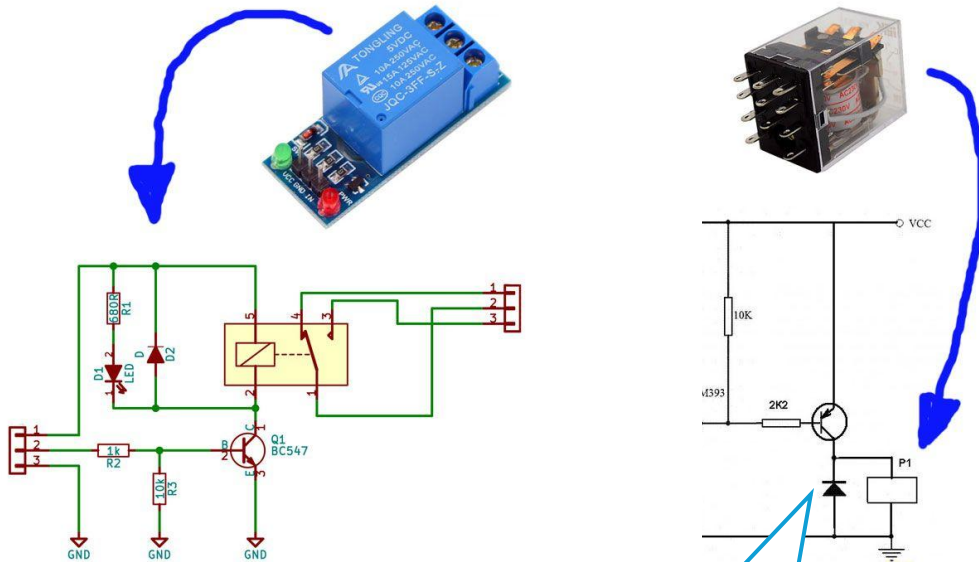
2. Двигуни та сервоприводи:

- *Забезпечують рух*

3. Перетворювачі енергії

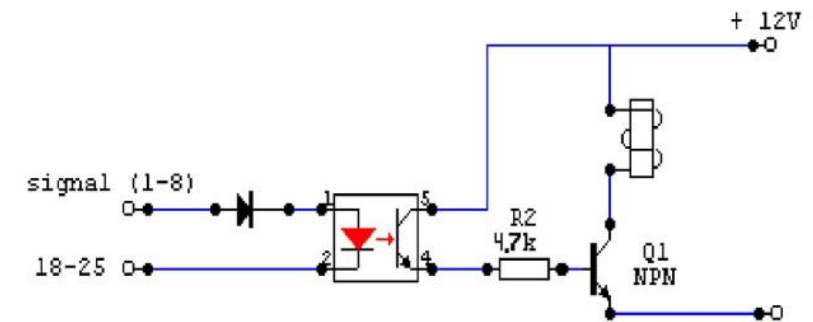
- 1. Дозволяють керувати напругою або струмом*
 - 1. Підвищуючі (boost)*
 - 2. Понижуючі (buck)*
 - 3. Покуючо-підвищуючі (buck-boost)*

Реле (електромагнітне)



Діод для шляху струму при розмиканні транзистора

- **Реле** керується одним сигналом, який визначає включене чи виключене реле.
- Варто використовувати для порівняно нечастої комутації, контакти мають скінченний ресурс і зношуються з часом.
- Рекомендовано використовувати транзистор для розв'язання струму який тече в котушці і струму чи напруги яка використовується для керування навіть якщо струм котушки реле незначний (маленьке реле)
- Обов'язково має бути присутній діод для забезпечення протікання струму при розмиканні.
- Деколи для ще кращого розділення струмів використовують оптрон.



Реле (твердотільне)

Твердотільне реле є електричним пристроєм для комутації, що використовує електронні, магнітні або оптичні елементи **без механічних рухомих частин** для включення або вимкнення електричних кіл. Основні переваги твердотільних реле включають швидке перемикання, тривалий термін експлуатації та відсутність механічного зносу.

Переваги твердотільних реле:

- Швидке перемикання
- Відсутність механічного зносу
- Тривалий термін служби

Недоліки

- Ціна
- Менша універсальність
- Вужчий діапазон варіантів комутації (слід уважно підбирати)

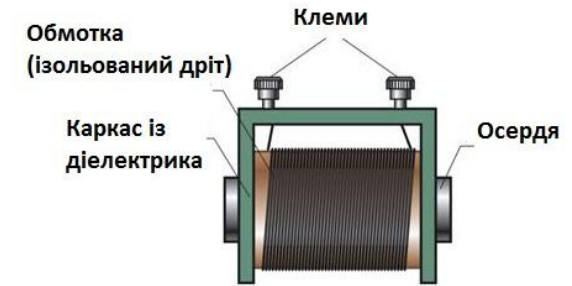
- Твердотільний модуль: G3MB-202P
- Комутована напруга: від 100 до 240 В
- Комутований струм: макс. 2A
- Напруга керування: від 0 до 5В
- Активний рівень сигналу управління: високий
- Максимальний струм керування: 12.5 мА
- Робочий струм керування: 2мА
- Розміри: 24 * 32 * 21 мм


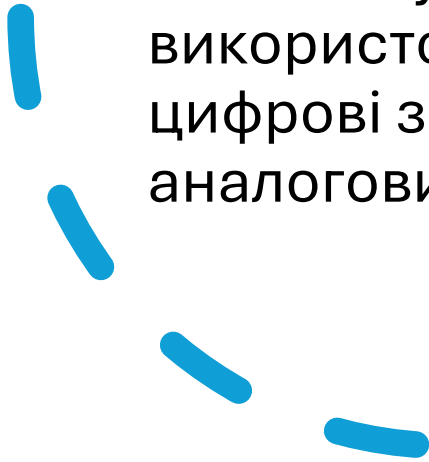


Електромагнітний актуатор

Електромагнітний актуатор — це пристрій, який використовує електромагнітну силу для переміщення механічних частин. Він зазвичай складається з котушки з рухомим осердям (якорем), який переміщується під дією магнітного поля, створеного електричним струмом та пружини котра забезпечує визначене положення осердя коли струм не прикладено.

Зазвичай є частиною більш складних пристроїв, наприклад клапанів, маніпуляторів, електричних замків тощо.



- 
- Реле та актуатори бувають моностабільними котрі споживають струм в одному з станів та бістабільними, котрі потребують окремих сигналів для зміни стану, але не споживають струму в стабільному стані.
 - Для реле в момент перемикаання є характерним імпульс струму, котрий може створювати завади на малострумову цифрову та особливо аналогову частини схеми. При використанні великих реле варто використовувати підходи, котрі дозволяють ігнорувати короткочасні цифрові завади а також якщо є можливість уникати вимірювання аналогових сигналів.
- 

Колекторний двигун

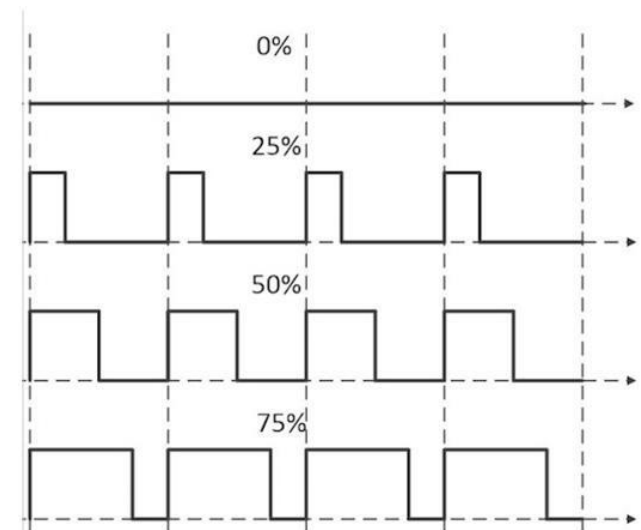
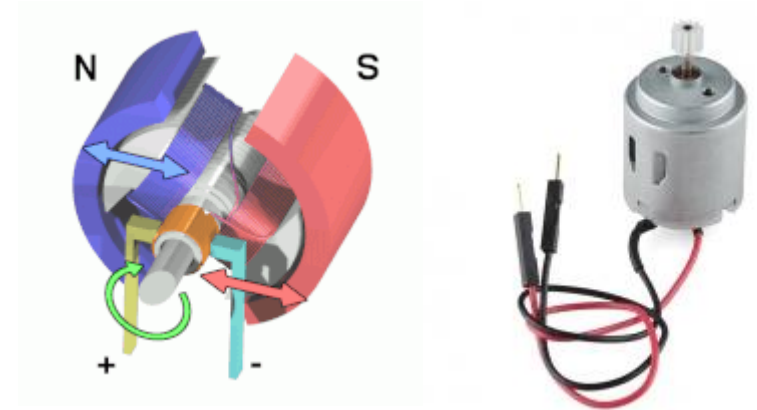
Двигун постійного струму — це електрична машина, яка перетворює електричну енергію постійного струму на механічну енергію обертання. Основні компоненти двигуна постійного струму включають статор, ротор (якір), комутатор і щітки (які з часом зношуються)

[Двигун постійного струму — Вікіпедія](#)

Колекторний двигун змінного струму подібний за конструкцією до двигуна постійного струму. При цьому як правило використовуються статор з електромагнітами

Для подолання іскор на комутаторі та відповідно і генерованих ним завад використовується конденсатор, котрий включається паралельно двигуну

Можна керувати потужністю двигуна за допомогою ШІМ сигналу.



Безколекторний двигун

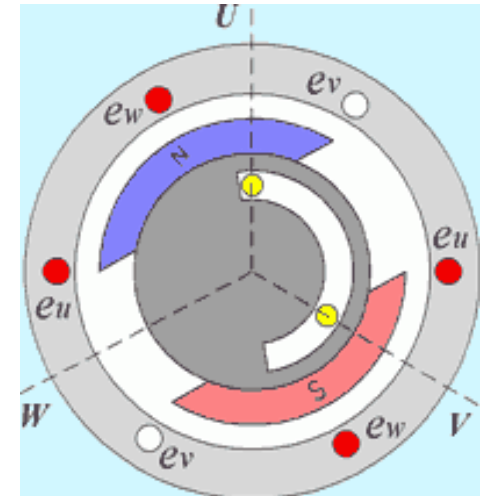
Безколекторний (або вентильний, BLDC, BL) двигун, є електричною машиною, яка не використовує щітки для комутації струму

У безколекторному двигуні ротор містить постійні магніти, а статор — обмотки. Це дозволяє уникнути механічного контакту між рухомими частинами, що зменшує знос і підвищує надійність.

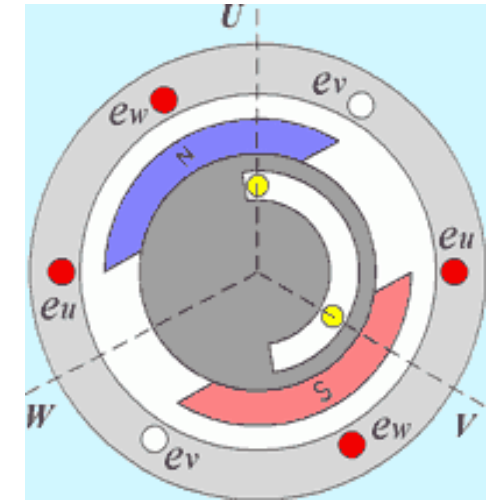
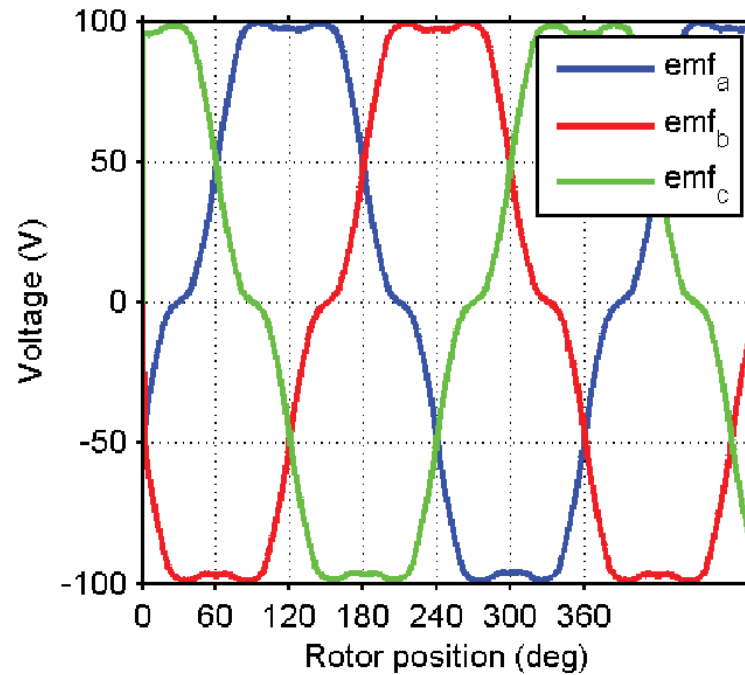
Керування: Для роботи безколекторного двигуна потрібен **електронний контролер**, який перетворює постійний струм на змінний і керує обмотками статора.

Переваги: Висока ефективність, точне позиціонування, менший рівень шуму та тривалий термін служби.

Безколекторні двигуни широко використовуються в різних застосуваннях, таких як електромобілі, дрони, комп'ютерні вентилятори та інші пристрої, де важлива висока продуктивність і надійність.



Сигнали управління безколекторним двигуном



Кроковий двигун

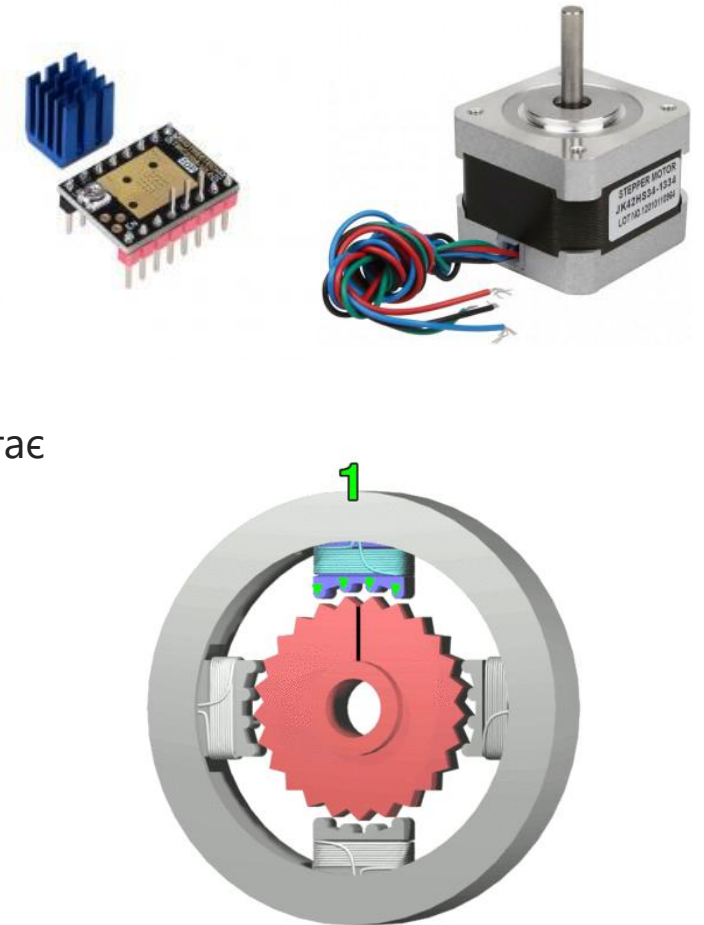
Кроковий двигун — це електрична машина, яка перетворює електричну енергію в механічну, забезпечуючи дискретні кроки обертання ротора.

Принцип роботи: Ротор рухається дискретними кроками за командою імпульсу струму, а не обертається безперервно. Кожен імпульс призводить до повороту ротора на певний кут, що дозволяє точно контролювати його положення. Вимагає контролера. Сучасні контролери підтримують часткові кроки (мікрокрок). Зазвичай контролюється сигналами напрямку та кроку. Деякі контролери дозволяють керувати за допомогою цифрових інтерфейсів зокрема I²C.

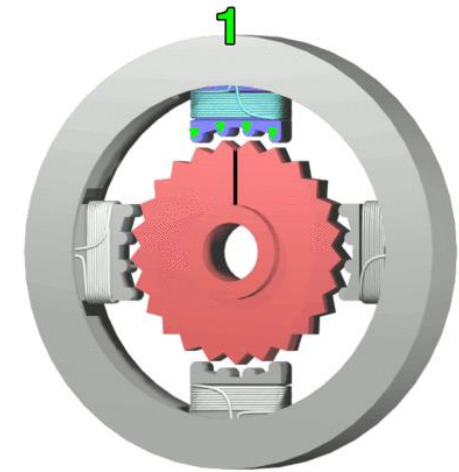
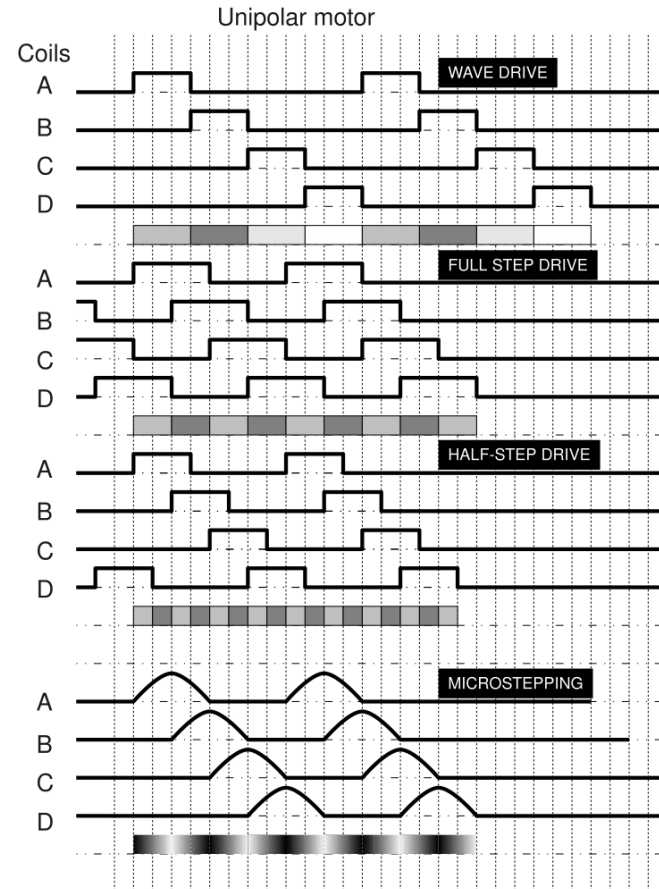
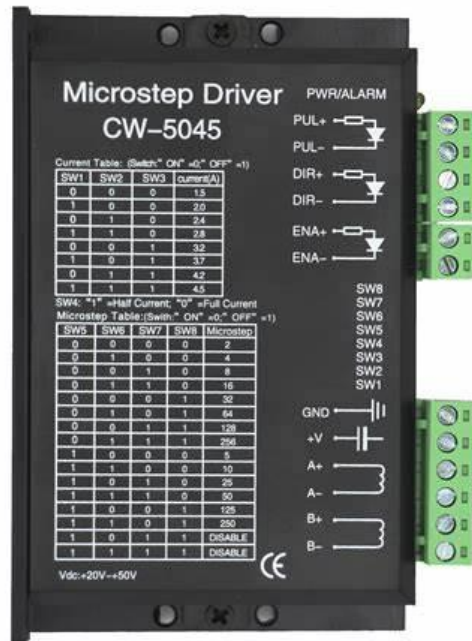
Конструкція: Кроковий двигун складається зі статора з обмотками збудження і ротора, який може бути виконаний з магнітного матеріалу.

Типи: Існують різні типи крокових двигунів, включаючи двигуни з постійними магнітами, двигуни зі змінним магнітним опором і гібридні двигуни.

Крокові двигуни широко використовуються в робототехніці, принтерах, CNC-машинах та інших пристроях, де потрібна висока точність позиціонування.



Сигнали управління кроковим двигуном



Сервопривід

Сервопривід — це пристрій, який використовується для точного керування положенням, швидкістю або моментом обертання механізму. Він складається з електродвигуна, датчика зворотного зв'язку (наприклад, енкодера) і блоку

Основні компоненти сервоприводу:

- **Електродвигун:** Забезпечує механічний рух.
- **Давач зворотного зв'язку:** Вимірює положення, швидкість або момент обертання і передає ці дані до блоку керування
- **Блок керування:** Аналізує дані від датчика і регулює роботу двигуна для досягнення заданих параметрів

Переваги сервоприводів:

Висока точність: Завдяки зворотному зв'язку забезпечується точне позиціонування

Швидка реакція: Можливість швидко змінювати параметри руху

Застосування: Сервоприводи широко використовуються в автоматизації, робототехніці, верстатах з ЧПУ, медичному обладнанні та інших високоточних системах

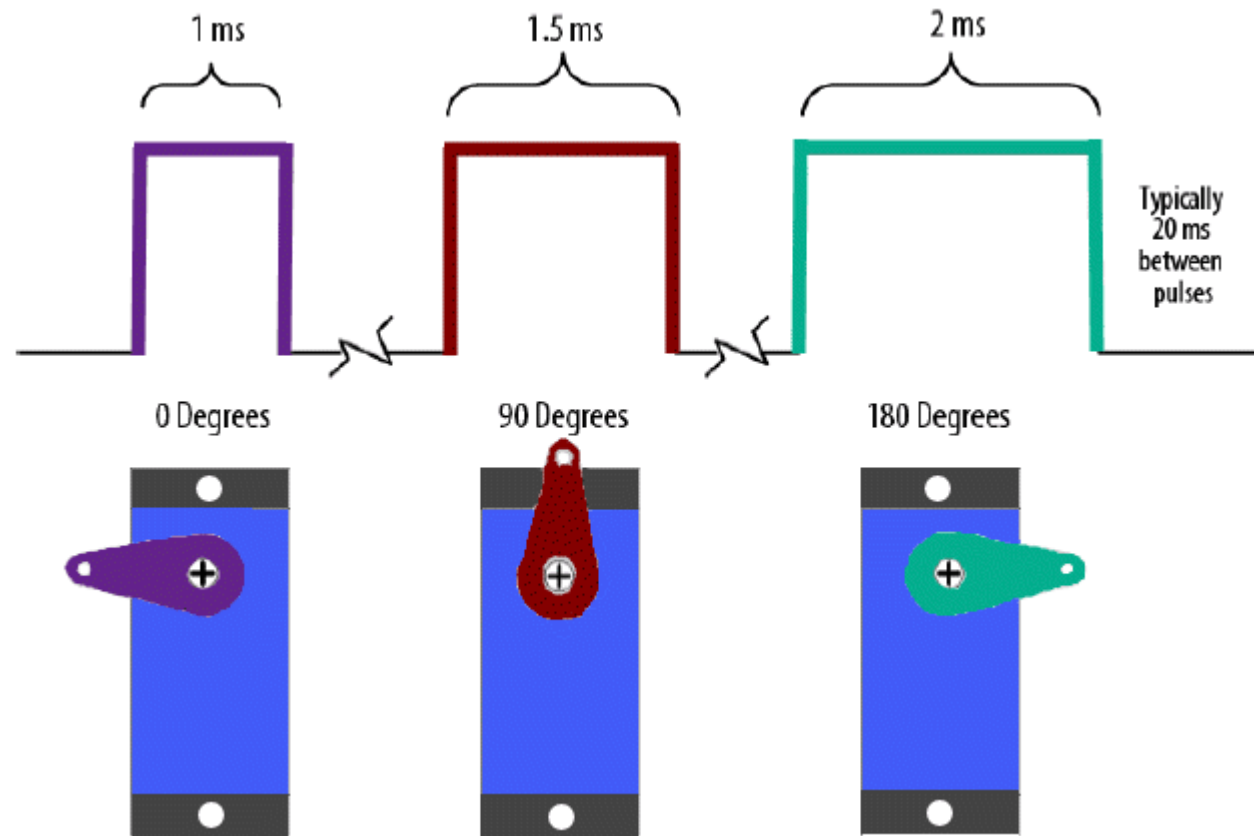


[Servomotor - Wikipedia](#)

[Що таке сервопривід і для чого він потрібен?](#)

[Servos - HomoFaciens](#)

Керування сервоприводами



Понижуючий перетворювач

Понижуючий перетворювач, або **buck**-конвертер, — це тип DC-DC перетворювача, який знижує вхідну напругу до нижчої вихідної напруги

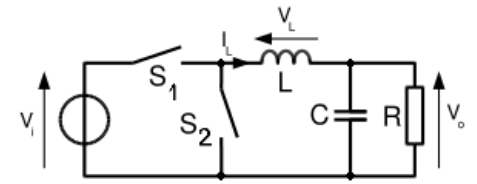
Основні компоненти такого перетворювача включають:

Перемикач: Зазвичай це транзистор, який контролює подачу напруги

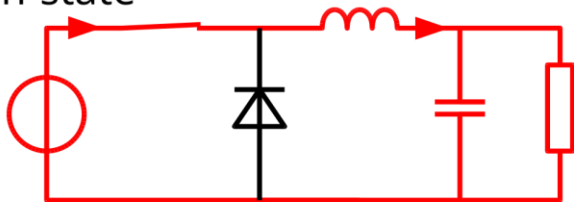
Діод: Виконує роль другого перемикача, забезпечуючи безперервність струму. Може бути замінений перемикачем керований в протифазі до основного перемикача.

Котушка: **основний робочий елемент** перетворювача

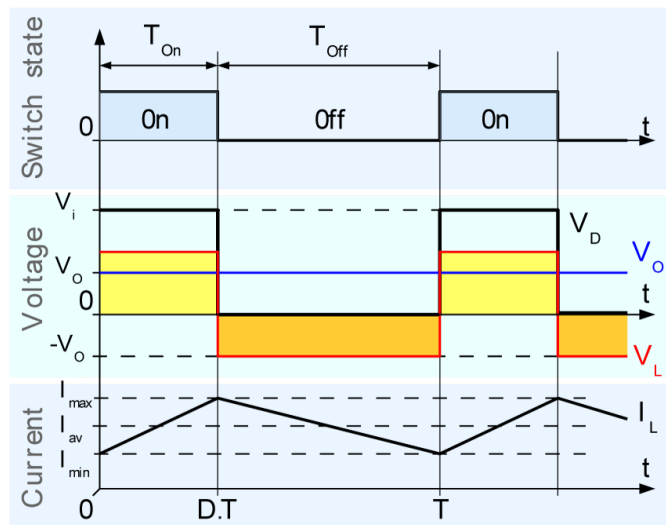
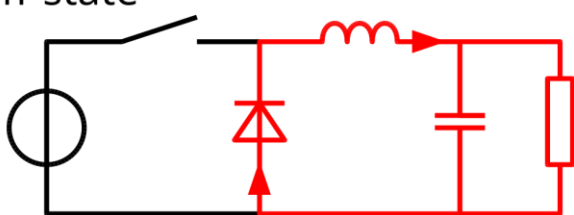
Конденсатор: який згладжують вихідну напругу і зменшують пульсації



On-state



Off-state



Підвищуючий перетворювач

Підвищуючий перетворювач, або **boost**-конвертер, — це тип DC-DC перетворювача, який збільшує вхідну напругу до вищої вихідної напруги

Основні компоненти такого перетворювача включають:

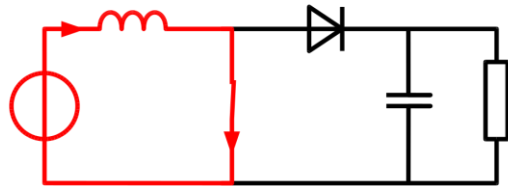
Індуктор: Зберігає енергію у вигляді магнітного поля під час ввімкнення перемикача

Перемикач: Зазвичай це транзистор, який контролює подачу напруги

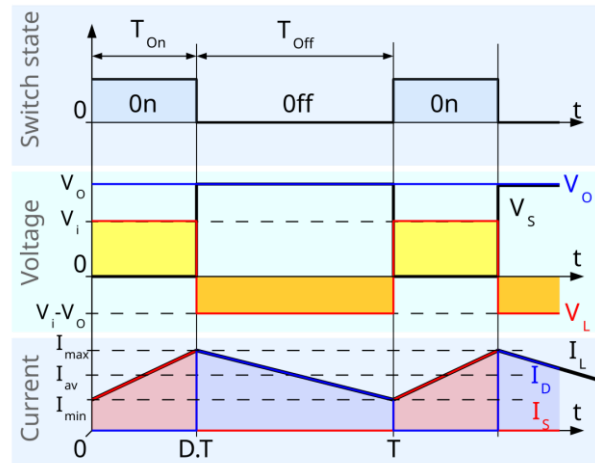
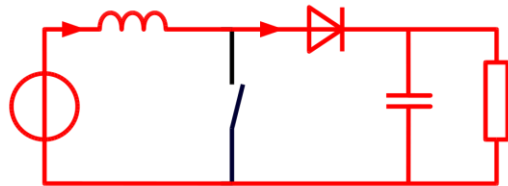
Діод: Забезпечує напрямок струму до виходу під час вимкнення перемикача, також може бути замінений на другий ключ

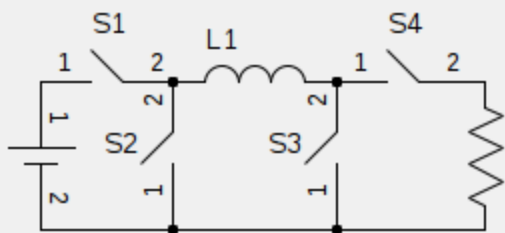
Конденсатор: Згладжує вихідну напругу і зменшує пульсації²

On-State

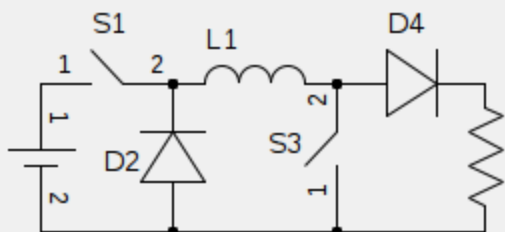


Off-State

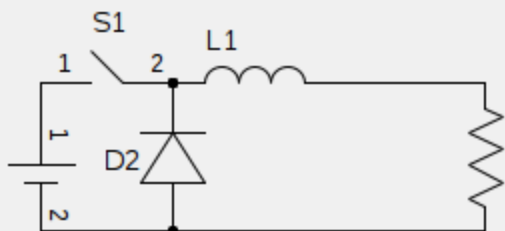




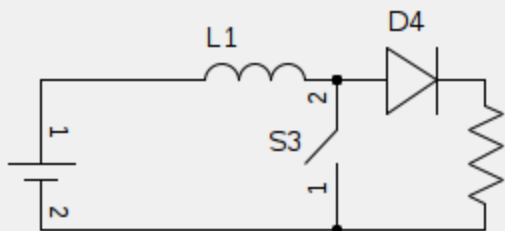
Basic 4-switch buck-boost circuit



S2 and S4 are operated as diodes



buck mode: S3 open, D4 conducting



boost mode: S1 closed, D2 blocking

Понижуючо-підвищуючий перетворювач, або **buck-boost** конвертер, — це тип DC-DC перетворювача, який може як знижувати, так і підвищувати вхідну напругу.



[Buck–boost converter - Wikipedia](#)

[Для розширення кругозору ще розгляньте
Перетворювач Сик — Вікіпедія](#)

Особливості силової периферії

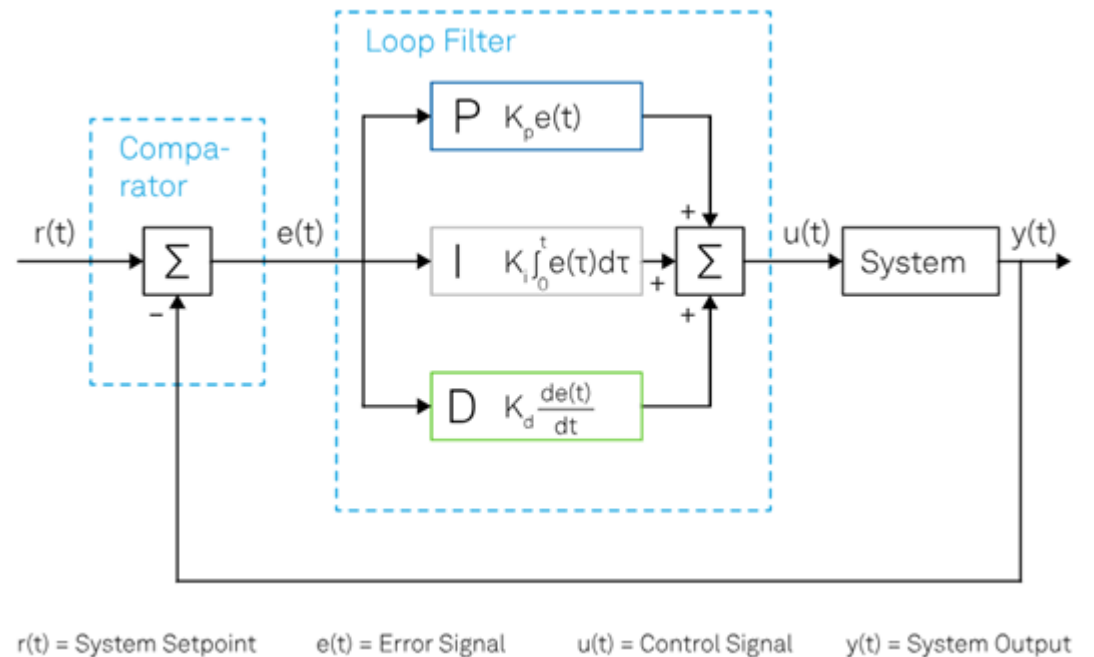
- Може бути джерелом завад. Особливо при неоптимальному проектуванні схеми та друкованої плати
- Зазвичай система з силовою периферією має значну інерцію та вимагає виводу відлагоджувальної інформації використовуючи сторонній канал (“side channel”) наприклад через UART в реальному часі
- Часто приходить поєднувати покази вимірювальної техніки і дані виведенні за допомогою стороннього каналу, для того, щоб зрозуміти що коїться в системі.
- Під час роботи з такими системами потрібно додатково подбати про безпеку, наприклад мотори можуть бути травмонебезпечними, а підвищуючі регулятори можуть видати неочікувано високу напругу.

ПІД-регулятор

$$u(t) = u_P(t) + u_I(t) + u_D(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{d}{dt} e(t)$$

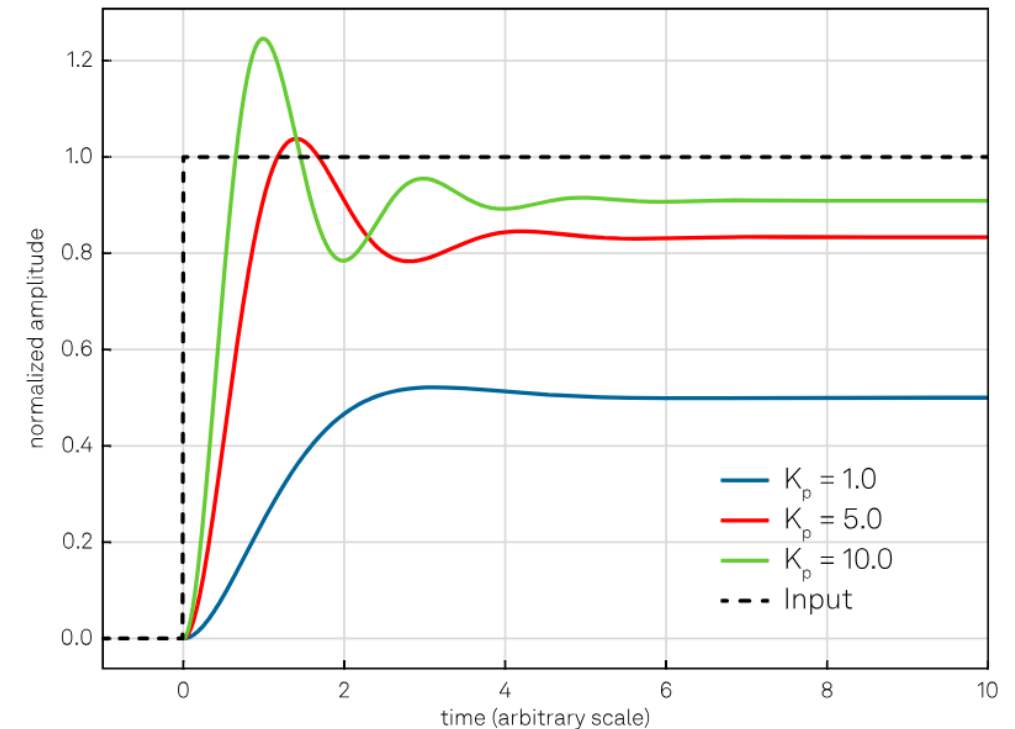
ПІД-регулятор (пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор) призначений для створення керуючого сигналу, який ефективно зменшує розбіжність між фактичним виходом і заданою точкою системи.

де K_P , K_I and K_D є коефіцієнтами підсилення, що відповідають пропорційним, інтегральним і диференціальним складовим відповідно.



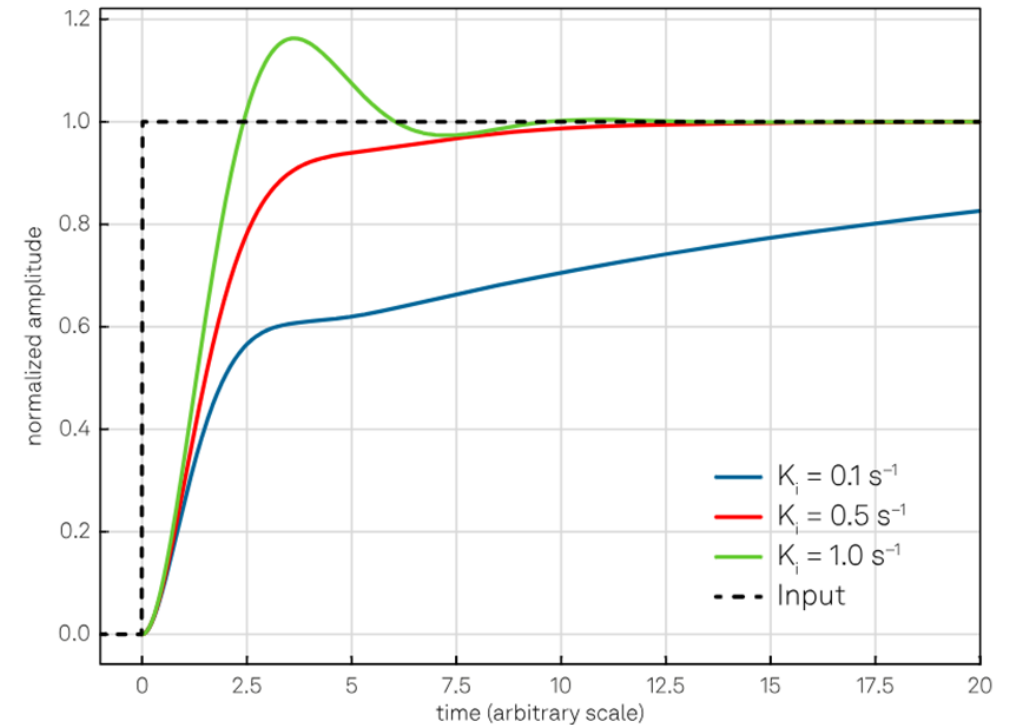
Пропорційна складова

- Пропорційна складова, позначена як P , базується на поточній помилці між заданою точкою і вимірним виходом системи. Ця складова допомагає повернути вихід системи до заданої точки, застосовуючи корекцію, яка пропорційна амплітуді помилки, що призводить до зменшення часу наростання корекційного сигналу. Чим більша помилка, тим більша корекція, яку застосовує пропорційна складова - тобто, чим більша помилка при фіксованому K_p , тим більша $u_p(t)$. Оскільки складова P завжди потребує ненульової помилки для генерації свого виходу, вона не може самостійно усунути помилку. У стаціонарних умовах системи досягається рівновага, яка включає стаціонарну помилку.



Інтегральна складова

Інтегральна складова, позначена як I , застосовує корекцію, яка пропорційна часовому інтегралу помилки, тобто історії помилки. Наприклад, якщо помилка зберігається протягом часу, інтегральна складова продовжує збільшуватися, що призводить до більшої корекції, застосованої до виходу системи. На відміну від пропорційної складової, інтегральна складова дозволяє регулятору генерувати ненульовий керуючий сигнал навіть за умови нульової помилки в даний момент. Ця властивість дозволяє регулятору точно привести систему до необхідної заданої точки.

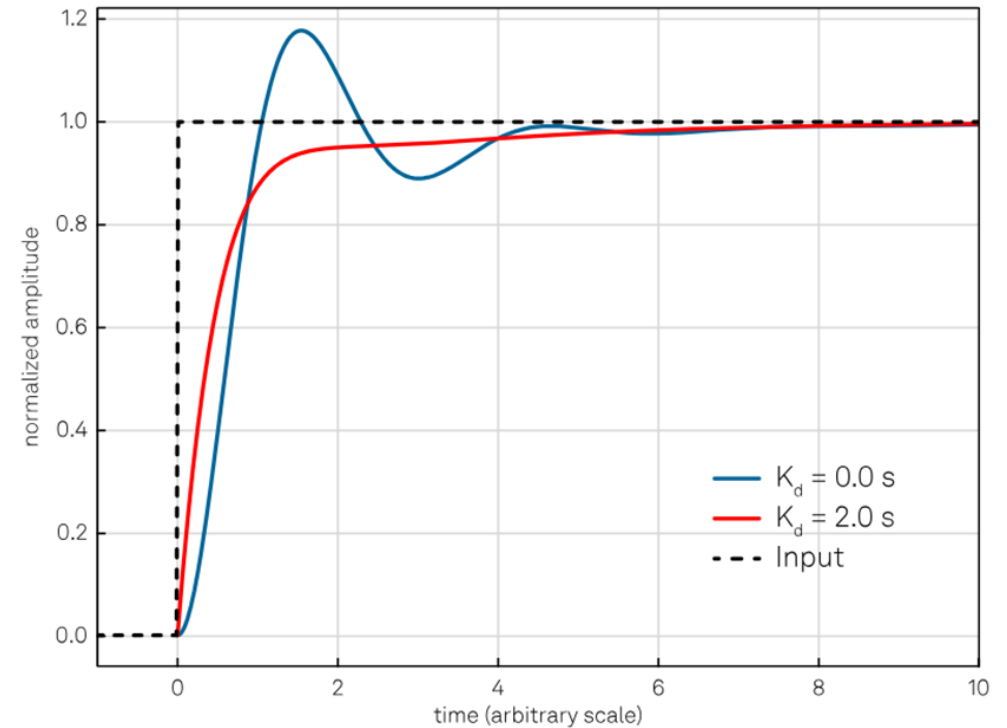


Диференційна складова

Диференційна складова, позначена як D, забезпечує контроль над тенденцією помилки, тобто її майбутньою поведінкою, шляхом застосування корекції, пропорційної часовій похідній помилки. Це дозволяє зменшити швидкість зміни помилки і таким чином покращити стабільність і чутливість контуру керування. Мета полягає в тому, щоб передбачити зміни в сигналі помилки: якщо помилка показує тенденцію до зростання, диференційна дія намагається компенсувати це без очікування, поки помилка стане значною (пропорційна дія) або збережеться протягом деякого часу (інтегральна дія).

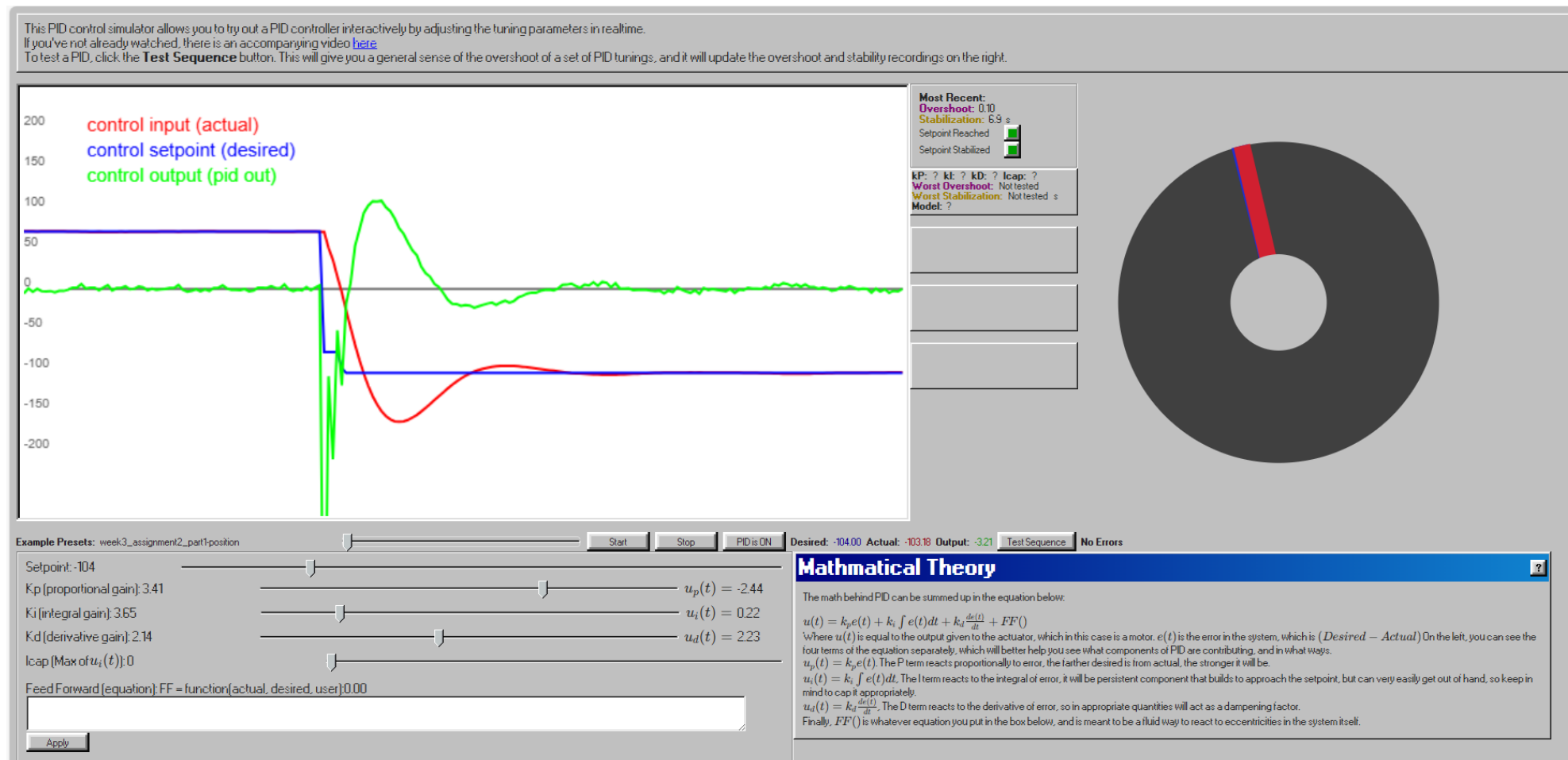
У реальних реалізаціях ПІД-регуляторів диференційну дію іноді пропускають (тоді виходить ПІ регулятор) через її високу чутливість до якості вхідного сигналу. Коли опорне значення швидко змінюється, як у випадку дуже шумного керуючого сигналу, похідна помилки має тенденцію до значного збільшення, що може призвести до різких змін у роботі ПІД-регулятора, викликаючи нестабільність або коливання в контурі керування.

Для покращення стабільності деколи використовується попереднє фільтрування сигналу помилки за допомогою фільтра нижніх частот як стратегія пом'якшення; однак, фільтрування нижніх частот і диференційне керування нейтралізують одне одного



Online simulator

PID control simulator



Визначення коефіцієнтів PID

1. Встановіть всі коефіцієнти в 0;
2. Збільшуйте пропорційне (P) підсилення, поки система не почне показувати стабільні і постійні коливання. Це значення відоме як граничне підсилення (K_u);
3. Поміряйте період коливань (T_u);
4. В залежності від бажаного типу регулювання (P, PI чи PID) встановіть коефіцієнти в наступні значення:

	K_p	K_i	K_d
P controller	$0.5 K_u$	0	0
PI controller	$0.45 K_u$	$0.54 K_u / T_u$	0
PID controller	$0.6 K_u$	$1.2 K_u / T_u$	$0.075 K_u T_u$

5. Перевірте реакцію системи і за необхідності налаштуйте коефіцієнти. Якщо реакція занадто повільна, збільшіть пропорційне (P) або інтегральне (I) підсилення. Якщо реакція занадто швидка і коливальна, зменшіть пропорційне (P) або інтегральне (I) підсилення. Якщо є перерегулювання - збільшіть диференційне (D) підсилення.



Щиро дякую!